

## پهنه بندی عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار (مطالعه موردی: دشت لاله استان چهارمحال و بختیاری)

مهدی پژوهش\* - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد  
علیرضا داوودیان دهکردی - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۳۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۹/۲۷

### چکیده

تغییرپذیری عامل فرسایش پذیری خاک یا مقاومت خاک در برابر حرکت ذرات، از اجزاء مهم معادله جهانی فرسایش خاک می باشد. هدف این مطالعه، بررسی تغییرپذیری مکانی عامل فرسایش پذیری خاک در بخشی از حوضه رودخانه زاینده رود در استان چهارمحال و بختیاری می باشد. برای تهیه نقشه های لازم، نمونه برداری به صورت شبکه نظام مند ۲۰۰\*۲۰۰ متر در ۷۰ نقطه و از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری سطح خاک صورت گرفت. ساختمان خاک، درصد مواد آلی، نفوذپذیری، درصد شن درشت، درصد شن خیلی ریز + سیلت اندازه گیری گردید. تغییرپذیری مکانی عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از تغییرنما و نسبت واریانس اثر قطعهای به واریانس کل مورد بررسی قرار گرفت و برای تهیه نقشه داده های مورد نیاز از روش زمین آماری کریجینگ استفاده شد. اعتبار نقشه ها با کاربرد میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا ارزیابی گردید. نتایج نشان داد الگوی کروی برای عامل فرسایش پذیری و درصد سیلت، بهترین مدل برازش داده شده برای این متغیرها می باشد. دامنه وابستگی مکانی برای پارامترهای عامل فرسایش پذیری و درصد سیلت ۲ تا ۲/۳ کیلومتر به دست آمد دارای وابستگی مکانی هستند. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید الگوی تغییرپذیری مکانی عامل فرسایش پذیری به مواد مادری و نوع خاک وابسته می باشد. نقشه واریانس پارامترهای اندازه گیری شده نشان می دهد که در خط همسایگی منطقه نمونه برداری شده و فواصل بین نمونه ها مقادیر عامل فرسایش پذیری و درصد سیلت افزایش یافته اند و بیشترین واریانس تخمین وجود دارد.

واژگان کلیدی: فرسایش پذیری خاک، زمین آمار، پهنه بندی، حوزه زاینده رود، کریجینگ

## مقدمه

فرسایش‌پذیری خاک، مقاومت خاک در برابر جدا شدن و انتقال ذرات است. محققان، سال‌های زیادی سعی در برقراری رابطه بین فرسایش‌پذیری خاک با خصوصیات خاک نموده‌اند (رفاهی ۱۳۸۸، ۵۹). یکی از خصوصیات عامل فرسایش‌پذیری خاک، متغیر بودن آن در طول ایام سال به علت تغییر در میزان مواد آلی، درصد رطوبت، و بافت خاک لایه‌های سطحی در کوتاه‌مدت می‌باشد. مارتین و مورگان<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) در تحقیقی نشان دادند که در منطقه بدفورد شایر انگلستان عامل فرسایش‌پذیری خاک‌های شنی لخت، کشت نشده در تابستان چهار برابر زمستان است (رفاهی ۱۳۸۸، ۶۱). ایران از جمله کشورهای است که در آنجا فرسایش خاک در حال تبدیل شدن به یکی از مشکلات حاد زیست محیطی است و هر سال میلیون‌ها تن از خاک غنی و حاصلخیز به علت عدم مدیریت درست و مناسب از کشور خارج و غیر قابل استفاده می‌گردد. از سوی دیگر، به دلیل شستشوی خاک حاصلخیز بخش بزرگی از اراضی حاصلخیز و قابل کشت در حال نابودی می‌باشند (پژوهش، ۱۳۹۰، ۵). روش‌های زمین‌آمار مانند کریجینگ به دلیل اینکه بهترین برآورد نارایب خطی را برای تعیین مقادیر مجهول در مناطق نمونه‌برداری نشده به دست می‌دهند، در مطالعات خاکشناسی بسیار استفاده شده است (اوده و همکاران، ۱۹۹۵)<sup>۲</sup>. بر طبق نظر پیترسون و استرووسکی<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) اقلیم، توپوگرافی، خاک، زمین‌شناسی کاربری اراضی بیشترین تأثیر را روی رواناب و مخازن سدها دارند. تعدادی از داده‌های مکانی مانند خصوصیات خاک که برای ارزیابی عامل فرسایش‌پذیری خاک به کار می‌روند را می‌توان با تلفیق نمودن سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک زمین‌آمار برای تولید نقشه پیش‌بینی خطر فرسایش خاک استفاده نمود (دیوداتو و سکارلی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴). روش زمین‌آمار با استفاده از تئوری آماری همبستگی مکانی، برای پیش‌بینی متغیر در مکان‌هایی که گرفته می‌شود که نمونه‌برداری صورت نگرفته است و ارزیابی آن غیر دقیق می‌باشد (گووواتز<sup>۵</sup>، ۱۹۹۹). در سال‌های اخیر تغییرات مکانی خصوصیات شیمیایی خاک با استفاده از روش زمین‌آمار توسط محققان زیادی مورد ارزیابی قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (یانگ<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) که به مطالعه شوری خاک در کشور چین پرداختند و همچنین آنجل<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۰) به تغییرات هدایت الکتریکی خاک اشاره نمودند که تحت شرایط قبل و بعد از زهکشی مورد مطالعه قرار دادند. چانگ<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعات خود به بررسی زمین‌آمار خصوصیات شیمیایی خاک در اطراف زرد چین پرداختند. باتوفوکو<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی زمین‌آمار عدم قطعیت مکانی نقشه فرسایش-پذیری خاک پرداختند، آن‌ها استراتژی نمونه‌برداری برای بهبود دادن دقت پیش‌بینی عامل فرسایش‌پذیری خاک را ارائه نمودند. (وانگ<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۳) یک استراتژی بر اساس مجموعه داده‌های نمونه‌برداری و تکنیک زمین‌آمار به نام روش شبیه‌سازی ترتیبی گوسی برای تخمین ابهامات عوامل ورودی به معادله تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک ارائه نمودند. همچنین وانگ و همکاران (۲۰۰۱) به پیش‌بینی مکانی و عدم قطعیت عامل توپوگرافی در معادله تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک با استفاده از مدل رقومی ارتفاع پرداختند. اوگور اوزکان<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از GIS و معادله جهانی فرسایش خاک و تکنیک یکپارچه شده زمین‌آمار، خطر فرسایش خاک را در کاربری‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند. کانوستی<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تکنیک زمین‌آمار چند متغیره به ارزیابی حساسیت و اعتبارسنجی فرسایش خاک در جنوب سیسیل پرداختند. به طور کلی بررسی منابع نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های زمین‌آمار از جنبه‌های گوناگون در مطالعات خاکشناسی به امری متداول بدل شده است (به عنوان مثال: سوکوتی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ زینگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ زانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ کاترینگ نانو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۵؛ سیری<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴).

