



استفاده از عامل بسط زی توده در برآورد اندوخته کربن توده‌های بلوط ایرانی در استان چهارمحال و بختیاری

یعقوب ایران‌منش^{۱*}، هرمز سهرابی^۲، خسرو نایب طالبی^۳، حسن جهانبازی گوجانی^۴

۱. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد

۲. استادیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، نور، مازندران، ایران.

۳. دانشیار موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران.

۴. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد.

y_iranmanesh@yahoo.com

چکیده

یکی از روش‌های برآورد زی توده در سطح توده استفاده از عامل بسط زی توده است. عامل بسط زی توده، در واقع نسبت کل زی توده اندام‌های هوایی درخت به یکی از فاکتورهای اندازه‌گیری شده برای درختان سرپا، است. عموماً در تهیه طرح‌های جنگلداری که با هدف مدیریت صحیح منابع جنگلی انجام می‌شوند، ارزیابی سیستماتیک و جامعی از عرصه‌های موجود به عمل آمده و در نتیجه، اطلاعات قابل اطمینان فراوانی نظیر حجم تنه، سطح مقطع برابرسینه فراهم می‌شود. از اطلاعات موجود می‌توان به‌عنوان داده‌های پایه در برآوردهای زی توده و اندوخته کربن درختان استفاده نمود. این تحقیق در جنگل‌های منطقه آتسگاه شهرستان لردگان در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. به این منظور ابتدا ۳۰ درخت در دو فرم رویشی شاخه و دانه زاد به صورت تصادفی انتخاب شدند. زی توده واقعی درختان انتخاب شده به روش قطع و توزین اندازه‌گیری شد. به منظور دستیابی به بهترین نسبت BEF، متغیرهای مختلف چندبعدی و ترکیبی تعریف و مورد استفاده قرار گرفت. مقدار زی توده واقعی و زی توده برآوردی درختان با استفاده از عامل بسط زی توده، مقایسه و صحت و دقت برآورد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که در هر دو فرم رویشی بلوط ایرانی، استفاده از متغیرهای ترکیبی نتایج بهتری را در محاسبه نسبت BEF در برآورد زی توده روی زمینی نشان می‌دهد. قطربرابرسینه، قطر تاج و ارتفاع کل از متغیرهایی هستند که در اکثر آماربرداری‌های این گونه در غرب کشور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین در صورت دسترسی به این سه متغیر، استفاده از فاکتور ترکیبی "قطربرابرسینه × قطر تاج × ارتفاع کل" به دلیل درصد اشتباهات و درصد اریبی کمتر، به‌منظور تعیین عامل بسط زی توده در درختان تک‌پایه توصیه می‌شود. در پایه‌های شاخه‌زاد نیز متغیر ترکیبی "قطر تاج × ارتفاع تاج در تراکم تاج" از کمترین درصد اریبی و RMSE و بنابراین بیشترین دقت در برآورد زی توده برخوردارند.

کلیدواژه‌ها: عامل بسط زی توده، بلوط ایرانی، اندوخته کربن، زاگرس مرکزی.



عامل بسط زی توده یا BEF^1 ، در واقع نسبت کل زی توده اندام‌های هوایی درخت به یکی از فاکتورهای اندازه‌گیری شده برای درختان سرپا، مانند حجم تنه، سطح مقطع برابر سینه، ارتفاع، قطر متوسط تاج است (Levy *et al.*, ۲۰۰۴). عموماً در تهیه طرح‌های جنگلداری که با هدف مدیریت صحیح منابع جنگلی انجام می‌شوند، ارزیابی سیستماتیک و جامعی از عرصه‌های موجود به عمل آمده و در نتیجه، اطلاعات قابل اطمینان فراوانی نظیر حجم تنه، سطح مقطع برابر سینه فراهم می‌شود. این اطلاعات ارزشمند می‌توانند به عنوان مبنایی برای بررسی‌های زی توده و موجودی کربن جنگل، مورد استفاده قرار گیرند (Lehtonen *et al.*, ۲۰۰۴). یکی از مشکلات چنین آماربرداری‌هایی، فقدان اندازه‌گیری مستقیم زی توده است. برآورد زی توده، می‌تواند توسط عامل بسط زی توده با تبدیل حجم تنه به وزن خشک تنه (Density factor) و سپس به زی توده کل درخت (Expansion factor) انجام شود. این دو فاکتور می‌توانند در قالب یک فاکتور (عامل بسط زی توده) که مستقیماً حجم تنه را به زی توده کل درخت تبدیل می‌کند، قرار گیرند (Fang and Wang, ۲۰۰۱).

