

معادلات آلومتريک برای برآورد اندوخته کربن رو و زیر زمین چهار گونه درختی پهن برگ و سوزنی برگ

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 پذیرش: ۹۱/۴/۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۲

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 آلومتريک است. هدف تحقیق حاضر، استقرار معادلات برآورد اندوخته کربن در اندام‌های هوایی، زیرزمینی و کل درختان در چهار گونه شامل توت (*Morus alba*)، افاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) در جنگل کاری اطراف کارخانه فولاد مبارکه است. به این منظور تعداد ۱۵ اصله درخت برای هر گونه (در مجموع ۶۰ 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 آلومتريک با استفاده از تحلیل رگرسیون غیر خطی بین متغیرهای مستقل و اندوخته کربن در قسمت‌های مختلف و کل درخت برقرار گردید. در مجموع ۹۶ 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 برابر سینه و برای توت، متغیر قطر در ارتفاع ۰/۳ متری مدل‌هایی با بیشترین ضریب تعیین ایجاد نمود. در مورد افاقیا 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، افاقیا.

مقدمه

به‌عنوان شاخصی برای حاصلخیزی رویشگاه چه از نظر بیولوژیکی و چه از نظر اقتصادی در نظر گرفته شود (Cole & Ewel, 2006).

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

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 ۶۶ 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 برابر سینه، سطح مقطع، سن، ارتفاع و طول تاج به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده نمودند. Cole & Ewel (2006) برای چهار گونه از درختان مناطق حاره 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 دی‌اکسید کربن در جنگلهای اندبیل خلخال، معادلات آلومتریک را برای این گونه درختی بین میزان زیتوده و قطر برابر سینه 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

دقیق‌ترین روش برای برآورد زیتوده و محتوای کربن یک درخت آن است که درخت را قطع و به‌جزای مختلف تقسیم نمود (Basuki et al., 2009) و با نمونه‌گیری، 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 هر کدام 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 برابر سینه 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 برابر سینه و یا ارتفاع درخت به‌عنوان متغیر مستقل 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 برابر سینه یا ارتفاع درخت و یا قطر در ارتفاع خاصی از درخت، و a و b ضرایب معادله رگرسیون می‌باشند.

جنگلکاریهایی به صورت توده‌های خالص با گونه‌های مختلف مانند کاج تهران، سرو نقره‌ای، توت و اقاچیا 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*)، اقاچیا (*Robinia pseudoacacia*) 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 ۶ ردیف درخت در عرض (مجموعاً ۴۸ درخت در هر قطعه) در نظر گرفته شد. در هر کدام از قطعات، بسته به نوع گونه متغیرهای قطر برابر سینه (کاج و سرو)، ارتفاع کل (کاج، سرو، توت و اقاچیا)، طول تاج (کاج و اقاچیا)، قطر در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری (توت) و قطر تاج (سرو، توت و اقاچیا) 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 برابر سینه برای کاج تهران، ارتفاع کل برای سرو، قطر در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری برای توت و قطر تاج برای اقاچیا) و داده‌های آن متغیر به ۵ طبقه تقسیم شد. سپس از هر طبقه یک درخت به صورت 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 دیجیتالی و با دقت ۱۰ گرم بلافاصله اندازه‌گیری شد (در درختان

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

در این تحقیق معادلات آلومتریک، به منظور 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*)، اقاچیا (*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 ۸۱° ۱۳' تا ۳۲° ۱۷' ۴۱" شمالی و طول‌های ۵۱° ۲۳' ۱۹" تا ۵۱° ۲۷' ۵" 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،

خشک هر کدام از اندام‌ها، وزن کربن هر کدام از اندام‌های درخت از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$Wc = \frac{Wdc * Cc\%}{100} \quad \text{رابطه ۲}$$

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 به روش 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 جدول ۱ 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 (به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۳). در صورتی که مدل‌های برآورد وزن کربن مخروط و کنده ضریب تعیین متوسطی دارند (به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸). مدل‌های برآورد کل اندام‌های زیرزمینی و هوایی نیز ضرایب تعیین بسیار بالایی داشتند (به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۶).

