فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۲ شماره ۳، صفحه ۳۹۱-۳۸۱، (۱۳۹۳)

مقایسه روش نمونه‌برداری چنددرختی با روش قطعه‌نمونه در برآورد تراکم درختان جنگل‌های زاگرس

حمدالله صادقی‌کاجی[۱]، ایمان ظفریان[۲*] و کبری بادفر[۱]

۱- کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

پست الکترونیک: iman.zafariyan@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۰

چکیده

روش نمونه‌برداری چنددرختی ازجمله روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای است که نسبت به روش‌های قطعه‌نمونه با شعاع ثابت دارای سرعت بیشتر و هزینه کمتری است. برای این پژوهش یک قطعه ۳۶/۴۰۲۹ هکتاری از جنگل‌های حفاظت‌شده هلن در استان چهارمحال و بختیاری انتخاب و آماربرداری صددرصد انجام شد. در این بررسی برآوردکننده‌های Moore و Kleinn-Vilcko با روش قطعه‌نمونه با توجه به معیارهای اریبی نسبی (RB) و جذر میانگین مربع خطای نسبی (RRMSE) برای تعداد دو تا ۱۲ درخت سنجیده شدند. برای هر تخمین‌گر ۳۰ تکرار و برای هر تکرار ۵۰ نقطه نمونه انتخاب شد. نتایج نشان داد که در شرایط جنگل‌های موردمطالعه و تعداد در هکتار ۱۵۴/۲۵ با الگوی پراکنش کپه‌ای، روش نمونه‌برداری قطعه‌نمونه با شعاع ثابت دارای دقت زیاد و روش Kleinn-Vilcko در برآورد تعداد در هکتار از پنج درخت بیشتر، دارای دقت قابل‌قبولی است و رابطه Moore برای تخمین تعداد در هکتار با توجه به خطای زیاد، برآورد کننده مناسبی نیست.

واژه‌های کلیدی: آماربرداری جنگل، روش چنددرختی، اریبی، قطعه‌نمونه با شعاع ثابت، منطقه حفاظت‌شده هلن.

مقدمه

در آماربرداری جنگل روش‌های متنوعی برای طراحی قطعه‌نمونه بکار برده می‌شود که به‌طور کلی به دو دسته روش‌های قطعه‌نمونه با شعاع ثابت (Fixed-radius plot sampling) و متغیر (Variable-radius plot sampling) یا روش‌های براساس قطعه‌نمونه (Plot-based) یا بدون قطعه‌نمونه (Plot-less) تقسیم می‌شوند. قطعه‌نمونه دایره‌ای با شعاع ثابت یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نمونه‌برداری است که هنوز هم در سراسر دنیا رایج است. برای بدست آوردن تراکم در قطعه‌نمونه با شعاع ثابت از شمارش ساده تعداد درخت در هر قطعه‌نمونه استفاده می‌شود. در بین روش‌های قطعه‌نمونه با شعاع متغیر می‌توان به روش نمونه‌برداری با مساحت‌های متغیر برای درختان با ابعاد مختلف یا گونه‌های متفاوت و روش نمونه‌برداری میزان احتمال به نسبت اندازه و روش‌های فاصله‌ای اشاره کرد. روش‌های بدون قطعه‌نمونه در مقابل روش‌های با قطعه‌نمونه سریع‌ترند و نیازمندی‌های کمتری دارند (Zobeiri, 2005).

روش نمونه‌برداری فاصله‌ای یکی از روش‌های مورداستفاده در نمونه‌برداری جوامع گیاهی است که توسط اکولوژیست‌ها به‌منظور برآورد سریع پارامترهای جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lo & Yeung, 2007). انگیزه اصلی توسعه این روش‌ها، برآورد تراکم بدون استفاده از قطعه‌نمونه

است که باعث صرفه‌جویی در زمان شده و صحت برآورد را نیز افزایش می‌دهد (Beasom & Hauck,1975). نمونه‌برداری فاصله‌ای چنددرختی (N-tree-distance sampling) در منابع مختلف با عناوینی همچون K-tree sampling یا Density-adapted sampling یا Point-to-tree sampling یا به عنوان ساده "Distance sampling" نام برده شده است (Haxtema *et al.*, 2012). استفاده از تکنیک فاصله بین درختان (Tree-to-tree distances) یا بین درخت و یک نقطه (Point-to-tree distance) برای تخمین ویژگی‌های توده تاریخچه طولانی دارد. اگرچه به‌طور دقیق مشخص نیست که اولین کسی که ارایه دهنده ایده روش فاصله نقطه تا درخت بود چه کسی است، اما اولین دست‌نوشته‌های موجود درمورد اندازه‌گیری جنگل حاکی از آن است که König (۱۸۳۵) و نقشه‌برداران زمین در آمریکا که نامی از آنها موجود نیست (Cottam & Curtis, 1949) برای اولین بار از اصول روش‌های فاصله‌ای استفاده کردند. در حقیقت König (۱۸۳۵) ایده فاصله درخت تا درخت برای تخمین تعداد در هکتار و سطح مقطع و رابطه بین فاصله بین درختان و ویژگی‌های اصلی توده را بیان کرد. در پیمایش نقشه‌برداران آمریکایی دو درخت شاهد در گوشه‌های هر بخش و چهار گوشه هر بخش (بخش به یک پارسل یک مایل در یک مایلی گفته می‌شد که برای اولین نقشه‌برداری‌های زمین در آمریکا مورداستفاده قرار می‌گرفت) درنظر گرفته می‌شد (Krebs, 1999). اگرچه داده‌های مورداستفاده توسط نقشه‌برداران آمریکایی بین سال‌های ۱۸۳۳ تا ۱۸۳۴ را نمی‌توان روش فاصله‌ای نقطه تا درخت نامید، ولی Cottam و Curtis (۱۹۴۹) از این داده‌های جمع‌آوری‌شده برای کاربرد در تکنیک‌های با اهداف دیگر استفاده کرد. اولین کاربرد تکنیک‌های فاصله‌ای در جنگل مربوط به روش‌هایی براساس فاصله درخت تا درخت بود که ازجمله اولین افرادی که در این زمینه شناخته شده‌اند، می‌توان به Köhler (۱۹۵۲)، Weck (۱۹۵۳) و Bauersachs (۱۹۴۲) اشاره کرد. ازجمله اولین افرادی که تکنیک فاصله نقطه تا درخت را برای اندازه‌گیری جنگل شرح و بسط دادند، می‌توان به Stoffels (۱۹۵۵)، Essed(۱۹۵۷) و Pielou (۱۹۵۹) اشاره کرد. Prodan (۱۹۶۸) و Schöpfer (۱۹۶۹a, b) نمونه‌برداری شش‌درختی را برای کاربردهای اندازه‌گیری جنگل پیشنهاد کرد. مروری بر مقالات ارایه‌شده نشان می‌دهد که روش نمونه‌برداری چنددرختی در شرایط زمینی و پوشش گیاهی مختلف پیاده شده است. در این روش n درخت (معمولاً دو تا ۱۰ درخت) نزدیک به نقطه نمونه انتخاب (n تعداد درخت انتخاب‌شده است که در سرتاسر نمونه‌برداری بدون تغییر می‌ماند) و فاصله آنها اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱). ازآنجایی‌که تعداد درخت‌هایی که برای هر نقطه نمونه شمرده می‌شوند ثابت هستند، قطعه‌نمونه خالی یا قطعه‌نمونه با تعداد درخت زیاد وجود ندارد (Kleinn & Vilčko, 2006a) که از نقاط قوت این روش است و باعث افزایش کارایی می‌شود. از طرف دیگر اندازه‌گیری فاصله افقی نقطه نمونه تا مرکز درخت nام از نیازمندی‌های این روش است که باعث بدست آوردن اطلاعاتی در مورد الگوی پراکنش درختان می‌شود (Lessard *et al.*,1994).

