

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۲، بهار ۱۳۹۶

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۰/۱۷

صفحات: ۸۵ - ۹۸

ارزیابی خطر فرسایش آبی و بادی و مقایسه پتانسیل رسوب‌دهی آنها در منطقه حارث آباد سبزوار

اسماعیل سیلاخوری^۱، دکتر قربان وهاب زاده^۲، زهرا پریسای^۳

چکیده

فرسایش خاک، تهدیدی جدی برای حفاظت منابع خاک و آب کشور است. در این تحقیق، پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی و آبی به ترتیب با مدل‌های IRIFR (IRIFR.E.A و IRIFR.E.B) و MPSIAC در منطقه سبزوار انجام شد و پتانسیل رسوب‌دهی آنها مورد بررسی قرار گرفت. سپس، نقشه‌های واحد‌های کاری تهیه شد و عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش بادی و آبی در هر یک از ۱۵ واحد کاری مورد بررسی قرار گرفت و همچنین، نقشه‌های خطر فرسایش آبی و بادی و نقشه فرسایش ناخالص آبی و بادی و فرسایش ناخالص کل (آبی+بادی) برای منطقه مورد نظر تهیه شد. نتایج نشان داد، اراضی کشاورزی با مساحت ۴۹۳۶/۹ هکتار بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش بادی و واحد کاری اراضی مارنی با مساحت ۵۹۶/۳ هکتار، بیشترین حساسیت را به فرسایش آبی و تولید رسوب دارند. با توجه به نقشه وضعیت فرسایش بادی منطقه مورد بررسی، ۸۰/۵۵ درصد از منطقه در کلاس متوسط، ۱۰/۴۷ درصد در کلاس زیاد و ۸/۴۰ درصد منطقه در کلاس کم خطر فرسایش بادی قرار گرفتند. با توجه به بررسی نقشه وضعیت فرسایش آبی منطقه، ۵۰/۳۲ درصد از منطقه در کلاس کم و ۴۹/۱۱ درصد در کلاس متوسط خطر فرسایش آبی قرار گرفتند. فرسایش بادی ۷۱/۱۹ درصد و فرسایش آبی ۲۸/۸۱ درصد در کاهش حاصلخیزی اراضی منطقه مؤثر بوده است. نتایج حاکی از آن است که مقدار کل رسوب منطقه مورد مطالعه، ۱۴۴۱۲/۲۳ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال است که ۱۰۲۵۹/۴۷ متر مکعب در کیلومتر مربع به وسیله فرسایش بادی و ۴۱۵۲/۷۶ متر مکعب در کیلومتر مربع به وسیله فرسایش آبی صورت می‌گیرد.

کلید واژگان: شدت فرسایش بادی و آبی، مدل IRIFR.E.A، مدل IRIFR.E.B، مدل MPSIAC، منطقه سبزوار.

مقدمه

فرسایش خاک، به دلیل داشتن اثرات چندجانبه آشکار و پنهان زیست‌محیطی و اجتماعی، به سرطان زمین شهرت یافته است (اونق، ۲۰۰۳: ۱). قبل از اجرای طرح‌های حفاظتی، لازم است که سیمای فرسایش هر حوزه و عوامل کنترل‌کننده آن مورد بررسی قرار گرفته و براساس پهنه‌بندی خطر فرسایش، اولویت‌های حفاظتی و مدیریتی اعمال شود (محمودآبادی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۱۲). پدیده فرسایش بادی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک عمل می‌کند و با توجه به اینکه بیش از دو سوّم ایران در این اقلیم قرار گرفته است؛ بنابراین، علاوه بر اثر فرسایش آبی، فرسایش بادی به‌عنوان عامل مؤثر در تخریب و ایجاد خسارت در این مناطق می‌باشد (اردکانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). فرسایش بادی، از جمله پدیده‌هایی است که علاوه بر تغییر شکل سطح زمین، آثار منفی آن تأثیر زیادی در زندگی بشر دارد (درینی، ۱۳۹۰: ۱۲۶۶). اندازه‌گیری فرسایش بادی همواره مشکل و پرهزینه بوده و محدودیت‌های زمانی و مکانی دارد؛ به همین دلیل، استفاده از مدل‌های کارا به‌منظور برآورد آن امری اجتناب‌ناپذیر است (عظیم‌زاده، ۱۳۸۶: ۱). برای تخمین شدت فرسایش آبی و پتانسیل رسوب‌دهی ناشی از آن در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار، مدل‌های متعددی ارائه شده است. یکی از این مدل‌ها که در کشورمان ایران از کاربرد بیشتر و مناسب‌تری برخوردار است، مدل پسیاک می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۷۸: ۲۷). مدل پسیاک در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایالات متحده آمریکا ارائه (فتحی ملک‌کیان و همکاران، ۱۳۸۵: ۶۱) و برای اولین بار توسط شرکت مهندسان مشاور D&R^۱ در حوضه آبخیز سد دز به کار گرفته شد (برنامه مدیریت منابع آبخیز دز، ۱۹۷۴: ۱؛ احمدی و همکاران، ۱۳۷۸: ۲۸). این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود، بیشترین عوامل مؤثر

در فرسایش خاک را برای محاسبه فرسایش ویژه و تولید رسوب در نظر گرفته است. در این روش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب ارزیابی می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵: ۲۸۴). بنابر تجربه و مطالعات پیشین، مشخص شده است که روش MPSIAC^۲ با توجه به آب و هوا و اقلیم ایران (نیمه‌خشک) کارایی بسیار دارد (تنگستانی، ۲۰۰۶: ۵۸۵). به‌منظور برآورده کردن نیاز طرح‌های مطالعاتی در کشور، سعی شد تا روشی مشابه روش پسیاک در فرسایش آبی، برای برآورد فرسایش بادی تدوین شود. در مدل اریفر^۳ نیز که از نوع تجربی است، ۹ عامل مؤثر در برآورد فرسایش بادی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل اریفر ۱ در سال ۱۳۷۲ برای اراضی غیرزراعی تدوین شده است. در سال ۱۳۷۹ مدل اریفر ۲ برای اراضی کشاورزی تهیه شد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲). در بیشتر موارد فقط از مدل تجربی پسیاک در برآورد کل پتانسیل رسوب‌دهی اراضی استفاده شده است؛ در صورتی که این مدل بیانگر پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش آبی است. همچنین در بعضی از مناطق بیابانی، تحقیقاتی در برآورد پتانسیل رسوب‌دهی ناشی از فرسایش بادی صورت گرفته است، این در حالی است که بیشتر عرصه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر فرسایش بادی، تحت تأثیر فرسایش آبی نیز قرار دارند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲). اختصاصی (۱۳۷۹) پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش آبی و بادی را در حوزه آبخیز آبخش استان کرمان مورد مقایسه قرار داد و در نهایت فرسایش بادی را مهمتر از فرسایش آبی در منطقه عنوان کرد. احمدی و همکاران (۱۳۸۶) پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی و آبی را در حوزه آبخیز نعمت‌آباد بیجار با استفاده از مدل‌های IRIFR.E.A و MPSIAC برآورد و مورد بررسی قرار دادند و مقدار رسوب فرسایش آبی را ۷/۵ تن در هکتار در سال (معادل ۷۷/۷ درصد رسوب کل) و میزان رسوب فرسایش بادی را ۲/۲ تن در هکتار در سال

