

بررسی پتانسیل فرسایش‌پذیری بادی خاک در مناطق خشک و فراهشک مرکزی ایران (مطالعه موردی: دشت یزد- اردکان)

پیمان امین* - کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد
روح‌الله تقی زاده مهرجردی- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه اردکان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۲۲

چکیده

فرسایش بادی وسعتی بالغ بر ۲۰ میلیون هکتار از کشور پهناور ایران را در متاثر ساخته است. هفت میلیون هکتار از مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی کانون‌های بحرانی نامیده می‌شود که کانون‌های جمعیتی، اراضی کشاورزی و مناطق صنعتی را در برمی‌گیرد. فرسایش‌پذیری خاک از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش بادی در یک منطقه است. این شاخص بستگی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذاتی خاک دارد. منطقه مورد مطالعه حوضه دشت یزد- اردکان که در بخش شمالی استان یزد قرار دارد و در فلات مرکزی ایران گسترده شده است. به منظور بررسی پتانسیل فرسایش‌پذیری بادی خشک‌رودها و مجاور آن‌ها ۸۳ نمونه خاک در کف و بستر خشک رودها و مجاور آن‌ها در سه نوع دشت‌سر لخت، اپانداژ و پوشیده برداشته شد و بر روی نمونه‌ها به منظور محاسبه مقدار فرسایش‌پذیری آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت گرفت. مقدار فرسایش‌پذیری به دو روش دلگیلویچ و همکاران (۱۹۷۳)، مدل (۱) و عظیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۰)، مدل (۲) بر حسب ton/ha-hr محاسبه شد. نتایج نشان داد که هر دو مدل در اراضی دشت‌سر پوشیده با بافت ریزدانه خاک از نوع Loam و Clay Loam مقدار فرسایش‌پذیری را متوسط تا زیاد پیش‌بینی کرد و در اراضی دشت‌سرهای لخت و اپانداژ که درصد پوشش سنگفرش متوسط تا زیاد می‌باشد، در مدل (۱) مقدار فرسایش‌پذیری را در بعضی نقاط کم و در بعضی نقاط دیگر متوسط تا زیاد به دست آمد ولی در مدل (۲) با در نظر گرفتن پوشش سنگفرش در تمامی نقاط دشت‌سرهای لخت و اپانداژ کم بدست آمد. مدل (۱) بدون در نظر گرفتن رخساره‌های مختلف ژئومورفولوژی، بیشتر در مورد بررسی میزان فرسایش‌پذیری بادی خاک در اراضی کشاورزی و دشت رسی با بافت ریزدانه خاک مناسب است و برآورد مقدار فرسایش‌پذیری را در قسمت میانی منطقه در مقایسه با مدل (۲) به درستی پیش‌بینی کرد. به منظور سهولت و کاهش دادن زمان و هزینه به منظور محاسبه فرسایش‌پذیری، مدل (۱) در اراضی بافت ریزدانه و کشاورزی و بدون سنگفرش شامل دشت‌سر پوشیده توصیه می‌شود. مدل (۲) در دشت‌سرهای لخت و اپانداژ که دارای پوشش سنگفرش متوسط تا زیادی هستند، مدل مناسبی است و به منظور دقیق‌تر محاسبه فرسایش‌پذیری در دشت‌سر پوشیده علاوه بر پارامتر فیزیکی خاک، پارامترهای شیمیایی خاک هم که در عامل فرسایش‌پذیری دخالت دارند، مدل (۲) مناسب می‌باشد. به منظور کاهش فرسایش‌پذیری در دشت‌سرهای لخت و اپانداژ با وجود درصد سنگفرش متوسط تا زیاد توصیه می‌شود هیچ‌گونه دستکاری بر روی پوشش سنگفرش انجام نشود و در دشت‌سر پوشیده اقداماتی نظیر احداث بادشکن در اراضی کشاورزی و مالچ پاشی بر روی تپه‌های ماسه‌ای انجام شود.

واژگان کلیدی: فرسایش‌پذیری، فرسایش بادی، دشت‌سر لخت، دشت‌سر اپانداژ، دشت‌سر پوشیده

مقدمه

فرسایش بادی فرآیندی است که به سبب افزایش سرعت باد و در اثر تلاطم آن در سطح زمین عاری از پوشش ایجاد می‌گردد. این وضعیت در زمین‌های با خاک نرم، لخت، خشک، صاف و دارای دانه‌بندی ریز بیشتر مشهود است. فرسایش بادی فرآیندی با پیچیدگی بسیار است زیرا به شکل‌های مختلف چون کنده شدن، انتقال، دانه‌بندی، سایش و درنهایت رسوب انجام می‌گیرد. فرسایش بادی تأثیر عمده‌ای در کیفیت محیط دارد و سبب کم شدن میدان دید، آلودگی هوا، تصادف اتومبیل‌ها، خرابی وسایل مکانیکی و الکتریکی می‌شود. همچنین سبب کاهش عملکرد محصولات می‌گردد و عدم کنترل رسوبات بادی باعث پر شدن نهرهای آبیاری و پوشیده شدن جاده‌ها و ریل‌های راه‌آهن می‌شود (عظیم زاده و همکاران، ۱۳۸۰). فرآیند فرسایش بادی به‌عنوان پدیده تخریب زمین در سطح اراضی قابل کشاورزی در دنیا است. بدین لحاظ از مجموع ۱۶۰۰ میلیون هکتار اراضی تخریب یافته جهان تحت تأثیر فرسایش آبی و بادی، بیش از ۳۴ درصد تخریب زمین ناشی از فرسایش بادی است (اولدمن^۱، ۱۹۹۴، پروسپرو و همکاران^۲، ۲۰۰۲ و کالوت و همکاران^۳، ۲۰۰۰). عوامل مؤثر در فرسایش بادی را می‌توان به دودسته تقسیم نمود. دسته اول عوامل فرسایش زا و دسته دوم را می‌توان به عوامل فرسایش‌پذیر نام‌گذاری نمود. فرسایش‌زایی ارتباط با فیزیک باد و ویژگی‌های نظیر سرعت، تداوم، جهت و انرژی آن دارد. عوامل فرسایش‌پذیری به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، همچنین شیوه‌های خاک‌ورزی و کاربری اراضی وابسته است (هادسون^۴، ۱۹۸۱). مکتینش و همکاران^۵ (۱۹۹۹) اندازه‌گیری‌هایی در مورد فرسایش بادی در زمین‌های مستعد فرسایش‌پذیری انجام داده است که مناطق مستعد فرسایش بادی را در استرالیا شناسایی کرده است. عظیم زاده و اختصاصی (۱۳۸۳)، ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سرعت آستانه فرسایش بادی با پارامترهای وضعیت پوشش سطحی خاک، پوشش سنگفرش، میانگین قطر ذرات، شوری و مقدار گچ بدست آوردند و ارتباط ریاضی طی مدل بدست آوردند. نایت و همکاران^۶ (۱۹۹۵)، با بررسی بار رسوب در طوفان شنی در بیابان سیمپسون استرالیا مقدار فرسایش‌پذیری با خصوصیت قطر ذرات خاک را برآورد کردند و درنهایت یک مدل ریاضی را برای مقدار پیش‌بینی پیشنهاد دادند. عظیم زاده و همکاران (۱۳۸۰)، با مطالعه تأثیر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک در شاخص فرسایش‌پذیری بادی خاک با استفاده از دستگاه سنجش فرسایش بادی، دو مدل ریاضی را در دو منطقه دارای سنگفرش و فاقد آن جهت تخمین فرسایش‌پذیری خاک ارائه دادند. شائو و همکاران^۷ (۱۹۹۴) در حوضه Murrumbidgee-Darling با استفاده از دستگاه تشخیص و تعیین فرسایش بادی در منطقه مورد توانستند که خصوصیات ازمجمله خاک، پوشش گیاهی، مدیریت زمین و داده‌های آب‌وهوا را در محیط GIS مدل‌سازی کنند. لی و همکاران^۸ (۲۰۰۴) با شبیه‌سازی تونل باد به بررسی فرسایش‌پذیری اراضی ماسه‌زار تحت تأثیر فعالیت‌های انسان در منطقه جنوب شرق صحرای Tengger به این نتیجه رسیدند که ۱- فعالیت‌های انسانی مانند کشت می‌تواند فرسایش‌پذیری خاک ماسه‌بادی را سرعت ببخشد و ۲- درصد پوشش گیاهی عامل اصلی کاهش فرسایش است. در تحقیق یادشده برای درون‌یابی از فناوری کریجینگ استفاده شد. وب و همکاران^۹ (۲۰۰۹)، با بررسی تغییرات زمانی در دانه‌بندی خاک و دامنه فرسایش‌پذیری خاک‌های با کاربری کشاورزی و مرتع، مدل مفهومی از دینامیک فرسایش‌پذیری

