

## مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی در برآورد برخی خصوصیات خاک سطحی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مهر سبزوار)

محسن حسینعلی‌زاده<sup>۱</sup>، \*شمس‌ا. ایوبی<sup>۲</sup> و شعبان شتایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیات علمی دانشگاه بیرجند گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۸۴/۲/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۴/۱۱/۲۴

### چکیده

برآورد دقیق خصوصیات کمی و کیفی پدیده‌های طبیعی مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد می‌باشد. بنابراین، روش‌های درون‌یابی به‌عنوان راه‌حل مناسبی در تخمین محل‌های نمونه‌برداری نشده مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های متداول تخمین داده‌های مکانی متعدد هستند و اختلاف بین روش‌های مختلف تخمین، ناچیز بنظر می‌رسد. از طرفی، تمام برنامه‌ریزی‌ها براساس همین تخمین‌ها انجام می‌گیرد و اگر تخمین ضعیف باشد، نتیجه آن طراحی و نتیجه‌گیری ضعیفی خواهد بود. انتخاب مناسب‌ترین روش تخمین که با دقت بالاتری بتواند داده‌های مکانی را برآورد نماید، موضوع اصلی این تحقیق می‌باشد. هدف از این تحقیق مقایسه برخی روش‌های تخمین شامل نزدیک‌ترین نقطه، میانگین متحرک، سطح متحرک، سطح تمایل و کریجینگ در برآورد برخی از متغیرهای خاک سطحی بوده است. پس از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری متغیرهای سنگریزه، ماسه، سیلت و موادآلی، این متغیرها به روش‌های فوق برای بخشی از حوزه آبخیز مهر درون‌یابی شدند. در این مطالعه سعی گردید این روش‌ها برای سه دسته از داده‌های با تعداد نمونه کم (۲۵)، متوسط (۴۵) و زیاد (۷۰) عدد مورد آزمون قرار گیرد. در هر دسته، ۳۰ عدد نمونه به‌صورت مجزا که نقشی در عمل درون‌یابی نداشتند، جهت بررسی صحت روش‌های درون‌یابی بکار گرفته شدند. در نهایت برای هر متغیر شاخص‌های میانگین خطا و میانگین مجذور خطا بین داده‌های واقعی و تخمین زده شده جهت صحت و دقت تخمین، استفاده گردید. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که برای داده‌های با تعداد نمونه کم، روش نزدیکترین همسایه، برای داده‌های با تعداد نمونه زیاد روش میانگین متحرک (فاصله معکوس) از اعتبار بالاتری برخوردار هستند. در مورد متغیرهای فوق با تعداد نمونه متوسط، روش سطح متحرک (افت خطی) در مقایسه با روش‌های دیگر، اعتبار تقریباً بالاتری دارد که در این مورد به تحقیق بیشتری نیاز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، میانگین متحرک، کریجینگ، حوزه آبخیز مهر

## مقدمه

تخمین نبوده و سعی در کاهش خطا ندارند (برگس و همکاران، ۱۹۸۰).

حسینی و همکاران (۱۹۹۴) روش‌های درون‌یابی را به کمک آزمون صحت تخمین<sup>۱</sup> مقایسه نموده، پارامتر متوسط قدر مطلق اختلاف<sup>۲</sup> (MAD) را جهت دقت روش‌های درون‌یابی بکار گرفتند. آنها نتیجه گرفتند که تمام روش‌های مورد استفاده بجز روش نزدیکترین همسایه کمی اریب هستند. آنها در تحقیقی دیگر نیز به مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی شامل کریجینگ معمولی و عمومی، سطح تمایل<sup>۳</sup>، میانگین متحرک<sup>۴</sup> و میانگین متحرک هم وزن شده<sup>۵</sup> جهت تخمین هدایت هیدرولیکی پرداخته و روش کریجینگ معمولی را به‌عنوان بهترین تخمین‌گر آماری معرفی کردند. لاسلت و همکاران (۱۹۸۷) به بررسی تغییرات pH به روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله پرداخته و کریجینگ را با صحت پیش‌بینی بیشتر ارائه داده‌اند. باسن و زی‌مبک (۲۰۰۳) تغییرات pH خاک را در ایالت سائوپولو برزیل به دو روش کریجینگ و معکوس فاصله مورد بررسی قرار داده و کریجینگ را به‌عنوان روشی مناسب‌تر ارائه کرده‌اند.

وان‌میرون و همکاران (۱۹۹۴) برای مشاهدات نقطه‌ای، روش درون‌یابی کریجینگ را مناسب دانسته و این روش را با اندازه‌گیری در نقاط کم و دارای تغییرات ناگهانی و زیاد، نامناسب تلقی کرده‌اند.

ملو و همکاران (۲۰۰۳) دو روش کریجینگ و معکوس مجذور فاصله را در مورد پارامترهای معادله‌های داده‌های بارندگی در ۱۱۴ سایت از ایالت سائوپولو برزیل مورد بررسی قرار داده، هر دو روش را مناسب ارائه کرده‌اند. آنها نیز ذکر کرده‌اند که روش کریجینگ در حوزه‌های آبخیز کوچک در مورد دوره بازگشت و زمان تداوم خطای کمتری را به خود اختصاص داده‌است.