2. Modified Pacific Southwest Inter-Agency committee
3. Iran Research Institute of forest and Rangelands (IRIFR)

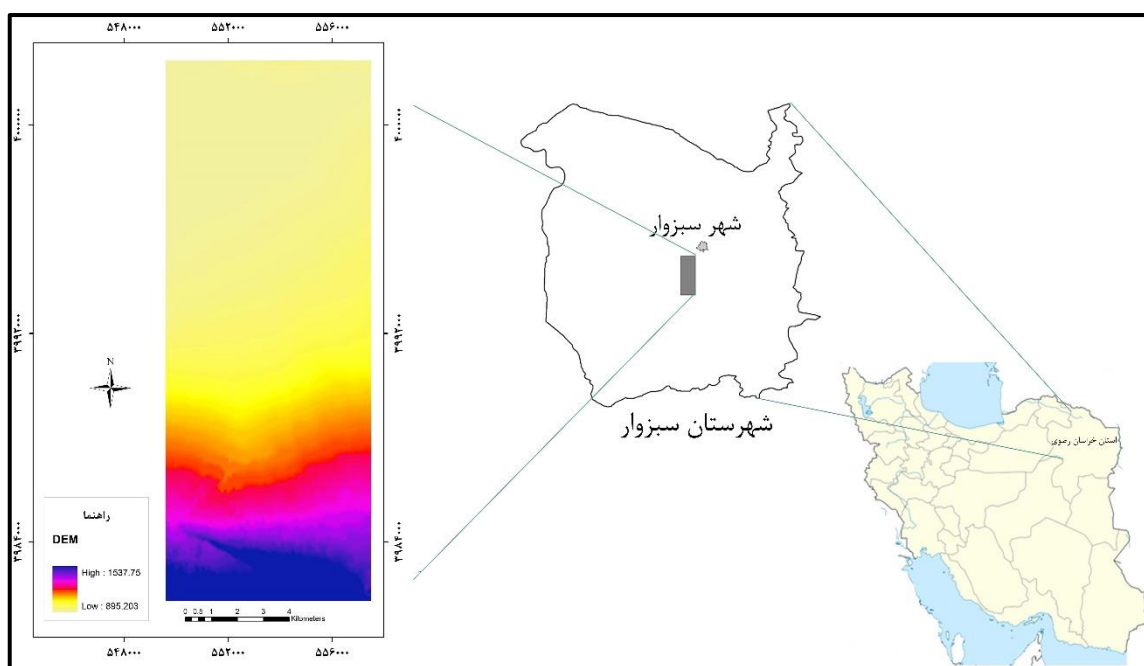
1. Development and Resource

(اریفر ۱ و اریفر ۲)، ارزیابی و تهیه نقشه شدت فرسایش آبی با استفاده از مدل پسیاک اصلاح شده و مقایسه پتانسیل رسوبدهی آنها در منطقه سبزوار است. همچنین، نقشه فرسایش ناخالص آبی، بادی و کل (آبی+بادی) نیز برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

مواد و روش کار

منطقه مورد بررسی به صورت چهار گوش و با شکل هندسی مستطیل شکل که طول آن شمالی- جنوبی است، در جنوب غرب شهرستان سبزوار انتخاب شد. فاصله آن از شهر سبزوار حدوداً ۵ کیلومتر است. منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۶۳۹۲۵۰۰۰ متر مربع، بین عرض‌های $۳۵^{\circ} ۹۷'$ و $۱۶^{\circ} ۳۶'$ و طول‌های $۵۵۵۷'$ و $۶۳۹۵۷'$ قرار دارد. منطقه مورد مطالعه در یک توالی ژئومورفولوژیکی از ارتفاع ۱۵۱۵ متر در کوهستان تا ارتفاع ۹۰۰ متر در پلایا ادامه می‌یابد. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر است و در اقلیم خشک بیابانی سرد قرار دارد (سیلاخوری و اونق، ۱۳۹۱: ۹۳).

(۲۲/۶ درصد) برآورد کردند. ایلانلو (۱۳۹۰) میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز تویسرکان با استفاده از مدل پسیاک را خیلی زیاد برآورد کرد و علت فرسایش بسیار زیاد در منطقه را نبود پوشش گیاهی مناسب، وجود رسوبات ریزدانه و فراوان، شیب زیاد و دستکاری انسان در طبیعت اشاره کرد. پهلوان‌روی (۱۳۹۱) در منطقه زهک دشت سیستان فرسایش و رسوبات بادی را با استفاده از مدل IRIFR مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که از منطقه مورد مطالعه، ۵۹/۴ درصد در طبقه بیابان‌زایی شدید و ۴۰/۶ درصد در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارد و از بین عوامل مؤثر در فرایند بیابان‌زایی، مدیریت کاربری اراضی و اقلیم مهمترین عوامل مؤثر شناخته شدند. جانسون و گبهارت (۱۹۸۲) در مطالعات خود، مدل MPSIAC را دارای بازده بالا معرفی کردند. رینارد و استون (۱۹۸۲) مدل را با مدل‌های EPM، Renard-Flaxman و USLE اصلاح شده مقایسه و نتیجه‌گیری کردند. پسیاک اصلاح شده دارای بیشترین هماهنگی با اندازه‌گیری‌های کمی بود. هدف از این تحقیق ارزیابی و تهیه نقشه شدت فرسایش بادی به وسیله مدل اریفر



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان سبزوار

تهیه و ترسیم: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)

می‌شود (مصباح‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۰۱). روش ارزیابی به این صورت است که ارزش هر یک از عامل‌های نه‌گانه در واحدهای کاری مشخص و درنهایت با استفاده از جدول ۱ و بهره‌گیری از میانگین وزنی، ارزش هر عامل و سرانجام همه عوامل مؤثر در فرسایش تعیین شده که منجر به مشخص شدن کلاس فرسایش بادی و میزان جابجایی خاک و هدر رفتن آن خواهد شد. عوامل نه‌گانه در فرسایش بادی در مدل تجربی اریفر ۱ عبارت‌اند از: سنگ‌شناسی، شکل اراضی و میزان پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، بافت خاک و پوشش غیرزنده، سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی و درنهایت مدیریت اراضی؛ ولی در مدل اریفر ۲ عوامل نه‌گانه شامل: رسوب‌شناسی بافت رسوب یا خاک سطحی و نوع اراضی، توپوگرافی و موقعیت اراضی، سرعت و تداوم بادهای شدید یا فرساینده، زبری یا میزان ناهمواری سطح خاک، ایجاد سله، مقاومت فشاری و میزان آشفستگی سطح خاک، رطوبت خاک و شرایط آبیاری، میزان املاح و نوع نمک‌های موجود در خاک و آب آبیاری، تراکم پوشش گیاهی و کاه کلش به‌جای‌مانده در سطح خاک مزرعه و درنهایت، مدیریت مزرعه است. پس از تهیه نقشه‌های مربوط به هر یک از شاخص‌های فرسایش بادی که شرح آن گذشت، نقشه نهایی شدت فرسایش بادی تهیه می‌شود. در جدول ۱ دامنه امتیاز و کلاس پتانسیل فرسایش بادی مشاهده می‌شود.

تعیین واحدهای کاری

ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (سال ۲۰۱۱ میلادی) مربوط به گذر ۱۶۱ و ردیف ۳۵، تصاویر کاذب رنگی با ترکیب باندی ۴،۳،۲ و ۷،۴،۲ ساخته شد (شکل ۴). سپس نقشه‌های زمین‌شناسی سبزواری و کاشمر در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده بود، رقومی گردید (شکل ۵). از نقشه‌های به‌دست آمده در تفسیر چشمی استفاده شد و رخساره‌های ژئومورفولوژی (واحدهای کاری) از روی نقشه‌های مذکور جدا شد (شکل ۶).

