



## مدل‌سازی مشخصات سرپای درخت برای برآورد حجم و زی توده گونه کیکم با استفاده از رگرسیون چند متغیره *Acer monspessulanum L. Subsp. cinerascens (Boiss.)*

علی افروزنده<sup>۱</sup>, بهمن کیانی<sup>۲</sup> و پدرام عطارد<sup>۳</sup>

۱- دانشجویی کارشناسی ارشد، دانشگاه بزد

۲- استادیار، دانشگاه بزد، (نویسنده مسؤول: bnkiani@yazd.ac.ir)

۳- دانشیار، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۹

### چکیده

پیش‌بینی حجم و زی توده درختان چند شاخه بر اساس مشخصات سرپا اهمیت زیادی در جنگلداری دارد. در این تحقیق ۲۰ درخت کیکم در جنگل با غ شادی بصورت تصادفی در چهار توانسکت انتخاب و پس از اندازه‌گیری نماینده قطر یقه، ارتفاع، تعداد ساقه، قطر و مساحت تاج، قطعه انجام شد. تنها و سرپاشخه‌ها تفکیک و توزین شده و دیسکهایی از قسمت‌های مختلف تنها درختان گرفته و به آزمایشگاه منتقل شد. وزن خشک و حجم نمونه‌ها محاسبه و بر اساس نسبت وزن تر و نیز وزن مخصوص نمونه‌ها، وزن خشک (زی توده بالای زمین) و حجم کل درختان قطع شده محاسبه گردید. جهت مدل‌سازی روابط مشخصات سرپا با حجم و زی توده، از رگرسیون خطی چندمتغیره و تخمین معنی استفاده شد. نتایج نشان داد که رابطه قوی و معنی‌داری بین حجم و زی توده درختان کیکم با ارتفاع و نماینده قطر یقه وجود دارد. مدل‌های دومتغیره مبتنی بر این دو صفت برای پیش‌بینی وزن تر و خشک شاخه‌ها یا درواقع تاج درخت ( $R = 0.85$ )، وزن تر و خشک کل درخت ( $R = 0.86$ ) و حجم کل درخت ( $R = 0.87$ ) معنی‌دار و معتبر بودند. قدرت پیش‌بینی مدل‌های درجه دو مبتنی بر ارتفاع تا ۱۰ درصد نسبت به مدل‌های خطی افزایش داشت. افزایش ضریب تعیین در مدل‌های دومتغیره به تک متغیره برای ارتفاع کل و نماینده قطر یقه از نظر آماری معنی‌دار بوده و ضرایب بین ۶ تا ۴۴ درصد افزایش داشت. همچنین میزان خطای بین ۱۵ تا ۴۱ درصد کاهش نشان داد. در مجموع باید گفت دو متغیر ارتفاع کل و نماینده قطر یقه می‌توانند نزدیک به ۹۰ درصد زی توده و حجم درختان چند شاخه کیکم را با دقت بالا پیش‌بینی کنند.

واژه‌های کلیدی: آلومتری، حجم سرپا، رگرسیون چندمتغیره، زی توده بالای زمین، بزد

### مقدمه

زی توده و مشخصات سرپا می‌تواند حائز اهمیت بوده و مدل‌های پیش‌بینی آن الگویی برای سایر مناطق جنگلی باشد. زی توده نیز پایه و اساس بوم‌سازگان‌های خشکی ازجمله جنگل و مرتع است و لذا اندازه‌گیری و پایش تغییرات آن در طول زمان از نظر زیستمحیطی و اقتصادی مهم می‌باشد (۱۲). بعلاوه با اندازه‌گیری مقدار زی توده جنگل، به نوعی می‌توان به نقش درختان در کاهش انتشار کربن در اتمسفر پی برد. میزان زی توده بیانگر توان تولید در واحد سطح یا زمان است و لذا مطالعه آن دارای اهمیت است. اندازه‌گیری زی توده درخت درواقع اندازه‌گیری وزن خشک اجزای مختلف یک درخت است که در این میان زی توده برگ به دلیل انجام فتوستز و تولید ماده آلی و همچنین برگشت سالانه عناصر در جریان چرخه بیولوژیک مواد بین بخش زنده و غیرزنده اکوسیستم مهم‌تر است (۱). انتخاب روشی مناسب برای برآورد دقیق زی توده و حجم درختان به صورت سرپا همواره مدنظر محققان بوده و در حال حاضر این مهم از طریق روابط رگرسیونی بدست آمده از آلومتری گونه‌های مختلف ممکن شده است (۲۵).

جنگل‌ها مقادیر عظیمی کربن در زی توده خود ذخیره می‌کنند. تنها راه آگاهی از مقدار دقیق کربن ذخیره شده، اندازه‌گیری زی توده با قطعه و توزین درختان است (۲۷). از آنجاکه بین مقدار زی توده و مشخصات سرپای درختان جنگلی عموماً رابطه مستقیم وجود دارد، با بررسی این روابط می‌توان

جنگل‌ها نقش مهمی در مواجهه با آثار تغییرات اقلیمی و چرخه کربن در سطح جهان ایفا می‌کنند. برآورد مشخصه‌های کمی جنگل در ارزیابی این نقش ضروری است که به روش‌های مختلف انجام می‌شود. مهم‌ترین خصوصیات توده‌های جنگلی در مناطق خشک شامل تاج پوشش در هکتار، تعداد در هکتار و سطح مقطع در هکتار هستند که برای اندازه‌گیری آن‌ها به صورت مستقیم از آماربرداری استفاده می‌شود. اما محاسبه برخی خصوصیات مانند حجم و زی توده مستلزم صرف وقت و هزینه است. حجم درختان تعیین کننده میزان چوب در واحد سطح جنگل بوده و برای تعیین رویش و درنهایت تولید و محصول جنگل مورد نیاز است. در واقع آگاهی از موجودی جنگل، برنامه‌ریزی بهتر و دقیق‌تر برای منابع جنگلی را میسر می‌سازد. با توجه به وسعت و امدادهای برنامه‌ریزی در جنگل، محاسبه حجم درختان جنگلی مستلزم صرف هزینه و وقت زیاد می‌باشد (۲۵). محاسبه دقیق حجم درختان سرپا مشکل بوده و دقت محاسبه حجم درختان افتاده را ندارد. از طرفی برآورد دقیق حجم سرپا برای درختان جنگلی ضرورت دارد و در همین راستا روش‌های متعددی برای برآورد آن توسط محققان مختلف در مناطق جنگلی جهان به کار گرفته شده است. اگرچه تعیین حجم اولیت اصلی مدیریت مناطق خشک نیست اما به هر حال حجم درختان از بیومتریک‌های جنگل بوده بعلاوه رابطه آن با