به‌طور کلی، پیش‌بینی خصوصیات خاک براساس نقشه‌های خاک صورت می‌گیرد. از آنجا که خصوصیات خاک از مکانی به مکان دیگر حتی برای یک تیپ خاک در تغییر هستند (واریک و نیلسون، ۱۹۸۰)، این نقشه‌ها تغییرات مکانی متغیرهای مربوطه را نادیده گرفته و یک مقدار یکسان برای آن متغیر در طول آن تیپ خاک لحاظ می‌کنند که منجر به افزایش عدم قطعیت در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌ها می‌گردد. این عدم قطعیت نیاز مبرمی را برای تخمین و نقشه‌بندی تغییرات مکانی خصوصیات موردنظر در پی دارد. بهبود در کیفیت این تخمین‌ها اولاً به روش‌های درون‌یابی مطمئن برای به‌دست آوردن خصوصیت موردنظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده و ثانیاً کاربرد مناسب روش‌ها، با در نظر گرفتن خصوصیات اطلاعات بستگی دارد که اختلاف بین روش‌های مختلف تخمین ناچیز به‌نظر می‌رسد. اما باید توجه داشت، که تمام برنامه‌ریزی‌ها براساس همین تخمین‌ها انجام می‌گیرد و اگر تخمین ضعیف باشد، نتیجه آن طراحی و نتیجه‌گیری ضعیفی خواهد بود (مدنی، ۱۳۷۳).

این نکته قابل ذکر است که تراکم و پراکنش نمونه‌ها نیز در تکنیک درون‌یابی تأثیرگذار است به نحوی که روبرتس و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از روش معکوس فاصله و همچنین در نظر گرفتن ۱۸ استراتژی نمونه‌برداری در دو منطقه متفاوت، تراکم یک نمونه در هکتار را مناسب ذکر کرده‌اند و نائوم و تسانیس (۲۰۰۴) اهمیت برخی از ایستگاه‌های بارندگی در تخمین را نسبت به سایر ایستگاه‌های مجاور به پراکنش ایستگاه‌ها نسبت داده‌اند. تکنیک‌های درون‌یابی این تحقیق از عمومی‌ترین روش‌های درون‌یابی ذکر شده در منابع طبیعی می‌باشند که ممکن است بعلاوه از ساختار و کاربرد آنها، از کاربرد صحیحی در عمل برخوردار نباشد. تمامی این روش‌ها به استثنای کریجینگ، از نظر تخمین، اریب بوده (دارای خطای سیستماتیک بوده و واریانس تخمین آنها حداقل نمی‌باشد) و قادر به ارائه واریانس (توزیع خطا)

1- Mean Difference

2- Mean Absolute Difference

3- Trend Surface

4- Moving Average

5- Weighted Moving Average

درون‌یابی و مهم بودن تأثیر نتایج این روش‌ها در علوم مختلف منابع طبیعی، زیستی، زراعی و تکنیک‌های سنجش‌ازدور و همچنین مهم بودن تأثیر هر متغیر به‌عنوان یک پارامتر ورودی مدل، بخصوص در مدل‌های فرسایش و رسوب، هیدرولوژی و آمایش سرزمین و همچنین خسارات ناشی از رخداد آنها طی برآوردهای ناصحیح، منجر به بررسی این تحقیق بمنظور مقایسه روش‌های درون‌یابی برخی خصوصیات خاک سطحی که به‌عنوان بستر تمامی علوم محسوب می‌شود، گردید. بدین‌منظور حوزه آبخیز مهرسبزواری که دارای نرخ فرسایش، رسوب و پتانسیل سیل‌خیزی بالایی می‌باشد جهت تحقیق با تعداد نمونه متفاوت خاک جهت انتخاب روش بهینه درون‌یابی انتخاب گردید.

### مواد و روش‌ها

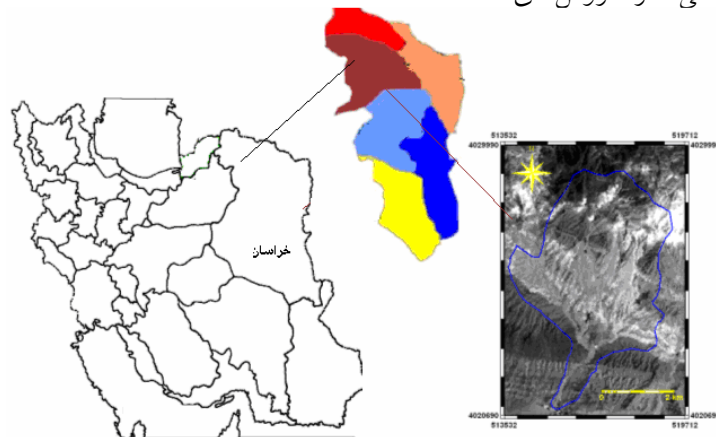
منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز مهرسبزواری در ۵۲ کیلومتری جاده شهرستان‌های سبزواری-شاهرود در استان خراسان شمالی، حد فاصل طول‌های جغرافیایی "۱۰' ۱۰" ۵۷° تا "۴۸' ۱۱" ۵۷° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۶' ۲۲" ۳۶° تا "۱۸' ۲۳" ۳۶° شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت آن حدود ۲۵/۲۹ کیلومترمربع، ارتفاع متوسط ۱۱۵۸ متر از سطح دریا و شیب متوسط منطقه ۵۶ درصد می‌باشد. بارش و دمای متوسط سالانه آن به ترتیب حدود ۲۰۹ میلی‌متر و ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

مطالعات متعدد دیگری در این زمینه صورت گرفته که روش معکوس فاصله را نسبت به کریجینگ صحیح‌تر دانسته‌اند. وبستر و انگلاند (۱۹۹۲) روش معکوس فاصله را نسبت به روش‌های دیگر از جمله کریجینگ مقایسه کرده و آن را به‌عنوان روش برتر ارائه داده‌اند.

