فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۳، صفحهٔ ۴۹۲-۴۸۱، (۱۳۹۱)

معادلات آلومتریک برای برآورد اندوخته کربن رو و زیر زمین چهار گونه درختی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ

سیاوش بختیاروند بختیاری[۱]، هرمز سهرابی[۲*]

[۱]- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
[۲]- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.
پست الکترونیک: hsohrabi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۱/٤/٤

چکیده

اهمیت اطلاع از زیتوده درختان و اندازه‌گیری آن با توجه به موضوعات تغییر اقلیم و گرمایش زمین در حال افزایش است. اندازه‌گیری مستقیم زیتوده به‌ویژه در مورد ریشه، بسیار مشکل، پرهزینه و زمان‌بر است. در این موارد معمولاً از روشهای برآورد زیتوده استفاده می‌شود. از جمله روشهای متداول در برآورد زیتوده، استفاده از معادلات آلومتریک است. هدف تحقیق حاضر، استقرار معادلات برآورد اندوخته کربن در اندام‌های هوایی، زیرزمینی و کل درختان در چهار گونه شامل توت (*Morus alba*)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) در جنگل‌کاری اطراف کارخانه فولاد مبارکه است. به این منظور تعداد ۱۵ اصله درخت برای هر گونه (در مجموع ٦۰ اصله) به‌صورت کاملاً تصادفی و با پراکنش مناسب در طبقات قطری و ارتفاعی انتخاب و پس از قطع، به اجزای مختلف تفکیک و وزن تر کامل هر جزء در محل قطع اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری زیتوده ریشه نیز تعداد ۵ اصله از ۱۵ اصله درختان قطع شده هر گونه به‌طور کامل ریشه‌کنی شد و پس از تعیین وزن تر، نمونه‌هایی برای تعیین وزن خشک از آن‌ها تهیه گردید. وزن خشک و درصد کربن هر جزء در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. روابط آلومتریک با استفاده از تحلیل رگرسیون غیر خطی بین متغیرهای مستقل و اندوخته کربن در قسمت‌های مختلف و کل درخت برقرار گردید. در مجموع ۹٦ مدل برای برآورد اندوخته کربن در قسمت‌های مختلف چهار گونه ایجاد شد که تنها ۸ مدل معنی‌دار نبود. نتایج این تحقیق نشان داد برای کاج و سرو نقره‌ای متغیر قطر برابرسینه و برای توت، متغیر قطر در ارتفاع ۰/۳ متری مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین ایجاد نمود. در مورد اقاقیا متغیر خاصی که در همه موارد مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین را تولید نماید، وجود نداشت؛ اما در برآورد اندوخته کربن کل اندام‌های هوایی و زمینی، ضریب تعیین مدل به دست آمده با متغیر ارتفاع کل درخت بیشترین مقدار را داشت. به‌طور کلی در هر دو بخش اندام‌های هوایی و زمینی مدل‌های ایجاد شده برای گونه‌های سوزنی‌برگ نسبت به گونه‌های پهن‌برگ دقت بیشتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: زیتوده، ارتفاع، قطر، کاج تهران، سرو نقره‌ای، توت، اقاقیا.

مقدمه

اندازه‌گیری زیتوده برای ارزیابی ساختار و شرایط جنگل مهم بوده و برآوردی از میانگین ترسیب کربن در چوب، برگها و ریشه‌های درخت ارائه می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای حاصلخیزی رویشگاه چه از نظر بیولوژیکی و چه از نظر اقتصادی در نظر گرفته شود (Cole & Ewel, 2006).

Archive of SID

www.SID.ir

دقیق‌ترین روش برای برآورد زیتوده و محتوای کربن یک درخت آن است که درخت را قطع و به‌اجزای مختلف تقسیم نمود (Basuki *et al*., 2009) و با نمونه گیری، ماده خشک و محتوای کربن هر جزء را محاسبه و در نهایت محتوای کربن کل درخت را برآورد نمود. اما این روش بسیار دشوار، پرهزینه و ناسازگار با ضوابط زیست‌محیطی است. از طرفی محاسبه زیتوده و محتوای کربن درختان و سایر رستنی‌ها با توجه به اهمیت موضوع گرمایش زمین و تغییر اقلیم (Ebuy *et al*., 2011) و نیز به‌عنوان شاخصی برای تشریح حاصلخیزی رویشگاه (Navar, 2009) ضروریست. برای پرهیز از معایب و دست یافتن به مزایایی که اشاره گردید، لازم است تا روشهایی که به سادگی قابل اجرا بوده و مخرب نباشند بکار گرفته شود. یکی از این روشها استفاده از معادلات آلومتریک (Allometric equations) است. آلومتری رابطه بین وزن یک موجود زنده با اندازه هرکدام از اندامهای آن موجود است (Anonymous, 2005). معادلات آلومتریک که معمولاً تک، دو و گاهی چندمتغیره هستند، ابزاری توانمند برای برآورد وزن درخت از طریق متغیرهای مستقل مانند قطر برابرسینه و یا ارتفاع هستند که قابلیت اندازه‌گیری در توده را دارا باشند (Komiyama *et al*., 2005). در این روش، وزن خشک یا میزان کربن یک درخت به‌عنوان متغیر وابسته و یکی از متغیرها که به سادگی بتوان در جنگل یا عرصه آن را اندازه‌گیری نمود، مانند قطر برابرسینه و یا ارتفاع درخت به‌عنوان متغیر مسقل در نظر گرفته می‌شوند. هنگام برآورد زیتوده درخت و یا زیتوده اجزای آن، متداول‌ترین فرم معادله مورد استفاده معادله توانی تک متغیره ($Y= aX^b$) است (Pajtik *et al*., 2008) که در آن Y متغیر وابسته یا همان وزن خشک یا محتوای کربن کل و یا جزیی از درخت، X متغیر مستقل مانند قطر برابرسینه یا ارتفاع درخت و یا قطر در ارتفاع خاصی از درخت، و a و b ضرایب معادله رگرسیون می‌باشند.

