Archive of SID

فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۴، صفحه ۶۳۶-۶۲۶، (۱۳۹۴)

مقایسه روش‌های نمونه‌برداری *k*-NN در برآورد تراکم درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) با الگوی مکانی کپه‌ای در یک توده تنک زاگرس

معصومه موصلو[۱] و سیدیوسف عرفانی‌فرد[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. پست الکترونیک: erfanifard@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۳۱

چکیده

تراکم (تعداد درختان در واحد سطح) یکی از مشخصه‌های ساختاری مهم در توده‌های جنگلی است که در درک پویایی جنگل مناسب است. روش *k* امین نزدیکترین همسایه (*k*-NN) یک روش فاصله‌ای است که به‌طور متداول در آماربرداری جنگل برای برآورد مشخصه‌های کمی به‌کار می‌رود. در این مطالعه روش *k*-NN با پنج راهکار نزدیکترین فرد (NI)، نزدیکترین همسایه (NN)، جفت‌های تصادفی (RP)، چارک نقطه مرکز (PCQ) و همسایه چارکی (QN) برای برآورد تراکم درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در جنگل‌های زاگرس استفاده شد. یک توده با مساحت ۴۵ هکتار در رویشگاه تحقیقاتی بنه انتخاب شد و به‌منظور تعیین تراکم واقعی، آماربرداری صددرصد شد. توزیع مکانی درختان بنه، کپه‌ای (*R*=۰/۷۹ و *z*=-۱۲/۳۸) و تراکم آنها ۱۹/۴۴ درخت در هکتار بود. سپس روش *k*-NN با راهکارهای مختلف و *k* برابر دو تا ۱۰ در ۴۶ نقطه نمونه‌برداری در یک شبکه ۱۰۰ × ۱۰۰ متری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌جز راهکار PCQ، روش *k*-NN با سایر راهکارها مقدار تراکم را به‌طور معنی‌داری (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) درست برآورد کرد. تعداد *k* و راهکار انتخاب آن بر صحت و دقت نتایج روش *k*-NN تأثیر گذاشت، به‌نحوی‌که *k*=۴ در NI، *k*=۷ در NN و *k*=۲ در RP و QN تراکم درختان بنه را با کمترین خطا (RMSE و اریبی) برآورد کردند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش *k*-NN بهینه با *k* و راهکار مناسب توانسته تراکم درختان بنه با توزیع مکانی کپه‌ای را در یک توده تنک در جنگل‌های زاگرس برآورد کند.

واژه‌های کلیدی: بنه، تراکم، زاگرس، خطا، *k*-NN.

مقدمه

تراکم یکی از مهمترین ویژگی‌های ساختاری در هر جامعه جنگلی است که سایر ویژگی‌های جامعه مانند گونه، جنسیت و سن بر آن تأثیر فراوانی دارند و به همین دلیل ویژگی مناسبی در ارزیابی پویایی جوامع جنگلی محسوب می‌شود (Kangas & Maltamo, 2006; Bonham, 2013). برآورد صحیحی از تراکم در انتخاب روش‌های مناسب جنگل‌شناسی، مطالعه ساختار و مدیریت جنگل تأثیر بسزایی دارد (Guebas & Koedam, 2006). روش صحیح اندازه‌گیری تراکم در یک توده، شمارش تعداد کل درختان و اندازه آن در واحد سطح توده مذکور است که به‌دلیل دشواری در اندازه‌گیری تعداد همه درختان، چندان متداول نیست (Chirici *et al*., 2011)، بنابراین دسترسی به یک روش مناسب و نااریب در برآورد تراکم درختان در جنگل

www.SID.ir

Archive of SID

ضروری است.

روش‌های متعددی برای برآورد تراکم درختان توسعه پیدا کرده‌اند که می‌توان آنها را به دو گروه اصلی قطعه‌نمونه-ای و فاصله‌ای تقسیم کرد. از بین این دو گروه، روش‌های فاصله‌ای به‌دلیل کاربردی بودن، هزینه کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر در شرایط مختلف، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Magnussen *et al*., 2012a; Bonham, 2013). صحت برآورد تراکم در جنگل با استفاده از روش‌های فاصله‌ای به برآوردکننده‌های مناسبی وابسته است که براساس فاصله بین نقطه نمونه‌برداری تا درخت و یا فاصله درختان از یکدیگر عمل می‌کنند (Hanberry *et al*., 2012). یکی از روش‌های فاصله‌ای مهم در برآورد تراکم درختان در جنگل، روش k امین نزدیکترین همسایه (k-Nearest Neighbour: k-NN) است که در آن براساس فاصله تا k امین درخت، می‌توان تراکم را برآورد کرد. در این روش، همه قطعه‌نمونه‌ها تعداد k درخت مساوی دارند و بنابراین قطعه‌نمونه‌های خالی یا متراکم در آن وجود ندارند که منجر به اریبی نتایج شوند (Kleinn & Vilcko, 2006; Kung *et al*., 2012). هرچند کاربرد روش k-NN در برآورد تراکم در جنگل در مطالعات داخل (Jahan *et al*., 2010; Karamshahi *et al*., 2012) و خارج از کشور (Zhu & Zhang, 2009; Hijbeek *et al*., 2013) مورد تأیید قرار گرفته است، بررسی مقایسه‌ای راهکارهای متنوع پیاده‌سازی این روش که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته، ضروری به‌نظر می‌رسد.