اولین بار Sharp و همکاران (۱۹۷۵) از BEF برای برآورد زی توده جنگلی استفاده کردند. آنها یک BEF ثابت معادل ۲ مگاگرم بر مترمکعب، برای زی توده جنگلی در کارولینای شمالی آمریکا به دست آوردند. البته بررسی‌های دیگر نشان داد که مقدار BEF ثابت نیست و به عواملی از قبیل سن توده، شرایط رویشگاه و تراکم توده بستگی دارد (Brown ۱۹۹۸; Fang *et al.*, ۱۹۹۵; Turner *et al.*, ۱۹۹۲; and Lugo, ۱۹۹۲). در سال ۲۰۰۴، Lehtonen و همکاران از عامل بسط زی توده برای برآورد اندوخته کربن و زی توده سه گونه کاج جنگلی^۲، پیسه آ یا نوئل^۳ و توس^۴ در طبقات سنی مختلف استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که برآورد اندوخته کربن در این روش می‌تواند با لحاظ کردن عامل سن در بسط زی توده توسعه یابد. آنها از عامل بسط زی توده برای تبدیل حجم تنه به اجزاء زی توده درختی شامل برگ، شاخه، ساقه، پوست، کنده و ریشه‌های کوچک و بزرگ استفاده کردند. همچنین Lehtonen و همکاران در سال ۲۰۰۷ عدم قطعیت برآورد توسط عامل بسط زی توده را برای پیسه آ در جمهوری چک مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق که در مورد اندام‌های روی زمینی انجام شد، نشان داد که عامل بسط زی توده برای این گونه بین ۰/۵۶۹ و ۰/۵۷۴ مگاگرم بر مترمکعب است. همچنین عامل بسط زی توده پیسه آ به مقدار کمی به عامل سن وابسته است و با افزایش سن توده کاهش می‌یابد.

در تحقیقی Pajtik و همکاران در سال ۲۰۰۸ معادلات و فاکتورهای بسط زی توده را در گونه *Picea abies* در اسلوواکی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از عامل بسط زی توده بر مبنای قطر یقه و ارتفاع درخت برای محاسبه زی توده خشک گونه مورد بررسی، استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که زی توده کل توده از ۱ مگاگرم در هکتار در توده‌های ۱/۵ ساله، تا ۴۴/۳ مگاگرم در توده‌های ۹/۵ ساله متفاوت است. Cháidez در سال ۲۰۰۹ عامل بسط زی توده را برای ۶ گونه درختی جنگل‌های خشک استوایی مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق با استفاده از حجم تنه، عامل بسط زی توده برای شاخه، تنه و کل زی توده روی زمینی به ترتیب ۰/۷۸۵۴، ۰/۸۷۳ و ۱/۴۶ به دست آمد. Tome و Soares

^۱ Biomass Expansion Factor

^۲ Scot pine

^۳ Norway Spruce

^۴ Birch



سال ۲۰۱۲ عامل بسط زی توده را برای گونه *Eucalyptus globulus* در سطح توده در کشور پرتقال بررسی کردند. در این پژوهش BEF، به عنوان نسبت زی توده کل توده (زی توده روی زمینی و زی توده ریشه) به حجم توده با پوست در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی حاکی از ارتباط بسیار قوی بین BEF و سن توده، سطح مقطع توده، حجم و ارتفاع غالب توده است. در این تحقیق استفاده از مدل BEF که در آن ارتفاع غالب توده بکار رفته است، به دلیل کمیاری کمتر و دقت بالاتر در برآورد زی توده، توصیه شده است. هدف از اجرای این تحقیق بررسی امکان استفاده از عامل بسط زی توده جهت برآورد بیوماس کل درختان بلوط ایرانی در غرب کشور و اندازه گیری مقدار اندوخته کربن در سطح توده می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد بررسی

این تحقیق در جنگل های منطقه آتشگاه شهرستان لردگان در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. لردگان از مهم ترین رویشگاه های جنگلی در استان بوده که تیپ غالب آن بلوط ایرانی است. البته گونه های همراه مانند پسته وحشی، بادام کوهی، کیکم، داغداغان، ارس، محلب در بیشتر تیپ های مختلف حضور دارند.

