

## مطالعه الگوی مکانی عناصر مغذی قابل جذب در صنوبر کاری‌ها (*Populus deltoides*) با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار

ندا قربان‌زاده<sup>۱</sup>، علی‌اشرف سلطانی طولارود<sup>۲</sup>، حسن پوربابائی<sup>۳</sup>، علی صالحی<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۴. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

### چکیده

آگاهی از ساختار وابستگی مکانی ویژگی‌های مختلف خاک در منابع طبیعی برای دستیابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر تغییرنا برای متغیرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم کروی بود. دامنه مؤثر برای این متغیرها به ترتیب ۵۳۰/۸۰، ۷۲۰/۲۰ و ۵۲۰/۸۰ متر به دست آمد. این تحقیق به منظور تعیین عوامل کنترل‌کننده الگوی مکانی عناصر غذایی پرمصرف (NPK) از راه زمین‌آمار صورت گرفت. در این تحقیق ۱۵۰ نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و متغیرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری شد. همبستگی مکانی هر متغیر با نیم‌تغییرنا مشخص و بهترین مدل برازش داده‌شده برای هر متغیر انتخاب شد. بهترین مدل‌های برازش داده‌شده بر نیم با استفاده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپلاین یا توابع پایه شعاعی با استفاده از نرم‌افزار GS<sup>+</sup> درون‌یابی انجام گرفت و دقت نقشه پراکنش متغیرها به کمک معیارهای آماری دقت میانگین خطا و ریشه میانگین مربعات خطا محاسبه شد. نتایج نشان داد که برای متغیرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم روش کریجینگ در مقایسه با دو روش دیگر، بهترین روش درون‌یابی در تخمین متغیرها در نقاط نمونه‌برداری نشده شناخته شد، زیرا دارای بیشترین صحت و کمترین خطا بود. با استفاده از نقشه‌های تهیه‌شده در این پژوهش، می‌توان توصیه مدیریتی بر مبنای مناطق همگون جداشده روی نقشه ارائه داد و از این نتایج با توجه به تغییرات عناصر خاک، در کوتاه‌مدت برای تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک، مطالعات ارزیابی اراضی و مدیریت کارآمدتر در شمال ایران استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، روش‌های درون‌یابی، زمین‌آمار، عناصر پرمصرف.

### مقدمه

امروزه با توجه به سرعت و روند تخریب جنگل‌ها، ضرورت و اهمیت جنگلکاری بر کسی پوشیده نیست. آنچه در یک جنگلکاری به عنوان اصل مهم مطرح است، انتخاب گونه مناسب است، چراکه هر گونه درختی به عنوان موجود زنده بر

محیط تأثیر می‌گذارد و از آن تأثیر می‌پذیرد. از طرفی انتخاب گونه مناسب حائز اهمیت است، زیرا در صورت انتخاب نادرست، گونه نامناسب، خود ممکن است ابزاری کاهنده در توانبخشی و کیفیت خاک محسوب شود [۱]. در واقع جنگلکاری در طولانی‌مدت اثرهای زیادی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گذارد. در نتیجه حفظ تراکم عناصر غذایی خاک در مقدار متعادل در مناطق

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۱۳۴۴۳۳۳۵۹۹

Email: hpourbabaei@gmail.com

جنگلکاری شده به منظور رسیدن به توسعه پایدار، اصلی ضروری است [۲].

رشد مناسب کمی و کیفی و به خصوص تندرشد بودن گونه صنوبر سبب شده است که مقبولیتی بیش از گونه‌های دیگر در بین مدیران جنگل و افراد محلی داشته باشد. رشد مطلوب صنوبرها بستگی شدیدی به عناصر غذایی خاک دارد. عناصر غذایی هم باید ترکیباتی باشند که گیاهان به سهولت از آنها استفاده کنند و هم تعادل بین مقدار آنها نیز حائز اهمیت است. عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عناصر پرمصرف و ضروری‌اند. به غیر از کربن آلی خاک که به صورت پیوند کربن-کربن منبع ذخیره انرژی است، در طی فرایند تنفس توسط ریشه گیاهان و همچنین جانداران خاکزی استفاده می‌شود و به صورت گاز کربنیک به جو بازمی‌گردد. بقیه عناصر در رشد کمی و کیفی درختان مؤثرند. عناصر غذایی از طریق اتمسفر، هوادیدگی مواد مادری و تجزیه لاشبرگ‌ها وارد چرخه عناصر غذایی اکوسیستم‌های جنگلی می‌شوند. اتمسفر و هوازدگی در طولانی مدت سبب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند و در کوتاه مدت در تغذیه گیاه نقشی ندارند، اما لاشریزه تأمین کننده عناصر غذایی ضروری گیاهان در کوتاه مدت است [۳].

