Archive of SID

استفاده از روابط آلومتریک برای تعیین زی‌توده گونه تاغ (*Halloxylon ammodenderon* 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 زی‌توده درختان جنگلی برای اهداف کاربردی و پژوهشی مورد توجه است. هدف این پژوهش، بررسی روابط آلومتریک برای تعیین زی‌توده درختچه‌های تاغ در دشت یزد- اردکان است. به این منظور ۲۰ درختچه برای قطع به‌صورت 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 زی‌توده بالای زمین محاسبه شد. تحلیل رگرسیون برای پیش‌بینی زی‌توده درختچه‌ها بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده در عرصه انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه قوی و معنی‌داری بین زی‌توده 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=۰/۸۲)، وزن خشک شاخه با مساحت تاج (R^2=۰/۷۵) و وزن خشک کل (زی‌توده بالای زمین) با نماینده قطر یقه (R^2=۰/۸۴) وجود داشت. مدل‌های مبتنی بر ارتفاع و قطر تاج نیز مدل‌های نسبتاً مناسبی بوده و توانستند ۷۰-۶۰ درصد تغییرات زی‌توده را پیش‌بینی کنند. درمجموع می‌توان گفت متغیر نماینده قطر یقه پیش‌بینی کننده بسیار خوبی برای زی‌توده در جنگل‌کاری‌های تاغ است. همچنین مدل‌های ویژه سن، مشروط بر کافی بودن تعداد نمونه، برآورد بهتری از زی‌توده گونه تاغ با خطای کمتر نسبت به مدل‌های کلی ارائه می‌دهند.

واژگان کلیدی: جنگل‌کاری؛ زی‌توده؛ 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 زی‌توده آن مشخص می‌شود. برآورد زی‌توده برای کمی نمودن این بهره‌وری در جنگل‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه کربن، بسیار مهم است. اهمیت مطالعه زی‌توده جنگل ازآنجا ناشی می‌شود که میزان آن بیانگر توان تولید در واحد سطح و یا زمان است. برآورد زی‌توده برای تشخیص ساختار جنگل نیز مهم بوده و به‌عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی رویشگاه از نظر بیولوژیکی و اقتصادی در نظر گرفته می‌شود [۹]. زی‌توده 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 زی‌توده استفاده می‌شود، استفاده از روابط آلومتریک است [۳۱]. به طور معمول، زی‌توده 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 به‌عنوان تنها متغیر به کار گرفته شده است [۴]. در ادامه ارتفاع درخت به‌عنوان متغیر دوم برای بهبود دقت برآوردهای زی‌توده با قطر برابر سینه ترکیب شد. بدون شک، توزین درختان در عرصه برای اندازه‌گیری زی‌توده از دقیق‌ترین روش‌ها است،

www.SID.ir

Archive of SID

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 [۳۲ و ۲۵].

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

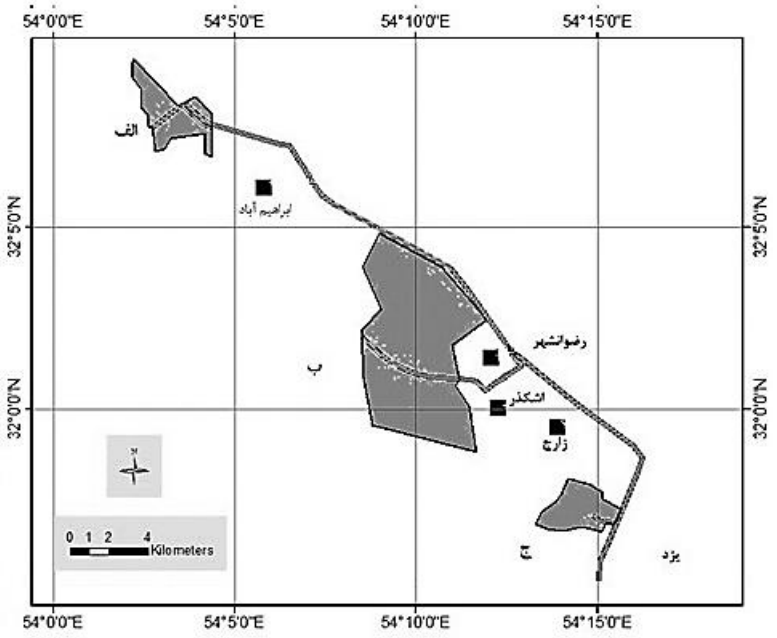
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مناطقی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت شامل سه قطعه جنگل‌کاری با سن‌های مختلف در دشت یزد - اردکان شامل کمربندی میبد، ایستگاه علی‌آباد و ایستگاه گرد فرامرز است (شکل ۱). اولین نهال‌کاری 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 سالیانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد است [۱۳]. خاک از نوع تیپ خاک‌های بیابانی قهوه‌ای کمرنگ، روشن آبیاری شده و یا سروزیم روشن است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن بسط یافته، فراخشک سرد است. گونه کاشته شده سیاه تاغ *Halloxylon ammodenderon* C.A.May است که به‌صورت خالص کاشته شده و آبیاری آن در سال‌های نخست به‌صورت دستی و با استفاده از آب چاه انجام شده و به مرور زمان به حال خود رها شده است [۱۳].

