

بررسی فرسایش پذیری خاک با استفاده از روش زمین آمار

(مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد)

سیدجواد ساداتی نژاد^۱، یعقوب یزدانی مقدم^{۲*}، مجید خزایی^۳، عباسعلی ولی^۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۴

چکیده

فرسایش خاک و مشکلات ناشی از آن به عنوان یکی از موضوعات اساسی در زمینه‌های زیست محیطی، منابع طبیعی و کشاورزی مطرح است و امروزه شناخت این موضوع و مسائل مربوط به آن، باید بیش از پیش باید مورد توجه قرار بگیرد. در این راستا، استفاده از روش‌های جدید به جای روش‌های سنتی در جهت شناخت صحیح‌تر و اعمال برنامه‌ریزی‌های مناسب‌تر ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی فرسایش‌پذیری استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، در ارتباط با برخی از خصوصیات مؤثر در فرسایش‌پذیری با استفاده از روش‌های زمین آمار است. در این مطالعه، ۴۲ نمونه خاک با پراکنش مکانی مناسب برای تعیین مقادیر شن ریز، رس، سیلت و مواد آلی، در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک برداشت شد و مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت، عامل فرسایش‌پذیری خاک به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی توزیع مکانی پارامترهای شن ریز، رس، و مواد آلی، واریوگرام با مدل نمایی و برای پارامتر سیلت، واریوگرام با مدل گوسی و برای عامل فرسایش‌پذیری خاک نیز، واریوگرام با مدل خطی، مناسب‌ترین واریوگرام‌ها بودند. نتایج حاصل از مقایسه روش‌های زمین آمار و روش‌های معین نشان داد که برای ترسیم نقشه‌های شن ریز، رس و عامل فرسایش‌پذیری، روش کریجینگ معمولی و برای تعیین نقشه مواد آلی و سیلت نیز، روش کریجینگ ساده با داشتن کمترین مقدار خطای RMSE، مناسب‌ترین روش‌ها هستند. با توجه به نقشه به دست آمده از ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)، کمترین مقدار فرسایش‌پذیری به میزان ۰/۰۸۶ در قسمت شمال شرقی تا ۰/۵۳ در قسمت جنوب غربی محدوده مطالعاتی است. همچنین نتایج همبستگی بین خصوصیات مؤثر در فرسایش‌پذیری در تطابق با عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) نشان داد که بین مواد آلی و رس با عامل فرسایش‌پذیری به ترتیب با مقادیر $P < 0/01$ ، $R^2 = -0/64$ و $P < 0/01$ ، $R^2 = -0/97$ همبستگی منفی و معنی دار و بین میزان شن ریز با مقادیر $P < 0/01$ ، $R^2 = 0/73$ همبستگی مثبتی و معنی دار وجود دارد. بین مقادیر سیلت با عامل فرسایش‌پذیری خاک $P < 0/05$ ، $R^2 = 0/28$ نیز همبستگی ضعیفی وجود دارد. نتایج همبستگی بسیار بالای مقایر رس با عامل (k) نشان می‌دهد که رس با افزایش پایداری خاکدانه‌ها نقش مهمی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک دارد و همچنین مواد آلی با افزایش پایداری خاکدانه و افزایش نفوذپذیری آب به صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش قابل توجهی در کاهش فرسایش خاک در منطقه مطالعاتی دارد.

کلمات کلیدی: زمین آمار، کریجینگ، خاک، عامل فرسایش‌پذیری، واریوگرام.

۱. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. دانش آموخته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان / Email: y.yazdani66@yahoo.com

۳. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

۴. دانشیار دانشگاه کاشان

مقدمه

همکاران، ۲۰۰۳)، از جمله ویژگی‌هایی هستند که عامل فرسایش پذیری خاک (K) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بررسی ارتباط بین فرسایش پذیری و خصوصیات مؤثر بر آن با استفاده از روش‌های مدرن‌تر، برای دستیابی به نتایج مطمئن‌تر از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا استفاده از تکنیک زمین‌آمار در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS^{۱۲}) می‌تواند مفید باشد. یکی از مزایای استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با زمین‌آمار، امکان برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی فرسایش با هزینه و دقت قابل قبول در مناطق وسیع است (میلوارد و مرسی^{۱۳}، ۱۹۹۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۳). زمین‌آمار به‌عنوان یکی از شاخه‌های آمار عملی، امکان بررسی توأم مقدار متغیر و آرایش مکانی و زمانی مشاهدات را در تحلیل داده‌ها فراهم می‌کند (گووآرت^{۱۴}، ۱۹۹۹) و می‌تواند سطحی پیوسته از خصوصیات آماری نقاط معلوم را به‌وجود آورد (دویچ^{۱۵}، ۲۰۰۲). زمین‌آمار در مدل‌سازی داده‌ها با همبستگی مکانی به‌ویژه متغیرهای خاک کاربردهای گسترده‌ای دارد (کریمی‌نظر، ۲۰۰۹).

ویلون و لورانگ^{۱۶} (۲۰۰۰)، کاربردهای GIS و زمین‌آمار را جهت برآورد فرسایش خاک و محدودیت‌های مطالعات قبلی بررسی کرده و در نهایت ثابت نمودند که سیستم اطلاعات جغرافیایی، قابلیت فوق‌العاده‌ای جهت بهبود و برآورد فرسایش خاک فراهم می‌کند. وانگ و همکاران (۲۰۰۳)، از داده‌های زمینی و تصاویر لندست و نقشه DEM جهت پیش‌بینی فرسایش خاک از طریق روش‌های زمین‌آمار اقدام کردند، نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که نتایج حاصل از روش‌های زمین‌آمار، دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی دارد.