معادلات آلومتریک متعددی در خصوص پیش‌بینی میزان زیتوده گونه‌های درختی در مناطق حاره استقرار یافته است (Ebuy *et al*., 2011; Basuki *et al*., 2009; Cole & Ewel, 2006; Komiyama *et al*., 2005; Chave *et al*., 2005). در مورد جنگلهای معتدله لیستی بالغ بر ٦٦ گونه برای گونه‌های درختی آمریکای شمالی ارائه شده، که معادلات آلومتریک زیتوده برای آنها ایجاد شده است (Navar, 2009).

Socha & Wezyk (2007) برای برآورد زیتوده سرشاخه و برگ کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) در جنوب لهستان از استقرار معادلات آلومتریک استفاده کردند. آنها از متغیرهای قطر برابرسینه، سطح مقطع، سن، ارتفاع و طول تاج به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده نمودند. Cole & Ewel (2006) برای چهار گونه از درختان مناطق حارّه معادلات آلومتریک را بدست آوردند. Ebuy *et al*. (2011) برای سه گونه درختی در جنگلهای شرق کنگو معادلات آلومتریک را در برآورد زیتوده این درختان برقرار نمودند.

در ایران نیز مطالعاتی در مورد معادلات آلومتریک برای چند گونه درختی انجام شده است. Panahi *et al*. (2011) برای برآورد زیتوده و ذخیره کربن برگ گونه بنه در باغ گیاهشناسی ملی ایران، معادلات آلومتریک را براساس متغیر قطر متوسط تاج ارائه دادند. Khademi *et al*. (2010) در بررسی نقش جنگلهای شاخه‌زاد بلوط در ذخیره کربن و جذب دی‌اکسیدکربن در جنگلهای اندبیل خلخال، معادلات آلومتریک را برای این گونه درختی بین میزان زیتوده و قطر برابرسینه و نیز میزان زیتوده و ارتفاع این درختان برقرار نموده و مدل‌هایی برای پیش‌بینی میزان زیتوده براساس این دو متغیر ارائه کردند. Kabiri (2008) با مقایسه جنگل راش خالص و آمیخته از نظر ترسیب کربن، موجودی حجمی و وزن کلیه درختان در سطح توده را با استفاده از روابط آلومتریک برآورد نمود. Adl (2007) روابط آلومتریک برای برآورد میزان زیتوده برگ

Archive of SID

www.SID.ir

درختان بلوط ایرانی و بنه با استفاده از متغیرهای قطر برابرسینه و قطرتاج درختان در جنگلهای منطقه یاسوج برقرار نموده است.

در این تحقیق معادلات آلومتریک، به‌منظور برآورد میزان زیتوده و محتوای کربن برای کل اندامهای هوایی و نیز اجزای مختلف آن شامل تنه، شاخه‌های اصلی، شاخه‌های فرعی، برگ و اندام‌های زیرزمینی (سیستم ریشه‌ای) در چهار گونه درختی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ شامل توت (*Morus alba*)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) که هر کدام سهم به‌سزایی در جنگل‌کاریهای کشور را دارند، ارائه شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ای که مطالعه در آن انجام شده است، منطقه نیمه‌خشک فولاد مبارکه است که در ۵۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهر اصفهان بین عرض‌های جغرافیایی " ۸ ' ۱۳ ° ۳۲ تا " ۴۱ ' ۱۷ ° ۳۲ شمالی و طول‌های " ۱۹ ' ۲۳ ° ۵۱ تا " ۵ ' ۲۷ ° ۵۱ شرقی واقع شده است. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه، خشک و سرد و میانگین بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر است. خاک منطقه عموماً از مواد رسوبی همراه با سنگریزه زیاد در سطح و عمق می‌باشد. تجزیه مکانیکی خاک نشان می‌دهد که بافت خاک عمدتاً سیلتی- رسی و لوم- سیلتی- رسی است که عموماً این بافت‌ها سنگین محسوب می‌شوند، اما با وجود سنگریزه زیاد خصوصیات فیزیکی آن بیشتر نزدیک به بافت‌های سبک است. از نظر کیفیت شیمیایی، خاک منطقه جزو خاکهای شور محسوب می‌شود و هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن از ۰/۵ تا ۳/۷ میلی‌موس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند (Anonymous, 1992). در محدوده اطراف کارخانه، جنگلکاریهایی به‌صورت توده‌های خالص با گونه‌های مختلف مانند کاج تهران، سرو نقره‌ای، توت و اقاقیا انجام شده که این توده‌ها همسال بوده و در سال ۱۳۷۲ کاشته شده‌اند.

روش مطالعه

برای رسیدن به اهداف تحقیق، توده‌های خالص و همسال چهار گونه درختی شامل کاج تهران (*Pinus eldarica*)، سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*)، اقاقیا (*Robinia pesudoacacia*) و توت (*Morus alba*) در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. برای هر گونه سه قطعه به ابعاد ۲۰ در ۲۱ متر شامل ۸ ردیف درخت در طول و ٦ ردیف درخت در عرض (مجموعاً ٤٨ درخت در هر قطعه) در نظر گرفته شد. در هر کدام از قطعات، بسته به نوع گونه متغیرهای قطر برابرسینه (کاج و سرو)، ارتفاع کل (کاج، سرو، توت و اقاقیا)، طول تاج (کاج و اقاقیا)، قطر در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری (توت) و قطر تاج (سرو، توت و اقاقیا) که قابلیت و سهولت بیشتری برای اندازه‌گیری داشته و در عین حال همبستگی بالایی با میزان زیتوده درخت برای آن تصور می‌شد، اندازه‌گیری گردید. از بین متغیرهای اندازه‌گیری شده، یک متغیر برای تعیین پراکنش مناسب درختان منتخب برای قطع از نظر اندازه در نظر گرفته شد (قطر برابرسینه برای کاج تهران، ارتفاع کل برای سرو، قطر در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری برای توت و قطر تاج برای اقاقیا) و داده‌های آن متغیر به ۵ طبقه تقسیم شد. سپس از هر طبقه یک درخت به‌صورت تصادفی برای قطع انتخاب گردید. به این ترتیب برای هر گونه ۱۵ پایه در پنج طبقه قطع شد.