پورشکوری و حسن‌زاد (۲۴) و ورامش و همکاران (۳۴) اشاره نمود. دسته دوم پژوهش‌هایی هستند که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور انجام می‌شوند. از جمله گونلو و همکاران (۹) از تصاویر لندست ۸ برای برآورد زی‌توده جنگل‌های کاج در آناتولی ترکیه استفاده و شاخص‌های مناسب را برای این کار معرفی نمودند. هال و همکاران (۱۰) با کمک تصاویر زی‌توده جنگل را نقشه‌سازی کرد و یا استرونک و همکاران (۳۱) ترکیبی از تصاویر لندست و لیدار را برای این کار استفاده کردند.

در این تحقیق از شیوه زمینی با قطع کامل درختان استفاده و تلاش شد تا با کمک تکنیک تحلیل رگرسیون، روابط آلمتریک برای پیش‌بینی زی‌توده و حجم درختان کیکم تعیین و قدرت مدل‌های به دست آمده مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به این که درختان کیکم در منطقه موردمطالعه چند شاخه هستند، برآورد حجم آن‌ها با فرمول‌های حجم‌بایی دشوار است. از این‌رو روابط آلمتریک به دست آمده علاوه بر زی‌توده، می‌توانند برآورد خوبی از حجم درخت به عنوان یک صفت مهم نیز ارائه نمایند. برآوردهای انجام‌شده از زی‌توده نیز معیاری برای تعیین قابلیت این گونه در تثبیت کربن در واحد سطح جنگل‌های ایران-تورانی خواهند بود.

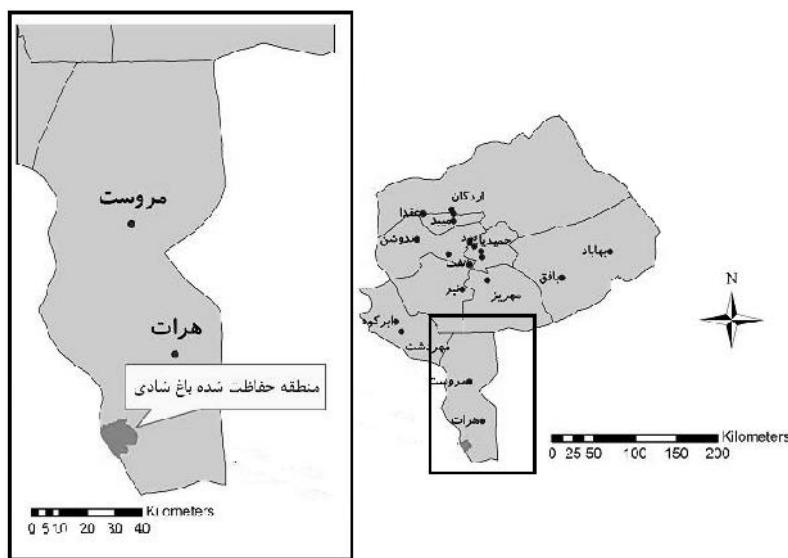
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

جنگل حفاظت‌شده باغ شادی در ۲۳۰ کیلومتری جنوب شهر یزد و فاصله حدود ۳۰ کیلومتری شهر هرات، در شهرستان خاتم واقع شده است (۵۴°۰۰'۵۰" نا ۳۵°۴۰'۲۹" تا ۳۶°۰۰'۵۰" طول شرقی و ۴۲°۲۹'۰۰" عرض شمالی). مساحت منطقه موردمطالعه ۱۱۶۵ هکتار است و در محدوده ارتفاعی ۱۸۴۰-۲۶۶۴ متر از سطح دریا قرار دارد. اقلیم آن نیمه‌خشک، میانگین بارندگی ماهیانه ۲۸۵ میلی‌متر و میانگین سالیانه دما ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد است. گونه‌های مهم حاضر در ترکیب جنگل‌های این منطقه شامل بنه (*Pistacia*), (*Acer cinerascence* L.), کیکم (*atlantica* F. & M.), بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* Spach.), افдра (*lycioides* Spach.), افرن (*Ephedra mucronata*) و دافنه (*Daphne mezereum* C. Koch.) سازند بنه-بادام در منطقه کوهستانی ایران-تورانی است (۲۹).

نسبت به پیش‌بینی زی‌توده در واحد تک درخت و سپس در واحد سطح جنگل اقدام نمود. به این روابط، روابط آلمتریک گفته می‌شود. مدل‌های آلمتریک درواقع معادلات تجربی بین زی‌توده و متغیرهایی مثل قطر برابر سینه می‌باشند که به سهولت قابل‌اندازه‌گیری هستند (۱۴). به عبارت درست‌تر، معادلات آلمتریک عبارت‌اند از رابطه بین حجم و زی‌توده درختان و برخی ویژگی‌های بیوفیزیک آن‌ها از قبیل قطر برابر سینه و ارتفاع تنه که قابلیت تجاری دارند (۲). با کمک تحلیل رگرسیون می‌توان اقدام به مدل‌سازی نموده و مقدار متغیرهای مورد علاقه را بر اساس برخی متغیرها که اندازه‌گیری آن‌ها ساده یا کم‌هزینه است برآورد نمود (۲۶). در این میان، مدل‌های به دست آمده برای درختان چند شاخه که تعیین حجم آن‌ها با استفاده از فرمول‌های حجم‌بایی دشوار است بسیار کاربردی خواهند بود.