پهن‌برگ در درون تاج، شاخه و سرشاخه‌های خشکیده نیز وجود داشت که به دلیل تفاوت درصد رطوبت، وزن این بخش از درختان به صورت 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 آن 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 رابطه ۱ زیر وزن خشک هر کدام از اندام‌ها مشخص گردید.

$$WDC = \frac{WFC * WDS}{WFS} \quad \text{رابطه ۱}$$

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

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

a	b	F	r ²	متغیر مستقل	متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))
۰/۰۰۰۲	۴/۸۰۳	۴۱/۶***	۰/۷۶	ارتفاع (متر)	تنه
۰/۰۰۶۰	۲/۱۳۰	۱۳۴/۴***	۰/۹۱	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۰۰۰۱	۶/۳۶۷	۱۵/۱**	۰/۵۶	ارتفاع (متر)	شاخه اصلی
۰/۰۰۰۲	۳/۵۱۹	۸۴/۳***	۰/۸۸	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۰۲	۴/۶۳۵	۹/۸**	۰/۴۵	طول تاج (متر)	سرشاخه
۰/۰۰۰۲	۳/۹۱۱	۱۴/۹**	۰/۵۳	ارتفاع (متر)	
۰/۰۱۳۴	۱/۹۲۵	۴۸/۳***	۰/۷۹	قطر برابر سینه (سانتی متر)	برگ
۰/۰۰۳۶	۳/۱۳۶	۱۵/۴**	۰/۵۴	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۰۱	۴/۴۴۱	۲۷/۱***	۰/۶۸	ارتفاع (متر)	مخروط
۰/۰۱۴۳	۲/۱۰۷	۱۵۹/۵***	۰/۹۳	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۲۶	۳/۵۵۷	۲۷/۹***	۰/۶۸	طول تاج (متر)	کنده
۰/۰۰۰۰۰۸	۵/۳۳۳	۸/۳*	۰/۳۹	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۱۱	۲/۳۳۶	۲۱/۷***	۰/۶۳	قطر برابر سینه (سانتی متر)	پوست
۰/۰۰۰۲	۴/۲۸۸	۸/۶*	۰/۴۰	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۲۲	۳/۱۱۸	۱۱/۲**	۰/۴۶	ارتفاع (متر)	کل اندامهای هوایی
۰/۰۳۱۸	۱/۶۶۳	۵۲/۵***	۰/۸	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۴۲	۲/۹۲۸	۹/۴**	۰/۴۲	ارتفاع (متر)	ریشه
۰/۰۳۳۷	۱/۷۱۲	۸۸/۵***	۰/۸۷	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۱۴	۴/۴۲۰	۲۳/۲***	۰/۶۴	ارتفاع (متر)	ریشه
۰/۱۰۱۹	۲/۱۹۱	۳۰۲/۴***	۰/۹۶	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
-	-	۳/۵ ^{ns}	۰/۵۴	ارتفاع (متر)	
۰/۰۳۱۳	۲/۰۶۶	۳۱۵/۹***	۰/۹۹	قطر برابر سینه (سانتی متر)	

T² ضریب همبستگی، F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، *، **، ***: به ترتیب معنی داری در سطوح ۹۹، ۹۵ و ۹۹/۹ درصد اطمینان و ns: عدم معنی داری

معادلات آلومتریک سرو نقره‌ای

سرو نقره‌ای متغیر قطر برابر سینه 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 (به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۶) برخوردار است.

