

مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری بین‌شیاری مدل WEPP و برخی از ویژگی‌های خاک با استفاده از زمین‌آمار و اطلاعات سنجش از دور

سلمان میرزائی^۱، شجاع قربانی دشتکی^{۲*}، جهانگرد محمدی^۳، حسین اسدی^۴ و فرخ اسدزاده^۵
^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ^۲ دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ^۳ دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان و ^۴ استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۵

چکیده

آگاهی از توزیع و تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری و ویژگی‌های خاک اهمیت زیادی در طراحی و اجرای راه‌کارهای حفاظت آب، مهار سیل و رواناب و مدیریت فرسایش خاک یا به‌طور کلی مدیریت حوزه‌های آبخیز دارد. انتخاب و استفاده از فن میان‌یابی مناسب برای تعیین عوامل فرسایش‌پذیری به‌وسیله مدل‌های فرسایشی مانند WEPP و ویژگی‌های خاک، ضرورت دارد. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک و عوامل تاثیرگذار در آن مانند میزان رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ و کوکریجینگ به کمک اطلاعات سنجش از دور (ماهواره Landsat 7) است. بدین‌منظور، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی-متری به‌صورت تصادفی در بخشی از حوزه آبخیز سنلین منطقه کلیبر واقع در استان آذربایجان شرقی برداشت و میزان رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل خاک و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری مدل WEPP اندازه‌گیری شدند. تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های یاد شده و اعداد رقومی تصویر ETM^+ نشان داد که میزان رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک به‌ترتیب با اعداد رقومی (DN) باند ۷، ۱، ۱ و ۳ تصویر ETM^+ بیشترین ضریب هم‌بستگی (۰/۴۰۶، -۰/۴۳۱، -۰/۲۹۱ و ۰/۲۹۹) را داشت. لذا، اعداد رقومی باندهای یاد شده به‌عنوان داده‌های کمکی در تخمین‌گر کوکریجینگ استفاده شدند. ویژگی‌های خاک با مدل کروی برای مدل‌سازی تغییرنا بهترین برازش را داشتند. با وجود به‌کارگیری اطلاعات سنجش از دور به‌عنوان متغیر کمکی در تخمین‌گر کوکریجینگ تفاوت قابل توجهی بین کریجینگ و کوکریجینگ مشاهده نشد. این امر می‌تواند ناشی از همبستگی نه‌چندان قوی بین متغیر هدف و اطلاعات سنجش از دور باشد.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، تصویر ETM^+ ، فرسایش خاک، کریجینگ، کوکریجینگ

مقدمه

به‌کار رفته در تعیین تک تک عوامل موثر در آن است. اجزا فرسایش‌پذیری مدل WEPP^۱ (فرسایش‌پذیری

دقت برآورد تلفات خاک در هر مدلی صرف نظر از عدم قطعیت ساختاری آن مدل، تابعی از میزان دقت

^۱ Water Erosion Prediction Project

تخمین‌گرهای زمین‌آماری از بهترین روش‌های میان‌یابی بوده که ویژگی بارز آن‌ها حداقل‌سازی واریانس خطا می‌باشد (Mohammadi, ۲۰۰۶). در دهه‌های اخیر، در مطالعات زیادی روش‌های زمین-آماری مانند کریجینگ برای پیش‌بینی ناریب خطی در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده شده است (Burgess و Webster, ۱۹۸۰؛ Odeh و همکاران، ۱۹۹۵؛ Dayani و همکاران، ۲۰۰۹؛ Khalil و Moghadam و Ghorbani Dashtaki, ۲۰۱۲؛ Mousavifard و همکاران، ۲۰۱۴). کوکریجینگ در فرایند تخمین از اطلاعات یک متغیر ثانویه که به‌طور معمول به تعداد زیادتری نمونه‌برداری شده است استفاده می‌کند (Mohammadi, ۲۰۰۶). Istok و همکاران (۱۹۹۳)، Wu و همکاران (۲۰۰۳)، Wu و همکاران (۲۰۰۹) و Liao و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که به‌کارگیری کوکریجینگ منجر به نتایج بهتری در مقایسه با کریجینگ معمولی می‌شود. در مقابل، برخی از پژوهشگران گزارش کردند که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج کریجینگ و کوکریجینگ معمولی مشاهده نشد (Martinez-Cob, ۱۹۹۶؛ Triantafilis و همکاران، ۲۰۰۱؛ Mohammadi و Chitsaz, ۲۰۰۲).

نتایج پژوهش Laflen و همکاران (۱۹۹۱) نشان داد که مدل WEPP به عامل‌های فرسایش‌پذیری خاک بسیار حساس بوده و عامل‌های یاد شده نیز به شدت تحت تاثیر ویژگی‌های خاک است. از سوی دیگر، مطالعه کمتری در رابطه با مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری بین‌شیاری که به شدت تحت تاثیر ویژگی‌های سطحی خاک می‌باشد، انجام شده است. با توجه به این‌که برای پیش-بینی فرسایش خاک در یک حوضه نیاز به نقشه‌های با دقت بالا می‌باشد، لذا، هدف از پژوهش حاضر، برآورد و ارزیابی میزان رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل خاک و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری مدل WEPP با استفاده از تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ به کمک اطلاعات سنجش از دور و مقایسه کارایی آن‌ها در حوزه آبخیز سئلین واقع در شهرستان کلیبر می‌باشد.

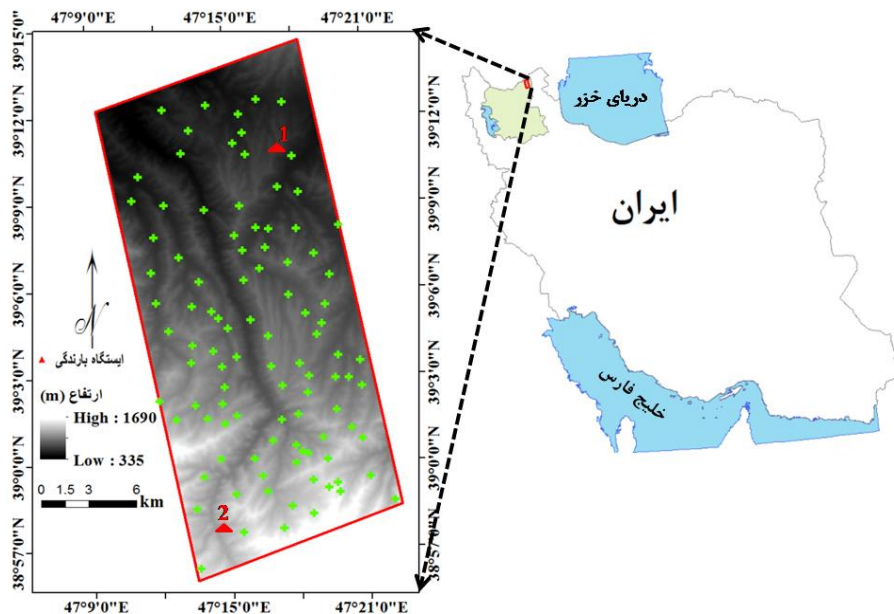
بین‌شیاری، شیاری و تنش‌برشی بحرانی خاک) از مهم‌ترین عوامل در برآورد هدررفت خاک بوده که به-طور مستقیم اثر زیادی بر شروع رواناب و میزان هدررفت خاک دارد. رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک اغلب در برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی و عوامل فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان عوامل زودیافت خاک به‌روش توابع انتقالی بسیار مورد توجه واقع شدند (Seybold و همکاران، ۲۰۰۵؛ Warrington). در این راستا، برای تهیه نقشه فرسایش‌پذیری خاک در یک حوضه علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم و یا برآورد عوامل موثر در یک مدل نیاز به پهنه‌بندی این عوامل با یک روش میان‌یابی دقیق می‌باشد.

