Archive of SID

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵
http://jwfst.gau.ac.ir

کارایی روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی توده‌های تنک بنه (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*) در زاگرس

لعیا زارع[۱]، *سید یوسف عرفانی‌فرد[۲]، منصور تقوایی[۳] و نرگس کریمی‌نژاد[۴]

[۱]کارشناسی‌ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران،
[۲]دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران،
[۳]دانشیار، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران،
[۴]کارشناسی ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۰/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۱/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای مجموعه‌ای از روش‌های پرکاربرد در برآورد ویژگی‌های کمی جنگل به‌شمار می‌روند، اگرچه هر کدام از این روش‌ها و برآوردکننده‌های مربوط به آن‌ها با توجه به عوامل مختلف (مانند شرایط محیطی، تراکم توده و توزیع درختان) از کارایی متفاوتی برخوردار هستند. بنابراین با توجه به اهمیت روش‌های فاصله‌ای و جایگاه آن‌ها در برآورد ویژگی‌های کمی با صرف هزینه و زمان اندک، آگاهی از نحوه عملکرد این روش‌ها در جنگل‌های تنک ضروری به‌نظر می‌رسد. این مطالعه با هدف بررسی کارایی ۱۲ روش نمونه‌برداری فاصله‌ای مهم در جمع‌آوری ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه (تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش) در توده‌های تنک زاگرس انجام شد. این مطالعه روش‌های فاصله‌ای را در دو گروه تک و چندفاصله‌ای بررسی می‌نماید. همچنین شناسایی برآوردکننده مطلوب در هر روش نیز از اهداف این پژوهش قرار گرفت و کارایی این روش‌ها در شرایط یکسان مورد مقایسه شد.

مواد و روش‌ها: یک توده از درختان بنه با تراکم بسیار کم (۱۹/٤٤ پایه در هکتار) در جنگل تحقیقاتی بنه فیروز آباد استان فارس انتخاب شد. با استفاده از یک شبکه ۱۰۰×۱۰۰ متر، ٤٦ نقطه نمونه‌برداری

*مسئول مکاتبه: erfanifard@shirazu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

در داخل محدوده مورد مطالعه قرار گرفت. شش روش نمونه‌برداری تک‌فاصله‌ای و شش روش نمونه‌برداری چندفاصله‌ای برای برآورد ویژگی‌های مورد بررسی به‌کار رفتند. دقت نتایج حاصل از این روش‌ها با استفاده از مجذور میانگین مربعات خطا و صحت آن‌ها توسط معیار صحت و مقایسه میانگین‌ها با مقدار واقعی با استفاده از آزمون t تک‌نمونه‌ای ارزیابی گردید.

یافته‌ها: با استفاده از دو معیار صحت و دقت، برآوردکننده‌های مناسب در روش‌های تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد (کوتام و همکاران)، نزدیک‌ترین همسایه (کوتام و کورتیس) و مربع تی (بایت) و روش‌های چند فاصله‌ای مربعی با نقطه مرکزی (کوتام و کورتیس) شناسایی شدند. برای برآورد تراکم و درصد تاج پوشش، دو روش تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد (با برآوردکننده کوتام و همکاران) و نزدیکترین همسایه (با برآوردکننده کوتام و کورتیس) بهترین کارایی را داشتند. از میان روش‌های چند فاصله‌ای روش بایت و راپیلی (معیار صحت ۳/۷ درصد و $p<۰/۰۵$) برای برآورد تراکم و روش‌های ترکیبی (معیار صحت ۲/۳۶ درصد و $p<۰/۰۵$) و نقطه مشترک (معیار صحت ۲/۳۶ درصد و $p<۰/۰۵$) برای اندازه‌گیری درصد تاج پوشش مناسب بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، دو روش تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه برای برآورد صحیح و دقیق ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه در توده تنک مورد مطالعه از کارایی لازم برخوردار بودند. در مطالعات آتی می‌توان به تأثیر اندازه شبکه نمونه‌برداری و نحوه توزیع درختان بر کارایی روش‌های فاصله‌ای پرداخت.

واژه‌های کلیدی: توده تنک، روش‌های فاصله‌ای، زاگرس، کارایی، ویژگی‌های زیست‌سنجی

مقدمه

آگاهی از تراکم پوشش گیاهی و همچنین درصد تاج پوشش آن‌ها در جنگل، به‌ویژه در رویشگاه‌های خشک و نیمه‌خشک مانند زاگرس، از اهمیت زیادی برخوردار بوده و دسترسی به روش‌های کارآمد در جمع‌آوری داده‌های مذکور در مدیریت این رویشگاه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. مطالعات قبلی نشان داده که تراکم اندک درختان و همچنین الگوی مکانی آن‌ها در رویشگاه‌های تنک مانند مناطقی با ساختار مشابه رویشگاه زاگرس بر کارایی روش‌های آماربرداری مورد استفاده تأثیرگذار است (۱۰، ۱۹، ۲۳). در این راستا، آگاهی از روش‌های آماربرداری قابل اطمینان در جمع‌آوری

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان به ویژه در بخش‌های کم‌تراکم رویشگاه زاگرس ضروری به‌نظر می‌رسد.

از بین دو گروه روش‌های آماربرداری قطعه‌نمونه‌ای و فاصله‌ای، روش‌های فاصله‌ای به‌منظور برآورد سریع ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان در مناطق کم تراکم کاربرد بیشتری دارد. از آنجایی که به‌طور تئوری نمونه‌برداری فاصله‌ای بدون خطای قرار گرفتن درختان در مرز قطعه نمونه است، بنابراین صحت برآوردها را افزایش می‌دهد (۱۸، ۲۱، ۲۲). به‌طور کلی، روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای را با توجه به تعداد فاصله موردنیاز می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد: روش‌های تک‌فاصله‌ای و روش‌های چندفاصله‌ای (۳، ۲۰). اگرچه تاکنون در برخی مطالعات از روش‌های تک‌فاصله‌ای (۱۵، ۲۲، ۲۷، ۳۰) و روش‌های چندفاصله‌ای (۲، ۱٤، ۱۷، ۱۹، ۲۲) به‌طور جداگانه استفاده شده است؛ بررسی مقایسه‌ای این روش‌ها در شرایط یکسان، امکان ارزیابی کارایی آن‌ها و همچنین تعیین صحت و دقت اطلاعاتی که در مورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان در یک توده تنک ارائه می‌کنند را فراهم می‌سازد به‌ویژه این‌که باکوس (۲۰۰۷) بیان کرده که روش‌های تک‌فاصله‌ای و چندفاصله‌ای به‌دلیل تفاوت در نحوه برداشت اطلاعات با یکدیگر متفاوت هستند (۳).

علاوه‌بر روش نمونه‌برداری، مسئله دیگری که همیشه مورد توجه پژوهشگران بوده، انتخاب برآوردکننده مناسب در هر روش است (۲۰). در این زمینه نیز مطالعات مختلفی انجام شده که در آن‌ها، هر یک از این برآوردکننده‌ها به‌صورت موردی و محدود در توده‌های انبوه و نیمه‌انبوه رویشگاه زاگرس ارزیابی شده‌اند (۲، ۱۸). بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که برآوردکننده‌های مختلف روش‌های فاصله‌ای در شرایط مشابه مقایسه نشده‌اند تا امکان اظهار نظر در مورد کارایی آن‌ها فراهم گردد. بنابراین دستیابی به روش‌های فاصله‌ای کارامد و برآوردکننده‌هایی که در توده‌های تنک عملکرد قابل قبولی داشته باشند ضروری به‌نظر می‌رسد زیرا با مرور پیشینه پژوهش، مشخص شد که تاکنون اکثر مطالعات در توده‌های انبوه و نیمه‌انبوه انجام شده‌اند.