روش چنددرختی به خودی خود برآوردی زیادتر از مقدار واقعی دارد و برای هر مشخصه موردراندازه‌گیری اریب است (Kleinn & Vilčko, 2006a, b). در طول ۴۰ سال گذشته تلاش‌ها بر این بوده است که برای روش چنددرختی تخمین‌گرهایی توسعه پیدا کنند که کمترین اریبی را در شرایط جنگل‌های مختلف داشته باشند. ازجمله تحقیقاتی که برای کاربرد و توسعه برآوردکننده‌های مختلف در شرایط و الگوهای پراکنش مختلف انجام شده است می‌توان به پژوهش‌های Prodan (۱۹۶۸)، Moore (۱۹۵۴)، Lessard و همکاران (۱۹۹۴)، Eberhardt (۱۹۶۷)، Payandeh و Ek (۱۹۸۶)، Kleinn و Vilčko (۲۰۰۶a, b) اشاره کرد. به‌هرحال فهم تعدادی از این تخمین‌گرها مشکل و به‌کاربردن آنها در عمل نیاز به تکنیک‌های پیشرفته آماری دارد که از دسترس بسیاری خارج است.

ازجمله پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با روش‌های مختلف فاصله‌ای در کشور می‌توان به تحقیقات Heidari و

همکاران (۲۰۱۰)، Karamshahi و همکاران (۲۰۱۱) و Askari و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. در زمینه مطالعه روش‌های چنددرختی در کشور می‌توان به بررسی Zobeiri (۱۹۷۸) در جنگل‌های شمال اشاره کرد که روش نمونه‌برداری شش‌درختی پرودان را در این جنگل‌ها اجرا کرد که علاوه بر شش درخت از هفت، هشت و نه درخت با توجه به شرایط جنگل‌های شمال استفاده کرد. نتایج برای هر دو مشخصه تعداد در هکتار و سطح‌مقطع کمتر از مقدار واقعی برآورد شد. Soltani و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از سه فرضیه به بهینه‌سازی روش شش‌درختی پرودان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از عامل تصحیح اریب و فرضیه فاصله بین نقطه نمونه تا تمام قطر درخت nام به‌اضافه نصف قطر درخت n+1ام برای برآورد تعداد در هکتار مناسب است. Foshat و همکاران (۲۰۱۱) روش نمونه‌برداری چنددرختی را در جنگلکاری صنوبر دلتوئیدس در شمال کشور برای ارزیابی سه مشخصه تعداد در هکتار، سط مقطع برابر سینه و حجم در هکتار بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میانگین برآوردشده از فرمول پرودان در روش‌های پنج، شش و هفت درختی برای مشخصه سطح‌مقطع برابر سینه اختلاف معنی‌داری با آماربرداری صددرصد دارد، اما میانگین برآوردشده از سایر روش‌ها در مورد این مشخصه قابل‌قبول بود. میانگین برآوردشده از فرمول پرودان در مورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و حجم در هکتار، در تمامی روش‌های نمونه‌برداری چنددرختی اختلاف معنی‌داری با آماربرداری صددرصد نداشتند. درنهایت بااستفاده از شاخص $E\%^2 \times T$ (حاصل‌ضرب زمان کل آماربرداری در مجذور درصد اشتباه آماربرداری) روش نمونه‌برداری چهاردرختی برای نمونه‌برداری در توده‌های جنگل‌کاری با صنوبر دلتوئیدس مناسب ارزیابی شد. با توجه به این‌که تخمین‌گرهای زیادی برای جنگل‌های مختلف با الگوهای پراکنش مختلف ارایه شده است، هدف از این پژوهش بررسی تخمین‌گرهای پرکاربرد روش چنددرختی در جنگل‌های زاگرس و مقایسه این تخمین‌گرها با قطعه‌نمونه دایره‌ای با شعاع ثابت برای برآورد تعداد در هکتار است.

