



مدل‌سازی حجم تک‌درخت برودار (*Quercus brantii* Lindl) در جنگل‌های جست‌زاد همسال زاگرس مرکزی (مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان اردل و کیار)

حمدالله صادقی کاجی^{۱*} و علی سلطانی^۲

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
^۲ دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۵)

چکیده

هدف این پژوهش، انتخاب مدل مناسب برای برآورد سریع حجم در توده‌های همسال جست‌زاد برودار بود. برای این منظور ۱۹ مدل یک و دومتغیره پرکاربرد در برآورد حجم به کار گرفته شدند. در ابتدا داده‌های حجم واقعی به دست آمده از ۷۳ درخت قطع شده در طبقات قطری مختلف در ۱۲ توده از جنگل‌های جست‌زاد شهرستان اردل و کیار به دو مجموعه ۷۰ درصدی برای مدلسازی و ۳۰ درصدی برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. سپس ضرایب مدل‌های انتخاب شده با استفاده از روش حداقل مربعات وزنی محاسبه شد. مدل‌های معنی‌دار با معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین رتبه‌بندی شدند. از بین مدل‌های بررسی شده ۹ مدل انتخاب شد. نتایج برآزش مدل‌های انتخاب شده نشان داد که کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا (۰/۰۳۵) مربوط به مدل پنج‌پارامتری و بیشترین مقدار ضریب تبیین (۰/۹۷۹) مربوط به مدل‌های چهار و پنج‌پارامتری بود. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل‌های چهار و پنج‌پارامتری در بین مدل‌های دومتغیری، و مدل توانی در بین مدل‌های تک‌متغیری بیشترین کارایی (برترین رتبه) را به خود اختصاص دادند. از نتایج به دست آمده می‌توان در مدل‌های رشد و محصول دهی، تهیه جدول حجم یک یا استاندارد دوعامله بهره برد.

واژه‌های کلیدی: اریبی، برودار، جدول حجم، رگرسیون وزنی، مدلسازی حجم، جنگل جست‌زاد.

مقدمه

مؤثر در برآورد حجم تک‌درخت استفاده از مدل‌های حجم است. این مدل‌ها شامل روابط مختلف ریاضی‌اند که در برآورد حجم کاربرد دارند (Shuaibu & Alao, 2016). این روابط، حجم درخت را با مشخصه‌هایی از درخت که به راحتی قابل اندازه‌گیری است برآورد می‌کنند (Maliro et al., 2010). روابط حجم در تحقیقات مربوط به اندازه‌گیری جنگل، مدیریت و جنگل‌شناسی

برآورد حجم تک‌درخت برای اهداف مدیریتی همچون ارزیابی موجودی سرپا، ارزشگذاری چوب جنگل، انتخاب عرصه‌های مناسب برای قطع و مطالعات رشد و محصول دهی اهمیت دارد (Mauya al et., 2014). به طور معمول از برآورد حجم تک‌درخت برای برآورد حجم در واحد سطح استفاده می‌شود (Masota et al., 2014). یکی از روش‌های

دارد. برای گونه‌های چوبی اصلی، معادلات مناسب حجم توسعه یافته است. از جمله توسعه مدل حجم‌یابی برای گونه‌های بومی جنوب استرالیا (Bi & Hamilton, 1998)، تعیین معادلات حجم برای گونه‌های معمول جنگل‌های بارانی نیجریه (Akindele, 2005)، تعیین زی‌توده و مدل‌های حجم تک‌درخت برای ۱۱ گونه درختی در ایسلند (Snorrason & Einarsson, 2006)، تعیین ۳۴ مدل حجم عمومی برای گونه‌های مختلف جنگل‌های پهن‌برگ خشک و مرطوب گرمسیری در آفریقا (Henry et al., 2011) و توسعه مدل‌های حجم برای گونه‌های باارزش چوبی موزامبیک (Rosta et al., 2015) نمونه‌هایی از این دست است. در داخل کشور بیشتر مطالعات حجم‌یابی درباره گونه تجاری شمال یعنی راش صورت گرفته است، اما در ناحیه رویشی زاگرس مطالعه قابل استنادی وجود ندارد، چنانکه در مورد گونه برودار تنها جدول حجم گزارش شده با عنوان جدول حجم تک‌عامله با ارتفاع متوسط مربوط به تاريف جنگل‌های بلوط یاسوج است (Zobeiry, 2005).

به نظر می‌رسد که حفاظتی و حمایتی بودن این جنگل‌ها تعبیری نادرست برای تأخیر در تهیه مدل‌های مناسب حجم گونه‌های اصلی چوبی این رویشگاه باشد؛ با این توجیه که داشتن اطلاعات درباره حجم در جنگل‌هایی که به ظاهر تحت حفاظت هستند و عملاً با برداشت‌های گوناگون صورت گرفته، جنگل‌های رها شده محسوب می‌شوند، می‌تواند نقش مدیریتی مهمی در شناخت وضعیت موجود توده‌های مختلف، اعمال برنامه‌های تنظیمی و برنامه‌ریزی برای امکان بازگشت تعادل در توده‌های تخریب‌یافته ایفا کند. از دیگر سو این اطلاعات راهنمایی برای اعمال هر گونه دخالت جنگل‌شناسی خواهند بود. با توجه به مطالب عنوان شده، هدف این تحقیق، برازش مدل‌های مختلف غیرخطی در محاسبه حجم و تعیین مدل مناسب برای تهیه جدول‌های حجم تک و دوعامله

کاربرد اساسی دارند و بخش مهمی از برنامه‌ریزی برای مدیریت پایدار منابع جنگلی محسوب می‌شوند (Zianis et al., 2005).

