

به کارگیری روش نمونه برداری شاخه تصادفی به منظور برآورد زی توده‌ی اندام‌های هوایی پایه‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl)

یعقوب ایران منش^۱، سید غلامعلی جلالی^{۲*}، خسرو ثاقب‌طالبی^۳، سید محسن حسینی^۴ و هرمز سهرابی^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

^۲ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

^۳ دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران

^۴ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۳)

چکیده

برآورد زی توده درختی از نظر ارزیابی ساختار و شرایط جنگل، تولید و بهره‌وری اکوسیستم و ذخیره کربن اهمیت زیادی دارد. از طرفی بررسی مقدار ذخیره کربن در اندام‌های مختلف درخت، شاخصی از تولید رویشگاه محسوب می‌شود. بیشتر روش‌های برآورد زی توده گیاهی مخرب، وقت‌گیر و هزینه‌برند. از این رو استفاده از روش‌هایی که حجم عملیات را در جنگل به حداقل برساند و کمترین آسیب را به اکوسیستم وارد آورد، مورد توجه است. در این تحقیق، استفاده از روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی برای برآورد زی توده گونه بلوط ایرانی در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد. به این منظور، ۳۰ پایه بلوط ایرانی شامل ۱۶ درخت دانه‌زاد و ۱۴ جست‌گروه در کلاسه‌های قطری و تاجی مختلف به صورت تصادفی انتخاب شدند. آماربرداری از صفات کمی و کیفی و شاخه‌های درختی انجام گرفت. سپس درختان انتخاب‌شده قطع شدند. مقدار زی توده واقعی پایه‌ها با توزین کامل آنها و مقدار زی توده برآوردی با استفاده از روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی برآورد شد. مقدار واقعی و برآوردی زی توده با آزمون t جفتی مقایسه شد. اریبی و اریبی نسبی و درصد RMSE برآورد نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که اختلاف زی توده واقعی و برآوردی برای قسمت‌های مختلف پایه‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد از نظر آماری معنادار نیست. همچنین این روش در برآورد زی توده درختی در پایه‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد روشی نارایب است. البته درصد RMSE در برگ، سرشاخه، شاخه‌فرعی و شاخه اصلی درختان شاخه‌زاد نسبت به کل درخت زیادتر است. نتایج این تحقیق صحت و دقت روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی را در برآورد زی توده گونه بلوط ایرانی تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، زی توده اندام‌های هوایی، نمونه‌برداری شاخه تصادفی.

مقدمه و هدف

بیش از یک قرن است که برآورد زی توده درختان جنگلی به عنوان یک موضوع تحقیقاتی مطرح شده و به تازگی به علت توجه به نقش و توانایی درختان در ذخیره کربن، انجام تحقیقات در این زمینه افزایش یافته است (Cienciala *et al.*, 2008). بوم‌سازگان‌های جنگلی حدود ۵۰ درصد تولید خالص اولیه^۱ کره خاکی را به خود اختصاص می‌دهند و علت افزایش چشمگیر گاز دی‌اکسید کربن در اثر تغییرات اقلیمی ایجاد شده، هستند (Bonan, 2008). علاوه بر این، زی توده درختی، شاخص بسیار مهمی برای ارزیابی ساختار جنگل و ارزش‌گذاری فرآیندهای اقتصادی و اکولوژیک مانند چرخه عناصر غذایی، تولید جنگل و ذخیره سوختی محسوب می‌شود (Chambers *et al.*, 2001). آگاهی از زی توده درختی به منظور ارزیابی مقدار کربن موجود در درخت نیز اهمیت دارد (Cienciala *et al.*, 2008). ارزیابی کمی ذخیره کربن کره زمین توسط کشورهای مختلف، از مهم‌ترین برنامه‌هایی است که در پروتکل کیوتو بر آن تأکید شده است (UNFCCC, 1997). زی توده درختی با توجه به عملکردهای اکولوژیک، به اجزای مختلفی شامل ساقه، شاخه‌های زنده، شاخ و برگ و ریشه تقسیم می‌شود. اندازه‌گیری زی توده واقعی درخت به طور مستقیم در عرصه، روش بسیار دقیقی است، اما بسیار وقت گیر و هزینه‌بر است و به نیروی کارگری زیادی نیاز دارد و عملیات اجرایی این روش در عرصه‌های محدود و درختان کوچک امکان‌پذیر است (Ketterings *et al.*, 2001). بنابراین استفاده از روش‌های غیرمخرب که حجم عملیات اجرایی را تا حد امکان کاهش دهد و نیز از دقت و صحت مناسبی در برآورد زی توده برخوردار باشد، بسیار ضروری به نظر می‌رسد (Wang *et al.*, 2011). دو روش اصلی برای برآورد زی توده اندام‌های هوایی درختان شامل قطع کامل و قطع جزئی وجود دارد.