¹ Oldeman² Prospero et al.³ Callot et al.⁴ Hudson⁵ McTainish et al.⁶ Knight et al.⁷ Shao et al.⁸ Li et al.⁹ Webb et al.

خاک ارائه نمودند که درک بهتر از پویایی فرسایش‌پذیری خاک را نشان می‌دهد. کوسوماننداری^۱ (۲۰۱۴)، با بررسی ۱۱ نمونه خاک در هفت مکان مختلف فضای سبز در شهر یوگیکارتا اندونزی و با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف از جمله بافت خاک، ساختار خاک، نفوذپذیری خاک و ماده آلی با رابطه Wischmeier & Smith مقدار فرسایش‌پذیری را محاسبه کرد و به این نتیجه دست‌یافت که مقدار فرسایش‌پذیری در دامنه تغییرات ۰٫۱۶ تا ۰٫۲۹ قرار دارد که مقدار فرسایش‌پذیری در فضای سبز کم است. وب و همکاران (۲۰۰۶)، مدلی به نام AUSLEM (مدل فرسایش‌پذیری استرالیایی) ارائه دادند که این مدل می‌تواند مناطق مستعد فرسایش‌پذیری را در بازه‌های زمانی مختلف مثلاً در سال‌های ترسالی، خشکسالی و متوسط با فراوانی طوفان‌های شنی کم، متوسط و زیاد را شناسایی کند. وب و استرانگ^۲ (۲۰۱۱)، با بررسی کنترل دینامیک فرسایش‌پذیری در خاک‌های انبوه و مناطق دارای سله توانستند مدلی را برای محاسبه استاندارد مقدار فرسایش‌پذیری در زمینه محدوده مطالعاتی خود بدست بیاورند.

هدف تحقیق حاضر برآورد پتانسیل فرسایش‌پذیری بادی خاک در خشک‌رودها و مجاور آن‌ها در دشت‌سرهای لخت، اپانداژ و اراضی ریزدانه و کشاورزی واقع در دشت‌سر پوشیده با استفاده از دو مدل ارائه‌شده است. مدل اول بر مبنای درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر موجود در خاک (دلگیلویچ و همکاران^۳، ۱۹۷۳) و مدل دوم مبتنی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عظیم زاده و همکاران، ۱۳۸۰) در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

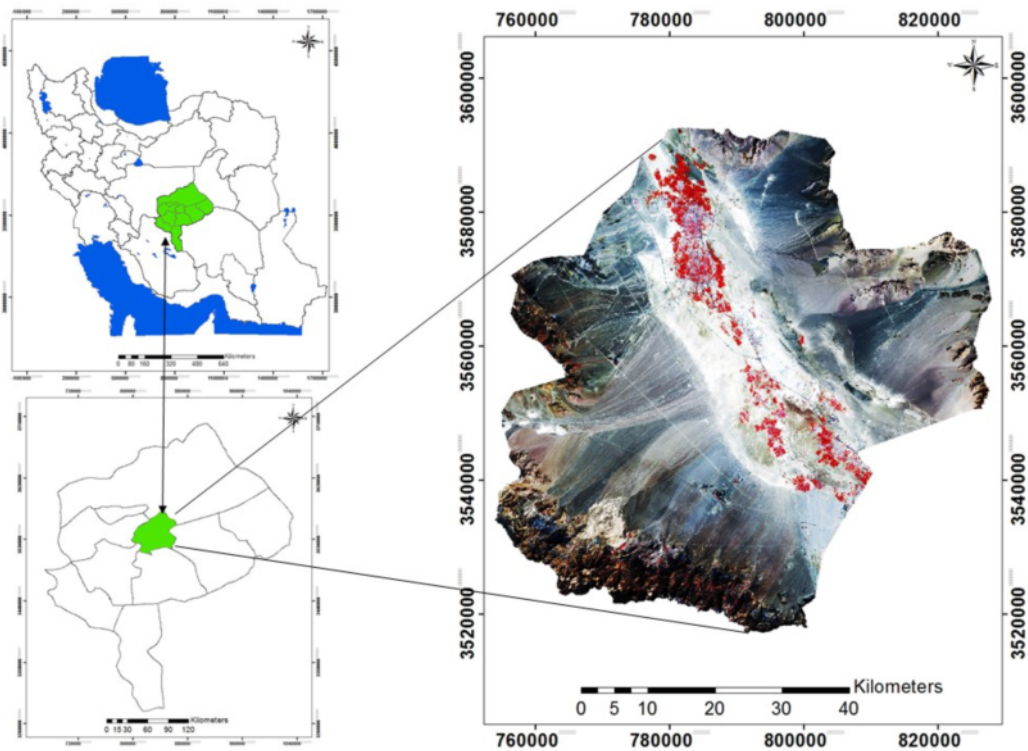
ویژگی منطقه مورد مطالعه

حوضه دشت یزد - اردکان با مساحت بالغ بر ۱۵۹۵۰٫۷ کیلومترمربع، در بخش شمالی استان یزد قرار دارد و در حدود ۲۴٫۹ درصد از مساحت کل استان را شامل می‌گردد که در محدوده عرض شمالی ۳۱ درجه ۴۸ دقیقه و ۳۲ درجه ۱۳ دقیقه و طول شرقی ۵۲ درجه و ۵۷ دقیقه و ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه فلات مرکزی ایران گسترده شده است. این حوضه مستطیل شکل به‌وسیله رشته‌کوه‌های شیرکوه، آهنگران، مرغ زرد، هفت آدمین، خونزا و کوه چک چک محصور گردیده و با شیب عمومی جنوب شرقی-شمال غربی به چاله سیاه کوه تخلیه می‌شود (اختصاصی و همکاران، ۱۳۷۵).