روش تحقیق

ابتدا ۳۰ درخت در دو فرم رویشی شاخه و دانه زاد به صورت تصادفی انتخاب شدند. زی توده واقعی درختان انتخاب شده به روش قطع و توزین اندازه گیری شد. برای محاسبه عامل بسط زی توده از رابطه زیر استفاده شد:

$$BEF = \frac{\sum \frac{(AGB)_i}{X_i}}{n}$$

که در آن $(AGB)_i$ زی توده اندام های هوایی هر درخت بوده و X_i متغیر مورد استفاده که در گونه بلوط ایرانی از متغیرهایی مانند حجم تنه، حجم تاج، سطح مقطع برابر سینه و متغیرهای ترکیبی استفاده شد، و n تعداد درختی است که برای محاسبه BEF در نظر گرفته شده است.

به منظور دستیابی به بهترین نسبت BEF، متغیرهای مختلف چندبعدی و ترکیبی تعریف و مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱ - متغیرهای مورد استفاده در محاسبات عامل بسط زی توده

متغیر	متغیر
ارتفاع تاج × قطر تاج × به توان دو	قطر برابر سینه × قطر تاج × ارتفاع تاج
سطح مقطع برابر سینه × ارتفاع کل	قطر برابر سینه به توان سه
سطح مقطع برابر سینه × ارتفاع تنه	ارتفاع تاج × قطر تاج × درصد تراکم
قطر تاج × سطح مقطع برابر سینه	ارتفاع تاج × قطر تاج × تعداد جست
ارتفاع کل × قطر تاج × به توان دو	ارتفاع کل × قطر تاج × تعداد جست
قطر برابر سینه × قطر تاج × ارتفاع کل	



در هر دو فرم رویشی دانه زاد و جست گروه، عامل بسط زی توده با استفاده از رابطه فوق، بر مبنای هر کدام از متغیرهای جدول ۱، برای زی توده کل و قسمت های مختلف درختان محاسبه شد. همچنین به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج، درصد اریبی (Br%) و RMSE% به دست آمد.

نتایج

بررسی عامل بسط زی توده در درختان دانه زاد بلوط ایرانی

بررسی تبعیت مقادیر باقیمانده (اختلاف مقادیر برآوردی از مقادیر واقعی) از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف حاکی از نرمال بودن توزیع مقادیر باقیمانده در هر یک از متغیرهای مورد بررسی است. از بین متغیرهای مورد بررسی متغیر "قطر برابر سینه × قطر تاج × ارتفاع کل"، از درصد اشتباهات (RMSE%) و اریبی (Br%) کمتری برخوردار هستند. مقایسه مقادیر برآوردی و مقادیر واقعی زی توده روی زمینی در درختان تک پایه با استفاده از آزمون t جفتی انجام شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر واقعی و مقادیر برآوردی زی توده کل در محاسبه BEF، از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ($\alpha > 0/05$) وجود ندارد.

جدول ۲- مقایسه زی توده واقعی و زی توده برآوردی (کیلوگرم) درختان تک پایه با استفاده از عامل بسط زی توده

معنی داری	زی توده برآوردی بر مبنای متغیر (قطر برابر سینه × قطر تاج × ارتفاع کل)	زی توده واقعی (kg)	زی توده کل
NS	۳۷۷/۶	۳۵۹/۹	

جدول ۳ نیز مقدار BEF را در درختان تک پایه بلوط ایرانی بر مبنای متغیر "قطر برابر سینه × قطر تاج × ارتفاع کل" نشان می دهد.

جدول ۳- مقدار عامل بسط زی توده بر مبنای متغیرهای ترکیبی در فرم تک پایه بلوط ایرانی

متغیر مورد بررسی	(قطر برابر سینه × قطر تاج × ارتفاع کل) (kg/m ³)
مقدار BEF	۲۲/۳

بررسی عامل بسط زی توده در درختان شاخه زاد بلوط ایرانی

در پایه های شاخه زاد، بررسی تبعیت مقادیر باقیمانده از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف حاکی از نرمال بودن توزیع مقادیر باقیمانده در هر یک از متغیرهای مورد بررسی است. از بین متغیرهای مورد بررسی "قطر تاج × ارتفاع تاج × تراکم تاج"، از درصد اشتباهات (RMSE%) و اریبی (Br%) کمتری برخوردار است. مقایسه مقادیر برآوردی و مقادیر واقعی زی توده روی زمینی درختان شاخه زاد با استفاده از آزمون t جفتی انجام شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر واقعی و مقادیر برآوردی از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ($\alpha > 0/05$) وجود ندارد.