در برخی مواقع ممکن است که از یک متغیر، به دلایلی مانند مشکل بودن نمونه‌برداری و یا گران بودن اندازه‌گیری آزمایشگاهی، به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس آن‌ها نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین متغیر هدف و متغیر دیگری که از آن به خوبی نمونه‌برداری شده است و یا اطلاعات وسیعی در دسترس است، تخمین را اصلاح و دقت را بالا برد (Mohammadi و Chitsaz, ۲۰۰۲). اکنون، فناوری سنجش از دور دسترسی بشر را به اطلاعات با حجم بالا و دقت بیشتر در سطح وسیعی امکان‌پذیر کرده است (Alavipanah, ۲۰۰۳). در این راستا، مطالعات نشان داده است که همبستگی معنی‌داری بین بافت و ماده آلی خاک با بازتاب‌های طیفی خاک در ناحیه طیف‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک وجود دارد (Ben-Dor و همکاران، ۱۹۹۹؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۰؛ Sullivan و همکاران، ۲۰۰۵؛ Wu و همکاران، ۲۰۰۹؛ Liao و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج مطالعات نشان داده است که ارزیابی رابطه بین ماده آلی و بازتاب طیفی خاک در شرایطی که ماده آلی خاک بین یک تا پنج درصد است، مفید بوده و در خارج از دامنه فوق نتایج حاصل معتبر نمی‌باشد (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، تغییرات رطوبت، مواد مادری و زبری سطح خاک پایین باشد (Ben-Dor و همکاران، ۱۹۹۹؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۰).

مواد و روش‌ها

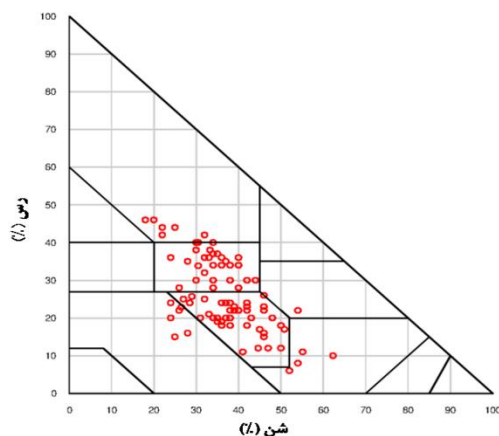
منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران (استان آذربایجان شرقی) واقع و وسعتی برابر با ۴۱۳۵۳ هکتار از اراضی حوزه آبخیز سئین شهرستان کلیبر را شامل می‌شود. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۸' ۴۷° تا ۲۲' ۴۷° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۵۶' ۳۸° تا ۱۵' ۳۹° شمالی قرار دارد. منطقه مورد بحث از جنوب به رشته‌کوه‌های هشت‌سر، از شمال به رود ارس و از غرب به رشته‌کوه‌های سه برادر منتهی می‌شود و

کاربری منطقه عمدتاً گندم‌زار است که به صورت دیم کشت می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد. میانگین دما و بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر ۱۲/۲ درجه سانتی‌گراد و ۳۸۳/۵ میلی‌متر است. همچنین، ایستگاه‌های بارندگی ۱ (سد ارسبارن) و ۲ (عرب‌شاهی) که در شکل ۱ محل آن‌ها مشخص شده است، به ترتیب دارای میانگین بارندگی ۳۲۳ و ۴۸۹ میلی‌متر در سال هستند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

به روش اکسایش‌تر (Black و Walkley, ۱۹۳۴) تعیین شد. چگونگی توزیع بافت نمونه‌های خاک در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- توزیع بافت خاک منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش مراحل انجام عملیات میدانی شامل طراحی الگوی نمونه‌برداری، مطالعات صحرائی و نمونه‌برداری از خاک برای تجزیه آزمایشگاهی بود. موقعیت مکانی ۱۰۰ نمونه خاک به صورت تصادفی بر اساس مساحت طبقات متفاوت شیب انتخاب شد که توزیع نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ ارائه شده است. بدین منظور، هر نمونه خاک حاصل ترکیب سه نمونه از خاک سطحی در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری واقع در رئوس یک مثلث فرضی مطابق با ابعاد یک پیکسل ماهواره‌ای (۳۰ در ۳۰ متر) بود (Dayani و همکاران، ۲۰۱۰). بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee و Bauder, ۱۹۸۶)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک یک نرمال (Moodie و Allison, ۱۹۶۵) و درصد کربن آلی خاک

تغییر بافت خاک لازم است و با توجه به مدیریت یکسان و یکنواخت در کشت و کار و مرتع‌داری، ماده آلی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک به یک شرایط پایدار رسیده و در تعادل با شرایط آب و هوایی می‌باشد و به نظر نمی‌رسد، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در فاصله زمانی سه‌ساله رخ داده باشد.

نمونه‌برداری از خاک در تیر ماه ۱۳۹۳ انجام شد، در حالی که تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ مربوط به تیر ۱۳۹۰ می‌باشد که اطلاعات باندها در جدول ۱ آمده است. البته مناسب آن است که نمونه‌برداری میدانی در هنگام یا نزدیک به زمان برداشت اطلاعات ماهواره‌ای انجام گیرد. در این راستا، مدت زمان زیادی برای

جدول ۱- مشخصات باندهای سنجنده ETM^+

نام باند	شماره باند	محدوده طیفی (μm)	قدرت تفکیک مکانی (m)	کمینه بیشینه میانگین انحراف معیار درصد ضریب تغییرات
آبی	۱	۰/۴۵۰-۰/۵۱۵	۳۰	۹/۳۹
سبز	۲	۰/۵۲۵-۰/۶۰۵	۳۰	۱۲/۷
قرمز	۳	۰/۶۳۰-۰/۶۹۰	۳۰	۱۷/۸
مادون قرمز نزدیک	۴	۰/۷۵-۰/۹۰	۳۰	۱۲/۷
مادون قرمز میانی	۵	۱/۵۵-۱/۷۵	۳۰	۱۷/۱
مادون قرمز حرارتی	۶	۱۰/۴-۱۲/۵	۶۰	۴/۷۹
مادون قرمز میانی	۷	۲/۰۹-۲/۳۵	۳۰	۲۰/۸

که در آن، θ زاویه شیب بر حسب درجه می‌باشد.



