

کارایی روش کوکریجینگ در تهیه نقشه ویژگی‌های زیست‌سنجی درختزارهای بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) استان فارس

نگین بهنیا^۱، سید یوسف عرفانی‌فرد^{۲*}، سید رشید فلاح شمسی^۳، سید علی‌اکبر موسوی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۲ دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۳ دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۴ استادیار، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: erfanifard@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۰

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی روش کوکریجینگ برای تهیه نقشه‌های ویژگی‌های زیست‌سنجی درختزارهای بنه در جنگل‌های زاگرس در مقایسه با روش کریجینگ انجام شد. یک توده پوشیده از درختان بنه به مساحت ۴۵ هکتار در جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد استان فارس انتخاب و با استفاده از یک شبکه ۷۲ × ۷۲ متر، ۸۷ قطعه نمونه دایره‌ای ۸ آری در آن قرار گرفت. ویژگی‌های زیست‌سنجی (ارتفاع، قطر برابر سینه، تعداد در هکتار و درصد تاج پوشش) همه درختان بنه در هر قطعه نمونه اندازه‌گیری شد. سپس روش‌های زمین‌آماریزمین‌آمار کوکریجینگ و میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ویژگی‌های ارتفاع، قطر برابر سینه و تعداد در هکتار در نقشه‌های حاصل از روش کوکریجینگ کمتر از روش کریجینگ بوده است. همچنین ضریب رگرسیون برای ویژگی‌های ارتفاع، قطر برابر سینه و تعداد در هکتار در روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ بیشتر می‌باشد که این امر نشانگر توانایی روش کوکریجینگ در بهبود نتایج برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان می‌باشد. تنها در مورد درصد تاج پوشش میزان مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب رگرسیون برای روش کوکریجینگ کمی بهتر شده که البته این میزان نیز ناچیز است؛ بنابراین نتیجه‌گیری شد که با استفاده از روش کوکریجینگ می‌توان نقشه‌های ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان را با دقت و صحت مناسب تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: بنه، زاگرس، کریجینگ، کوکریجینگ، ویژگی‌های زیست‌سنجی

مقدمه

عرفانی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۶). لازمه مدیریت پایدار این منابع ارزشمند و به عبارتی اولین اقدام مؤثر در این زمینه، آگاهی از وضعیت موجود این جنگل‌ها، دسترسی به داده‌های کمی، به‌روز و دارای صحت زیاد می‌باشد (ناصری و همکاران، ۱۳۸۳). اگرچه در جنگل‌های بلوط زاگرس تولید چوب مطرح نیست اما آن‌ها نقش مهم حفاظت منابع آب و خاک را بر عهده دارند که داشتن طرح‌های مدیریتی منظم و مدون

جنگل‌ها در دوره‌های مختلف تاریخی، نقشی حیاتی در بقاء، توسعه و رشد جوامع انسانی داشته‌اند (خزایی و همکاران، ۱۳۹۰). جنگل‌های زاگرس نیز از نظر وسعت، پراکنش، تنوع گونه‌ای و فرآورده‌های جنگلی نقش بسیار مهمی در زندگی بخش عظیمی از ساکنان خود دارند و در عین حال یکی از مهم‌ترین منابع بیولوژیکی و ذخایر ژنتیکی ایران به‌شمار می‌آیند

زیست‌سنجی جنگل می‌توان از روش‌های زمین‌آمار استفاده نمود که البته این امر نیز نیازمند بررسی روش‌های مختلف زمین‌آمار از جمله کریجینگ و کوکریجینگ و ارزیابی دقت و صحت برآورد آن‌ها در هر یک از ویژگی‌های زیست‌سنجی می‌باشد.

به‌طور کلی زمین‌آمار ابزار مناسبی برای تحلیل تغییرات مکانی و نیز برآورد متغیرهایی است که دارای وابستگی مکانی می‌باشند (Webster & Oliver, 2007). در واقع در زمین‌آمار فرض بر این است که نمونه‌های انتخاب شده از جامعه، تصادفی و مستقل نیستند، بلکه تا فاصله معینی به‌صورت مکانی نسبت به هم وابستگی دارند؛ یعنی زمین‌آمار به بررسی متغیرهایی می‌پردازد که از خود ساختار مکانی نشان می‌دهند. لذا اگر تغییرات متغیر مورد بررسی وابسته به مکان نباشد، فنون زمین‌آمار نتایج قابل قبولی تولید نمی‌کنند (حسنی پاک، ۱۳۸۹).

امروزه روش‌های زمین‌آمار، زمینه کاربرد خود را در منابع طبیعی به‌ویژه در علوم جنگل پیدا کرده‌اند، به‌طوری که با به‌کارگیری آن‌ها می‌توان به ابعاد بهینه شبکه نمونه‌برداری در جنگل دست یافت و نیز متغیرهای جنگل را برآورد و نقشه‌سازی کرد. در این زمینه مطالعات زیادی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است که از جمله می‌توان به کاربرد زمین‌آمار در تهیه نقشه رویه زمینی، تعداد در هکتار و ارتفاع کل درختان (اخوان و کلاین، ۱۳۸۸؛ Akhavan & Kia-Daliri, 2010)، تعداد در هکتار و تاج‌پوشش (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰)، رویه زمینی، حجم و تعداد در هکتار (Akhavan et al., 2010)، قطر متوسط، متوسط ارتفاع، متوسط سن، سطح مقطع و حجم (Tuominen et al., 2003) و زی‌توده سرپای تاج‌پوشش *Pinus pinaster* و زی‌توده سطح خاک بوته‌زار (Viana et al., 2012) اشاره کرد. در این مطالعات روش کریجینگ با روش‌های دیگر زمین‌آمارمانند روش وزن‌دهی معکوس فاصله^۱ مقایسه شده و تأیید شده که روش کریجینگ توانایی مناسبی در برآورد ویژگی‌های زیستی در جنگل دارند.

به‌منظور اداره جنگل‌های زاگرس با توجه به مسائل اقتصادی و اجتماعی خاص مردم منطقه ضروری است (عادلی و همکاران، ۱۳۸۷).

تخریب جنگل به‌واسطه فعالیت‌های انسانی و آشفستگی‌های طبیعی به یکی از مسائل مدیریت پایدار جنگل‌ها و سایر منابع طبیعی تبدیل شده است (Chen et al., 2008)؛ بنابراین ارزیابی این مناطق برای درک و مدیریت منابع و بوم‌سازگان‌های جنگلی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (Meng et al., 2009). یک برنامه‌ریزی اصولی و درست چه برای بهره‌برداری و چه برای حفاظت، نیاز به اطلاع از وضعیت کمی و کیفی جنگل دارد (حیدری، ۱۳۸۷؛ زبیری، ۱۳۸۸)؛ بنابراین برآورد متغیرهای کمی جنگل و تهیه نقشه‌های مربوط به آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر در مدیریت و برنامه‌ریزی آن می‌باشد (اخوان و کلاین، ۱۳۸۸).

از آنجایی که تهیه نقشه با دقت زیاد فقط با آماربرداری صد درصد امکان‌پذیر است و نمی‌توان با نمونه‌برداری به این امر دست یافت و همچنین به علت تنگنای زمانی و مالی، تهیه اطلاعات از تمامی سطح جنگل به‌صورت آماربرداری صد درصد همیشه امکان‌پذیر نیست، بنابراین دستیابی به روش‌هایی که امکان تهیه و به‌روزرسانی نقشه‌های ویژگی‌های زیست‌سنجی را ممکن نمایند، ضروری است (اخوان و همکاران، ۱۳۸۵). محققین زیادی از روش‌های نمونه‌برداری مترکم یا آماربرداری صد درصد برای تهیه و به‌روزرسانی نقشه ویژگی‌های زیست‌سنجی استفاده کرده‌اند (نمیرانیان، ۱۳۸۵؛ زبیری، ۱۳۸۶؛ بیات و همکاران، ۱۳۹۰)؛ اما مشکلات موجود در آماربرداری‌های فشرده منجر به گرایش به‌سوی استفاده از زمین‌آمار در تهیه نقشه ویژگی‌های زیست‌سنجی شده است. انگیزه استفاده از روش زمین‌آمار در مطالعات جنگل این است که اغلب استفاده از نتایج آماربرداری‌های کلاسیک در سطوح وسیع برای برآورد مشخصه‌های مورد نظر در سطوح کوچک‌تر از دقت قابل قبولی برخوردار نیست (Mandallaz, 1993)؛ بنابراین در تهیه نقشه‌های

¹ Inverse Distance Weighting (IDW)

۵۲° تا ۵۲° ۴۰' شرقی قرار گرفته است. بخشی از این جنگل تحقیقاتی که از جنوب به جاده شیراز- کازرون، از شرق و غرب به اراضی کشاورزی و از شمال به کوه منتهی می‌شود و وسعت آن ۴۵ هکتار می‌باشد، برای این تحقیق انتخاب شد (شکل ۱).

