

## تأثیر الگوی پراکنش درختان بر برآورد تراکم با روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین فرد: مطالعات موردی در درختزارهای بنه زاگرس و توده‌های شبیه‌سازی شده

سید یوسف عرفانی فرد<sup>\*</sup>، نیره شیخ‌الاسلامی و لعیا زارع<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۳۰)

### چکیده

روش‌های فاصله‌ای و برآوردکننده‌های تراکم آنها ممکن است اندازه‌گیری‌های اریب داشته باشند مگر اینکه توده درختان مورد بررسی دارای الگوی مکانی تصادفی باشند. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر آرایش مکانی درختان بنه بر نتایج اندازه‌گیری تراکم به وسیله روش نزدیک‌ترین فرد در درختزارهای زاگرس و کاربرد یک ضریب تصحیح بر پایه الگوی مکانی درختان انجام شد. یک توده کپه‌ای از درختان بنه با مساحت ۴۵ هکتار در درختزارهای زاگرس انتخاب شد و دو توده تصادفی و پراکنده با تراکم و مساحت مشابه شبیه‌سازی شدند. فاصله تا نزدیک‌ترین فرد و همسایه از ۴۰ نقطه نمونه‌برداری در یک شبکه  $۱۰۰ \times ۱۰۰$  متر در هر سه توده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که روش نزدیک‌ترین فرد با برآوردکننده باچلر نتوانست تراکم را در هر سه توده به درستی محاسبه نماید. با استفاده از ضریب تصحیح برگرفته از الگوی مکانی درختان، تراکم بدون اختلاف معنی‌دار با تراکم واقعی در توده‌ها اندازه‌گیری شد. این پژوهش نشان داد که مدنظر قرار دادن آرایش مکانی درختان می‌تواند نتایج حاصل از روش نزدیک‌ترین فرد با برآوردکننده باچلر را برای اندازه‌گیری تراکم بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، باچلر، بنه، تراکم، زاگرس، نزدیک‌ترین فرد

۱. گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: erfanfard@shirazu.ac.ir

## مقدمه

تراکم درختان در واحد سطح یکی از نخستین مشاهدات در مطالعه بوم‌شناسی جوامع جنگلی و ارتباط آنها با محیط اطرافشان است. از آنجایی که این مشخصه با توجه به عوامل مختلف (مانند نوع گونه، جنسیت، سن، زمان و مکان) تغییر می‌کند، بنابراین ویژگی مناسبی در ارزیابی پویایی جوامع جنگلی و مقایسه آنها با یکدیگر محسوب می‌شود (۲۰ و ۲۷). هم‌چنین از این مشخصه در ارزیابی تغییرات ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان نیز استفاده می‌گردد (۲۱). این مشخصه در درختزارهای خشک و نیمه‌خشک مانند زاگرس از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا تغییرات آن بیانگر تغییرات سطح تاج‌پوشش بوده که در بوم‌شناسی درختزارها به عنوان عامل اصلی در حفظ و احیای این بوم‌سازگان و موجودات ساکن آن محسوب می‌شود.

بوم‌شناسان گیاهی مجموعه‌ای از روش‌های بدون قطعه نمونه (Plotless methods) را برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیست‌سنجی جوامع گیاهی ارائه کرده‌اند که به آنها روش‌های فاصله‌ای (Distance methods) گفته می‌شود. یکی از کاربردهای روش‌های فاصله‌ای اندازه‌گیری تعداد در واحد سطح درختان در جنگل است (۷، ۱۷، ۳۰ و ۳۱). یکی از روش‌های متداولی که برای این منظور در جنگل استفاده می‌شود، روش نزدیک‌ترین فرد (Nearest Individual) نام دارد (۸، ۲۰ و ۳۱). اندازه‌گیری تراکم در این روش با اندازه‌گیری فاصله بین نقطه نمونه‌برداری تا نزدیک‌ترین درخت به آن انجام می‌گیرد و نقاط نمونه‌برداری به شکل تصادفی یا منظم تصادفی در عرصه پراکنده می‌شوند (۳۰). برای برآورد تراکم درختان در جنگل و سایر پوشش‌های گیاهی، از این روش در مطالعات مختلف (۸، ۱۰، ۱۴، ۱۶ و ۲۴) استفاده شده است.

در بوم‌شناسی مکانی (Spatial Ecology) جنگل، بین نحوه پراکنش درختان یا الگوی مکانی آنها و فرایندهایی چون رویش، رقابت و یا توالی که در یک توده جنگلی رخ می‌دهد، ارتباط نزدیکی وجود دارد. درختان بر سر نور یا مواد غذایی با یکدیگر