شکل ۴- نمائی از باران‌ساز متحرک صحرائی

تغییرنا تجربی عبارت از متوسط مجذور اختلافات بین دو مشاهده ($Z(x)$ و $Z(x+h)$) در دو موقعیت مکانی واقع در فضای نمونه‌برداری است که به‌وسیله آرایه h از هم جدا می‌شوند (معادله ۱) (Mohammadi, ۲۰۰۶).

$$\gamma_i(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i - h))^2 \quad (3)$$

به‌منظور تعیین فرسایش‌پذیری بین‌شیاری از یک سامانه شبیه‌ساز باران صحرائی استفاده شد. این سامانه دارای یک پلات با ابعاد ۵۰ در ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۴). با توجه به دوره برگشت ده‌ساله در منطقه، شدت بارندگی ۴۰ میلی‌متر در ساعت روی خاک‌ها در ۱۰۰ نقطه مطابق با نقاط نمونه‌برداری برای تجزیه آزمایشگاهی (شکل ۱) با سه تکرار به مدت ۳۵ تا ۴۵ دقیقه ایجاد شد. در طول هر آزمایش پنج نمونه در زمان‌های پنج، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۳۵ دقیقه از انتهای پلات شبیه‌ساز باران برداشت شد. ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری مبناء خاک برای مدل WEPP با توجه به بارش، رواناب و شیب در حالت پایدار با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (Elliot و همکاران، ۱۹۸۹).

$$K_{ib} = D_i / IqS_f \quad (1)$$

که در آن، D_i شدت فرسایش بین‌شیاری ($kg\ m^{-2}$)، K_{ib} ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری مبناء^۱ ($kg\ s\ m^{-4}$)، I شدت بارندگی ($m\ s^{-1}$)، q شدت رواناب (m) و S_f عامل شیب است. عامل شیب نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_f = 1.05 - 0.85 \exp^{-4 \sin(\theta)} \quad (2)$$

¹ Base intrill erodibility

شاخص‌های خطای میانگین (ME) (برای تعیین اریب و تمایل به کم یا بیش برآورد) (معادله ۷)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (بیان‌گر دقت میانگین پیش‌بینی می‌باشد و شدت خطا منتظره را نشان می‌دهد) (معادله ۸) و ضریب تبیین (R^2) (معادله ۹) استفاده شد.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(x_i) - z^*(x_i)] \quad (7)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N [z(x_i) - z^*(x_i)]^2}{N} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i)) (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i)) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i))^2 \right]} \quad (9)$$

که در آن، $z^*(x_i)$ بیان‌گر مقادیر تخمینی، $z(x_i)$ مقادیر واقعی متغیرها و N تعداد داده‌ها می‌باشد. محاسبه و مدل‌سازی تغییرنماها و حل سیستم کریجینگ و کوکریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS 9.3، تجزیه و تحلیل‌های اطلاعات ماهواره‌ای در نرم‌افزار ILWIS 3.3 انجام گرفت.

نتایج و بحث

توصیف آماری میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مطالعاتی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری در جدول ۲ ارائه شده است. ضریب تغییرات ویژگی یاد شده کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیان‌گر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد میزان این ویژگی‌ها در منطقه مورد مطالعه است. در بین ویژگی‌های خاک رس دارای کمترین ضریب تغییرات (۳۵/۳۷) و کربنات کلسیم معادل بیشترین تغییرات (۴۸/۵۱) می‌باشد. با این وجود، ویژگی‌های خاک دارای تغییرات متوسط در منطقه مورد مطالعه است، لذا اطلاع از پراکنش مکانی این ویژگی‌ها ضروری می‌باشد. با توجه به نتایج آماری جدول ۱ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف توزیع میزان ماده آلی و کربنات کلسیم معادل نرمال بودند و برای نرمال‌سازی داده‌های میزان رس از تبدیل لگاریتمی استفاده شد.

تغییرنمای تجربی دوجانبه نیز به صورت زیر مورد محاسبه قرار گرفت.

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i - h)) (Z(x_j) - Z(x_j - h)) \quad (4)$$

که در آن، $\gamma(h)$ مقدار واریوگرام برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، $N(h)$ تعداد زوج نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، $Z(x_i)$ و $Z(x_j)$ مقدار مشاهده شده متغیر x و $Z(x_i+h)$ و $Z(x_j+h)$ مقدار مشاهده شده متغیر که به فاصله h از x قرار دارد. یک تغییرنمای ایده‌آل دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای^۱، حد آستانه^۲ و دامنه می‌باشد. اثر قطعه‌ای بیان‌کننده مولفه غیرساختاری (تصادفی) واریانس می‌باشد. حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارائه نموده و مقدار دامنه بیان‌گر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (Mohammadi, ۲۰۰۶). برای طبقه‌بندی درجه پیوستگی مکانی (حد آستانه/اثر قطعه‌ای-حد آستانه)، نسبت‌های با مقادیر کمتر از ۰/۲۵ دارای ساختار مکانی ضعیف، مقادیر بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ متوسط و بیشتر از ۰/۷۵ قوی می‌باشد (Cambardella و همکاران، ۱۹۹۴).

کریجینگ بر پایه مدل مبتنی بر نظریه احتمال استوار است و با به‌کارگیری ویژگی‌های ساختاری تغییرنما و حداقل‌سازی اریب و واریانس خطا اقدام به برآورد متغیرها در مکان‌های نمونه‌برداری نشده می‌نماید. تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ به ترتیب عبارتند از (Mohammadi, ۲۰۰۶):

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (5)$$

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \sum_{j=1}^n \lambda_j Z(x_j) \quad (6)$$

که در آن، Z تخمین مقدار متغیر در نقطه x_0 و λ_i و λ_j وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_{ij} به کار رفته در کریجینگ و کوکریجینگ می‌باشند.

به منظور ارزیابی تخمین‌گر کریجینگ و کوکریجینگ از روش اعتبارسنجی متقاطع از

¹ Nugget effect

² Sill

ماده آلی رنگ خاک تیره گشته و کربنات کلسیم معادل خاک رنگ روشن‌تر می‌شود. بدین ترتیب با تیره‌تر شدن خاک جذب طیفی بیشتر و بازتاب آن کاهش می‌یابد.

Stenberg و همکاران (۲۰۱۰) و Liao و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که میزان رس خاک همبستگی زیادی با باند ۷ در مقایسه با سایر باندهای تصویر ETM^+ دارد. همچنین، Krishnan و همکاران (۱۹۸۰)، Wu و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که ماده آلی اثر قابل توجهی روی ناحیه طیفی مرئی دارد. بیشترین مقدار ضریب همبستگی در پژوهش حاضر برای رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک به ترتیب ۰/۴۰۶، ۰/۴۳۱، ۰/۲۹۱ و ۰/۲۹۹ بود (جدول ۳).

نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی بین ویژگی‌های مختلف خاک با اعداد رقومی (DN) تصویر ETM^+ متفاوت می‌باشد (جدول ۳). به طوری که همبستگی بین میزان رس و ماده آلی و بین میزان کربنات کلسیم معادل با اعداد رقومی (DN) به ترتیب منفی، منفی و مثبت بود. میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل به ترتیب با اعداد رقومی (DN) باند ۷، ۱ و ۱ تصویر ETM^+ بیشترین ضریب همبستگی را داشت.

