

تأثیر نوع الگوی مکانی درختان بر کارایی روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای در درختزارهای زاگرس

نیره شیخ‌الاسلامی^۱، سید یوسف عرفانی‌فرد^{۲*}، سیدرشید فلاح شمس‌ی^۲، مسعود مسعودی^۲ و الهه خسروی^۱

^۱ کارشناس ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز
^۲ دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۳)

چکیده

الگوی مکانی درختان، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های ساختار جنگل، بر عملکرد روش‌های نمونه‌برداری تأثیر می‌گذارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر توزیع مکانی درختان بر کارایی روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای انجام شد. برای این منظور، یک توده بلوط ایرانی با الگوی مکانی پراکنده در استان کهگیلویه و بویراحمد (۴۷ هکتار) و یک توده بنه با الگوی مکانی کپه‌ای در استان فارس (۴۵ هکتار) انتخاب شد. شش روش فاصله‌ای و شش روش قطعه نمونه‌ای در یک شبکه ۱۰۰ متر × ۱۰۰ متر در هر دو توده برای برآورد تراکم و درصد تاج‌پوشش استفاده شد. کارایی روش‌ها با مقایسه آماری نتایج با مقدار واقعی، معیار صحت و درصد مجذور میانگین مربعات خطا ارزیابی شدند. مقدار واقعی تراکم و درصد تاج‌پوشش در توده بنه به ترتیب ۱۹/۴ پایه در هکتار و ۵/۱ درصد و در توده بلوط ایرانی ۲۲/۳ پایه در هکتار و ۱۷/۱ درصد بود. نتایج نشان داد که از میان روش‌های فاصله‌ای، دو روش نزدیک‌ترین فرد (تراکم ۱۹/۵ و درصد تاج‌پوشش ۵/۲) و نزدیک‌ترین همسایه (تراکم ۲۰/۱ و درصد تاج‌پوشش ۴/۹) در توده بنه و روش خط نمونه در توده بلوط ایرانی (تراکم ۲۱/۰ و درصد تاج‌پوشش ۱۷/۳) کارآمد بودند. همچنین همه روش‌های قطعه نمونه‌ای در دو توده کارایی لازم را داشتند (به جز روش قطعه نمونه مربعی). به‌طور کلی نتایج نشان داد که برخلاف روش‌های قطعه نمونه‌ای، پراکنش مکانی درختان بر صحت و دقت روش‌های فاصله‌ای مورد بررسی به‌طور معنی‌داری تأثیر می‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، تراکم، روش فاصله‌ای، روش قطعه نمونه‌ای، زاگرس.

مقدمه

اهمیت دارند. در صورت وجود شرایط مورد نیاز (اعم از نیروی کار، هزینه، زمان، مساحت محدود)، آماربرداری جنگل براساس اندازه‌گیری تک‌تک درختان در توده و به‌صورت صددرصد انجام می‌شود که این روش تنها در شرایط خاص و به‌ندرت استفاده می‌شود؛ بنابراین در اغلب موارد، جمع‌آوری اطلاعات براساس نمونه‌برداری انجام می‌شود که این اندازه‌گیری در قالب قطعات نمونه صورت می‌پذیرد.

بخشی از اطلاعات مورد نیاز در مدیریت جنگل، با آماربرداری از ویژگی‌های کمی و کیفی درختان جمع‌آوری می‌شود. بنابراین هدف اصلی آماربرداری از جنگل، دستیابی به برآوردی دقیق و صحیح از میانگین ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد نظر در مدیریت است (مانند تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش که در مدیریت ناحیه رویشی زاگرس

روش نمونه‌برداری در بوم‌سازگان‌های مختلف انجام شده است. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که روش‌های نمونه‌برداری مختلف بدون قطعه نمونه (Naghavi et al., 2009; Sohrabi et al., 2013) Erfanifard et al., 2006;) قطعه نمونه‌ای (Hou et al., 2015) اغلب جداگانه بررسی شده‌اند که برخی روش‌ها کارایی لازم را نشان داده و مورد تأیید بوده‌اند و برخی کارایی مناسب را نشان نداده‌اند. از سوی دیگر، برخی مطالعات ارزشمند در این زمینه انجام گرفته که روش‌های بدون قطعه نمونه و قطعه نمونه‌ای را مقایسه کردند (Heidari et al., 2009; Safari et al., 2010; Sadeghi Kaji et al., 2014; Ramezani et al., 2016). درحالی که بررسی تأثیر الگوی مکانی درختان بر عملکرد روش‌های ذکرشده جزو اهداف این مطالعات نبوده است. البته شایان ذکر است که در تحقیق (Sadeghi Kaji et al., 2014) و Ramezani et al. (2016) الگوی مکانی درختان در منطقه مطالعاتی‌شان تعیین شده است. این در حالی است که براساس مبانی نظری که ذکر شد، یکی از دلایل مهم تفاوت کارایی این روش‌های نمونه‌برداری از نظر دقت و صحت، ممکن است نحوه توزیع مکانی درختان در جنگل باشد (Engeman et al., 1994). با توجه به آنچه گفته شد، آگاهی از تأثیر نوع الگوی مکانی درختان در توده‌های تنک بر نحوه عملکرد دو نوع روش نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه و قطعه نمونه‌ای، اجرای بررسی پیش رو را ضروری کرد.

اهمیت ناحیه رویشی زاگرس و نقش‌های بوم‌شناختی و اقتصادی - اجتماعی آن به‌نحو مطلوب در پژوهش‌های پیشین بررسی شده است. هر گونه برنامه‌ریزی و مدیریت در این ناحیه رویشی ارزشمند نیازمند اطلاعات به‌روز و کارآمد است تا به این طریق اهداف حفظ، احیا، توسعه و بهره‌برداری از این جنگل‌ها برآورد شود. با توجه به گستردگی سطح این ناحیه رویشی، استفاده از روش‌های کارآمد نمونه‌برداری اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش حاضر براساس این فرضیه انجام شده که نحوه توزیع درختان

یکی از عوامل مؤثر بر صحت و دقت نتایج نمونه‌برداری در جنگل، نحوه توزیع مکانی درختان در محدوده مطالعاتی است. هرچقدر درختان از حالت پراکنده‌گی در تمام نقاط محدوده مطالعاتی به حالت کپه‌ای نزدیک شوند، احتمال قرار گرفتن قطعه نمونه‌ها در فضای خالی بین کپه‌ها افزایش خواهد یافت و سبب ارزیابی نتایج نمونه‌برداری خواهد شد. همچنین در توده‌های با توزیع کپه‌ای درختان، قطعه نمونه‌ها باید بزرگ‌تر باشند تا تعداد درخت در هر قطعه نمونه به همان اندازه‌ای باشد که در یک توده با توزیع پراکنده درختان و قطعات نمونه کوچک اندازه‌گیری می‌شود. در صورت استفاده از روش‌های فاصله‌ای نیز نحوه توزیع مکانی درختان بر صحت و دقت نتایج تأثیر می‌گذارد، به‌نحوی که در توده‌ای متشکل از درختان با توزیع مکانی کپه‌ای، احتمال برخورد درختان با خط نمونه‌ها (به‌عنوان مثال)، متفاوت با توده‌ای از درختان با توزیع مکانی پراکنده است که این موضوع سبب حصول نتایج اریب خواهد شد. علاوه بر این، مطالعات گذشته نشان داده است که توزیع مکانی درختان در توده بر ضریب تغییرات ویژگی اندازه‌گیری‌شده نیز تأثیر معنی‌داری می‌گذارد (Sohrabi et al., 2013; Unger et al., 2014). پژوهش‌های پیشین بر این موضوع تأکید کردند که الگوی مکانی درختان بر نتایج نمونه‌برداری در جنگل تأثیر دارد (Engeman et al., 1994; Ramezani et al., 2016). بنابراین ضروری به‌نظر می‌رسد که نحوه تأثیر الگوی مکانی درختان بر کارایی روش‌های نمونه‌برداری بررسی شود تا با توجه به نحوه توزیع درختان و با انتخاب روش نمونه‌برداری متناسب با آن، ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان با دقت و صحت قابل قبول برآورد شوند.