جدول ۴-۲۱- مقایسه زی توده واقعی و زی توده برآوردی (کیلوگرم) درختان شاخه‌زاد با استفاده از عامل بسط زی توده

معنی داری	زی توده برآوردی بر مبنای متغیر (قطر تاج × ارتفاع تاج × تراکم تاج)	زی توده واقعی (kg)	زی توده کل
ns	۱۲۲ ns	۱۴۴/۱	

جدول ۴-۲۲ نیز مقدار BEF را در درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی بر مبنای متغیر " قطر تاج × ارتفاع تاج × تراکم تاج " نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲۲- مقدار عامل بسط زی توده بر مبنای متغیرهای ترکیبی در فرم جست گروه بلوط ایرانی

متغیر مورد بررسی	(قطر تاج × ارتفاع تاج × تراکم تاج) (kg/m ³)
مقدار BEF	۷/۲

بحث و نتیجه‌گیری

بکارگیری عامل بسط زی توده به دلیل سهولت استفاده، نسبت به معادلات آلومتریک زی توده ارجحیت دارد (Johnson and Sharpe, ۱۹۸۳). نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از عامل بسط زی توده اندام‌های هوایی گونه بلوط ایرانی به عنوان یک برآورد کننده برای بخش‌های چوبی درخت، علاوه بر صحیح بودن مقدار برآورد، از سهولت بسیاری نیز برخوردار است. ارزیابی نسبی و درصد RMSE به دست آمده در استفاده از این نسبت، حاکی از توانایی مطلوب این روش در برآورد زی توده کل و قسمت‌های چوبی درخت است.

در بسیاری از کشورها، نسبت عامل بسط زی توده، با استفاده از متغیر حجم تنه محاسبه شده است که دلیل آن، فراوانی داده‌های آماربرداری است که چنین متغیرهایی در آن محاسبه شده است. با توجه به ماهیت جنگل‌های مورد بررسی در سایر تحقیقات، ملاحظه می‌شود که "حجم" در آماربرداری‌های ملی این کشورها یک متغیر کاربردی است. Levy و همکاران (۲۰۰۴) علی‌رغم اینکه در برآورد نسبت BEF از متغیر حجم تنه استفاده کرد، اذعان می‌کند که ممکن است روابط بهتری برای محاسبه این نسبت بین سایر اجزای درخت وجود داشته باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در گونه بلوط ایرانی متغیرهای حجم تنه و سطح مقطع برابر سینه به‌ویژه در جست گروه‌ها، برآورد کننده‌های خوبی برای تعیین زی توده روی زمینی به حساب نمی‌آیند. دلیل این موضوع را می‌توان در تنه‌های کوچک و غیرسیلندریک در اکثر درختان این گونه به‌ویژه پایه‌های شاخه‌زاد دانست. استفاده از متغیر حجم تاج در درختان تک‌پایه و جست گروه‌ها در برآورد زی توده روی زمینی از دقت بالاتری برخوردار است. این مسئله می‌تواند به دلیل تخصیص بخش عمده‌ای از زیتوده به تاج درختان بلوط ایرانی باشد.

در مجموع در هر دو فرم رویشی بلوط ایرانی، استفاده از متغیرهای ترکیبی نتایج بهتری را در محاسبه نسبت BEF در برآورد زی توده روی زمینی نشان می‌دهد. قطر برابر سینه، قطر تاج و ارتفاع کل از متغیرهایی هستند که در اکثر آماربرداری‌های این گونه در غرب کشور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین در صورت دسترسی به این سه متغیر، استفاده از فاکتور ترکیبی "قطر برابر سینه ×



قطرتاج \times ارتفاع کل" به دلیل درصد اشتباهات و درصد اریبی کمتر، به منظور تعیین عامل بسط زی توده در درختان تک پایه توصیه می شود. در پایه های شاخه زاد نیز متغیر ترکیبی "قطرتاج \times ارتفاع تاج \times تراکم تاج" از کمترین درصد اریبی و RMSE و بنابراین بیشترین دقت در برآورد زی توده برخوردارند.

