



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"

دوره هفتم، شماره پانزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

تعیین مناسب‌ترین معادلات آلومتریک برآورد زی‌توده روی زمینی گونه ارس

محمد مقصودلوند*^۱، امیراسلام بنیاد^۲ و شعبان شتایی^۳

^۱ دانشجوی دکترای جنگلداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا

^۳ استاد گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۸

چکیده

امروزه مدل‌سازی و تعیین معادلات آلومتریک زی‌توده درختان جنگلی به‌ویژه درختان ارس برای تعیین وضعیت زیستی و قدرت ذخیره کربن گونه‌های درختی توده‌های جنگلی بسیار مهم می‌باشد. هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده برگ، شاخه فرعی، شاخه اصلی، تنه و زی‌توده کل درختان ارس در منطقه چهار باغ استان گلستان می‌باشد. برای مدل‌سازی در هر طبقه قطری حداقل ۳ درخت به منظور برداشت نمونه‌های برگ و شاخه انتخاب شد. در مجموع از ۳۵ درخت نمونه برداشت شد و در آزمایشگاه پس از توزین و خشک‌کردن نمونه‌ها زی‌توده برگ، شاخه، تنه و کل محاسبه شد. معادلات آلومتریک بر اساس مدل‌های رگرسیونی توانی، نمایی و چند جمله‌ای به دست آمد. برای اعتبار سنجی مدل‌ها از معیار ضریب تعیین، انحراف معیار مدل برازش یافته، تحلیل رگرسیون و تبعیت توزیع مقادیر باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین متغیرهای مستقل، قطر برابر سینه با $R^2=97$ ، سطح تاج با $R^2=96$ و قطر متوسط تاج با $R^2=94$ ، معادلات با شاخص‌های مدل‌سازی مناسب‌تری در بخش‌های مختلف درخت تولید نمودند. همچنین مدل توانی و چند جمله‌ای از مدل نمایی مناسب‌تر بود. ضریب تبیین به دست آمده از مدل‌های رگرسیونی نشان داد که این معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده درختان ارس در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارس (*Juniperus excelsa*)، معادله آلومتریک، مدل توانی، زی‌توده، چهار باغ استان گلستان

*نویسنده مسئول: mohammad.maghsoudlou@yahoo.com

مقدمه

برآورد زی توده و محتوی کربن درختان و سایر رستنی ها با توجه به اهمیت موضوع گرمایش زمین و تغییر اقلیم (Ebuy et al., 2011) و نیز به عنوان عنوان شاخصی برای تشریح حاصلخیزی رویشگاه (Navar, 2009) از اهمیت زیادی برخوردار است. افزایش میزان دی اکسیدکربن در اتمسفر به عنوان یکی از عوامل مؤثر در تغییر اقلیم به ویژه گرمایش جهانی، سبب شده تا مدیریت کربن به عنوان مؤثرترین فعالیت در رابطه با تغییرات اقلیم در سطح ملی و بین المللی معرفی شود (Wani et al., 2015). کاهش انتشار کربن و افزایش ترسیب آن به عنوان رهیافت های مؤثر مدیریت کربن برای کاهش نرخ افزایشی درجه حرارت هوا مطرح شده است جنگل ها علاوه بر کالاهای و خدمات متنوعی که برای انسان مهیا می کنند، نقش مهمی در ذخیره طبیعی کربن در مقیاس جهانی دارند (Fu et al., 2015). در این باره جنگل ها به عنوان یک راه کم هزینه و بهترین و مؤثرترین رویکرد برای حذف دی اکسیدکربن اتمسفر از طریق فتوسنتز و افزایش زی توده درختان معرفی شده اند. جنگل ها توانایی کاهش بیش از ۵۰ درصد گازهای گلخانه ای جهان را دارند (Watson, 2010). اندازه گیری و برآورد زی توده درختان، یکی از نیازهای اساسی در برنامه ریزی های مدیریتی جنگل و بررسی های جریان انرژی در بوم سازگان به حساب می آید و طی سالیان اخیر این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (زیبانی و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین عواملی مانند بحران گرمایش جهانی و تعیین مقدار کربن ذخیره شده در اکوسیستم ها بر اساس الزامات و تعهدات بین المللی نیاز به اندازه گیری مقدار تولید زی توده درختی دارد (West, 2009). زی توده جنگل شامل مواد آلی رو و زیرزمین می باشد. (Geremew, 2011) در جنگل ها ۵ منبع ذخیره کربن، شامل زی توده روی سطح زمین و زیر سطح زمین، چوب های مرده، مواد آلی پوشش کف جنگل و خاک وجود دارد. یکی از اهداف کاهش تخریب جنگل ها حفظ زی توده بالای سطح زمین می باشد (IPCC, 2003). برای برآورد میزان زی توده روی سطح زمین روش های زیادی شامل برداشت زمینی، GIS و سنجش از دور (Lu, 2006) وجود دارد. از آنجا که اندازه گیری مستقیم زی توده کل درخت مخرب، وقت گیر و پرهزینه است، همچنین برای مناطق وسیع نمی توان توزیع مکانی زی توده را تعیین نمود، عموماً استفاده از معادلات آلومتریک بر اساس پارامترهایی همچون قطر برابر سینه، ارتفاع یا تاج درخت مورد توجه بسیاری از محققان و کارشناسان است (Repola, 2008). روابط آلومتریک ابزاری برای برآورد وزن کل درخت و یا اندام های درخت از طریق متغیرهای مستقلی مانند قطر برابر سینه و یا ارتفاع است که در توده قابل اندازه گیری هستند (Komiya et al., 2008). روابط آلومتریک در واقع معادلات رگرسیونی ای هستند که به طور مستقیم اندازه گیری های نظیر قطر را به زی توده کل درخت تبدیل می کنند (Losi et al., 2003). از طرف دیگر بسیاری اوقات برآورد زی توده کل کافی نیست، بلکه لازم است که زی توده