قطر و ارتفاع دو متغیر اصلی در برآورد حجم محسوب می‌شوند. این متغیرها علاوه بر اینکه به راحتی اندازه‌گیری می‌شوند، به عنوان مشخصه‌های معمول در برنامه‌های آماربرداری جنگل محاسبه می‌شوند. اما برای برآورد حجم تک‌درخت، علاوه بر اندازه‌های خود درخت متغیرهای دیگری همچون نسبت تاج به ارتفاع درخت^۱، درجه حاصلخیزی و دیگر متغیرهای محیطی نیز کاربرد دارند. اندازه‌گیری متغیرهای اضافی علاوه بر افزایش زمان، هزینه و دشواری‌های اندازه‌گیری حجم، ممکن است دقت محاسبات را نیز تحت شعاع قرار دهد؛ چنانکه برخی نتایج نشان از افزایش صحت محاسبات با ورود متغیر جدید داشت و در برخی تحقیقات، اضافه کردن متغیر جدید در افزایش صحت محاسبات در مدل‌های حجم مؤثر نبود (Laar & Akca, 2007). در این مطالعه تنها مدل‌هایی با تک متغیر (فقط قطر) و دو متغیر (قطر و ارتفاع) برای برآورد حجم بررسی شدند. از این مدل‌ها می‌توان در تهیه جدول‌های حجم محلی بهره برد. در این جدول‌ها، حجم براساس متغیرهای قطر و ارتفاع یا دیگر متغیرهای اضافی برآورد می‌شود. این جدول‌ها براساس تعداد عوامل دخیل به دو دسته جدول‌های حجم تک‌عامله و م چندعامله (دو و سه‌عامله) تقسیم می‌شوند (Laar & Akca, 2007).

با توجه به تغییرپذیری دقت برآورد حجم از گونه‌ای به گونه دیگر، امکان انتخاب رابطه‌ای قابل قبول برای همه گونه‌ها وجود ندارد. از این رو تحقیقات برای تعیین مدل‌های صحیح، انعطاف‌پذیر و معتبر در برآورد همچنان ادامه دارد (Shuaibu & Alao, 2016).

مروری بر پیشینه تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که توسعه مدل‌های حجم‌یابی در کشورهای مختلف برای گونه‌های چوبی مختلف سابقه طولانی

¹. Crown Ratio

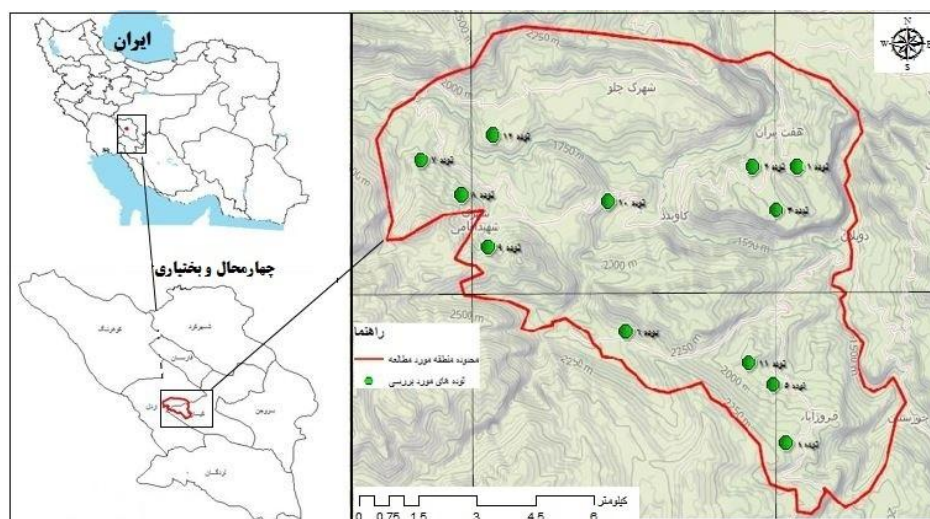
توده‌های مورد بررسی خالص و تا حد امکان همگن و همسال انتخاب شدند. محدوده کلی توده‌های جنگلی مورد مطالعه بین $31^{\circ}59'13''$ و $31^{\circ}50'43''$ عرض شمالی و $50^{\circ}18'36''$ و $50^{\circ}26'13''$ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع محدوده تحقیق ۱۵۰۰ و ۲۲۵۰ متر از سطح دریاست. میانگین بارندگی سالانه ۸۰۰-۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی منطقه از نظر ویژگی‌های آب‌وهوایی در منطقه اقلیمی آب و هوایی نیمه‌مرطوب قرار دارد (Jafari et al., 2015).

استاندارد است. نتایج این بررسی در توسعه مدل‌های رشد و محصول‌دهی توده‌های برودار و تعیین حجم با دقت پذیرفتنی برای طرح‌های مدیریتی کاربرد دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این تحقیق در توده‌های جست‌زاد برودار (*Quercus brantii*) موجود در جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس میانی واقع در استان چهارمحال و بختیاری و شهرستان اردل و کیار با شرایط اقلیمی مشابه و دست‌خوردگی کم‌ابیش یکسان انجام گرفت.