نتایج مدل‌سازی ذخیره کربن بخش‌های مختلف و مجموع کل ذخیره کربن در مقابل متغیرهای مستقل قطر برابر سینه، ارتفاع و قطر تاج در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که تمامی مدل‌های بدست آمده برای پیش‌بینی وزن کربن معنی‌دار هستند. به‌طور کلی برای

جدول ۲- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه سرو نقره‌ای

a	b	F	r ²	متغیر مستقل	متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))
۰/۰۰۶۲	۳/۷۹۴	۴۹۷/۳***	۰/۹۸	ارتفاع (متر)	تنه
۰/۰۳۸۲	۲/۲۹۴	۶۴۳/۵***	۰/۹۸	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۲۵	۷/۰۹۷	۲۶/۷***	۰/۷۱	ارتفاع (متر)	شاخه اصلی
۰/۰۰۹۹	۲/۷۲۳	۴۴/۰***	۰/۸۰	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۱۶۴۸	۴/۵۷۱	۴۱/۳***	۰/۷۹	قطر تاج (متر)	سرشاخه
۰/۰۱۴۳	۲/۸۶۰	۱۱۲/۱***	۰/۹۰	ارتفاع (متر)	
۰/۰۵۲۰	۱/۷۶۴	۱۹۹/۳***	۰/۹۴	قطر برابر سینه (سانتی متر)	برگ
۰/۴۶۰۸	۲/۵۲۷	۶۷/۹***	۰/۸۴	قطر تاج (متر)	
۰/۰۳۶۱	۲/۷۰۸	۱۳۸/۰***	۰/۹۱	ارتفاع (متر)	مخروط
۰/۱۳۰۱	۱/۶۴۳	۱۶۳/۶***	۰/۹۳	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۹۳۲۱	۲/۴۵۵	۱۱۸/۰***	۰/۹۰	قطر تاج (متر)	کنده
۰/۰۰۴۹	۳/۰۴۹	۳۷/۸***	۰/۷۸	ارتفاع (متر)	
۰/۰۲۲۲	۱/۸۲۸	۵۰/۰***	۰/۸۲	قطر برابر سینه (سانتی متر)	پوست
۰/۱۵۳۲	۲/۹۶۹	۳۲/۸***	۰/۷۵	قطر تاج (متر)	
۰/۰۰۲۷	۳/۵۱۶	۱۷۴/۶***	۰/۹۳	ارتفاع (متر)	کل اندامهای هوایی
۰/۰۱۴۵	۲/۱۲۰	۱۷۶/۲***	۰/۹۳	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۳۱	۳/۲۳۷	۱۰۰/۶***	۰/۸۹	ارتفاع (متر)	ریشه
۰/۰۱۴۱	۱/۹۷۲	۱۲۲/۸***	۰/۹۰	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۴۳۵	۳/۴۵۶	۲۰۶/۱***	۰/۹۴	ارتفاع (متر)	
۰/۲۲۲۲	۲/۰۹۸	۲۷۴/۱***	۰/۹۶	قطر برابر سینه (سانتی متر)	
۰/۰۰۹۸	۳/۰۸۵	۱۰۵/۴**	۰/۹۷	ارتفاع (متر)	
۰/۰۶۶	۱/۶۸۶	۷۳۷/۶***	۰/۹۹	قطر برابر سینه (سانتی متر)	

F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، *، ** و ***: به ترتیب معنی داری در سطوح ۹۹ و ۹۹/۹ درصد اطمینان

معادلات آلومتریک توت

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 ۵ سانتی‌متر از ضریب تعیین بسیار بالایی برخوردار است. مدل‌سازی کل اندام‌های هوایی و زیرزمینی نیز از ضریب تعیین بالایی (به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۹) برخوردار است.

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 جدول ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که بجز مدل‌های پیش‌بینی وزن کربن نکر و مس در مقابل هر سه متغیر مستقل و مدل پیش‌بینی وزن کربن شاخه با قطر بیشتر از ۵ سانتی‌متر در مقابل متغیر مستقل قطر تاج، سایر مدل‌ها با ۹۹ درصد اطمینان معنی دار هستند. به‌طور کلی برای توت، متغیر قطر