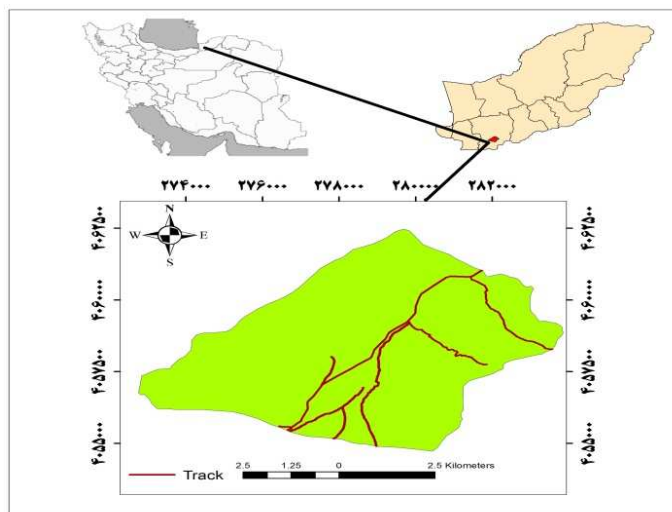
بخش‌های مختلف درخت به دست آید. مثلاً زی‌توده بخش‌های مختلف تاج که شامل برگ، شاخه‌های کوچک و شاخه‌های اصلی است برای این منظور درخت به طور کامل قطع، به اجزای مختلف تفکیک و وزن هر جزء به صورت جداگانه محاسبه گردد (Snowdon et al., 2002). گرچه ممکن است که وزن تنه درخت با اندازه‌گیری مستقیم حجم تنه و استفاده از جرم حجمی برآورد گردد (Good et al., 2001). برای برآورد زی‌توده تاج، روش‌های نمونه‌برداری متعددی معرفی و اجرا گردیده است. از جمله این روش‌ها، روش نمونه‌برداری شاخسار تصادفی، روش نمونه‌برداری قدری و زیر نمونه‌برداری است (بختیاروند و سهرابی، ۱۳۹۱). روش زیر نمونه‌برداری که نوعی از روش نمونه‌برداری دواشکوبه‌ای است، در مواقعی که اندازه‌گیری مشخصه مورد نظر مشکل یا پرهزینه بوده، در عین حال مشخصه‌های دیگری که با مشخصه مورد نظر رابطه خوبی داشته و اندازه‌گیری آن‌ها راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر است، وجود داشته باشند، قابل توصیه است (Zoberiri, 2002). این روش که رگرسیون مبنا می‌باشد به شیوه‌های متعددی برای برآورد زی‌توده تاج بسیاری از گونه‌های درختی، خصوصاً گونه‌های سوزنی‌برگ به اجرا درآمده و نتایج مطلوبی به همراه داشته است. گوت (Grote, 2002) با استفاده از این روش زی‌توده و برگ شاخه‌ها را برای دو گونه نوئل (*Picea abies*) و راش (*Fagus sylvatica*) برآورد نموده است. پیپر و فسون (Peper and Pherson, 1998) زی‌توده شاخه و برگ و قسمت‌های چوبی دو گونه توت و گیلان را با روش‌های از جمله زیر نمونه‌برداری برآورد نموده و با مقادیر واقعی مقایسه کردند. در ایران تاکنون در زمینه روش‌های برآورد زی‌توده مطالعاتی برای چندگونه درختی پهن‌برگ صورت گرفته است. به عنوان مثال عدل (۱۳۸۶) زی‌توده و شاخص سطح برگ گونه‌های بلوط برودار و بنه را در جنگل‌های یاسوج، سهرابی و شیروانی (۱۳۹۱) به تعیین معادلات آلومتریک برآورد زی‌توده روی زمین بنه در پارک ملی خجیر و ایران‌منش و همکاران (۱۳۹۱) معادله آلومتریک برآورد زی‌توده و انداخته کربن روی زمینی در دو فرم رویشی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) را در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار دادند؛ اما در خصوص تعیین معادلات آلومتریک برای گونه‌های سوزنی‌برگ بومی و غیربومی تحقیق کمی وجود دارد. به عنوان مثال فقط بختیاروند و سهرابی (۱۳۹۱) در تحقیقی به روش زیر نمونه‌گیری به برآورد زی‌توده تاج و اجزای مختلف درختان کاج و سرو نقره‌ای پرداختند، نتایج نشان داد که با استفاده از تحلیل مدل رگرسیون غیرخطی، همه مدل‌ها با ۹۹/۹ درصد اطمینان معنی‌دار هستند. در اکثر کشورهای توسعه یافته، معادلات آلومتریک برای بیشتر گونه‌ها ارائه شده است ولی در ایران تحقیقات صورت گرفته برای گونه‌های جنگلی به ویژه گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بومی بسیار ناچیز می‌باشد. گونه ارس یکی از درختان سوزنی‌برگ بومی ایران هست که گسترش زیادی در مناطق کوهستانی در کشور هم به صورت مخلوط و هم به صورت خالص در برخی مناطق دارند. گونه درختی (*Juniperus excelsa*) پراکنش جغرافیایی وسیعی در کشور

ایران دارا است و تفاوت‌های فراوانی از نظر خصوصیات ظاهری و گیاه‌شناسی با دیگر گونه‌های ارس دارد. این گونه نقش بسیار بالایی در حفاظت از خاک و ذخیره آب و افزایش تنوع گونه‌ای و زی‌توده روی زمینی در مناطق کوهستانی دارد. بررسی منابع صورت گرفته نشان داد که تاکنون هیچ معادله آلومتریک برای محاسبه زی‌توده گونه ارس در کشور صورت نگرفته است، ولی در برخی تحقیقات خارج از کشور چند تحقیق وجود دارد که با توجه به شرایط متفاوت گونه و رویشگاهی نمی‌تواند این معادلات آلومتریک برای گونه ارس کوهی (*Juniperus excelsa*) در نواحی کوهستانی ایران مورد استفاده قرار گیرد. در خارج از کشور شارلوت (Charlotte, ۲۰۱۳) در تحقیقی به بررسی معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده بالای زمینی گونه ارس (*Juniperus ashei*) در تگزاس پرداختند. نتایج وی نشان داد که معادلات آلومتریک که بر اساس قطر برابر سینه و ارتفاع تهیه شد بهتر از معادلاتی که بر اساس ارتفاع درخت، محدوده تاج و حجم تاج توانستند زی‌توده کل را برآورد کنند. میریک و همکاران (Mirik et al., ۲۰۱۳) به ارزیابی زی‌توده درختان ارس (*Juniperus pinchotii*) در شمال تگزاس پرداختند. نتایج نشان داد که مدل رگرسیون خطی مناسب‌ترین مدل برای برآورد زی‌توده درختان ارس می‌باشد. اسپرینکل و کلیک (Sprinkle and Klepac, ۲۰۱۵) در تحقیقی به مدل‌سازی زی‌توده بالای زمینی گونه ارس (*Juniperus osteosperma*) در جنوب یوتا پرداختند. به منظور مدل‌سازی از متغیرهای قطر یقه، قطر برابر سینه، ارتفاع کل و سطح تاج استفاده نمودند. بهترین مدل از متغیرهای قطر یقه، سطح تاج و ارتفاع کل برای برآورد زی‌توده بالای زمینی به دست آمد. کرافچک و همکاران (Krofcheck et al., ۲۰۱۶) پژوهشی را بر روی زی‌توده درخت ارس (*Juniper Savanna*) در نیومکزیکو مرکزی انجام دادند. از مدل لگاریتمی برای برآورد زی‌توده استفاده نمودند. تکوینی و همکاران (Tekleweini et al., ۲۰۱۹) در تحقیقی به بررسی زی‌توده روی زمینی گونه ارس (*Juniperus Procera*) در جنوب اتیوپی پرداختند. به منظور مدل‌سازی از متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین مدل برای برآورد زی‌توده مدل توانی می‌باشد. با توجه به بررسی منابع صورت گرفته مشخص گردید که برای گونه‌های ارس در ایران با توجه به میزان سطح و پراکنش قابل توجه این گونه در بسیاری از مناطق ایران هنوز هیچ معادله آلومتریک برای محاسبه زی‌توده و ذخیره کربن ذخیره‌شده در این گونه وجود ندارد، بنابراین هدف اصلی تحقیق تعیین مناسب‌ترین معادلات آلومتریک گونه ارس، بر اساس متغیرهایی که اندازه‌گیری آن‌ها آسان، غیر مخرب، کم‌هزینه و سریع است. با این فرضیه که معادلات آلومتریک برآورد زی‌توده روی زمین گونه ارس بر اساس متغیرهای قابل اندازه‌گیری در ذخیره‌گاه چهار باغ دارای دقت مناسب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه چهار باغ در ارتفاعات بالای دامنه‌های شمالی البرز و در جنوب شهرستان گرگان قرار دارد. فاصله این منطقه از شهرستان گرگان حدود ۵۰ کیلومتر می‌باشد. منطقه‌ای کوهستانی واقع در حوزه آبخیز نکارود که در عرض جغرافیایی $36^{\circ}36'27''/81$ تا $36^{\circ}41'00''/81$ و طول جغرافیایی $28^{\circ}19'90''$ تا $54^{\circ}35'13''/78$ بین دو استان گلستان و سمنان واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۳۰۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان گلستان