متوسط بارندگی سالانه ۴۵۵/۵ میلی‌متر، حداکثر بارندگی در دی‌ماه و حداقل آن در خردادماه، متوسط دمای سالانه ۱۵/۸۲ درجه سانتی‌گراد با حداقل دمای مطلق سالانه ۱۱- درجه سانتی‌گراد در بهمن‌ماه و حداکثر دمای مطلق سالانه ۴۱/۲ درجه سانتی‌گراد در تیرماه می‌باشد. براساس طبقه‌بندی دومارتن، نوع آب و هوای منطقه نیمه‌خشک می‌باشد و براساس منحنی آمبروترمیک گوسن دارای طول خشکی به مدت ۶/۵ ماه می‌باشد (مهدیان، ۱۳۹۰). در این مطالعه به‌منظور نمونه‌برداری ویژگی‌ها از روش نمونه‌برداری منظم تصادفی استفاده شد که در آن شکل قطعه نمونه، دایره‌ای در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری در نقاط تقاطع شبکه انجام می‌شود. همچنین مساحت قطعه نمونه دایره‌ای، ۸ آر (۸۰۰ مترمربع) می‌باشد (عرفانی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۵) و تعداد قطعه نمونه و ابعاد شبکه براساس روابط زیر محاسبه شد (Cochran, 1977).

$$n = \frac{Nz^2 pq}{Nd^2 + z^2 pq} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن p و q نسبت پدیده مورد نظر، N حجم جامعه و d مقدار خطای قابل قبول در اندازه‌گیری می‌باشد. همچنین مقدار z از جدول استاندارد در سطح احتمال مورد نظر استخراج شد.

ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد بررسی

ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد بررسی در این مطالعه عبارت‌اند از ارتفاع، قطر برابر سینه، تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش ارتفاع درخت یکی از مشخصات مهم درخت است که در این مطالعه با استفاده از دستگاه آبنه‌لول اندازه‌گیری شد. همچنین

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد روش کوکریجینگ در تهیه نقشه‌های ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. روش کوکریجینگ از یک یا چند متغیر کمکی در برآوردها استفاده می‌نماید و می‌تواند از این جهت احتمال بهبود دقت نقشه‌های حاصل از فنون زمین‌آمار را به همراه داشته باشد. با توجه به قابلیت کوکریجینگ در به‌کارگیری اطلاعات متغیرهای ثانویه جهت بهبود دقت تخمین، وجود همبستگی متقابل بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده، مشکلات اقتصادی، زمانی و زیست‌فن‌آورانه اندازه‌گیری بعضی از متغیرها، افزایش توان پردازش داده‌ها و وجود نرم‌افزارهای متنوع و قابل دسترس، استفاده از این روش تخمین در مطالعات زیست‌محیطی سیر افزایشی را طی می‌نماید (امینی و همکاران، ۱۳۸۱).

با توجه به کمبود مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی نتایج روش کوکریجینگ در برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان انجام چنین مطالعه‌ای ضروری به‌نظر می‌رسد. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی روش زمین‌آمار کوکریجینگ برای تهیه نقشه‌های ویژگی‌های زیست‌سنجی درخت‌زارهای بنه استان فارس انجام شد. به‌علاوه کارایی این روش با روش کوکریجینگ مورد مقایسه قرار گرفته و متغیرهای زیست‌سنجی مناسب جهت استفاده در روش کوکریجینگ تعیین شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر، در جنگل تحقیقاتی بنه فیروزآباد انجام شد که توسط مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور استان فارس جهت تحقیق در مورد گونه‌های جنگلی جنوب زاگرس انتخاب شده است و دارای تراکم قابل قبولی از گونه مورد نظر است. این جنگل تحقیقاتی در جنوب غربی استان فارس و در محدوده شهرستان فیروزآباد و در فاصله ۶۵ کیلومتری جنوب شیراز واقع شده است که بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹° تا ۲۹° ۱۵' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۳۰'



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در ایران (a)، استان فارس (b) و محدوده مورد مطالعه (c)
Figure 1. Study area in Iran (a), Fars province (b), and the investigated area (c)

۷۲ متر برای نمونه‌برداری انتخاب شد. قطعات نمونه دایره‌ای شکل ۸ آری (۸۰۰ مترمربع) برای این مطالعه در نظر گرفته شد. در هر قطعه نمونه ارتفاع، قطر برابر سینه، تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه و به هر نقطه نمونه اختصاص داده شد. (شکل ۲).

تحلیل تغییرنا

تغییرنا یک ابزار اساسی در زمین‌آمار است (مدنی، ۱۳۷۳). در بخش تحلیل تغییرنا از تغییرنا یا واریانس وابسته به فاصله که ساختار ارتباط مکانی را در بین نمونه‌ها نشان می‌دهد، برای مدل‌سازی واریانس مکانی داده‌ها استفاده می‌شود (Alsamamra *et al.*, 2009). تغییرنا نصف میانگین مربعات تفاوت بین داده‌های جفتی است و از رابطه ۴ استفاده می‌شود.

رابطه (۴)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i,j} h_{ij}^2 = (V_i - V_j)^2$$

V_i و V_j مقادیر داده‌ها در ابتدا و انتهای برداری با نقطه شروع i و نقطه پایان j می‌باشد و $N(h)$ تعداد جفت داده‌هایی است که با فاصله h از یکدیگر قرار دارند (Yupeng & Isaaks & Srivastava, 1989; Viana *et al.*, 2012; Miguel, 2011).

قطر در ارتفاع برابر سینه با استفاده از نوار قطرسنج اندازه‌گیری شد (زیبری، ۱۳۸۸؛ نمیرانیان، ۱۳۸۵). تعداد در هکتار نشان‌دهنده تعداد پایه‌های افراد یک گونه در واحد سطح (هکتار) در عرصه جنگل است. (رابطه ۲) (اسعدی و خشنود یزدی، ۱۳۸۹؛ Avery, 1977).

$$D = \frac{P}{s} \quad \text{رابطه (۲)}$$

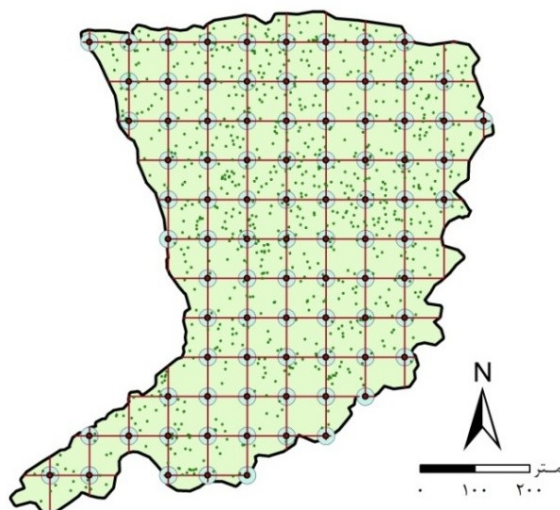
D : تعداد در هکتار، P : تعداد نمونه یا جمعیت و S : مساحت اشغال شده می‌باشد.

درصد تاج‌پوشش عبارت است از عرصه‌ای از جنگل که توسط تصویر عمودی تاج درختان پوشیده می‌شود (Avery, 1977). از رابطه ۳ درصد تاج‌پوشش برآورد شد.

$$cc\% = \frac{N_{ha} \times \overline{cc}}{100} \quad \text{رابطه (۳)}$$

\overline{cc} : میانگین سطح تاج یک درخت به مترمربع، N_{ha} : تعداد در هکتار و $cc\%$: درصد تاج‌پوشش درختان می‌باشد (حیدری و همکاران، ۱۳۸۹).

از آنجایی که به تعداد مناسبی از قطعات نمونه به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های مکانی نیاز است و با توجه به وسعت ۴۵ هکتاری منطقه مورد بررسی، از فرمول کوکران برای تعیین تعداد نمونه لازم استفاده شد. با توجه به مشخص بودن حجم جامعه و درصد خطای ۱۰ درصد، ۸۷ قطعه نمونه با ابعاد شبکه ۷۲×



شکل ۲- شبکه آماربرداری ۷۲×۷۲ متر در منطقه مورد مطالعه

Figure 2. The 72 m × 72 m sampling mesh in the study area

برحسب مشخصات ساختار مکانی، انواع مختلفی دارد (مهرشاهی و خسروی، ۱۳۸۹). عمومی‌ترین روش آنکه در علوم محیط‌زیستی نیز کاربرد فراوانی دارد، کریجینگ معمولی^۲ است (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰، Freeman & Moisen, Flores *et al.*, 2004; 2007). این روش در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که میانگین مجهول باشد. چون در اکثر موارد تعداد و پراکندگی داده‌ها به حدی نیست که میانگین‌گیری ساده از داده‌ها میانگین واقعی متغیر را نشان دهد؛ بنابراین فرض مجهول بودن میانگین در اکثر موارد منطقی‌ترین فرض می‌باشد.

همان‌طور که در آمار کلاسیک روش‌های چندمتغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ که برای به‌دست آوردن مقادیر متغیر اصلی، از داده‌های متغیر ثانویه با در نظر گرفتن رابطه همبستگی موجود بین آن‌ها استفاده می‌شود، اشاره کرد (حسنی پاک، ۱۳۸۹؛ Myers, 1994). با توجه به اینکه روش کوکریجینگ نقطه‌ای از کوواریانس بین دو متغیر به‌منظور درون‌یابی استفاده کرده با درگیر کردن یک متغیر کمکی سعی در افزایش دقت درون‌یابی دارد، لذا استفاده از این روش تخمین در مطالعات زیست‌محیطی سیر افزایشی را طی می‌نماید (Lark *et al.*, 2014).