پس از قطع، بخش هوایی درخت به اجزای مختلف شامل تنه، شاخه اصلی، سرشاخه و برگ تفکیک و وزن تر هر کدام از اندام‌ها، با استفاده از ترازوی دیجیتال و با دقت ۱۰ گرم بلافاصله اندازه‌گیری شد (در درختان

Archive of SID

www.SID.ir

پهن‌برگ در درون تاج، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده نیز وجود داشت که به‌دلیل تفاوت درصد رطوبت، وزن این بخش از درختان به‌صورت جداگانه و تحت عنوان «نکرومس» اندازه‌گیری شد. این بخش در درختان سوزنی‌برگ یا وجود نداشت یا به اندازه‌ای کم بود که قابل صرف‌نظر بود). سپس از هر کدام از اجزای درخت نمونه‌هایی با وزن حدود ۱۰۰ گرم تهیه و وزن تر آنها با ترازوی دیجیتال دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. در نهایت این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد و تا رسیدن به وزن پایدار در آون قرار گرفتند.

از سه درخت قطع شده در هر طبقه قطری، یک درخت به‌طور تصادفی انتخاب و ریشه آن با استفاده از بیل مکانیکی به‌طور کامل بیرون کشیده شد. ریشه‌هایی که قطر آنها بیشتر از ۲ میلی‌متر بود جدا شده و وزن شد. از این قسمت هم نمونه‌هایی برای تعیین وزن خشک و اندازه‌گیری محتوی کربن تهیه و به آزمایشگاه انتقال یافت.

در مرحله بعد و پس از مشخص شدن وزن خشک هر کدام از نمونه‌ها با استفاده از رابطه۱ زیر وزن خشک هرکدام از اندام‌ها مشخص گردید.

$$WDc = \frac{WFc * WDs}{WFs}$$ رابطه۱

که در آن WDc: وزن خشک هر جزء از درخت، WFc: وزن تر هر جزء از درخت، WDs: وزن خشک هر نمونه و WFs: وزن تر هر کدام از نمونه‌هاست.

وزن خشک بدست آمده برای اجزای مختلف درخت را با هم جمع و وزن کل ماده خشک برای هر درخت محاسبه شد. برای محاسبه درصد کربنی که در ماده خشک هر کدام از نمونه‌ها وجود دارد از روش احتراق کامل و توزین خاکستر به‌جای مانده استفاده گردید. پس از مشخص شدن درصد کربن ماده خشک، با داشتن وزن خشک هر کدام از اندام‌ها، وزن کربن هر کدام از اندام‌های درخت از رابطه۲ محاسبه شد.

$$Wc = \frac{Wdc * Cc\%}{100}$$ رابطه۲

که در آن Wc: وزن کربن هر قسمت از درخت، Wdc: وزن خشک هر قسمت از درخت و Cc%: درصد کربن ماده خشک هر قسمت از درخت است.

مدل‌سازی روابط آلومتریک با استفاده از رگرسیون توانی به‌روش حداقل مربعات انجام شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 انجام شد.

نتایج

معادلات آلومتریک کاج

نتایج مدل‌سازی ذخیره کربن بخش‌های مختلف و مجموع کل ذخیره کربن در مقابل متغیرهای مستقل قطر برابرسینه، ارتفاع و طول تاج در جدول۱ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که تمامی مدل‌های بدست آمده بجز مدل پیش‌بینی وزن کربن ریشه در مقابل ارتفاع درخت، معنی‌دار هستند. به‌طور کلی می‌توان ملاحظه کرد که برای کاج تهران، متغیر قطر برابرسینه در تمامی موارد از سایر متغیرها بهتر بوده و مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین تولید نموده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که برآورد وزن کربن برخی بخش‌ها مانند تنه یا برگ ضریب تعیین بسیار بالایی دارد (به‌ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۳). در صورتی که مدل‌های برآورد وزن کربن مخروط و کنده ضریب تعیین متوسطی دارند (به‌ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸). مدل‌های برآورد کل اندام‌های زیرزمینی و هوایی نیز ضرایب تعیین بسیار بالایی داشتند (به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۶).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه کاج تهران

متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))	متغیر مستقل	r^2	F	b	a
تنه	ارتفاع (متر)	۰/۷۶	۴۱/۶***	۴/۸۰۳	۰/۰۰۰۲
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۱	۱۳۴/۴***	۲/۱۳۰	۰/۰۶۰
شاخه اصلی	ارتفاع (متر)	۰/۵۶	۱۵/۱**	۶/۳۶۷	۰/۰۰۰۰۰۱
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۸۸	۸۴/۳***	۳/۵۱۹	۰/۰۰۰۲
	طول تاج (متر)	۰/۴۵	۹/۸**	۴/۶۳۵	۰/۰۰۰۲
سرشاخه	ارتفاع (متر)	۰/۵۳	۱۴/۹**	۳/۹۱۱	۰/۰۰۰۲
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۷۹	۴۸/۳***	۱/۹۲۵	۰/۰۱۳۴
	طول تاج (متر)	۰/۵۴	۱۵/۴**	۳/۱۳۶	۰/۰۰۳۶
برگ	ارتفاع (متر)	۰/۶۸	۲۷/۱***	۴/۴۴۱	۰/۰۰۰۱
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۳	۱۵۹/۵***	۲/۱۰۷	۰/۰۱۴۳
	طول تاج (متر)	۰/۶۸	۲۷/۹***	۳/۵۵۷	۰/۰۰۲۶
مخروط	ارتفاع (متر)	۰/۳۹	۸/۳*	۵/۳۳۳	۰/۰۰۰۰۰۸
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۶۳	۲۱/۷***	۲/۷۳۶	۰/۰۰۱۱
	طول تاج (متر)	۰/۴۰	۸/۶*	۴/۲۸۸	۰/۰۰۰۲
کنده	ارتفاع (متر)	۰/۴۶	۱۱/۲**	۳/۱۱۸	۰/۰۰۲۲
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۸	۵۲/۵***	۱/۶۶۳	۰/۰۳۱۸
پوست	ارتفاع (متر)	۰/۴۲	۹/۴**	۲/۹۲۸	۰/۰۰۴۲
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۸۷	۸۸/۵***	۱/۷۱۲	۰/۰۳۳۷
کل اندامهای هوایی	ارتفاع (متر)	۰/۶۴	۲۳/۲***	۴/۴۲۰	۰/۰۰۱۴
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۶	۳۰۲/۴***	۲/۱۹۱	۰/۱۰۱۹
ریشه	ارتفاع (متر)	۰/۵۴	۳/۵ns	–	–
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۹	۳۱۵/۹***	۲/۰۶۶	۰/۰۳۱۳

r^2: ضریب همبستگی، F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، *، ** و ***: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد اطمینان و ns: عدم معنی‌داری

معادلات آلومتریک سرو نقره‌ای

نتایج مدل‌سازی ذخیره کربن بخش‌های مختلف و مجموع کل ذخیره کربن در مقابل متغیرهای مستقل قطر برابرسینه، ارتفاع و قطر تاج در جدول۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که تمامی مدل‌های بدست آمده برای پیش‌بینی وزن کربن معنی‌دار هستند. به‌طور کلی برای سرو نقره‌ای متغیر قطر برابرسینه در تمامی موارد بهتر بوده و مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین تولید نموده است. نتایج نشان می‌دهد که ضریب تعیین بدست آمده در بیشتر مدل‌ها بسیار بالاست. همچنین نتایج حاکی از آن است که مدل‌سازی کل اندامهای هوایی و زیرزمینی نیز از ضریب تعیین بالایی (به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۶) برخوردار است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه سرو نقره‌ای

متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))	متغیر مستقل	r^2	F	b	a
تنه	ارتفاع (متر)	۰/۹۸	٤۹۷/۳***	۳/۷۹٤	۰/۰۰٦۲
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۸	٦٤۳/٥***	۲/۲۹٤	۰/۰۳۸۲
شاخه اصلی	ارتفاع (متر)	۰/۷۱	۲٦/۷***	۷/۰۹۷	۰/۰۰۲٥
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۸۰	٤٤/۰***	۲/۷۲۳	۰/۰۰۹۹
	قطر تاج (متر)	۰/۷۹	٤۱/۳***	٤/٥۷۱	۰/۱٦٤۸
سرشاخه	ارتفاع (متر)	۰/۹۰	۱۱۲/۱***	۲/۸٦۰	۰/۰۱٤۳
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹٤	۱۹۹/۳***	۱/۷٦٤	۰/۰٥۲۰
	قطر تاج (متر)	۰/۸٤	٦۷/۹***	۲/٥۲۷	۰/٤٦۰۸
برگ	ارتفاع (متر)	۰/۹۱	۱۳۸/۰***	۲/۷۰۸	۰/۰۳٦۱
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۳	۱٦۳/٦***	۱/٦٤۳	۰/۱۳۰۱
	قطر تاج (متر)	۰/۹۰	۱۱۸/۰***	۲/٤٥٥	۰/۹۳۲۱
مخروط	ارتفاع (متر)	۰/۷۸	۳۷/۸***	۳/۰٤۹	۰/۰۰٤۹
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۸۲	٥۰/۰***	۱/۸۲۸	۰/۰۲۲۲
	قطر تاج (متر)	۰/۷٥	۳۲/۸***	۲/۹٦۹	۰/۱٥۳۲
کنده	ارتفاع (متر)	۰/۹۳	۱۷٤/٦***	۳/٥۱٦	۰/۰۰۲۷
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۳	۱۷٦/۲***	۲/۱۲۰	۰/۰۱٤٥
پوست	ارتفاع (متر)	۰/۸۹	۱۰۰/٦***	۳/۲۳۷	۰/۰۰۳۱
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۰	۱۲۲/۸***	۱/۹۷۲	۰/۰۱٤۱
کل اندامهای هوایی	ارتفاع (متر)	۰/۹٤	۲۰٦/۱***	۳/٤٥٦	۰/۰٤۳٥
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹٦	۲۷٤/۱***	۲/۰۹۸	۰/۲۲۲۲
ریشه	ارتفاع (متر)	۰/۹۷	۱۰٥/٤**	۳/۰۸٥	۰/۰۰۹۸
	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	۰/۹۹	۷۳۷/٦***	۱/٦۸٦	۰/۰٦٦

r^2: ضریب همبستگی، F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، ** و ***: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۹۹ و ۹۹/۹ درصد اطمینان