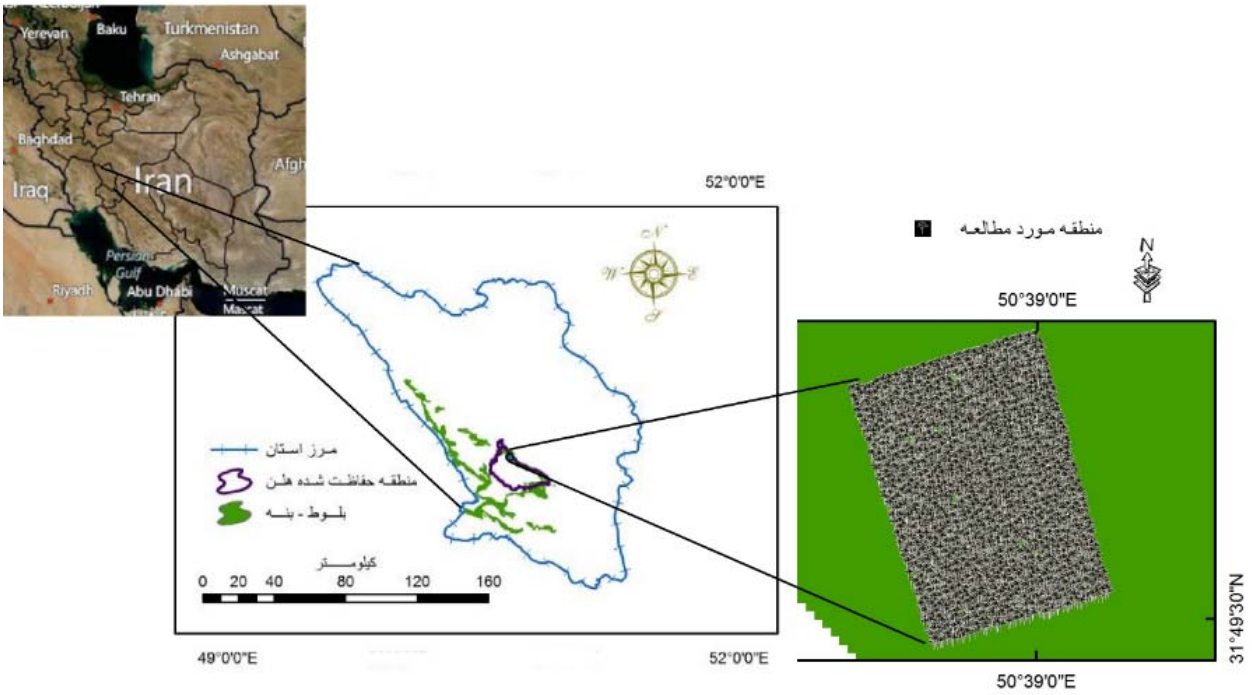
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه موردمطالعه

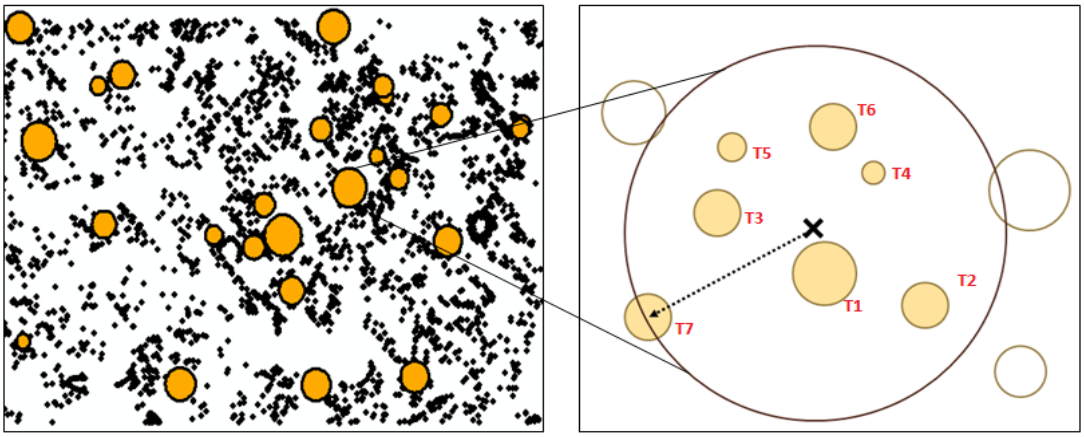
منطقه حفاظت‌شده هلن در شهرستان‌های اردل، لردگان و کیار از توابع استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. ازنظر جغرافیایی بین ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت این منطقه حدود ۴۰۲۳۱ هکتار است که ۳۰ هزار هکتار آن جنگلی و مابقی مرتع می‌باشد. گونه غالب مناطق جنگلی برودار (*Quercus brantii*) است که همراه آن گونه‌های چوبی دیگری همانند گز، بادام، ارژن، بنه، کلخونک، زالزالک، پلاخور و دافنه حضور دارند. میانگین بارش سالانه منطقه ۵۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد است (Arman, 2013).

روش پژوهش

منطقه موردمطالعه بخشی از جنگل‌های با تیپ بلوط- بنه موجود در منطقه حفاظت‌شده هلن بود. سعی شد منطقه منتخب تا حد ممکن دور از دسترس و با کمترین دست‌خوردگی و تخریب باشد. وسعت منطقه آماربرداری ۳۶/۴۰۲۹ هکتار با تعداد ۱۵۴/۲۵ درخت در هکتار بود. اطلاعات مکانی همه درختان موجود در منطقه (آماربرداری صددرصد) موردمطالعه برداشت شد. در برداشت مختصات درختان از روش فاصله- آزیموت استفاده شد (Moeur, 1993). پس از تعیین مختصات هر درخت، اطلاعات مکانی درختان به محیط GIS وارد شد. با استفاده از نرم‌افزار Arcgis9.3 پس از تهیه نقشه درختان، طراحی و اجرای نمونه‌برداری و محاسبه فاصله درختان برای هر تخمین‌گر انجام شد. برای هر تخمین‌گر ۳۰ تکرار و تعداد دو تا ۱۲ درخت و برای هر تکرار ۵۰ نقطه نمونه انتخاب شد (شکل ۲). درمجموع برای هر تعداد درخت در هر تخمین‌گر، ۱۵۰۰ نقطه‌نمونه به‌روش نمونه‌برداری تصادفی برداشت شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه



شکل ۲- سمت چپ: طراحی قطعه‌نمونه‌های دایره‌ای با شعاع متغیر با توزیع کاملاً تصادفی در روش چنددرختی در جنگل شبیه‌سازی‌شده در محیط **GIS**. سمت راست: شکل یک نقطه نمونه با تعداد هفت درخت

تعیین الگوی پراکنش

اگر گیاهان دارای الگوی پراکنش تصادفی باشند، برآورد تراکم حالت نااریب و اگر الگوی پراکنش کپه‌ای باشد، برآورد تراکم اریب خواهد بود (Krebs, 1989). با توجه به اینکه الگوی پراکنش گیاهان می‌تواند در تعیین روش صحیح برآورد تراکم جوامع گیاهی موثر باشد (Krebs, 1999)، برای انتخاب تخمین‌گر مناسب، تعیین الگوی پراکنش ضروریست. مناسب‌ترین روش برای تعیین الگوی مکانی

درختان، استفاده از داده‌های حاصل از آماربردای صددرصد درختان است (Erfanifard *et al.*, 2012). الگویی که در چنین شرایطی تعیین می‌شود، الگوی مطلق جامعه است. روش‌های تعیین الگوی پراکنش مطلق درختان شامل سه روش نزدیکترین همسایه، تجزیه‌وتحلیل کوادرات و تابع k ریپلی است که استفاده از نقشه درختان حاصل از آماربرداری صددرصد اساس تعیین الگوی پراکنش در روش‌های مذکور است. در پژوهش پیش‌رو از روش نزدیکترین همسایه برای تعیین الگوی پراکنش استفاده شد. روش نزدیکترین همسایه مبتنی بر اندازه‌گیری فاصله تک‌تک درختان تا نزدیک‌ترین همسایه‌شان است. در این روش الگوی پراکنش درختان در مقابل الگوی پواسون (به‌صورت تصادفی) آزمون می‌شود. برای آزمون فرض تصادفی‌بودن از متوسط فاصله درختان تا نزدیکترین همسایه‌شان استفاده می‌شود. شاخص R در روش نزدیکترین همسایه به‌صورت نسبت میانگین فاصله مشاهده‌شده به فاصله موردانتظار بیان می‌شود. فاصله موردانتظار درواقع میانگین فاصله درختان در حالت پراکنش کاملاً تصادفی است. برای الگوی کپه‌ای R<۱ ، برای الگوی تصادفی R=۱ و برای الگوی پراکنش یکنواخت R>۱ است. در این روش کمیت دیگری به‌نام Z نیزتعریف می‌شود که اگر مقدار آن بین ۱/۹۶+ و ۱/۹۶- باشد، اختلاف معنی‌داری بین توزیع مشاهده‌شده و توزیع تصادفی وجود ندارد. اگر این مقدار بیشتر از ۱/۹۶+ باشد، الگو پراکنده و اگر کمتر از ۱/۹۶- باشد، الگو کپه‌ای است (Wang *et al.*, 2009). برای محاسبه الگوی پراکنش از بسته نرم‌افزاری Past استفاده شد.

انتخاب تخمین‌گرهای مناسب

در بین برآوردکننده‌های موجود، سه برآوردکننده پرکاربرد وجود دارد. برآوردکننده پرودان که در روش اصلی آن از شش درخت استفاده می‌شود. این روش برای الگوی پراکنش تصادفی عملکرد خوبی دارد، اما برای بقیه الگوها برآوردی بیشتر از مقدار واقعیت دارد. استفاده از ضریب‌تصحیح اریبی در این روش نتیجه خوبی برای بیشتر جوامع و n>۱۰ نشان داده است (Payandeh & Ek, 1986). برآوردکننده Moore (۱۹۵۴) که برای کاهش برآورد بیشتر از مقدار واقعیت روش چنددرختی از ضریب تصحیح (n−1)/n در رابطه خود استفاده کرد و برآوردکننده Kleinn & Vilcko (۲۰۰۶a) که براساس میانگین حسابی بین فاصله درخت nام و میانگین درخت nام و n+1 محاسبه می‌شود. از آنجایی‌که فاصله تا درخت n به‌صورت سیستماتیک برآوردی زیادتر از مقدار واقعیت دارد و فاصله تا درخت n+1 به‌صورت سیستماتیک برآورد کمتری از واقعیت دارد، استفاده از میانگین این دو فاصله می‌تواند کارایی قابل‌قبول‌تری داشته باشد. با توجه به اینکه روش پرودان بیشتر برای الگوی پراکنش تصادفی بکار می‌رود و اینکه کارایی این روش در مطالعات قبلی بررسی شده است، در این پژوهش برای تعیین تعداد در هکتار از دو تخمین‌گر Moore و Kleinn & Vilcko با توجه به سادگی و قابل‌فهم‌بودن آنها استفاده شد (رابطه‌های ۱ تا ۶).

برای تخمین‌گر Moore از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد:

$$N_M = \frac{1}{m}\left(\frac{n-1}{n}\right)\sum_{i=1}^{m}\left[\frac{n}{A_i}\right] \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$A_j = \pi\left(r_j\right)^2 / 10000 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در آنها:

m: تعداد نقاط نمونه‌برداری‌شده، n: تعداد درخت در هر نقطه نمونه‌برداری، A_j: مساحت قطعه‌نمونه (در قطعه‌نمونه iام) به هکتار، π = ۳/۱۴ و r_j: شعاع قطعه‌نمونه در قطعه‌نمونه iام است.