به‌طور کلی، روش‌های نمونه‌برداری به دو گروه روش‌های نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه و قطعه نمونه‌ای تقسیم می‌شوند (Krebs, 1999). تاکنون مطالعات ارزشمندی در مورد دقت و صحت این دو نوع

مختصات جغرافیایی در عرض ۲۹° تا ۱۵' و ۲۹° شمالی و طول ۳۰' و ۵۲° تا ۴۰' و ۵۲° شرقی با مساحت کل حدود ۹۳۷۴ هکتار است. یک توده از این جنگل تحقیقاتی با مساحت ۴۵ هکتار با متوسط ارتفاع ۱۹۲۰ متر از سطح دریا انتخاب شد که پوشیده از درختان بنه (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) بود. بخش دوم پژوهش در بخشی از جنگل‌های سروک در ۲ کیلومتری شهرستان یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد انجام گرفت (شکل ۱-ب). مختصات جغرافیایی منطقه تحقیق ۳۵' ۵۱° تا ۳۶' ۵۱° طول شرقی و ۳۴' ۳۰° تا ۳۵' ۳۰° عرض شمالی است. گونه غالب جنگل‌های منطقه مورد نظر، بلوط ایرانی (برودار) (*Quercus brantii* var. *persica*) است که بیشترین سهم را در ناحیه رویشی زاگرس دارد (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003). یک توده از این جنگل‌ها با مساحت ۴۷ هکتار با متوسط ارتفاع ۱۸۸۰ متر از سطح دریا انتخاب شد که پوشیده از درختان جست‌زاد بلوط ایرانی بود.

در توده‌های درختی و درختچه‌ای ناحیه رویشی زاگرس بر صحت و دقت روش‌های نمونه‌برداری تأثیر می‌گذارد. بنابراین هدف این پژوهش، بررسی نحوه تأثیر توزیع مکانی درختان بر عملکرد روش‌های نمونه‌برداری متداول در ناحیه رویشی زاگرس است. همچنین با مقایسه روش‌های مهم و پرکاربرد فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای در شرایط یکسان، کارایی این روش‌ها در برآورد دو ویژگی تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش در توده‌های با توزیع کپه‌ای و پراکنده درختان ارزیابی می‌شود. بررسی کارایی روش‌های نمونه‌برداری از دو جنبه دقت و صحت انجام می‌پذیرد تا اطمینان به نتایج پژوهش افزایش یابد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌های تحقیق

بخش اول این پژوهش در جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد در جنوب غربی استان فارس، در محدوده شهرستان فیروزآباد در ۶۵ کیلومتری جنوب شیراز انجام گرفت (شکل ۱-الف). این محدوده از نظر



شکل ۱- موقعیت منطقه‌های تحقیق در جنگل تحقیقاتی بنه در استان فارس (الف) و جنگل سروک در استان کهگیلویه و بویراحمد (ب) و در ایران (ج)

آماربرداری صددرصد

مناسب‌ترین راهکار در ارزیابی صحت میانگین ویژگی‌های زیست‌سنجی برآوردشده (تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش در این پژوهش) از نمونه‌برداری، مقایسه نتایج با مقدار واقعی آنها در توده است. اگرچه با توجه به دشواری اجرای آماربرداری صددرصد همیشه چنین امکانی وجود ندارد. به‌منظور ارائه نتایج قابل اطمینان از طرفی و ارزیابی کارایی روش‌های نمونه‌برداری از دو جنبه صحت و دقت از طرف دیگر، نتایج آماربرداری صددرصد در هر دو توده، مبنای ارزیابی صحت و دقت نتایج قرار گرفت. توده بانه با مساحت ۴۵ هکتار در تحقیق پیشین آماربرداری صددرصد شد و نتایج آماربرداری درختان با قطر بیشتر از ۲/۵ سانتی‌متر در آن در دسترس بود (Erfanifard & Mahdian, 2012). در این پژوهش، توده بلوط ایرانی با مساحت ۴۷ هکتار آماربرداری صددرصد شد؛ به این ترتیب که موقعیت مکانی همه درختان (هر جست گروه بلوط ایرانی یک درخت در نظر گرفته شد) با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی دوفرکانسه مارک Leica مدل GS10 با دقت کمتر از ۱ سانتی‌متر ثبت شده و دو قطر بزرگ و کوچک تاج هر درخت اندازه‌گیری شد. برای محاسبه تعداد در هکتار واقعی، تعداد کل درختان هر توده به مساحت توده تقسیم شد. برای اندازه‌گیری درصد تاج‌پوشش واقعی، ابتدا مساحت تاج هر درخت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شده و با توجه به مجموع مساحت‌های تاج و مساحت توده، درصد تاج‌پوشش محاسبه می‌شود. شایان ذکر است که به‌منظور جلوگیری از بیش‌برآوردی درصد تاج‌پوشش، سطوح مشترک بین تاج درختان در سامانه اطلاعات مکانی حذف شد. علت انتخاب این دو منطقه، تشابه شرایط محیطی و تراکم درختان و تفاوت نوع الگوی مکانی آنهاست که برای آزمون فرضیه پژوهش حاضر مناسب بودند؛ اگرچه در مناطق با تراکم کم درختان، آماربرداری صددرصد مناسب‌ترین روش است.

الگوی مکانی درختان

نحوه توزیع مکانی درختان در یک محدوده با استفاده از سه روش قطعه نمونه، نزدیک‌ترین همسایه و آماره اختصاری K رایپلی و مشتقات آن تعیین می‌شود (Illian et al., 2008). با توجه به اهداف این پژوهش، ضروری است که الگوی مکانی درختان در کل هر توده تعیین شود و نیازی به آگاهی از تغییرات الگوی مکانی درختان در فاصله‌های مختلف نیست. بنابراین با در نظر گرفتن ویژگی‌های سه روش ذکرشده، از روش نزدیک‌ترین همسایه در این پژوهش استفاده شد تا صرفاً بررسی شود که الگوی مکانی درختان در کل توده مورد بررسی چگونه است و اطمینان حاصل شود که دو توده انتخاب‌شده دارای دو الگوی مکانی کپه‌ای و پراکنده‌اند. در این روش که بر مبنای فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه استوار است، از رابطه ۱ استفاده شد.

$$R = \frac{d_{obs}}{d_{exp}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، d_{obs} میانگین فاصله‌های بین هر درخت تا نزدیک‌ترین همسایه‌اش، d_{exp} فاصله مورد انتظار در توزیع تصادفی درختان و R شاخص نزدیک‌ترین همسایه است. اگر این شاخص برابر ۱، کوچک‌تر از ۱ و بزرگ‌تر از ۱ باشد، به‌ترتیب نشان‌دهنده الگوی مکانی تصادفی، کپه‌ای و پراکنده درختان در توده مورد نظر است. در روش نزدیک‌ترین همسایه، روش آماری به‌کاررفته در ارزیابی صحت نتایج، آزمون Z است (رابطه ۲).

$$z = \frac{d_{obs} - d_{exp}}{SE_{exp}} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲، SE خطای استاندارد d_{exp} است. در صورتی که آماره آزمون بین $\pm 1/96$ باشد، بین الگوی مکانی درختان و توزیع تصادفی آنها تفاوت معنی‌داری (در سطح خطای ۰/۰۵) وجود ندارد. اگر آماره آزمون بیش از ۱/۹۶+ و کمتر از ۱/۹۶- باشد، به‌ترتیب نتایج روش

انتخاب شده از رابطه‌های جدول ۱ و برای درصد تاج پوشش از رابطه‌های ۳ تا ۵ استفاده شد.

$$cc_i = \frac{\pi}{4} (CD_{1i} \times CD_{2i}) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\overline{cc} = \sum_{i=1}^n \frac{cc_i}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$cc\% = \frac{N_{ha} \times \overline{cc}}{100} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه‌های ۳ تا ۵، CD_{1i} : قطر بزرگ تاج درخت i (متر)، CD_{2i} : قطر کوچک تاج درخت i (متر)، cc : میانگین سطح تاج یک درخت (متر مربع)، cc_i : سطح تاج درخت i (متر مربع)، $cc\%$: درصد تاج پوشش درختان، n : تعداد کل درختان، N_{ha} : تعداد در هکتار هستند.

نزدیک‌ترین همسایه در توزیع پراکنده و کپه‌ای درختان از نظر آماری تأیید می‌شود (Illian et al., 2008).