گاتوی و همکاران (۱۹۹۶) نتایج بهتری را از روش معکوس فاصله در مقایسه با روش‌های دیگر جهت نقشه‌بندی موادآلی و نترات با توجه به معیار میانگین مجذور خطا به‌عنوان معیار مقایسه، به‌دست آورده‌اند.

نائوم و تسائیس (۲۰۰۴) ۶ روش درون‌یابی در مورد داده‌های بارندگی را در منطقه همپلتون-ونتورس کانادا به ابعاد ۸ × ۸ کیلومتر در مورد ۹ ایستگاه مورد بررسی قرار داده و روش‌های معکوس فاصله و کریجینگ را به ترتیب به‌عنوان بهترین و بدترین روش‌ها ارائه داده‌اند.

سووی و همکاران (۲۰۰۴) طی بررسی تغییرات مکانی برخی از خصوصیات خاک، با استفاده از کریجینگ در بخشی از استان شان‌دونگ کشور چین، همبستگی مکانی ضعیفی را برای متغیر موادآلی خاک ارائه کرده‌اند. نتایج همه این تحقیقات نشان می‌دهد که روش بهینه و مناسب جهت برآورد و تخمین داده‌ها بسته به متغیر می‌تواند متفاوت باشد و متغیرهای زیادی در انتخاب بهترین و بهینه‌ترین روش تخمین مؤثر هستند. ناهمگن بودن منطقه از لحاظ متغیرهای مورد مطالعه، وسعت محدوده مورد مطالعه، فواصل نمونه‌ها و وجود روند می‌تواند در انتخاب روش تخمین نیز تأثیرگذار باشد. متأسفانه به‌علت عدم‌آگاهی از روش‌های مختلف



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

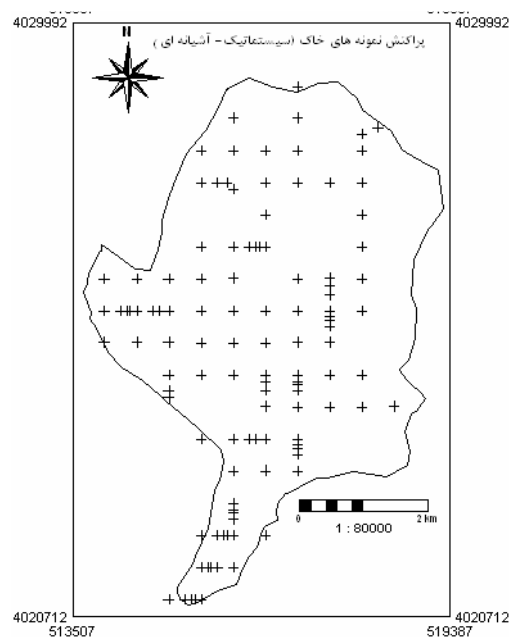
شامل پارامترهای (اثرقطعه‌ای: مقدار تغییرناما بازای فاصله صفر)، (دامنه تأثیر: محدوده مجاز نمونه‌برداری) و (سقف: تغییرات تصادفی) می‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). معادله زیر نحوه محاسبه واریوگرام را نشان می‌دهد.  
معادله (۱):

$$2\gamma(h) = 1/n \sum_{i=1}^n [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2$$

عمل کریجینگ داده‌ها به همراه روش‌های دیگر درون‌یابی در نرم‌افزار ILWIS صورت گرفت. جهت مقایسه روش‌های درون‌یابی با یکدیگر، برای تمامی متغیرهای مورد مطالعه، داده‌ها به سه دسته با تعداد کم (۲۵ عدد)، تعداد متوسط (۴۵ عدد) و تعداد زیاد (۷۰ عدد) تقسیم‌بندی گردیدند. درون‌یابی با روش‌های نزدیکترین نقطه، میانگین متحرک (فاصله معکوس و افت خطی)، سطح متحرک (فاصله معکوس و افت خطی)، سطح تمایل و کریجینگ (کریجینگ معمولی و لاگ کریجینگ معمولی) برای داده‌های فوق انجام گرفت. برای هر دسته از داده‌ها که در محدوده مورد مطالعه واقع شده و در عمل درون‌یابی شرکت داده نشده بودند، ۳۰ عدد نمونه جهت اعتبارسنجی و مقایسه روش‌ها در نظر گرفته شد.

در این تحقیق چهار متغیر موادآلی، ماسه، سیلت و سنگریزه که در فرسایش‌پذیری خاک بوسیله آب و باد مؤثر بوده، از نظر روش‌های درون‌یابی مورد بررسی قرار گرفتند. الگوی نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک آشیانه‌ای<sup>۱</sup> به نحوی طراحی گردید که تمام منطقه مورد مطالعه را پوشش دهد. الگوی پراکنش نقاط مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. بعد از تهیه نقشه نقطه-ای (۱۵ نقطه) در محیط GIS، توسط دستگاه GPS نمونه‌برداری صورت گرفته و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. تعیین موادآلی به روش اکسیداسیون‌تر (پیچ و همکاران، ۱۹۹۲)، تعیین درصد سیلت و ماسه به روش هیدرومتری (کلات، ۱۹۸۶) و تعیین درصد سنگریزه به روش حجمی انجام شد. جهت بررسی تغییرات ساختاری و انتخاب مدل بهینه واریوگرام از نرم‌افزارهای VARIOWIN (پانزاتیر، ۱۹۹۶) و GEOEAS (انگلاند، ۱۹۸۰) استفاده گردید.

