

استفاده از روابط آلومتریک برای تعیین زی توده گونه تاغ (*Haloxylon ammodendron* C.A.May)

۱- ندا همتی، دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۲- بهمن کیانی، استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

bnkiani@yazd.ac.ir

۳- اصغر مصلح آرانی، دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۶

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۷

چکیده

برآورد زی توده درختان جنگلی برای اهداف کاربردی و پژوهشی مورد توجه است. هدف این پژوهش، بررسی روابط آلومتریک برای تعیین زی توده درختچه‌های تاغ در دشت یزد- اردکان است. به این منظور ۲۰ درختچه برای قطع به صورت تصادفی انتخاب شد. ابتدا مشخصات درختچه‌ها از قبیل نماینده قطر یقه، ارتفاع، تعداد ساقه، قطر تاج و مساحت تاج اندازه‌گیری و سپس گیاهان قطع شدند. اجزای مختلف درختچه‌ها شامل تنه و شاخه تفکیک و توزین شد. برای تعیین نسبت وزن خشک به وزن تر، دیسک‌هایی از قسمت‌های مختلف تنه گرفته و به آزمایشگاه منتقل شد. با استفاده از این نسبت، وزن خشک تنه و سرشاخه و در نهایت زی توده بالای زمین محاسبه شد. تحلیل رگرسیون برای پیش‌بینی زی توده درختچه‌ها بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده در عرصه انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه قوی و معنی‌داری بین زی توده درختچه‌های تاغ و نماینده قطر یقه وجود دارد. هیچ‌کدام از مدل‌های مبتنی بر تعداد ساقه معنی‌دار نبودند. بهترین روابط بین وزن خشک تنه با نماینده قطر یقه ($R^2=0/82$)، وزن خشک شاخه با مساحت تاج ($R^2=0/75$) و وزن خشک کل (زی توده بالای زمین) با نماینده قطر یقه ($R^2=0/84$) وجود داشت. مدل‌های مبتنی بر ارتفاع و قطر تاج نیز مدل‌های نسبتاً مناسبی بوده و توانستند ۷۰-۶۰ درصد تغییرات زی توده را پیش‌بینی کنند. در مجموع می‌توان گفت متغیر نماینده قطر یقه پیش‌بینی کننده بسیار خوبی برای زی توده در جنگل‌کاری‌های تاغ است. همچنین مدل‌های ویژه سن، مشروط بر کافی بودن تعداد نمونه، برآورد بهتری از زی توده گونه تاغ با خطای کمتر نسبت به مدل‌های کلی ارائه می‌دهند.

واژگان کلیدی: جنگل‌کاری؛ زی توده؛ مدل‌سازی؛ مشخصات سرپا؛ مناطق خشک، یزد.

مقدمه

جنگل‌ها نقش مهمی در مدیریت اثر تغییر اقلیم و چرخه کربن در سطح جهان ایفا می‌کنند. بهره‌وری یک اکوسیستم جنگلی با ارزیابی زی توده آن مشخص می‌شود. برآورد زی توده برای کمی نمودن این بهره‌وری در جنگل‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه کربن، بسیار مهم است. اهمیت مطالعه زی توده جنگل از آنجا ناشی می‌شود که میزان آن بیانگر توان تولید در واحد سطح و یا زمان است. برآورد زی توده برای تشخیص ساختار جنگل نیز مهم بوده و به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی رویشگاه از نظر بیولوژیکی و اقتصادی در نظر گرفته می‌شود [۹]. زی توده بالای سطح زمین یک جزء مهم از چرخه کربن در اکوسیستم‌های جنگلی است که ترسیب

کربن کوتاه مدت و بلندمدت را میسر می‌کند. روشی که اغلب برای تعیین زی توده استفاده می‌شود، استفاده از روابط آلومتریک است [۳۱]. به طور معمول، زی توده یک درخت به شکل یک معادله بر اساس بعضی متغیرها مانند قطر برابر سینه یا ارتفاع که به راحتی قابل اندازه‌گیری هستند، پیش‌بینی می‌شود. معادلات آلومتری گوناگونی برای کاربرد در انواع جنگل‌ها و مناطق جغرافیایی توسعه یافته‌اند که در معادلات اولیه، قطر برابر سینه به عنوان تنها متغیر به کار گرفته شده است [۴]. در ادامه ارتفاع درخت به عنوان متغیر دوم برای بهبود دقت برآوردهای زی توده با قطر برابر سینه ترکیب شد. بدون شک، توزین درختان در عرصه برای اندازه‌گیری زی توده از دقیق‌ترین روش‌ها است،

در بیابان‌ها کاشته می‌شود. با توجه به این که برای جوان‌سازی توده‌ها قطع پایه‌ها ضروری است و از طرفی چوب این گونه ارزش و اهمیت زیادی دارد، همچنین با در نظر گرفتن توانمندی جنگلکاری‌های این گونه در ترسیب کربن در مناطق صنعتی، محاسبه زی‌توده این گونه حائز اهمیت است. از طرفی این گونه با وجود اهمیت حیاتی در اکوسیستم مناطق خشک و بیابانی ایران، به ندرت از نظر برآورد زی‌توده هوایی مورد توجه قرار گرفته است. هدف از تحقیق حاضر، تعیین معادلات آلومتریک است که با کمک آن‌ها بتوان بر اساس متغیرهایی مانند قطر تاج و غیره که اندازه‌گیری آن‌ها آسان، غیرمخرب، کم‌هزینه و سریع است، زی‌توده بالای زمین و زی‌توده اجزای مختلف گونه تاغ را در واحد تک‌درخت برآورد کرد. در این راستا، مدل‌های مختلف رگرسیونی و متغیرهای مختلف درختچه‌ها در حالت سرپا برای حضور در معادلات آلومتریک مورد بررسی قرار گرفته و بهترین آن‌ها معرفی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