واعظی و همکاران (۲۰۱۰)، طی تحقیقی در بخشی از خاک‌های نواحی نیمه‌خشک شمال غربی ایران، به بررسی عامل فرسایش پذیری خاک در ارتباط با برخی از ویژگی‌های خاک از جمله شن درشت، رس، ماده‌آلی، آهک، پایداری

فرسایش^۱ خاک مسئله‌ای بسیار مهم در اغلب کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه و با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. هدررفت خاک، کاهش سطح اراضی زراعی و تولیدات کشاورزی، پر شدن مخازن سدها، تخریب جنگل و مرتع و مهاجرت روستائیان از جمله تبعات آن است (کرم، ۲۰۱۰). درک فرایندهای فرسایش، تعیین میزان و مدل‌سازی آن از الزامات مدیریت حوزه‌های آبخیز است (صادقی و همکاران، ۲۰۰۸). با وجود این، تخمین فرسایش پذیری خاک از تیپ‌های خاک به‌علت اینکه طبقه‌بندی‌های خاک براساس فاکتورهای دخیل در فاکتور فرسایش پذیری استوار نیستند، کاری مشکل و با عدم قطعیت محسوب می‌شود. (پاریسو^۲ و همکاران، ۲۰۰۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۱) فاکتور فرسایش پذیری خاک علاوه بر تغییرپذیری زمانی به‌دلیل خصوصیات مکانی خاک، دارای تغییرات مکانی متغیری است (بارو^۳، ۱۹۹۱؛ وانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۱). تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک، نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت خاک است. متغیرهای مهم دخیل در عامل فرسایش پذیری خاک عبارت از بافت، مقدار مواد آلی، اندازه و ثبات ساختمان در لایه سطحی، نفوذپذیری خاک لایه زیرسطحی و عمق لایه محدودکننده است (ویشمایر و مانرینگ^۵، ۱۹۶۹). پایداری خاکدانه و نفوذپذیری خاک، از ویژگی‌های مهم مؤثر بر فرسایش پذیری خاک هستند که تحت تأثیر ماده‌آلی و آهک بافت خاک قرار می‌گیرند (هویوس^۶، ۲۰۰۵).

همچنین تحقیقات محققان دیگری در سطح جهان نشان داده است که ماده‌آلی (رودریگز و همکاران^۷، ۲۰۰۶) و آهک (چارمن و مورفی^۸، ۲۰۰۰؛ دایکر^۹ و همکاران، ۲۰۰۱)، در کنار کنار ذرات معدنی (میلر و گاردینر^{۱۰}، ۱۹۹۸؛ ساتوس^{۱۱} و

1. Erosion
2. Parysow
3. Burrough
4. Wang
5. Wischmeier and Mannering
6. Hoyos
7. Rodriguez
8. Charman & Murphy
9. Duiker
10. Miller and Gardiner

11. Santos

12. Geographical information system

13. Millward and Mersey

14. Goovaert

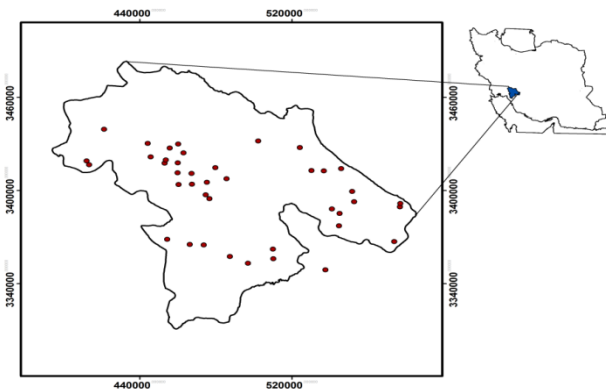
15. Deutsch

16. Wilson and Lorang

مسائل مربوط به فرسایش و رسوب و تأثیر مخرب آن‌ها بر منابع زیست‌محیطی و کشاورزی همواره از چالش‌های پیش روی مرتبط با این بخش است، بنابراین نیاز است برای ارائه نتایج مطلوب‌تر و اعمال برنامه‌ریزی‌های مناسب‌تر، مطالعات مربوط به این بخش با دقت بیشتری صورت بگیرد. لذا هدف از انجام این پژوهش، بررسی فرسایش‌پذیری خاک برحسب عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در استان کهگیلویه و بویراحمد است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در استان کهگیلویه و بویراحمد و در گستره جغرافیایی $29^{\circ} 48' 45''$ تا $31^{\circ} 26' 38''$ عرض شمالی و $49^{\circ} 53' 26''$ تا $51^{\circ} 53' 16''$ طول شرقی واقع شده است. سیمای طبیعی منطقه مطالعاتی به دلیل تغییرات شدید توپوگرافی و وجود دو رشته ارتفاعات موازی هم‌دیگر که دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی بوده، از تنوع و گوناگونی بسیاری برخوردار است. اقلیم این استان به‌طور کلی با اقلیم نیمه‌خشک و سرد بیان می‌شود.



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

روش انجام کار

در این پژوهش، عکس‌های هوایی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه عوارض طبیعی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. ضمن بازدید از منطقه و انجام مطالعات صحرایی، واحدهای خاک، طبقه‌بندی اراضی و فیزیوگرافی تفکیک گردیدند و آنگاه نقشه خاک دشت با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و نقشه طبقه‌بندی اراضی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه و روی نقشه، سری‌های خاک مشخص شدند و با توجه به پروفیل‌های شاهد و موقعیت آن‌ها و با

خاکدانه و نفوذپذیری خاک پرداختند. نتایج نشان داد که شن درشت، رس، ماده آلی، آهک، پایداری خاکدانه و نفوذپذیری خاک، همبستگی منفی معنی‌دار و شن بسیار ریز و سیلت، همبستگی مثبت معنی‌دار با عامل فرسایش‌پذیری خاک دارند. جعفری و همکاران (۲۰۰۸)، طی تحقیقی در شهرستان سوادکوه در استان مازندران با مقایسه دو روش کریجینگ و کوکریجینگ به بررسی برخی از خصوصیات خاک پرداختند. در نهایت ارزیابی نتایج مقایسه روش‌های زمین‌آمار با توجه به دو عامل $RMSE^1$ و R بین مقادیر تخمینی و مقادیر مشاهده‌ای، نشان‌دهنده دقت قابل قبول تخمین‌گر کوکریجینگ در بررسی خصوصیات خاک بود.

حسینعلی‌زاده و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی با مقایسه روش‌های زمین‌آمار، مرسوم و روش مورگان فینی توانست نقشه فرسایش‌پذیری را در حوزه آبخیز مهر سبزوار تعیین کند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، متوسط این فاکتور در محدوده مورد مطالعه به سه روش زمین‌آمار، مرسوم و مورگان - فینی به ترتیب $0/5$ ، $0/62$ و $0/4$ برآورد شد. دو روش مرسوم و مورگان فینی به ترتیب ۱۳ و ۳ مقدار عددی (K) را به خود اختصاص داده، در صورتی که در زمین‌آمار مقادیر به‌صورت توزیعی بوده و ۷۴ درصد مقدار عددی را به خود اختصاص داده است.