فرسایش‌پذیری بین‌شیاری همبستگی معنی‌داری با اعداد رقومی باند ۳ داشت. دلیل اصلی همبستگی منفی بین رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل با اعداد رقومی تصویر ETM^+ مربوط به تاثیر این پارامترها بر رنگ خاک می‌باشد که با افزایش رس و

جدول ۲- توصیف آماری ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های خاک	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
رس (درصد)	۶/۰	۴۶/۰	۲۵/۹	۲۴/۰	۹/۱۶	۳۵/۳۷
ماده آلی (درصد)	۰/۱۷	۲/۶۲	۱/۳۹	۱/۴۲	۰/۵۱	۳۶/۶۹
کربنات کلسیم معادل (درصد)	۰/۵	۴۱/۳	۱۶/۸	۱۶/۰	۸/۱۵	۴۸/۵۱
فرسایش‌پذیری بین‌شیاری ($kg\ s\ m^{-4}$)	۴/۱×۱۰ ^{-۷}	۵/۰×۱۰ ^{-۸}	۲/۱×۱۰ ^{-۸}	۱/۹×۱۰ ^{-۸}	۹/۳×۱۰ ^{-۷}	۴۲/۸

جدول ۳- همبستگی بین میزان رس، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری با اعداد رقومی (DN) تصویر ETM^+

ویژگی‌های خاک	DN1	DN2	DN3	DN4	DN5	DN7
رس	-۰/۳۷۲**	-۰/۳۵۶**	-۰/۳۵۲**	-۰/۰۵۶ ^{ns}	-۰/۳۳۸*	-۰/۴۰۶*
ماده آلی	-۰/۴۳۱**	-۰/۴۲۲**	-۰/۳۷۲**	-۰/۲۴۴*	-۰/۴۰۳**	-۰/۴۰۸**
کربنات کلسیم معادل	۰/۲۹۱**	۰/۲۴۲*	۰/۱۸۴ ^{ns}	۰/۰۵۶ ^{ns}	۰/۱۶۹ ^{ns}	۰/۲۲۰*
فرسایش‌پذیری بین‌شیاری	۰/۱۶۴ ^{ns}	۰/۱۲۰ ^{ns}	۰/۲۹۹**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۹۳ ^{ns}	۰/۱۴۸ ^{ns}

**^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ ، $P \leq 0.01$ و غیر معنی‌دار

تقریباً یکسان، اما حد آستانه متفاوت و ساختار مکانی ۵۶/۷ و ۵۷/۲ درصد است (جدول ۴). در مورد کربنات کلسیم معادل پارامترهای قطعه‌ای و حد آستانه جزئی افزایش یافتند (جدول ۴).

بررسی پیوستگی مکانی ماده آلی و فرسایش-پذیری بین‌شیاری خاک در جهات مختلف نشان داد که ساختار مکانی داده‌ها در جهات شمال-شرق (NE) و جنوب-غرب (SW) دارای پیوستگی مکانی یکسان، اما دامنه‌های متفاوت می‌باشند (جدول ۵). نسبت محور بزرگ به محور کوچک (k) به ترتیب برای ماده آلی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری ۱/۵۸ و ۱/۹۸ در

تحلیل تغییرنما در جهت‌های متفاوت نشان داد که تغییرپذیری رس و کربنات کلسیم معادل در جهت‌های مختلف دارای رفتار مشابهی است. لذا، در ادامه تحلیل‌های زمین‌آماري از تغییرنما همه‌جهته استفاده شد. ساختار کروی بهترین برازش را به تغییرنمای رس و کربنات کلسیم معادل داشت که پارامترهای مدل در جدول ۴ ارائه شده است. این امر بیان‌گر آن است که در فاصله شعاع تاثیر تغییرات ویژگی‌ها پیوسته بوده و در فراتر از آن مجانب شده و ایستا می‌باشد. مدل‌سازی تغییرنما و تغییرنما دوجانبه متغیر رس نشان داد که اثر قطعه‌ای در دو حالت

می‌باشد (جدول ۵). لذا، ناهمسان‌گردی از نوع ناهمسان‌گردی هندسی است (Mohammadi, ۲۰۰۶). علت ناهمسان‌گردی ماده آلی در منطقه مورد مطالعه مربوط به توزیع ارتفاعی و مدیریت اراضی می‌باشد که در راستای ناهمسان‌گردی، خاک‌ها تقریباً در یک طبقه ارتفاعی قرار گرفته و از مدیریت یکسان برخوردار می‌باشد.

تخمین‌گر کریجینگ $1/47$ و $1/98$ در تخمین‌گر کوکریجینگ است (جدول ۵) که محور بزرگ آن به ترتیب در امتداد زاویه $66/1$ و $69/5$ درجه است. بنابراین، تغییرپذیری ماده آلی خاک در منطقه مورد مطالعه، ناهمسان‌گرد است. حد آستانه تغییرنماها در جهات متفاوت برای ماده آلی خاک و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک در تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ یکسان بود، لیکن، دامنه آن‌ها متفاوت

جدول ۴- پارامترهای تغییرنما و تغییرنما دوجانبه میزان رس و کربنات کلسیم معادل

مدل	دامنه (km)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	همبستگی مکانی (درصد)*	کلاس همبستگی
تغییرنما رس	۲۹/۷	۵۰/۰۸	۱۱۵/۶۰	۵۶/۷	متوسط
تغییرنما کربنات کلسیم معادل	۷/۷۳	۲۶/۸۷	۶۸/۹۹	۶۱/۱	متوسط
تغییرنما رس	۲۸/۷۳	۵۰/۰۱	۱۱۷/۲۱	۵۷/۲	متوسط
تغییرنما کربنات کلسیم معادل	۹/۶۶	۲۸/۳۰	۷۳/۹۰	۶۱/۷	متوسط

* نسبت واریانس بخش ساختاری به واریانس حد آستانه [(Sill-Nugget)/Sill]