1. Martin and Morgan
2. Odeh et al
3. Petersson and Ostrowski
4. Diodato and Ceccarelli
5. Goovaerts
6. Yang et al
7. Angel et al
8. Chan et al
9. Buttafuoco et al
10. Wang et al
11. UgurOzcan et al
12. Conoscentiet al
13. Sokouti et al

با توجه به اینکه استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه دو رودخانه دائمی و بزرگ کشور یعنی زاینده رود و کارون می‌باشد و به علت عدم انجام مدیریت صحیح و عدم توجه به خصوصیات خاک منطقه، هر ساله شاهد از دست رفتن بخش وسیعی از خاک اراضی منطقه می‌باشیم. لذا در این تحقیق با هدف کاربرد روش زمین آمار جهت ارزیابی و تحلیل ساختار مکانی شرایط حاکم بر این منطقه در جنوب غربی کشور تلاش شده است تا نقشه‌های هم مقدار معرف مقادیر کمی این خصوصیات تهیه گردند.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت و خصوصیات منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه قسمتی از حوضه آبخیز زاینده رود واقع در استان چهارمحال و بختیاری که در طول‌های جغرافیایی  $50^{\circ}17'10''$  و  $50^{\circ}06'57''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ}30'33''$  و  $32^{\circ}39'23''$  شمالی قرار دارد (شکل ۱ الف). وسعت منطقه مورد بررسی ۱۱۴۸۰ هکتار بوده و محیط آن برابر با  $49/65$  کیلومتر است و دارای ارتفاع متوسط  $2645/7$  متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارش سالانه  $1424/2$  میلی‌متر و حداکثر و حداقل دما به ترتیب  $35/8$  و  $-30/6$  سانتیگراد است. از نظر ژئومورفولوژی منطقه به صورت یک دره کشیده و بزرگ با ابعاد طول تقریبی  $18$  کیلومتر عرض تقریبی  $7$  کیلومتر بوده که توسط رشته کوه‌های نسبتاً مرتفع احاطه شده، درون آن یک رودخانه نسبتاً دائمی جریان دارد. این رودخانه در مناطق پایین دست حوزه دارای حالت شریانی بوده که نشان‌دهنده بار رسوبی قابل توجه آن می‌باشد. این حوزه در واحد کوهستان قرار می‌گیرد که اراضی آن شامل تپه‌های کوه (نواحی مرتفع‌تر) و تپه و ماهور (نواحی کم ارتفاع‌تر مرکزی) و همچنین مخروط افکنه می‌باشد. فرسایش آبی به صورت آبراهه‌ای و شیاری اصلی‌ترین نوع فرسایش در آن بوده و در اطراف رودخانه نیز دارای فرسایش کناری می‌باشد.

### ویژگی‌های زمین‌شناسی

بخش عمده منطقه مورد مطالعه در زون ساختاری زاگرس مرتفع (نوار چین خورده - تراستی زاگرس) قرار دارد. مرز شمال شرقی حوزه از مجاورت تراستی اصلی زاگرس عبور می‌کند که در امتداد آن واحدهای آهکی کرتاسه زون سنندج - سیرجان روی سازندهای به سن ترشیاری زاگرس مرتفع رانده شده‌اند. شکل این زیرحوزه بصورت کشیده بوده و دارای روند شمال غرب - جنوب شرق به موازات روند اصلی زاگرس می‌باشد. این منطقه بخشی از نقشه زمین‌شناسی به مقیاس  $1:100000$  فریدون شهر (بهار فیروزی و نواواچاری، ۱۳۸۵) است و بخش اصلی سازندهای آن مشتمل بر سازندهای ترشیاری و به میزان کمتر سازندهای ژوراسیک و کرتاسه می‌باشند. بر مبنای نقشه زمین‌شناسی فریدون شهر مهم‌ترین واحد زمین‌شناسی تشکیل دهنده این زیرحوزه واحد  $OM^f$  بوده که دارای ترکیب لیتولوژی مارن نازک تا متوسط لایه، ماسه‌سنگ و کنگلومرا با لنزهایی از کنگلومرا و اولیستولیت‌های واحدهای دیگر می‌باشد. این واحد در دامنه‌های رو به جنوب غربی حوزه آبخیز و در سمت چپ رودخانه رخنمون داشته و حضور مارن فراوان در این واحد آن را نسبت به فرسایش حساس نموده است. واحدهای دیگر در این دامنه‌ها عبارتند از: کنگلومرا، آهک‌های ضخیم لایه‌ای تا توده‌ای (به سن کرتاسه) و همچنین واحدهای کواترنری (شامل مخروط افکنه‌های جوان، واریزه و ریزش‌های سنگی به همراه تراس‌های آبرفتی قدیمی و جدید). در بخش جنوبی غربی که شامل دامنه‌های رو به شمال شرقی حوزه است نیز سازندهای آسماری (آهک)، سازند پایده (آهک و مارن)، سازند چهارم (شامل آهک کرم تا خاکستری)، سازند گروپی (آهک نازک تا متوسط لایه همراه با نوارهایی از چرت)، سازند نیریز - سورمه (تناوب مارن نازک لایه تا متوسط، شیل، دولومیت و آهک‌رخمون دارند که از بین سازندها سازند نیریز - سورمه به علت حضور مارن و شیل در ترکیب لیتولوژی آن به همراه سازند حاوی مارن پایده بیشترین حساسیت به فرسایش را نسبت به سایر سازندها از خود نشان می‌دهند. ولی پوشش گیاهی گسترده در این دامنه‌های رو به شمال شرقی میزان فرسایش آن‌ها را کمتر از دامنه‌های رو به جنوب غربی آشکار می‌سازد.

