دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

برآورد مشخصه تراکم توده با استفاده از شاخص‌های برآوردکننده روش نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه در جنگل‌های ارسباران

رؤیا عابدی[۱] و راهله استاد هاشمی[۲]

۱- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران، (نویسنده مسوول: royaabedi@tabrizu.ac.ir)
۲- استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷
صفحه: ۳۹ تا ۴۷

چکیده

روش‌های نمونه‌برداری در جنگل دارای مبنای نظری هستند که باید در عرصه‌های مختلف جنگلی عملیاتی و اجرا شوند تا با انتخاب یک روش نمونه‌برداری مناسب در دقت برآورد مشخصه‌های جنگل مؤثر باشند. هدف پژوهش حاضر برآورد تراکم (تعداد در هکتار) توده در جنگل‌های ارسباران با استفاده از انواع برآوردکننده‌های روش نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه یا موسوم به نزدیک‌ترین درختان همسایه شامل نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، دومین نزدیک‌ترین همسایه، ترکیبی، نقطه مشترک و نزدیک‌ترین همسایه‌های پیوسته بود تا مناسب‌ترین برآوردکننده در منطقه مورد مطالعه معرفی شوند. به‌این منظور شمارش صد درصد تعداد پایه‌ها در هکتار در قطعه نمونه‌های یک هکتاری (به‌عنوان مقدار شاهد) انجام شد. سپس در شبکه‌بندی منظم تصادفی در هر هکتار نقاط نمونه‌برداری تعیین و اندازه‌گیری فاصله افقی درختان نسبت به نقطه نمونه‌برداری و نسبت به یکدیگر تا پنج درخت همسایه انجام شد و برآوردکننده‌های تراکم در هر روش محاسبه شدند. مقادیر محاسبه شده با تراکم واقعی با آزمون t تک نمونه‌ای در سطح احتمال ۰/۰۵ و براساس معیار صحت مقایسه شد. در نهایت الگوی پراکنش مکانی درختان با شاخص‌های جانسون-زایمر و هاپکینز تعیین شد. نتایج نشان داد که از بین برآوردکننده‌ها، موریسیتا و کوتام در روش نزدیک‌ترین فرد، بیث و ریپلی و کوتام و کورتیس ۱ در روش نزدیک‌ترین همسایه و چهارمین و پنجمین همسایه در روش نزدیک‌ترین همسایه پیوسته تراکم را بدون اختلاف معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) با تراکم واقعی برآورد کردند که در این میان نیز برآورد کننده پنجمین همسایه پیوسته عملکرد بهتری داشت. پراکنش مکانی درختان نیز الگوی تصادفی را نشان داد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، بررسی صحت این برآوردکننده برای سایر مشخصه‌های کمّی در توده‌های جنگلی ارسباران پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری جنگل، برآوردکننده، نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایه

مقدمه

برآورد مشخصه‌های آماری در توده‌های جنگلی بسیار تحت تأثیر روش‌های نمونه‌برداری مورد استفاده در جنگل است به‌طوری‌که اگر این روش‌ها به درستی انتخاب نشود می‌توانند مشخصه‌ها را کمتر یا بیشتر از مقدار واقعی برآورد کنند و انتخاب یک روش نمونه‌برداری مناسب می‌تواند در دقت برآوردها و زمان اندازه‌گیری درختان در جنگل بسیار مؤثر باشد (۲۲). بنابراین هر روش نمونه‌برداری از جنگل دارای یک مبنای نظری است که باید حتماً در عرصه‌های مختلف جنگلی نیز اجرا و بررسی شود (۲۰).

تراکم توده مشخصه‌ای کمّی است که نشان‌دهنده مقدار انبوهی جمعیت پایه‌های درختی در واحد سطح است (۱۷). آگاهی از وضعیت تعداد در هکتار درختان در توده‌های جنگلی یکی از مشخصه‌های مهم به‌منظور برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع جنگلی محسوب می‌شود (۱). مطالعه تراکم توده در فعالیت‌های مدیریتی مانند تنک کردن توده بسیار مهم است (۴).

روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای یا بدون قطعه نمونه مجموعه‌ای از روش‌های پرکاربرد در برآورد سریع ویژگی‌های کمّی جنگل از جمله تراکم به‌شمار می‌روند (۲۰،۱۳). اگرچه هرکدام از این روش‌ها برآوردکننده‌های خاصی را دارند که بنابر عوامل مختلف مانند شرایط محیطی، تراکم توده و توزیع پراکنش درختان ازکارایی متفاوتی برخوردارند اما این روش‌ها همچنان در برآورد ویژگی‌های کمّی با صرف هزینه و زمان کم مورد توجه هستند (۲۸).

روش‌های بدون قطعه نمونه در سال‌های اخیر در جنگل‌های مناطق مختلف ایران و جهان مورد استفاده بوده است در برخی موارد کارآیی آن ثابت شده است. حیدری و همکاران (۱۳) روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای را در برآورد تراکم توده‌های بلوط منطقه کرمانشاه بررسی کرده و از میان آنها برآورد کننده‌های نزدیک‌ترین فرد موریسیتا و بچلر و بل را مناسب ارزیابی کردند. عسکری و همکاران (۳) نمونه‌برداری اولین و دومین نزدیک‌ترین همسایه و همچنین روش ترکیبی را در جنگل‌های زاگرس در منطقه چهارمحال و بختیاری به‌منظور برآورد تراکم و درصد تاج پوشش استفاده کردند و انواع این روش‌ها را برای برآورد این مشخصه‌ها در منطقه مورد مطالعه مناسب ارزیابی کردند. حیدری و همکاران (۱۴) روش‌های فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه و ترکیبی را در برآورد تراکم توده‌های گونه قره قاج در کرمانشاه استفاده کردند و براساس معیار صحت، برآوردکننده‌های موریسیتا، بیث و ریپلی در روش نزدیک‌ترین فرد و همچنین بیث و ریپلی را در روش نزدیک‌ترین همسایه مناسب ارزیابی کردند. صفری و همکاران (۱۳۹۸) ویژگی‌های تراکم، سطح مقطع و تاج پوشش حاصل از روش نمونه‌برداری نزدیکترین همسایه را در توده‌های بلوط اوری در ارسباران دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به آماربرداری صد درصد گزارش کردند (۲۴).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