تعیین پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی

برای تعیین شدت فرسایش بادی در هر یک از سه واحد دشت سیلت و ماسه‌ای با اراضی کشت شده، دشت سیلابی و شور با اراضی کشت شده و نهشته‌های آبرفتی با اراضی کشت شده از مدل اریفر ۲ که برای اراضی کشاورزی تهیه شده است، استفاده گردید و برای سایر واحدهای کاری که اراضی غیرکشاورزی محسوب می‌شوند، از مدل اریفر ۱ استفاده شد. در هر روش نه عامل مهم و مؤثر در فرسایش بادی به همراه جداول امتیازدهی ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به شدت و ضعف هر عامل و تأثیر آن در رسوب‌زایی، امتیازی به آن داده می‌شود. مجموع اعداد به‌دست آمده برای عامل‌های مختلف نشان‌دهنده شدت فرسایش بادی خواهد بود. از روی مجموع اعداد به‌دست آمده میزان رسوب‌دهی واحدکاری برآورد

جدول ۱. تعیین کلاس پتانسیل فرسایش بادی در محدوده اراضی تحت غیرکشاورزی و کشاورزی به روش تجربی اریفر ۱ و ۲

کلاس فرسایشی	مقدار کیفی فرسایش	کل امتیاز	برآورد پتانسیل رسوب‌دهی (تن در کیلومتر مربع در سال)
I	خیلی کم	کمتر از ۲۵	کمتر از ۲۵۰
II	کم	۲۵-۵۰	۲۵۰-۵۰۰
III	متوسط	۵۰-۷۵	۵۰۰-۱۵۰۰
IV	زیاد	۷۵-۱۰۰	۱۵۰۰-۶۰۰۰
V	خیلی زیاد	بزرگتر از ۱۰۰	بیشتر از ۶۰۰۰

که در آن Q_s : میزان تولید رسوب (متر مکعب در کیلومتر مربع در سال) و R : درجه رسوبدهی یا مجموع نمرات عوامل نه‌گانه است. پس از برآورد رسوبدهی سالانه حوضه آبخیز با استفاده از رابطه ۳ به شرح زیر میزان SDR (نسبت تحویل رسوب) تعیین می‌شود:

$$\text{Log SDR} = 1.8768 - 0.14191 \text{ Log } (10 A) \quad (3)$$

که در آن A : مساحت واحدکاری برحسب مایل مربع است. آنگاه با داشتن میزان SDR برآورد شده، از طریق رابطه زیر، فرسایش ویژه حوضه نیز محاسبه می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۵: ۳۰۶).

$$\text{Erosion} \left(\frac{m^3}{ha.yr} \right) = \frac{Q_s \left(\frac{m^3}{ha.yr} \right)}{SDR} \quad (4)$$

با تعیین درجه رسوبدهی برای هریک از واحدهای کاری مطابق جدول ۲ کلاس رسوبدهی و نقشه شدت فرسایش آبی به دست خواهد آمد. درنهایت، فرسایش ناخالص آبی و بادی با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه می‌شود. از جمع فرسایش ناخالص آبی و بادی هر واحد، فرسایش ناخالص کل به دست می‌آید. درنهایت، میزان فرسایش کل در چهار کلاس طبقه‌بندی و نقشه شدت فرسایش برای منطقه به دست آمد (شکل ۱۱).

برآورد میزان رسوبدهی ناشی از فرسایش بادی
برای برآورد پتانسیل رسوبدهی فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل اریفر، از رابطه ارائه شده بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب استفاده شد:

$$Q_s = 41e^{(0.05R)} \quad (1)$$

که در آن Q_s میزان رسوبدهی سالانه برحسب تن در کیلومتر مربع در سال، R درجه رسوبدهی (مجموعه امتیازات عوامل مؤثر بر فرسایش بادی) و e : لگاریتم نپرین (۲/۷۱۸) است (احمدی، ۱۳۸۷: ۴۸۵).

تعیین پتانسیل رسوبدهی فرسایش آبی

این مدل مبتنی بر ارزیابی ۹ عامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، روان‌آب، پستی و بلندی، پوشش زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش در سطح منطقه و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب است که به هر عامل امتیازی تعلق می‌گیرد. پس از تعیین امتیاز هریک از عوامل نه‌گانه در این مدل، براساس جدول‌های مبنای مدل، با استفاده از فرمول‌های مربوط و درجه رسوبدهی (R) که حاصل جمع امتیاز آنهاست، این امکان ایجاد می‌شود که میزان تولید رسوب در واحدهای مطالعاتی محاسبه شود. بدین منظور، از رابطه ۲ به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$Q_s = 38.77e^{0.0353R} \quad (2)$$

جدول ۲. تعیین کلاس فرسایش و مقدار رسوبدهی به روش MPSIAC

کلاس فرسایشی	مقدار کیفی فرسایش	کل امتیاز	برآورد پتانسیل رسوبدهی (تن در کیلومتر مربع در سال)
I	خیلی کم	کمتر از ۲۵	کمتر از ۲۰۰
II	کم	۲۵-۵۰	۲۰۰-۵۰۰
III	متوسط	۵۰-۷۵	۵۰۰-۱۵۰۰
IV	زیاد	۷۵-۱۰۰	۱۵۰۰-۲۵۰۰
V	خیلی زیاد	بزرگتر از ۱۰۰	بیشتر از ۲۵۰۰

منبع: (احمدی، ۱۳۸۷: ۴۸۵)

نتایج و بحث

منطقه مورد بررسی از ۱۵ واحد کاری تشکیل شد که عبارت‌اند از: دشت سیلت و ماسه‌ای با اراضی کشت‌شده، دشت شور و سیلابی با اراضی کشت‌شده، اراضی مرطوب و شور، برونزد سنگی، تپه‌ماهور مارنی، تپه‌ماهور کنگلومرای، تپه‌های ماسه‌ای تثبیت‌شده، دشت سیلت و ماسه‌ای، رودخانه با رسوبات جدید، سیلت و گل تجمع یافته در دشت سیلابی، دشت ریگی ریزدانه، فرسایش آبراه‌های با چشم‌انداز هزاردره‌ای، دشت ریگی درشت‌دانه، اراضی مارنی و نهشته‌های آبرفتی با اراضی کشت‌شده، تشکیل شده است (شکل ۶). با توجه به نقشه وضعیت فرسایش بادی منطقه مورد بررسی، ۸۰/۵۵ درصد (۱۳۲۱۱/۹ هکتار) از منطقه در کلاس متوسط (III) خطر فرسایش بادی و ۱۰/۴۷ درصد (۱۷۱۷/۵ هکتار) در کلاس زیاد (IV) خطر فرسایش بادی و ۸/۴۰ درصد (۱۳۷۹ هکتار) در کلاس کم (II) خطر فرسایش بادی قرار می‌گیرند.

با توجه به بررسی نقشه وضعیت فرسایش آبی منطقه مورد مطالعه، ۵۰/۳۲ درصد (۸۲۵۳/۵ هکتار) از منطقه در کلاس کم (II) خطر فرسایش آبی و ۴۹/۱۱ درصد (۸۰۵۵/۱ هکتار) در کلاس متوسط (III) خطر فرسایش آبی قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد که واحدهای دشت سیلت و ماسه‌ای با اراضی کشت‌شده، دشت سیلابی و شور با اراضی کشت‌شده و نهشته‌های آبرفتی با اراضی کشت‌شده جمعاً با مساحت ۴۹۳۶/۹ هکتار، بیشترین حساسیت را به فرسایش بادی و واحد کاری اراضی مارنی، با مساحت ۵۹۶/۳ هکتار ترتیب بیشترین حساسیت را به فرسایش آبی و تولید رسوب دارند. همچنین فرسایش بادی در اراضی غیرکشاورزی در واحد تپه‌های ماسه‌ای تثبیت‌شده با مساحت ۱۷۱۷/۵۱ هکتار غالب است که با نتایج تحقیق مصباح‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد.