¹ Kusumandari

² Webb and Strong

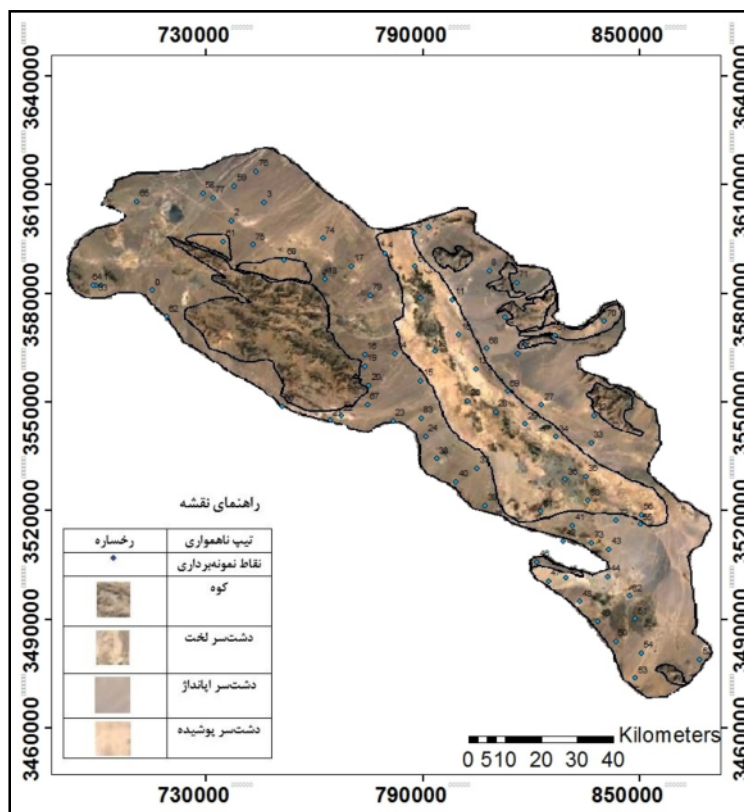
³ Dolgilevich et al. (1973), from R.P.C. Morgan



شکل ۱: دشت یزد-اردکان، محدوده مورد مطالعه

روش کار

در منطقه مطالعه ۸۳ نمونه خاک در ۳ نوع دشت سر، لخت، اپانداژ و پوشیده از عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتر برداشته شد. این عمق مبین ویژگی‌های خاک و رسوباتی است که در بستر آبراهه‌ها و تعدادی نقاط در مجاور آبراهه‌ها قرار دارد. بیشتر تعداد نمونه‌ها در خشکه رودها و مجاور آن‌ها با تراکم زیاد و تعدادی نمونه در دشت سر پوشیده در اراضی دشت رسی با پوشش گیاه تاغ و اراضی کشاورزی برداشته شد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

برای محاسبه فرسایش‌پذیری بادی خاک برحسب تن در هکتار بر ساعت (ton/ha-hr) از روش دلگیلویچ و همکاران (۱۹۷۳) تحت عنوان مدل (۱) و عظیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۰) به‌عنوان مدل (۲) استفاده شد. در مدل (۱) برای محاسبه فرسایش‌پذیری با بدست آوردن درصد ذرات بیشتر از ۰/۸۴ میلی‌متر در تمامی رخساره‌ها انجام شد (جدول ۱).

جدول ۱: برآورد فرسایش‌پذیری بادی (دلگیلویچ و همکاران، ۱۹۷۳)، مدل (۱)

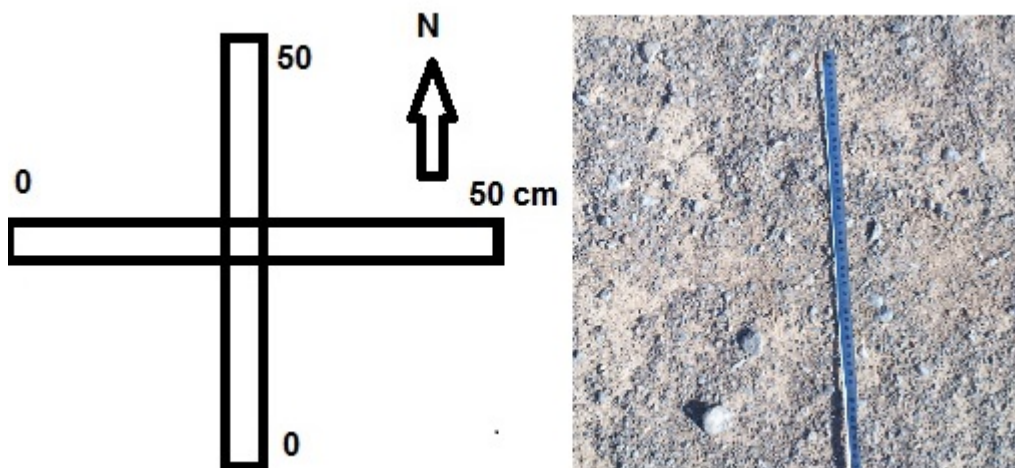
درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر	بیشتر از ۸۰	۷۰-۸۰	۵۰-۷۰	۲۰-۵۰	کمتر از ۲۰
فرسایش‌پذیری (ton/ha-hr)	کمتر از ۰/۵	۰/۵-۱/۵	۱/۵-۵	۵-۱۵	بیشتر از ۱۵

در مدل (۲) برای نقاطی که در دشتسر لخت و اپانداز قرار داشتند، از اطلاعات درصد سنگفرش و قطر میانه آن‌ها استفاده شد ولی در نقاط واقع در دشتسر پوشیده، علاوه بر پارامترهای فیزیکی نظیر بافت خاک از پارامترهای شیمیایی خاک از جمله EC و SAR نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

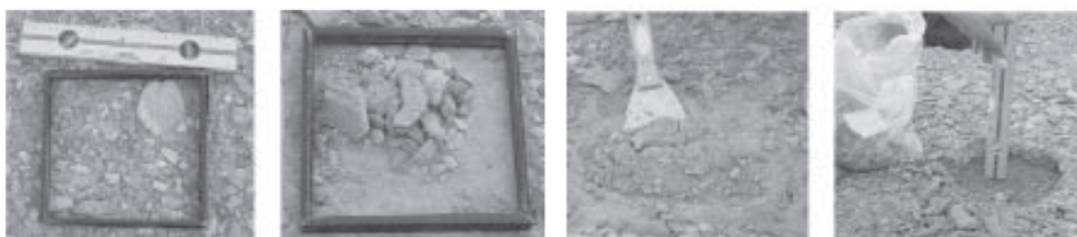
درصد سنگفرش سطحی به روش میکروترانسکت طولی (شامل دو ترانسکت ۵۰ سانتی‌متری) صورت گرفت، شکل (۳). در هر نقطه برداشت، درصد رگ با سه تکرار به ثبت رسید. سپس در سطحی به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتیمتر مربع نمونه‌برداری رگ سطحی انجام و با ثبت اطلاعات جهت آزمایش ذخیره گردید شکل (۴) (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین بافت خاک و اجزاء آن به روش الک خشک و اجزاء کوچک‌تر از دو میلی‌متر روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (جی و بودر^۱، ۱۹۸۶). قطر میانه و درصد ذرات بیشتر از ۰/۸۴ میلی‌متر با استفاده از درصد رس، سیلت و شن بدست آمد. در مورد اندازه‌گیری EC و SAR آزمایشاتی از جمله اندازه‌گیری هدایت الکتریکی با هدایت سنج، سدیم با استفاده از فیلم

¹ Gee and Bauder

فتومتر (کیتسون و ملون^۱، ۱۹۴۴)، کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون با EDTA (آیزر و کمبل^۲، ۱۹۵۱) اندازه‌گیری شد و در نهایت نسبت جذب سدیم بدست آمد.