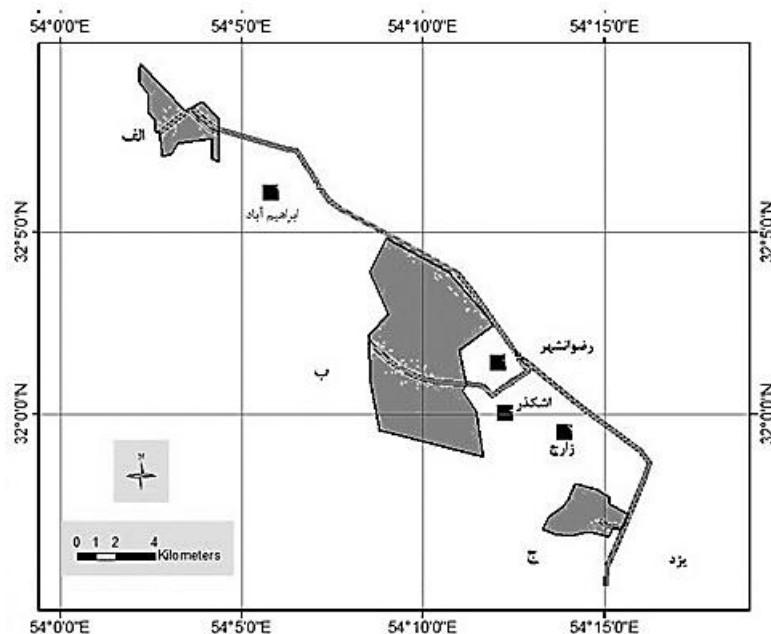
منطقه مورد مطالعه

مناطق که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت شامل سه قطعه جنگل کاری با سن‌های مختلف در دشت یزد - اردکان شامل کمربندی میبد، ایستگاه علی‌آباد و ایستگاه گرد فرامرز است (شکل ۱). اولین نهال کاری تاغ در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۴۹ انجام شده و تا ۱۳۷۰ ادامه یافته است [۱۳]. روش اجرای طرح اولیه، احداث جنگل‌های دست‌کاشت با نهال‌های گلدانی در ردیف‌های مشخص بوده که فاصله ردیف‌ها حدود ۳۰ متر و بعضاً کمتر است. میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه ۶۴ میلی‌متر در سال و متوسط درجه حرارت سالانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد است [۱۳]. خاک از نوع تیپ خاک‌های بیابانی قهوه‌ای کمرنگ، روشن آبیاری شده و یا سروریم روشن است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن بسط یافته، فراخشک سرد است. گونه کاشته شده سیاه تاغ *Haloxyylon ammodenderon* C.A.Mey است که به صورت خالص کاشته شده و آبیاری آن در سال‌های نخست به صورت دستی و با استفاده از آب چاه انجام شده و به مرور زمان به حال خود رها شده است [۱۳].

ولی این کار مستلزم صرف هزینه‌های زیاد و استفاده از روش‌های تخریبی است. از طرفی این روش بیشتر برای درختان کوچک‌تر و مناطقی با سطوح محدود و کوچک مناسب است. بنابراین، تلاش می‌شود تا با استفاده از روابط آلومتریک و بسط آن‌ها در موارد مشابه، از قطع درختان جلوگیری شود [۱۲].

از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه تعیین معادلات آلومتریک زی‌توده و اندوخته کربن بذر بلوط (*Quercus brantii*) در دو شکل تک‌پایه و جست‌گروه است که در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. در این تحقیق متغیر قطر متوسط تاج در درختان تک‌پایه و ارتفاع کل جست‌گروه، تأثیرگذارترین متغیر بر زی‌توده برگ و ذخیره کربن بذر شناخته شده است [۱۴]. نتایج مدل‌سازی زی‌توده تنه گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) با استفاده از معادلات آلومتریک در جنگل‌های هیرکانی، نشان داد که از میان مدل‌های مختلف، ترکیب قطر برابر سینه و ارتفاع تنه به‌عنوان متغیر مستقل، بهترین مدل آلومتریک را ارائه می‌دهند [۲۹]. در برخی مطالعات نیز از روابط آلومتریک استفاده و بهترین همبستگی و مناسب‌ترین مدل برای بخش‌های مختلف درخت ارائه شده است [۲ و ۲۴]. نتایج مطالعات در جنگل‌های مناطق حاره نیز نشان می‌دهد که معادلات ویژه سن معین، نسبت به مدل‌های کلی، سبب بهبود برآورد زی‌توده جنگل می‌شوند [۹ و ۱۰]. در خصوص برآورد زی‌توده گونه تاغ مطالعات کمی صورت گرفته از جمله در تحقیقی با استفاده از تصاویر لندست تلاش شد تا زی‌توده این گونه در منطقه بیرجند با استفاده از شاخص‌های تصویر برآورد شود که مقادیر ضریب تعیین حداکثر ۰/۶۶ بود [۲۶]. اما اغلب پژوهش‌ها با تمرکز بر محاسبه توان ترسیب کربن در اندام‌ها و خاک تاغزارها، به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن در ساقه تاغ بیش از دیگر اندام‌ها بوده و همچنین میزان ترسیب کربن در خاک زیر تاج، بیش از مناطق اطراف آن است [۲۵ و ۳۲].

درختچه تاغ (*Haloxyylon ammodenderon* C.A.Mey) گونه بسیار مهمی در تثبیت ماسه‌های روان است که از سالیان دور در مناطق مرکزی و شرقی کشور،



شکل ۱- موقعیت عرصه‌های نمونه‌برداری شامل کمربندی میبد (الف)، ایستگاه علی‌آباد (ب) و کمربندی یزد، ایستگاه گرد فرامرز (ج)

روش تحقیق

نخست بازدیدی از جنگل کاری‌های تاغ در مناطق غربی شهر یزد، زارچ و اشکذر که عمده‌ی تاغ‌کاری‌های استان در آن‌ها انجام شده است صورت گرفت. سه توده برای مطالعه انتخاب و نمونه‌برداری به روش ترانسکت ممتد برای تعیین وضعیت پایه‌ها از نظر ابعاد تاج و قطر ساقه‌ها انجام شد. در توده‌های سه‌گانه به ترتیب ۱۰، ۵ و ۵ درختچه با توجه به محدودیت‌های موجود در قطع درختان و شرایط منطقه انتخاب شد. تلاش شد تا در هر منطقه کاشت با سن معین، درختچه‌ها به نحوی انتخاب شوند که تنوع ابعاد وجود داشته باشد و همچنین کمینه و بیشینه متغیرهای مستقل را شامل شود. مشخصات سرپای ۲۰ درختچه انتخاب‌شده، شامل ارتفاع با شاخص مدرج تا دقت سانتی‌متر، قطر تاج با متر نواری تا دقت سانتی‌متر، قطر یقه تمام ساقه‌های قطورتر از یک سانتی‌متر تا دقت میلی‌متر و همچنین تعداد ساقه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. در مرحله بعد تمامی اندام‌های هوایی قطع و جداسازی برگ‌ها و شاخه‌ها از تنه انجام شد. اندام‌های گیاهی با ترازوی دیجیتال تا دقت ۰/۰۱ گرم توزین شده و نمونه‌هایی به‌منظور خشک‌کردن و تعیین نسبت وزن خشک به وزن تر برداشت شد.

