

مدل‌سازی فرسایش پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک با استفاده از شاخص‌های دورسنجی

سید علی موسوی^{۱*}، ابوالفضل رنجبر فردوئی^۲، سید حجت موسوی^۳، سید جواد ساداتی نژاد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

چکیده

فرسایش خاک توسط نیروی توأمان فرایندهای آب و باد سبب تخریب اراضی در سطحی گسترده می‌شود. بنابراین مدل‌سازی منطقه‌ای فرسایش‌پذیری یکی از مناسب‌ترین راهکارهای تخمین هدررفت خاک محسوب می‌گردد. لذا هدف از این پژوهش، تدوین یک مدل منطقه‌ای فرسایش‌پذیری توسط روش‌های آماری، از طریق رابطه‌سنجی بین پارامترهای فیزیکی خاک و شاخص‌های دورسنجی در خور و بیابانک است. روش نمونه‌برداری میدانی، از نوع ترانسکت خطی بوده و در امتداد آنها، ۳۳ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متر برداشت شد. با انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، میزان عناصر ماسه، رس، سیلت، کربن و ماده آلی اندازه‌گیری و سپس مقادیر فرسایش‌پذیری در قالب فاکتور K و شاخص SEI محاسبه شد. در مرحله بعد، تصویر سنجنده OLI منطبق با زمان نمونه‌برداری میدانی از پایگاه اینترنتی USGS اخذ و با اعمال توابع Clay، NDVI، GOSAVI، SAVI، TSAVI، NDSI، SCI و GSAVI، مقادیر شاخص‌های مزبور استخراج گردید. در نهایت، با استفاده از آزمون پیرسون، همبستگی بین عناصر فیزیکی و فرسایش‌پذیری خاک با شاخص‌های دورسنجی محاسبه و در پایان جهت مدل‌سازی SEI و K، از طریق رگرسیون ساده و چندگانه، مبادرت به رابطه‌سنجی بین پارامترهای مذکور گردید و از بین آن‌ها مناسب‌ترین مدل‌ها بارزش رجحانی بالاتر انتخاب شد. نتایج مدل‌سازی نمایانگر حداکثر ارتباط خطی SEI با شاخص‌های SAVI، NDVI و TSAVI به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۶۹، ۰/۶۶ و ۰/۶۳، و رابطه خطی فاکتور K با شاخص‌های NDSI، SAVI و SCI، به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۶۳، ۰/۶۱ و ۰/۵۸ در سطح ۹۹ درصد است. نتایج رگرسیون چندگانه نیز بیانگر بالاترین ارتباط SEI و K با اجماع گروهی شاخص‌های دورسنجی به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۵۱۷ و ۰/۵۶۴ و خطای برآورد ۰/۰۰۳۱۱۴۴ و ۰/۰۰۹۲۳۶۹ در سطح ۹۹ درصد است. بنابراین از طریق شاخص‌های دورسنجی و مدل‌های آماری تک متغیره و چندمتغیره، می‌توان میزان فرسایش‌پذیری خاک را برآورد نمود که امکان تخمین سریع و نسبتاً دقیق مقادیر SEI و K را در منطقه خور و بیابانک فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش‌پذیری خاک، عامل K، شاخص SEI، تحلیل رگرسیون، خور و بیابانک.

۱. دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان / Email: Mosaviali5@gmail.com

۲. دانشیار گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان / Email: aranjarbar@kashanu.ac.ir

۳. استادیار گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان / Email: hmousavi15@kashanu.ac.ir

۴. دانشیار گروه اکوهیدرولوژی و مهندسی طبیعت، دانشکده انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشگاه تهران / Email: jsadatinejad@ut.ac.ir

مقدمه

بیابان‌زایی فرایندی است که در نتیجه عوامل طبیعی و عملکرد نادرست انسان ایجاد می‌شود (رینولدز^۱، ۲۰۰۸). فرسایش خاک یکی از بنیادی‌ترین پیامدهای بیابان‌زایی و تخریب سرزمین است که باعث تغییرات مخرب اکولوژیکی در بسیاری از اراضی خشک و نیمه‌خشک می‌شود و سیر فزاینده آن تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط‌زیست به‌شمار می‌رود (رحمان و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین فرسایش یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی است (شواب^۲ و همکاران، ۱۹۹۳). عامل فرسایش سبب هدررفت خاک، پرشدن مخزن سدها، تخریب جنگل‌ها و مراتع، کاهش سطح اراضی زراعی و تولیدات کشاورزی، مهاجرت روستاییان (ایروم^۳ و همکاران، ۲۰۰۷)، کاهش کیفیت فیزیکی خاک و ناپایداری ساختمان آن می‌شود (والاس و تری^۴، ۱۹۹۸).

فرسایش‌پذیری و کیفیت خاک متأثر از یکدیگر بوده و به‌شدت به هم وابسته‌اند. بنابراین فرسایش‌پذیری به ویژگی‌های متعددی از جمله فیزیکی، مکانیکی، هیدرولوژیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و بیولوژیکی همراه با ویژگی‌هایی نظیر عمق خاک و تأثیر آن بر رشد گیاه بستگی دارد (یانگ و موچلر^۵، ۱۹۷۷). پارامترهای فیزیکی مهم دخیل در عامل فرسایش‌پذیری شامل بافت، مقدار مواد آلی، اندازه و ثبات ساختمان در لایه سطحی، نفوذپذیری لایه زیرسطحی و عمق لایه محدودکننده است (ویشمایر و مانرینگ^۶، ۱۹۶۹). با توجه به اینکه فرسایش خاک در اثر تخریب ویژگی‌های فیزیکی انجام می‌شود، نیاز به بررسی تأثیر شاخص‌های کیفیت خاک بر فرسایش‌پذیری وجود دارد. بنابراین درک فرایند فرسایش، تعیین میزان و مدل‌سازی آن از الزامات مدیریتی حفاظت خاک است (رودریگز^۷ و همکاران، ۲۰۰۶). نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت خاک، تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری و پیش‌بینی مقدار فرسایش است. با وجود این، تخمین فرسایش‌پذیری خاک به‌علت اینکه

طبقه‌بندی آن براساس فاکتورهای دخیل در فرسایش‌پذیری استوار نیست، کاری مشکل بوده و با عدم قطعیت انجام می‌شود (نلسون و سامر^۸، ۱۹۸۲؛ وانگ^۹ و همکاران، ۲۰۰۱). به‌طور کلی، عوامل دخیل در فرسایش را می‌توان در دو دسته فرسایش‌زا و فرسایش‌پذیر تقسیم‌بندی کرد. فرسایش‌زایی ارتباط مستقیم با نوع فرایند و ویژگی‌هایی نظیر تداوم و انرژی آن دارد. فرسایش‌پذیری نیز به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، شیوه‌های خاک‌ورزی و همچنین کاربری اراضی وابسته است (هادسون^{۱۰}، ۱۹۸۱). لذا اطلاعات زمانی و مکانی از فرسایش‌پذیری در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش و مدیریت حفاظت خاک نقش مؤثری دارد (پراساناکومار^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱).