روش‌های نمونه‌برداری

-روش‌های فاصله‌ای

با بررسی پیشینه پژوهش از میان روش‌های فاصله‌ای متداول در اندازه‌گیری تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش، شش روش نزدیک‌ترین فرد، نزدیک‌ترین همسایه، دومین همسایه نزدیک، مربع‌تی، خط نمونه^۱ و مربع سرگردان انتخاب شدند. همچنین با توجه به دستاوردهای پژوهش‌های قبلی، مناسب‌ترین برآوردکننده در هر روش به کار رفت (Krebs, 1999; Heidari et al., 2007; Unger et al., 2014). استفاده از یک برآوردکننده مشابه در هر روش این مزیت را داشت که تفاوت عملکرد روش و برآوردکننده مذکور در دو نوع الگوی مکانی متفاوت قابل ارزیابی باشد. برای برآورد تعداد در هکتار در روش‌های فاصله‌ای

جدول ۱- برآوردکننده‌های مورد استفاده در برآورد تعداد در هکتار در روش‌های فاصله‌ای

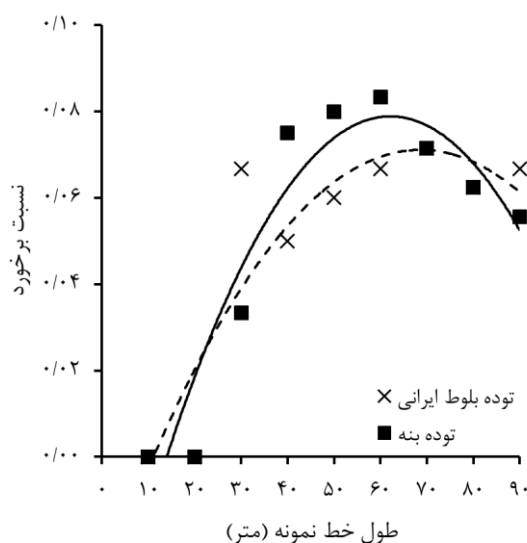
منبع	برآوردکننده	روش
Morisita (1957)	$N = \frac{n-1}{\pi \sum (r_{pi}^2)}$	نزدیک‌ترین فرد (NI)
Cottam & Curtis (1956)	$N = \frac{1}{2.788 \left[\sum \frac{r_{mi}}{n_i} \right]^2}$	نزدیک‌ترین همسایه (NN)
Cottam & Curtis (1956)	$N = \frac{1}{2.788 \left[r_m \right]^2}$	دومین همسایه نزدیک (2NN)
Byth (1982)	$N = \frac{n^2}{2 \sum (r_{pi}) \sqrt{2 \sum r_{mi}}}$	مربع تی (T)
Krebs (1999)	$N = \left[\frac{1}{L} \right] \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{w_i} \right)$	خط نمونه (LIS)
Krebs (1999)	$N = \frac{1}{\left(\sum \frac{r_{ij}}{4n} \right)^2}$	مربع سرگردان (WQ)

N : تعداد در هکتار جمعیت در واحد سطح، n : تعداد نمونه یا نقاط نمونه‌برداری، r_{pi} : فاصله هر درخت تا نقطه نمونه‌برداری به متر، m : تعداد فاصله‌های اندازه‌گیری شده بین نقاط نمونه‌برداری و نزدیک‌ترین درخت به آنها، r_{ni} : فاصله بین درخت و نزدیک‌ترین همسایه آن به متر، r_m : متوسط فاصله بین درخت دوم و نزدیک‌ترین همسایه آن به متر، r_{ij} : فاصله از نقطه نمونه‌برداری i تا نقطه نمونه‌برداری j به متر، L : طول خط نمونه به متر، k : تعداد درختانی که با خط نمونه برخورد داشته‌اند، w_i : حداکثر طول تاج درختانی که با خط نمونه برخورد داشته‌اند به متر.

¹ Line Intersect Sampling (LIS)

درختان به طول خط نمونه محاسبه شده که نتایج آن در شکل ۲ آمده است. مناسب‌ترین طول خط نمونه در توده بانه ۶۰ متر و در توده بلوط ایرانی ۷۰ متر به دست آمد. به منظور مقایسه روش‌ها در شرایط یکسان، طول خط نمونه ۷۰ متر در هر دو توده استفاده شد.

به منظور تعیین طول بهینه خط نمونه در روش خط نمونه، از روش وان واگنر استفاده شد. یک خط نمونه به طول ۹۰ متر (با توجه به ابعاد 100×100 متر شبکه نمونه‌برداری) با نقطه شروع تصادفی در دو توده بانه و بلوط ایرانی در نظر گرفته شد. در هر فاصله ۱۰ متری، تعداد درختانی که تنه یا تاج آنها با خط نمونه برخورد می‌کرد ثبت شده و نسبت برخورد تعداد

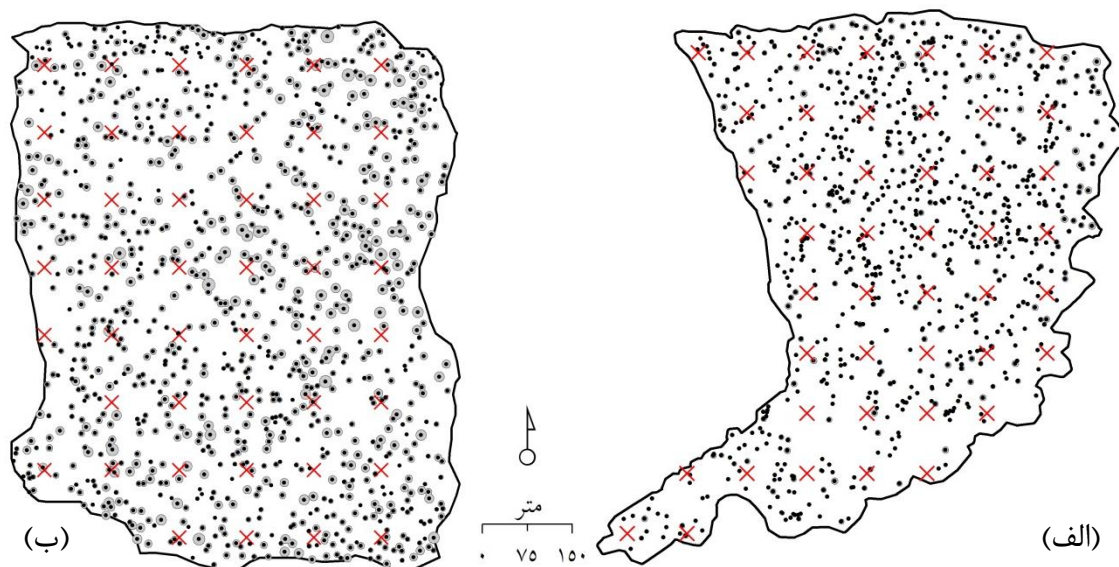


شکل ۲- نسبت برخورد درختان بلوط ایرانی و بانه با خط نمونه تصادفی با طول ۹۰ متر

و در نهایت، شش حالت (سه شکل و دو مساحت) مقایسه شد. در مورد قطعه نمونه‌های مستطیلی، ابعاد به نحوی انتخاب شدند که طول مستطیل حدود دو برابر عرض آن باشد (طول ۴۰ متر و عرض ۲۰ متر برای مساحت ۸ آر و طول ۴۴/۷ متر و عرض ۲۲/۳۵ متر برای مساحت ۱۰ آر). گفتنی است که در هر دو توده، شبکه‌هایی با ابعاد 100×100 متر در نظر گرفته شد و اندازه‌گیری در روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای و نقطه تقاطع شبکه‌ها شامل ۴۵ نقطه بود انجام گرفت (شکل ۳). کلیه محاسبات و اجرای شبکه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌ها در نرم‌افزار ArcGIS نسخه 10.2 انجام گرفت.

- روش‌های قطعه نمونه‌ای

اگرچه شکل و اندازه قطعه نمونه‌ها از تنوع زیادی برخوردار است، سه شکل دایره‌ای، مربعی و مستطیلی به دلیل سهولت در اجرا نسبت به دیگر شکل‌های هندسی در نمونه‌برداری جنگل کاربرد بیشتری دارند. از سوی دیگر، تاکنون مطالعاتی در مورد مساحت قطعه نمونه در برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی در زاگرس انجام گرفته است (Erfanifard et al., 2006; Heidari et al., 2009; Sadeghi Kaji et al., 2014). ولی عملکرد آنها در الگوهای مکانی مختلف مقایسه نشده است. با توجه به پژوهش‌های پیشین، دو مساحت ۸ آر (800 مترمربع) و ۱۰ آر (1000 مترمربع) برای سه شکل اشاره شده در نظر گرفته شد



شکل ۳- توده بانه با مساحت ۴۵ هکتار (الف) و توده بلوط ایرانی با مساحت ۴۷ هکتار (ب) که در هر دو توده ۴۵ نقطه نمونه برداری (x) در شبکه ۱۰۰ × ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است.

فاصله‌ای به کار رفته است.