یکی از روش‌هایی که در این طبقه‌بندی در گروه دوم قرار می‌گیرد، روش نمونه برداری شاخه تصادفی است. این روش را نخستین بار Jessen در سال ۱۹۵۵ معرفی کرد. وی از این شیوه در برآورد تعداد میوه درختان باغی استفاده کرد، اما این روش علاوه بر مورد بالا، شیوه‌ای کارآمد در برآورد بسیاری از ویژگی‌های تولیدی درختان است. از این روش تاکنون در برآورد تعداد برگ درختان (Valentine & Hilton, 1977)، وزن خشک مواد چوبی در اندام‌های هوایی (Valentine *et al.*, 1984) و مواردی دیگر همچون برآورد جمعیت تخم و یا لارو حشرات استفاده شده است (Gregoire *et al.*, 1995). روش نمونه برداری شاخه تصادفی یک طرح انتخاب با احتمال نابرابر است که به صورت کارآمد و نارایب طراحی شده است. براساس نوع طراحی و تئوری، این روش یک تخمین نارایب از عدم قطعیت‌ها، هم در مقیاس تک درخت و هم در مقیاس بوم‌سازگان فراهم می‌کند. این روش، نسبت به سایر روش‌های معمول، به زمان کمتری برای اجرا نیاز دارد، زیرا در آن با تعداد شاخه کمتر می‌توان به سطح دقت مورد نظر دست یافت (Bascietto *et al.*, 2012). همچنین، این روش هم به تنهایی و هم در تلفیق با روش Importance Sampling (IS) در برآورد زی توده بخش چوبی و زی توده سرشاخه (شامل برگ و شاخه‌های با قطر کمتر از یک سانتی‌متر) اجرا شده است (Good *et al.*, 2001). (Peper & Mcpherson, 1998). به منظور برآورد زی توده اندام‌های هوایی و سرشاخه‌ها در دو گونه توت و گیلاس از معادلات رگرسیونی و روش نمونه برداری شاخه تصادفی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که روش نمونه برداری شاخه تصادفی به دلیل نداشتن اختلاف معنادار بین مقادیر واقعی و مقادیر برآوردی در برآورد زی توده اندام‌های هوایی، کارایی زیادی دارد.

(Bascietto *et al.*, 2012) ارزیابی زیست‌سنجی از

جریان و ذخیره کربن روی زمینی در سه جنگل

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد بررسی

این تحقیق در استان چهارمحال و بختیاری که یکی از استان‌های بخش مرکزی فلات زاگرس است انجام گرفت. مساحت این استان دارای سطحی معادل ۱۶۳۶۴ کیلومتر مربع است، که حدود ۱٪ سطح کشور را در برمی‌گیرد. از مهم‌ترین رویشگاه‌های جنگلی در استان، می‌توان به منطقه لردگان اشاره کرد که تیپ غالب آن بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) است. البته گونه‌های همراه، مانند پسته وحشی، بادام کوهی، کیکم، داغداغان، ارس، محلب و... در بیشتر تیپ‌های مختلف حضور دارند. این تحقیق در جنگل‌های روستای آتشگاه در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان لردگان، واقع در حوضه آبرگیر سد خراسان ۳ انجام گرفت. وسعت منطقه بررسی شده حدود ۹۰ هکتار است.

- گونه مورد بررسی

این تحقیق در مورد گونه اصلی در جنگل‌های زاگرس جنوبی، یعنی گونه بلوط ایرانی انجام گرفت. پراکنش این گونه، بیشتر در ارتفاعات و دامنه‌های جنوب غربی رشته کوه زاگرس است. دخالت در جنگل‌های غرب کشور موجب تغییر فرم رویشی بلوط شده است، به طوری که این گونه در اکثر مناطق رویشی غرب به شکل‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد مشاهده می‌شود. به همین دلیل در این تحقیق، دو فرم رویشی دانه‌زاد و شاخه‌زاد به منظور ارزیابی روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی در برآورد زی‌توده بررسی شد.

- نمونه‌برداری شاخه تصادفی

نمونه‌برداری شاخه تصادفی (Randomized Branch Sampling) که به اختصار RBS نامیده می‌شود^۱، شکل ویژه‌ای از نمونه‌برداری احتمالی چندمرحله‌ای است. این روش، نوعی

اروپایی را با استفاده از روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی بررسی کردند. در این تحقیق، برآوردهای این روش نمونه‌برداری از ذخیره کربن با نتایج به‌دست‌آمده از معادلات آلومتریک نمایی، هماهنگی خوبی را داشت. همچنین تفاوت روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی با روش‌های آلومتریک در جنگل‌های دارای ساختار مسن‌تر مشاهده شد. (Peter et al. (2010) روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی برای برآورد شاخص سطح برگ گونه راش استفاده کرده و این روش را راهبردی مناسب برای درختانی که شاخه‌ها و تاج گسترده‌ای دارند، معرفی کردند. (Ducey et al. (2009) معادلات زی‌توده را در جنگل‌های شرق آمازون با استفاده از روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی بررسی کردند. در تحقیق آنان، برآورد زی‌توده روی‌زمینی با روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی با روش‌های معمول مقایسه شد. نتایج این بررسی ضمن تأیید سریع بودن این روش، نشان داد که ۱۴ درصد اشتباه در برآورد زی‌توده وجود دارد. بختیاروند (۱۳۹۰) از روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی برای برآورد زی‌توده دو گونه توت و افاقیا در جنگلکاری‌های فولاد مبارکه اصفهان استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف زی‌توده اندازه‌گیری‌شده و برآوردی در هر دو گونه از نظر آماری معنادار نیست.

روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی تاکنون در جنگل‌های طبیعی ایران به کار گرفته نشده است و اولین بار است که در جنگل‌های غرب کشور بررسی می‌شود. هدف این تحقیق، معرفی این روش نمونه‌برداری و بررسی صحت و دقت آن برای برآورد زی‌توده اندام‌های هوایی درخت است. این روش، ضمن کاهش چشمگیر حجم عملیات در عرصه‌های جنگلی، موجب می‌شود که با صرف هزینه کمتر، دقت و صحت قابل قبولی در برآوردهای مختلف از جمله زی‌توده و مقدار ذخیره کربن در اندام‌های هوایی درخت فراهم شود.

۱- شایان ذکر است که برخی منابع داخلی این روش را با نام "نمونه‌برداری شاخسار تصادفی" خوانده‌اند (بختیاروند و سهرابی، ۱۳۹۰).

روش برای برآورد زی توده کل درختان دانه زاد، ابتدا کل درخت به عنوان یک سیستم شاخه ای فرض شده و سپس گره ها مشخص می شوند.