زمانی که اندازه‌گیری مستقیم یک پدیده دشوار است، از مدل‌سازی برای برآورد استفاده می‌شود. فرسایش نیز به‌سبب وجود پیچیدگی که در فرایند انجام از مرحله کاوش، انتقال و درنهایت رسوب‌گذاری دارد، از این امر مستثنا نیست (عظیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۱). تاکنون روش‌های مختلفی به‌صورت مستقیم (اندازه‌گیری) یا غیرمستقیم (تخمین با استفاده از مدل) برای مدل‌سازی و تعیین عامل فرسایش‌پذیری به‌عنوان جزء جدانشدنی فرسایش خاک معرفی شده است. روش‌های مستقیم با وجود دقت مناسب، به‌سبب وقت‌گیر بودن و هزینه‌های زیاد اقتصادی کمتر مورد توجه‌اند، بنابراین استفاده از مدل‌ها در این خصوص هر روز توسعه بیشتری پیدا کرده است. مهم‌ترین ویژگی مهم اکثر این مدل‌ها این است که می‌توان با برآورد واقعی از طبیعت، در راستای مدیریت هرچه بهتر منابع طبیعی برنامه‌ریزی نمود و از پیامدهای منفی در این زمینه جلوگیری کرد (قربانی و بهرامی، ۲۰۰۵). وانگ^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۱) برای تعیین فاکتور فرسایش‌پذیری خاک تمام متغیرهای ذی‌ربط را همسان‌گرد ذکر کردند. ویه^{۱۳} (۲۰۰۲) در بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک، مدل‌نمایی را برای متغیر رس به‌عنوان یک مدل بهینه معرفی کرد.

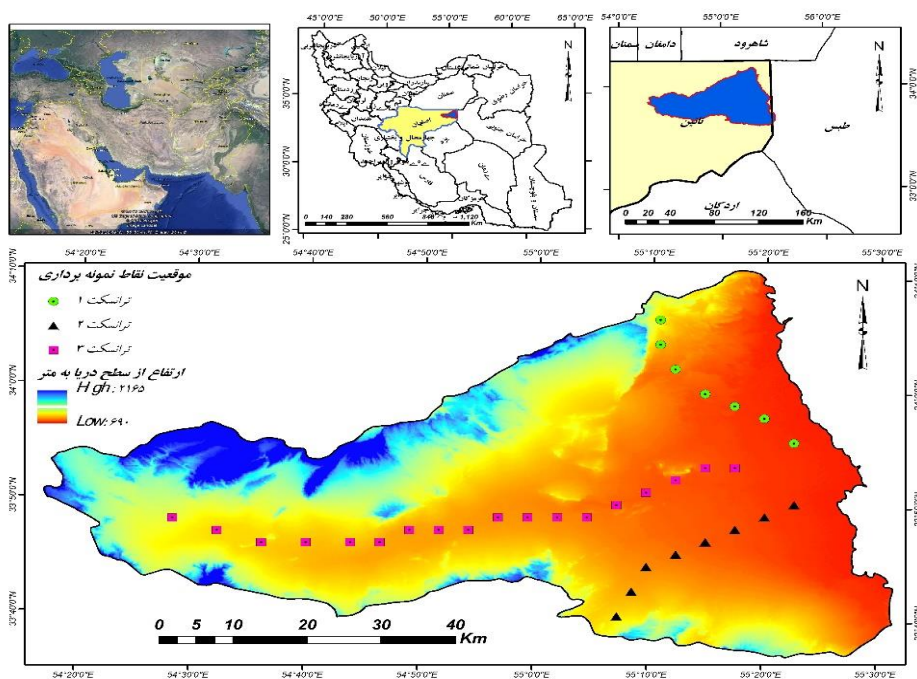
8. Nelson & Sommer
9. Wang
10. Hudson
11. Prasannakumar
12. Wang
13. Veihe

1. Reynolds
2. Schwab
3. Irvem
4. Wallace & Terry
5. Young & Mutchler
6. Wischmeier & Mannering
7. Rodriguez

مواد و روش‌ها

حوضه خور و بیابانک در شرق استان اصفهان و در قسمت جنوب غربی کویر بزرگ مرکزی قرار دارد. این منطقه با وسعت ۲۷۳/۳۷۹۴ کیلومتر مربع، در عرض شمالی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۱ دقیقه و طول شرقی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۴ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). اقلیم آن گرم و خشک بوده و در کمربند بیابانی نیمکره شمالی قرار دارد. میانگین بلندمدت حداقل و حداکثر دمای ایستگاه سینوپتیک خور و بیابانک به ترتیب ۶/۵ و ۳۱/۶ درجه سانتی‌گراد و بارش آن ۸۳/۹ میلی‌متر است. جنس سازندهای منطقه عموماً آهکی، گچی و نمکی است. کوه‌های آن به چین‌خوردگی‌های آلپی تعلق داشته و جزو کوه‌های ایران مرکزی است. پوشش گیاهی غالب منطقه درمنه دشتی و قیچ بوده و قسمت عمده‌ای از آن که شامل کویر و تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد بدون پوشش است.

منطقه خور و بیابانک یکی از کانون‌های بحرانی فرسایش در ایران مرکزی است که بیشترین عامل فرساینده آن، فرایند باد بوده و در کنار آن فقر پوشش گیاهی، مواد آلی اندک موجود در خاک و خشکسالی‌های طولانی‌مدت باعث تشدید فرسایش شده است. بنابراین مطالعه فرسایش خاک در قالب بررسی و ارزیابی عوامل فرسایش‌پذیری و همچنین مدل‌سازی برای تخمین مقادیر آن، از طریق روابط آماری مورد تأیید بوده و از اهمیت بسیار زیادی در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی، پایش و حفاظت از عرصه‌های طبیعی برخوردار است. لذا هدف از پژوهش حاضر، این است که با استفاده از داده‌های میدانی و شاخص‌های دورسنجی و بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل‌های آماری به مدل‌سازی فرسایش‌پذیری خاک بر مبنای عوامل مؤثر در آن، در منطقه خور و بیابانک پردازد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری

پلایا، دشت‌سر و کوهستان از عمق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متر و با پراکنش منطقی مناسب برداشت شد. موقعیت ترانسکت‌ها و نقاط نمونه‌برداری در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. سپس با انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، عناصر درصد کربن آلی، رس، سیلت و ماسه اندازه‌گیری شد (شکل ۲). برای تعیین بافت

پژوهش حاضر در قالب سه بخش مجزا شامل بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی، تحلیل‌های دورسنجی و ارتباط‌سنجی‌های آماری انجام شده است. در خصوص بخش بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی با مراجعات میدانی مکرر به منطقه، ابتدا ۳۳ نمونه خاک در امتداد ۳ ترانسکت از واحدهای

مقدار شن ریز از روش الک تر استفاده شد. همچنین به منظور تعیین میزان ماده آلی نیز از روش والکلی بلاک (نیلسون و سامر، ۱۹۸۲) بهره‌گیری شد.

خاک و توزیع اندازه ذرات از روش هیدرومتری (کلوت، ۱۹۸۶) استفاده شد. کلاس نفوذپذیری خاک به صورت غیرمستقیم و با استفاده از روش SCS تعیین شد و برای تعیین



شکل (۲): تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی

کلاس ساختمان خاک، SEI شاخص فرسایش‌پذیری خاک، S_a : درصد ذرات ماسه بین (۰/۰۵-۰/۰۰۲ میلی‌متر)، S_i : درصد ذرات سیلت بین (۰/۰۵-۰/۰۰۲ میلی‌متر)، Cl : درصد ذرات رس (>0.002 میلی‌متر)، C : درصد محتوای کربن آلی و S_n : برابر با $(1 - S_a/100)$ است.

در بخش تحلیل‌های دورسنجی، نخست تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با ردیف ۳۶، ۳۷ و مسیر ۱۶۲ (LC81620372015347LGN00 و LC81620362015347LGN00) از وب‌گاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۲ اخذ شد. سپس مراحل پیش‌پردازش شامل رفع جافتادگی و نوارشدگی تصاویر، چینش باندها، موزاییک و برش تصاویر براساس محدوده مطالعاتی روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. در مرحله بعد، تصاویر با اعمال توابع شاخص‌های دورسنجی مطالعات خاک‌شناسی از قبیل Clay، GOSAVI، SAVI، TSAVI،^۳ \sqrt{NDSI} ، \sqrt{NDVI} ،^۴ \sqrt{ENVI} و \sqrt{GSAVI} ^۵ (جدول ۱) در محیط نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS مورد پردازش قرار گرفت و مقادیر شاخص‌های مزبور برای تکمیل پایگاه داده و مدل‌سازی در موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری استخراج شد.