با توجه به این‌که استفاده از انواع روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای و برآوردکننده‌های مربوط به آن‌ها در اندازه‌گیری ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان در توده‌های تنک از درختان بنه در زاگرس مطالعه نشده است، بررسی مقایسه‌ای آن‌ها در شرایط یکسان به درک بهتر از نحوه عملکردشان می‌انجامد و نتایج به‌دست آمده در سایر توده‌های با شرایط مشابه نیز قابل استفاده است. بنابراین هدف این مطالعه، بررسی کارایی انواع روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش درختان بنه در یک توده تنک در رویشگاه زاگرس است. برای این منظور از دو معیار

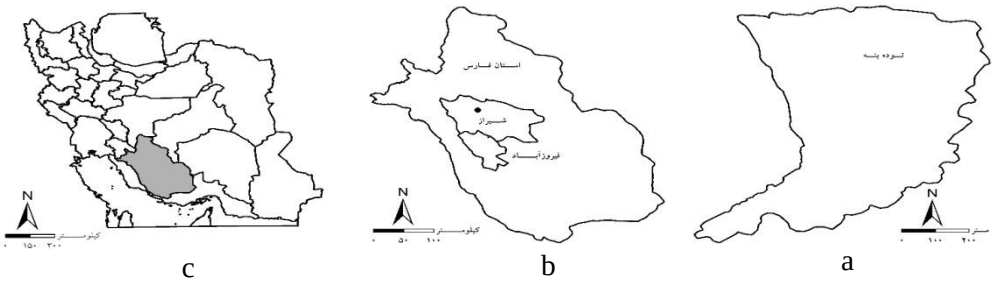
www.SID.ir

Archive of SID

صحت و دقت در ارزیابی کارایی روش‌ها استفاده گردید. در عین حال، این پژوهش روش‌های فاصله‌ای با ساختار متفاوت را در دو گروه تک و چندفاصله‌ای مورد ارزیابی قرار می‌دهد. همچنین مطالعه توانمندی برآوردکننده‌های ارائه شده در هر روش برای اندازه‌گیری ویژگی‌های اشاره شده هدف دیگر این پژوهش در نظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر در بخشی از رویشگاه تحقیقاتی بنه در استان فارس که از سال ۱۳۷۵ در غالب یک طرح جامع به‌عنوان ایستگاه تحقیقاتی بنه شناخته شده، انجام شد. موقعیت مکانی این عرصه در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ٤٠ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه تا ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد. این رویشگاه با مساحتی بالغ بر ۹۳۷٤ هکتار در جنوب غربی استان فارس و شهر شیراز و محدوده شهرستان فیروزآباد واقع شده که یک توده بنه با مساحت ٤۵ هکتار برای این مطالعه در نظر گرفته شد (شکل ۱). این رویشگاه به روش آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است (۲۸) و توده انتخاب شده دارای ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۷۰۰ متر می‌باشد. این محدوده در مطالعه قبلی (۲٤) آماربرداری صددرصد شده و ویژگی‌های زیست‌سنجی این توده بنه (تعداد در هکتار، قطر بزرگ و کوچک تاج، درصد تاج پوشش) اندازه‌گیری شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی توده بنه ٤۵ هکتاری مورد مطالعه (a) در استان فارس (b) و ایران (c).

Figure 1. Location of 45-ha wild pistachio stand studied (a) in Fars province (b) and Iran (c).

روش‌های نمونه‌برداری: بوم‌شناسان انواعی از روش‌های نمونه‌گیری بدون قاب را توسعه دادند که به کلیه آن‌ها روش‌های فاصله‌ای اطلاق می‌شود که از دو رویکرد عمومی از فواصل اندازه‌گیری شده بهره می‌گیرند: ۱- نقاط تصادفی انتخاب و فاصله نقطه از نزدیک‌ترین فرد اندازه‌گیری می‌شود. ۲- پدیده‌های تصادفی انتخاب و فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین همسایه به‌دست آورده می‌شود (۲۰). در این

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه با استفاده از روش نمونه‌برداری منظم تصادفی و انتخاب یک شبکه ۱۰۰×۱۰۰ متر با توجه مسطح بودن منطقه و تأیید کارایی این اندازه شبکه در مطالعات پیشین (۱۵، ۱۷، ۱۸)، تعداد ٤٦ نقطه در داخل محدوده مورد مطالعه انتخاب شد. با توجه به این‌که در روش‌های فاصله‌ای می‌توان از یک فاصله یا بیشتر از یک فاصله استفاده کرد، در این مطالعه ۱۲ روش فاصله‌ای در دو بخش روش‌های تک‌فاصله‌ای و روش‌های چندفاصله‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

روش‌های تک‌فاصله‌ای: روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین فرد یکی از روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای است که برای اندازه‌گیری تراکم (تعداد در واحد سطح) و تاج پوشش گیاهان به‌کار می‌رود (۱۸، ۲۰). در این روش بعد از مشخص کردن نقطه نمونه‌برداری بر روی زمین و یافتن نزدیک‌ترین درخت به آن، فاصله افقی بین مرکز آن درخت (نزدیک‌ترین درخت) تا نقطه نمونه‌برداری برای برآورد تراکم به‌کار می‌رود (شکل ۲) (۳۲). به‌منظور برآورد تعداد در هکتار از رابطه‌های جدول ۱ و برای درصد تاج پوشش درختان در این روش و سایر روش‌ها از رابطه‌های ۱ تا ۳ استفاده گردید.

رابطه ۱ $$cc_i = \frac{\pi}{4}(CD_{1i} \times CD_{2i})$$

رابطه ۲ $$\overline{cc} = \sum_{i=1}^{n} cc_i / n$$

رابطه ۳ $$cc\% = \frac{N_{ha} \times \overline{cc}}{100}$$

در رابطه‌های ۱ تا ۳، CD_{1i}: قطر بزرگ تاج درخت i (متر)، CD_{2i}: قطر کوچک تاج درخت i(متر)، $\overline{cc}$: میانگین سطح تاج یک درخت (مترمربع)، cc_i: سطح تاج درخت i (مترمربع)، cc%: درصد تاج پوشش درختان، N_{ha}: تعداد در هکتار هستند.