پژوهش‌هایی که برای برآورد زی‌توده و حجم انجام‌شده است را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: دسته اول پژوهش‌هایی هستند که به شیوه زمینی و با قطع کامل درختان انجام‌شده‌اند. در این رابطه تحقیقات بسیاری در نقاط مختلف دنیا انجام‌شده است. از جمله به تحقیق اسپینوزا و همکاران (۸) برای برآورد میزان کربن برداشت‌شده در قالب زی‌توده جنگلکاری‌های *Pinus radiata* در شیلی می‌توان اشاره نمود که تعادل مثبت به سمت ذخیره کربن را در سال‌های آینده پیش‌بینی نمودند. همچنین لاکالتو (۱۶) زی‌توده جنگلکاری‌های *Pinus ponderosa* و *Austrocedrus chilensis* را در پاتاگونیا موردنبررسی قرار داده و اثر جایگزینی آن‌ها را با یکی‌گر در تغییرات کربن مشخص نمودند. در تایلند نیز زی‌توده بالای زمین و میزان ترسیب کربن آن در جنگل‌های بارانی مورد ارزیابی قرار گرفت (۳۲). اما در ایران تحقیق در مورد زی‌توده و حجم درختان نوپاست و تاکنون گونه‌هایی اندکی از جنگل‌های طبیعی و دست کاشت موردمطالعه قرار گرفته‌اند. از جمله بردبار و مرتضوی چهرمی (۳) ضمن بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگلکاری‌های اکالیپتوس و آکاسیا در استان فارس، نشان دادند که گونه‌های موردنبررسی در رویشگاه‌های حاصلخیز تولید بیوماس بیشتری دارند. همچنین سه‌بایی و شیروانی (۳۰) روابط آلمتریک را برای برآورد زی‌توده *Pistacia atlantica* موردنبررسی قرار داده و بر اساس قطر تاج توانستند تا ۹۳ درصد تغییرات را پیش‌بینی کنند. از سایر مطالعات می‌توان به پناهی و همکاران (۲۲)، پورهاشمی و همکاران (۲۵)



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در استان یزد  
Figer 1. Location of study area in Yazd province

### روش تحقیق

ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شد. سپس بخشی از گسترش گاه گونه کیکم (*Acer monspessulanum* Subsp. *cinerascens* (Boiss.) که با جنگل گردشی تعیین و جهت انجام قطع انتخاب شده بود، روی نقشه منطقه مورد مطالعه مشخص شد. چهار ترانسکت ۱۰۰ متری به صورت تصادفی روی نقشه مشخص و مختصات نقطه شروع آن‌ها یادداشت شد. نقطه شروع ترانسکت‌ها با کمک GPS در عرصه بازیابی و با حرکت در جهت ارتفاعات در هر ترانسکت پنج درخت (درمجموع بیست درخت) انتخاب و علامت‌گذاری شد. با وجود محدودیت‌های موجود برای قطع، تلاش شد تا حتی الامکان درختان از ابعاد مختلف در نمونه‌ها حضور داشته باشد.

مشخصات سرپای درختان قبل از قطع اندازه‌گیری شد که شامل ارتفاع درخت تا دقت دسی‌متر (با شبیستنج سوتتو)، تعداد ساقه‌ها، میانگین قطر تاج (تا دقت سانتی‌متر به‌وسیله متر نواری)، مساحت تاج (تا دقت دسی‌متر مربع) و نماینده قطر یقه درختان کیکم تا دقت میلی‌متر با کولپس بود. نماینده قطر یقه از رابطه ۱ مورد محاسبه قرار گرفت (۶).

$$DRC = \sqrt{d_1^2 + \dots + d_n^2} \quad (1)$$

در این رابطه  $d_1$  تا  $d_n$  قطر یقه ساقه‌ها در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر هستند که پس از رسیدن به توان دو باهم جمع شده و درنهایت از آن‌ها جذر گرفته می‌شود و  $DRC$  نیز نماینده قطر یقه است. پس از اندازه‌گیری مشخصات در حالت سرپا، درختان مورد مطالعه به‌طور کامل قطع شده و تفکیک تنه و شاخه‌ها از محل شروع تاج صورت گرفت. لازم به ذکر است با

توجه به قطع درختان در فصل زمستان امکان محاسبه زی توده برگ‌ها وجود نداشت. تمامی تنه‌ها به صورت جداگانه برای هر درخت توزین شده (با ترازوی دیجیتال تا دقت ۰/۰۵ گرم) و دیسک‌هایی از محل یقه و قطر برابر سینه درختان جهت تعیین وزن مخصوص چوب برداشت شد. شاخه‌ها نیز توزین شده و نمونه‌هایی برای تعیین وزن مخصوص برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد.

نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال (تا دقت ۰/۰۵ گرم) اندازه‌گیری شد. بر اساس نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه‌ها، زی توده تمامی درختان از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$B = R \times WW \quad (2)$$

در این رابطه  $B$  زی توده بر حسب کیلوگرم،  $R$  نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه‌های آزمایشگاهی و  $WW$  وزن تر درخت که در عرصه اندازه‌گیری شده بر حسب کیلوگرم هستند. دیسک‌های تنه پس از توزین در ظرف مدرج حاوی آب قرار گرفته و میزان جابجایی آب در ظرف مدرج اندازه‌گیری شد تا حجم آن‌ها به دست بیاید (۷). پس از تعیین حجم، وزن مخصوص چوب‌ها بر اساس رابطه ۳ به دست آمد:

$$= M \div V \quad (3)$$

در این رابطه وزن مخصوص بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب،  $M$  وزن خشک نمونه بر حسب کیلوگرم و  $V$  حجم نمونه بر حسب مترمکعب می‌باشد (۳۴). حجم تنه‌ها با توجه

در این رابطه  $R_5^*$  ضریب تعیین مدل کوچکتر (خطی یا تک متغیره) و  $R_L^*$  ضریب تعیین مدل بزرگتر (معادله درجه دو یا چند متغیره) هستند. همچنین  $K_S$  و  $K_L$  به ترتیب تعداد متغیرهای مستقل در مدل‌های کوچکتر و بزرگتر و  $N$  تعداد زوج مشاهدات هستند. اماره F به دست آمده از رابطه فوق با درجه آزادی صورت  $K_L - K_S$  و درجه آزادی مخرج  $(K_L - 1)$  -  $N$  با جدول F مقایسه شد. بزرگتر بودن F محاسبه شده از جدول نشان دهنده معنی‌دار بودن تغییرات ضریب تعیین خواهد بود (۱۵).

### نتایج و بحث

با توجه به این که گاه متغیرهای مستقل به صورت ترکیبی در پیش‌بینی یک متغیر واپسیه نقش دارند باهدف به دست آوردن مدل‌های قوی‌تر باقابلیت پیش‌بینی بهتر از تحلیل رگرسیون چند متغیره به روش گام‌به‌گام استفاده شد. بر این اساس مدل‌های دومتغیره مبتنی بر ارتفاع درخت و نماینده قطر یقه برای پیش‌بینی وزن تر و خشک تن، وزن خشک درخت، وزن خشک و تر و حجم کل شاخه، حجم تن، شاخه‌ها و حجم کل درخت معنی‌دار بوده و ضرایب تعیین به نحو چشم‌گیری نسبت به حالت تک متغیره افزایش داشت (جدول ۱).