زمانی و همکاران (۲۰۰۷)، با بررسی تغییرات مکانی برخی از خصوصیات خاک در اراضی کشاورزی سرخان کلاته استان گلستان به کمک روش‌های زمین‌آمار اعلام داشتند که استفاده از آنالیز واریوگرامی و روش کریجینگ می‌تواند به‌عنوان ابزارهای قدرتمند در ارائه استراتژی‌های نمونه‌برداری خاک مورد استفاده قرار گیرد.

رودریگز^۲ و همکاران (۲۰۰۷)، در تحقیقی در جنوب مادرید اسپانیا به کمک روش‌های زمین‌آمار اقدام به بررسی تغییرات مکانی پارامترهای شاخص فرسایش‌پذیری خاک کردند و در نهایت با توجه به روش کریجینگ که به‌عنوان روش مناسب انتخاب شده بود، نقشه فرسایش‌پذیری منطقه مورد مطالعه را ارائه نمودند.

1. Root mean square error
2. Rodriguez

استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و در مواردی با استفاده از GPS^۱، مختصات پروفیل‌های شاهد سری خاک برآورد شد و بعضی از خصوصیات مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک شامل درصد مواد آلی، بافت خاک، نفوذپذیری، درصد شن‌ریز و درصد شن درشت با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری و مشخص شدند.

نمونه‌برداری خاک برای تعیین توزیع اندازه ذرات و اندازه‌گیری مواد آلی، در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح زمین صورت گرفت. برای تعیین درجه خاک، ساختمان سطحی خاک به‌عنوان یک عامل مؤثر در فرسایش‌پذیری مورد بررسی قرار گرفت و براساس راهنمای ویشمایر و براساس نوع ساختمان خاک، درجه خاک تعیین شد. تعیین بافت خاک و توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (کلات^۲، ۱۹۸۶) صورت گرفت. کلاس نفوذپذیری به‌صورت غیرمستقیم و مطابق جدول تعیین کلاس نفوذ با استفاده از روش SCS^۳ تعیین گردید و برای تعیین مقدار شن‌ریز از روش الک^۴ تر استفاده شد. به‌منظور تعیین میزان مواد آلی نیز از روش والکلی بلاک (نلسون و سامر، ۱۹۸۲) استفاده شد. عامل K مطابق با رابطه (۱) محاسبه می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱).

SPSS^{۱۸} مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه نتایج آماری مربوط به عوامل انتخابی مؤثر در K و عامل فرسایش‌پذیری خاک مطابق در جدول (۱) نشان داده شده است، سپس به‌منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، نیم متغیرنمای داده‌ها به‌گونه‌ای جداگانه در محیط نرم‌افزاری GS⁺ ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت با توجه به معیار RMSE (ریشه دوم میانگین مربع خطا)، مناسب‌ترین روش برای ترسیم نقشه‌های مؤثر بر عامل فرسایش‌پذیری و عامل فرسایش‌پذیری (K) در محدوده مورد مطالعه و در نرم‌افزار Arc GIS^{۱۰} به‌دست آمد. برای بررسی همبستگی بین عامل فرسایش‌پذیری خاک و عوامل مؤثر بر آن نیز از آزمون آماری همبستگی پیرسون (pearson) در نرم‌افزار SPSS^{۱۸} استفاده شد.

جدول (۱): خصوصیات آماری عامل K و عوامل مؤثر بر آن

واحد	تعداد داده‌ها	مینیمم	ماکزیمم	میانگین
شن‌ریز %	۴۱	۹	۴۲	۲۴/۸۲
سیلت %	۴۱	۳۰	۵۸	۴۲/۵۱
رس %	۴۱	۱۸	۵۵	۳۲/۶۳
مواد آلی %	۴۱	۰/۶۷	۶/۲۲	۲/۲۱
ضریب K	۴۱	۰/۰۸۶	۰/۵۳	۰/۳۲۰

روش‌های زمین‌آماري

آنالیزهای زمین‌آماري به‌دنبال راهی برای توصیف پیوستگی مکانی و همچنین جمع‌آوری ابزارهای آماری و قطعی و مدل نمودن این دسته از تغییرات هستند. فرض اساسی این آنالیز، شباهت اشیاء نزدیک به هم است. شایان ذکر است که امکان دستیابی به نتایج صحیح و کارا از طریق این نوع آنالیزها، زمانی حاصل می‌شود که داده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و حتی المقدور ثابت بوده و میانگین و واریانس آن‌ها در فضا متغیر نباشد (بولینگ^۵، ۲۰۰۵؛ عمادی، ۲۰۰۸)، روش‌های مورد بررسی در این پژوهش، شامل روش‌های زمین‌آماري، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ شاخص و روش‌های معین روش‌های شعاعی^۴ (RBF) که شامل روش‌های TPS^۶، multiquadric invers multiquadric.

$$K = \frac{2.1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)}{7.59 \times 100} \quad (1)$$

در این رابطه، هر کدام از پارامترها عبارت‌اند از: (K): ضریب فرسایش‌پذیری خاک، OM: مواد آلی خاک، P: کلاس نفوذپذیری، M: (درصد سیلت + درصد شن بسیار ریز (درصد رس ۰-۱۰۰) و S: کد ساختمان خاک. در نهایت با به‌دست‌آمدن پارامترهای ذکر شده در فرمول و جایگذاری آن‌ها در رابطه K، میزان فرسایش‌پذیری بر مبنای ضریب K تعیین شد. در این پژوهش، به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر در برآورد K، نرمال بودن داده‌های مربوط به مواد آلی، درصد سیلت، درصد شن‌ریز و رس و سپس میزان K با استفاده از آزمون آماری کلموگروف - اسمیرنوف^۴ در نرم‌افزار

1. Global positioning system
2. Klute
3. Soil Conservation Service
4. Kolmogorov smirnov

5. Bohling
6. thin plate spline

استفاده کرد. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگ تر دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده تر دارد (حسنی پاک، ۲۰۰۷).

spline with tention و روش های GPI^1 ، LPI^2 و IDW^3 با توان های ۱، ۲ و ۳ استفاده شده است.