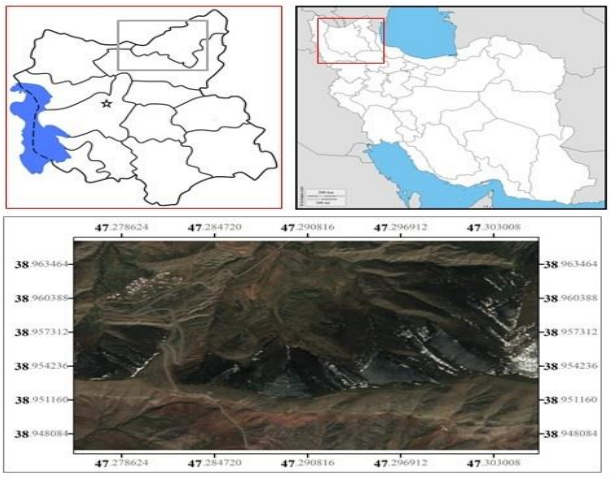
زارع و همکاران (۲۸) روش‌های تک فاصله‌ای و چند فاصله‌ای را در برآورد تعداد در هکتار توده‌های تنک بنه در زاگرس بررسی کرده و نشان دادند که روش تک فاصله‌ای با برآوردکننده کوتام و همکاران، روش نزدیک‌ترین همسایه با برآوردکننده کوتام و کورتیس و روش چند فاصله‌ای با برآوردکننده بیث و ریپلی دارای بهترین کارایی بودند. اخوان و حسنی (۲) از نمونه‌برداری فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایه پیوسته در مقایسه با روش قطعه نمونه دایره‌ای در برآورد رویه‌زمینی در جنگل‌های خیرود نوشهر استفاده کردند و این روش را با اندازه‌گیری هفت درخت همسایه از نظر دقت، زمان و هزینه مناسب ارزیابی کردند. بصیری و همکاران (۴) از چهار برآوردکننده برای توده‌های طبیعی *Populus euphratica* در جنگل‌های کران‌رودی در بهبهان در استان خوزستان استفاده کردند و برآوردکننده‌های سومین نزدیک‌ترین همسایه و نزدیک‌ترین همسایه را برای برآورد تراکم توده‌های مورد مطالعه مناسب گزارش کردند. وایت و همکاران (۲۷) از روش‌های مختلف بدون قطعه نمونه برای برآورد تراکم توده استفاده کرده و درباره رابطه‌های برآوردکننده تراکم به نتایج مطلوبی رسیدند و این روش‌ها را از نظر مقدار کار در عرصه بسیار مناسب معرفی کردند. استینک و هنبرگ (۲۵) به بررسی توان برآوردکننده‌های تراکم براساس روش‌های بدون قاب در دو جامعه گیاهی و مقایسه آنها با روش شمارش درختان در قطعه نمونه پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان‌داد که برآوردکننده‌های بدون قطعه نمونه زمانی که الگوی پراکنش جامعه گیاهی مشخص و به‌ویژه الگوی کاملاً تصادفی باشد، موفق عمل خواهند کرد. در حالی‌که روش‌های مبتنی بر شمارش صد درصد درختان، حساس به شرایط خاصی نبوده و قابل استفاده تحت هر الگوی پراکنش هستند. مگنوسن (۱۸) به بررسی برخی برآوردکننده‌های روش بدون قطعه نمونه پرداخت و آنها را در شرایط توپوگرافی سخت کارآمد دانست اما تعیین نوع الگوی پراکنش را نقطه ضعف این روش معرفی و شاخص برآوردکننده جدیدی به‌نام k+m نزدیک‌ترین درخت در قطعه نمونه با شعاع ثابت را معرفی کرد.

از آنجا که روش‌های بدون قطعه نمونه به‌عنوان روش‌هایی بهینه از نظر مقدار و زمان کار در عرصه جنگل معرفی شده‌اند و از سوی دیگر توده‌های متراکم در جنگل‌های ارسباران (اغلب پایه‌های با قطر کمتر از حد شمارش هستند) که حتی شمارش تعداد پایه‌های درختان در سطح یک هکتار به‌منظور برآورد مشخصه تراکم را با مشکل همراه کرده است، از این رو هدف از مطالعه حاضر بررسی برآورد مشخصه تراکم (تعداد در هکتار) در توده‌های متراکم جنگل‌های ارسباران با استفاده از انواع روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایه‌ها شامل روش‌های نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، دومین نزدیک‌ترین همسایه، ترکیبی، نقطه مشترک و نزدیک‌ترین همسایه‌های پیوسته و برآوردکننده‌های مختلف در این روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند تا مناسب‌ترین برآوردکننده‌ها برای بخشی از جنگل‌های ارسباران در محدوده منطقه مورد مطالعه معرفی شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در بخشی از جنگل‌های حفاظت شده ارسباران در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی با دامنه ارتفاعی ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و با شیب غالب ۳۵ تا ۴۰ درصد در محدوده شهرستان هوراند در استان آذربایجان شرقی انجام شد (شکل ۱). این منطقه دارای تیپ جنگلی آمیخته شامل گونه‌های درختی بلوط سیاه، بلوط سفید، ممرز، کرب، آلوچه جنگلی، گیلاس وحشی و فندق است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Geographic position of the study area