نمونه‌های تنه، شاخه و برگ به آزمایشگاه منتقل شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای 80°C داخل آون قرا گرفتند [۲۱]. پس از گذشت این مدت زمان، با ترازوی دیجیتالی توزین نمونه‌ها انجام شد. از نسبت وزن خشک نمونه‌ها به وزن تر آن‌ها که قبل از قرار گرفتن در آون اندازه‌گیری شده بود یک ضریب تبدیل به دست آمد. این ضریب برای تعیین وزن خشک اجزای درختچه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و در آخر از مجموع زی‌توده اجزاء، زی‌توده کل محاسبه شد.

برای بررسی شکل رابطه بین متغیرهای وابسته (شامل وزن تر و خشک تنه، وزن تر و خشک شاخه و وزن تر و خشک کل) با متغیرهای مستقل (شامل تعداد ساقه، قطر تاج، نماینده قطر یقه، ارتفاع و مساحت تاج) و همچنین به منظور انتخاب متغیرهای مناسب جهت تحلیل رگرسیون و نیز کنترل نقاط پرت در صورت نرمال بودن، ضمن رسم نمودار پراکنش نقاط از آزمون پیرسون و در صورت نرمال نبودن از آزمون اسپیرمن استفاده شد. تحلیل رگرسیون خطی از نوع تک‌متغیره بین وزن خشک اندام‌ها و همچنین زی‌توده هوایی درخت با مشخصات کمی شامل سطح تاج، ارتفاع، نماینده قطر یقه و تعداد جست انجام شد. سایر پیش‌فرض‌های تحلیل رگرسیون از جمله نرمال

دهنده دقت مناسب مدل خواهد بود. اشتباه معیار مدل رگرسیون نیز با نماد SE و ریشه میانگین مربعات خطا با نماد RMSE درج شده است. مقدار آماره RMSE از رابطه ۲ قابل محاسبه است با این تفاوت که قسمت مخرج (دامنه) در آن حذف شده است. برای بررسی پایداری ضرایب مدل‌ها از روش دونیمه‌سازی داده‌ها استفاده و مدل‌های به دست آمده در دو نیمه با یکدیگر و همچنین با مدل کلی مورد مقایسه قرار گرفتند.

برای بررسی معنی‌داری تفاوت ضرایب مدل‌ها از نظر آماری، ابتدا داده‌های دو نیمه و همچنین مدل کلی در یک فایل آماده شد. سپس متغیر مصنوعی برای تفکیک گروه‌ها ساخته و هنگام تحلیل رگرسیون اثر این متغیر وارد مدل شد. بیشتر از ۰/۰۵ بودن مقدار p-value برای متغیر مصنوعی در خروجی نرم‌افزار به معنی عدم تفاوت معنی‌دار مقدار ثابت^۳ در دو مورد مقایسه است. سپس، اثر متقابل متغیر مستقل و متغیر مصنوعی وارد مدل شده و تحلیل رگرسیون انجام شد. بیشتر بودن مقدار p-value برای اثر متقابل، نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار شیب خط بین مدل‌های مورد بررسی خواهد بود [۳۰]. به صورت دستی هم می‌توان این مقایسه را انجام داد، هرچند با توجه به حجم زیاد محاسبات روش کامپیوتری ترجیح داده شد.

نتایج

آماره‌های توصیفی مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده درختچه‌ها در سه منطقه مورد بررسی در جدول ۱ نمایش داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود اختلاف ابعاد پایه‌ها با توجه به اختلاف سن، به طور کامل مشهود است.

نمودارهای پراکنش برای بررسی رابطه متغیرهای مستقل و زی‌توده درختچه‌ها در شکل ۲ قابل ملاحظه هستند. با توجه به این شکل‌ها مدل خطی برای برازش بر داده‌ها انتخاب شد. در خصوص تعداد ساقه رابطه مشخصی قابل تصور نبوده و این متغیر برای مدل‌سازی مناسب تشخیص داده نشد.

بودن توزیع مقادیر خطا با رسم نمودار نرمالیتیه و آزمون شاپیرو - ویلک، مستقل بودن مقادیر خطا با آزمون Durbin-Watson و همچنین تصادفی بودن پراکنش مقادیر خطا با رسم نمودار پراکنش خطا، مورد کنترل و بررسی قرار گرفته و از اعتبار نتایج به دست آمده اطمینان به عمل آمد. مدل‌های به دست آمده در صورت معنی‌دار بودن، به همراه ضریب تعیین و اشتباه معیار، مشخص و در قسمت نتایج ارائه شد. نماینده قطر یقه (DRC)^۱ از رابطه ۱ به دست آمد [۸]:

$$DRC = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2} \quad (1)$$

که در آن d_1 تا d_n قطر یقه ساقه‌های اندازه‌گیری شده برای هر درختچه بر حسب سانتیمتر هستند. برای مقایسه مدل‌های کلی با مدل‌های ویژه سن معین، ابتدا درصد اختلاف مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده زی‌توده (صحت) برای هر مدل از رابطه ۲ محاسبه و سپس به عنوان یک معیار مقایسه استفاده شد:

$$صحت برآورد = \frac{EV - OV}{OV} \times 100 \quad (2)$$

که در آن EV مقدار پیش‌بینی شده و OV مقدار مشاهده شده متغیر هستند. ریشه نرمال شده میانگین مربعات خطا (NRMSE)^۲ از رابطه ۳ محاسبه و به عنوان یک معیار برای بررسی دقت مدل کلی و همچنین مقایسه مدل‌های کلی و مدل‌های ویژه سن مورد استفاده قرار گرفت [۱].