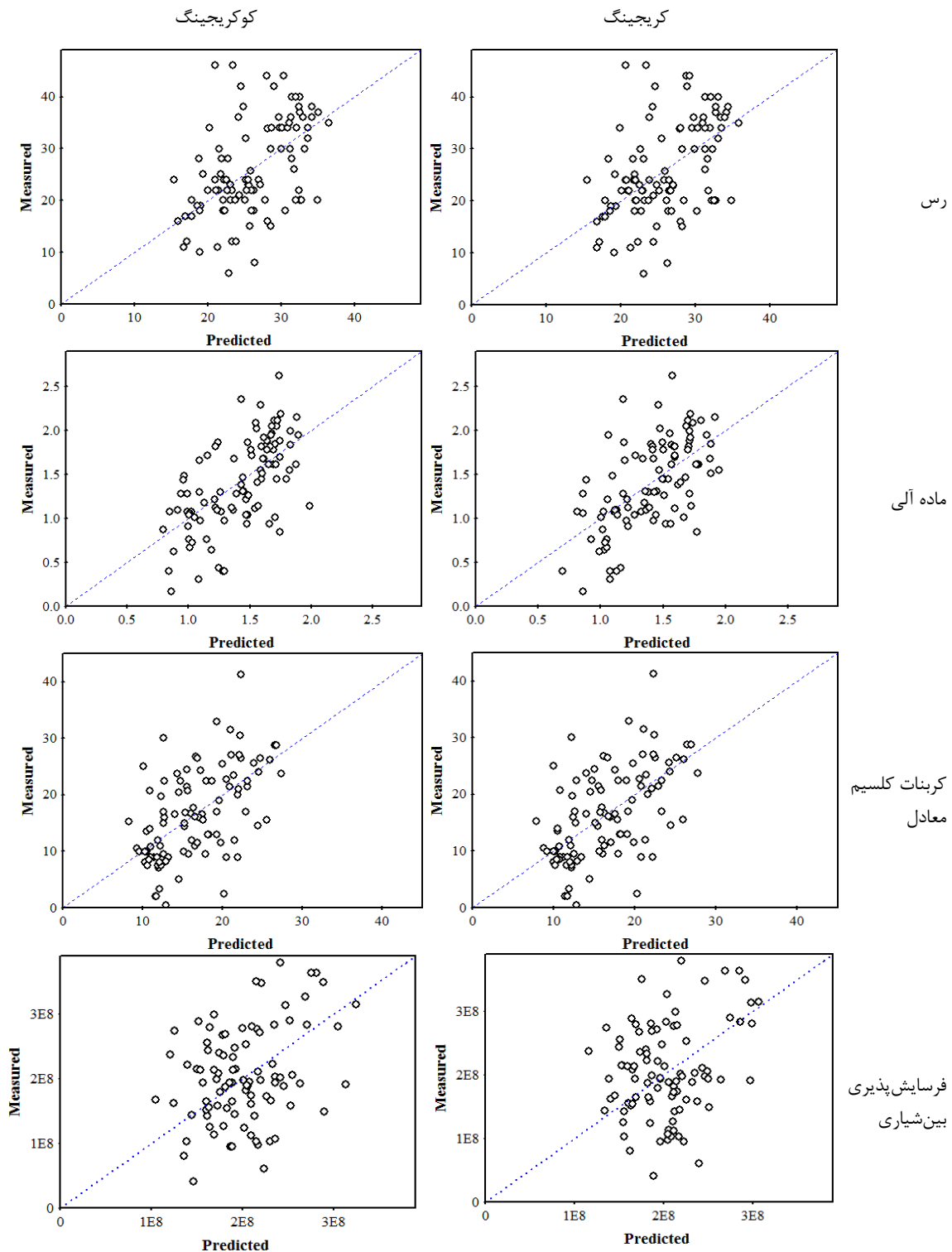
جدول ۵- پارامترهای تغییرنما و تغییرنما دوجانبه میزان ماده آلی

مدل	دامنه (km)		K*	امتداد (درجه)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	همبستگی مکانی (درصد)	ویژگی خاک
	کمینه	بیشینه						
تغییرنما ماده آلی	۴/۲۰	۶/۶۵	۱/۵۸	۶۶/۱	۰/۰۸۰	۰/۳۵۰	۶۸/۰	تغییرنما ماده آلی
تغییرنما فرسایش‌پذیری بین‌شیاری	۱/۹۱	۳/۷۹	۱/۹۸	۷۴/۰	$1/5 \times 10^{14}$	$4/5 \times 10^{15}$	۹۶/۷	فرسایش‌پذیری بین‌شیاری
تغییرنما ماده آلی	۵/۷۴	۸/۴۴	۱/۴۷	۶۹/۵	۰/۰۸	۰/۲۷	۷۰/۴	تغییرنما ماده آلی
تغییرنما فرسایش‌پذیری بین‌شیاری	۱/۹۱	۳/۷۹	۱/۹۸	۷۳/۶	$1/3 \times 10^{14}$	$4/3 \times 10^{15}$	۹۶/۹	فرسایش‌پذیری بین‌شیاری

* نسبت کمینه به بیشینه دامنه

(جدول ۷) نشان داد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در دقت تخمین‌گر کوکریجینگ با تخمین‌گر کریجینگ وجود ندارد. همچنین، در جدول ۶ شیب و عرض از مبدا رگرسیون خطی ساده بین متغیر هدف اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و نیز خطای استاندارد و مقدار P مربوط به هر یک از آن‌ها ارائه شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اختلاف شیب و عرض از مبدا رگرسیون در تخمین‌گر کریجینگ و کوکریجینگ معنی‌دار نیستند ($P \leq 0/001$).

دقت تخمین ویژگی‌های خاک به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در اطراف خط ۱:۱ که در واقع بیان‌گر رابطه بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده متغیرها است، ارائه شده است (شکل ۵). میانگین خطای غیر از صفر بیش یا کم برآوردی یک تخمین‌گر را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج اعتبارسنجی (جدول ۷) که تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد متغیر رس و کربنات کلسیم معادل کم‌برآوردی و در مورد ماده آلی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری بیش‌برآوردی از خود نشان می‌دهد. ارزیابی تخمین‌گر کریجینگ و کوکریجینگ با آماره‌های $RMSE$ و R^2



شکل ۵- رابطه بین میزان نقاط اندازه‌گیری و برآورد شده ویژگی‌های مورد مطالعه به همراه روابط رگرسیونی به روش کوکریجینگ و کوکریجینگ

(۲۰۰۱) نیز گزارش کردند که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج کریجینگ معمولی و کوکریجینگ مشاهده نشد. همچنین، Mohammadi و Chitsaz (۲۰۰۲) با مقایسه تخمین‌گر کریجینگ و کوکریجینگ برای

لذا، به‌کارگیری اعداد رقومی مربوط به تصویر ETM^+ در سیستم کوکریجینگ نتوانست دقت تخمین را در مقایسه با تخمین‌گر کریجینگ افزایش دهد. Martinez-Cob (۱۹۹۶) و Triantafilis و همکاران

برآورد شوری، نسبت جذب سدیمی و میزان آهک خاک با استفاده از داده‌های اطلاعات سنجش از دور گزارش کردند که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین دو تخمین گر یاد شده وجود ندارد. این پژوهش‌گران اظهار داشتند که علت آن مربوط به عدم تفاوت از نظر تعداد نمونه‌ها و همچنین، همبستگی پایین بین متغیرهای هدف و کمکی است.