جدول ۳- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه توت

a	b	F	r ²	متغیر مستقل	متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))
۰/۰۰۶۰	۳/۹۳۸	۱۰۳/۱***	۰/۸۹	ارتفاع (متر)	تنه
۰/۰۰۳۸	۲/۶۴۹	۶۵۱/۵***	۰/۹۸	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	
۰/۰۰۱۰	۴/۵۳۵	۱۱/۶*	۰/۶۶	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۰۰۱	۴/۴۹۸	۱۲/۹*	۰/۶۸	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	شاخه با قطر بیش از ۵ سانتی متر
-	-	۳/۵ ^{ns}	۰/۳۷	قطر تاج (متر)	
۰/۰۰۳۹	۴/۰۲۷	۹۹/۸***	۰/۸۹	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۲۸	۲/۶۴۲	۱۷۱/۳***	۰/۹۳	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	شاخه با قطر ۱ تا ۵ سانتی متر
۰/۰۴۲۵	۲/۷۳۴	۸۵/۰***	۰/۸۷	قطر تاج (متر)	
۰/۰۱۳۴	۲/۹۴۷	۸۱/۳***	۰/۸۶	ارتفاع (متر)	
۰/۰۱۰۶	۱/۹۳۴	۱۲۵/۳***	۰/۹۱	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	شاخه با قطر کمتر از ۱ سانتی متر
۰/۰۷۲۷	۲/۰۵۵	۱۰۶/۴***	۰/۸۹	قطر تاج (متر)	
۰/۰۰۰۶	۲/۹۸۲	۵۶/۳***	۰/۸۱	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۰۵	۱/۹۳۰	۶۳/۷***	۰/۸۳	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	برگ
۰/۰۰۳۲	۲/۰۵۰	۵۷/۶***	۰/۸۲	قطر تاج (متر)	
-	-	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۲	ارتفاع (متر)	
-	-	۰/۷۵ ^{ns}	۰/۱۱	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	نکرومس
-	-	۱/۳۳ ^{ns}	۰/۱۸	قطر تاج (متر)	
۰/۰۰۰۸	۳/۲۳۴	۱۹۰/۷***	۰/۹۴	ارتفاع (متر)	کنده
۰/۰۰۰۷	۲/۰۵۲	۱۴۸/۳***	۰/۹۲	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	
۰/۰۰۰۵	۳/۵۹۶	۱۷۵/۳***	۰/۹۳	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۰۴	۲/۳۵۷	۵۳۱/۷***	۰/۹۸	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	پوست
۰/۰۰۳۷	۳/۶۶۲	۱۷۹/۳***	۰/۹۳	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۲۷	۲/۴۱۶	۱۳۸۸/۵***	۰/۹۹	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	کل اندامهای هوایی
۰/۰۰۳۶	۳/۰۲۲	۷۴/۵***	۰/۹۶	ارتفاع (متر)	
۰/۰۰۱۲	۲/۲۰۳	۲۵۸/۰***	۰/۹۹	قطر در ارتفاع ۰/۳ متر (سانتی متر)	ریشه

F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، * و ***: به ترتیب معنی داری در سطوح ۹۵ و ۹۹/۹ درصد اطمینان و ns: عدم معنی داری

معادلات آلومتریک افاقیا

نتایج مدل سازی ذخیره کربن بخش های مختلف و مجموع ذخیره کربن در مقابل متغیرهای مستقل ارتفاع، قطر تاج و طول تاج در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان می دهد که بجز مدل های پیش بینی وزن کربن نکرومس در مقابل هر سه متغیر مستقل، سایر مدل ها معنی دار هستند. به طور کلی در گونه افاقیا متغیر مشخصی را نمی توان به عنوان بهترین متغیر در پیش بینی وزن کربن در قسمت های مختلف معرفی نمود؛ اما در برآورد اندوخته

کربن کل اندام های هوایی و زیرزمینی متغیر ارتفاع مدل هایی با بیشترین ضریب تعیین (به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۳) تولید نمود. نتایج همچنین نشان می دهد که برآورد وزن کربن در بخش های پوست و شاخه با قطر بیش از ۱ تا ۵ سانتی متر 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). مدل سازی کل اندام های هوایی و و زیرزمینی همبستگی بالایی (به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۹۳) را نشان می دهد.