پس از ترسیم تغییرنما، برازش مدلی مناسب بر تغییرنمای تجربی برای انجام درون‌یابی مورد نیاز می‌باشد؛ زیرا زمین‌آمار روشی وابسته به مدل است. مدل‌های تئوری متفاوتی از جمله مدل اثر قطعه‌ای تام، خطی، کروی، گوسی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به کار برد (خدایاری، ۱۳۵۹؛ حسنی پاک، ۱۳۸۹). در مطالعات زیست‌محیطی پرکاربردترین و متداول‌ترین مدل‌های موجود، مدل کروی^۱ است (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Garnica *et al.*, 2006؛ Raty & Kangas, 2012; Meng *et al.*, 2009؛ که در این مطالعه نیز از این مدل استفاده شد. سپس با برازش مدل کروی بر تغییرنمای تجربی برای ویژگی‌های مورد مطالعه، مشخص شد که کدام یک از ویژگی‌های زیست‌سنجی دارای ساختار مکانی مناسب برای استفاده در زمین‌آمار هستند و کدام یک از آن‌ها این قابلیت را ندارند.

تهیه نقشه

در بخش تهیه نقشه از مدل به‌دست آمده برای برآورد متغیر مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده می‌شود (اخوان و همکاران، ۱۳۸۵). در این مطالعه با توجه به اهداف، از دو روش درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد. کریجینگ

² Ordinary Kriging

¹ Spherical model

متقابل مقادیر واقعی و برآورد شده می‌تواند در بررسی صحت روش‌های زمین‌آماری مورد استفاده قرار گیرد (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۸؛ مهرشاهی و خسروی، ۱۳۸۹). در این تحقیق از دو آماره میانگین خطا (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به منظور ارزیابی دقت روش‌های مذکور استفاده شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Viana et al., 2012).

رابطه (۶)

$$ME = \frac{1}{N} \sum_i^N = 1 \left[z(x_i) - \hat{z}(x_i) \right]$$

رابطه (۷)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N = 1 \left[z(x_i) - \hat{z}(x_i) \right]^2}$$

$\hat{z}(x_i)$ مقدار برآوردی متغیر ناحیه‌ای x در نقطه i ، ME میانگین خطا، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، N تعداد نمونه‌ها و $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد بررسی است.

برای انجام این پژوهش از نرم‌افزار GS+ نسخه ۱۰ و ArcGIS نسخه ۹/۳ استفاده شد.

نتایج

جدول ۱ نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد بررسی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که چون شش قطعه نمونه فاقد درخت بودند، بنابراین مقدار کمینه در جدول ۱ صفر منظور شده است. همچنین وجود قطعه نمونه‌های خالی باعث شد تا ضریب تغییرات هر یک از ویژگی‌های زیست‌سنجی افزایش یابند (جدول ۱).

جدول ۲ نتایج حاصل از همبستگی بین متغیرهای مختلف مورد مطالعه را نشان می‌دهد. متغیر کمکی برای هر متغیر اصلی با توجه به ضریب همبستگی انتخاب شد، بدین صورت که به‌عنوان مثال، برای در این روش از پارامتری به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیشترین ضریب همبستگی با متغیر مورد نظر می‌باشد.

سیستم معادلاتی کوکریجینگ را می‌توان به هر تعداد متغیر ثانویه تعمیم داد. با فرض وجود فقط یک متغیر مکانی کمکی $Z_2(x_j)$ در کنار متغیر مکانی اصلی $Z_1(x_i)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 برابر $Z(x_0)$ است که در تخمینگر کوکریجینگ به‌صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود (Myers, 1994).

رابطه (۵)

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_{2j} Z_2(x_j)$$

$Z_2(x_j)$ متغیر مکانی کمکی در موقعیت x_j $Z_1(x_i)$ متغیر مکانی اصلی در موقعیت x_i مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 و m و n به ترتیب برابر با تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای اصلی و فرعی، λ_{1i} و λ_{2j} به ترتیب عبارت‌اند از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به متغیرهای اصلی و کمکی در موقعیت‌های x_i و x_j می‌باشند. از آنجایی که روش درون‌یابی کوکریجینگ براساس همبستگی بین متغیرهای مختلف می‌باشد و علاوه بر متغیر مورد بررسی به یک یا چند متغیر کمکی (ارتفاع، قطر برابر سینه، تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش) نیاز می‌باشد، لذا در این قسمت ضریب همبستگی بین متغیرها مورد محاسبه قرار گرفت و از بین آن‌ها برای هر متغیر اصلی، متغیری به‌عنوان متغیر کمکی استفاده شد که دارای بیشترین مقدار ضریب همبستگی بود.

اعتبار سنجی روش‌های درون‌یابی

در مطالعات زمین‌آماري بایستی صحت تمام فرضیات و روش‌ها به‌گونه‌ای کنترل شود (حسینی پاک، ۱۳۸۹) که می‌توان روش‌های مختلف درون‌یابی را براساس روش ارزیابی متقابل مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. در این روش یک نقطه به‌صورت موقتی حذف می‌شود و با اعمال میان‌یابی مورد نظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌شود. سپس مقدار حذف شده به‌جای خود برگردانده شده و برای بقیه نقاط به‌صورت مجزا این برآورد صورت می‌گیرد. به‌طوری که در پایان یک جدول با دو ستون که نشان‌دهنده مقادیر واقعی و برآورد شده می‌باشند، حاصل می‌شود. نمودار ارزیابی

جدول ۱- نتایج برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه به روش نمونه‌برداری

Table 1. The results of the estimating biometric characteristics of wild pistachio trees using sampling methods

| ویژگی‌های زیست‌سنجی Biometric characteristics | میانگین Mean | کمینه Min. | بیشینه Max. | انحراف معیار Standard deviation | چولگی Kurtosis | ضریب تغییرات Coefficient of variation (%) |
|--|-----------------|---------------|----------------|------------------------------------|-------------------|--|
| Height (m) | 4.19 | 0 | 9.03 | 2.6 | 0.17 | 62.05 |
| DBH (cm) | 35.37 | 0 | 104.14 | 31.24 | 0.55 | 88.32 |
| Trees per ha. | 18.68 | 0 | 75 | 15.15 | 1.16 | 81.1 |
| Canopy cover (%) | 4.6 | 0 | 19.05 | 4.81 | 0.92 | 104.57 |

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد بررسی در درختان بنه

Table 2. Correlation coefficients between the biometric characteristics of wild pistachio trees

| ویژگی‌های زیست‌سنجی Biometric characteristics | ارتفاع Height (m) | قطر برابر سینه DBH (cm) | مساحت تاج Crown area | تعداد در هکتار Trees per ha. |
|--|----------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| DBH (cm) | 0.87** | - | - | - |
| Crown area | 0.79** | 0.88** | - | - |
| Trees per ha. | 0.43** | 0.29** | 0.23* | - |
| Canopy cover (%) | 0.65** | 0.67** | 0.76** | 0.65** |

* معنی‌داری در سطح اطمینان ۵ درصد و ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد (درجه آزادی ۸۶)

* significance at 5% level ** significance at 1% level (86 degree of freedom)

واریوگرافی

در هر یک از روش‌های مذکور، ابتدا ناهمسان-گردی و واریوگرافی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس اقدام به تولید نقشه و در نهایت صحت نقشه‌های به‌دست آمده، ارزیابی شد. در محاسبه تغییرنماهای متغیرهای مورد بررسی، هیچ‌گونه علائمی از ناهمسان‌گردی مشاهده نشد و مقدار تغییرنماها در جهت‌های N-S و E-W تقریباً یکسان و مستقل از جهت بودند. شکل‌های ۳ و ۴ تغییرنمای متغیرهای ارتفاع، قطر برابر سینه، تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش برای دو روش کریجینگ و کوکریجینگ را در منطقه نمونه‌برداری شده نشان می‌دهند.

روش‌های درون‌یابی

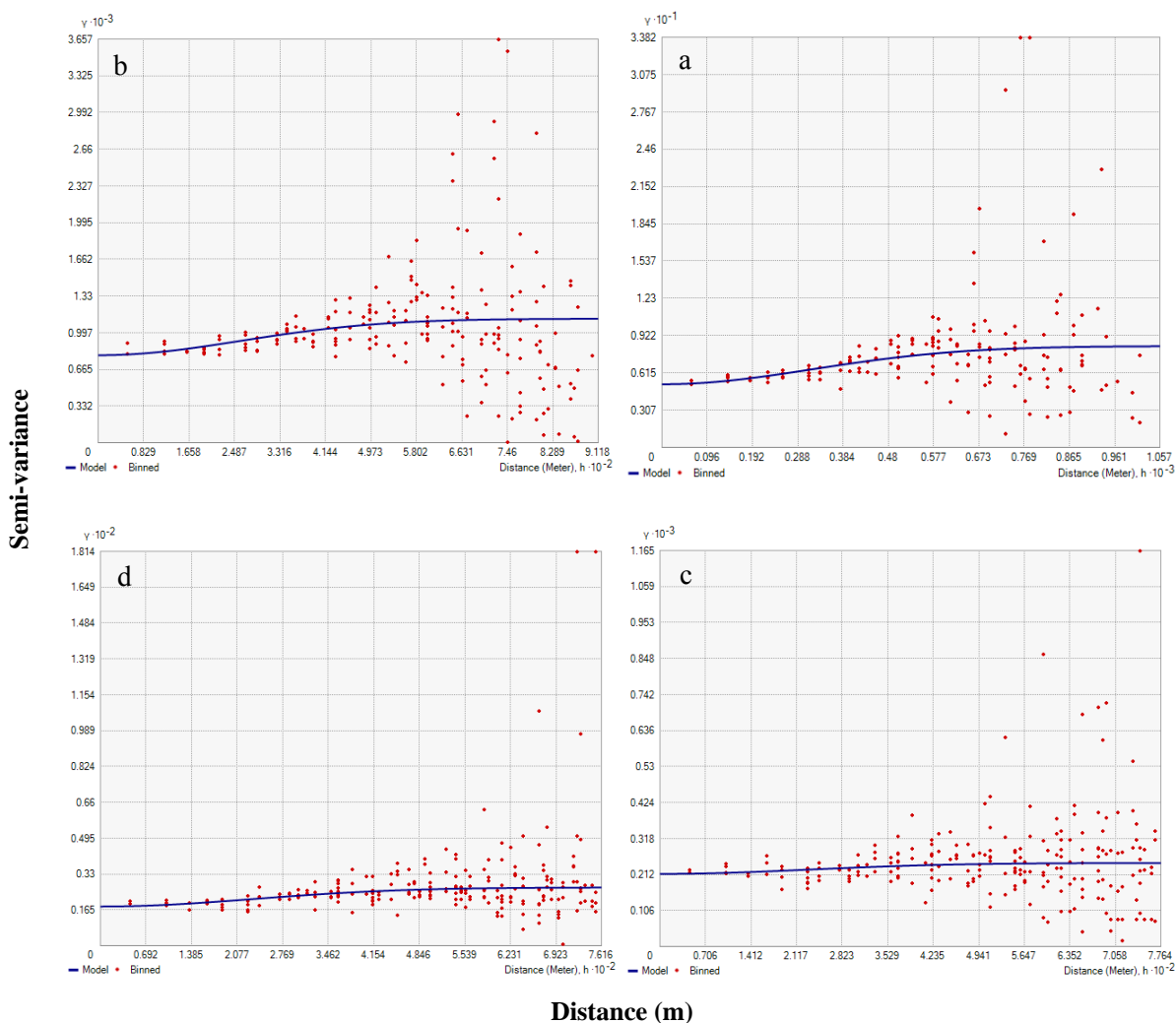
شکل‌های ۵ و ۶ نقشه‌های درون‌یابی مربوط به ویژگی‌های مذکور را در دو روش کریجینگ و کوکریجینگ نشان می‌دهد. در این نقشه‌ها تعداد طبقات به‌منظور سهولت در مقایسه بین نتایج، مساوی در نظر گرفته شده است. البته در شکل ۶، درون‌یابی با استفاده از روش کوکریجینگ منجر به شناسایی یک طبقه جدید درصد تاج‌پوشش (۹/۶-۱۲/۸ درصد) شد که در استفاده از روش کریجینگ این طبقه شناسایی نشد (شکل ۵).