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} / (Y_{max} - Y_{min}) \quad (3)$$

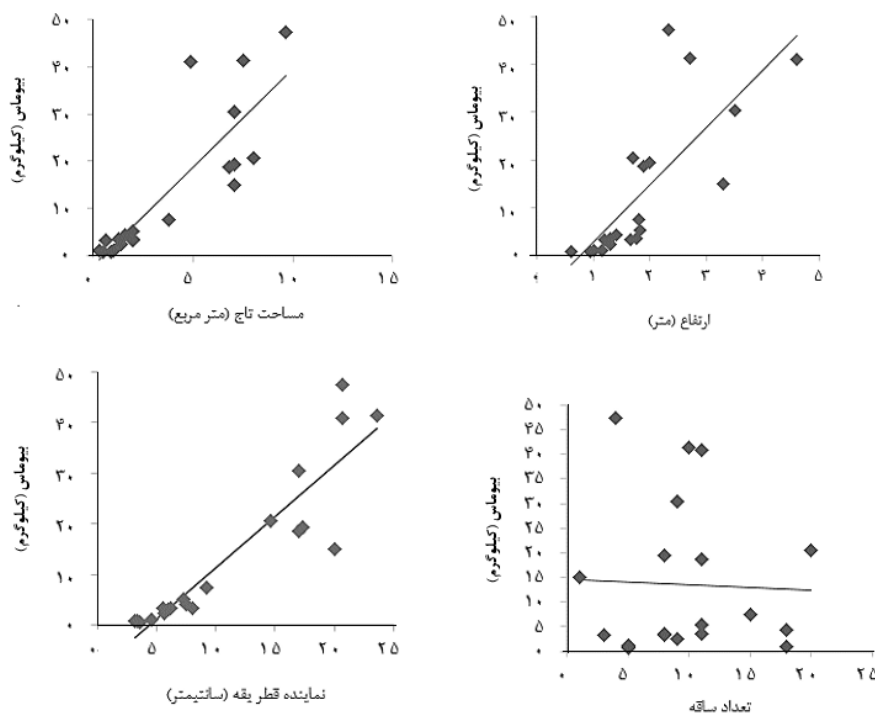
که در آن \hat{Y}_i مقدار برآورد شده متغیر وابسته توسط مدل و Y_i مقدار واقعی آن هستند. همچنین Y_{max} حداکثر و Y_{min} حداقل مقدار مشاهده شده برای متغیر وابسته است. مقدار این شاخص اگر زیر ۲۰ درصد باشد نشان

1- Diameter at Root Collar

2- Normalized Root Mean Squared Error

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد بررسی

منطقه	نماینده قطر یقه (cm)				ارتفاع (m)				مساحت تاج (m ²)			
	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۱	۵/۲۴	۱/۵۸	۳/۰۹	۷/۴۶	۱/۲۹	۰/۳۸	۰/۶۲	۱/۸۲	۱/۳	۰/۶	۰/۳	۲
۲	۱۵/۷۹	۴/۲۷	۹/۲	۲۰/۷۱	۲/۲۶	۰/۷۳	۱/۷	۳/۵	۷/۱	۴/۵	۳/۸	۹/۶
۳	۱۷/۸۸	۶	۸	۲۳/۷	۲/۷۴	۱/۳	۱/۲	۴/۶	۵/۴	۲/۸	۰/۶	۷/۵



شکل ۲- نمودار پراکنش نقاط برای انتخاب نوع مدل و بررسی میزان همبستگی متغیرها

کننده نسبتاً مناسبی برای زی توده بوده و حدود ۷۰ درصد تغییرات آن را با دقت قابل قبول بیان نمودند. ارتفاع کل ۵۶ درصد تغییرات را پیش‌بینی کرده اما متغیر تعداد ساقه پیش‌بینی کننده مناسبی برای زی توده درختچه‌های تاغ نبود و مدل‌های مبتنی بر آن معنی‌دار نبودند.

نتایج مدل‌سازی خطی نشان داد از بین متغیرهای مستقل، نماینده قطر یقه همبستگی بسیار خوبی با زی توده هوایی دارد. این مدل با بیشترین ضریب تعیین، همچنین بیشترین دقت را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). متغیرهای مساحت و قطر تاج نیز پیش‌بینی

جدول ۲- مدل‌های برازش شده برای پیش‌بینی زی توده هوایی

متغیر مستقل	مدل	R ²	SE	RMSE	NRMSE
نماینده قطر یقه	$Y = -۸/۶۰۱ + ۲/۰۰۳X$	۰/۸۴	۶/۳۳	۶/۰۱	۱۲/۸۹
مساحت تاج	$Y = ۲/۲۸۹ + ۴/۱۸۸X$	۰/۷۲	۸/۲۱	۷/۷۹	۱۶/۷۱
قطر تاج	$Y = -۱۳/۷۴۶ + ۱۴/۰۴X$	۰/۷۱	۸/۴۷	۸/۰۴	۱۷/۲۴
ارتفاع	$Y = -۹/۲۴۳ + ۱۱/۹۸۸X$	۰/۵۹	۱۰/۰۵	۹/۵۳	۲۰/۴۶

ضریب تعیین برای آن‌ها قابل توجه است. دقت مدل مبتنی بر نماینده قطر یقه نیز بیش از سایر مدل‌ها بوده است.

نتایج مدل‌سازی برای پیش‌بینی وزن خشک تنه در جدول ۳ نشان داده شده است. متغیرهای نماینده قطر یقه و مساحت تاج برای برآورد زی توده تنه مناسب بوده و

جدول ۳- مدل‌های برازش شده برای پیش‌بینی زی توده تنه

متغیر مستقل	مدل	R ²	SE	RMSE	NRMSE
نماینده قطر یقه	$Y = -7/82 + 1/67X$	۰/۸۲	۵/۴۹	۵/۲۱	۱۳/۶۷
مساحت تاج	$Y = 2/28 + 4/18X$	۰/۶۹	۷/۳۲	۶/۹۵	۱۸/۲۳
قطر تاج	$Y = -11/81 + 11/57X$	۰/۶۸	۷/۳۵	۷/۰۶	۱۸/۵۳
ارتفاع	$Y = -9/30 + 10/50X$	۰/۶۴	۷/۹۰	۷/۴۹	۱۹/۶۵

مناسب بوده و ضریب تعیین برای آن‌ها قابل توجه است. دقت مدل مبتنی بر نماینده قطر یقه بیش از سایر مدل‌ها بوده است.

