دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

بررسی صحت برآورد زی‌توده روی‌زمینی درختان صنوبر کبوده (*Populus alba*) با استفاده از معادلات آلومتریک

ابوذر حیدری صفری کوچی[۱]، تیمور رستمی شاهراجی[۲]، رضا ابراهیمی آتانی[۳] و یعقوب ایران‌منش[۴]

۱- دانش‌آموخته دکتری، جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
(نویسنده مسوول: heidariabouzar@gmail.com)
۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
۳- دانشیار، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۶
صفحه: ۱۳۳ تا ۱۴۱

چکیده

محاسبه زی‌توده درختان، به ایجاد درکی روشن از پتانسیل تولید رویشگاه‌های جنگلی طبیعی و دست‌کاشت منجر می‌شود. اندازه‌گیری زی‌توده درختان، با روش قطع مستقیم و روش‌های برآوردی امکان‌پذیر است. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی صحت معادلات آلومتریک در برآورد زی‌توده صنوبر کبوده (*Populus alba* L.) در روستای کران استان چهارمحال و بختیاری به انجام رسید. به این‌منظور ۳۰ اصله درخت در منطقه موردمطالعه به‌صورت تصادفی انتخاب و مشخصات کمی آن‌ها از جمله قطر و ارتفاع درختان، اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس زی‌توده درختان انتخاب شده با استفاده از روابط آلومتریک توانی و به‌کارگیری قطر برابر سینه محاسبه شد. سپس تمامی درختان منتخب، قطع، به اجزاء مختلف تقسیم، توزین و نمونه‌گیری شدند و با کسر درصد رطوبت محاسبه شده برای نمونه‌ها و تعمیم آن به کل هر بخش، زی‌توده اندام‌های مختلف درختان محاسبه و نتایج حاصل از روش قطع با زی‌توده برآورد شده از معادلات آلومتریک مقایسه شد. نتایج آزمون t زوجی نشان داد که بیشترین زی‌توده درختان به‌ترتیب به تنه، شاخه، سرشاخه و برگ درختان اختصاص دارد. همچنین نتایج مقایسه دو روش نشان داد که میزان محاسبه شده زی‌توده تنه (P: ۰/۳۸۷)، شاخه (P: ۰/۰۹۳) و برگ (P: ۰/۰۸۲) درختان، بین دو روش اختلاف معنی‌داری ندارند. اما در مورد زی‌توده سرشاخه اختلاف دو روش معنی‌دار بود (P: ۰/۰۰۷). نتایج این مطالعه نشان داد که معادلات آلومتریک توانی دقت بالایی (۹۰٪) در برآورد زی‌توده درختان صنوبر دارند و می‌توان در مطالعات مرتبط، از این روابط رگرسیونی به‌جای روش مخرب و هزینه‌بر قطع استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: چهارمحال و بختیاری، رگرسیون توانی، سپیدار، وزن خشک

مقدمه

درختان سریع‌الرشد صنوبر با داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی چون خاصیت بادشکنی، سایه مطلوب، چوب مناسب برای ساختمان‌سازی و تولید علوفه همواره مورد توجه بشر قرار داشته‌اند (۱). بعد از انقلاب صنعتی، مناسب بودن چوب و الیاف صنوبر برای کاغذسازی، جنس صنوبر را زمره‌ی درختان پر اهمیت در دنیا قرار داده است؛ تا جایی که برای آن کمیسیون بین المللی[۱] نیز تشکیل شده است. ایران از سال ۱۳۳۴ شمسی عضو این کمیسیون می‌باشد. صنوبرها در رده‌بندی گیاهی در راسته مالپیگیالس[۲] و تیره بیدیان[۳] قرار می‌گیرند (۱۷) و رویش سالانه آن‌ها تا ۳۰ مترمکعب نیز گزارش شده است. گونه‌های جنس صنوبر با توجه به خصوصیات مورفولوژیک و قرابت نژادی به پنج بخش ایگروس[۴]، تورانگا[۵]، لوسه[۶] لوکوئیدس[۷] و ایکن[۸] تقسیم‌بندی شده‌اند. گونه کبوده (*Populus alba* L.) یکی از گونه‌های مهم و پرمحصول بخش لوسه است که در بخش‌های غربی و مرکزی ایران به‌طور گسترده مورد استفاده کشاورزان و زارعین چوب قرار گرفته و تولید چوب مناسبی نیز داشته است (۱۷،۱۰). وزن خشک (بدون آب) اندام‌های گیاه (یا هر موجود زنده دیگری) را زی‌توده[۹] می‌نامند (۱۸). اندازه‌گیری زی‌توده در ارزیابی ساختار و شرایط جنگل، کاربرد فراوانی داشته و به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزش‌گذاری فرآیندهای اقتصادی و بوم‌شناختی توده‌های جنگلی طبیعی و دست‌کاشت محسوب می‌شود (۲۲). امروزه مطالعات مربوط به ذخیره و ترسیب کربن[۱۰] در اندام‌های گیاهی، برمبنای اندازه‌گیری زی‌توده انجام می‌شود (۱۱). از طرفی مقدار زی‌توده در اندام‌های مختلف به‌عنوان شاخصی از تولید و یا وقوع آشفتگی در رویشگاه محسوب می‌شود (۱۴،۲۳). از سوی دیگر، بررسی زی‌توده درختان به‌منظور آگاهی از نرخ رویش درختان و ارزش‌گذاری آن‌ها به‌عنوان یک نوع زیست‌سوخت[۱۱] حائز اهمیت است (۱۸). تاکنون روش‌های متعددی برای محاسبه زی‌توده درختان ارائه شده است. دقیق‌ترین شیوه برای تخمین زی‌توده درختان، روشی است که در آن درخت را قطع و آن را به تفکیک اندام‌ها تقسیم، خشک و توزین می‌کنند (۱). این‌روش از نظر زیست‌محیطی، مخرب و از نظر اجرائی هزینه‌بر و پرزحمت است. روش دیگر، قطع جزئی است که شامل دو روش نمونه‌برداری شاخسار تصادفی (RBS)[۱۲] و زیرنمونه برداری[۱۳] است که هر دو روش باز هم دارای درصدی از تخریب بوده و دقت کمتری نسبت به روش قطع کامل دارند اما روش‌های برآوردی رایج شامل استفاده از عامل

