

تحلیل و مدل سازی تغییرات مکانی رسوب در آبراهه فصلی با استفاده از شبیه ساز باران

مریم اکبری^۱، امیر سالاری^۲، مهدی بشیری^{۳*}

۱. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه

۲. استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و پژوهشگر پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۱/۰۳)

چکیده

بررسی تغییرات مکانی رسوب و عواملی که بر آن تأثیر می گذارد، برای کنترل آن امری ضروری است. در این پژوهش تغییرات مکانی ویژگی های تولید و غلظت رسوب طی آبراهه فصلی واقع در تیپ دشت سر فرسایشی بررسی شد. مکان یابی کرت ها در فواصل ۵۰ متری انجام و آزمایش ها در ۱۰ نقطه (با سه تکرار) اجرا شد. برای بررسی مقادیر رسوب تولیدی و غلظت آن، بارشی با شدت ۱/۴ میلی متر در دقیقه و دوام ۱۰ دقیقه توسط شبیه ساز باران ایجاد و از مجاورت هر کرت، نمونه خاک سطحی برداشت شد. پس از انجام تحلیل های آماری، با استفاده از روش کوکریجینگ، نقشه توزیع مکانی متغیرها تهیه شد. نتایج نشان داد بین غلظت رسوب ۱۰ نقطه نمونه برداری شده تفاوت معناداری وجود نداشت، اما بین مقادیر بار رسوب نقاط تفاوت معنادار مشاهده شد. نتایج برازش مدل های تجربی بر نیم تغییرناها نشان داد بهترین مدل برای ساختار مکانی غلظت رسوب، مدل گوسین و برای بار رسوب، مدل نمایی است و هر دو متغیر، ساختار مکانی خوبی دارند. نتایج اعتبارسنجی مدل ها نیز نشان داد روش کوکریجینگ نقطه ای، دقت کمی برای تخمین غلظت رسوب دارد، اما برای تخمین بار رسوبی، از دقت بیشتری برخوردار است.

کلیدواژه ها: دانه بندی، درون یابی، دشت سر فرسایشی، مدل سازی مکانی.

مقدمه

بسیاری از متغیرها و خصوصیات خاک پیوستگی مکانی دارند، شناخت کمی این تغییرات، برای اعمال مدیریت های خاص مکانی ضروری است [۱]. مطالعه تغییرات مکانی رسوب و آگاهی از چگونگی این تغییرات و عوامل مؤثر بر آن، اهمیت زیادی در برنامه ریزی های صحیح دارد. مواد بستر و کناره رودخانه کارکرد مؤثری در تغییرات مورفولوژی رودخانه ایفا می کند و رودخانه هایی با مواد بستر ریزدانه نسبت به تغییرات دبی و بار رسوبی، حساسیت بیشتری از خود نشان می دهند. تغییر در اندازه مواد بستر و ویژگی های شکلی آنها، در جهت پایین دست رودخانه، اطلاعات مهمی برای علوم مرتبط با حوضه آبخیز فراهم می کند [۲]. تصور یکنواختی تغییرات رسوب زدایی در یک منطقه موجب می شود مدیریتی یکسان برای مهار آن در کل منطقه به کار گرفته شود و این سبک مدیریتی، می تواند به نوبه خود افزایش هزینه ها را در پی داشته باشد. از این رو، بررسی تغییرات مکانی رسوب تولیدی و عواملی که بر آن تأثیر می گذارد، به منظور ارائه راهکاری برای کاهش آن بسیار مهم است. در اجرای اقدامات حفاظتی خاک و منابع آب لازم است آثار عوامل مختلف فرساینده و همچنین روند تولید رسوب، شناسایی شود و اطلاعاتی درباره چگونگی فرسایش، شدت تولید رسوب و پراکنش مکانی آن به دست آید [۳]. با مشخص شدن الگوهای تغییرات مکانی فرسایش خاک، می توان اقدام به پهنه بندی مناسب اراضی به درجات با شدت های مختلف فرسایش کرد. سپس، با اعمال تصمیم گیری های مدیریتی و راهکارهای مؤثر اقتصادی، شرایط جلوگیری و یا کاهش تولید رواناب و رسوب در بخش های حساس به فرسایش حوضه آبخیز را فراهم آورد [۴ و ۵]. از آنجا که معمولاً مطالعه یک منطقه در سطح وسیع، مشکل و گران است، در چنین مواردی، نمونه هایی به صورت نقطه ای انتخاب و با استفاده از توابع خاص، داده ها به کل منطقه مطالعاتی تعمیم داده می شود. به این منظور، می توان با استفاده از علم آمار و به صورت تخصصی تر، علم زمین آمار^۱، اطلاعات نقطه ای موجود در منطقه مطالعاتی را به نقشه پیوسته ای از آن تبدیل کرد. پژوهش های اندک صورت گرفته در این زمینه، نشان دهنده کارایی روش های درون یابی زمین آمار (از جمله کوکریجینگ^۲) برای برآورد تغییرات مکانی

ویژگی های رواناب و رسوب است، این مطالعات بیان کردند که پاسخ های آب شناختی حوضه آبخیز نسبت به تولید رواناب، رسوب و هدررفت مواد غذایی خاک، اغلب توسط تغییرپذیری های بارش، خاک، کاربری اراضی و نمایانه های زمین ریخت شناختی کنترل می شود [۶ و ۷]. نتایج مطالعه باسای و همکارانش [۸] برای پیش بینی روند تغییرات رسوب دهی در طول آبراهه زارم رود نشان داد از بالادست تا کیلومتر یکم، به دلیل شیب ملایم تر رسوب گذاری رخ داد و از کیلومتر یک تا ۰/۴۲ به دلیل شیب زیادتر و سطح مقطع تنگ تر فرسایش اتفاق افتاد و بعد از آن از کیلومتر ۰/۴۲ تا پایین دست به دلیل پهن شدن مقطع و ملایم تر شدن شیب، رسوب گذاری دیده شد. در جهت جریان نیز، کاهش در قطر رسوبات به علت کم شدن شیب و توان رودخانه مشاهده شد. کویان پور و همکارانش [۹] در خصوص بررسی تغییرات مکانی رواناب و رسوب در مرتع بیلاقی نشو با استفاده از زمین آمار در استان مازندران به این نتیجه رسیدند که از بین مدل های مطالعه شده، مدل نمایی، مناسب ترین مدل برازش شده برای متغیر رسوب تولیدی است و با توجه به ساختار مکانی قوی متغیر بیان کردند که روش کریجینگ قابلیت زیادی در برآورد این متغیر در نقاط نمونه برداری نشده و پهنه بندی آنها دارد. نتایج تحقیق کویان پور و همکارانش [۱۰] در بررسی تغییرات مکانی ویژگی های مورفومتری رسوبات بستر در جهت پایاب رودخانه در حوضه آبخیز قلعه ساری نشان داد دامنه تغییرات عامل شکل و کرویت روندی کاهشی، دامنه تغییرات متوسط اندازه ذرات و گردشگری روندی افزایشی، دامنه تغییرات ضریب پهنی روندی پیچیده، و دامنه تغییرات اندازه سه محوری روندی یکنواخت و ناچیز داشته است. آیشاه و همکارانش [۱۱] در تحقیقی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی خاک در پدی سول ها^۳ در محدوده شمال سلانگور^۴ جنوب شرق مالزی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد PH، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل تبدیل ساختار مکانی متوسط دارند و از مدل نمایی پیروی می کنند. در این تحقیق، دامنه تأثیر برای PH، مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل تبدیل به ترتیب شش، یک، هشت، هشت و نه کیلومتر به دست آمد. پارسون و استون [۱۲] نیز

3. Paddy sols
4. Selangor

1. Geostatistics
2. Cokriging

حیدریه، آبراهه‌ای فصلی در موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی، واقع در واحد تیپ دشت سر فرسایشی انتخاب شد. طول تقریبی محدوده مطالعه شده در این آبراهه، ۵۰۰ متر است که از سمت سراب به واحد کوهستان و از سمت پایاب به تیپ دشت سر آپانداژ محدود بوده و بدون ورودی فرعی است. در تیپ دشت سر فرسایشی، سنگ بستر در عمق کم قرار گرفته و یا در سطح خاک نمایان است. به طور کلی، رسوبات دشت سر فرسایشی ضخامت چندانی ندارد و اغلب سطحی است و ضخامت رسوبات آن به سه متر می‌رسد. ارتفاع برجستگی‌ها به چند متر می‌رسد و به صورت اینسلیبرگ‌های کوچک در سطح دشت سر نمایان هستند. شیب طولی دشت سر بین هشت تا ۱۲ درصد است که گاهی به ۲۰ درصد نیز می‌رسد که کمی حالت مقعر دارد. شیب عرضی آن تقریباً صفر است. رسوبات از عناصر درشت شامل تخته سنگ، قلوه سنگ، ریگ و شن است که ضخامت آن کم و حداکثر از چندین متر تجاوز نمی‌کند [۱۶]. در شکل ۱، موقعیت آبراهه و پراکنش نقاط نمونه برداری شده، نمایش داده شده است.