جدول ۴ نتایج مدل‌سازی برای پیش‌بینی وزن خشک شاخ و برگ گونه تاغ را نشان می‌دهد. متغیرهای نماینده قطر یقه و مساحت تاج برای برآورد زی توده شاخ و برگ

جدول ۴- مدل‌های برازش شده برای پیش‌بینی زی توده شاخ و برگ

متغیر مستقل	مدل	R ²	SE	RMSE	NRMSE
نماینده قطر یقه	$Y = -0/78 + 0/331X$	۰/۷۳	۱/۴۳	۱/۳۵	۱۵/۳۳
مساحت تاج	$Y = 0/24 + 0/753X$	۰/۷۵	۱/۳۶	۱/۲۹	۱۴/۶۳
قطر تاج	$Y = -1/93 + 2/475X$	۰/۷۰	۱/۵۰	۱/۴۲	۱۶/۰۸
ارتفاع	$Y = 0/058 + 1/48X$	۰/۲۹	۲/۳۳	۲/۲۱	۲۵/۰۱

در مجموع، مدل‌های ویژه سن بهتر از مدل کلی هستند. در مورد ارتفاع، مدل‌های ویژه سن ضریب تعیین بالاتر، خطای کمتر و اختلاف کمتر با واقعیت داشتند (جدول ۵).

نتایج مقایسه مدل‌های ویژه سن با مدل کلی برای منطقه کمربندی میبد (سال کاشت آن ۱۳۸۷، درختچه‌ها کوتاه‌قد و جوان با شاخه‌های فراوان و تقریباً از نظر ابعاد یکدست و یکنواخت) نشان داد که برای این توده

جدول ۵- مقایسه مدل‌های کلی و ویژه سن در برآورد زی توده بر اساس نماینده قطر یقه و ارتفاع

زی توده هوایی-نماینده قطر یقه		زی توده هوایی-ارتفاع		
مدل کلی	مدل ویژه سن	مدل کلی	مدل ویژه سن	
۰/۸۴	۰/۹۰	۰/۵۹	۰/۷۴	R ²
۶/۳۳	۰/۵۳	۱۰/۰۵	۰/۸۶	SE
۶/۰۱	۰/۴۷	۹/۵۳	۰/۷۷	RMSE
-۳۶/۸۲	۳/۱۶	۶۶/۱۸	۱۱/۷۰	% اختلاف*
$Y = -8/6 + 2/0.03X$	$Y = -2/4 + 0/9X$	$Y = -9/243 + 11/98X$	$Y = -2/097 + 3/59X$	مدل

* درصد اختلاف برآورد

کنند. در منطقه گرد فرامرز (سال کاشت ۱۳۵۴)، درختچه‌ها با سنین بالا و بعضاً تک ساقه بودند که از نظر شکل، با دو منطقه دیگر متفاوت هستند. به این صورت که گاهی درختچه‌های مسن دارای تاج پوشش کوچک و شاخ و برگ کم، اما تنه واحد و قطور بودند. در این توده به علت تغییرات انجام شده در طول زمان و سن بالای پایه‌ها، از نظر ابعاد تنوع زیادی وجود داشت. نتایج نشان داد که مدل‌های ویژه سن در این منطقه برازش مناسبی بر داده‌ها ندارند. این در حالی است که مدل‌های کلی توانستند ۸۰-۶۰ درصد تغییرات زی توده را پیش‌بینی کنند.

در مورد مدل‌های مبتنی بر مساحت تاج برای پیش‌بینی زی توده باید گفت در این منطقه مدل ویژه سن برتری چندانی نسبت به مدل کلی نداشت (جدول ۶). در منطقه دوم یعنی جنگل کاری ایستگاه علی‌آباد (سال کاشت درختچه‌ها ۱۳۶۴، پایه‌ها اغلب قوی با ساقه‌های قطور و تقریباً یکدست) هرچند بسیاری اوقات تراکم چوب در ساقه‌ها پایین به نظر می‌رسید، نتایج نشان داد که مدل‌های ویژه سن مبتنی بر ارتفاع درختچه، قطر و مساحت تاج معنی‌دار نیستند در حالی که مدل‌های کلی معنی‌دار بوده و توانستند ۷۰-۶۰ درصد زی توده را برآورد

جدول ۶- مقایسه مدل‌های کلی و ویژه سن در برآورد زی توده بر اساس مساحت و قطر تاج

زی توده هوایی-قطر تاج			زی توده هوایی-مساحت تاج		
مدل کلی	مدل ویژه سن		مدل کلی	مدل ویژه سن	
۰/۷۱	۰/۶۹		۰/۷۲	۰/۷۳	R ²
۸/۴۷	۰/۹۵		۸/۲۱	۰/۸۸	SE
۸/۰۴	۰/۸۵		۷/۷۹	۰/۷۸	RMSE
-۱۲/۱۶	۱۳/۰۵		۷/۴۴	۱۰/۹۵	اختلاف %
Y=-۱۳/۷+۱۴/۰۴X	Y=-۲/۴+۴/۰۳X		Y=-۲/۲۸+۴/۱۸X	Y=-۰/۳۶+۲/۲۵X	مدل

چه در مقیاس کلی و چه برای سن معین، متغیر مناسبی ارزیابی نمی‌شود. نتایج مدل‌های به دست آمده از روش دونیمه‌سازی نشان داد که مقادیر ضریب تعیین، اشتباه معیار و پارامترهای مدل نسبتاً پایدار بوده و بین مدل‌ها اختلاف زیادی وجود ندارد (جدول ۷). لازم به ذکر است که با توجه به متعدد بودن نتایج این اعتبارسنجی، تنها مدل‌های مبتنی بر نماینده قطر یقه مورد بررسی قرار گرفته است. نبودن تفاوت زیاد ضرایب تعیین و پارامترهای مدل نسبت به یکدیگر نشان دهنده نزدیک بودن آن‌ها به یکدیگر است. مقایسه آماری نیز نشان داد که در هیچ یک از موارد اختلاف معنی‌داری بین مقدار ثابت و همچنین شیب خط بین مدل کامل و دونیمه داده‌ها وجود ندارد.