شکل ۳: نحوه اندازه‌گیری پوشش سنگفرش در دو ترانسکت عمود برهم در نقاط نمونه‌برداری



شکل ۴: نحوه نمونه‌برداری از پوشش سنگفرش، خاک و رسوب در نقاط مورد مطالعه

برای محاسبه فرسایش‌پذیری بادی خاک با استفاده از مدل (۱) از فرمول شماره (۱) حاصل از جدول (۱) محاسبه شد.

$$I = -10.59 \ln(d0.84) + 46.648 \quad (1)$$

که در فرمول (۱)، I فرسایش‌پذیری بادی خاک برحسب (ton/ha-hr) و $d \cdot 0.84$ درصد ذرات خاک بیشتر از $0.84 \cdot 10^{-4}$ میلی‌متر است.

برای محاسبه فرسایش‌پذیری بادی خاک با استفاده از مدل (۲) در نقاط بدون سنگفرش از معادله (۲) و در نقاطی که دارای سنگفرش است از معادله (۳) استفاده شد.

$$I = 2784.4 \exp \left\{ 0.25 \frac{SAR}{EC} \exp(-d^2) \right\} - 2717.7 \quad (2)$$

که در معادله (۲)، I: شاخص فرسایش‌پذیری خاک برحسب kg/ha-hr در اراضی بیابانی دارای سله رسی-نمکی SAR: نسبت سدیم جذب سطحی شده (meq/lit)، EC، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m) و d: میانگین قطر ذرات خاک در لایه (۵-۰ cm) است.

$$I = 45.13 \left(\frac{100}{SG} e - d^2 \right) + 25.478 \quad (3)$$

¹ Kitson and Mellon

² Ayers and Campbell

در معادله (۳)، I: شاخص فرسایش‌پذیری بادی خاک برحسب kg/ha-hr در اراضی بیابانی سنگفرشی، SG: درصد سنگریزه سطحی، d: میانگین قطر ذرات خاک در لایه (۵-۵cm) با احتساب قطر سنگریزه سطحی سنگفرش است. به‌منظور تعیین حد کفایت نمونه‌برداری، از فرمول کربز (۱۹۹۹)، معادله (۴) استفاده شد.

$$N_{sample} = \frac{t\alpha^2 \times CV^2}{d^2} \quad (4)$$

که در آن، N_{sample} تعداد نمونه موردنیاز، $t\alpha^2$ مقدار t (در سطح معناداری ۵ درصد، معادل ۱/۹۶ با در نظر گرفتن درجه آزادی بی‌نهایت)، CV ضریب تغییرات، d نسبت صحت موردنیاز است.

نتایج و بحث

با توجه به شکل (۵)، اکثر بافت خاک منطقه از نوع Sandy Loam^۱ است. بطوریکه از ۸۳ نمونه، ۳۳ مورد را به خود اختصاص داده است. سپس بافت Loamy Sand^۲ که ۱۶ عدد است و بعدازآن به ترتیب Sandy Clay Loam^۳، Sand^۴، Clay Loam^۵، Loam^۶، Silt Loam^۷، Sandy Clay^۸ و در آخر Clay^۹ می‌باشد. که نشان‌دهنده این این است که منطقه مورد مطالعه درصد زیاد شن در سه نوع دشت‌سرهای لخت، اپانداژ و پوشیده دارد.