به مشخص بدن وزن خشک و وزن مخصوص چوب برای هر درخت محاسبه شده و همچنین زی‌توده هوایی درخت (به‌غیراز برگ‌ها) از مجموع زی‌توده تنها و شاخه‌ها به دست آمد. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS 21 وارد شده و ابتدا با محاسبه آماره‌های توصیفی، از عدم وجود اشتباها اطمینان به عمل آمد. سپس نمودار پراکنش داده‌ها رسم و خطی بودن رابطه متغیرها و نیز وجود یا عدم وجود نقاط پرت مورد کنترل و اصلاح قرار گرفت.

برای مدل‌سازی از تکنیک‌های رگرسیون گام‌به‌گام و تخمین منحنی استفاده شد. اعتبار مدل‌های به دست آمده با رسم نمودارهای نرمالیته و پراکنش مقادیر خطای نرمال شده قرار گرفت. همچنین میانگین مربعات خطای نرمال شده NRMSE (NRMSE) جهت تعیین بهترین مدل‌ها و نیز مشخص نمودن میزان دقت آن‌ها محاسبه شد (۱۹،۲۱). مقدار این شاخص در بازه ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ درصد به ترتیب بیانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل و مقادیر بیشتر از ۳۰ درصد نشان‌دهنده عدم اطمینان مدل است (۱۴). معنی‌دار بودن تغییرات ضریب تعیین از مدل‌های تک متغیره به دومتغیره و نیز از درجه یک به درجه دو با استفاده از آزمون F به صورت رابطه ۴ مورد بررسی قرار گرفت:

$$F = \frac{(R_L^* - R_S^*) / (K_L - K_S)}{(1 - R_L^*) / (N - K_L - 1)} \quad (4)$$

جدول ۱- مدل‌های چند متغیره برای ارتفاع و قطر یقه به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده

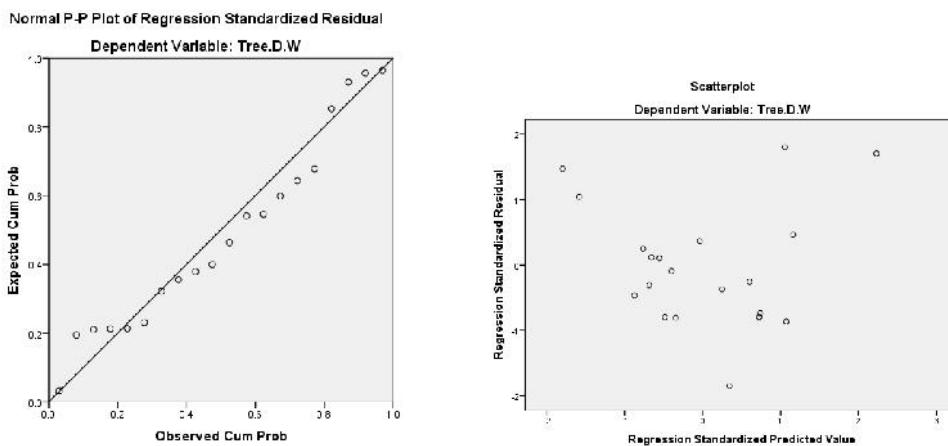
Table 1. Multivariate models for height and DRC as predictor variables

متغیر وابسته	وزن تر شاخه‌ها (کیلوگرم)	وزن تر درخت	وزن خشک شاخه‌ها	حجم کل شاخه‌ها	حجم کل درخت
اشتاه میار	۲۰/۸۸				
NRMSE	۹/۲				
مدل					
$Y = -97/5 + 4/2 X_1 + 15/15 X_2$					
$Y = -148/18 + 7/0.85 X_1 + 20/513 X_2$	۱۰/۲	۳۱/۳۳	۰/۸۶		
$Y = -130/0.7 + 6/0.3 X_1 + 18/57 X_2$	۹/۹	۲۶/۲۱	۰/۸۷		
$Y = -14/18 + 3/57 X_1 + 13/18 X_2$	۹/۲	۱۸/۱۷	۰/۰۸		
$Y = -0/92 + 0/0.4 X_1 + 0/0.4 X_2$	۱۱/۹	۰/۰۱۹	۰/۰۵		
$Y = -0/149 + 0/0.7 X_1 + 0/0.23 X_2$	۹/۹	۰/۰۲۸	۰/۰۷		

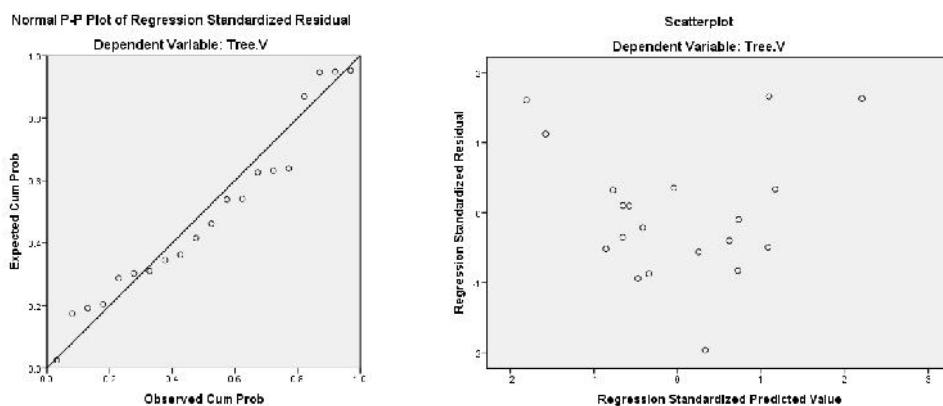
در جدول فوق،  $X_1$  نماینده قطر یقه و  $X_2$  ارتفاع کل درخت هستند

بودن نقاط به خط ۴۵ درجه در نمودار نرمالیته نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع مقادیر خطای و تصادفی بودن پراکنش نقاط در نمودارهای مقادیر باقی‌مانده نشان‌دهنده همگنی واریانس مقادیر خطای بوده و این دو دلایلی برای اعتبار مدل‌های به دست آمده هستند (۱۵).