ارزیابی

نتایج حاصل از ارزیابی صحت روش‌های درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، بیشترین

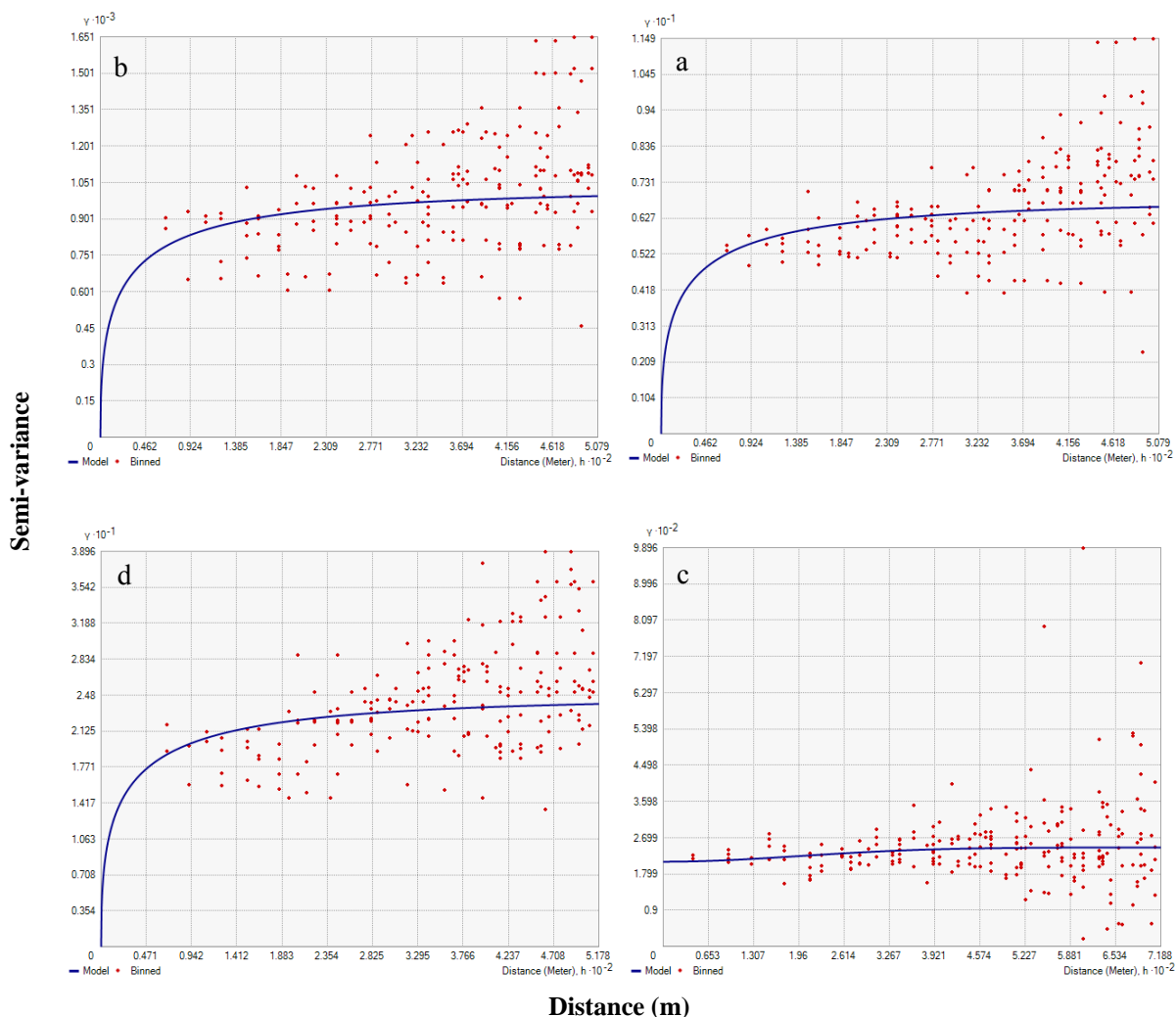
شکل‌های ۷ و ۸ نیز نمودارهای ارزیابی متقابل برای متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد که در این شکل‌ها، هرچه انطباق خطوط ممتد و خط‌چین بر هم بیشتر باشد، برآوردها ناریب‌تر و صحت آن‌ها بیشتر است.

RMSE در روش کریجینگ ۱۹/۴۳۷ و در روش کوکریجینگ ۱۳/۳۸۶ (مربوط به قطر برابر سینه) بوده است که نشان‌دهنده برتری روش کوکریجینگ نسبت به کریجینگ می‌باشد.



شکل ۳- تغییرنمای تجربی و مدل کروی برازش شده به آن در روش کریجینگ برای ارتفاع (a)، قطر برابر سینه (b)، تعداد در هکتار (c) و درصد تاج‌پوشش (d)

Figure 3. The experimental variogram and the fitted spherical model in kriging method for height (a), diameter at breast height (b), the number of trees per hectare (c), and canopy cover (d)



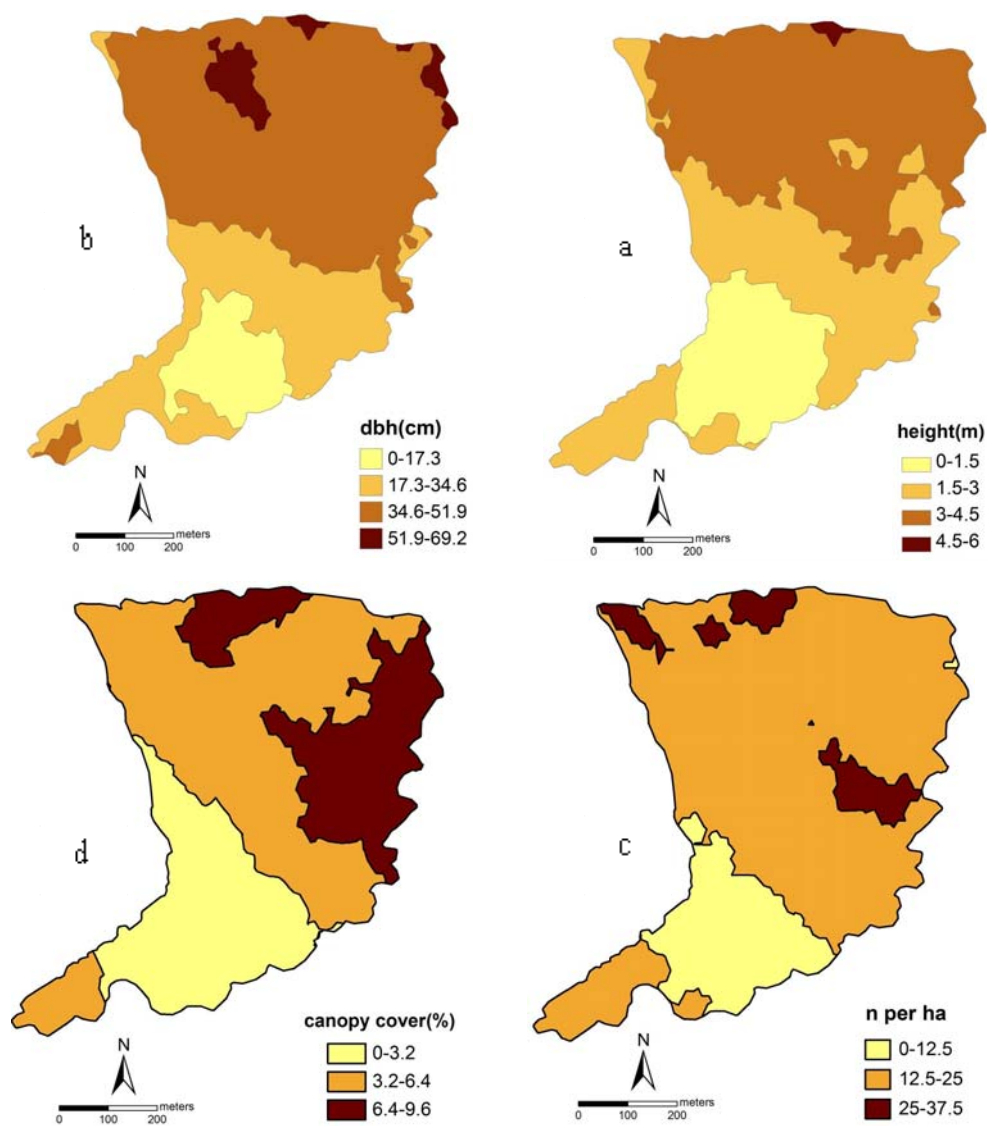
شکل ۴- تغییرنمای تجربی و مدل کروی برازش شده به آن در روش کوکریجینگ برای ارتفاع (a)، قطر برابر سینه (b)، تعداد در هکتار (c) و درصد تاج‌پوشش (d)