اولین گره، بن درخت است، در درختان تک پایه بلوط (دانه زاد)، این گره، تنها دارای یک شاخه است، بنابراین احتمال انتخاب آن برابر یک است که این احتمال را با q نشان می دهند که از آن به عنوان احتمال شرطی یاد می شود.

این احتمال چنین محاسبه می شود که در هر گره، نخست، قطر بن تمام شاخه ها اندازه گیری (ابتدا قطورترین شاخه و سپس بقیه شاخه ها در جهت عقربه های ساعت اندازه گیری می شوند) و در ستونی یادداشت می شود. سپس عدد هر قطر به توان $2/5$ رسانده

و در (Good et al., 2001, Snowdon et al., 2002) و در ستونی دیگر مقابل ستون قبلی ثبت می شود. مقدار تجمعی اعداد این ستون در ستونی دیگر مقابل همین ستون یادداشت می شود (Snowdon et al., 2002).

"احتمال به نسبت اندازه" نیز است. این روش دارای واژگانی مخصوص به خود است که در زیر تعریف می شوند. شایان توجه است که واژه های این روش، با معادل همین واژه ها در تعاریف جنگل شناسی تفاوت دارد:

۱- شاخه (Branch): به کل سیستم ساقه گفته می شود که از یک جوانه منفرد (جانبی یا انتهایی) توسعه یافته باشد. این سیستم می تواند کل یک درخت یا شاخه ای از آن باشد.

۲- قطعه شاخه (Branch segment): به اختصار شاخه یا قطعه هم گفته می شود که بین دو گره متوالی قرار می گیرد.

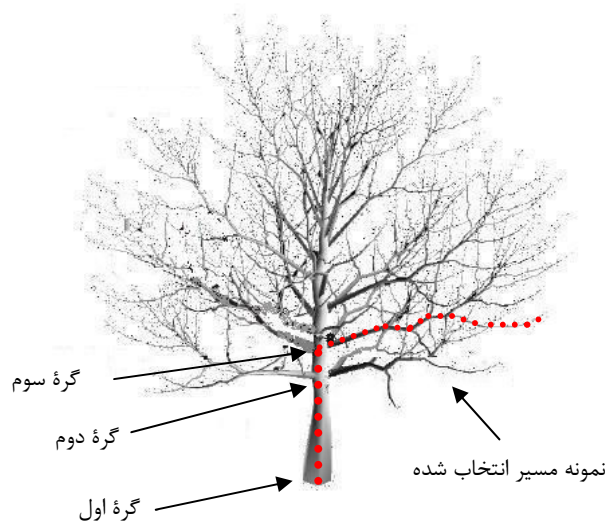
۳- گره (Node): قسمتی است که شاخه ها از آن منشعب می شوند.

۴- مسیر (Path): تعدادی از شاخه های متوالی متصل به هم به ترتیبی که در نمونه برداری شاخه تصادفی انتخاب می شوند (شکل ۱).

با توجه به اینکه هدف این تحقیق، برآورد زی توده کل و اندام های مختلف درخت است، در اجرای این



(ب)



(الف)

شکل ۱- نمایش وضعیت شاخه ها در پایه های دانه زاد (الف) و شاخه زاد (ب)

در مرحله بعد مقدار Q برای هر شاخه از فرمول ۱ محاسبه می‌شود:

$$Q_r = \prod_{k=1}^r q_k = q_1 \times q_2 \times \dots \times q_r \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن اندیس r نشان‌دهنده r امین مسیر و اندیس k نشان‌دهنده k امین قطعه شاخه است. محاسبه Q برای به‌دست آوردن عامل تورم^۲ است که آن را با Q^{-1} نشان می‌دهند که همان معکوس Q است. از این عدد برای جبران نقش احتمالات در انتخاب شاخه‌ها استفاده می‌شود. به‌بیان دیگر، هرچه شاخه قطر کمتری داشته باشد، مقدار q برای آن شاخه، عدد کوچک‌تری خواهد بود و در نتیجه مقدار Q آن هم کوچک‌تر خواهد شد، ولی به همان نسبت مقدار Q^{-1} آن بزرگ‌تر می‌شود و چون مقدار زی‌توده برآوردی (\hat{Y}) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{Y} = \sum_{r=1}^R B_r \times Q_r^{-1} \quad \text{رابطه ۲}$$

Q^{-1} نقش احتمالات را در برآورد دقیق زی‌توده کل درخت تعدیل می‌کند. به‌عبارت دیگر چون احتمال انتخاب به نسبت اندازه است، برای مثال اگر احتمال انتخاب شاخه‌ای در یک گره برابر با نیم باشد، به این معناست که ۵۰ درصد کل زی‌توده گره را شامل می‌شود. با ضرب این ضریب (Q^{-1}) که معکوس نیم یا همان ۲ است، در واقع کل زی‌توده در محاسبه وارد می‌شود.

در فرمول بالا \hat{Y} زی‌توده برآوردی، B_r زی‌توده اندازه‌گیری‌شده در شاخه r ام و Q_r^{-1} عامل تورم شاخه r ام است. اگر هر درخت را که به‌عنوان یک سیستم شاخه در نظر گرفته شده، جامعه‌ای از "مسیرها" فرض کنیم، زی‌توده برآوردی هر مسیر انتخابی از فرمول زیر به‌دست می‌آید و در صورتی که

دلیل انتخاب توان $۲/۵$ برای قطر در روش RBS این است که احتمال انتخاب تخصیص‌یافته به شاخه b -ام از تعداد B شاخه در یک گره، برابر با $X_b / (X_1 + \dots + X_B)$ است، که X_b معرف مقدار ویژگی مورد اندازه‌گیری روی سیستم شاخه‌ای است. مقدار این ویژگی به متغیرهایی مثل قطر شاخه (d)، طول شاخه (l)، توان n -ام این متغیرها (d^n یا l^n) یا ضرب آنها ($d^n \times l^n$) بستگی دارد. به‌طور خلاصه، باید دید ویژگی مورد نظر با کدام یک همبستگی بیشتری دارد. زی‌توده جزء متغیرهایی است که با $d^{2.5}$ (نسبت به d و سایر متغیرهای دیگر) همبستگی بیشتری دارد (Valentine, 2002).