مشخصه‌های خاک، دارای تغییرات مکانی و زمانی از مقیاس‌های کوچک تا بزرگ است که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (فاکتورهای تشکیل دهنده خاک مانند مواد مادری) و خصوصیات غیرذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی) قرار می‌گیرد [۴]. از این رو درک بهتر تأثیر عواملی مثل مدیریت و آلودگی، مستلزم مشخص کردن و کمی سازی غیریکنواختی و تغییرپذیری مشخصه‌های خاک است. تغییرپذیری خصوصیات خاک اغلب براساس روش‌های آمار کلاسیک بیان می‌شوند که در آن فرض بر توزیع تصادفی تغییرات درون واحدهای نقشه است [۵]. شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین‌آمار قادر به ارائه مجموعه وسیعی از

تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در مکان‌های نمونه برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه برداری شده است.

تغییرنما یکی از مهم‌ترین ابزارهای زمین‌آمار برای بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک است. پارامترهای تغییرنما مشتمل بر دامنه تأثیر، سقف و اثر قطعه‌ای است. این پارامترها اهمیتی اساسی در تکنیک میان‌یابی کریجینگ دارند. تکنیک‌های درون‌یابی زمین‌آمار، کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه برداری شده را مدنظر قرار داده و تخمین را براساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهند [۶]. تکنیک‌های درون‌یابی که بتوانند مقادیر یک نقطه اندازه‌گیری شده را با دقت زیادی تخمین بزنند، تخمین‌گرهای دقیق محسوب می‌شوند. همبستگی و تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است. تحقیقات صورت گرفته با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار با هدف بررسی تغییرپذیری خصوصیات خاک و تهیه نقشه متغیرهای خاک و در نتیجه، تهیه نقشه‌های پیش‌بینی رویشگاه‌ها نشان‌دهنده پتانسیل قابل قبول این روش‌هاست. کاظمی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی کارایی روش‌های کریجینگ، نقطه‌ای وزن‌دهی معکوس فاصله و وزن‌دهی نرمال فاصله نشان دادند که روش کریجینگ نقطه‌ای از دو روش دیگر دقت بیشتری دارد [۷].

می‌توان گفت که روش مناسب برای میان‌یابی و برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن بستگی دارد و از طرفی تحقیقات صورت گرفته در مناطق مختلف، نتایج متفاوتی دارد و نمی‌توان این نتایج را به مناطق دیگر تعمیم داد. باید الگوی پراکنش مکانی متغیرهای خاک در جنگلکاری‌ها بررسی شده و روش‌های مختلف زمین‌آمار با هم مقایسه شود تا بهترین روش برای هر متغیر در آن منطقه به دست آید. از طرفی با توجه به تأثیر عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم، هدف این پژوهش بررسی تغییرات مکانی عناصر پرمصرف اولیه با استفاده از

حرارتی آن ترمیک است. همه مناطق نمونه‌برداری شده، مناطق جلگه‌ای محسوب می‌شوند. مساحت منطقه برداشت شده در حدود ۶۰ هکتار است و همه درختان صنوبر (*Populus deltoides*) مورد نظر با فاصله کاشت ۴×۴ متر در حدود ۳۷ سال قبل کاشته شده‌اند [۸].

### روش نمونه‌برداری خاک

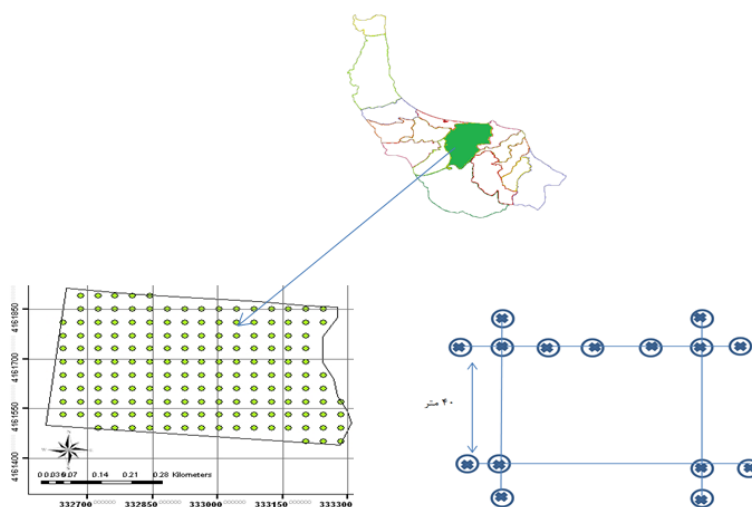
رویکرد استفاده‌شده در این پژوهش برای تحلیل الگوی مکانی، مطالعه به‌وسیله شبکه تصادفی منظم و ترانسکت است که نمونه‌ها روی آن با نظم و فاصله معین واقع می‌شوند. برای این تحقیق، نمونه‌ها ابتدا در یک شبکه منظم با نقطه شروع تصادفی (تصادفی سیستماتیک) در نظر گرفته شدند. با توجه به وسعت منطقه و تعداد نمونه لازم برای تجزیه و تحلیل زمین‌آمار در حالت بهینه (۱۰۰ نمونه) و نیز از آنجا که اصولاً زمین‌آمار بر همبستگی مکانی بین نمونه‌ها به‌ویژه در فواصل کوتاه استوار است، ابعاد شبکه آماربرداری برابر با ۴۰×۴۰ متر محاسبه و طراحی شد و سپس در بین این فواصل به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری روی ترانسکت‌ها صورت گرفت [۹]. فواصل نقاط شبکه از همدیگر ۴۰×۴۰ متر برای ۱۲۰ نقطه در نظر گرفته شد و ۳۰ نقطه دیگر روی ترانسکت‌هایی با فواصل متفاوت ۳، ۶، ۱۲ و ۲۵ متر از یکدیگر واقع شدند. در کل ۱۵۰ نمونه خاک جمع‌آوری شد (شکل ۱).