^۱لومی شنی

^۲شنی لومی

^۳لومی رسی شنی

^۴شنی

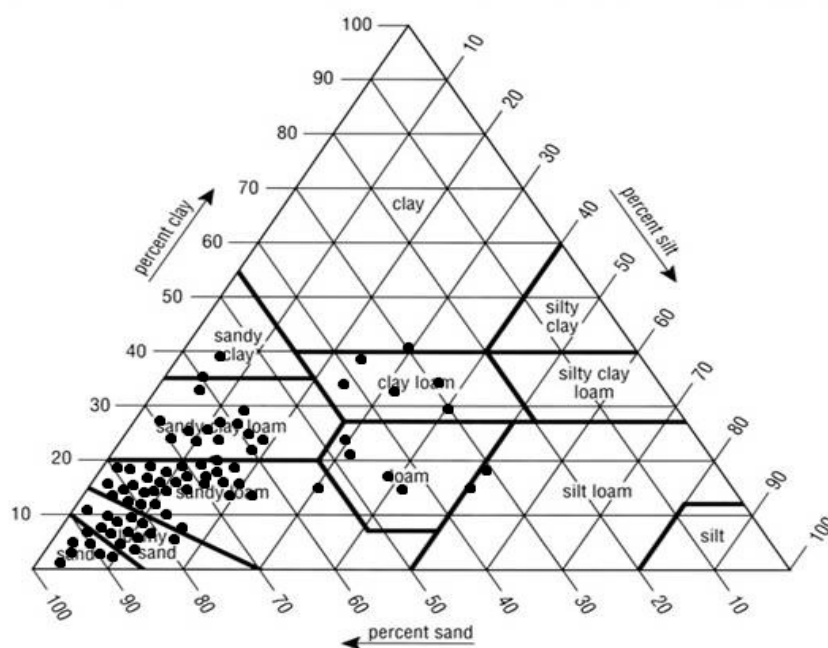
^۵لومی رسی

^۶رس

^۷لوم سیلت

^۸رسی شن

^۹رس



شکل ۵: مثلث بافت خاک

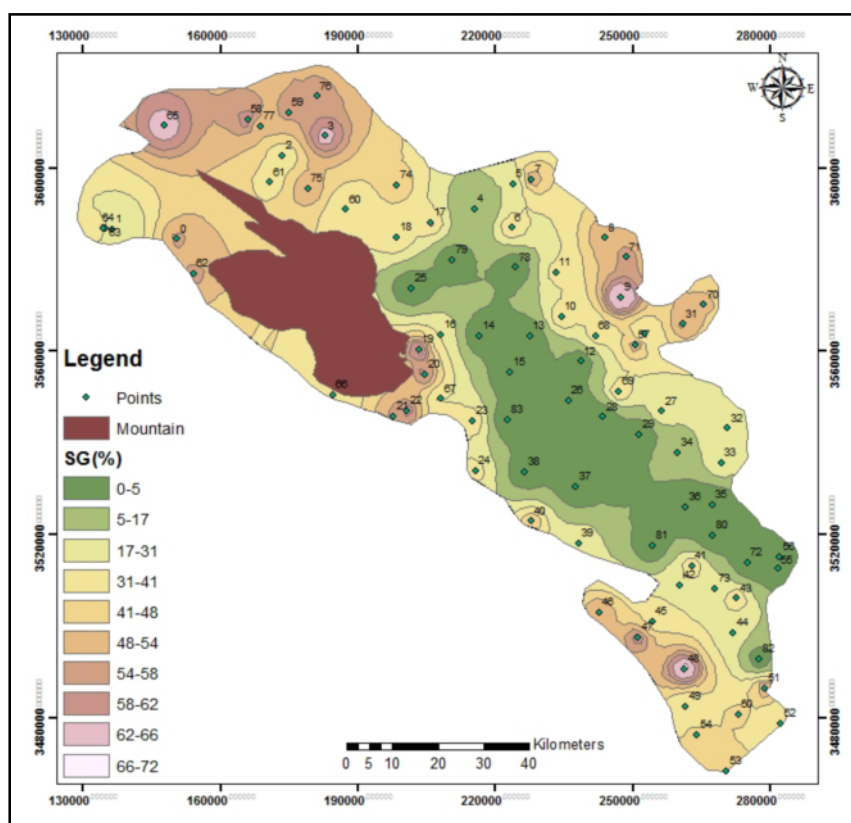
با توجه به جدول (۲) که آمار توصیفی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های اندازه‌گیری ۸۳ نمونه خاک است، تمامی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شده شامل درصد سنگفرش بیابانی، هدایت الکتریکی عصاره اشباع، نسبت جذب سدیم، قطر میانه و درصد ذرات بزرگ‌تر از 0.84 میلی‌متر در آزمون کولومگروف-اسمیرنوف^۱، دارای توزیع نرمال‌اند و همچنین از لحاظ درصد حد کفایت نمونه هم قابل قبول می‌باشند بطوریکه کمتر از ۸۳ مورد نمونه‌برداری هم کفایت دارد. در مورد هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR)، در رخساره دشت‌سر پوشیده مورد بررسی قرار گرفت که به تعداد ۱۶ نمونه رسید. با توجه به جدول (۲) دامنه EC از $1/5$ تا 6 ds/m تغییر می‌کند و از نظر شوری در طبقه کم تا متوسط قرار گرفت. همچنین در مورد SAR دامنه تغییرات آن از $5/3$ تا $125/6$ (meq/l) تغییر می‌کند و از لحاظ درجه قلیابیت در رده متوسط تا قلیا قرار گرفت.

جدول ۲: آمار توصیفی مربوط به پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک

مشخصات خاک	SG(%)	EC(ds/m)	SAR(meq/l)	d50(mm)	d>0.84(mm)
تعداد نمونه	۸۳	۱۶	۱۶	۸۳	۸۳
حداقل	۰	$1/5$	$5/3$	0.03	۲
حداکثر	۸۰	۶	$125/6$	0.9	۶
$\mu \pm stdv$	$38/22 \pm 24/32$	$3/27 \pm 1/39$	$30/83 \pm 29/6$	0.84 ± 0.98	$3/86 \pm 0.97$
سطح معناداری آزمون k-s	0.127	0.166	0.228	0.263	0.376
درصد خطای حد کفایت نمونه	۵	۱۰	۲۵	۲۵	۵

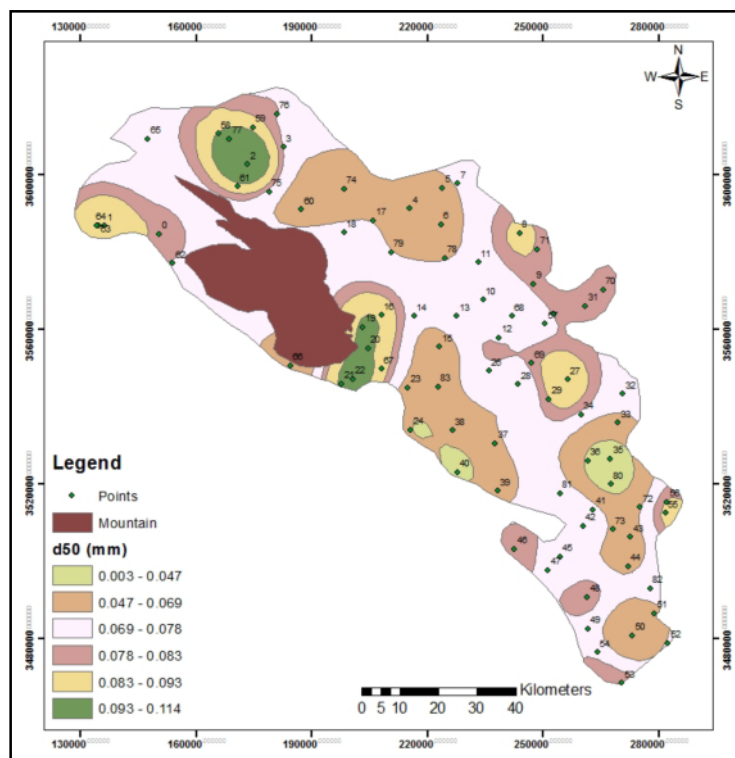
¹ Kolmogrov-Smirnov

شکل (۶) تغییرات درصد سنگفرش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات مقدار سنگفرش در دشت- سرهای لخت و اپانداژ بین ۳۰ تا ۸۰ درصد است و در قسمت مرکزی منطقه مطابق شکل (۲) در خشکه رودهای دشت- سرهای پوشیده دارای تغییراتی بین صفر تا ۵ درصد است. بیشترین مقدار سنگفرش در قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه و کمترین مقدار سنگفرش در قسمت مرکزی منطقه قرار دارد.



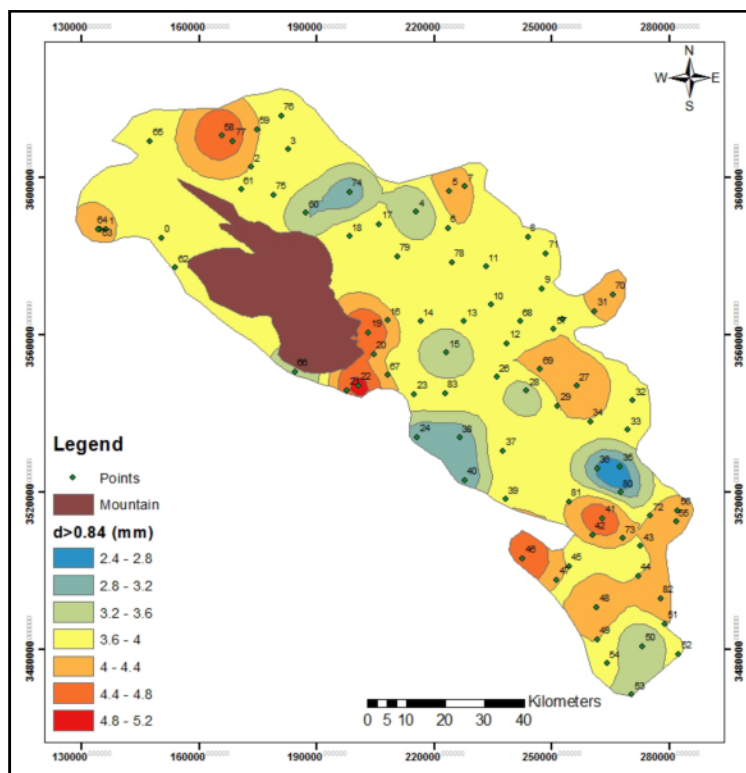
شکل ۶: پهنه‌بندی درصد سنگفرش منطقه مورد مطالعه

در شکل (۷) تغییرات قطر میانه رسوبات در منطقه مورد مطالعه در دشت‌سرهای لخت، اپانداژ و پوشیده ارائه شده است. نتایج حاصل از قطر میانه (d50) نشان می‌دهد که دامنه آن از ۰/۰۰۳ تا ۰/۱ میلی‌متر تغییر می‌کند در قسمت‌های شمالی و غربی که قطر میانه آن‌ها زیاد است و در کلاس ۰/۰۹ تا ۰/۱ میلی‌متر قرار گرفته‌اند نشان‌دهنده خاک‌های درشت‌دانه از جمله خاک‌های Sandy loam، Loamy sand و Sand هستند که این خاک‌ها پتانسیل فرسایش‌پذیری بالایی دارند و در قسمت‌های شمالی، جنوب غربی و جنوب شرقی که دامنه قطر میانه آن‌ها از ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۶۹ تغییر می‌کند، قطر میانه آن‌ها کم است و نشان‌دهنده خاک‌های ریزدانه از نوع Clay Loam، Clay و Loam است و این خاک‌ها در مقابل فرسایش بادی مقاوم هستند و فرسایش‌پذیری کمی دارند. بیشترین مقدار قطر میانه در دامنه ۰/۰۶۹ تا ۰/۰۷۸ میلی‌متر قرار دارد که در طبقه متوسط قرار گرفته و از قسمت‌های جنوبی تا میانی و تا شمال غربی منطقه گسترده شده است.