در پیش‌بینی زی توده درختچه‌های تاغ برای منطقه اول که گیاهان کم سن و از نظر ابعاد تقریباً به هم نزدیک بودند، مدل‌های ویژه سن، با توجه به ضریب تعیین بالا، قوی‌تر و بر اساس معیارهای اشتباه معیار و ریشه میانگین مربعات خطا، دارای خطای کمتر بودند. اما در مناطق دوم و سوم مدل‌های ویژه سن معنی‌دار نبودند. هرچند ممکن است علاوه بر تنوع ابعاد و زیاد بودن واریانس صفات مورد مطالعه، تعداد نمونه کم در این دو منطقه نیز نتایج را تحت تأثیر قرار داده باشد. اما به هر حال با توجه به محدودیت‌های موجود امکان قطع درختچه‌های بیشتر وجود نداشت. مدل‌های مبتنی بر تعداد ساقه معنی‌دار نبودند. به‌طور کلی تعداد ساقه برای پیش‌بینی زی توده تاغ،

جدول ۷- مقایسه پایداری مدل‌های ساخته شده بر اساس نماینده قطر یقه

مقایسه مقدار ثابت		مدل نیمه دوم			مدل نیمه اول			مدل کل			متغیر وابسته		
P-value	t	P-value	t	b ₁	b ₂	R ²	b ₁	b ₂	R ²	b ₁		b ₂	R ²
۰/۶۶۱	۰/۱۹۷	۰/۱۸۸	۱/۳۵	۲/۱	-۷/۹	۰/۹	۲/۴	-۱۰/۹	۰/۸۹	۲	-۸/۶	۰/۸۲	زی توده هوایی
۰/۲۳۰	۱/۵۰۵	۰/۱۹۹	۱/۷۲	۱/۹	-۶/۷	۰/۹۱	۲/۰۳	-۹/۹	۰/۹	۱/۶۷	-۷/۸	۰/۸۱	زی توده تنه
۰/۱۰۶	۲/۷۹	۰/۳۶۸	۰/۸۳	۰/۲۹	-۰/۸۶	۰/۶۶	۰/۳۹	-۰/۹۶	۰/۷۸	۰/۳۳	-۰/۷۸	۰/۷۱	زی توده شاخ و برگ

بحث و نتیجه‌گیری

نیز از دیگر متغیرها آسان‌تر است [۲۷ و ۲۹]. البته برای درختچه‌ها اندازه‌گیری نماینده قطر یقه معمول است که از نظر اهمیت و نقش می‌توان آن را معادل قطر برابر سینه برای درختان در نظر گرفت.

در تحقیق دیگری از قطر ساقه در سطح خاک و قطر برابر سینه برای تعیین زی توده بالا و زیر زمین برای شش گونه درختی جنگل‌های بورآل در شمال مانی‌توبا استفاده شد [۱۶]. بسیاری از تحقیقات دیگر نیز قطر برابر سینه را به‌عنوان بهترین متغیر پیش‌بینی کننده زی توده معرفی نموده‌اند که به نوعی همان نقش قطر یقه برای درختان چندان ساقه را ایفا می‌نماید [۳، ۵ و ۲۱]. در یک مطالعه

در تحقیق حاضر از بین مشخصات اندازه‌گیری شده در عرصه، نماینده قطر یقه رابطه قوی و معنی‌دار با متغیرهای وابسته شامل وزن خشک شاخه، تنه و وزن خشک کل (زی توده هوایی) داشته و مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین ارائه داد. به‌طور مشابه در تحقیقی که در ایالت نوادا آمریکا و در مورد گونه *Cercocarpus curleaff* که اغلب شکل درختچه متراکم و گاه درخت کوتاه دارد انجام شد، نماینده قطر یقه مدل‌هایی مناسب برای تعیین زی توده ارائه داد [۷]. از میان متغیرهای مستقل، معمولاً قطر برابر سینه، با ارزش‌ترین متغیر محسوب می‌شود چرا که همبستگی خیلی زیادی با زی توده دارد و اندازه‌گیری آن

بین درختچه‌های بزرگ و کوچک قابل ملاحظه بود. به این صورت که در درختان بزرگ، گاهی تنه قطور و سنگین اما تاج کوچک و سبک و مقدار شاخه و برگ‌ها محدود بود. درحالی‌که در درختچه‌های کوچک ساقه‌ها زیاد اما نازک بودند و شاخ و برگ سهم مهمی را در زی‌توده گیاه داشتند. این ویژگی سبب می‌شود که یک درختچه کوچک علیرغم داشتن قطر تاج زیاد، زی‌توده کم داشته باشد. بر همین اساس مدل ویژه سن در برخی موارد با مدل کلی تطبیق نداشت. البته کم بودن تعداد نمونه در مناطق دوم و سوم که واریانس صفات زیادتر بوده بدون تأثیر نیست. اما نظر به محدودیت‌های موجود در قطع، امکان انتخاب نمونه بیشتر وجود نداشت. این در حالی است که طبق نظر برخی پژوهشگران، معادلات آلومتریک برای یک گونه در یک منطقه معین، می‌تواند از یک مطالعه دقیق با ۱۵ درخت شامل طیف وسیعی از قطرها به دست آیند [۵].

در مورد استفاده از مدل‌های آلومتریک چند متغیره، ذکر این نکته ضروری است که اغلب در پژوهش‌های مربوط به زی‌توده، همبستگی بین متغیرهای مستقل مورد بررسی زیاد است و افزودن آن‌ها به مدل اطلاعات مفید بیشتری را به همراه ندارد بلکه فقط مدل را پیچیده‌تر خواهد نمود. این در حالی است که امروزه در استقرار معادلات آلومتریک زی‌توده و اندوخته‌ی کربن در تمام نقاط دنیا سعی می‌شود مدل‌های رگرسیون ساده (تک متغیره) مورد استفاده قرار گیرند [۲۴]. در این مورد مجموعه‌ای از توابع برای برآورد زی‌توده ۱۷ گونه درختچه‌ای مدیترانه‌ای محاسبه شده که مدل‌های بر پایه داده‌های خام تبدیل نشده بهترین مدل‌ها را ارائه دادند [۶]. همچنین معادلات رگرسیونی متعددی برای درخت بر پایه قطر برابر سینه توسعه یافته است [۱۸].