شکل ۱- نمایی از محدوده تحقیق

یک شبکه منظم تصادفی 100×100 متری استفاده شد. محل تقاطع اضلاع شبکه، محل نقطه نمونه در نظر گرفته شد. با توجه به وضعیت توده‌ها بین ۴ تا ۶ نقطه نمونه در هر توده پیاده شد. نزدیک‌ترین جست در هر جست‌گروه به هر نقطه نمونه معیار انتخاب جست برای قطع در نظر گرفته شد. برای پوشش تمام طبقات قطری و تکرار مناسب در هر طبقه، با توجه به حداقل و حداکثر قطر جست‌های اندازه‌گیری‌شده در طبقات قطری $2/5$ سانتی‌متری، ۱۹ درخت خارج از شبکه نیز به‌صورت انتخابی اندازه‌گیری و به مجموعه

شیوه اجرای پژوهش

برای تحلیل درست در برآورد حجم در توده‌های همسال جست‌زاد برودار، در ابتدا با جنگل‌گردشی‌های صورت‌گرفته براساس معیار تفاوت قطری، از بین ۳۰ توده بررسی‌شده، ۱۲ توده همسال انتخاب شد. برای تعیین معیار همسالی از مقایسه توزیع فراوانی در طبقات قطری برای هر توده با توزیع نرمال از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده شد. با توجه به یکنواختی شرایط توپوگرافی برای توده‌های انتخاب‌شده، در هر توده از

(جدول ۱). در انتخاب مدل‌های مناسب، داده‌ها به صورت تصادفی به دو مجموعه تقسیم شدند. ۷۰ درصد داده‌ها برای برازش مدل‌ها و ۳۰ درصد دیگر برای احراز اعتبار مدل‌های انتخاب‌شده، استفاده شد. از آنجا که داده‌های حجم با ناهمگنی واریانس مواجه‌اند، برای برآورد ضرایب مدل‌ها از رگرسیون وزنی خطی استفاده شد (به‌غیر از مدل‌های ۵، ۹ و ۱۰). برای وزن‌دهی مدل‌های تک‌متغیره از ضریب $1/D^2$ و برای مدل‌های دومتغیره از ضریب $1/(D^2H)^2$ استفاده شد (Meng & Tsai, 1986).

- برازش

پس از برازش مدل‌ها (جدول ۱)، آزمون معنی‌داری ضرایب انجام گرفت. ضرایب استفاده‌شده در ۱۹ مدل بررسی‌شده از لحاظ معنی‌داری با آزمون t تک‌نمونه‌ای در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شدند. مدل‌هایی که دارای ضرایب غیرمعنی‌دار یا ضرایب دارای مقدار ناچیز بودند، از فهرست مدل‌های بررسی‌شده حذف شدند. پس از انتخاب مدل‌های مناسب، هر یک از مدل‌های انتخاب‌شده با معیارهای جذر میانگین مربعات خطا^۲ (رابطه ۲)، و ضریب تبیین^۳ ارزیابی شدند. برای رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها بین معیارهای ارزیابی، میانگین‌گیری انجام گرفت و براساس ارزش میانگین‌ها، مدل‌ها رتبه‌بندی شدند. کارایی برازش مدل‌ها با رتبه نهایی اختصاص داده‌شده به میانگین معیارها تعیین شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه y_i مقدار واقعی \hat{y}_i مقدار پیش‌بینی، n تعداد مشاهده‌شده است.

داده‌ها اضافه شد. قبل از برش، تمام ابعاد درختان با روش‌های معمول هندسی و مثلثاتی اندازه‌گیری شد. سپس درختان از نزدیک‌ترین نقطه به خاک (يقه)، قطع شدند. در مجموع ۷۳ درخت اندازه‌گیری و قطع شد. پس از قطع، برای محاسبه حجم واقعی، جست‌های قطع‌شده از محل يقه به سمت انتهای درخت، با استفاده از روش اندازه‌گیری قطعه‌ای^۱ به بینه‌های ۱/۵-۰/۵ متری تا قطر ۵ سانتی‌متری تقسیم شدند. قطر دو انتهای هر قطعه (بینه) با استفاده از نوار قطرسنج با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس حجم هر بینه با استفاده از رابطه اسمالیان (رابطه ۱) محاسبه شد.

$$V = \frac{g_1 - g_2}{2} \times h \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه g_1 و g_2 سطح مقطع بزرگ و کوچک هر بینه به متر مربع و h طول بینه به متر و V حجم هر بینه به متر مکعب است. در نهایت مجموع حجم قطعات اندازه‌گیری‌شده به‌عنوان حجم واقعی در نظر گرفته شد (West, 2009).