در نهایت، با استفاده از روابط (۱) و (۳) (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸، ۵۸، وب و گون، ۲۰۰۹) و عناصر درصد ماده آلی، درصد رس، سیلت و ماسه، فرسایش‌پذیری خاک در قالب محاسبه فاکتور K و شاخص SEI برای نمونه‌های مطالعاتی برآورد شد.

$$K = \frac{\left[(2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - OM) + 3.25(S_i - 2) + 2.25(P_t - 3)) \right]}{100} \times 0.1317 \quad (1)$$

$$M = (M_{silt} + M_{vfs}) \times (100 - M_c) \quad (2)$$

$$SEI = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 S_a \left(1 - \frac{S_i}{100} \right) \right] \right\} \times \left(\frac{S_i}{Cl + S_i} \right)^{0.3} \times \left[1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \times \left[1 - \frac{0.75S_n}{S_n + \exp(-5.51 - 22.9S_n)} \right] \quad (3)$$

در این روابط، K: عامل فرسایش‌پذیری خاک برحسب تن در ساعت بر مگازول میلی‌متر، M: عامل بافت خاک است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. M_c : درصد محتوای رس، M_{silt} : درصد محتوای سیلت، M_{vfs} : درصد محتوای شن و ماسه بسیار ریز، OM: درصد محتوای مواد آلی، P_t : کلاس نفوذپذیری، S_t :

2. <http://earthexplorer.usgs.gov>
3. Green Optimized Soil Adjusted Vegetation Index
4. Soil Adjusted Vegetation Index
5. Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
6. Normalized Difference Vegetation Index
7. Normalized Difference Salinity Index
8. Soil Composition Index
9. Green Soil Adjusted Vegetation Index

1. Webb & McGowan

جدول (۱): توابع شاخص‌های دورسنجی مورد استفاده

ردیف	شاخص دورسنجی	تابع*	ردیف	شاخص دورسنجی	تابع*
۱	NDVI	$\frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$	۵	TSAVI	$\frac{a.NIR - a.RED - b}{RED + a.NIR - a.b}$
۲	Clay	$\frac{SWIRI}{SWIRII}$	۶	NDSI	$\frac{SWIRI - SWIRII}{SWIRI + SWIRII}$
۳	GOSAVI	$\frac{NIR - G}{NIR + G + Y}$	۷	SCI	$\frac{SWIRI - NIR}{SWIRI + NIR}$
۴	SAVI	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}(1 + L)$	۸	GSAVI	$\frac{NIR - G}{NIR + G + L}(1 + L)$

* در این توابع، مقادیر ضرایب $a=1/22$ ، $b=0/03$ ، $L=0/5$ ، $y=0/16$ است.

نشان‌دهنده مشخصات فیزیکی و فرسایش پذیری خاک منطقه است، در قالب تبیین آمار توصیفی پارامترهای رس، سیلت، ماسه، کربن آلی، ماده آلی، فاکتور K و شاخص SEI در قالب آماره‌های دامنه، حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی و کشیدگی در جدول (۲) گزارش شده است. همچنین در این جدول، آمار توصیفی شاخص‌های دورسنجی Clay، GOSAVI، NDVI، SAVI، TSAVI، NDSI، SCI و GSAVI نیز گزارش شده است که به نوعی، مبین مشخصات آماری پایگاه داده مورد استفاده در مدل‌سازی می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رس با میانگین $47/84$ و دامنه 46 درصدی در بین عناصر فیزیکی خاک، فاکتور K با میانگین $0/043$ و دامنه $0/044$ در مؤلفه فرسایش پذیری، و شاخص Clay با میانگین $1/12$ و دامنه $0/24$ در میان شاخص‌های دورسنجی بیشترین دامنه تغییرات را نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از پردازش تصاویر در قالب اعمال توابع شاخص‌های دورکاوای (جدول ۱) روی تصاویر LC81620372015347LGN00 و LC81620362015347LGN00 به صورت نقشه‌های گزارش شده در شکل (۳) است. مقادیر عددی شاخص‌های مزبور بین $-0/7$ تا $1/6$ در نوسان بوده که شاخص Clay با حداقل و حداکثر مقادیر $0/8$ و $1/55$ ، بیشترین دامنه تغییرات را نشان می‌دهند.

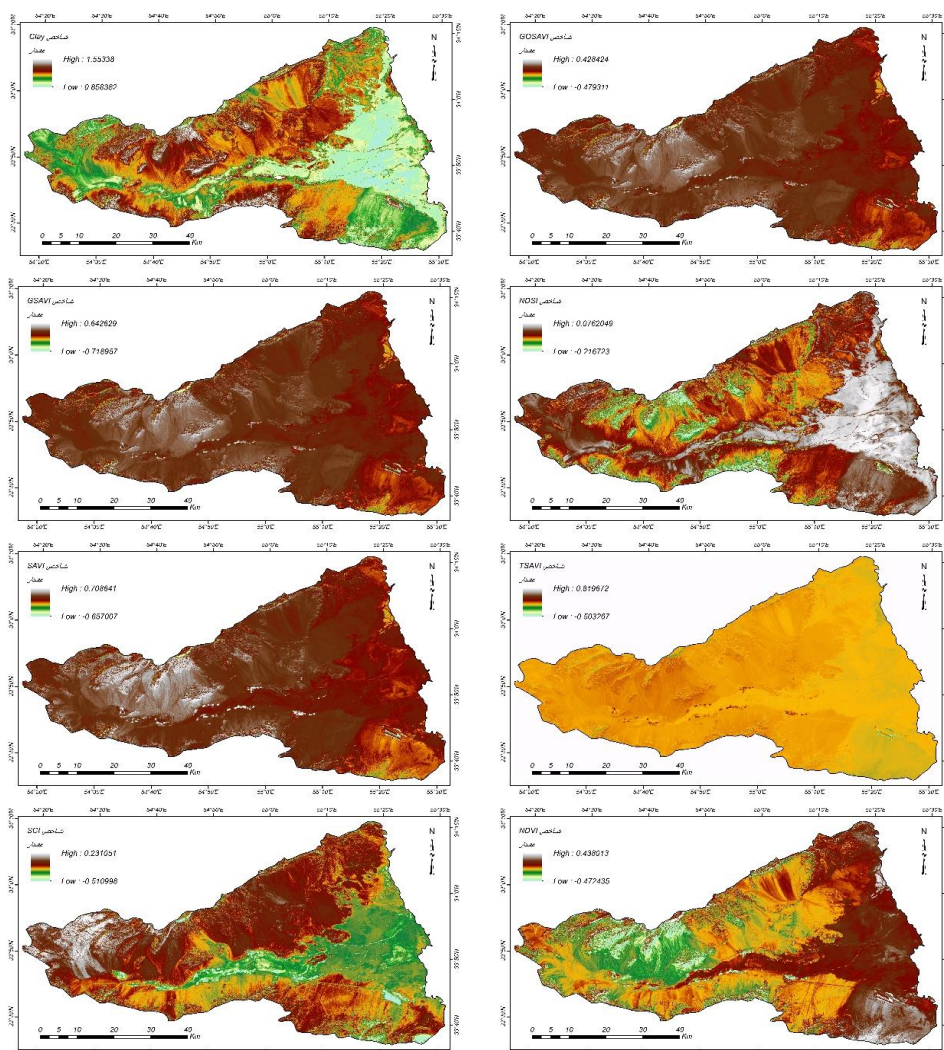
در بخش تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و بدین منظور ابتدا با استفاده از آزمون پیرسون بین پارامترهای فیزیکی خاک و مقادیر شاخص‌های دورسنجی همبستگی برآزش داده شد تا جهت مدل‌سازی فرسایش پذیری از مؤلفه‌هایی با رابطه معنی‌دار استفاده شود. سپس برای مدل‌سازی فرسایش پذیری در قالب فاکتور K و شاخص SEI، روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیرخطی (توانی، نمایی، لگاریتمی، مکعبی و...) بین مؤلفه‌های مزبور آزمون شد و از بین آن‌ها، روابطی با ارزش رجحانی بالاتر انتخاب شدند. سپس روش‌های رگرسیون غیرخطی چندگانه برای یافتن مدل‌های مناسب برآورد فرسایش پذیری به کار گرفته شد و با استفاده از پارامترهای سنجش مدل، مناسب‌ترین مدل‌ها شناسایی شد. در نهایت، با مقایسه میزان اعتبار آن‌ها، صحت مدل‌های مناسب براساس ارزش رجحانی تعیین شد. معیار ارزش رجحانی سنجش و انتخاب مدل‌ها براساس پارامترهای حداکثر ضریب همبستگی، ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده و سطح معنی‌داری، و حداقل انحراف معیار خطای برآورد در سطح احتمال خطای کمتر یا مساوی یک درصد ($\alpha \geq 0/01$) است. در نهایت، برای تمامی متغیرهای مستقل به صورت مجزا یک رابطه تک‌متغیره مناسب با ضریب همبستگی بالا و برای متغیرهای مستقل به صورت چندتایی، یک مدل غیرخطی به روش یکجا ارائه شد.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی که