روش انجام تحقیق

الگوی نمونه برداری

محل آزمایش‌ها در قالب طرح تصادفی - سیستماتیک در ۱۰ نقطه در طول آبراهه فصلی با فواصل تقریبی ۵۰ متری انتخاب شد، در هر نقطه، با سه تکرار (در مجموع، ۳۰ کرت)، از شبیه ساز باران استفاده شد. شبیه ساز باران استفاده شده، شبیه ساز صحرایی ساخته شده شرکت Eijkelkamp، کرت ۰/۰۹ مترمربعی (۳۰ سانتی متر در ۳۰ سانتی متر) دارد و به راحتی قابل حمل است. یکی از ویژگی‌های این مدل، قابلیت شبیه سازی در شرایط میدانی و آزمایشگاهی، برای مطالعات فرسایش خاک است. قابلیت حمل این مدل در صحرا، امکان استفاده از آن در طبیعت و روی خاک دست نخورده و طبیعی را فراهم می‌کند، بنابراین استفاده از آن در بخش سطحی خاک و در صحرا، به عنوان روشی استاندارد محسوب می‌شود [۱۷].

تأثیر الگوهای شدت بارش بر میزان جدایش رسوبات و توزیع اندازه آنها را مؤثرتر از بقیه مؤلفه‌ها دانستند و گفتند که مقدار و توزیع اندازه ذرات رسوبی در رگبار با شدت ثابت، متفاوت از شدت‌های مختلف است. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد رسوبات منتقل شده در رگبار با شدت ثابت، محتوی رس کمتری نسبت به رگبارهای با شدت‌های مختلف داشته است. جروسک [۱۳] در بررسی نقشه برداری زمین آماری و تغییرات مکانی انواع رسوبات سطحی در شلف بیوفورت^۱ شمال کانادا بر اساس داده‌های اندازه دانه ذرات خاک به این نتیجه رسید که روش درون یابی کوکریجینگ، روشی مناسب در پهنه بندی مکانی رس، سیلت و ماسه است. ژانگ و همکارانش [۱۴] روش‌های زمین آمار را در بررسی تغییرات مکانی رسوب سطحی حوضه‌ای در منطقه ساحلی رودخانه زردچین بررسی کردند و به وجود پدیده ناهمسان گردی^۲ در جهت شمال غربی به جنوب شرقی و همچنین ساختار مکانی متوسط برای متغیرهای رس، سیلت و ماسه دست یافتند و در بررسی تغییرات مکانی رسوب سطحی، مدل کروی را برای سیلت و ماسه و مدل نمایی را برای رس معرفی کردند.

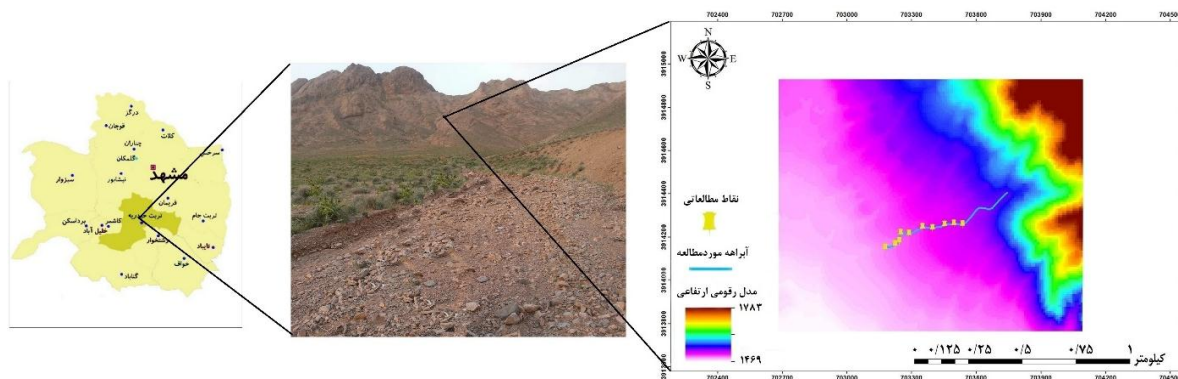
بر پایه پژوهش‌های صورت گرفته، بسیاری از متغیرهای فرایند فرسایش و خصوصیات خاک پیوستگی مکانی دارند، بنابراین شناخت کمی این تغییرات برای اعمال مدیریت خاص مکانی ضروری است. از طرفی، با توجه به پیچیدگی فرایندها و کمبود آمار مناسب و فقدان ایستگاه‌های اندازه گیری و همچنین سهولت کار، اغلب مطالعات فرسایش و رسوب با استفاده از روش‌های تجربی انجام می‌شود [۱۵]. از جمله روش‌های متداولی که به منظور برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده می‌شود، استفاده از شبیه ساز باران است. شبیه ساز باران امکان اندازه گیری‌های متعدد در اراضی مختلف، به منظور تعیین فاکتورهای مؤثر بر رواناب و فرسایش را فراهم می‌کند، بنابراین از شبیه ساز باران صحرایی، به منظور مطالعه تغییرات مکانی و برآورد شدت فرسایش و رسوب استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

به منظور انجام تحقیق، در محدوده شهرستان تربت

1. Beaufort Shelf
2. Anisotropic



شکل ۱. موقعیت آبراهه در خراسان رضوی و شهرستان تربت حیدریه و نقشه مدل رقومی ارتفاعی و ۱۰ نقطه مطالعاتی آبراهه

شروع شبیه‌سازی باران در نظر گرفته شد [۱۹]. پس از ۱۰ دقیقه، کل رواناب خارج شده از کرت جمع‌آوری و در ظروف شماره‌گذاری شده به صورت جداگانه نگه‌داری شد. همچنین، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS^۱)، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع محل نمونه‌های خاک برای استفاده در آنالیز مکانی، برداشت و ثبت شد. از مجاورت هر کرت، نمونه خاک سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) برداشت شد [۲۰]. پس از اتمام شبیه‌سازی، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و حجم رواناب اندازه‌گیری شد و رسوب موجود در نمونه به وسیله کاغذ صافی واتمن^۲ ۴۲ جدا و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و توزین شد [۲۱ و ۲۲].

نمونه خاک‌های برداشت شده نیز برای تعیین دانه‌ها و چگونگی توزیع ابعاد دانه‌ها در نمونه و نیز تعیین نوع دانه‌بندی^۳ با استفاده از سری الک به روش خشک به مدت ۱۰ دقیقه تیمار شد و سپس مواد هر الک، وزن شده و نتایج به دست آمده از انجام آزمایش‌ها در صفحه گسترده Gradistat [۲۳] نسخه ۸، برای تعیین مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوبی نمونه‌ها شامل درصد ذرات کوچک‌تر از دو میکرون (ذرات در اندازه رس)، درصد ذرات بین دو تا ۶۳ میکرون (ذرات در اندازه لای)، درصد ذرات بزرگ‌تر از ۶۳ میکرون (ذرات در اندازه ماسه)، D_{10} ، D_{50} و D_{90} وارد کرده و در نهایت بانک اطلاعاتی مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات برای شدت ۱/۴ میلی‌متر بر دقیقه و دوام ۱۰ دقیقه در محیط Excel 2013 تهیه شد [۲۹].