برای هر شاخه، مقدار q ، از تقسیم قطر به توان $۲/۵$ بر عدد آخر ستون (که جمع تجمعی اعداد است) به‌دست می‌آید. به‌بیان دیگر، احتمال انتخاب هر شاخه، متناسب با قطر آن خواهد بود، مثلاً اگر سه شاخه در یک گره وجود داشته باشند و این شاخه‌ها را ۱، ۲ و ۳ بنامیم، احتمال انتخاب شاخه اول $q_1 = \frac{d_1^{2/5}}{d_1^{2/5} + d_2^{2/5} + d_3^{2/5}}$ ، شاخه دوم $q_2 = \frac{d_2^{2/5}}{d_1^{2/5} + d_2^{2/5} + d_3^{2/5}}$ و شاخه سوم $q_3 = \frac{d_3^{2/5}}{d_1^{2/5} + d_2^{2/5} + d_3^{2/5}}$ خواهد بود. مجموع q ها در هر گره باید برابر با یک باشد (Snowdon et al., 2002).

در مرحله بعد، یک عدد تصادفی بین صفر و یک به‌وسیله ماشین حساب تولید و آخرین عدد ستون تجمعی در آن ضرب می‌شود. عدد حاصل با اعداد ستون تجمعی مقایسه شده و از میان اعدادی که بزرگتر از این عدد هستند، نزدیک‌ترین عدد به آن انتخاب می‌شود. سپس هر شاخه‌ای که این عدد متعلق به آن باشد، قطع شده و وزن تر^۱ آن اندازه‌گیری می‌شود (Snowdon et al., 2002).

این مراحل برای تمامی گره‌ها و شاخه‌های انتخابی انجام می‌گیرد و عددی که به‌عنوان q برای هر شاخه به‌دست می‌آید در ستونی دیگر مقابل ستون‌های یاد-شده در سطرهای بالا، ثبت می‌شود.

1. Fresh mass

2. Inflation factor

که در آن B_r اریبی، $B_r(\%)$ اریبی نسبی، O_i مقدار واقعی، P_i مقدار برآوردی مشاهده i -ام، n تعداد مشاهدات و \bar{O} میانگین زی توده واقعی است. همچنین جذر میانگین مربعات خطا (RMSE %) از روابط ۶ و ۷ محاسبه شد.

$$RMSE(\%) = 100 \times \frac{RMSE}{\bar{O}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}}$$

روابط ۶ و ۷

نتایج

بررسی تبعیت مقادیر (اختلاف مقادیر برآوردی از مقادیر واقعی) از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف حاکی از نرمال بودن توزیع مقادیر در هر یک از متغیرهای مورد بررسی است (جدول ۱).

نتایج حاصل از مقایسه مقدار برآوردی در روش نمونه برداری شاخه تصادفی با مقدار واقعی زی توده در درختان دانه زاد

مقایسه مقدار برآوردی با مقدار واقعی زی توده به صورت جداگانه در قسمت های مختلف درخت شامل برگ، سرشاخه، شاخه فرعی و شاخه اصلی درختان دانه زاد انجام گرفت. شکل ۲ مقایسه میانگین ها بین این مقادیر را در قسمت های مختلف درخت نشان می دهد.

به منظور مقایسه مقدار برآوردی با مقدار واقعی زی توده در قسمت های مختلف درختان تک پایه از آزمون t جفتی استفاده شد. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، بین مقدار واقعی زی توده و مقدار برآوردی آن توسط روش نمونه برداری شاخه تصادفی تفاوت معناداری ملاحظه نشد. به عبارت دیگر نتایج این مقایسه حاکی از عدم اختلاف آماری معنادار بود.

تعداد مسیرها (m)، بیشتر از یک باشد، فرمول زیر برآورد کننده ناریب زی توده کل شاخه مورد بررسی (r) خواهد بود:

$$\hat{Y}_r = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{Y}_{ri}$$

رابطه ۳

روش قطع و نحوه تحلیل داده ها

به منظور بررسی صحت روش نمونه برداری شاخه تصادفی، تعداد ۳۰ پایه بلوط ایرانی در دو فرم تک پایه (دانه زاد) و شاخه زاد (۱۶ پایه دانه زاد و ۱۴ پایه شاخه زاد) به صورت تصادفی انتخاب شدند. آمار برداری از کلیه صفات کمی و کیفی درختان انتخاب شده انجام گرفت و سپس در هر پایه یک تا سه مسیر بر پایه روش بالا در نمونه برداری شاخه تصادفی انتخاب شد. درختان انتخاب شده قطع شده و به پنج قسمت جداگانه شامل برگ، سرشاخه، شاخه های فرعی، شاخه های اصلی و تنه تبدیل شدند. وزن قطعات سنگین تر مثل تنه با ترازوی عقربه ای با دقت ۰/۵ کیلوگرم و وزن قسمت های کوچک تر مثل سرشاخه و برگ با ترازوی رقومی با دقت ده گرم اندازه گیری شد. همچنین مسیرهای انتخاب شده به صورت جداگانه و قطعه به قطعه توزین شدند. برای بررسی اطلاعات برداشت شده، ابتدا تبعیت داده ها از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی شد. برای مقایسه زی توده اندازه گیری شده و برآوردی به تفکیک اندام های مختلف از آزمون t جفتی استفاده شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام شد. اریبی^۱ و اریبی نسبی برآورد با استفاده از فرمول های زیر به دست آمد.