جدول ۳. عوامل مؤثر در فرسایش بادی به روش اریفر ۱ در منطقه سبزوار

عوامل مورد بررسی و دامنه امتیاز	شاخص‌های عوامل مورد بررسی در سطح منطقه	میانگین امتیاز
سنگ‌شناسی (۰-۱۰)	کنگلومرا، آبرفت درشت دانه، شیل، آبرفت متوسط دانه، اراضی رسی، ماسه بادی، شوره‌زار	۵/۶۷
شکل اراضی پستی و بلندی (۰-۱۰)	دشت سرپوشیده، دشت‌های هموار سیلابی، دشت سرفرسایشی، منطقه کوهستانی تا تپه‌ماهوری	۷/۲۵
سرعت و وضعیت باد (۰-۲۰)	سرعت متوسط باد در یک ماه از سال بیش از ۸ متر بر ثانیه، وقوع حداقل یک طوفان گرد و خاک در سال.	۱۳
عامل خاک و پوشش سطح آن (۵-۱۵)	سطح خاک نسبتاً سخت‌شده به وسیله سیمان رسی یا نمک - بافت خاک سطحی شنی - رسی، رسی - شنی یا چسبندگی متوسط تا کم.	۳/۳۴
انبوهی پوشش گیاهی (۱۵ تا ۵-)	- انبوهی تاج پوشش گیاهی مؤثر ۲۵-۱۰ درصد - انبوهی تاج پوشش گیاهی کمتر از ۱۰ درصد	۷/۹۲
آثار فرسایش سطح خاک (۲۰ تا ۵-)	آثار بادکنندگی در سطح خاک بسیار جزئی و بعضاً افزایش سنگریزه ناشی از بادبردگی خاک دیده می‌شود.	۵/۵۹
رطوبت خاک (۰-۱۰)	خاک سطحی به‌طور موقتی تحت تأثیر رطوبت قرار گرفته و به‌دلیل بافت سبک سریع خشک می‌شود، بستر رودخانه‌های فصلی تا موقتی (اوندها). - خاک‌های کاملاً خشک با زهکشی سریع و فاقد چسبندگی ناشی از رطوبت.	۶
نوع و پراکنش نهشته‌های بادی (۰-۱۰)	- در داخل و محدوده عرصه مورد بررسی آثار نهشته‌های بادی به‌صورت تل‌ماسه و یا تپه‌ماسه‌ای دیده نمی‌شود. - انواع نهشته‌های ماسه بادی فعال، از جمله تپه‌های ماسه‌ای در عرصه و یا در فاصله‌ای کمتر از ۲۰ کیلومتر مشاهده می‌شود.	۲/۴۲
مدیریت و استفاده از زمین (۱۵ تا ۵-)	- تردد وسایل نقلیه، دام و انسان نسبتاً زیاد - اراضی مرتعی مخروب با چرای بیش از ظرفیت با آسفتگی خاک ناشی از تردد زیاد و اراضی زراعی موجود در محدوده فاقد بادشکن	۵/۳۴
مجموع		۵۶/۵

با توجه به جدول ۳، بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش باد در کنار سرعت باد فرساینده است که با نتایج بادی منطقه، اراضی دشتی با شیب و پوشش گیاهی تحقیق احمدی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد.

جدول ۴. عوامل مؤثر در فرسایش بادی به روش اریفر ۲ در منطقه سبزوار

میانگین امتیاز	شاخص‌های عوامل مورد بررسی در سطح منطقه	عوامل مورد بررسی و دامنه امتیاز
۶/۳۴	منشأ رسی و مارنی ریزدانه بافت خاک رسی، رسی لومی	رسوب‌شناسی بافت رسوب یا خاک سطحی و نوع اراضی (۰-۱۰)
۸/۳۴	-دشت‌های پایکوهی، دامنه‌ای و یا تراس‌های آبرفتی با پستی و بلندی بیش از ۲ متر -دشت‌های نسبتاً وسیع و هموار با پستی و بلندی کمتر از ۱ متر	توپوگرافی و موقعیت اراضی (۰-۱۰)
۱۳	سرعت متوسط باد حداقل در یک ماه از سال بیش از ۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری، روزهای شنباد یا روزهای باد با سرعت بیش از ۸ متر بر ثانیه ۶۰-۳۰ روز در سال، آثار خمیدگی بوته‌ها، نهال‌ها و درختان در مزرعه مشهود است.	سرعت و تداوم بادهای شدید یا فرساینده (۰-۲۰)
۱	ناهمواری سطح خاک متوسط، کلوخه‌های موجود در سطح خاک متوسط و میزان ناهمواری ۱۰-۵ سانتی‌متر، نوع کاشت فارو و ردیفی و ارتفاع پشته‌ها حدود ۱۰-۵ سانتی‌متر، زبری دینامیکی ۵-۲ سانتی‌متر	زبری یا میزان ناهمواری سطح خاک (۱۵ تا ۵-)
۴	- سله رسی یا نمکی نسبتاً سخت در سطح خاک وجود دارد، ردپا و یا اثر فشار انگشت در سطح خاک تا حدی محسوس است. - سله رسی یا نمکی ضعیف و پراکنده در سطح خاک یا مزرعه دیده می‌شود، ردپا و اثر فشار انگشت در سطح خاک قابل مشاهده است.	ایجاد سله، مقاومت فشاری و میزان آشفتنگی سطح خاک (۰-۲۰)
۷	خاک سطحی در بیش از نصف فاصله زمانی دو آبیاری خشک و یا مدت زمان آیش فاقد رطوبت کافی جهت چسبندگی ذرات خاک، زه‌کشی خاک زیاد.	رطوبت خاک و شرایط آبیاری (۱۵ تا ۵-)
۴/۶۷	- خاک مزرعه و آب آبیاری شور تا کمی شور ولی غیرقلیا. - خاک مزرعه و آب آبیاری نسبتاً شور و قلیا،	میزان املاح و نوع نمک‌های موجود در خاک و آب آبیاری (۰-۱۰)
۱۰	تراکم پوشش گیاهی و یا کاه و کلش عمودی کمتر از ۲۰-۱۰ درصد و یا دارای ۶-۳ ماه آیش در زمان منطبق با بادهای شدید و فرساینده.	تراکم پوشش گیاهی و کاه کلش به جامانده در سطح خاک مزرعه (۱۵ تا ۵-)
۱۳	مزرعه فاقد الگوهای کاشت گونه‌های پایا و یا علفی و بوته‌ای به‌خصوص در ماه‌های منطبق با بادهای اصلی و یا فاقد هر نوع بادشکن زنده و غیرزنده در اطراف مزرعه.	مدیریت مزرعه: (الگوی کاشت، بادشکن اطراف مزرعه، تناوب زراعی) (۱۵ تا ۵-)
۶۷/۳۴		مجموع

منبع: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)

با توجه به جدول ۴، از بیشترین عوامل مؤثر در سرعت باد فرساینده و مدیریت غلط مزرعه، نبود بادشکن و الگوی کاشت ناصحیح اشاره کرد.

جدول ۵. عوامل مؤثر در فرسایش آبی به روش MPSIAC در منطقه سبزوار

میانگین امتیاز	شاخص‌های عوامل مورد بررسی در سطح منطقه	عوامل مورد بررسی و دامنه امتیاز
۳	لایه‌های بزرگ آبرفتی - کنگلومرا - مارن و شیل ($Y_1 = X_1$)	سنگ‌شناسی (۰-۱۰)
۷	رس‌های با ساختمان محکم، بافت متوسط، بافت قلوه‌سنگی، بافت ریز با پراکندگی، شور و قلیا، سیلت دانه‌ای، شنی، بافت شنی، لومی ($Y_2 = 16.67X_2$)	خاک (۰-۱۰)
۵/۰۷	وجود بارندگی با شدت و مدت متوسط، رگبارهای متناوب ($Y_3 = 0.2X_3$)	آب و هوا (۰-۱۰)
۳/۶۷	مناطق با شیب کم (کمتر از ۵ درصد)، دشت آبرفتی گسترده، حجم متوسط جریان آب در واحد سطح، خاک‌های گروه هیدرولوژیکی C و D	رواناب (۵-۱۵)
۶/۶۷	مناطق با شیب آرام (کمتر از ۵ درصد)، دشت آبرفتی گسترده، فلات‌های با شیب متوسط (کمتر از ۲۰ درصد)، مناطق با شیب تند و ارتفاع زیاد ($Y_5 = 0.33X_5$)	پستی و بلندی (۰-۲۰)
۹/۳۴	پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد، پوشش گیاهی کمتر از ۴۰ درصد با وجود درخت به‌طور پراکنده ($Y_6 = 0.2X_6$)	پوشش گیاهی (۰-۱۰)