برای استفاده عملی از روش k-NN در جنگل، امکان انتخاب k امین درخت در هر نقطه نمونه‌برداری با راهکارهای مختلفی امکان‌پذیر است که این موضوع بر صحت و دقت نتایج به‌دست‌آمده از این روش تأثیر فراوانی دارد (Kleinn & Vilcko, 2006). به‌طور کلی، پنج راهکار روش k-NN، نزدیکترین فرد (Nearest Individual: NI) (Engeman *et al*., 1994)، نزدیکترین همسایه (Nearest Neighbour: NN) (Temesgen *et al*., 2008; McRoberts, 2012)، جفت‌های تصادفی (Random Pairs: RP) (Hill *et al*., 2005)، چارک نقطه‌مرکز (Point-Centered Quarter: PCQ) (Bryant *et al*., 2004; Hijbeek *et al*., 2013) و همسایه چارکی (Quartered Neighbour: QN) (Zhu & Zhang, 2009; Leavitt & Clair, 2011) هستند که جداگانه در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اگرچه در پژوهش‌های محدودی به مقایسه برخی از راهکارهای روش k-NN پرداخته شده است (به‌عنوان مثال راهکارهای PCQ و QN در Zhu و Zhang (۲۰۰۹) و راهکارهای NI و PCQ در Kleinn و Vilcko (۲۰۰۵))، مقایسه کارایی روش k-NN با راهکارهای مختلف، انتخاب راهکار بهینه این روش را در برآورد تراکم درختان ممکن می‌کند.

جنگل‌های زاگرس که به‌عنوان یکی از منابع بیولوژیک و ذخایر ژنتیک کشور هستند، از جنبه‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و پایش آنها با استفاده از ویژگی‌های ساختاری مانند تراکم، در مدیریت پایدار این جنگل‌ها اهمیت بسزایی دارد. بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) دومین گونه مهم در این جنگل‌ها پس از بلوط ایرانی است که علاوه‌بر ایفای نقش بوم‌شناختی در جنگل‌های زاگرس، به‌دلیل تولید محصولات فرعی ارزشمند (میوه و سقز) از اهمیت اقتصادی و اجتماعی زیادی برخوردار است (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003; Pourreza *et al*., 2008).

آگاهی از راهکارهای متنوع انتخاب درختان در روش k-NN به‌دلیل تأثیر آنها بر کارایی روش مذکور در برآورد تراکم درختان در جنگل باید مورد توجه قرار گیرد تا امکان انتخاب راهکار بهینه روش مذکور و دستیابی به برآوردی ناااریب از تراکم ممکن شود. بنابراین این پژوهش با هدف معرفی و کاربرد راهکارهای پیاده‌سازی روش k-NN در برآورد تراکم درختان بنه در بخشی از جنگل‌های زاگرس انجام شد. همچنین بررسی مقایسه‌ای هر یک از این راهکارها در شرایط مشابه (منطقه مورد مطالعه و روش نمونه‌برداری) بررسی تأثیر هر کدام را بر صحت برآورد تراکم توسط روش k-NN امکان‌پذیر می‌کند. در این پژوهش از برآوردکننده‌هایی استفاده شد که در مقایسه با انواع

www.SID.ir

Archive of SID

برآوردکننده‌های ارائه شده در پیشینه پژوهش، نسبت به الگوی مکانی درختان در جنگل از حساسیت بیشتری برخوردارند و کارایی آنها تأیید شده است. نتایج این پژوهش امکان استفاده از روش k-NN بهینه را در مطالعات آینده فراهم خواهد ساخت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این مطالعه، جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد در استان فارس انتخاب شد. این مجموعه که از سال ۱۳۷۵ به‌عنوان ایستگاه تحقیقاتی بنه شناخته شده است، مساحتی بالغ بر ۹۳۷۴ هکتار دارد و در جنوب غربی استان فارس و در نزدیکی شهرستان فیروزآباد واقع شده است (Owji & Hamzepour, 2012). موقعیت مکانی این عرصه در طول جغرافیائی '۳۰ °۵۲ تا '۴۰ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیائی °۲۹ تا '۱۵ °۲۹ شمالی قرار دارد. برای اجرای پژوهش پیش‌رو، بخشی از این جنگل تحقیقاتی با وسعت ۴۵ هکتار که بنه تنها گونه درختی آن است، انتخاب شد که از جنوب به جاده شیراز- کازرون، از شرق و غرب به اراضی کشاورزی و از شمال به کوه منتهی می‌شود. پس از آماربرداری صددرصد، تراکم واقعی درختان بنه مشخص شد که از آن در ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از روش k-NN استفاده شد. همچنین یک شبکه آماربرداری ۱۰۰ × ۱۰۰ متر با نقطه شروع تصادفی در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت که در نتیجه آن، تعداد ۴۶ نقطه نمونه‌برداری برای اجرای روش k-NN انتخاب شدند.

روش پژوهش

روش k-NN به‌عنوان یکی از مطلوب‌ترین روش‌های فاصله‌ای در آماربرداری جنگل با استفاده از اندازه‌گیری فاصله تا k امین نزدیکترین درخت از n نقطه نمونه‌برداری، تراکم را برآورد می‌کند (Magnussen *et al*., 2012a; Seo *et al*., 2014). در مطالعات پیشین از تعداد k درخت مختلف در برآورد تراکم درختان استفاده شده است (جدول ۱). در این پژوهش با توجه به متوسط فاصله درختان از یکدیگر (۱۰/۷ متر) و همچنین ابعاد شبکه آماربرداری (۱۰۰ × ۱۰۰ متر)، تعداد k برابر با دو تا ۱۰ انتخاب شد تا پس از انتخاب درخت دهم، بین نقاط نمونه‌برداری تداخل بوجود نیاید.

