فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۲، صفحه ۲۳۳-۲۲۲، (۱۳۹۴)

برآورد حجم پسماند چوبی درشت کف جنگل با استفاده از نمونه‌برداری با احتمال به نسبت اندازه

سمیه ایزدی[۱] و هرمز سهرابی[۲*]

۱- کارشناس‌ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. پست الکترونیک: hsohrabi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۱۹

چکیده

روش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری با احتمال به نسبت اندازه جدیدترین و بهترین روش‌های معرفی‌شده برای برآورد کمیت‌های مختلف پسماند چوبی درشت در سال‌های اخیر هستند. این روش‌ها هر قطعه پسماند چوبی درشت را با احتمال متناسب با پارامترهای مختلف (طول، مربع طول، حجم و غیره) انتخاب می‌کنند. در پژوهش پیش‌رو ضمن معرفی نمونه‌برداری با فاصله محدود و پروتوکلی از نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) که قطعات پسماند چوبی درشت را با احتمال متناسب با طول آنها انتخاب می‌کنند، دقت و صحت هر دو روش برای برآورد حجم پسماند چوبی درشت بررسی و مقایسه شد. برای این منظور در یک توده بهره‌برداری‌نشده، یک قطعه ۲۵۰×۲۵۰ متر به‌صورت صددرصد آماربرداری شد و نقشه قطعات به‌دست آمد، سپس با استفاده از بسته SampSurf در محیط نرم‌افزار R روش‌های مورد بررسی شبیه‌سازی شد و دقت و صحت روش‌ها بررسی شد. برای بررسی دقت از شاخص درصد ضریب تغییرات و برای صحت از شاخص اریبی نسبی استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو روش مورد بررسی برای برآورد حجم پسماند چوبی درشت ناریب هستند (مقادیر اریبی برای شعاع و فاصله‌های مختلف کمتر از یک بود). ازنظر دقت، دقت نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) نسبت به نمونه‌برداری با فاصله محدود برای برآورد حجم پسماند چوبی درشت بیشتر بود. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) را روشی مناسب ازنظر دقت و صحت برای برآورد حجم پسماند چوبی درشت در یک جنگل هیرکانی معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: اریبی، پروتوکل Sausage، نمونه‌برداری با سطح ثابت، نمونه‌برداری با فاصله محدود.

مقدمه

پسماند چوبی درشت (Coarse woody debris) نقش‌های مهمی در بوم‌سازگان‌های جنگلی ایفا می‌کند. برای مثال، فراوانی و تنوع قارچ‌ها (Pouska *et al*., 2010)، مهره‌داران و بی‌مهرگان (Bowman *et al*., 2000; Bunnell & Houde, 2010) همچنین نسبت زنده‌مانی نهال‌های گونه‌های مختلف (Harmon & Franklin, 1989)، ذخیره کربن در بوم‌سازگان، حفظ و افزایش رطوبت و مواد غذایی در ارتباط با فراوانی پسماند چوبی درشت است. این جزء مهم از بوم‌سازگان در دهه اخیر به‌طور ویژه‌ای مورد توجه بوم‌شناسان و جنگل‌شناسان قرار گرفته است.

به‌دنبال توجه روزافزون به پسماند چوبی، روش‌های

Archive of SID

www.SID.ir

مختلفی برای نمونه‌برداری از آنها معرفی شد. از ابتدایی‌ترین روش‌های معرفی‌شده برای نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت که از نخست بسیار مورد توجه قرار گرفته بود و به‌طور وسیع در پژوهش‌های مختلف به‌ویژه مطالعات اکولوژیکی پسماند چوبی درشت مورد استفاده قرار گرفت، قطعه‌نمونه با سطح ثابت (Harmon & Sexton, 1996) بود. با گذشت زمان، پسماند چوبی درشت توجه بیشتر جنگل‌شناسان و بوم‌شناسان را به‌خود جلب کرد و آنها روش‌های جدیدی برای نمونه‌برداری این جزء مهم بوم‌سازگان معرفی کردند. بیشتر روش‌های جدید معرفی‌شده برای نمونه‌برداری، قطعات پسماند چوبی درشت را براساس کمیت‌های مختلف مثل طول، حجم و مربع طول انتخاب می‌کنند. روش نمونه‌برداری با فاصله محدود (Distance limited sampling) توسط Gove و همکاران (۲۰۱۲) برای نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت معرفی شد. این روش هر قطعه پسماند چوبی درشت را متناسب با طول آن انتخاب می‌کند.

به‌رغم انجام پژوهش‌های مختلف در زمینه بوم‌شناسی و جنگل‌شناسی پسماند چوبی درشت در داخل کشور (Sefidi *et al.*, 2007; Kooch *et al.*, 2009; Sefidi & Marvie Mohajer, 2010; Hahji Mirza Aghayee *et al.*, 2011) تاکنون پژوهشی که به‌مستقیم به بحث نمونه‌برداری و مقایسه روش‌های نمونه‌برداری مختص این قطعات پرداخته باشد، انجام نشده است. فقط در پژوهشی از نمونه‌برداری خطی متقاطع (Line intersect sampling) برای برآورد مازاد مقطوعات به‌دست‌آمده از بهره‌برداری استفاده شد (Keivan Behjo *et al.*, 2007) و نتایج به‌دست‌آمده براساس تئوری احتمالات، فرمول هوبر و فرمول اسمالیان با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بین میانگین جمعیت و میانگین به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری خطی براساس فرمول هوبر، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و نمونه‌برداری خطی براساس فرمول هوبر بهترین روش برای برآورد مازاد مقطوعات در جنگل معرفی شد.