جدول ۴- متغیرها و مقادیر آماره و ضرایب برای معادلات آلومتری گونه افاقیا

a	b	F	r ²	متغیر مستقل	متغیر پاسخ (وزن کربن (kg))
۰/۰۱۴	۳/۵۷۴	۱۴/۲**	۰/۵۶	ارتفاع (متر)	شاخه با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر
۰/۲۰۰	۲/۳۹۴	۴۰/۴***	۰/۷۹	قطر تاج (متر)	
۰/۳۷۲	۱/۸۳۹	۱۵/۲**	۰/۵۸	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۳	۴/۳۴۲	۱۲۱/۴***	۰/۹۰	ارتفاع (متر)	شاخه با قطر ۱ تا ۵ سانتی‌متر
۰/۰۷۸	۲/۷۴۱	۸۱/۱***	۰/۸۶	قطر تاج (متر)	
۰/۰۶۶	۲/۷۴۳	۱۶۳/۸***	۰/۹۳	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۱	۴/۲۱۶	۲۴/۲***	۰/۶۵	ارتفاع (متر)	شاخه با قطر کمتر از ۱ سانتی‌متر
۰/۰۱۸	۳/۲۰۴	۱۱۷/۰***	۰/۹	قطر تاج (متر)	
۰/۰۲۹	۲/۶۶۴	۲۶/۱***	۰/۶۷	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۱	۳/۹۴۹	۱۵/۰**	۰/۵۴	ارتفاع (متر)	برگ
۰/۰۱۱	۳/۱۵۶	۵۹/۲***	۰/۸۲	قطر تاج (متر)	
۰/۰۱۸	۲/۵۵۵	۱۷/۷***	۰/۵۸	طول تاج (متر)	
-	-	۱/۵ ^{ns}	۰/۱۲	ارتفاع (متر)	نکرومس
-	-	۱/۶۷ ^{ns}	۰/۱۳	قطر تاج (متر)	
-	-	۰/۶۴ ^{ns}	۰/۰۵	طول تاج (متر)	
۰/۰۱۴	۲/۸۵۳	۲۲/۱***	۰/۶۳	ارتفاع (متر)	کنده
۰/۱۵۴	۱/۶۵۶	۱۳/۴**	۰/۵۱	قطر تاج (متر)	
۰/۱۶۸	۱/۵۰۶	۱۰/۶**	۰/۴۵	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۲	۴/۴۴۷	۱۰۷/۶***	۰/۸۹	ارتفاع (متر)	پوست
۰/۰۷۵	۲/۸۴۶	۹۱/۰***	۰/۸۸	قطر تاج (متر)	
۰/۰۷۴	۲/۷۲۸	۸۱/۵***	۰/۸۶	طول تاج (متر)	
۰/۰۲۳	۴/۰۶۰	۱۰۵/۹***	۰/۸۹	ارتفاع (متر)	کل اندامهای هوایی
۰/۵۶۰	۲/۵۵۳	۶۹/۸***	۰/۸۴	قطر تاج (متر)	
۰/۵۴۵	۲/۴۵۲	۶۵/۷***	۰/۸۴	طول تاج (متر)	
۰/۰۰۸	۳/۹۳۵	۳۷/۰**	۰/۹۳	ارتفاع (متر)	ریشه
۰/۰۵۶	۳/۳۱۸	۴۳/۱**	۰/۹۳	قطر تاج (متر)	
۰/۰۹۲	۲/۶۵۹	۲۹/۵*	۰/۹۱	طول تاج (متر)	

r² ضریب همبستگی، F: آماره تحلیل واریانس رگرسیون، a و b: ضرایب معادله رگرسیون توانی، *، ** و ***: به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد اطمینان و ns: عدم معنی‌داری