در یک محدوده معین رقابت می‌کنند که آثار این رقابت را می‌توان در موقعیت مکانی پراکنده آنها مشاهده نمود. از طرف دیگر، درختان بنا به شرایط مساعد محیطی و یا روابط خاص بوم‌شناختی با یکدیگر، ممکن است تشکیل گروه‌هایی را دهند که آرایش کپه‌ای آنها بیانگر این وضعیت است. تأثیر رخدادهای طبیعی (مانند سیل و طوفان) و انسانی (مانند قطع درختان) نیز بر الگوی مکانی درختان با تشکیل الگوی مکانی تصادفی در یک توده نمایان می‌گردد (۱، ۱۵، ۳۵ و ۳۶). بنابراین روابط بوم‌شناختی متقابل بین درختان با محیط اطرافشان و بین درختان با یکدیگر بر نحوه قرار گرفتن آنها در عرصه جنگل تأثیر به‌سزایی دارد. این موضوع با برآورد تراکم یا تعداد در واحد سطح ارتباط نزدیکی پیدا می‌کند به نحوی که تراکم برآورد شده با استفاده از روش‌های نمونه‌برداری در دو توده مشابه به لحاظ تراکم و متفاوت به لحاظ الگوی مکانی، با یکدیگر متفاوت خواهند بود. چنانچه سه سهرابی و همکاران (۹) توصیه کردند در استفاده از روش‌های مختلف نمونه‌برداری در جنگل برای برآورد تراکم، نحوه قرار گرفتن درختان در عرصه مورد نظر نیز باید لحاظ گردد.

برآورد تراکم با استفاده از روش نزدیک‌ترین فرد با توجه به الگوی مکانی درختان در جنگل با خطا همراه است به نحوی که این روش در توده‌هایی با الگوی پراکنش به‌شدت کپه‌ای، تراکم را کمتر از آنچه هست برآورد کرده و در توده‌هایی با آرایش مکانی کاملاً پراکنده، تراکم را بیشتر از آنچه هست برآورد می‌کند (۸، ۳۱ و ۳۲). بنابراین، ضروری به‌نظر می‌رسد که با استفاده از یک ضریب مناسب، نتایج به‌دست آمده اصلاح گردند. این ضریب تصحیح باید برگرفته از الگوی مکانی درختان در توده مورد بررسی باشد تا این ویژگی درختان در محاسبه تراکم لحاظ شده و از بروز خطا در برآورد آن جلوگیری نماید.

یکی از پرکاربردترین برآوردکننده‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری تراکم با استفاده از روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین فرد، توسط باچلر (۱۸) ارائه شده است. از یک طرف، استفاده از

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) از خانواده Anacardiaceae به‌عنوان یکی از گونه‌های مهم جنگل‌های زاگرس پس از بلوط، نقش بسیار مهمی در تثبیت خاک، جلوگیری از فرسایش، تولید و برداشت میوه و تولید سقز دارد (۵، ۶). در استان فارس، جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد از سال ۱۳۷۵ در قالب یک طرح جامع به عنوان ایستگاه تحقیقاتی بنه شناخته شده و با توجه به نظارت نهادهای مسئول، از آشفستگی بوم‌شناختی کمتری نسبت به سایر رویشگاه‌ها برخوردار است (۲). این مجموعه تحقیقاتی با مساحتی بالغ بر ۹۳۷۴ هکتار در جنوب غربی استان فارس و شهر شیراز و در محدوده شهرستان فیروزآباد واقع شده است. موقعیت مکانی این عرصه در طول جغرافیائی ۳۰° ۵۲' تا ۴۰° ۵۲' شرقی و عرض جغرافیائی ۲۹° تا ۲۹° ۱۵' شمالی قرار دارد. بخشی از این جنگل تحقیقاتی با وسعت ۴۵ هکتار انتخاب گردید که از جنوب به جاده شیراز-کازرون، از شرق و غرب به اراضی کشاورزی و از شمال به کوه منتهی می‌شد. در این بخش که پیش از این پژوهش آماربرداری صددرصد شده بود، ۸۷۵ درخت بنه با میانگین تعداد در هکتار ۱۹/۴۴ وجود دارند. مطالعات پیشین نشان داده بود که درختان بنه در این محدوده دارای آرایش کپه‌ای هستند (۱۲).

به‌منظور بررسی تأثیر پراکنش درختان بنه بر کارایی روش نزدیک‌ترین فرد، با استفاده از توزیع‌های آماری مناسب، ۸۷۵ درخت بنه به دو صورت تصادفی و پراکنده نیز در محدوده مورد نظر توزیع شدند. برای این منظور از دو توزیع آماری پواسون (رابطه ۱) برای پراکنش تصادفی و دو جمله‌ای (رابطه ۲) برای پراکنش پراکنده درختان استفاده شد. در محیط نرم افزار MATLAB 8.0، پس از تعیین محدوده پراکنش، درختان با تعداد و توزیع آماری مورد نظر شبیه‌سازی شدند.

$$P(n) = e^{-\lambda} \lambda^n / n! \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad [1]$$

$$P(X=k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad n = 0, 1, \dots \quad [2]$$

این رابطه برای برآورد تعداد درختان درختان بلوط ایرانی در زاگرس تأیید شده است (۸). از طرف دیگر، بین برآوردکننده‌های مختلف روش نزدیک‌ترین فرد (موریسیتا، کوتام-کورتیس و بایت-رایپلی) که برای برآورد تعداد درختان در زاگرس نتایج قابل قبولی ارائه نکردند (۱۴)، برآوردکننده باچلر بیشتر مورد تأکید قرار گرفته هرچند یک محدودیت بزرگ در مورد همه این برآوردکننده‌ها این است که مبنای آنها توزیع تصادفی درختان در جنگل است (۲۵). لازم به ذکر است که نتایج حاصل از برآوردکننده‌های متفاوت در یک منطقه به دلایل مختلف ممکن است ازیب باشد که باید اصلاح شود. به‌نظر می‌رسد مطالعه کارایی روش نزدیک‌ترین فرد با برآوردکننده مذکور که یکی از روش‌های سریع و ساده بین روش‌های فاصله‌ای است در توده‌هایی با ساختارهای مکانی متفاوت ضروری است و در مطالعات گذشته کمتر به این موضوع پرداخته شده است.