در روش نزدیک‌ترین همسایه در هر نقطه نمونه‌برداری پس از تعیین نزدیک‌ترین درخت به آن نقطه، نزدیک‌ترین همسایه به این درخت تعیین و فاصله بین این دو درخت اندازه‌گیری شد (شکل ۲) (۲، ١٦). سومین روش مورد بررسی، روش دومین نزدیک‌ترین همسایه است که فاصله تا دومین نزدیک‌ترین همسایه در روش قبل مبنای برآورد تعداد در هکتار است (جدول ۱). روش چهارم، روش زوج‌های تصادفی است که در این روش پس از انتخاب نزدیک‌ترین درخت به نقطه نمونه‌برداری، خطی فرضی در نقطه نمونه‌برداری عمود بر راستای نقطه نمونه‌برداری و مرکز درخت اول رسم گردید، سپس نزدیک‌ترین درختی که در سمت دیگر این خط به اولین درخت انتخابی واقع شده بود، انتخاب و فاصله درخت دوم تا درخت اول اندازه‌گیری شد (١٦). روش فاصله مرتب پنجمین روش تک‌فاصله‌ای مورد بررسی بوده که در آن پس از تشخیص نقطه نمونه‌برداری بر روی زمین؛ اولین، دومین و سومین نزدیک‌ترین درخت به نقطه نمونه‌برداری شناسایی شده و فاصله افقی تا سومین نزدیک‌ترین درخت مبنای برآورد تراکم است (جدول

www.SID.ir

Archive of SID

۱). آخرین روش تک‌فاصله‌ای، روش مربع تی بوده که در این روش فاصله بین نزدیک‌ترین درخت به نقطه نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده و از مرکز درخت انتخابی خطی فرضی عمود بر امتداد فاصله درخت تا نقطه نمونه‌برداری رسم گردید. سپس در سمت دیگر این خط فرضی، (سمت مقابل نقطه نمونه‌برداری) فاصله نزدیک‌ترین درخت به درخت اول برای برآورد تراکم در نظر گرفته می‌شود (۱۶، ۲۰).

جدول ۱- برآوردکننده‌های مورد استفاده در برآورد تعداد در هکتار در روش‌های تک‌فاصله‌ای.

Table 1. The estimators applied to estimate density in single-distance methods.

روش (method)	برآوردکننده (estimator)	منبع (reference)
نزدیک‌ترین فرد (nearest individual)	$N = \frac{n}{\pi \sum r_{pi}^{2}}$	7
	$N = 1/(4\,[\sum_{i=1}^{n} = r_{pi}/n]^{2})$	11
	$N = \frac{n-1}{\pi \sum (r_{pi}^{2})}$	26
	$N = m/(\pi\,[\sum_{i=1}^{m} r_{pi}^{2} + (n-m)R^{2}])$	4
	$N = -\,log_{e}[(n-m/n)]/\pi R^{2}$	25
نزدیک‌ترین همسایه (nearest neighbour)	$N = \frac{n}{\pi \sum (r_{pi}^{2})}$	7
	$N = 1/\frac{2}{0.88[\sum r_{ni}/ni]^{2}}$	12
دومین نزدیک‌ترین همسایه (second-nearest neighbour)	$N = \frac{1}{2.88[\bar{r}_{m}]^{2}}$	12
زوج‌های تصادفی (random pairs)	$N = \frac{1}{(0.8 \times \bar{r}_{n})}$	20
فاصله مرتب (ordered distance)	$N = \frac{3n-1}{\pi \sum (x_{j}^{2})}$	20
مربع تی (T-square)	$N = \frac{2n}{\pi \sum (r_{ni}^{2})}$	20
	$N = \frac{n^{2}}{2 \sum (r_{pi}) \sqrt{2 \sum r_{ni}}}$	8

N: تعداد در هکتار جمعیت در واحد سطح، n: تعداد نمونه یا نقاط نمونه‌برداری، r_{pi}: فاصله هر درخت تا نقطه نمونه‌برداری، m: تعداد فاصله‌های اندازه‌گیری شده بین نقاط نمونه‌برداری و نزدیک‌ترین درخت به آن‌ها، R: حداکثر فاصله تعیین شده بین نقاط نمونه‌برداری و نزدیک‌ترین درخت به آن، r_{ni}: فاصله بین درخت و نزدیک‌ترین همسایه آن، $\bar{r}_{m}$: متوسط فاصله بین درخت دوم و نزدیک‌ترین همسایه آن، $\bar{r}_{n}$: فاصله متوسط بین درخت اول و دوم، x_{j}: سومین نزدیک‌ترین درخت به نقطه نمونه‌برداری.

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های چندفاصله‌ای: نخستین روش مورد بررسی، روش ترکیبی است که مرکب از دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه می‌باشد (شکل ۲). در این روش هم فاصله بین نزدیک‌ترین فرد و هم فاصله بین نزدیک‌ترین همسایه اندازه‌گیری می‌شود (۲۰، ۲۲). دومین روش مورد مطالعه به نام روش بایت و رایپلی شهرت دارد که در آن، دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه به‌صورت جداگانه اجرا می‌شوند. ابتدا تعداد ۲n نقطه نمونه‌برداری در داخل منطقه (n تعداد نقاط نمونه‌برداری در روش تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد) انتخاب شده، در نیمی از نقاط در مرحله اول روش تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد اجرا گردید. سپس در اطراف بقیه نقاط باقی‌مانده قطعات نمونه‌ای در نظر گرفته شدند که به‌طور متوسط پنج درخت را در خود جای دهد. در نهایت فاصله بین درختان انتخاب شده و نزدیک‌ترین همسایه آن‌ها اندازه‌گیری شد. روش نقطه مشترک، روش سوم مورد بررسی بود که فاصله‌های اندازه‌گیری شده برای برآورد تراکم در آن عبارتند از: الف) فاصله نقطه نمونه‌برداری تا نزدیک‌ترین درخت، ب) فاصله نزدیک‌ترین درخت به درخت انتخاب شده در مرحله «الف»، ج) فاصله نزدیک‌ترین درخت به درخت انتخاب شده در مرحله «ب» (شکل ۲). در روش مربعی با نقطه مرکزی در نقطه نمونه‌برداری دو خط عمود بر هم رسم و در هر یک از چارک‌های بدست آمده، فاصله نزدیک‌ترین درخت به نقطه نمونه‌برداری برای برآورد تراکم اندازه‌گیری گردید (۱٤، ۱۹). روش مربع سرگردان، پنجمین روش مورد ارزیابی است که مراحل اجرای آن عبارتند از: الف) انتخاب یک نقطه نمونه‌برداری، ب) مشخص کردن یک امتداد (خط جهت‌دار) تصادفی در نقطه نمونه‌برداری، ج) مشخص کردن دو بخش ٤٥ درجه در دو طرف خط جهت‌دار مرحله «ب» اندازه‌گیری فاصله نزدیک‌ترین درخت داخل ۹۰ درجه بوجود آمده تا نقطه نمونه‌برداری، د) درخت انتخاب شده در مرحله «ج» را به‌عنوان یک نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته و فاصله نزدیک‌ترین همسایه آن (که در داخل دو بخش ٤٥ درجه در امتداد مشخص شده در مرحله «ب» قرار می‌گیرد) اندازه‌گیری شد. ه) تکرار اندازه‌گیری تا وقتی که به اندازه کافی درخت برداشت گردد (حدود ۲۵ نمونه یا بیشتر). آخرین روش، روش برخورد خطی[1] است که در آن، تعداد درختان و حداکثر طول تاج آن‌ها در هر ترانسکت (با طول ۷۰ متر در این مطالعه که با روش فان وگنر (۳۱) تعیین شد) که در هر نقطه نمونه‌برداری پیاده شد، اندازه‌گیری و تراکم درختان برآورد شد (۳).

1- Line Intersect Sampling

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- برآوردکننده‌های مورد استفاده در برآورد تعداد در هکتار در روش‌های چندفاصله‌ای.

Table 2. The estimators applied to estimate density in multi-distance methods.