1- International Poplar Commission (IPC) 2- Malpighiales 3- Salicaceae 4- Aigeiros Duby
5- Turanga Bage 6- Leuce 7- Leucoides spach 8- Abaso Ecken 9- Biomass
10- Carbon sequestration 11- Bioenergy 12- Randomized Branch Sampling 13- Sub sampling

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]

بسط زی‌توده (BEF)[1] و معادلات آلومتریک[2] می‌باشند که امروزه استفاده از آن‌ها در مطالعات جنگلداری رو به گسترش است (۱۳،۱۵). معادلات آلومتریک شامل روابط رگرسیونی است که حاصل کار محققان دیگر بوده و با استفاده از آن‌ها، بدون نیاز به قطع درخت می‌توان زی‌توده درخت را محاسبه نمود. کارکرد این معادلات به این نحو است که با دادن یک متغیر مستقل مانند قطر برابر سینه به آن، می‌توان متغیر وابسته (در این‌جا زی‌توده درخت) را محاسبه کرد (۶).

از مطالعات انجام شده در این زمینه در جهان می‌توان به مطالعه چاتورودی و راگوبانشی (۷) که به تخمین زی‌توده درختان چوبی کم‌قطر در جنگل‌های خشک استوایی پرداختند اشاره نمود. در معادلات آلومتریک ایجاد شده در مطالعه ایشان، قطر تنه به‌عنوان بهترین متغیر مستقل برای برآورد زی‌توده برگ و شاخه و متغیر چگالی چوب به‌عنوان بهترین متغیر مستقل برای برآورد زی‌توده کل درختان استوایی معرفی شد. در مطالعه‌ای دیگر الیویرا و همکاران (۱۵) تخصیص زی‌توده هوایی و زیر زمینی دورگه‌های مختلف صنوبر را تحت شرایط اقلیمی مدیترانه‌ای در اسپانیا مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که قطر یقه درختان مورد بررسی، بهترین معادلات آلومتریک را برای پیش‌بینی و برآورد زی‌توده و اندوخته کربن زیرزمینی (ریشه‌ها) درختان صنوبر ایجاد نموده است. همچنین برهونگارای و همکاران (۳) در مطالعه خود دریافتند که معادلات آلومتریک از جمله کارآمدترین روش‌های برآورد زی‌توده هوایی و زیرزمینی گونه صنوبر در بین روش‌های غیرمستقیم برآورد زی‌توده درختان به‌شمار می‌رود. در ایران نیز مطالعات مرتبط در مورد چند گونه درختی انجام شده است. از جمله بختیاروند بختیاری و سهرابی (۲) معادلات آلومتریک را برای مقایسه اندوخته کربن درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ مورد استفاده قرار دادند که این معادلات در مورد گونه‌های سوزنی‌برگ دقت مناسب‌تری را ارائه داد. حیدری صفری کوچی و همکاران (۱۲) معادلات آلومتریک مربوط به زی‌توده گونه صنوبر کبوده را در چهار فاصله کاشت مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که این معادلات با تغییر فواصل کاشت تغییرات محسوسی می‌یابند. طاهری آبکنار و همکاران (۲۰) معادلات آلومتریک را برای برآورد انتشار کربن از جنگلکاری‌های کاج تدا در اثر آتش‌سوزی مورد استفاده قرار دادند و مقدار آن را در لکه آتش‌سوزی ۵۲/۴۷ تن برآورد نمودند.

وجود بیش از ۷۰۰۰ هکتار صنوبرکاری در استان چهارمحال و بختیاری که غالباً با گونه صنوبر کبوده صورت گرفته است؛ بر اهمیت مطالعه در مورد میزان تولید و زی‌توده این قلمستان‌ها افزوده است. مطالعه حاضر برآن است تا با مقایسه میزان برآورد زی‌توده اندام‌های مختلف روی‌زمینی گونه کبوده در استان چهارمحال و بختیاری، با استفاده از معادلات آلومتریک و مقایسه آن با روش قطع کامل، دقت این روابط رگرسیونی در برآورد زی‌توده گونه کبوده را مورد آزمون قرار دهد تا در صورت حصول دقت مناسب در مطالعات بعدی نیازی به قطع درخت وجود نداشته باشد. مزیت گونه صنوبر در این‌گونه مطالعات، عدم نیاز به اخذ مجوز قطع و جنبه زراعی این گونه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در قلمستان‌های صنوبر واقع در حاشیه روستای کران از توابع شهرستان فارسان در استان چهارمحال و بختیاری انجام گرفت. روستای کران در ۵ کیلومتری شهرکرد و در محدوده ″۴۴ ′۳۵ °۵۰ طول جغرافیایی شرقی و ″۸ ′۱۳ °۳۲ عرض جغرافیایی شمالی قرار گرفته است. متوسط ارتفاع این روستا از سطح دریا ۲۳۲۲ متر، متوسط بارندگی سالانه آن ۴۸۹ میلی‌متر، و متوسط دمای سالانه آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خاک منطقه غالباً رسی (Clay) با بافت سنگین و دارای حدود ۱۰ درصد سنگریزه است (شکل۱) (۲۱). توده مورد بررسی صنوبرکاری ۸ ساله انجام شده با گونه کبوده با فاصله کاشت ۱×۱ متر می‌باشد.

روش پژوهش

انتخاب درختان و برداشت داده

به‌منظور انجام مطالعه حاضر، ابتدا تعداد ۳۰ اصله درخت صنوبر سالم و بدون خشکیدگی در منطقه موردمطالعه به‌صورت تصادفی با ضرب عدد تصادفی ماشین حساب در ۱۰۰ و شمارش درخت تعیین شده در هر ردیف قلمستان انجام شد. سپس درختان منتخب شماره‌گذاری شده و قطر برابرسینه، ارتفاع، قطر یقه، ارتفاع شروع تاج و میانگین دو قطر عمود برهم تاج (قطر متوسط تاج) درختان منتخب اندازه‌گیری و در فرم‌های تهیه شده ثبت شد.

