

کارایی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی

شیرین علیزاده^۱، علیرضا صالحی^{۲*} و محمدرضا میرزایی قره‌لر^۳

۱- کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
(shirin_600_1@yahoo.com)

۲- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. (asalehi@yu.ac.ir)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. (mmirzai@yu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۲۱

چکیده

برای بررسی کارایی مدل‌های زمین‌آماري ناپارامتری شامل کریجینگ و کوکریجینگ شاخص و احتمال در پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در عرصه جنگل و پیشنهاد مناسب‌ترین مدل، عرصه جنگلی به وسعت ۲۰۰ هکتار در نزدیکی شهر یاسوج به صورت منظم - تصادفی در شبکه‌ای به ابعاد ۲۵۰×۱۵۰ متر آماربرداری شد. مشخصه‌های عمومی و جنگل‌شناسی توده جنگلی در قطعات نمونه دایره‌ای شکل اصلی با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع و تعداد زادآوری بلوط ایرانی در چهار عدد قطعه نمونه دایره‌ای شکل هر یک با شعاع ۱/۵۵ متر در راستای چهار جهت اصلی جغرافیای به فاصله نه متر از مرکز قطعه نمونه اصلی آماربرداری شد. برای ترسیم واریوگرام از برازش مدل‌های سقف‌دار دایره‌ای، کروی، تتراسفریکال، پنتاسفریکال، نمایی، گوسی، رشنال کوادراتیک، اثر حفره، کی بیسل، جی بیسل و پایدار استفاده شد. برای اعتبارسنجی دقت مدل از روش ارزیابی متقابل استفاده شد. مدل کریجینگ احتمال پنتاسفریکال دارای قوی‌ترین ساختار مکانی (۷۵/۶۳ درصد) و بالاترین مقدار اعتبار از نظر دقت شامل شاخص‌های ME (-۰/۰۱۰۶)، ASE (۰/۴۴۲۴)، RMSE (۰/۴۴۷۰) و RMSS (۱/۰۱۱۳) است و به عنوان مناسب‌ترین مدل پیشنهاد می‌شود. رسم نیم تغییرنمای زادآوری و برازش مدل ذکر شده بر وجود ناهمسانگردی در کمیت نیم تغییرنما دلالت دارند.

واژه‌های کلیدی: آمار اتفاقی ناپارامتری، زادآوری جنگل، زمین‌آمار، یاسوج.

مقدمه

کریجینگ کروی (اسفریکال) به عنوان مدل‌های مناسب برای تحلیل زمین‌آماری توزیع مکانی زادآوری‌ها معرفی شدند. Mou و همکاران (2005) در بررسی راهبرهای

گونه‌های مختلف گیاهی برای زادآوری، مانند روش شاخه‌زادی گونه‌های بلوط، استفاده از نقشه‌های زادآوری حاصل از تحلیل زمین‌آماری کریجینگ را نسبت به استفاده از تحلیل واریوگرام به‌تنهایی، بسیار سودمندتر دانستند. Mejia-Dominguez و همکاران (2012) در تحلیل رابطه بین ساختار مکانی زادآوری-های جنسی و غیرجنسی در توده‌های جنگلی با متغیرهای محیطی، از تحلیل زمین‌آماری با استفاده از نقشه‌های کریجینگ به روش شبیه‌سازی شرطی (Conditional simulation) استفاده کردند. همچنین، Karamshahi و همکاران (2016) با استفاده از مدل کمی تحلیل و آنالیز مکانی، ساختار سیمای سرزمین توده‌های جنگلی دانه‌زاد و شاخه‌زاد بلوط غرب را مورد بررسی قرار دادند. گرچه پژوهش‌های معدودی نیز در زمینه بررسی وضعیت زادآوری طبیعی بلوط ایرانی در مناطق مختلف زاگرس انجام شده است (Hossieni et al., 2008, Namiranian et al., 2008, Alijanpour et al., 2010, Najafifar, 2011)، اما استفاده از مدل‌های زمین‌آماری در رابطه با پهنه‌بندی زادآوری بلوط ایرانی در منطقه زاگرس جنوبی از اولین تجربیات در این زمینه محسوب می‌شود.

تهیه نقشه زادآوری جنگل و اولویت‌بندی مناطق قابل جنگلکاری رویکردی با اهمیت در زمینه هدفمند کردن هزینه‌ها در زمینه توسعه و احیای منابع جنگلی است. پوشش جنگلی بلوط غرب در بسیاری از مناطق به دلیل تأثیر عوامل مختلف تخریب (Salehzadeh et al., 2016) با مشکل کاهش یا عدم زادآوری روبه‌رو است (Hossieni et al., 2008, Namiranian et al.,

برای حفاظت، احیاء و غنی‌سازی عرصه‌های جنگلی ناحیه ریشی زاگرس، شناخت بهتر شرایط ریشی این عرصه‌ها مانند وضعیت زادآوری گونه‌های جنگلی از اهمیت زیادی برخوردار است (Najafifar, 2011). هر ساله مبالغی از بودجه ملی صرف امور جنگلکاری و غنی‌سازی زیراشکوب جنگل در منطقه زاگرس می‌شود که اگر این بودجه‌های اختصاص‌یافته، در محل مناسب و با توجه به شرایط جنگل‌شناسی عرصه‌های جنگلی هزینه نشود و هزینه‌کرد آن‌ها بر اساس اولویت‌بندی مناطق مختلف که احتمال حضور زادآوری طبیعی یکی از مهم‌ترین معیارهای آن است، نباشد، نتیجه آن هدر دادن سرمایه ملی کشور می‌شود. از این‌رو، با پهنه‌بندی و نقشه‌سازی دقیق و صحیح پراکنش و احتمال حضور زادآوری در این عرصه‌ها می‌توان نقش به‌سزایی را در افزایش بهره‌وری در برنامه‌ریزی مدیریت پایدار این جنگل‌ها مانند زمینه انجام و مدیریت پروژه‌های جنگلکاری ایفا کرد. با استفاده از روش‌های زمین‌آماری می‌توان متغیرهای جنگل را برآورد و نقشه‌سازی کرد (Akhavan et al., 2006, Akhavan and Kleinn, 2009).