در مجموع بکارگیری عامل بسط زی توده برای قسمت های غیرچوبی (برگ و سرشاخه) درختان بلوط ایرانی (به ویژه درختان تک پایه) به دلیل داشتن خطای بسیار زیاد امکان پذیر نمی باشد. حساسیت زیاد قسمت های غیرچوبی درخت و وابستگی آن به شرایط محیطی یکی از علت های این مسئله است (Socha and Wezky, ۲۰۰۷). علاوه بر این، دخالت های موجود در عرصه های رویشی بلوط در مناطق جنگلی زاگرس نیز می تواند باعث تشدید این موضوع شود. از طرفی براساس تئوری Functional balance، تعادل گیاه بین زی توده ریشه و زی توده بخش هوایی گیاه وجود دارد. این تئوری بر رابطه بین نیتروژن جذب شده توسط ریشه ها و کربن تجمع یافته در شاخ و برگ تاکید دارد (Lehtonen, ۲۰۰۵). با توجه به تخریب شدید در رویشگاه های بلوط غرب کشور و فرسایش خاک، جذب عناصر ماکرو مانند نیتروژن با مشکل مواجه شده و در نتیجه زی توده شاخ و برگ (Foliage) تحت تاثیر این کمبود قرار می گیرد. این موضوع نیز می تواند دلیلی بر کاهش دقت و صحت عامل بسط زی توده در برآورد قسمت های سرشاخه و برگ گونه بلوط ایرانی در جنگل های غرب باشد.

بررسی های اخیر نشان داده است که نسبت BEF یک مقدار ثابتی نیست بلکه BEF با توجه به سن توده، وضعیت رویشگاه و تراکم توده متفاوت است (Gue, ۲۰۰۵). در تحقیق حاضر نیز مقدار BEF در طبقه های قطری مختلف مقادیر متفاوتی را نشان داد.

منابع

- Brown, S., and Lugo, A.E. ۱۹۹۲. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of Brazilian Amazon. *Interciencia* ۱۷, ۸-۱۸.
- Cháidez, J.J.N. ۲۰۰۹. Allometric Equations and Expansion Factors for Tropical Dry Forest Trees of Eastearn Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, ۱۰ : ۴۵ - ۵۲
- Fang, J.Y., Wang, G.G., Liu, G.H. and Xu, S.L. ۱۹۹۸. Forest biomass of China: An estimate based on the biomass-volume relationship. *Ecological Applications* ۸: ۱۰۸۴-۱۰۹۱.
- Fang, J.-Y. and Wang, Z.M. ۲۰۰۱. Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China's forest biomass. *Ecol. Res.* ۱۶, ۵۸۷-۵۹۲
- Guo, Z., Fang, J., Pan, Y. and Birdsey, R. ۲۰۰۹. Inventory-based estimates of forest biomass carbon stocks in China: A comparison of three methods. *Forest Ecology and Management*, ۱-۷.
- Lehtonen, A. ۲۰۰۵. Carbon stocks and flows in forest ecosystems based on forest inventory data. PHD Thesis of Geography, University of Helsinki, Faculty of Science, ۵۱ p.
- Levy, P.E., Hale, S.E. and Nicoll, B.C. ۲۰۰۴. Biomass expansion factors and root : shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry*, Vol. ۷۷, No. ۵.
- Johnson, C.W. and Sharpe, D.M. ۱۹۸۳. The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. *Can. J. For. Res - Rev. Can. Rech. Forest.* ۱۳, ۳۷۲-۳۸۳.
- Pajtik, J., B. Konôpka and Lukac, M. ۲۰۰۸. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management* ۲۵۶:۱۰۹۶-۱۱۰۳.
- Soares, P and Tome, M. ۲۰۱۲. Biomass expansion factors for Eucalyptus globules stands in Portugal. *Forest Systems*. ۲۱(۱): ۱۴۱-۱۵۲.
- Socha, J., and Wezyk, P. ۲۰۰۷. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *Eur J Forest Res*, ۱۲۶: ۲۶۳-۲۷۰.
- Turner, D.P., Koepper, G.J., Harmon, M.E., and Lee, J.J. ۱۹۹۵. A carbon budget for forests of the conterminous United States. *Ecol. Appl.* ۵, ۴۲۱-۴۳۶.