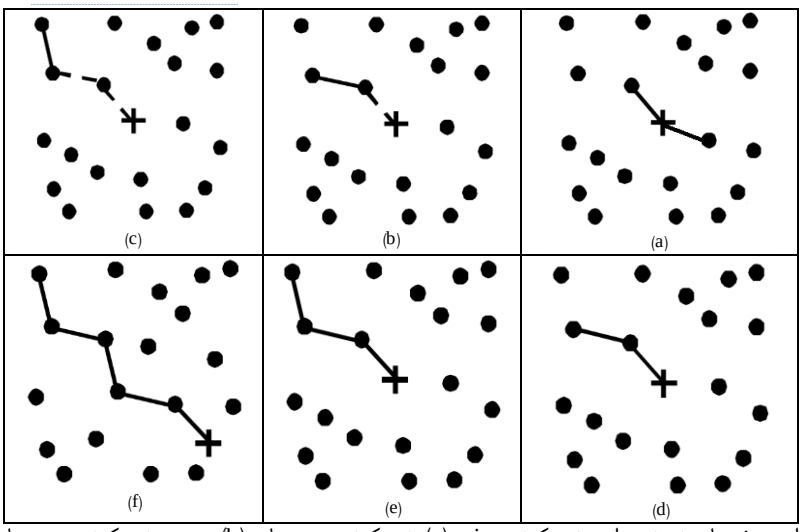
روش پژوهش

به‌منظور بررسی روش‌های بدون قطعه نمونه ابتدا در شش قطعه نمونه یک هکتاری تعداد کل پایه‌های با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر، شمارش شدند و میانگین تعداد درختان در هکتار محاسبه شد تا از این مقدار به‌عنوان شاهد برای مقایسه با تراکم‌های برآورد شده استفاده شود. سپس در

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

داخل قطعه نمونه‌های یک هکتاری، تعداد نه نقطه نمونه‌برداری در محل تقاطع اضلاع یک شبکه‌بندی به ابعاد ۲۵ متر × ۲۵ متر (به‌منظور پراکنش مناسب نقاط در سطح یک هکتار)، روش نمونه‌برداری فاصله‌ای به این ترتیب که ابتدا فاصله افقی نزدیک‌ترین درخت به محل تقاطع اضلاع شبکه‌بندی به‌عنوان نزدیک‌ترین فرد اندازه‌گیری شد و سپس دومین درخت به درخت اول مشخص و اندازه‌گیری فاصله بین آن دو انجام شد و این روال تا پنج درخت همسایه ادامه پیدا کرد (۲). به‌این ترتیب در ۵۴ نقطه نمونه‌برداری، اندازه‌گیری به‌روش نزدیک‌ترین درخت همسایه انجام شد (شکل ۲).

سپس برآورد تعداد درختان در واحد سطح با استفاده از روابط زیر (جدول ۱) محاسبه شد و اعداد حاصل در مقدار ۱۰۰۰۰ ضرب شدند (۲،۳،۱۳).



شکل ۲- نحوه اجرای روش‌های نمونه‌برداری نزدیک‌ترین فرد (a)، نزدیک‌ترین همسایه (b)، دومین نزدیک‌ترین همسایه (c)، ترکیبی (d)، نقطه مشترک (e)، نزدیک‌ترین همسایه پیوسته (f) (۲۱، ۲۸)

Figure 2. Perform of sampling methods, Closest Individual (a), Nearest Neighbor (b), Second Nearest Neighbor (c), Compound method (d), Shared Point (e) and Continues Nearest Neighbor (f).

جدول ۱- رابطه‌های برآورد تراکم درختان

Table 1. Equations for estimating tree density

نام شاخص	معادله	منبع
۱- برآوردکننده نزدیک‌ترین فرد:		
موریسیتا	$\hat{N}_M = \frac{n-1}{\pi \sum({r_{pi}}^2)}$	(۱۹)
بیث و ریپلی	$\hat{N}_{BR} = \frac{n}{\pi \sum({r_{pi}}^2)}$	(۵)
کوتام	$\hat{N}_C = \frac{1}{4(\frac{\sum r_{pi}}{n})^2}$	(۷)
کوتام و کورتیس ۱	$\hat{N}_{cc1} = \frac{1}{4(\frac{\sum r_{ni}}{n})^2}$	(۶)
کوتام و کورتیس ۲	$\hat{N}_{cc2} = \frac{1}{2.778(\frac{\sum r_{ni}}{n})^2}$	(۶)
r_{pi} فاصله نزدیک‌ترین درخت به نقطه نمونه‌برداری، r_{ni} فاصله بین نزدیک‌ترین درخت تا نزدیک‌ترین همسایه، n تعداد نقاط نمونه‌برداری		
۲- برآوردکننده دومین نزدیک‌ترین همسایه:		
کوتام و کورتیس	$\hat{N} = \frac{1}{2.778 \times (\bar{r}_m)^2}$	(۶)
$\bar{r}_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_{mi}}{n}$ فاصله بین نزدیک‌ترین همسایه تا دومین نزدیک‌ترین همسایه، n تعداد نقطه نمونه‌برداری.		
۳- برآوردکننده روش ترکیبی	$\hat{N} = \frac{N_1 + N_2}{2}$	(۸)
$N_1 = \frac{1}{4(\bar{r}_p)^2}$ و $N_2 = \frac{1}{2.778(\bar{r}_n)^2}$ تراکم برآورد شده به روش ترکیبی، $\bar{r}_p$ میانگین فاصله نقطه نمونه‌برداری تا درخت، $\bar{r}_n$ میانگین فاصله درخت تا نزدیک‌ترین همسایه		
۴- برآورد کننده نقطه مشترک	$\hat{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3}$	(۹)
$N_1 = \frac{1}{4(\bar{r}_p)^2}$، $N_2 = \frac{1}{2.778(\bar{r}_n)^2}$ و $N_3 = \frac{1}{2.778(\bar{r}_m)^2}\hat{N}$ تراکم برآوردشده به‌روش نقطه مشترک، $\bar{r}_p$ میانگین فاصله نقطه نمونه‌برداری تا درخت، $\bar{r}_n$ میانگین فاصله درخت تا نزدیک‌ترین همسایه، $\bar{r}_m$ فاصله بین نزدیک‌ترین همسایه تا دومین نزدیک‌ترین همسایه		
۵- نزدیک‌ترین همسایه پیوسته	$N/_{ha} = \frac{10000}{2.778(\frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{a}}{n})^2}$	(۲)
$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_{k-1}}{k-1}$ متوسط فاصله بین درختان، a_i فاصله درختان نسبت به یکدیگر، k تعداد درخت در هر نقطه نمونه‌برداری، $\frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{a}}{n}$ ضریب تبدیل به تعداد در هکتار		