(Köhl and Hussendorfer, 2000) در راستای تبدیل جنگل‌های سوزنی‌برگ همسال به جنگل‌هایی با تنوع گونه‌ای بیشتر در کشور آلمان، با توجه به اینکه گستره مکانی-زمانی زادآوری‌های طبیعی گونه‌های خزان‌کننده نقش اصلی را در ایجاد تنوع گونه‌ای ایفا می‌کنند، به نقشه‌سازی گستره توزیع مکانی زادآوری-های جنگل و درختان مادری اقدام کردند. (Gebrehiwot, 2003) با استفاده از مدل‌های آماری و زمین‌آماري به تحلیل تنوع و توزیع مکانی زادآوری گونه‌های درختی در جنگل‌های طبیعی در جنوب کشور اتیوپی پرداخت؛ در این پژوهش مدل‌های

از سطح دریا واقع شده است. بر اساس آمار ارائه شده در بخش دسترسی به داده‌های اقلیمی و تاریخچه‌ای پورتال سازمان هواشناسی کشور، متوسط بارندگی سالانه منطقه (ایستگاه یاسوج) در یک دوره آماری ۳۰ ساله بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶، ۷۹۰/۶ میلی‌متر محاسبه شد. در این دوره آماری، متوسط دمای سردترین ماه سال (بهمن ماه) ۲/۸ درجه سانتی‌گراد، متوسط دمای گرم‌ترین ماه سال (مرداد ماه) ۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط سالانه آن ۱۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. تیپ خاک منطقه قهوه‌ای رگوسول (Regosol)، قهوه‌ای آهکی و رگوسول با بافت رسی لومی، نیمه‌عمیق تا عمیق و سنگریزه‌دار و در بعضی از قسمت‌ها سنگلاخی با ساختمان دانه‌ای و در بعضی مناطق فرسایش‌پذیر است که فرسایش شیاری در بعضی نقاط تخریب‌یافته مشاهده می‌شود (Anonymous, 2005). بر اساس پژوهش‌های خاک-شناسی انجام شده هیچ‌گونه محدودیتی از نظر شوری خاک در منطقه وجود ندارد و pH خاک نیز اغلب خنثی (۷/۵-۷/۲) است (Anonymous, 2005). منطقه مورد پژوهش از حدود سال ۱۳۸۰ تحت قرق بوده و کمتر مورد چرای دام قرار گرفته است؛ اما با توجه به نزدیکی به شهر یاسوج برای تفرج و یا جمع‌آوری گیاهان خوراکی و دارویی در بعضی از مواقع سال توسط مردم محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جمع‌آوری داده‌ها

در تابستان سال ۱۳۹۱ عرصه جنگلی مورد نظر به روش منظم - تصادفی در شبکه‌ای به ابعاد ۱۵۰ متر در ۲۵۰ متر آماربرداری شد و در تابستان ۱۳۹۵ نیز محل قطعات نمونه مورد نظر با استفاده از مختصات ثبت شده فقط برای بررسی وضعیت زادآوری‌ها دوباره آماربرداری شد. در شبکه آماربرداری مورد نظر، ضلع کوچک شبکه آماربرداری در جهت شیب غالب منطقه

(2008). عدم وجود زادآوری و پراکنش غیریکنواخت آن در اغلب مناطق زاگرس (Namiranian et al., 2008, Jahangirian and Salehi, 2015) سبب می‌شود که پراکنش این متغیر از توزیع نرمال برخوردار نباشد که در این حالت استفاده از آمار ناپارامتری برای تحلیل این‌گونه از داده‌ها پیشنهاد می‌شود (Quinn and Keough, 2007)؛ بنابراین، تنها می‌توان با در نظر گرفتن حضور یا عدم حضور زادآوری طبیعی در این عرصه‌ها، نقشه پراکنش احتمال حضور زادآوری طبیعی را برای برنامه‌ریزی بهتر این بوم‌سازگان جنگلی تهیه کرد. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی روش‌های زمین‌آماري مانند مدل‌های زمین آمار ناپارامتری شامل کریجینگ شاخص، کریجینگ احتمال، کوکریجینگ شاخص و کوکریجینگ احتمال در پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) در یک عرصه جنگلی در منطقه بویراحمد در زاگرس جنوبی و پیشنهاد مناسب‌ترین مدل همراه با ارائه نقشه پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در این عرصه با استفاده از آن مدل است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

در این پژوهش، بخشی از عرصه جنگلی حوزه آبخیز اطراف سد شاه قاسم به وسعت حدود ۲۰۰ هکتار واقع در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب غربی شهر یاسوج در محدوده جغرافیایی ۳۰° ۳۲' ۵۸" تا ۳۰° ۳۴' ۲" عرض شمالی و ۵۱° ۳۵' ۳۹" تا ۵۱° ۳۴' ۴۳" طول شرقی در استان کهگیلویه و بویراحمد به‌عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شد (شکل ۴). منطقه مذکور با شیبی بین صفر تا ۶۰ درصد در جهت غالب شمالی و شمال‌شرقی در دامنه ارتفاعی بین ۱۹۰۰ تا ۲۲۵۰ متر

سانتی متر در نظر گرفته شدند. مرکز قطعه‌نمونه‌های اصلی بر روی نقشه رقومی منطقه طراحی شد و پس از انتقال به دستگاه GPS در طبیعت مشخص شدند.

تحلیل داده‌ها

علاوه بر تحلیل آمار توصیفی داده‌ها، همبستگی پیرسون بین مجموع تعداد زادآوری‌ها و دیگر متغیرهای کمی برداشت شده در قطعات نمونه اصلی (جدول ۱) مورد بررسی قرار گرفت تا از متغیرهایی که همبستگی بالایی (۵۰ درصد یا بیشتر) با مجموع تعداد زادآوری‌ها دارند در تحلیل‌های کوکریجینگ استفاده شود. برای انجام تحلیل برآورد مکانی، داده‌ها به ماژول تحلیل زمین آمار (Geostatistic Analysis) در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 منتقل شدند. در تحلیل زمین‌آمار، تابع نیم تغییرنا (Semivariogram) به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود (Nanos *et al.*, 2004):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (1) \text{ رابطه ۱}$$

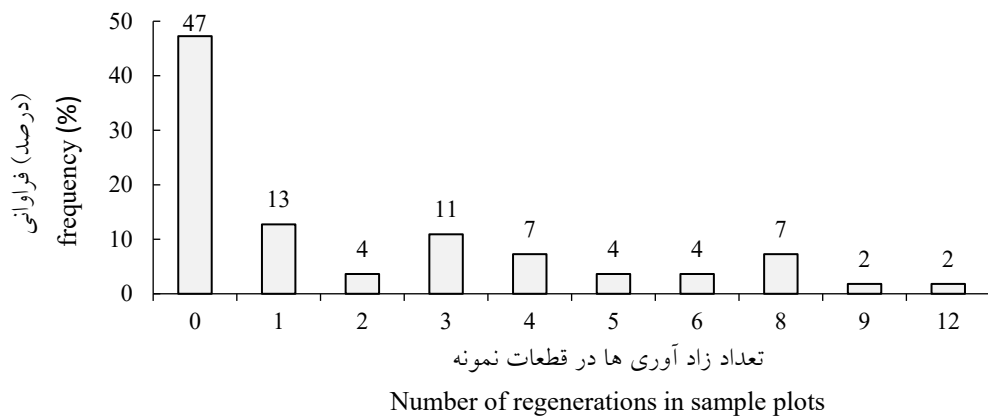
به طوری که $\hat{\gamma}(h)$ مقدار برآورد شده نیم تغییرنا برای تعداد N جفت نمونه است که با فاصله (h) (گام) از یکدیگر قرار گرفته‌اند. $Z(x_i)$ و $Z(x_i + h)$ به ترتیب مقدار متغیر در نقاط x_i و $x_i + h$ هستند. (Johnson, 2001) و همچنین بر اساس Johnson (2001) و (Hasani Pak (2004)، از آنجا که از شبکه‌ای به ابعاد ۱۵۰ متر در ۲۵۰ متر برای آماربرداری قطعات نمونه استفاده شد، حد پایینی فاصله شبکه نمونه برداری، ۱۵۰ متر، به عنوان مقدار گام تابع در نظر گرفته شد؛ با توجه به حداکثر فاصله حدود ۲۵۰۰ متری بین قطعات نمونه، با تقسیم نصف این فاصله به ۱۵۰ متر (۸/۳۳)، تعداد گام برای محاسبه هشت در نظر گرفته شد. اگر کمیت نیم تغییرنا به جهت نیز وابسته باشد، نیم تغییرنا ناهمسانگرد و در غیر این