بر اساس نتایج می‌توان گفت مهم‌ترین متغیر مستقل نماینده قطر یقه و پس از آن ارتفاع درخت بوده و تعداد ساقه و مساحت تاج پیش‌بینی کننده خوبی برای زی‌توده و حجم درختان کیکم نبودند. برخی از نمودارهای نرمالیته و پراکنش مقادیر خطای در شکل‌های ۲ و ۳ قابل ملاحظه هستند. تزدیک



شکل ۲- نمودار نرمالیته (چپ) و پراکنش (راست) مقادیر خطا برای وزن خشک درخت  
Figure 2. Normality plot (left) and dispersion plot (right) of residuals for tree dry weight



شکل ۳- نمودار نرمالیته (چپ) و پراکنش (راست) مقادیر خطا برای حجم کل درخت  
Figure 3. Normality plot (left) and dispersion plot (right) of residuals for tree volume

زی توده تاج درختان کاج حلب در *Pinus halepensis* Mill. بونان بررسی و مشخص شد که قطر برابریسینه بهترین متغیر مستقل بوده و ۸۲-۸۸ درصد تغییرات را پیش‌بینی می‌کند. همچنین سگوارا و کانینن (۲۸) قطر برابریسینه را بهترین متغیر مستقل برای برآورد حجم درختان جنگلی در جنگل‌های مرطوب کاستاریکا ارزیابی کردند ( $R^2 = 0.87$ ). با توجه به نحوه محاسبه نماینده قطر یقه باید گفت، زیادتر بودن این متغیر به معنای قطورتر بودن ساقه‌ها است و نظر به این که متغیر قطر در محاسبه حجم چوب آلات اهمیت و نقش زیادی دارد، زیادتر بودن نماینده قطر یقه پیامد مشخصی دارد که آن هم افزایش حجم و نیز زی توده است.

دقیق‌ترین مدل‌ها به روش تخمین منحنی برای پیش‌بینی حجم سرپا و زی توده کل مربوط ارتفاع کل درخت بود. همچنین ارتفاع کل به این روش توانست با دقت مناسبی وزن‌تر و خشک‌تره را پیش‌بینی نماید. ارتفاع در ترکیب با

در این تحقیق با توجه به استفاده از ۲۰ داده در تحلیل رگرسیون و این که این ۲۰ درخت باهدف احصا نمونه تنوع موجود در درختان مطقه از ابعاد مختلف انتخاب شده‌اند، به‌واسطه محدودیت‌های قانونی امکان قطع درختان بیشتر وجود نداشته و لذا در برخی ابعاد تعداد نمونه کم بوده و باعث شده که نمودار پراکنش در متنه‌ایه سمت راست و چپ کمی کشیده باشد.

در تحقیق پارساپور و همکاران (۲۳) قطر برابریسینه با ضریب تبیین  $0.95$  مدل‌هایی با دقت بسیار خوب برای تعیین زی توده چهار گونه صنوبر ارائه داد. بر این اساس انتظار می‌رفت که نماینده قطر یقه درختان کیکم نیز بتواند مدل‌های مناسبی برای برآورد زی توده ارائه دهد. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که نماینده قطر یقه پیش‌بینی کننده خوبی برای زی توده درختان کیکم بود. در تحقیق میتسوپولوس و دیمیتریکاپلوس (۲۰) روابط آلمتریک برای پیش‌بینی

تک متغیره به سه متغیره (قطر، ارتفاع و وزن مخصوص چوب) را که  $4/6$  درصد بیشتر نبوده را، از نظر آماری موردنرسی قرار ندادند. همچنین براندیس و همکاران<sup>(۴)</sup> بر اساس دو متغیر قطر و ارتفاع توانستند  $83-99$  درصد حجم کل سرپا و  $56-98$  درصد حجم تجارتی درختان را در جنگل‌های خشک پورتوريکو پیش‌بینی کنند.

در تحقیق لیتون و کافمن<sup>(۱۷)</sup> روابط آلومتریک برای *Metrosideros polymorpha* در هاوایی *Dodonaea viscosa* Jacq. و *Gaudich.* بررسی شده و مشخص شد که مدل‌های ویژه گونه که برای هر گونه جداگانه تهیه می‌شوند با مدل عمومی که برای کل جنگل تهیه می‌شود  $43-88$  درصد اختلاف دارد. ازین‌رو پیشنهاد شد که برآورد زی توده برای هر گونه و رویشگاه جداگانه انجام و معادلات مربوط به آن تدوین شوند. نتایج آزمون F جهت بررسی معنی دار بودن تغییرات ضریب تعیین از مدل‌های تک متغیره مبتنی بر نماینده قطر یقه و ارتفاع به مدل‌های دو متغیره مبتنی بر هر دو صفت در جدول ۲ مشاهده می‌شوند:

نماینده قطر یقه نیز پیش‌بینی کننده خوبی برای وزن شاخه، وزن تر تنه، وزن خشک درخت، وزن خشک شاخه، حجم کل شاخه و حجم کل درختان کیکم بود.

در مطالعه هیرو و همکاران<sup>(۱۱)</sup> که بر روی درختان شاخه‌زاد اجام شد، قطر بلندترین ساقه برای تعیین زی توده *Cyathea erinaceae* به عنوان بهترین متغیر پیش‌بینی کننده انتخاب شد. در تحقیق حاضر نیز ارتفاع کل درواقع همان ارتفاع بلندترین ساقه است که توانست با دقت مناسب تا  $70$  درصد تغییرات حجم درخت را پیش‌بینی نماید. در تحقیق حاضر نماینده قطر یقه درختان کیکم که به نوعی می‌توان نقش آن را مانند قطر برای رسینه در درختان دارای تنه واحد در نظر گرفت، در ترکیب با ارتفاع توانستند بهترین مدل‌ها را برای پیش‌بینی حجم و زی توده درختان کیکم ارائه دهند که این نتایج با تحقیق واحدی و همکاران<sup>(۳۳)</sup> مطابقت دارد. در تحقیق مذکور قطر برای رسینه و ارتفاع در ترکیب با یکدیگر توانستند تا  $95$  درصد تغییرات زی توده درختان راش *Fagus orientalis* L. را در شمال ایران پیش‌بینی کنند. البته آن‌ها معنی دار بودن تغییرات ضریب تعیین از مدل‌های