برای تخمین‌گر Kleinn-Vilcko نیز از رابطه‌های ۳ و ۴ استفاده شد:

$$N_K = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left[\frac{n}{A_j}\right] \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$A_j = \frac{\pi * \left(d_n + d_{n+1} \times .05\right)^2}{10000} \qquad \text{رابطه (۴)}$$

که در آنها:

m: تعداد نقاط نمونه‌برداری‌شده؛ n: تعداد درخت در هر نقطه نمونه‌برداری؛ A_j: مساحت قطعه‌نمونه به هکتار؛ π=۳/۱۴؛ d_n: فاصله تا درخت nام و d_{n+1}: فاصله درخت nام تا درخت 1+nام است.

برای تعیین تعداد در هکتار در روش قطعه‌نمونه با شعاع ثابت از رابطه ۵ و برای تعیین مساحت قطعه‌نمونه برای هر یک از روش‌های n درختی از رابطه ۶ استفاده شد که نتایج آن در جدول ۱ قابل‌مشاهده است.

رابطه (۵)

$$N_U = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left[\frac{n}{A_j}\right]$$

رابطه (۶)

$$A_j = \left[\frac{10000 * n_t}{TPA}\right]$$

در روابط فوق:

m: تعداد نقاط نمونه‌برداری‌شده در هر تکرار؛ n:تعداد درخت در هر نقطه نمونه‌برداری؛ A_j: مساحت قطعه‌نمونه برای هر روش درختی؛ n_t: تعداد درخت برای هر یک از روش‌های چنددرختی (در این پژوهش دو تا ۱۲ درخت) و TPA: تعداد در هکتار واقعی (در این پژوهش ۱۵۴/۲۵)

جدول ۱- مساحت قطعه‌نمونه برای تعداد درخت‌های مختلف با استفاده از رابطه ۶

درخت	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
شعاع قطعه‌نمونه (متر)	۶/۴۲	۷/۸۷	۹/۰۸	۱۰/۱۶	۱۱/۱۳	۱۲/۰۲	۱۲/۸۵	۱۳/۶۳	۱۴/۳۶	۱۵/۰۷	۱۵/۷۴

برآورد اریبی نسبی (Relative bias) و جذر میانگین مربع خطای نسبی (Relative root mean square error)

استفاده از ارزش‌های نسبی یکی از روش‌های مناسب برای مقایسه اریبی تخمین‌گرها در مناطق مختلف است. در این مطالعه برای مقایسه تخمین‌گرهای مختلف از اریبی نسبی (RB) (رابطه ۷) و جذر میانگین مربع خطای نسبی (RRMSE) (رابطه ۸) استفاده شد.

رابطه (۷)

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^{R}\left[\hat{Y}_i - Y\right] * 100}{Y * R}$$

رابطه (۸)

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{R}\left[\left(\hat{Y}i - Y\right)^2\right]}{R}}\left(\frac{100}{Y}\right)$$

که در آنها:

$\hat{Y}_i$= مقدار برآوردی؛ Y= مقدار واقعی و R= تعداد تکرار است.

نتایج

نتیجه روش نزدیکترین همسایه برای تعیین الگوی پراکنش با توجه به آماره Z نشان می‌دهد که بین توزیع مشاهده‌شده و تصادفی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آماره R وجود الگوی پراکنش کپه‌ای را تأیید می‌کند (جدول ۲). قطعه‌نمونه با شعاع ثابت در این مطالعه از شعاع ۶/۴۲ متر برای دو درخت تا ۱۵/۷۴ متر برای ۱۲ درخت تغییر می‌کند. نتایج حاصل از اریبی نسبی روش قطعه‌نمونه با شعاع ثابت نشان می‌دهد که این مقدار همواره کمتر از ۱۰+ درصد است. این مقدار از تعداد چهار درخت به بعد به کمتر از پنج درصد و از هشت درخت (r=۱۲/۸۵) به بعد به کمتر از یک درصد می‌رسد. نتایج RRMSE نشان می‌دهد که این مقدار برای تعداد دو و سه درخت بیشتر از ۱۰ درصد و از سه درخت به بعد کمتر از ۱۰ درصد است. این مقدار از درخت پنجم به کمتر از پنج درصد می‌رسد. نتایج اریبی نسبی روش Moore نشان می‌دهد که این مقدار برای دو، سه و چهار درخت منفی و از درخت پنجم به بعد این مقدار

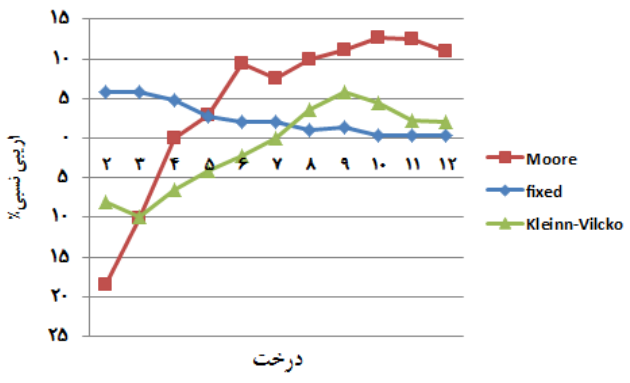
مثبت است. همان‌طور که از جدول ۳ و شکل ۳ مشخص است، مقدار منفی نشان‌دهنده برآورد کمتر از واقعیت و مقدار مثبت نشان‌دهنده برآورد بیشتر از واقعیت است. مقدار اریبی نسبی برای چهار و پنج درخت ۵± و شش و هفت درخت ۱۰+ و از درخت هشتم به بعد این مقدار بیشتر از ۱۰+ است. نتایج RRMSE نشان می‌دهد که این روش برای کلیه تعداد درختان بیشتر از ۱۰+ درصد قرار دارد. نتایج حاصل از اریبی نسبی برآوردکننده Kleinn-Vilcko نشان می‌دهد که همواره این مقدار زیر ۱۰± درصد قرار دارد و از پنج درخت بیشتر این مقدار زیر ۵± درصد می‌رسد. نتایج RRMSE این روش نشان می‌دهد که برای تعداد دو و سه درخت بیشتر از ۱۰ درصد و برای بقیه تعداد درخت این مقدار کمتر از ۱۰ درصد است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش قطعه‌نمونه با شعاع ثابت دارای کمترین اریبی و خطای RRMSE نسبت به دو روش دیگر است. در بین دو روش چنددرختی موردبررسی روش Kleinn-Vilcko از تعداد چهار درخت به بعد دارای برآورد قابل‌قبول و روش Moore با توجه به خطای RRMSE محاسبه‌شده، همواره برآوردی اریب و بیشتر از ۱۰ درصد دارد که برای تعیین تعداد در هکتار در منطقه موردمطالعه مناسب نیست. براساس نتایج مشخص شد که در بین سه روش، کمترین اریبی و اریبی نسبی مربوط به روش قطعه‌نمونه (شکل ۳ و ۴) و در بین دو تخمین‌گر روش چنددرختی، تخمین‌گر Kleinn-Vilcko کارایی بهتری دارد و رابطه Moore برای تخمین تعداد در هکتار با توجه به خطای زیاد، برآورد کننده مناسبی نیست.