قرار داشت و محل برخورد اضلاع شبکه به عنوان مرکز قطعه‌نمونه‌های اصلی دایره‌ای شکل با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در نظر گرفته شد. به منظور پراکندگی و تنک بودن زادآوری‌ها در عرصه‌های جنگلی منطقه، از تعداد چهار قطعات نمونه کوچک در جهت‌های مختلف در هر قطعه‌نمونه اصلی استفاده شد. به این منظور در هر قطعه‌نمونه اصلی چهار عدد قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل دیگر هر یک با شعاع ۱/۵۵ متر و مساحت تقریبی ۷/۵۴ متر مربع در راستای چهار جهت اصلی جغرافیای به فاصله نه متر از مرکز قطعه‌نمونه اصلی به عنوان قطعه‌نمونه‌های کوچک آماربرداری شد. مجموع مساحت چهار قطعه‌نمونه کوچک که حدود ۳۰ متر مربع است، حدود سه درصد مساحت قطعه‌نمونه اصلی را دربر می‌گرفتند. در هر قطعه‌نمونه اصلی علاوه بر ثبت مشخصات عمومی توده شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت عمومی آن، درصد بستگی تاج پوشش (Crown cover closure) به روش چشمی (Korhonen *et al.*, 2006) و درصد تراکم پوشش علفی، مشخصات گونه‌های درختی شامل نوع، قطر در ارتفاع برابر سینه (۱/۳۰ متر)، متوسط قطر تاج، ارتفاع درختان، فرم رویشی آن‌ها و تعداد جست در هر جست گروه (درخت) برحسب مورد برآورد و یا اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر در ارتفاع برابر سینه درختان شاخه‌زاد بلوط، طبق روش ارائه شده توسط (Zobeiry, 1994)، قطر هر پایه (جست) قابل اندازه‌گیری در ارتفاع برابر سینه به طور مجزا اندازه‌گیری شد. در هر قطعه‌نمونه کوچک، نهال‌های با ارتفاع کمتر از ۱۳۰ سانتی‌متر و پایه‌های احتمالی زیر حد آماربرداری بدون توجه به منشأ آن‌ها (دانه‌زادی و شاخه‌زادی) در چهار قطعه‌نمونه شمارش شدند. پایه‌های زیر حد آماربرداری شامل پایه‌های با ارتفاع بالاتر از ۱۳۰ سانتی‌متر اما با قطر برابر سینه کمتر از ۲/۵

و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده ساختار ضعیف برای متغیر مورد بررسی است (Ganawa et al., 2003).

رابطه (۲)
$$\text{درصد ساختار مکانی} = \left[\frac{\text{اثر قطعه‌ای} - \text{حد آستانه}}{\text{حد آستانه}} \right] \times 100$$
 در این پژوهش، بخش عمده‌ای از قطعات نمونه فاقد هرگونه زادآوری بودند (۴۷ درصد). شکل ۱ درصد فراوانی تعداد زادآوری‌ها را در قطعات نمونه نشان می‌دهد. بر اساس نمودار شکل ۱، فقط در دو درصد از قطعات نمونه حداکثر ۱۲ عدد زادآوری مشاهده شد. غیرنرمال بودن توزیع داده‌های مربوط به تعداد زادآوری در قطعات نمونه آماربرداری شده با انجام آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مشخص شد ($ks=0/2$ ، $p\text{-value} < 0/01$)؛ بنابراین، مدل‌های آمار اتفافی ناپارامتری (Lister et al., 2001; Adhikary et al., 2011)، شامل کریجینگ شاخص، کریجینگ احتمال، کوکریجینگ شاخص و کوکریجینگ احتمال برای پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در عرصه جنگلی مورد نظر مورد مقایسه قرار گرفتند.

صورت همسانگرد نامیده می‌شود (Nanos et al., 2004). برای بررسی همسانگردی، با فعال کردن حالت جستجو در جهت‌های جغرافیایی مختلف (ناهمسانگردی) در نرم‌افزار، در صورت وجود ناهمسانگردی، مدل برازش شده به صورت دسته‌ای از خطوط منحنی نمایش داده می‌شود. این دسته خطوط منحنی، مناسب‌ترین مدل‌های برازش شده را برای رسم تغییرنمای بهینه شده (Optimize variogram) در جهت‌های مختلف نشان می‌دهند. در حالت بهینه، نرم-افزار از روش ارزیابی متقابل برای محاسبه اندازه بهینه دو کمیت حد آستانه (Sill) و اثر قطعه‌ای (Nugget effect) (Akhavan and Hasani Pak, 2004) (Kleinn, 2009) و زاویه جهت جستجو با تمرکز بر شاخص حداکثر دامنه تأثیر (Rang) در رسم تغییرنمای بهینه شده استفاده می‌کند. نسبت واریانس ساختاردار به حد آستانه، ساختار مکانی واریوگرام نامیده می‌شود که آن را به درصد بیان می‌کنند (رابطه ۲). اگر ساختار مکانی ۷۵ درصد و بیشتر باشد، نشان‌دهنده ساختار قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نشان‌دهنده ساختار متوسط



شکل ۱- فراوانی تعداد زادآوری‌ها در قطعات نمونه
Figure 1. The frequency of regenerations in sample plots

شاخص $\hat{I}(s)$ در هر نقطه بین S_0 و Z_{th} به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود (Adhikary et al., 2011) که در

در کریجینگ شاخص از آنجا که متغیر شاخص صفر یا یک است، در این حالت مقدار تخمینی متغیر

داده‌ها در روش‌های درون‌یابی مذکور، از حالت واقعی به‌جای حالت نرم (Smooth) در تهیه نقشه احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی که همان احتمال حضور زادآوری بالاتر از حد آستانه (یک اصله نهال) است، استفاده شد. برای انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی از نظر دقت از روش ارزیابی متقابل (Cross-validation) استفاده شد. برای ارزیابی اعتبار مدل‌های زمین آماری مورد استفاده، کمیت‌های میانگین خطاهای پیش‌بینی (ME) (رابطه ۵)، میانگین اشتباه معیار (ASE) (رابطه ۶)، جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) (رابطه ۷) و مقدار استاندارد شده جذر میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی (RMSS) (رابطه ۸) محاسبه شدند (Johnson et al., 2001). در این رابطه‌ها $\hat{z}(s_i)$ ارزش پیش‌بینی شده از روش ارزیابی متقابل برای نقطه s_i ، $z(s_i)$ ارزش مشاهده شده برای متغیر تعداد زادآوری در نقطه s_i و $\hat{\delta}(s_i)$ مقدار اشتباه معیار برآورد شده برای نقطه s_i هستند. همچنین، n تعداد نمونه‌ها و S_i مقدار مشاهده شده متغیر i در نقطه S با مختصات معلوم در نقطه i هستند.