شبیه‌ساز از سه قسمت آب‌پاش با تنظیم‌کننده فشار برای ایجاد بارش استاندارد، پایه و قاب فلزی، که نمونه خاک آزمایش شده درون آن قرار می‌گیرد، تشکیل شده است [۱۸] و از حرکات جانبی آب در کرت آزمایشی به خاک اطراف جلوگیری می‌کند. شکل ۲ نمایی از شبیه‌ساز باران استفاده شده در تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمایی از شبیه‌ساز باران استفاده شده در تحقیق

برای بررسی مقادیر رسوب تولیدی و غلظت آن، در هر کرت ۰/۰۹ مترمربعی و با شیب نه درصد، بارش مصنوعی با شدت بارندگی ۱/۴ میلی‌متر بر دقیقه و دوام ۱۰ دقیقه ایجاد شد، این شدت مربوط به بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله منطقه است. مبنای انتخاب این درجه از شیب، میزان شیب متوسط در دشت سر فرسایشی (نه درصد) و شرایط کرت استاندارد است، انتخاب شدت و دوام بارش نیز بر اساس قابلیت‌ها و حجم مخزن شبیه‌ساز باران و همچنین قله‌سنگی بودن آبراهه صورت پذیرفت. شدت بارش بر اساس منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش منطقه به دست آمد و مدت زمان هر رخداد بارش نیز، با توجه به محدودیت ظرفیت مخزن باران‌ساز، ثابت و ۱۰ دقیقه از

1. Global Positioning System
2. Whatman
3. Granulometry

نیم تغییرنا از مهم ترین عملیات زمین آمار است که از معادله ۱ قابل محاسبه است.

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

که $\lambda(h)$ مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، $n(h)$ تعداد زوج نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر x در موقعیت i و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x_i قرار دارد، هستند. از نظر تئوری، مقدار نیم تغییرنا به ازای h برابر صفر باید به سمت صفر میل کند، ولی در عمل عوامل مختلفی از جمله خطاهای نمونه برداری و آماده سازی داده ها و همچنین تغییرات کوچک مقیاس سبب بروز پرشی در مبدأ نیم تغییرنا می شود که به مقدار این پرش، اثر قطعه ای^۸ می گویند. با افزایش فواصل بین جفت نقاط، مقدار نیم تغییرنا نیز افزایش می یابد و سپس به حد ثابتی می رسد که به آن حد آستانه^۹ گفته می شود و فاصله ای که در آن حد آستانه رخ می دهد، شعاع تأثیر^{۱۰} نامیده می شود. در خارج از این فاصله، مقادیر متغیر، مستقل از یکدیگرند.

سنجش همبستگی مکانی

برای سنجش شدت و ضعف همبستگی مکانی، معیارهای مختلفی وجود دارد که یکی از آن ها نسبت بخش بدون ساختار (C_0) به کل واریانس یا حد آستانه ($C+C_0$) نیم تغییرنا است ($C_0/(C+C_0)$). با زیاد شدن مقدار (C)، مقدار C_0 (بخش بدون ساختار نیم تغییرنا) کم می شود و این امر نشان دهنده همبستگی مکانی بیشتر متغیر مد نظر است که در بهترین حالت این نسبت می تواند برابر یک شود. به طور کلی، اگر این نسبت بزرگ تر از ۷۵ درصد باشد یعنی داده ها همبستگی مکانی خوبی دارند. زمانی که این نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، یعنی داده ها همبستگی مکانی متوسط دارند و اگر نسبت یاد شده کمتر از ۲۵ درصد باشد، این مفهوم را می رساند که داده ها همبستگی مکانی ضعیفی دارند [۲۶].

تحلیل های آماری کلاسیک

تحلیل آماره های توصیفی متغیرهای رسوب تولیدی و غلظت آن با استفاده از بسته نرم افزاری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. نرمال بودن داده ها در نرم افزار یاد شده، با استفاده از آزمون شاپیروویلک^۱، در سطح اطمینان پنج درصد بررسی شد. سپس، متغیرهایی که توزیع نرمال نداشتند با روش های تبدیل داده ها شامل لگاریتم نپین و ریشه گیری نرمال شدند. به منظور بررسی همگنی واریانس گروه های مختلف، از آزمون همگنی واریانس لئون^۲ استفاده شد. در نهایت، اختلاف مقادیر میانگین رسوب تولیدی و غلظت رسوب، با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه بررسی شد. به این صورت که مقایسه میانگین ها در سطح معناداری پنج درصد با فرض برابری واریانس ها به روش دانکن^۳ و با فرض نابرابری واریانس ها به روش دانت-تی^۴ انجام شد.

تحلیل های آمار مکانی

برای انجام آنالیزهای زمین آماری نیز از نرم افزار GS+ نسخه ۵/۱ استفاده شد. در مطالعات زمین آماری استفاده از داده های غیر نرمال ممکن است به نوسان زیاد در نیم تغییرناها^۵ منجر شود و این موضوع سبب کاهش قابلیت اعتماد نتایج می شود، بنابراین نرمال سازی داده ها ضروری است [۹]. توزیع نرمال داده ها براساس چولگی^۶ آنها تخمین زده شد به این صورت که داده های با چولگی بین یک تا منفی یک به عنوان داده های دارای توزیع نرمال در نظر گرفته شدند [۲۴ و ۲۵]. آن سری از داده هایی که نرمال نبودند و تبدیل داده بر آنها صورت گرفته بود، به داده های واقعی تبدیل شدند که امکان تبدیل آن به توزیع نرمال توسط روش های ریشه گیری و لگاریتم گیری صورت پذیرفت. سپس، قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین آماری هر متغیر، با استفاده از رسم نیم تغییرناها در جهات مختلف، همسان گردی^۷ و ناهمسان گردی آنان کنترل شد. نیم تغییرنا مشابه نبودن بین داده ها را هر چه فواصل بین آنها افزایش می یابد، بیشتر نشان می دهد. محاسبه منحنی

1. Shapiro- Wilk
2. Levene
3. Duncan
4. Dunnett T3
5. Semivariogram
6. Skewness
7. Isotropic

8. Nugget Effect
9. Sill
10. Range Effect

درون‌یابی به روش کوکریجینگ

برای پیش‌بینی پراکنش مکانی رسوب تولیدی و غلظت رسوب روش کوکریجینگ استفاده شد. مدل کوکریجینگ با اینکه از نظر تئوریک توانایی تحلیل چندین متغیر را هم‌زمان دارد، ولی در عمل فقط برای دو متغیر می‌تواند جواب مناسبی به دست دهد [۲۷]. در صورتی که برای تخمین یک متغیر اصلی از یک یا چند متغیر کمکی، که با متغیر اصلی همبستگی داشته باشند، کمک گرفته شود، روش تخمین موسوم به کوکریجینگ است. در روش کوکریجینگ علاوه بر واریوگرام رسم شده برای هر متغیر، باید واریوگرام متقابل نیز از روی واریوگرام‌های دو متغیر رسم شود و از روی این واریوگرام پیش‌بینی مکانی صورت گیرد. از نظر تئوری، کوکریجینگ با کریجینگ تفاوتی ندارد. سیستم معادلاتی کوکریجینگ را می‌توان به هر تعداد متغیر ثانویه تعمیم داد. با فرض وجود فقط یک متغیر مکانی کمکی $Z_2(x_i)$ در کنار متغیر مکانی اصلی (x_i) مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 برابر (Z_0^*) است که در تخمین کوکریجینگ به صورت معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$(x, Z^*) = Z_0(x_j) \sum_{j=1}^m \lambda_j + (x_i) Z_1 \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2)$$

که در آن m و n به ترتیب تعداد جفت مقایسه‌ها برای متغیرهای کمکی و اصلی و λ_{2j} و λ_{1i} عبارت‌اند از وزن‌های آماری اختصاص داده‌شده به متغیرهای اصلی و کمکی هستند. در نهایت، به کمک روش ارزیابی متقاطع^۱، ارزیابی صحت درون‌یابی انجام شد. در این روش ابتدا مقدار هر نقطه اندازه‌گیری شده، حذف می‌شود و سپس مقدار آن از روی واریوگرام تخمین زده می‌شود، گویی که هرگز مقدار آن در دست نبوده است. سپس، مقدار واقعی آن نقطه دوباره در جای خود قرار داده می‌شود و این کار برای همه نقاط تکرار می‌شود. در نهایت، نمودار داده‌های تخمینی در مقابل داده‌های مشاهده‌ای ترسیم و مقایسه می‌شوند [۲۸] و با بررسی میزان انحراف نقاط از خط یک به یک و میزان ضریب تبیین و سایر شاخص‌های آماری مقدار دقت روش در تخمین تعیین می‌شود.