- مدل‌سازی حجم

برای انتخاب مدل مناسب به منظور برآورد حجم تک‌درخت با صحت پذیرفتنی، مدل‌های مختلف پرکاربرد در محاسبه حجم با فرم تابعی تک‌متغیره $V=f(D)$ و دومتغیره $V=f(D,H)$ با توجه به بیشترین کاربرد در مطالعات برآورد حجم قبلی (Spurr, 1952; Loetsch et al., 1973; Clutter et al., 1983; Bi & Hamilton, 1998; Laar & Akca, 2007) انتخاب شدند. در توده‌های جست‌زاد زاگرس به‌علت شکل اغلب نامتقارن ساقه در جست‌گروه‌ها، اندازه‌گیری قطر برابرسینه با محدودیت‌هایی همراه است، از این‌رو از قطر در محل يقه (محل خروج ساقه از خاک) که اغلب در درختزارها و جنگل‌های جست‌زاد کاربرد دارد (Bruckman et al., 2011) استفاده شد. بنابراین در این تحقیق، D قطر يقه و H ارتفاع درخت است

¹. Sectional measurement

². RMSE

³. R^2

جدول ۱- مدل‌های برآورد حجم به کار گرفته شده در این تحقیق

شماره	مدل	منبع	نوع
۱	$V = b_0 + b_1 D^2$		
۲	$V = b_0 + b_1 D + b_2 D^2$		
۳	$\ln(V) = b_0 + b_1 D$	Laar & Akca (2007)	یک متغیره
۴	$\ln(V) = b_0 + b_1 \ln(D)$		
۵	$V = b_1 D^{b_2}$	Loetsch <i>et al</i> (1973)	
۶	$V = b_1 D^2 H$		
۷	$V = b_0 + b_1 D^2 H$	Spurr (1952)	
۸	$V = b_0 + b_1 D^2 + b_2 H + b_3 D^2 H$		
۹	$V = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$		
۱۰	$V = b_0 + b_1 D^{b_2} H^{b_3}$	Clutter <i>et al</i> (1983)	
۱۱	$V = D^2 / (b_0 + b_1 H^{-1})$		
۱۲	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^3 H$		دو متغیره
۱۳	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^3 H + b_3 D$		
۱۴	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^2 H^2$	Bi & Hamilton (1998)	
۱۵	$V = b_1 D^2 H + b_2 D^2 H^2$		
۱۶	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^2 H^2 + b_3 H$		
۱۷	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^3 H + b_3 D^2 H^2$		
۱۸	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^3 H + b_3 D^2 H^2 + b_4 D$		
۱۹	$V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D^3 H + b_3 D^2 H^2 + b_4 H$		

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \bar{y}}{n} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - p - 1}} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این روابط y_i مقدار واقعی و \bar{y} مقدار پیش‌بینی، n تعداد مشاهده شده و p تعداد ضرایب مدل است.

برای اطمینان از رتبه‌بندی مدل‌های انتخاب شده از رگرسیون خطی بین مقدار برآوردی و مقدار واقعی برای هر مدل استفاده شد. همچنین برای تعیین تفاوت معنی‌داری برآورد بین مدل‌هایی که نتایج نزدیک به هم دارند از آزمون t مستقل استفاده شد.

اعتبارسنجی مدل‌ها

پس از انتخاب مدل‌های مناسب برای احراز کارایی این مدل‌ها از داده‌های مستقل اختصاص داده شده برای اعتبارسنجی استفاده شد (Huang *et al.*, 2003). معیار رتبه‌بندی مدل‌ها در این مرحله اریبی^۱ (رابطه ۳) و معیار خطای استاندارد باقیمانده‌ها^۲ (رابطه ۴) بود (Trincado *et al.*, 1996). کلیه تحلیل‌های انجام گرفته در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2013، برای محاسبات اولیه، Data fit 7 برای برازش مدل‌ها و SPSS 17 برای آزمون معنی‌داری استفاده شد.

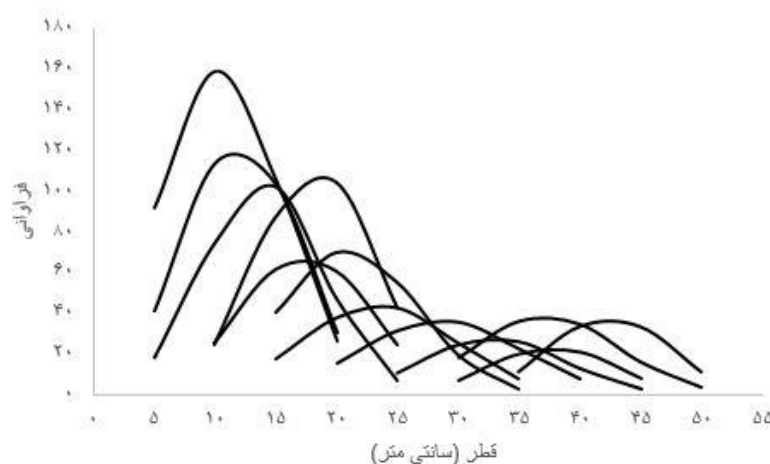
^۱. Bias

^۲. Standard Error of Estimate

نتایج

خروجی اطلاعات توصیفی حاصل از داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج آزمون نرمال بودن توزیع فراوانی برای

همه توده‌ها نشان از توزیع نرمال پراکنش تعداد در طبقات قطری برای توده‌های بررسی شده داشت. شکل ۲ نمونه‌هایی از منحنی‌های توزیع نرمال توده‌های انتخاب شده است.



شکل ۲- منحنی توزیع نرمال توده‌های بررسی شده

جدول ۲- اطلاعات توصیفی داده‌های مورد استفاده

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
قطر (سانتی‌متر)	۵/۷۰	۴۶/۳۰	۲۲/۲۴	۱۱/۳۰	۰/۴۰	-۰/۹۱
ارتفاع (متر)	۳/۸۰	۹/۱۳	۶/۴۳	۱/۷۲	۰/۰۹۳	-۱/۴۱
حجم (متر مکعب)	۰/۰۱	۰/۸۳	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۹۸	-۰/۲۸

نتایج حاصل از معنی‌داری ضرایب ۱۹ مدل مورد بررسی نشان‌دهنده آن است که فقط ۹ مدل دارای ضریب معنی‌دارند که سه مدل تک‌متغیره و شش مدل دومتغیره را شامل می‌شوند (جدول ۳).