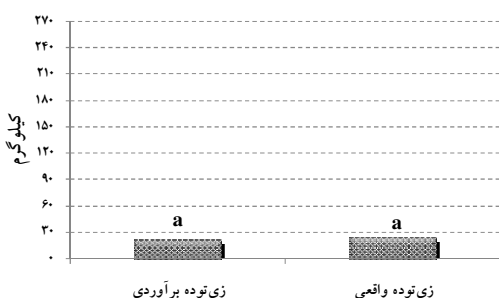
روابط ۴ و ۵

$$B_r = \sum \frac{O_i - P_i}{n}$$

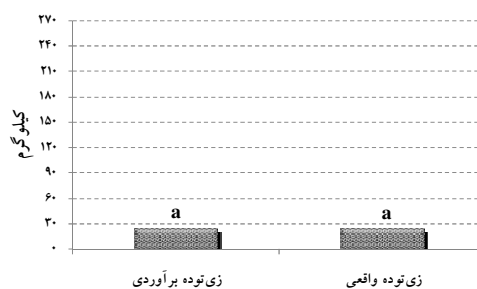
$$B_r(\%) = 100 \times \frac{B_r}{\bar{O}}$$

جدول ۱- مقدار P value حاصل از بررسی تبعیت مقادیر از توزیع نرمال در اندام‌های مختلف درختان مورد بررسی

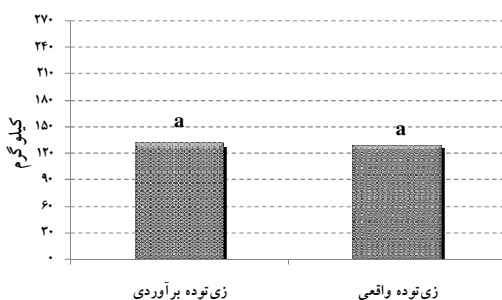
کل	تنه	شاخه اصلی	شاخه فرعی	سرشاخه	برگ	
-	-	P = ۰/۲۵	P = ۰/۱۸	P = ۰/۱۲	P = ۰/۷۵	دانه‌زاد
P = ۰/۴۹	P = ۰/۴۸	P = ۰/۳۹	P = ۰/۱۶	P = ۰/۹۵	P = ۰/۸۸	شاخه‌زاد



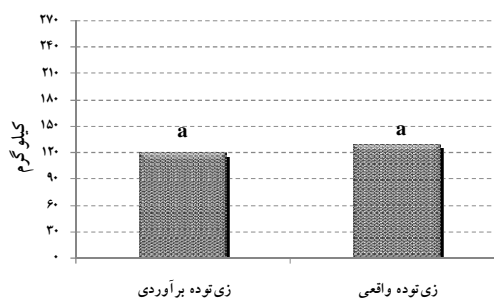
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲- مقایسه مقدار برآوردی با مقدار واقعی زی توده در برگ (الف)، سرشاخه (ب)، شاخه فرعی (ج) و شاخه اصلی (د) درختان دانه‌زاد

جدول ۲- مقایسه مقدار واقعی زی توده با مقدار برآوردی به روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی در قسمت‌های مختلف درختان دانه‌زاد با استفاده از آزمون t جفتی

sig.	زی توده برآوردی (کیلوگرم)	زی توده واقعی (کیلوگرم)	اجزاء (Components)
ns	۲۴/۰۸	۲۴/۶۵	برگ
ns	۲۰/۴۵	۲۳/۴۴	سرشاخه
ns	۱۲۰/۱۷	۱۲۹/۶۹	شاخه فرعی
ns	۱۳۲/۴۴	۱۳۰/۱۳۸	شاخه اصلی

حاکمی از آریبی جزئی در برآورد زی توده به این روش است. همچنین درصد RMSE در برگ و سرشاخه نسبت به شاخه فرعی و شاخه اصلی بیشتر است.

نتایج بررسی آریبی و آریبی نسبی و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE %) در برآورد زی توده به روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی برای قسمت‌های مختلف درختان دانه‌زاد در جدول ۳ آمده است. نتایج

شامل برگ، سرشاخه، شاخه فرعی، شاخه اصلی، تنه و کل جست گروه مقایسه شد. شکل ۳ نتیجه مقایسه میانگین‌ها بین این مقادیر را در قسمت‌های مختلف جست گروه نشان می‌دهد.

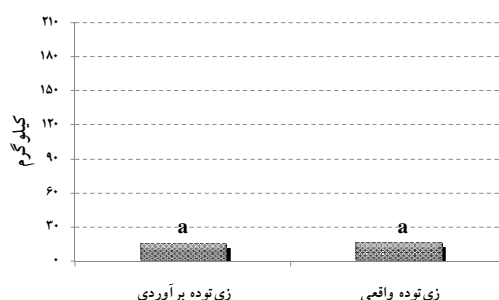
- نتایج حاصل از مقایسه مقدار برآوردی در روش نمونه برداری شاخه تصادفی با مقدار واقعی زی توده در درختان شاخه‌زاد در درختان شاخه‌زاد نیز مقدار برآوردی با مقدار واقعی زی توده، جداگانه در قسمت‌های مختلف درخت

جدول ۳- مقدار اریبی، اریبی نسبی و درصد RMSE در برآورد زی توده به روش نمونه برداری شاخه تصادفی در قسمت‌های مختلف درختان دانه‌زاد

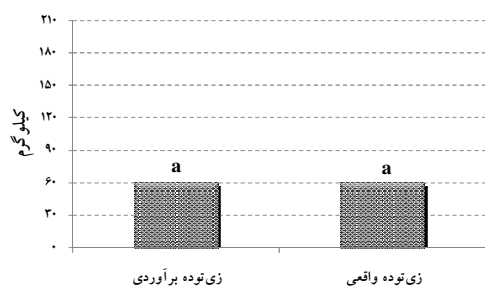
اجزاء (Components)	اریبی (کیلوگرم)	اریبی نسبی (%)	RMSE (%)
برگ	-۰/۵۳	-۲/۱۵	۳۵/۹۲
سرشاخه	-۲/۸۰	-۱۱/۹۳	۴۱/۲۲
شاخه فرعی	-۸/۹۳	-۶/۸۸	۲۹/۶۶
شاخه اصلی	۲/۱۶	۱/۶۶	۳۰/۳۶



