

معرفی روش زمین آمار (ژئواستاتستیک) و کاربردهای آن در علوم جنگل

رضا اخوان*

*دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
akhavan@rifr-ac.ir

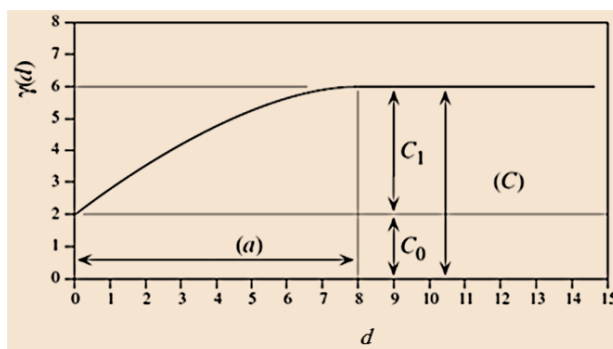
چکیده

برآورد و پهنه‌بندی متغیرهای جنگل (مانند مشخصات خاک، پوشش گیاهی، موجودی حجمی یا تراکم جنگل) به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی در جنگل امری اجتناب‌ناپذیر است. امروزه انتخاب یک روش درون‌یابی نارایب به‌منظور پهنه‌بندی متغیرهای جنگل پس از انجام آماربرداری، از شروط لازم برای مدیریت، برنامه‌ریزی و تحقیق در جنگل است. آمار مکانی شاخه‌ای از علم آمار است که با داده‌های مکان‌دار (دارای مختصات) سروکار دارد و روش زمین‌آمار (ژئواستاتستیک) از جمله روش‌هایی است که در زیر مجموعه آمار مکانی قرار می‌گیرد و قادر به برآورد و پهنه‌بندی دقیق متغیرهای جنگل می‌باشد. چالش‌های موجود در آماربرداری از جنگل عبارتند از: ۱- فاصله مناسب نمونه‌برداری ۲- افزایش دقت برآورد متغیرها و ۳- پهنه‌بندی نحوه پراکنش و توزیع متغیرها. روش‌های آمار مکانی با استفاده از داده‌های مکانی قادر به پاسخ‌گویی به این چالش‌ها می‌باشند. از میان این روش‌ها روش زمین‌آمار قادر به پاسخ‌گویی به هر سه چالش می‌باشد که چالش اول را با استفاده از تحلیل واریوگرام متغیر مورد بررسی و چالش‌های دوم و سوم را با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ خود مرتفع می‌سازد. در این مقاله به معرفی اجمالی روش زمین‌آمار و نمونه‌هایی از کاربردهای آن در علوم جنگل پرداخته خواهد شد.

واژگان کلیدی: آمار مکانی، درون‌یابی، ساختار مکانی، کریجینگ، واریوگرام.

بیان مسأله

اصولاً در آماربرداری‌های جنگل به دلیل کمبود نیرو، امکانات، بودجه و زمان کافی ناگزیر به انجام نمونه‌برداری به‌جای آماربرداری صددرصد می‌باشیم. به عبارت دیگر بخش‌هایی از عرصه مورد مطالعه به صورت تصادفی انتخاب و مورد نمونه‌برداری قرار می‌گیرد. آنگاه اگر اصول نمونه‌برداری، یعنی تصادفی و مستقل بودن نمونه‌ها رعایت شده باشد، می‌توان نتایج حاصل از نمونه‌برداری را به سطح مورد مطالعه تعمیم داد. اما آنچه که قبل از شروع نمونه‌برداری مهم است و باید دقیقاً تعیین شود، فاصله مناسب نمونه‌برداری یا به عبارت دیگر فاصله دو نمونه از یکدیگر است. در روش‌های آمار کلاسیک این فاصله براساس تجربه یا دستورالعمل‌های موجود تعیین می‌شود، اما در روش زمین‌آمار که شاخه‌ای از روش‌های آمار مکانی است (که با داده‌های دارای مختصات مکانی سروکار دارد)، این فاصله براساس واریانس محیط نمونه‌برداری و با استفاده از تحلیل واریوگرام (تغییرنما) که این واریانس را به تصویر می‌کشد بررسی می‌شود. سپس براساس فاصله‌ای که در آن مدل برازش شده به واریوگرام متغیر مورد نظر به مقدار ثابت خود می‌رسد که به دامنه تأثیر^۱ معروف است، فاصله مناسب نمونه‌برداری تعیین می‌شود (شکل ۱).