استفاده از معادلات آلومتریک

مطالعات انجام شده اثبات کرده‌اند که معادلات آلومتریک با تابع توانی، دقیق‌ترین معادلات در برآورد زی‌توده صنوبر هستند و از میان متغیرهای مستقل مورد استفاده در این معادلات نیز، متغیر قطر برابر سینه در کنار سهولت اندازه‌گیری، قوی‌ترین روابط را با زی‌توده این گونه ایجاد می‌کند.

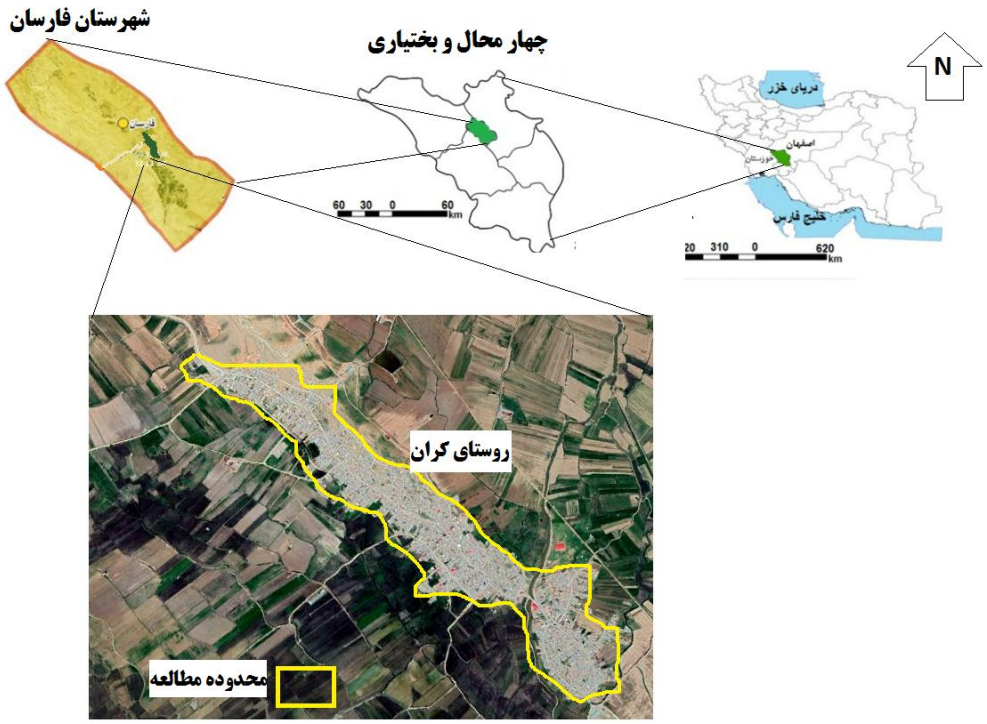
1- Biomass Expansion Factor

2- Allometric equations

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]

[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه بر روی نقشه
Figure 1. Location of study area on the map

بنابراین در مطالعه حاضر، معادلات مورد استفاده از مطالعاتی که در آن‌ها از قطر برابرسینه برای برآورد زی‌توده صنوبر در قالب روابط رگرسیونی توانی استفاده شده است برای برآورد زی‌توده اندام‌های مختلف درختان منتخب استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- معادلات آلومتریک مورد استفاده برای برآورد زی‌توده اجزاء مختلف درختان منتخب
Table 1. Allometric equations used to estimate the biomass of different components of selected trees

بخش‌های مورد بررسی درخت	معادله آلومتریک مورد استفاده	منبع
برگ	$Y= ۰/۰۰۴۲d^{۲/۴۱۸}$	(۱۲)
سرشاخه**	$Y=۰/۰۲۱d^{۱/۹۷۲}$	(۱۲)
شاخه	$Y=۰/۰۰۳۱d^{۲/۷۶۸}$	(۱۲)
تنه	$Y=۰/۱d^{۲/۰۱۳}$	(۱۲)
کل زی‌توده روی زمینی درخت	$Y=۰/۱۵۲۵d^{۲/۰۳}$	(۴)

*در جدول فوق Y: زی‌توده هر بخش از درخت و d: قطر برابر سینه درخت است ** در کل مطالعه شاخه‌های با قطر کمتر از ۱ سانتی‌متر را سرشاخه می‌نامیم (Blujdea *et al*., 2012)

قطع، توزین و نمونه‌گیری از درختان منتخب

پس از برآورد زی‌توده بخش‌های مختلف درختان منتخب به‌وسیله معادلات آلومتریک، تمامی ۳۰ درخت منتخب از سطح زمین قطع و در محل عرصه به برگ، سرشاخه، شاخه و تنه تقسیم‌بندی و داگانه با ترازوی دقیق دیجیتالی وزن‌کشی و وزن تر تمامی بخش‌ها ثبت شد (شکل ۲). پس از آن نمونه‌هایی شامل دو دیسک از تنه، چهار دیسک از شاخه‌ها و سرشاخه‌ها و ۱۰۰ عدد برگ از جهات مختلف تاج درختان برداشت و برای اندازه‌گیری درصد رطوبت اجزای مختلف درختان مورد بررسی به آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد انتقال داده شد (۱۱).

نمونه‌های برگ و سرشاخه به‌مدت ۲۴ ساعت و نمونه‌های شاخه و تنه به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. و پس از خشک‌شدن نمونه‌ها، درصد رطوبت هر یک از اندام‌های مورد بررسی با کسر وزن خشک از وزن تر نمونه‌ها محاسبه شد (۷).