معادلات آلومتریک توت

نتایج حاصل از مدل‌سازی ذخیره کربن بخش‌های مختلف و مجموع ذخیره کربن در مقابل متغیرهای مستقل ارتفاع، قطر در ارتفاع ۰/۳ متری و قطر تاج در جدول۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که بجز مدل‌های پیش‌بینی وزن کربن نکرومس در مقابل هر سه متغیر مستقل و مدل پیش‌بینی وزن کربن شاخه با قطر بیشتر از ٥ سانتی‌متر در مقابل متغیر مستقل قطر تاج، سایر مدل‌ها با ۹۹ درصد اطمینان معنی‌دار هستند. به‌طور کلی برای توت، متغیر قطر در ارتفاع ۰/۳ متری برای پیش‌بینی زیتوده تمامی بخش‌های درخت (بجز کنده) نسبت به ارتفاع و قطر تاج از ضریب تعیین بیشتری برخوردار بوده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد برآورد وزن کربن در تمام قسمت‌ها بجز شاخه با قطر بیش از ٥ سانتی‌متر از ضریب تعیین بسیار بالایی برخوردار است. مدل‌سازی کل اندام‌های هوایی و زیرزمینی نیز از ضریب تعیین بالایی (به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۹) برخوردار است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه توت

متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))	متغیر مستقل	r^2	F	b	a
تنه	ارتفاع (متر)	۰/۸۹	۱۰۳/۱***	۳/۹۳۸	۰/۰۰۶۰
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۸	۶۵۱/۵***	۲/۶۴۹	۰/۰۰۳۸
شاخه با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر	ارتفاع (متر)	۰/۶۶	۱۱/۶*	۴/۵۳۵	۰/۰۰۱۰
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۶۸	۱۲/۹*	۴/۴۹۸	۰/۰۰۰۰۱
	قطر تاج (متر)	۰/۳۷	۳/۵ns	–	–
شاخه با قطر ۱ تا ۵ سانتی‌متر	ارتفاع (متر)	۰/۸۹	۹۹/۸***	۴/۰۲۷	۰/۰۰۳۹
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۳	۱۷۱/۲***	۲/۶۴۲	۰/۰۰۲۸
	قطر تاج (متر)	۰/۸۷	۸۵/۰***	۲/۷۳۴	۰/۰۴۲۵
شاخه با قطر کمتر از ۱ سانتی‌متر	ارتفاع (متر)	۰/۸۶	۸۱/۳***	۲/۹۴۷	۰/۰۱۳۴
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۱	۱۲۵/۲***	۱/۹۳۴	۰/۰۱۰۶
	قطر تاج (متر)	۰/۸۹	۱۰۶/۴***	۲/۰۵۵	۰/۰۷۲۷
برگ	ارتفاع (متر)	۰/۸۱	۵۶/۳***	۲/۹۸۲	۰/۰۰۶
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۸۳	۶۳/۷***	۱/۹۳۰	۰/۰۰۵
	قطر تاج (متر)	۰/۸۲	۵۷/۶***	۲/۰۵۰	۰/۰۳۲
نکرومس	ارتفاع (متر)	۰/۰۲	۰/۰۸ns	–	–
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۱۱	۰/۷۵ns	–	–
	قطر تاج (متر)	۰/۱۸	۱/۳۳ns	–	–
کنده	ارتفاع (متر)	۰/۹۴	۱۹۰/۷***	۳/۲۳۴	۰/۰۰۸
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۲	۱۴۸/۳***	۲/۰۵۲	۰/۰۰۷
پوست	ارتفاع (متر)	۰/۹۳	۱۷۵/۲***	۳/۵۹۶	۰/۰۰۵
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۸	۵۳۱/۷***	۲/۳۵۷	۰/۰۰۴
کل اندامهای هوایی	ارتفاع (متر)	۰/۹۳	۱۷۹/۳***	۳/۶۶۲	۰/۰۳۷
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۹	۱۳۸۸/۵***	۲/۴۱۶	۰/۰۲۷
ریشه	ارتفاع (متر)	۰/۹۶	۷۴/۵***	۳/۰۲۲	۰/۰۳۶
	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی‌متر)	۰/۹۹	۲۵۸/۰***	۲/۲۰۳	۰/۰۱۲

r^2: ضریب همبستگی، F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، * و ***: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۹۵ و ۹۹/۹ درصد اطمینان و ns: عدم معنی‌داری

معادلات آلومتریک اقاقیا

نتایج مدل‌سازی ذخیره کربن بخش‌های مختلف و مجموع ذخیره کربن در مقابل متغیرهای مستقل ارتفاع، قطر تاج و طول تاج در جدول۴ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که بجز مدل‌های پیش‌بینی وزن کربن نکرومس در مقابل هر سه متغیر مستقل، سایر مدل‌ها معنی‌دار هستند. به‌طور کلی در گونه اقاقیا متغیر مشخصی را نمی‌توان به‌عنوان بهترین متغیر در پیش‌بینی وزن کربن در قسمت‌های مختلف معرفی نمود؛ اما در برآورد اندوخته کربن کل اندام‌های هوایی و زیرزمینی متغیر ارتفاع مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین (به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۳) تولید نمود. نتایج همچنین نشان می‌دهد که برآورد وزن کربن در بخش‌های پوست و شاخه با قطر بیش از ۱ تا ۵ سانتی‌متر از ضریب همبستگی بالایی (به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۳) برخوردار است و ضریب تعیین مدل برآورد ذخیره کربن کنده متوسط است (۰/۵۱). مدل‌سازی کل اندامهای هوایی و و زیرزمینی همبستگی بالایی (به‌ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۳) را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول٤- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه اقاقیا

متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))	متغیر مستقل	r^2	F	b	a
شاخه با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر	ارتفاع (متر)	۰/۵٦	۱٤/۲**	۳/۵۷٤	۰/۰۱٤
	قطر تاج (متر)	۰/۷۹	٤۰/٤***	۲/۳۹٤	۰/۲۰۰
	طول تاج (متر)	۰/۵۸	۱۵/۲**	۱/۸۳۹	۰/۳۷۲
شاخه با قطر ۱ تا ۵ سانتی‌متر	ارتفاع (متر)	۰/۹۰	۱۲۱/٤***	٤/۳٤۲	۰/۰۰۳
	قطر تاج (متر)	۰/۸٦	۸۱/۱***	۲/۷٤۱	۰/۰۷۸
	طول تاج (متر)	۰/۹۳	۱٦۳/۸***	۲/۷٤۳	۰/۰٦٦
شاخه با قطر کمتر از ۱ سانتی‌متر	ارتفاع (متر)	۰/٦۵	۲٤/۲***	٤/۲۱٦	۰/۰۰۱
	قطر تاج (متر)	۰/۹	۱۱۷/۰***	۳/۲۰٤	۰/۰۱۸
	طول تاج (متر)	۰/٦۷	۲٦/۱***	۲/٦٦٤	۰/۰۲۹
برگ	ارتفاع (متر)	۰/۵٤	۱۵/۰**	۳/۹٤۹	۰/۰۰۱
	قطر تاج (متر)	۰/۸۲	۵۹/۲***	۳/۱۵٦	۰/۰۱۱
	طول تاج (متر)	۰/۵۸	۱۷/۷***	۲/۵۵۵	۰/۰۱۸
نکرومس	ارتفاع (متر)	۰/۱۲	۱/۵ns	–	–
	قطر تاج (متر)	۰/۱۳	۱/٦۷ns	–	–
	طول تاج (متر)	۰/۰۵	۰/٦٤ns	–	–
کنده	ارتفاع (متر)	۰/٦۳	۲۲/۱***	۲/۸۵۳	۰/۰۱٤
	قطر تاج (متر)	۰/۵۱	۱۳/٤**	۱/٦۵٦	۰/۱۵٤
	طول تاج (متر)	۰/٤۵	۱۰/٦**	۱/۵۰٦	۰/۱٦۸
پوست	ارتفاع (متر)	۰/۸۹	۱۰۷/٦***	٤/٤٤۷	۰/۰۰۲
	قطر تاج (متر)	۰/۸۸	۹۱/۰***	۲/۸٤٦	۰/۰۷۵
	طول تاج (متر)	۰/۸٦	۸۱/۵***	۲/۷۲۸	۰/۰۷٤
کل اندامهای هوایی	ارتفاع (متر)	۰/۸۹	۱۰۵/۹***	٤/۰٦۰	۰/۰۲۳
	قطر تاج (متر)	۰/۸٤	٦۹/۸***	۲/۵۵۳	۰/۵٦۰
	طول تاج (متر)	۰/۸٤	٦۵/۷***	۲/٤۵۲	۰/۵٤۵
ریشه	ارتفاع (متر)	۰/۹۳	۳۷/۰**	۳/۹۳۵	۰/۰۰۸
	قطر تاج (متر)	۰/۹۳	٤۳/۱**	۳/۳۱۸	۰/۰۵٦
	طول تاج (متر)	۰/۹۱	۲۹/۵*	۲/٦۵۹	۰/۰۹۲

r^2: ضریب همبستگی، F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، *، ** و ***: به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد اطمینان و ns: عدم معنی‌داری

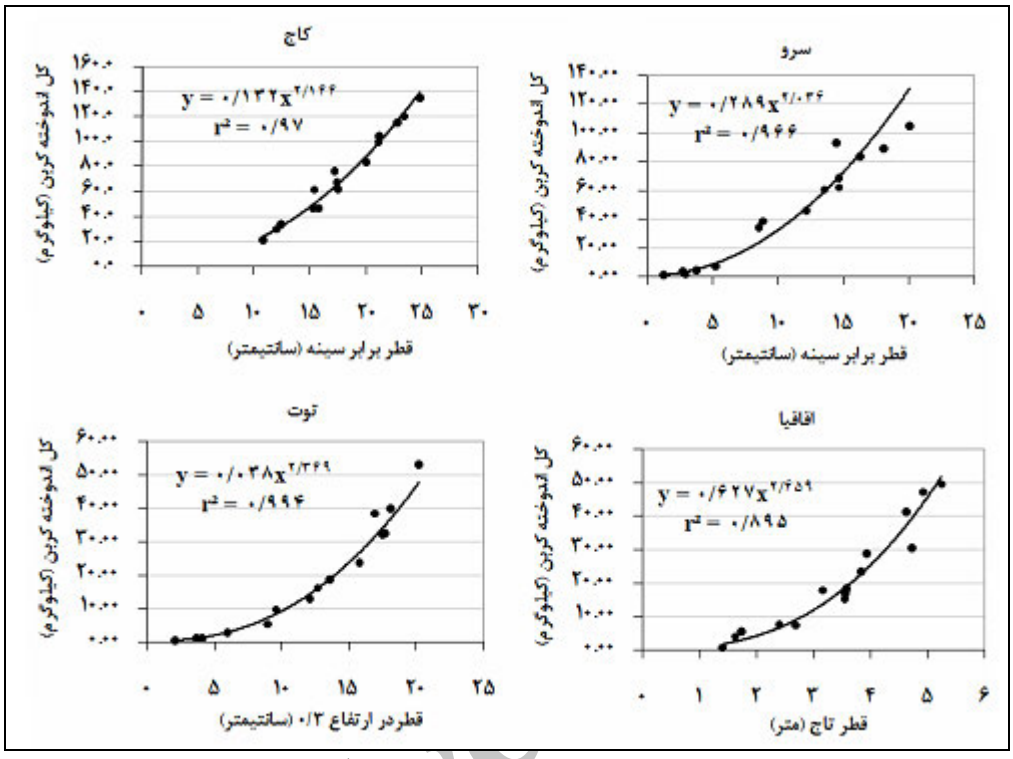
ابر نقاط و برازش منحنی‌های رگرسیون

در هر یک از چهار گونه درختی مورد مطالعه، ابر نقاط و منحنی رگرسیونی برای برآورد کل اندوخته کربن در درختان، با استفاده از دو متغیر مستقل و وابسته رسم گردید. در همه گونه‌ها برازش منحنی به‌نحو مطلوب و با ضریب تعیین بالا انجام شد. کمترین r^2 برای گونه اقاقیا

Archive of SID

www.SID.ir

(۰/۸۹۵) و بهترین برازش و بیشترین r^2 برای گونه توت (۰/۹۹٤) بدست آمد. ابر نقاط و منحنی برازش یافته برای برآورد کل اندوخته کربن چهار گونه در شکل۱ نمایش داده شده است.