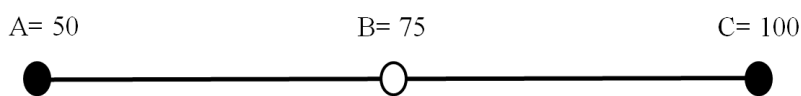


شکل ۱- یک واریوگرام (تغییرنما) به همراه مؤلفه‌های آن

(a): دامنه تأثیر، C: سقف واریوگرام، C_0 : اثر قطعه‌ای، C_1 : ساختار مکانی، d: فاصله و $\gamma(d)$: مقدار واریوگرام

پس از اتمام نمونه‌برداری از متغیر موردنظر در عرصه مورد مطالعه آنچه که اهمیت دارد برآورد دقیق آن متغیر (مانند مشخصات خاک، پوشش گیاهی، موجودی حجمی یا تراکم جنگل) و همچنین تهیه و تولید یک نقشه پهنه‌بندی پیوسته از آن در کل عرصه مورد مطالعه است که نحوه پراکنش و توزیع مکانی مقادیر آن متغیر را در سطح عرصه مورد مطالعه نشان دهد. در این صورت می‌توان از چنین نقشه‌های پهنه‌بندی که به صورت رقومی هم تهیه می‌شوند در جهت مدیریت و برنامه‌ریزی در عرصه‌های تحت مدیریت بهره برد.

یک روش ساده به‌منظور برآورد ارزش متغیر موردنظر در نقاط نمونه‌برداری نشده، میانگین‌گیری حسابی است. به‌عنوان مثال، اگر فاصله دو نقطه نمونه‌برداری شده A و C، ۲۰۰ متر باشد و ارزش متغیر موردنظر در نقطه A، ۵۰ و در نقطه C، ۱۰۰ باشد؛ به‌طریق میان‌یابی حسابی ارزش نقطه B که درست در وسط دو نقطه A و C قرار گرفته است برابر ۷۵ خواهد شد (شکل ۲).



شکل ۲- میان‌یابی حسابی

^۱ Range

اما پیش‌بینی و برآورد ارزش نقاط مجهول در طبیعت همیشه به این سادگی نیست و بستگی به واریانس محیط نمونه‌برداری شده دارد. در اینجاست که استفاده از روش‌های برآورد و میان‌یابی مورد استفاده در آمار مکانی^۱ (که در منابع فارسی اغلب به اشتباه به آمار فضایی ترجمه می‌شود) می‌تواند کارگشا باشد. یکی از متداول‌ترین روش‌های درون‌یابی و پهنه‌بندی در آمار مکانی استفاده از روش کریجینگ^۲ است که در حقیقت روش درون‌یابی در تکنیک زمین‌آمار یا ژئواستاتستیک می‌باشد. علت ارجحیت روش کریجینگ زمین‌آمار در درون‌یابی و پهنه‌بندی نسبت به سایر روش‌های مکانی مانند IDW^۳ این است که برای اجرای آن ابتدا باید ساختار مکانی متغیر موردنظر با استفاده از تحلیل واریوگرام (تغییرنما: نمودار واریانس در برابر فاصله) بررسی شود.

با رسم و تحلیل واریوگرام اولاً مشخص می‌شود که واریانس متغیر مورد بررسی در عرصه مورد مطالعه چگونه است و آیا ارتباط مکانی (از نوع همبستگی فاصله‌ای) بین نمونه‌های برداشت شده از آن در عرصه مورد بررسی وجود دارد یا خیر؟ و ثانیاً اگر این ارتباط وجود دارد تا چه فاصله‌ای نافذ است که هم قابل استفاده در تعیین فاصله مناسب نمونه‌برداری بوده و هم قابل استفاده در درون‌یابی‌های کریجینگ به‌منظور تولید نقشه پهنه‌بندی است. به‌عبارت دیگر کریجینگ یک روش وزن‌دهی براساس فاصله برای نقطه نمونه‌برداری نشده (مجهول) براساس مقادیر معلوم (نمونه‌برداری شده) متغیر موردنظر در اطراف خود است، به‌صورتی که به هنگام درون‌یابی و برآورد به نمونه‌های نزدیکتر به نقطه مجهول وزن بیشتر و به نمونه‌های دورتر از آن وزن کمتری اختصاص می‌دهد؛ البته با این فرض که اصولاً نمونه‌های نزدیک به هم باید شباهت بیشتری نسبت به هم داشته باشند تا نمونه‌های دورتر از هم (نظریه متغیر ناحیه‌ای). شایان ذکر است که در سیستم وزن‌دهی کریجینگ بکارگیری نمونه‌های اطراف به‌منظور برآورد نقطه مجهول تا فاصله‌ای ادامه می‌یابد که در واریوگرام متغیر مورد بررسی به‌عنوان دامنه تأثیر تعیین شده است (شکل ۱). به‌دلیل این که اصولاً فراتر از دامنه تأثیر واریوگرام، نمونه‌های برداشت شده از متغیر موردنظر مستقل از یکدیگر بوده و دیگر خودهمبستگی مکانی ندارند، بنابراین نباید در برآورد ارزش متغیر موردنظر در نقطه مجهول دخالت داده شوند. همان طور که قبلاً هم اشاره شد، فاصله دامنه تأثیر حدوداً برابر با فاصله افقی مناسب دو نمونه به‌منظور آماربرداری در عرصه مورد مطالعه برای متغیر موردنظر نیز خواهد بود.