جدول ۱- تعداد k مورد استفاده و تراکم منطقه مورد مطالعه در برخی از پژوهش‌های پیشین

منبع	تعداد k	تراکم (در هکتار)	منبع	تعداد k	تراکم (در هکتار)
Jahan و همکاران (۲۰۱۰)	۹	۱۹۴	Kleinn و Vilcko (۲۰۰۶)	۱ تا ۱۳	۱۰۰
Karamshahi و همکاران (۲۰۱۲)	۵	۱۴۰	Magnussen و همکاران (۲۰۱۲a)	۳ تا ۸	از ۱۰۰ تا ۸۰۰

نزدیکترین فرد (NI)

اولین راهکار انتخاب درختان در روش k-NN، راهکار NI است که در آن، k امین نزدیکترین درخت به نقطه نمونه-برداری درنظر گرفته می‌شود (شکل ۱- الف)، سپس فاصله مستقیم هر درخت تا نقطه نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده (r) و میانگین آنها در برآورد تراکم با استفاده از رابطه ۱ به‌کار می‌رود (Magnussen *et al*., 2012a; Kleinn & Vilcko, 2006).

رابطه (۱) $$\lambda_k = (k-1) \times \pi^{-1} {}^{-0.5}\sqrt{\bar{r}_k \bar{r}_{k-1}}$$

در رابطه فوق: λ_k تراکم درختان براساس k امین درخت، r_k میانگین فاصله تا k امین درخت و r_{k-1} میانگین فاصله تا k-1 امین درخت است.

نزدیکترین همسایه (NN)

روش NN دومین راهکار انتخاب درختان در روش k-

www.SID.ir

Archive of SID

NN است که در آن k امین نزدیکترین درخت همسایه به نزدیکترین درخت به نقطه نمونه‌برداری درنظر گرفته می‌شود (شکل ۱- ب). فاصله تا نزدیکترین همسایه مبنای برآورد تراکم است که میانگین آن در رابطه ۱ که در راهکار NI به‌کار رفت، قرار داده می‌شود. رابطه ۱ یکی از بهترین برآوردکننده‌های نااریب در روش k-NN است که در پژوهش‌های پیشین مورد تأیید قرار گرفته است (Hill *et al.*, 2005).

جفت‌های تصادفی (RP)

در راهکارRP نزدیکترین درخت به نقطه نمونه‌برداری متصل شده و خطی عمود بر آن برازش داده می‌شود. سپس k امین نزدیکترین همسایه در طرف مقابل خط انتخاب می‌شود (شکل ۱- ج). میانگین فاصله‌های اندازه‌گیری شده در رابطه ۱ به‌کار رفته و تراکم برآورد می‌شود (Hill *et al.*, 2005).

چارک نقطه‌مرکز (PCQ)

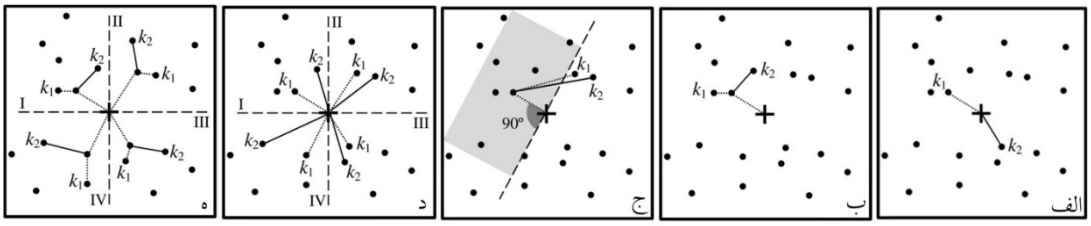
راهکار PCQ یکی از پرکاربردترین راهکارها در برآورد ویژگی‌های ساختاری جنگل مانند تراکم است (Bryant *et al.*, 2004; Guebas & Koedam, 2006). در این راهکار پس از تقسیم نقطه نمونه‌برداری در چهار جهت اصلی، k امین نزدیکترین درخت به نقطه نمونه‌برداری در هر چارک انتخاب شده و فاصله تا آن اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱- د)، سپس با استفاده از یک برآوردکننده نااریب در راهکار PCQ (رابطه ۲)، تراکم برآورد می‌شود (Hijbeek *et al.*, 2013).

$$\lambda_k = 4(4n-1)/\pi \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{4} r_{ij}^2 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق: λ_k تراکم درختان براساس k امین درخت، r_{ij} فاصله تا درخت j در نقطه نمونه‌برداری i و n تعداد نقاط نمونه‌برداری است.

همسایه چارکی (QN)

راهکار QN که برای نخستین بار توسط Zhu و Zhang (۲۰۰۹) ارائه شد، به راهکار PCQ شبیه است، با این تفاوت که k امین نزدیکترین همسایه از نزدیکترین درخت به نقطه نمونه‌برداری مبنای برآورد تراکم است (شکل ۱- ه). برای برآورد تراکم با استفاده از راهکار QN از رابطه ۲ استفاده می‌شود.



شکل ۱- راهکارهای نزدیکترین فرد (**NI**) (الف)، نزدیکترین همسایه (**NN**) (ب)، جفت‌های تصادفی (**RP**) (ج)، چارک نقطه‌مرکز (**PCQ**) (د) و همسایه چارکی(**QN**) (ه) در روش ***k*-NN** (شکل از نگارندگان)

بررسی صحت و دقت نتایج

به‌منظور ارزیابی دقت نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد روش k-NN با k ها و راهکارهای مختلف در برآورد تراکم درختان بنه در منطقه مورد مطالعه، از دو معیار مهم خطا یعنی مجذور میانگین مربعات خطا (Root mean squared error: RMSE) (رابطه ۳) و اریبی (Bias) (رابطه ۴) استفاده شد که هر کدام در مطالعات پیشین مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است (Fehrmann & Kleinn, 2005; Baffetta *et al.*, 2011; Magnussen *et al.*, 2012a).