$$ME = 1/n \sum_{i=1}^n [\hat{z}(s_i) - z(s_i)] \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$ASE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n \delta(s_i)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n [\hat{z}(s_i) - z(s_i)]^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$RMSS = \sqrt{1/N \sum_{i=1}^N \frac{(\hat{z}(s_i) - z(s_i))^2}{\delta(s_i)^2}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در حالتی که برآوردها دقیق و بدون اشتباه باشند، مقدار دو آماره‌ی میانگین (ME) و میانگین اشتباه معیار خطاها (ASE) باید برابر صفر شود و هر چه مقدار جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) و استاندارد شده جذر میانگین مربعات خطاها (RMSS) کمتر

آن $\hat{I}(s_0; z_{th})$ ویژگی مورد تخمین، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه z ام و $I(s_0; z_{th})$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در قطعات نمونه است. برای عدم حضور زادآوری در قطعات نمونه، مقدار $I(s)$ برابر با صفر و در صورت وجود هر تعداد زادآوری مقدار آن برابر با یک در نظر گرفته شد. برآورد کننده کرجینگ احتمال به‌صورت رابطه ۴ توصیف می‌شود. در رابطه ۴، شاخص $\hat{I}(x_0; z_{th})$ به‌عنوان متغیر اصلی در نظر گرفته می‌شود و متغیر دیگری با ارزش استاندارد شده بین صفر و یک ($U(x)$) که به آن مرتبه استاندارد شده (Vann and Guibal, 2001) نیز گفته می‌شود به‌عنوان متغیر کمکی در برآورد کننده کورجینگ در نظر گرفته می‌شود (Adhikary et al., 2011).

$$\hat{I}(s_0; z_{th}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i I(s_0; z_{th}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i U(x_i) + \hat{I}(x_0; z_{th}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i I(x_0; z_{th}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در کورجینگ شاخص با انتخاب حد آستانه-های چندگانه، چندین متغیر شاخص را از یک مجموعه داده انتخاب کرده و یکی از متغیرهای شاخص را ($I(s)$) به‌عنوان متغیر وابسته اصلی در نظر گرفته می‌شود و دیگر متغیرهای شاخص به‌عنوان متغیر ثانویه در نظر گرفته می‌شوند. در روش‌های درون‌یابی ذکر شده در بالا، برای ترسیم واریوگرام از برازش مدل‌های سقف‌دار دایره‌ای (Circular)، کروی (Spherical)، تتراسفریکال (Tetraspherical)، پنتاسفریکال (Pentaspherical)، نمایی (Exponential)، گوسی (Gaussian)، رشنال کوادراتیک (Rational quadratic)، اثر حفره (Hole effect)، کی بیسل (k-bessel)، جی بیسل (J-Bessel) و پایدار (Stable) (Johnson et al., 2001) ارائه شده در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 بر واریوگرام‌های تجربی استفاده شد. در این پژوهش، با در نظر نگرفتن خطای

این تعداد در واقع تعداد شاخه‌زادها در قطعات نمونه است که با در نظر گرفتن تعداد متوسط ۳/۱۷ جست در هر جست گروه بلوط، متوسط تعداد جست گروه-های بلوط ایرانی در هر قطعه نمونه حدود ۱۶ اصله برآورد شد. قابل ذکر است حد شمارش به عنوان جست، بزرگ‌تر بودن آن پایه از معیار ارائه شده برای شمارش نهال‌ها بود. برای در مجموع چهار قطعه نمونه کوچک در هر قطعه نمونه اصلی (۳۰/۱۷ متر مربع)، به طور میانگین تعداد ۲/۱۸ نهال با انحراف از معیار ۲/۹۶، دامنه پراکنش ۱۲ و دامنه بین چارکی (تفاوت بین چارک سوم و اول) چهار وجود دارد. در قطعات-نمونه دارای زادآوری، حداقل تعداد نهال‌های موجود در قطعات نمونه برابر یک و حداکثر آن‌ها ۱۲ اصله شمارش شد.

بعد از بررسی همبستگی پیرسون بین متغیرهای آماربرداری شده در قطعات نمونه اصلی و مجموع تعداد زادآوری در چهار قطعه نمونه کوچک موجود در قطعات نمونه اصلی، تنها متغیر درصد تاج پوشش با ضریب همبستگی ۰/۵۶۶ (P-value=۰/۰۰۰)، همبستگی بالاتر از ۵۰ درصد را با تعداد زادآوری نشان داد که از آن به عنوان متغیر کمکی در مدل‌های مختلف کوکریجینگ استفاده شد. مقایسه ساختارهای مکانی مدل‌های مورد استفاده برای روش‌های درون-یابی کوکریجینگ شاخص، کر جینگ احتمال، کوکریجینگ شاخص و کوکریجینگ احتمال، نشان داد که تنها دو مدل کوکریجینگ احتمال پتتاسفریکال و تتراسفریکال به ترتیب با مقدار ۷۵/۶۳ و ۷۵/۰۶ درصد دارای ساختار مکانی قوی بالای ۷۵ درصد بودند و مدل کوکریجینگ احتمال کروی نیز با مقدار ۷۲/۸۰ درصد با ساختار مکانی متوسط در رتبه سوم قرار گرفت. جدول ۲ معیارهای حداکثر دامنه تأثیر، حداقل دامنه تأثیر، جهت جستجو، حد آستانه، اثر قطعه‌ای و درصد

باشد، مدل زمین آماری به کار رفته دارای دقت و در نتیجه اعتبار بیشتری خواهد بود (Webster and Oliver, 2000). بعد از انتخاب مناسب‌ترین مدل، برای برآورد احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در نقاط نمونه برداری نشده، نقشه پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری در عرصه مورد پژوهش تهیه شد.