روش نمونه‌برداری:

در منطقه مورد مطالعه، ابتدا تعداد ۱۴۵ قطعه نمونه ۱۰ آری به صورت تصادفی پیاده گردید و در آن مشخصه‌های کمی درختان نظیر قطر برابر سینه، سطح تاج پوشش و ارتفاع برداشت شد. پس از بررسی نتایج آمار برداری و مشخص شدن دامنه تغییرات قطر برابر سینه، در هر طبقه قطری حداقل از ۳ درخت نمونه‌های برگ و شاخه برداشت شد. در مجموع از ۳۵ درخت نمونه برداشت شد. به منظور تعیین زی‌توده درختان، نمونه‌برداری از برگ و شاخه‌های اصلی (شاخه‌های منشعب از تنه با قطر بزرگ‌تر از ۵ سانتی‌متر) و فرعی (شاخه‌های با قطر کمتر از ۵ سانتی‌متر) صورت گرفت. از برگ درختان برحسب بزرگی و کوچکی تاج، بین یک هشتم تا یک چهارم نمونه‌برداری صورت گرفت (عدل، ۱۳۸۶).

با توجه به ممنوعیت قطع درختان ارس ابتدا قطر بن تمامی شاخه‌های درخت اندازه‌گیری شد (Snowdon et al., ۲۰۰۲). سپس تاج درخت به سه بخش زیرین، میانی و فوقانی تقسیم گردید و با توجه به پراکنش قطری شاخه‌های تاج درخت، سه شاخه از هر درخت به صورت تصادفی انتخاب و قطع شد. شاخه‌های قطع شده به شاخه‌های اصلی و فرعی جداسازی و با دقت ۰/۱ کیلوگرم با ترازو توزین شدند (بختیاروند بختیاری، ۱۳۹۱). همچنین برای اندازه‌گیری وزن خشک تعداد ۳۵ شاخه اصلی و ۳۵ شاخه فرعی با ضخامت‌های مختلف به‌طور تصادفی انتخاب و به قطعات ۵ سانتی‌متری تقسیم و از بین آن‌ها ۳۵ قطعه نمونه به‌طور تصادفی انتخاب شد. در نهایت با توجه رابطه زیر، زی‌توده شاخه‌های قطع شده با قطر آن‌ها و تعمیم آن به کل شاخه‌ها، زی‌توده تاج درختان محاسبه گردید. به منظور تعیین زی‌توده تنه درختان از طریق محاسبه زی‌توده با حجم تنه و چگالی بحرانی چوب تنه، زی‌توده تنه درختان محاسبه گردید.

جدول ۱- خلاصه وضعیت مشخصه‌های کمی ارس در منطقه مورد مطالعه

مشخصه‌های کمی	حداقل	حداکثر	میانگین
تعداد در هکتار	۳/۳۳	۱۱۵	۶۵/۹۹
ارتفاع کل (متر)	۲/۴	۸/۶	۴/۴
قطر برابر سینه (سانتیمتر)	۹	۵۳	۲۷/۷
سطح تاج پوشش (مترمربع)	۲/۵	۶۶/۱	۲۵/۳
متوسط قطر تاج (متر)	۱/۶	۹/۵	۴/۷

تعیین زی‌توده (وزن خشک)

وزن تر قطعات نمونه بلافاصله در عرصه با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ گرم) توزین شد و در بسته‌های جداگانه به منظور اندازه‌گیری وزن خشک به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس توزین شدند (بختیاروند بختیاری، ۱۳۹۱). پس از مشخص شدن وزن خشک نمونه‌ها وزن خشک سایر اجزای درخت از رابطه ۱ محاسبه گردید (Snowdon et al., ۲۰۰۲).

$$WD_c = \frac{WF_c \times WD_s}{WF_s}$$

رابطه ۱

که WD_c وزن خشک هر جزء از درخت، WF_c وزن تر هر جزء از درخت، WD_s وزن خشک هر نمونه و WF_s وزن تر هر کدام از نمونه‌ها است. به عبارتی با به دست آوردن نسبت وزن خشک به وزن تر نمونه، اگر این نسبت در وزن تر اندام ضرب شود، کل وزن خشک اجزاء درخت به دست خواهد آمد.