www.SID.ir

Archive of SID



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

روش تحقیق

نخست بازدیدی از جنگل‌کاری‌های 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 $80\ ^{\circ}C$ داخل آون قرا گرفتند [۲۱]. پس از گذشت این مدت زمان، با ترازوی دیجیتالی توزین نمونه‌ها انجام شد. از نسبت وزن خشک نمونه‌ها به وزن‌تر 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 اجزا، زی‌توده کل محاسبه شد.

برای بررسی شکل رابطه بین متغیرهای وابسته (شامل وزن‌تر و خشک تنه، وزن‌تر 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 ازآزمون 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 کمّی شامل سطح تاج، ارتفاع، نماینده قطر یقه و تعداد جست انجام شد. سایر پیش‌فرض‌های تحلیل رگرسیون از جمله نرمال

www.SID.ir

Archive of SID

بودن توزیع مقادیر خطا با رسم نمودار نرمالیته 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 به‌دست‌آمده در صورت معنی‌دار بودن، به همراه ضریب تعیین و اشتباه معیار، مشخص و در قسمت نتایج ارائه شد. نماینده قطر یقه (DRC)[1] از رابطه ۱ به دست آمد [۸]:

$$DRC = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_n^2} \quad (۱)$$

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:

$$\text{صحت برآورد} = \frac{EV - OV}{OV} \times 100 \quad (۲)$$

که در آن EV مقدار پیش‌بینی شده و OV مقدار مشاهده شده متغیر هستند. ریشه نرمال شده میانگین مربعات خطا (NRMSE)[2] 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].

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} / (y_{max} - y_{min}) \quad (۳)$$

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 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[3] 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. همان گونه 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. درخصوص تعداد ساقه رابطه مشخصی قابل تصور نبوده و این متغیر برای مدل‌سازی مناسب تشخیص داده نشد.

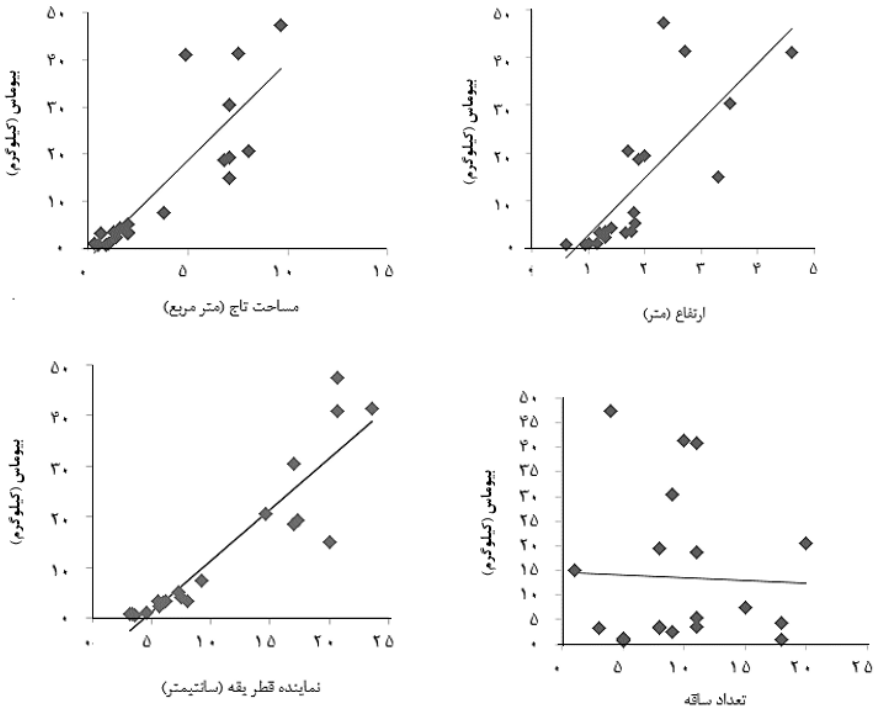
1- Diameter at Root Collar
2- Normalized Root Mean Squared Error
3- Constant Value

www.SID.ir

Archive of SID

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

نتایج مدل‌سازی خطی نشان داد از بین متغیرهای مستقل، نماینده قطر یقه همبستگی بسیار خوبی با زی‌توده 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 کننده نسبتاً مناسبی برای زی‌توده 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 زی‌توده درختچه‌های تاغ نبود و مدل‌های مبتنی بر آن معنی‌دار نبودند.