نتایج

تجزیه و تحلیل آماری ویژگی‌های رسوب تولیدی و غلظت رسوب

برای آنالیز آماری و بررسی چگونگی توزیع داده‌های متغیرهای رسوب تولیدی و غلظت رسوب از نرم‌افزار SPSS۲۲ استفاده شد که آماره‌های توصیفی متغیرها در جدول ۱ آمده است. ضرایب چولگی و ویژگی‌های مطالعه‌شده بیان می‌کنند که توزیع هر دو متغیر نابهنجار است. از این‌رو، برای نرمال‌سازی داده‌ها، از آزمون باکس-کاکس^۲ استفاده شد که روش ریشه‌گیری برای نرمال‌سازی داده‌های رسوب تولیدی و روش لگاریتم نپرین برای نرمال‌سازی داده‌های غلظت رسوب به دست آمد (جدول ۲). روند تغییرات میانگین سه تکرار مقادیر رسوب تولیدی و غلظت رسوب در ۱۰ نقطه نمونه‌برداری شده، نشان داد با توجه به اینکه ملاک کد نقاط، از پایین دست شیب به سمت بالادست است، روند تغییرات در هر دو متغیر به سمت بالادست، سیر نزولی دارد. همچنین، مقایسه‌های آماری رسوب و غلظت رسوب در ۱۰ نقطه نمونه‌برداری شده، نشان داد بین میانگین ۱۰ گروه برای متغیر غلظت رسوب تفاوت معناداری وجود ندارد، اما برای متغیر رسوب تولیدی از نظر میانگین تفاوت معناداری وجود دارد (جدول ۳)، که با آزمون دانت مشخص شد که این تفاوت بین گروه دو با گروه‌های هفت و هشت است. بافت خاک ۱۰ نمونه برداشت شده از آبراهه مطالعه‌شده نیز در جدول ۴ ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل مکانی ویژگی‌های رسوب تولیدی و غلظت رسوب

همان‌طور که قبلاً گفته شد، تجزیه و تحلیل‌های دانه‌بندی خاک بستر آبراهه در نرم‌افزار Gradstat انجام گرفت. آماره‌های مربوط به میانگین دانه‌بندی و ریخت‌سنجی خاک بستر آبراهه در ۱۰ نقطه نمونه‌برداری شده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۱. آماره های توصیفی متغیرهای بررسی شده در ۱۰ نقطه مطالعاتی

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
رسوب تولیدی (گرم)	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۵۷
غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	۲/۱۳	۲/۶۶	۰/۰۰	۹/۹۵

جدول ۲. نتایج آزمون توزیع نرمال بودن داده ها

متغیر	کولموگروف- اسمیرنوف ^۱		شاپیرووولک	
	آماره	درجه آزادی	درجه آزادی	معناداری
رسوب تولیدی (گرم)	۰/۱۰	۳۰	۳۰	۰/۱۲
غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	۰/۱۶	۳۰	۳۰	۰/۱۴

جدول ۳. آزمون برابری میانگین ها

متغیر	منبع واریانس	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معناداری
رسوب تولیدی	بین گروهی	۰/۸۳	۹	۰/۰۹	۴/۲۸	۰/۰۰۳
	درون گروهی	۰/۴۳	۲۰	۰/۰۲		
	کل	۱/۲۷	۲۹			
غلظت رسوب	بین گروهی	۲/۳۲	۹	۰/۲۵	۲/۱۷	۰/۰۷
	درون گروهی	۲/۳۷	۲۰	۰/۱۱		
	کل	۴/۷۰	۲۹			

جدول ۴. طبقه بندی بافت خاک مربوط به ۱۰ نقطه مطالعاتی

نقاط مطالعاتی	بافت خاک	نقاط مطالعاتی	بافت خاک
۱	شنی-گراولی	۶	گراولی
۲	شنی-گراولی	۷	شنی-گراولی
۳	شنی-گراولی	۸	گراولی
۴	شنی-گراولی	۹	شنی-گراولی
۵	شنی-گراولی	۱۰	شنی-گراولی

جدول ۵. آماره های مربوط به دانه بندی (برحسب میکرومتر) و ریخت سنجی خاک بستر آبراهه در ۱۰ نقطه نمونه برداری شده

نقاط	نما	قطر کوچک (D ₁₀)	قطر متوسط (D ₅₀)	قطر بزرگ (D ₉₀)	میانگین	جورشدگی ^۲	چولگی	کشیدگی ^۳
۱	۳۱۹۰	۲۱۱/۱	۱۹۳۶/۸	۳۵۹۹/۱	۱۹۵۸/۳	۱۲۷۳/۵	-۰/۲۱	۱/۲۷
۲	۳۱۹۰	۳۶۲/۳	۲۵۹۷/۱	۳۶۶۹/۰	۲۲۷۳/۳	۱۱۸۱/۱	-۰/۶۷	۱/۷۳
۳	۳۱۹۰	۲۴۴/۴	۲۶۲۰/۴	۳۶۷۵/۵	۲۲۶۹/۵	۱۲۱۵/۵	-۰/۷۱	۱/۷۵
۴	۳۱۹۰	۴۳۸/۲	۲۷۴۲/۰	۳۷۰۹/۰	۲۴۷۴/۶	۱۱۱۰/۳	-۱/۰۷	۲/۴۴
۵	۳۱۹۰	۷۸۶/۰	۲۸۳۸/۵	۳۷۳۴/۸	۲۶۶۴/۹	۹۶۳/۵	-۱/۴۵	۳/۴۶
۶	۳۱۹۰	۸۳۴/۱	۲۹۱۷/۶	۳۷۵۵/۴	۲۷۷۹/۲	۹۱۴/۷	-۱/۹۲	۵/۰۰
۷	۳۱۹۰	۸۳۲/۹	۲۸۴۸/۸	۳۷۳۷/۵	۲۶۸۶/۸	۹۴۶/۹	-۱/۵۳	۳/۷۵
۸	۳۱۹۰	۹۹۵/۹	۲۹۲۸/۹	۳۷۵۸/۳	۲۸۱۵/۸	۸۶۷/۴	-۲/۰۶	۵/۶۵
۹	۳۱۹۰	۷۳۸/۵	۲۸۰۸/۸	۳۷۲۶/۹	۲۶۱۵/۱	۹۹۳/۸	-۱/۳۰	۳/۰۳
۱۰	۳۱۹۰	۷۱۷/۸	۲۸۵۰/۱	۳۷۳۷/۸	۲۶۶۲/۶	۹۸۷/۷	-۱/۴۷	۳/۴۶

1. Kolmogrove- Smironove
 2. Sorting
 3. Kurtosis

ناهمسان‌گردی، در جهت‌های صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه دیده می‌شود که این نیم‌تغییرنماها در جهات مختلف ناهمگن‌اند (زوایای درج‌شده بالای چهار نمودار، نسبت به آزیموتی است که روی مسیر مشخص شده، بیشترین تغییرات مکانی را دارد). سپس، مدل‌های تجربی مختلف (کروی^۳، نمایی^۴، خطی^۵ و گوسین^۶) بر آن برازش داده شدند تا بهترین مدل به‌دست آید. با توجه به جدول ۶، بهترین مدل برازش داده‌شده برای نیم‌تغییرنمای متغیر غلظت رسوب مدل گوسین و نیم‌تغییرنمای متغیر رسوب تولیدی، مدل نمایی معرفی شد. هر دو متغیر با توجه به اینکه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بیشتر از ۷۵ درصد دارند، همبستگی مکانی قوی را نشان می‌دهند.

پس از رسم واریوگرام متقابل، با استفاده از روش ارزیابی مقاطع می‌توان دقت مدل مکانی مقادیر رسوب تولیدی و غلظت رسوب را در منطقه تعیین کرد. نتایج به‌دست‌آمده از این روش در شکل ۷ ارائه شده است. در جدول ۷ نیز مقادیر تخمین زده‌شده برای متغیرهای رسوب تولیدی و غلظت رسوب با روش کوکریجینگ در نقاطی که مقادیر آنها اندازه‌گیری شده بودند با توجه به ضریب تبیین و خطای استاندارد ارائه شده است. نتایج سه‌بعدی تخمین کوکریجینگ برای دو متغیر نیز در شکل ۸ آورده شده است.