ویژگی های متغیرنمای

نیم تغییرنما، ابزاری بسیار سودمند برای تشخیص ناهمگنی است که موجب بروز همسانگردی می شود و اساسی ترین ابزار در زمین آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می رود. نیم تغییرنما، کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آن ها نشان می دهد.

فرم محاسباتی یک نیم تغییرنما به صورت رابطه (۲) است (معروفی و همکاران، ۲۰۰۹).

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

در این رابطه، هر کدام از پارامترها عبارتند از:

$N(h)$: تعداد جفت نمونه های به کاررفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر. $Z(x_i+h)$: مقدار مشاهده شده آن متغیر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد و $\gamma(h)$ نیم تغییرنما است. هدف اصلی از محاسبه متغیر نیم تغییرنما این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت. برای این منظور لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند، محاسبه و در مقابل h رسم شود (حسنی پاک، ۲۰۰۷). هر تغییرنما دارای چند عامل مهم است که در زیر به آن پرداخته شده است:

دامنه تأثیر^۴

فاصله ای که در آن متغیرنما به حد ثابتی می رسد و به حالت خط افقی نزدیک می شود، دامنه یا شعاع تأثیر (R) نامیده می شود. این دامنه، محدوده ای را مشخص می کند که می توان از داده های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول

سقف یا آستانه متغیرنمای^۵

به مقدار ثابتی که متغیرنمای در دامنه تأثیر به آن می رسد، آستانه گفته می شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل تمام نمونه های است که در محاسبه تغییرنما به کار رفته اند. در روش کریجینگ، متغیرنمایی هایی که به سقف مشخص می رسند، اهمیتی بیشتر دارند. در مواردی متغیرنمایی هایی به دست می آیند که در محدوده فواصل مورد نظر، تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابتی ندارند. این متغیرنماها می توانند نشان دهنده وجود روند در داده ها یا عدم ایستایی داده ها باشند (حسنی پاک، ۲۰۰۷).

اثر قطعه ای^۶

مقدار متغیرنمای در مبدأ مختصات، یعنی به ازای $h=0$ اثر قطعه ای ($C0$) نامیده می شود. در حالت بهینه $C0$ برابر صفر است، اما بیشتر مواقع بزرگ تر از صفر است. در این حالت، جزء تصادفی یا غیر ساختاردار متغیر ظاهر می شود (حسنی پاک، ۲۰۰۷).

ارزیابی صحت

به منظور مقایسه روش های استفاده شده در این پژوهش و انتخاب مناسب ترین روش زمین آمار، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل^۷ استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می شود. این کار برای همه نقاط مشاهده ای تکرار می شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده ای، برآورد وجود خواهد داشت. همچنین با استفاده از مدل های به دست آمده در تعدادی از نقاطی که اندازه گیری وجود داشت، مقادیر تخمینی محاسبه شد. معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارایی روش های میان یابی وجود دارد. در این تحقیق با استفاده از روش ریشه دوم میانگین مربع خطا (یا رابطه ۳) مناسب ترین روش ها جهت ترسیم پهنه های مورد نظر انتخاب شدند. نحوه

1. Global polynomial interpolation
2. Local polynomial interpolation
3. Inverse distance weighting
4. Range of Influence

5. Sill
6. Nugget Effect
7. Cross validation

محاسبه آن به صورت زیر است.

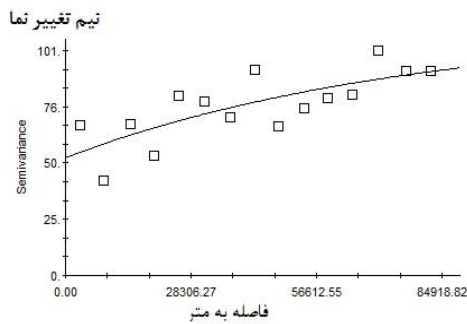
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [ZMi - zei]^2}{n}} \quad (۳)$$

در این رابطه، هر کدام از پارامترها عبارتند از:

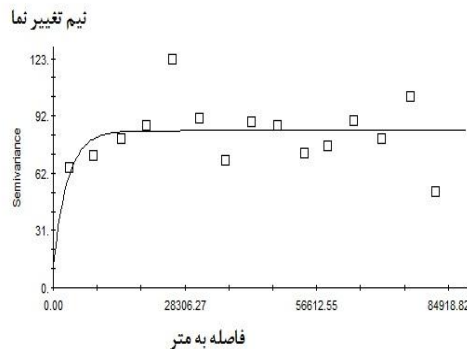
n تعداد نقاط مطالعاتی، Zei مقدار برآوردی برای نقطه i ،

Zmi مقدار مشاهده‌ای برای نقطه و \bar{Zmi} میانگین مقادیر

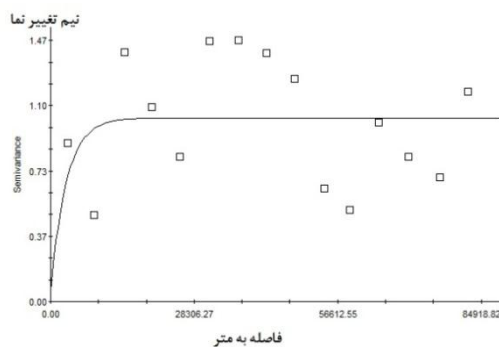
مشاهده‌ای برای نقطه i ام است.