جدول ۶- ضرایب مدل رگرسیون بین اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و خطای استاندارد و مقدار P مطابق با آن‌ها

متغیر هدف	تخمین‌گر	ضرایب رگرسیون	خطای استاندارد	مقدار P
رس	کریجینگ	شیب	۰/۸۵۲	۰/۱۵۸
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	۳/۸۵	۴/۱۵۷
ماده آلی	کریجینگ	شیب	۰/۸۵۳	۰/۱۱۵
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	۳/۸۱۵	۴/۱۰۴
کربنات کلسیم معادل	کریجینگ	شیب	۱/۰۱۹	۰/۱۳۷
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	-۰/۰۳۷	۰/۱۹۷
فرسایش پذیری بین‌شیاری	کریجینگ	شیب	۱/۰۵۴	۰/۱۳۱
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	-۰/۰۹۳	۰/۱۸۹
	کریجینگ	شیب	۰/۸۹۴	۰/۱۳۴
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	۱/۷۹۱	۲/۳۲۲
	کریجینگ	شیب	۰/۹۲۶	۰/۱۳۶
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	۱/۲۴۲	۲/۳۶۶
	کریجینگ	شیب	۰/۲۷۴	۰/۱۰۱
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	۱/۷×۱۰ ^۸	۱/۲×۱۰ ^۷
	کریجینگ	شیب	۰/۳۳۳	۰/۰۹۹۳
	کوکریجینگ	عرض از مبدا	۱/۶×۱۰ ^۸	۱/۳×۱۰ ^۷

جدول ۷- نتایج اعتبارسنجی روش کریجینگ و کوکریجینگ

ویژگی خاک	تخمین‌گر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ME	RMSE	R ²
رس (درصد)	کریجینگ	۱۵/۴۴	۳۵/۳۹	۲۵/۸۳	۵/۱۶	-۰/۰۷۳۴	۸/۰۳۲	۰/۲۳
	کوکریجینگ	۱۵/۴۱	۳۶/۴۳	۲۵/۸۸	۵/۲۱	-۰/۰۲۵۲	۸/۰۲۸	۰/۲۴
ماده آلی (درصد)	کریجینگ	۰/۶۷	۱/۹۶	۱/۴۱	۰/۳۱	۰/۰۰۹۰	۰/۴۰۴	۰/۳۷
	کوکریجینگ	۰/۶۱	۱/۹۵	۱/۳۹	۰/۳۲	۰/۰۰۰۶	۰/۴۰۲	۰/۳۹
کربنات کلسیم معادل (درصد)	کریجینگ	۷/۷۶	۲۷/۷۹	۱۶/۶۲	۵/۰۸	-۰/۰۳۶۴	۶/۶۸۰	۰/۳۱
	کوکریجینگ	۸/۲۸	۲۷/۳۹	۱۶/۶۵	۴/۹۳	-۰/۰۱۵۵	۶/۶۶۲	۰/۳۲
فرسایش پذیری بین‌شیاری (kgsm ⁻⁴)	کریجینگ	۱/۲×۱۰ ^۸	۳/۱×۱۰ ^۸	۲/۰×۱۰ ^۸	۴/۱×۱۰ ^۷	۲/۶×۱۰ ^۶	۷/۴×۱۰ ^۷	۰/۱۷
	کوکریجینگ	۱/۰×۱۰ ^۸	۳/۳×۱۰ ^۸	۲/۰×۱۰ ^۸	۴/۵×۱۰ ^۷	۳/۶×۱۰ ^۶	۷/۲×۱۰ ^۶	۰/۲۰

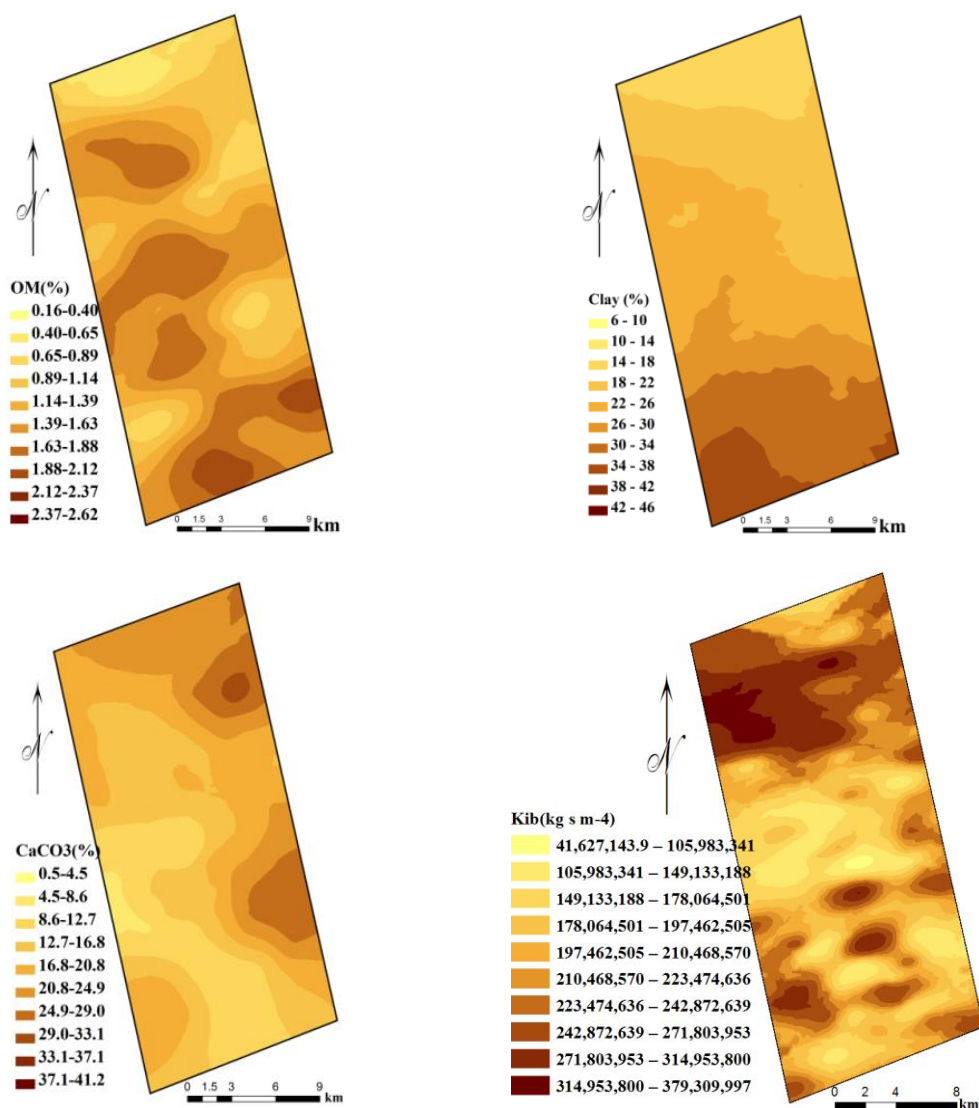
جنوب و غرب و کمترین مقدار آن در شمال شرق منطقه واقع شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ارتفاع از جنوب منطقه مورد مطالعه به سمت شمال کاهش می‌یابد. نقشه توزیع رس نشان داد که توزیع رس نیز به سمت غرب و جنوب افزایش می‌یابد. در مورد کربنات کلسیم معادل نیز نقشه مربوطه شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهد که بیشترین

شکل‌های ۶ و ۷ نقشه پراکنش رس، ماده آلی، کربنات کلسیم و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نقشه‌های پیش‌بینی شده ویژگی‌های خاک به وسیله روش کریجینگ و کوکریجینگ، روند و توزیع مشابهی را نشان می‌دهد. به هر حال، همان‌طور که شکل‌های ۶ و ۷ نشان می‌دهد، بیشترین مقدار رس در قسمت