نتایج

در مجموع ۵۵ قطعه نمونه اصلی ۱۰۰۰ متر مربعی در سطح عرصه مورد پژوهش برداشت شد. تحلیل داده-های مربوط به فراوانی و ترکیب گونه‌های مختلف چوبی نشان می‌دهد که از میان ۱۲ گونه درختی و درختچه‌ای شناسایی شده در منطقه، گونه بلوط ایرانی (*Q. brantii lindl.*) با فراوانی ۵۳/۰۸ درصد و گونه کیکم (*Acer cinerascens Boiss.*) با فراوانی ۳۹/۲۸ درصد بیش از ۹۰ درصد کل گونه‌های چوبی موجود در منطقه را تشکیل می‌دهند. دیگرگونه‌ها شامل بنه (*Pistacia atlantica Desf.*)، زبان گنجشگ (*Fraxinus rotundifolia Mill.*)، زالزالک (*Cratagus*)، ارژن (*Amygdalus reuteri Boiss.*)، گیلاس وحشی (*Prunus avium L.*)، گلابی وحشی (*Pyrus communis L.*)، شن (*Jaub. & Spach.*)، شیرخشت (*Lonicera nummularifolia*)، دافنه (*Cotoneaster morulus Pojark.*)، *angustifolia Koch.* هر کدام با فراوانی بین ۰/۲ درصد تا حداکثر سه درصد مجموع کل گونه‌ها را تشکیل می‌دهند. جدول ۱ بعضی از مشخصه‌های آماری مربوط به متغیرهای کمی آماربرداری شده برای بلوط ایرانی را در توده جنگلی مورد پژوهش را در سطح قطعات نمونه نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۱ متوسط تعداد جست‌های بلوط ایرانی در هر قطعه-نمونه ۵۵/۶۴ (انحراف از معیار، ۵۱/۵۱) برآورد شد که

دهد. بر اساس جدول ۳ و مقایسه شاخص‌های ارزیابی ذکرشده در آن، مدل کرجینگ احتمال پتتاسفریکال نسبت به دو مدل کرجینگ احتمال تتراسفریکال و کرجینگ احتمال کروی برای پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در سطح عرصه مورد پژوهش، از بالاترین مقدار اعتبار برخوردار است.

ساختار مکانی را در حالت بهینه با تمرکز بر حداکثر دامنه تأثیر برای سه مدل نامبرده‌شده در بالا نشان می‌دهد. برای دیگر مدل‌های ذکر نشده در این جدول، ساختارهای متوسط تا ضعیف محاسبه شد. جدول ۳ شاخص‌های ارزیابی اعتبار (ME، ASE، RMSE و RMSS) مدل‌های زمین آماری ذکرشده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده پایه‌های بلوط ایرانی و تعداد کل پایه گونه‌های چوبی در سطح قطعه‌نمونه

Table 1. Descriptive statistics of the measured variables of Persian oak trees and other woody species in the sample plots in the study area

اشتباه آماربرداری (درصد) Inventory Error (%)	اشتباه معیار SE	انحراف معیار SD	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	متغیر Variable
17.28	2.41	17.86	3	75	27.89	بستگی تاج‌پوشش (درصد) Crown cover closure (%)
11.98	6.28	46.55	9	208	104.82	تعداد کل پایه‌های چوبی Number of total woody species
24.40	6.82	51.04	0	181	55.64	تعداد جست بلوط Number of oak coppics
16.05	1.01	7.48	0	29.80	12.58	قطر برابر سینه جست‌های بلوط (cm) DBH of oak coppics (cm)
14.45	0.28	2.14	0	6.30	4	متوسط قطر تاج جست گروه‌های بلوط (متر) Average of crown diameter of oak coppics (m)
15.14	0.31	2.31	0	7.21	4.12	میانگین ارتفاع جست گروه‌های بلوط (متر) Average of height of oak coppics (m)
15.25	5.44	40.32	0	100	71.32	فراوانی پایه‌های سالم بلوط (درصد) Frequency of healthy stems of oak (%)
20.18	0.32	2.37	0	12	3.17	تعداد متوسط جست‌های بلوط Average number of coppics per oak stems
25.75	0.17	1.26	0	5.89	1.32	سطح مقطع برابر سینه جست‌های بلوط (متر) Basal area at breast height of oak coppics (m)

پژوهش را نشان می‌دهد. در این نمودار، محور افقی تعداد زادآوری شمارش شده در قطعات نمونه و محور عمودی پیش‌بینی احتمال حضور زادآوری را در عرصه نشان می‌دهد.

شکل ۲ نمودار ارزیابی متقابل روش زمین آماری کرجینگ احتمال پتتاسفریکال برای بررسی رابطه تعداد زادآوری شمارش شده و احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در سطح عرصه جنگلی مورد

جدول ۲- مشخصات درصد ساختار مکانی در مدل‌های کرجینگ احتمال پنتاسفریکال، کرجینگ احتمال تتراسفریکال و مدل کرجینگ احتمال کروی مربوط به احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در سطح عرصه

Table 2. Characteristics of percentage of spatial structure in models of pentaspherical probability kriging, tetraspherical probability kriging, and spherical probability kriging related to the probability of presence of Persian oak regeneration in the study area

ساختار مکانی (درصد) Spatial Structure	اثر قطعه‌ای Nugget effect	حد آستانه Sill	جهت (درجه) Direction (Degree)	حداقل دامنه تأثیر (متر) Minor Range	حداکثر دامنه تأثیر (متر) MajorRange	مدل - تابع Model - Function
75.63	0.058183	0.238782	142	387.15	524.65	کرجینگ احتمال پنتاسفریکال Pentaspherical probability kriging
75.05	0.0595326	0.238687	140	355.81	487.63	کرجینگ احتمال تتراسفریکال Tetraspherical probability kriging
72.88	0.064610	0.238302	137	321.53	445.64	کرجینگ احتمال کروی Spherical probability kriging

جدول ۳- مقایسه ارزیابی اعتبار مدل‌های کرجینگ احتمال پنتاسفریکال، کرجینگ احتمال تتراسفریکال و کرجینگ احتمال کروی با استفاده از روش ارزیابی متقابل مربوط به احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در سطح عرصه

Table 3. Comparison of evaluation of validation of Pentaspherical probability kriging, Tetraspherical probability kriging and Spherical probability kriging models using cross validation method related to the probability of presence of Persian oak regeneration in the study area

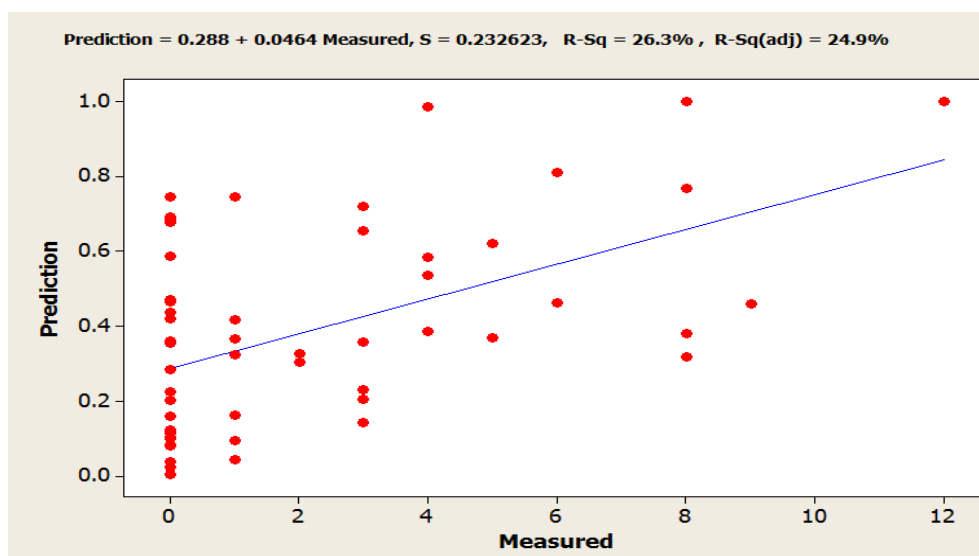
استاندارد شده جذر میانگین مربعات خطاها (درصد) Root-Mean-Square Standardized	جذر میانگین مربعات خطاها (درصد) Root-Mean-Square (%)	میانگین اشتباه معیار (درصد) Average Standard Error (%)	میانگین خطاها (درصد) Average of Errors (%)	روش Method
1.0113	0.4470	0.4424	-0.0106	کرجینگ احتمال پنتاسفریکال Pentaspherical probability kriging
1.0274	0.4556	0.4433	-0.0151	کرجینگ احتمال تتراسفریکال Tetraspherical probability kriging
1.0313	0.4567	0.4432	-0.0175	کرجینگ احتمال کروی Spherical probability kriging