روش‌های درون‌یابی کریجینگ، وزن‌دهی عکس فاصله و اسپلاین است تا بتوان به الگوی صحیح میان‌یابی دست یافت و از آن الگو برای تهیه نقشه این عناصر با هدف مدیریت بهتر تولید محصولات در کوتاه‌مدت استفاده کرد. علت انتخاب این متغیرها اهمیت آنها در مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه درخت و گیاه است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه تحقیق

منطقه جنگلکاری پیلمبرا با وسعت ۱۳۵۹ هکتار واقع در شهرستان رضوانشهر در غرب استان گیلان، در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تالش و ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان بندر انزلی قرار گرفته است. این عرصه‌ها در حد فاصل عرض جغرافیایی "۳۰ ۳۴ ۳۷° شمالی و طول جغرافیایی "۴۹ ۴ ۵۰° شرقی و با ارتفاع متوسط ۵ تا ۵۰ متر از سطح دریا و شیب ۰ تا ۵ درصد قرار دارند و اقلیم منطقه خیلی مرطوب است. میانگین بارندگی منطقه با توجه به داده‌های هواشناسی ده سال اخیر ۱۲۴۲ میلی‌متر، میانگین دما ۱۶/۰۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی منطقه ۸۳/۵ درصد است. همچنین رژیم رطوبتی خاک‌های بررسی‌شده برپایه گزارش مؤسسه پژوهش‌های خاک و آب یودیک و رژیم



شکل ۱. نحوه آرایش قطعات نمونه در منطقه نمونه‌برداری شده

## روش‌های آزمایش‌های شیمیایی خاک

نمونه‌های خاک در دمای آزمایشگاه هواخشک شده و سپس کوبیده شدند و پس از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری برای تجزیه‌های شیمیایی نگهداری شدند. در آزمایشگاه نیتروژن به روش کج‌لدال (هضم و تیتراسیون بعد از تقطیر)، فسفر قابل جذب به روش اولسون و پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد [۱۰].

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

## آمار توصیفی

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. شاخص‌های آماری میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات و چولگی برای هر متغیر تعیین شد. همه تجزیه و تحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS 22 انجام گرفت.

## آمار مکانی

تحلیل ساختار مکانی با استفاده از واریوگرام انجام گرفت. برای محاسبه و ترسیم تغییرنا از نرم‌افزار GS<sup>+</sup>, version 10 و برای ترسیم نقشه‌های خروجی از نرم‌افزار ARC GIS استفاده شد. از آنجا که نمونه‌برداری براساس شبکه تصادفی سیستماتیک و ترانسکت انجام گرفته بود و تعداد نمونه‌ها کافی بود، در هر طول گام تعداد جفت نمونه کافی قرار می‌گرفت و در نتیجه به تعریف دامنه نوسان (Tolerance) برای طول گام و جهت واریوگرام‌ها نیازی نبود. واریوگرام‌های محاسبه‌شده از لحاظ ناهمسانگردی با ترسیم واریوگرام رویه‌ای (Surface Variogram) و واریوگرام همه‌جهته (Omnidirectional Vriogram) نیز بررسی شدند [۱۱].

## روش‌های درون‌یابی

به منظور برآورد مقادیر متغیرهای خاک در نقاط نمونه‌برداری نشده از روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله،

اسپلاین و کریجینگ استفاده شد [۱۱].

## ۱- وزن‌دهی عکس فاصله یا فاصله معکوس (IDW)

## Inverse Distance Weighting

در این روش فرض بر این است که نسبت همبستگی‌ها و شباهت‌ها بین همسایه‌ها متناسب است با فاصله بین آنها که آن را می‌توان به صورت تابع عکس فاصله هر نقطه از نقاط همسایگی‌اش تعریف کرد.

## ۲- اسپلاین، توابع شعاع‌محور یا توابع پایه شعاعی

## Radial Basis Function (RBF)

این روش می‌تواند روی داده‌هایی که به طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال شود و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار روی داده‌ها انجام دهد.