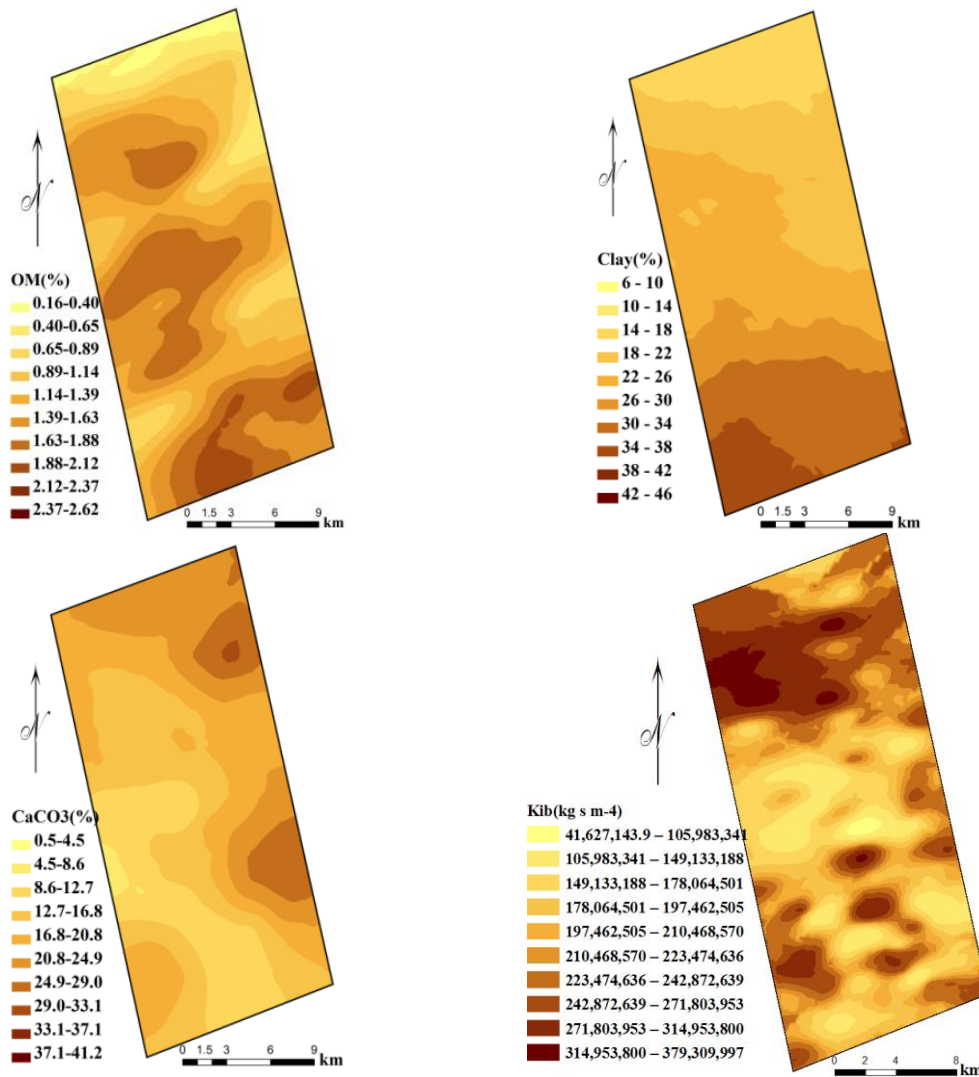
آلی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه بیشتر است. ماده آلی زیاد در قسمت مرکزی و جنوب منطقه نیز مربوط به وجود جنگل پیش از زراعت (قبل از تغییر کاربری اراضی) و ویژگی‌های آب و هوایی مطلوب برای رشد پوشش گیاهی در مرکز و قسمت جنوب و جنوب غربی منطقه می‌باشد. دلیل پایین بودن ماده آلی خاک در بخش‌های شمال و به‌ویژه شمال غرب منطقه مطالعاتی مربوط به پوشش گیاهی کم و تخریب اراضی تحت کشاورزی دیم می‌باشد.

مقدار کربنات کلسیم معادل در شمال شرق و کمترین مقدار در قسمت جنوب و غرب منطقه که برعکس توزیع ارتفاعی منطقه است. علت آن مربوط به میزان بارندگی (شکل ۱) و کاربری سابق قبل از کشت دیم در مناطق جنوبی که بیشتر جنگل و مرتع بوده است، می‌باشد.

به این‌صورت که، میزان بارندگی زیاد، ماده آلی بالا و متعاقب آن نفوذپذیری بالا موجب شده که واکنش خاک در این بخش از منطقه پایین باشد و شرایط را برای انحلال آهک فراهم سازد. میزان ماده



شکل ۶- نقشه فرسایش‌پذیری، میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک با روش کریجینگ



شکل ۷- نقشه فرسایش پذیری، میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک با روش کوکریجینگ

به کارگیری اطلاعات سنجش از دور در سیستم کوکریجینگ افزایش اطلاعات و جزئیات تغییرپذیری مکانی به ویژه در مورد ماده آلی و فرسایش پذیری بین شیاری خاک در بخش های خاصی از منطقه به وضوح قابل مشاهده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش، همبستگی بین میزان رس، ماده آلی، میزان کربنات کلسیم معادل و فرسایش پذیری بین شیاری خاک با اعداد رقومی (DN) به ترتیب منفی، مثبت و مثبت و به ترتیب با اعداد رقومی (DN) باندهای ۷، ۱، ۱ و ۳ تصویر ETM^+ بیشترین همبستگی را داشت. به عبارت دیگر، این امر بیان گر آن است که اعداد رقومی (DN) تصویر ETM^+ همبستگی

نقشه فرسایش پذیری بین شیاری نشان می دهد که فرسایش پذیری بین شیاری خاک، مطابق با افزایش ارتفاع منطقه مطالعاتی کمتر می شود که علت آن مربوط به بالا بودن ماده آلی در اثر دمای پایین و متعاقب آن فعالیت میکروبی پایین و میزان رس که با افزایش ارتفاع در منطقه افزایش یافت، می باشد. میزان بالای ماده آلی و رس موجب افزایش مقاومت خاک به عوامل فرسایش زا می شود (Slami و همکاران، ۲۰۰۷). دلیل کمتر بودن فرسایش پذیری بین شیاری در مناطق شمالی برخلاف مقدار کم رس و ماده آلی مربوط به میزان شن خاک (بین ۱۸ و ۵۶ درصد که بیشترین مقدار آن در بخش های شمالی منطقه واقع شده است) می باشد که باعث افزایش مقاومت خاک به عوامل فرسایش می شود (Slami و همکاران، ۲۰۰۷). با

اطلاعات می‌تواند در مطالعات خاک‌شناسی بسیار مفید واقع شود.

نقشه پراکنش ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد که بیشترین مقدار رس در قسمت جنوب و غرب و کمترین مقدار آن در شمال شرق منطقه واقع شده است. بیشترین مقدار کربنات کلسیم معادل در شمال شرق و کمترین مقدار آن در قسمت جنوب و غرب منطقه می‌باشد. میزان ماده آلی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه مورد مطالعه بیشتر بود. با افزایش ارتفاع به‌علت افزایش بارندگی و پایین بودن دما فرسایش‌پذیری بین‌شیاری نیز کاهش یافت. در مجموع، با توجه به این‌که برآورد مکانی فرسایش‌پذیری خاک و عوامل تاثیرگذار در آن در مقیاس بزرگ به مشکل اساسی تبدیل شده است. بنابراین، با استفاده از کریجینگ و کوکریجینگ (با به‌کارگیری داده‌های کمکی مناسب) می‌توان این پارامترها را برآورد کرده و در تخمین فرسایش خاک به‌وسیله مدل‌های فرسایشی مانند WEPP مورد استفاده قرار داد.