در پژوهش‌های پیشین بر اهمیت پوشش گیاهی زاگرس و جایگاه این ناحیه رویشی از دیدگاه بوم‌شناختی و اقتصادی-اجتماعی تأکید فراوان شده است (۴، ۲۳ و ۲۸). هم‌چنین گونه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) که به عنوان دومین گونه مهم به‌صورت گسترده در سرتاسر زاگرس پراکنده شده (۵ و ۶)، تاکنون به‌جز مطالعات محدود (۱۰ و ۱۲) کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. به‌همین دلیل، این پژوهش امکان استفاده از روش نزدیک‌ترین فرد را برای برآورد تعداد درختان درختان بنه در بخشی از درختزارهای زاگرس بررسی می‌کند.

بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تأثیر نحوه پراکنش درختان بنه در زاگرس بر کارایی روش نزدیک‌ترین فرد و برآوردکننده باچلر انجام گرفت. هم‌چنین ارزیابی صحت و دقت روش و برآوردکننده مذکور با تغییر الگوی مکانی درختان یک توده، هدف دیگر این مطالعه بود. در نهایت، امکان اصلاح نتایج به‌دست آمده از این روش متناسب با تغییرات پراکنش درختان و ارزیابی روشی که برای تصحیح برآوردکننده مذکور طراحی شده است، نیز از اهداف این پژوهش قرار گرفت.

اگر یک توزیع کپه‌ای منظم (Regular Clumped) را در نظر بگیریم، فاصله هر نقطه تصادفی در این توزیع تا نزدیک‌ترین فرد به آن (r<sub>p</sub>) عموماً بیشتر از فاصله آن فرد تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش (r<sub>n</sub>) است (r<sub>p</sub> > r<sub>n</sub>)، درحالی‌که در یک الگوی پراکنده منظم (Regular Dispersed) این رابطه برعکس است (r<sub>p</sub> < r<sub>n</sub>) (شکل ۱) (۱۹، ۲۵).

پژوهشگران از همین رابطه استفاده کردند تا نشان دهند نسبت «مجموع فواصل نقاط تصادفی تا نزدیک‌ترین فرد به آنها» به «فاصله فرد تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش» همواره در پراکنش مکانی کپه‌ای متفاوت و بیشتر از پراکنش مکانی پراکنده است. از همین نسبت نیز برای تصحیح برآوردکننده باچلر می‌توان استفاده کرد. بنابراین پس از اعمال این ضریب تصحیح، رابطه ۳ به صورت رابطه ۵ در می‌آید (۱۹).

[۵]

برای بررسی دقت نتایج به‌دست آمده از برآوردکننده باچلر از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۶) استفاده شد که در مطالعه کارایی روش‌های فاصله‌ای به‌کار رفته است (۲۴). علاوه بر دقت، معیار صحت (رابطه ۷) نیز محاسبه شد تا امکان بررسی نتایج با دو معیار متفاوت فراهم گردد. معیار صحت (Accuracy) نیز در مطالعات قبلی برای بررسی نتایج حاصل از روش نزدیک‌ترین فرد به‌کار رفته است (۸).

$$RMSE = \sqrt{\frac{(\lambda_e - \lambda)^2}{\lambda^2}} \quad [6]$$

$$Accuracy = \left( \frac{\lambda_e - \lambda}{\lambda} \right) \times 100 \quad [7]$$

در این رابطه‌ها، λ<sub>e</sub> تراکم برآورد شده و λ تراکم واقعی منطقه است. برای بررسی معنی‌داری اختلاف بین تعداد در هکتار به‌دست آمده از روش نزدیک‌ترین فرد با مقدار واقعی آن در هر کدام از توده‌های مورد مطالعه، از آزمون t جفتی استفاده شد (رابطه ۸) (۳).

$$t = \frac{|\lambda_e - \lambda|}{\text{Var}(\lambda_e)} \quad [8]$$

در این رابطه‌ها، λ میانگین واقعی توزیع، P(n) احتمال مشاهده n فرد در یک محدوده معین، و k هر فرد از مجموعه کل افراد (n) است (۲۶). پس از این مرحله، سه منطقه توده بنه واقعی، توده تصادفی و توده پراکنده شبیه‌سازی شده با تعداد درخت مساوی و تراکم مشابه، برای ارزیابی روش نزدیک‌ترین فرد به‌دست آمد. اگرچه توزیع‌های آماری برای پراکنش نقاط با الگوی مکانی مورد نظر مناسب بودند، برای اطمینان بیشتر با استفاده از شاخص نزدیک‌ترین همسایه هر سه منطقه بررسی شدند. این شاخص برای هدف این بخش از پژوهش حاضر، مناسب است و سایر پژوهشگران نیز آن را برای شناسایی الگوی مکانی نقاط به‌صورت یکپارچه مورد تأیید قرار دادند (۱۲ و ۲۶).