$$\text{RMSE} = \sqrt{(\sum(\lambda_k - \lambda_r)^2/n} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{Bias} = \lambda_k - \lambda_r \qquad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه‌های ۳ و ۴، λ_k تراکم درختان براساس k امین

www.SID.ir

Archive of SID

درخت، λ_r تراکم واقعی و n تعداد نقاط نمونه‌برداری است. همچنین برای بررسی صحت نتایج از آزمون t تک‌نمونه‌ای در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

الگوی مکانی درختان بنه

از آنجایی‌که روش‌های فاصله‌ای ازجمله k-NN به نحوه توزیع درختان در جنگل حساس هستند و در الگوهای مکانی مختلف، عملکرد متفاوتی دارند (Magnussen, 2012; Magnussen *et al*., 2012b)، آگاهی از پراکنش درختان بنه در منطقه مورد مطالعه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین از شاخص نزدیکترین همسایه (رابطه ۵) استفاده شد که علاوه‌بر تأیید آن در مطالعات پیشین (Erfanifard & Mahdian, 2012)، الگوی مکانی را براساس فاصله تا نزدیکترین همسایه تعیین کرده که ازنظر ساختاری با روش k-NN مشابه است.

رابطه (۵) $$R = \frac{r_{\text{obs}}}{r_{\text{exp}}}$$

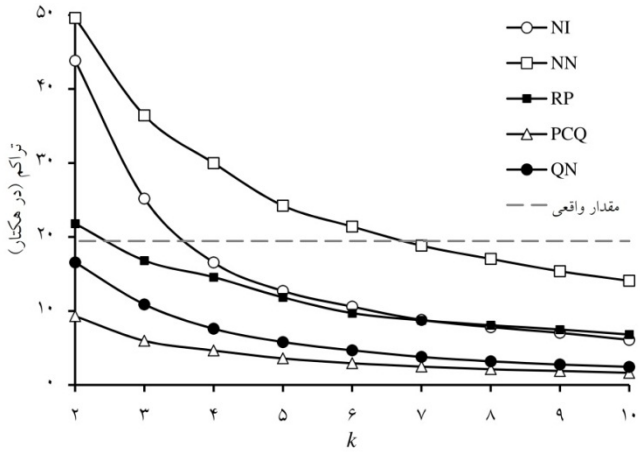
در رابطه فوق: r_{obs} فاصله تا نزدیکترین همسایه مشاهده شده و r_{exp} فاصله تا نزدیکترین همسایه در حالت تصادفی است. در صورتی‌که مقدار شاخص برابر با یک باشد، الگوی مکانی درختان تصادفی است و در الگوهای کپه‌ای و پراکنده، مقدار شاخص به‌ترتیب کمتر و بیشتر از یک است. نتایج با آزمون آماری z (رابطه ۶) نیز ارزیابی می‌شود (Diggle, 2003).

رابطه (۶) $$z = \frac{r_{\text{obs}} - r_{\text{exp}}}{SE r_{r_{\text{exp}}}}$$

در رابطه فوق: مخرج کسر انحراف‌معیار فاصله‌های مشاهده شده در حالت تصادفی است. اگر مقدار z بین ۱/۹۶± باشد، اختلاف معنی‌داری بین الگوی مکانی مشاهده شده و حالت تصادفی وجود ندارد. در حالی‌که بیشتر بودن z از ۱/۹۶+ نشان دهنده الگوی مکانی پراکنده و کمتر بودن آن از ۱/۹۶− نشان دهنده الگوی مکانی کپه‌ای است.

نتایج

آماربرداری صددرصد نشان داد که ۸۷۵ درخت بنه دانه‌زاد با قطر بیشتر از ۵ سانتی‌متر در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که با توجه به مساحت آن، تراکم منطقه مذکور ۱۹/۴۴ درخت بنه در هکتار با توزیع کاملاً کپه‌ای (مقدار شاخص نزدیکترین همسایه ۰/۷۹ و مقدار z برابر با ۱۲/۳۸−) می‌باشد. سپس از ۴۶ نقطه نمونه‌برداری، فاصله تا k امین نزدیکترین درخت اندازه‌گیری شد و تراکم درختان بنه برآورد شد که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که به‌طور کلی با افزایش تعداد k، تراکم برآورد شده در همه راهکارها کاهش می‌یابد و با افزایش k در چهار راهکار NI، RP، PCQ و QN تراکم برآورد شده کمتر از ۱۰ درخت در هکتار شده است که از مقدار واقعی فاصله داشتند. همچنین در مقدار k زیاد، نتایج دو راهکار NI با RP و PCQ با QN بسیار به هم نزدیک شدند (شکل ۲).