در نقطه مقابل، پژوهش‌های بسیاری درمورد نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت در خارج انجام شده است (Warren & Olsen, 1964; Stahl, 1998; Gove *et al.*, 2001; Williams & Gove, 2003; Gove *et al.*, 2012; Ducey *et al.* 2012). نمونه‌برداری با سطح ثابت در پژوهش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش دارای چندین پروتوکل است. پروتوکل عمومی این روش Stand-up نامیده می‌شود و احتمال انتخاب قطعه پسماند متناسب با فراوانی آن است. این پروتوکل اولین پروتوکل معرفی‌شده نمونه‌برداری با سطح ثابت است که در پژوهش‌های داخلی و خارجی بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. در داخل کشور پروتوکل عمومی این روش بیشتر مورد استفاده بوده است (Heidari *et al.*, 2009; Sefidi & Marvie Mohajer; 2010, Sohrabi *et al.*, 2011) و در خارج علاوه‌بر این پروتوکل، دو پروتوکل دیگر که احتمال انتخاب متناسب با اندازه است نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Pedlar *et al.*, 2002, Jordan *et al.*, 2004; Woldendorp *et al.*, 2004; Gove & Van Deusen, 2011). در پژوهشی که در سه مرحله توالی (اولیه، ثانویه و نهایی) جنگل‌های راش طبیعی در خیرود نوشهر انجام شد مشخص شد که روند حجم پسماند چوبی درشت در مراحل توالی به‌صورت U شکل است و بیشترین و کمترین مقدار حجم به‌ترتیب در مرحله نهایی توالی و مرحله ثانویه است. در این پژوهش از نمونه‌برداری با سطح ثابت و پروتوکل عمومی آن استفاده شد (Sefidi & Marvie Mohajer; 2010). در پژوهشی، سه روش نمونه‌برداری نقطه‌ای رلاسکوپ (Point Relascope sampling)، نمونه‌برداری با سطح ثابت (Fixed area sampling) و نمونه‌برداری خطی متقاطع با یکدیگر مقایسه شد و مشخص شد که نمونه‌برداری نقطه‌ای رلاسکوپ زمان کمتری را صرف می‌کند. در این پژوهش از پروتوکل عمومی نمونه‌برداری با سطح ثابت استفاده شد (Jordan *et al.*, 2004). در پژوهشی دیگر از نمونه‌برداری با سطح ثابت برای نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت به‌صورت شبیه‌سازی استفاده شد که در آن دو پروتوکل موجود برای

Archive of SID

www.SID.ir

این روش (Stand-up و Chainsaw) با یک پروتوکل جدید (Sausage) مقایسه شدند. این پژوهش نشان داد که هر سه پروتوکل برای برآورد خصوصیات پسماند چوبی درشت نااریب هستند. همچنین مشخص شد که پروتوکل Sausage دارای کمترین واریانس است (Gove & Van Deusen, 2011). نمونه‌برداری با فاصله محدود (Distance limited sampling) نیز برای برآورد کمیت‌های مختلف ازجمله حجم پسماند چوبی درشت مورد استفاده قرار گرفت (Gove *et al.*, 2012).

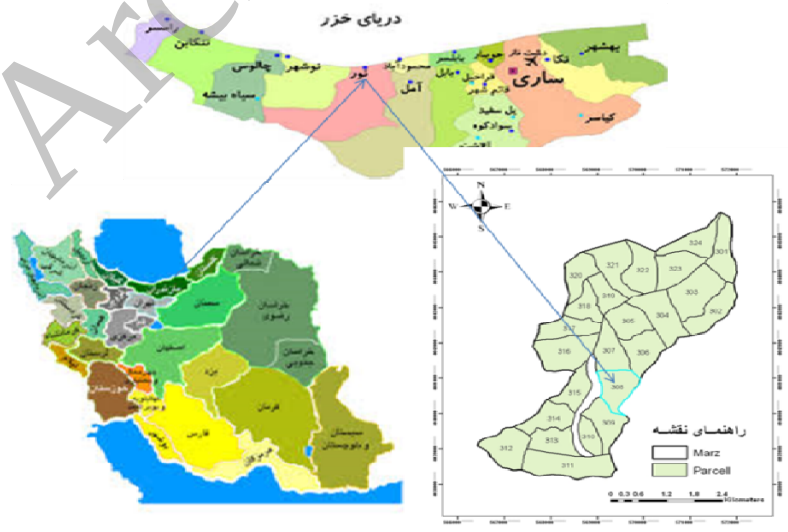
باتوجه به وجود جنگل‌های غنی و کم‌نظیر با تنوع زیاد در ایران و لزوم حفظ و افزایش تنوع این جنگل‌ها، همچنین نقش مهمی که پسماند چوبی درشت در حفظ این تنوع دارد، نمونه‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات از آنها امری ضروری است و این خود مستلزم داشتن روشی مناسب برای نمونه‌برداری از آنها برای برآورد کمیت‌های مختلف است. از آنجایی‌که کمیت حجم یکی از اصلی‌ترین کمیت‌ها و شاید مهمترین کمیتی است که از پسماند چوبی درشت باید دانست و همچنین با توجه به جدیدترین مطالعات انجام‌شده در زمینه نمونه‌برداری از این جزء مهم بوم‌سازگان، جدیدترین روش‌ها بر روی روش‌های نمونه‌برداری با احتمال متناسب با اندازه قطعات پسماند چوبی درشت تمرکز یافته‌اند.