برای تحلیل داده‌ها ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی شد. با توجه به نرمال بودن متغیرهای مورد بررسی، با استفاده از متغیرهای اندازه‌گیری شده از درختان سرپا، معادلات آلومتریک رگرسیونی بر مبنای حداقل مربعات برازش داده شد. در این تحقیق از مدل رگرسیونی توانی $Y = b_0 x^{b_1}$ ، مدل رگرسیون نمایی $Y = b_0 e^{b_1 x}$ و مدل رگرسیونی چند جمله‌ای $Y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3$ استفاده شد. برای اعتبار سنجی مدل‌ها از معیار ضریب تعیین، انحراف معیار مدل برازش یافته، تحلیل رگرسیون و تبعیت توزیع مقادیر باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال استفاده شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت.

نتایج

معادلات رگرسیون برآورد وزن خشک (زی‌توده) کل درخت و اجزاء آن به تفکیک محاسبه گردید. نتیجه برازش مدل‌های مختلف برای برآورد زی‌توده برگ، شاخه‌های فرعی، شاخه‌های اصلی، تنه و زی‌توده کل بر مبنای قطر برابر سینه درختان ارس (جدول ۲) نشان داد که مدل رگرسیونی توانی بر مبنای قطر برابر سینه بهتر از مدل نمایی و چند جمله‌ای بود.

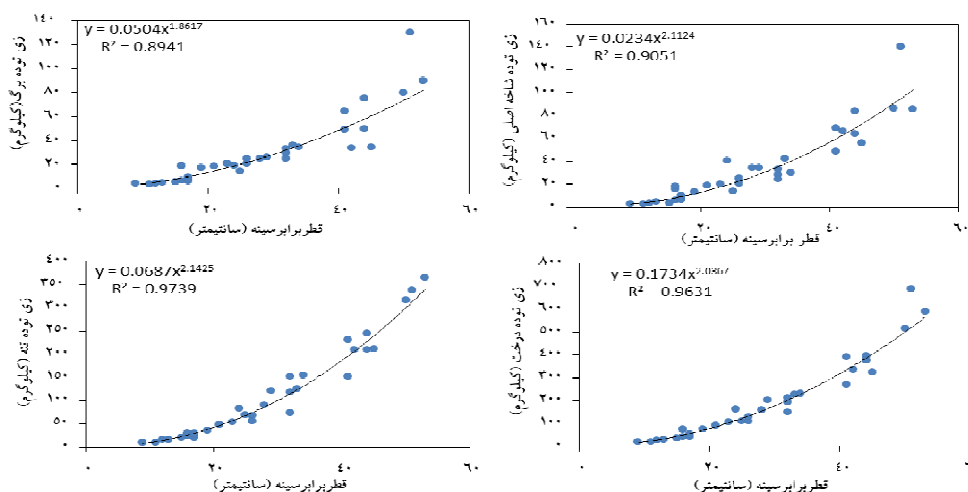
جدول ۲- نتیجه تحلیل رگرسیون برای برآورد زی‌توده اجزای درختان ارس بر اساس قطر برابر سینه

زی‌توده بخش	نوع مدل	R ²	F	sig.	Std.Error	ضرایب مدل		
						b ₁	b ₂	b ₀
برگ	توانی	۰/۸۹	۲۷۸/۴۶	xxx	۰/۳۱۴	۱/۸۶۱۷		۰/۰۵۰۴
	نمایی	۰/۸۶	۲۰۹/۶۳	xxx	۰/۳۵۶	۰/۰۶۹۶		۲/۹۰۰۹
	چند جمله‌ای	۰/۸۴	۸۶/۲	xxx	۱۱/۵۱	-۱/۱۳۰۸	۰/۰۵۰۷	۱۴/۴۴
شاخه فرعی	توانی	۰/۸۱	۱۴۵/۳۵	xxx	۰/۳۷۲	۱/۵۹		۰/۰۶۵
	نمایی	۰/۸۰	۱۴۲/۷۱	xxx	۰/۳۷۴	۰/۰۶۰۴		۲/۰۰۴
	چند جمله‌ای	۰/۷۱	۳۹/۳۱	xxx	۸/۴۴	-۰/۹۰۸۷	۰/۰۳۰۵	۱۲/۳۱۷
شاخه اصلی	توانی	۰/۹۰	۳۱۴/۸۱	xxx	۰/۳۳۵	۲/۱۱۲		۰/۰۲۳۴
	نمایی	۰/۸۵	۱۹۷/۹۷	xxx	۰/۴۱	۰/۰۷۸۲		۲/۳۷۷
	چند جمله‌ای	۰/۸۷	۱۱۳/۶۱	xxx	۱۱/۳۷	-۰/۵۵۲	۰/۰۴۶	۶/۱۵۷
تنه	توانی	۰/۹۷	۱/۲۳	xxx	۰/۱۷۲	۲/۲۱۴۲		۰/۰۶۸۷
	نمایی	۰/۹۳	۵۰۳/۲۶	xxx	۰/۲۶۴	۰/۰۸		۷/۳۱۳
	چند جمله‌ای	۰/۹۶	۴۸۹/۳۹	xxx	۱۸/۴۳	-۱/۶۰۴	۰/۱۵۰۹	۱۳/۰۴

ادامه جدول (۲)

زی توده بخش	نوع مدل	R ²	F	sig.	Std.Error	ضرایب مدل		
						b ₀	b ₁	b ₂
کل	توانی	۰/۹۶	۸۶۲/۶۸	xxx	۰/۱۹۵	۰/۱۷۳۴	۲/۰۳۶	
	نمائی	۰/۹۲	۴۲۱/۷۵	xxx	۰/۲۷۴	۱۴/۶۶	۰/۰۷۶	
	چند جمله‌ای	۰/۹۵	۳۲۲/۲۴	xxx	۳۸/۳۵	۴۵/۹۶۴	-۴/۱۹۵	۰/۲۷۸

توضیحات: R²: ضریب تبیین، F: آماره تحلیل واریانس، Std.Error: انحراف معیار مدل و xxx: معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱



شکل ۲- ابر نقاط و منحنی‌های برازش داده‌شده برای هر یک از اجزای مختلف درخت بر مبنای متغیر مستقل قطر برابر