شکل۱- ابر نقاط و منحنی برازش یافته رگرسیونی برای برآورد کل اندوخته کربن

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که روابط بسیار قوی در برآورد اندوخته کربن برای کل درخت و قسمت‌های متفاوت آن، بین بیشتر متغیرهای مستقل، به‌ویژه قطر برابرسینه در سوزنی‌برگان و قطر در ارتفاع ۰/۳ متری و ارتفاع درخت در پهن‌برگان وجود دارد.

در مورد پهن برگان، که جزو دو لپه‌ای‌های چوبی محسوب می‌شوند، اغلب دو مشکل در ایجاد روابط آلومتری وجود دارد؛ اول اینکه این گیاهان ساختار شاخساره‌ای پیچیده‌ای دارند و دوم اینکه بخش عمده‌ای از آنچه به‌عنوان زیتوده در نظر گرفته می‌شود چوب غیرزنده (درون چوب) است. این دلایل روابطی که برای برآورد زیتوده می‌باشند را پیچیده می‌کند (Cole & Ewel., 2006). در سوزنی‌برگان ساختار درختان ساده‌تر و به تبع آن، روابط آلومتری ایجاد شده در برآورد زیتوده قوی‌تر است. ضریب تعیین پایین در مدل‌های ایجادشده برای پیش‌بینی اندوخته کربن در نکرومس و شاخه‌های با قطر بیش‌تر از ۵ سانتی‌متر در گونه‌های پهن‌برگ تحقیق حاضر را می‌توان به این موضوع نسبت داد.

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ اصولاً روابط ایجاد شده برای پیش‌بینی مقدار اندوخته کربن در اندامهای چوبی و کل درخت بسیار قوی‌تر از روابطی است که برای پیش‌بینی مقدار اندوخته کربن در اندامهای غیرچوبی (برگ، سرشاخه و مخروط) ایجاد می‌شوند. به‌طور کلی برآورد زیتوده برگ و سرشاخه با دقتی که در برآورد زیتوده تنه و

Archive

www.SID.ir

زیتوده کل وجود دارد همیشه بسیار مشکل است (Navar, 2009). مشکل بودن این برآورد به‌دلیل تغییرات زیاد زیتوده شاخ و برگ (Foliage) و وابستگی زیاد آن به شرایط رویشگاهی و خصوصیات درخت است (Socha & Wezky, 2007). همچنین Cole and Ewel (2006) نیز در تحقیق خود که در مورد چهار گونه در جنگلهای تروپیکال انجام دادند به نتایج مشابهی دست یافتند که دلیل آن را در حساسیت زیتوده برگ و سرشاخه به شرایط آب و هوایی، وجود موجودات گیاه‌خوار و رقابت درون‌گیاهی دانسته‌اند. بافتهای غیرچوبی در مواجهه با شرایط فوق پایداری بیشتری نشان می‌دهند و از آنجایی که بیشتر وزن درختان را زیتوده این قسمتها تشکیل می‌دهد، زیتوده کل درخت هم پایدار بوده و در روابط آلومتری با متغیرهای مستقل، قوی ظاهر می‌شود.

محققان در اروپای مرکزی دقت معادلات آلومتریک را برای نراد نروژی (*Picea abies*) بررسی نمودند. آنها نیز حداقل دقت را برای برآورد زیتوده اجزای تاج (۱۲٪±) و حداکثر آن را برای برآورد زیتوده تنه (۵٪±) بدست آوردند (Pajtik *et al*., 2008). که نتیجه این تحقیق مشابه و همسو با تحقیق حاضر است.

Snowdon *et al* (2002) تفاوت مقدار خطا برای سرشاخه و برگ را تا حدودی به طبیعت پویای این بخش‌ها نسبت داده و بیان داشته‌اند که تغییرات فصلی، آب و مواد غذایی قابل دسترس و رقابت نوری (در میان شاخه‌های یک درخت و نیز با شاخه‌های سایر درختان) در نگهداشت زیتوده سرشاخه و برگ مؤثر هستند. مثلاً وجود سایه و فقر مواد غذایی در پایین تاج باعث ریزش برگهای بیشتر در این قسمت و پایین آمدن زیتوده در آن می‌گردد، و به همین علت مونه‌بندی تاج برای برآورد زیتوده و محتوای کربن را توصیه نموده‌اند.

به‌طور کلی در قسمت‌هایی از درخت که مقدار زیتوده آن بیشتر تحت تأثیر فاکتورهای غیرمحیطی مانند ژنتیک قرار دارند روابط قوی‌تری مورد انتظار است. در این تحقیق نتایج به خوبی این موضوع را نشان داده است. مثلاً در مورد روابط آلومتریک برای برآورد اندوخته کربن در بخش‌های نکرومس (زیتوده شاخه‌های خشکیده درون تاج) که در گونه‌های توت و اقاقیا ایجاد شده‌اند، هیچکدام از مدل‌ها معنی‌دار نیست و یا در مورد مخروط در سوزنی‌برگان و تا حدودی برگ و سرشاخه در پهن‌برگان و سوزنی‌برگان مدل‌های ایجاد شده ضریب تعیین پایینی داشته‌اند. Socha & Wezky (2007) در مطالعه‌ای که برای استقرار معادلات آلومتریک در گونه کاج اسکاتلندی در جنوب لهستان به‌منظور برآورد زیتوده سرشاخه این درخت انجام داده‌اند ضریب تعیین (r^2) را بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۵ بدست آورده‌اند که با نتایج تحقیق حاضر در برآورد زیتوده سرشاخه مخصوصاً در گونه کاج تهران (r^2= ۰/۷۹) مطابقت دارد.