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه ۷، \hat{y}_i مقدار برآورد شده، \bar{y} میانگین مقادیر برآورد شده و y_i مقدار واقعی ویژگی برآورد شده و n تعداد نمونه‌هاست.

نتایج

در توده بانه، ۸۷۵ درخت بانه با تعداد در هکتار ۱۹/۴، نسبت ۹۷/۶ درصد و درصد تاج پوشش ۵/۱ درصد (مجموع مساحت تاج همه درختان بدون پوشش مشترک ۲۳۱۴۴/۳ متر مربع بود) و ۲۱ درختچه از جنس بادام ثبت شد. همچنین در آماربرداری صددرد از توده بلوط ایرانی، تعداد ۱۰۴۹ درخت جست زاد بلوط ایرانی با تعداد در هکتار ۲۲/۳، نسبت ۱۰۰ درصد و درصد تاج پوشش ۱۷/۱ درصد (مجموع مساحت تاج همه درختان بدون پوشش مشترک ۸۰۳۹۱/۷ متر مربع بود) ثبت شد.

ارزیابی کارایی روش‌های نمونه برداری

به منظور بررسی صحت تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش برآورد شده با روش‌های فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای در دو توده با الگوی مکانی متفاوت، نتایج به دست آمده با استفاده از آزمون t تک نمونه‌ای با مقدار واقعی مقایسه شد. علاوه بر آزمون، از معیار صحت نیز برای بررسی صحت نتایج استفاده شد (رابطه ۶) (Heidari et al., 2011). در صورتی که مقدار کمی معیار صحت خارج از دامنه ± 10 باشد، نتایج حاصل از روش نمونه برداری قابل قبول نبوده و صحت لازم را ندارد.

رابطه ۶

$$100 \times \frac{\text{مقدار واقعی} - \text{مقدار برآوردی}}{\text{مقدار واقعی}} = \text{معیار صحت}$$

به منظور محاسبه دقت حاصل از هر روش فاصله‌ای و همچنین برآوردکننده‌های مورد بررسی، از درصد مجذور میانگین مربعات خطا^۱ (رابطه ۷) استفاده شد که در مطالعات قبلی نیز برای ارزیابی دقت روش‌های

^۱ Root Mean Square Error Percent: RMSE%

نتایج روش نزدیک‌ترین همسایه بیانگر توزیع کپه‌ای درختان بنه در توده مورد بررسی بود. همچنین آماره Z آزمون نیز الگوی مکانی کپه‌ای درختان بنه را از نظر آماری در سطح خطای ۰/۰۵ تأیید کرد (جدول ۲).

تأیید کرد. همچنین در توده بلوط درختان بلوط ایرانی به صورت پراکنده در سطح توده توزیع شده‌اند. علاوه بر این، مقدار آماره Z آزمون این نتیجه را از نظر آماری در سطح خطای ۰/۰۵ تأیید کرد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج روش نزدیک‌ترین همسایه (R) و آزمون Z در دو توده بنه و بلوط ایرانی

توده بنه	میانگین فاصله مشاهده شده (متر)	میانگین فاصله توزیع تصادفی (متر)	مقدار R	آماره Z آزمون
۱۰/۶۹	۱۳/۴۴	-۰/۷۹	-۱۲/۳۸	
توده بلوط ایرانی	میانگین فاصله مشاهده شده (متر)	میانگین فاصله توزیع تصادفی (متر)	مقدار R	آماره Z آزمون
۱۲/۲۹	۱۱/۰۵	۱/۱۱	+۶/۹۱	

نتایج حاصل از روش‌های فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش دو توده بنه با توزیع مکانی کپه‌ای درختان و بلوط ایرانی با توزیع مکانی پراکنده درختان و همچنین مقایسه آماری این نتایج با مقدار واقعی آنها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- نتایج بررسی صحت روش‌های فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای با استفاده از آزمون t تک‌نمونه‌ای

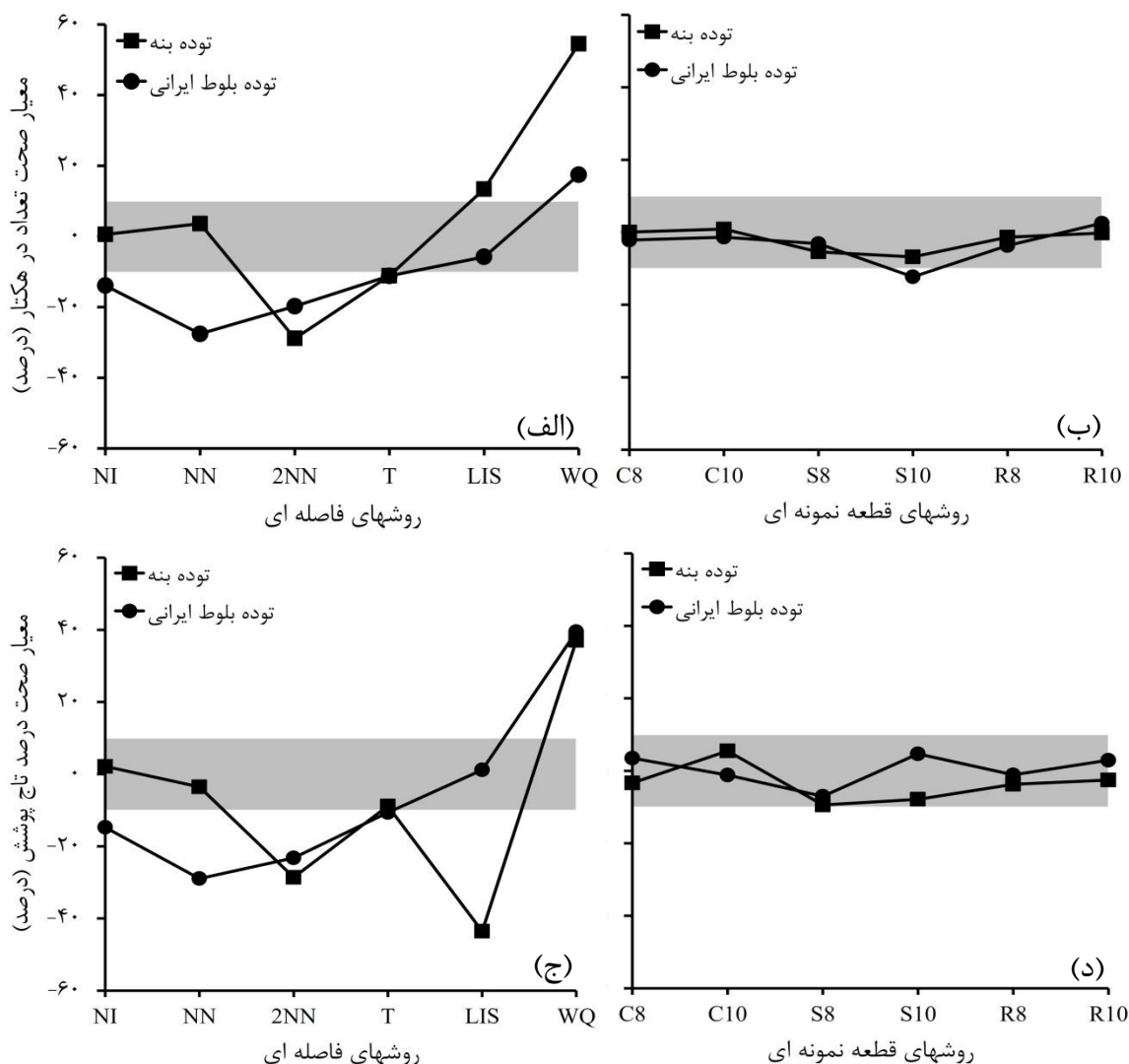
روش	توده بنه				توده بلوط ایرانی			
	D	p-value	CC%	p-value	D	p-value	CC%	p-value
فاصله‌ای	NI	۰/۲۲۵	۵/۳ ^{NS}	۰/۵۱۹	۱۹/۳*	۰/۰۰۲	۱۴/۶*	۰/۰۰۶
	NN	۰/۰۷۲	۴/۹ ^{NS}	۰/۳۳۹	۱۶/۱*	<۰/۰۰۱	۱۲/۱*	<۰/۰۰۱
	2NN	۱۳/۸*	۳/۶*	<۰/۰۰۱	۱۷/۹*	<۰/۰۰۱	۱۳/۱*	<۰/۰۰۱
	T	۱۷/۲*	۴/۶*	۰/۰۰۲	۱۹/۸*	۰/۰۱۴	۱۵/۳*	۰/۰۳۴
	LIS	۲۲/۰*	۲/۹*	<۰/۰۰۱	۲۱/۰ ^{NS}	۰/۰۸۵	۱۷/۳ ^{NS}	۰/۵۷۷
	WQ	۲۹/۹*	۶/۹*	<۰/۰۰۱	۲۶/۲*	<۰/۰۰۱	۲۳/۹*	<۰/۰۰۱
قطعه نمونه‌ای	C8	۱/۰۰۰	۴/۹ ^{NS}	۰/۵۷۵	۲۱/۸ ^{NS}	۰/۶۷۶	۱۷/۷ ^{NS}	۰/۱۹۵
	C10	۰/۳۷۴	۵/۳ ^{NS}	۰/۲۵۹	۲۲/۰ ^{NS}	۰/۵۰۰	۱۶/۹ ^{NS}	۰/۶۶۳
	S8	۰/۰۲۶	۴/۶ ^{NS}	۰/۲۴۷	۲۱/۶ ^{NS}	۰/۰۹۱	۱۵/۹*	۰/۰۰۱
	S10	۰/۰۰۷	۴/۷*	۰/۰۱۶	۱۹/۶*	۰/۰۰۸	۱۷/۹ ^{NS}	۰/۱۳۳
	R8	۰/۰۸۳	۴/۹ ^{NS}	۰/۰۵۷	۲۱/۵ ^{NS}	۰/۱۸۵	۱۶/۹ ^{NS}	۰/۶۰۲
	R10	۱/۰۰۰	۵/۰ ^{NS}	۰/۷۹۱	۲۲/۹ ^{NS}	۰/۲۳۱	۱۷/۶ ^{NS}	۰/۲۴۷