محاسبه زی‌توده

در نهایت با استفاده از رابطه ۱ زی‌توده هر بخش از اجزاء درخت تعیین و با جمع کردن زی‌توده تمامی اندام‌های گیاهی، زی‌توده کل هر درخت محاسبه شد (۱۳).

$$WDC = \frac{WFc \times WDs}{WFs}$$ (رابطه ۱)

که در آن WDC زی‌توده هر جز از درخت، WFc، وزن تر هر درخت، WDs وزن خشک هر نمونه، و WFs وزن تر هر کدام از نمونه‌هاست.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن داده‌های پژوهش با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]

سنجیده شد. با اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، میانگین زی‌توده هر یک از اندام‌های درختی در دو روش قطع مستقیم و میزان برآورد شده با معادلات آلومتریک، به‌صورت دو به دو با آزمون t زوجی مورد مقایسه قرار گرفت و معنی‌داری اختلاف آن‌ها سنجیده شد و با برآورد اریبی، اریبی نسبی و میانگین ریشه مجذورات خطا (RMSE) میزان انحراف برآورد زی‌توده درختان نسبت به میزان واقعی زی‌توده آن‌ها سنجیده شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارهای پژوهش نیز در محیط نرم افزارهای SPSS (21) و Excel (2016) انجام شد.

شکل ۲- نمونه گیری از تنه (الف)، انتخاب درختان (ب)، دیسک تهیه شده از تنه (پ)، تقسیم قطعات (ت)، نمونه شاخه (ث) و توزین تنه (چ)
Figure 2. Some steps of cutting, weighing and sampling stump trees

نتایج و بحث

خصوصیات کمی درختان مورد بررسی در مطالعه

نگاهی به وضعیت خصوصیات کمی درختان انتخاب شده برای بررسی نشان می‌دهد که میانگین قطر برابر سینه درختان منتخب ۱۰/۸۱ سانتی‌متر و میانگین ارتفاع آن‌ها ۱۵/۸۰ متر می‌باشد. کم‌قطرترین و قطورترین درختان مورد بررسی نیز به‌ترتیب ۷ و ۱۶/۳۰ سانتی‌متر قطر دارند (جدول۲).

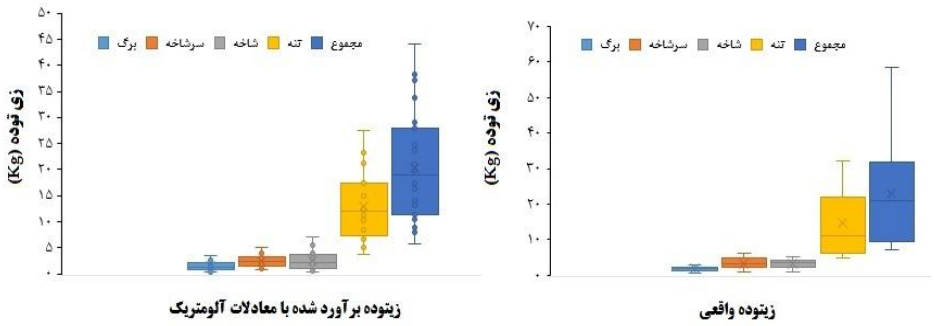
جدول ۲- میانگین خصوصیات کمی درختان انتخاب شده
Table 2. Mean of quantitative characteristics of selected trees

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	اشتباه معیار
قطر یقه (cm)	۸/۰۲	۱۹/۳۰	۱۲/۸۹	۰/۵۴
قطر برابر سینه (cm)	۷	۱۶/۳۰	۱۰/۸۱	۰/۴۹
ارتفاع (m)	۹/۲۲	۱۵/۸۰	۱۲/۸۶	۰/۲۷
قطر متوسط تاج (m)	۰/۵۸	۳/۷	۳/۲۰	۰/۱۹
ارتفاع شروع تاج (m)	۴/۶۷	۷/۹۰	۴/۶۷	۰/۲۹

سهم زی‌توده بخش‌های مختلف درختان موردمطالعه

برآورد زی‌توده درختان مورد بررسی با استفاده از معادلات آلومتریک نشان داد که بیشترین زی‌توده درختان مربوط به تنه درخت بوده است و پس از آن شاخه‌ها و سرشاخه‌های درختان بیشترین زی‌توده را به‌خود اختصاص داده‌اند. کمترین زی‌توده برآورد شده مربوط به برگ درختان مورد بررسی است. میانگین زی‌توده کل درختان در این روش ۲۲/۸۰ کیلوگرم برای هر درخت محاسبه شد. همچنین برآورد زی‌توده درختان مورد بررسی با استفاده از معادلات آلومتریک نشان داد که بیشترین زی‌توده درختان مربوط به تنه درخت بوده است و پس از آن سرشاخه‌ها و شاخه‌های درختان بیشترین زی‌توده را به‌خود اختصاص داده‌اند. کمترین زی‌توده برآورد شده مربوط به برگ درختان مورد بررسی است. میانگین زی‌توده کل درختان در این روش ۲۰/۳۸ کیلوگرم برای هر درخت محاسبه شد (شکل ۳).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]



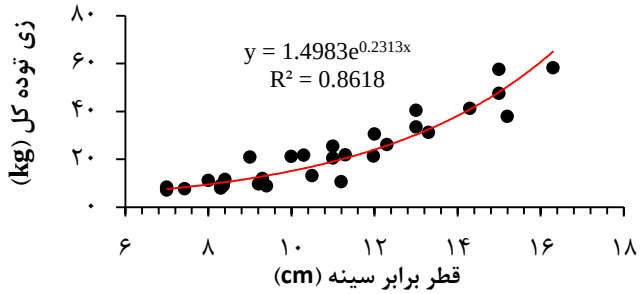
شکل ۳- تخصیص زی‌توده واقعی اندام‌های هوایی درختان مورد بررسی و زی‌توده برآورد شده با معادلات آلومتریک
Figure3. Real above ground biomass allocation of studied trees and estimated biomass by allometric equations