## ۳- کریجینگ معمولی، Ordinary Kriging (OK)

تخمین‌های کریجینگ به عنوان مجموع وزن‌دار شده غلطت نمونه‌های مجاور محاسبه می‌شود. کریجینگ یک میانگین متحرک وزن‌دار است و به این صورت تعریف می‌شود (رابطه ۱):

$$\hat{z}(x) = \sum_{i=1}^n z(x_i) \quad (1)$$

با استفاده از آماره‌های دقت میانگین خطا (ME) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، مقایسه ترجیحی روش درون‌یابی صورت گرفت. ریشه میانگین مربعات خطا نیز هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر است.

## نتایج و بحث

## توصیف آماری داده‌ها

نیتروژن با توجه به هیستوگرام داده‌ها نرمال نبود و دارای چولگی بود که با گرفتن لگایتیم از داده‌ها نرمال شد. برخی از خصوصیات آماری درباره جامعه آماری نرمال‌شده در (جدول ۱) آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان

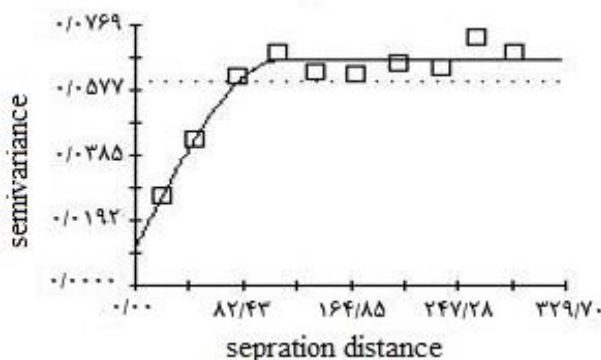
## نیترژن کل

برای بررسی وجود یا نبود وابستگی مکانی نیترژن کل پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما، بر پایه آماره مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) و ضریب تبیین ( $R^2$ )، مدل کروی، مناسب‌ترین مدل برگزیده شد (شکل ۲). پارامترهای این مدل در جدول ۲ آمده است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای نیترژن ۱۵/۱۵ درصد به دست آمد. این نسبت برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها بررسی می‌شود. در این برازش مقدار اثر قطعه‌ای برای نیترژن کل ۰/۰۱۰ به دست آمد. در حالت مطلوب باید مقدار اثر قطعه‌ای صفر باشد، اما در واقعیت نیم‌تغییرنماهای تجربی مقادیر بیشتر از صفر را نشان می‌دهند که دلیل آن، ظهور جزء تصادفی متغیر است. اثر قطعه‌ای به علت تغییرات در فواصل نمونه‌برداری یا خطای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بروز می‌کند [۱۴].

می‌دهد، مقدار نیترژن کل از مقدار ۰/۸۰-۱/۰۷ درصد، مقدار پتاسیم قابل جذب از ۱۴۷/۶۰ تا ۲۳۹/۲۰ میلی‌گرم کیلوگرم در نوسان است. ضریب تغییرات فسفر و پتاسیم بیش از ۳۵ درصد است. در طبقه‌بندی وایلدینگ (۱۹۸۵)، متغیرهای خاکی که دارای ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵ درصد باشند، در گروه متغیرهای با تغییرپذیری زیاد قرار می‌گیرند [۱۲]. شارما و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که تغییرات در توزیع عناصر کم‌مصرف به فاکتورهای خاکی بستگی دارد [۱۳]. شایان ذکر است که هدف این تحقیق، بررسی همبستگی مکانی این متغیرها در فاصله نمونه‌برداری انجام گرفته و مقایسه روش‌های درون‌یابی در تهیه نقشه پراکنش آنها بوده است، از این رو کمبود و فزونی این متغیرها برای نیاز گیاه در بحث این تحقیق نیست و به آن پرداخته نمی‌شود.

جدول ۱. نتایج آنالیز آماری پارامترهای تحت بررسی (نرمال شده)

شاخص	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	چولگی	کشیدگی
نیترژن (%)	۰/۸۰	۱/۰۷	۰/۱۲	۳۰/۷۶	-۱/۵۶	-۰/۸۶
لوگ نرمال نیترژن	۰/۲	۰/۴۷	۰/۱۷	۲۰/۲۳	۱/۰۰	۰/۷۶
فسفر (mg/kg)	۲/۳۸	۶/۹۶	۲/۹۷	۳۳/۰۸	-۰/۵۸	-۰/۳۸
پتاسیم (mg/kg)	۱۴۷/۶۰	۲۳۹/۲۰	۹۶/۵۵	۲۹/۱۵	-۰/۹۸	-۰/۳۸