جدول ۲- نتیجه روش نزدیکترین همسایه

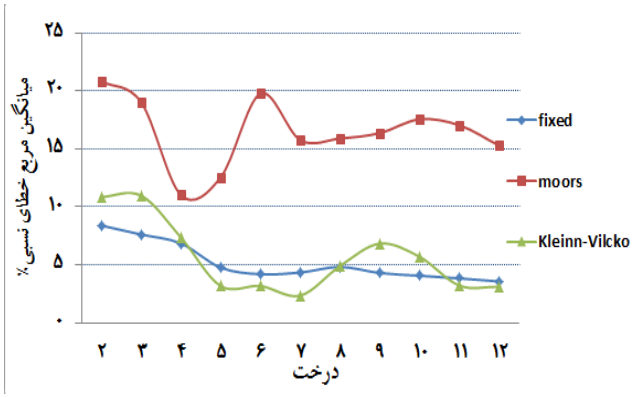
میانگین فاصله	۲/۵۸۵۱
ارزش Z	-۵۵/۰۴۸
ارزش R	۰/۶۵۵۲

جدول ۳- میانگین برآورد تخمین‌گرهای مورداستفاده برای تعداد درخت‌های مختلف

درخت	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
قطعه‌نمونه	/۱ ۱۶۳	/۳۱ ۱۶۳	/۶۲ ۱۶۱	/۳۴ ۱۵۸	/۳۹ ۱۵۷	/۳۳ ۱۵۷	/۷۵ ۱۵۵	۱۵۶/۳	۱۵۴/۸۶	۱۵۲/۷۵	۱۵۴/۵۸
برآوردکننده Moor	/۶ ۱۲۵	/۷۲ ۱۳۸	/۲۰ ۱۵۴	/۷۸ ۱۵۸	/۷۸ ۱۶۸	/۷۶ ۱۶۵	/۴۶ ۱۶۹	۱۷۳/۹	۱۷۸/۰۸	۱۷۳/۶۲	۱۷۱/۰۰
برآوردکننده Kleinn-Vilcko	/۹ ۱۴۱	/۹۸ ۱۳۸	/۱۹ ۱۴۴	/۹۱ ۱۴۷	/۸۴ ۱۵۰	/۱۵ ۱۵۴	/۶۸ ۱۵۹	۱۶۶/۱	۱۷۰/۵۱	۱۵۰/۷۰	۱۵۷/۳۱