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور مقایسه مقادیر محاسبه شده با تراکم واقعی حاصل از شمارش صد درصد درختان، از آزمون t تک نمونه‌ای در محیط نرم‌افزار R 3.4.2 (۲۳) استفاده شد. همچنین صحت برآوردکننده‌ها با استفاده از معیار صحت بنابر رابطه زیر ارزیابی شد (۲۶،۱۴):

رابطه (۱) $\text{صحت} = \frac{\text{مقدار برآوردی} - \text{مقدار واقعی}}{\text{مقدار واقعی}} \times ۱۰۰$

در نهایت تعیین الگوی پراکنش درختان در منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای جانسون- زایمر و هاپکینز با استفاده از روابط جدول ۲ محاسبه شد.

جدول ۲- رابطه‌های برآورد الگوی پراکنش درختان (۱۶،۱۰،۱۴)

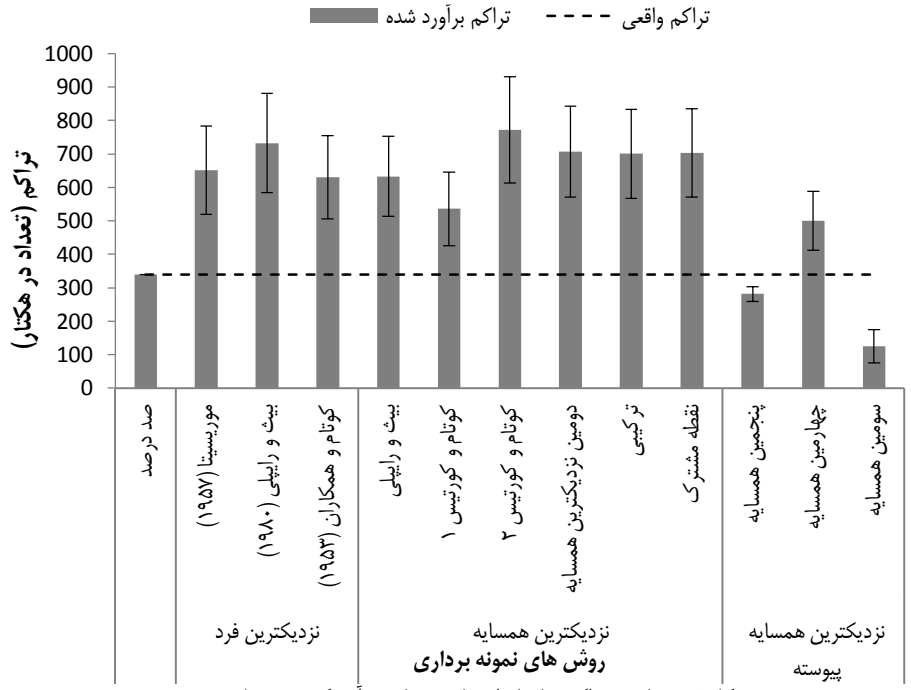
Table 2. Equations for estimating the trees distribution pattern

شاخص	معادله	ضریب آزمون شاخص		الگوی پراکنش
جانسون-زایمر	$I = \frac{(n+1) \times \sum_i^n (r_{pi}^2)^2}{(\sum_i^n r_{pi}^2)^2}$	$z = \frac{I-2}{\sqrt{4(n-1)/(n+2)(n+3)}}$	تصادفی I= ۲ کپه‌ای I> ۲ یکنواخت I< ۲	$z < Z_{0.95}$ قبول فرض تصادفی بودن الگوی پراکنش
هاپکینز	$I = \frac{\sum_i^n (r_{pi})^2}{\sum_i^n (r_{pi})^2 + \sum_i^n (r_{ni})^2}$	$h = \frac{\sum_i^n (r_{pi})^2}{\sum_i^n (r_{ni})^2}$	تصادفی I= ۰/۵ کپه‌ای I=۱ یکنواخت I= ۰	$F_{(0.05,2n,2\,n)} < h < F_{(0.95,2n,2\,n)}$ $h > F_{(0.05,2n,2\,n)}$ $h < F_{(0.95,2n,2\,n)}$

نتایج و بحث

نتیجه شمارش صد درصد درختان در قطعه نمونه‌های یک هکتاری نشان داد که در مجموع ۲۰۳۷ پایه درخت در منطقه مورد مطالعه شمارش شد (به‌ترتیب ۲۵۲، ۲۵۸، ۳۸۱، ۳۷۲، ۳۹۰ و ۳۸۴ پایه درخت در هر هکتار) و میانگین تراکم به‌طور متوسط ۳۳۹/۵ پایه در هکتار (با قطر بیشتر از حد شمارش) محاسبه شد.

مقایسه تعداد در هکتار برآورد شده حاصل از برآورد کننده‌های مختلف نشان داد که روش‌های نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه برآوردهایی بیشتر از مقدار میانگین واقعی تراکم را نشان دادند و نزدیک‌ترین همسایه پیوسته (به‌جز روش چهارمین همسایه) مقادیر کمتری را برآورد کردند (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه تراکم حاصل از شاخص‌های برآوردکننده مختلف
(خط نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار واقعی تراکم حاصل از آماربرداری صد درصد است.)