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

D: تعداد در هکتار، CC%: درصد تاج‌پوشش، C8: دایره‌ای ۸ آر، C10: دایره‌ای ۱۰ آر، S8: مربعی ۸ آر، S10: مربعی ۱۰ آر، R8: مستطیلی ۸ آر، R10: مستطیلی ۱۰ آر

مورد تحقیق با استفاده از معیار صحت در شکل ۴ آمده است.

بررسی صحت نتایج حاصل از روش‌های فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای در برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی



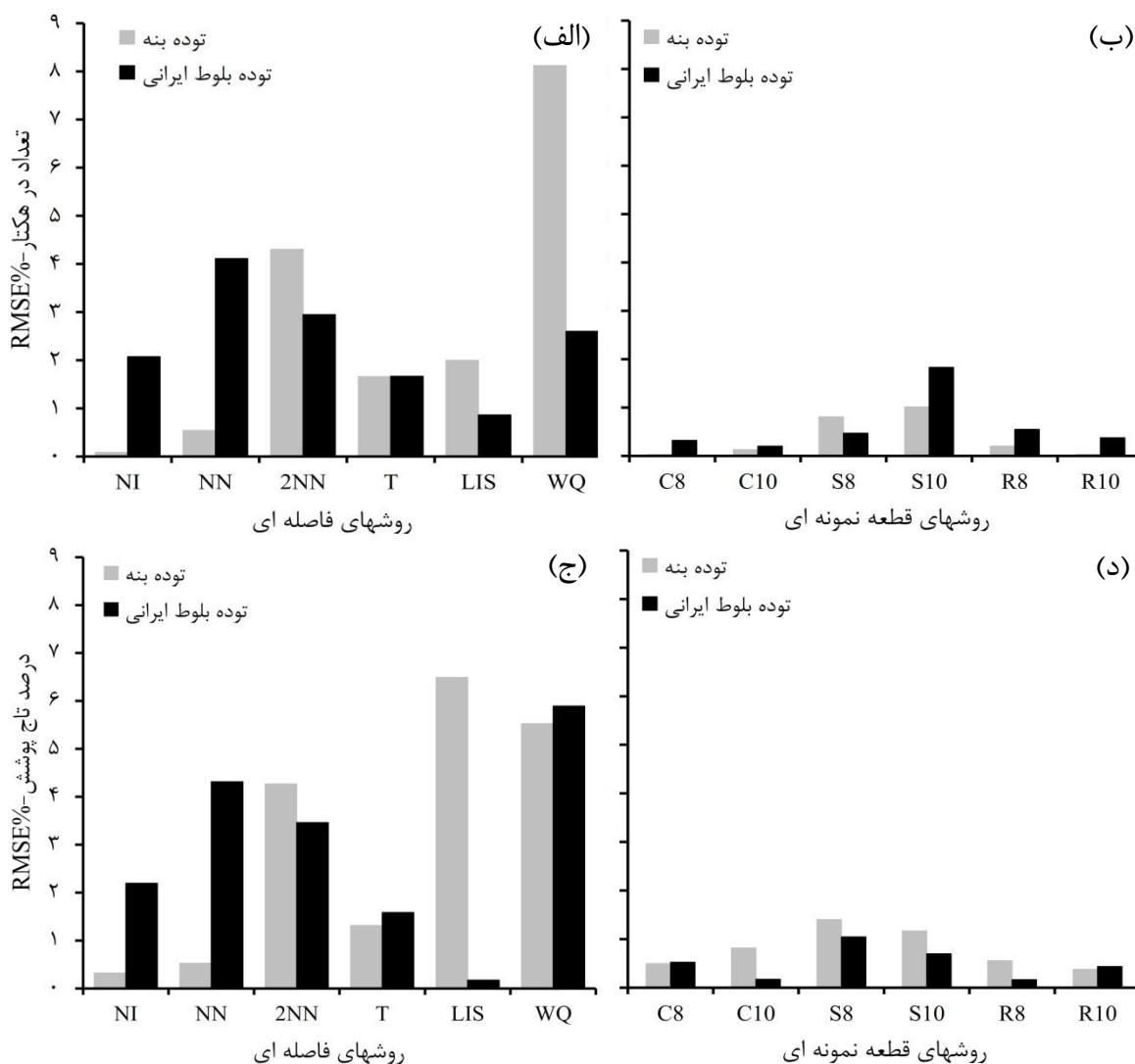
شکل ۴- تغییرات معیار صحت تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش با استفاده از روش‌های فاصله‌ای (الف و ج) و قطعه نمونه‌ای (ب و د) در دو توده بنه (توزیع مکانی کپه‌ای) و بلوط ایرانی (توزیع مکانی پراکنده). محدوده خاکستری نشان‌دهنده محدوده قابل قبول معیار صحت (± 10) است.

ایرانی کمترین $RMSE\%$ را داشتند (شکل ۵-الف). میزان $RMSE\%$ در همه روش‌های قطعه نمونه‌ای کم بوده و بیشترین مقدار آن در توده‌های مورد بررسی مربوط به روش مربعی ۱۰ آر است (شکل ۵-ب). همچنین در برآورد درصد تاج پوشش نیز از میان روش‌های فاصله‌ای، دو روش نزدیک‌ترین فرد و

نتایج بررسی $RMSE\%$ در شش روش فاصله‌ای و شش روش قطعه نمونه‌ای نیز بیانگر تأثیر تفاوت نحوه توزیع درختان بر دقت برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش بود. نتایج نشان داد که در برآورد تعداد در هکتار توده بنه دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه و روش خط نمونه در توده بلوط

مقدار $RMSE\%$ را داشتند ولی دیگر روش‌ها مقدار $RMSE\%$ اندکی را در برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد تحقیق نشان دادند (شکل ۵-د).