بنابراین در پژوهش پیش‌رو سعی شد ضمن معرفی پروتوکلی از نمونه‌برداری با سطح ثابت و نمونه‌برداری با فاصله محدود که هر دو روش قطعه پسماند چوبی درشت را با احتمال متناسب با طول آن انتخاب خواهند کرد، دقت و صحت آنها برای برآورد حجم پسماند چوبی درشت بررسی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در پارسل هشت سری سه جنگل حوضه آبخیز ۴۶ جنگل آموزشی– پژوهشی دانشگاه تربیت‌مدرس (سومین سری) از حوضه ۴۶ کجور انجام شد که در عرض جغرافیایی "۲۳ '۲۹ °۳۶ تا "۵۶ '۳۲ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی "۲۰ '۴۳ °۵۱ تا "۳۹ '۴۷ °۵۱ شرقی واقع شده است (شکل ۱). تیپ جنگلی پارسل موردنظر راش– ممرز، سیمای عمومی دانه‌زاد ناهمسال با مساحت ۸۱ هکتار، حجم در هکتار ۶۰۴/۵۹ مترمکعب، تاج‌پوشش ۸۲/۲۰ درصد و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰۰ متر است. میزان بارندگی در این ناحیه براساس آمار ایستگاه هواشناسی نوشهر ۱۳۰۸ میلی‌متر در سال است (Anonymus, 1992).



شکل ۱– موقعیت منطقه مورد مطالعه

Archive of SID
www.SID.ir

روش برداشت داده‌ها

پس از جنگل‌گردشی، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (Global positioning system) قطعه‌ای به مساحت ۶/۲۵ هکتار (با ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ متر) پیاده شد و صددرصد آماربرداری شد. انتخاب ابعاد قطعه براساس پژوهش‌های مختلف انجام‌شده درمورد نمونه‌برداری پسماند چوبی (Affleck, 2008; Gove & Van Dusen, 2011; Gove *et al.*, 2012) بود. در پژوهش پیش‌رو کمترین قطر ۷/۵ سانتی‌متر برای سر ضخیم و حداقل طول یک متر ملاک انتخاب قطعات پسماند چوبی درشت قرار گرفت، بنابراین بعد از پیاده کردن قطعه موردنظر، تمام قطعات پسماند چوبی درشت با قطر سر ضخیم بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر و حداقل طول یک متر به‌طور صددرصد آماربرداری شد. ابتدا یک نقطه داخل شبکه به‌عنوان ایستگاه انتخاب و موقعیت (x و y) آن با استفاده از GPS ثبت شد، سپس از ایستگاه تعیین‌شده به سر ضخیم تمام قطعاتی که قابل دید از ایستگاه موردنظر بودند، نگاه کرده و فاصله (متر) و آزیموت قرائت و برای هر قطعه پسماند چوبی درشت قطر (سر ضخیم، وسط، سر نازک)، طول و امتداد (آزیموت از سر ضخیم به سر نازک) اندازه‌گیری و ثبت شد. موقعیت مرکز تمام قطعات پسماند چوبی با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$X_c = X_s + d\cos\theta \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$Y_c = Y_s + d\sin\theta \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در رابطه‌های فوق: X_s و Y_s موقعیت مکانی ایستگاه، d فاصله از ایستگاه تا سر ضخیم پسماند چوبی درشت و θ آزیموت از ایستگاه به سر ضخیم پسماند چوبی درشت است.

برای محاسبه حجم هر یک از قطعات پسماند چوبی درشت از فرمول اسمالیان (رابطه ۳) استفاده شد.

$$V_s = \left(\frac{g_1+g_2}{2}\right)L \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه: Vs حجم هر قطعه پسماند چوبی درشت (مترمکعب) براساس فرمول اسمالیان، g_1 سطح مقطع سرضخیم، g_2 سطح مقطع سر نازک و L طول قطعه پسماند چوبی درشت (متر) است.

هر دو روش در محیط نرم‌افزار R نسخه (3.0.1) (Anonymus, 2011) با استفاده از بسته SampSurf نسخه (0.64) اجرا شد (Gove, 2012). R از جدیدترین و دقیق‌ترین نرم‌افزارهای تجزیه‌وتحلیل آماری است که در این پژوهش ضمن برنامه‌نویسی براساس بسته SampSurf، تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در محیط R انجام شد.

نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage)

این روش یکی از اولین و متداول‌ترین روش‌ها برای نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت است و به‌طور گسترده در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. پروتوکل عمومی این روش، نمونه‌برداری با احتمال متناسب با فراوانی (Probability proportional to frequency) است، اما Gove و Van Dusen (۲۰۱۱) در پژوهش خود پروتوکلی برای این روش معرفی کردند که جزء روش‌های احتمال به نسبت اندازه است و هر قطعه پسماند چوبی درشت را با احتمال متناسب با طول آن انتخاب خواهد کرد. آنها پروتوکل جدید را Sausage نامیدند. علت این نامگذاری شکل سطحی فرضی (مترمربع) با عنوان محدوده دربرگیری (Inclusion zone) هر قطعه پسماند چوبی است که شبیه به شکل سوسیس است (شکل ۲). این سطح از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

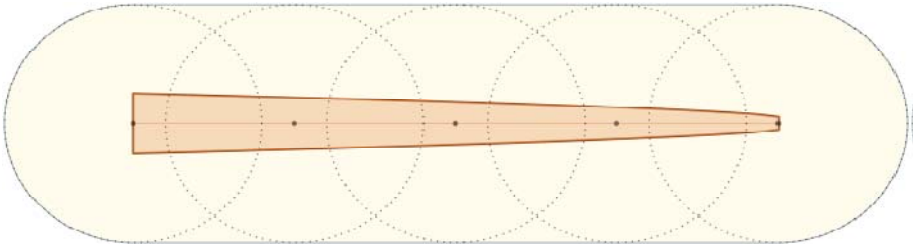
$$a_s = \pi R^2 + 2RL \qquad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه فوق: R شعاع قطعه‌نمونه بر حسب متر و π مقدار ثابت ۳/۱۴ است.