در نهایت روش درون‌یابی کریجینگ با سیستم وزن‌دهی دقیقی که براساس فاصله دارد و با کمک گرفتن از ساختار مکانی متغیر موردنظر که از تحلیل واریوگرام آن استخراج می‌شود، به گونه‌ای برآوردها را انجام می‌دهد که با کمترین میزان اریبی و خطا همراه باشد. در انتها پس از ارزش‌دار شدن کلیه نقاط بی‌ارزش و فاقد نمونه‌برداری به‌روش کریجینگ، نقشه پیوسته‌ای از پهنه‌بندی متغیر موردنظر تولید می‌شود (شکل‌های ۳ تا ۸) که قابلیت طبقه‌بندی و استفاده در امور مدیریتی و برنامه‌ریزی را خواهد داشت. بنابراین، زمین‌آمار شامل دو مرحله اصلی است: ۱- واریوگرافی (شامل الف: محاسبه واریوگرام و ب: مدل‌سازی واریوگرام) و ۲- کریجینگ که روش درون‌یابی تکنیک زمین‌آمار بوده و روشی وابسته به مدل است که مدل آن باید در مرحله اول تعیین شود.

دستاوردها

برای استفاده از روش زمین‌آمار به‌منظور تعیین فاصله مناسب نمونه‌برداری و تهیه و تولید نقشه پهنه‌بندی از متغیرهای مورد نظر حتماً باید به هنگام نمونه‌برداری در جنگل مختصات محل نمونه‌برداری به‌وسیله دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برداشت و ثبت شود تا بتوان ارتباط مکانی بین مقادیر نمونه‌ها را در تحلیل تغییرنما (واریوگرام) استفاده و براساس آن

^۱ Spatial statistics

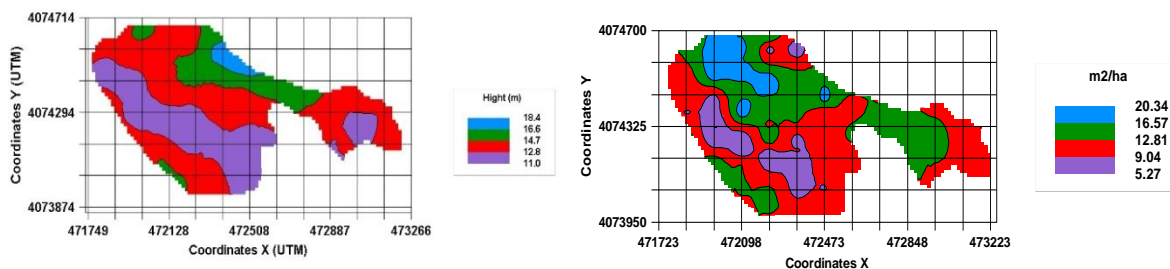
^۲ Kriging

^۳ Invers Distance Weighting

درون‌یابی‌ها را در جهت تولید نقشه پهنه‌بندی کریجینگ از متغیرها با دقت زیاد انجام داد. در ادامه نتایج چند نمونه از مطالعات انجام شده در جنگل به روش زمین‌آمار به اختصار ارائه می‌شوند:

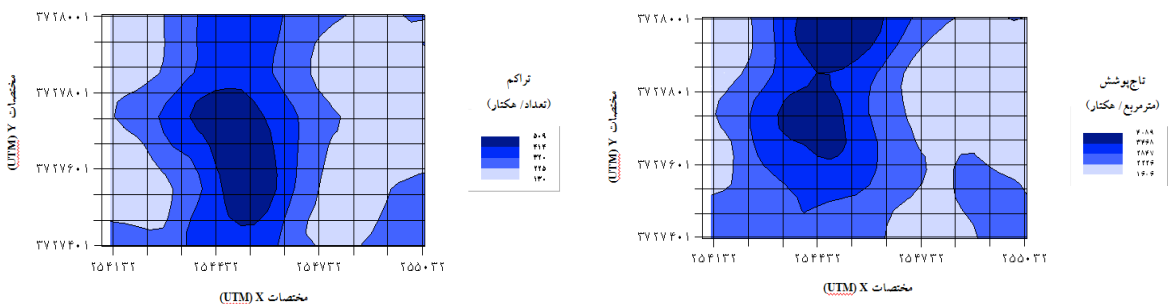
۱- در مطالعه‌ای که در یک جنگل طبیعی و ناهمسال دارای طرح جنگل‌داری در محدوده‌ای به مساحت ۵۰۲ هکتار در استان مازندران انجام شد (اخوان و همکاران، ۱۳۸۵)، نمونه‌برداری به روش خوشه‌ای براساس شبکه‌ای منظم به ابعاد ۱۵۰×۲۰۰ متر و با خوشه‌های ۵ تایی به شکل صلیب با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر و با اندازه‌گیری قطعات نمونه دایره‌ای تودرتو با مساحت‌های ۳ و ۷ آر اجرا شد. پس از انجام آماربرداری، ۷۲۱ قطعه نمونه اندازه‌گیری و واریوگرام برای متغیر موجودی حجمی جنگل محاسبه شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که به دلیل عدم وجود ساختار مکانی مناسب در واریوگرام موجودی حجمی جنگل (شکل ۹، ساختار مکانی ضعیف) نمی‌توان نقشه پهنه‌بندی به روش کریجینگ را با دقت قابل قبول برای آن ارائه کرد.