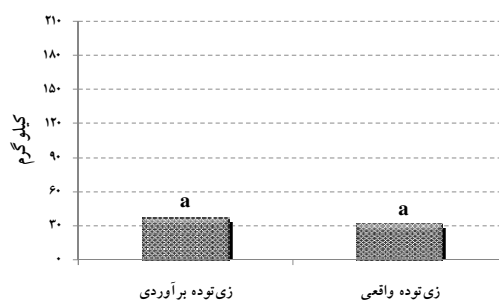
(ب)



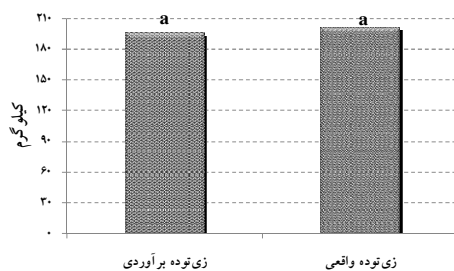
(الف)



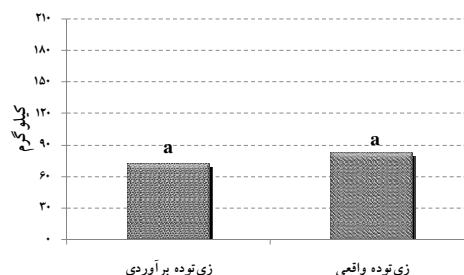
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۳- مقایسه مقدار برآوردی با مقدار واقعی زی توده در برگ (الف)، سرشاخه (ب)، شاخه فرعی (ج)، شاخه اصلی (د)، تنه (ه) و کل جست گروه (و)

زی‌توده به روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی برای قسمت‌های مختلف درختان شاخه‌زاد در جدول ۵ آمده است. نتایج حاکی از اریبی اندک در برآورد زی‌توده با این روش است. همچنین درصد RMSE در برگ، سرشاخه، شاخه فرعی، شاخه اصلی و تنه نسبت به کل جست‌گروه بیشتر است.

مقدار برآوردی با مقدار واقعی زی‌توده در قسمت‌های مختلف درختان شاخه‌زاد با استفاده از آزمون t جفتی مقایسه شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بین مقدار واقعی زی‌توده و مقدار برآوردی آن توسط روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی، تفاوت معنادار از نظر آماری دیده نشد. بررسی اریبی و اریبی نسبی و RMSE در برآورد

جدول ۴- مقایسه مقدار واقعی زی‌توده با مقدار برآوردی با روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی در قسمت‌های مختلف درختان شاخه‌زاد با استفاده از آزمون t جفتی

اجزاء (Components)	زی‌توده واقعی (کیلوگرم)	زی‌توده برآوردی (کیلوگرم)	sig.
برگ	۱۶/۳۶	۱۵/۴۳	ns
سرشاخه	۱۲/۲۲	۱۰/۸۸	ns
شاخه فرعی	۳۱/۴۱	۳۶/۷۷	ns
شاخه اصلی	۶۰/۲۲	۶۰/۷۹	ns
تنه	۸۲/۳۲	۷۲/۷۷	ns
کل جست‌گروه	۲۰۲/۵۴	۱۹۶/۶۶	ns

جدول ۵- مقدار اریبی، اریبی نسبی و درصد RMSE در برآورد زی‌توده به روش RBS در قسمت‌های مختلف درختان شاخه‌زاد

اجزاء (Components)	اریبی (کیلوگرم)	اریبی نسبی (%)	RMSE (%)
برگ	-۰/۹۱۸	-۵/۶۱	۳۵/۸۸
سرشاخه	-۱/۳۵	-۱۱/۰۲	۳۳/۰۸
شاخه فرعی	۵/۳۷	۱۷/۰۹	۳۵/۶۴
شاخه اصلی	۰/۶۷	۱/۱۱	۳۱/۷۲
تنه	-۱۴/۸۵	-۱۸/۰۵	۳۸/۱۳
کل جست‌گروه	-۵/۸۷	-۲/۹۰	۱۹/۳۷

مقایسه درصد اریبی در قسمت‌های مختلف درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد بلوط ایرانی نشان می‌دهد که نمونه‌برداری شاخه تصادفی برای برآورد زی‌توده پایه‌های دانه‌زاد (تک‌پایه) و شاخه‌زاد، روش نارایی

بحث

به‌منظور ارزیابی یک روش، باید صحت و دقت آن بررسی شود. برای بررسی صحت روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی از درصد اریبی استفاده شد. نتایج