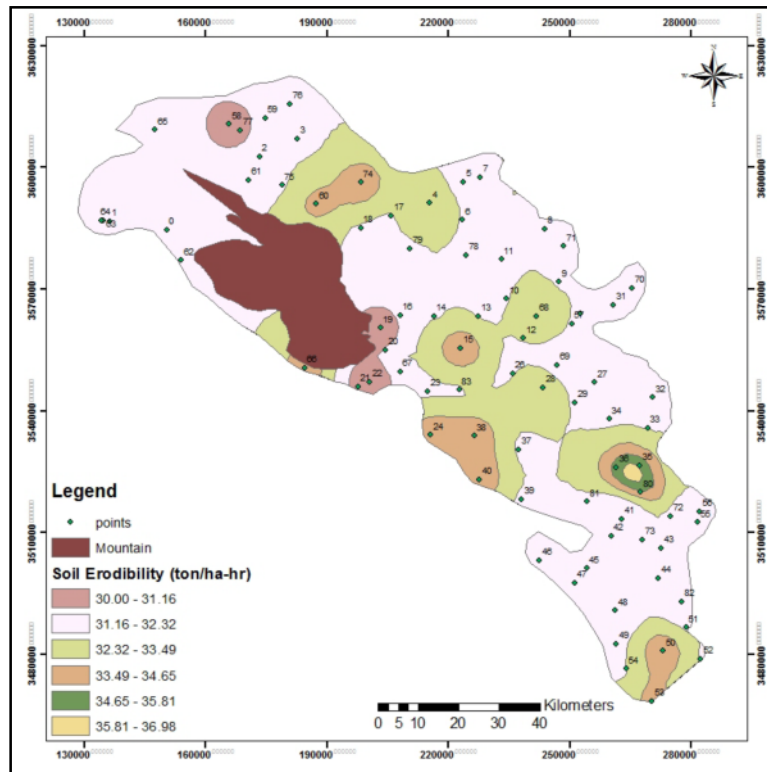
شکل ۷: پهنه‌بندی قطر میانه منطقه مورد مطالعه

شکل (۸) پهنه‌بندی درصد ذرات بزرگ‌تر از $0/۸۴$ میلی‌متر را در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. دامنه تغییرات از $۲/۴$ تا $۵/۲$ میلی‌متر تغییر می‌کند. بیشترین دامنه تغییرات درصد ذرات بیشتر از $۰/۸۴$ میلی‌متر منطقه مطالعه در طبقه $۳/۶$ تا ۴ میلی‌متر در قسمت میانی و شمال غربی منطقه قرار گرفت. در قسمت‌های غربی و جنوب شرقی، درصد ذرات بزرگ‌تر از $۰/۸۴$ میلی‌متر آن‌ها به دلیل بافت ریزدانه خاک از نوع Loam و Clay loam و Clay کم بدست آمد. در قسمت‌های شمالی، شرقی و جنوبی، درصد ذرات آن‌ها به دلیل بافت درشت‌دانه خاک از نوع Sandy loam، Loamy Sand و sand زیاد شد که تغییرات آن بین $۴/۴$ تا $۵/۲$ میلی‌متر شد.



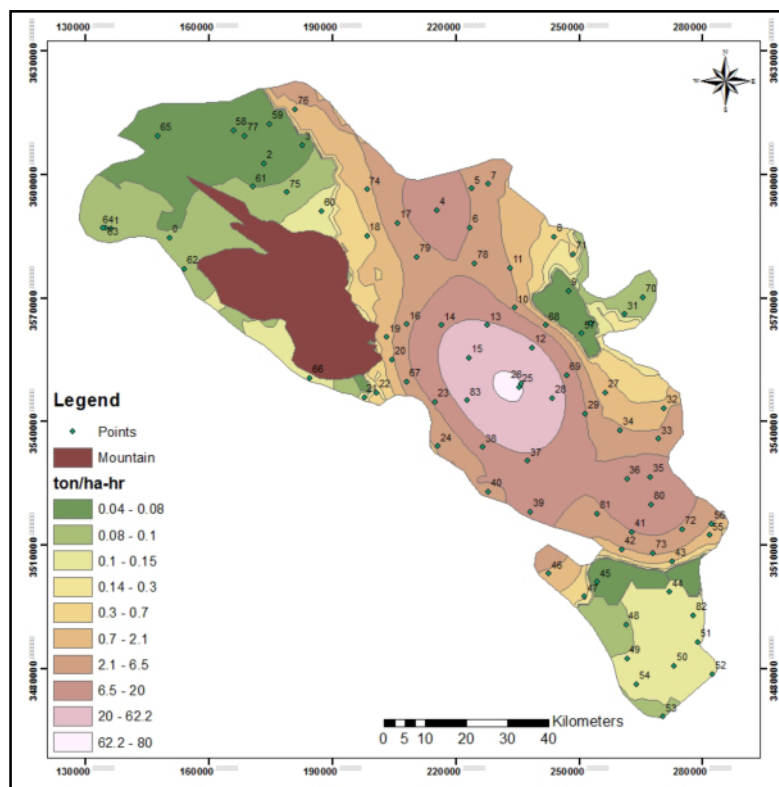
شکل ۸: پهنه‌بندی درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر منطقه مورد مطالعه

شکل (۹)، پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری با استفاده از مدل (۱) می‌باشد. دامنه تغییرات فرسایش‌پذیری از ۳۰ تا ۳۶/۹۸ تن در هکتار بر ساعت متغیر است که بیشتر منطقه در قسمت دوم طبقه‌بندی از ۳۱/۱۶ تا ۳۲/۳۲ تن در هکتار بر ساعت متغیر شد و در قسمت‌های جنوبی، میانی و شمال غربی منطقه مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار فرسایش‌پذیری در قسمت جنوب شرق دشت شامل نقاط ۳۵، ۳۶ و ۸۰ که اراضی رسی و ریزدانه از نوع Clay loam است و کمترین آن در قسمت جنوب غرب و شمال شرقی دشت که شامل دشت‌سرهای اپانداژ و فرسایشی و دارای بافت خاک درشت‌دانه از نوع Loamy sand می‌باشد.