روش (methods)	برآوردکننده (estimator)	منبع (reference)
ترکیبی Joint	$\log N = \log d - [۰/۱۴۱۶ - ۰/۱۶۱۳ (\sum_{i=۱}^{n} r_{pi} / \sum_{i=۱}^{n} r_{ni})]$	5
بایت و رایپلی Byth and Ripley	$N_۱ = \frac{n}{\pi \sum r_{pi}^۲}$ $N_۲ = \frac{n}{\pi \sum r_{ni}^۲}$ $N = \sqrt{N_۱ N_۲}$	7
نقطه مشترک Shared point	$N = \frac{e}{۲[۱ + (۲/۴۷۳ \times \frac{P}{n})} (b^{A۱} + b^{A۲})$	6
مربعی با نقطه مرکزی Point-centered quarter	$N = \frac{۴(۴n + ۱)}{\pi \sum r_{ij}^۲}$	29
	$N = \frac{۱}{(\sum r_{pi} / n)^۲}$	12
مربع سرگردان Wandering square	$N = \frac{۱}{(\sum r_{ij} / ۴n)^۲}$	20
برخورد خطی Line Intersect	$N = \left[\frac{۱}{L}\right] \sum_{i=۱}^{k} (\frac{۱}{w_i})$	3

N: تعداد در هکتار جمعیت در واحد سطح، n: تعداد نمونه یا نقاط نمونه‌برداری، d: تعداد فاصله‌های اندازه‌گیری شده بین نقاط نمونه‌برداری و نزدیک‌ترین فرد، r_{pi}: فاصله هر درخت تا نقطه نمونه‌برداری، r_{ni}: فاصله بین درخت و نزدیک‌ترین همسایه آن، $N_۱$: تعداد در واحد سطح برای روش فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد، $N_۲$: تعداد در واحد سطح برای روش فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایه، e: اریب تعداد در هکتار توده، $b^{A۱}$ و $b^{A۲}$: دو شاخص برای e در حالت پراکنش کپه‌ای درختان، P= تعداد فاصله‌های اندازه‌گیری شده بین نقاط نمونه‌برداری و نزدیک‌ترین درخت، r_{ij}: فاصله از نقطه نمونه‌برداری i تا نزدیک‌ترین فرد در چارک j، L: طول ترانسکت، k: کل درختانی که با ترانسکت برخورد داشته‌اند، w_i: حداکثر طول تاج درختانی که با ترانسکت برخورد داشته‌اند.

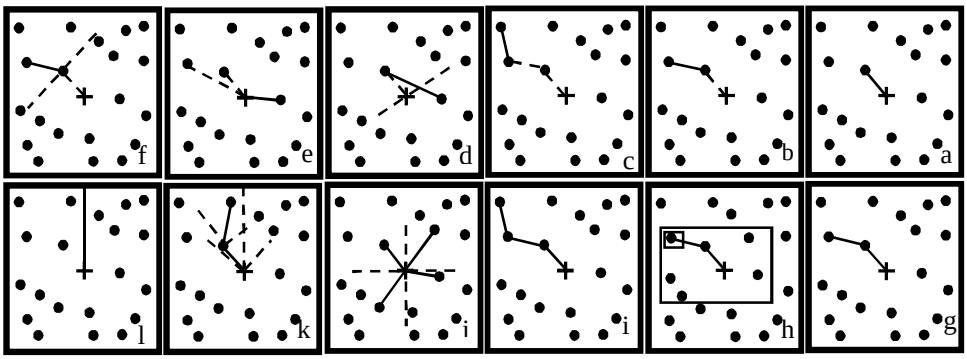
ارزیابی صحت و دقت: به‌منظور بررسی صحت ویژگی‌های زیست‌سنجی (تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش) برآورد شده با روش‌های مورد مطالعه، نتایج به‌دست آمده با استفاده از آزمون t تک‌نمونه‌ای با مقدار واقعی مقایسه شدند (۹، ۳۲). علاوه‌بر آزمون، از معیار صحت نیز برای بررسی صحت نتایج استفاده شد (رابطه ٤) (۱۵، ۱۷، ۱۸). اگر مقدار کمی معیار صحت خارج از دامنه ±۱۰ باشد، نتایج برآوردی قابل قبول نیست و دارای صحت لازم نمی‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه ٤ $$\text{معیار صحت} = \frac{\text{مقدارواقعی} - \text{مقداربرآوردی}}{\text{مقدارواقعی}} \times ۱۰۰$$

به‌منظور محاسبه دقت حاصل از هر روش فاصله‌ای و همچنین برآوردکننده‌های مورد مطالعه، از مجذور میانگین مربعات خطا[1] استفاده شد که در مطالعات قبلی نیز برای ارزیابی دقت روش‌های فاصله‌ای به کار رفته است (۱۳).



شکل ۲- روش‌های تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد (a)، نزدیک‌ترین همسایه (b)، دومین نزدیک‌ترین همسایه (c)، زوج‌های تصادفی (d)، فاصله مرتب (e) و مربع تی (f)؛ روش‌های چندفاصله‌ای ترکیبی (g)، بایت و رایپلی (h)، نقطه مشترک (i)، مربعی با نقطه مرکزی (j)، مربع سرگردان (k) و برخورد خطی (l) (شکل از نگارندگان).

Figure 2. Single-distance methods of (a) nearest individual, (b) nearest neighbour, (c) second-nearest neighbour, (d) random pairs, (e) ordered distance, and (f) T-square and multi-distance methods of (g) joint, (h) Byth and Ripley, (i) shared point, (j) point-centered quarter, (k) wandering square, and (l) line intersect (Produced by the authors).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آماربرداری صددرصد نشان داده بود که در مجموع ۸۷۵ درخت در منطقه مورد بررسی (مساحت ٤٥ هکتار) وجود داشته که در نتیجه آن تعداد در هکتار ۱۹/٤٤ بوده است. همچنین میانگین (± اشتباه معیار) مساحت تاج درختان بنه ۲٦/۷۷ (± ۰/۹۳) مترمربع بوده و درصد تاج پوشش برابر با ۵/۰۸ درصد به‌دست آمده است. نتایج حاصل از آماربرداری صددرصد نشان داد که توده مورد بررسی بسیار تنک بوده که این موضوع بر کارایی روش‌های نمونه‌برداری تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد (۹، ۲۰، ۲۳). ارزیابی کارایی روش‌های تک و چندفاصله‌ای در یک توده تنک بنه از اهداف این

1- Root Mean Square Error: RMSE

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهش بوده که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در مطالعات قبلی کارایی روش‌های تک و چندفاصله‌ای در توده‌های نیمه‌انبوه بلوط جنگل‌های زاگرس انجام شده به نحوی که حیدری و همکاران (۱۳۸٦، ۱۳۸۹) در توده خالص بلوط در زاگرس و عسکری و همکاران (۱۳۹۲) در توده آمیخته بلوط در زاگرس روش‌های مناسب فاصله‌ای را معرفی کرده‌اند (جدول ۳) (۲، ۱۵، ۱۸). همچنین پژوهش‌های پیشین نشان داد که با تغییر تراکم منطقه مورد بررسی، کارایی روش‌های فاصله‌ای متفاوت بوده است (۱، ۲۷، ۳۰). از آنجایی که کارایی روش‌های مذکور به شدت تحت تأثیر تراکم هستند (۹، ۲۱)، در این پژوهش یک توده تنک بنه با تراکم بسیار کمتر از مطالعات گذشته (۱۹/٤٤ پایه در هکتار) انتخاب شد تا نتایج به‌دست آمده، دستاوردی تازه برای پژوهشگران به‌همراه داشته باشد.