Figure 3. Comparison of density obtained from the different estimator criteria
(The dotted line represents the actual value of the density obtained from the 100% inventory)

نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که برآوردکننده‌های موریسیتا و کوتام در روش نزدیک‌ترین فرد، بیث و ریپلی و کوتام و کورتیس ۱ در روش نزدیک‌ترین همسایه و روش نزدیک‌ترین همسایه پیوسته با چهار و پنج درخت همسایه مقدار تراکم را بدون اختلاف معنی‌دار با مقدار واقعی برآورد کردند (جدول ۳).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

جدول ۳- نتیجه آزمون آماری t تک نمونه‌ای (در سطح ۰/۰۵) بین روش نمونه‌برداری با آماربرداری صد درصد
Table 3. Results of one sample t-test (0.05) between sampling methods and 100% inventory

روش‌های نمونه‌برداری	شاخص‌های برآوردکننده	آماره t	معنی‌داری
نزدیک‌ترین فرد	موریسیتا	۲/۳۶۱	۰/۰۶۵ns
	بیث و ریپلی	۲/۶۴۷	۰/۰۴۶*
	کوتام	۲/۳۳۰	۰/۰۶۷ns
نزدیک‌ترین همسایه	بیث و ریپلی	۲/۴۴۶	۰/۰۵۸ns
	کوتام و کورتیس ۱	۱/۷۷۸	۰/۱۳۵ns
	کوتام و کورتیس ۲	۲/۷۱۸	۰/۰۴۲*
دومین نزدیک‌ترین همسایه		۲/۷۹۰	۰/۰۳۸*
ترکیبی		۲/۶۶۷	۰/۰۴۵*
نقطه مشترک		۲/۷۳۲	۰/۰۴۱*
نزدیک‌ترین همسایه پیوسته	پنجمین همسایه	-۱/۱۶۲	۰/۲۹۸ns
	چهارمین همسایه	۱/۸۱۱	۰/۱۳۰ns
	سومین همسایه	-۹/۶۸۶	۰/۰۰*

ns: غیر معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

نتایج بررسی صحت روش‌های مورد مطالعه نشان داد که روش نزدیک‌ترین همسایه پیوسته با پنج درخت همسایه صحت برابر با ۱۷/۰۵- درصد محاسبه کرد و سایر روش‌ها صحت قابل قبولی نداشتند (شکل ۴).

طبق نظر حیدری و همکاران (۱۴) و Southwood و Henderson (۲۶) صحت یعنی میزان نزدیک بودن اندازه یک معیار برآورد شده با مقدار واقعی آن، که برای فعالیت‌های اجرایی ۲۵± درصد و برای فعالیت‌های پژوهشی ۱۰± درصد قابل قبول خواهد بود، که نتایج مطالعه حاضر بر اساس این معیار، روش نزدیک‌ترین همسایه پیوسته را دارای صحت مورد قبول ارزیابی کرد. تراکم ۳۳۹/۵ درخت در هکتار نشان‌دهنده تراکم بالای توده‌های مورد مطالعه بود در مقایسه با تراکم گزارش شده در توده‌های بنه در جنگل‌های زاگرس که برابر با ۱۹/۴۴ بوده توده بسیار تنک ارزیابی شده بود (۲۸). این مشخصه در جنگل ناو اسالم ۳۲۰/۲ (۱۲)، خیرود نوشهر ۲۵۰/۶ (۲)، جنگل‌های بلوط در یاسوج ۸۶/۲ (۱۱)، در جنگل‌های چهارمحال و بختیاری ۱۵۰ (۳) و در ایلام ۱۴۱ پایه در هکتار (۱۵) بوده است به این‌ترتیب در این پژوهش با توده‌هایی کاملاً متراکم مواجه بودیم. کارآیی روش‌های فاصله‌ای یا بدون قطعه نمونه به‌شدت تحت تأثیر تراکم توده‌های جنگلی است (۲۸،۴) به‌طوری که اندازه‌گیری فاصله بین درختان که اساس کار این روش است به مقدار انبوهی توده یعنی نزدیک یا دور بودن پایه‌ها بستگی دارد و متراکم یا تنک بودن بر مقدار برآوردکننده‌ها تأثیر مستقیم خواهد داشت. صفری و همکاران (۲۴) فاصله درختان بلوط اوری در جنگل ارسباران را بر اساس شاخص فاصله تا همسایه، ۴/۴۵ متر گزارش کردند. موصلو و عرفانی‌فرد (۲۱) توده‌های بنه را با فاصله درختان ۱۰/۷ متر تنک معرفی کردند و تعداد همسایه‌های بهینه را برای نزدیک‌ترین فرد برابر با چهار درخت و برای نزدیک‌ترین همسایه، هفت درخت معرفی کردند درحالی‌که در مطالعه حاضر به‌دلیل متراکم بودن توده مورد مطالعه با فاصله متوسط ۲/۱۱ متر برای نزدیک‌ترین فرد و ۲/۳۱ برای نزدیک‌ترین همسایه و ۲/۴۲ برای دومین نزدیک‌ترین همسایه، انتخاب تعداد پنج درخت همسایه، در رسیدن به نتیجه مطلوب، منطقی به‌نظر می‌رسید که در نهایت این تعداد نیز برآوردی بدون اختلاف معنی‌دار با مقدار تراکم واقعی نشان داد. بنابراین می‌توان گفت که مقدار تراکم محاسبه شده در روش نزدیک‌ترین همسایه پیوسته به‌دلیل استفاده از تعداد مناسب درختان همسایه و همچنین مجموع فواصل در ساختار رابطه محاسباتی، به مقدار تراکم واقعی نزدیکتر بود.