Figure 4. The experimental variogram and the fitted spherical model in cokriging method for height (a), diameter at breast height (b), the number of trees per hectare (c), and canopy cover (d)

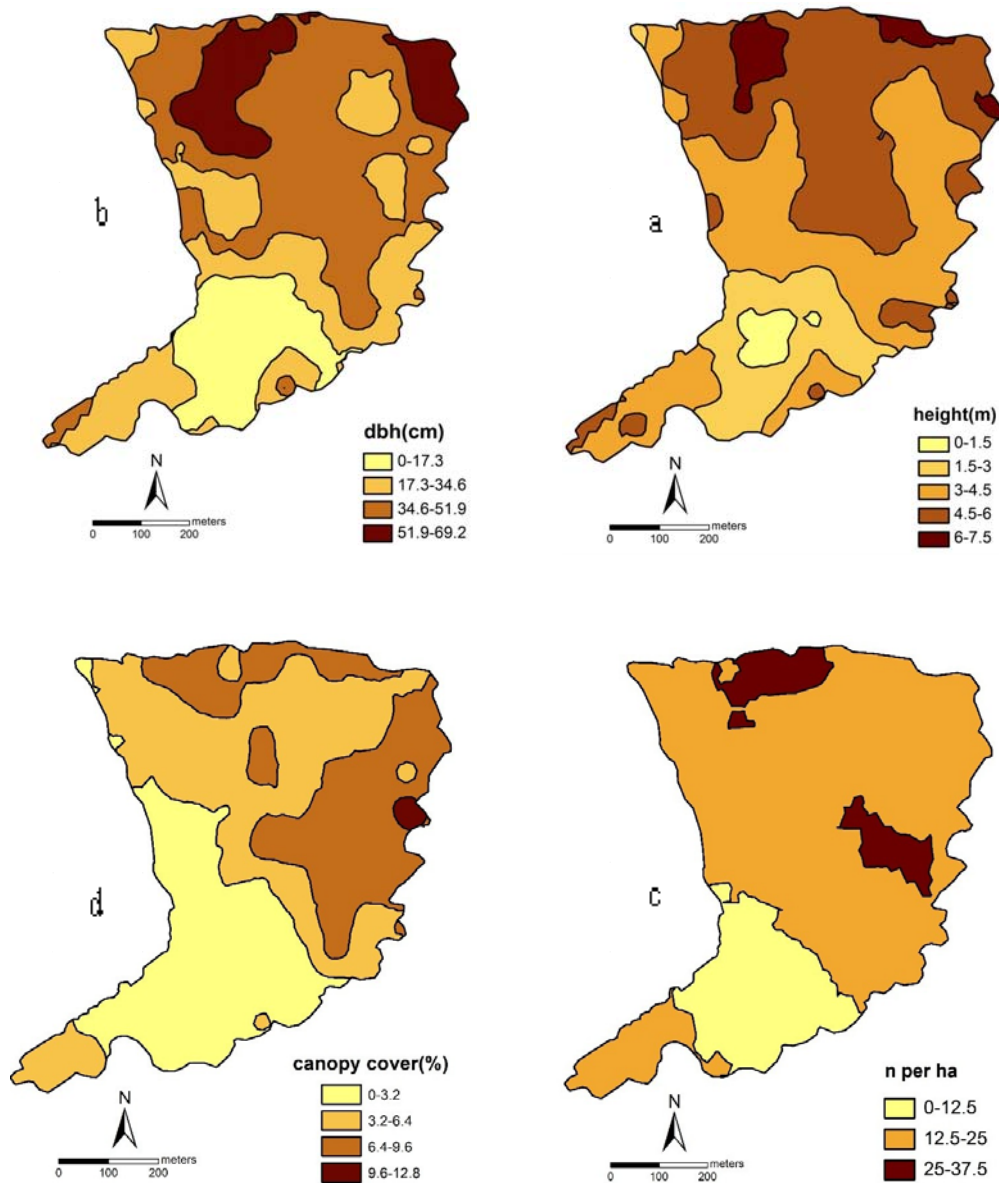
جدول ۳- ارزیابی نتایج روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای برآورد ویژگی‌های مورد مطالعه درختان بنه

Table 3. Result assessment of kriging and cokriging methods to estimating the biometric characteristics of wild pistachio trees

| ویژگی‌های زیست‌سنجی Biometric characteristics | کریجینگ Kriging | | کوکریجینگ CoKriging | |
|--|--------------------|-------|------------------------|--------|
| | RMSE | ME | RMSE | ME |
| Height (m) | 1.588 | 0.017 | 1.355 | 0.016 |
| DBH (cm) | 19.437 | 3.685 | 13.386 | -0.314 |
| Trees per ha. | 10.115 | 0.040 | 9.918 | -0.371 |
| Canopy cover (%) | 2.355 | 0.115 | 3.349 | 0.033 |



شکل ۵- نقشه‌های تهیه‌شده به روش کوکریجینگ برای ارتفاع درختان (a)، قطر برابر سینه (b)، تعداد در هکتار (c) و درصد تاج‌پوشش (d)
Figure 5. The resulted maps using kriging method for height (a), diameter at breast height (b), the number of trees per hectare (c), and canopy cover (d)



شکل ۶- نقشه‌های تهیه‌شده به روش کوکریجینگ برای ارتفاع درختان (a)، قطر برابر سینه (b)، تعداد در هکتار (c) و درصد تاج‌پوشش (d)
Figure 6. The resulted maps using cokriging method for height (a), diameter at breast height (b), the number of trees per hectare (c), and canopy cover (d)

به‌دست آمده از کوکریجینگ با نتایج حاصل از روش کوکریجینگ مقایسه شد تا میزان بهبود نتایج نسبت به این روش مشخص شود. برای هر ویژگی زیست‌سنجی با توجه به مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای تعیین دقیق‌ترین روش و با توجه به ضرایب رگرسیون به‌دست آمده برای تعیین صحیح‌ترین روش از میان روش‌های درون‌یابی تعیین شدند. ویژگی درصد

بحث

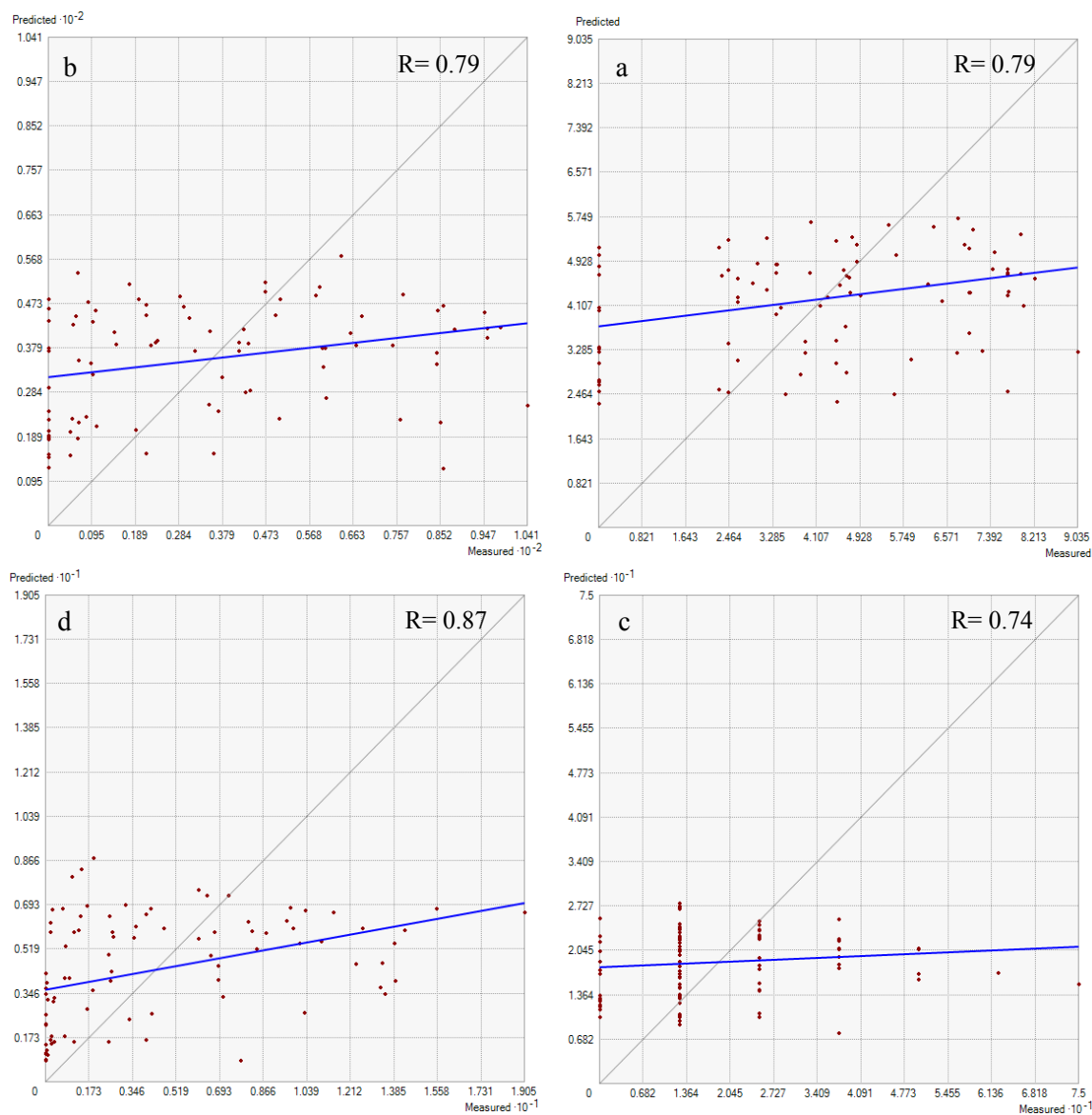
در این مطالعه به بررسی و تولید نقشه ویژگی‌های کمی جنگل از جمله ارتفاع، قطر برابر سینه، تعداد در هکتار و درصد تاج‌پوشش با استفاده از فنون زمین‌آمار پرداخته شد. هدف اصلی بررسی کارایی روش کوکریجینگ در تهیه نقشه‌های زیست‌سنجی درختان بنه در منطقه مورد مطالعه بود. بدین منظور نتایج