باتوجه به نتایج مطالعه حاضر بیشترین زی‌توده درختان مورد بررسی مربوط به تنه این درختان بوده و پس از آن شاخه‌ها، سرشاخه‌ها و برگ درختان به‌ترتیب بیشترین زی‌توده را به‌خود اختصاص داده‌اند. تخصیص زی‌توده به هر کدام از اندام‌های درختان به نوع گونه، شرایط اقلیمی و خاک بستر و نوع تکامل گونه بستگی دارد. برای مثال بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) به‌واسطه شرایط حاکم بر رویشگاه‌های این گونه در غرب ایران، دارای فرم ویژه و تاجی گسترده می‌باشد و تاج این گونه، بخش مهمی از زی‌توده روی زمینی آن را به‌خود اختصاص می‌دهد (۱۳). در مورد گونه‌های تند رشدی چون صنوبر به‌دلیل تنه کشیده و سیلندریک گیاه که حاصل خصوصیات ذاتی و هرس طبیعی آن در اثر تراکم کاشت بالا در جنگلکاری‌ها می‌باشد، بیشترین میزان زی‌توده به تنه درخت اختصاص داده می‌شود و اجزاء تاج درخت سهم کمتری از زی‌توده خواهند داشت. فانگ و همکاران (۸) با بررسی زی‌توده و اندوخته کربن گونه‌های مختلف صنوبر در کشور چین دریافتند که در مورد تمام گونه‌های موردبررسی تنه، شاخه و سرشاخه‌ها و نهایتاً برگ درختان صنوبر بیشترین زی‌توده این گونه را به‌خود اختصاص داده‌اند که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی‌دارد.

همچنین، فورتیر و همکاران (۹) پتانسیل ۵ کلن هیبرید صنوبر در ایجاد زی‌توده را در نواحی ساحلی کبک کانادا مورد بررسی قرار دادند. پس از شش سال رشد، حجم در هکتار و زیتوده شاخه و برگ گونه‌های صنوبر مورد بررسی، به‌مراتب کمتر از تنه درختان و شاخه‌های آن‌ها بود و حجم تنه چوبی به ۲۳۷/۵ مترمکعب در هکتار رسید.

تغییرات زی‌توده کل درختان با افزایش قطر برابر سینه

بررسی تغییرات زی‌توده کل درختان مورد بررسی حاصل از روش قطع کامل با افزایش قطر، نشان‌دهنده رابطه مثبت و مستقیم قطر برابر سینه درختان موردبررسی با زی‌توده آن‌ها می‌باشد. زی‌توده قطورترین درختان مورد بررسی بالغ بر ۵۰ کیلوگرم می‌باشد (شکل ۴). این شکل از تغییرات زی‌توده در گونه‌های درختی، خود به‌تنهایی نشان‌دهنده سهم قابل توجه ساقه درخت در زی‌توده کل درخت می‌باشد چرا که زی‌توده تنه درخت به‌طور محسوسی با قطر درخت ارتباط دارد. مطالعات فانگ و همکاران (۸) نشان داده است که در صنوبرکاری‌های تولیدی و دارای نظم کاشت، درختان قد کشیده بوده و حجم تاج در آن‌ها محدود است. اما در مورد سایر گونه‌ها و برخی گونه‌های تاج باز صنوبر به‌ویژه درختانی که در فواصل زیاد کاشته شده‌اند وضعیت متفاوت بوده و زی‌توده تاج نقش چشم‌گیرتری در زی‌توده درخت خواهد داشت.



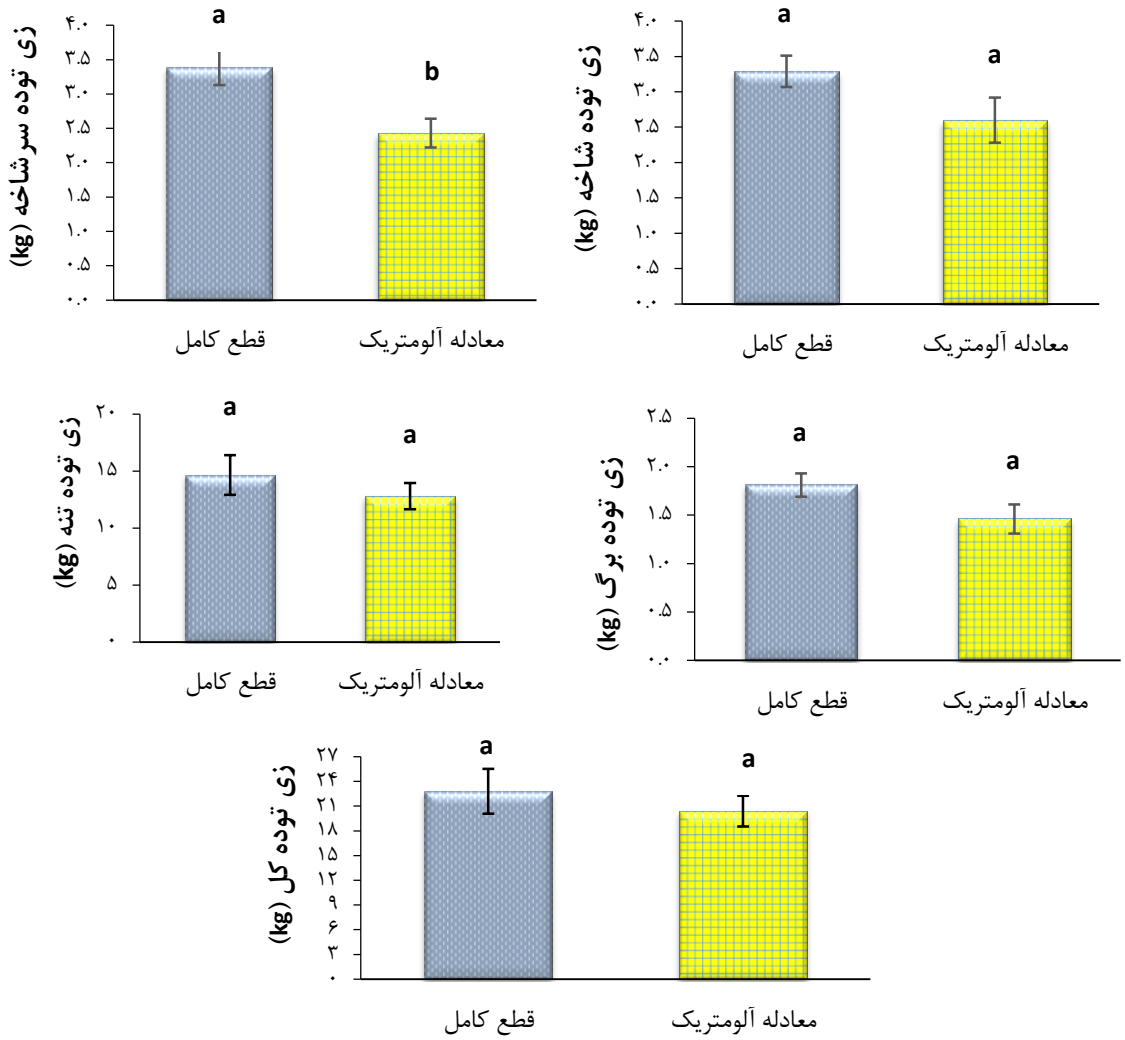
شکل ۴- تغییرات زی‌توده درختان صنوبر مقطوعه با افزایش قطر برابر سینه
Figure 4. Changes in biomass of fallen poplar trees by increasing the diameter at breast height