جستجو در جهت‌های جغرافیایی مختلف (ناهمسانگردی) در نرم‌افزار، به وجود آمده است و بر وجود ناهمسانگردی در کمیت نیم تغییرنا دلالت دارند. این دسته خطوط منحنی، مناسب‌ترین مدل‌های برازش شده را برای رسم تغییرنمای بهینه شده در جهت‌های مختلف نشان می‌دهند. شکل ۴ نقشه پهنه-

شکل ۳ واریوگرام تجربی و مدل برازش شده به آن را با استفاده از مدل کرجینگ احتمال پنتاسفریکال نشان می‌دهد. این مدل با شامل کردن حداکثر ۸ و حداقل ۴ همسایه در یک دایره کامل محاسبه شد. ضخیم بودن قسمت منحنی نمودار به دلیل وجود دسته-ای از خطوط منحنی است که با فعال کردن حالت

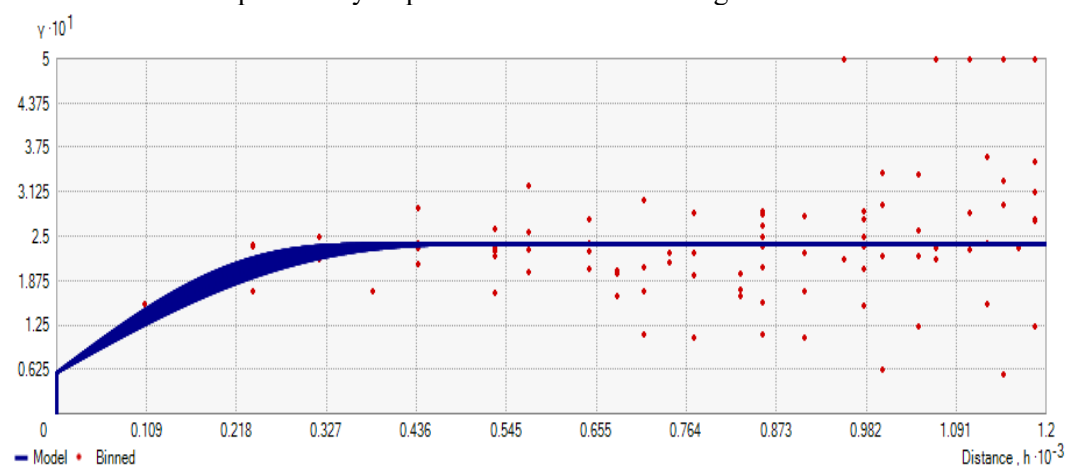
تا ۱۰۰ درصد می‌رسد؛ از این‌رو، احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در قسمت غربی منطقه مورد پژوهش که از ارتفاع بیشتری نیز نسبت به دیگر نقاط برخوردار است، بیشتر است. در حالی که احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی بر روی یال واقع در قسمت جنوب شرقی منطقه حدود صفر است.

بندی احتمال حضور زادآوری در منطقه مورد پژوهش را با استفاده از روش کرجینگ احتمال پنتاسفریکال به روش بلوکی با ابعاد ۱۵ متر در ۱۵ متر و قرار دادن نقشه توپوگرافی و آبراهه‌های منطقه بر آن را نمایش می‌دهد. بر اساس شکل ۴، در مناطق تیره‌تر احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی بیشتر است به طوری که در بهترین حالت حضور زادآوری بلوط ایرانی به ۹۰



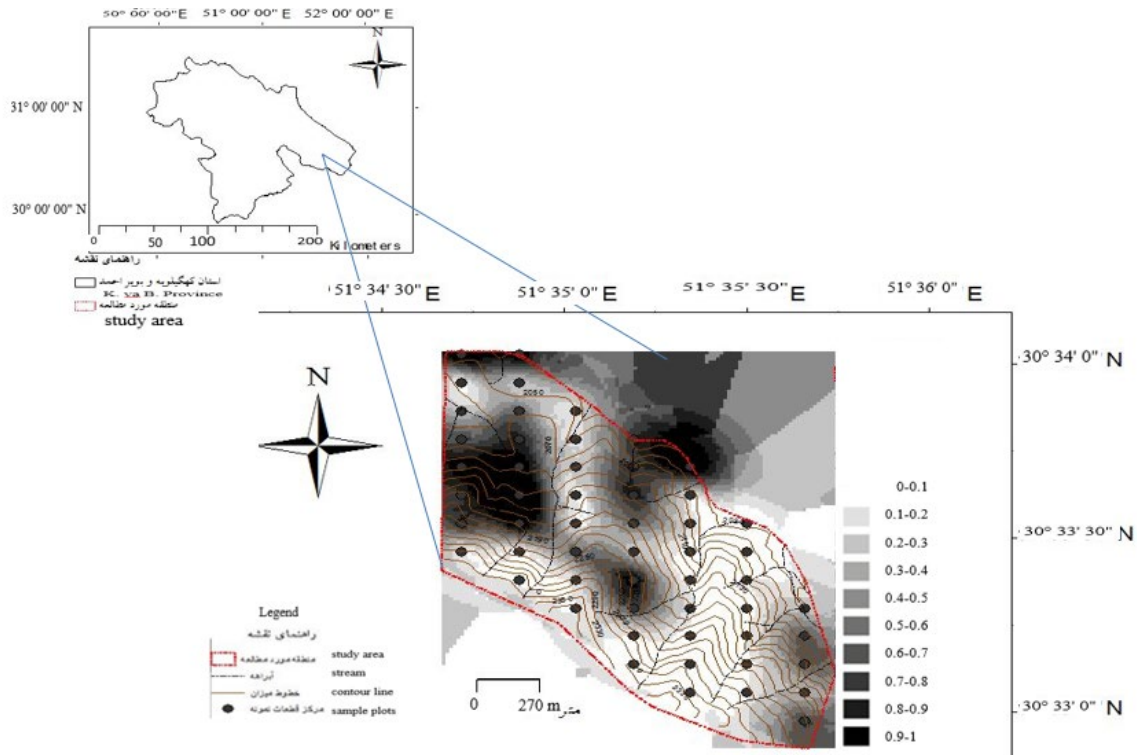
شکل ۲- نمودار ارزیابی متقابل روش کرجینگ احتمال پنتاسفریکال برای احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی

Figure 1. The cross validation graph of the method of pentaspherical probability kriging for the the probability of presence of Persian oak regeneration



شکل ۳- نیم تغییرنمای تجربی و مدل برازش شده به آن با استفاده از مدل کرجینگ احتمال پنتاسفریکال برای بررسی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در منطقه مورد پژوهش

Figure 2. The experimental semivariogram and the fixed model, using the method of pentaspherical probability kriging for the the probability of presence of Persian oak regeneration in the study area



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی با استفاده از روش کرجینگ احتمال پنتاسفریکال
 Figure 3. Zoning map of the the probability of presence of Persian oak regeneration, using the method of pentaspherical probability kriging

مختلف مورد تأیید قرار گرفته است (Gebrehiwot, 2003, 2005, Mou et al., 2017, Darabi et al.). تفاوت عمده کاربرد روش‌های ذکرشده در بالا با روش استفاده‌شده در این پژوهش استفاده از مدل ناپارامتری است؛ اما با توجه به ماهیت ناپارامتری بودن مدل استفاده‌شده در این پژوهش، تنها قادر به تهیه نقشه احتمال حضور زادآوری در عرصه هستیم و تهیه نقشه پیش‌بینی تعداد زادآوری در عرصه امکان‌پذیر نیست. گرچه از متغیر درصد بستگی تاج درختان به-عنوان متغیر کمکی در مدل‌های مختلف کوکریجینگ استفاده شد، اما هیچ یک از مدل‌ها در روش استفاده شده ساختار مکانی قوی و قابل قبولی را نشان ندادند. در پژوهش‌های زمین‌آماري قبل از انجام نمونه-برداری تعیین ابعاد بهینه شبکه نمونه‌برداری با استفاده از رسم نمودار واریوگرام برای فواصل مختلف قطعات

بحث

تهیه نقشه پراکنش و احتمال حضور زادآوری در عرصه‌ها جنگلی زاگرس از اهمیت ویژه‌ای برای برنامه‌ریزی پروژه‌های جنگلکاری برخوردار است. Naghavi و همکاران (2014) به‌منظور شبیه‌سازی نقشه جنگلکاری برای احیای مناطق تخریب‌یافته زاگرس، بر اساس الگوی طبیعی درختان شامل ترکیب و فاصله گونه‌ها اقدام به شبیه‌سازی نقشه جنگلکاری در محیط نرم‌افزاری و آزمایشگاهی کردند. این پژوهش استفاده از مدل کرجینگ احتمال پنتاسفریکال را برای پهنه‌بندی و تهیه نقشه احتمال حضور زادآوری بلوط ایرانی در عرصه جنگلی مورد پژوهش به‌عنوان مناسب‌ترین روش پیشنهاد می‌دهد. استفاده از مدل‌های کرجینگ کروی به‌عنوان مدل‌های مناسب برای تحلیل زمین‌آماري توزیع مکانی زادآوری‌ها در پژوهش‌های

طول کوچک‌ترین دامنه تأثیر باشد (Akhavan et al., 2006)، در این پژوهش، نسبت طول به عرض مستطیل در شبکه آماربرداری حدود ۱/۶۷ محاسبه شد، از طرفی، نسبت طول بزرگ‌ترین دامنه تأثیر به طول کوچک‌ترین دامنه تأثیر در روش کرجینگ احتمال پنتاسفریکال حدود ۱/۴۰ محاسبه شد که اختلاف ناچیزی بین این دو نسبت وجود دارد. در پژوهش Darabi و همکاران (2017) در مورد تغییرات مکانی زادآوری و تنوع گونه‌های درختی در جنگل-های زاگرس در استان کرمانشاه، حداقل در مورد متغیر زادآوری غیرجنسی، ناهمسانگردی مشخصی مشاهده نشد، دلیل این امر را می‌توان با احتمال، به بالا بودن شاخص یکنواختی برای این متغیر در آن منطقه مربوط دانست.

استفاده از روش‌های مختلف آمار اتفاقی ناپارامتری برای بررسی وضعیت پراکنش زادآوری جنگلی و تهیه نقشه توزیع مکانی زادآوری جنگل، در مدیریت جدید منابع جنگل در منطقه زاگرس می‌تواند به‌عنوان راهنمای خوبی در طرح‌های جنگلکاری این مناطق مورد استفاده قرار گیرند تا بر اساس آن‌ها بتوان عملیات غنی‌سازی زیراشکوب جنگل، جنگلکاری، واکاری و عملیات پرورشی را با توجه به وضعیت زادآوری در سطح عرصه جنگل مکان‌یابی و برنامه‌ریزی کرد.

References

- Adhikary, P. P., Ch. J. Dash, R. Bej & H. Chandrasekharan, 2011. Indicator and probability kriging methods for delineating Cu, Fe, and Mn contamination in groundwater of Najafgarh Block, Delhi, India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1-4): 663-676.
- Akhavan, R. & C. Kleinn, 2009. On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock (Case study: Beneshki plantation), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(2): 303-

نمونه، غیرقابل اجتناب است، اما در این پژوهش به دلیل محدودیت زمانی و بودجه‌ای، شدت آماربرداری حدود سه درصد با ابعاد شبکه ۱۵۰ متر در ۲۵۰ متر، انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل از درون‌یابی کرجینگ احتمال، زادآوری جنگل دارای مقدار اثر قطعه‌ای بسیار کم (۰/۰۵۸۱۸۳) است. بر اساس نظر Akhavan و همکاران (2006)، مقدار اثر قطعه‌ای کوچک می‌تواند حاکی از واریانس تصادفی کم زادآوری در منطقه طرح باشد، به این معنی که نمونه‌های نزدیک به هم بسیار مشابه و نمونه‌های دور از هم مقادیر متفاوت‌تری از هم داشته‌اند. مشاهده دسته خطوط منحنی در مدل برازش شده به نیم تغییرنمای زادآوری (شکل ۴) نشان می‌دهد که متغیر زادآوری دارای نیم تغییرنمای ناهمسانگرد منطقه‌ای است. قرار گرفتن لایه اطلاعاتی خطوط میزان و مسیر آبراه‌ها بر روی نقشه حاصل از درون‌یابی زادآوری‌ها در منطقه مورد پژوهش (شکل ۵) نقش توپوگرافی را در این زمینه نمایان می‌کند. شناخت ناهمسانگردی برای طراحی شبکه نمونه‌برداری بهینه و تعیین شعاع جستجو در جهت‌های مختلف در هنگام تخمین به روش کرجینگ اهمیت دارد، بدین معنی که برای محیط ناهمسانگرد هندسی بهتر است از شبکه نمونه‌برداری مستطیلی استفاده کرد که نسبت طول به عرض مستطیل مساوی نسبت طول بزرگ‌ترین دامنه تأثیر به

318. (In Persian)