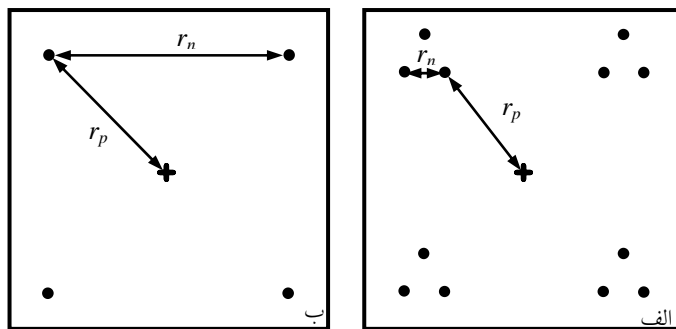
## روش کار

برای پیاده کردن روش نزدیک‌ترین فرد در هر سه منطقه، از یک شبکه منظم تصادفی با ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ متر استفاده شد و با توجه به مساحت مناطق مورد مطالعه (۴۵ هکتار در هر سه توده) و حذف نقاط حاشیه‌ای، تعداد ۴۰ نقطه نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. به‌منظور یکسان‌سازی شرایط، در هر سه منطقه یک شبکه آماربرداری مشابه به‌کار رفت. پس از اندازه‌گیری فاصله هر نقطه نمونه‌برداری تا نزدیک‌ترین درخت به آن در هر سه منطقه، تعداد در هکتار درختان با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد (۱۸).

$$\lambda = [m / \pi \left( \sum (r_{pi}^2) + (N - m)L^2 \right)] \times 10^4 \quad [3]$$

در این رابطه؛ λ تعداد در هکتار، L حداکثر فاصله‌ای که درختان از هر نقطه نمونه‌برداری قابل مشاهده بودند [در اینجا ۴۶ متر (۱۱)]، N تعداد کل نقاط نمونه‌برداری، m تعداد نقاط نمونه‌برداری که فاصله تا نزدیک‌ترین درخت به آنها کمتر از ۴۶ متر بود و r<sub>p</sub> فاصله نقطه نمونه‌برداری تا نزدیک‌ترین فرد است. پراش تعداد در هکتار برآوردکننده باچلر از رابطه ۴ محاسبه شد (۳۳).

$$\text{Var}(\lambda) = N^2 \lambda^2 / [(N - 1)(N - 2)] \quad [4]$$



شکل ۱. مقایسه فاصله نقطه نمونه برداری تا نزدیکترین فرد ( $r_p$ ) و نزدیکترین همسایه ( $r_n$ ) در یک الگوی کپه‌ای منظم (الف) و پراکنده منظم (ب) (شکل از نگارندگان).

## نتایج

به دست آمده را تأیید نکرد و مقدار مجذور میانگین مربعات خطا بیشتر از ۰/۱ بود.

تعداد در هکتار برای هر سه توده بنه، تصادفی و پراکنده با استفاده از رابطه ۵ در روش نزدیکترین فرد و اعمال ضریب تصحیح برگرفته از الگوی مکانی سه توده مورد مطالعه محاسبه گردید. نتایج آزمون  $t$  نشان داد که در هر سه توده، استفاده از ضریب تصحیح در روش نزدیکترین فرد باعث برآورد تعداد در هکتار، بدون اختلاف معنی دار با مقدار واقعی در سطح ۵ درصد شده است (جدول ۴). علاوه بر آزمون آماری، معیار صحت نیز در هر سه توده نتایج به دست آمده را تأیید کرده و مقدار مجذور میانگین مربعات خطا کمتر از ۰/۰۷ بود.

هم چنین مقایسه آماری نتایج به دست آمده از رابطه ۳ (جدول ۳) و رابطه ۵ (جدول ۴) نشان داد که تعداد در هکتار پس از تصحیح با تعداد در هکتار پیش از تصحیح در سه توده کپه‌ای ( $t=۳/۲۷ > t_{۰/۰۵} = ۲/۰۲۱$ )، تصادفی ( $t=۳/۲۷ > t_{۰/۰۵} = ۲/۰۲۱$ ) و پراکنده ( $t=۴/۳۱ > t_{۰/۰۵} = ۲/۰۲۱$ ) و پراکنده ( $t=۴/۳۱ > t_{۰/۰۵} = ۲/۰۲۱$ ) به طور معنی داری در سطح ۵ درصد با هم اختلاف دارند.

## بحث

روش نزدیکترین فرد به عنوان یکی از روش‌های فاصله‌ای مهم در برآورد تراکم شناخته شده که برای برآورد تعداد در هکتار

نتایج حاصل از کاربرد شاخص نزدیکترین همسایه در سه توده با آرایش کپه‌ای (شکل ۲-الف)، توده‌های شبیه‌سازی شده با الگوی مکانی تصادفی (شکل ۲-ب) و پراکنده (شکل ۲-ج) (جدول ۱) نشان داد که هر سه توده از الگوی مکانی مورد انتظار (کپه‌ای، تصادفی و پراکنده) با تعداد درختان (۸۷۵ درخت) و مساحت (۴۵ هکتار) مشابه برخوردار بودند. آزمون آماری  $z$  نیز نتایج به دست آمده از کاربرد شاخص نزدیکترین همسایه در هر سه منطقه را تأیید نمود (جدول ۱).