تغییرناما از ابزارهای اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک بوده (مدنی، ۱۳۷۳) که



شکل ۲- وضعیت پراکنش نمونه‌های خاک در منطقه مورد مطالعه.

مقایسه روش‌ها و انتخاب روش بهینه درونیابی با توجه به شاخص‌های کمی میانگین خطا (واریک و همکاران، ۱۹۸۸؛ کروتین و اوبلد، ۱۹۸۲؛ وان‌کویلینرگ و همکاران، ۱۹۸۲؛ ولتز و وبستر، ۱۹۹۰؛ وان‌میرون، ۱۹۹۴؛ ولتز و همکاران، ۱۹۹۷) جهت برآورد اریب بودن تخمین و میانگین مجذور خطا (وان‌میرون، ۱۹۹۴؛ ولتز و همکاران، ۱۹۹۷؛ شولدر و همکاران، ۲۰۰۱) جهت صحت و بزرگنمایی تخمین، صورت گرفت. این شاخص‌ها از طریق معادلات زیر محاسبه و برآورد می‌شود:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ z(x_i) - \hat{z}(x_i) \right] \quad \text{معادله (۲)}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ z(x_i) - \hat{z}(x_i) \right]^2 \quad \text{معادله (۳)}$$

$Z(i)$ : مقدار مشاهده شده

$\hat{z}(x_i)$ : مقدار تخمین زده شده

$n$ : تعداد نمونه

### روش‌های درونیابی

**روش نزدیکترین نقطه:** این تکنیک برای تعداد نقاط مجهول نسبتاً کم کاربرد داشته و مقدار عددی نزدیکترین نقطه از نظر فاصله اقلیدسی به نقطه مورد تخمین را برای آن لحاظ می‌کند. این روش قابلیت برون‌یابی خارج از دامنه تغییرات متغیر را نداشته (فرانک، ۱۹۸۲) و در تهیه نقشه‌های کیفی (تیپ خاک، رخساره فرسایشی و...) کاربرد دارد (ایلوئیس، ۲۰۰۱).

**روش میانگین متحرک:** این روش برای تهیه نقشه از مقادیر با داده‌های کم تا متوسط توصیه نشده و به‌عنوان ابزار مناسبی برای مشخص کردن داده‌های مکانی خیلی زیاد کاربرد دارد. این روش فقط هنگامی که حداقل و حداکثر متغیر مورد نظر در محدوده مورد مطالعه موجود باشد یک ابزار سودمند واقع شده است. (ایلوئیس، ۲۰۰۱).

**روش سطح متحرک:** در این روش، تخمین با برازش دادن یک سطح به تمام نقاط با منطق وزن‌دهی فاصله‌ای (فاصله

بیشتر، وزن کمتر و بالعکس) صورت می‌گیرد. اگر در یک بخش از منطقه، نمونه‌برداری به نحوی انجام شود که حداکثر و حداقل ارزش نمونه را شامل نشود، این روش در مقایسه با میانگین متحرک توصیه می‌شود (نمونه‌برداری خاک در بخشی از تیپ خاک) (ایلوئیس، ۲۰۰۱).

فاصله نقطه تا محل مورد تخمین، در دو روش میانگین متحرک و سطح متحرک به دو صورت (معکوس فاصله و افت خطی) وزن‌هایی را به خود اختصاص داده که بعلت مقایسه آنها در این تحقیق، در زیر به شرح مختصر آنها پرداخته می‌شود:

فاصله معکوس<sup>۲</sup>  $= (1/d^n)^{-1}$

افت خطی<sup>۳</sup>  $W=1/d^n$

$d$ : فاصله نسبی نقطه تا پیکسل مورد تخمین  $d=D/D_0$

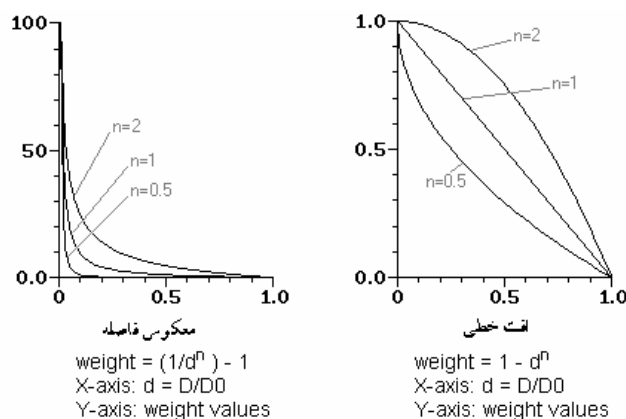
$D$ : فاصله اقلیدسی نقطه تا پیکسل مورد تخمین

$D$ : حداقل فاصله نقطه تا پیکسل مورد تخمین

$n$ : توان وزن

شکل ۳ روش کاهش مقادیر وزن‌ها را برای توان‌های مختلف نشان می‌دهد. محور طول‌ها فاصله نقطه تا پیکسل مورد تخمین و محور عرض‌ها مقادیر وزن را نشان می‌دهد.