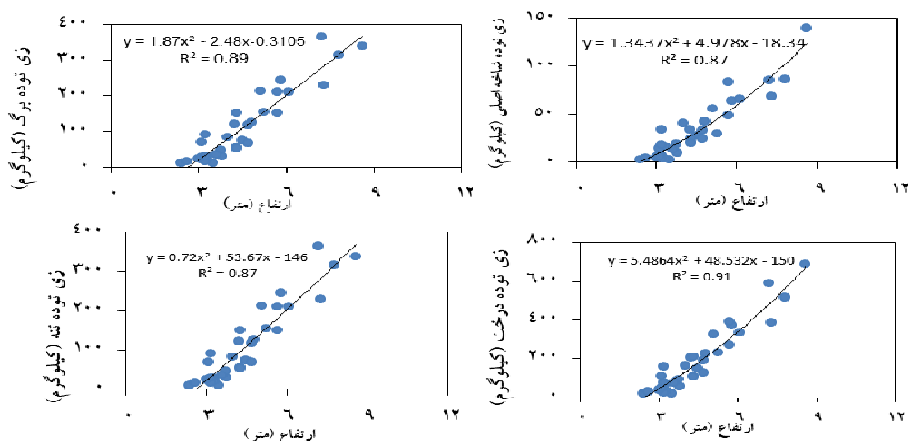
سینه

نتیجه برازش مدل‌های مختلف برای برآورد زی توده برگ، شاخه‌های فرعی، شاخه‌های اصلی، تنه و زی توده کل بر مبنای ارتفاع کل درختان ارس (جدول ۳) نشان داد که مدل رگرسیونی چند جمله‌ای مناسب‌تر از مدل نمایی و توانی است و بیشترین ضریب تبیین مربوط به زی توده کل می‌باشد.

جدول ۳- نتیجه تحلیل رگرسیون برای برآورد زی توده اجزای درختان ارس بر اساس ارتفاع کل

زی توده بخش	نوع مدل	R ²	F	sig.	Std. Error	ضرایب مدل		
						b ₀	b ₁	b ₂
برگ	توانی	۰/۸۱	۱۴۵/۵۴	xxx	۰/۴۱۵	۰/۴۱۸۹	۲/۶۸۳۶	
	نمائی	۰/۷۶	۱۰۹/۴۸	xxx	۰/۴۶۵	۱/۷۸۱۷	۰/۵۴۳۷	
	چند جمله‌ای	۰/۸۹	۱۴۰/۴	xxx	۹/۳	-۰/۳۱۰۵	-۲/۴۸	۱/۸۷
شاخه فرعی	توانی	۰/۷۶	۱۰۷/۲۵	xxx	۰/۴۲۲	۰/۲۷۶۹	۲/۳۲۳۲	
	نمائی	۰/۷۴	۸۰/۸۸	xxx	۰/۴۳۹	۱/۲۷۳۷	۰/۴۷۸۴	
	چند جمله‌ای	۰/۸۰	۱۱۵/۱۴	xxx	۶/۸۸	۱۵/۲۵۷	-۷/۶۳۹	۱/۵۴۱۹
شاخه اصلی	توانی	۰/۷۶	۳۱۴/۸۱	xxx	۰/۵۲۸	۰/۳۰۴	۲/۹۲۸	
	نمائی	۰/۷۱	۱۹۷/۹۷	xxx	۰/۵۸۶	۱/۵۰۹۵	۰/۵۸۹۷	
	چند جمله‌ای	۰/۸۷	۱۱۳/۶۱	xxx	۱۱/۳۱	-۱۸/۳۴۱	۴/۹۷	۱/۳۴۳۷
تنه	توانی	۰/۸۰	۱۳۴/۳۳	xxx	۰/۴۷۳	۰/۹۷۸۵	۲/۹۳۶	
	نمائی	۰/۷۴	۹۷/۵۶	xxx	۰/۵۳۵	۴/۸۵	۰/۵۹۱	
	چند جمله‌ای	۰/۸۷	۱۱۲/۳۱	xxx	۳۶/۵۹	-۱۴۶/۶۱	۵۳/۶۷	۰/۷۲
زی توده کل	توانی	۰/۸۱	۱۴۶/۰۴	xxx	۰/۴۳۷	۲/۰۴۸	۲/۸۳	
	نمائی	۰/۷۶	۱۰۵/۸۹	xxx	۰/۴۹۶	۹/۵۳	۰/۵۷۱	
	چند جمله‌ای	۰/۹۱	۱۶۲/۸۵	xxx	۵۲/۷۵	-۱۵۰	۴۸/۵۳۲	۵/۴۸۶

توضیحات: R²: ضریب تبیین، F: آماره تحلیل واریانس، Std. Error: انحراف معیار مدل و xxx: معنی داری در سطح ۰/۰۰۱



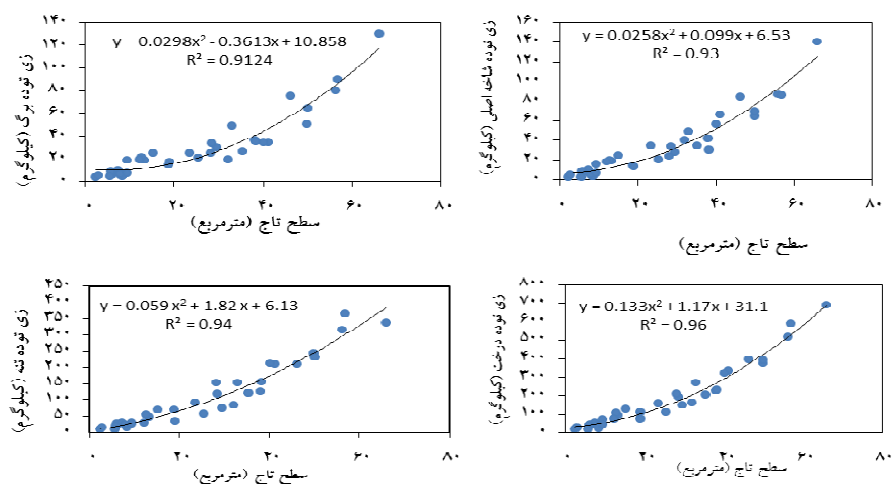
شکل ۳- ابر نقاط و منحنی‌های برازش داده شده برای هر یک از اجزای مختلف درخت بر مبنای متغیر مستقل ارتفاع

نتیجه برازش مدل‌های مختلف برای برآورد زی‌توده برگ، شاخه‌های فرعی، شاخه‌های اصلی، تنه و زی‌توده کل برمبنای سطح تاج درختان ارس (جدول ۴) نشان داد که مدل رگرسیونی چند جمله‌ای از مدل نمایی و توانی مناسب‌تر است و زی‌توده کل بالاترین ضریب تبیین را دارد.