از آنجایی که معادلات آلومتریک وابسته به ویژگیهای رویشگاه (Site specific) بوده و با توجه به شرایط آب و هوایی مختلف احتمالاً تغییر می‌کنند، به‌علاوه ویژگیهای گونه‌های مختلف با هم متفاوت بوده که خود باعث اختصاصی‌تر شدن این معادلات می‌گردد، لازم است تا معادلات بدست آمده برای گونه‌های مختلف، در همان رویشگاه یا خارج از آن رویشگاه برای پایه‌های دیگری از همان گونه بکار گرفته شود تا صحت و دقت آنها در برآورد زیتوده یا محتوی کربن درختان بررسی شود. پیشنهاد می‌شود صحت معادلات استقرار یافته برای گونه‌های مختلف در تحقیق حاضر برای جنگل‌کاریهای مشابه آن در مناطق نیمه‌خشک و یا سایر مناطق ایران که با این گونه‌ها انجام شده است بررسی گردد تا بتوان در مورد میزان تعمیم‌پذیری معادلات آلومتریک قضاوت نمود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع مورد استفاده

- Khademi, A., Babaei Kafaki, S. and Mataji, A., 2010. The role of coppice Oak stand in carbon storage and CO_2 uptake (case study: Khalkhal, Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(2): 242-252.
- Komiyama, A., Poungparn, S. and Kato, S., 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. Journal of Tropical Ecology, 21: 471-477.
- Navar, J., 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry forest trees of eastern Sinaloa, Mexico. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10: 45-52.
- Pajtik, J., Konopka, B. and Lukac, M., 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. Forest Ecology and Management, 256: 1096-1103.
- Panahi, P., Pourhashemi, M. and Hassani Nejad, M., 2011. Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of *Pistacia atlantica* in National Botanical Garden of Iran. Iranian Journal of Forest, 3(1): 1-12.
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Bi, H., Burrows, W. and Eamus, D., 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australian Greenhouse Office, 67 p.
- Socha, J. and Wezyk, P., 2007. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. Eur. J. Forest Res., 126: 263-270.

References

- Adl, H.R., 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4):417-426.
- Anonymous, 1992. Comprehensive and detailed plan for landscape of Mobarake Steel Complex. Industrial Report: 53-55.
- Anonymous, 2005. Manual of Biomass Survey and Analysis. Forestry Research and Development Agency & Japan International Cooperation Agency, 23 p.
- Basuki, T.M., Van Laake, P.E., Skidmore, A.K. and Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. Forest Ecology and Management, 257: 1684-1694.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S. and Cairns, M.A., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia, 145: 87-99.
- Cole, T.G. and Ewel, J.J., 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. Forest Ecology and Management, 229: 351-360.
- Ebuy, J., Lokombe, J.P., Ponette, Q., Snwa, D. and Picard, N., 2011. Allometric equations for predicting above ground biomass of three tree species. Journal of Tropical Forest Science, 23(2): 125-132.
- Kabiri, K., 2009. Comparison of carbon sequestration and its spatial pattern in the above-Ground woody compartment of a pure and mixed Beech forest (a case study of Gorazbon forest, north of Iran). Ph.D. thesis, Tehran University, 120 p.

Archive of SID

www.SID.ir

Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees

S. Bakhtiarvand Bakhtiari [1] and H. Sohrabi [2*]

[1]- MSc Graduate Student, Dept. of Forest Science, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Shahrekord, I.R. Iran.

[2*]- Corresponding author, Assistant prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran. E-mail: hsohrabi@modares.ac.ir

Received: 12.12.2011 Accepted: 24.06.2012

Abstract

Considering the climate change and global warming topics, importance of tree biomass and its measurement is increasing. Direct biomass measurement, especially for root section, is very costly, time consuming and difficult to implement. Usually, in such cases biomass can be estimated, using allometric equation. The aim of this research was to establish equations for estimating carbon content at above and below ground and whole tree biomass for four species, including Mulberry (*Morus alba*), Black Locust (*Robinia pseudoacacia*), Eldar Pine (*Pinus eldarica*) and Arizona cypress (*Cupressus arizonica*) planted around Mobarakeh Steel complex. For this purpose, 15 trees for each species (totally 60 trees) with appropriate diameter and height distribution, selected randomly and fell down and cut to different segments. Then the different components were separated and total fresh weight was measured at the field. Also roots of 20 trees fully excavated and after fresh weight measurement, some samples for dry weight determination were taken. Dry weight and carbon content of each sample were measured at laboratory. Allometric relationships between independent variables and carbon storage of different components and whole tree were established by nonlinear regression analysis. Overall, 96 models were derived for the four species and only eight of them were not statistically significant. The results showed that for Pine and Cypress, DBH (Diameter at Breast Height) and for Mulberry diameter at 0.3 m established models with highest coefficient of determination at all cases. For Black Locust, there was not special variable which can establish model with high coefficient of determination in all cases. For estimating the whole above- and below ground carbon storage of different organs, tree height had the highest coefficient of determination. Generally, concerning the both above and below ground biomass, modeling allometric relationships resulted in higher coefficient of determination of modeling for coniferous rather than for broadleaved species.

Key words: Eldar pine, Arizona cypress, Mulberry, Black locust, biomass, diameter, height

Archive of SID

www.SID.ir