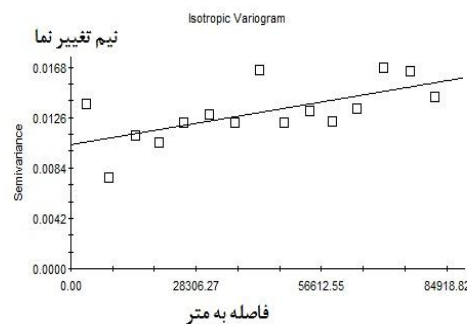
شکل (۳): واریوگرام تجربی برای مقادیر رس



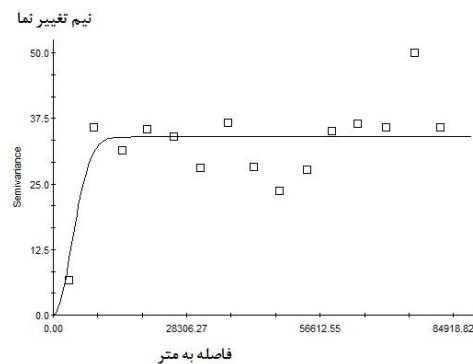
شکل (۴): واریوگرام تجربی برای مقادیر شن ریز



شکل (۵): واریوگرام تجربی برای مقادیر مواد آلی



شکل (۶): واریوگرام تجربی برای مقادیر فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)



شکل (۷): واریوگرام تجربی برای مقادیر سیلت (silt)

نتایج

با توجه به آزمون نرمالیت داده‌ها با روش کلموگروف - اسمیرنوف مقادیر (p-value) برای مقادیر شن ریز، سیلت، رس، مواد آلی و میزان k به ترتیب برابر با $۰/۸۲$ ، $۰/۹۳$ ، $۰/۲۹$ ، $۰/۳۵$ و $۰/۶۲$ برآورد شد، اعداد حاصل بیشتر از $۰/۰۵$ است، بنابراین نرمالیت تمام پارامترهای مورد بررسی قابل قبول است. پس از تعیین نرمالیت داده‌ها اقدام به برازش واریوگرام مناسب جهت تحلیل ساختار مکانی داده‌ها و تعیین مشخصات واریوگرام‌های ترسیم شده با استفاده از نرم‌افزار GS^+ گردید. متغیرنماهای برازش شده مربوط به شن ریز، سیلت، رس، مواد آلی و میزان k به ترتیب مطابق با شکل‌های (۲)، (۳)، (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است. در جدول (۲)، مشخصات واریوگرام‌های مناسب برازش داده شده بر داده‌های مورد بررسی نشان داده شده است. همچنین در این جدول، بررسی ساختار مکانی براساس معیار $C/C+C0$ انجام گرفته است. در صورتی که این مقدار بیش از $۰/۵$ باشد، ساختار مکانی داده‌ها خوب و در حالت کمتر از $۰/۵$ ، ساختار مکانی ضعیف است.

جدول (۲): مشخصات واریوگرام مناسب برازش داده شده برای متغیرهای مورد مطالعه						
برازش مناسب	دامنه تأثیر	C0 (اثر قطعه‌ای)	C+C0 (اثر آستانه‌ای)	C/C+C0	RSS	
گوسی	۹۵۲۶	۱۰	۳۳/۹۸	۰/۷۰	۵۴۰	سیلت (%)
نمایی	۹۳۰۰	۱۱/۵۰	۸۴/۳۰۰	۰/۸۶	۳۶۲۱	شن ریز (%)
نمایی	۷۸۶۰۰	۴۹	۱۱۲/۲۰۰	۰/۵۶	۱۴۳۷	ماده آلی (%)
نمایی	۹۳۰۰	۰/۰۵۶	۱/۰۳۲	۰/۹۴	۱/۶۲	رس (%)
خطی	۵۶۲۳۴	۰/۰۶۱	۰/۱۵۴	۰/۶۰	۴۸۴۹	ضریب K

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۲)، میزان C/C+C0 برای تمام معیارهای مورد بررسی بیشتر از ۰/۵ به دست آمد. مدل نمایی بهترین واریوگرام برای آنالیز مکانی شن ریز، ماده آلی و رس انتخاب گردید و به منظور بررسی سیلت و فاکتور فرسایش پذیری خاک نیز به ترتیب از مدل گوسی و مدل خطی استفاده شد. دامنه اثر نیز برای پارامتر

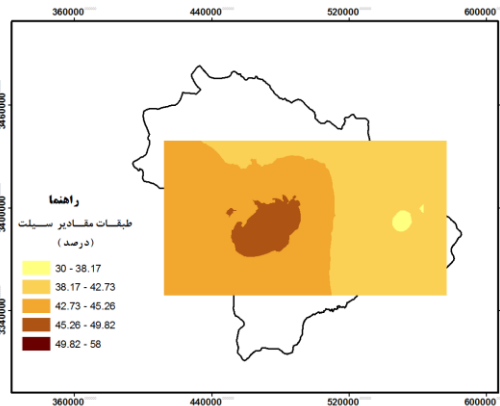
جدول (۳): نتایج ارزیابی روش های مورد بررسی با استفاده از معیار RMSE					
عامل فرسایش پذیری (K)	ماده آلی	رس	سیلت	شن ریز	
۰/۱۱۰	۱/۱۴	۷/۹۷	۵/۶۸	۸/۹۴	IDW1
۰/۱۱۵	۱/۲۱	۷/۹۴	۶/۰۵	۸/۷۸	IDW2
۰/۱۲۰	۱/۲۵	۸/۱۵	۶/۵	۸/۹۸	IDW3
۰/۱۱۱	۱/۶۷	۹/۵۹	۸/۷۱	۱۱/۱۶	(thin plate spline) RBF
۰/۱۱۱	۱/۰۹	۷/۹۸	۵/۶۱	۸/۸۳	(invers multiquadric) RBF
۰/۱۱۹	۱/۳۱	۷/۹۳	۶/۷۵	۸/۸۰	(multiquadric) RBF
۰/۱۵۹	۱/۱۶	۷/۸۰	۵/۷۶	۸/۶۱	(spline with tention)RBF
۰/۱۰۹	۱/۱	۷/۷۷	۵/۴۸	۸/۳۴	کریجینگ معمولی
۰/۱۱۰	۱/۰۴	۸/۱۳	۵/۴۹	۸/۷۸	کریجینگ جهانی
۰/۱۱۰	۱/۰۲	۸/۱۳	۵/۴۷	۸/۵۳	کریجینگ ساده
۰/۱۱۱	۱/۰۹	۸/۲۵	۵/۵۷	۹/۴۶	GPI ¹
۰/۱۱۲	۱/۱	۸/۲۷	۵/۷۸	۹/۵۲	GPI ²
۰/۱۱۳	۱/۳۱	۹/۳۲	۶/۳۱	۱۰/۷۲	GPI ³
۰/۱۱۲	۱/۲۹	۷/۹۱	۵/۷۸	۸/۴	LPI ¹
۰/۱۶۲	۲/۹۳	۱۱/۳۱	۲۰/۲۷	۲۰/۶۷	LPI ²
۱/۶۴	۱۲/۹۳	۱۰۲/۹	۵۷/۱۴	۱۱۸/۳	LPI ³