تئوری این پروتوکل به این صورت است که قطعات پسماند چوبی درشت در صورتی به‌عنوان نمونه انتخاب خواهند شد که کل یا حتی قسمت کوچکی از محور طولی (خطی افقی که بن هر قطعه پسماند را به نوک آن وصل می‌کند) آنها داخل قطعه‌نمونه با سطح ثابت قرار گرفته باشد. احتمال انتخاب هر قطعه پسماند چوبی درشت به‌عنوان نمونه با استفاده از رابطه ۵ محاسبه خواهد شد. برای برآورد کمیت موردنظر (حجم، طول، تراکم و غیره در هکتار) برآوردکننده Horvitz-Thompson برآوردکننده اصلی برای این روش است (رابطه ۶).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- محدوده دربرگیری (**Inclusion zone**) برای هر قطعه پسماند چوبی درشت با استفاده از پروتوکل **Sausage**

$$\pi_i = \frac{a_i}{A} \qquad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن: a_i محدوده دربرگیری هر قطعه پسماند چوبی درشت بر حسب مترمربع، A مساحت نمونه‌برداری‌شده بر حسب مترمربع و π_i احتمال انتخاب هر قطعه پسماند چوبی درشت است.

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{y_i}{\pi_i} \qquad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن: y_i مقدار کمیت مورد نظر (حجم و غیره) برای قطعه پسماند چوبی درشت i ام و n تعداد قطعات پسماند چوبی درشت شمارش‌شده و π_i احتمال انتخاب هر قطعه پسماند چوبی درشت است. حجم هر قطعه پسماند چوبی درشت با استفاده از فرمول اسمالیان محاسبه خواهد شد (Gove & Van Dusen, 2011). در پژوهش پیش‌رو قطعات نمونه با شعاع سه، شش، نه و ۱۲ متر درنظر گرفته شد و در محیط R اجرا شد.

نمونه‌برداری با فاصله محدود (پروتوکل ساده Distance (limited sampling

نمونه‌برداری با فاصله محدود جزو روش‌های احتمال به نسبت اندازه (Probability proportional to size) است که احتمال انتخاب قطعه پسماند چوبی درشت با استفاده از این روش متناسب با طول قطعه پسماند چوبی درشت است. این روش دارای دو پروتوکل است که تنها فرق دو پروتوکل در برآوردکننده آنهاست. پروتوکل ساده این روش همانند پروتوکل Sausage از نمونه‌برداری با سطح ثابت است و برآوردکننده آن Horvitz-Thompson است، اما پروتوکل دوم این روش براساس Monte Carlo است. در پژوهش پیش‌رو برای مقایسه دقیق‌تر پروتوکل ساده این روش با برآوردکننده Horvitz-Thompson با پروتوکل Sausage مقایسه شد. برای اجرای این روش، ابتدا با توجه به میانگین طول قطعات پسماند چوبی درشت موجود در منطقه مورد مطالعه، فاصله‌ای به‌عنوان فاصله محدود (D_l) که در واقع نقش همان شعاع در قطعه‌نمونه با سطح ثابت را دارد، انتخاب می‌شود، سپس از یک نقطه نمونه به‌طور تصادفی، فاصله عمود تا محور طولی قطعه پسماند چوبی اندازه‌گیری خواهد شد. اگر این فاصله کمتر از فاصله محدود (D_l) باشد، آن قطعه پسماند چوبی به‌عنوان نمونه انتخاب خواهد شد (شکل ۳). محدوده دربرگیری که این روش برای هر قطعه پسماند چوبی درشت تعریف می‌کند از رابطه ۷ محاسبه خواهد شد.

$$a_{DLS} = 2D_l L_i \qquad \text{رابطه (۷)}$$

که در این رابطه: D_l فاصله محدود (متر)، a_{DLS} محدوده دربرگیری (مترمربع) اطراف قطعه پسماند چوبی درشت و L_i طول (متر) قطعه پسماند چوبی است که براساس میانگین طول قطعات پسماند چوبی درشت و شرایط توده مورد نظر انتخاب خواهد شد. در پژوهش پیش‌رو مقادیر فاصله محدود براساس میانگین طول قطعات موجود در توده مورد بررسی و متناسب با شعاع قطعه نمونه برای مقایسه صحیح (سه، شش، نه و ۱۲ متر) انتخاب و در محیط R اجرا شد.

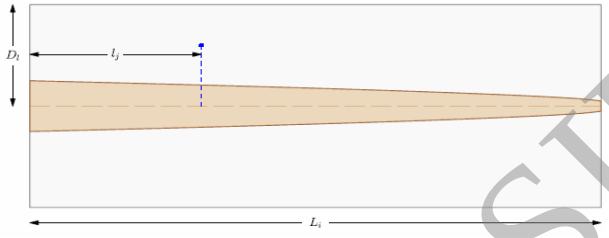
درواقع اگر نقطه نمونه تصادفی درون محدوده دربرگیری قرار گیرد، آن قطعه پسماند چوبی به‌عنوان نمونه انتخاب و شمارش خواهد شد. برآوردکننده این روش برای برآورد کمیت‌های مختلف مانند قطعه‌نمونه با سطح ثابت،

Archive of SID

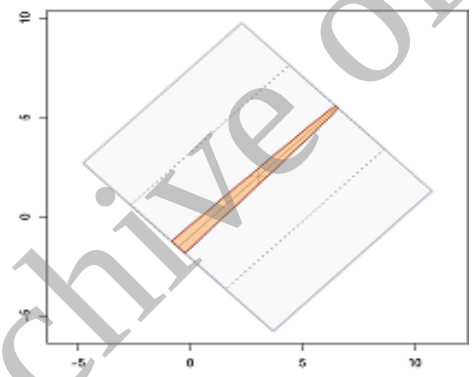
www.SID.ir

برآوردکننده Horvitz-Thompson است (رابطه ۶). حجم هر قطعه پسماند چوبی با استفاده از فرمول اسمالیان محاسبه می‌شود و در این رابطه برای برآورد حجم قرار می‌گیرد (Gove *et al.*, 2012).