جدول ۲- مدل‌های برازش شده برای پیش‌بینی زی‌توده هوایی

متغیر مستقل	مدل	R^2	SE	RMSE	NRMSE
نماینده قطر یقه	$Y=-8/601+2/003X$	۰/۸۴	۶/۳۳	۶/۰۱	۱۲/۸۹
مساحت تاج	$Y = 2/289+4/18X$	۰/۷۲	۸/۲۱	۷/۷۹	۱۶/۷۱
قطر تاج	$Y=-13/746+14/04X$	۰/۷۱	۸/۴۷	۸/۰۴	۱۷/۲۴
ارتفاع	$Y= -9/243+11/98X$	۰/۵۹	۱۰/۰۵	۹/۵۳	۲۰/۴۶

نتایج مدل‌سازی برای پیش‌بینی وزن خشک تنه در جدول ۳ نشان داده شده است. متغیرهای نماینده قطر یقه و مساحت تاج برای برآورد زی‌توده تنه مناسب بوده و ضریب تعیین برای آن‌ها قابل‌توجه است. دقت مدل مبتنی بر نماینده قطر یقه نیز بیش از سایر مدل‌ها بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مدل‌های برازش شده برای پیش‌بینی زی‌توده تنه

متغیر مستقل	مدل	R^2	SE	RMSE	NRMSE
نماینده قطر یقه	Y=-۷/۸۲+۱/۶۷X	۰/۸۲	۵/۴۹	۵/۲۱	۱۳/۶۷
مساحت تاج	Y=۲/۲۸+۴/۱۸X	۰/۶۹	۷/۳۲	۶/۹۵	۱۸/۲۳
قطر تاج	Y=-۱۱/۸۱+۱۱/۵۷X	۰/۶۸	۷/۳۵	۷/۰۶	۱۸/۵۳
ارتفاع	Y=-۹/۳۰+۱۰/۵۰X	۰/۶۴	۷/۹۰	۷/۴۹	۱۹/۶۵

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 زی‌توده شاخ و برگ 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- مدل‌های برازش شده برای پیش‌بینی زی‌توده شاخ و برگ

متغیر مستقل	مدل	R^2	SE	RMSE	NRMSE
نماینده قطر یقه	Y=-۰/۷۸+۰/۳۳۱X	۰/۷۳	۱/۴۳	۱/۳۵	۱۵/۳۳
مساحت تاج	Y= ۰/۰۲۴+۰/۷۵۳X	۰/۷۵	۱/۳۶	۱/۲۹	۱۴/۶۳
قطر تاج	Y=-۱/۹۳+۲/۴۷۵X	۰/۷۰	۱/۵۰	۱/۴۲	۱۶/۰۸
ارتفاع	Y= ۰/۰۵۸+۱/۴۸X	۰/۲۹	۲/۳۳	۲/۲۱	۲۵/۰۱

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 درمجموع، 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).

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

	زی‌توده هوایی-ارتفاع		زی‌توده هوایی-نماینده قطر یقه	
	مدل ویژه سن	مدل کلی	مدل ویژه سن	مدل کلی
R^2	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۹۰	۰/۸۴
SE	۰/۸۶	۱۰/۰۵	۰/۵۳	۶/۳۳
RMSE	۰/۷۷	۹/۵۳	۰/۴۷	۶/۰۱
*اختلاف ٪	۱۱/۷۰	۶۶/۱۸	۳/۱۶	-۳۶/۸۲
مدل	Y=-۲/۰۹۷+۳/۵۹X	Y=-۹/۲۴۳+۱۱/۹۸X	Y=-۲/۴+۰/۹X	Y=-۸/۶+۲/۰۰۳X

* درصد اختلاف برآورد

در مورد مدل‌های مبتنی بر مساحت تاج برای پیش‌بینی زی‌توده باید گفت در این منطقه مدل ویژه سن برتری چندانی نسبت به مدل کلی نداشت (جدول ۶). در منطقه دوم یعنی جنگل‌کاری 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 درحالی‌که مدل‌های کلی معنی‌دار بوده و توانستند ۷۰-۶۰ درصد زی‌توده را 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 زی‌توده را پیش‌بینی کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

در پیش‌بینی زی‌توده 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. به‌طورکلی تعداد ساقه برای پیش‌بینی زی‌توده تاغ، 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.