جدول ۴- نتیجه تحلیل رگرسیون برای برآورد زی‌توده اجزای درختان ارس بر اساس سطح تاج

زی‌توده بخش	نوع مدل	R ²	F	sig.	Std.Error	ضرایب مدل		
						b ₁	b ₂	b ₀
برگ	توانی	۰/۸۶	۲۰۹/۶۹	xxx	۰/۳۵۶	۱/۰۹۲۴		۰/۹۹۸۸
	نمایی	۰/۸۴	۱۷۸/۹۹	xxx	۰/۳۸۱	۰/۰۴۹		۵/۸۱۴
	چند جمله‌ای	۰/۹۱	۱۶۶/۵۶	xxx	۸/۶۱	-۰/۳۶۱۳	۰/۰۲۹۸	۱۰/۸۵۸
شاخه فرعی	توانی	۰/۸۱	۱۴۶/۰۹	xxx	۰/۳۷۱	۰/۸۶۸		۰/۸۵۴۵
	نمایی	۰/۸۴	۱۸۹/۲۴	xxx	۰/۳۳۳	۰/۰۴۴		۳/۵۲۴
	چند جمله‌ای	۰/۸۵	۸۴/۸۷	xxx	۶/۲۵	-۰/۳۸۸۷	۰/۰۱۸۵	۷/۶۲۹
شاخه اصلی	توانی	۰/۸۶	۲۰۸/۱۳	xxx	۰/۴۰۳	۱/۱۲۵۷		۰/۷۸۴
	نمایی	۰/۸۳	۱۶۹/۱۱	xxx	۰/۴۴	۰/۰۵۵		۵/۱۹۴
	چند جمله‌ای	۰/۹۳	۲۲۴/۲۸	xxx	۸/۳۵	۰/۰۹۹	۰/۰۲۵۸	۶/۵۳۵
تنه	توانی	۰/۹۰	۳۱۸/۵۸	xxx	۰/۳۲۶	۱/۱۲۷		۲/۵۱۵
	نمایی	۰/۸۹	۲۷۷/۷۳	xxx	۰/۳۴۷	۰/۰۵۵		۱۶/۵۶
	چند جمله‌ای	۰/۹۴	۲۵۴/۶	xxx	۲۵/۱۹	۱/۸۲۴	۰/۰۵۹۲	۶/۱۳۶
زی‌توده کل	توانی	۰/۹۱	۳۴۷/۸۲	xxx	۰/۳۰	۱/۰۸۲		۵/۱۷۱
	نمایی	۰/۸۹	۲۹۱/۳۹	xxx	۰/۳۲۵	۰/۰۵۳		۳۱/۵۲۴
	چند جمله‌ای	۰/۹۶	۴۸۳/۰۱	xxx	۳۱/۵۸	۱/۱۷۴	۰/۱۳۳	۳۱/۱۵۹

توضیحات: R²: ضریب تبیین، F: آماره تحلیل واریانس، Std.Error: انحراف معیار مدل و xxx، معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱



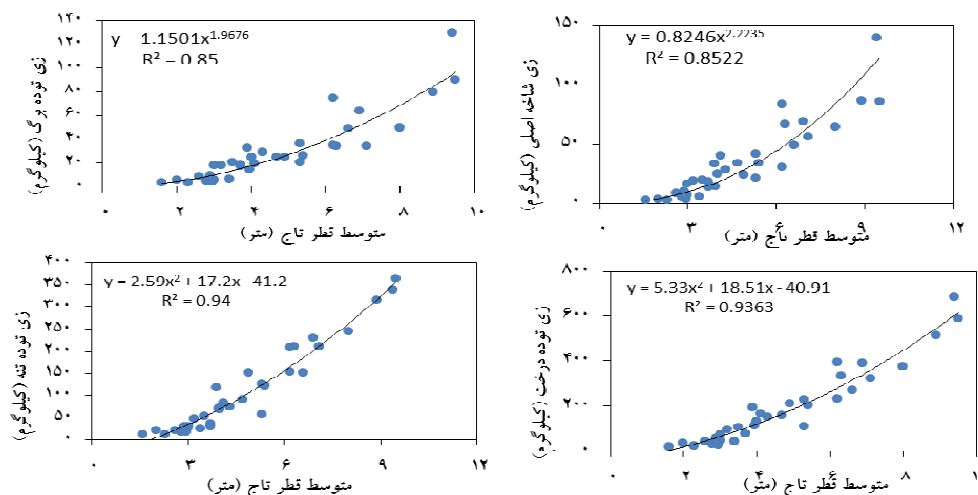
شکل ۴- ابر نقاط و منحنی‌های برازش داده‌شده برای هر یک از اجزای مختلف درخت بر مبنای متغیر مستقل سطح تاج

نتیجه برازش مدل‌های مختلف برای برآورد زی‌توده برگ، شاخه‌های فرعی، شاخه‌های اصلی، تنه و زی‌توده کل بر مبنای قطر متوسط تاج درختان ارس (جدول ۵) نشان داد که مدل رگرسیونی توانی برای برآورد برگ، شاخه فرعی و شاخه اصلی مناسب‌تر است و همچنین مدل رگرسیونی چند جمله‌ای برای برآورد زی‌توده تنه و زی‌توده کل مناسب‌تر است.

جدول ۵- نتیجه تحلیل رگرسیون برای برآورد زی توده اجزای درختان ارس بر اساس قطر متوسط تاج

زی توده بخش	نوع مدل	R ²	F	sig.	Std.Error	ضرایب مدل		
						b ₁	b ₂	b ₀
برگ	توانی	۰/۸۵	۲۰۳/۲۷	xxx	۰/۳۶۱	۱/۹۶		۱/۱۵
	نمائی	۰/۷۹	۱۴۹/۸۳	xxx	۰/۴۱۰	۰/۴۰۲۵		۲/۹۵
	چند جمله ای	۰/۸۴	۱۰۹/۹۲	xxx	۸/۶۱	-۳/۲۰۶	۱/۳۷۵۱	۸/۰۱
شاخه فرعی	توانی	۰/۸۱	۱۵۲/۱۴	xxx	۰/۳۶۵	۱/۷۲۱		۰/۸۷۸۳
	نمائی	۰/۷۹	۱۳۸/۷۴	xxx	۰/۳۷۹	۰/۳۵۸۱		۱/۹۸۸
	چند جمله ای	۰/۷۵	۵۲/۱۶	xxx	۷/۶۰	-۲/۹۵۶	۰/۸۱۱۳	۷/۷۸۷
شاخه اصلی	توانی	۰/۸۵	۲۰۸/۱۳	xxx	۰/۴۰۹	۲/۲۲۳		۰/۸۲۴
	نمائی	۰/۷۸	۱۶۹/۱۱	xxx	۰/۴۹۵	۰/۴۴۷		۲/۵۳
	چند جمله ای	۰/۸۳	۲۲۴/۲۸	xxx	۱۲/۷۳	۵/۲۲	۰/۷۵۶	-۱۱/۰۳
تنه	توانی	۰/۸۹	۲۸۴/۴۹	xxx	۰/۳۴۳	۲/۲۳		۲/۶۴
	نمائی	۰/۸۴	۱۷۷/۲۷	xxx	۰/۴۲۲	۰/۴۵۶		۷/۸۹
	چند جمله ای	۰/۹۴	۲۷۴/۱۷	xxx	۲۴/۳۳	۱۷/۲۲	۲/۵۹	-۴۱/۲
زی توده کل	توانی	۰/۹۰	۲۹۳/۵۲	xxx	۰/۳۲۴	۲/۱۳		۵/۴۳۵
	نمائی	۰/۸۴	۱۷۶/۵۳	xxx	۰/۴۰۴	۰/۴۳۵		۱۵/۵۸۵
	چند جمله ای	۰/۹۳	۲۳۴/۳۴	xxx	۴۴/۵۸	۱۸/۵۱	۵/۳۳۵	-۴۰/۹۱