محدوده دربرگیری برای هر قطعه پسماند چوبی درشت در شکل ۴ نشان داده شده است. سطح این محدوده براساس طول هر قطعه پسماند چوبی با قطعات دیگر متفاوت است. Li طول (متر) قطعه پسماند چوبی درشت و D_l فاصله محدود (متر) است. نقطه تصادفی انتخاب‌شده در هر طولی از قطعه پسماند چوبی درشت (li) ممکن است قرار بگیرد. در این شکل نقطه نمونه انتخابی داخل محدوده دربرگیری قرار گرفته است، بنابراین این قطعه به عنوان نمونه انتخاب خواهد شد.



شکل ۳- نحوه انتخاب قطعه پسماند چوبی درشت با استفاده از نمونه‌برداری با فاصله محدود



شکل ۴- محدوده دربرگیری با استفاده از نمونه‌برداری با فاصله محدود

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای بررسی دقت از درصد ضریب تغییرات (رابطه ۸) و برای بررسی صحت از شاخص اریبی و اریبی نسبی (به‌ترتیب رابطه‌های ۹ و ۱۰) استفاده شد.

رابطه (۸) $C_v\% = \frac{\sigma}{\mu} \times 100$

در این رابطه: σ انحراف‌معیار و μ میانگین است.

رابطه (۹) $Bias = \sum \frac{P_i - \theta_i}{n}$

در این رابطه: p_i مقدار برآوردشده، θ_i مقدار واقعی و n تعداد مشاهدات است.

رابطه (۱۰) $Bias_r\% = \frac{bias}{\bar{\theta}} \times 100$

در این رابطه: $\bar{\theta}$ میانگین مشاهدات است.

نتایج

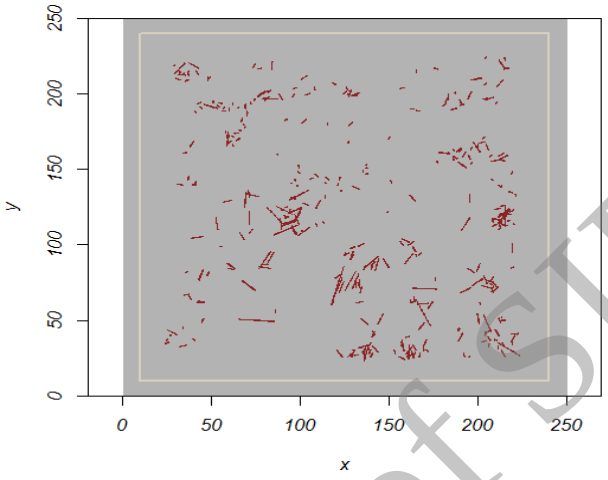
در جدول ۱ ویژگی قطعات پسماند چوبی درشت آماربرداری شده نشان داده شده است. در قطعه آماربرداری‌شده تعداد ۳۷۴ قطعه پسماند چوبی درشت قرار گرفته بود. الگوی قرارگیری قطعات پسماند چوبی درشت در شکل ۵ نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱ – ویژگی‌های پسماند چوبی درشت

شیب (درصد)	حداقل طول (متر)	حداکثر طول (متر)	حداقل قطر (سانتی‌متر)	حداکثر قطر (سانتی‌متر)	حجم (مترمکعب در هکتار)	تیپ جنگل
کمتر از ۱۵	۱	۲۶	۷/۵	۷۱	۶/۵۸	راش– ممرز