پایه های دانه زاد و شاخه زاد محاسبه شد. همان طور که در نتایج مشاهده می شود، در هر دو گروه از درختان، مقدار RMSE زیاد و دقت کم است که دلیل آن را می توان وضعیت اقتصادی و اجتماعی حاکم بر جنگل های غرب، از جمله منطقه مورد بررسی دانست. زیرا به دلیل دخالت های فراوان و تخریب شدید این جنگل ها، بعضی از درختان دچار سرشاخه زنی و قطع شده اند. از دیگر سو، جنگل های غرب طی سالیان گذشته از حالت کلیماکس خود فاصله گرفته و روند قهقرایی را طی کرده اند. به بیان دیگر، کاهش تراکم درختان، تغییر ساختار جنگل و کاهش کیفیت توده، موجب شده که درختان موجود با آنچه از فرم اولیه یک درخت بلوط در گذشته وجود داشته، بسیار متفاوت باشند. همین مسئله واریانس زیاد بین مشاهدات را موجب شده است. افزایش تعداد نمونه ها و به ویژه افزایش تعداد شاخه های انتخابی در هر درخت می تواند دقت برآورد را افزایش دهد. Temesgen و همکاران در سال ۲۰۱۱ راهبردهای مختلف نمونه گیری را به منظور برآورد اصولی زی توده شاخ و برگ درختی بررسی کردند. در تحقیق آنان که ده راهبرد مختلف بررسی شد، افزایش تعداد نمونه های شاخه در هر درخت از ۱۲ به ۱۸ نمونه، برای گونه Douglas-fir، موجب شده مقدار RMSE به ۲۴/۳ درصد کاهش یابد. مسئله شایان توجه در نتایج به دست آمده، کمتر بودن RMSE در شاخه اصلی و فرعی درختان دانه زاد نسبت به سرشاخه و برگ و همچنین کاهش RMSE کل درخت نسبت به سایر قسمت های درخت در جست گروه ها است. این موضوع با تئوری پایداری درخت توجیه پذیر است. West (2009) در تفسیر تئوری پایداری بیان می دارد که نیازهای هندسی در یک درخت به شکلی است که تنه یک درخت باید به اندازه کافی بزرگ و محکم باشد تا بتواند ضمن نگهداشتن قسمت های مختلف درخت شرایط سخت ناشی از فشارهای محیطی را نیز تحمل کند. مقدار زی توده در یک درخت نیز از این

است. نتایج تحقیق حاضر، با نتایج حاصل از تحقیق Mcpherson and Peper (1998) مطابقت دارد. اگرچه Good (2001) وجود اریبی مثبت در برآورد زی توده برگ و سرشاخه ها و اریبی منفی در زی توده بخش چوبی را در تحقیق خود گزارش کرد. همچنین بختیاروند و سهرابی (۱۳۹۰) در بررسی مقدماتی روش نمونه برداری شاخه تصادفی در برآورد زی توده روی زمینی درختان دست کاشت منطقه فولاد مبارکه به این نتیجه رسیدند که اریبی نسبی برآورد زی توده بین ۳/۳ تا ۷/۶ درصد است و از این رو، این روش برای برآورد زی توده درخت، روش ناریبی است. تحقیق حاضر نیز صحت برآورد زی توده، با استفاده از روش نمونه برداری شاخه تصادفی را نشان می دهد. در درختان دانه زاد برآورد زی توده تنه و کل درخت و مقایسه آن با مقدار واقعی انجام نگرفت، زیرا درختان تک پایه دانه زاد که از نامشان پیداست تنه واحد دارند که مقدار زی توده آن در روش برآورد شاخه تصادفی و روش اندازه گیری دقیق، یکسان خواهد بود. بنابراین وارد کردن آمار تنه موجب می شود که مقدار برآوردی برای کل درخت با واقعیت همخوانی کمتری داشته باشد و به بیان دیگر، درصد اریبی کل درخت کمتر نشان داده شود. (Jorge & Saborowski 2005) در تحقیقی، دو روش اجرای RBS یعنی با و بدون جایگذاری در مرحله اول را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که اریبی در روش دوم کمتر از روش اول است. بنابراین در پایه های دانه زاد، برآورد زی توده قسمت های برگ، سرشاخه، شاخه فرعی و شاخه اصلی توسط این روش به خوبی کاربرد دارد. اما در درختان شاخه زاد به دلیل اینکه جست گروه ها از پایین منشعب می شوند، امکان برآورد تنه و کل جست گروه توسط روش شاخه تصادفی وجود دارد. بنابراین حد کارایی این روش در جست گروه ها بیشتر است. به منظور بررسی دقت این روش نمونه برداری، لازم بود واریانس مقادیر بررسی شود، از این رو جذر میانگین مربعات خطا (RMSE %) برای قسمت های مختلف

دارد، به‌عنوان یک روش کاربردی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این روش برای درختان تک‌پایه بلوط فقط به‌منظور کاهش حجم عملیات در برآوردهای مختلف قابل استفاده است، اما در شرایطی که درخت از قسمت بن منشعب می‌شود، مانند جست‌گروه‌های بلوط، استفاده از این روش بدون نیاز به قطع کل درخت و آسیب دیدگی جدی آن، می‌تواند با قطع چند جست محدود، برآورد قابل قبولی از زی‌توده یا سایر موارد ارائه دهد. با توجه به اینکه بیشتر جنگل‌های بلوط غرب کشور، ساختار شاخه‌زاد دارند، استفاده از روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی، با کاهش حجم عملیات صحرایی و به حداقل رساندن دخالت در عرصه، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در برآورد زی‌توده یا سایر مشخصه‌های مورد بررسی، مد نظر قرار گیرد.

اصل پیروی می‌کند. به همین دلیل است که گرچه مقدار واریانس در قسمت‌های مختلف درخت زیاد است، برای کل درخت این واریانس تا حد زیادی کاهش یافته است. به‌عبارت دیگر، مجموعه درخت، خود را تنها با مقدار برگ‌ها تنظیم نمی‌کند، بلکه همه بخش‌های درخت در این تنظیم هندسی سهیمند. همچنین (Aguilar et al. (2012 در تحقیقات خود در مورد دو گونه بلوط (*Quercus castanea & Quercus laeta*) به این نتیجه رسیدند که معادلات برآورد زی‌توده در قسمت‌های غیرچوبی مثل سرشاخه و برگ، دچار خطای بیشتری است. در مجموع با توجه به نتایج می‌توان گفت روش نمونه‌برداری شاخه تصادفی در برآورد زی‌توده، به دلیل اینکه حجم عملیات در جنگل را بسیار کاهش می‌دهد و صحت و دقت خوبی