در نهایت براساس نتایج جدول (۳) برای ترسیم نقشه میزان ۵/۴۷ به عنوان مناسب ترین روش انتخاب گردید (شکل ۸). برای ترسیم نقشه رس (شکل ۹) و مواد آلی (شکل ۱۰) نیز به ترتیب روش کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده با کمترین خطا به میزان ۷/۷۷، ۱/۰۲ انتخاب شدند. همچنین

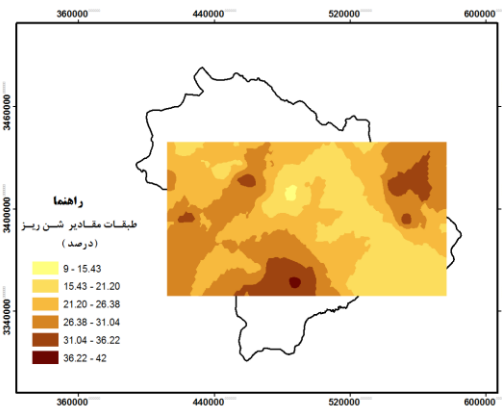
در نهایت براساس نتایج جدول (۳) برای ترسیم نقشه شن ریز، روش کریجینگ معمولی با کمترین خطای RMSE به میزان ۸/۳۴ مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۷). به منظور ترسیم نقشه سیلت، روش کریجینگ ساده با حداقل میزان خطا

مقایسه تمام روش‌ها، روش کریجینگ معمولی برای ترسیم نقشه فرسایش پذیری خاک مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۱۱)، نقشه نهایی فرسایش پذیری خاک نشان داده شده است.

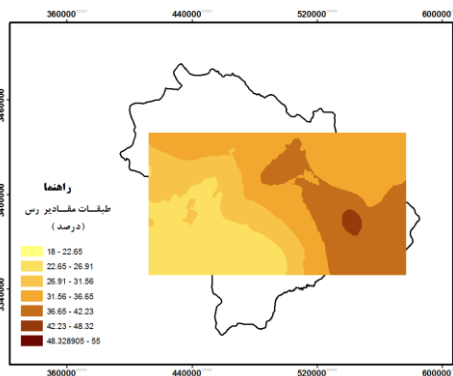
به منظور ترسیم نقشه فرسایش پذیری از بین روش‌های زمین آماری، روش کریجینگ معمولی با مقدار RMSE کمتر و از بین روش‌های معین نیز، روش RBF با الگوریتم (thin plate spline) به عنوان بهترین روش شناخته شد. در نهایت با



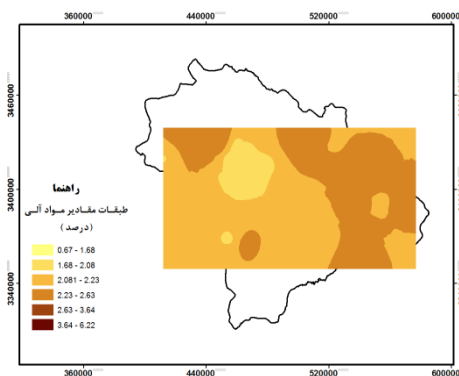
شکل (۸): نقشه تغییرات سیلت



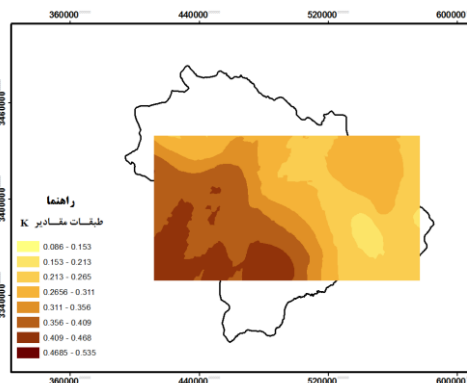
شکل (۷): نقشه تغییرات شن ریز



شکل (۱۰): نقشه تغییرات مقادیر رس



شکل (۹): نقشه تغییرات مواد آلی



شکل (۱۱): نقشه فرسایش پذیری منطقه مورد مطالعه برحسب عامل فرسایش پذیری (K)

میزان ۰/۰۸۶ در قسمت شمال شرقی تا ۰/۵۳ در قسمت جنوب غربی محدوده مطالعاتی است. نتایج همبستگی برای

با توجه به نتایج به دست آمده در نقشه عامل فرسایش پذیری خاک (K)، کمترین مقدار فرسایش پذیری به

همکاران (۲۰۰۳) که روش کریجینگ را در تهیه نقشه خصوصیات خاک مناسب دانستند، مطابقت دارد. همچنین در این پژوهش، مناسبترین واریوگرامها برای بررسی توزیع مکانی پارامترهای شن ریز، رس، مواد آلی و عامل فرسایش پذیری واریوگرام با مدل نمایی و برای پارامتر سیلت، واریوگرام با مدل گوسی مناسبترین واریوگرام شناخته شد. دامنه تأثیر مطابق نتایج جدول (۲) برای عامل فرسایش پذیری خاک برابر با ۵۶/۲۳ کیلومتر است که با توجه به پراکنش نقاط نمونه برداری و مدل برازش شده، نقشه نهایی فرسایش پذیری دارای صحت بالایی است. با توجه به اصول زمین آمار، متغیری که دارای همبستگی مکانی مناسب و واریانس تخمینی کمتری باشد، برای تخمین نیاز به نمونه برداری کمتری دارد، از این رو هزینه نمونه برداری نیز کمتر خواهد بود (زهتاییان، ۲۰۱۰). بنابراین نسبت اثر قطعه‌ای به اثر آستانه برای مقادیر شن ریز، سیلت، رس، مواد آلی و فاکتور فرسایش پذیری به ترتیب برابر ۰/۲۹، ۰/۱۳، ۰/۴۳، ۰/۰۵ و ۰/۳۹ است. همه اعداد به دست آمده، اعداد کمی هستند که نشان دهنده توزیع مکانی خوب داده هاست. بررسی نتایج به دست آمده با استفاده از معیار C/C+C0 در جدول (۲) نیز نشان داد که همگی اعداد به دست آمده برحسب این معیار برای پارامترهای مورد بررسی، بیشتر از ۰/۵ هستند که نشان دهنده توزیع مکانی خوب داده‌های ۴۱ نمونه مورد بررسی است و نتایج حاصل از نسبت اثر قطعه‌ای به اثر آستانه را تأیید می‌کند. همچنین به طور کلی، با توجه به نقشه فرسایش پذیری برحسب عامل K میزان فرسایش پذیری از سمت جنوب غرب به سمت شمال شرق محدوده مورد بررسی کاهش می‌یابد که با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، علت کاهش فرسایش پذیری در این مناطق وجود تراکم مناسب پوشش گیاهی، مواد آلی بیشتر، و میزان تخلخل مناسب خاک و دانه بندی مناسب خاکدانه‌های خاک و نحوه نفوذ پذیری آب در خاک در قسمت‌های شمالی تر محدوده مطالعاتی است. همچنین نتایج بررسی ضریب همبستگی بین پارامترهای سیلت، رس، شن ریز و مواد آلی و میزان نقش آنها در فرسایش پذیری خاک که از پارامترهای مستقل تأثیرگذار در نفوذ پذیری و پایداری خاکدانه‌های خاک هستند، نیز نشان داد