و موقعیت شاخه‌ها و ساقه‌های درختان استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که زمین‌آمار نتایج خوبی در تعیین وابستگی مکانی در پارامترهای جنگل تولید می‌نماید که مطابق با نتایج این تحقیق بود. Flores و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی به بررسی رویه زمینی، تعداد گونه‌ها، قطر، تعداد در هکتار در یک جنگل تحقیقاتی در ایالت Chihuahua پرداختند. نتایج حاصل از تحقیقات ایشان نشان‌دهنده توانایی بالای این روش در درون‌یابی ویژگی‌های مذکور می‌باشد و با نتایج حاصله سازگار است. نتایج حاصل از بررسی صحت و دقت نقشه‌های حاصل از روش کریجینگ و مقایسه آن‌ها با مقادیر واقعی داده‌ها نشان داد که در ویژگی ارتفاع مقدار میانگین خطا (۰/۱۶۹) و همچنین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (۱/۵۹) نسبت به سایر ویژگی‌ها در روش کریجینگ کمترین است، همچنین مقدار ضریب تغییرات و درصد اشتباه آماربرداری برای این ویژگی نسبت به سایر ویژگی‌های زیست‌سنجی مورد بررسی کمترین مقدار می‌باشد؛ بنابراین این روش برای ویژگی ارتفاع دقیق‌تر نسبت به سایر ویژگی‌ها برآورد می‌شود چون از خطای کمتری برخوردار است. ویژگی درصد تاج‌پوشش به‌علت دارا بودن بیشترین ساختار مکانی و نیز بیشترین ضریب رگرسیون نسبت به سایر ویژگی‌های زیست‌سنجی در روش کریجینگ صحیح‌تر برآورد می‌شود. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های روش کوکریجینگ نشان دادند که ویژگی ارتفاع کمترین مقادیر میانگین خطا (۰/۱۶) و مقدار مجذور میانگین مربعات خطای (۱/۳۵) را نسبت به سایر ویژگی‌های مورد بررسی داشت که بدین معنا است که روش کوکریجینگ برای ویژگی ارتفاع نسبت به سایر ویژگی‌ها دقیق‌تر است، در حالی که ویژگی قطر برابر سینه و ارتفاع به ترتیب صحیح‌تر برآورد می‌شود و تطابق بیشتری با واقعیت دارد، به این علت که دارای بیشترین ضریب رگرسیون می‌باشد.

تاج‌پوشش دارای بیشترین ضریب تغییرات می‌باشد که نشان‌دهنده پراکندگی زیاد آن‌ها نسبت به سایر ویژگی‌های مورد بررسی درختان بنه می‌باشد. ویژگی ارتفاع دارای کمترین پراکندگی و دامنه تغییرات بود که کم‌بودن ضرایب تغییرات آن (۶۲/۰۵) این موضوع را تأیید می‌نماید هرچند به‌دلیل وجود قطعه نمونه‌های خالی از درخت مقدار عددی ضریب تغییرات برای همه ویژگی‌های زیست‌سنجی زیاد شده است. چنانچه ملاحظه شد، واریوگرافی تمام ویژگی‌های زیست‌سنجی به سقف رسیده و این موضوع نشان می‌دهد که این داده‌ها دارای ساختار بوده و برای مطالعات زمین‌آماری مناسب هستند. در نتیجه همه ویژگی‌ها برای برآورد به روش کریجینگ و کوکریجینگ و تولید نقشه به‌کار گرفته شدند. نتایج این تحقیق با نتایج Akhavan و Kia-Daliri (۲۰۱۰) که نشان دادند ویژگی‌های رویه زمینی و ارتفاع درختان ساختار مکانی بالایی دارند، تطابق دارد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج اخوان و کلاین (۱۳۸۸) که بیان داشتند واریوگرافی حاصل از متغیر رویه زمینی و ارتفاع کل از ساختار مکانی مناسبی برخوردار است، مطابقت دارد. از طرف دیگر نتایج Akhavan و همکاران (۲۰۱۰) که به ترسیم تغییرنمای تجربی برای ویژگی‌های رویه زمینی و تعداد در هکتار در جنگل‌های شمال پرداختند و نشان دادند که این ویژگی‌ها از ساختار مکانی ضعیفی برخوردارند با نتایج این پژوهش سازگار نیست. علت آن می‌تواند تغییرپذیری و ناهمگنی زیاد منطقه مورد مطالعه آن‌ها باشد.

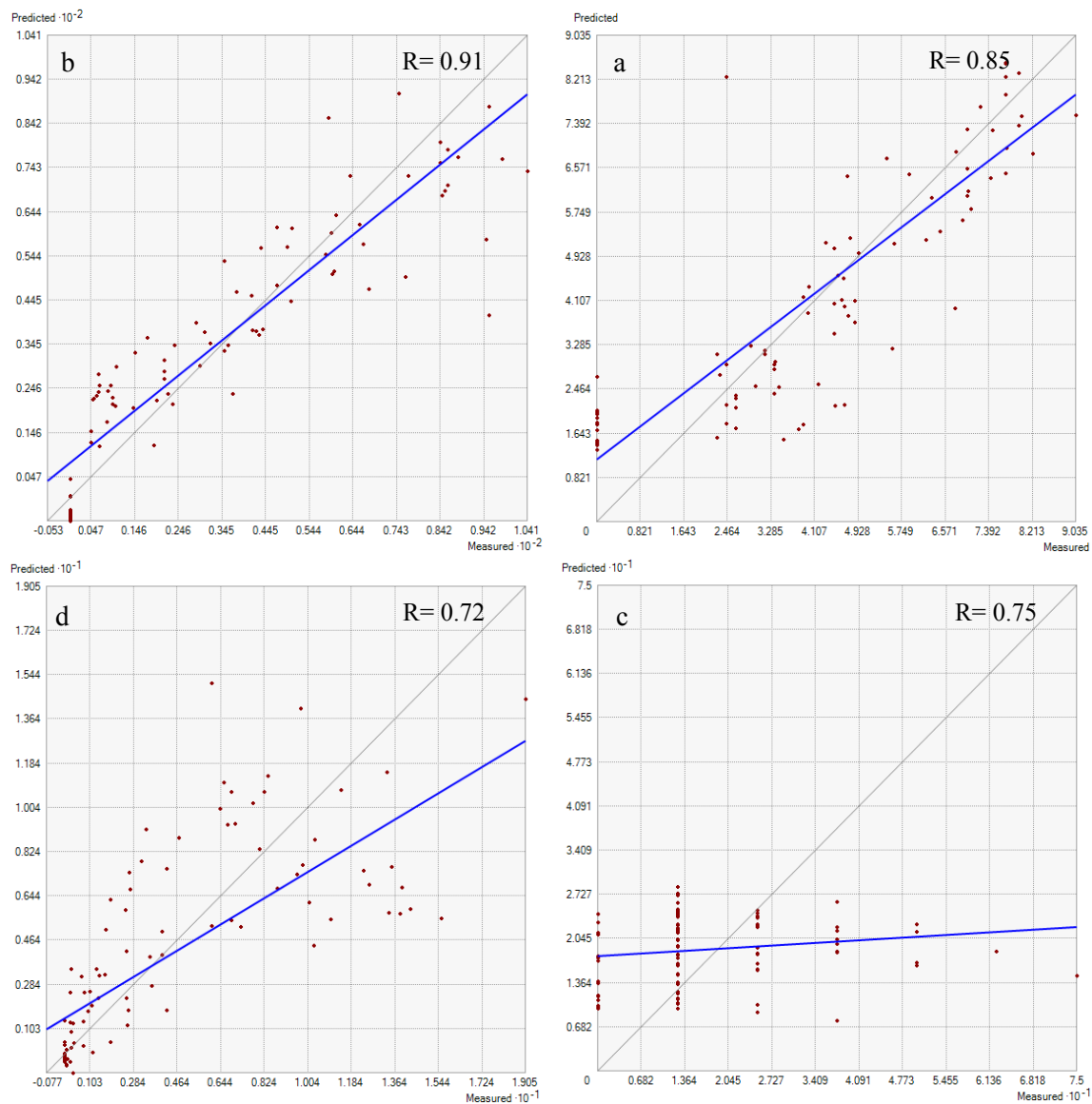
نتایج تحقیق Viana و همکاران (۲۰۱۲) که به تخمین زیست‌توده سرپای تاج‌پوشش *Pinus pinaster* و زی‌توده سطح خاک بوت‌ه‌زار پرداختند و ساختار مکانی ضعیف برای آن گزارش کردند با نتایج حاصل از این تحقیق مغایر است که اختلاف در نتایج ممکن است به علت تفاوت در منطقه و نوع گونه مورد مطالعه باشد.