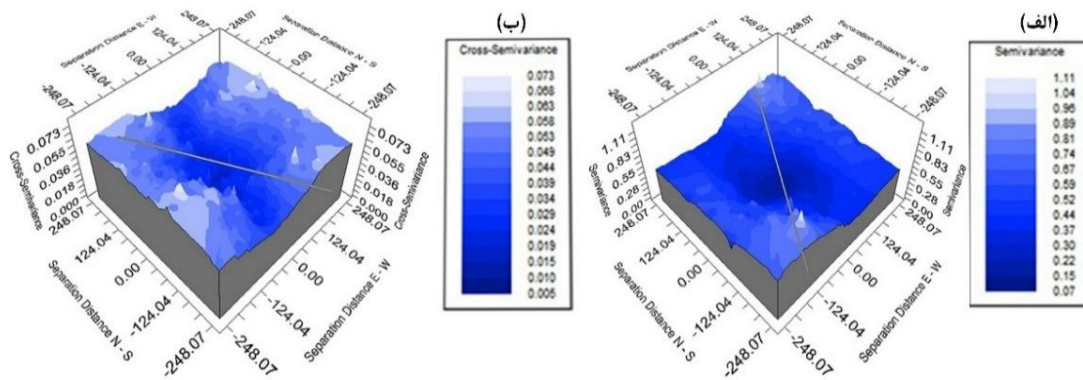
پس از میان‌بایی با استفاده از نرم‌افزار GS+، از داده‌های پهنه‌بندی شده GS+ با فرمت (Ascii) خروجی گرفته شد تا برای تهیه نقشه پهنه‌بندی مکانی در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 وارد شود، سپس فرمت (Ascii) به رستر تبدیل و فایل رستری نهایی منطبق بر مسیر آبراهه و با حذف پهنه‌بندی‌های حاشیه‌ای به صورت نقشه‌های موجود در شکل ۹ استخراج شد.

در این تحقیق علاوه بر مقادیر رسوب تولیدی و غلظت رسوب به‌عنوان متغیر اصلی، از متغیر کمکی (کواریته^۱) نیز استفاده شد. فایل ورودی در تحلیل زمین‌آماری، باید شامل موقعیت مکانی هر داده (X, Y) و مقادیر اندازه‌گیری متناظر با آن (Z) و مقادیر متغیر کمکی (Z₂) باشد. برای انتخاب مناسب‌ترین متغیر کمکی، پارامترهای دانه‌بندی را که شامل نما، قطر کوچک، قطر متوسط، قطر بزرگ، میانگین، جورشدگی، چولگی و کشیدگی نمونه‌های خاک هر نقطه است، به ترتیب به‌عنوان فاکتور کمکی (Z₂) و متغیرهای تولید رسوب و غلظت آن به‌عنوان فاکتور اصلی (Z) برای نرم‌افزار GS+ تعریف شد. ابتدا، داده‌ها نرمال شده و سپس بین (Z) و (Z₂) رگرسیون گرفته می‌شود. سپس به همین ترتیب، همه پارامترهای یادشده به‌طور مجزا به‌عنوان (Z₂) در نرم‌افزار وارد می‌شوند. در نهایت، متغیر کمکی (Z₂) که با متغیر اصلی (Z) کمترین خطای استاندارد^۲ (SE) و بیشترین ضریب تبیین (R²) را دارد، انتخاب و از آن به‌عنوان متغیر کمکی (Z₂) برای ادامه تحلیل استفاده می‌کنیم. نتایج رگرسیون به‌دست‌آمده نشان داد متغیر قطر کوچک (D₁₀) برای هر دو متغیر رسوب تولیدی و غلظت رسوب با بیشترین مقدار ضریب تبیین (به ترتیب برابر با ۰/۲۰ و ۰/۱۳) و کمترین خطای استاندارد (به ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۲۲) از میان دیگر متغیرهای یادشده، مناسب‌ترین متغیر کمکی (Z₂) برای هر دو متغیر است. برای انجام مدل‌سازی، با توجه به بررسی اولیه داده‌ها از نظر ناهمسان‌گردی، از نتایج به‌دست‌آمده از مرحله مدل‌سازی کوکریجینگ نقطه‌ای استفاده شد و فقط به بررسی ناهمسان‌گردی واریوگرام مقادیر کمکی (D₁₀) و واریوگرام متقابل اکتفا شد. بعد از نرمال‌سازی داده‌ها و قبل از رسم نیم‌تغییرنما، همسان‌گرد و ناهمسان‌گرد بودن داده‌ها بررسی شد.

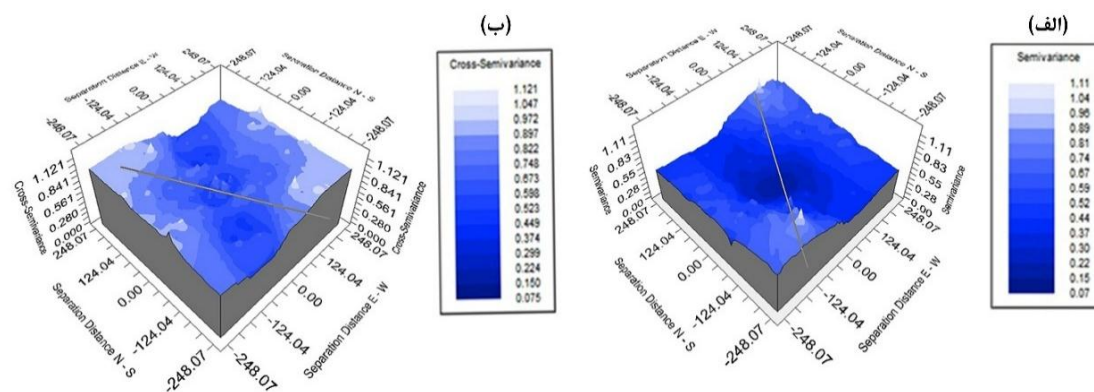
همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده، همه واریوگرام‌ها ناهمسان‌گردند. ناهمسان‌گردی نشان می‌دهد تغییرپذیری این ویژگی‌ها در جهات مختلف یکسان نیست و علاوه بر مکان نمونه‌برداری به جهت نمونه‌برداری نیز وابسته است. سپس، با رسم نیم‌تغییرنماهای متقابل (شکل‌های ۵ و ۶) با فرض