از سوی دیگر عسکری و همکاران (۳) بیان کردند که اگر فاصله نزدیک‌ترین فرد یا نزدیک‌ترین همسایه‌ها از هم کم باشد برآوردکننده‌ها مقدار بیشتری از پارامتر تراکم را محاسبه خواهند کرد که با نتایج مطالعه حاضر نیز هم‌خوانی دارد و اکثر برآوردکننده‌ها، مقدار عددی بیشتر از تراکم واقعی توده را نشان دادند. این موضوع مطابق با نظر Magnussen (۱۸) نیز بود که برآوردکننده‌های روش فاصله‌ای به الگوی پراکنش درختان در توده حساس هستند، چرا که الگوی پراکنش خود تحت تأثیر میزان فاصله درختان نسبت به یکدیگر است بنابراین با اندازه‌های فاصله‌های به‌دست آمده به‌راحتی می‌توان با استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای به الگوی مکانی درختان نیز پی برد و نتیجه‌گیری جامع‌تری درباره مشخصه‌های آماری توده‌های مورد مطالعه کسب کرد. از طرف دیگر برآوردهای حاصل از این پژوهش نیز می‌تواند تا حدودی به شناسایی الگوی پراکنش درختان بیانجامد زیرا بنابر نظر عسکری و همکاران (۳) اگر الگوی پراکنش درختان تصادفی باشد برآورد تراکم نااریب و اگر الگوی پراکنش کپه‌ای باشد، برآورد تراکم اریبی خواهد داشت. حیدری و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند که در حالت پراکنش کپه‌ای برآورد تراکم در روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در بیشتر روابط کمتر از مقدار واقعی است و مقدار برآورد تراکم از الگوی پراکنش کپه‌ای به تصادفی و یکنواخت افزایش می‌یابد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که الگوی تصادفی و یکنواخت در منطقه مورد مطالعه می‌تواند دلیل افزایش مقدار برآوردها نیز باشد. از این رو به‌منظور اظهار نظر دقیق‌تر در این زمینه، بررسی الگوی پراکنش درختان برای درک بهتر موضوع احساس می‌شد. بنابر نتیجه تعیین الگوی پراکنش درختان با استفاده از شاخص‌های جانسون-زایمر و هاپکینز، الگوی تصادفی درختان در منطقه تأیید شد (جدول ۴).

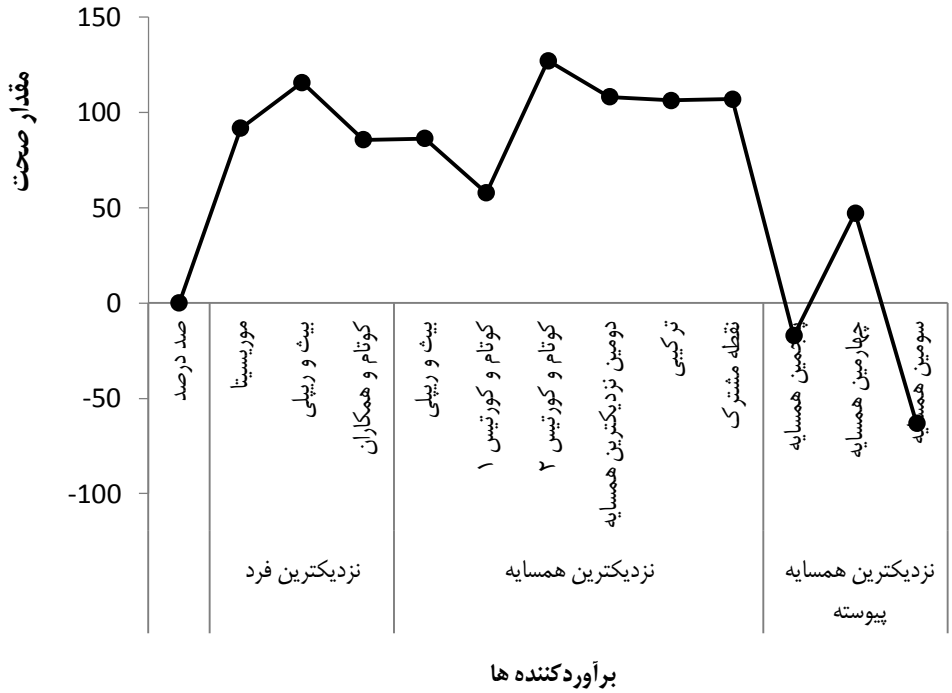
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

کیانی و همکاران (۱۶) از این شاخص‌ها به‌منظور تعیین الگوی پراکنش تاغ در یزد استفاده کردند و نتایج حاصل از آنها را قابل قبول توصیف کردند. عرفانی‌فرد و همکاران (۱۰) نیز نخستین گام در کسب آگاهی در مدیریت جنگل را شناسایی ویژگی‌های زیست‌شناختی و بوم‌شناختی درختان در یک توده و شناخت الگوی مکانی درختان معرفی کردند. بنابراین به استناد این تحقیقات می‌توان گفت این روش‌های در مطالعه حاضر مناسب عمل کردند. صفری و همکاران (۲۴) نیز روش‌های فاصله‌ای را برای بررسی الگوی پراکنش مکانی گونه بلوط اوری در جنگل ارسباران استفاده کرده و ضمن تأیید کارایی مناسب این شاخص‌ها، پراکنش گونه بلوط اوری در این منطقه را بر اساس شاخص هاپکینز، کپه‌ای و شاخص‌های ابرهارت و جانسون–زایمر، یکنواخت گزارش کردند.

جدول ۴– الگوی مکانی درختان با استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای در منطقه مورد بررسی

Table 4. Spatial distribution pattern of trees using distance indicators in the study area

شاخص	مقدار	الگوی مکانی بر اساس شاخص	ضریب آزمون شاخص	آزمون آماری	الگوی مکانی بر اساس آزمون آماری
جانسون–زایمر	۱/۶۷	یکنواخت	−۱/۲۸	معنی‌دار	تصادفی
هاپکینز	۰/۴۵	تصادفی	۰/۹۱۴	غیر معنی‌دار	تصادفی



شکل ۴– صحت حاصل از مقایسه شاخص‌های برآوردکننده مختلف با مقدار تراکم حاصل از آماربرداری صد درصد

Figure 4. Accuracy of comparing different estimator criteria and the density of 100% inventory

در روش‌های مبتنی بر قطعه نمونه با مساحت ثابت برای نقاط پر تراکم تعداد زیادی درخت در قطعه نمونه قرار می‌گیرند و بالعکس در نقاط کم تراکم تعداد کافی درخت اندازه‌گیری نمی‌شود. این موضوع انگیزه اصلی برای آزمون روش‌های بدون قطعه نمونه ایجاد می‌کند که تابعی از تراکم توده است (۲). بنابراین از مزایای این روش‌ها پرهیز از قطعه نمونه‌های مملو از درخت مانند آنچه در منطقه مورد مطالعه حاضر با آن مواجه بودیم است زیرا تعداد مشخصی درخت اندازه‌گیری می‌شوند.