Grushecky و Fajvan (۱۹۹۹) از این روش برای تولید نقشه جنگل از جمله اندازه، تعداد در هکتار



شکل ۷- نمودار ارزیابی متقابل مقادیر اندازه‌گیری و برآوردشده روش کریجینگ برای ارتفاع درختان (a)، قطر برابر سینه (b)، تعداد در هکتار (c) و درصد تاج‌پوشش (d)

Figure 7. Cross validation of observed and estimated results using kriging method for height (a), diameter at breast height (b), the number of trees per hectare (c), and canopy cover (d)



شکل ۸- نمودار ارزیابی متقابل مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده روش کوکریجینگ برای ارتفاع درختان (a)، قطر برابر سینه (b)، تعداد در هکتار (c) و درصد تاج‌پوشش (d)

Figure 8. Cross validation of observed and estimated results using cokriging method for height (a), diameter at breast height (b), the number of trees per hectare (c), and canopy cover (d)

تأیید شد. از آنجایی که امروزه در مطالعات مکانی استفاده از داده‌های کمکی مورد استفاده قرار گرفته و توصیه می‌شود، بنابراین استفاده از روش کوکریجینگ گزینه مناسبی در همه نقشه ویژگی‌های زیست‌سنجی با کمک زمین‌آمار است زیرا امکان استفاده از داده‌های کمکی را در تهیه نقشه متغیر اصلی فراهم می‌آورد. لازم به ذکر است که تنها در مورد درصد تاج‌پوشش میزان مجذور میانگین مربعات خطا (۰/۹۹۴) و ضریب

به‌طور کلی با توجه به اینکه مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای ویژگی‌های ارتفاع، قطر برابر سینه و تعداد در هکتار در روش کوکریجینگ نسبت به روش کوریجینگ کمتر و ضریب رگرسیون برای ویژگی‌های ارتفاع، قطر برابر سینه و تعداد در هکتار در روش کوکریجینگ نسبت به روش کوریجینگ بیشتر می‌باشد، بنابراین قابلیت روش کوکریجینگ در بهبود دقت نتایج برآورد ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان

توده‌های بنه با ویژگی‌های کمی متفاوت در سایر مناطق زاگرس مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین به مقایسه روش‌های به‌کاررفته در این پژوهش برای سایر گونه‌های مهم جنگل‌های زاگرس نیز پرداخته شود. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش بررسی ارتباط نقشه‌های حاصل از زمین‌آمار و ویژگی‌های فیزیوگرافیک منطقه نیز حائز اهمیت است.

رگرسیون (۰/۱۴) برای روش کریجینگ کمی بهتر شده که البته این میزان نیز ناچیز بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از روش کوکریجینگ می‌توان نقشه‌های ویژگی زیست‌سنجی درختان را با دقت و صحت بیشتری تولید نمود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، دستاوردهای این پژوهش در

منابع

- اخوان، ر. و کلاین، ک. ۱۳۸۸. کارایی کریجینگ در برآورد و نقشه‌سازی موجودی جنگل‌کاری‌ها (مطالعه موردی: جنگل‌کاری بنشکی رامسر). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۲): ۳۰۳-۳۱۸.
- اخوان، ر.، زبیری، م.، زاهدی امیری، ق.، نمیرانیان، م. و ماندالاز، د. ۱۳۸۵. بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار (geostatistics). مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹(۱): ۸۹-۱۰۲.
- اخوان، ر.، کرمی خرم‌آبادی، م. و سوسنی، ج. ۱۳۹۰. کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان). مجله جنگل ایران، ۳(۴): ۳۰۵-۳۱۶.
- اسعدی، ع.م. و خشنود یزدی، ا. ۱۳۸۹. بررسی خصوصیات بوم‌شناختی گونه *Dracocephalum kotschy* Boiss. در مراتع شهرستان بجنورد. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۶(۳): ۴۰۶-۴۱۴.
- امینی، م.، خادمی، ح. و فتحیان‌پور، ن. ۱۳۸۱. مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۳(۴): ۷۴۸-۷۴۱.
- بیات، م.، نمیریان، م.، جورغلامی، م.، بخشی، ح. و آقاجانی، ح. ۱۳۹۰. مطالعه ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بلوط ایرانی در ذخیره‌گاه جنگلی سرسختی شازند، اراک. مجله تحقیقات علوم و مهندسی جنگل، ۱(۲): ۴۳-۵۲.
- حسینی، و.، اخوان، ر. و طهماسبی، م. ۱۳۹۱. تأثیر تاج درخت بنه (*Pistacia atlantica*) بر پراکنش مکانی خصوصیات شیمیایی خاک (مطالعه موردی: منطقه سروآباد کردستان). مجله جنگل ایران، ۴(۱): ۱-۲۴.
- حیدری، ر.ح. ۱۳۸۷. روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در آماربرداری جنگل. انتشارات دانشگاه رازی، ۱۱۹ ص.
- حیدری، ر.ح.، زبیری، م.، نمیرانیان، م.، سبحانی، ه. و صفری، ا. ۱۳۸۹. بررسی صحت روش نمونه‌برداری فاصله‌های نزدیک‌ترین فرد در جنگل‌های بلوط غرب. مجله جنگل ایران، ۲(۴): ۳۳۰-۳۲۳.
- خدایاری، ع.ا. ۱۳۵۹. اصول زمین‌آمار (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ۲۱۲ ص.
- خزایی، م.، صادقی، س.ح.ر. و میرنیا، س.خ. ۱۳۹۰. آثار هیدرولوژیکی تخریب سطح جنگل (مطالعه موردی: جنگل آموزشی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران). مجله جنگل ایران، ۳(۲): ۱۴۵-۱۵۵.
- زبیری، م. ۱۳۸۶. زیست‌سنجی (بیومتری) جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۵ ص.

- زبیری، م. ۱۳۸۸. آماربرداری در جنگل (اندازه‌گیری درخت و جنگل). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.
- عادل، ک.، جلیلود، ح.، یخکشی، ع. و فلاح، ا. ۱۳۸۷. ارزیابی پایداری جنگل تحت تأثیر جنگلداری عشایری (مطالعه موردی: منطقه شول‌آباد لرستان). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶(۱): ۳۷-۲۳.
- عرفانی‌فرد، س.ی.، فقهی، ج.، زبیری، م. و نمیرانیان، م. ۱۳۸۵. تعیین مساحت و شکل مناسب قطعه نمونه در برآورد تاج‌پوشش با استفاده از شبیه‌سازی جنگل در زاگرس. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۴(۴): ۳۷۰-۳۶۰.
- عرفانی‌فرد، س.ی.، فقهی، ج.، زبیری، م.، نمیرانیان، م. ۱۳۸۶. بررسی الگوی مکانی درختان در جنگل‌های زاگرس. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۰(۴): ۱۳۲۸-۱۳۱۹.
- کلانتری، م.، قهرمانی، ع.ا.، خسروی، ی. و جباری، ک. ۱۳۸۸. مدیریت و تحلیل داده‌های بزهکاری در بخش مرکزی شهر تهران با استفاده از تکنیک‌های درون‌یابی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی. مطالعات مدیریت انتظامی، ۴(۴): ۵۰۴-۴۸۲.
- مدنی، ح. ۱۳۷۳. مبانی زمین‌آمار. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۶۵۹ ص.
- مهیدیان، ف. ۱۳۹۰. مطالعه الگوی مکانی گونه بنه با استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای و تراکمی در توده‌های خالص و آمیخته جنگل‌های زاگرس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۷۳ ص.
- مهرشاهی، د. و خسروی، ی. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی استان اصفهان). مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۴(۴): ۲۴۹-۲۳۳.
- ناصری، ف.، درویش صفت، ع.ا.، سبحانی، ه. و نمیرانیان، م. ۱۳۸۳. ارزیابی داده‌های لندست برای تهیه نقشه تراکم جنگل در نواحی خشک و نیمه‌خشک. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷(۱): ۱۱۹-۱۰۹.
- نمیرانیان، م. ۱۳۸۵. اندازه‌گیری درخت و زیست‌سنجی جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۴ ص.
- Akhavan, R. & Kia-Daliri, H. 2010. Spatial variability and estimation of tree attributes in a plantation forest in the Caspian region of Iran using geostatistical analysis. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(2): 163-172.
- Akhavan, R., Zahedi Amiri, Gh. & Zobeiri, M. 2010. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(1): 43-53.
- Alsamamra, H., Ruiz-Arias, J.A., Pozo-Vázquez D. & Tovar-Pescador, J. 2009. A comparative study of ordinary and residual kriging techniques for mapping global solar radiation over southern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(8): 1343-1357.
- Avery, E.T. 1977. Interpretation of aerial photographs (ed.). Bugess Publication, USA, 392 p.
- Chen, X.Y., Fan, X.X. & Hu, X.S. 2008. Roles of seed and pollen dispersal in natural regeneration of *Castanopsis fargensis*: Implication for forest management. *Forest Ecology and Management*, 256(5): 1143-1152.
- Cochran, W.G. 1977. Sampling techniques. John Wiley & Sons, New York, 428 p.
- Flores, J.G., Moreno, D.A. & Rincón, F. 2004. Reconstruction of forest areas using geostatistics as an aid in the evaluation of Burned areas. *Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: A Global View, Spain*, 291-302.