1Xing et al

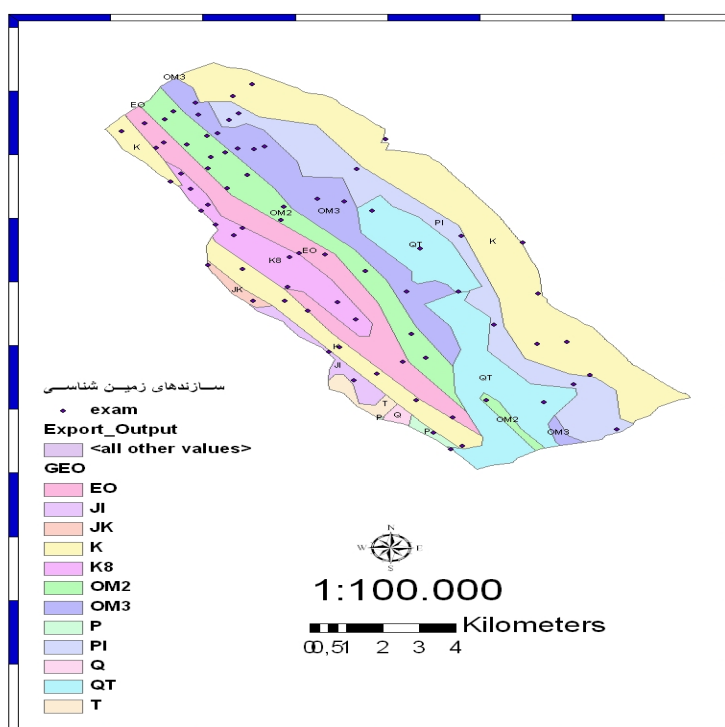
2Zang et al

3Catrignano et al

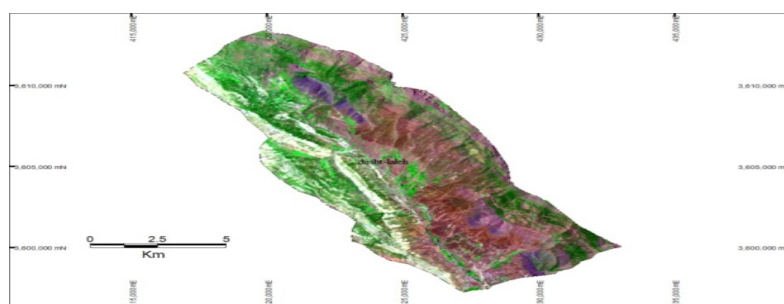
4Cerri et al

### داده‌های میدانی

ابتدا بر روی نقشه واحدهای همگن (حاصل تلفیق نقشه شیب، فیزیوگرافی، زمین شناسی و کاربری اراضی) نقاط مورد نمونه برداری به صورت شبکه‌ای نظام‌مند با ابعاد  $200 \times 200$  متر مشخص گردیدند، سپس به کمک سامانه موقعیت یاب جهانی GPS موقعیت نمونه‌ها در منطقه شناسایی و نمونه برداری در ۷۰ نقطه و از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری سطح خاک صورت گرفت. سپس با استفاده از فرمول نمودار ویشمایر مقدار عامل فرسایش پذیری خاک برای هر نقطه در هر واحد همگن محاسبه گردید. شکل ۱ موقعیت منطقه و مکان‌های نمونه برداری و شکل ۲ تصویر ماهواره لندست ۷ از حوزه آبخیز مورد مطالعه را مشخص می‌نماید.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه برداری



شکل ۲: تصویر ماهواره لندست ۷ از حوزه آبخیز مورد مطالعه (ترکیب باندهای ۷، ۴، و ۲)

### تجزیه‌های آزمایشگاهی

تمامی نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه حفاظت خاک دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد، در هوا خشک و خرد شده و سپس از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند. سپس درصد شن درشت (به روش الک)، درصد سیلت+ شن خیلی ریز (به روش

الک، درصد مواد آلی به (روش والکی و بلاک)، ساختمان خاک (در صحرا)، نفوذپذیری خاک (با استفاده از رابطه بافت خاک و گروه هیدرولوژیکی) تعیین گردیدند. نتایج خصوصیات فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه گردیده است.

## روش‌های آماری

خلاصه آماری آنالیزهای آزمایشگاهی با استفاده از نرم افزار Minitab محاسبه شد جدول (۱). تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده‌ها و محاسبه نیم تغییرنا با استفاده از بسته‌های نرم افزاری (۱۹۹۶) Variowin 2.2 و Geoeas (پانتیر<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶)، انجام شد. تغییرنا یک تابع ریاضی است که تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر ناحیه‌ای را صورت‌بندی می‌کند (محمدی، ۲۰۰۶). قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل آماری، هر متغیر تحلیل همسان‌گردی با استفاده از تغییرنمای رویه انجام شد. برای مقایسه دو کمیت در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آن‌ها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس برای تمام موقعیت‌ها توان دوم این اختلاف تحت عنوان نیم تغییرنا به صورت معادله (۱) محاسبه می‌شود.

(۱)

که در آن،  $N(h)$  تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام  $Z(x_i)$ ،  $(h)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه  $X_i$  و  $Z(x_i + h)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی  $X_i + h$  است. یک تغییرنمای ایده آل دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای، حد آستانه و دامنه مؤثر می‌باشد. حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارائه نموده و مقدار دامنه بیانگر فاصله‌ای است که ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (محمدی، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹). شدت و درجه وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به مقدار واریانس کل یا حد آستانه به دست آورد. گاهی اوقات این نسبت در عدد ۱۰۰ ضرب و به صورت درصد بیان می‌شود. اگر نسبت مزبور کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ باشد، آنگاه متغیر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط می‌باشد. اگر نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی ضعیفی خواهد بود (امینی، ۲۰۰۵). در مطالعه حاضر، از مدل نظر کروی جهت برآزش واریوگرام‌های تجربی درصد سیلت و عامل فرسایش‌پذیری استفاده شد.