شکل ۳- نتیجه اریبی نسبی برآوردکننده‌ها



شکل ۴- نتیجه میانگین مربع خطای نسبی برآوردکننده‌ها

بحث

باتوجه به اینکه در جنگل‌های زاگرس برای رسیدن به دقت لازم باید از قطعات‌نمونه با مساحت ثابت ۱۵ تا ۲۰ آری (شعاع ۲۰ تا ۲۵ متری) استفاده شود (Zobeiri, 2005)، تجارب نشان می‌دهد که در این جنگل‌ها بکاربردن روش‌های فاصله‌ای از نظر هزینه، سرعت و ارائه نتایج با دقت قابل‌قبول می‌توانند کارایی بیشتری داشته باشند (Karamshahi *et al*., 2011). درواقع هدف اصلی استفاده از روش‌های فاصله‌ای در مقابل روش‌های با قطعه‌نمونه ثابت، افزایش کارایی و سرعت‌عمل و کاهش هزینه‌های آماربرداری در محاسبه مشخصه موردنظر است. باتوجه به اینکه روش‌های چنددرختی به دو عامل تعداد در هکتار و الگوی پراکنش وابسته هستند، مخصوصاً تعداد در هکتار تأثیر بیشتری در میزان برآورد این روش‌ها دارد (Lessard *et al*., 2002) و باتوجه به شرایط جنگل‌های زاگرس که نسبت به جنگل‌هایی که این برآوردکننده‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند (جنگل‌های متراکم اروپایی)، دارای تعداد در هکتار کمتری هستند، درمجموع به نظر می‌رسد روش‌های چنددرختی در جنگل‌های تنک نسبت به قطعه‌نمونه با شعاع ثابت دارای دقت کمتری هستند. لیکن با توجه به مزیت‌هایی که این روش در افزایش سرعت و کاهش هزینه‌های آماربرداری دارد، لازم است در شرایط مختلف جنگل‌های کشور برآوردکننده‌های مختلف مورد آزمایش قرار گیرند و برای شرایط مختلف برآوردکننده‌های مناسب انتخاب یا توسعه پیدا کند. Haxtema و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی سه برآوردکننده Kleinn-Vilcko ، Moore و Prodan را در مقابل قطعه‌نمونه با شعاع ثابت مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که در مجموع قطعه‌نمونه با شعاع ثابت دارای کارایی بهتری در برآورد تعداد در هکتار است و برآوردکننده Moore در الگوی پراکنش کپه‌ای دارای عملکرد خوبی نیست. مطالعات دیگری ازجمله پژوهش پیش‌رو، Payandeh و Ek (۱۹۸۶) و Lessard و همکاران (۱۹۹۴) نیز این مطلب را تأیید می‌کنند. برآوردکننده Kleinn-Vilcko به‌غیر از تعداد دو و سه درخت، خطای RRMSE برآوردی کمتر از ۱۰ درصد را نشان داد که تقریباً از پنج درخت بیشتر به زیر پنج درصد می‌رسد که نشان‌دهنده کارایی خوب این تخمین‌گر از تعداد پنج درخت بیشتر در برآورد تعداد در هکتار است. Kleinn-Vilcko (۲۰۰۶a) در استفاده از تخمین‌گر خود با مقایسه نمونه‌برداری با رلاسکوپ و نمونه‌برداری قطعه‌نمونه با شعاع ثابت و نمونه‌برداری چنددرختی به این نتیجه رسید که بیشترین اشتباه‌معیار مربوط به روش چنددرختی در برآورد تعداد در هکتار و سطح‌مقطع در برابر قطعه‌نمونه با شعاع ثابت در الگوی پراکنش کپه‌ای و تصادفی است و کمترین اشتباه‌معیار روش چنددرختی مربوط به جنگل با الگوی پراکنش یکنواخت بود. Kleinn-Vilcko (۲۰۰۶a) بیان می‌کند که استفاده از روش‌های چنددرختی در عین حالی‌که ساده است، ولی کارایی آماری آنها همیشه مشخص نیست که این مطلب همان وجود تفاوت در طبیعت الگوی پراکنش‌ها (تفاوت درجه کپه‌ای شدن و تراکم الگو) در شرایط مختلف را نشان می‌دهد. وضعیت الگوی پراکنش کپه‌ای در جنگل‌های متراکم‌تر می‌تواند تأثیر متفاوتی در عملکرد برآوردکننده‌ها در مقابل شرایط الگوی پراکنش کپه‌ای با تعداد در هکتار کمتر داشته باشد. علت نبود روند کاهشی خطا با افزایش تعداد درخت در برآوردکننده‌های مورداستفاده در این مطالعه به احتمال زیاد به طبیعت الگوی پراکنش و نحوه توزیع نمونه‌ها در سطح منطقه مربوط می‌شود. به‌نظر می‌رسد با توجه به مزیت‌هایی که روش نمونه‌برداری منظم- تصادفی در مقابل روش نمونه‌برداری کاملاً تصادفی دارد، استفاده از یک شبکه منظم در برآورد با اریبی کمتر مؤثر باشد. در این مطالعه برای محاسبه تعداد در هکتار از شبیه‌سازی جنگل در محیط GIS استفاده شد که این روش در محاسبه مشخصه‌های جنگل به‌شرط استفاده از داده‌های مکانی با دقت زیاد می‌تواند تا حد زیادی از مشکلات آماربرداری کاسته و در کنار افزایش سرعت عمل، بانک اطلاعاتی مکانی از جنگل موردمطالعه تهیه کند که بعداً می‌توان از آن برای مقایسه روش‌های مختلف آماربرداری و مشخص‌کردن روند تغییرات جنگل استفاده کرد. با توجه به

اینکه روش چنددرختی در جنگل‌های زاگرس آزمایش نشده بود، درمجموع به‌نظر می‌رسد برای تعیین تعداد در هکتار با دقت زیاد استفاده از قطعه‌نمونه با شعاع ثابت بر روش‌های چنددرختی برتری داشته باشد، اما برای دستیابی به تراکم با سرعت بیشتر و هزینه کمتر و دقت قابل‌قبول خطای زیر ۱۰ درصد، استفاده از برآوردکننده Kleinn-Vilcko مخصوصاً از تعداد پنج درخت بیشتر توصیه می‌شود. این مقایسه در الگوی پراکنش کپه‌ای و با تعداد در هکتار مشخص (۱۵۴/۲۵ درخت در هکتار) انجام گرفت. پیشنهاد می‌شود برآوردکننده‌های موردبررسی در تعداد در هکتارها و الگوهای پراکنش مختلف با هم مقایسه شوند و در محاسبات مشخصه‌های دیگر که در جنگل‌های زاگرس بیشتر محاسبه می‌شوند (ازجمله سطح‌مقطع و تاج پوشش) نیز بررسی شوند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آقای دکتر علی سلطانی در ویرایش علمی مقاله و از آقای مهندس مهین‌پور بخاطر همکاری در عملیات صحرایی تقدیر و تشکر می‌شود.

References

- Arman, Z. 2013. Developing a conceptual model for ecological monitoring in central Zagros landscape (Case study: Helen forest protected area). M. Sc. thesis, Shahrekord University, 123p (In Persian).
- Askari, Y., Zobeiri, M. and Sohrabi, H. 2013, Comparison of five distance sampling methods for estimating quantitative characteristics of Zagros Forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2): 316-328 (In Persian).
- Bauersachs, E. 1942. Bestandesmassenaufnahme nach dem Mittelstammverfah ren des zweitkleinsten Stammabstandes. Forstwiss, Centralbl, 64: 182-186.
- Beasom, S.L. and Hauck, H.H. 1975. A comparsion of four distance sampling techniques in south texas live oak Mottes. Journal of Range Management, 28(2): 142-144.
- Cottam, G. and Curtis, J.T. 1949. A method for making rapid surveys of woodlands by means of pairs of randomly selected trees. Ecology, 30: 101-104.
- Eberhardt, L.L. 1967. Some developments in distance sampling. Biometrics, 23:207-216.
- Erfanifard, Y., Mahdian, F., Shamsi, R.F. and Bordbar, K. 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests (Case study: Wild pistachio research forest, Fars province, Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(1): 73-62 (In Persian).
- Essed, D. 1957. Estimation of standing timber. Ph. D. thesis, Wageningen, 60p.
- Foshat, M., Hosseini, S.M., Fallah, A. and Fakhari, M.A. 2011. Determination of suitable N-tree sampling method in *Populus deltoeides* plantations. Research Journal of Forest Science and Engineering, 1(3): 65-76.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., Sohrabi, H. and Safari, A. 2010. Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagross forests. Iranian Journal of Forest, 2(4): 323-330 (In Persian).
- Haxtema, Z., Temesgen, H. and Marquardt, T. 2012. Evaluation of n-tree distance sampling for inventory of headwater riparian forests of western Oregon. Western Journal of Applied Forestry, 27(3): 109-117.
- Karamshahi, A., Zobeiri, M., Namiranian, M. and Feghhi, J. 2011. Investigation on application of k-nn (k- nearest neighbor) sampling method in Zagros forests (Case study: Karzan forest, Ilam). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(4): 453-463 (In Persian).
- Kleinn, C. and Vilčko, F. 2006a. A new empirical approach for estimation in k-tree sampling. Forest Ecology and Management, 237(1-3): 522-533.
- Kleinn, C. and Vilčko, F. 2006b. Design-unbiased estimation for point-to-tree distance sampling. Canadian Journal of Forest Researches, 36(6):1407-1414.
- Köhler, A. 1952. Vorratsermittlung in Buchenbesta¨nden nach Stammdurch- messer und Stammabstand. Allgemeine Forst Jagdzeitung, 123: 69-74.
- König, G. 1835. Die Forstmathematik mit Anweisung zur Forstvermessung Holzscha¨tzung und Waldwertrechnung, nebst