بررسی میزان تأثیرگذاری عوامل مؤثر در فرسایش پذیری با عامل فرسایش پذیری خاک در تطابق با نقشه‌های به دست آمده از هر پارامتر در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): همبستگی بین خصوصیات خاک مورد بررسی و عامل K

معیار	سطح معنی داری	R
شن ریز (%)	۰/۰۱	۰/۷۳
سیلت (%)	۰/۰۵	۰/۲۸
رس (%)	۰/۰۱	-۰/۹۷
مواد آلی (%)	۰/۰۱	-۰/۶۴

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۴)، رابطه همبستگی بین شن ریز و سیلت با عامل (K)، مثبت و رابطه همبستگی بین رس و مواد آلی با عامل فرسایش پذیری خاک، منفی است. مطابق نتایج به دست آمده همبستگی ضعیفی بین مقادیر سیلت و فرسایش پذیری خاک مشاهده می‌شود. ضریب همبستگی بین رس و عامل فرسایش پذیری همبستگی بسیار بالا و معنی داری $(R^2 = -۰/۹۷)$ را در کاهش فرسایش پذیری خاک نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه گیری

به کارگیری روش‌های جدید و دقیق در برآورد میزان فرسایش پذیری، یکی از عوامل مهم در تعیین دقیق مناطق حساس و بحرانی فرسایش است. در این راستا می‌توان از تکنیک‌های GIS و زمین آمار بهره فراوانی برد، در این پژوهش نیز تلاش شد با به کارگیری این تکنیک‌ها، ارزیابی مناسبی از میزان فرسایش پذیری در منطقه مورد مطالعه با استفاده از عامل فرسایش پذیری (K) به عمل آید. با توجه به نتایج به دست آمده از مقایسه روش‌های زمین آمار و روش‌های معین در این تحقیق، برای ترسیم نقشه شن ریز، رس و عامل فرسایش پذیری، روش کریجینگ معمولی با کمترین میزان خطا به دست آمد و جهت تعیین نقشه مواد آلی و سیلت نیز روش کریجینگ ساده با کمترین مقدار خطا به عنوان بهترین روش انتخاب گردید، این نتایج با نتایج تحقیقات جیاچون^۱ و همکاران (۲۰۰۷)، ژونال^۲ و همکاران (۲۰۰۷) و کارلوس^۳ و

1. Jiachun
2. Joanna
3. Carlos

همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. رس با وجود افزایش معنی دار پایداری خاکدانه به دلیل کاهش نفوذپذیری موجب کاهش فرسایش پذیری خاک می شود. رابطه مقادیر شن ریز و عامل K (با مقدار $P < 0/01$, $R^2 = 0/73$) نیز رابطه مثبت و معنی داری است که این یافته با نتایج سانتز و همکاران (۲۰۰۳) و نیز واعظی و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد. میزان سیلت نیز با عامل K (با مقدار $P < 0/05$, $R^2 = 0/28$) همبستگی مثبتی و ضعیفی وجود دارد، ولی اثر آن بر افزایش فرسایش پذیری با نتایج واعظی و همکاران (۲۰۱۰) و نیز قاسمی و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد.

که بین مواد آلی و عامل فرسایش پذیری (با مقدار $P < 0/01$, $R^2 = -0/64$) همبستگی منفی و معنی دار وجود دارد. لذا نقش ماده آلی در کاهش فرسایش پذیری به دلیل بهبود پایداری خاک دانه ها و نفوذپذیری خاک می تواند حائز اهمیت باشد. نتیجه به دست آمده در این بخش، با نتایج رودریگز و همکاران (۲۰۰۶)، قادری و قدوسی (۲۰۰۵) و نیز چاب^۱ و همکاران (۱۹۸۱) همخوانی دارد. همچنین بین میزان رس و عامل فرسایش پذیری خاک (با مقدار $P < 0/01$, $R^2 = -0/97$) نیز همبستگی منفی و بالای معنی داری وجود دارد که این نتیجه با نتیجه تحقیقات چارمان و مورفی (۲۰۰۰) و نیز زانک^۲ و