3. Spherical
4. Exponential
5. Linear
6. Gaussian

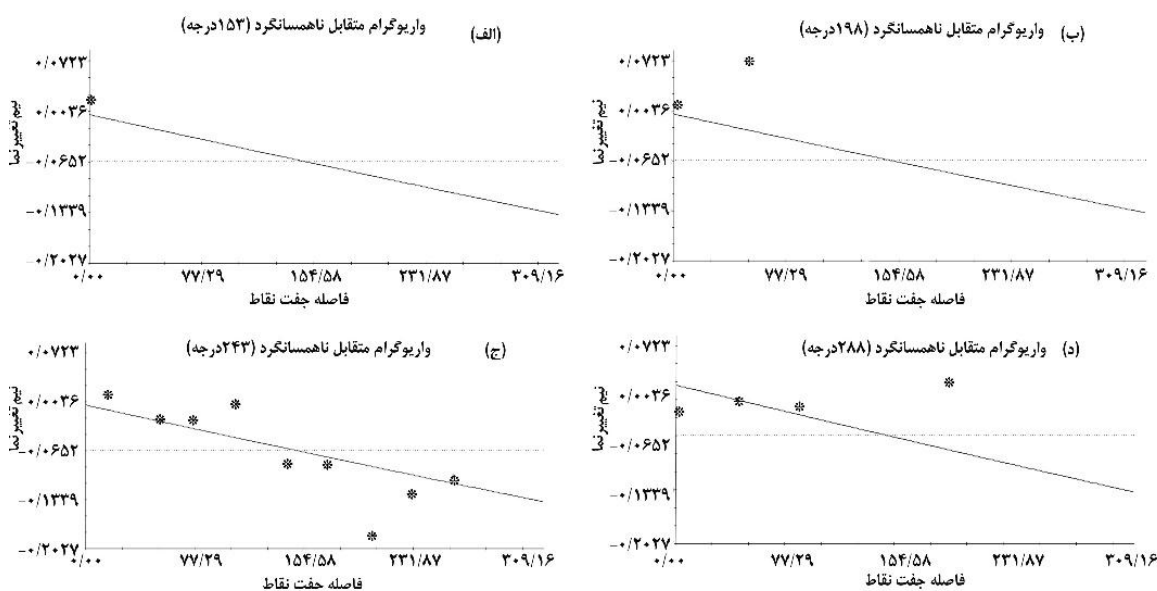
1. Covariate
2. Estandard Error



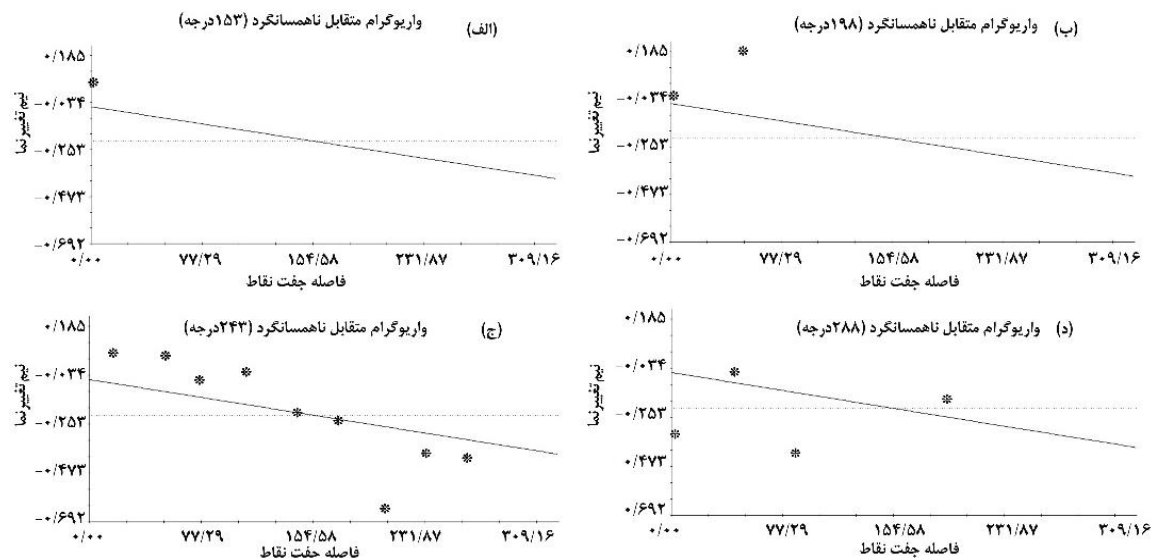
شکل ۳. نمای سه بعدی ناهمسان گردی نیم تغییرنماهای متغیر رسوب تولیدی با روش کوکریجینگ (الف) نیم تغییرنمای متغیر کمکی (D_{10}) و (ب) نیم تغییرنمای متقابل



شکل ۴. نمای سه بعدی ناهمسان گردی نیم تغییرنماهای متغیر غلظت رسوب با روش کوکریجینگ (الف) نیم تغییرنمای متغیر کمکی (D_{10}) و (ب) نیم تغییرنمای متقابل



شکل ۵. منحنی نیم تغییرنمای جهت متقابل متغیر رسوب تولیدی برای زوایای صفر درجه (الف)، ۴۵ درجه (ب)، ۹۰ درجه (ج) و ۱۳۵ درجه (د) نسبت به مسیر اصلی

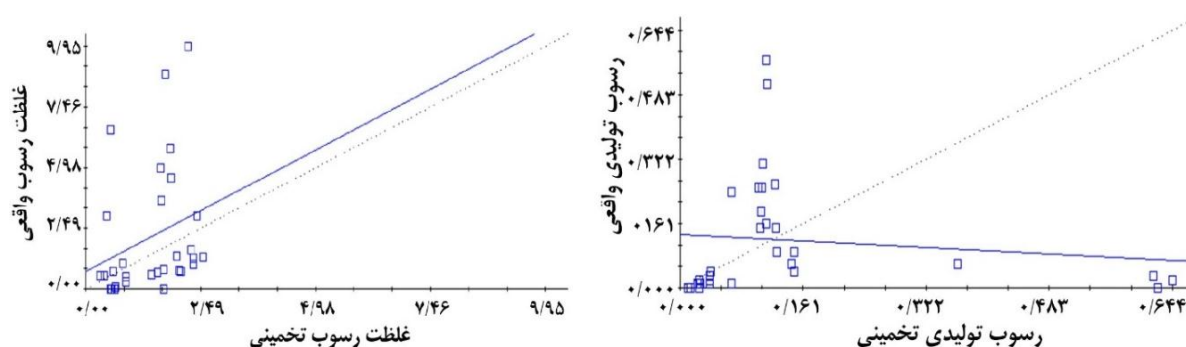


شکل ۶. منحنی نیم تغییرنمای جهتی متقابل متغیر غلظت رسوب برای زوایای صفر درجه (الف)، ۴۵ درجه (ب)، ۹۰ درجه (ج) و ۱۳۵ درجه (د) نسبت به مسیر اصلی

جدول ۶. بهترین مدل‌های برازش داده شده بر نیم تغییرنمای متغیرهای رسوب تولیدی و غلظت رسوب

متغیر	نوع متغیر	مدل نیم تغییرنما	اثر قطعه‌ای (m ²)	آستانه (m ²)	دامنه تأثیر (متر) حداکثر حداقل	نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه	مجموع مربعات باقی مانده	ضریب تبیین
رسوب	متغیر اصلی	نمایی	۰/۰۱	۰/۱۴	۲۱۱۹ ۲۱۱۹	۰/۸۷	۶/۴۲E-۰۰۳	۰/۶۸
تولیدی	متغیر کمکی	نمایی	۰/۱۹	۱/۵۵	۱۳۵۲/۴۰ ۲۷۳۰	۰/۸۷	۰/۲۸	۰/۵۳
	متقابل	نمایی	-۰/۰۰۱	-۱/۶۷	۱۱۴۶۶ ۱۱۴۶۶	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۷۱
غلظت	متغیر اصلی	گوسین	۰/۶۶	۳/۲۷	۱۲۴۰/۱۴ ۱۲۴۰/۱۴	۰/۷۹	۰/۶۳	۰/۳۹
رسوب	متغیر کمکی	نمایی	۰/۱۹	۱/۵۵	۱۳۵۲/۴۰ ۲۷۳۰	۰/۸۷	۰/۲۸	۰/۵۳
	متقابل	کروی	-۰/۰۵	-۲/۶۹	۳۸۲۱ ۳۸۲۱	۰/۹۸	۰/۴۶	۰/۳۹

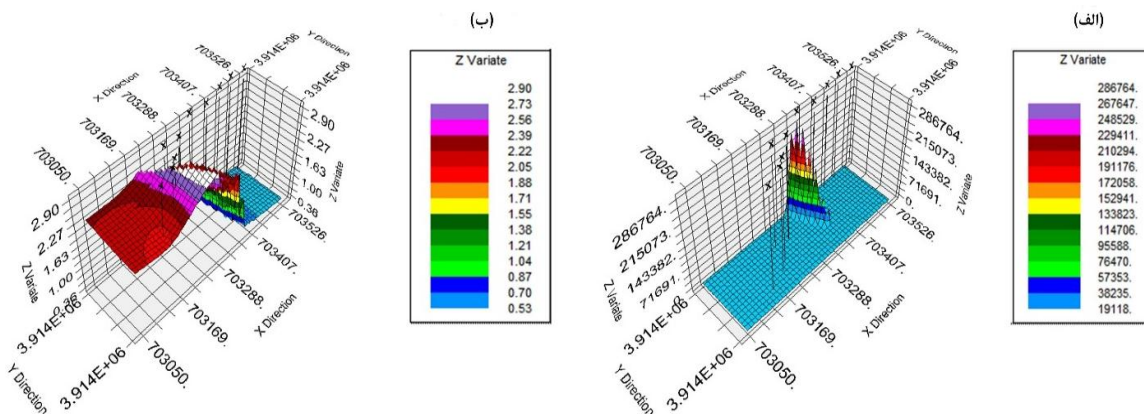
اثر قطعه‌ای (C₀)، نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (C₀/(C+C₀)). مجموع مربعات باقی مانده (RSS)، ضریب تبیین (R²)



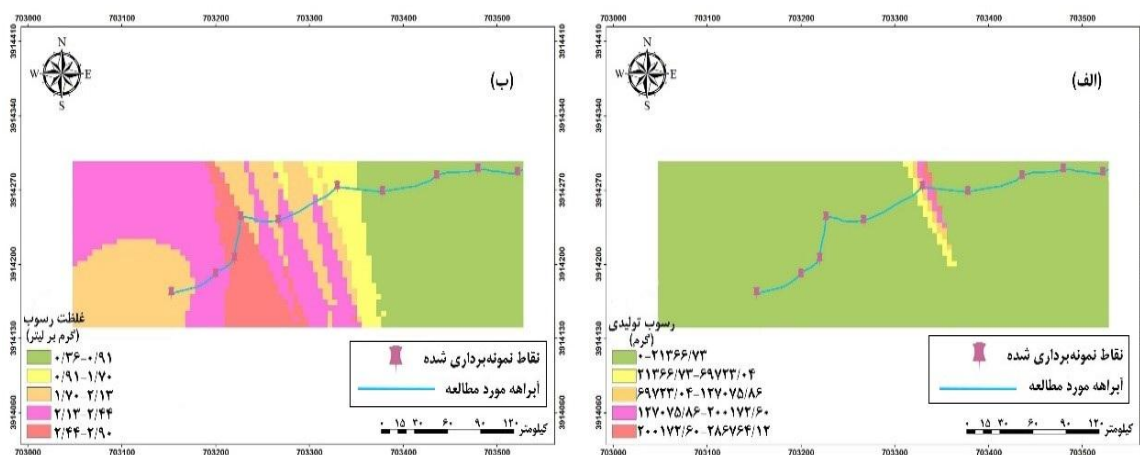
شکل ۷. منحنی ارزیابی مقاطع برای اعتبارسنجی تخمین کوکریجینگ برای متغیرهای رسوب تولیدی و غلظت رسوب