(۲)

که در آن  $\gamma(h)$  مقدار تغییرنا،  $C$  اثر قطعه‌ای،  $C$  حد آستانه،  $h$  فاصله و  $a$  دامنه می‌باشد (محمدی، ۲۰۰۶، و امینی، ۲۰۰۵). در مرحله بعد، پس از محاسبه و مدل‌سازی واریوگرام‌های تجربی، اقدام به پهنه‌بندی متغیرهای مورد نظر با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ گردید. به طور کلی کریجینگ نامی تعمیم یافته برای کلیه روش‌های آماری تخمین و برآورد متغیرهای ناحیه‌ای است. مهم‌ترین ویژگی کریجینگ که آن را از دیگر تخمین‌گرها متمایز می‌سازد، ویژگی حداقل سازی واریانس خطا است. عمل کریجینگ توسط معادله (۳) انجام گرفت:

(۳)

که در آن،  $\lambda$  وزن متغیر در نقاط اندازه گیری و مقدار متغیر در نقاط اندازه گیری شده است. همچنین کریجینگ و نقشه های خطای تخمین هر یک از خصوصیات مورد مطالعه با استفاده از سیستم محاسباتی کریجینگ معمولی بسته نرم افزاری (Arcgis, 9.3) تهیه شد.

### بحث و یافته ها

نتایج خصوصیات فیزیکی خاک در جدول (۱) ارائه گردیده است. با توجه به این جدول، ساختمان خاک در منطقه عمدتاً دانه‌ای اسفنجی ریز می‌باشد و از نظر وضعیت نفوذپذیری خاک، غالباً متوسط تا کم (سرعت نفوذپذیری بین ۰/۵-۶/۲۵ سانتیمتر بر ساعت)، مقدار درصد مواد آلی خاک بین ۰/۲ تا ۵/۵، درصد سیلت در منطقه، ۳۵ تا ۵۴، درصد رس ۲۸ تا ۵۰، درصد شن ۶ تا ۳۱ درصد، درصد آهک ۱/۵ تا ۵۳/۷۵ و وزن مخصوص ظاهری خاک بین ۱/۲ تا ۱/۶ گرم بر سانتی مترمکعب متغیر می‌باشد. آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. میانگین عامل فرسایش‌پذیری و درصد سیلت به ترتیب،  $\frac{Ton.m^2.cm}{J.ha.year}$  ۰/۴۹ و ۳۲/۶٪ می‌باشد. با توجه به میانگین‌های به دست آمده از درصد سیلت و عامل فرسایش‌پذیری برای خاک‌های منطقه، خطر فرسایش و هدر رفتن خاک در منطقه بسیار زیاد مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به جدول (۲) و آزمون کولوموگراف-اسمیرنوف داده‌های مورد مطالعه دارای توزیع نرمال هستند. بنابراین تمامی پردازش‌های زمین‌آماري با داده‌های اصلی صورت گرفت. به منظور بررسی و مطالعه ساختار تغییرات مکانی داده‌های مورد مطالعه تغییرنماهای تجربی به طور مجزا برای هر یک از خصوصیات ترسیم گردید. در ضمن نتایج تغییر نماهای رویه‌ای نشان داد که روند ناهمسان‌گردی در جهت خاصی وجود ندارد. تغییرنماهای متغیرهای مورد مطالعه در شکل (۳) و پارامترهای آن‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده ساختار کروی به عنوان بهترین مدل برازش داده شده برای داده‌ها است.

جدول ۱: نتایج خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

نمونه	کلاس ساختمان	کلاس نفوذپذیری	ماده آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربنات کلسیم (%)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
۱	۲	۳	۱/۱	۲۱	۴۹	۳۰	۱۷/۵	۱/۳
۲	۲	۴	۱/۹	۱۰	۴۲	۴۸	۲۰/۲۵	۱/۴
۳	۲	۳	۱	۲۲	۵۰	۲۸	۱۷	۱/۵
۴	۲	۴	۵/۵	۱۳	۴۰	۴۷	۱۱/۷۵	۱/۴
۵	۲	۳	۱/۸	۲۳	۴۴	۳۳	۴/۲۵	۱/۲۵
۶	۲	۳	۲/۵	۲۶	۳۸	۳۶	۲۰	۱/۳
۷	۲	۴	۲	۸	۴۸	۴۴	۱۸/۷۵	۱/۵
۸	۲	۴	۱/۳	۱۱	۴۷	۴۲	۲۶/۵	۱/۳
۹	۱	۳	۱/۵	۱۹	۴۶	۳۹	۳	۱/۳۷
۱۰	۲	۳	۱	۱۹	۴۲	۳۹	۱۷	۱/۲
۱۱	۱	۳	۱/۶	۲۹	۳۸	۳۳	۷	۱/۲۶
۱۲	۲	۳	۰/۶	۲۱	۴۰	۳۹	۴/۲۵	۱/۲
۱۳	۲	۴	۱/۸	۸	۴۲	۵۰	۴/۲۵	۱/۲۶
۱۴	۲	۳	۲/۲	۱۷	۵۴	۲۹	۲۱	۱/۴
۱۵	۲	۳	۰/۶	۲۴	۴۲	۳۴	۲۸/۷۵	۱/۳
۱۶	۲	۳	۱/۵	۲۲	۴۳	۳۵	۳/۵	۱/۳۷
۱۷	۲	۳	۱/۸	۲۰	۴۳	۳۷	۲۲/۷۵	۱/۲
۱۸	۲	۴	۱/۵	۱۶	۴۰	۴۴	۱/۷۵	۱/۲۶
۱۹	۲	۴	۱/۵	۱۵	۴۴	۴۱	۶	۱/۳
۲۰	۲	۳	۱/۱	۳۱	۳۶	۳۳	۱۷/۵	۱/۴