تابع فاصله معکوس در مقادیر اندازه‌گیری شده با صحت بالا و دامنه تغییرات کم درون هر پیکسل کاربرد داشته و مقادیر محاسبه‌شده‌ای برابر مقادیر ورودی را محاسبه می‌کند. تابع افت خطی برای درونیابی نقشه‌های نقطه‌ای، هنگامی انتخاب می‌شود که کاربر بداند خطایی در اندازه‌گیری موجود بوده و نمونه‌های نزدیک به یکدیگر، مقادیر مختلفی را دارا هستند. این تابع، خطای کلی را طی تصحیح کردن اندازه‌گیری‌های اشتباه، با نقاط نزدیک کاهش داده و در نتیجه مقادیر محاسبه شده، لزوماً با مقادیر اندازه‌گیری شده انطباق نخواهند داشت (ایلوئیس، ۲۰۰۱).



شکل ۳- مقایسه روش وزن‌دهی برای توانهای مختلف.

به صورت ناریب پرداخته و بعلت در نظر گرفتن توزیع خطا نیز می‌توان مقادیر را با استفاده از حدود اطمینان مشخص، پیش‌بینی کرد. پیش‌بینی‌ها در این روش به صورت احتمالاتی بوده و علاوه بر نقشه خطای استاندارد، نقشه‌های احتمال، چارک و خود همبستگی مکانی بین داده‌ها را محاسبه می‌کند (کوین جانسون، ۲۰۰۱).

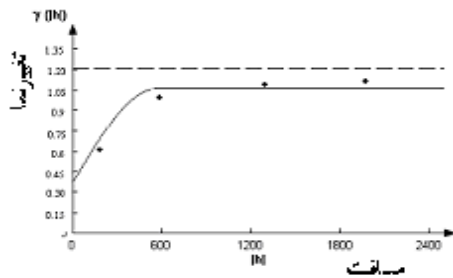
### نتایج و بحث

نتایج آماری متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به ضریب تغییرات، مواد آلی بیشترین تغییرپذیری را در منطقه به خود اختصاص می‌دهد. بعد از بررسی تغییرات ساختار مکانی متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از تغییرنا، مدل‌های بهینه آنها برآزش داده شده که به عنوان نمونه مدل‌های مواد آلی و سیلت ارائه شده است (شکل‌های ۴ و ۵).

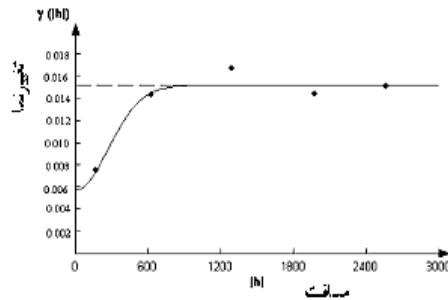
**روش سطح تمایل:** در این روش، تخمین از طریق برآزش دادن یک سطح به تمامی محل‌های نمونه صورت گرفته که می‌تواند درجه یک تا شش باشد. این روش یک ایده کلی از نحوه تغییرات متغیر را نمایان ساخته و برای نمونه‌های با تعداد کم توصیه شده است (ایلوئیس، ۲۰۰۱). **روش کریجینگ:** این روش مانند روش میانگین متحرک، مقادیر نقطه‌ای را بصورت وزن‌دار (فاصله بیشتر، وزن کمتر و بالعکس) جهت محاسبه پیکسل‌ها در نظر می‌گیرد. فاکتورهای وزن در کریجینگ با همبستگی مکانی براساس توزیع داده‌های ورودی خطای تخمین را به حداقل مقدار می‌رسانند. در این روش، خطای تخمین به‌طور فرضی از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که می‌توان محدوده‌های با خطای بالا را که به داده بیشتری نیاز است، مشخص کرده و تحت پوشش لازم قرار داد (برانت‌نی و وبستر، ۱۹۸۳). اطلاعات ورودی برای این روش از فرضیه پایایی (ثابت بودن توزیع فضایی یک متغیر ناحیه‌ای تحت هر فاصله) تبعیت کرده و داده‌ها باید نرمال باشد (کوین جانسون، ۲۰۰۱). در این تکنیک می‌توان به پیش‌بینی مقادیر

جدول ۱- توصیف آماری متغیرهای مورد مطالعه.

خصوصیات آماری متغیر	متوسط	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	دامنه تغییرات
سیلت	۴۱/۱۹	۰	۴۹	۱۸/۶	۷/۸	-۳/۱	۱۳/۱۱	۴۹
ماسه	۴۷/۷	۴۳/۵	۵۲	۳/۵	۱/۷	۰/۱۱	-۰/۲۷	۸/۵
مواد آلی	۰/۵۹	۰	۲/۷	۱۰۳/۵	۰/۵۷	۱/۷۱	۳/۳۷	۲/۷
سنگریزه	۲۷/۵۷	۰	۶۹/۲	۵۷/۷۴	۱۵/۹۲	۰/۳۲	-۰/۶۵	۶۹/۲



شکل ۵- واریوگرام همه جهته درصد موادآلی.



شکل ۴- واریوگرام همه جهته درصد سیلت.