شکل ۲. واریوگرام تجربی به همراه مدل نظری برازش داده شده برای عنصر نیترژن

جدول ۲. پارامترهای نیم‌تغییرنمای متغیرهای تحت بررسی

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (متر)	اثر قطعه‌ای / حد آستانه (%)	کلاس همبستگی
نیترژن (%)	کروی	۰/۰۱۰	۰/۰۶۶	۵۳۰/۸۰	۱۵/۱۵	قوی
فسفر (mg/kg)	کروی	۰/۱۵۶	۱/۰۵	۷۱۰/۲۰	۱۷/۵۰	قوی
پتاسیم (mg/kg)	کروی	۶۷/۰۰	۴۲۰/۲۰	۵۲۰/۳۰	۱۵/۹۴	قوی

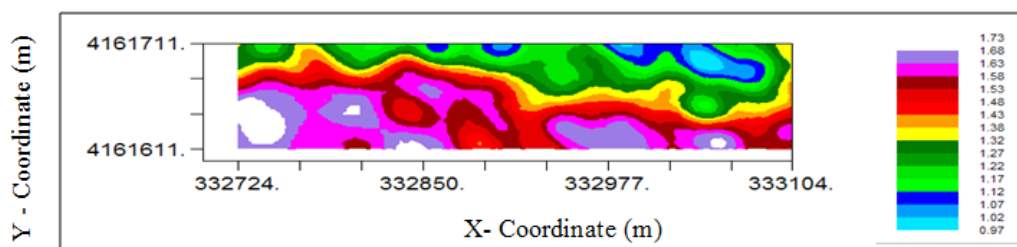
دارا بودن حداقل خطا انتخاب شد. به نظر می‌رسد که روش مناسب زمین‌آماری در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای مؤثر بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به مناطق دیگر تعمیم داد [۱۵]. نقشه پهنه‌بندی نیتروژن کل در کلاس‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به ساده بودن محاسبات و کم‌هزینه بودن تخمین نیتروژن خاک با روش کریجینگ، از این نقشه می‌توان در مدیریت جنگل و تولید محصولات بیشتر استفاده کرد.

در بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ دارای کمترین خطا و بیشترین صحت بود. و مدل تابع چندربعی معکوس در روش تابع پایه شعاعی در رتبه بعدی قرار گرفت. از بین ۹ مدل استفاده‌شده در این تحقیق، روش وزندهی فاصله معکوس، بیشترین خطا و کمترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش تشخیص داده شد (جدول ۳).

در پژوهش ایوبی و همکاران (۱۳۸۶)، روش کریجینگ-رگرسیون برای پهنه‌بندی نیتروژن کل به دلیل

جدول ۳. نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تخمین نیتروژن کل خاک

روش	مدل	ME	RMSE
کریجینگ (OK)	کروی	۰/۱۸۶	۰/۲۳۲
	نمایی	۰/۱۸۶	۰/۲۳۳
	گوسی	۰/۱۸۸	۰/۲۳۵
توابع پایه شعاعی (RBF)	چندربعی	۰/۱۹۰	۰/۲۵۵
	چندربعی معکوس	۰/۱۸۹	۰/۲۳۵
	نواری کم‌ضخامت	۰/۲۱۱	۰/۳۰۱
وزندهی فاصله معکوس (IDW)	توان ۱	۰/۱۹۰	۰/۲۳۴
	توان ۲	۰/۱۹۳	۰/۲۳۸
	توان ۳	۰/۱۹۸	۰/۲۳۶



شکل ۳. نقشه برآورد کریجینگ برای عنصر نیتروژن

وجود ندارد و نیم‌تغییرنما به مقدار ثابتی می‌رسد. پس از عبور از دامنه تأثیر هیچ گونه ارتباط مکانی بین نمونه‌ها وجود ندارد و نمونه‌ها مستقل از یکدیگرند. از عوامل مؤثر بر تغییرپذیری دامنه تأثیر می‌توان به عملیات زراعی از جمله عوامل مدیریتی و چرای دام نام برد که بر پراکنش تحرک یون‌ها مؤثرند و موجب توزیع متفاوت عناصر غذایی می‌شوند [۱۶]. جدول ۲ نشان می‌دهد که این مدل با نسبت اثر قطعه‌ای به سقف از ساختار مکانی متوسطی

### فسفر قابل جذب

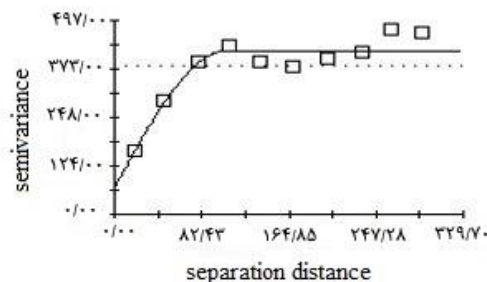
در این پژوهش برای برآزش نیم‌تغییرنمای فسفر قابل جذب از مدل کروی استفاده شد (شکل ۴). دلیل این انتخاب داشتن RMSE کمتر از مدل‌های دیگر بود. در این برآزش دامنه تأثیر ۷۱۰/۲۰ متر به دست آمد. به‌طور معمول عناصری مانند فسفر که در خاک تحرک کمتری دارند، دامنه تأثیر بزرگ‌تری دارند. دامنه تأثیر بیانگر بیشترین فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی دیگر

شعاعی با استفاده از مدل نواری کم‌ضخامت با داشتن بیشترین خطا، نامناسب‌ترین الگو شناخته شد.