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

	مدل کل			مدل نیمه اول			مدل نیمه دوم			مقایسه مقدار ثابت		مقایسه شیب خط	
متغیر وابسته	R^2	b.	b_1	R^2	b.	b_1	R^2	b.	b_1	t	P-value	t	P-value
زی‌توده هوایی	۰/۸۲	-۸/۶	۲	۰/۸۹	-۱۰/۹	۲/۴	۰/۹	-۷/۹	۲/۱	۱/۳۵	۰/۱۸۸	۰/۱۹۷	۰/۶۶۱
زی‌توده تنه	۰/۸۱	-۷/۸	۱/۶۷	۰/۹	-۹/۹	۲/۰۳	۰/۹۱	-۶/۷	۱/۹	۱/۷۲	۰/۱۹۹	۱/۵۰۵	۰/۲۳۰
زی‌توده شاخ و برگ	۰/۷۱	-۰/۷۸	۰/۳۳	۰/۷۸	-۰/۹۶	۰/۳۹	۰/۶۶	-۰/۸۶	۰/۲۹	۰/۸۳	۰/۳۶۸	۲/۷۹	۰/۱۰۶

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضراز 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 (زی‌توده هوایی) داشته و مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین ارائه داد. به‌طور مشابه در تحقیقی که در ایالت نوادا آمریکا و در مورد گونه *Cercocarpus curlleaf* که اغلب شکل درختچه متراکم و گاه درخت کوتاه دارد انجام شد، نماینده قطر یقه مدل‌هایی مناسب برای تعیین زی‌توده ارائه داد [۷]. از میان متغیرهای مستقل، معمولاً قطر برابرسینه، با ارزش‌ترین متغیر محسوب می‌شود چرا که همبستگی خیلی زیادی با زی‌توده دارد و اندازه‌گیری آن 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 برابرسینه برای تعیین زی‌توده بالا و زیر زمین برای شش گونه درختی جنگل‌های بورآل در شمال مانی‌توبا استفاده شد [۱۶]. بسیاری از تحقیقات دیگر نیز قطر برابرسینه را به‌عنوان بهترین متغیر پیش‌بینی کننده زی‌توده معرفی نموده‌اند که به نوعی همان نقش قطر یقه برای درختان چندساقه را ایفا می‌نماید [۳، ۵ و ۲۱]. در یک مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

برای گونه *Juniperus osteasperma* قطر برابرسینه و برای گونه *Pinyon monophyla* قطر ساقه در ارتفاع کنده و برای هر دو گونه قطر متوسط تاج تخمین کننده‌های مناسبی برای برآورد زی‌توده بودند [۲۰]. در جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط *Quercus brantti* در لردگان چهارمحال و بختیاری، سطح مقطع و قطر برابرسینه 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 پیش‌بینی کننده‌های نسبتاً مناسبی برای متغیرهای وابسته بودند. نتایج نشان داد که متغیر تعداد ساقه پیش‌بینی کننده مناسبی برای زی‌توده درختچه‌های تاغ 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 برآورد کننده 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 برازش 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 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 برابرسینه توسعه یافته است [۱۸].

به‌طورکلی، 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 افزایش‌یافته و مدل بهتری به دست آید [۱۱]. اما در تحقیق حاضر در مورد ۱۰ درختچه اول که دامنه داده‌ها برای مشخصات کمّی (ارتفاع، قطر تاج و ...) کمتر بود مدل‌های بهتر و دقیق‌تری به دست

www.SID.ir

Archive of SID

آمد. علت این امر به احتمال زیاد، کم بودن تعداد نمونه در مناطق دوم و سوم است. وجود جنبه‌های غیرخطی برخی مدل‌ها برای برآورد زی‌توده، 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 هرحال برای رسیدن به برآوردهای منطقی از زی‌توده جنگل، به ناچار محققان در چهارچوب محدودیت‌های موجود اقدام به مدل‌سازی می‌نمایند. در پایان باید گفت زی‌توده 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.

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 equatioms for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees. *Iranaian 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 brantti* acorn and its nutrition elements in Lordegan, Chaharmahal Va Bakhtiari. *Iranaian 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 aphullum* 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 Jornal 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).

www.SID.ir

Archive of SID

Using allometric equations for determining the biomass of saxaul (*Halloxylon ammodenderon* 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.

www.SID.ir