۲- در مطالعه دیگری که به همین روش در یک جنگل کاری ۱۸ ساله با گونه پلت به مساحت ۶۳ هکتار در استان مازندران انجام شد (اخوان و کلاین، ۱۳۸۸)، نمونه‌برداری با استفاده از شبکه‌ای منظم به ابعاد ۵۰×۱۲۵ متر و با اندازه‌گیری قطعات نمونه دایره‌ای ۲ آری اجرا شد. پس از انجام آماربرداری، ۹۶ قطعه نمونه اندازه‌گیری و واریوگرام‌ها برای متغیرهای رویه‌زمینی، تراکم و ارتفاع کل درختان محاسبه شدند. نتایج واریوگرافی نشان داد که از سه متغیر مورد بررسی فقط برای دو متغیر رویه‌زمینی و ارتفاع کل درختان می‌توان نقشه پهنه‌بندی به روش کریجینگ را با دقت قابل قبول ارائه کرد. همچنین فاصله مناسب برای نمونه‌برداری از این دو متغیر به ترتیب ۱۶۵ و ۳۵۰ متر به دست آمد (شکل ۳).



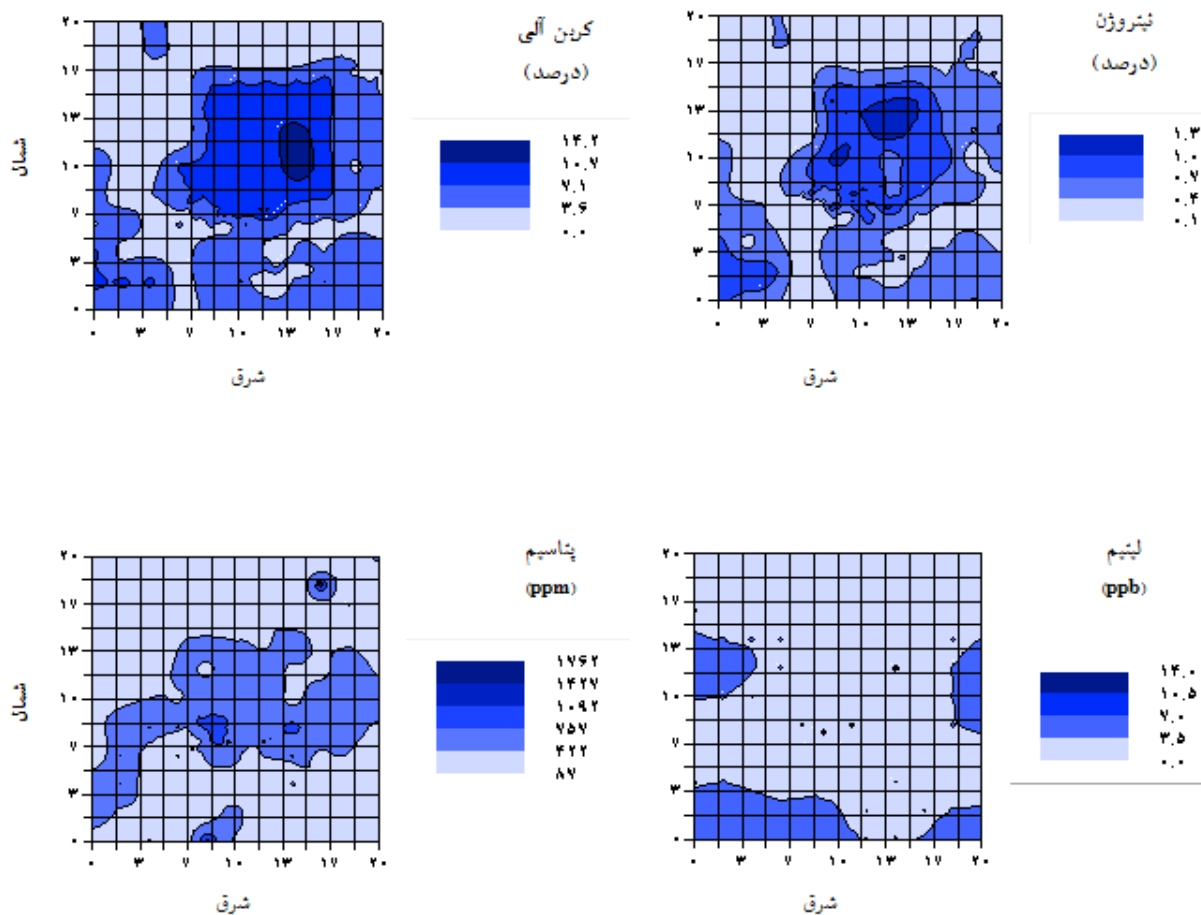
شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی رویه‌زمینی جنگل (راست) و ارتفاع کل درختان (چپ) به روش کریجینگ