استفاده از زمین (۱۰ تا -۱۰)	زمین بایر، کمتر از ۲۵ درصد کشت‌شده، بیش از ۵۰ درصد تحت کشت ($y_7=20-0.2x_7$)	-۱/۳۴
فرسایش (۰-۲۵)	فرسایش کم، وجود انواع مختلف فرسایش در حدود ۲۵ درصد سطح اراضی، وجود فرسایش خندقی - شیاری در بیش از ۵۰ درصد سطح اراضی ($y_8=0.25x_8$)	۱۵
فرسایش رودخانه‌ای (۰-۲۵)	وجود فرسایش کناره‌ای اتفاقی با عمق و تداوم جریان آب به‌طور متوسط ($y_9=1.67x_9$)	۰/۶۷
مجموع		۴۹/۷۴

منبع: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)

رسوب‌دهی فرسایش آبی و بادی با استفاده از رابطه ۱ و ۲ تعیین شد. با توجه به مجموع امتیازهای عوامل نه‌گانه، فرسایش بادی با ۵۰/۵۱ درصد تولید رسوب در اراضی غیرکشاورزی و ۲۰/۶۷ درصد تولید رسوب در اراضی کشاورزی، جمعاً ۷۱/۱۹ درصد در تولید رسوب منطقه نقش داشته است؛ رقمی که در فرسایش آبی به ۲۸/۸۱ درصد تنزل می‌یابد که علت آن را می‌توان در وسعت زیاد مناطق پلایا و دشتی با شیب زیر ۸ درصد و اقلیم خشک منطقه جستجو کرد. نتایج این قسمت با تحقیق اختصاصی (۱۳۷۹) در حوضه آبخیز آبخشاء (استان کرمان) که فرسایش بادی را مهمتر از فرسایش آبی معرفی می‌کند، مطابقت دارد؛ ولی با نتایج تحقیق احمدی و همکاران (۱۳۸۶) که تولید رسوب فرسایش آبی را بیشتر از بادی گزارش کرده بودند، مطابقت ندارد و علت آن در تفاوت واحدهای ژئومورفولوژیک این دو منطقه است. حوضه آبخیز بیجار، کوهستانی؛ ولی منطقه سبزوار، دشتی و بیابانی است.

با توجه به جدول ۵، بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش آبی منطقه، پوشش گیاهی فقیر، شیب زمین و خاک نامناسب است که با نتایج تحقیق احمدی و همکاران (۱۳۸۶) و ایلانلو (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

پس از امتیازدهی به شاخص‌های تعریف شده، با توجه به عوامل نه‌گانه مدل اریفر و MPSIAC در برآورد فرسایش بادی و آبی و از جمع امتیازها (R) و بعد از تهیه نقشه خطر فرسایش آبی و بادی، مشخص شده میزان فرسایش آبی اگرچه در حد فرسایش بادی نیست، اما قابل توجه است. با بررسی به‌عمل آمده و مطابق با جدول ۶ مشخص شد که فرسایش آبی و بادی به تنهایی بیانگر مقدار فرسایش منطقه نیست و هرکدام در کاهش حاصلخیزی اراضی منطقه نقش دارند. براساس جدول ۶، درجه رسوب‌دهی (R) عوامل نه‌گانه مؤثر در فرسایش بادی و آبی با استفاده از جدول‌های مینا در مدل‌های اریفر ۱، اریفر ۲ و MPSIAC در سطح منطقه به‌دست آمد و پتانسیل

جدول ۶. پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی و آبی در منطقه سبزوار

رسوب کل منطقه ($m^3/km^2.yr$)	فرسایش آبی		فرسایش بادی						
			اراضی کشاورزی (اریفر ۲)			اراضی غیرکشاورزی (اریفر ۱)			
	درصد تولید رسوب	مقدار رسوب ($m^3/km^2.yr$)	درجه رسوب‌دهی (R)	درصد تولید رسوب	مقدار رسوب ($m^3/km^2.yr$)	درجه رسوب‌دهی (R)	درصد تولید رسوب	مقدار رسوب ($m^3/km^2.yr$)	درجه رسوب‌دهی (R)
۱۴۴۱۲/۲۳	۲۸/۸۱	۴۱۵۲/۷۶	۵۰	۲۰/۶۷	۲۹۷۹/۳۶	۶۹	۵۰/۵۱	۷۲۸۰/۱۱	۶۵/۵

منبع: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)

۲۷۶/۲۵ و ۵۴/۳۶ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، دارای بیشترین و کمترین فرسایش در منطقه هستند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در مجموع براساس جدول ۷، واحد تپه‌های ماسه‌ای تثبیت‌شده و اراضی مرطوب و شور به‌ترتیب با میزان فرسایش ناخالص

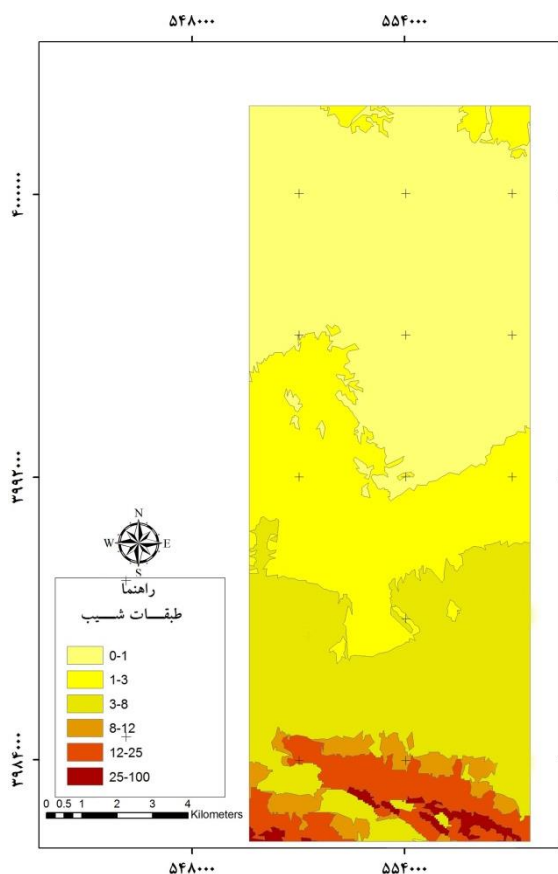
جدول ۷. فرسایش و تولید رسوب در هر واحد کاری منطقه سبزوار

واحد کاری	مساحت (هکتار)	درجه رسوبدهی (R)		تولید رسوب (m ³ /km ² .yr)		فرسایش (m ³ /km ² .yr)	
		آبی	بادی	آبی	بادی	آبی	بادی
اراضی مرطوب و شور	۷۲/۹۵	۲۵	۵۱	۹۳/۷۰	۴۴/۱۲	۱۰/۲۴	۵۴/۳۶
برونزد سنگی	۲۵۹/۱۶	۵۵	۳۴	۲۷۰/۱۴	۲۲/۵۸	۳۵/۳۳	۵۷/۹۱
تپه ماهور مارنی	۱۸۳/۷۷	۵۵	۴۶	۲۷۰/۱۴	۳۹/۱۸	۳۲/۶۵	۷۲/۸۳
تپه ماهور کنگلومرایبی	۹۳۶/۱۸	۶۵	۴۵	۲۹۹/۱۶	۳۸۴/۴۹	۶۰/۳۵	۱۰۷/۳۰
تپه‌های ماسه‌ای تثبیت‌شده	۱۷۱۷/۵۱	۳۵	۷۷	۱۴۸۱/۵	۱۳۳/۳۶	۲۲/۸۱	۲۷۶/۲۵
دشت سیلت و ماسه‌ای	۸۴۰/۱۶	۳۵	۶۳	۷۳۵/۷۴	۱۳۳/۳۶	۲۰/۶۱	۱۳۴/۳۳
رودخانه حاوی رسوبات جدید	۷۹۸/۹۸	۵۰	۶۰	۶۳۳/۲۷	۲۲۶/۴۴	۳۴/۷۵	۱۳۱/۹۳
سیلت و گل تجمع‌یافته در دشت سیلابی	۶۸۵/۹۶	۳۵	۶۳	۷۳۵/۷۴	۱۳۳/۳۶	۲۰/۰۳	۱۳۰/۵۲
دشت ریگی ریزدانه	۲۷۶۸/۹۲	۶۰	۶۱	۶۶۵/۷۳	۳۲۲/۲۸	۵۹/۰۰	۱۸۰/۸۷
فرسایش آبراه‌های با چشم‌انداز هزاردره‌ای	۳۵۹/۷۷	۶۰	۶۰	۶۳۳/۲۷	۳۲۲/۲۸	۴۴/۱۶	۱۳۰/۹۴
دشت ریگی درشت‌دانه	۲۱۵۲/۱۴	۶۰	۵۹	۶۰۲/۳۶	۳۲۲/۲۸	۵۶/۹۲	۱۶۳/۳۳
اراضی مارنی	۵۹۶/۲۸	۷۵	۵۹	۶۰۲/۳۶	۵۴۷/۲۳	۸۰/۵۶	۱۶۹/۲۵
نهبشته‌های آبرفتی با اراضی کشت‌شده	۳۳۰/۶۵	۴۵	۶۹	۹۹۳/۱۲	۱۸۹/۸۰	۲۵/۷۰	۱۶۰/۱۷
دشت سیلت و ماسه‌ای با اراضی کشت‌شده	۴۴۲۳/۶۱	۴۵	۶۹	۹۹۳/۱۲	۱۸۹/۸۰	۳۷/۱۳	۲۳۱/۴۳
دشت سیلابی و شور با اراضی کشت‌شده	۱۸۲/۶۵	۴۶	۶۹	۹۹۳/۱۲	۱۹۶/۶۲	۲۴/۴۷	۱۴۸/۰۸