نتایج حسینی و همکاران (۱۹۹۴) هم‌سویی دارد. این روش برای تمامی متغیرها، در مورد تعداد داده‌های زیاد (۷۵ عدد) اعتبار خود را از دست داده‌است. روش میانگین متحرک (فاصله معکوس) برای تمامی متغیرها در مورد داده‌های کم بااستثنای سنگریزه، که این روش درجه دوم اعتبار را به خود اختصاص داده‌است، فاقد اعتبار می‌باشد. برای تمامی متغیرها بااستثنای سنگریزه با افزایش تعداد داده، این تکنیک از اعتبار بالاتری برخوردار می‌شود، به-نحوی که برای متغیرهای ماسه و موادآلی در حالت تعداد داده زیاد و برای سیلت در حالت تعداد داده متوسط جایگاه اول اعتبار را به خود اختصاص می‌دهد. ارجحیت این روش نسبت به سایر روش‌ها بااستثنای سطح متحرک (فاصله معکوس) در حالت تعداد داده زیاد (۷۵ عدد) با توجه به میانگین مجذور خطا با نتایج گاتوی و همکاران (۱۹۹۶) هم‌سویی دارد. روش میانگین متحرک (افت خطی) از هیچ‌گونه ثبات و اعتباری در درون‌یابی برای هیچ‌کدام از متغیرها و موارد، برخوردار نمی‌باشد. معتبربودن روش میانگین متحرک (فاصله معکوس) در مقایسه با روش میانگین متحرک (افت خطی) در مورد تمام متغیرها و در تمام حالت‌ها بااستثنای موادآلی در حالت تعداد داده متوسط، نشان‌دهنده صحت بالای نمونه‌برداری و پایین بودن خطا می‌باشد.

با توجه به نرمال نبودن سیلت و موادآلی جهت انجام واریوگرافی این متغیرها، از لاگ کریجینگ معمولی استفاده گردید. برخی خصوصیات زمین‌آماري برای متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. کنترل اعتبار تغییرنا با استفاده از کریجینگ جک‌نایف<sup>۱</sup> صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد تمامی متغیرها از تغییرنمای سقف دار تبعیت کرده که این نمایانگر پراکنش غیر تصادفی بودن متغیرها در منطقه بوده و اهمیت زمین‌آمار را در مقایسه با آمار کلاسیک نشان می‌دهد (عدم پذیرش نمونه‌برداری تصادفی در منابع طبیعی). مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی با توجه به دو شاخص میانگین خطا و میانگین مجذور خطا برای هر متغیر و هر دسته به صورت جداگانه در جدول ۳ آورده شده است. شایان ذکر است که در این جدول اعداد ۱ تا ۷ در مقابل هر روش درون‌یابی و هر متغیر در دسته‌های مختلف، ترتیب کمترین مقدار شاخص‌های اعتبارسنجی را نشان می‌دهد، به‌نحوی که با افزایش مقدار این اعداد مقادیر شاخص‌ها افزایش پیدا کرده و روش‌های درون‌یابی از اولویت پایین‌تری در عمل برخوردار می‌باشند.

برای متغیرهای ماسه، سنگریزه و سیلت در داده‌های با تعداد کم (۲۵ عدد)، روش نزدیکترین همسایه به عنوان بهترین روش مشخص شده است. نتایج در این بخش با

جدول ۲- مدل واریوگرام به همراه پارامترها و معیارهای اعتبار سنجی مدل.

نوع کریجینگ	واریانس خطا (MSE)	میانگین خطا (ME)	دامنه تاثیر (m)	سقف	اثر قطعه‌ای	مدل	خصوصیات زمین آماری متغیر
Ln	۰/۰۲	۰/۰۰۳۱	۳۲۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	گوسی	سیلت
-	۳/۸۴	۰/۰۰۰۰۱	۷۰۰	۱/۱	۲/۴	کروی	ماسه
Ln	۰/۳۰	۰/۰۴۷۵	۳۲۰	۰/۶۲	۰/۴	کروی	مواد آلی
-	۲۵۱/۹۹	۰/۴۹۰	۱۲۰۰	۱۰۰	۱۵۵	نمایی	سنگریزه

جدول ۳- رتبه‌بندی روش‌های درون‌یابی برای متغیرهای مورد مطالعه با تعداد داده‌های متفاوت.

متغیر	روش‌های درون‌یابی						
	تعداد داده	NP	MA (ID)	MA (LD)	TS	MS (ID)	MS (LD)
ماسه	۲۵	۱	۳	۴	۶	۲	۵
	۴۵	-	۳	۴	۱	۲	۱
	۷۰	۶	۱	۴	۴	۲	۵
سنگریزه	۲۵	۱	۲	۶	۷	۳	۵
	۴۵	۱	۲	۵	۶	۳	۷
	۷۰	۳	۵	۶	۷	۲	۱
سیلت	۲۵	۱	۵	۷	۶	۲	۴
	۴۵	-	۱	۴	۵	۲	۶
	۷۰	-	۲	۴	۵	۳	۶
مواد آلی	۲۵	۲	۶	۷	۱	۵	۳
	۴۵	۲	۴	۳	۵	۵	۱
	۷۰	۴	۱	۲	۲	۱	۳

K: Kriging, Ms: Moving Surface, TS: Trend Surface, MA: Moving Average, Np: Nearest Point, LD: Linear Decrease, ID: Inverse Distance