جدول ۳- پژوهش‌های انجام شده برای ارزیابی کارایی انواع روش‌های فاصله‌ای در توده‌های انبوه و نیمه‌انبوه.

Table 3. Previous studies to evaluate the efficiency of different distance methods in dense and semi-dense forests.

تعداد در هکتار (density)	منطقه مورد مطالعه (study area)	منبع (reference)	تعداد در هکتار (density)	منطقه مورد مطالعه (study area)	منبع (reference)
193.8	توده خالص بلوط (pure oak stand)	18	193.8	توده خالص بلوط (pure oak stand)	15
150.3	توده آمیخته بلوط (mixed oak stand)	2	516	قیچ (Zygophyllum)	30
341.7	بادام (almond)	1	3800	بوته‌زار (bushland)	27
800	مانگرو (mangrove)	19	272.9	تاغ (saxaul)	22

مقایسه عملکرد برآوردکننده‌های مختلف هر کدام از روش‌های تک‌فاصله‌ای نشان داد که روش نزدیک‌ترین فرد با برآوردکننده کوتام و همکاران (۱۹۵۳)؛ نزدیک‌ترین همسایه با برآوردکننده کوتام و کورتیس (۱۹۵٦)؛ مربع تی با برآوردکننده بایت (۱۹۸۲) و روش چندفاصله‌ای مربعی با نقطه مرکزی با برآوردکننده کوتام و کورتیس تراکم را دقیق‌تر و صحیح‌تر برآورد کردند (جدول ٤). مانند نتایج این مطالعه در توده تنک بنه، عسکری و همکاران (۱۳۹۲) نیز صحت برآوردکننده کوتام و کورتیس در روش نزدیک‌ترین همسایه را در توده‌های نیمه‌متراکم زاگرس تأیید نمودند (۲). همچنین حیدری و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۱۳۸٦) نشان دادند که برآوردکننده بایت در روش مربع تی در توده‌های نیمه‌متراکم زاگرس نیز نتایج خوبی داشته است (۱۵) که کارایی این برآوردکننده در توده تنک بنه پژوهش حاضر نیز تأیید شد. این مقایسات قابلیت برآوردکننده‌های مذکور در دو روش نزدیک‌ترین همسایه و مربع تی را هم در توده‌های نیمه‌متراکم و هم تنک در جنگل‌های زاگرس نشان می‌دهد. از طرف دیگر، حیدری و همکاران (۱۳۸۹) بیان کردند که برآوردکننده‌های موریسیتا و باچلر و بل برای روش نزدیک‌ترین فرد در توده‌های نیمه‌متراکم بهتر عمل می‌کنند (۱۸)، در حالی‌که نتایج این مطالعه نشان داد برآوردکننده کوتام و همکاران در توده تنک بنه صحیح‌ترین نتیجه را داشته است. لازم به ذکر است که عسکری و همکاران (۱۳۹۲) نیز عملکرد این برآوردکننده را در توده نیمه‌متراکم بلوط در جنگل‌های زاگرس تأیید نکردند (۲).

جدول ٤- نتایج کارایی برآوردکننده‌های روش‌های تک و چندفاصله‌ای برای برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش.

Table 4. Efficiency results of estimators of single- and multi-distance methods to estimate density and canopy closure.

RMSE	معیار صحت (accuracy)	درصد تاج پوشش (canopy closure)	RMSE	معیار صحت (accuracy)	تعداد در هکتار (density)	منبع (reference)	روش (method)
							روش‌های تک‌فاصله‌ای (single-distance methods)
0.128	12.79	5.73*	0.127	-12.70	16.97*	7	
0.019	-1.89	4.98ns	0.004	0.36	19.51ns	11	
0.041	-4.03	4.87*	0.146	-14.60	16.60*	26	نزدیک‌ترین فرد
1.218	121.78	11.27*	0.973	97.32	38.36*	4	(nearest individual)
0.289	-29.00	3.61*	0.368	36.83	12.28*	25	
0.321	-32.11	3.45*	0.291	29.06	13.79*	7	نزدیک‌ترین همسایه
0.015	-1.53	5.00ns	0.029	2.88	20.00*	12	(nearest neighbour)
0.114	-11.46	4.50*	0.112	-11.21	17.26*	8	مربع تی
2.694	269.50	18.77*	2.705	270.52	72.03*	20	(T-square)
							روش چندفاصله‌ای (multi-distance methods)
0.071	-7.11	4.72*	0.074	-7.46	17.99*	29	مربعی با نقطه مرکزی
0.064	6.57	5.41ns	0.061	6.17	20.64ns	12	(point-centered quarter)

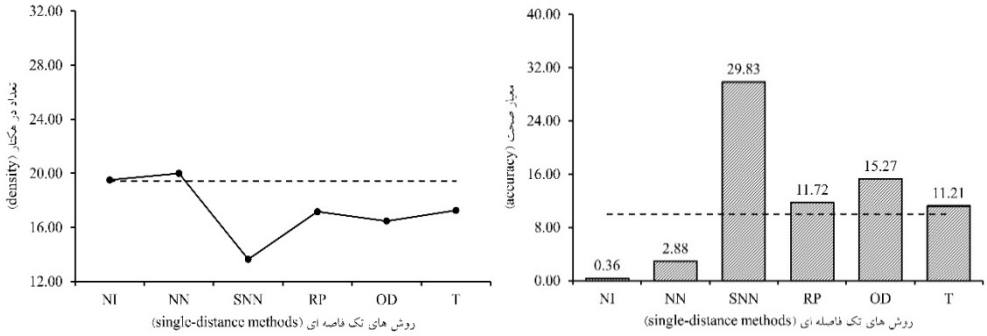
ns غیرمعنی‌دار؛ * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

ns non-significant, * significant at α=0.05

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه تعداد در هکتار برآورد شده توسط هر یک از روش‌های تک‌فاصله‌ای با مقدار واقعی نشان داد که روش‌های نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه به‌ترتیب از بیشترین صحت و دقت برخوردار بوده و مقدار برآوردی با واقعیت اختلاف معنی‌داری نداشت. در حالی‌که سایر روش‌های تک‌فاصله‌ای در توده تنک مورد بررسی عملکرد قابل قبولی نداشتند (شکل ۳، جدول ۵). اگرچه در مطالعات قبلی همه روش‌های تک‌فاصله‌ای (جدول ۱) در شرایط یکسان مقایسه نشدند، عسکری و همکاران (۱۳۹۲) نتیجه گرفتند که از بین سه روش تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه و دومین نزدیک‌ترین همسایه؛ تنها روش نزدیک‌ترین همسایه توده‌های نیمه‌انبوه بلوط (جدول ۳) نتایج قابل قبولی داشته است (۲). همچنین کیانی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که این روش‌ها در توده‌های انبوه عملکرد قابل قبولی نداشتند (۲۲). بنابراین می‌توان چنین گفت که برای برآورد تعداد در هکتار، روش نزدیک‌ترین همسایه هم در توده‌های نیمه‌انبوه و هم در توده‌های تنک عملکرد مناسبی دارد.