توضیحات: R²: ضریب تبیین، F: آماره تحلیل واریانس، Std.Error: انحراف معیار مدل و ***، معنی داری در سطح ۰/۰۰۱



شکل ۵- ابر نقاط و منحنی‌های برازش داده‌شده برای هر یک از اجزای مختلف درخت بر مبنای متغیر قطر متوسط تاج درخت.

با مقایسه متغیرهای مستقل برای مدل‌سازی زی‌توده اندام‌ها و نیز کل درخت می‌توان نتیجه گرفت متغیرهای قطر برابر سینه و سطح تاج و قطر متوسط تاج که سهم بیشتری از تغییرات وزن خشک اندام‌ها و وزن خشک کل درخت را توجیه می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق متغیرهای مختلف شامل قطر برابر سینه، سطح تاج، قطر متوسط تاج و ارتفاع کل درخت به عنوان متغیرهای مستقل برای برآورد زی‌توده برگ، شاخه فرعی، شاخه اصلی، تنه و زی‌توده کل باهم مقایسه شدند. بررسی انجام‌شده نشان داد امکان برقراری رابطه بین زی‌توده بخش‌های مختلف درختان ارس با متغیرهای مستقل وجود دارد. نتایج نشان داد که مدل توانی با متغیر مستقل قطر برابر سینه بهتر می‌تواند زی‌توده بخش‌های مختلف درختان ارس را برآورد نماید. در صورتی با متغیر مستقل ارتفاع کل مدل رگرسیونی چند جمله‌ای مناسب‌تر بود همچنین بر مبنای متغیر مستقل سطح تاج نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی چند جمله‌ای مناسب‌تر است و متغیر مستقل قطر متوسط تاج مدل رگرسیونی توانی برای برآورد برگ، شاخه فرعی و شاخه اصلی مناسب‌تر است و همچنین مدل رگرسیونی چند جمله‌ای برای برآورد زی‌توده تنه و زی‌توده کل مناسب‌تر بود. با توجه به نتایج، مدل‌های توانی و چند جمله‌ای برای مدل‌سازی نسبت به مدل نمایی بهتر می‌باشد. از بین متغیرهای

مستقل متغیر ارتفاع کل نسبت به سایر متغیرهای مستقل از ضریب تبیین پایین‌تری برخوردار است. البته با توجه به ساختار و شرایط رویشگاهی درختان ارس در منطقه مورد مطالعه این مورد قابل پیش‌بینی بود. نتیجه مقایسه مدل‌های توانی، نمایی و چند جمله‌ای برای مدل سازی زی‌توده کل و اندام‌های درخت بر اساس متغیرهای مستقل نشان داد که به طور کل می‌توان گفت مدل توانی و چند جمله‌ای نتایج بهتری نسبت به مدل نمایی دارد. زیرا مدل نمایی برای داده‌های معینی با افزایش مقدار x ، شیب بیشتری نسبت به مدل توانی دارد. به عبارت دیگر در مدل نمایی، با افزایش مقدار متغیر مستقل، مقدار متغیر وابسته نسبت به مدل توانی بیشتر افزایش می‌یابد. البته این موضوع در مورد درختانی با تنه‌های کشیده و سیلندری، افزایش وزن کل با افزایش ابعاد درخت همواره شتاب بیشتری پیدا می‌کند (سهرابی و شیروانی، ۱۳۹۱) با توجه به ساختار درخت ارس اما چنین امری در مورد رابطه متغیرهای وابسته و مستقل در درخت ارس صادق نیست. استفاده از متغیر قطر برابر سینه به عنوان یک متغیر پیش‌بینی برای زی‌توده به صورت گسترده در منابع گزارش شده است، به طوری که تقریباً می‌توان گفت این متغیر عمومیت پیدا کرده است (زیانی و همکاران، ۲۰۰۵). در این تحقیق تمامی متغیرهای مستقل استفاده شده با مدل توانی و چند جمله‌ای برای ایجاد معادلات آلومتریک برآورد زی‌توده روی زمین درختان ارس با ضریب تبیین بیشتر از ۰/۸ توانستند معادلاتی با شاخص‌های مدل سازی مناسب تهیه نمایند. عدل (۱۳۸۶) برای برآورد زی‌توده برگ بنه در جنگل‌های یاسوج از متغیرهای مستقل قطر برابر سینه، قطر تاج، ارتفاع تاج و ارتفاع کل استفاده کرد. نتایج تحقیق وی نشان دارد بهترین مدل برای برآورد زی‌توده برگ بنه مدل توانی بر مبنای قطر برابر سینه با ضریب تبیین ۰/۹۵ است. در این بررسی نیز برای برآورد زی‌توده برگ درختان ارس مدل توانی بر اساس قطر برابر سینه بیشترین ضریب تبیین را (۰/۸۹) داشت، از این حیث با تحقیق عدل (۱۳۸۶) مطابقت دارد. سهرابی و شیروانی (۱۳۹۱) معادلات آلومتریک برآورد زی‌توده روی زمین درختان بنه را در پارک ملی خجیر ارائه نمودند. بر اساس نتایج این بررسی مدل توانی با متغیرهای قطر برابر سینه، ارتفاع کل و قطر تاج به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۷۴، ۰/۷۸ و ۰/۹۳ به دست آمد که در این بررسی برای این متغیرها با مدل توانی به ترتیب ضریب تبیین‌های ۰/۹۶، ۰/۸۱ و ۰/۹۰ به دست آمد. بختیاروند بختیاری و سهرابی (۱۳۹۱) به بررسی روش زیر نمونه برداری برای برآورد زی‌توده کل و بخش‌های مختلف دو گونه کاج تهران و سرو نقره‌ای پرداختند. تعدادی شاخه به طور تصادفی انتخاب شد و با تحلیل رگرسیون غیر خطی مدل‌های برآورد زی‌توده به دست آمد. نتایج این بررسی نشان داد همه مدل‌ها معنی‌دار هستند و نتایج این پژوهش نشان داد روش زیر نمونه برداری برای برآورد زی‌توده تاج درختان مناسب می‌باشد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. میریک و همکاران (Mirik et al., ۲۰۱۳) به ارزیابی زی‌توده درختان ارس (*Juniperus pinchotii*) در شمال تگزاس پرداختند. نتایج نشان داد که مدل رگرسیون خطی