نتایج حاصل از اندازه‌گیری فاصله نقاط نمونه برداری تا نزدیکترین فرد و هم چنین فاصله نزدیکترین فرد تا نزدیکترین همسایه‌اش که در ۴۰ نقطه نمونه برداری انجام شده در جدول ۲ ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود انحراف معیار و ضریب تغییرات در هر دو فاصله در توده شبیه‌سازی شده تصادفی حداقل است.

با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده در ۴۰ نقطه نمونه برداری و رابطه ۳، تعداد در هکتار برای هر سه توده مورد مطالعه محاسبه شد. آزمون  $t$  جفتی، اختلاف معنی دار بین تعداد در هکتار واقعی (۱۹/۴۴) و تعداد در هکتار به دست آمده از رابطه ۳ در هر سه توده را در سطح ۵ درصد تأیید کرد (جدول ۳). هم چنین معیار صحت در هر سه توده، نتایج



شکل ۲. محدوده پژوهش در توده طبیعی بنه با آرایش کپه‌ای (الف)، توده شبیه‌سازی شده تصادفی (ب) و پراکنده (ج) که هر سه توده دارای تعداد درختان (۸۷۵ درخت) و مساحت (۴۵ هکتار) مشابه هستند.

جدول ۱. نتایج کاربرد شاخص نزدیک‌ترین همسایه در سه توده مورد بررسی و آزمون آماری آنها

توده	میانگین فاصله مشاهده شده (متر)	میانگین فاصله مورد انتظار (متر)	شاخص نزدیک‌ترین همسایه	آماره z	معنی داری	الگوی مکانی
بنه	۱۰/۶۹	۱۳/۴۴	۰/۷۹	-۱۲/۳۸*	۰/۰۰۱ >	کپه‌ای
تصادفی	۱۱/۳۵	۱۱/۳۴	۱/۰۰	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۹۴۲	تصادفی
پراکنده	۱۴/۲۳	۱۱/۶۸	۱/۲۲	۱۲/۰۱*	۰/۰۰۱ >	پراکنده

ns. غیر معنی‌دار - \*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری فاصله از نقاط نمونه‌برداری تا نزدیک‌ترین فرد و فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در ۴۰ نقطه نمونه‌برداری

در سه توده مورد بررسی

توده	میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین فرد (متر)	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه (متر)	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
بنه	۱۱/۵۲	۸/۰۹	۷۰/۲۲	۱۳/۰۱	۷/۰۰	۵۳/۸۰
تصادفی	۱۲/۶۵	۵/۸۹	۴۶/۵۶	۱۴/۸۷	۵/۵۷	۳۷/۴۶
پراکنده	۱۱/۱۵	۷/۷۸	۶۹/۷۷	۱۳/۴۲	۷/۶۴	۵۶/۹۳

این روش نمونه‌برداری تأثیرگذار است. بنابراین در این پژوهش، تأثیر الگوی مکانی درختزارهای بنه زاگرس بر کارایی روش نزدیک‌ترین فرد و برآوردکننده باچلر که کاربرد آن برای

یک گونه خاص در درختزارها نیز مورد تأیید و توصیه قرار گرفته است (۱۴، ۲۲ و ۲۵). از طرف دیگر، نحوه پراکنش درختان در توده مورد بررسی بر صحت و دقت نتایج حاصل از

جدول ۳. تعداد در هکتار به دست آمده از روش نزدیکترین فرد (رابطه ۳) در سه توده مورد بررسی و آزمون آماری نتایج

توده	تعداد در هکتار	انحراف معیار	معیار صحت	RMSE	آماره $t$	معنی داری
کپه‌ای	۱۶/۱۹	۲/۶۹	۱۶/۶۹	۰/۱۷	۴/۸۸ *	۰/۰۸۶
تصادفی	۱۶/۴۱	۲/۷۳	۱۵/۵۶	۰/۱۵	۴/۵۳ *	۰/۰۸۱
پراکنده	۱۷/۳۴	۲/۸۸	۱۰/۷۸	۰/۱	۳/۰۶ *	۰/۰۶۷

\*: معنی دار در سطح ۵ درصد

جدول ۴. تعداد در هکتار به دست آمده از روش نزدیکترین فرد (رابطه ۵) در سه توده مورد بررسی و آزمون آماری نتایج

توده	ضریب تصحیح	تعداد در هکتار	انحراف معیار	معیار صحت	RMSE	آماره $t$	معنی داری
کپه‌ای	۰/۸۹	۱۸/۲۹	۳/۰۴	۵/۹۳	۰/۰۶	۱/۶۴ ns	۰/۰۰۱ >
تصادفی	۰/۸۵	۱۹/۲۸	۳/۲۱	۰/۸۰	۰/۰۱	۰/۲۲ ns	۰/۰۰۱ >
پراکنده	۰/۸۳	۲۰/۸۶	۳/۴۷	۷/۳۲	۰/۰۷	۱/۸۹ ns	۰/۰۰۱ >

ns. غیر معنی دار

سطح ۵ درصد وجود داشت، بلکه صحت (معیار صحت) و دقت (مجذور میانگین مربعات خطا) نیز نتایج را تأیید نکرد (جدول ۳). یکی از مهم‌ترین نارسایی‌های روش نزدیکترین فرد این است که تنها بر مبنای فاصله تا نزدیکترین درخت به نقطه نمونه برداری تصادفی عمل می‌کند. بنابراین با تغییر الگوی مکانی درختان (شکل ۱) فاصله تا نزدیکترین فرد تغییر کرده و در نتیجه، تعداد در هکتار برآوردی اریب خواهد شد. این موضوع تا حدودی نتایج نامطلوب به دست آمده از این روش را در این مطالعه و پژوهش‌های پیشین (۱۴ و ۲۹) توجیه می‌کند. با استفاده از ضریب اصلاحی مورد بررسی در این پژوهش که بر مبنای الگوی پراکنش درختان تهیه می‌شود، این نارسایی تا حدودی برطرف می‌گردد.