جدول ۲- بررسی معنی داری افزایش ضریب تعیین در مدل دو متغیره نسبت به مدل تک متغیره

Table 2. Significance of R-square change from simple models to multivariate model

F	ضریب تعیین مدل دو متغیره	ضریب تعیین مدل تک متغیره	متغیر مستقل	متغیر وابسته
$6/8^{**}$	. $85$	. $79$	نماینده قطر یقه	وزن تر شاخه‌ها
$32/8^{**}$	. $85$	. $56$	ارتفاع	
$19/4^{**}$	. $86$	. $70$	نماینده قطر یقه	وزن تر درخت
$24/2^{**}$	. $86$	. $66$	ارتفاع	
$22/2^{**}$	. $87$	. $70$	نماینده قطر یقه	وزن خشک درخت
$24/8^{**}$	. $87$	. $68$	ارتفاع	
$6/8^{**}$	. $85$	. $79$	نماینده قطر یقه	وزن خشک شاخه
$32/8^{**}$	. $85$	. $56$	ارتفاع	
$13/6^{**}$	. $85$	. $73$	نماینده قطر یقه	حجم شاخه‌ها
$49/8^{**}$	. $85$	. $41$	ارتفاع	
$22/2^{**}$	. $87$	. $70$	نماینده قطر یقه	حجم درخت
$22/2^{**}$	. $87$	. $70$	ارتفاع	

صفت دارند. مقدار ریشه مربعات نرمال شده خطأ در مدل‌های دو متغیره کاهش زیادی داشت که حاکی از افزایش دقت آن‌ها است. نتایج مقایسه مقادیر NRMSE در جدول ۳ قابل مشاهده است:

همان گونه که در جدول فوق ملاحظه می‌شود، افزایش ضریب تعیین در تمامی موارد معنی دار بوده و بر این اساس می‌توان گفت مدل‌های دو متغیره مبتنی بر ارتفاع و نماینده قطر یقه، برآش بهتری نسبت به مدل‌های تک متغیره این دو

جدول ۳- میزان کاهش خطأ در مدل‌های دو متغیره نسبت به مدل تک متغیره

Table 3. Amount of error decrease in two-variable vs. simple models

درصد کاهش خطأ	NRMSE مدل دو متغیره	NRMSE مدل تک متغیره	متغیر مستقل	متغیر وابسته
$15$	$9/2$	$10/9$	نماینده قطر یقه	وزن تر شاخه‌ها
$41$		$15/8$	ارتفاع	
$26$	$10/2$	$13/9$	نماینده قطر یقه	وزن تر درخت
$30$		$14/7$	ارتفاع	
$28$	$9/9$	$13/8$	نماینده قطر یقه	وزن خشک درخت
$31$		$14/5$	ارتفاع	
$15$	$9/2$	$10/9$	نماینده قطر یقه	وزن خشک شاخه
$41$		$15/8$	ارتفاع	
$38$	$11/9$	$19/5$	نماینده قطر یقه	حجم شاخه‌ها
$15$		$14/1$	ارتفاع	
$27$	$9/9$	$13/7$	نماینده قطر یقه	حجم درخت
$29$		$14/1$	ارتفاع	

حجم و زی توده ضریب تعیین افزایش‌یافته و این افزایش معنی‌دار بود. البته رابطه نماینده قطر یقه- حجم نیز اصولاً درجه دو است منتهی با توجه به این که نسبت به مدل خطی افزایشی در ضریب تعیین حاصل نشد از ذکر آن در قسمت نتایج خودداری شد.

آن‌چنان‌که مشاهده می‌شود دقت مدل دومتغیره بین ۴۱ تا ۴۲ درصد نسبت به حالت تک متغیره افزایش داشته که بسیار قابل توجه است. برآش تواضع درجه دو و درجه سه بر داده‌ها نشان داد که تنها در خصوص مدل‌های مبتنی بر ارتفاع کل درخت قدرت پیش‌بینی مدل درجه‌دو بیشتر از مدل خطی بود (جدول ۴). مقایسه روابط خطی و درجه دو نشان داد که در مدل‌های درجه‌دو مبتنی بر ارتفاع درختان، برای پیش‌بینی

جدول ۴- مقایسه مدل‌های خطی و درجه‌دو مبتنی بر ارتفاع کل درخت

Table 4. Comparing linear and two-variable models based on tree height

رابطه	مدل	ضریب تعیین	F	اشتباه معیار	NRMSE	مدل
حجم سرپا - ارتفاع	$Y = -0.182 + 0.18X$	.۰/۴۷	۵/۱۷*	۰/۴۷	۱۴/۱	خطی
	$Y = +0.115 + 0.18X^2$	.۰/۰۴۲				درجه‌دو
زی توده کل - ارتفاع	$Y = -1.82/9.92 + 6.7/6.72 X$	۰/۶۶	۴/۴ns	۵۲/۰۶	۴۹/۳۹	خطی
	$Y = 12.3/2 + 1.8/5.46 X^2$	۰/۰۷۳		۴۷/۰۷	۱۸/۷۴	درجه‌دو
وزن تر تنه - ارتفاع	$Y = -9.0/0.34 + 31/260 X$	۰/۶۱	۱۴/۵**	۲۶/۸۱	۲۵/۴۳	خطی
	$Y = 14.1/8 - 8.6/4 X + 14/0.4 X^2$	۰/۰۷۹		۲۰/۳۲	۱۵/۵۸	درجه‌دو
وزن خشک تنه - ارتفاع	$Y = -7.8/4.99 + 37/18.1 X$	۰/۶۲	۱۵/۳**	۲۲/۸۸	۲۱/۷۰	خطی
	$Y = 12.5/15 - 7.6/2 X + 12/2 X^2$	۰/۰۸		۱۶/۹۱	۱۶/۳۴	درجه‌دو

\*\* و \*\*\*: افزایش ضریب تعیین به ترتیب در سطوح یک و پنج درصد معنی‌دار است: NS: افزایش ضریب تعیین معنی‌دار نیست

برای تشخیص الگوهای موجود در داده‌ها، مفیدتر از بررسی رابطه بین متغیرها باشد (۱۵).