مقایسه زی‌توده اجزاء مختلف درختان به روش قطع کامل و معادلات آلومتریک

نتایج آزمون t زوجی نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین زی‌توده برآورد شده برگ درختان با استفاده از معادلات آلومتریک (۱/۴۶ کیلوگرم) در مقایسه با میانگین زی‌توده واقعی برگ درختان مورد بررسی حاصل از روش قطع کامل (۱/۸۱ کیلوگرم) می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین زی‌توده برآورد شده سرشاخه درختان با استفاده از معادلات آلومتریک (۲/۴۳ کیلوگرم) در مقایسه با میانگین زی‌توده واقعی سرشاخه

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]

درختان مورد بررسی حاصل از روش قطع کامل (۳/۳۹ کیلوگرم) است. در مورد شاخه‌ها نیز نتایج نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین زی‌توده برآورد شده درختان با استفاده از معادلات آلومتریک (۲/۶۰ کیلوگرم) در مقایسه با میانگین زی‌توده واقعی شاخه درختان مورد بررسی حاصل از روش قطع کامل (۳/۲۹ کیلوگرم) می‌باشد. همچنین نتایج آزمون t زوجی نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین زی‌توده برآورد شده تنه درختان با استفاده از معادلات آلومتریک (۱۲/۸۱ کیلوگرم) در مقایسه با میانگین زی‌توده واقعی تنه درختان مورد بررسی حاصل از روش قطع کامل (۱۴/۶۵ کیلوگرم) می‌باشد. در نهایت نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین زی‌توده برآورد شده کل درختان با استفاده از معادلات آلومتریک (۲۰/۳۸ کیلوگرم) در مقایسه با میانگین زی‌توده کل درختان مورد بررسی حاصل از روش قطع کامل (۲۲/۸۰ کیلوگرم) وجود ندارد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین زی‌توده واقعی بخش‌های مختلف درختان مورد بررسی با میزان برآورد شده بوسیله معادلات آلومتریک
Figure 5. Comparison of the real average biomass of trees different components with the estimated amount by allometric equations

با توجه به نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، برآورد زی‌توده بخش‌هایی از گیاه که فرم ثابت‌تری داشته و نقش اسکلت گیاه را بازی می‌کنند (مانند تنه و شاخه‌ها) توسط معادلات آلومتریک با دقت بالاتری انجام شده است اما دقت برآورد زی‌توده اندام‌هایی از گیاه که فرم متغییری داشته و نوع پراکنش آن‌ها در گیاه کمتر قابل پیش‌بینی است (مانند برگ و سرشاخه‌ها) با دقت کمتری برآورد شده است و در مورد سرشاخه‌ها اختلاف معنی‌داری بین برآورد زی‌توده توسط معادلات آلومتریک و زی‌توده واقعی این بخش مشاهده شد. دلیل این امر، وابستگی بیشتر این بخش‌های درخت به شرایط رویشگاه است. همانطور که در مطالعه سوچا و وزیک (۱۹) بررسی دقت معادلات آلومتریک در برآورد زی‌توده درختان کاج سیلوستریس (*Pinus sylvestris*) روشن ساخت که معادلات آلومتریک دقت بالایی در برآورد زی‌توده تنه و شاخه‌های اصلی این گونه داشته‌اند اما این معادلات در برآورد زی‌توده سرشاخه‌ها و سوزن‌های این گونه دقت لازم را

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]

نداشتند که ایشان نیز دلیل آن را تغییرات عمده این اجزاء تحت شرایط رویشگاه عنوان نمودند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که معادلات آلومتریک توانی، کارایی لازم را برای برآورد زی‌توده درختان صنوبر داشته‌اند به‌نحوی که معادلات مورد استفاده زی‌توده برگ، شاخه و تنه درختان را با دقت قابل قبولی برآورد نموده‌اند. در مطالعات مشابه نیز معادلات آلومتریک توانی به‌عنوان مناسب‌ترین معادلات در برآورد زی‌توده گونه‌های مختلف گیاهی معرفی شده است. از جمله مطالعه پارساپور و همکاران (۱۶) با بررسی زی‌توده چهار گونه صنوبر پرکاربرد در صنوبرکاری‌های مرکز کشور دریافتند که معادلات آلومتریک توانی به‌ویژه معادلاتی که در آن‌ها قطر برابر سینه به عنوان متغیر مستقل به‌کار برده شده است، بیشترین قابلیت را در برآورد زی‌توده گونه‌های مختلف صنوبر داشته است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

اعتبارسنجی معادلات آلومتریک

نتایج اعتبارسنجی معادلات آلومتریک استفاده شده در مطالعه حاضر با محاسبه اریبی و استفاده از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) در جدول (۳) خلاصه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان خطای برآورد و اریبی مربوط به قسمت‌های غیر چوبی گیاه مانند برگ و سرشاخه‌ها است و میزان خطا در مورد شاخه‌ها و تنه درخت کاهش می‌یابد. کمترین میزان خطا و اریبی نیز مربوط به برآورد زی‌توده کل درختان است که نشان‌دهنده دقت مناسب معادلات آلومتریک در برآورد زی‌توده درختان صنوبر کبوده است.