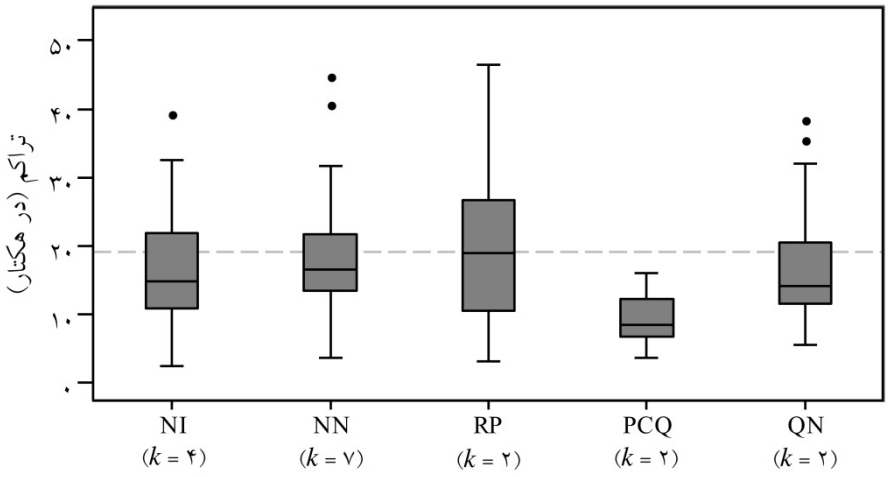
شکل ۲- تراکم درختان بنه برآورد شده به‌وسیله روش k-NN با k ها و راهکارهای مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج ارزیابی صحت تراکم برآورد شده به‌وسیله روش k-NN با k ها و راهکارهای مختلف با استفاده از آزمون آماری اختلاف مشاهده شده بین مقدار واقعی و برآوردی نشان داد که در راهکار NI، تراکم برآورد شده در k=۴ (۱۷/۵۵ درخت در هکتار) با مقدار واقعی اختلاف معنی‌داری نداشته است. همچنین راهکارهای NN و RP به‌ترتیب در k های هفت (۱۸/۸۲ درخت در هکتار) و دو (۲۰/۸۱) تراکم را بدون اختلاف معنی‌دار با مقدار واقعی برآورد کردند، در حالی‌که راهکار PCQ نتوانست به‌طور صحیح تراکم را در k های متفاوت برآورد کند، اگرچه اختلاف تراکم برآورد شده با راهکار QN در k=۲ (۱۷/۵۶ درخت در هکتار) با مقدار واقعی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

شکل ۳ نشان داد که تراکم‌های برآورد شده با k=۲ در راهکار RP، تقریباً متقارن هستند و میانه آنها در وسط داده‌ها قرار دارد. در بقیه راهکارهای روش k-NN با k مطلوب تراکم‌های برآورد شده به چپ چولگی داشتند که بیانگر فراوانی بیشتر تراکم‌های کم نسبت به تراکم‌های زیاد بود. برخلاف راهکارهای RP و QN، توزیع تراکم‌های برآورد شده با k های مطلوب در راهکارهای NI (k=۴)، NN (k=۷) و PCQ (k=۲) تقریباً شبیه توزیع نرمال بود. کمترین میزان پراکندگی تراکم برآوردی مربوط به راهکار PCQ و بیشترین آن مربوط به راهکار RP بود. نتایج مقایسه محدوده تراکم‌های برآورد شده در k های مطلوب در هر راهکار نشان داد که به‌جز روش PCQ، مقدار واقعی تراکم در چارک سوم تراکم‌های برآورد شده در هر راهکار بوده است. بررسی دقت تراکم‌های برآورد شده به‌وسیله روش k-NN با k ها و راهکارهای مختلف نشان داد که مقدار خطا (RMSE و اریبی) k=۴ در راهکار NI کمتر از سایر k ها بوده است (شکل ۴- الف). هرچند مقدار RMSE در راهکارهای NN و RP به‌ترتیب در k های نه و پنج حداقل بود، اما اریبی k های هفت و دو حداقل بوده است (شکل‌های ۴- ب و ۴- ج). روند تغییرات RMSE و اریبی در راهکارهای PCQ و QN شبیه به یکدیگر بود و در k=۲ خطای هر دو راهکار کمتر از سایر k ها بود (شکل‌های ۴- د و ۴- ه).



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای تراکم برآورد شده به‌وسیله روش k-NN با k مطلوب در هر راهکار (خط چین خاکستری مقدار واقعی تراکم را نشان می‌دهد)

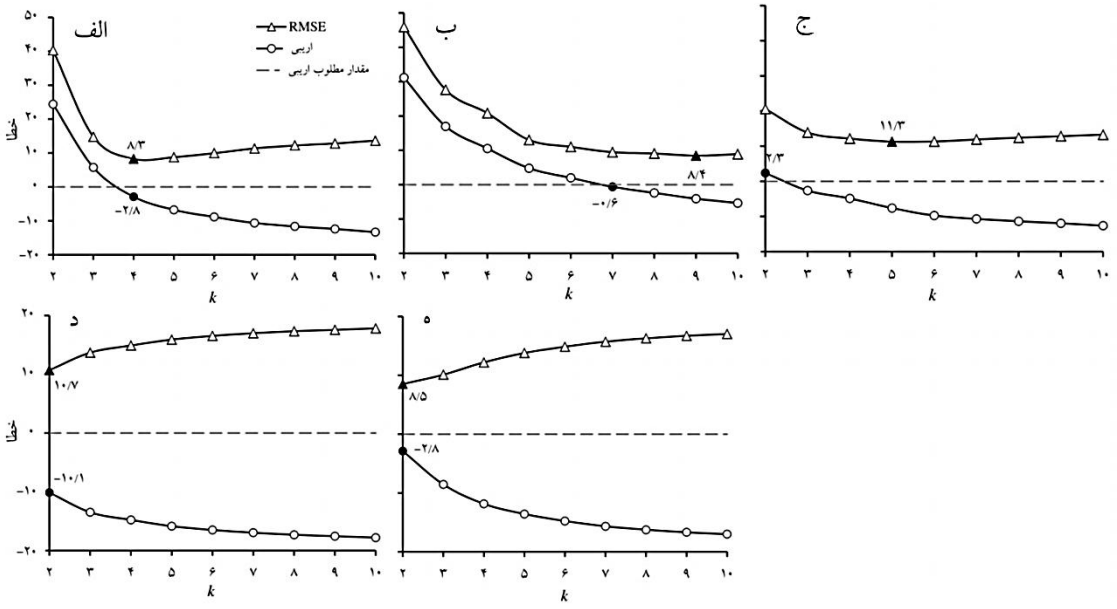
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج ارزیابی صحت تراکم (در هکتار) برآورد شده به‌وسیله روش k-NN با k ها و راهکارهای مختلف