مقدار کود فسفر برای هر محصول به نوع خاک، مقدار فسفر قابل جذب خاک، سابقه مصرف کودهای فسفوری، شرایط اقلیمی منطقه، عملکرد مورد انتظار و مقادیر دیگر عناصر غذایی خاک بستگی دارد. تغییرات مکانی فسفر قابل جذب را می‌توان به بارندگی بیشتر، pH کمتر و وجود یون‌های آهن و آلومینیوم ربط داد (داده‌ها نشان داده نشده است، البته نوع مواد مادری نیز ممکن است تأثیرگذار باشد) [۱۸]. نقشه پهنه‌بندی فسفر قابل جذب در کلاس‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.

برخوردار است. جلالی و همکاران (۱۳۹۲) روش‌های مختلف زمین‌آمار را در تهیه نقشه پراکنش مکانی برخی عناصر غذایی در شرق استان مازندران بررسی کردند. در بررسی آنها برای تغییرات مکانی فسفر مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد [۱۷].

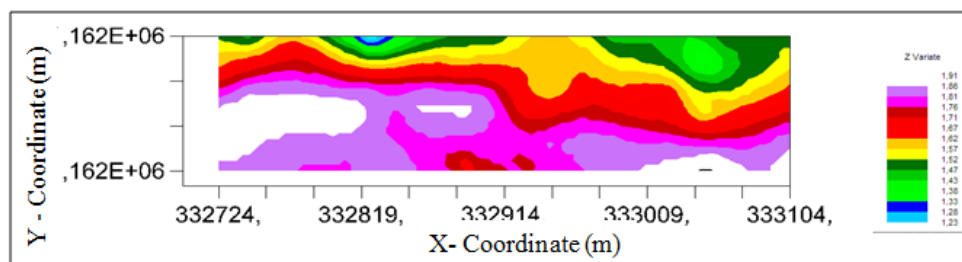
نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین‌آمار، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین فسفر قابل استفاده در صنوبر کاری‌های منطقه پیلمبرا ارائه می‌دهد. از بین مدل‌های مختلف کریجینگ، مدل نمایی مناسب‌ترین مدل بود که کمترین خطا و انحراف و بیشترین صحت را داشت، (جدول ۴). همچنین روش توابع پایه



شکل ۴. واریوگرام تجربی به‌همراه مدل نظری برازش داده‌شده برای عنصر فسفر قابل جذب

جدول ۴. نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تخمین فسفر قابل جذب

روش	مدل	ME	RMSE
کریجینگ	کروی	۸/۲۳	۱۲/۱۲
	نمایی	۸/۵۶	۱۲/۱۶۰
	گوسی	۹/۵	۱۱/۳۲۶
توابع پایه شعاعی	چندریعی	۹/۱	۱۲/۱۹
	چندریعی معکوس	۸/۸۸	۱۲/۵۶
	نواری کم‌ضخامت	۹/۶	۱۳/۱۳
وزن‌دهی فاصله معکوس	توان ۱	۸/۲۰	۱۹/۱۵
	توان ۲	۸/۹۸	۱۴/۲۳
	توان ۳	۸/۶۲	۱۸/۱۲

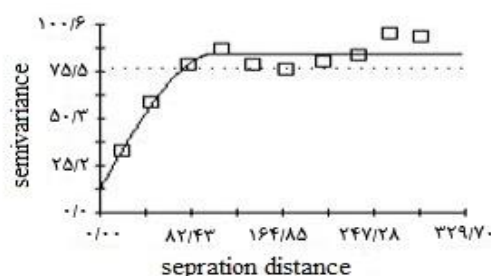


شکل ۵. نقشه برآورد کریجینگ برای عنصر فسفر قابل جذب

## پتاسیم قابل جذب

برای بررسی وجود یا نبود وابستگی مکانی عنصر پتاسیم قابل جذب، پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما، مدل کروی، مناسب‌ترین مدل انتخاب شد (شکل ۶). پارامترهای مدل نیم‌تغییرنما در جدول ۲ آمده است. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف نشان‌دهنده ساختار مکانی قوی و قابل قبول برای پتاسیم در منطقه تحقیق است. اگر نیم‌تغییرنما دارای مقدار ثابت (سقف معین) و در نتیجه دامنه تأثیر مشخصی باشد، ساختار مکانی ممکن است وجود داشته باشد. در این تحقیق، پتاسیم در دامنه ۵۲۰ متر به مقدار ثابت سقف یعنی ۲/۰۶ رسید. نیم‌تغییرنماهایی که به نزدیک شدن به مقدار ثابتی