نتایج بخش اول این پژوهش نشان داد که روش نزدیکترین فرد و برآوردکننده باچلر در هیچ‌کدام از سه توده مورد بررسی از کارایی لازم برخوردار نیست. بنابراین، ضریب تصحیحی به کار رفت که باید برای هر الگوی مکانی از درختان محاسبه شود. این ضریب تصحیح با توجه به شکل ۱ و توضیحات آن، در توده‌هایی با الگوی مکانی کپه‌ای بیشتر از توده‌هایی با الگوی

درختان بلوط ایرانی این ناحیه رویشی تأیید شده است، در برآورد تراکم بررسی شد (۷، ۸). همچنین امکان استفاده از یک ضریب تصحیح برگرفته از الگوی مکانی درختان برای اصلاح نتایج روش و برآوردکننده اشاره شده در یک توده طبیعی بنه و دو توده شبیه‌سازی شده ارزیابی گردید.

کاربرد شاخص نزدیکترین همسایه و آزمون  $z$ ، توزیع کپه‌ای درختان در توده طبیعی بنه و توزیع پراکنده و تصادفی درختان در دو توده شبیه‌سازی شده را تأیید نمود (جدول ۱). در پژوهش‌های پیشین (۱۳ و ۳۴) و ایلین و همکاران (۲۶) نیز کاربرد این شاخص برای تعیین الگوی مکانی درختان در یک محدوده به‌طور یکپارچه مورد تأیید قرار گرفته است.

کاربرد روش نزدیکترین فرد (رابطه ۳) در ۴۰ نقطه نمونه برداری در سه توده مورد بررسی نشان داد که این روش از کارایی لازم برای برآورد تعداد در هکتار درختان بنه در هر سه توده مذکور برخوردار نیست. نه تنها آزمون آماری نتایج نشان داد بین تعداد در هکتار برآورد شده در هر سه توده با سه الگوی مکانی مختلف و مقدار واقعی اختلاف معنی داری در



در الگوی مکانی درختان است. هرچند نتایج نهایی به‌دست آمده با مقدار واقعی اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴ و توضیحات مربوط به آن) ولی همان گونه که در پژوهش‌های پیشین (۸، ۳۱ و ۳۲) اشاره شد، روش نزدیک‌ترین فرد در توده‌هایی با الگوی پراکنش کپه‌ای، تراکم را کمتر از آنچه هست ( $19/44 < 18/29$  در این پژوهش) و در توده‌هایی با آرایش مکانی پراکنده، تراکم را بیشتر از آنچه هست ( $19/44 > 20/86$  در این پژوهش) برآورد می‌کند. نتایج حاصل از این روش پیش از اعمال ضریب تصحیح (جدول ۳) نیز این موضوع را نشان داد. اگرچه این واقعیت انکارناپذیر در مطالعه حاضر نیز تأیید شد، ولی استفاده از ضریب تصحیح تشریح شده، نتایج بدون اختلاف معنی‌دار با مقدار واقعی را در محدوده‌های مورد بررسی امکان‌پذیر نمود.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی مکانی درختان بنه در زاگرس بر کارایی روش نزدیک‌ترین فرد و برآوردکننده باچلر تأثیرگذار است. بررسی صحت و دقت نیز نشان داد که روش و برآوردکننده مذکور بدون ضریب تصحیح در هیچ‌یک از الگوهای کپه‌ای، تصادفی و پراکنده از عملکرد مطلوبی برخوردار نبودند. درحالی‌که لحاظ پراکنش مکانی درختان بنه به شکل یک ضریب تصحیح در این روش و برآوردکننده مورد استفاده، امکان برآورد تعداد درختان درختان با سه آرایش کپه‌ای، تصادفی و پراکنده را بدون اختلاف معنی‌دار با مقدار واقعی فراهم آورد. به‌نظر می‌رسد، استفاده از شاخص‌های برگرفته از الگوی مکانی درختان می‌تواند نتایج حاصل از روش‌های فاصله‌ای دیگر برای برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان و هم‌چنین سایر برآوردکننده‌های روش نزدیک‌ترین فرد را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشد که مطالعات آتی، تأیید چنین فرضیه‌ای را ممکن خواهند ساخت.