	NI تراکم (معنی‌داری)	NN تراکم (معنی‌داری)	RP تراکم (معنی‌داری)	PCQ تراکم (معنی‌داری)	QN تراکم (معنی‌داری)
k=۲	۴۳/۸۳*	۵۰/۶۱*	۲۰/۸۱ns	۹/۳۰*	۱۷/۵۶ns
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۴۵۳)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۶۲)
k=۳	۲۵/۱۹*	۳۶/۴۳*	۱۶/۸۲*	۵/۹۶*	۱۰/۸۹*
	(۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۲۱)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۴	۱۷/۵۵ns	۲۹/۹۸*	۱۴/۵۷*	۴/۶۵*	۷/۶۰*
	(۰/۰۶۱)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۵	۱۲/۷۰*	۲۴/۲۳*	۱۱/۸۴*	۳/۵۹*	۵/۸۷*
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۱۱)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۶	۱۰/۵۸*	۲۱/۴۰*	۹/۷۱*	۲/۹۴*	۴/۶۸*
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۲۳)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۷	۸/۸۰*	۱۸/۸۲ns	۸/۷۵*	۲/۴۸*	۳/۷۹*
	(۰/۰۰۰)	(۰/۶۶۲)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۸	۷/۸۰*	۱۷/۰۴*	۸/۰۸*	۲/۱۲*	۳/۱۹*
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۷)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۹	۷/۰۴*	۱۵/۳۶*	۷/۴۹*	۱/۸۸*	۲/۷۶*
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
k=۱۰	۶/۱۰*	۱۴/۰۸*	۶/۸۲*	۱/۶۴*	۲/۴۴*
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار



شکل ۴- تغییرات خطا (**RMSE** و اریبی) در روش k-**NN** با راهکارهای **NI** (الف)، **NN** (ب)، **RP** (ج)، **PCQ** (د) و **QN** (ه)

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

تراکم (تعداد در هکتار) یکی از مهمترین ویژگی‌های کمی هر جامعه جنگلی است که برآورد آن، هدف انواع روش‌های نمونه‌برداری به‌ویژه روش‌های فاصله‌ای بوده است (Hijbeek *et al*., 2013) و کارایی آنها در جنگل‌های زاگرس نیز تأیید شده است (Askari *et al*., 2013). یکی از روش‌های مهم فاصله‌ای که در اندازه‌گیری تراکم در جنگل کاربرد فراوانی یافته است، روش *k*-NN است که به‌دلیل قابلیت برآورد تراکم در بوم‌سازگان‌های مختلف و همچنین حداقل تأثیرپذیری از الگوی پراکنش درختان در جنگل (Magnussen, 2012; Magnussen *et al*., 2012b) توسعه یافته است و کارایی آن در جنگل‌های زاگرس نیز مورد تأیید قرار گرفته است (Jahan *et al*., 2010; Karamshahi *et al*., 2012). با وجود مطالعات پیشین در مورد کاربرد روش *k*-NN برای سنجش ویژگی‌های ساختاری جنگل ازجمله تراکم، راهکارهای انتخاب درخت *k* جز در پژوهش‌های معدود (Kleinn & Vilcko, 2006) کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین مقایسه روش *k*-NN با راهکارهای مختلف و همچنین بررسی تأثیر آنها بر کارایی این روش ضروری به‌نظر می‌رسد. پژوهش پیش‌رو با هدف معرفی و کاربرد انواع راهکارهای انتخاب *k* امین نزدیکترین همسایه در روش *k*-NN به‌منظور برآورد تراکم درختان بنه در بخشی از جنگل‌های زاگرس در استان فارس انجام شد. همچنین تأثیر این راهکارها بر صحت و دقت تراکم برآورد شده به‌وسیله روش *k*-NN با *k* های متفاوت مطالعه شد.

پژوهش پیش‌رو در یک توده تنک به مساحت ۴۵ هکتار از جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد با تراکم ۱۹/۴۴ درخت بنه در هکتار و توزیع کاملاً کپه‌ای انجام شد. تعداد کم درختان در جامعه جنگلی مورد مطالعه بر کارایی روش‌های فاصله‌ای ازجمله روش *k*-NN تأثیر می‌گذارد (Kleinn & Vilcko, 2006; Magnussen *et al*., 2012a). چنانچه در جدول ۱ ملاحظه شد، کارایی روش *k*-NN در برخی از مطالعات پیشین که به‌عنوان مثال آورده شده‌اند، در تراکم‌های بیشتر از ۱۰۰ درخت در هکتار تأیید شده است، در حالی‌که نتایج پژوهش پیش‌رو کارایی روش مذکور را در تراکم‌های بسیار کمتر (حدود ۲۰ درخت در هکتار) نیز تأیید کرد. همچنین این پژوهش نیز مانند مطالعات پیشین (Magnussen *et al*., 2012a) قابلیت روش *k*-NN را در برآورد تراکم یک منطقه با آرایش کپه‌ای درختان تایید کرد.