۱/۲	۲۰/۲۵	۳۶	۴۶	۱۸	۱/۹	۳	۲	۲۱
۱/۲۵	۱۷	۳۹	۵۰	۱۱	۱	۳	۲	۲۲
۱/۶	۱۱/۷۵	۳۸	۴۶	۱۶	۵/۵	۳	۲	۲۳
۱/۳	۳۲/۷۵	۴۴	۴۸	۸	۱/۳	۴	۲	۲۴
۱/۳۷	۱۰/۵	۳۷	۳۸	۲۵	۲/۶	۳	۱	۲۵
۱/۲	۱۳/۵	۳۸	۴۳	۱۹	-/۶	۳	۲	۲۶
۱/۲۶	۴	۳۳	۴۴	۲۳	۲/۱	۳	۱	۲۷
۱/۳	۲	۴۲	۴۰	۱۸	۱/۵	۴	۲	۲۸
۱/۴۲	۱۷/۵	۳۷	۴۳	۲۰	۱/۳	۳	۲	۲۹
۱/۵	۲	۳۹	۴۴	۱۷	۱/۵	۳	۲	۳۰
۱/۲۶	۶	۳۱	۳۵	۳۴	۱/۵	۳	۲	۳۱
۱/۳	۱۷/۵	۳۵	۴۸	۱۷	۱/۱	۳	۱	۳۲
۱/۴۲	۲۰/۲۵	۴۶	۴۲	۱۲	۱/۹	۴	۲	۳۳
۱/۳	۱۷	۴۱	۴۶	۱۳	۱	۴	۲	۳۴
۱/۴۲	۱۱/۷۵	۴۴	۴۹	۷	۵/۵	۴	۲	۳۵
۱/۲۶	۱۸/۷۵	۴۲	۵۰	۸	۲	۴	۲	۳۶
۱/۳	۳/۷۵	۴۳	۴۲	۱۵	۳	۴	۲	۳۷
۱/۳۹	۲/۷۵	۳۹	۴۶	۱۵	-/۴	۳	۲	۳۸
۱/۲۶	۱/۵	۳۹	۴۷	۱۴	-/۶	۳	۲	۳۹
۱/۳	۱۶	۴۳	۴۸	۹	۱/۳	۴	۲	۴۰
۱/۶	۳۶	۳۵	۴۰	۲۵	-/۵	۳	۲	۴۱
۱/۶	۴۴/۲۵	۴۶	۴۴	۱۰	۱/۸	۴	۲	۴۲
۱/۲۶	۱۳/۷۵	۲۸	۴۲	۳۰	۲/۲	۳	۲	۴۳
۱/۳	۱۷	۴۶	۳۷	۱۷	۱	۴	۲	۴۴
۱/۲	۸/۲۵	۳۵	۴۶	۱۹	۳/۱	۳	۲	۴۵
۱/۲۶	۳۵/۲۵	۳۵	۵۰	۱۵	-/۶	۳	۲	۴۶
۱/۳	۲۵/۵	۴۱	۳۷	۲۲	۲/۲	۴	۲	۴۷
۱/۴	۲/۲۵	۳۹	۴۳	۱۸	۱/۹	۳	۲	۴۸
۱/۲۶	۲۵/۵	۴۴	۴۴	۱۲	۲/۲	۴	۲	۴۹
۱/۳	۵۳/۷۵	۴۸	۴۶	۶	۱/۹	۴	۲	۵۰
۱/۵۸	۴۸/۵	۴۶	۳۶	۱۸	۱/۸	۴	۲	۵۱
۱/۷	۱۶	۴۲	۳۷	۲۱	۱/۳	۳	۲	۵۲
۱/۲۶	۲۰/۲۵	۳۷	۳۸	۲۵	۲/۳	۳	۲	۵۳
۱/۳	۲/۲۵	۳۹	۳۸	۲۳	۱/۷	۳	۲	۵۴
۱/۲۶	۲۲/۷۵	۳۳	۴۷	۲۰	۱/۸	۳	۲	۵۶
۱/۲۱	۱۰	۳۹	۴۷	۱۴	۲/۷	۳	۲	۵۷
۱/۲۶	۵۴/۲۵	۳۷	۴۶	۱۷	۱/۵	۳	۲	۵۸
۱/۳	۲/۲۵	۴۵	۴۲	۱۳	۱/۷	۴	۲	۵۹
۱/۲	۴/۵	۴۳	۴۰	۱۷	-/۶	۴	۲	۶۰
۱/۲۶	۳۹/۷۵	۴۱	۴۲	۱۷	۱/۶	۴	۲	۶۱
۱/۶	۲۲/۷۵	۳۵	۵۴	۱۱	۱/۸	۳	۲	۶۲
۱/۳	۱۹	۴۳	۴۲	۱۵	۱/۶	۴	۲	۶۳
۱/۲	۱۷	۴۴	۴۳	۱۳	۱	۴	۲	۶۴
۱/۳	۲/۲۵	۴۰	۳۶	۲۴	۱/۷	۴	۲	۶۵
۱/۳۷	۲۶/۵	۳۸	۴۶	۱۶	۱/۳	۳	۲	۶۶
۱/۳	۲۸/۷۵	۴۲	۳۶	۲۲	-/۶	۴	۲	۶۷

۶۸	۲	۳	۱/۴	۲۰	۴۶	۳۴	۱۳	۱/۲۶
۶۹	۲	۴	۰/۲	۱۸	۳۸	۴۴	۳۲/۷۵	۱/۳
۷۰	۲	۳	۱/۴	۲۲	۴۹	۲۹	۱۳	۱/۳

با توجه به جدول (۲) مقدار حداقل و حداکثر و میانگین عامل فرسایش‌پذیری خاک در منطقه به ترتیب ۰/۰۰۲، ۱ و ۰/۴۹ و مقدار حداقل و حداکثر و میانگین درصد سیلت در منطقه به ترتیب ۲۰، ۴۳ و ۳۲/۵ درصد می‌باشد که بیان‌گر آن است که خاک منطقه حساسیت بالایی به فرسایش دارد.