به‌طور کلی، هرچقدر دامنه داده‌ها بزرگ‌تر باشد، میزان اشتباه معیار برای ضریب متغیر مستقل کمتر خواهد بود. به عبارتی، دقت مدل افزایش می‌یابد. در واقع، وجود توأم درختان کوچک و بزرگ در مجموعه داده‌ها باعث می‌شود که صحت پارامترهای مدل افزایش یافته و مدل بهتری به دست آید [۱۱]. اما در تحقیق حاضر در مورد ۱۰ درختچه اول که دامنه داده‌ها برای مشخصات کمی (ارتفاع، قطر تاج و ...) کمتر بود مدل‌های بهتر و دقیق‌تری به دست

برای گونه *Juniperus osteasperma* قطر برابر سینه و برای گونه *Pinyon monophyla* قطر ساقه در ارتفاع کنده و برای هر دو گونه قطر متوسط تاج تخمین‌کننده‌های مناسبی برای برآورد زی‌توده بودند [۲۰]. در جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط *Quercus brantii* در لردگان چهارمحال و بختیاری، سطح مقطع و قطر برابر سینه با ضریب همبستگی ۰/۷۷ و ۰/۶۵ بیشترین همبستگی را با زی‌توده داشتند [۱۵].

در تحقیق پیش رو متغیرهای ارتفاع، مساحت و قطر تاج نیز پیش‌بینی‌کننده‌های نسبتاً مناسبی برای متغیرهای وابسته بودند. نتایج نشان داد که متغیر تعداد ساقه پیش‌بینی‌کننده مناسبی برای زی‌توده درختچه‌های تاج نیست. در تحقیق مشابه از ارتفاع درختچه و حداقل و حداکثر قطر تاج به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل‌سازی برای ۳۱ گونه در اندلس استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های به‌دست‌آمده برای هر ۳۱ گونه قوی بوده و توابع خطی و لگاریتمی با ضریب تعیین بین ۰/۷۵ و ۰/۹۹ به دست آمدند [۲۳]. همچنین در مطالعه انجام شده در مورد گونه بنه (*Pistacia atlantica*) در پارک ملی خجیر، قطر تاج معادلاتی با شاخص‌های مدل‌سازی بهتر زی‌توده و با ضریب تعیین ۰/۹۳ تولید کرد [۲۸]. حجم و مساحت تاج نیز برآوردکننده مناسبی برای وزن خشک شاخه، برگ، ساقه‌های خشک یا زنده و ریشه‌ها برای هشت درختچه بیابانی شامل *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Prosopis glandulosa*, *Ephedra trifurca*, *Ephedra torreyan*, *Xanthocephalum sarothrae*, *Zinnia acerosa*, *Yucca elata* در منطقه Chihuahuan در کشور مکزیک معرفی شد [۱۹].

مطالعات نشان داده که در اغلب موارد مدل‌های مخصوص سن معین برآورد دقیق‌تری نسبت به مدل‌های کلی دارند [۳، ۱۰، ۱۷ و ۲۲]. همان‌طور که مشاهده شد در تحقیق حاضر مدل‌های مخصوص سن برای منطقه اول (کمربندی میبد) از مدل‌های کلی بهتر بودند اما در مورد مناطق دوم و سوم (ایستگاه علی‌آباد و ایستگاه گرد فرامرز) مدل‌های کلی برآزش بهتری نسبت به مدل‌های ویژه سن داشتند. در تحقیق حاضر در منطقه اول در نسبت ابعاد گیاهان نمونه‌برداری شده نوعی همگنی وجود داشت درحالی‌که در دو منطقه دیگر تفاوت در نسبت تنه و تاج

رسیدن به برآوردهای منطقی از زی توده جنگل، به ناچار محققان در چهارچوب محدودیت‌های موجود اقدام به مدل‌سازی می‌نمایند. در پایان باید گفت زی توده هوایی در جنگلکاری‌های تاغ با دقت مناسب و بر اساس اندازه‌گیری برخی مشخصات سرپا امکان‌پذیر است. همچنین اگر قرار باشد در یک منطقه مدل تهیه شود، انتخاب و قطع ۲۰ درختچه کافی خواهد بود.

آمد. علت این امر به احتمال زیاد، کم بودن تعداد نمونه در مناطق دوم و سوم است. وجود جنبه‌های غیرخطی برخی مدل‌ها برای برآورد زی توده، این اخطار را می‌دهد که برون‌یابی توابع آلومتریک برای درختانی که خارج از دامنه نمونه هستند باید با احتیاط انجام شود. برای کاهش این خطر لازم است تعداد درخت یا درختچه بیشتری قطع شود که در اغلب موارد میسر نیست. اما به هر حال برای

References

- [1]. Afrounde, A., Kiani, B., & Attarod, P. (2014). Introducing allometric equations for determine tree volume in *Acer monspessulanum* sub.sp. *cinerascens*, 2nd International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges, 23-25 February, Tabriz, Iran, 9 p, (in Farsi).
- [2]. Bakhtiarvand Bakhtiari, S., & Sohrabi, H. (2012). Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3), 481-492, (in Farsi).
- [3]. Basuki, T.M., Van Laake, P.E., Skidmore, A.K., & Hussin, Y.A. (2009). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257, 1684-1694.
- [4]. Cai, S., Kang, X., & Zhang, L. (2013). Allometric models for aboveground biomass of ten tree species in northeast China. *Annals of Forest Research*, 56 (1), 105-122.
- [5]. Canadell, J., Riba, M., & Andres, P. (1988). Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Masif, Northeastern Spain. *Forestry*, 61(2), 137-147.
- [6]. Castro, I., Casado, M.A., Ramirez-Sanz, L., DeMiguel, J.M., & Diaz, F. (1996). Estimation functions of aerial biomass of some Mediterranean shrubs species from the center of the Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 184, 355-368.
- [7]. Chojnacky, D.C. (1984). Volume and biomass for *Curlleaf Cercocarpus* in Nevada, United States Department of Agriculture, Forest service, Research paper INT-332.
- [8]. Chojnacky, D.C. (1988). Woodland volume equations for Arizona Fort Apach and Sancarlos Indian reservations, United States Department of Agriculture, Forest service, Intermountain Research station, Research NOT INT-379.
- [9]. Cole, T.G., & Ewel, J.J. (2006). Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*. 229, 351-360.
- [10]. Creighton, M.L., & Kauffman, J.B. (2008). Allometric models for predicting aboveground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica*, 40(3), 313-320.
- [11]. Ebuy, J., Lokombe, J.P., Ponette, Q., Sonwa, D., & Picard, N. (2011). Allometric equation for predicting aboveground biomass of three tree species. *Journal of Tropical Forest Science*, 23(7), 125-132.
- [12]. Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., & Saint-Andre, L. (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260, 1375-1388.
- [13]. Irannezhad Parizi, M.H. (2006). Management plan for artificial plantations in desert areas of Rezvanshahr-Ebrahim Abad, Sadoogh, Yazd Office of Natural Resources, 135 p, (in Farsi).
- [14]. Iranmanesh, Y., Jalali, S.G.A., Sagheb-Talebi, Kh., Hosseini, S.M., & Sohrabi, H. (2013). Allometric equations of biomass and carbon stocks for *Quercus brantii* acorn and its nutrition elements in Lordegan, Chaharmahal Va Bakhtiari. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(4), 551-564, (in Farsi).
- [15]. Khademi, A., Babaei, S., & Mataji, M. (2009). Investigation on the amount of biomass and its relationship with