جدول (۲): آمار توصیفی پایگاه داده پارامترهای فیزیکی خاک، فرسایش پذیری و شاخص‌های دورسنجی

پارامتر	دامنه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
رس (درصد)	۴۶	۳۳	۶۹	۴۷/۸۴	۱۵/۳۸	۲۳۶/۶۶	-۰/۶۵	-۱/۱۳
سیلت (درصد)	۸	۲۶	۳۴	۳۰/۷	۲/۳۱	۵/۳۷	-۰/۱۲۵	-۰/۸۸
شن (درصد)	۳۸	۵	۴۳	۲۱/۴۶	۱۳/۳	۱۷۷/۱۵	۰/۷۳	-۱/۱۳
کربن آلی (درصد)	۱/۴	۰	۱/۴	۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۰۷	-۰/۸۸
ماده آلی (درصد)	۲/۴۴	۰	۲/۴۴	۱/۲۷	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۰۷	-۰/۸۸
فاکتور K	۰/۰۴۴	۰/۰۲۵	۰/۰۶۹	۰/۰۴۳	۰/۰۱۲	۰	۰/۶۱	-۱/۰۹۸
شاخص SEI	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۴۷	۰/۰۳۸	۰/۰۰۴	۰	-۰/۱۱	-۰/۴۸
شاخص Clay	۰/۲۴	۱/۰۲	۱/۲۷	۱/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۰/۶۵	۰/۴۱
GOSAVI	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۰۳	-۰/۷۲	-۰/۶۸
NDVI	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۴	-۰/۶۳
SAVI	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۱۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۷	-۰/۳۵
TSAVI	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۲	-۰/۲
NDSI	۰/۱۹	-۰/۱۴	۰/۰۵	-۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۲۷	-۰/۶۷
SCI	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۲۵	-۰/۵
GSAVI	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۰۴	۱/۰۷	۱/۹۲



شکل (۳): نقشه‌های حاصل از اعمال شاخص‌های دورسنجی

نتایج حاصل از برآزش آزمون پیرسون در قالب تبیین همبستگی بین عناصر فیزیکی و فرسایش پذیری خاک با شاخص‌های دورسنجی در جدول (۳) ارائه شده است. این نتایج حاکی از ارتباط قوی بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های NDVI, SAVI, GOSAVI, TSAVI و NDSI است. درصد وجود دارد.

نتایج حاصل از برآزش آزمون پیرسون در قالب تبیین همبستگی بین عناصر فیزیکی و فرسایش پذیری خاک با شاخص‌های دورسنجی در جدول (۳) ارائه شده است. این نتایج حاکی از ارتباط قوی بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های NDVI, SAVI, GOSAVI, TSAVI و NDSI است. درصد وجود دارد.

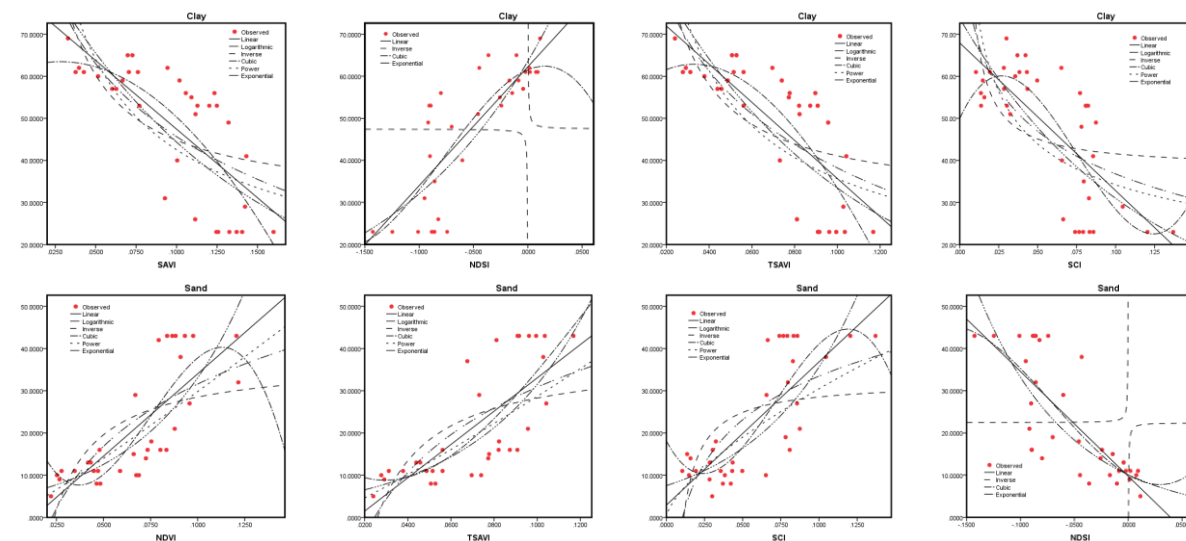
جدول (۳): همبستگی پیرسون بین عناصر فیزیکی و فرسایش پذیری خاک با شاخص‌های دورسنجی