مکانی پراکنده است. نتایج پژوهش حاضر نیز این موضوع را تأیید کرد به‌نحوی که ضریب تصحیح توده بنه با آرایش کپه‌ای (۰/۸۹) بزرگ‌تر از ضریب تصحیح به‌دست آمده در توده پراکنده (۰/۸۳) به‌دست آمد. پس از کاربرد این ضریب تصحیح در برآوردکننده باچلر (رابطه ۵) و در نظر گرفتن تغییرات الگوی مکانی درختان در برآورد تعداد در هکتار، در هر سه توده نتایج مطلوبی به‌دست آمد. علاوه بر این که تعداد در هکتار برآورد شده (پس از اعمال ضریب تصحیح) در هر سه توده با مقدار واقعی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند، این نتایج به‌طور معنی‌داری با نتایج پیش از کاربرد ضریب تصحیح در سطح ۵ درصد متفاوت بودند. صحت و دقت نیز این نتایج را تأیید کرد به‌نحوی که معیار صحت تعداد در هکتار در هر سه توده، کمتر از ۱۰ درصد و مجذور میانگین مربعات خطا کمتر از مرحله قبل بود (جدول ۴).

روش نزدیک‌ترین فرد و به‌طور کلی، روش‌های فاصله‌ای، با پیش‌فرض توزیع تصادفی درختان طراحی شده و توسعه یافته‌اند. چنانچه نتایج نشان داد، این روش با برآوردکننده باچلر، تعداد در هکتار را در توده تصادفی با بهترین دقت و صحت برآورد نمود (جدول ۴). در مطالعات قبلی (۹) نیز لزوم در نظر گرفتن الگوی مکانی درختان در استفاده از روش‌های فاصله‌ای برای برآورد تراکم مورد تأکید قرار گرفته است. هم‌چنین باید اذعان کرد که حداکثر فاصله اندازه‌گیری تا نزدیک‌ترین فرد ( $L$ ) باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که حداقل نیمی از نقاط نمونه‌برداری دارای نزدیک‌ترین فرد باشند و این موضوع در زمان استفاده از این روش در عرصه، یکی از محدودیت‌ها در محیط‌های با تراکم بسیار پایین یا آرایش به‌شدت کپه‌ای خواهد بود (۲۵).

از آنجایی که تعداد درختان (۸۷۵ درخت) و مساحت (۴۵ هکتار) در هر سه توده مساوی بود، تعداد در هکتار به‌دست آمده با استفاده از یک روش و برآوردکننده (نزدیک‌ترین فرد و باچلر) و شبکه آماربرداری (۱۰۰ × ۱۰۰ متر) مشابه باید مانند هم باشند ولی تفاوت اندکی که ملاحظه می‌شود به دلیل تفاوت



## سپاسگزاری

فیروزآباد شایسته تقدیر است. هم‌چنین نویسندگان از داوران محترمی که اصلاح خطاهای مقاله را ممکن ساختند، کمال تشکر را دارند.

همکاری مؤسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس در فراهم آوردن امکان دسترسی به جنگل تحقیقاتی بنه

## منابع مورد استفاده

۱. اخوان، ر. و خ. ثاقب‌طالبی. ۱۳۹۰. کارایی تابع دوم‌تغیره K رایلی در بررسی رقابت‌پذیری و اجتماع‌پذیری درختان (مطالعه موردی: توده‌های دست‌نخورده راش کلاردشت). مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۹(۴): ۶۳۲-۶۴۴.
۲. اوجی، م. ق. و م. حمزه‌پور. ۱۳۹۱. نیمرخ جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد فارس. انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، ۲۴۰ ص.
۳. بی‌همتا، م. ر. و م. ع. زارع‌چاهوکی. ۱۳۸۶. اصول آمار در علوم منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ ص.
۴. پرما، ر. و ش. شتایی. ۱۳۸۹. بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگلهای زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ (مطالعه موردی جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه). مجله جنگل ایران ۲(۳): ۲۴۲-۲۳۱.
۵. جزیره‌ای، م. ح. و م. ابراهیمی‌رستاقی. ۱۳۸۲. جنگل‌شناسی زاگرس. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۰ ص.
۶. حمزه‌پور، م. س. ک. بردبار، ل. جوکار و ع. عباسی. ۱۳۸۵. بررسی امکان احیای جنگل‌های بنه از طریق کاشت مستقیم بذر و نهال. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۴(۳): ۲۲۰-۲۰۷.
۷. حیدری، ر. ح. ۱۳۸۷. روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در آماربرداری جنگل. انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه، ۱۲۱ ص.
۸. حیدری، ر. ح. م. زبیری، م. نمیرانیان، ه. سبحانی و ا. صفری. ۱۳۸۹. بررسی صحت روش نمونه‌برداری فاصله‌ای نزدیک‌ترین فرد در جنگل‌های بلوط غرب. مجله جنگل ایران ۲(۴): ۳۳۰-۳۲۳.
۹. سهرابی، ه. ی. عسکری و م. زبیری. ۱۳۹۲. صحت روش خط‌نمونه در برآورد تاج‌پوشش و تراکم جنگل‌های زاگرس در منطقه چهارطاق اردل. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب ۶۶(۳): ۲۷۶-۲۶۷.
۱۰. صفری، الف. ن. شعبانیان، ر. ح. حیدری، س. ی. عرفانی‌فرد و م. پوررضا. ۱۳۸۹. بررسی الگوی مکانی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در جنگل‌های باینگان کرمانشاه. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۸(۴): ۶۰۸-۵۹۶.
۱۱. عرفانی‌فرد، س. ی. ۱۳۹۲. کارایی دو روش LIS و LTS در برآورد تعداد در هکتار درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در جنگل‌های زاگرس. مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل ۲۰(۲): ۴۰-۲۳.
۱۲. عرفانی‌فرد، س. ی. و ف. مهدیان. ۱۳۹۱. بررسی مقایسه‌ای روش‌های تعیین الگوی مکانی مطلق درختان در جنگل (مطالعه موردی: جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس). فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۰(۱): ۷۳-۶۲.
۱۳. عرفانی‌فرد، س. ی. و ف. مهدیان، س. ر. فلاح‌شمسی و س. ک. بردبار. ۱۳۹۱. کارایی شاخص‌های فاصله‌ای و تراکم در برآورد الگوی مکانی درختان در جنگل (مطالعه موردی: جنگل تحقیقاتی بنه، استان فارس). مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۰(۳): ۳۹۲-۳۷۹.
۱۴. عسکری، ی. م. زبیری و ه. سهرابی. ۱۳۹۲. مقایسه پنج روش نمونه‌برداری فاصله‌ای برای برآورد ویژگی‌های کمی در جنگل‌های زاگرس. مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۱(۲): ۳۲۸-۳۱۶.
۱۵. علوی، س. ج. ق. زاهدی‌امیری و م. ر. مروی‌مهاجر. ۱۳۸۴. تعیین الگوی پراکنش مکانی گونه ملج در جنگل‌های شمال ایران (مطالعه موردی در جنگل‌های آموزشی و پژوهشی خیرودکنار، نوشهر). مجله منابع طبیعی ایران ۵۸(۴): ۸۰۴-۷۹۳.