منبع: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)

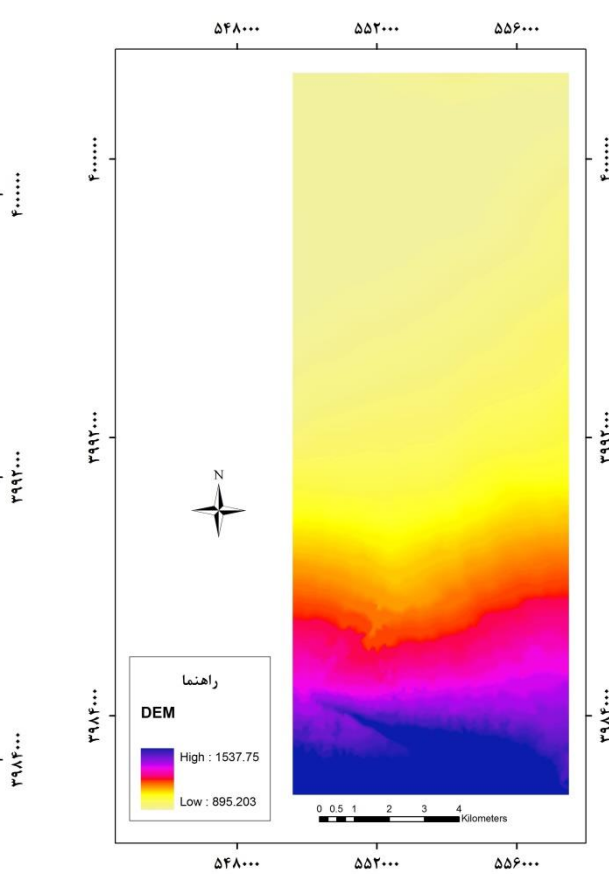
دشت‌سرهای فرسایشی غالب است که با نتایج تحقیق محمودآبادی و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد.

با توجه به شکل‌های ۷ و ۸، فرسایش بادی در واحدهای کاری واقع در واحد ژئومورفولوژی پلایا و دشت سر و فرسایش آبی در واحدهای کوهستان، تپه‌ماهورها و



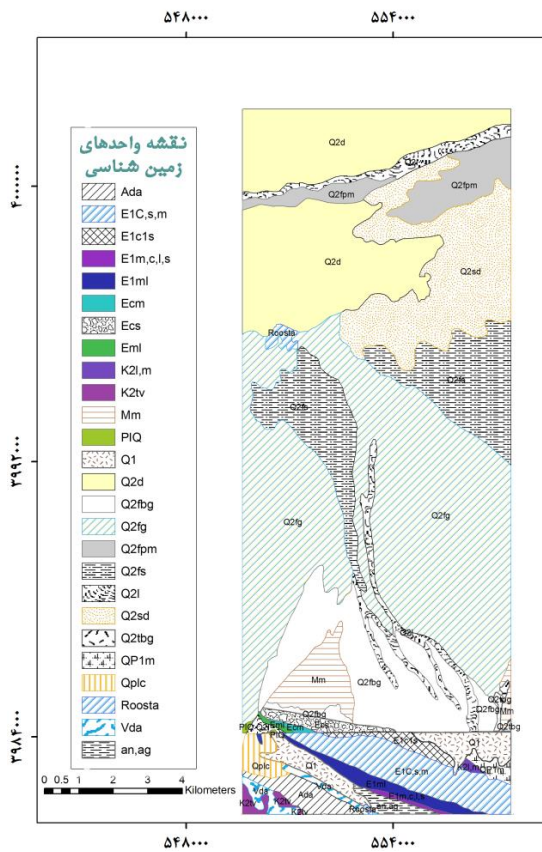
شکل ۳. طبقات شیب منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)



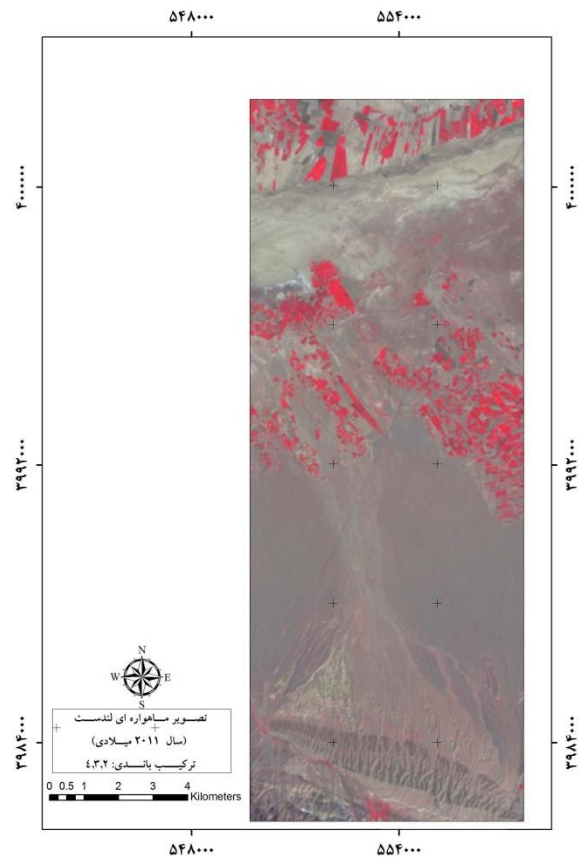
شکل ۲. نقشه مدل رقمی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: (نگارندگان؛ ۱۳۹۵)



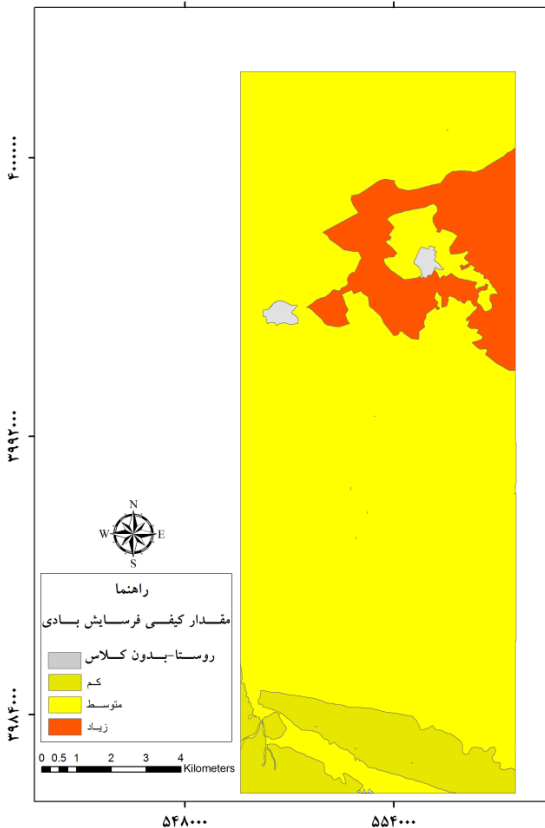
شکل ۵. واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)