جدول ۲: خلاصه آماری داده‌های مربوط به پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	میان	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
عامل فرسایش‌پذیری		۰/۰۰۲	۱	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۴	۱/۱
سیلت	%	۲۰	۴۳	۳۲/۶	۲۶	۳۲/۹	۱

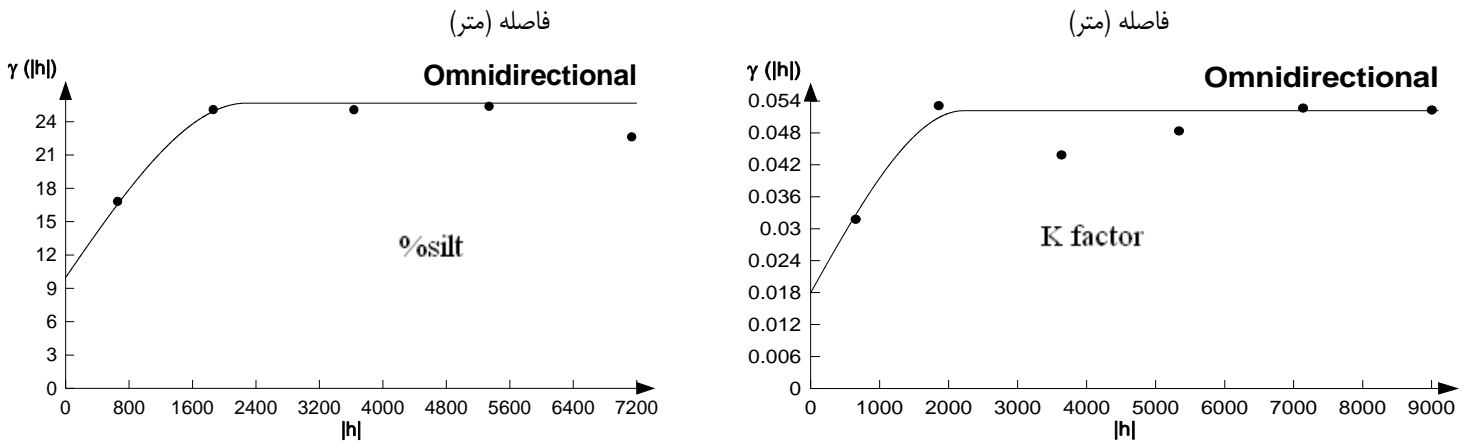
از سوی دیگر در جدول (۳) دامنه این وابستگی برای خصوصیات عامل فرسایش‌پذیری خاک و مقدار سیلت ۲ تا ۲/۵ کیلومتر می‌باشد که نشان دهنده چگونگی پراکنش جغرافیایی مواد مادری و واحدهای فیزیوگرافی می‌باشد. شدت و درجه وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای که از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به مقدار واریانس کل یا حد آستانه به دست می‌آید، اگر نسبت مزبور کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ باشد، آنگاه متغیر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط می‌باشد. اگر نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی ضعیفی خواهد بود. با توجه به جدول (۳) درصد وابستگی مکانی درصد سیلت و عامل فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب ۳۹ و ۳۴ می‌باشد که در کلاس وابستگی مکانی متوسط قرار دارد.

جدول ۳: پارامترهای تغییرنمای خصوصیات اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

متغیر	واحد	مدل	دامنه	اثر قطعه ای	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی*	کلاس وابستگی مکانی
عامل فرسایش‌پذیری		کروی	۲۲۲۱	۰/۰۱۸	۰/۰۳۴	۳۴	متوسط
سیلت	%	کروی	۲۲۷۹	۹/۹۸	۱۵/۶۶	۳۹	متوسط

\*نسبت مجموع واریانس اثر قطعه ای و واریانس حد آستانه به واریانس حد آستانه





شکل ۳: تغییرنمای همه جهته خصوصیات اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

### کنترل اعتبار تغییرنما

در این تحقیق از روش چکناغبرای برآورد پارامترهای تغییرنما استفاده شد. ابتدا مدل تغییرنمای مورد مطالعه تخمین زده می‌شود. آنگاه مدل حاصل جهت تخمین به کار می‌رود. سپس با آنالیزهای خطای تخمین صحت الگوی برازش شده بررسی می‌گردد. الگوی برازش یافته نباید موجب خطای نظام مند شود. به عبارت دیگر میانگین خطا (ME) و میانگین مجذور خطا (MSE) باید در حداقل مقدار خود باشند. در این تحقیق با سعی و خطا مناسب‌ترین الگوی متغیرهای مورد مطالعه تعیین گردید. معیارهای کنترل اعتبار تغییرنماهای مورد مطالعه در جدول (۴) خلاصه شده است. مقادیر میانگین خطای تخمین نزدیک به صفر بوده و بیان گر نارایب بودن تخمین‌ها در روش کریجینگ می‌باشد. همچنین پایین بودن میانگین مجذور خطا نیز بیان گر دقت قابل قبول تخمین می‌باشد. لذا می‌توان بیان نمود که نتایج کنترل اعتبار تغییرنما بیان گر مناسب بودن پارامترهای مدل‌های برازش داده شده بر تغییرنماهای تجربی می‌باشد.

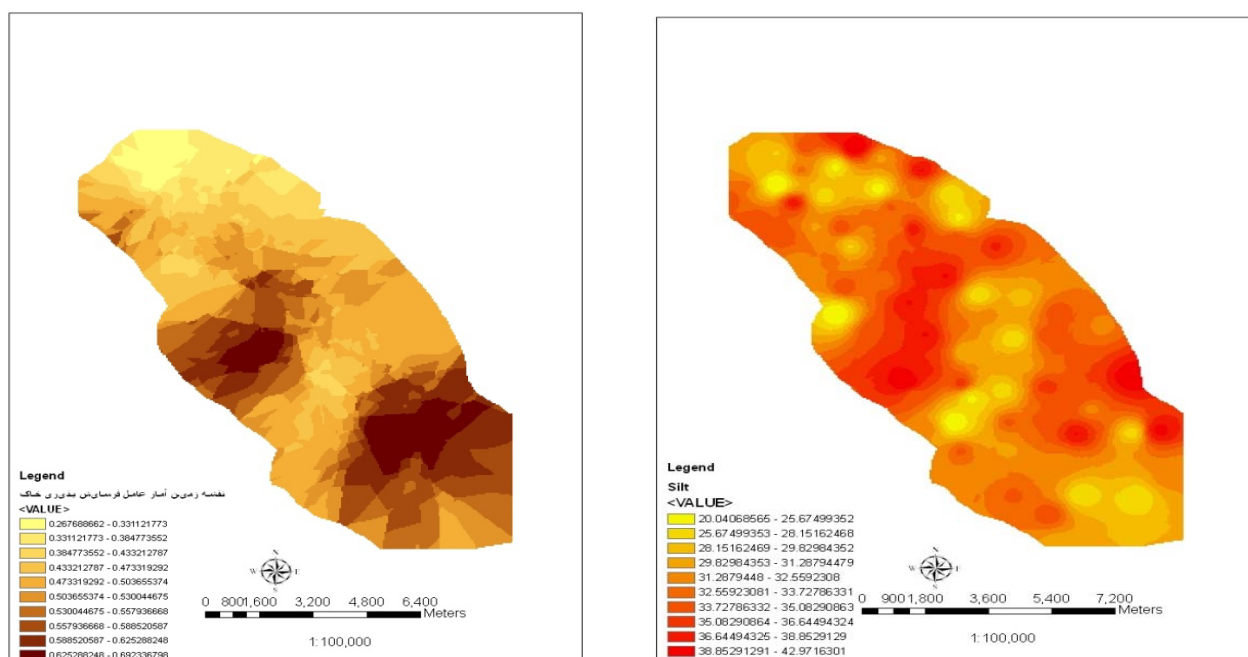
جدول ۴: اعتبار سنجی تغییرنمای خصوصیات اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