پارامتر	آماره	Clay	GOSAVI	SAVI	TSAVI	NDSI	NDVI	SCI	GSAVI
درصد همبستگی	۰/۲۸۲	۰/۴۶۳**	۰/۵۴۳**	۰/۵۳۵**	۰/۶۸۵**	۰/۵۷۶**	۰/۶۹۹**	۰/۱۷۴	
رس معنی داری	۰/۰۸۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۹	
درصد همبستگی	۰/۲۰۸	۰/۵۰۴**	۰/۶۲**	۰/۶۱۳**	۰/۶۲۵**	۰/۶۳۹**	۰/۶۲۴**	۰/۱۶۲	
سیلت معنی داری	۰/۲۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۲۶	
درصد همبستگی	۰/۲۹	۰/۴۴۸**	۰/۵۱۹**	۰/۵۱۲**	۰/۶۸۳**	۰/۵۵۴**	۰/۶۹۹**	۰/۱۷۳	
ماسه معنی داری	۰/۰۷۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۹۳	
درصد همبستگی	۰/۰۶۱	۰/۰۷۵	۰/۱۱۳	۰/۱۱۱	۰/۳۱۶	۰/۱۳۴	۰/۴۸۳**	۰/۲۷۹	
کربن آلی معنی داری	۰/۷۱	۰/۶۵۱	۰/۴۹۳	۰/۵۰۱	۰/۰۵	۰/۴۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۸۵	
درصد همبستگی	۰/۰۶۱	۰/۰۷۵	۰/۱۱۳	۰/۱۱۱	۰/۳۱۶	۰/۱۳۴	۰/۴۸۳**	۰/۲۷۹	
ماده آلی معنی داری	۰/۱	۰/۶۵۱	۰/۴۹۳	۰/۵۰۱	۰/۰۵	۰/۴۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۸۵	
فاکتور همبستگی	۰/۲۷۷	۰/۴۸۵**	۰/۵۳۵**	۰/۵۲۸**	۰/۶۸۶**	۰/۵۶۹**	۰/۶۸**	۰/۲۱۸	
K معنی داری	۰/۰۸۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۸۳	
شاخص همبستگی	۰/۲۳۳	۰/۵۸۲**	۰/۶۱۲**	۰/۶۰۵**	۰/۶۳۶**	۰/۶۳۴**	۰/۵۷۵**	۰/۳۰۹	
SEI معنی داری	۰/۱۵۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۵	

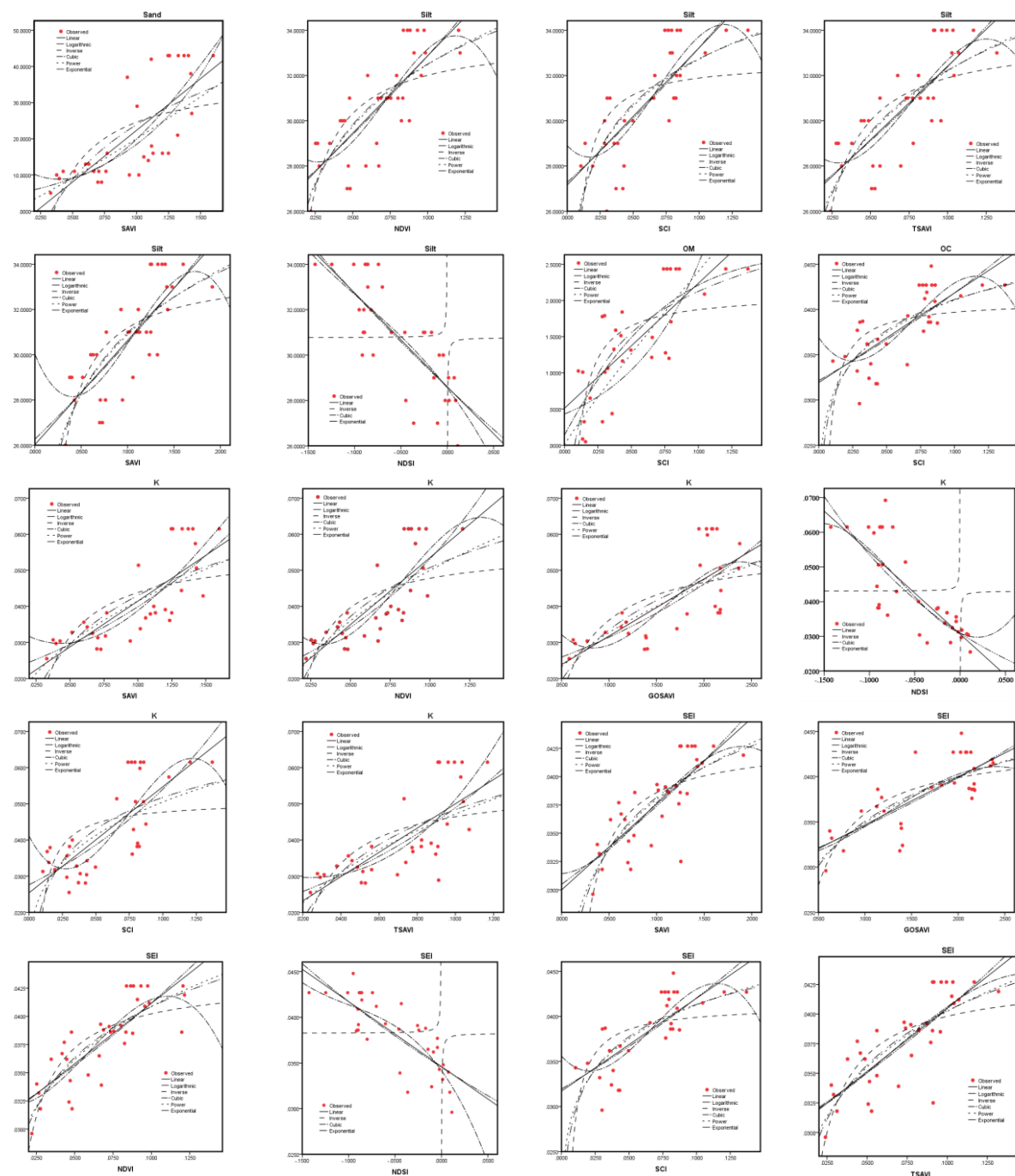
* همبستگی در سطح ۰/۰۵ ** همبستگی در سطح ۰/۰۱

در پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی فرسایش پذیری خاک، انواع روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیرخطی آزمون شد و از بین آن‌ها روابطی با ارزش رجحانی بالاتر انتخاب گردید. نتایج حاصل از رابطه‌سنجی تک‌متغیره بین عناصر فیزیکی و

در پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی فرسایش پذیری خاک، انواع روش‌های رگرسیون ساده خطی و غیرخطی آزمون شد و از بین آن‌ها روابطی با ارزش رجحانی بالاتر انتخاب گردید. نتایج حاصل از رابطه‌سنجی تک‌متغیره بین عناصر فیزیکی و



شکل (۴) فرسایش پذیری خاک با شاخص‌های دورسنجی در شکل (۴) ارائه شده است، به طوری که بهترین روابط از توابع خطی، نمایی و مکعبی تبعیت می‌کنند (شکل ۴).



شکل (۴): نتایج رابطه سنجی بین عناصر فیزیکی خاک و فرسایش پذیری با شاخص های دورسنجی

تغییرات شاخص SEI به ترتیب توسط شاخص های SAVI، NDVI، TS، NDSI و GOSAVI کنترل می شود. همچنین بیشترین رابطه معنی دار بین K با شاخص های SAVI، NDSI و SCI نیز در قالب رابطه خطی، به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۶۳، ۰/۶۱، ۰/۵۸ و ۰/۵۵ در سطح معنی داری ۹۹ درصد وجود دارد؛ بدین معنی که ۶۳، ۶۱، ۵۸ و ۵۵ درصد تغییرات K به ترتیب توسط شاخص های SAVI، NDSI و SCI و TS کنترل می شود (جدول ۴).