۳- در مطالعه دیگری که در جنگل‌های بلوط ناحیه رویشی زاگرس در محدوده‌ای به مساحت ۵۴ هکتار در استان لرستان انجام شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰)، نمونه‌برداری با استفاده از شبکه‌ای منظم به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر و با اندازه‌گیری قطعات نمونه دایره‌ای ۱۵ آری اجرا شد. پس از انجام آماربرداری، ۵۴ قطعه نمونه اندازه‌گیری و واریوگرام‌ها برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل محاسبه شدند. نتایج واریوگرافی نشان داد که می‌توان نقشه پهنه‌بندی به روش کریجینگ را با دقت قابل قبول برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل ارائه کرد. همچنین فاصله مناسب برای نمونه‌برداری از این دو متغیر به ترتیب ۴۱۳ و ۵۲۱ متر به دست آمد (شکل ۴).



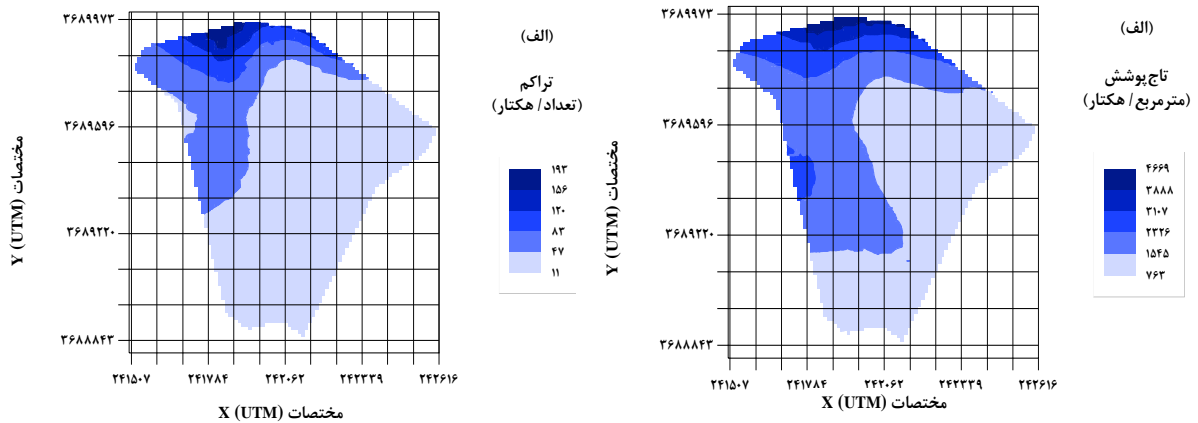
شکل ۴ - نقشه پهنه‌بندی تاج‌پوشش (راست) و تراکم جنگل (چپ) به روش کریجینگ

۴- در مطالعه دیگری که در توده‌های بته در جنگل‌های زاگرس در استان کردستان انجام شد (حسینی و اخوان، ۱۳۹۱)، وضعیت پراکنش عناصر غذایی خاک (شامل کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، لیتیم و سدیم) با نمونه‌برداری در فواصل ۲×۲ متر در زیر و خارج از تاج درختان بته با استفاده از تحلیل واریوگرام بررسی شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که می‌توان نقشه پهنه‌بندی به‌روش کریجینگ را با دقت قابل قبول برای تمامی مشخصات بررسی شده خاک ارائه کرد (شکل ۵).



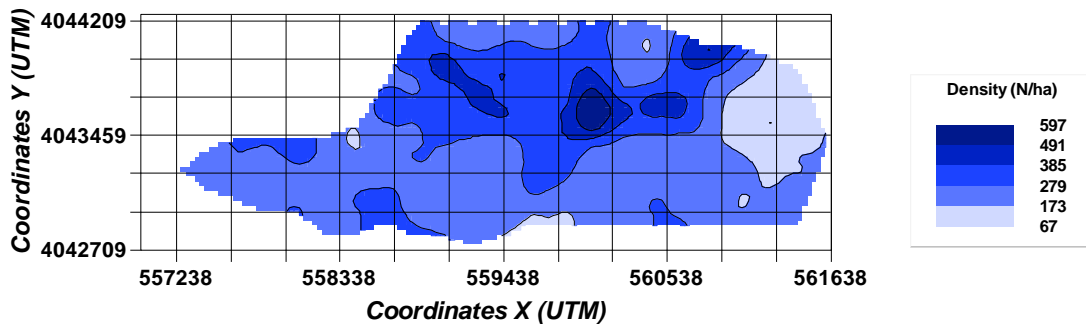
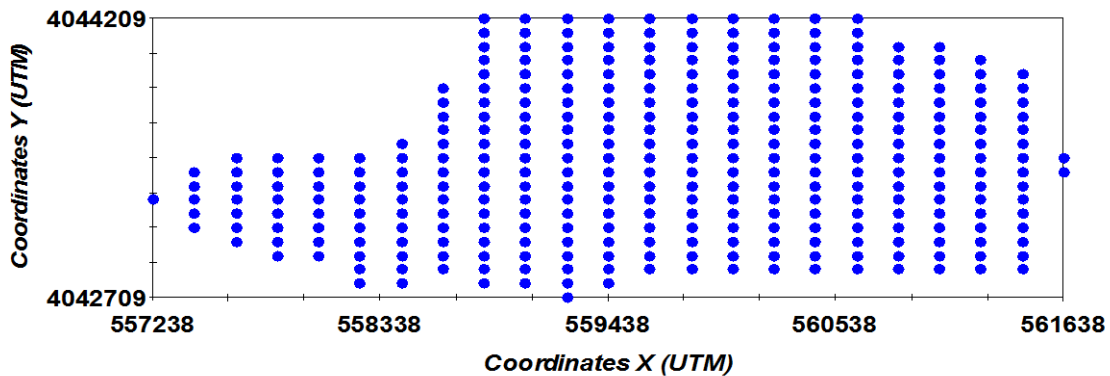
شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی مشخصات خاک به‌روش کریجینگ در اطراف یک درخت بته (مختصات درخت بته: ۱۳ شرقی و ۱۱ شمالی)