شکل ۵– الگوی قرارگیری قطعات پسماند چوبی درشت

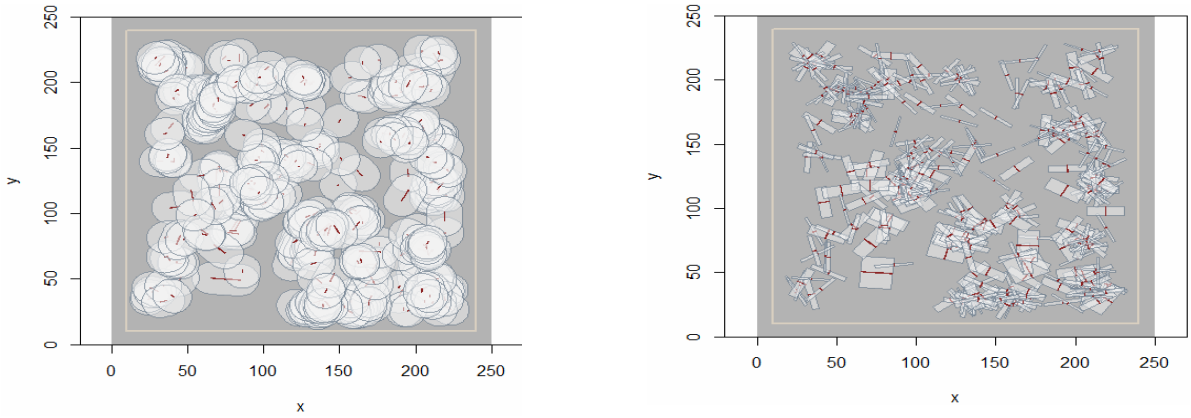
تحلیل دقت و صحت روش‌ها

دو روش مورد مطالعه با مقادیر یکسان (سه، شش، نه و ۱۲ متر برای شعاع قطعه‌نمونه و همین مقادیر برای فاصله محدود) در محیط R اجرا شد. شکل ۶ محدوده دربرگیری برای قطعات پسماند چوبی با درنظر گرفتن ۱۲ متر برای شعاع قطعه‌نمونه و به‌عنوان فاصله محدود را نشان می‌دهد. در این شکل محل قطعات پسماند چوبی و محدوده دربرگیری آنها برای دو روش نشان داده شده است. همچنین ملاحظه می‌شود که در هیچیک از موارد، محدوده دربرگیری خارج از محدوده مورد مطالعه قرار نگرفته است. این شرط لازمه تأیید ناریب بودن روش اجراست. مقادیر میانگین حجم پسماند چوبی درشت در شعاع‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش شعاع قطعه‌نمونه میانگین حجم در هکتار تغییری نکرده است و این میانگین با میانگین واقعی برابر است (۶/۵۸ مترمکعب در هکتار).

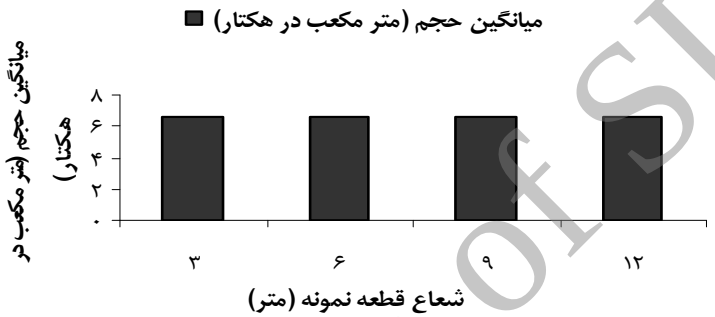
چنان‌که انتظار می‌رفت، با افزایش مقدار فاصله در نمونه‌برداری با فاصله محدود درصد ضریب تغییرات کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش شعاع در قطعه‌نمونه با سطح ثابت، درصد ضریب تغییرات کاهش می‌یابد (شکل ۸، سمت راست). در نمونه‌برداری با فاصله محدود فاصله سه متر بیشترین و فاصله ۱۲ متر کمترین درصد ضریب تغییرات را نشان داد. نتایج ارائه‌شده برای نمونه‌برداری با سطح ثابت نیز نشان داد که شعاع سه و ۱۲ متر به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد ضریب تغییرات را داشتند. کاهش درصد ضریب تغییرات با استفاده از دو روش مورد مطالعه الگوی کاهشی مشابهی داشت، اما به‌طور کلی نمونه‌برداری با سطح ثابت ضریب تغییرات کمتری را نشان داد. نتایج اریبی برای هر دو روش مورد مطالعه نشان‌دهنده ناریب‌بودن هر دو روش است (شکل ۸، سمت چپ).

Archive of SID

www.SID.ir

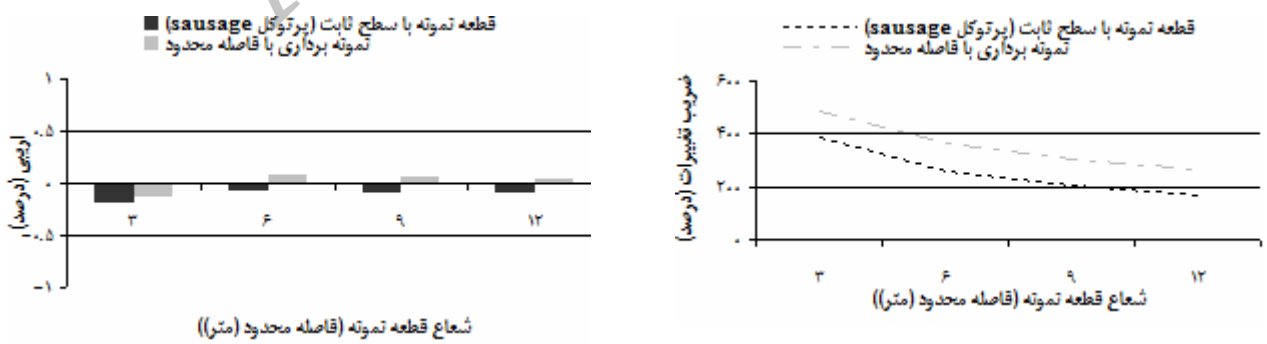


شکل ۶- نمایش محدوده دربرگیری برای فاصله محدود ۱۲ متر (سمت راست) و شعاع قطعه‌نمونه ۱۲ متر (سمت چپ)



شکل ۷- میانگین حجم در هکتار در شعاع‌های مختلف

با توجه به نتایج ارائه‌شده، شعاع ۱۲ متر برای قطعه‌نمونه با سطح ثابت و ۱۲ متر فاصله برای نمونه‌برداری با فاصله محدود دارای کمترین درصد ضریب تغییرات بود، بنابراین دقت و صحت هر دو روش برای این مقدار با هم مقایسه شد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان‌دهنده دقت بیشتر نمونه‌برداری با سطح ثابت نسبت به نمونه‌برداری با فاصله محدود برای برآورد حجم است. همچنین نتایج اریبی نشان داد که هر دو روش برای برآورد حجم نااریب هستند.