Hu¨lfstafeln fu¨r Forstscha¨tzer. Gotha, in Commission der Becker'schen Buchhandlung, 436p.

- Krebs, C.J. 1989. Ecological Methodology. Harper Collins: New York, 653p.
- Krebs, C.J. 1999. Ecological Methodology. 2nd ed., Addison-Wesley Educational and P. Pub. Inc: California, 620p.
- Lessard, V., Reed, D.D. and Monkevich, N. 1994. Comparing n-tree distance sampling with point and plot sampling in northern Michigan forest types. Northern Journal of Applied Forestry, 11(1): 12-16.
- Lessard, V.C., Drummer, T.D. and Reed, D.D. 2002. Precision of density estimates from fixed-radius plots compared to n-tree distance sampling. Forest Science, 48(1): 1-6.
- Lo, C.P. and Yeung, A.K.W. 2007. Concepts and Techniques in eographicInformation System. Pearson Education, Inc., USA, 544p.
- Moeur, M. 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem- mapped data. Forest Science, 39(4): 756-775.
- Moore, P.G. 1954. Spacing in plant populations. Ecology, 35(2): 222-227.
- Payandeh, B. and Ek, A.R. 1986. Distance methods and density estimators. Canadian Journal of Forest Researches, 16: 918-924.
- Pielou, E.C. 1959. The use of point-to-plant distances in the study of pattern of plant population. Journal of Ecology, 47: 603-613.
- Prodan, M. 1968. Punktstichprobe für die Forsteinrichtung (A point sample for forest management planning). Forst Holzwirt , 23(11): 225-226.
- Schöpfer, W. 1969a. Die 6-Baum-Stichprobe in der Forsteinrichtung. Teil 1 (6- tree sampling for forest management planning, part 1). Allgemeine Forst Zeitung, 25: 533-536.
- Schöpfer, W. 1969b. Die 6-Baum-Stichprobe in der Forsteinrichtung. Teil 2. (6-tree sampling for forest management planning, part 2). Allgemeine Forst zeitung, 26:588-591.
- Stoffels, A. 1955. Die Genauigkeit der Bestimmung der Stammzahl pro Hektar durch Messung von Stammabsta¨nden (The accuracy of estimation of number of stems per hectare with distance measurements). Forstwiss. Centralbl, 74: 211-218.
- Soltani, A., Zobeiri, M. and Namiranian, M. 2007. Optimization of Proden's six tree sampling method. Journal of Natural Research, 60(4): 1291-1307.
- Wang, J., Sharma, B.D., Li, Y. and Miller, G.W. 2009. Modeling and validating spatial patterns of a 3D stand generator for central Appalachian hardwood forests. Journal of Computers and Electronics in Agriculture, 68: 141-149.
- Weck, J. 1953. Untersuchung über die Brauchbarkeit und Genauigkeit eines Verfahrens der Bestandesmessung unter Verwendung von Stammabsta¨nden (A study on usefulness and accuracy of stand estimations with distance measurements). Forstarchiv, 24: 257-260.
- Zobeiri, M. 1978. Tree sampling in natural forest of Northern Iran. Forestry Chronicle, 54(3): 171-172.
- Zobeiri, M. 2005. Forest Inventory (Measurement of Tree and Forest). University of Tehran Press, 401p (In Persian).

N-Tree Distance Sampling vs. Fixed-Radius Plots methods for tree density estimation in central Zagros forests

H. Sadeghi Kaji[1], I. Zafariyan[2*] and K. Badfar[1]

1- M. Sc. Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran.
2*- Corresponding author, M. Sc. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran. Email: iman.zafariyan@gmail.com

Received: 10.23.2013 Accepted: 03.11.2014

Abstract

N-tree Distance Sampling (NTDS) is a well-known distance sampling method which is considered as cost-and time effective compared to fixed-Radius Plots. This study was conducted across an area of 36.40 ha in Helen forest reserve in Chaharmahal and Bakhtiari Province. The study area mostly comprises of natural, old-growth Brant`s oak (*Quercus brantii*) stands. Here, the stands were first fully callipered. Two estimators of Moore and Kleinn-Vilcko sample plot methods were applied to derive the diagnostic measures of relative bias (RB) and relative root mean square error (RRMSE) for a number of 2 to 12 trees. For each estimator, 30 repeats with each encompassing 50 Sample points were selected. The results showed the fixed plot sampling (FPS) to be of higher performance in the clumpy-distributed trees within stands with 154.25 trees per ha. In addition, the Kleinn-Vilcko estimator was shown to be most efficient for $N \geq 5$ trees. Due to its high error rate, the Moore estimator yet returned poor performances in density estimation across the study area.

Key words: Forest inventory, N-tree distance sampling, bias, fixed-radius plots, Helen reservation forest area.