۵- در مطالعه دیگری که در جنگل‌های بلوط ناحیه رویشی زاگرس و در محدوده‌ای به مساحت ۸۰ هکتار در استان لرستان انجام شد (رضایی و اخوان، ۱۳۹۲)، نمونه‌برداری با استفاده از شبکه‌ای منظم به‌ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر و با اندازه‌گیری قطعات نمونه دایره‌ای ۲۰ آری اجرا شد. پس از انجام آماربرداری، ۸۰ قطعه نمونه اندازه‌گیری و واریوگرام‌ها برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل محاسبه شدند. نتایج واریوگرافی نشان داد که می‌توان نقشه پهنه‌بندی به‌روش کریجینگ را با دقت قابل قبول برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل ارائه کرد (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی تاج پوشش (راست) و تراکم جنگل (چپ) به روش کریجینگ

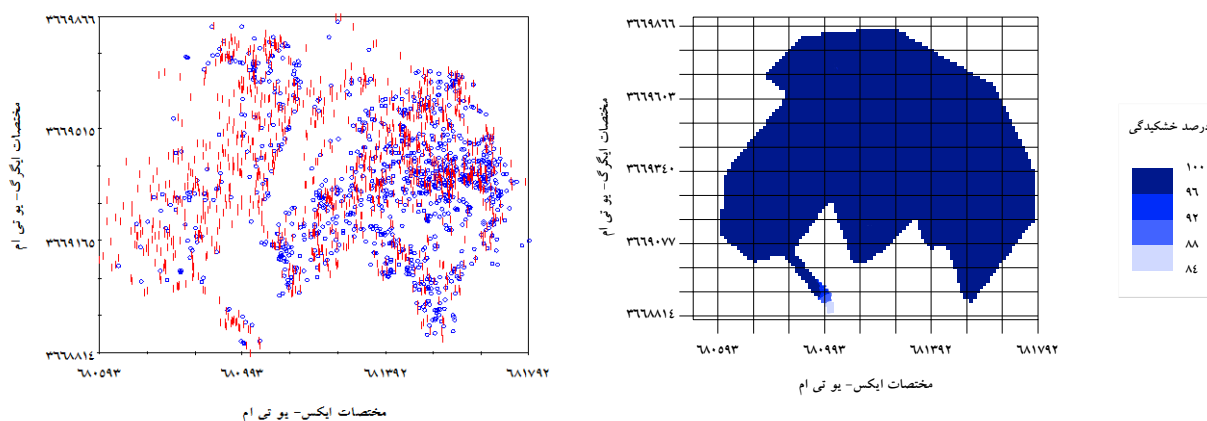
۶- در مطالعه دیگری که در یک جنگل طبیعی و ناهمسال فاقد طرح جنگل‌داری در محدوده‌ای به مساحت ۵۱۶ هکتار در استان مازندران انجام شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۳)، نمونه‌برداری با استفاده از شبکه‌ای منظم به ابعاد 75×200 متر و با اندازه‌گیری قطعات نمونه دایره‌ای ۱۰ آری اجرا شد. پس از انجام آماربرداری، ۳۰۹ قطعه نمونه اندازه‌گیری و واریوگرام‌ها برای متغیرهای رویه‌زمینی، تراکم و موجودی حجمی جنگل محاسبه شدند. نتایج واریوگرافی نشان داد که از سه متغیر مورد بررسی فقط برای متغیر تراکم (تعداد در هکتار) درختان می‌توان نقشه پهنه‌بندی به روش کریجینگ را با دقت قابل قبول ارائه کرد و فاصله مناسب برای نمونه‌برداری از این متغیر ۵۳۳ متر می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷- نقشه توزیع قطعات نمونه (بالا) و پهنه‌بندی تراکم جنگل به روش کریجینگ (پایین)