نتایج برازش این ۹ مدل (جدول ۴) نشان می‌دهد که در بین مدل‌های تک‌متغیره مدل ۵ با کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار R^2 و در بین مدل‌های دومتغیره مدل‌های ۱۸ و ۱۳ به ترتیب دارای کمترین مقدار RMSE و بیشترین میزان R^2 هستند، در مجموع بیشترین کارایی (که با میانگین‌گیری از

رتبه‌های اختصاص داده‌شده به معیارها و رتبه‌بندی میانگین‌ها تعیین می‌شود) مربوط به مدل ۱۸ است. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های انتخاب‌شده با معیارهای اریبی و خطای استاندارد برآورد نشان داد که مدل‌های ۱۸، ۱۳ و ۷ به ترتیب کمترین اریبی و خطای استاندارد برآورد را داشتند. در بین مدل‌های تک‌متغیره مدل ۵ کمترین اریبی را به خود اختصاص داد. در مجموع نتایج نشان‌دهنده رتبه یکسان مدل‌های ۱۸ و ۱۳ بود (جدول ۵).

جدول ۳- نتایج معنی داری مدل‌ها با آزمون t

مدل	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
۱	۰/۰۵۱	*۰			
۲	۰/۶۱	۰/۸۶	*۰		
۳	*۰	*۰			
۴	*۰	*۰			
۵	*۰	*۰			
۶		*۰			
۷	*۰/۰۱۳	*۰			
۸	۰/۷۶۲	*۰/۰۲۷	۰/۸۸۴	۰/۸۳۳	
۹	۰/۰۵۵	*۰	۰/۱۹		
۱۰	۰/۳۳۷	۰/۱۸۳	*۰	۰/۳۶۹	
۱۱	*۰	/۱۱۲			
۱۲	۰/۵۱	*۰	*۰		
۱۳	*۰/۰۱۸	*۰	*۰	*۰/۰۱۲	
۱۴	۰/۲۹۸	*۰	*۰		
۱۵	*۰	*۰			
۱۶	۰/۳۸۲	*۰	*۰/۰۰۱	۰/۲۴۳	
۱۷	۰/۴۶۰	*۰/۰۰۳	۰/۱۸۸	۰/۷۲۴	
۱۸	*۰/۰۲۰	*۰/۰	*۰/۰۳۳	*۰/۰۴۲	*۰/۰۰۸
۱۹	*۰/۰۲۲	*۰/۰	*۰/۰۱۰	۰/۷۱۷	*۰/۰۱۳

*ضرایب معنی دار در سطح ۹۵ درصد

جدول ۴- نتایج برازش مدل‌های انتخاب شده

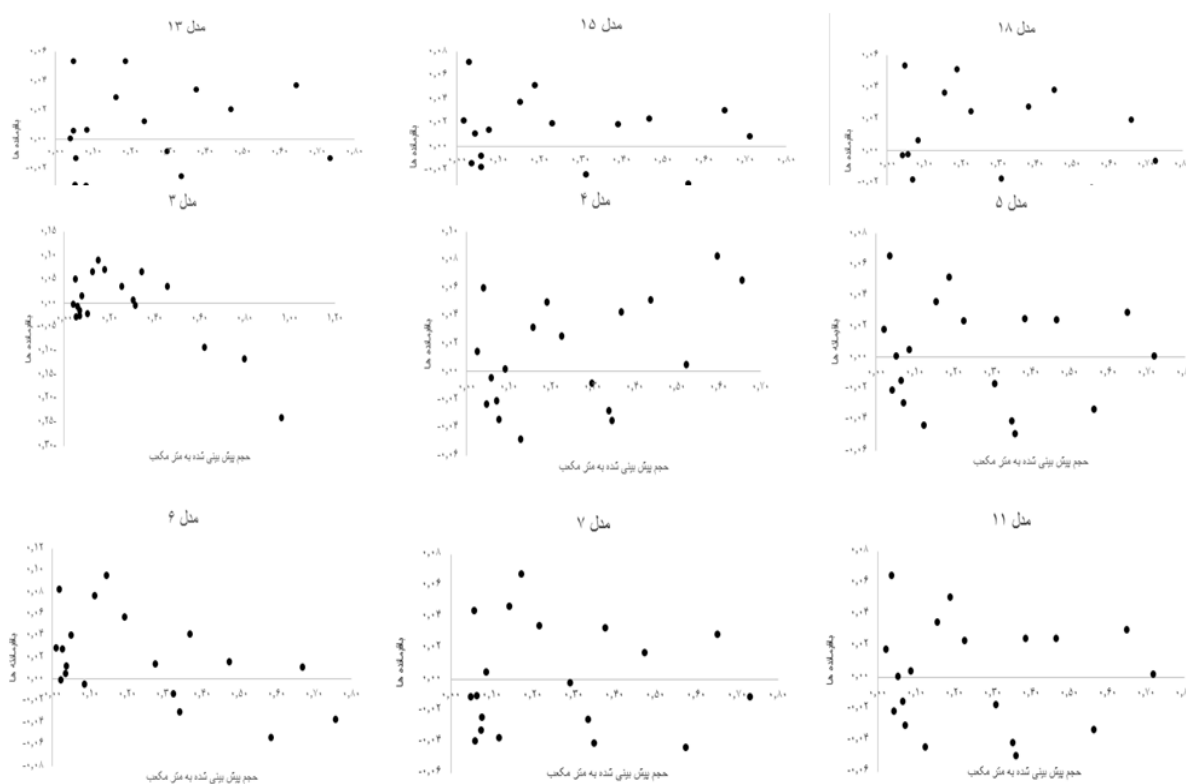
مدل	RMSE	رتبه	R ²	رتبه	رتبه کلی
۳	۰/۱۷۹	۹	۰/۹۱۹	۸	۹
۴	۰/۰۴۳	۶	۰/۹۶۱	۷	۷
۵	۰/۰۴۱	۵	۰/۹۷۳	۴	۵
۶	۰/۰۴۷	۸	۰/۹۶۵	۶	۸
۷	۰/۰۴۴	۷	۰/۹۶۹	۵	۶
۱۱	۰/۰۴۰	۴	۰/۹۷۴	۳	۴
۱۳	۰/۰۳۶	۲	۰/۹۷۹	۱	۲
۱۵	۰/۰۳۹	۳	۰/۹۷۵	۲	۳
۱۸	۰/۰۳۵	۱	۰/۹۷۹	۱	۱

جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی مدل‌های انتخاب‌شده

مدل	Bias	رتبه	SEE	رتبه	رتبه کلی
۳	-۰/۰۰۷۴۲	۷	۰/۰۰۹۲	۶	۶
۴	۰/۰۱۵۵	۸	۰/۰۰۲۵	۵	۵
۵	۰/۰۰۱۸	۵	۰/۰۰۱۲	۱	۳
۶	۰/۰۱۹۷	۹	۰/۰۰۲۱	۴	۶
۷	$۴/۵۸ \times ۱۰^{-۱۳}$	۳	۰/۰۰۱۳	۲	۲
۱۱	۰/۰۰۱۳	۴	۰/۰۰۱۲	۱	۲
۱۳	$-۱/۴ \times ۱۰^{-۱۳}$	۲	۰/۰۰۱۳	۲	۱
۱۵	۰/۰۰۴۰	۶	۰/۰۰۱۳	۲	۴
۱۸	$-۷/۱۲ \times ۱۰^{-۱۷}$	۱	۰/۰۰۱۴	۳	۱

اعتبارسنجی نشان داد که مدل‌های ۳ و ۴ برآوردی اریب دارند.

نتایج بررسی مقدار باقی‌مانده در مقابل حجم پیش‌بینی‌شده (شکل ۳) برای داده‌های مستقل



شکل ۳- ابرنقاط پراکنش مقدار باقی‌مانده‌ها در مقابل حجم پیش‌بینی‌شده با استفاده از داده‌های مستقل اعتبارسنجی

می‌توان در مورد خطای برآورد دو مدل ۱۳ و ۱۸ در قطرهای مختلف نتیجه گرفت که مدل ۱۸ در برآورد قطرهای زیاد اریبی کمتری دارد. نتایج رابطه خطی رگرسیونی بین مقدار واقعی و برآوردی نشان‌دهنده بیشترین مقدار R^2 با مقدار ۰/۹۷۹ مربوط به مدل‌های ۱۳ و ۱۸ بود (جدول ۶). همچنین آزمون t مستقل استفاده شده بین مدل‌های ۱۳ و ۱۸ نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار ($sig=0/99$) در سطح احتمال ۹۵ درصد در برآورد این دو مدل بود.

در مدل ۳ تبدیل لگاریتمی فقط در مورد حجم صورت گرفت که نتایج با اریبی کم برآورد در قطرهای زیاد از خود نشان داد. این در حالی است که در مدل ۴ هم از قطر و هم حجم، تبدیل لگاریتمی گرفته شده است، که نتایج با اریبی بیش برآوردی را در قطرهای زیاد نشان داد. در بین مدل‌های دومتغیری مدل ۶ نیز برآورد اریب دارد؛ بنابراین این سه مدل برای برآورد حجم برودار مناسب نیستند. در بین دیگر مدل‌ها اگرچه روند خاصی مشاهده نشد،

جدول ۶- نتایج رگرسیون خطی بین مقدار حجم پیش‌بینی و واقعی

مدل	R^2	مدل	R^2	مدل	R^2
۳	۰/۹۲۵	۶	۰/۹۶۹	۱۳	۰/۹۷۹
۴	۰/۷۵۶	۷	۰/۹۶۹	۱۵	۰/۹۷۵
۵	۰/۹۷۳	۱۱	۰/۹۷۴	۱۸	۰/۹۷۹

تفاوت باشد (Gregoire & Schabenberger, 1996). در مجموع مدل‌های تک‌متغیره نسبت به دیگر مدل‌های دومتغیره کارایی کمتری (رتبه بیشتر) نشان دادند. این نتایج با برخی مطالعات دیگر (Yousefpour et al., 2012) همخوانی دارد. در مورد مدل‌های ۱۳ و ۱۸ نتایج رتبه‌بندی نشان‌دهنده نبود تفاوت بین این دو مدل در بررسی معیارهای مختلف بود. نتایج رگرسیون خطی بین مقدار پیش‌بینی و برآوردی و آزمون t مستقل نیز نتایج رتبه‌بندی را تأیید می‌کند. بنابراین در استفاده از این دو مدل تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما با توجه به نتایج برآورد در قطرهای بیشتر، مدل ۱۸ اریبی کمتری دارد؛ در نتیجه اگرچه تفاوت معنی‌داری در برآورد مشاهده نشد، برای قطرهای بیشتر، بهتر است از مدل ۱۸ استفاده شود.