- Freeman, E.A. & Moisen G.G. 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128(1-3): 395-410.
- Garnica, J.G.F., Gonzalez, D.A.M. & Solorio, J.D.D.B. 2006. Geostatistical evaluation of natural tree regeneration of a disturbed forest. *In: Aguirre-Bravo, C., Pellicane, P.J., Burns, D.P. & Draggan, S. (ed.). 2006. Monitoring Science and Technology Symposium: Unifying Knowledge for Sustainability in the Western Hemisphere Proceedings RMRS-P-42CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 627-632.*
- Grushecky, S.T. & Fajvan, M.A. 1999. Comparison of hardwood stand structure after partial harvesting using intensive canopy maps and geostatistical techniques. *Forest Ecology and Management*, 114(2): 421-432.
- Isaaks, E.H. & Srivastava R.M. 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press, USA, 570 p.
- Lark, R.M., Ander, E.L., Cave, M.R., Knights, K.V., Glennon, M.M. & Scanlon, R.P. 2014. Mapping trace element deficiency by cokriging from regional geochemical soil data: A case study on cobalt for grazing sheep in Ireland. *Geoderma*. 226: 64-78.
- Mandallaz, D. 1993. Geostatistical methods for double sampling schemes: application to combined forest inventory. Technical report, ETH Zürich, chair of forest inventory and planning, 133 p.
- Meng, Q., Cieszewski, C. & Madden, M. 2009. Large area forest inventory using Landsat ETM+: a geostatistical approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1): 27-36.
- Myers, D.E. 1994. Spatial interpolation: an overview. *Geoderma*, 62(1): 17-28.
- Raty, M. & Kangas, A. 2012. Comparison of k-MSN and kriging in local prediction. *Forest Ecology and Management*, 263: 47-56.
- Tuominen, S., Fish, S. & Poso, S. 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories and geostatistical interpolation in multi-source forest inventory. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(4): 624- 634.
- Viana, H., Aranha, J., Lopes, D. & Cohen, V.B. 2012. Estimation of crown biomass of *Pinus pinaster* stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. *Ecological Modelling*, 226: 22-35.
- Webster, R. & Oliver, M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons, England, 315 p.
- Yupeng, L. & Miguel, C. 2011. A flexible lag definition for experimental variogram calculation. *Mining Science and Technology*, 21: 207-211.

Efficiency of Cokriging Method to Map the Biometric Characteristics of Wild Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) Woodlands in Fars Province

Negin Behnia¹, Seyed Yousef Erfanifard^{2,*}, Seyed Rashid Fallah Shamsi³, Seyed AliAkbar Moosavi⁴

¹ M.Sc. Department of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

² Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

³ Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

* Corresponding author, E-mail address: erfanifard@shirazu.ac.ir

Received: 10.05.2015

Accepted: 17.11.2015

Abstract

The aim of this study was to assess the efficiency of cokriging method in comparing to kriging to map biophysical properties of wild pistachio trees in Zagros forests. A 45 ha stand, covered with wild pistachio trees was chosen in FiroozAbad wild pistachio research site in Fars province. 87 circular plates with 800 m² area were selected based on a 72 × 72 m² grid. Biophysical properties (height, diameter at breast height, trees per ha, and canopy cover percent) of all wild pistachio trees were measured in each plot. Kriging and cokriging methods were then used to map each biophysical property. The results showed that mean error and root mean squared error of height, diameter at breast height, and trees per ha of cokriging method were less than kriging method. The regression coefficients of height, diameter at breast height, and trees per ha of cokriging method were also greater than the kriging method that showed the efficiency of the cokriging method in the improvement of estimation of trees' biophysical properties. The amount of root mean squared error and regression coefficient were slightly better for canopy cover percent in kriging, though, they were not significant. In general, it was concluded that the maps of biophysical properties can be obtained with suitable accuracy and precision using Cokriging method.

Keywords: Wild pistachio, Zagros, kriging, Cokriging, Biometric characteristics

Translated References

- Adeli, K., Jalilvand H., YakhKeshi, A. & Fallah, A. 2008. Evaluation of forest sustainability affected by tribal forestry (Case study: Lorestan Shulabad area). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(1): 23-37. (In Persian with English Abstract).
- Akhavan, R. & Kleinn, K. 2009. Performance of kriging estimation and mapping of forest stands (Case study: Forestry of Beneshky Ramsar). *Iranian Forest and Poplar Research*, 17(2): 303-318. (In Persian with English Abstract).
- Akhavan, R., Karami Khorramabadi, M. & Susani, J. 2011. Application of kriging and IDW methods for zoning the density and canopy cover forests of oak branches (case study: the Khorramabad Kakareza). *Iranian Journal of Fores*, 3(4): 305-316. (In Persian with English Abstract).
- Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh., Naminarian, M. & Mandalaz, D. 2006. Evaluation of spatial structure and estimation of caspian forests using geostatistics. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(1): 89-102. (In Persian with English Abstract).
- Amini, M., Khademi, H. & Fathianpoor, N. 2002. A comparison of kriging and Cokriging techniques, estimating the Cl concentration in soil. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 33(4): 741-748. (In Persian with English Abstract).
- Asaadi, A.M. & Khoshnud Yazdi, A. 2010. Study of ecological characters of *Dracocephalum kotschy* Boiss. In Bojnournd rangelands. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(3): 406-414. (In Persian with English Abstract).
- Bayat, M. Namyryan, M. Jurgholamy, M. Bakhshi, H. & Aqhajani H. 2011. Study of the biometrics characteristics of the Persian Oak tree in the Sarsakhti Shazand-Arak Resource Reserve. *Research Journal of Forest science and Engineering*, 1(2): 43-52. (In Persian with English Abstract).
- Erfanifard, Y., Fegghi, 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. (In Persian with English Abstract).
- Erfanifard, Y., Fegghi, J., Zobeiri, M. & Namiranian, M. 2007. Spatial patterns of forest trees in the Zagros. *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(4): 1319-1328. (In Persian with English Abstract).
- Hasani Pak, A.A. 2010. *Geostatistics*. Tehran University Press, 314 p. (In Persian)
- Heidari, R.H. 2008. *Distance sampling methods for forest inventory*. Razi University Press, 119 p. (In Persian)
- Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., Sobhani, H. & Safari, A. 2011. Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagross forests ling distance of the nearest neighbor of oak trees of the West forests. *Iranian Journal of Fores*, 2(4): 323-330. (In Persian with English Abstract).
- Hosseini, V., Akhavan, R. & Tahmasebi, M. 2012. Effect of Pistachio (*Pistacia atlantica*) canopy on the spatial distribution of soil chemical characteristics (Case study: Sarvabad, Kurdistan). *Iranian Journal of Fores*, 4(1): 13-24. (In Persian with English Abstract).
- Kalantari, M., Ghahremani, A., Khosravi, Y. & Jabbari, K. 2009. Management and analysis of crime data in the central part of Tehran using interpolation techniques and geographic information system. *Security Management Studies*, 4(4): 482-504. (In Persian with English Abstract).

- Khazayi, M., Sadeghi, S.H.R. & Mirnia, S.Kh. 2010. Hydrological effects of forest surface disturbance, (Case study: forest, Tarbiat Modarres University, Tehran). Iranian Journal of Fores, 3(2): 145-155. (In Persian with English Abstract).
- Khodayari, A. 1980. Principles of geostatistics (Translation). SID Publications, Tehran, 212 p. (In Persian).
- Madani, H. 1994. Foundations of the statistics. Amir Kabir University of Technology Press, 659 p. (In Persian).
- Mahdian, F. 2011. Studying the spatial pattern of wild pistachio trees using distance- and density-based indices in pure and mixed stands of Zagros forests. M.Sc. Thesis, Shiraz University, 173 p. (In Persian with English Abstract).
- Mehrshahy, D. & Khosravi, Y. 2010. Evaluation of linear regression and kriging interpolation methods based on Digital Elevation Model to determine the spatial distribution of annual rainfall in Isfahan. International Journal of Human and Space Planning, 14(4): 233-249. (In Persian with English Abstract).
- Namiranian, M. 2006. Measurement of tree and forest biometrics. Tehran University Press, 574 p. (In Persian).
- Naseri, F., Darvishsefat, A., Sobhani, H. & Namiranian, M. 2004. An evaluation of the potential of landsat ETM+ for forest density mapping in arid and semi arid regions. Iranian Journal of Natural Resources, 57(1): 109-119. (In Persian with English Abstract).
- Zobeiri, M. 2007. Forest biometry. Tehran University Press, 405 p. (In Persian).
- Zobeiri, M. 2009. Forest inventory. Tehran University Press, 401 p. (In Persian).