شکل ۸- درصد ضریب تغییرات (سمت راست) با افزایش شعاع و فاصله محدود (متر) و درصد اریبی (سمت چپ)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج دقت و صحت برآورد حجم، DL= ۱۲ و R= ۱۲ ($V= ۶/۵۸ m^3/ha$)

روش	%CV	%Bias
نمونه‌برداری با فاصله محدود	۲۶۶/۲۹	۰/۰۴
نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage)	۱۶۸/۵	-۰/۰۸

بحث

این پژوهش با دو هدف اصلی انجام شد. هدف اول پرداختن به جدیدترین روش‌های موجود در دنیا برای نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت و معرفی آنها بود و هدف دوم بررسی و مقایسه صحت و دقت روش‌های مورد مطالعه برای یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین کمیت‌های پسماند چوبی درشت (حجم) بود. جدیدترین روش‌های نمونه‌برداری پسماند چوبی درشت بر روی روش‌های با احتمال متناسب با اندازه تمرکز دارند. اگرچه نمونه‌برداری با سطح ثابت جزء اولین روش‌های نمونه‌برداری است، اما پروتوکل Sausage یکی از جدیدترین پروتوکل‌ها و روش‌های ارائه‌شده است که جزء روش‌های نمونه‌برداری با احتمال متناسب با اندازه است. همچنین روش دیگر که در پژوهش پیش‌رو معرفی و مورد بررسی قرار گرفت (نمونه‌برداری با فاصله محدود) جزء روش‌های نمونه‌برداری با احتمال متناسب با اندازه است. هر دو روش قطعه پسماند چوبی درشت را با احتمال متناسب با طول آن قطعه انتخاب خواهند کرد. نتایج ارائه‌شده (شکل ۸ و جدول ۲) نشان‌دهنده صحت و ناااریب‌بودن هر دو روش برای برآورد حجم است. همچنین نتایج ارائه‌شده به‌طور جداگانه برای هر دو روش نشان‌دهنده افزایش دقت با افزایش فاکتور اصلی هر یک از دو روش (افزایش شعاع برای قطعه‌نمونه با سطح ثابت و افزایش فاصله برای نمونه‌برداری با فاصله محدود) بود. در نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) همان‌طور که انتظار می‌رفت افزایش شعاع قطعه‌نمونه باعث کاهش درصد ضریب تغییرات (افزایش دقت) شد. این نتیجه به‌طور مشابه برای نمونه‌برداری با فاصله محدود نشان داده شد، اما نتایج نشان داد که نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) نسبت به نمونه‌برداری با فاصله محدود دارای دقت بیشتری برای برآورد حجم پسماند چوبی درشت است.

نتایج جدول ۲ نشان داد که با شعاع ۱۲ متر و معادل این مقدار برای نمونه‌برداری با فاصله محدود، دقت نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) نسبت به نمونه‌برداری با فاصله محدود بیشتر است. شاید دلیل عمده این اختلاف در تعریف و محاسبه محدوده دربرگیری برای روش‌های مورد بررسی باشد، زیرا همان‌طور که پیشتر ذکر شد هریک از این دو روش برای هر قطعه پسماند چوبی درشت سطحی فرضی (مترمربع) را تعریف می‌کنند. این سطح تعریف‌شده یا همان محدوده دربرگیری برای نمونه‌برداری با فاصله محدود دو برابر طول هر قطعه در فاصله محدود تعیین‌شده تعریف شده است، در صورتی‌که برای پروتوکل Sausage از نمونه‌برداری با سطح ثابت این مقدار به اضافه مساحت قطعه‌نمونه (πR^2) شده است. به بیان ساده‌تر، این پروتوکل برای هر قطعه پسماند چوبی درشت سطح بزرگتری را تعریف کرده است، بنابراین هر قطعه پسماند چوبی شانس بیشتری برای انتخاب خواهد داشت. پس می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با یک مقدار مساوی برای شعاع قطعه‌نمونه و فاصله محدود، شانس انتخاب قطعات پسماند چوبی درشت با استفاده از نمونه‌برداری با سطح ثابت (پروتوکل Sausage) نسبت به نمونه‌برداری با فاصله محدود بیشتر خواهد بود و تعداد قطعات پسماند چوبی بیشتری انتخاب خواهند شد که باعث کاهش درصد ضریب تغییرات (افزایش دقت) این روش خواهد شد. در پژوهش‌های انجام‌شده، فقط Gove و همکاران (۲۰۱۲) این دو روش را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. آنها ۵۰ قطعه پسماند چوبی درشت را در یک قطعه یک هکتاری شبیه‌سازی کردند و چندین روش از جمله دو

Archive of SID

www.SID.ir

روش مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو را برای برآورد کمیت‌های مختلف ازجمله حجم با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج پژوهش اشاره‌شده مغایرت داشت. نتایج پژوهش اشاره‌شده نشان داد که دو روش نمونه‌برداری با فاصله محدود و پروتوکل Sausage از نمونه‌برداری با سطح ثابت برای برآورد حجم بسیار به یکدیگر شبیه هستند و اختلافی ندارند، اما همچنین اشاره کردند که نتایج با تعداد کم قطعه شبیه‌سازی‌شده به‌دست آمده است و در نقاط مختلف دنیا با شرایط مختلف ممکن است تغییر کند و قابل تعمیم به تمام نقاط دنیا نخواهد بود.

سپاسگزاری

نگارندگان برخود لازم می‌دانند از زحمات آقای دکتر Jeffrey Gove از USDA Forest Service, Northern Research Station به پاس راهنمایی‌های ارزنده و بی‌دریغ ایشان در مراحل مختلف این پژوهش و راهنمایی در نحوه استفاده از روش‌های مورد مطالعه و ارایه بسته‌های مرتبط تشکر نمایند. همچنین از خانم‌ها سهرابی، میرکی، همت‌زاده، جوکار و آقایان احمدی، احمدوند، نورمحمدی، حاتمی، عزتی، بینا، اسلام‌دوست، ذالکانی و قزوینی که در برداشت داده‌ها همکاری کردند، سپاسگزاری می‌شود.