یکی از مهم‌ترین مزایای روش‌های بدون قطعه نمونه یا فاصله‌ای نحوه اجرای آن بیان شده است که مبنای انتخاب و اندازه‌گیری فاصله تنه هر درخت تا درخت دیگر است (۲). این روش در توده‌های متراکم مورد مطالعه نیز مشکل انبوهی تاج و تداخل آنها را تسهیل کرده بود بنابراین روش فاصله‌ای که هم تعداد مشخص درخت و نیز فاصله تنه درختان معیار اندازه‌گیری‌ها است در چنین توده‌هایی مناسب‌تر خواهد بود، به‌شرط اینکه قبلاً برآوردکننده مناسب تعیین شود. موصلو و عرفانی‌فرد (۲۱) نیز بر این موضوع تأکید کردند که روش فاصله‌ای اگر با برآوردکننده‌های مناسب عرضه شوند بر کارایی این روش‌ها تأثیر مستقیمی خواهند داشت به‌طوری که روشی انعطاف‌پذیر در شرایط مختلف و شناسایی الگوهای مختلف پراکنش معرفی شده‌اند چرا که در روش نزدیک‌ترین همسایه قطعاً قطعه نمونه خالی یا بسیار متراکم وجود نخواهد داشت.

اخوان و حسنی (۲) بیان کردند که در روش فاصله‌ای قرار گرفتن نقاط تصادفی در بین درختان خیلی کم قطر و زادآوری

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

متراکم می‌تواند منجر به عدم کارآیی این روش در برآورد دقیق باشد زیرا در این صورت تعداد درختان کم قطر غالب خواهد بود و از طرف دیگر درختان شاخه‌زاد که بر اساس قواعد اندازه‌گیری، هر شاخه به‌عنوان یک پایه درخت است تعداد همسایه عملاً با اندازه‌گیری تعداد کمی از درختان پایان می‌یابد. این مشکل در منطقه مورد مطالعه حاضر نیز که دارای درختان جوان، شاخه‌زاد و زادآوری متراکم بود ایجاد شد. بنابراین می‌توان اذعان کرد که یکی از علل عدم نتیجه مطلوب برخی برآوردکننده‌های این روش در منطقه ممکن است همین موضوع باشد بنابراین این روش برای توده‌های جوان با پایه‌های دارای قطر کم و توده شاخه‌زاد پیشنهاد نمی‌شود. بنابراین به‌دلیل نتیجه مطلوب روش فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایه پیوسته نسبت به سایر برآوردکننده‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر و همچنین راحتی اجرای روش در توده‌های متراکم از نظر اندازه‌گیری تعداد درختان، پیشنهاد می‌شود که این روش برای بررسی صحت برآورد سایر مشخصه‌های جنگل و همچنین رسیدن به تعداد بهینه درخت همسایه نیز می‌تواند الگوی تحقیقات آینده باشد.

براساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که روش نمونه‌برداری فاصله‌ای پیوسته برای توده‌های دانه و شاخه‌زاد و توده‌های مسن با پایه‌های قطور در جنگل ارسباران پیشنهاد می‌شود به‌ویژه در مواردی که تخمینی از تراکم توده مدنظر باشد این روش قابلیت اجرا دارد. بنابر نظر برخی پژوهشگران به‌صرف استفاده از یک روش در یک محل نمی‌توان به‌طور قطع درباره استفاده یا عدم استفاده از آن نظر قطعی داد از این رو پیشنهاد می‌شود که کارآیی آن برای سایر توده‌های جنگلی و سایر مشخصه‌ها همچون سطح مقطع و تاج پوشش نیز ارزیابی شود.

منابع

1. Abedi, R., A. Bonyad and A. Shahbahrami. 2017. Forest density classification using IRS satellite image and non-parametric KNN method. Journal of Forest and Wood Products, 69(4): 667-677 (In Persian).
2. Akhavan, R. and M. Hassani, 2018. Efficiency of C-NN distance sampling method in comparison to sampling with fixed area plot for estimation of forest stem basal area in Kheyroud forests of northern Iran. Iranian Journal of Forest, 10(1): 111-122 (In Persian).
3. Askari, Y., M. Zobeiri, H. Sohrabi, and M. Heydari. 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).
4. Basiri, R., M. Moradi, B. Kiani and M.M. Babaarabi. 2018. Evaluation of distance methods for estimating population density in *Populus euphratica* Olivier natural stands (case study: Maroon riparian forests, Iran). Journal of Forest Science, 64(5): 230–244.
5. Byth, K. and B.D. Ripley. 1980. On sampling spatial patterns by distance methods. Biometrics, 36: 279-284.
6. Cottam, G. and J.T. Courtis. 1956. Some sampling characteristic of a series of aggregated population. Ecology, 38(4): 610-622.
7. Cottam, G., J.T. Curtis and B. Wild Hale. 1953. Some sampling characteristics of a population of randomly dispersed individuals, Ecology, 34(4): 741-757.
8. Diggle, P.J. 1975. Robust density estimation using distance methods. Biometrika, 62: 39-48.
9. Engerman, R.M., R.T. Sugihara, L.F. Pank and W.E. Dusenberry. 1994. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation. Ecology, 75(6): 1769-1779.
10. Erfanifard, Y., F. Mahdian, R. Fallah Shamsi and K. Bordbar. 2012. The efficiency of distance- and density-based indices in estimating the spatial pattern of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars province, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(3): 379-392 (In Persian).
11. Fallah, A., M. Zobeiri, A.R. Sisakht and H. Naghavi. 2012. Investigation on Four Sampling Methods for Canopy Cover Estimation in Zagros Oak Forests (Case study: Mehrian Forests of Yasuj City), Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(2): 194-203 (In Persian).
12. Hassanzad Navroodi, I., H. Ahmadzadeh and A.E. Bonyad. 2019. A Study on the Accuracy and Precision of Estimation of the Number, Basal Area and Standing Trees Volume per Hectare Using of some Sampling Methods in Forests of Nav Asalem. Ecology of Iranian forest, 7(13): 1-10 (In Persian).
13. Heydari, R.H., M. Zobeiri, M. Namiranian, H. Sobhani and A. Safari. 2011. Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagross forests. Iranian Journal of Forest, 2(4): 323-330 (In Persian).
14. Haidari, R.H., M. Gholami and S.M. Masomei. 2016. Study of Distance Sampling Methods Accuracy to Estimation of Mediterranean Stinkbush Species (*Anagyris Foetida* L.) Density (Case Study: Forests of Kasakaran, Gilanegharb). Ecology of Iranian forest, 4(7): 26-34 (In Persian).
15. Karamshahi, A., M. Zobeiri, M. Namiranian and J. Feghhi. 2012. 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): 453-465 (In Persian).
16. Kiani, B., A. Fallah, M. Tabari, S.M. Hosseini and M.H. Iran-Nejad Parizi. 2013. Comparing Distance-based and Quadrate-based Methods to Identify Spatial Pattern of *Saxaul Haloxylon*