معنی‌داری با فرسایش‌پذیری بین‌شیاری و ویژگی‌های خاک دارد که می‌توانند به‌عنوان داده‌های کمکی در افزایش دقت تخمین مکانی فرسایش‌پذیری بین‌شیاری مورد توجه قرار گیرند. تحلیل تغییرنما در جهت‌های متفاوت نشان داد که تغییرپذیری رس و کربنات کلسیم معادل در جهت‌های مختلف همسان‌گرد و میزان ماده آلی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری ناهمسان‌گرد است. یعنی ماده آلی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری دارای پیوستگی مکانی یکسان، اما دامنه‌های متفاوت در جهت‌های متفاوت می‌باشند که علت آن مربوط به توزیع ارتفاعی و مدیریت متفاوت اراضی در جهت‌های گوناگون می‌باشد. نتایج نشان داد که استفاده از اطلاعات تصویر ETM⁺ ماهواره Landsat 7 نتوانست به لحاظ آماری موجب افزایش دقت قابل ملاحظه‌ای تخمین‌گر کوکریجینگ در مقایسه با تخمین‌گر کریجینگ شود. علت این امر، اثر متقابل اطلاعات سنجش از دور با سایر پدیده‌ها مانند پوشش گیاهی و توپوگرافی می‌باشد، در شرایطی که منطقه مطالعاتی عاری از پوشش گیاهی و مسطح باشد این

منابع مورد استفاده

- Allison, L.E. and C.D. Moodie. 1965. Methods of soil analysis. Part 2, Chemical Methods, 2nd ed., Agronomy Monograph, 9, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, 1379-1400.
- Alavipanah, S.K. 2003. Application of remote sensing in the earth science (soil). University of Tehran press, 125 pages (in Persian).
- Ben-Dor, E., J.R. Irons and G.F. Epema. 1999. Soil reflectance. In A.N. Rencz (ed.), Remote sensing for the earth sciences: Manual of remote sensing. Wiley, Danvers, MA, 111-188.
- Burgess, T.M. and R. Webster. 1980. Optimal interpolation and isarithm mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. European Journal of Soil Science, 31: 315-331.
- Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Noca, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco and A.E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58: 1501-1511.
- Chen, F., D.E. Kissel, L.T. West and W. Adkins. 2000. Field-scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery. Soil Science Society of America Journal, 64:746-753.
- Dayani, M., J. Mohammadi and M. Naderi. 2009. Geostatistical analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Isfahan). Journal of Water and Soil, 23(4): 67-76 (in Persian).
- Dayani, M., M. Naderi and J. Mohammadi. 2010. Mapping concentration of Pb, Zn and Cd soils using Landsat ETM⁺ data in southern Isfahan. Journal of Water and Soil, 24(2): 286-296 (in Persian).
- Elliot, W.J., A.A. Liebenow, J.M. Lafren and K.D. Kohl. 1989. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field, erodibility experiments 1987 and 88. NSERL Report, vol. 3., Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, National Soil Erosion Research Lab., West Lafayette, Indiana, 316 pages.
- Gee, G.H. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. Methods of soil analysis, Physical Properties. SSSA, Madison, WI 9: 383-411.
- Istok, J.D., J.D. Smyth and A.L. Flint. 1993. Multivariate geostatistical analysis of ground-water contaminant: a case history. Ground Water, 31(1): 63-74.
- Krishnan, P., J.D. Alexander, B.J. Butler and J.W. Hummel. 1980. Reflectance technique for predicting soil organic matter. Soil Science Society of America Journal, 44: 1282-1285.

13. Khalil Moghadam, B. and S. Ghorbani Dashtaki. 2012. Comparison of geostatistics, PTFs, SSPFs methods and their combination for estimating soil surface shear strength. *Journal of Water and Soil*, 26(1): 127-128 (in Persian).
14. Laflen, J.M., W.J. Elliot, J.R. Simanton, C.S. Holzey and K.D. Kohl. 1991. WEPP soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1): 39-44.
15. Liao, K., X.U. Shaohui, W.U. Jichun and Z.H.U. Qing. 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59: 488-500.
16. Martinez-Cob, C.A. 1996. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal of Hydrology*, 174: 19-35.
17. Mousavifard, S.M., H.R. Momtaz and H. Khodaverdiloo. 2014. Efficiency of some geostatistical estimators for interpolation and mapping some soil quality properties. *Journal of Soil and Water Resource Conservation*, 2(3): 57-71 (in Persian).
18. Mohammadi, J. 2006. *Pedometrics, Vol 2: Spatial statistic*. Pelk press, 250 pages (in Persian).
19. Mohammadi, J. and V. Chitsaz. 2002. Comparison of geostatistical predictors and linear regression for estimating some surface soil properties using thematic mapping data. *Journal of Water and Soil Science*, 16(2): 196-205 (in Persian).
20. Odeh, I.O.A., A.B. McBratney and D.J. Chittleborough. 1995. Further results on prediction from terrain attributes: Heterotopic cokriging and regression kriging. *Geoderma*, 67: 215-236.
21. Seybold, C.A., R.B. Grossman and T.G. Reinsch. 2005. Predicting cation exchange capacity for soil survey using linear models. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 856-863.
22. Slami, M., A. Jafari Ardakani and K. Kamali. 2007. Investigating of measured soil erodibility correlation with rainfall simulation, Baisal and Whishmaier graph. *Watershed engineering and Science Congress with Watershed Management Subject*.
23. Stenberg, B., R.A. Viscarra Rossel, A.M. Mouazen and J. Wetterlind. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy*, 107: 163-215.
24. Sullivan, D.G., J.N. Shaw, D. Rickman, P.L. Mask and J.C. Luvall. 2005. Using remote sensing data to evaluate surface soil properties in Alabama ultisols. *Soil Science*, 170: 954-968.
25. Triantafilis, J., W. Ward and A. McBratney. 2001. Land suitability assessment in the Namoi valley of Australia, using a continuous model. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 273-290.
26. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Science Society America Journal*, 79: 459-465.
27. Warrington, D.N., A.I. Mamedov, A.K. Bhardwaj and G.J. Levy. 2009. Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal development. *European Journal of Soil Science*, 60: 84-93.
28. Wu, C., J. Wu, Y. Luo, L. Zhang and S.D. DeGloria. 2009. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. *Soil Science Society America Journal*, 73: 1202-1208.
29. Wu, J., W.A. Norvell, D.G. Hopkins, D.B. Smith, M.G. Ulmer and R.M. Welch. 2003. Improved prediction and mapping of soil copper by kriging with auxiliary data for cation-exchange capacity. *Soil Science Society America Journal*, 67: 919-927.