جدول۳- میزان اریبی، اریبی نسبی و درصد RMSE در برآورد زی‌توده بخش‌های مختلف درختان با استفاده از معادلات آلومتریک
Table 3. Evaluation of Bias, Bias ratio and RMSE for biomass estimation of different parts of trees by allometric equations

اندام گیاه	اریبی (Kg)	اریبی نسبی (٪)	جذر میانگین مربعات خطا (٪)
برگ	-۰/۳۴	-۱۸/۹۹	۳۹/۸۷
سرشاخه	-۰/۹۶	-۲۸/۳۲	۴۲/۵۸
شاخه	-۰/۶۹	-۲۱/۰۹	۳۷/۸۴
تنه	-۱/۶۰	-۹/۹۸	۲۶/۸۳
مجموع	-۱/۳۵	-۵/۹۴	۱۹/۳۶

نتایج بررسی خطای برآورد زی‌توده درختان مورد بررسی نشان دهنده خطا و اریبی اندک برآورد زی‌توده کل درختان مورد بررسی نسبت به اندام‌های مختلف به‌صورت جداگانه است. ایران‌منش و همکاران (۱۳) نیز با برآورد زی‌توده بخش‌های مختلف درختان بلوط ایرانی دریافتند که خطای برآورد زی‌توده بخش‌های مختلف گیاه به‌مراتب بیشتر از زی‌توده کل درخت بوده و اریبی و اریبی نسبی برآورد زی‌توده کل نسبت به زی‌توده بخش‌های مختلف درختان حداقل است. در مطالعه حاضر میانگین زی‌توده کل درختان مورد بررسی به‌وسیله معادلات آلومتریک ۲۰/۳۸ کیلوگرم به‌دست آمد که با مقایسه آن با میانگین زی‌توده کل به‌دست آمده از روش قطع کامل (۲۲/۸۰ کیلوگرم) در می‌یابیم که معادلات آلومتریک مورد استفاده، زی‌توده درختان صنوبر کبوده را با دقت ۹۰ درصد برآورد کرده است که در مطالعات منابع طبیعی دقت بسیار قابل قبولی‌است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که معادلات آلومتریک در مورد زی‌توده تمام بخش‌های درختان صنوبر، کم برآورد (Underestimate) است. دلیل کم برآورد بودن معادلات آلومتریک استفاده شده برای تخمین زی‌توده بخش‌های مختلف گونه مورد مطالعه را می‌توان به متفاوت بودن فرم رشد و شاخه‌دوانی درختان مورد مطالعه نسبت به درختان مورد استفاده برای تهیه معادلات مرجع مربوط دانست. عواملی چون حاصلخیزی خاک، شرایط نوری مناسب و بهبود شرایط اقلیمی در یک محل می‌تواند موجب افزایش رویش و شاخه‌دوانی گیاه شود که خود عامل افزایش زی‌توده واقعی گیاه نسبت به میزان برآورد شده بوسیله معادلات آلومتریک می‌باشد (۴،۱۱).با توجه به فاصله کاشت درختان در منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۰۰۰۰ اصله درخت در هکتار در منطقه وجود دارد که با تعمیم میانگین زی‌توده محاسبه شده برای ۳۰ اصله درخت مورد بررسی به کل درختان، زی‌توده توده‌های صنوبرکاری منطقه مورد بررسی معادل ۲۲۸ تن در هکتار برآورد می‌شود که با نتایج مطالعه حیدری صفری کوچی و رستمی شاهراجی (۱۱) در این استان مطابقت دارد. در مجموع، دستاوردهای این پژوهش نشان‌داد که معادلات آلومتریک دقت قابل قبولی در برآورد زی‌توده گونه صنوبر دارد و می‌توان آن‌ها را برای تخمین زی‌توده گونه‌های صنوبر مورد استفاده قرار داد و از عملیات مخرب و پرهزینه قطع اجتناب نمود.

منابع

1. Abbasi, L., Z. Shakeri, N. Shabanian and G. Moreno. 2017. Branch and leaf biomass of Lebanon oak (*Quercus libani* Oliv.) and gall oak (*Q. infectoria* Oliv.) trees in different years after pollarding. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(1): 46-35 (In Persian).
2. Bakhtiarvand Bakhtiari, S. and H. Sohrabi. 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): 481-49 (In Persian).
3. Berhongaray, G., M.S. Verlinden, L.S. Broeckx and R. Ceulemans. 2015. Changes in belowground biomass after coppice in two populus genotypes. Forest Ecology and Management, 337: 1-10.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]