منابع

- Good, N., M. Paterson, C. Brack & K. Mengersen, 2001. Estimating tree component biomass using variable probability sampling methods, *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 6: 258–267.
- Gregoire, T., H. Valentine & G. Furnival, 1995. Sampling methods to estimate foliage and other characteristics of individual trees, *Ecology*, 76: 1181–1194.
- Jessen, R.j, 1955. Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling, *Biometrics*, 11: 99–109.
- Jorge, C. & J. Saborowski, 2005. Comparison of randomized branch sampling with and without replacement at the first stage, *Silva Fennica*, 39(2): 201–216.
- Ketterings, Q.M., R. Coe, M. Noordwijk, Y. Ambagau & C. A. Palm, 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests, *Forest Ecology and Management*, 146(1–3): 199–209.
- Peper, P. & G. Mcpherson, 1998. Comparison of four foliar and woody biomass estimation methods applied to open-grown deciduous trees, *Journal of Arboriculture*, 24: 191–200.
- Peter, H., E. Otto & S. Hubert, 2010. Leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.) from different stands in eastern Austria studied by randomized branch sampling, *European Journal of Forest Research*, 129: 401–408.
- Snowdon, P., J. Raison & D. Eamus, 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass, Australian Greenhouse Office Publication, 67 pp.
- Temesgen, H., V.J. Monleon, A. R. Weiskittel, and D.S. Wilson, 2011. Sampling strategies for efficient estimation of tree foliage biomass, *Forest Science*, 57(2): 153–163.
- Valentine, H., 2002. Randomized branch sampling, In encyclopedia of environmetrics Vol3, John Wiley & Sons Publication, 1896 pp.
- بختیاروند بختیاری، سیاوش، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های برآورد زی‌توده درختان سوزنی برگ و پهن برگ در جنگل کاری فولاد مبارکه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ۱۱۱ ص.
- بختیاروند بختیاری، سیاوش و هرمز سهرابی، ۱۳۹۰. نتایج مقدماتی استفاده از روش نمونه برداری شاخسار تصادفی به منظور برآورد زی‌توده اندام‌های هوایی درختان دست کاشت توت و اقاچیا در منطقه فولاد مبارکه، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۴): ۵۶۲–۵۷۱.
- Aguilar, R., Ghilardi, A., Vega, E., Skutsch, M. & Oyama, K., 2012. Sprouting productivity and allometric relationships of two oak species managed for traditional charcoal making in central Mexico, *Biomass and Bioenergy*, 36: 192–207.
- Bascietto, M., B.D. Cinti, G. Matteucci & A. Cescatti, 2012. Biometric assessment of aboveground carbon pools and fluxes in three European forests by randomized branch sampling, *Forest Ecology and Management*, 267: 172–181.
- Bonan, G.B., 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests, *Science*, 320: 1444–1449.
- Chambers, J.Q., J.S. Santos, R.J. Ribeiro & N. Higuchi, 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest, *Forest Ecology and Management*, 152(1–3): 73–84.
- Cienciala, E., J. Apltauer, Z. Exnerová & F. Tatarinov, 2008. Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry, *Journal of Forest Science*, 54(3): 109–120.
- Ducey, M. J., D. J. Zarin, S. S. Vasconcelos, & M. M. Araújo, 2009. Biomass equations for forest regrowth in the eastern Amazon using randomized branch sampling, *Acta Amazonica*, 39(2): 349–360.

Valentine, H. & S. Hilton, 1977. Sampling oak foliage by the randomized-branch method, *Canadian Journal of Forest Research*, 7: 295–298.

Valentine, H., M. Tritton & G. Furnival, 1984. Subsampling trees for biomass, volume, or mineral content, *Forest Science*, 30: 673–681.

UNFCCC, 1997. The Kyoto Protocol.

Wang, J., C. Zhang, F. Xia, X. Zhao, L. Wu & K.V. Gadow, 2011. Biomass structure and allometry of *Abies nephrolepis* (Maxim) in northeast China, *Silva Fennica*, 45(2): 211-226.

West, P.W., 2009. Tree and Forest Measurement, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 190 pp.

Employing of randomized branch sampling method for estimation of above-ground biomass of oak (*Quercus brantii* Lindl.)

Y. Iranmanesh¹, S.G.A. Jalali^{2*}, Kh. Sagheb-Talebi³, S.M. Hosseini², and H. Sohrabi⁴

¹Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

²Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

³Associate Prof., Research Institute of Forest and Rangeland, Tehran, I.R. Iran

⁴Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

(Received: 3 March 2012; Accepted: 24 October 2012)

Abstract

Estimates of tree biomass are useful in assessing forest structure and condition, forest productivity, and carbon stocks. On the other hand, investigating the sequestration of carbon in biomass components including wood, leaves, and branches is considered as a useful indicator of site productivity. Although measuring actual tree biomass directly in the field is undoubtedly the most accurate method, it is labor-intensive, time-consuming, and destructive. Therefore application of non-destructive and indirect procedure is important. In this research, randomized branch sampling method was used for estimating above-ground biomass of *Quercus brantii* Lindl in Chaharmahal and Bakhtiari Province. For this purpose, 30 trees including 16 individuals with single stem and 14 coppice shoots were randomly selected. Quantitative and qualitative traits and tree branches were measured. Then, actual biomass was measured by weighting all tree components and biomass was estimated by randomized branch sampling method. Actual and estimated biomass was compared by paired t-test. The results showed that there is no significant difference between the amount of actual and estimated biomass in different parts of individuals with single stem and coppice shoots. Also, randomized branch sampling method is unbiased procedure in biomass estimation. Although RMSE (%) was high especially in leaf, branch, secondary branch and main branch versus canopy and total. The results showed that randomized branch sampling can be considered as an accurate method for estimating tree biomass.

Keywords: Above-ground biomass, *Quercus brantii* Lindl, Randomized branch sampling.