مراجع

- Bohling, G., 2005; Introduction to GeoStatistics and Variogram Analysis, Assistant Scientist Kansas Geological Survey.
- Burrough, P.A. 1991. Sampling designs for quantifying map unit composition. In: Mausbach, M. j. and Wilding, L. P. (Eds), spatial variability of soils and landforms, Soil Science Society American Journal, 28. 89-125.
- Carlos, C. C., Keith, P., Martial, B. and Jerry, M. M. 2003. Combining Soil C and N Spatial Variability and Modeling Approaches for Measuring and Monitoring Soil Carbon Sequestration. Environmental Management 33: 274-288.
- Charman, P.E.V. and Murphy, B.W. 2000. Soils (their properties and management). Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford, Pp: 206-212.
- Deutsch, C. V. 2002. Geostatistical reservoir modeling. Oxford University Press, 376 pp.
- Duiker, S.W., Flanagan, D.C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. Catena, 45: 103-121.
- Emadi, M. Baghernejad, M. Emadi, M. and Maftoun, M. 2008. Assessment of some soil properties by spatial variability in saline and sodic soils in Arsanjan plain, southern Iran. Pakistan Journal of Biological Sciences 11 (2): 238-243.
- Ghaderi, M., and ghodoosi, G., 2005. Evaluation of soil erodibility in land units in Talvarchay watershed. Proceedings of the Third National Conference of erosion and deposition, pp 367 to 372, the Soil Conservation and Watershed Management, Tehran
- Ghasemi, A., and Mohammadi, j., 2003. Evaluation of soil erodibility spatial change, Case Study, choghakhor Watershed in the province of Chaharmahal and Bakhtiari. Proceedings of the Eighth Congress of Soil Science, second Volume, University of Guilan, pp 846 to 865.
- Goovaert, P. 1999. Geostatistic in soil science: State of the art and perspective, Geoderma. 38:45-93.
- Hassani pak, A., 2007. Geostatistical, Tehran University Press. Third edition
- Hosseinsalizadeh, M., Ayoubi, Sh., and Ownagh, M., 2008. Comparison of geostatistical methods, conventional and Morgan- Finney in estimating of soil erosion (Case study Mehrsabzewan watershed), Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, fifteenth Volume NO 1.
- Hoyos, N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena, 63: 85-108.
- Jafari, M., MohammadAsmari, H., moazzami, M., biniazand, M., Tahmoores, M., 2008. study of spatial distribution of soil properties using geostatistical methods, Journal of research and development in agriculture and horticulture, No.80. pp.177 to 185.
- Jiachun, Sh., Haizhen, W., Jianming, X., Jianjun, W., Xingmei, L., Haiping, Z., and Chunlan, Yu,

2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China, *Environ Geol.* Vol. (52):1-10.
16. Joanna, M. B., Tim, P., Cindy, H. N., Jayson, D. W. and Allan, K. 2006. Bacterial Activity, Community Structure, and Centimeter-Scale Spatial Heterogeneity in Contaminated Soil. *Microbial Ecology* 51: 220–231.
17. karam, A. Safarian, A., and hoje foroshnia, SH., 2010. Estimation of soil erosion in the watershed zoning Mamlou (zaragh Tehran) using methods modified universal equation of soil erosion and the analytic hierarchy process, the researcher-knowledge earth, The first year, No. 2, pp. 73 to 86.
18. Kariminazar, M., Fakhire A., fayznia, s., rashki, S.A., Mirsolyman, S, J., 2009. Evaluation of methods for estimating the speed of wind erosion in plain sistán, *Journal of iran Natural Resources*, 62 (3): 405–417.
19. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis part I. Physical and mineralogical methods. 2nd Ed. Soil Science Society of America. 1188 p.
20. Maroofi, S., Torabian A., and Zare Abyaneh, H., 2009. Evaluation of Geostatistical methods for estimating electrical conductivity and PH of river water in Hamedan plain, spring, *Journal of soil and water conservation*, Vol. sixteenth, No. II, pp. 169-187.
21. Miller, R.W. and Gardiner, D.T. 1998. Soils in our environment. 8th edition, Prentice-Hall Inc. United State of America, Pp: 75-81.
22. Millward, A.A., and Mersey, J.E. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 3: 109-129.
23. Nelson, D.W. and Sommer, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd ed. ASA Monogr. Amer. Soc. Agron. Madison, 9: 2. 539-579.
24. Parysow, P., Wang, G., Gertner, G., and Anderson, A.B. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation, *Catena* 736:1-14.
25. Rodriguez, R., Marques, P. M, and Bienes, R .2007. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Science of the Total Environment*, 378: 166–173.
26. Rodriguez, R.R., Arbelo, C.D., Guerra, J.A., Natario, M.J.S. and Armas, C.M. 2006. Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena*, 66: 228-235.
27. Sadeghi, S.H.R., Kianei-e-Harchegani, M., Saeedi, P. and Allafibadi, M. 2008. Assessing capability of RUSLE in estimation of storm's sediment. *Proceedings of the Forth Sciences and Watershed Management Engineering Conference of Iran*. Karaj, Iran, Pp: 122-123.
28. Santos, F. L., Reis, J. L. Martins, O. C. Castanheria N. L., and Serralherio, R. P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering*, 86(3),355-364.
29. Schwab, G. O., Frevert, R. K., Edminster T. W., and Barnes, K. K. 1981. *Soil and water conservation engineering*. Third edition, John Willey and Sons, New York, pp 100-103.
30. Vaezi, A., Bahrami, H., Sadeghi, S, H, R., and Mahdian M, H, . 2010. Estimated erodibility factor (k) using RUSLE model in part of semiarid soils in northwestern Iran, *Journal of Conservation researcher Water and Soil*, Volume 17, No. 3, pp 125 to 124.
31. Vaezi, A., Bahrami, H., Sadeghi, S, H, R., and Mahdian M, H., 2008. determining estimation error of USLE erodibility factor the in calcareous soils in northwest Iran, *Journal of water and soil (Science and Agricultural Technology)*, Volume 22, Number 2, Page 62 to 71.
32. Wang, G., Gertner, G., Fang, S., and Anderson, AB. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69: 889-898.
33. Wang, G., Gertner, G.Z., Liu, X., and Anderson, A.B. 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil losses equation, *Catena* 46:1-14.
34. Wischmeier, W.H., and Mannering, J.V. 1969. Relation of Soil Properties to its Erodibility, *Soil Sci. Am. Proc.* 33: 131-136.
35. Wilson, J.P., and Lorang, M.S. 2000. Spatial models of soil erosion and GIS. In *spatial models and GIS*. New potential and new models, Fotheringham AS, Wegener, M. (eds). Taylor and Francis: Philadelphia, PA, Pp: 83-108.
36. Zamani. S. M., Ayoubi, Sh., Khormali, F .2007. Spatial Variability of Wheat Yield and Soil Properties in a Selected Agricultural Land of Sorkhankalateh. *J. Sci. & Technol. Agric. & Nature. Resource*, Vol. 11, No. 40 (A), Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

37. Zang, K., S.Li,W.Peng and B.Yu.2004, erodibility of agriculture soils and loess plateau of China. Soil and illage, res.76:157-165.
38. zehtabian, GA., Janfaza A., askari M., and nematollahi, M,J., 2010. Design changes some of the chemical properties of groundwater. Case Study: garmsar Basin, Journal of Range and Iran Desert Research and Iran, No. 17, pp. 61 to 73.