Model	Nugget	Rang	Sill	MSE	ME	واحد	متغیر
Sperical	۰/۰۱۸	۲۲۲۱	۰/۰۳۴	۰/۲	-۰/۰۰۱		عامل فرسایش پذیری خاک
Sperical	۹/۹۸	۲۲۷۹	۱۵/۶۶	۵/۰۷	-۰/۰۱	%	درصد سیلت

### پهنه‌بندی خصوصیات مورد مطالعه

به منظور تهیه نقشه‌های پراکنش خصوصیات مختلف از روش کریجینگ معمولی جهت تخمین این خصوصیات برای قطعاتی به ابعاد ۲۰۰\*۲۰۰ متر در سطح منطقه مطالعاتی استفاده شد. بدین ترتیب برای تخمین مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک از داده‌های حاصل از حداکثر ۸ مشاهده استفاده گردید که در همسایگی قطعه مورد نظر با شعاع ۱/۹ کیلومتر واقع شده اند. برای تخمین درصد سیلت در منطقه از داده‌های حاصل از حداکثر ۸ مشاهده با شعاع تأثیر ۲ کیلومتر استفاده گردید.

شکل ۴ نقشه‌های حاصل از کریجینگ برای خصوصیات مورد مطالعه را نشان می‌دهند. این نقشه‌ها نشان دهنده میزان دقت تخمین گر کریجینگ در مناطق نمونه‌برداری نشده است. به طوری که هر قدر پراکنش نمونه‌ها ناهمگون‌تر باشد و از مرکز نمونه‌ها فاصله بگیریم دقت تخمین کاهش می‌یابد. بنابراین روش صحیح نمونه‌برداری و پراکنش مناسب آن‌ها در منطقه مطالعاتی در دقت تخمین گر کریجینگ و مقادیر برآورد شده مؤثر می‌باشد. همانطور که نقشه‌های کریجینگ نشان می‌دهند، اراضی واقع در مرکز، غرب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه دارای عامل فرسایش‌پذیری بالا می‌باشند. تغییرات تدریجی و پیوسته عامل فرسایش‌پذیری خاک در سطح منطقه، به خوبی توسط نقشه کریجینگ نشان داده شده است.



شکل ۴: نقشه‌های کریجینگ عامل فرسایش‌پذیری خاک (سمت چپ) و درصد سیلت (سمت راست) در منطقه مورد مطالعه

### نتیجه‌گیری

با توجه به جدول خصوصیات فیزیکی خاک منطقه وجود درصد رس بالا که به دلیل سازندهای حساس به فرسایش شیل و مارن موجود در منطقه م باشد، سبب ایجاد ساختمان اسفنجی ریز و نفوذپذیری پایین در منطقه گردیده است. بنابراین شرایط را برای کاهش مقاومت خاک به فرسایش فراهم می نماید از سوی دیگر هرچند وجود مواد آلی سبب افزایش چسبندگی خاک و نفوذپذیری می گردد، اما این افزایش تا ۴ درصد سودمند است و بالاتر رفتن درصد مواد آلی از این مقدار، سبب کوچک و حساس شدن خاکدانه‌ها به فرسایش می گردد (رفاهی، ۱۳۸۸). لذا مهم‌ترین عوامل مؤثر را در افزایش عامل فرسایش‌پذیری خاک منطقه را می‌توان وجود نوع سازند زمین‌شناسی (سازند نی ریز - سورمه) که از نوع آهک مارنی و همچنین شیب زیاد منطقه، و نفوذپذیری کم خاک بیان نمود. با توجه به نقشه‌های به دست آمده می‌توان گفت که بیشتر مناطق دارای فرسایش‌پذیری بالا بر روی اراضی شیب‌دار و مارنی واقع شده‌اند. همچنین مناطق دارای محدودیت کمتر، عمدتاً در شیب‌های کمتر و روی سازندهای زمین‌شناسی مقاوم به فرسایش قرار دارند.

مطالعه عامل فرسایش‌پذیری و درصد سیلت در منطقه نشان داد که دارای وابستگی مکانی متوسط هستند و دامنه این وابستگی برای این دو عامل ۲/۵ کیلومتری باشد که این امر می‌تواند ناشی از یکسان بودن این ۲ منشأ تولید فرسایش در منطقه مورد مطالعه باشد. با توجه به نقشه درصد سیلت منطقه مورد مطالعه مشاهده گردید. اراضی که در غرب، جنوب غربی واقع گردیده‌اند، دارای درصد سیلت بالایی هستند. و اراضی دارای محدودیت کمتر از نظر درصد سیلت در شمال غربی و جنوب غربی قرار دارند. نقشه پهنه‌بندی درصد سیلت هماهنگی خوبی با نقشه پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری دارد. با توجه به نقشه‌های به دست آمده و کلاس‌بندی پیوسته عامل فرسایش‌پذیری خاک و درصد سیلت می‌توان ادعان داشت که خاک‌های منطقه مورد مطالعه به طور کلی خصوصیات خاک‌های حساس به فرسایش را دارند. تغییر نماهای تجربی متغیرهای اندازه گیرشده با استفاده از مدل کرویمدل سازبشدند. نقشه-های واریانس تخمین کریجینگ نشان می‌دهد که در حاشیه منطقه و فواصل بین نمونه‌ها بیشترین واریانس تخمین وجود دارد که به دلیل کمتر بودن نقاط نمونه‌برداری و بیشتر بودن فاصله بین نمونه‌ها در این مکان‌ها می‌باشد. چانگ و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق خود بیان نمودند که حاشیه منطقه نمونه‌برداری معمولاً بیشترین واریانس تخمین را دارا می‌باشد.

### قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی دانشگاه شهرکرد است که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهرکرد برای حمایت مالی از این طرح تشکر می‌شود.

### منابع

- رفاهی، ح. ق، ۱۳۸۸، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱-۶۳

- Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K. C., Schulin, R., 2005., **Mapping Risk Of Cadmium And Lead Contamination To Human Health In Soils Of Central Iran**, Science of The Total Environment, Vol, 347, pp 64-77.
- Angel, U., Castellanos, A., 2000, **Drainage Effect On Spatial Variability Of Soil Electrical Conductivity In A Vertisol**, Agricultural Water Management, Vol, 38, pp 213-22.
- BaharFirozi.Kh., Novajari, Sh., 1385, **Geology Map of Fereidonsahr, Scale: 1/100000**, Geological Survey of Iran.
- Buttafuoco, G. Conforti. M. P. P.C. Auceili. P. P. C. Robustelli. G. Scarciglia. F, 2012, **Assessing Spatial Uncertainty In Mapping Soil Erodibility Factor Using Geostatistical Stochastic Simulation**, Environ Earth Sci 66, pp 1111-1125.
- Catrignano, A., Giugliarini, L., Risaliti, R., Martinelli, K., 2005, **Study Of Spatial Relationships Among Some Soil Physicochemical Properties Of A Field In Central Italy Using Multivariate Geostatistics**, Geoderma, Vol, 97.No, 1, pp 39-60.
- Cerri, C. E. P., Bernoux, M., Choplut, V., Volkoff, B., Victoria, R. L., Melillo, J. M., Paustian, K. 2004, **Assessment Of Soil Property Spatial Variation In An Amazon Pasture: Basis For Selecting An Agronomic Experimental Area**, Geoderma, Vol, 123. No, 2, pp 51 - 68.
- Chang, W. E., You, B. A., Yun, J. N., Zang, F., Xio, L. U, 2009, **Spatial Variability Of Soil Chemical Properties In The Reclaiming Marine Foreland To Yellow Sea Of China**, Agricultural Sciences In China, Vol, 8.No, 9, pp 1103 - 1111.
- Conoscenti. C., Di Maggio, C. Rotigliano, E, 2008, **Soil Erosion Susceptibility Assessment And Validation Using A Geostatistical Multivariate Approach: A Test In Southern Sicily**, Nat Hazards, Vol 46, 287-305.
- Diodato N. and Ceccarelli M, 2004, **Multivariate Indicator Kriging Approach Using A GIS To Classify Soil Degradation For Mediterranean Agricultural Lands**, Ecological Indicators, 4 177-187
- Goovaerts, P. 1999, **Geostatistics In Soil Science: State Of-The-Art and Perspectives**, Geoderma, Vol. 89, pp. 1-46- Mohammadi, J., 2006, **Pedometrics**. Tehran: Pelk press, ۱۰۹
- Odeh, I. O. A., McBratney, A. B., Chittieborough, D., J. 1995, **Further Results On Prediction From Terrain Attributes: Heterotypic Co-Kriging And Regression**, Kriging. Geoderma, Vol, 67, pp 512 - 526.
- Pajouhesh, M., 1390, **Sediment Load Modeling Using Multi Regression And Fuzzy Inference System**, PhD Thesis, Natural Resource and Agriculture Faculty of Karaj, Tehran University, ۸۹
- Pannatier, Y., 1996, **VARIOWIN: Software For Spatial Data Analysis In 2D. Statistics And Computing Series**, Springer-Verlag, Berlin ۱۰۰
- Petersson E., M.W. Ostrowski, 2003, **Large Dams A Contribution To Sustainable Water And Energy Development? Water Resources Systems Hydrological Risk**, Management and Development. IAHS Publ, No. 281, pp 227-232.
- Sokouti Xing, Y. Z., Yue, Y. S., Xu, D. Z., Kai, M., Herbert, S. J., 2007, **Spatial Variability Of Nutrient Properties In Block Soil Of Northeast China**, Pedosphere, Vol 17, No, 1, pp 19 - 29.
- Sokouti, R., Mahdian, M. H., Mahmoodi, S., Ghahremani, A., 2007, **Comparing The Applicability Of Some Geostatistics Methods To Predict The Variability Of Soil Salinity**, A Case Study Of Uromiehplain, No, 74, pp 90-98.
- UgurOzcan, A. Erpul.G, Basaran. M. Erdogan. E., 2008, **Use Of USLE/GIS Technology Integrated With Geostatistics To Assess Soil Erosion Risk In Different Land Uses Of Indagi Mountain Pass-C**, Ankara, Turkey Environ Geol, No 53, pp 1731-1741.
- Wang G, Gertner G, Fang S, Anderson AB, 2003, **Mapping Multiple Variables For Predicting Soil Loss By Geostatistical Methods With TM Images And a Slope Map**, Photogrammetric Remote Sensing, No 69, pp 889-898.

- Wang G, Gertner GZ, Liu X, Anderson AB , 2001, **Uncertainty Assessment of Soil Erodibility Factor For Revised Universal Soil Loss Equation**, Catena, No 46, pp 1–14.
- Yang, L. I., Zho, S. H., Fang, W. U., Hong, Y. L. I., Feng, L.I., 2007, **Improved Prediction Of Sampling Density For Soil Salinity By Different Geostatistical Methods**, Agricultural Sciences inChina, Vol 6, No. 7, pp 632 – 841.
- Zang, M. W., Bai, Z., Kai, S. S., Dian, W. L., 2010, **Spatial Variability Of Soil Organic Carbon Under Maize Monoculture In ThesongNen Plain Northeast China**, Pedospher, Vol 20, No 1, pp 80 – 89.