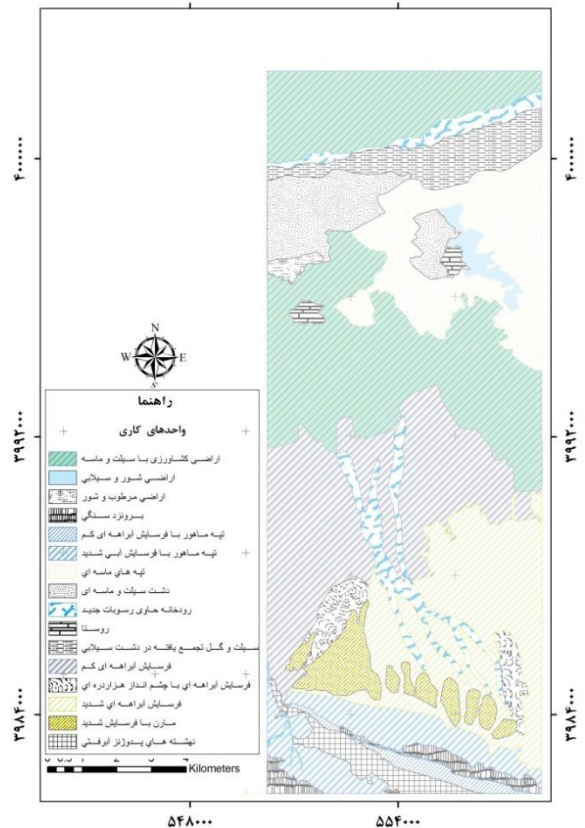
شکل ۴. تصویر کاذب رنگی ماهواره لندست

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)



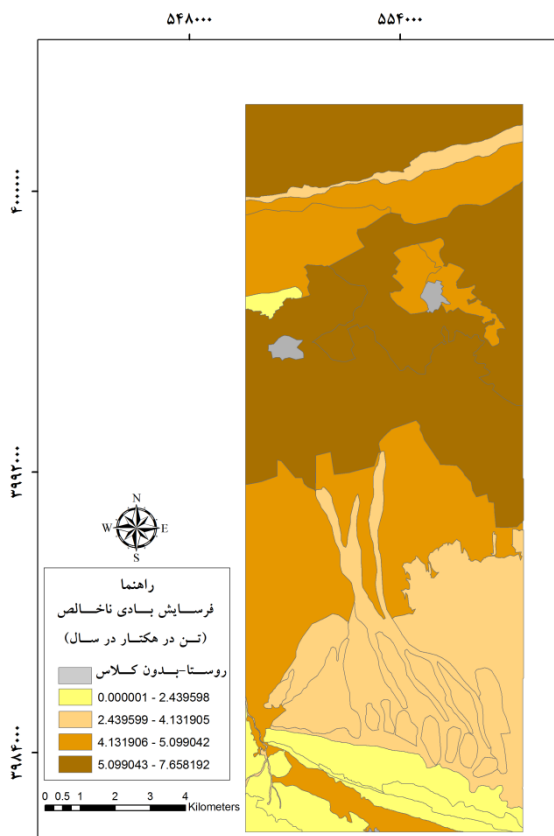
شکل ۷. نقشه خطر فرسایش بادی

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)



شکل ۶. واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه

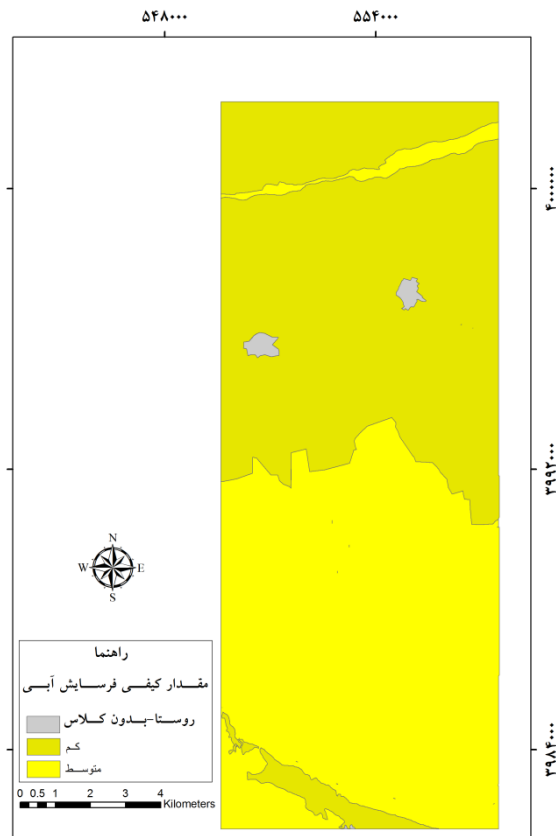
تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)



شکل ۹. نقشه فرسایش ناخالص بادی

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)

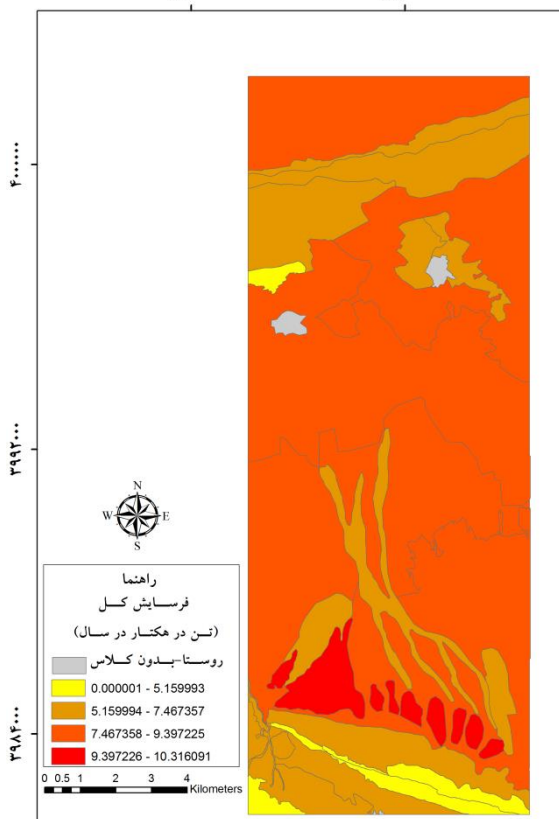
۵۴۸۰۰۰ ۵۵۴۰۰۰



شکل ۸. نقشه خطر فرسایش آبی

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)

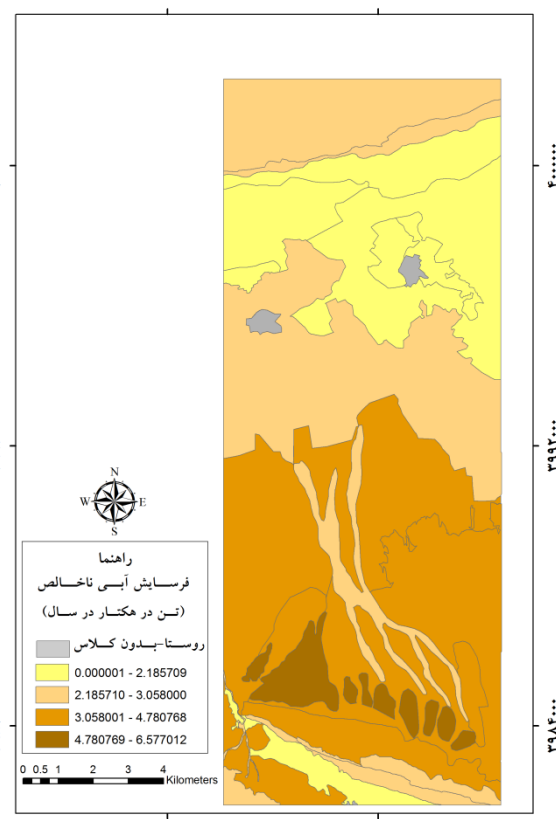
۵۴۸۰۰۰ ۵۵۴۰۰۰



شکل ۱۱. نقشه فرسایش ناخالص کل (آبی و بادی)