بر اساس نتایج رابطه سنجی تک متغیره، مناسب ترین روابط بین مؤلفه های SEI و K با شاخص های NDVI، Clay، GOSAVI، SAVI، TS، NDSI، SCI و GSAVI به صورت جدول (۴) می باشد. طبق این نتایج، بیشترین رابطه معنی دار بین SEI با شاخص های SAVI، NDVI، TS، NDSI و GOSAVI به صورت رابطه خطی، به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۶۹، ۰/۶۶، ۰/۶۳، ۰/۶۲ و ۰/۵۹ در سطح معنی داری ۹۹ درصد وجود دارد؛ بدین معنی که ۶۹، ۶۶، ۶۳، ۶۲ و ۵۹ درصد

جدول (۴): نتایج حاصل از رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های دورسنجی

معنی‌داری	انحراف معیار خطای برآورد	ضریب تبیین تعدیل شده	ضریب تبیین	ضریب همبستگی	نوع رابطه	متغیر مستقل (شاخص دورسنجی)	متغیر وابسته
۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۸۱	خطی	NDVI	شاخص SEI
۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۷۶	خطی	GOSAVI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۷۹	خطی	SAVI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۷۹	خطی	TSAVI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۷۸	خطی	NDSI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۸	مکعبی	SCI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۸۱	مکعبی	NDVI	فاکتور K
۰/۰۰۰	۰/۱۸	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۷۷	نمایی	GOSAVI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۷۸	خطی	SAVI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۷۴	خطی	TSAVI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۷۹	خطی	NDSI	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۷۶	خطی	SCI	

بر اساس شکل کلی معادلات خطی و مکعبی، برای ارائه مدل خطی پارامترهای عرض از مبدأ و شیب خط (رابطه ۴)، برای مدل‌نمایی آماره‌توان (رابطه ۵) و برای ارائه مدل مکعبی مؤلفه‌های مقدار ثابت، ضریب و توان معادله (۶) مورد نیاز است. نتایج این معادلات و ضرایب روابط مکشوف بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های دورسنجی و همچنین انحراف معیار، مقدار t و سطح معنی‌داری ضرایب مزبور در جدول (۵) گزارش شده است.

$$SEI = 0.03 + 0.107NDVI \quad (۷)$$

$$SEI = 0.029 - 0.053GOSAVI \quad (۸)$$

$$SEI = 0.03 + 0.076SAVI \quad (۹)$$

$$K = 0.035 + 0.071NDSI \quad (۱۰)$$

$$K = 0.03 + 0.06SAVI \quad (۱۱)$$

$$K = 0.032 + 0.103SCI \quad (۱۲)$$

در این پژوهش، علاوه بر روابط تک‌متغیره بین متغیرهای مزبور، جهت مدل‌سازی گروهی از روابط چندگانه و روش رگرسیون چندمتغیره به روش یکجا نیز استفاده شد. برای این منظور، پارامترهای فرسایش‌پذیری خاک شامل SEI و K با اجماع گروهی شاخص‌های دورسنجی NDVI، Clay، GOSAVI، SAVI، TSAVI، NDSI، SCI و GSAVI مورد سنجش قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول (۶) گزارش شده است. نتایج رگرسیون چندگانه، حاکی از وجود روابط معنی‌دار مؤلفه‌های SEI و K با اجماع گروهی تمامی شاخص‌های دورسنجی به ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۵۱۷ و ۰/۵۶۴ در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد است. شاخص‌های Clay و GSAVI نیز به علت عدم تأثیر در فاکتورهای K و SEI از معادلات خارج شده‌اند (جدول ۶).

بر اساس شکل کلی معادلات خطی و مکعبی، برای ارائه مدل خطی پارامترهای عرض از مبدأ و شیب خط (رابطه ۴)، برای مدل‌نمایی آماره‌توان (رابطه ۵) و برای ارائه مدل مکعبی مؤلفه‌های مقدار ثابت، ضریب و توان معادله (۶) مورد نیاز است. نتایج این معادلات و ضرایب روابط مکشوف بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های دورسنجی و همچنین انحراف معیار، مقدار t و سطح معنی‌داری ضرایب مزبور در جدول (۵) گزارش شده است.

$$Y = aX + b \quad (۴)$$

$$Y = e^x \quad (۵)$$

$$Y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (۶)$$

در رابطه (۴) b: مقدار ثابت و a: شیب خط، در رابطه (۵) e: عدد نپر و x: توان، و در رابطه (۶) d: مقدار ثابت، a, b, c: ضریب و ۲ و ۳: توان هستند.

با توجه به جداول (۴) و (۵)، خلاصه مناسب‌ترین مدل‌های حاصل از تحلیل‌های آماری ساده تک‌متغیره بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های NDVI، GOSAVI، SAVI، TSAVI، NDSI و SCI به صورت روابط (۶) تا (۱۱) است که با توجه به آماره‌های ارزش رجحانی مدل‌های مذکور برای محاسبه میزان فرسایش‌پذیری بادی‌های برنجی روابط ارائه شده، مناسب‌ترین مدل‌های تک‌متغیره برای برآورد عامل SEI روابط (۷)، (۸) و (۹) به ترتیب با ضریب تبیین

جدول (۵): ضرایب روابط موجود بین مؤلفه‌های فرسایش‌پذیری K و SEI با شاخص‌های دورسنجی

متغیر وابسته	متغیر مستقل	نوع رابطه	ضرایب معادله	مقدار ضرایب	خطای استاندارد	بتا	مقدار t	سطح معنی‌داری
شاخص SEI	NDVI	خطی	شیب	۰/۱۰۷	۰/۰۱۳	۰/۸۱۳	۸/۰۰۹	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۳۰/۳۸۶	۰/۰۰۰	
	GOSAVI	خطی	شیب	۰/۰۵۳	۰/۰۰۸	۰/۷۶۹	۶/۶۹۷	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۲۱/۰۷۴	۰/۰۰۰	
	SAVI	خطی	شیب	۰/۰۷۶	۰/۰۱	۰/۷۹	۷/۳۹۲	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۲۶/۷۹۴	۰/۰۰۰	
	TSAVI	خطی	شیب	۰/۱۰۷	۰/۰۱۴	۰/۷۹۴	۷/۵۰۴	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۲۶/۴۷۵	۰/۰۰۰	
	NDSI	خطی	شیب	-۰/۰۷۱	۰/۰۱	-۰/۷۸۹	-۷/۳۶۶	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳۵	۰/۰۰۱	۵۳/۷۷۴	۰/۰۰۰	
SCI	مکعبی	ضریب یک	-۰/۱۶۹	۰/۱۹	-۱/۲۵۸	-۰/۸۸۸	۰/۳۸۲	
		ضریب دو	۴/۷۷۶	۲/۸۱۹	۴/۹۹۱	۱/۶۹۴	۰/۱۰۲	
		ضریب سه	-۲۳/۴۶۳	۱۲/۳۱۱	-۳/۱۵۲	-۱/۹۰۶	۰/۰۶۷	
		مقدار ثابت	۰/۰۳۶	۰/۰۰۴	۹/۸۴۶	۰/۰۰۰		
NDVI	مکعبی	ضریب یک	-۰/۹۴۵	۰/۸۸۶	-۲/۰۰۵	-۱/۰۶۶	۰/۲۹۵	
		ضریب دو	۱۷/۸۴۵	۱۳/۵۲۷	۵/۰۴	۱/۳۱۹	۰/۱۹۷	
		ضریب سه	-۷۱/۹۲۲	۶۳/۸۴۶	-۲/۳۱	-۱/۱۲۶	۰/۲۶۹	
GOSAVI	نمایی	توان	۳/۸۵۲	۰/۶۰۲	۰/۷۷۱	۶/۴۰۱	۰/۰۰۰	
		مقدار ثابت	۰/۰۲۱	۰/۰۰۲	۹/۵۷۱	۰/۰۰۰		
فاکتور K	SAVI	خطی	شیب	۰/۰۷۶	۰/۰۱	۰/۷۹	۷/۳۹۲	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۲۶/۷۹۴	۰/۰۰۰	
	TSAVI	خطی	شیب	۰/۱۰۷	۰/۰۱۴	۰/۷۹۴	۷/۵۰۴	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۲۶/۴۷۵	۰/۰۰۰	
	NDSI	خطی	شیب	-۰/۰۷۱	۰/۰۱	-۰/۷۸۹	-۷/۳۶۶	۰/۰۰۰
			مقدار ثابت	۰/۰۳۵	۰/۰۰۱	۵۳/۷۷۴	۰/۰۰۰	
SCI	خطی	شیب	۰/۱۰۳	۰/۰۱۶	۰/۷۶۷	۶/۴۳	۰/۰۰۰	
		مقدار ثابت	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۲۷/۸۲۹	۰/۰۰۰		