۷- در مطالعه دیگری که در جنگل‌های بلوط در ناحیه رویشی زاگرس در استان ایلام انجام شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۵)، محدوده‌ای به مساحت ۹۶ هکتار که مبتلا به خشکیدگی درختان بود انتخاب و متغیرهای قطر برابر سینه و قطر تاج کلیه درختان خشکیده به صورت صددرصد بررسی و مختصات جغرافیایی آنها ثبت شد. سپس همبستگی مکانی این متغیرها با استفاده از تحلیل واریوگرام بررسی شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که به دلیل عدم وجود ساختار مکانی مناسب در واریوگرام‌های متعلق به این متغیرها (شکل ۹، ساختار مکانی ضعیف) نمی‌توان نقشه پهنه‌بندی به روش کریجینگ را با دقت قابل قبول برای آنها ارائه کرد.

۸- در مطالعه دیگری که در جنگل‌های بلوط در ناحیه رویشی زاگرس در استان ایلام انجام شد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۷)، محدوده‌ای به مساحت ۸۳ هکتار که مبتلا به خشکیدگی درختان بود انتخاب و درصد خشکیدگی کلیه درختان خشکیده به صورت صددرصد بررسی و مختصات جغرافیایی آنها ثبت شد. سپس همبستگی مکانی این متغیرها با استفاده از تحلیل واریوگرام بررسی شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که می‌توان نقشه پهنه‌بندی به روش کریجینگ را با دقت قابل قبول برای درصد خشکیدگی درختان خشکیده ارائه کرد (شکل ۸).

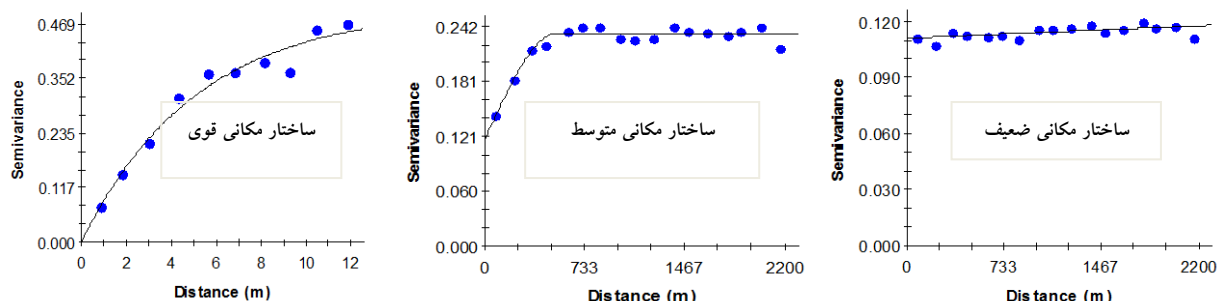


شکل ۸- نقشه پراکنش مکانی درختان خشکیده (چپ) و پهنه‌بندی درصد خشکیدگی درختان به روش کریجینگ (راست)

همان‌طور که در مثال‌های ارائه شده مشخص شد در همه شرایط و برای همه متغیرهای جنگل نمی‌توان از روش درون‌یابی کریجینگ زمین‌آمار به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی استفاده کرد. به دلیل اینکه همه متغیرها و مؤلفه‌های مربوط به جنگل دارای رفتار ناحیه‌ای نبوده و به عبارت دیگر متغیر ناحیه‌ای^۱ نیستند تا تغییرات‌شان وابسته به فاصله بوده و با افزایش فاصله اختلاف بین مقادیر آنها افزایش یابد. به دیگر سخن، همه متغیرها و مؤلفه‌های مربوط به جنگل دارای خودهمبستگی مکانی نیستند تا قابلیت استفاده در روش زمین‌آمار را داشته باشند. بنابراین ملاحظه می‌شود که فقط در مواقعی که شرایط لازم برای استفاده از روش زمین‌آمار و مزایای آن فراهم باشد می‌توان از این روش استفاده کرد؛ در غیر این صورت اصراری به استفاده از این روش برای متغیرهای غیرناحیه‌ای وجود ندارد. برای پاسخ به این که آیا متغیر موردنظر قابل استفاده در روش زمین‌آمار است یا خیر؟، ابتدا باید مرحله واریوگرافی را انجام و ساختار مکانی آن متغیر را بررسی کرد. برای محاسبه درصد ساختار مکانی یک متغیر باید مقدار CI واریوگرام آن را به مقدار C تقسیم کرده (شکل ۱) و حاصل را در عدد ۱۰۰ ضرب نمود. اگر مدل واریوگرام برای متغیر مورد بررسی دارای ساختار مکانی متوسط (۲۵ تا ۷۵ درصد) تا قوی (بیشتر از ۷۵ درصد) باشد می‌توان از آن متغیر در درون‌یابی‌های کریجینگ و تولید نقشه پهنه‌بندی با دقت مناسب استفاده کرد. اما اگر مدل

^۱ Regionalized Variable

واریوگرام برای متغیر مورد بررسی دارای ساختار مکانی ضعیف (کمتر از ۲۵ درصد) باشد (شکل ۹)، دیگر آن متغیر قابل استفاده در درون‌یابی‌های کریجینگ نخواهد بود و به‌جای روش زمین‌آمار باید از روش‌های آمار کلاسیک (غیر مکانی) استفاده شود.