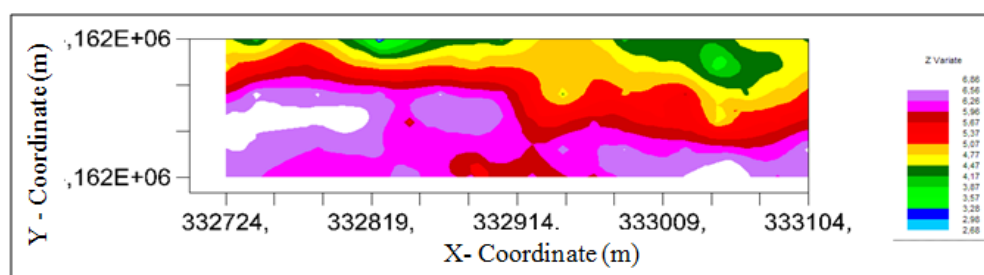
تمایل نداشته باشند و با افزایش فاصله در محدوده نمونه‌برداری همواره افزایش یابند، برای تخمین مناسب نیستند [۶]. در برازش مدل نیم‌تغییرنما، اثر قطعه‌ای برای پتاسیم قابل جذب 6۷ به دست آمد که این مقدار، به‌طور معمول ناشی از خطای نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تجزیه نمونه‌هاست. نتایج نشان داد که روش کریجینگ با سه مدل مختلف، برآورد بهتری از مقدار پتاسیم قابل جذب در مناطق بدون نمونه‌برداری ارائه می‌دهد. نامناسب‌ترین برآوردها با روش وزن‌دهی فاصله معکوس به دست آمد (جدول ۵). نقشه پهنه‌بندی پتاسیم قابل جذب در کلاس‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶. واریوگرام تجربی به همراه مدل نظری برازش داده‌شده برای پتاسیم قابل جذب

جدول ۵. نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماري در تخمین عنصر پتاسیم قابل جذب

روش	مدل	RE	RMSE
کریجینگ	کروی	۶/۵۵	۸/۱۹
	نمایی	۶/۶۰	۸/۲۶
	گوسی	۷/۰۵	۸/۹۶
توابع پایه شعاعی	چندربعی	۶/۶۹	۹/۶۲
	چندربعی معکوس	۷/۱۸	۱۱/۱
	نواری کم‌ضخامت	۸/۸۹	۱۰/۱۲
وزن‌دهی فاصله معکوس	توان ۱	۶/۷۲	۸/۵۹
	توان ۲	۶/۷۶	۸/۶۲
	توان ۳	۷/۰۷	۹/۰۲



شکل ۷. نقشه برآورد کریجینگ برای عنصر پتاسیم قابل جذب



## نتیجه‌گیری

نتوانست تخمین بهتری بدهد و به نظر می‌رسد در مورد متغیرهای خاک نتایج خوبی نمی‌دهد. با استفاده از نقشه‌های تهیه‌شده در این پژوهش، می‌توان توصیه‌ی مدیریتی بر مبنای مناطق همگون جدا شده روی نقشه انجام داد و از این نتایج با توجه به تغییرات عناصر خاک، در کوتاه‌مدت می‌توان برای تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک، مطالعات ارزیابی اراضی و مدیریت کارآمدتر در شمال ایران استفاده کرد.

## سپاسگزاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور بابت تقبل همه هزینه‌های این تحقیق و نیز مساعدت‌های بی‌دریغشان در یکایک مراحل کار، صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

در این بررسی، روش کریجینگ بهترین تخمین‌گر برای عناصر پرمصرف اولیه (NPK) در صنوبر کاری‌های منطقه پیلمبرا در شمال ایران شناخته شد. در بین ۹ روش مدل میان‌یابی، روش وزن‌دهی فاصله معکوس نامناسب‌ترین تخمین را برای میان‌یابی این عناصر نشان داد. فاصله نمونه‌برداری انتخاب‌شده در تحقیق حاضر به خوبی ساختار مکانی را نشان داد، اما بهتر است برای پژوهش‌های دقیق‌تر از فاصله نمونه‌برداری کمتر استفاده شود تا دقت نقشه‌های تخمین افزایش یابد. به نظر می‌رسد که اگر فاصله نمونه‌برداری درست انتخاب شود و تعداد نمونه کافی باشد، روش کریجینگ در مورد متغیرهای خاک روش مناسب‌تری است. همچنین روش اسپلاین در مقایسه با دو روش دیگر