جدول (۶): نتایج رگرسیون چندگانه به روش یکجا بین مؤلفه‌های K و SEI با شاخص‌های دورسنجی

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل شده	انحراف معیار خطای برآورد	معنی‌داری
شاخص SEI	.GOSAVI, .NDVI, .NDSI, .TSAVI, .SAVI, .SCI	۰/۷۱۹	۰/۵۱۷	۰/۴۲۶	۰/۰۰۳۱۱۴۴	۰/۰۰۰
	.GOSAVI, .NDVI, .NDSI, .TSAVI, .SAVI, .SCI	۰/۷۵۱	۰/۵۶۴	۰/۴۸۳	۰/۰۰۹۲۳۶۹	۰/۰۰۰

ضرایب مزبور در سطح ۹۹ درصد برای تمامی متغیرهای مستقل است.

نتایج حاصل از ضرایب روابط چندگانه بین شاخص‌های فرسایش‌پذیری SEI و K با شاخص‌های دورسنجی به‌صورت جدول (۷) است. نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری

جدول (۷): ضرایب روابط چندگانه بین شاخص‌های SEI و K با شاخص‌های دورسنجی

معنی‌داری	مقدار t	ضرایب استاندارد		متغیر مستقل	متغیر وابسته
		ضرایب استاندارد	ضرایب غیراستاندارد		
۰/۰۰۰	۱۳/۸۷	۰/۰۰۲	۰/۰۳۲	مقدار ثابت	
۰/۵۹۱	۰/۵۴۲	۰/۵۰۴	۰/۱۴۳	NDVI	شاخص SEI
۰/۹۳۴	-۰/۰۸۴	-۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	GOSAVI	
۰/۷۴۴	-۰/۰۳۳	-۰/۰۷۹۹	۰/۲۴۶	SAVI	
۰/۷۶۱	۰/۳۰۶	۰/۷۰۷	۰/۳۲۲	TSAVI	
۰/۲۳۳	-۱۰/۲۱۵	-۰/۳۶۶	۰/۰۲۶	NDSI	
۰/۷۸۲	۰/۲۷۸	۰/۰۷۱	۰/۰۳۳	SCI	
۰/۰۰۱	۳/۷۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۲۶	مقدار ثابت	
۰/۳۷۴	۰/۹۰۱	۰/۷۹۶	۰/۴۲۵	NDVI	فاکتور K
۰/۵۴۵	-۰/۶۱۲	-۰/۱۷۳	۰/۰۶۶	GOSAVI	
۰/۳۸۲	-۰/۸۸۶	-۲/۰۴۱	۰/۷۳	SAVI	
۰/۴۶۴	۰/۷۴۲	۱/۶۲۵	۰/۹۵۵	TSAVI	
۰/۲۳۱	-۱/۲۲۱	-۰/۳۴۹	۰/۰۷۶	NDSI	
۰/۲۵۷	۱/۱۵۵	۰/۲۷۹	۰/۰۹۹	SCI	

نتایج مدل‌سازی چندمتغیره بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های دورسنجی نیز در روابط (۱۲) و (۱۳) گزارش شده است. بنابراین برای محاسبه فرسایش‌پذیری از بین مدل‌های چندمتغیره برای برآورد شاخص SEI رابطه (۱۲) با ضریب تعیین ۰/۵۱۷ و خطای برآورد ۰/۰۳۱۱۴۴، و برای برآورد فاکتور K رابطه (۱۳) با ضریب تعیین ۰/۵۶۴ و خطای برآورد ۰/۰۹۲۳۶۹، در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد مناسب‌ترین مدل‌ها است.

$$SEI = 0.078NDVI - 0.002GOSAVI - 0.081SAVI + 0.099TSAVI - 0.031NDSI + 0.009SCI - 0.032 \quad (12)$$

$$K = 0.383NDVI - 0.04GOSAVI - 0.647SAVI + 0.708TSAVI - 0.093NDSI + 0.114SCI + 0.026 \quad (13)$$

بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش‌پذیری خاک را از طریق روابط آماری امکان‌پذیر می‌سازد. نتایج حاصل از رابطه‌سنجی بین مؤلفه‌های SEI و K با شاخص‌های دورسنجی در منطقه خور و بیابانک نشان داد که بالاترین ضریب تعیین بین مؤلفه‌های SEI و K به‌صورت یک رابطه خطی ساده با عناصر SAVI، NDVI و TSAVI وجود دارد، که این امر به دلیل ارزیابی دقیق شاخص‌ها از ویژگی‌های خاک می‌باشد. همچنین بین شاخص‌های NDSI، SCI و GOSAVI نیز با عامل K و SEI همبستگی معنی‌دار

در پژوهش حاضر، فرسایش‌پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار گرفته است. بنابراین در مرحله نخست عناصر فیزیکی خاک و فاکتورهای فرسایش‌پذیری K و SEI مشخص و نوع و شدت روابط بین آن‌ها با شاخص‌های NDVI، GOSAVI، SAVI، TSAVI، NDSI، SCI تعیین و مدل‌سازی شد. در مجموع نتایج این پژوهش، برآورد نسبتاً دقیق و ساده مؤلفه‌های

وجود دارد.

برآورد نمود که نیازی به معادلات پیچیده ریاضی ندارد. با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه، دستیابی به تحلیل مقایسه‌ای از انواع مدل‌های ساده و پیچیده در کنار یکدیگر، اهمیت مدل‌سازی و ارائه مدل‌های گوناگون برای محاسبه میزان فرسایش پذیری را که در این پژوهش به آن پرداخته شده است، روشن می‌سازد.

شناخت مؤلفه‌های فرسایش‌پذیری که در بحث فرسایش بسیار حائز اهمیت است، ارزیابی دقیقی از میزان تهدید و خطرات نابودی خاک در اراضی تحت تأثیر فرسایش در مناطق خشک و نیمه‌خشک را بیان می‌کند. لذا شناسایی و برآورد دقیق میزان فرسایش خاک در این مناطق می‌تواند به‌عنوان شاخص مهمی برای تعیین دامنه تهدیدات، میزان فرسایش خاک و تخریب اراضی در یک بازه زمانی خاص و در نهایت، تعیین روند بیابان‌زایی آن منطقه عمل کند. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش در درجه اول، مدیریت محیط را از وضعیت فرسایش‌پذیری خاک منطقه مطلع می‌سازد. در درجه دوم، این مؤلفه‌ها به‌عنوان یک مدل و ابزاری در بازه زمانی مختلف، بیانگر روند و گرایش میزان فرسایش، نابودی خاک و تخریب سرزمین در مناطق با وضعیت اقلیمی مشابه است. مسلماً اگر فرسایش خاک با توجه به عناصر موجود در خاک و عوامل توپوگرافی مؤثر توسط مدیران منابع طبیعی و عوامل انسانی دخیل در آن کنترل شود، مطلوب و مفید خواهد بود. اما اگر فرسایش خاک روزبه‌روز پیشرفت کند و عوامل مختلف در این زمینه سیستم را به‌سمت فرسایش بیشتر سوق دهد، نامطلوب و مضر خواهد بود و منجر به گسترش بیابان و توسعه بیابان‌زایی می‌شود.