- physiographic and edaphic factors in oak coppice stand (Case study Khalkhal, Iran). *Iranian Journal of Forest*, 1(1), 57-67, (in Farsi).
- [16]. Lamberty, B.B., Wang, C., & Gower, S.T. (2002). Above ground and below ground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(8): 1447-1450.
- [17]. Litton, C.M., Sandquist, D.R., & Cordell, S. (2006). Effects of non-native grass invasion on aboveground carbon pools and tree population structure in a tropical dry forest of Hawaii. *Forest Ecology and Management*, 231, 105-113.
- [18]. Losi, C.J., Siccama, T.G., Condit, R., & Morales, J.E. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*, 184, 355-368.
- [19]. Ludwig, J.A., Reynolds, J.F., & Whitson, P.D. (1975). Size- biomass relationships of several chihuahuan Desert shrubs. *American Midland Naturalist*, 94(2), 451-461.
- [20]. Miller, E.L., Meeuwig, R.O., & Budy, J.D. (1981). Biomass of single leaf pinyon and Utah juniper, United States, Intermountain Forest and Range Experimental station, Research paper INT-273.
- [21]. Mohammadi, A., Kalagari, M., Ladanmoghadam, A., and Mirakhori, R. 2013. Investigation on growth and physiological characteristics of *Populus euphratica* Oliv. Provenances at Garmsar Desert Station. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(1), 115-125, (in Farsi).
- [22]. Nelson, B.W., Mesquite, R., Pereira, L.G., Souza, S.A., Batista, G.T., & Couto L.B. (1999). Allometric regression for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Ecology and Management*, 117, 149-167.
- [23]. Oyonarte, P.B., & Cerrillo, R.M. (2003). Aboveground phytomass models for major species in shrub ecosystems of western Andalusia. *Investigación Agraria Sistemasy Recursos Forestales*. 12(3), 47-55.
- [24]. Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hasaninejad, M. (2014). Allometric equations of leaf biomass and carbon stocks of oaks in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Plant Researches*, 27(1), 12-22, (in Farsi).
- [25]. Panhian, A., Naseri, H., Karimpoor, M. & Jafari, M. 2013. Potential of carbon sequestration in *Haloxylon aphyllum* plantations beside Ivanki-Garmsar Autobahn. *Desert Ecosystem Engineering*, 2(3), 67-76.
- [26]. Sabbagh, S. (2014). Evaluation of satellite images capability to estimating biomass of saxaul lands (Case study: Birjand), Master Dissertation, Faculty of Natural Resources, Yazd University, (in Farsi).
- [27]. Segura, M., & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, 37(1), 2-8.
- [28]. Sohrabi, H., & Shirvani, A. (2011). Allometric equations for estimating standing biomass of Atlantic Pistache (*Pistacia atlantica* Var. *mutica*) in Khojir National Park. *Iranian Journal of Forest*, 4(1), 55-64, (in Farsi).
- [29]. Vahedi, A., Mataji, A., Babayi-Kafaki, S., Eshaghi-Rad, J., & Hodjati, S.M. (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 Farsi).
- [30]. Weaver B., & Weunsch K.L. (2013). SPSS and SAS programs for comparing Pearson correlations and OLS regression coefficients. *Behavior Research Methods*, 45(3), 880-895.
- [31]. Whittaker, R.H., & Woodwell, G.M. (1968). Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. *The Journal of Ecology*, 56(1), 1-25.
- [32]. Yoosefi M. (2013). Estimating carbon sequestration in *Haloxylon* sp and *Atriplex canescens* in Hossein-abad Ghinab, South Khorasan, Faculty of Agriculture, Shiraz University, (in Farsi).

Using allometric equations for determining the biomass of saxaul (*Haloxylon ammodendron* C.A.May)

1-N. Hemmati, M.Sc. Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd. Iran

2-B. Kiani, Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd. Iran

bnkiani@yazd.ac.ir

3-A. MoslehArani, Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd. Iran

Received: 05 Jan 2017

Accepted: 18 Nov 2017

Abstract

This research was conducted in Yazd- Ardakan plain to determine biomass of Saxaul shrubs. Twenty shrubs were selected randomly for cutting down. Standing attributes include diameter at root collar (DRC), height, stems number and crown diameters were measured. Stem and leaves were separated and weighted and some samples were taken to determine dry/wet weight ratio. Above-ground biomass of the shrubs was calculated according to dry/wet weight ratio. Linear regression analysis was conducted for predicting biomass of the shrubs. Results indicated that there was strong correlation between above-ground biomass and diameter at root collar. The best models were detected for trunk dry weight- DRC ($R^2=0.82$), Above-ground biomass- DRC ($R^2=0.84$) and branch dry weight-crown area ($R^2=0.75$). Models based on crown diameter and height were significant and could predict 60 to 70 presents of variations in biomass. Finally, it can be concluded that diameter at root collar is the best predictor of biomass in saxaul plantations. Also age-specific equations provide better predictions of biomass with lower error, provided that sample size is sufficient.

Keywords: Afforestation; Arid lands; Biomass; Modeling; Standing Traits; Yazd.