روش کریجینگ فقط در یک مورد برای داده‌های زیاد به عنوان بهترین روش انتخاب شده و برای تعداد داده کم و متوسط، فاقد اعتبار بوده است. عدم تناسب این روش در اغلب موارد برای تمامی متغیرها با نتایج وان میرون و همکاران (۱۹۹۴) هم سویی دارد. عدم تناسب این روش برای متغیرهای ماسه و سیلت برای تعداد داده‌های متوسط با نتایج شولدز و همکاران (۲۰۰۱) هم سویی دارد. عدم کارایی این روش در مورد مواد آلی با نتایج سووی و همکاران (۲۰۰۴) تطابق دارد. ارجحیت روش میانگین متحرک (معکوس فاصله) نسبت به کریجینگ در اغلب موارد با نتایج لاست و همکاران (۱۹۹۸) و باسن و

روش سطح تمایل برای متغیرهای ماسه و مواد آلی به ترتیب در دو حالت تعداد داده متوسط و کم، جایگاه اول اعتبار درون‌یابی را به خود اختصاص داده است. این روش در بقیه موارد و متغیرها با استثنای حالت تعداد داده زیاد در مواد آلی از اعتبار درون‌یابی برخوردار نمی‌باشد. روش سطح متحرک (فاصله معکوس) بر اساس تغییر متغیر مربوطه، رتبه‌های مختلف اعتبار را به خود اختصاص داده است. روش سطح متحرک (افت خطی) برای تمام متغیرهای با تعداد داده کم فاقد اعتبار است. در حالت تعداد داده‌های متوسط و زیاد در مورد ۳ متغیر از متغیرهای مورد مطالعه به عنوان بهترین روش انتخاب شده است.



زیمبک (۲۰۰۳) در تضاد می‌باشد که ممکن است از نوع متغیر تبعیت کند.

### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق حاکی از آنست که روش نزدیکترین همسایه در مورد تمامی متغیرها و برای تعداد نمونه کم مناسب است. در زمینه استفاده در پهنه‌بندی رخساره‌های فرسایشی و موارد کیفی (کیفیت آب زیرزمینی) نیاز به تحقیق بیشتر می‌باشد. روش میانگین متحرک (معکوس فاصله) با افزایش تعداد داده‌ها بهبود یافته و توصیه می‌گردد که این روش در مواردی که تعداد داده تقریباً بیش از ۵۰ عدد بوده و محدودیت هزینه‌ای وجود دارد مورد استفاده قرار گیرد. فقط در مواردی که به تعداد نمونه بالا جهت افزایش دقت و فواصل بهینه نمونه‌برداری و محل و تعداد نمونه با در نظر گرفتن ساختار مکانی نیاز است، جهت کاهش خطا و کاهش معیارهای فوق، روش کریجینگ مورد استفاده قرار گیرد. روش کریجینگ برای تعداد نمونه کم با تغییرات مکانی زیاد نامناسب بوده و

پیشنهاد می‌گردد برای تعداد نمونه کمتر از ۱۰۰ عدد به هیچ وجه مورد استفاده واقع نشود و در صورت نیاز، جهت افزایش کارایی و دقت آن در واحدهای همگن، نمونه‌برداری به صورت جداگانه انجام گردد، به نحوی که جهت برآزش مدل واریوگرام، محدودیت نمونه در هر واحد همگن (حداقل ۱۰۰ نمونه) و محدودیت زوج نمونه در هر یک از گام‌های واریوگرام (حداقل ۲۰ زوج داده)، وجود نداشته باشد (۷). کارا بودن روش سطح متحرک (افت خطی) و سطح تمایل به ترتیب در ۲۵ درصد و ۱۷ درصد از کلیه موارد به عنوان بهترین روش تخمین، تکرار و تحقیقات بیشتری در مورد این روش‌های نمونه‌برداری به علت عدم موجود بودن منابع در این موارد را می‌طلبد.

### سیاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. بدین وسیله از مساعدت‌های کلیه مسئولین این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

### منابع

۱. حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۷۷. زمین آمار، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.
۲. مدنی، ح. ۱۳۷۳. مبانی زمین آمار، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۶۵۹ صفحه.
3. Brantney, A.B., and Webster, R. 1983. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. *Soil Sci.*, Vol. 135. pp: 177-183.
4. Bucene, L.C., and Zimback, C.R.L. 2003. Comparison of methods of interpolation and spatial analysis of pH data in Botucatu, SP. *IRRIGA*. 8(1): 21-28.
5. Burgess, T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and Isarithmic mapping of soil properties. 1- The Semi- Variogram and Punctual Kriging. *Soil Science*. 31: 315-331.
6. Candela, L., Olea, R. A., and Custodio, E. 1988. Lognormal kriging for the assessment of reliability in groundwater quality control observation networks. *J. Hydro*. 103: 67-84.
7. Creutin, J. D., and Obled, C. 1982. Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water Resources Research*. 18: 13-431.
8. England, E. 1980. *Geoas*. USEPA. 600/4-88/033.
9. Franke, R. 1982. Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods, *Mathematics of Computations*, V. 33, n. 157, p. 181-200.
10. Gotway, C.A., Ferguson, R.B., Hergert, G.W., and Peterson, T.A. 1996. Comparison of kriging and inverse distance methods for mapping soil parameters. *Soil Science Society. Am. J.* 60: 1237-1247.
11. Hosseini, E., Gallichand, J., and Marcotte, D. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for salinity analysis. *Transaction of ASAE*, Vol. 36, Pp: 1799-1807.