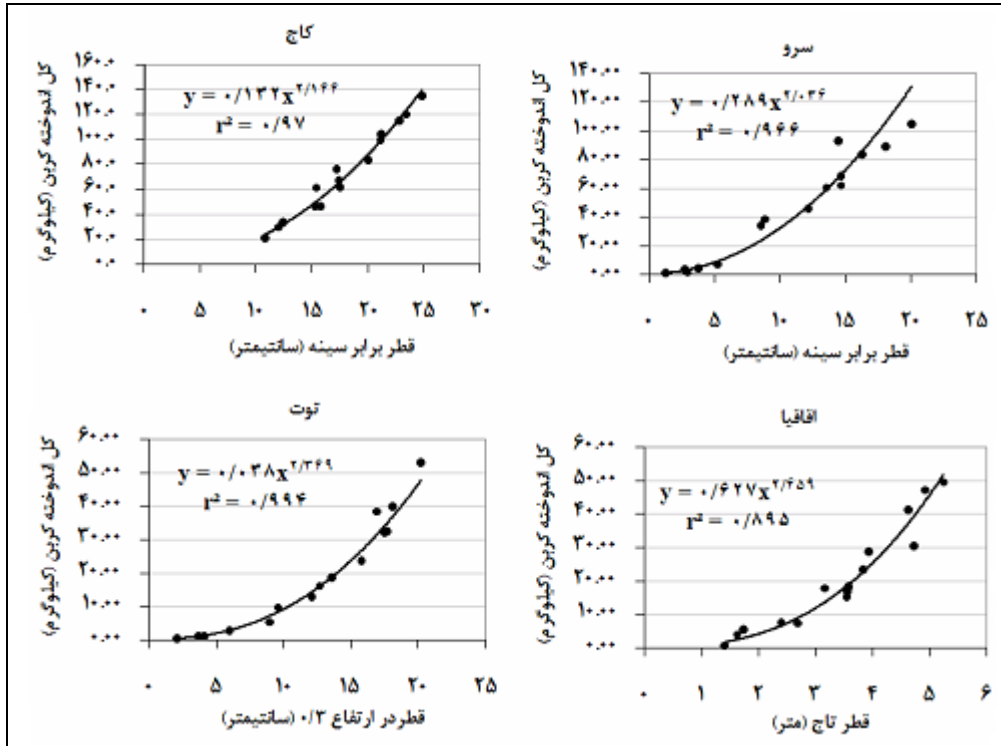
ابر نقاط و برازش منحنی‌های رگرسیون

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 r² برای گونه افاقیا

در هر یک از چهار گونه درختی مورد مطالعه، ابر نقاط و منحنی رگرسیونی برای برآورد کل اندوخته کربن در

برآورد کل اندوخته کربن چهار گونه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

(۰/۸۹۵) و بهترین برازش و بیشترین R^2 برای گونه توت (۰/۹۹۴) بدست آمد. ابر نقاط و منحنی برازش یافته برای



شکل ۱- ابر نقاط و منحنی برازش یافته رگرسیونی برای برآورد کل اندوخته کربن

(2006). در سوزنی‌برگان ساختار درختان ساده‌تر و به تبع آن، روابط آلومتری ایجاد شده در برآورد زیتوده قوی‌تر است. ضریب تعیین پایین در مدل‌های ایجاد شده 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

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 برابر سینه در سوزنی‌برگان و قطر در ارتفاع ۰/۳ متری و ارتفاع درخت در پهن‌برگان وجود دارد.

در مورد پهن‌برگان، 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.,)

قرار دارند روابط قوی تری 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 نکر و مس (زیتوده شاخه‌های خشکیده درون تاج) که در گونه‌های توت و افاقیا 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 به منظور 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، به علاوه 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.

زیتوده کل وجود دارد همیشه بسیار مشکل است (Navar, 2009). مشکل بودن این برآورد به دلیل 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 فوق‌پایداری 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 ($\pm ۱۲\%$) و حداکثر آن را برای برآورد زیتوده تنه ($\pm ۵\%$) 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

منابع مورد استفاده

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.
- Khademi, A., Babaei Kafaki, S. and Mataji, A., 2010. The role of coppice Oak stand in carbon storage and CO₂ uptake (case study: Khalkhal, Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18(2): 242-252.
- Komiyama, A., Pongparn, 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.

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

S. Bakhtiarvand Bakhtiari¹ 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, Nour, 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