مناسب‌ترین مدل برای برآورد زی‌توده درختان ارس می‌باشد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی ندارد. نتایج اسپرینکل و کلپک (Sprinkle and Klepac., ۲۰۱۵) نشان داد که مدل لگاریتمی برای مدل سازی زی‌توده بالای زمینی گونه ارس (*Juniperus osteosperma*) در جنوب یوتا مناسب است. در منطقه مورد مطالعه ما مدل توانی و چند جمله‌ای مناسب‌ترین بود. کرافچک و همکاران (Krofcheck et al., ۲۰۱۶) پژوهشی را بر روی درخت ارس (*Juniper Savanna*) در نیومکزیکو مرکزی انجام دادند. نتایج وی نشان داد که از بین مدل‌ها، مدل لگاریتمی برای برآورد زی‌توده مناسب‌تر بود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی ندارد. نتایج تکوینی و همکاران (Tekleweini et al., ۲۰۱۹) در جنوب اتیوپی نشان داد که مناسب‌ترین مدل برای برآورد زی‌توده روی زمینی مدل توانی بر اساس متغیر قطر برابر سینه می‌باشد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که در منطقه مورد مطالعه مدل توانی و مدل چند جمله‌ای برای مدل سازی زی‌توده درختان از سایر معادلات مناسب‌تر می‌باشد. مطالعات صورت گرفته بر روی معادلات آلومتریک درختان در مناطق مختلف، نشان‌دهنده این موضوع است که هر منطقه باید معادلات آلومتریک خاص خود را داشته باشد چون وضعیت رویشگاهی در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد.

منابع

ایران‌منش، ی.، جلالی، غ.، ثاقب طالبی، خ.، حسینی، م.، سهرابی، ه. ۱۳۹۱. معادلات آلومتریک زی‌توده و اندوخته کربن بذر بلوط ایرانی (*Quercus brantti*) بذر بلوط و تعیین عناصر غذایی آن در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر، ۲۰ (۴): ۵۶۴-۵۵۱.

بختیاروند بختیاری، س.، سهرابی، ه. ۱۳۹۱. زیر نمونه‌گیری از درخت برای برآورد زی‌توده تاج و اجزاء مختلف آن. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۵ (۳): ۲۷۰-۲۶۱.

سهرابی، ه.، شیروانی، ا. ۱۳۹۱. معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده روی زمین بنه (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) در پارک ملی خجیر. مجله جنگل ایران، ۴ (۱): ۶۴-۵۵.

عدل، ح. ۱۳۸۶. برآورد بیوماس برگ و شاخص سطح برگ دو گونه عمده در جنگل‌های یاسوج، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر، ۱۵ (۴): ۴۲۶-۴۱۷.

Charlotte, M.R. 2013. Allometric equations for Ashe Juniper of small diameter. *Southwestern naturalist* 58(3):359-363.

Ebuy, J. Lokombe, J.P. Ponette, Q. Sonwa, D. Picard, N. 2011. Allometric equations for predicting aboveground biomass of three tree species. *Journal of Tropical Forest Science*. Vol. 23(2). 125-132.

Fu, L., Zhao, Y., Xu, Zh., Wu, B. 2015. Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes.

- Soils Sediments.,15: 249-259.
- Geremew, T. 2011. Assessment of aboveground carbon stock in coniferous and broadleaf forests, using high spatial resolution satellite images. Master of Science, University of Twente. 85 p.
- Good, N.M. Paterson,M. Brack, C., Mengersen, K. 2001. Estimating tree component biomass using variable probability sampling methods. Jurnal of Agricultural, Biological and Enviromental Statistics.Vol.6(2).258-267.
- Grote, R. 2002. Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species, 36.
- IPCC .2003. Good Practice Guidance for Land Use Change and Forestry.
- Komiyama, A., Ong, J.E., Pongpan, S. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. Aquatic Botany 89(2): 128-137.
- Krofcheck, D.J., Litvak, M.E., Lippitt, C.D., Neuenschwander, A. 2016. Woody Biomass Estimation in a Southwestern U.S. Juniper Savanna Using LiDAR-Derived Clumped Tree Segmentation and Existing Allometries. Remote Sens. ۲۰۱۶, ۸(۶), ۴۵۳.
- 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(1-3): 355-368.
- Lu, D. 2006. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. International Journal of Remote Sensing 27(7): 1297-1328.
- Mirik, M., Ansley, R.J., Surber, B.W., Ale, S. 2013. Evaluating Biomass of Juniper Trees (*Juniperus pinchotii*) from Imagery-Derived Canopy Area Using the Support Vector Machine Classifie, Advances in Remote Sensing, Vol. 2, No. 2, 2013, pp. 181-192
- Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. Forest Ecology and Management, 257(2): 427-434.
- Peper, P.J.U.o.C., Davis, C.A, McPherson, E.G. 1998. Comparison of four foliar and woody biomass estimation methods applied to open-grown deciduous trees. v. 24
- Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland.
- Snowdon, P., Raison, J., Eamus, D. 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass.
- Sprinkle,W., Klepac, J. 2015. Models of Utah Juniper and Two-Needle Pinyon Biomass for One Site in Southwest Utah. For. Sci. 61(1):162-168.
- Tekleweini, G., Ababo, W., Goitom, T.,Muhammed, A., Leakemariam, B. 2019. Total Volume and Aboveground Biomass Models for *Juniperus procera* Plantation in Wondo Genet, Southern Ethiopia. Open Journal of Forestry, 2019, 9, 89-108.
- Wani, A.A., Joshi, P.K., Singh, O. 2015. Estimating biomass and carbon mitigation

- of temperate coniferous using spectral modeling and field inventory data. *Ecological Informatics*. 25: 63-70.
- Watson, C. 2010. Forest Carbon Accounting: Overview & Principles. Australian Greenhouse Office Publication, 67 p.
- West, P. W. 2009. Tree and Forest Measurement. Springer Publisher, 190 p.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Makipaa, R, Mencuccini, M. 2005. Biomass and stem volume equations of tree species in Europe, 4.
- Zobieri, M. 2002. Forest Biometry 1th ED, Tehran University Press, 412pp.