به طورکلی در این تحقیق مشخص شد که مدل‌های دومتغیره مبتنی بر ارتفاع درختان و نماینده قطر یقه برای پیش‌بینی زی توده و حجم تنه، شاخه و قسمت هوایی درختان چندشاخه کیکم معنی‌دار بوده و می‌توانند ۸۵-۸۷ درصد تغییرات را پیش‌بینی نمایند. لازم به ذکر است که ضرایب تعیین در این مدل‌ها به نحو چشم‌گیری نسبت به حالت تک متغیره افزایش و مقادیر خطای کاهش داشتند. مدل‌های درجه دو تنها با حضور متغیر ارتفاع کل به عنوان پیش‌بینی کننده حجم و زی توده معنی‌دار بوده و افزایش مقدار ضریب تعیین در آن‌ها نسبت به مدل‌های خطای از نظر آماری معنی‌دار بود. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای برای مدل‌های دومتغیره زیر ۱۵ درصد بود که نشان‌دهنده دقت بالای آن‌ها است.

در پایان باید گفت از آنجاکه ارتباط بین زی توده و خصوصیات الومتریک، بسته به سن درخت، عملیات مدیریتی، ساختار جنگل، خصوصیات اقلیمی و بیوفیزیکی رویشگاه متفاوت می‌باشد (۱۸) لازم است تحقیق حاضر برای گونه کیکم در رویشگاه‌های دیگر منطقه ایران- تورانی نیز انجام شود تا قابلیت تعیین مدل‌های بدست آمده در این تحقیق برای برآورد حجم و زی توده ارزیابی گردد. درمجموع می‌توان گفت زی توده و حجم درختان کیکم که فاقد تنه واحد هستند، با دقت مناسبی قابل برآورد بوده و برخی مشخصات سرپای این درختان که اندازه‌گیری آن‌ها ساده و کم‌هزینه است، نزدیک به ۹۰ درصد از تغییرات را می‌توانند پیش‌بینی نمایند.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ضرایب تعیین برای زی توده کل و حجم سرپا که مهم‌ترین متغیرهای وابسته هستند تا ۷ درصد و برای سایر متغیرها تا حداقل ۱۸ درصد افزایش یافته‌اند. آزمون F نشان داد که افزایش ضریب تعیین تنها در مورد زی توده کل معنی‌دار نبوده اما در سایر موارد از نظر آماری، معنی‌داری تغییرات ضریب تعیین تایید شد.

قطر تاج در موقعیت‌های مختلف درخت در توده تغییر می‌کند و تحت تأثیر عواملی چون رویشگاه، شاخه‌دانی و جایگاه درخت در آشکوب‌بندی جنگل قرار دارد. این متغیر همچنین همبستگی خوبی با ارتفاع درخت دارد و افزایش آن می‌تواند به توجه زی توده در درخت بیانجامد. از این‌رو ممکن است حضور آن باعث افزایش دقت مدل‌ها شود (۵). در تحقیق حاضر قطر تاج در مدل‌های چندمتغیره حذف شده و برای حضور در مدل‌ها مناسب تشخیص داده نشد. تحلیل همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و مستقیم بین این متغیر و ارتفاع درختان وجود دارد. از طرفی در تحلیل تک متغیره این صفت توانست تا ۸۰ درصد تغییرات حجم و زی توده درختان کیکم را پیش‌بینی نماید. بر همین اساس می‌توان گفت وجود هم خطی چندگانه بین دو متغیر قطر تاج و ارتفاع باعث حذف آن شده است و باید گفت اگرچه روش گامبه‌گام مدل‌های اقتصادی تولید می‌کند اما در انتخاب متغیرها کورکورانه عمل می‌نماید. درواقع رگرسیون چندگانه خصوصاً به انتخاب متغیرها خیلی حساس است و نتایج آن را باید باحتیاط استفاده کرد. باید در مورد داده‌ها و متغیرها اطلاعات کامل و کافی کسب شود. ممکن است رگرسیون چندگانه

## منابع

1. Adl, H. 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4): 417-426 (In Persian).
2. Basuki, T.M., P.E. Van Laake, A.K. Skidmore and Y.A. Hussin. 2009. Allometric equations for estimation the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257: 1684-1694.
3. Bordbar, S.K. and S.M. Mortazavi Jahromi. 2006. Investigating the potential of carbon sequestration in Eucalyptus sp. and Acacia sp. Plantations, West Fars Province. *Pajouhesh and Sazandegi*, 70: 90-103 (In Persian).
4. Brandeis, T., M. Delaney, L. Royer and B. Parresol. 2006. Allometric equations for predicting Puerto Rican dry forest biomass and volume, *Proceedings of the Eighth Annual Forest Inventory and Analysis Symposium*, USDA Forest Service, USA, 197-202.
5. Cal, S., X. Kang and L. Zhang. 2013. Allometric models for aboveground biomass of ten tree species in northeast China. *Annals of Forest Research*, 56(1): 105-122.
6. Chojnacky, D.C. 1988. Woodland volume equations for Arizona Fort Apache and San Carlos Indian reservations, USDA Forest Service, Intermountain Research Station, 7 pp.
7. Cornelissen, J.H.C., S. Lavorel, E. Garnier, S. Diaz, N. Buchmann, D.E. Gurvich, P.B. Reich, H. Steege, H.D. Morgan, M.G.A. Van der Heijden, J.G. Pausas and H. Poorter. 2003. A handbook of protocols for standardization and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51: 335-380.
8. Espinosa, M., E. Acuna, J. Cancino, F. Monoz and A.D. Perry. 2005. Carbon sink potential of radiata Pine plantations in Chile. *Forestry*, 78(1): 11-19.
9. Gunlu, A., I. Ercanli, E.Z. Baskent and G. Gakir. 2014. Estimating aboveground biomass using Landsat TM imagery: A case study of Anatolian Crimean pine forests in Turkey, *Annals of Forestry Research*, 57(2): 289-298.
10. Hall, R.J., R.S. Skakuna, E.J. Arsenault and S. Case. 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 225: 378-390.
11. Hierro, J., L.C. Branch, D. Villarreal and K.L. Clark. 2000. Predictive Equation for Biomass and Fuel Characteristics of Argentine shrubs. *Journal of Range management*, 53(6): 617-621.
12. Hosseini, S.Z., M. Abbasi, S. Bakhtiarvand and M. Salehi. 2015. Proper models to estimate aboveground biomass using Quickbird satellite imagery in plantation areas of Isfahan's Mobarakeh Steel Company. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(1): 143-153 (In Persian).
13. Ketterings, Q.M., R. Coe, M.V. Noordwijk, Y. Ambagau and 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.
14. Khorsand, A., V. Rezaverdinezhad and A. Shahidi. 2014. Performance evaluation of AquaCrop model to predicting the performance of Wheat, moisture and salinity of soil profile under drought and salinity stresses. *Water Management and Irrigation*, 4(1): 89-104 (In Persian).
15. Kiani, B. 2014. Applying modern statistics in natural resources, Yazd University Publications, Yazd, Iran, 522 pp (In Persian).
16. Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa Pine plantation and native Cypress forest in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*, 181(28): 17-25.
17. Litton, C.M. and J.B. Kauffman. 2008. Allometric models for predicting aboveground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica*, 40(3): 313-320.
18. Lott, J.E., S.B. Howard, C.R. Black and C.K. Ong. 2000. Allometric estimation of above-ground biomass and leaf area in managed *Grevillea robusta* agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 49: 1-15.
19. Mirabdollahi, M., A. Bonyad, B. Bakhshande and J. Torkaman. 2013. Study of age effects on growth of Beech trees in Lomir forest, Guilan. *Iranian Forest Ecology Journal*, 1(1): 1-15 (In Persian).
20. Mitsopoulos, I. D. and A.P. Dimitrakopoulos. 2007. Allometric equations for crown fuel biomass of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *International Journal of Wildland Fire*, 16: 642-647.
21. Nikooy, M., R. Naghdi, B. Bakhshandeh and H. Amozadeh. 2013. Physical and values damages to felled trees during felling operation (Case study: Asalem watershed forests). *Iranian Forest Ecology Journal*, 1(2): 70-85 (In Persian).
22. Panahi, P., M. Pourhashemi and M. Hassani Nejad. 2011. Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of *Pistacia atlantica* in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Forest*, 3(1): 1-12 (In Persian).
23. Parsapour, M.K., H. Sohrabi, A. Soltani and Y. Iranmanesh. 2013. Allometric equations for estimating biomass in four poplar species at Charmahal and Bakhtiari province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research's*, 21(3): 517-528 (In Persian).