نزدیک‌ترین همسایه در توده بانه و روش خط نمونه در توده بلوط ایرانی از کمترین $RMSE\%$ برخوردار بودند (شکل ۵-ج). دو روش مربعی ۸ آر و ۱۰ آر در برآورد درصد تاج‌پوشش در دو توده مورد بررسی بیشترین



شکل ۵- تغییرات درصد مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE\%$) تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش با استفاده از روش‌های فاصله‌ای (الف و ج) و قطعه نمونه‌ای (ب و د) در دو توده بانه (توزیع مکانی کپه‌ای) و بلوط ایرانی (توزیع مکانی پراکنده)

از آنها در برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان و توده تأثیر می‌گذارد (Sohrabi et al., 2013; Erfanifard et al., 2014; Sadeghi Kaji et al., 2014; Hou et al., 2015; Ramezani et al., 2016). با توجه

بحث

در پیشینه پژوهش ارزیابی روش‌های مختلف نمونه‌برداری در جنگل به این موضوع اشاره شده بود که نحوه توزیع درختان بر دقت و صحت نتایج حاصل

کارایی روش‌های نمونه‌برداری تراکم درختان است. به همین دلیل با مطالعات اولیه و بازدیدهای میدانی گسترده، توده بلوط ایرانی طوری انتخاب شد که تراکم آن (۲۲/۳ پایه در هکتار) تفاوت چندانی با توده بنه (۱۹/۴ پایه در هکتار) نداشته باشد تا اثر تراکم بر کارایی روش‌ها تا حدودی حذف شده و تنها، تفاوت در توزیع مکانی آنها مؤثر باشد. علاوه بر این، دو توده در یک طبقه ارتفاعی از سطح دریا قرار داشتند. همچنین گفتنی است که برآوردکننده‌های بهینه مورد استفاده در روش‌های فاصله‌ای از نتایج بررسی‌های پیشین انتخاب شدند (جدول ۱). هدف این پژوهش، مقایسه برآوردکننده‌های مختلف نبود، زیرا این موضوع به‌نحو مطلوب در پژوهش‌های قبلی بررسی شده است (Heidari et al., 2011). آنچه اهمیت داشت، استفاده از روش‌های فاصله‌ای با برآوردکننده یکسان در دو منطقه با الگوی مکانی متفاوت بود. هرچند تأثیر شکل پراکنش درختان بر عملکرد برآوردکننده‌های هر روش نیز می‌تواند در تحقیقات آتی بررسی شود.

نخستین گام در ارزیابی تأثیر الگوی مکانی درختان بر کارایی روش‌های نمونه‌برداری، بررسی صحت نتایج برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد بررسی در توده با الگوی مکانی متفاوت بود. در این پژوهش، این کار با استفاده از مقایسه آماری نتایج با مقدار واقعی‌شان (جدول ۳) و همچنین اندازه‌گیری معیار صحت انجام گرفت (شکل ۴). از میان روش‌های فاصله‌ای، تنها دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه توانستند تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش درختان بنه با توزیع کپه‌ای را بدون اختلاف معنی‌دار از مقدار واقعی (در سطح خطای ۰/۰۵) برآورد کنند. نتایج نشان داد که چهار روش فاصله‌ای دیگر در توزیع کپه‌ای از صحت لازم برخوردار نبودند. همچنین در توده بلوط ایرانی با توزیع مکانی پراکنده درختان نیز روش‌های فاصله‌ای مورد بررسی از صحت لازم برخوردار نبودند و به‌غیر از روش خط نمونه، نتایج

به ضرورت آگاهی از این موضوع و اهمیت آن در انتخاب روش نمونه‌برداری مناسب در جنگل‌های زاگرس به‌ویژه در توده‌های کم‌تراکم، این پژوهش انجام گرفت. اهداف این پژوهش بررسی نحوه تأثیر توزیع مکانی متفاوت درختان بر عملکرد روش‌های نمونه‌برداری متداول در ناحیه رویشی زاگرس، مقایسه روش‌های مهم و پرکاربرد فاصله‌ای و قطعه نمونه‌های در شرایط یکسان و ارزیابی کارایی این روش‌ها در برآورد دو ویژگی تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش در توده‌های با توزیع کپه‌ای و پراکنده درختان از دو جنبه دقت و صحت بودند که به نحوه دستیابی به آنها پرداخته می‌شود.

با توجه به اهداف این پژوهش، دو توده بنه و بلوط ایرانی به‌عنوان مهم‌ترین گونه‌های ناحیه رویشی زاگرس انتخاب شدند که در آنها، درختان از توزیع مکانی متفاوت برخوردار بودند. چنانچه نتایج حاصل از روش نزدیک‌ترین همسایه که در تعیین الگوی مکانی مطالعات قبلی تأیید شده است (White et al., 2008; Erfanifard et al., 2014; Sadeghi Kaji et al., 2014) نشان داد، درختان بنه به‌طور معنی‌داری از الگوی مکانی کپه‌ای پیروی می‌کردند (جدول ۲). پراکنش کپه‌ای درختان بنه در توده مورد بررسی احتمالاً به‌دلیل سنگینی خوشه‌های بذر بنه و همچنین مساعدتر بودن بخش‌هایی از توده بوده است (Erfanifard & Mahdian, 2012). همچنین نشان داد که درختان بلوط ایرانی دارای توزیع مکانی پراکنده بودند (جدول ۲). یکی از دلایل پراکندگی درختان در یک توده، رقابت بین آنها بر سر منابع مشترک است. بنابراین این احتمال وجود دارد که درختان بلوط ایرانی نیز در توده مورد نظر رقابتی بر سر نور نداشته باشند (به‌دلیل فاصله بین درختان) ولی بر سر منابعی چون رطوبت و مواد غذایی خاک با هم رقابت داشته‌اند. با توجه به هدف پژوهش، این موضوع بسیار اهمیت داشت که تعداد در هکتار در دو توده مشابه باشند، زیرا یکی دیگر از عوامل مؤثر بر

کارایی روش‌های فاصله‌ای و سپس روش‌های قطعه نمونه‌ای شرح داده می‌شود.

نتایج نشان داد که از میان شش روش فاصله‌ای، در صورت توزیع کپه‌ای درختان، دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه در برآورد تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش بیشترین کارایی را داشتند و الگوی مکانی کپه‌ای کارایی روش‌های فاصله‌ای دیگر را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که همسو با پژوهش‌های قبلی است. (Heidari et al. (2011 عملکرد روش نزدیک‌ترین فرد با برآوردکننده Morisita (برآوردکننده مشابه پژوهش حاضر) را در برآورد تراکم و درصد تاج‌پوشش در یک توده بلوط ایرانی با الگوی مکانی کپه‌ای در زاگرس (استان کرمانشاه) تأیید کردند. همان‌طور که نتایج پژوهش حاضر نشان داد، Heidari et al. (2007) نیز تأیید کردند که برآورد تراکم با روش مربع تی در توده‌های بلوط ایرانی در زاگرس با پراکنش کپه‌ای صحت لازم را ندارد. ناکارآمدی روش دومین همسایه نزدیک در توده بنه با پراکنش کپه‌ای در این بررسی در پژوهش Unger et al. (2014) نیز تأیید شد؛ آنان نشان دادند که توزیع کپه‌ای درختان بر صحت نتایج روش مذکور تأثیر دارد.

در پژوهش حاضر نشان داده شد که با وجود تأیید کارایی دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه در توده با پراکنش کپه‌ای درختان، این دو روش در توده بلوط ایرانی با توزیع پراکنده کارایی قابل قبولی نداشتند. یکی از دلایل این ناکارآمدی ممکن است فاصله درختان در توزیع پراکنده باشد. در توزیع پراکنده، فاصله بین درختان که در برآورد تراکم در روش نزدیک‌ترین فرد استفاده می‌شود بیشتر از توزیع کپه‌ای است (r_p در شکل ۱، Erfanifard et al., 2014). بنابراین مخرج کسر برآوردکننده روش نزدیک‌ترین فرد (جدول ۱) افزایش می‌یابد و در نتیجه، نسبت‌های محاسبه‌شده در روش نزدیک‌ترین فرد کم شده و در نهایت سبب کم‌برآوردی تعداد در هکتار می‌شود؛ چنانکه در

روش‌های دیگر با مقدار واقعی متفاوت بود (جدول ۳). درحالی که روش‌های قطعه نمونه‌ای در دو توده بنه و بلوط ایرانی نتایج مطلوب‌تری داشتند. در توده بنه روش‌های مربعی ۸ و ۱۰ آر، تعداد در هکتار و روش مربعی ۱۰ آر، درصد تاج‌پوشش را صحیح برآورد نکردند. در توده بلوط ایرانی نیز تعداد در هکتار برآوردشده با روش مربعی ۱۰ آر و درصد تاج‌پوشش برآوردشده با روش مربعی ۸ آر با مقدار واقعی اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۳). بررسی معیار صحت نیز نشان داد که تفاوت توزیع مکانی درختان بر صحت این روش‌ها تأثیر داشت. نتایج روش‌های فاصله‌ای در برآورد تعداد در هکتار توده بنه با توزیع کپه‌ای نشان داد که تنها معیار صحت دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه در محدوده قابل قبول (± 10) قرار گرفته است. همچنین تنها روش خط نمونه معیار صحت قابل قبولی در توده بلوط ایرانی داشت و بقیه روش‌های فاصله‌ای معیار صحت مناسبی نداشتند (شکل ۴-الف). درحالی که به‌غیر از روش مربعی ۱۰ آر، همه روش‌های قطعه نمونه‌ای در برآورد تعداد در هکتار دو توده کپه‌ای و پراکنده معیار صحت قابل قبولی داشتند (شکل ۴-ب). معیار صحت روش‌های فاصله‌ای در برآورد درصد تاج‌پوشش در دو توده بنه و بلوط ایرانی مانند وضعیت معیار صحت در تعداد در هکتار بود. معیار صحت درصد تاج‌پوشش دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه در توده بنه و روش خط نمونه در توده بلوط ایرانی قابل قبول بود (شکل ۴-ج). همه روش‌های قطعه نمونه‌ای نیز توانستند درصد تاج‌پوشش را با معیار صحت مناسب برآورد کنند و تفاوت در توزیع درختان بر معیار صحت آنها تأثیری نداشت (شکل ۴-د).