- 12.Hosseini, E., Gallichand, J., and Carno, J. 1994. Comparison of several interpolations for smoothing hydraulic conductivity data south west Iran. *Transaction of ASAE*, Vol.36, Pp: 1687-1693.
- 13.ILWIS 3.0 Academic, Users Guide. 2001.
14. Kevin Johnston., Jay M. Ver Hoef, Konstantin Krivoruchko and Neil Lucas. 2001. Using ArcGIS Geostatistical analyst. 1-306.
- 15.Klute, A. 1986. *Methods of soil analysis part I. Physical and mineralogical methods*. 2nd Ed. Soil Science Society American journal. 1188 pp.
- 16.Laslett, G.M., McBratney, A.B., Pahl, P.J., and Hutchinson, M.F. 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Soil Science*. 38: 325-341.
- 17.Lee-naers, H, Okx, J. P, and Burrough, P.A. 1990. Comparison of spatial prediction methods for mapping flood plain soil pollution. *Catena* 17: 535-550.
- 18.Mello, C. R, Lima, J. M., Silva, A. M., Mello, J. M., and Oliveira M. S. 2003. Kriging and inverse-square-distance for the interpolation of rainfall equation parameters. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 27(5): 933-925.
- 19.Naoum, S., and Tsanis, I. K. 2004. A hydroinformatic approach to assess interpolation techniques in high spatial and temporal resolution. *Canadian-Water-Resources-Journal*. 29(1): 23-45.
- 20.Page, A. L, Miller, R. H., and Keeney, M. 1992. *Methods of soil analysis. Part II: Chemical and mineralogical properties* 2<sup>nd</sup> Ed. Soil Science American journal. 1159 pp.
- 21.Pannatier, Y. 1996. *VARIOWIN: Software for spatial Data Analysis in 2D*, Springer-Verlag. New York, NY.
- 22.Rendu, J. M.M. 1979. Normal and lognormal estimation. *Math. Geol.* 11: 407- 422.
- 23.Roberts, E.A., Sheley, R.L, and Lawrence, R.L. 2004. Using sampling and inverse distance weighted modeling for mapping invasive plants. *Western-North-American-Naturalist*. 64(3):312-323.
- 24.Schloeder, C.A., Zimmerman, N. E., and Jacobs, M.J. 2001. Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Science Society American Journal*. 65:470-479.
- 25.Su W., YiMin, N., XiaoJie, H., and XiGang, Z. 2004. Study on spatial variability of soil nutrients in Beima town of Shandong Province by using Kriging method. *Journal-of-Anhui-Agricultural-University*. 31(1): 76-81.
- 26.Van Kuilenburg, J., De Gruigter, J.J., Marsman, B.A., and Bouma, J. 1982. Accuracy of interpolation between point data on soil moisture capacity compared with estimates from mapping units. *Geoderma* 27, 311-325.
- 27.Van Meirvenne, M., Scheldeman Baert, K.G., and G. Hofmann. 1994. Quantification of soil textural fractions of Bas Zaire using Soil map polygons and / or point observation. *Geoderma*. 62: 69-82.
- 28.Voilz, M., Webster, R. 1990. A comparison of Kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *Soil science Journal*. 41: 473-490.
- 29.Voltz, M., Lagacherie, P., and Louchart, X. 1997. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area. *European Journal of soil science*. 48, 19-30.
- 30.Warrick, A., and Nielsen, D. R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillet, D. (Ed). *Applications of soil physics*. Academic press. New York, PP. 319-324.
- 31.Warrick, A. W, Zhang, R., ElHarris, M.K., and Myers, D. E. 1988. Direct comparisons between kriging and other interpolators. In P.J. Wierenga. *Validation of flow and transport models for unsaturated zone*. Proceedings. New mexico state univ., Las Cruces. NM.
- 32.Webster, D., and Englund, E. 1992. Evaluation and comparison of spatial interpolations. *Math. Geol.* 24: 381-391.
- 33.Webster, R., and Oliver, M. A. 1992. Sampling adequately to estimate variograms of soil properties. *Soil science Journal*, 43. 177-192.

## **Comparison of various interpolation methods on evaluation some surface soil properties (Case study: Mehr watershed of Sabzevar)**

**M. Hossein Alizadeh<sup>1</sup>, S.A. Ayoubi<sup>2</sup> and Sh. Shataee<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Graduated M.Sc. Student on watershed management in Gorgan Agricultural Sciences and <sup>2</sup>Natural Resources University. Member of young researcher club of Azad University. Branch of Gorgan, <sup>3</sup>Assistant professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

---

### **Abstract**

Estimation of quality and quantity of natural phenomena is very time consuming and expensive. So interpolation methods are the suitable ways used to estimate in no sampling locations. There are a lot of common estimation methods and it sounds low differences between them. In the other hand, every planning has been done on the basis of these estimations and if estimation is weak it will cause imprecise decision making. This study conducted to compare some interpolation methods such as (Nearest point, Moving Average, Moving Surface, Trend Surface and Kriging) to estimate some properties of soil surface. After sampling and measuring variables of gravel, sand, silt and organic matter, these variables were interpolated with above interpolation methods for some part of Mehr watershed. These methods were tested for three categorizes of site sample including 25, 45 and 70. For every category 30 samples that have not entered in interpolation were used for determining of accuracy assessment of interpolation methods. Finally, for every variable error mean and mean square error indices calculated by actual and estimated data were used for estimate of accuracy and precision of prediction. The results of this research showed that Nearest Point for low sample data and Mean Average (Inverse Distance) for high sample data have more precision. For variables with medium sample, Moving Surface method (Linear Decrease) in comparison of to other methods is nearly more precious that it needs more research in this case.

**Keywords:** Interpolation; Moving Average; Kriging; Mehr watershed