شکل ۹- پهنه‌بندی فرسایش پذیری فیزیکی خاک به روش دلگیلویچ و همکاران (۱۹۷۳)، مدل (۱)

شکل (۱۰)، پهنه‌بندی با استفاده از مدل (۲) می‌باشد. دامنه تغییرات از ۰/۰۴ تا ۸۰ بر حسب تن در هکتار بر ساعت می‌باشد. بیشترین منطقه فرسایش‌پذیری در قسمت میانی دشت که دارای اراضی دشت رسی با پوشش تاغ، سبزا و تعدادی شامل اراضی کشاورزی است که دامنه تغییرات آن‌ها از ۶/۵ تا ۸۰ تن در هکتار بر ساعت و کمترین قسمت فرسایش‌پذیری در قسمت‌های شمالی، شمال غربی و جنوبی منطقه شامل دشت‌سره‌های لخت و اپانداژ می‌باشد. زیرا در آن مناطق درصد سنگفرش متوسط تا بالایی را شاهد هستیم که به همین دلیل مقدار فرسایش‌پذیری کم است.



شکل شماره ۱۰: پهنه‌بندی فرسایش پذیری به روش عظیم زاده و همکاران (۱۳۸۰)، مدل (۲)

مدل (۱) فقط یک پارامتر فیزیکی خاک را (درصد ذرات بزرگ‌تر از $0/۸۴$ میلی‌متر) به منظور محاسبه فرسایش‌پذیری در نظر می‌گیرد که در قسمت میانی منطقه، فرسایش‌پذیری را متوسط تا زیاد ولی در نقاط مختلف منطقه که شامل دشت-سرهای لخت و اپانداژ که دارای سنگفرش متوسط تا زیاد می‌باشد در قسمت‌های کوچک و محدود منطقه در نقاط واقع در شمال شرق و جنوب غرب منطقه، مقدار فرسایش‌پذیری را کم و در بقیه قسمت‌های منطقه زیاد پیش‌بینی کرد. در مدل (۲) برای محاسبه فرسایش‌پذیری علاوه بر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله قطر میانه (d_{50}) و درصد پوشش سنگفرش، خصوصیات شیمیایی را از جمله شوری و نسبت جذب سدیم خاک را هم در نظر گرفته است که با توجه به شکل (۱۰) در قسمت‌های میانی منطقه شامل اراضی کشاورزی و دشت رسی مقدار فرسایش‌پذیری را همانند مدل (۱) متوسط تا زیاد پیش‌بینی کرده است و در دشت‌سرهای لخت و اپانداژ واقع در قسمت‌های شمالی، شمال غربی و جنوبی باوجود پوشش سنگفرش متوسط تا زیاد برخلاف مدل (۱)، فرسایش‌پذیری را خیلی کمتر نسبت به مدل (۱) برآورد کرد. پوشش سنگفرش بخشی از نیروی فرساینده باد را به واسطه افزایش زبری سطح کاهش می‌دهد و قسمت‌هایی که پوشش سنگفرش وجود دارد فرسایش‌پذیری کم است از سوی دیگر پوشش اجزاء درشت، کاهش فرسایش‌پذیری بادی خاک را به همراه دارد. نتایج تحقیق حاضر از مدل (۲) در مورد تأثیر پوشش سنگفرش بر روی فرسایش‌پذیری در دشت-سرهای لخت و اپانداژ با نتایج (عظیم زاده و اختصاصی، ۱۳۸۳)، (عظیم زاده و فتوحی، ۱۳۹۱) و (عظیم زاده و همکاران، ۱۳۸۰) همخوانی دارد.

بویوکوس^۱ (۱۹۳۵)، برای محاسبه مقدار فرسایش‌پذیری، یک فرمول ساده‌ای را با توجه به درصد رس، سیلت و شن توسعه داد. ویسچمیر و اسمیت^۲ (۱۹۷۸)، برای پیش‌بینی عامل فرسایش‌پذیری در معادله جهانی تلفات خاک (USLE)، پارامترهایی از جمله شن درشت (شن خیلی ریز+سیلت) در مقابل درصد ماده آلی مؤثر می‌دانند. استوارات و همکاران

¹ Bouyoucos

² Wischmeier and Smith

^۱(۱۹۷۵)، بزرگی مقدار فرسایش پذیری را به محتوای ماده آلی در بافت‌های مختلف خاک می‌داند. توری و همکاران ^۲(۱۹۹۷) و ویلیامز ^۳(۱۹۹۵) معادله‌ای را با توجه به خصوصیات بافت خاک برای محاسبه فرسایش پذیری بدست آوردند. ایگو و همکاران ^۴(۱۹۹۵) و ویه ^۵(۲۰۰۲) برای محاسبه فرسایش پذیری، کسری از شن و شن/سیلت را پیشنهاد کردند. رومکنز و همکاران ^۶(۱۹۹۷) فقط قطر میانه هندسی (Dg) را برای محاسبه فرسایش پذیری مؤثر می‌داند. دیمویانیس و همکاران ^۷(۱۹۹۸) و فریسر ^۸(۱۹۹۹) کسری از رس را به‌عنوان کلیدی مهم در تغییرات فرسایش پذیری مؤثر دانستند. دوویکر و همکاران ^۹(۲۰۰۱) ارتباط همبستگی بالایی بین فرسایش پذیری با سیلت و شن خیلی ریز پیدا کردند. پریسو و همکاران ^{۱۰}(۲۰۰۳) درصد شن / (شن خیلی ریز+سیلت) را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تغییرات مقدار فرسایش پذیری را مؤثر دانست. ژنگ و همکاران ^{۱۱}(۲۰۰۴) یک معادله خطی بین فرسایش پذیری و محتوای رس بدست آوردند. پرز-رودریگز و همکاران ^{۱۲}(۲۰۰۷) در تهیه نقشه‌های فرسایش پذیری در مادرید اسپانیا، مقدار سیلت در مقابل ساختار خاک را یکی از فاکتورهای مهم در فرسایش پذیری می‌داند.

نتیجه‌گیری

فرسایش پذیری یک مبحث بسیار مهمی است بخصوص در مناطقی که فرسایش بادی زیاد است. در اراضی دشت رسی، اراضی کشاورزی و یا مناطق دارای تپه‌های ماسه‌ای باید راهکارهای مناسبی برای کمتر کردن فرسایش پذیری انجام داد به‌طور مثال اقداماتی نظیر احداث بادشکن در اراضی کشاورزی و مالچ پاشی بر روی تپه‌های ماسه‌ای انجام شود. همچنین در مناطقی که سنگفرش بیابانی زیادی دارد توصیه می‌شود هیچ‌گونه دستکاری بر روی آن‌ها انجام نشود و کوشش برای حفاظت از آن‌ها باشد. مدل (۱) بدون در نظر گرفتن رخساره‌های مختلف ژئومورفولوژی بیشتر در مورد بررسی میزان فرسایش پذیری بادی خاک در اراضی کشاورزی مناسب است و برآورد مقدار فرسایش پذیری را در قسمت میانی منطقه در مقایسه با مدل (۲) به‌درستی پیش‌بینی کرد. به‌منظور سهولت و کاهش دادن زمان و هزینه به‌منظور محاسبه فرسایش پذیری، مدل (۱) بررسی شده در تحقیق حاضر در اراضی بافت ریزدانه و بدون سنگفرش شامل دشت‌سر پوشیده توصیه می‌شود. مدل (۲) در دشت‌سرهای لخت و اپانداژ که دارای پوشش سنگفرش متوسط تا زیادی هستند، مدل مناسبی است و به‌منظور دقیق‌تر محاسبه فرسایش پذیری در دشت‌سر پوشیده علاوه بر پارامتر فیزیکی خاک، پارامترهای شیمیایی خاک هم که در عامل فرسایش پذیری دخالت دارند، مدل (۲) مناسب می‌باشد.