دومین گام در این ارزیابی، بررسی دقت نتایج بود که برای این منظور در پژوهش حاضر $RMSE\%$ به‌کار رفت (شکل ۵). به‌منظور بحث در مورد علل نتایج به‌دست‌آمده و همچنین مقایسه آنها با بررسی‌های قبلی، ابتدا تأثیر تفاوت الگوی مکانی درختان بر

خط نمونه در یک توده کپه‌ای در زاگرس ۴ تا ۶ درصد بیشتر برآورد شده است، (Erfanifard (2013) نیز نتیجه گرفته که درختان بنه با تراکم ۱۹/۴ پایه در هکتار یک توده کپه‌ای در زاگرس با روش خط نمونه ۲۶ برآورد شده است. در تحقیق حاضر نیز با روش مذکور تراکم ۱۹/۴ پایه در هکتار توده کپه‌ای ۲۲ برآورد شد (جدول ۲). (White et al. (2008) نیز تأثیر الگوی مکانی بر کارایی روش‌های نمونه‌برداری را تأیید کردند و نشان دادند که روش خط نمونه در توده‌های پراکنده کارایی لازم را دارد که نتایج ایشان مشابه تحقیق حاضر است. اگرچه اشاره شده که روش خط نمونه در برآورد تراکم در توده‌های تنک از کارایی لازم برخوردار است، نتایج پژوهش حاضر و بررسی‌های قبلی نشان داد که تغییر الگوی مکانی درختان بر کارایی روش خط نمونه در توده‌های کم‌تراکم تأثیر معنی‌داری دارد.

علاوه بر این، نتایج بیانگر تأثیر کمتر تغییر الگوی مکانی درختان بر صحت و دقت روش‌های قطعه نمونه‌ای بود. تنها روش مربعی در برخی موارد (در توزیع کپه‌ای روش‌های مربعی ۸ و ۱۰ آر برای برآورد تعداد در هکتار و روش مربعی ۱۰ آر برای برآورد تاج‌پوشش، در توده پراکنده تعداد در هکتار برآوردی با روش مربعی ۱۰ آر و درصد تاج‌پوشش برآوردی با روش مربعی ۸ آر) نتایج قابل قبولی ارائه نکرد. یکی از دلایل کارایی روش‌های دایره‌ای در نسبت محیط به مساحت آنهاست که در بین سه روش مورد بررسی، حداقل است (Erfanifard et al., 2006). همچنین در روش مستطیلی، به دلیل وجود طول بلند، امکان ثبت تغییرات در توده فراهم می‌شود. در برخی منابع مربوط به نمونه‌برداری در جنگل به این نکته اشاره شده که روش‌های قطعه نمونه‌ای بر روش‌های فاصله‌ای برتری دارند، زیرا از کارایی بیشتری برخوردارند که نتایج پژوهش حاضر نیز این موضوع را تأیید کرد. توسعه روش‌های فاصله‌ای به دلیل امکان اجرای آنها در زمان کمتر در عرصه و امکان

تحقیق حاضر، تراکم ۲۲/۳ پایه در هکتار توده بلوط ایرانی، به روش نزدیک‌ترین فرد ۱۹/۲ برآورد شد (جدول ۲). همچنین در مورد روش نزدیک‌ترین همسایه، فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در یک توده پراکنده بیشتر از توده کپه‌ای است (r_n در شکل ۱، Erfanifard et al., 2014). این موضوع سبب افزایش مخرج و کاهش نسبت رابطه برآوردکننده (جدول ۱) و در نتیجه کم‌برآوردی تعداد در هکتار می‌شود. چنانکه در پژوهش حاضر، روش نزدیک‌ترین همسایه تعداد در هکتار ۲۲/۳ پایه در هکتار بلوط ایرانی را ۱۶/۱ برآورد کرد. بنابراین توزیع پراکنده درختان بر صحت و دقت دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه تأثیر می‌گذارد.

در توده بلوط ایرانی، از میان همه روش‌های فاصله‌ای تنها روش خط نمونه کارآمد بود. البته کارایی این روش در پژوهش‌های گذشته نیز تأیید شده است (White et al., 2008). (Sohrabi et al. (2013) نشان دادند که این روش در یک توده با توزیع مکانی کپه‌ای در زاگرس (استان چهارمحال و بختیاری) از کارایی لازم برخوردار نیست که یافته‌های ایشان همانند نتایج پژوهش حاضر (ناکارآمدی روش در توده بنه با توزیع کپه‌ای) است. ایشان توضیح دادند که پراکنش کپه‌ای درختان بر احتمال برخورد درختان با خط نمونه‌ها تأثیر می‌گذارد و کارایی روش را کاهش می‌دهد. (Erfanifard (2013) نیز نشان داد که روش خط نمونه در توده‌های کپه‌ای از بنه در زاگرس (استان فارس) کارایی لازم را ندارد. در راستای توضیحات (Sohrabi et al. (2013)، علت این موضوع ممکن است این باشد که در یک توده با پراکنش کپه‌ای درختان، تنها احتمال برخورد درختان با تاج گسترده با خط نمونه‌ها افزایش می‌یابد و درختان با تاج‌های کوچک‌تر با خط نمونه‌ها برخورد نمی‌کنند. در نتیجه، نسبت محاسبه‌شده (جدول ۱) بزرگ شده و تراکم بیش از مقدار واقعی برآورد می‌شود. همان‌طور که (Sohrabi et al. (2013) اشاره کردند، تراکم با روش

درختان، روش‌های فاصله‌ای از عملکرد قابل قبولی برخوردار نبودند و تنها کارایی دو روش نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه تأیید شد. از میان شش روش فاصله‌ای در توده بلوط ایرانی با توزیع پراکنده، تنها روش خط نمونه کارایی لازم را داشت. همچنین در یک شبکه ثابت با روش‌های مشابه، روش‌های فاصله‌ای نسبت به روش‌های قطعه نمونه‌ای دارای تغییرات بیشتری در معیار صحت و $RMSE\%$ بودند که بیانگر تأثیرپذیری بیشتر عملکرد آنها از تغییر الگوی مکانی بود (شکل ۴ و ۵). درحالی که تغییرات در معیار صحت و $RMSE\%$ در روش‌های قطعه نمونه‌ای تحت تأثیر الگوی مکانی درختان قرار نگرفت و در هر دو توده مورد بررسی، عملکرد قابل قبولی داشتند. تنها روش مربعی ۸ آر و ۱۰ آر در برخی موارد از عملکرد مناسبی برخوردار نبودند. با توجه به نتایج، بر این موضوع تأکید می‌شود که در پژوهش حاضر روش‌های قطعه نمونه‌ای به دلیل تأثیرپذیری کمتر از تفاوت در پراکنش مکانی درختان بر روش‌های فاصله‌ای برتری داشتند. اگر با توجه به محدودیت نیروی انسانی و هزینه، کاربرد روش‌های فاصله‌ای اولویت داشت؛ توصیه می‌شود در توده‌های کم‌تراکم و با توزیع پراکنده درختان (مانند توده بلوط ایرانی در تحقیق حاضر) از روش خط نمونه و در توده‌های کم‌تراکم و با توزیع کپه‌ای درختان (مانند توده بنه در تحقیق حاضر) از روش‌های نزدیک‌ترین فرد و نزدیک‌ترین همسایه استفاده شود. علاوه بر این، بر لحاظ الگوی مکانی درختان در انتخاب روش‌های نمونه‌برداری مناسب و کارآمد در مطالعات آتی تأکید می‌شود. در نهایت، دستاوردهای این پژوهش در توده‌های کم‌تراکم (حدود ۲۰ پایه در هکتار) ناحیه رویشی زاگرس؛ بررسی دقیق‌تر این روش‌ها را در توده‌های با تراکم زیاد در زاگرس و همچنین در نواحی رویشی دیگر (مانند هیرکانی) اجتناب‌ناپذیر می‌کند.