۱۶. موسایی سنجره‌ای، م. و م. بصیری. ۱۳۸۷. مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف اندازه‌گیری تراکم در درمنه‌زارهای استان یزد. مجله منابع طبیعی ایران ۶۱(۱): ۲۵۱-۲۳۵.

17. Bakus, J. 2007. Quantitative Analysis of Marine Biology Communities: Field Biology and Environment. John Wiley & Sons, USA, 400 p.
18. Batcheler, C. L. 1971. Estimation of density from a sample of joint point and nearest neighbor distances. *Ecology* 52(4): 703-709.
19. Batcheler, C. L. and D. J. Bell. 1970. Experiments in estimating density from joint point- and nearest-neighbour distance samples. *Proceedings of The New Zealand Ecological Society* 17: 111-117.
20. Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers and L. Thomas. 2001. Introduction to Distance Sampling. Oxford University Press, UK, 446 p.
21. Chirici, G. S. Winter and R. E. McRoberts. 2011. National Forest Inventories: Contributions to Forest biodiversity Assessments. Springer Nerlag Pub., USA, 226 p.
22. Diggle, P. J. 2003. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Arnold Pub., UK, 159 p.
23. Djamali, M., J. De Beaulieu, N. F. Miller, V. Poneil, P. Poneil, R. Lak, N. Sadeddin, H. Akhiani and H. Fazeli. 2009. Vegetation history of the SE section of the Zagros Mountains during the last five millennia; a pollen record from Maharlou Lake, Fars Province, Iran. *Vegetation History and Archaeobotany* 18: 123-136.
24. Engeman, 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.
25. Greig-Smith, P. 1983. Quantitative Plant Ecology. 3<sup>rd</sup> ed., University of California Press, USA, 359 p.
26. Illian, J., A. Penttinen, H. Stoyan and D. Stoyan. 2008. Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns. John Wiley & Sons, UK, 557 p.
27. Kangas, A. and M. Maltamo. 2006. Forest Inventory: Methodology and Applications. Springer, The Netherlands, 365 p.
28. Khanhasani, M., R. Akhavan, K. H. Sagheb-Talebi and Z. H. Vardanyan. 2013. Spatial patterns of oak species in the Zagrosian forests of Iran. *International Journal of Biosciences* 3(8): 66-75.
29. Kiani, B., A. Fallah, M. Tabari, S. M. Hosseini, and M. H. IN Parizi. 2013. A comparison of distance sampling methods in Saxaul (*Haloxylon ammodendron* C.A. Mey Bunge) shrub-lands. *Polish Journal of Ecology* 61(2): 207-219.
30. Kohl, M., S. Magnussen and M. Marchetti. 2006. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multi-resource Forest Inventory. Springer, Germany, 388 p.
31. Krebs, C. J. 1999. Ecological Methodology. 2<sup>nd</sup> ed., Addison Welsey Educational Pub. Inc., USA, pp. 581.
32. Laycock, W. A. and C. L. Batcheler. 1975. Comparison of distance-measurement techniques for sampling Tussock grassland species in New Zealand. *Journal of Range Management* 28(3): 235-239.
33. Pollard, J. H. 1971. On distance estimators of density in randomly distributed forests. *Biometrics* 27(4): 991-1002.
34. Pommerening, A. and D. Stoyan. 2008. Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbor summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 1110-1122.
35. Schleicher, J., K. Wiegand and D. Ward. 2011. Changes of woody plant interaction and spatial distribution between rocky and sandy soil areas in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Arid Environment* 75: 270-278.
36. Wiegand, T., F. He and S. P. Hubbell. 2012. A systematic comparison of summary characteristics for quantifying point patterns in ecology. *Ecography* 35: 001-012