یکی از مفروضات روابط رگرسیونی همگنی واریانس باقی‌مانده‌هاست (Mauya et al., 2014). ساختار خطا در برآورد حجم به دلیل یکسان نبودن دقت اندازه‌گیری‌ها همگن نیست و ناهمگنی

بحث

تعیین مدل‌های حجمی مناسب با کمترین اریبی و بیشترین دقت از گام‌های مهم در شناخت وضعیت توده و برنامه‌ریزی برای حال و آینده آن است. شناخت پتانسیل تولید توده‌های جنگلی زاگرس می‌تواند راهنمایی برای تنظیم تعادل این توده‌ها با همکاری جوامع محلی، به جای اعمال سیاست‌های صرف حفاظتی و حمایتی باشد.

مدل‌های استفاده شده در این پژوهش عملکردی نزدیک به هم داشتند و از نظر اریبی و صحت برآورد اختلاف زیادی بین آنها مشاهده نشد که در برخی بررسی‌ها (Tewari & Kishan Kumar, 2001 ; Shuaibu & Alao, 2016) نیز نتایجی نزدیک به هم در برآورد حجم بین مدل‌های مختلف به دست آمد. وجود نتایج نزدیک مدل‌های انتخاب شده مربوط به شرایط توده‌های مورد بررسی است. این نتایج در شرایط توده‌های ناهمسال با دست‌خوردگی زیاد یا با تغییر در تراکم یا شرایط اکولوژیکی توده به علت تأثیری که بر فرم تنه و حجم می‌گذارند ممکن است

بیشترین همگنی وجود داشته باشد. از این‌رو در تهیه جدول حجم تک‌عامله با مدل توانی تک‌متغیره برای توده‌های تخریب‌شده یا با ناهمگنی زیاد و توده‌های ناهمسال باید محتاط بود.

دخیل کردن متغیرهای دیگری همچون سن، درصد تاج‌پوشش، نسبت تاج و سطح مقطع در ساخت مدل‌های برآورد حجم تک‌درخت برودار قابل بررسی است. استفاده از روش‌های دورسنجی (داده‌های لیزر و لیدار) در تهیه جدول‌های حجم هوایی، پیشنهاد جایگزین مناسبی برای روش‌های مستقیم تهیه جدول‌های حجم خواهد بود. پیشنهاد می‌شود رویشگاه‌های مختلف برودار از نظر کیفیت رویشگاه (توان تولید یا درجه حاصلخیزی) کلاسه‌بندی و برای هر رویشگاه مدل مناسب پیشنهاد شود.

سپاسگزاری

از مساعدت همکار گرامی آقای ایمان ظفریان و کارکنان محترم سرچنگل‌بانی مشایخ که در عملیات صحرایی و جمع‌آوری داده‌های این تحقیق کمک شایانی کردند تقدیر و تشکر می‌شود.

واریانس‌ها سبب ایجاد اریبی در محاسبه مدل‌های حجمی می‌شود. بنابراین برای کاهش اریبی روابط رگرسیونی برآورد حجم از رگرسیون حداقل مربعات وزنی به عنوان روشی رایج برای کاهش ناهمگنی واریانس‌ها استفاده می‌شود (Meng & Tsai, 1986).

در مورد مدل‌های تک‌متغیره بین سه مدل بررسی شده فقط مدل توانی نتایج رضایت‌بخشی را از نظر اریبی و همچنین خطای استاندارد برآورد نشان داد. نتایج این پژوهش عملکرد مناسب این مدل را در برآورد نسبت به برخی از مدل‌های دو متغیره نشان داد، اما در استفاده از مدل‌های تک‌متغیره برای تهیه جدول‌های حجم تک‌عامله باید به این نکته توجه کرد که استفاده از آنها در شرایط محلی محدودیت‌هایی دارد. از آنجا که درختان در طبقات قطری مختلف به‌ویژه در توده‌های متفاوت ممکن است ارتفاع و شکل مختلفی داشته باشند، استفاده از جدول‌های حجم تک‌عامله ممکن است سبب ایجاد اریبی شود. بنابراین بیشتر جدول‌های حجم از این دست به دامنه کوچکی از قطرها و به توده خاص و سن خاص محدود می‌شوند (Philip, 1994). به این دلیل، در توده‌های مورد بررسی سعی شد کمترین دست‌خوردگی و

References

- Akindele, S.O., & Lemay, V.M. (2005). Development of tree volume equations for common timber species in tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology & Management*, 226, 41-48.
- Bi, H., & Hamilton, F. (1998). Stem volume equations for native tree species in southern New South Wales and Victoria. *Australian Forestry*, 61(4), 275-286.
- Bruckman, V.J., Yan, S., Hochbichler, E., & Glatzel, G. (2011). Carbon pool and temporal dynamics along a rotation period in *Quercus* dominated high forest and coppice with standards stands. *Forest Ecology and Management*, 262, 1853-1862.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H., & Bailey, R.L. (1983). *Timber management: A quantitative approach*. New York: John Wiley and Sons.
- Gregoire, T.G., & Schabenberger, O. (1996). A nonlinear mixed-effects model to predict cumulative bole volume of standing trees. *Journal of Applied Statistics*, 23, 257-271.
- Henry, M., Picard, N., Trotta, C., Manlay, R.J., 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, 477-569.