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

ammodenderon C.A.Mey (Siah-Kooh Region, Yazd Province). Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 65(4): 475-486 (In Persian).
17. Lee, D. and J. Choi. 2019. Evaluating maximum stand density and size–density relationships based on the Competition Density Rule in Korean pines and Japanese larch, Forest Ecology and Management, 446: 204-213.
18. Magnussen, S. 2014. Robust fixed-count density estimation with virtual plots. Canadian Journal of Forest Research, 44: 377–382.
19. Morisita, M. 1957. A new method for the estimation of density by the spacing method applicable to none randomly distributed populations. Physiological Ecology, 7(2): 134-144.
20. McRoberts, R.E. 2012. Estimating forest attribute parameters for small areas using nearest neighbors techniques. Forest Ecology and Management, 272: 3–12.
21. Moselou, M. and S.Y. Erfanifard. 2016. Comparing different k-NN sampling methods for density estimation of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) with clustered spatial pattern in a Zagros open stand. Journal of Forest and Poplar Research, 23(4): 626-636 (In Persian).
22. Netto, S., A.L. Pelissari, V.C. Cysneiros, M. Bonazza and C.R. Sanquetta. 2017. Sampling procedures for inventory of commercial volume tree species in amazon forest. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 89(3): 1829-1840.
23. R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.
24. Safari, M., K. Sefidi, A. Alijanpour, and M.R. Elahian. 2020. Efficiency evaluation of the plotless method methods for estimating the spatial structure of Persian oak (*Quercus macranthera*) stands in Arasbaran forests. Journal of Forest Research and Development, 5(4): 599-612 (In Persian).
25. Steinke I. and K.J. Hennenberg. 2006. On the power of plotless density estimators for statistical comparisons of plant populations. Canadian Journal of Botany, 84(3): 421-432.
26. Southwood, T.R.E. and P.A. Henderson. 2000. Ecological Methods. Blackwell science, 575 pp.
27. White, N.A., R.M, Engeman, R.T. Sugihara and H.W. Krupa. 2008. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation on totally enumerated field data sets. BMC Ecology, 8(6): 1-11.
28. Zare, L., S.Y. Erfanifard, M. Taghvaei and N. Kariminejad. 2016. Efficiency of distance sampling methods in estimation of biometric characteristics of wild pistachio (*Pistachio atlantica* subsp. *mutica*) open stands in Zagros. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 23(3): 1512-1537 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]

Estimation of Density using Plotless Density Estimator Criteria in Arasbaran Forest

Roya Abedi[1] and Raheleh Ostad Hashemi[2]

1- Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Iran (Corresponding author: royaabedi@tabrizu.ac.ir)
2- Assistant Professor, Forest and rangelands Research Department, East Azarbaijn Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
Received: December 17, 2019 Accepted: May 27, 2020

Abstract

Sampling methods have a theoretical basis and should be operational in different forests; therefore selecting an appropriate sampling method is effective for accurate estimation of forest characteristics. The purpose of this study was to estimate the stand density (number per hectare) in Arasbaran forest using a variety of the plotless density estimators of the nearest neighbors sampling method includes the Closest Individual, the Nearest Neighbor, the Second Nearest Neighbor, the Compound, the Shared Point and the Continues Nearest Neighbor due to introducing the most suitable estimator for forests. For this purpose, all number of trees was counted per hectare (as control). Then, distances between random sampling points and five closest nearest neighboring trees were measured in a systematic randomized network. The density estimators were calculated in each method. The calculated value of the actual density was compared to estimators' values by the one sample t-test ($p< 0.05$) method in the R software and based on the value of accuracy criterion. Finally, the tree spatial distribution pattern was calculated by Johnson-Zimmer and Hopkins indices. The results showed that the difference between all estimators value was significant ($p\leq 0.05$) compared to the actual density (339.5 $N.ha^{1}$), except the Morisita and Cottam estimators in Closest Individual method, Byth and Ripley and Cottam & Curtis 1 estimators in Nearest Neighbor method and 4^{th} and 5^{th} neighbors estimators in Continuous Nearest Neighbor method. The results of the spatial distribution pattern showed the random distribution of trees in the study area. The performance evaluation of these estimators for other quantitative characteristics is recommended in the Arasbaran forest stands.

Keywords: Estimator, Forest inventory, Nearest neighbor sampling

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.16.16.1]
[DOI: 10.52547/ifej.8.16.39]