References

- Affleck, D.L.R., 2008. A line intersect distance sampling strategy for downed wood inventory. Canadian Journal of Forest Research, 38(8): 2262-2273.
- Anonymus, 1992. Forest Planning and Management, District 46. Forest, Range, and Watershed Management, Mazandaran Province, 126p (In Persian).
- Anonymus, 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Bowman, J., Sleep, D., Forbes, G. and Edwards, M., 2000. The association of small mammals with coarse woody debris at log and stand scales. Forest Ecology and Management, 129 (2000): 119-124.
- Bunnell, F. and Houde, I., 2010. Down wood and biodiversity – implications to forest practices. Environmental Reviews, 18: 397-421.
- Gove, J.H., 2012. Sampling Surface Simulation for Areal Sampling Methods, R Packages. 178p.
- Gove, J.H., Ducey, M.J., Ståhl, G. and Ringvall, A., 2001. Point relascope sampling: A new way to assess downed coarse woody debris. Forestry, 99: 4-11.
- Gove, J.H., Ducey, M.J., Valentine, H.T. and Williams, M.S., 2012. A distance limited method for sampling downed coarse woody debris. Forest Ecology and Management, 282: 53-62.
- Gove, J.H., and Van Deusen, P.C., 2011. On fixed-area plot sampling for downed coarse woody debris. International Journal of Forest Research, 84(2): 109-117.
- Harmon, M. and Franklin, J., 1989. Tree seedlings on logs in Picea–Tsuga forests of Oregon and Washington. Ecology, 70: 48-59.
- Haji Mirza Aghayee, S., Jalilvand, H., Pormajidian, M.R. and Kooch, Y., 2011. Herbal species diversity around of logs and snags in Sardabrood Forests, Chalous. Journal of the Iranian Biology, 24(1): 54-64 (In Persian).
- Harmon, M.E. and Sexton, J., 1996. Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. USLTER Network Office, University of Washington, Seattle, 20p.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M. and Sobhani, H., 2009. Comparison of circular plot and transect sampling methods in the Zagros oak Forests (Case study: Educational and research forest of Razi University, Kermanshah province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(3): 359-368 (In Persian).
- Jordan, G.J., Ducey, M.J. and Gove, J.H., 2004. Comparing line-intersect, fixed-area, and point relascope sampling for dead and downed coarse woody material in a managed northern hard wood forest. Canadian Journal Forest Research, 34(8): 1766-1775.
- Keivan Behjo, F., Sobhani, H. and Zobeiri, M., 2007. Volume and weight assessment of residuals by line intersect sampling (Case study: Chafroud watershed). Iranian Journal of Natural Resources, 60(1): 103-114 (In Persian).
- Pedlar, J.H., Pearce, J.L., Venier, L.A. and

Archive of SID

www.SID.ir

McKenny, D.W., 2002. Coarse woody debris in relation to disturbance and forest type in boreal Canada. Forest Ecology and Management, 158(1):189-194.
- Pouska, V., and Svoboda, M.A.L., 2010. The diversity of wood-decaying fungi in relation to changing site conditions in an old-growth mountain spruce forest, central Europe. European Journal of Forest Research, 129: 219-231.
- Sefidi, K. and Marvie Mohajer, M.R., 2010. Characteristics of coarse woody debris in successional stage of natural beech (*Fagus orientalis*) forests of Northern Iran. Journal of Forest Science, 56(1): 7-17.
- Sefidi, K., Mohadjer, M.R., Zobeiri, M. and Etemad, V., 2007. Investigation on dead trees effects on natural regeneration of oriental beech and hornbeam in a mixed beech forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4): 365-373 (In Persian).
- Ståhl, G., 1998. Transect relascope sampling- a method for the quantification of coarse woody debris. Forest Science, 44(1): 58-63.
- Warren, W.G. and Olsen, P.F., 1964. A line intersect method for assessing logging waste. Forest Science, 3: 267-276.
- Williams, M.S. and Gove, J.H., 2003. Perpendicular distance sampling: an alternative method for sampling downed coarse woody debris. Canadian Journal of Forest Research, 33(8): 1564-1579.
- Woldendorp, G., Keenan, R.J., Barry, S. and Spencer, R.D., 2004. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. Forest Ecology and Management, 198(1): 133-148.

Archive of SID

www.SID.ir

Estimating the volume of coarse woody debris of forest floor using sampling with probability proportional methods

S. Izadi[1] and H. Sohrabi [2]*

1- M. Sc. Forestry, Natural Resources and Marine Science Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Natural Resources and Marine Science Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: hsohrabi@modares.ac.ir

Received: 02.18.2014 Accepted: 12.10.2014

Abstract

A variety of new methods have been proposed by ecologists and biologists for data collection on different attributes of coarse woody debris (CWD). Amongst others methods based on probability proportional to size are the newest techniques. These approaches are based on selecting individual logs into the sample unite using some forms of unequal probability sampling. In the present study, we aimed to introduce "Distance Limited Sampling" (DLS) and "Sausage protocol" of "Fixed Area Method" as well as assessing their precision and accuracy for estimating volume of CWD. These methods select individual logs into the samples using probability proportional to length of the logs. To collect the data, a set of attributes including location, top and bottom diameter and length of all logs in a 250×250 m plot in an un-harvested temperate forest were fully inventoried, and the location of logs were mapped. Then different methods with different sample unit sizes were simulated in R programming language environment using SampSurf package. Results indicated that both methods are unbiased. Considering precision of the estimates, Sausage protocol of fixed area sampling led to more precise estimates of volume of the loges than those estimated by DLS. Consequently, Sausage protocol is concluded for further usage as a promising method in the field due to its unbiasedness and production of highly-precise estimates.

Keywords: Bias, Sausage protocol, fixed area sampling, distance limited sampling.

Archive of SID

www.SID.ir