4. Blujdea, V.N.B., R. Pilli, I. Dutca and A.L. Liviu. 2012. Allometric biomass equations for young broadleaved trees in plantations in Romania. Forest Ecology and Management, 264(1): 172-184.
5. Calagari, M., R. Ghasemi, F. Asadi and R. Baghery. 2018. Promotion of wood production of some poplar clones using sprouts management in Karaj. Iranian Journal of Forest, 10(1): 79-88 (In Persian).
6. Cerruto Ribeiro, S., L. Fehrmann, C. Pedro Boechat Soares, L. Antônio Gonçalves Jacovine, C. Kleinn and R. de Oliveira Gaspar. 2011. Above-and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. Forest Ecology and Management, 262: 491-499.
7. Chaturvedi, R and A. Raghubanshi. 2013. Aboveground biomass estimation of small diameter woody species of tropical dry forest. New Forests, 44: 509-519.
8. Fang, S., J. Xue and L. Tang. 2007. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. Journal of Environmental Management, 85(3): 672-679.
9. Fortier, J., D. Gagnon, B. Truax and F. Lambert. 2010. Biomass and volume yield after 6 years in multiclonal hybrid poplar riparian buffer strips. Biomass and Bioenergy, 34: 1028-1040.
10. Gholami, Gh., A. Modirrahmati, R. Ghasemi and S.Z. Mirkazemi. 2014. Adaptation and wood production of different closed-crown poplar clones in Gorgan. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(3): 473-484 (In Persian).
11. Heidari Safari Kouchi, A and T. Rostami shahraji. 2019. Poplar plantation and its role in carbon sequestration, Sepid Rood Press, Rasht, Iran, 180 pp (In Persian).
12. Heidari Safari Kouchi, A., T. Rostami Shahraji and Y. Iranmanesh. 2015. Comparison of allometric equations to estimate the above-ground biomass of species (Case study; poplar plantations in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 13(3): 237-246 (In Persian).
13. Iranmanesh, Y., H. Sohrabi, KH. Sagheb-Talebi, S.M. Hosseini and A. Heidari Safari Kouchi. 2019. Biomass, Biomass Expansion Factor (BEF) and Carbon Stock for Brant's Oak (*Quercus brantii* Lindl.) Forests in West-Iran. Annals of Silvicultural Research, 43(1): 15-22.
14. Mateus, M.M., M. Vale, A. Rodrigues, J.C. Bordado, R.G. Dos Santos. 2017. Is biomass liquefaction an option for the viability of poplar short rotation coppices? A preliminary experimental approach. Energy, 124: 40-45.
15. Oliveira, N., R. Rodríguez-Soalleiro, C. Pérez-Cruzado, I. Cañellas, H. Sixto and R. Ceulemans. 2018. Above- and below-ground carbon accumulation and biomass allocation in poplar short rotation. plantations under Mediterranean conditions. Forest Ecology and Management, 428: 57-65.
16. Parsapour, M.K., H. Sohrabi, A. Soltani and Y. Iranmanesh. 2013. Allometric equations for estimating biomass for four poplar species at Charmahal and Bakhtiari province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(3): 528-517 (In Persian).
17. Sabeti, H. 2003. Forests, Trees and Shrubs of Iran. Yazd University Press, Yazd, Iran, 806 pp (In Persian).
18. Štochlová, P., K. Novotná, M. Costa and A. Rodrigues. 2019. Biomass production of poplar short rotation coppice over five and six rotations and its aptitude as a fuel. Biomass and Bioenergy, 122: 183-192.
19. Socha, J. and P. Wezyk. 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. European Journal of Forest Research, 126: 263-270.
20. Taheri Abkenar, K., A. Heidari Safari Kouchi, S. Dehghanzad, S. Mostahsanpour and F. Moradianfard. 2018. Estimation of carbon emissions from loblolly pine (*Pinus taeda* L.) forest plantations using Allometric equations. Forest and Range Protection Researches, 16(1): 88-101 (In Persian).
21. Talebi, M., A. Modir Rahmati, H. Jahanbazi Gojani and F. Haghighian. 2008. Final trial on adaptability of different poplar clones to introduce suitable ones for executive section. Final report of Research. Agricultural and Natural Resource Research Center of Chahar Mahal and Bakhtiari province, 43 pp (In Persian).
22. Veiskarami, Z., B. Pilehvar and A. Haghizadeh. 2018. Effects of Anthropogenic Disturbance on Diversity, Biomass and Storage of N and P Nutrients by Herbaceous Vegetation of Gall Oak Stands (Case Study: Shine Qellaii Forests, Lorestan Province). Ecology of Iranian Forest, 6(12):18-29 (In Persian).
23. Zamani, M., M. Nikooy, H. Pourbabaei, R. Naghdi and L. Moradipour. 2017. Effect of Road Age on Identification of Ecological Species Groups and Environmental Factors Affecting them in Western Forests of Guilan Province. Ecology of Iranian Forest, 5(10): 22-31(In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]

Investigation the Accuracy of Estimating the Biomass of Poplar (*Populus alba* L.) Trees using Allometric Equations

Abozar Heidari Safari Kouchi[1], Teimour Rostami Shahraji[2], Reza Ebrahimi Atani[3] and Yaghob Iranmanesh[4]

1- Graduated Ph.D. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, Iran (Corresponding author: heidariabouzar@gmail.com)
2- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, Iran
3- Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.
4- Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, Iran
Received: September 18, 2019 Accepted: December 7, 2019

Abstract

Computation of tree biomass, leads to a clear understanding of production potential of natural and artificial forest habitats. Measuring the biomass of trees is possible by direct-cutting and estimation methods. The present study was performed to evaluate the accuracy of allometric equations in estimation of poplar (*Populus alba* L.) biomass in Koran village of Chaharmahal and Bakhtiari province. For this purpose, 30 number of trees in the study area were randomly selected and their quantitative characteristics including diameter and height of trees were measured and recorded. Then, the biomass of selected trees was calculated by using allometric power equations and applying a diameter at breast height. Then, all selected trees were cut down, sectioned, weighted and sampled and by deducting the percentage of moisture calculated for the samples and extending it to the whole of each section, the biomass of the different organs of the trees was calculated and the results of the cutting method were compared with the estimated biomass of the allometric equations. The results of paired samples t-test showed that the highest biomass of the trees belonged to trunk, branch, twigs and leaf, respectively. Also, results of comparing the two methods showed that there were no significant differences between two methods in calculating the trunk biomass (P 0.387), shoots (P 0.093) and leaves (P 0.082). But for branch biomass, there was a significant difference between the two methods (P: 0.007). The results of this study showed that allometric equations have high accuracy (90%) in estimating the biomass of poplar trees and can be used in related studies instead of destructive and costly cutting off method.

Keywords: Chaharmahal and Bakhtiari, Dry weight, Power regression, Spruce

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-05-10]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.14.8]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.133]