منابع

- اختصاصی، محمدرضا و همکاران، ۱۳۷۵، منشأ یابی تپه‌های ماسه‌ای حوضه دشت یزد-اردکان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
- اختصاصی، محمدرضا و همکاران، ۱۳۸۸، مکان‌یابی شبکه ایستگاه‌های سنجش و پایش فرسایش بادی کشور، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۳۹۶ ص.

¹ Stewart et al.

² Torri et al.

³ Williams

⁴ Igwe et al.

⁵ Veihe

⁶ Romkens et al.

⁷ Dimoyiannis et al.

⁸ Fraser

⁹ Duiker et al.

¹⁰ Parysow et al.

¹¹ Zhang et al.

¹² Perez-Rodriguez et al.

- عظیم زاده، حمیدرضا و همکاران، ۱۳۸۰، مطالعه تأثیر خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک در شاخص فرسایش پذیری بادی خاک و ارائه مدل جهت پیشگویی آن در دشت یزد-اردکان، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره اول.
- عظیم زاده، حمیدرضا و محمدرضا اختصاصی، ۱۳۸۳، فرسایش بادی: بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی دشت یزد-اردکان)، مجله منابع طبیعی ایران.
- عظیم زاده، حمیدرضا و فرزانه فتوحی، ۱۳۹۱، بررسی کمی اثرات سنگفرش بیابان در فرسایش پذیری بادی خاک (مطالعه موردی: بخشی از دشت یزد-اردکان)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۰، شماره ۴، ۶۹۵-۷۰۵ص.
- Ayers, A.D. and Campbell, R.B. 1951: Freezing point of water in a soil as related to salt and moisture contents of the soil.
- Bouyoucos, G.J. 1935: The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *Journal of Am. Soc. Of Agron*, No. 27, pp. 738-741.
- Callot, Y., Marticorena, B., and Bergametti, G. 2000: Geomorphologic approach for modelling the surface features of arid environments in a model of dust emissions: application to the Sahara desert. *Geodinamica Acta*, Vol. 13, No. 5, pp. 245-270.
- Delgilevich et al. 1973, from Morgan, R. P. C. 2010: Soil erosion and conservation. National soil resources institute, Cranfield university, Blackwell publishing, third edition., chapter 3.
- Dimoyiannis, D.G., Flanagan, C.D., and Valmis, S. 1998: Factors affecting aggregate instability of Greek agriculture soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* No. 29, pp. 1239-1251.
- Duiker, S.W., Flanagan, D.C., and Lal, R. 2001: Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain, *Catena*, No. 45, pp. 103-121.
- Fraser, R.H. 1999: SEDMOD: a GIS-Based delivery model for diffuse source pollutants: New Haven. Yale university PhD, Thesis, Conn. (99 pp).
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986: Particle size analysis. In: Klute (ed), *Methods of soil Analysis. Part 1. 2nd edition.* Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Pp. 404-407.
- Hudson, N. W. 1981: Soil conservation. *Bastford* 230p.
- Igwe, C.A., Akamigbo, F.O., and Mbagwu, J.S. 1995: The use of some soil aggregate indices to assess potential soil loss in soils of south-eastern Nigeria. *Int. Agrophys.* Vol. 9, No. 2, pp. 95-100.
- Kitson, R.E., and Mellon, M.G. 1944: Colorimetric determination of phosphorus as molybdivanadophosphoric acid. No. 16, pp. 79-83.
- Knight, A. W., Mctainish G.H., and Simpson, R.W. 1995: Sediment loads in an Australian dust storm: implications for present and past dust processes, *Catena*, No. 24, pp. 195-213.
- Kusumandari, A. 2014: Soil erodibility of several types of green open space areas in Yogyakarta city, Indonesia, *The 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security, Procedia Enviromental Sciences.*
- Li, X.Y., Liu, L.Y., and Wang, J.H. 2004: Wind tunnel simulation of Aeolian sandy soil erodibility under human disturbance, *Geomorphology*, No. 59, pp. 3-11.
- McTainish, G.H., Leys, J.F., and Nickling, W.G. 1999: Wind erodibility of arid lands in the channel country of western Queensland, Australia. *Zeitschrift fur Geomorphologie N.F, Supplementband*, No. 116, pp. 113-130.
- Oldeman, L.R. 1994: The global extent of soil degradation. In: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land Use.* CAB International, pp. 99-118. Chapter 7.
- Parysow, P., Wang, G., Gertner, G., and Anderson, A. 2003: Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility on joint sequential simulation. *Catena*, No. 53, pp. 65-78.
- Perez-Rodriguez, R., Marques, M.J., and Bienes, R. 2007: Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Sci. Total Environ.* No. 378, pp. 166-173.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., and Gill, T.E. 2002: Enviromental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews in Geophysics*, Vol. 40, No. 1, pp. 1-26.

- Romkens, M.J.M., Young, R.A., Poesen, J.W.A., McCool, D.K., El-Swaify, S.A., and Bradford, J.M. 1997: Soil erodibility factor (K). (Compilers) In: Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. Mccool, D.C. Yoder, editors. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RULSE)*, Agric. HB No. 703, USDA, Washington DC, USA, pp. 65-99.
- Shao, Y., Raupach, M., and Short, D. 1994: Preliminary assessment of wind erosion patterns in the Murray-Darling Basin. *Australian Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 7, No. 3, pp. 46-51.
- Stewart, B.A., Woolhiser, D.A., Wischmeier, W.H., Caro, J.H., and Freere, M.H. 1975: Control of water pollution from cropland. Vols. I, Report EPA-600. US environmental Protection Agency, Washington DC, USA.
- Torri, D., Poesen, J., and Borselli, L. 1997: Predictability and uncertainly of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, Vol. 31, No. 1, pp. 1-22.
- Vaezi, A.R., Hassanzadeh, H., Cerda, A. 2016: Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran, *Catena*, No. 142, pp. 221-232.
- Veihe, A. 2002: The Spatial Variability of Erodibility and Its Relation to Soil Types: A Study from Northern Ghana. *Geoderma*, No. 106, pp. 101-120.
- Webb, N. P., McGowan, H.A., Phinn, S.R., and McTainish, G.H. 2006: AUSLEM (AUStralian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia, *Geomorphology*, No. 78, pp. 179-200.
- Webb, N. P., McGowan, H.A., Phinn, S.R., Leys, J.F., and McTainish, G.H. 2009: A model to predict land susceptibility to wind erosion in western queenland, Australia, *Enviromental Modelling & Software*, No. 24, pp. 214-227.
- Webb, N. P., and Strong, C.L. 2011: Soil erodibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models, *Aeolian Research*, No. 3, pp. 165-179.
- Williams, J.R. 1995: Chapter 25: the EPIC model. *Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications*, pp. 909-1000.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978: Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, Vol. 537. US Depatment of Agriculture, Washington DC, pp. 13-27.
- Zhang, K., Li, S., Peng, W., and Yu, B. 2004: Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. *Soil Tillage Research*, No. 76, pp. 157-165.