- Akhavan, R., M. Zobeiri, Gh. Zahedi Amiri, M. Namiranian & D. Mandallaz, 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistical approach in the Caspian Region of Iran, *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(1): 89-102. (In Persian)
- Alijanpour, A., A. Banj Shafiei & J. Eshaghi Rad, 2010. Investigation of natural regeneration characteristics in west oak forests within different levels of site factors (case study: Piranshahr region), *Iranian*

- Journal of Forest*, 2(3): 209-219. (In Persian)
- Anonymous, 2005. Multi-Purpose Forestry plan of Tulgahi, Forests, Range and Watershed Management Organization of Iran, Hedquarter of natural resources of K & B proviance, Innovations Green Life Development Co, 97 p.
 - Darabi, H., S. Gholami & A. Sayad, 2017. Spatial variability of regeneration and tree species diversity in Zagros Forests, case study: Gahvare Forests, Kermanshah, *Iranian Journal of applied ecology*, 5(4): 45-58. (In Persian)
 - Ganawa, E. S. M., M. A. M. Soom, M. H. Musa, A. R. M. Shariffa & A. Wayayoka, 2003. Spatial variability of total nitrogen, and available phosphorus of large rice field in Sawah Sempadan Malaysia, *Science Asia Journal*, 29: 7-12.
 - Gebrehiwot, M., 2003. Assessment of natural regeneration diversity and distribution of forest tree species (A case study in Wondo-Wesha Catchment Awassa watershed Southern Ethiopia). Monograph Series. ITC the Netherlands, 102 p.
 - Hasani Pak, A., 2004. Geostatistics. Tehran university press, Tehran, 314 p.
 - Hossieni, A., M. H. Moayeri & H. Haidari, 2008. Effect of site elevation on natural regeneration and other characteristics of oak (*Quercus brantii*) in the Hyanan's forest, Ilam, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 15(1): 194-202. (In Persian)
 - Jahangirian, Sh. & A. Salehi, 2015. The effect of topography factors on land use/cover changes of Yasouj forest park during 1965 to 2011, *RS & GIS for Natural Resources*, 6(2): 89-106. (In Persian)
 - Johnson, K., J. M. Ver Hoef, K. Krivoruchko & N. Lucas, 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. GIS by ESRI. Redlands, USA. 306 p.
 - Karamshahi, A., A. Karami & G. Mohammadi, 2016. Structure quantitative spatial analysis model of Persian Oak species in two types of high forest and coppice of West Oak Forests (Case study: Karzan forests, Ilam Province), *Forest Research and Development*, 2(3): 205-218. (In Persian)
 - Köhl, M., & Hussendörfer, E. (2000). Conversion of forests: approaches to determine the potential extension of regeneration using remote sensing and GIS. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*, 171(5/6): 102-109.
 - Korhonen, L., K. T. Korhonen, M. Rautiainen & P. Stenberg, 2006. Estimation of forest canopy cover: a comparison of field measurement techniques, *Silva Fennica*, 40(4): 577-588.
 - Lister, A. J., R. Riemann & M. Hoppus, 2001. A nonparametric geostatistical method for estimating species importance. Proceedings of Second Annual Forest Inventory and Analysis (FIA) Symposium, Salt Lake City, UT, USA. pp: 52-59.
 - Mejia-Dominguez, N. R., A. Meave Jorge & C. Diaz-Avalos, 2012. Spatial structure of the abiotic environment and its association with sapling community structure and dynamics in a cloud forest, *International journal of biometeorology*, 56(2): 305-318.
 - Mou, P., R. H. Jones, D. Guo & A. Lister, 2005. Regeneration strategies, disturbance and plant interactions as organizers of vegetation spatial patterns in a pine forest, *Landscape Ecology*, 20(8): 971-987.
 - Naghavi, H., A. Fallah, Sh. Shataee, J. Soosani & H. Ramezani, 2014. Simulation of plantation map using the spatial pattern of natural trees to restore degraded forests in Zagros region, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(4): 664-671.
 - Najafifar, A., 2011. Sexual regeneration frequency of forest species in Zagros area in relation to different ecological factors in Ilam province, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(2): 279-290. (In Persian)
 - Namiranian, M., A. Henareh Khalyani, Gh. Zahedi Amiri & H. Ghazanfari, 2008. Study of different restoration and regeneration techniques in northern Zagros (Case study: Armardeh oak forest, Baneh, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4): 386-397. (In Persian)
 - Nanos, N., R. Calama, G. Montero & L. Gil, 2004. Geostatistical prediction of height diameter models, *Forest ecology and management*, 195(1-2): 221-235.
 - Quinn, G. P. & M. J. Keough, 2007. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University press, Cambridge, UK, 537p.
 - Salehzadeh, O., J. Es'haghi Rad & H. Maroofi, 2016. The effect of anthropogenic disturbance on flora and plant diversity in

-
- Oak forests of west (Baneh city), *Forest research and Development*, 2(3): 219-240. (In Persian)
- Vann, J. & D. Guibal, 2001. Beyond ordinary kriging; an overview of non-linear estimation. Monograph Series-Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 249-256.
 - Webster, R. & M. A. Oliver, 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley press, 271 p.
 - Zobeiry, M., 1994. Forest Inventory. Tehran University press, Tehran, Iran, 401 p.

The efficiency of geostatistical methods in zoning the probability of presence of Persian Oak regeneration

Sh. Alizadeh¹, A. Salehi^{*2} and M.R. Mirzaei³

1- M.Sc. of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, I. R. Iran.

(shirin_600_1@yahoo.com)

2- Assistant professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, I. R. Iran. (asalehi@yu.ac.ir)

3- Assistant professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasouj, I. R. Iran. (mmirzai@yu.ac.ir)

Received: 12.11.2017

Accepted: 11.04.2018

Abstract

To study on competence of nonparametric geostatistical models including Indicator Kriging, Probability Kriging, Indicator Cokriging and Probability CoKriging, in zoning the probability of presence of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) regeneration in a forest stand to suggest the most suitable model and produce its related map, a forest stand with an area about 200 ha in nearby Yasouj was inventoried. Using a systematic random grid, 150 m by 250 m, general and silvicultural characteristics of the forest stand were inventoried in circular sample plots with an area of 1000 m². the number of Persian oak regeneration were counted in four small-circular plots with a radius of 1.55 m located with a distance of nine meters from the center of the main plots in line with the four main geographic directions. Using Geostatistic Analysis in ArcGIS10.2, the models of circular, spherical, tetraspherical, pentaspherical, exponential, gaussian, rational quadratic, hole effect, k-bessel, J-Bessel and stable were fitted on the variogram. The cross validation method was used to evaluate the accuracy of the model. The results showed that the pantaspherical model of probability kriging have the strongest spatial structure (75.63%) and the highest level of credit in aspect of accuracy, ME (-0.0106), ASE (0.4424), RMSE (0.4470) and RMSS (1.0113) and would be suggested as the suitable model. After drawing semivariogram of regenerations and fixing the suggested model on that, they indicated on anisotropy in semivariogram quantity.

Keywords: Forest regeneration, Geostatistics, Nonparametric stochastic, Yasouj.

* Corresponding author

Tel: +989171551288