مناسب‌ترین مدل‌های تک‌متغیره برای برآورد عامل SEI و K مدل‌هایی هستند که در روابط به‌دست‌آمده آن‌ها شاخص‌های SAVI, GOSAVI, NDVI, SAVI, NDSI و SCI به‌عنوان متغیر مستقل وجود دارد که دلیل آن وجود بالاترین ضریب تعیین و همبستگی بین این شاخص‌ها و عامل فرسایش‌پذیری خاک است. فرمول‌های به‌دست‌آمده از طریق روابط چندگانه و روش رگرسیون چندمتغیره ایتر، نشان‌دهنده این است که مؤلفه‌های SEI و K با اجماع گروهی شاخص‌های دورسنجی بالاترین ضرایب تعیین و همبستگی را دارند. به این دلیل که متغیرهای مزبور به‌صورت مجزا نمی‌توانند کاملاً مبین وضعیت فرسایش‌پذیری یک منطقه باشند، بلکه این مؤلفه‌ها به‌صورت یکجا و گروهی به‌خوبی وضعیت فرسایش‌پذیری خاک یک منطقه را نمایش داده و برآورد می‌کنند. برای محاسبه فرسایش‌پذیری از بین مدل‌های چندمتغیره برای برآورد عامل SEI و K، نیز روابطی که بالاترین ضریب تبیین و کمترین خطای برآورد را داشته و در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد، مناسب‌ترین مدل‌ها بودند، که همان مدل‌های اجماعی شامل تمامی شاخص‌های دورسنجی هستند. روابط ذکر شده به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها، به‌علت دارا بودن حداکثر ضریب تعیین و حداقل خطای برآورد نسبت به دیگر معادلات ارجحیت دارند و مطلوب‌ترین مدل‌های تخمین مقادیر SEI و K با استفاده از روش‌های تک‌متغیره و غیرخطی چندگانه محسوب می‌شوند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان از طریق شاخص‌های SAVI, GOSAVI, NDVI, SAVI, NDSI و SCI به‌سادگی میزان فرسایش‌پذیری را

منابع

1. Azimzadeh, H.R., Ekhtesasi, M.R., Hatami, M., Akhavan Ghalibaf, M., 2002. Study of the effects the physical and chemical properties of soil erodibility index and Offering the model to predict the wind erosion in Yazd-Ardakan plain Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 9(1): 139-151
2. Ghorbani Vagheie, H., Bahrami, H.A. 2005. Spatial changes of USLE and RUSLE soil erodibility index using GIS case study: North East of Lorestan Province. Proceedings of the Third National Conference of Erosion & Sediment (In Persian). Tehran. Iran.
3. Hudson, N.W. 1981. Soil conservation. Bastford. 230 p.
4. Irvem, A., Topalolu, F., Uygur, V., 2007. Estimating spatial Distribution of Soil Loss over Seyhan River Basin in Turkey. Journal of Hydrology, (336): 30-37.
5. Klute, A., 1986. Methods of soil analysis part

- I. Physical and mineralogical methods. 2nd Ed. Soil Science Society of America. 1188 p.
6. Nelson, D.W., 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.
 7. Prasannakumar, V., Vijith, H., Geetha, N., 2011. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geosci. Front.*, 3: 209–215.
 8. Rahman, M.R., Shi, Z.H., Chongf, C., 2009. Soil erosion hazard evaluation: an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. *Ecol. Modell.*, (220): 1724–1734.
 9. Reynolds J. F. 2008. Cutting through the confusion: Desertification, an old problem viewed through the lens of a new framework, the Dry Lands Development Paradigm (DDP). Dry lands, Deserts & Desertification Conference December 14-17. Sede Boque Campus.
 10. 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.
 11. Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Frevert, R.K., 1993. *Soil and water conservation engineering*, 4th ed. John Wiley and Sons, USA.
 12. Veihe, A. 2002. The Spatial Variability of Erodibility and its Relation to Soil Types: A Veihe, A Study from Northern Ghana. *Geoderma*, 106: 101-120.
 13. Wallace, A., Terry, R.E., 1998. *Soil conditioners, soil quality and soil sustainability*. Marcel Dekker, New York, NY, Pp: 1 – 41.
 14. Wang, G., Gertner, G.Z., Liu, X, Anderson A.B., 2001. Uncertainty Assessment of Soil Erodibility Factor for Revised Universal Soil Loss Equation, *Catena*. 46: 1-14.
 15. Webb, N.P., McGowan, H.A., 2009, Approaches to modelling land erodibility by wind, *Progress in Physical Geography*, 33(5): 587-613
 16. Wischmeier, W.H., Mannering, J.V., 1969. Relation of Soil Properties to its Erodibility, *Soil Sci. Am. Proc.* 33: 131-136.
 17. Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion. Losses: a guide to conservation planning, *Agriculture Handbook*, Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, PP. 58.
 18. Young, R., Mutchler, C., 1977. Edibility of some Minnesota soils. *J. Soil Water Conserv.*, 32(3): 180–200.

Modeling of soil erodibility in the Khor and Biabanak region, using remote sensing indices

Sayed Ali Mousavi^{1*}, Abolfazl Ranjbar Fordoei², Sayed Hojjat Mousavi³, Sayed Javad Sadatinejad⁴

Received: 18/11/2016

Accepted: 13/2/2017

Abstract

Soil erosion by water and wind processes are carried out widely. So one of the best ways to estimate soil loss and land degradation is regional erodibility model. The aim of this research is codification regional erodibility model by statistical methods, the relation survey in Khor and Biabanak between physical properties of soils and remote sensing indices. Sampling Method field was linear transect method and picked up 33 soil samples from depths of 0 to 50 cm. By transferring the samples to the laboratory, were calculated the elements of sand, clay, silt, organic matter and carbon, and then measurement erodibility values using the K-factor and SEI index. Then, was taken OLI sensor image accordance time sampling from USGS website. And were extracted the indices by enforcing functions the amount of Clay, NDVI, GOSAVI, SAVI, TSAVI, NDSI, SCI and GSAVI. Finally, were calculated using Pearson correlation between physical elements and soil erodibility with Remote sensing indices. At the end of for modeling SEI and K, through simple and multiple regression attempts to gauge the relationship between these parameters and selected best models from among with higher preference value. The results of modeling SEI represents the maximum linear correlation with the indices SAVI, NDVI and TSAVI respectively, with coefficient of 0.69, 0.66 and 0.63, and K factor linear correlation with the indices NDSI, SAVI and SCI, respectively, with a coefficient of determination 0.63 0.61 and 0.58 is at level 99%. Multiple regression analysis also showed a high correlation with group consensus SEI, K and Remote Sensing indices, respectively, with a coefficient of determination 0.517 and 0.564 and estimated error 0.0031144 and 0.0092369 at level 99%. Therefore, can estimate the amount of soil erodibility by remote sensing indices and univariate and multivariate statistical models. Which enables fast and precise estimation of SEI and K values in the Khor and Biabanak region.

Keywords: soil erodibility, K factor, SEI index, regression analysis, Khor and Biabanak.

1. Ph.D Student of Desertification, Department of Desert Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, E-mail: Mosaviali5@gmail.com

2. Associate Professor of Desert Engineering, Department of Desert Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, E-mail: aranjbar@kashanu.ac.ir

3. Assistant Professor of Geomorphology, Department of Geography and Ecotourism, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, E-mail: hmousavi15@kashanu.ac.ir

4. Associate Professor of Echo hydrology, Department of Renewable Energies and Environment, University of Tehran, E-mail: jsadatinejad@ut.ac.ir