شکل ۹- نمونه‌هایی از واریوگرام‌های محاسبه شده برای متغیرهای جنگل با ساختارهای مکانی ضعیف، متوسط و قوی

توصیه ترویجی

- همه متغیرهای جنگل قابلیت استفاده در درون‌یابی‌های کریجینگ به‌روش زمین‌آمار را ندارند. چون در روش زمین‌آمار تنها از متغیرهایی می‌توان استفاده کرد که در واریوگرام آنها ساختار مکانی متوسط تا قوی وجود داشته باشد (به این دسته از متغیرها، متغیرهای ناحیه‌ای گفته می‌شود). در غیر این صورت برای آن دسته از متغیرهای جنگل که واریوگرام آنها ساختار مکانی ضعیف دارد و ناحیه‌ای نیستند باید از روش‌های آمار کلاسیک (غیر مکانی) استفاده شود.
- به‌منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از متغیرهای جنگل به‌روش کریجینگ زمین‌آمار باید مختصات مراکز قطعات نمونه به‌هنگام نمونه‌برداری با دستگاه GPS ثبت شوند تا بتوان از آنها در تحلیل‌های مکانی استفاده کرد.
- برای دستیابی به دقت بیشتر در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به‌روش کریجینگ بهتر است تا نمونه‌برداری‌ها بر روی یک شبکه منظم و به‌روش منظم-تصادفی (سیستماتیک) انجام شوند.
- برای دستیابی به خروجی‌های قابل قبول از بکارگیری روش زمین‌آمار در برآوردها باید در حالت ایده‌آل اطلاعات ۵۰ نمونه را در اختیار داشت، ولی در هر حال این تعداد نباید از حداقل ۳۰ نمونه کمتر شود، در غیر این صورت نتایج بدست آمده قابل اعتماد نخواهند بود.
- برای محاسبه واریوگرام و درون‌یابی‌های کریجینگ به‌جای استفاده از نرم‌افزارهای عمومی (مانند ArcGIS) از نرم‌افزارهای تخصصی زمین‌آمار (مانند GS+) استفاده شود.
- پیشنهاد می‌شود که در صورت فراهم بودن شرایط، نقشه‌های پهنه‌بندی دقیق به‌روش کریجینگ زمین‌آمار برای متغیرهای مختلف جنگل تهیه و مدیران جنگل از آنها به‌عنوان یک نقشه راهنما برای برنامه‌ریزی و مکان‌یابی عملیات مختلف در عرصه‌های تحت مدیریت در جنگل استفاده کنند.

فهرست 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): ۳۱۸-۳۰۳.
- اخوان، ر.، زبیری، م.، زاهدی امیری، ق.، نمیرانیان، م. و ماندالاز، د. ۱۳۸۵. بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹ (۱): ۱۰۲-۸۹.
- اخوان، ر.، کرمی خرم‌آبادی، م. و سوسنی، ج. ۱۳۹۰. کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان. مجله جنگل ایران، ۳ (۴): ۳۱۶-۳۰۵.
- اخوان، ر.، کیادلیری، ه.، اعتماد، و.، حسنی، م. و میرآخورلو، خ. ۱۳۹۳. برآورد و پهنه‌بندی موجودی یک جنگل مدیریت نشده خزری به روش زمین‌آمار (بررسی موردی: بخش چلیز جنگل خیرود نوشهر). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲ (۲): ۲۰۳-۱۸۸.
- اخوان، ر.، مهدوی، ع. و کیانفر، م. ۱۳۹۷. تحلیل وضعیت خشکیدگی جنگل‌های بلوط زاگرس با استفاده از روش‌های آمار مکانی (پژوهش موردی: جنگل زرآب استان ایلام). تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۶ (۲): ۱۴۵-۱۲۹.
- اخوان، ر.، مهدوی، ع. و کرمی، ا. ۱۳۹۵. الگوی پراکنش مکانی و ساختار مکانی متغیرهای کمی درختان خشکیده بلوط ایرانی در جنگل‌های بیوره استان ایلام. مجله جنگل ایران، ۸ (۱): ۷۸-۶۷.
- حسینی، و.، اخوان، ر. و طهماسبی، م. ۱۳۹۱. تأثیر تاج درخت بنه بر نحوه پراکنش مکانی خصوصیات بیوژئوشیمیایی خاک. مجله جنگل ایران، ۴ (۱): ۲۴-۱۳.
- رضایی، ع.، اخوان، ر.، سوسنی، ج. و پوره‌اشمی، م. ۱۳۹۳. کارایی کریجینگ در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط ناحیه زاگرس (مطالعه موردی: منطقه دادآباد خرم‌آباد لرستان). نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۷ (۳): ۳۷۰-۳۵۹.