در مطالعات پیشین راهکارهای NI (Engeman *et al*., 1994)، NN (Temesgen *et al*., 2008; McRoberts, 2012)، RP (Hill *et al*., 2005)، PCQ (Hijbeek *et al*., 2013; Bryant *et al*., 2004) و QN (Zhu & Zhang, 2009; Leavitt & Clair, 2011) مورد استفاده قرار گرفته است، اما به مقایسه این راهکارها و تأثیر آنها بر عملکرد روش *k*-NN پرداخته نشده است. اگرچه در پژوهش Kleinn و Vilcko (۲۰۰۵) به مقایسه روش *k*-NN با دو راهکار NI و PCQ پرداخته شده است و هر دو تأیید شده‌اند، در پژوهش پیش‌رو روش مذکور با راهکار PCQ نتوانست تراکم را به‌درستی برآورد کند (جدول ۲). دلیل این موضوع ممکن است به عدم حساسیت راهکار مذکور به الگوی مکانی درختان و ناتوانی برآورد تراکم درختان با الگوی مکانی کپه‌ای و همچنین ناکارآمدی در توده‌های با تراکم کم درختان مربوط باشد. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که روش *k*-NN با راهکارهای مورد بررسی از عملکرد متفاوتی در شرایط یکسان (توده درختان بنه با تراکم و شبکه نمونه‌برداری مشابه و آرایش کپه‌ای) برخوردار بوده است (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که صحت روش *k*-NN با هر راهکار در *k* های متفاوت تأیید شده است (جدول ۲ و شکل ۳) که این نتیجه‌گیری با مطالعات پیشین (Kleinn & Vilcko, 2006; Magnussen *et al*., 2012a) مطابقت دارد و برخلاف برخی مطالعات، نمی‌توان از یک *k* مشخص در روش *k*-NN استفاده کرد. لازم به توضیح است که در پژوهش پیش‌رو فاصله تا *k* مین نزدیکترین همسایه از *k* برابر یک تا ۱۰ اندازه‌گیری شد، اما از آنجایی‌که در رابطه ۱ نمی‌توان تراکم را برای k=۱ تعیین کرد، نتایج از k=۲ ارائه شده است.

به‌منظور برآورد تراکم با استفاده از روش *k*-NN، برآورد

www.SID.ir

Archive of SID

کننده‌های زیادی طراحی و به‌کار برده شده‌اند. استفاده از برآوردکننده مناسب و نااریب نیز بر کارایی روش k-NN و صحت نتایج آن تأثیر فراوانی دارد. در پژوهش پیش‌رو برای پنج راهکار مورد بررسی از دو برآوردکننده‌ای استفاده شد که براساس مطالعات پیشین، در انواع الگوهای مکانی از صحت و دقت قابل قبولی برخوردار بودند و ویژگی‌های ساختاری جامعه‌های مورد بررسی را برآورد کردند (Kleinn & Vilcko, 2006; Magnussen *et al*., 2012a; Hijbeek *et al*., 2013).

علاوه‌بر ارزیابی صحت تراکم برآورد شده در این مطالعه که به‌دلیل دسترسی به تراکم واقعی امکان‌پذیر شد (برخلاف برخی از مطالعات پیشین) و مقایسه کارایی راهکارهای مورد مطالعه، دقت آنها نیز با دو معیار متداول خطا (RMSE و اریبی) بررسی شد. اگرچه دو معیار خطا در راهکارهای NI، PCQ و QN در k های مشابه حداقل بودند، اما در دو راهکار NN و RP نتایج متفاوتی داشتند (شکل ۴). در این پژوهش در راهکارهای NN و RP معیار اریبی برای انتخاب k مطلوب در هر راهکار مورد توجه قرار گرفت (شکل ۴)، زیرا با نتایج ارزیابی صحت با آزمون آماری (k=۷ در NN و k=۲ در RP) مطابقت داشتند (جدول ۲). این موضوع نشان داد که علاوه‌بر معیارهای خطا در مطالعه دقت نتایج به‌دست‌آمده از روش k-NN باید از بررسی صحت با آزمون‌های مناسب آماری نیز استفاده شود و سپس به نتیجه‌گیری نهایی اقدام گردد.

به‌طور کلی نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که در صورت استفاده از k و راهکار مناسب، روش k-NN با صحت و دقت قابل قبول قادر به برآورد تراکم درختان بنه با الگوی مکانی کپه‌ای در یک توده تنک (۱۹/۴۴ درخت در هکتار) در جنگل‌های زاگرس بوده است. یافته‌های این مطالعه تأیید کرد که مقدار k و شکل انتخاب k امین نزدیکترین همسایه بر کارایی روش k-NN تأثیر گذاشته است. همچنین نتایج نشان داد که استفاده همزمان از دقت و صحت در انتخاب k و راهکار بهینه روش k-NN ضروری به‌نظر می‌رسد. اگرچه نتایج پژوهش پیش‌رو بیانگر آن بود که برآوردکننده‌ها و راهکارهای مورد استفاده به توزیع مکانی درختان بنه حساسیت لازم را داشته‌اند، تأیید این موضوع به‌ویژه در مورد راهکار PCQ نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد.

سپاسگزاری

مطالعات میدانی این پژوهش با مجوز مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس انجام شده است. علاوه‌براین، از حمایت مالی معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز (کد اعتبار ۹۰GCU۲M۱۵۳۱۲۶) در انجام این پژوهش استفاده شد که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

- 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).
- Baffetta, F., Corona, P. and Fattorini, L., 2011. Design-based diagnostics for k-NN estimators of forest resources. Canadian Journal of Forest Resources, 41: 59-72.
- Bonham, C.D., 2013. Measurements for terrestrial vegetation. Wiley-Blackwell Publishers, West Sussex, 246p.
- Bryant, D.M., Ducey, M.J., Innes, J.C., Lee, T.D., Eckert, R.T. and Zarin, D.J., 2004. Forest community analysis and the point-centered quarter method. Plant Ecology, 175: 193-203.
- Chirici, G., Winter, S. and McRoberts, R.E., 2011. National Forest Inventories: Contributions to Forest Biodiversity Assessments. Springer, New York, 226p.
- Diggle, P.J., 2003. Statistical analysis of spatial point patterns. Arnold Publishers, New York, 159p.
- Engeman, 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.
- Erfanifard, Y. and Mahdian, F., 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests, Case study: Wild pistachio research forests,