شکل ۳- مقایسه تعداد در هکتار برآورد شده توسط روش‌های تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد (NI)، نزدیک‌ترین همسایه (NN)، دومین نزدیک‌ترین همسایه (SNN)، زوج‌های تصادفی (RP)، فاصله مرتب (OD) و مربع تی (T) و معیار صحت آن‌ها (خط‌چین نشان‌دهنده مقدار واقعی تراکم (۱۹/٤٤ پایه در هکتار) و درصد قابل قبول معیار صحت (۱۰ درصد) می‌باشد).

Figure 3. Comparison of estimated density using single-distance methods of nearest individual (NI), nearest neighbour (NN), second-nearest neighbour (SNN), random pairs (RP), ordered distance (OD), and T-square (T) and their accuracy (Dashed lines show the true density (19.44 tree ha^{-1}) and acceptable accuracy (10%)).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- کارایی روش‌های تک‌فاصله‌ای در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش.

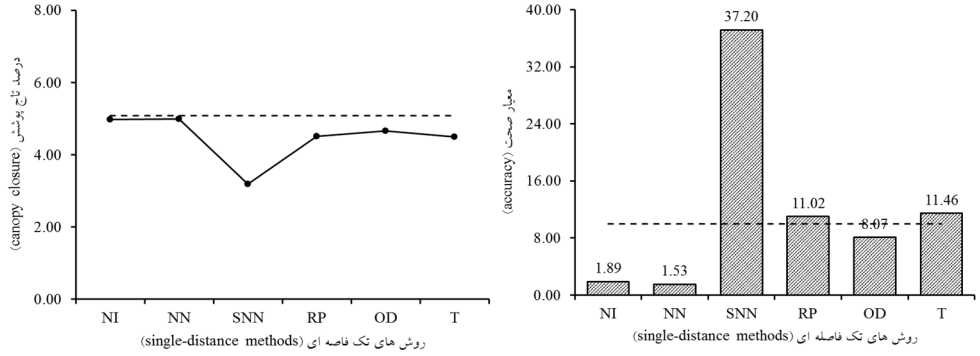
Table 5. The efficiency of single-distance methods to estimate density and canopy closure.

روش (method)	تعداد در هکتار (density)		درصد تاج پوشش (canopy closure)	
	RMSE	معنی‌داری (significance)	RMSE	معنی‌داری (significance)
نزدیک‌ترین فرد (nearest individual)	0.004	0.000^{ns}	0.019	0.000^{ns}
نزدیک‌ترین همسایه (nearest neighbour)	0.029	0.000^{ns}	0.015	0.000^{ns}
دومین نزدیک‌ترین همسایه (second-nearest neighbour)	0.298	0.084^{*}	0.372	0.087^{*}
زوج‌های تصادفی (random pairs)	0.117	0.063^{*}	0.110	0.061^{*}
فاصله مرتب (ordered distance)	0.153	0.071^{*}	0.081	0.052^{*}
مربع تی (T-square)	0.112	0.067^{*}	0.114	0.059^{*}

^{ns}غیرمعنی‌دار؛ * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

^{ns} non-significant, * significant at α=0.05

در برآورد درصد تاج پوشش نیز دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه دقیق‌ترین و صحیح‌ترین نتایج را به‌همراه داشتند (شکل ٤، جدول ۵). مطالعات قبلی نشان دادند که روش‌های تک‌فاصله‌ای دومین نزدیک‌ترین همسایه و مربع تی قادر هستند درصد تاج پوشش جنگل‌های نیمه‌انبوه بلوط را برآورد نمایند (۲، ۱۵) ولی روش نزدیک‌ترین فرد برای برآورد این ویژگی مناسب نیست (۱۵). یکی از دلایل مهم در تفاوت بین نتایج، تراکم توده‌های مورد بررسی است به نحوی که در توده تنک مورد مطالعه، روش‌های نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه قابل توصیه هستند.



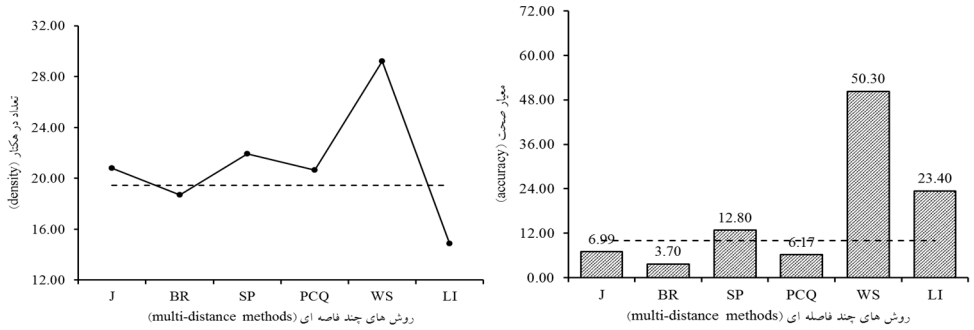
شکل ٤- مقایسه درصد تاج پوشش برآورد شده توسط روش‌های تک‌فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد (NI)، نزدیک‌ترین همسایه (NN)، دومین نزدیک‌ترین همسایه (SNN)، زوج‌های تصادفی (RP)، فاصله مرتب (OD) و مربع تی (T) و معیار صحت آن‌ها (خط‌چین نشان دهنده مقدار واقعی درصد تاج پوشش (۵/۰۸ درصد) و درصد قابل قبول معیار صحت (۱۰ درصد) می‌باشد).

Figure 4. Comparison of estimated canopy closure using single-distance methods of nearest individual (NI), nearest neighbour (NN), second-nearest neighbour (SNN), random pairs (RP), ordered distance (OD), and T-square (T) and their accuracy (Dashed lines show the true canopy closure (5.08%) and acceptable accuracy (10%)).

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد که از میان روش‌های چندفاصله‌ای مورد بررسی، تنها روش بایت و رایپلی برای برآورد تراکم درختان بنه در توده تنک مورد بررسی مناسب بوده و نتایج حاصل از سایر روش‌ها به لحاظ دقت و صحت قابل قبول نبوده است (شکل ۵، جدول ٦). در حالی‌که عارفیان و همکاران (۱۳۹۳) روش بایت و رایپلی را برای برآورد تراکم توده انبوه بادام مناسب ندانستند (۱). این موضوع کارایی روش چندفاصله‌ای بایت و رایپلی را در توده‌های تنک تایید می‌کند. اگرچه روش مربعی با نقطه مرکزی در اندازه‌گیری تراکم در بوته‌زارهای بسیار انبوه مناسب معرفی شده (۲۷) ولی در منطقه مورد مطالعه این‌طور نبود. اگرچه سعادت‌فر و همکاران (۱۳۸٦) بیان کرد که دو روش مربع سرگردان و مربعی با نقطه مرکزی برای برآورد تعداد در هکتار توده‌های انبوه قیچ قابل توصیه هستند (۳۰)، نتایج مطالعات قبلی (۱، ۲، ١٤، ۱۹) نشان داد که روش‌های چندفاصله‌ای ترکیبی، نقطه مشترک، مربعی با نقطه مرکزی و برخورد خطی برای برآورد تراکم در توده‌های نیمه‌انبوه کارامد نیستند که مطالعه حاضر نیز کارایی آن‌ها را در توده‌های تنک تأیید نکرد.