جدول ۷. پارامترهای اعتبارسنجی مدل درون یابی اعمال شده به روش کوکریجینگ

متغیر	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	ضریب تبیین	عرض از مبدأ	خطای استاندارد تخمین
رسوب تولیدی	-۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۴
غلظت رسوب	۱/۰۰	۰/۶۶	۰/۰۷	۰/۷۲	۲/۵۶



شکل ۸. نمای سه بعدی تخمین کوکریجینگ برای متغیرهای رسوب تولیدی (الف) و غلظت رسوب (ب) در سطح منطقه



شکل ۹. نقشه پهنه بندی رسوب تولیدی (الف) و غلظت رسوب (ب) با روش کوکریجینگ

تغییرات زیادی در منطقه دارند که با نتایج کاویان پور و همکارانش [۹] در زمینه بیشترین ضریب تغییرات متغیر بار رسوب همخوانی دارد. ضریب تغییرات زیاد متغیرها، نشان دهنده پراکندگی زیاد مشاهدات است. تغییرپذیری، معیاری مهم برای برآورد تعداد تکرار آزمایش‌ها در برقراری فاصله مناسب داده‌ها از میانگین محسوب می‌شود [۲۹]. در طبقه بندی وایلدینگ^۱ متغیرهای خاکی که ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵ درصد داشته باشند در گروه متغیرهای با تغییرپذیری زیاد قرار می‌گیرند [۳۰]. نیرینگ [۳۱] بازه ضریب تغییرات ۱۴ تا ۱۵۰ درصد را به ترتیب برای هدررفت خاک اندازه‌گیری شده با مقادیر ۰/۲ و ۰/۱ کیلوگرم بر مترمربع به دست آورد.

تغییرپذیری مکانی متغیرهای رسوب تولیدی و غلظت رسوب، با استفاده از تکنیک زمین آمار نیز بررسی شد. نبود

بحث و نتیجه‌گیری

برآورد بهینه از میزان فرسایش خاک و شناخت عوامل مؤثر بر رخداد آن، امری ضروری است. همچنین، مطالعه مکانی ویژگی‌های رسوب و درک توزیع آن برای توسعه برنامه‌های راهبردی حفاظت آب و خاک مفید است. به این منظور، پایه‌ای‌ترین اطلاعات، نقشه پهنه بندی است. به کمک روش‌های درون‌یابی می‌توان، با کمترین داده‌های ممکن اقدام به تهیه نقشه ویژگی‌های رسوب کرد. امروزه، مشخص شده است که دقت روش‌های زمین آماری در برآورد توزیع مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده به علت در نظر گرفتن پیوستگی مکانی داده‌ها نسبت به روش‌های معمول آماری بیشتر است. زمین آمار از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی است که امروزه به طور گسترده‌ای در بسیاری از زمینه‌ها استفاده می‌شود.

تجزیه و تحلیل‌های آماری ویژگی‌های رسوب تولیدی و غلظت رسوب نشان داد هر دو متغیر واریانس و ضریب

1. Yielding

نیم‌تغییرنما، اثر قطعه‌ای است. اثر قطعه‌ای ناشی از عواملی مانند خطای نمونه‌برداری، آزمایشگاهی و تحلیل است. در این پژوهش، نیم‌تغییرنمای ویژگی‌های رسوب تولیدی و غلظت رسوب، اثر قطعه‌ای بسیار کوچکی داشت، که نشان‌دهندهٔ واریانس تصادفی کم این متغیرها در منطقهٔ مطالعه‌شده است. به بیان دیگر، نمونه‌های نزدیک به هم مشابه و نمونه‌های دور از هم مقادیر متفاوت‌تری داشتند. این نتایج، با نتایج پژوهش کاویان‌پور و همکارانش [۹] همخوانی دارد. متغیرهایی که ساختار مکانی قوی دارند و مقدار اثر قطعه‌ای آنها بسیار کم است، نشان‌دهندهٔ پیوستگی زیاد توزیع این متغیرها در منطقه است. نتایج اعتبارسنجی مدل اعمال‌شده نیز نشان داد روش کوکریجینگ نقطه‌ای با توجه به خطای استاندارد خیلی زیاد، دقت کمی برای تخمین ویژگی غلظت رسوب دارد، اما برای تخمین متغیر بار رسوب، صحت بیشتری دارد. در نهایت، با استفاده از نقشه‌های میان‌یابی اقدام به شناسایی مناطق مستعد فرسایش و تولید رسوب شد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی، در بخش‌های زیادی از آبراههٔ مطالعه‌شده، میزان رسوب کمتری مشاهده شد. دلیل این پدیده، وجود بافت شنی-گراولی آبراهه است. بیشترین میزان رسوب تولیدی فقط در قسمت میانی آبراهه دیده می‌شود. بیشترین درصد غلظت رسوب نیز در نقاط ابتدایی آبراهه مشاهده شد که با حرکت به سمت نقاط انتهایی آبراهه، به تدریج از میزان آن کاسته می‌شود.

با توجه به اینکه بستر آبراهه‌های فصلی و حواشی آن، محل مناسبی برای پخش سیلاب و تغذیهٔ مصنوعی است و منابع آبی آن، چاره‌ساز وضعیت کم‌آبی ساکنان منطقه است، هرگونه فعالیت عمرانی روی چنین آبراهه‌هایی باید از طریق روش‌های علمی صورت گیرد، تا اهداف مد نظر از احداث آنها تحقق یابد. بنابراین، قبل از انجام فعالیت‌های عمرانی باید مناطق مستعد فرسایش، شناسایی شده و اقدامات لازم برای ارائهٔ راهکارهای مدیریتی انجام شود. با توجه به اینکه مطالعات کمی در بستر آبراهه‌ها صورت گرفته، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، پژوهش‌های مشابه، پس از جریان‌های سیلابی با استفاده از شبیه‌ساز باران، انجام و نتایج با تحقیق حاضر مقایسه شود. همچنین، روش‌های تلفیقی زمین‌آمار به همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی در خاک‌های مناطق مختلف با استفاده از روش کوکریجینگ و با به‌کارگیری متغیرهای کمکی دیگر (سایر خصوصیات مواد