www.SID.ir

Archive of SID

- Kung, Y.H., Lin, P.S. and Kao, C.H. 2012. An optimal k-nearest neighbor for density estimation. Statistics and Probability Letters, 82: 1786-1791.
- Leavitt, S.D. and Clair, L.L., 2011. Estimating *Xanthoparmelia* (Parmeliaceae) population density in subalpine communities in southern Utah, U.S.A. using two distance methods, with implications for assessing community composition. Bryologist, 114(3): 625-636.
- Magnussen, S., 2012. A new composite *k*-tree estimator of stem density. European Journal of Forest Research, 131: 1513-1527.
- Magnussen, S., Fehrman, L. and Platt, W.J., 2012a. An adaptive composite density estimator for *k*-tree sampling. European Journal of Forest Research, 131: 307-320.
- Magnussen, S., McRoberts, R.E. and Tomppo, E.O., 2012b. A resampling variance estimator for the *k* nearest neighbours technique. Canadian Journal of Forest Research, 40: 648-658.
- McRoberts, R.E., 2012. Estimating forest attribute parameters for small areas using nearest neighbors techniques. Forest Ecology and Management, 272: 3-12.
- Owji, M.G. and Hamzepour, M., 2012. Vegetation profile of wild pistachio experimental forest. Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 240p (In Persian).
- Temesgen, H., Barrett, T.M. and Latta, G., 2008. Estimating cavity tree abundance using Nearest Neighbor imputation methods for western Oregon and Washington forests. Silva Fennica, 42(3): 337-354.
- Pourreza, M., Shaw, J.D. and Zangeneh, H., 2008. Sustainability of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in Zagros forests, Iran. Forest Ecology and Management, 255: 3667-3671.
- Seo, H.S., Phua, M.H., Ong, R., Choi, B. and Lee, J.S., 2014. Determining aboveground biomass of a forest reserve in Malaysian Borneo using *k*-Nearest Neighbour method. Journal of Tropical Forest Science, 26(1): 58-68.
- Zhu, X. and Zhang, J., 2009. Quartered neighbor method: a new distance method for density estimation. Frontiers of Biology in China, 4(4): 574-578.

Fars province, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(1): 62-73 (In Persian).
- Fehrmann, L. and Kleinn, C., 2005. A k-Nearest Neighbour approach for estimating of single-tree biomass. Proceedings of the 7th FIA Symposium, USA, 3-6 Oct. 2005: 251-259.
- Guebas, F.D. and Koedam, N., 2006. Empirical estimate of the reliability of the use of the Point-Centered Quarter Method (PCQM): Solutions to ambiguous field situations and description of the PCQM+ protocol. Forest Ecology and Management, 228: 1-18.
- 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.
- 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): 1-10.
- Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M. and Shaw, P., 2005. Handbook of Biodiversity Methods. Cambridge University Press, Cambridge, 573p.
- Jahan, A., Akhavan, R. and Erfanifard, Y., 2010. Application of *k*-NN (9-tree) sampling method in central Zagros forests (Case study: Servak forest, Yasouj). The 1st Symposium on Threats and Destroying Factors of Biodiversity in Central Zagros. Iran, 16-17 Feb. 2010: 231-233 (In Persian).
- Jazirehi, M.H. and Ebrahimi Rostaghi, M., 2003. Silviculture in Zagros. University of Tehran Press, Tehran, 560p (In Persian).
- Kangas, A. and Maltamo, M., 2006. Forest Inventory: Methodology and Applications. Springer, 365p.
- Karamshahi, A., Zobeiri, M., Namiranian, M. and Feghhi, J., 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): 453-46 (In Persian).
- Kleinn, C. and Vilcko, F. 2005. On estimation in *k*-tree sampling. Proceedings of the 7th FIA Symposium. USA, 3-6 Oct. 2005: 203-208.
- Kleinn, C. and Vilcko, F., 2006. A new empirical approach for estimation in *k*-tree sampling. Forest Ecology and Management, 237: 522-533.

www.SID.ir

Archive of SID

Comparing different *k*-NN sampling methods for density estimation of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) with clustered spatial pattern in a Zagros open stand

M. Moselou[1] and Y. Erfanifard[2*]

1- M.Sc. Student, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Prof., College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

E-mail: erfanifard@shirazu.ac.ir

Received: 25.10.2014 Accepted: 20.04.2015

Abstract

Density (i.e. number of trees per unit area) is one of the important structural attributes of forest stands which is appropriate to understand forest dynamics. The *k*-Nearest Neighbour (*k*-NN) method is a distance sampling method which is commonly used to estimate quantitative attributes in forest inventories. In this study, the *k*-NN method with five strategies of Nearest Individual (NI), Nearest Neighbour (NN), Random Pairs (RP), Point-Centered Quarter (PCQ), and Quartered Neighbour (QN) was used to estimate the density of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in Zagros woodlands. A natural stand of 45 ha was selected in Bane Research Site, and was fully callipered to derive the true density. The spatial distribution of trees was clustered (R=0.79 and z = -12.38) with a true density of 19.44 trees per ha. While applying the *k*-NN method, different strategies as well as *k* ranging between 2 and 10 were tested across 46 sample points in a 100 × 100 m^2 sampling grid. The results showed that all strategies except PCQ significantly estimated the density at α=0.05. Furthermore, the number of *k* and the strategy of *k*-tree selection affected the accuracy and precision of *k*-NN results, since NI in *k*=4, NN in *k*=7, RP and QN in *k*=2 estimated the density with the least error (RMSE and Bias). In conclusion, the optimum *k*-NN method with appropriate *k* and strategy could estimate the density of wild pistachio trees with clustered spatial distribution in an open stand in Zagros woodlands.

Keywords: Wild pistachio, density, Zagros, error, *k*-NN.

www.SID.ir