شکل ۵- مقایسه تعداد در هکتار برآورد شده توسط روش‌های چندفاصله‌ای ترکیبی (J)، بایت و رایپلی (BR)، نقطه مشترک (SP)، مربعی با نقطه مرکزی (PCQ)، مربع سرگردان (WS) و برخورد خطی (LI) و معیار صحت آن‌ها (خط‌چین نشان‌دهنده مقدار واقعی تراکم (۱۹/٤٤ پایه در هکتار) و درصد قابل قبول معیار صحت (۱۰ درصد) می‌باشد).

Figure 5. Comparison of estimated density using multi-distance methods of joint (J), Byth and Ripley (BR), shared point (SP), point-centered quarter (PCQ), wandering square (WS), and line intersect (LI) and their accuracy (Dashed lines show the true density (19.44 tree ha^{-1}) and acceptable accuracy (10%)).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- کارایی روش‌های چندفاصله‌ای در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش.

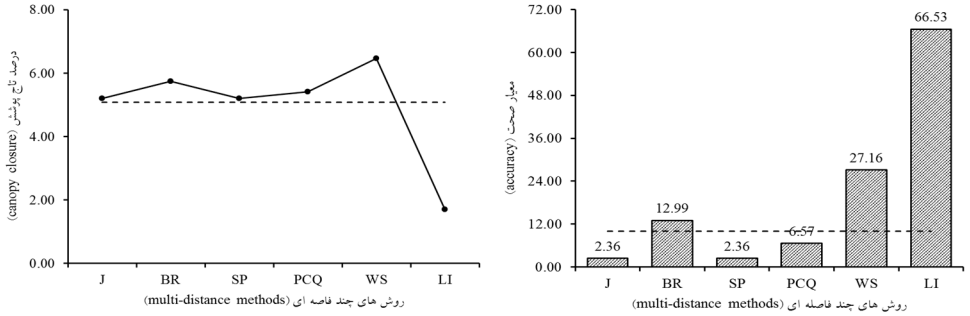
Table 6. The efficiency of multi-distance methods to estimate density and canopy closure.

روش (method)	تعداد در هکتار (density)		درصد تاج پوشش (canopy closure)	
	معنی‌داری (significance)	RMSE	معنی داری (significance)	RMSE
ترکیبی (joint)	0.058^{*}	0.069	0.000^{ns}	0.023
بایت و رایپلی (Byth and Ripley)	0.000^{ns}	0.037	0.076^{*}	0.129
نقطه مشترک (shared point)	0.071^{*}	0.128	0.000^{ns}	0.024
مربعی با نقطه مرکزی (point-centered quarter)	0.059^{*}	0.061	0.070^{*}	0.065
مربع سرگردان (wandering square)	0.102^{*}	0.503	0.087^{*}	0.272
برخورد خطی (line intersect)	0.089^{*}	0.234	0.137^{*}	0.665

^{ns}غیرمعنی‌دار؛ * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

^{ns} non-significant, * significant at α=0.05

اگرچه دو روش ترکیبی و نقطه مشترک برای برآورد تعداد در هکتار بنه در منطقه مورد مطالعه مناسب نبودند، ولی دقت و صحت این دو روش در برآورد درصد تاج پوشش توده تنک بنه تأیید شد (شکل ٦، جدول ٦). عسگری و همکاران (۱۳۹۲) و کیانی و همکاران (۲۰۱۳) نتیجه گرفتند که دو روش مذکور در برآورد درصد تاج پوشش توده انبوه و نیمه‌انبوه مناسب نیستند (۲، ۲۲) که برخلاف این نتایج، مطالعه حاضر کارایی این دو روش را در توده‌های تنک تأیید می‌کند.



شکل ٦- مقایسه درصد تاج پوشش برآورد شده توسط روش‌های چندفاصله‌ای ترکیبی (J)، بایت و رایپلی (BR)، نقطه مشترک (SP)، مربعی با نقطه مرکزی (PCQ)، مربع سرگردان (WS) و برخورد خطی (LI) و معیار صحت آن‌ها (خط‌چین نشان دهنده مقدار واقعی درصد تاج پوشش (۵/۰۸ درصد) و درصد قابل قبول معیار صحت (۱۰ درصد) می‌باشد).

Figure 6. Comparison of estimated canopy closure using multi-distance methods of joint (J), Byth and Ripley (BR), shared point (SP), point-centered quarter (PCQ), wandering square (WS), and line intersect (LI) and their accuracy (Dashed lines show the true canopy closure (5.08%) and acceptable accuracy (10%)).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش به ارزیابی مقایسه‌ای کارایی روش‌های تک‌فاصله‌ای و چندفاصله‌ای بر برآورد ویژگی‌های کمی جنگل پرداخت که با توجه به پیشینه پژوهش، به لحاظ مطالعه در یک توده تنک دستاوردهای تازه‌ای به‌همراه دارد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی در برآورد دو ویژگی مهم زیست‌سنجی (تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش) در مدیریت جنگل‌های زاگرس، روش‌های تک‌فاصله‌ای نسبت به روش‌های چندفاصله‌ای دقت و صحت بهتری داشتند. به‌طور مشخص، کارایی دو روش نزدیک‌ترین فرد (با برآوردکننده کوتام و همکاران با معیار صحت ۰/۳٦ و ۱/۸۹- و RMSE برابر با ۰/۰۰٤ و ۰/۰۱۹ در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش) و نزدیکترین همسایه (با برآوردکننده کوتام و کورتیس با معیار صحت ۲/۸۸ و ۱/۵۳- و RMSE برابر با ۰/۰۲۹ و ۰/۰۱۵ در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش) از میان روش‌های تک‌فاصله‌ای تأیید شد. اگرچه برخی از روش‌های چندفاصله‌ای در اندازه‌گیری تراکم و درصد تاج پوشش بنه‌ها عملکرد قابل قبولی داشتند ولی دقت و صحت این روش‌ها از دو روش تک‌فاصله‌ای اشاره شده کمتر بود. با توجه به تأکید بر استفاده از روش‌های تک‌فاصله‌ای در توده‌های تنک (۳، ۲۰، ۳۲) و همچنین سهولت در اجرای روش‌های مذکور (۱٦، ۱۸، ۳۰)، پیشنهاد می‌شود در توده‌هایی با تراکم مشابه این پژوهش از این دو روش استفاده شود زیرا هم برای برآورد تراکم و هم درصد تاج پوشش مناسب به‌نظر می‌رسند. در مطالعات آتی می‌توان به تأثیر نحوه توزیع درختان در توده‌های تنک بر صحت و دقت نتایج روش‌های تک‌فاصله‌ای و چندفاصله‌ای پرداخت.

سپاسگزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس به‌دلیل صدور مجوز بازدید میدانی قدردانی می‌کنند. همچنین این پژوهش با حمایت مالی معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز (کد اعتبار ۹۱GCU۲M۱۵۳۱۲٦) انجام شده است. نظرات و اصلاحات ارزشمند دو داور مقاله که منجر به رفع اشکالات آن شد نیز شایسته تشکر است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Arefian, M., Asri, Y., and Rabie, M. 2014. Comparison of different measurement methods of density for Amygdalus eburnean in Shahr-e-Babak. Iranian Journal of Plant Researches, 27: 1.72-81. (In Persian)
2. 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)
3. Bakus, J. 2007. Quantitative analysis of marine biology communities. Field biology and environment. John Wiley and Sons, Inc., USA, 400p.
4. Batcheler, C.L., and Bell, D.J. 1970. Experiments in estimating density from joint-point and nearest neighbour distances. Proceedings of the New Zealand ecological society, 17: 111-117.
5. Batcheler, C.L. 1971. Estimation of density from a sample of joint-point and nearest-neighbor distances. Ecology, 52: 4.703-709.
6. Batcheler, C.L. 1975. Development of a deer census from pellet groups. Journal of Wildlife Management, 39: 641-652.
7. Byth, K., and Ripley, B.D. 1980. On sampling spatial patterns by distance methods. Biometrics, 36: 279-84.
8. Byth, K. 1982. On robust distance-based intensity estimators. Biometrics, 38: 127-135.
9. Chirici, G.H., Winter, S., and Mcroberts, R.E. 2010. National forest inventories: contributions to forest biodiversity assessments. Springer, Germany, 206p.
10. Cipriotti, P.A., Aguiar, M.R., Wiegand, T., and Paruelo, J.M. 2012. Understanding the long-term spatial dynamics of a semiarid grass-shrub steppe through inverse parameterization for simulation models. Oikos, 121: 848-861.
11. Cottam, G., Curtis, J.T., and wild Hale, B. 1953. Some sampling characteristics of a population of randomly dispersed individuals. Ecology, 34: 4.741-757.
12. Cottam, G., and Curtis, J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology, 37: 451-460.
13. Engerman, R.M., Sugihara, R.T., Pank, L.F., and Dusenberry, W.E. 1994. A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation. Ecology, 75: 6.1769-1779.
14. Hanberry, B.B., Yang, J., Kabrick, J.M., and He, H.S. 2012. Adjusting forest density estimates for surveyor bias in historical tree surveys. American Midland Naturalist, 167: 285-306.
15. Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., and Sobhani, H. 2007. Application of T-square sampling method in Zagros forests (Case study: Kermanshah province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15: 1.32-42. (In Persian)
16. Heidari, R.H. 2008. Distance sampling methods in forest inventory. Razi University Press, Iran, 119p. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

17. Heidari, R.H., Namiranian, M., Zobeiri, M., and Sobhani, H. 2008. Sampling study of applicability of point-centered quarter method in Zagros forests. Journal of the Iranian Natural Resources, 61: 1.85-97. (In Persian)
18. Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., Sobhani, H., and Safari, A. 2011. Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagros forests. Iranian Journal of Forest, 2: 4.323-330. (In Persian)
19. Hijbeek, R., Koedam, N., Khan, M.N.I., Kairo, J.G., Schoukens, J., and Guebas, F.D. 2013. An evaluation of plotless sampling using vegetation simulations and field data from mangrove forest. PLoS ONE, 8(6): e67201.
20. Krebs, C.J. 1999. Ecological Methodology. Addison Welsey Educational Publisher Inc., USA, 581p.
21. Kangas, A., and Maltamo, M. 2006. Forest Inventory Methodology and Applications. Springer, Netherlands, 365p.
22. Kiani, B., Fallah, A., Tabari, M., Hosseini, M., and Parizi, M.I. 2013. A comparison of distance sampling methods in saxaul (*Halloxylon ammodendron*) shrub lands. Polish Journal of Ecology, 61: 2.207-219.
23. Kohl, L.M., Magnussen, S., and Marchetti, M. 2006. Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory. Springer, Germany, 388p.
24. Mahdian, F. 2011. Spatial pattern analysis of wild pistachio applying density- and distance-based indices in pure and mixed dry forests. M.Sc. Thesis, Shiraz University, Iran, 120p. (In Persian)
25. Morisita, M. 1954. Estimation of population density by spacing method. Memoirs of the Faculty of Science Kyushu University, Series E, Biology, 1: 187-197.
26. Morisita, M. 1957. A new method for the estimation of density by spacing method applicable to nonrandomly distributed populations. Physiology and Ecology, 7: 134-144.
27. Mirjalili, A., Dianati Tilaki, Gh., and Baghestani, N. 2008. Comparison of five distance methods for estimating density on Shrub Communities in Tang-Laybid Yazd. Iranian Journal of Range and Desert Research, 15: 3.295-303.
28. Owji, M.G., and Hamzepour, M. 2012. Vegetation profile of wild pistachio experimental forest. Research Institute of Forests and Rangelands Press, 240p. (In Persian)
29. Pollard, J.H. 1971. One distance estimators of density in randomly distributed forests. Biometrics, 27: 4.991-1002.
30. Saadatfar, A., Barani, H., and Mesdaghi, M. 2007. An investigation on comparison of eight distance methods of density measurement in shrublands of *Zygophyllum eurypterum* in Bardsir-Sirjan region. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 14: 1.183-192. (In Persian)
31. Van Wagner, C.E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. Forest Science, 15: 20-26.
32. Zobeiri, M. 2007. Forest biometry. University of Tehran Press, 405p. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (3), 2016
http://jwfst.gau.ac.ir

Efficiency of distance sampling methods in estimation of biometric characteristics of wild pistachio (*pistachio atlantica* subsp. *mutica*) open stands in Zagros

L. Zare[1], *S.Y. Erfanifard[2], M. Taghvai[3] and N. Kariminejad[4]
[1]M.Sc., Dept., of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, [2]Associate Prof., Dept., of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, [3]Associate Prof., Dept., Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, [4]M.Sc., Dept., of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
Received: 12/23/2015 ; Accepted: 02/16/2016

Abstract
Background and objectives: Distance sampling methods are a group of commonly-used methods in estimation of quantitative characteristics of forest, although each method and related estimators have different efficiencies due to different factors (such as environmental conditions, stand density, and distribution of trees). Therefore, it seems necessary to know how these methods operate in open forests regarding to their importance and their role in estimation of quantitative characteristics with low cost and time. The objective of this study was efficiency assessment of 12 important distance sampling methods to obtain biometric characteristics of wild pistachio trees (density and canopy closure) in Zagros open stands. This study investigated the distance methods in two single- and multi-distance groups. Moreover, it was aimed to select the appropriate estimator of each method and the efficiencies of these methods were compared in the same conditions.
Materials and methods: A wild pistachio stand with low density (19.44 trees ha-1) was selected in Bane Research Site, Firoozabad, Fars province, south western Iran. Using a 100 m × 100 m mesh, 46 sample points were located within the boundary. Six single-distance and six multi-distance sampling methods were applied to estimate the characteristics. Root mean squared error was applied to evaluate the precision and accuracy criterion and comparing the means using one-sample t-test were implemented to assess the accuracy of the results.

*Corresponding author: erfanifard@shirazu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Results: Using precision and accuracy criteria, the appropriate estimators were identified in nearest individual (Cottam et al.), nearest neighbor (Cottam and Curtis), and T-square (Byth) single-distance methods and point-centered quarter (Cottam and Curtis) multi-distance sampling method. To estimate density and canopy closure, nearest individual (Cottam et al.) and nearest neighbor (Cottam and Curtis) single-distance methods were the most efficient ones. Between multi-distance sampling methods, Byth and Ripley (accuracy of 3.70% and $p<0.05$), joint (accuracy of 2.36% and $p<0.05$) and shared point (accuracy of 2.36% and $p<0.05$) methods were suitable for density and canopy closure estimation, respectively. **Conclusion:** In general, nearest individual and nearest neighbor single-distance methods were efficient enough to estimate the biometric characteristics of wild pistachio trees in the studied open stand precisely and accurately. The effect of sampling network and distribution of trees can be investigated in future studies.

Keywords: Open stand, Distance methods, Zagros, Efficiency, Biometric characteristics

www.SID.ir