24. Pourshakouri Allahdeh, F. and I. Hassanzad Navroodi. 2007. Investigation of the best method of volume estimation for Guilan forests (Case study: District one of NAV Asalem). Pajouhesh and Sazandegi, 77: 24-31 (In Persian).
25. Pourhashami, M., S. Eskandari, M. Dehghani, T. Najafi, A. Asadi and P. Panahi. 2012. Biomass and leaf area index of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(4): 609-620 (In Persian).
26. Saatchi, S.S., A. Houghton, R.C. Dos Santos Alvala, J.V. Soare and Y. Yu. 2007. Distribution of above ground biomass in the Amazon. Global Change Biology, 13: 816-837.
27. Saglan, B., O. Kucuki, E. Bilgili, D. Durmaz and I. Basal. 2008. Estimating fuel biomass of some shrub species (Maquis) in Turkey. Turkish Journal of Agriculture, 32: 349-356.
28. Segura, M. and M. Kanninen. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. Biometrika, 37(1): 2-8.
29. Shojaee, M., B. Kiani, A. Sotoodeh and H. Azimzadeh. 2015. Investigation of the relation between primary topographic variables with presence, frequency and quantitative characteristics of plant species and vegetation types (Case study: Baghe- Shadi Forest, Harat, Yazd). Iranian Journal of Applied Ecology, 4(11): 1-13 (In Persian).
30. Sohrabi, H. and A. Shirvani. 2012. Allometric equations to predict areal biomass of *Pistacia atlantica* var. *mutica* in Khojir National Park. Iranian Journal Forest, 4(1): 55-64 (In Persian).
31. Strunk, J. L., H. Temesgen, H.E. Andersen and P. Packalen. 2014. Prediction of Forest Attributes with Field Plots, Landsat, and a Sample of Lidar Strips. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 80(2): 143-150.
32. Trakunpinut, J., N. Gajaseni and N. Ruankawe. 2007. Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong Pha Phum national forest, Thailand. Applied Ecology and Environmental Research, 5(9): 10-23.
33. Vahedi, A.A., A. Mataji, S. Babayi-Kafaki, J. Eshaghi-Rad, S.M. Hodjati and A. Djomo. 2014. Allometric equations for predicting aboveground biomass of beech-hornbeam stands in the Hyrcanian forests of Iran. Journal of Forest Science, 60(6): 236-247.
34. Varamesh, S., S.M. Hosseini, N. Abdi and M. Akbarinia. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest, 2(1): 25-35 (In Persian).

## Modeling the Standing Traits to Estimate Tree Volume and Biomass of *Acer monspessulanum* Subsp. *cinerascens* (Boiss.) using Multiple Regression

Ali Afrozandeh<sup>1</sup>, Bahman Kiani<sup>2</sup> and Pedram Atarod<sup>3</sup>

1- M.Sc. Student, University of Yazd

2- Assistant Professor, University of Yazd, (Corresponding Author: bnkiani@yazd.ac.ir)

3- Associate Professor, University of Tehran

Received: Jun 25, 2016      Accepted: Jan 8, 2017

### Abstract

Predicting the volume and biomass of multi-stem maple trees (*Acer monspessulanum* Subsp. *cinerascens* Boiss.) based on standing traits is necessary in forestry. In this research twenty sample trees were selected in four transects randomly in Bagh-Shadi Forest of Yazd province. After measuring the diameter at root collar (DRC), tree height, stems numbers and crown diameter and area all trees were cut down. Trunks and branches were separated, weighted and some sample disks were taken. Dry weight and volume of samples were determined in laboratory and according to dry-wet ratio and wood specific gravity; total dry weight (aboveground biomass) and volume of all trees were calculated. Multiple regression and curve estimation were applied for modeling. Results indicated that there were strong and significant relation between volume and biomass of trees and their height and DRC. Two-variable models were significant and reliable for branch (or crown) wet and dry weight ( $R^2=0.85$ ), total tree wet and dry weight ( $R^2=0.86$ ) and total tree volume ( $R^2=0.87$ ). Prediction capability of two-order models according to tree height increased up to 10 percent. Results showed that R-square change in two-variable models was significant in contrast to one-variable models and coefficients increased from 6 to 44 percent. Also amount of error (NRMSE) decreased from 15 to 41 percent. Finally it can be said that tree height and DRC was able to predict 87 percent of biomass and volume of maple trees with a high precision.

**Keywords:** Above-ground Biomass, Allometry, Multiple Regression, Standing Volume, Yazd