چشم‌پوشی از خط‌های تولیدشده بوده است (Erfanifard, 2013; Sohrabi et al., 2013). در راستای دستاوردهای این تحقیق، Erfanifard et al. (2006) با مقایسه سه روش دایره‌ای، مربعی و مستطیلی در یک توده با الگوی مکانی پراکنده در زاگرس (استان کهگیلویه و بویراحمد) تأیید کردند که روش دایره‌ای ۸ آر از کارایی لازم در برآورد تراکم و درصد تاج‌پوشش برخوردار است. علاوه بر این، Heidari et al. (2009) با مقایسه دو روش دایره‌ای ۱۰ آر و خط نمونه نشان دادند که در یک توده با الگوی کپه‌ای در زاگرس (استان کرمانشاه)، روش دایره‌ای ۱۰ آر با شبکه ۱۰۰ متر \times ۱۰۰ متر (مانند شبکه پژوهش حاضر) در برآورد تراکم و درصد تاج‌پوشش کارآمدتر از روش خط نمونه است. این نتیجه‌گیری با تأیید عملکرد نامناسب روش خط نمونه و عملکرد مناسب روش دایره‌ای ۱۰ آر در توده بنه با پراکنش کپه‌ای در تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین Sadeghi Kaji et al. (2014) عملکرد روش‌های قطعه نمونه‌ای را در یک توده کپه‌ای در زاگرس (استان چهارمحال و بختیاری) تأیید کردند که دستاوردهای هر دو تحقیق با نتایج این پژوهش مطابق است. تأثیر نحوه پراکنش درختان (صرفاً توزیع کپه‌ای) بر عملکرد روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای به‌طور جداگانه در بررسی‌های Hou et al. (2015) و Ramezani et al. (2016) تأیید شده است. Hou et al. (2015) با بررسی روش‌های قطعه نمونه‌ای با مساحت ثابت و متغیر نشان دادند که الگوی مکانی بر نتایج روش‌ها تأثیر گذاشت و روش‌های قطعه نمونه‌ای با مساحت ثابت کارایی بیشتری در توده‌های با پراکنش کپه‌ای داشت که از این جنبه، با تحقیق حاضر همسوست.

به‌طور کلی، دستاوردهای این پژوهش در راستای تأیید فرضیه تحقیق مبنی بر تأثیر نحوه توزیع مکانی درختان بر کارایی روش‌های فاصله‌ای و قطعه نمونه‌ای بود. نتایج نشان داد که در توده بنه با توزیع کپه‌ای

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از اداره کل منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد به دلیل فراهم آوردن امکان اجرای اندازه‌گیری‌های میدانی قدردانی کنند. این پژوهش با حمایت مالی معاونت آموزشی و

تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز (شماره اعتبار ۹۱GCU۳M۱۵۳۱۲۶) انجام گرفت. همچنین از داوران محترم قدردانی می‌شود که با دقت نظر و راهنمایی‌های ارزنده خود، موجبات رفع اشکالات نسخه اولیه مقاله را فراهم کردند.

References

- Byth, K. (1982). On robust distance-based intensity estimators. *Biometrics*, 38, 127-135.
- Cottam, G., & Curtis, J.T. (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37, 451-460.
- Engeman, R.M., Sugihara, R.T., Pank L.F., & Dusenberry, W.E. (1994). A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation. *Ecology*, 75(6), 1769-1779.
- Erfanifard, Y. (2013). Efficiency of LTS and LIS methods for wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) density estimates in Zagros forests, Iran. *Iranian Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20(2), 23-40.
- Erfanifard, Y., Feghhi, J., Zobeiri, M., & Namiranian, M. (2006). Determining the appropriate size and shape of plots in estimating forest canopy using simulation in the Zagros. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 14(4), 360-370.
- Erfanifard, Y., & Mahdian, F. (2012). Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars Province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1), 62-73.
- Erfanifard, Y., Sheikholeslami, N., & Zare, L. (2014). Effects of spatial distribution of trees on density estimation by nearest individual sampling method: Case studies in Zagros wild pistachio woodlands and simulated stands. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7, 83-93.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., & 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.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., & Sobhani, H. (2009). Comparison of circular plot and transect sampling methods in Zagros oak forests (Case study: Educational and Research Forest of Razi University, Kermanshah Province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(3), 359-368.
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., Sobhani, H., & Safari, A. (2011). Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest*, 2(4), 323-330.
- Hou, Z., Xu, Q., Hartikainen, S., Antilla, P., Packalen, T., Maltamo, M., & Tokola, T. (2015). Impact of plot size and spatial pattern of forest attributes on sampling efficiency. *Forest Science*, 61(5): 1-14.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., & Stoyan, D. (2008). *Statistical analysis and modelling of spatial point patterns*. John Wiley & Sons Inc.
- Jazirehi, M.H., & Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). *Silviculture in Zagros*. University of Tehran Press.
- Krebs, C.J. (1999). *Ecological methodology*. Welsey Educational Publisher Inc.
- 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.

- Naghavi, H., Fallah, A., Jalilvand, H., & Soosani, J. (2009). Determination of the most appropriate transect length for estimation of quantitative characteristics in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest*, 1(3): 229-238.
- Ramezani, H., Grafström, A., Naghavi, H., Fallah, A., & Soosani, J. (2016). Evaluation of K-tree distance and fixed-sized plot sampling in Zagros forests of western Iran. *Agricultural Science and Technology*, 18, 155-170.
- Sadeghi Kaji, H., Zafariyan, I., & Badfar, K. (2014). N-tree distance sampling vs. fixed-radius plots methods for tree density estimation in central Zagros forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(3), 381-391.
- Safari, A., Shabanian, N., Erfanifard, Y., Heidari, R., & Purreza, M. (2010). Investigation of spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) (case study: Bayangan forests, Kirmanshah). *Iranian Journal of Forest*, 2(2), 177-185.
- Sohrabi, H., Askari, Y., & Zobeiri, M. (2013). Accuracy of line sampling method for estimating canopy cover and density of Zagros forests in Chartagh, Ardal. *Iranian Journal of Forest and Wood Products*, 66(3), 267-276.
- Unger, D., Stovall, J., Oswald, B., Kulhavy, D., & Hung, I. (2014). A test of the mean distance method for forest regeneration assessment. *Mathematical and Computational Forestry and Natural Resource Science*, 6(2): 54-61.
- White, N., Engeman, R., Sugihara, R., & Krupa, H. (2008). A comparison of plotless density estimators using Monte Carlo simulation on totally enumerated field data sets. *BMC Ecology*, 8, 1-11.



Effect of spatial pattern of trees on efficiency of distance and plot sampling methods in Zagros woodlands

N. Sheikholeslami¹, S.Y. Erfanifard^{2*}, R. Fallah Shamsi², M. Masoudi², and E. Khosravi¹

¹M.Sc., Dept. of Natural Resources and Environment, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

²Associate Prof., Dept. of Natural Resources and Environment, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received: 28 August 2016, Accepted: 12 April 2017)

Abstract

The spatial pattern of trees is one of the structural characteristics of forest stands that affects the efficiency of sampling methods. This study aimed at investigating the effect of spatial distribution of trees on the efficiency of distance and plot sampling methods. For this purpose, a dispersed Persian oak stand in Kohgilouye-Boyerahmad province (47 ha) and a clumped wild pistachio stand in Fars province (45 ha) were selected. Six distance and six plot sampling methods were applied on a 100 m × 100 m grid in the stands to estimate the density and canopy cover. The efficiency of methods was evaluated by statistical comparison of the results with true values, accuracy criterion, and root mean square error percent. The true density and canopy cover percent of wild pistachio and Persian oak stands were 19.4 trees ha⁻¹ and 5.1% and 22.3 trees ha⁻¹ and 17.1%, respectively. The results showed that between distance sampling methods, nearest individual (density: 19.5 trees ha⁻¹, canopy cover: 5.2%) and nearest neighbour (density: 20.1 trees ha⁻¹, canopy cover: 4.9%) methods in wild pistachio stand and line intersect method (density: 21.0 trees ha⁻¹, canopy cover: 17.3%) in Persian oak stand were efficient. Moreover, all plot sampling methods were efficient in both stands (except square method). In general, the results showed that in contrast to plot sampling methods, the spatial distribution of trees influences significantly the accuracy and precision of distance sampling methods.

Keywords: Density, Distance sampling method, Plot sampling method, Spatial pattern, Zagros.