## References

- [1]. Neirck, J. (2017). Impact of *Tillia pluthllos Scop*, *Fraxinus excelsor L.*, *Acer Pseudoplatanus L.*, on earthworm biomass and physico-chemical properties of loamy top soil. *Forest Ecology and Management*, 133:275-286.
- [2]. Mayani, N., and Payam, H. (2013). Afforestation effects with conifer and hardwood species on some physical and chemical soil characteristics. *Journal of Social Sciences*, 3: 467-471.
- [3]. Sariyildiz, T. (2018). Litter decomposition of *Picea orientalis*, *Pinus sylvestris* and *Castanea sativa* trees grown in Artvin in relation to their initial litter quality variable. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27: 27-243.
- [4]. Quine, T. A., and Zhang, Y. (2002). An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties, and crop production within an agricultural field in Devon, United Kingdom. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(1): 55-65.
- [5]. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. (2015). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science American Journal*, 58:1501- 1511.
- [6]. Khosravi, Y., and Abasi, A. (2016). *Spatial Analysis of Environmental Data with Geostatistics*. Azar Press, Zanjan.
- [7]. Kazemi Posht Mosavi, H., Tahmasbi, Z., Kamkar, B., Sshataei, Sh., and Sadeghi, S. (2012). Evaluation of geostatistical methods for estimation and zoning of primary nutrients in some agricultural lands of Golestan province. *Water and Soil Science*, 22 (1): 201- 218.
- [8]. Salehi, A., Matinizadeh, M., and Tamjidi, J. (2012). Investigation on effect of forest plantation of *Alnus glutinosa L.* (Gaertn.) and *Pinus taeda L.* on soil microbial activity and biomass. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20: 334-345.
- [9]. Golami, S.H., Sayad, E., Gebbers, R., Schirrmann, M., Joschko, M., and Timmerd, J. (2016). Spatial analysis of riparian forest soil macrofauna and its relation to abiotic soil properties, *Pedobiologia*, 59: 27 – 36.
- [10]. Ali Asgarzad, N. (2010). *Laboratory Methods on Soil Biology*. Homa Press, Tehran.
- [11]. Mohamadi, J. (2006). *Geostatistic*. Pelk Press, Tehran.

- [12]. Wilding, L.P. (1985). Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil survey. Pp. 166-194. In: Nielsen DR, and Bouma J (Eds.). *Soil Spatial Variability*, Wagenigen, the Netherlands.
- [13]. Sharma, B.D., Aggarwal, V.K., Mukhopadhyay, S.S., and Arora, H. (2002). Micronutrient distribution and their association with soil properties in Entisol of Punjab. *Indian Journal of Agricultural Science*, 72(6), 334-340.
- [14]. Hasani Pak, A. (2006). *Geostatistic*. University of Tehran Press, Tehran.
- [15]. Ayubi, Sh.A., Zamani, S., and Khormali, F. (2007). Estimation of total nitrogen content by organic matter and Using Kriging, Co-kriging and Kriging-Regression methods in some of Lands of Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14 (4): 609- 620.
- [16]. Madani, H. (2004). *Foundations of Geostatistics*. University of Amir Kabir Press, Tehran.
- [17]. Jalali, Gh., Tehrani, M.M., Brumand, N., and Sanjri, S. (2012). Comparison of geostatistical methods in spatial distribution of some elements Food in the East of Mazandaran Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 27 (2): 195-204.
- [18]. Malakuti, M.J. (2011). *Determine the Critical Nutrient Content of Strategic Products*. Agricultural Publication. University of Tehran Press, Tehran.

## **Spatial variability of available nutrients in poplar (*Populus deltoides*) plantation using different geostatistical methods**

**N. Ghorbanzadeh**; Ph.D., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I.R. Iran

**A. A. Soltani Tularud**; Assoc. Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. Iran

**H. Pourbabaei\***; Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I.R. Iran

**A. Salehi**; Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I.R. Iran

(Received: 21 December 2019, Accepted: 09 March 2020)

### **ABSTRACT**

It is important to be aware of the spatial dependence structure of different soil properties in natural resources to achieve more production and better management. This study aimed to determine the determining factors controlling spatial variations of macronutrient (NPK) by geostatistics. In the present study, 150 surface soil samples were collected from forests of northern Iran and some variables, including nitrogen, phosphorus and potassium were measured. The half-variance was selected to determine the spatial correlation and the best fitted models on half-variance for variables of nitrogen, phosphorus and potassium were spherical. Also, the effective range for these variables was obtained, which was equal to 530/80, 720/20 and 520/80 meters, respectively. Interpolation was performed using traditional Ordinary Kriging (OK), the inverse distance weighting (IDW) and radial basis function (RBF) techniques using ARC GIS and GS+ software and the accuracy of the distribution map of these variables was calculated using mean absolute error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE). According to the results, the OK technique for the variables of nitrogen, phosphorus and potassium variables was considered as the best interpolation method for estimating the variables in areas where sampling was not performed, because it had the highest accuracy and lowest error.

**Keywords:** Geostatistics, macronutrient, interpolation methods, zoning.

---

\* Corresponding Author, Email: H\_Pourbabaei@guilan.ac.ir, Tel: +989111329541