- Huang, S., Yang, Y., & Wang, Y. (2003). A critical look at procedures for validating growth and yield models. In A. Amaro, D. Reed, & P. Soares (Eds.), *Modeling forest systems*, Ed CAB International, (pp. 271–293) Wallingford, Oxford shire, UK.
- Jafari, A., Arman, Z., Soltani, A., & Lotfi, A. (2014). Developing a pattern for ecological monitoring in central Zagros forests (Case Study, Helen Protected Forest). *Journal of Environmental Studies*, 41(1), 179-191.
- Laar, A.V., & Akça, A. (2007). *Forest mensuration*, Dordrecht, the Netherlands, Springer.
- Loetsch, F., Zohrer, F., & Haller, K.E. (1973). *Forest Inventory*, Vol. II. BLV Verlagsge-sellschaft, Munchen, Germany.
- Maliro, T.K., Lokombe Dimandja, J.P., & Picard, N. (2010). Volume equations and biomass estimates for three species in tropical moist forest in the Orientale province. *Southern Forests*, 72(3/4), 141-146.
- Masota, A.M., Zahabu, E., Malimbwi, R.E., Bollandasås, O.M., & Eid, T.H. (2014). Volume models for single trees in tropical rainforests in Tanzania. *Journal of Energy and Natural Resources*, 3(5), 66–76, 2014.
- Mauya, W.A., Zahabu, E., Bollandasås, O.M., & Eid, T. (2014). Models for estimation of tree volume in the miombo woodlands of Tanzania. *Southern Forests*, 67(4), 209–219.
- Meng, C.H., & Tsai, W.Y. (1986). Selections of weights for a weighted regression of tree volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 16, 671-673.
- Philip, M.S. (1994). *Measuring tree and forests*, 2nd Edit. CAB International: Wallingford, UK.
- Rosta, M., Tord, J., & Almeida, S. (2015). Stem Volume Equations for Valuable Timber Species in Mozambique. *Journal of Sustainable Forestry*, 34, 787-806.
- Shuaibu, R.B., & Alao J.S. (2016). Multiple Linear Regression Tree Stem Volume Equations for the Estimation of Merchantable Volume of *Azadirachta Indica* (Neem Tree) in North-West Region of Nigeria. *International Journal of Forestry and Horticulture*, 2 (1), 1-10.
- Snorrason, A., & Einarsson, S.F. (2006). Single Tree Biomass-and Stem Volume Functions for Eleven Tree Species Used in Icelandic Forestry. *Agricultural. Sciences*, 19, 15–24.
- Spurr, S.H. (1952). *Forest Inventory*. New York, Ronald Press.
- Teshome, T. (2005). Analysis of individual tree volume equations for *Cupressus lusitanica* Munessa forest, Ethiopia. *South African Forestry Journal*, 203, 72-31.
- Tewari, V.P., & Kumar, V.S.K. (2001). Construction and validation of tree volume functions for *Dalbergia sissoo* grown under irrigated conditions in the hot desert of India. *Journal of Tropical Forest Science*, 13, 503-511.
- Trincado, G., Gadow, K.V., & Tewari, V.P. (1996). Comparison of three stem profile equations for *Quercus robur* L. *South African Forestry Journal*, 177, 23-29.
- West, P.W. (2009). *Tree and Forest Measurement 2nd Edition*. New York: Springer.
- Yousefpour, M., Fadaie Khoshkebijary, F., Fallah, A., & Naghavi, F. (2012). Volume equation and volume table of *pinus pinaster* Ait. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 3 (5), 1072-1076.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., & Mencuccini, M. (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs*, 4, 1–63.
- Zobeiry, M. (2005). *Forest Inventory (measurement of tree & forest)*. Tehran: Academic Press Inc.



**Single tree volume modeling for even age Persian oak (*Quercus brantii*)
coppice in Central Zagros
(Case study: Chaharmahal VA Bakhtiari province, Ardal and Kiar district)**

H. Sadeghi Kaji^{1*}, and A. Soltani²

¹Ph.D. student, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord ,I. R. Iran

²Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord ,I. R. Iran

(Received: 10 March 2017, Accepted: 16 August 2017)

Abstract

The idea of this research is to select the appropriate model for the rapid estimation of volume in even-aged Persian oak coppice stands. For this purpose, 19 widely used univariate and bivariate models were used in volume estimation. Initially, actual volume data from 73 cut trees in different diameter classes in 12 forests of Ardal and Kiar cities were divided into two sets of 70% for modeling and 30% for validation. Then, the coefficients of the selected models were calculated using the weighted least squares method. Models with significant coefficients were ranked by the root mean square error and R-squared. Of the 19 models, nine models were selected. The fitting results of the selected models showed that the least amount of root mean square error (0.035) was related to the five-parameter model and the highest amount of R² (0.979) was related to the four and five-parameter models. The results of validation showed that among the bivariate models, the four and five parameter models and among the univariate models, the power model were the most efficient. The obtained results can be used in growth and yield models, preparation of Tarif and standard volume tables.

Keywords: Bias, Persian oak, Yield table, Weighted linear regressions, Volume modeling, Coppice forest.