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)

۵۴۸۰۰۰ ۵۵۴۰۰۰



شکل ۱۰. نقشه فرسایش ناخالص آبی

تهیه و ترسیم: نگارندگان؛ (۱۳۹۵)

۵۴۸۰۰۰ ۵۵۴۰۰۰

نتیجه‌گیری

تهیه نقشه شیب (شکل ۳) نشان داد که بیش از ۹۰ درصد منطقه، شیبی کمتر از ۲۵ درصد دارد که این عامل در کاهش فرسایش آبی در منطقه نقش داشته است. در مدل MPSIAC، مقدار عامل پوشش گیاهی در مورد تمام واحدها نسبتاً زیاد و نزدیک به یکدیگر است که علت آن را می‌توان پوشش گیاهی ضعیف و تراکم کم در کل منطقه نسبت داد. با توجه به اعداد محاسبه شده و مقایسه آنها با جداول مربوط، این نتیجه به دست می‌آید که کلاس غالب فرسایش در منطقه، هم از نظر فرسایش آبی و هم بادی، کلاس III است؛ بنابراین، به منظور پیشگیری از وقوع فرسایش شدیدتر در منطقه، لازم است در چهارچوب طرح‌های حفاظتی اقداماتی صورت گیرد. با توجه به اینکه سهم تولید رسوب ناشی از فرسایش بادی قابل توجه است، اصلاح روش‌های خاک‌ورزی و مدیریتی در اراضی کشاورزی توصیه می‌شود. در منطقه مورد مطالعه سرعت و تداوم باد فرساینده، خشکی خاک سطحی در شرایط آیش، نبود بادشکن در اطراف مزرعه و شوری خاک و آب مورد استفاده در مزرعه عوامل مؤثر در تولید رسوب این منطقه بودند. کاشت نهال‌ها، درختان و احداث بادشکن در کلیه جوانب یا عمود بر مسیر باد فرساینده، استفاده از ابزارآلات مناسب کشاورزی، شخم صحیح و اعمال روش‌های صحیح مدیریتی پیشنهاد می‌شود. در نهایت، پس از جمع میزان فرسایش ناخالص آبی و بادی با توجه به جدول ۷، بیشترین فرسایش ناخالص (آبی و بادی) متعلق به تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده است (شکل ۱۱)، که حفاظت و اعمال برنامه‌های مدیریتی در جلوگیری از گسترش آن ضروری به نظر می‌رسد. نتایج به دست آمده از میزان تولید رسوب به وسیله فرسایش بادی و آبی، لزوم برآورد هر دو نوع فرسایش در کنار هم در مطالعات منابع طبیعی را توجیه می‌کند.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی. جلد ۲. انتشارات دانشگاه تهران.
- احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ همتی، نعمت‌الله (۱۳۸۶). برآورد و مقایسه پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی و آبی با استفاده از مدل‌های IRIRER.E.A و MPSIAC در مناطق نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نعمت‌آباد بیجار). نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۰، شماره ۱، صص ۱۱-۱.
- احمدی، حسن؛ رفاهی، حسین‌قلی؛ اختصاصی، محمدرضا؛ پهماسبی‌بیرگانی، علی محمد (۱۳۷۸). پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش آبی با استفاده از مدل MPSIAC و روش مستقیم در مناطق بیابانی ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آب بخشاء - بردسیر کرمان). بیابان، جلد ۴، شماره ۱، صص: ۳۹-۲۷.
- اردکانی، ندا؛ مشهدی، ناصر؛ عظیم‌زاده، حمیدرضا؛ نظری‌سامانی، علی‌اکبر؛ کریم‌پور ریحان، مجید (۱۳۹۱). ارزیابی شدت فرسایش بادی منطقه حفاظت‌شده کالمند. اولین همایش ملی بیابان دانشگاه تهران: پردیس منابع طبیعی کرج. ص ۷.
- ایلانو، مریم (۱۳۹۰). برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل پسیاک (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز تویسرکان). مجموعه مقالات دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک: دانشگاه آزاد اسلامی، صص ۴۵۹-۴۵۷.
- پهلوان‌روی، احمد (۱۳۹۱). ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک دشت سیستان، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، صص ۱۴۰-۱۲۷.
- درینی، جواد؛ رفیعی‌ساردوئی، الهام؛ طالب‌دنیا، سمیه؛ فاریابی، نجمه؛ یاری، رضا؛ سفیدی، حمیده (۱۳۹۰). تهیه نقشه شدت فرسایش بادی اراضی به روش IRIFR و نقشه خطوط هم‌سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی: حوضه عنبرآباد استان کرمان). مجموعه مقالات دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک: دانشگاه آزاد اسلامی، صص ۱۲۷۳-۱۲۶۶.
- رفاهی، حسین‌قلی (۱۳۸۵). فرسایش آبی و کنترل آن. تهران: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- سیلاخوری، اسماعیل؛ اونق، مجید (۱۳۹۱). مقایسه اثر مقیاس نقشه در تفکیک واحدهای کاری ژئومورفولوژی برای پهنه-بندی خطر بیابان‌زایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه‌ی حارث آباد سبزوار)، مجله کاربرد

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزووار، سازمان زمین‌شناسی کشور.

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر، سازمان زمین‌شناسی کشور.

Anonymous, (1974). DEZ watershed resource management plan. Iran. D&R development and resources. Newyork. Sacramento. Tehran. 241P.

Johnson, C.W. Gebhardt, K.A. 1982. Predicting sediment yields from saga brush rangeland. Proceedings of the workshop on estimating erosion and sediment yield on rangeland. Tucson.

Ownegh, Majid (2003). Land use planning and integrated management of natural hazard in Golestan province, in: seminar on flood hazard prevention and mitigation, 1-16 January, Gorgan, Iran, Abstract, p9.

Renard, K.G. and Ston, J.J. 1982. Sediment yield from small semiarid rangeland watersheds. USDA-SEA-ARM, Western Series-No.26.

Tangestani, M., (2006). Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 585-597.

سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال سوم، شماره ۴، صص ۱۰۵-۹۱.

عظیم‌زاده، حمیدرضا (۱۳۸۶). بررسی کاربرد مدل‌های سامانه برآورد فرسایش بادی WEPS و IRIFR2 در اراضی آیش دشت یزد- اردکان. پایان‌نامه دکتری تخصصی. دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی.

فتحی‌ملک‌کیان، شاهین؛ افشار، عباس؛ موسوی، سیدجمشید (۱۳۸۵). توسعه مدل تشخیص الگوی فازی به‌منظور ارزیابی پتانسیل فرسایش‌پذیری حوضه‌ها بر مبنای روش PSIAC، آب و فاضلاب، شماره ۵۷، صص ۷۱-۵۹.

محمودآبادی، مجید؛ چرخایی، امیرحسین؛ رفاهی، حسین‌قلی؛ گرجی، منوچهر (۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوزه آبخیز گل‌آباد اصفهان با استفاده از مدل MPSIAC و سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶، شماره ۲، صص ۵۲۰-۵۱۱.

مصباح‌زاده، طیبه؛ احمدی، حسن؛ زهتابیان، غلامرضا؛ سرمدیان، فریدون (۱۳۸۹). ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره‌گیری از مدل IRIFER.E.A (بررسی موردی: ابوزید آباد کاشان). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۳، صص ۴۱۵-۳۹۹.