تقارن و وجود ناهمسان‌گردی در نیم‌تغییرنمای سطحی همهٔ متغیرهای مطالعه‌شده با نتایج مطالعهٔ ژانگ و همکارانش [۱۴] در زمینهٔ بررسی تغییرات مکانی رسوب سطحی همخوانی دارد. این نوع ناهمسان‌گردی چنین تفسیر می‌شود که با وجود تغییرپذیری یکسان در جهات مختلف، بزرگی محدوده‌ای که در آن داده‌ها از خود ساختار مکانی بروز می‌دهند و با یکدیگر در ارتباط هستند، در جهات مختلف متفاوت است. نتایج برآزش مدل‌های تجربی مختلف بر نیم‌تغییرنماها در روش کوکریجینگ، برای متغیر غلظت رسوب مدل گوسین است و برای متغیر رسوب تولیدی مدل نمایی است که علت آن می‌تواند بزرگی درخور توجه دامنهٔ تأثیر نسبت به ابعاد تحت پوشش نمونه‌برداری باشد. محمدی [۳۲] نیز در تحقیق خود گفت که واریوگرام‌های دارای آستانه (سقف‌دار) معمول‌ترین و شایع‌ترین آنها در ژئواستاتیک است که رایج‌ترین واریوگرام‌های دارای سقف نیز نوع کروی و نمایی معرفی شده است. کاویان‌پور و همکارانش [۹] نیز تحقیق مشابهی را در مراتع ییلاقی مازندران انجام داده‌اند. نتایج تحقیق آنها بیان می‌کند که مناسب‌ترین مدل برآزش داده‌شده برای خصوصیات بار رسوب، مدل کروی و برای غلظت رسوب، مدل نمایی است که با نتایج تحقیق حاضر تطابق ندارد. ژانگ و همکارانش [۱۴] در بررسی تغییرات مکانی رسوب سطحی، مدل کروی را برای سیلت و ماسه و مدل نمایی را برای رس مناسب معرفی کردند. در این پژوهش هر دو متغیر ساختار مکانی قوی دارند و دامنهٔ تأثیر این متغیرها بسیار زیاد است که نشان‌دهندهٔ ساختار مکانی گسترده‌تر این مشخصه‌ها است. قوی‌بودن ساختار مکانی را می‌توان به مناسب‌بودن فاصلهٔ نقاط نمونه‌برداری هنگام انجام تحقیق مرتبط دانست. ژانگ و همکارانش [۱۴] ساختار مکانی قوی را برای متغیرهای رس و ماسه و ساختار مکانی متوسط را برای سیلت گزارش کردند. آیشاه و همکارانش [۱۱] نیز در بررسی تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی خاک برای PH، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل تبدیل، ساختار مکانی متوسط و برای مواد آلی، ساختار مکانی ضعیف را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. ساختار مکانی ضعیف نشان می‌دهد که تغییرات داده‌ها مستقل از یکدیگر است و اصل همبستگی مکانی (فاصلهٔ کمتر، شباهت بیشتر و به عکس) در مقیاس مطالعاتی مد نظر برقرار نیست. یکی دیگر از عوامل

- Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 2007. (In Persian).
- [9]. Kavianpoor H, Esmali Ury A, Jafarian Jelodar Z, Kavian A. Analysis of the spatial variations of runoff and sediment Bungalow rangeland in the Mazandaran province. *Journal of Science and Management Engineering Iran*. 2013; 7(21): 59-66. (In Persian).
- [10]. Kavian A, Adineh F, Vahhabzadeh Q, Khaledi Darvishan A. Investigation of spatial variations of morphometric characteristics of bed sediments in the direction of river flood in Qala'sar watershed of Sari. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 2013; 66(1): 131-144.
- [11]. Aishah A.W, Zauyah S, Anuar A.R, Fauziah C.I. Spatial variability of selected chemical characteristics of paddy soils in Sawah Sempadan, Selangor, Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*. 2010; 14: 27-39.
- [12]. Parsons A.J, Stone P.M. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion. *Catena*. 2006; 67(1): 68-78.
- [13]. Jerosch K. Geostatistical mapping and spatial variability of surficial sediment types on the Beaufort Shelf based on grain size data. *Journal of Marine Systems*. 2013; 127: 5-13.
- [14]. Zhang L, Ren R, Chen S, Dong P. Spatial variability of surface sediment basis on geostatistical analysis in the littoral area of Yellow River delta, China. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 2014; 43(4): 463-472.
- [15]. Qezavati R, Vali A. A, Maqami E, Abdi ZH, Sharafi S. Compare the models MPSIAC, EPM and PSIAC in the estimation of erosion and sedimentation using GIS. *Magazine of Geography and Development*. 2012; 10(27): 117-126. (In Persian).
- [16]. Tazeh M, kalantari S, Fathizad H, taghizade R. Classification of deserts in desert areas based on geomorphometric parameters Case study (Aqda, Yazd). *Quantitative geomorphology studies*. 2014; 2(4): 105-116. (In Persian).
- [17]. Kamphorst A. A. small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 1987; 35(3): 407-415.
- [18]. Kavian A, Azmodeh A, Soleimani K, Vahabzadeh Gh. Effect of soil properties on runoff and soil erosion in forest lands. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 2010; 63(1): 89-104. (In Persian).
- بستر آبراهه) برای بررسی رواناب و رسوب، استفاده شود تا امکان مقایسه و ارزیابی بیشتر آنها فراهم شود و با اجرای عملیات آبخیزداری متناسب با شرایط منطقه، شرایط جلوگیری و یا کاهش خطرهای فرسایش، کاهش هزینه و افزایش سرعت مطالعات منطقه‌ای فراهم شود. از طرفی، با توجه به تفاوت رسوب‌زایی در طول آبراهه و عدم کاربرد موفق سازه‌های یکسان، پیشنهاد می شود ویژگی‌های مسیل بررسی و طبق فرایندها سازه مناسب انتخاب شود.

منابع

- [1]. Webster R. Is soil variation random? *Geoderma*. 2000; 97(3): 149-163.
- [2]. Heitmuller F.T, Hudson P.F. Downstream trends in sediment size and composition of channel-bed, bar, and bank deposits related to hydrologic and lithologic controls in the Llano River watershed, central Texas, USA. *Geomorphology*. 2009; 112(3): 246-260.
- [3]. Pir Mohammadi Z, Chehri M, Fegghi J, Zahedi GH. Evaluation of EPM model capability to estimate erosion and sediment, way to watershed management (Case Study: Kaka Reza basin in Lorestan province). 3rd Conference of Iran Water Resources Management. Tabriz. Iran. 2008. (In Persian).
- [4]. Coppus R, Imeson A.C, Sevink J. Identification, distribution and characteristics of erosion sensitive areas in three different Central Andean ecosystems. *Catena*. 2003; 51(3): 315-328.
- [5]. Einax J.W, Soldt U. Geostatistical and multivariate statistical methods for the assessment of polluted soils- merits and limitations. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 1999; 46(1): 79-91.
- [6]. Vaezi A.R, Bahrami H.A, Sadeghi H.R, Mahdian M.H. Developing a nomograph for estimating erodibility factor of calcareous soils in North West of Iran. *Journal of Soil and Water*. 2009; 13(49): 69-79. (In Persian).
- [7]. Sarangi A, Madramootoo C.A, Enright P. Comparison of spatial variability techniques for runoff estimation from a Canadian watershed. *Biosystems engineering*. 2006; 95(2): 295-308.
- [8]. Babae A, Golmaee H, Zia Tabar Ahmadi M. KH, Ebrahimi S. Mathematical modeling of river sedimentation (Case Study: Zaram Road River). Fourth National Conference Watershed Management Sciences and Engineering, Watershed Management. March 2007- Karaj-

- [19]. Lai R, Bium W, Valentine H and Stewart BA. Methods for assessment of soil degradation. Advances in soil Sciences, CRC Press LLC. 1998.
- [20]. Barthes B, Roose E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*. 2002; 47(2): 133-149.
- [21]. Zare-Khormizi M, Najafinejad A, Noura N, Kavian A. Effects of slope and soil properties on runoff and soil loss using rainfall simulator, Chehel-Chai watershed, Golestan province. *Journal of water and soil conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)*. 2012; 19(2): 165-178. (In Persian).
- [22]. Seeger M. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*. 2007; 71(1): 56-67.
- [23]. Blott S.S, Pye K. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediment. *Earth Surface Processes Land Forms*. 2001; 10(26): 1237-1248.
- [24]. Paz-Gonzalez A, Vieira S.R, Castro M.T.T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*. 2000; 97(3): 273-292.
- [25]. Di Virgilio N, Monti A, Venturi G. Spatial variability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field crops research*. 2007; 101(2): 232-239.
- [26]. Cambardella C.A, Moorman T.B, Parkin T.B, Karlen D.L, Novak J.M, Turco R.F, Konopka A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America journal*. 1994; 58(5): 1501-1511.
- [27]. Isaaks E.H, Srivastava R.M. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York. 1989.
- [28]. Mirzaei AA, Yekani-Motlaq Y, Sabeh Gh. Specialized softwares for water engineering. First Edition, Kian Academic Publishing, Tehran, Iran. 2015. (In Persian).
- [29]. Kiani Harchegani M, Sadeghi S.H.R, Asadi H. Inter-storm variability of coefficient of variation of runoff volume and soil loss during rainfall and erosion simulation replicates, *J. Ecohydrology*. 2017; 4(1): 191-199. (In Persian).
- [30]. Kazemi Poshtmasari H, Tahmasebi Sarvestani Z, Kamkar B, Shataei Sh, Sadeghi S. Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands of Golestan. *Journal of Water and Soil Sciences*. 2012; 22(1): 201-218. (In Persian).
- [31]. Nearing MA, Govers G, Norton LD. Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America journal*. 1999; 63:1829-1835.
- [32]. Mohammadi J. Review of fundamentals of geostatistics and its application to soil science. *Journal of Soil and Water*. 2001; 15: 99-121. (In Persian).