

## برآورد پتانسیل فرسایش بادی و رسوبدهی با استفاده از روش IRIFR در منطقه میاندشت

### اسفراین

حمید علی پور<sup>۱</sup>، استادیار ژئومرفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد

سیده نگار هاشمی نسب، دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان زدایی دانشگاه صنعتی اصفهان

امیرحسین هاتفی اردکانی، کارشناسی ارشد بیابان زدایی دانشگاه سمنان

اعظم غلام نیا، کارشناسی ارشد مدیریت مناطق خشک دانشگاه یزد

یاسر شهناز، کارشناسی ارشد بیابان زدایی دانشگاه سمنان

پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۳/۱۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۰۱

#### چکیده

فرسایش بادی در مناطقی با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی متر اهمیت ویژه ای دارد. فرسایش بادی به عنوان یکی از عوامل مهم بیابان زایی، همواره مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق بعد از جمع آوری اطلاعات و مطالعات پایه در منطقه و تهیه نقشه‌های لازم از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومرفولوژی، قابلیت اراضی، پوشش گیاهی و آگاهی از مطالعات هواشناسی و جهت بادهای غالب در منطقه به بازدید صحرایی پرداخته و فرم‌های بیابانی و پرسشنامه مردمی در منطقه تکمیل شد و سپس واحدهای کاری به روش احمدی - اختصاصی تهیه، سپس مقدار فرسایش بادی براساس مدل تجربی اریفردرهریک از واحدهای کاری تعیین شد. همچنین نقشه حساسیت اراضی به فرسایش بادی با استفاده از اریفر تهیه شد و پتانسیل رسوبدهی نیز با استفاده از رابطه بین درجه رسوبدهی و تولیدرسوب به دست آمد. نتایج نشان داد کلاس فرسایشی I (فرسایش خیلی کم) با مساحتی در حدود ۱۱۲۸۷/۲۱ هکتار بیشترین مساحت و کلاس فرسایشی IV (فرسایش زیاد) با مساحت ۶۶۸۲/۴۵ هکتار در رتبه دوم از نظر مساحت می باشد. در بین رخساره های ژئومرفولوژی رخساره های مسیل (۵-۳-۲) و اراضی زراعی (۲-۳-۲) دارای بیشترین مقادیر رسوبدهی می باشند. وجود توپوگرافی مسطح و اراضی با شیب کم در بخشهای شرقی و شمالی حوزه که مستقیماً تحت تاثیر بادهای غالب منطقه می باشند، باعث شده تا باد از قدرت تخریبی بالاتری برخوردار باشد. یکی از راهکارهای مناسب به منظور مقابله با فرسایش بادی در حوزه میاندشت احداث بادشکن در اطراف مزارع داخل و خارج منطقه با توجه به گسترش اراضی کشاورزی در اطراف منطقه مورد مطالعه و در مسیر بادهای غالب محدوده در بخشهای شرق، شمال شرق می باشد.

واژگان کلیدی: اریفر؛ رسوب؛ رخساره‌های ژئومرفولوژی؛ فرسایش بادی؛ میاندشت اسفراین

## مقدمه

فرسایش بادی در مناطقی با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی متر اهمیت ویژه ای دارد. هرچند که فرسایش بادی به دلیل گستره وسیع فعالیت خود به طور معمول عملکرد تخریبی خفیف تری نسبت به فرسایش آبی دارد ولی به علت مداوم و گستره فرسایش بادی در زمان و مکان، بیلان جابجایی توسط این نوع فرسایش در مناطق خشک به مراتب بیشتر از فرسایش آبی می باشد. در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است. ولی گاهی ابعاد و عظمت آن بیش از فرسایش آبی می باشد (بهلولی، ۲۰۰۶). در برآورد میزان و شدت فرسایش بادی به صورت مستقیم در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران ایستگاهی برای اندازه گیری رسوبات فرسایش بادی وجود ندارد از این رو اغلب روش های برآورد رسوب متکی به مدل های تجربی است که در بسیاری از موارد خطای اندازه گیری دارد (رفاهی، ۱۳۸۵). از طرفی مدل های تجربی موجود نیز اغلب در مناطق ویژه ای ارزیابی می شوند و کاربرد این مدل ها در دیگر مناطق با دقت باید انجام شود یا اصلاح و بازنگری شود (اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۶). به عنوان مثال با بررسی هایی که در منطقه حوزه آبخیز بیجار به عمل آمد نشان داده شد که در مدل تجربی اریفر میزان فرسایش بادی از راه تطبیق و بررسی شاخص های تعریف شده در مدل و دامنه ی امتیازهای هریک از شاخص ها با وضعیت موجود در واحدهای کاری حوزه ارزیابی شد. بر پایه ی تحقیق صورت گرفته معیارهای مرتبط با این مدل باید بازنگری شوند تا تناسب بیشتری با شرایط همسان حوزه داشته باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶). در غالب فرمول های تجربی حساسیت پذیری خاک نقش مهمی را ایفا می کند و از آنجا که عوامل گوناگونی مانند دانه بندی بافت خاک، چسبندگی ذرات، وزن مخصوص، جورشدگی، رطوبت و غیره در پایداری و یا حساسیت پذیری آن نقش موثری دارد. برآورد دقیق و کمی این عامل به صورت تجربی را غیر ممکن می سازد (مصباح زاده و همکاران، ۱۳۸۹). روش های کمی برآورد فرسایش بادی که شامل مراحل برداشت، حمل و رسوب گذاری می باشد، مدل سازی نامیده می شود (اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۵). از عمده ترین معادلات و روش های ارایه شده در فرسایش بادی می توان به معادله فرسایش بادی (WEQ)، سیستم پیش بینی فرسایش بادی (WEPS) و معادله فرسایش بادی تجدیدنظر شده (RWEQ) اشاره نمود (سعدالدین و همکاران، ۱۳۸۹). فرسایش بادی به عنوان یکی از عوامل مهم بیابانزایی، همواره مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون محققان مدل های تجربی متنوعی را درخصوص برآورد شدت فرسایش و پتانسیل رسوبدهی در فرسایش آبی ارائه کرده اند تا در مناطقی که از نظر اطلاعات و آمار با کمبود مواجه مورد استفاده قرار گیرد (طهماسبی بیرگانی و همکاران، ۱۳۷۹).

طبق نظریه گلنتس واژه بیابانزایی در حدود یکصد تعریف دارند (گلانتس، ۱۹۷۷). نقطه مشترک در همه ی این تعریف ها تخریب شدید محیط بر اثر فرآیند بیابانزایی است. برخی از این تعریف ها عبارتند از تخریب اکوسیستم (رینینگ، ۱۹۷۸)، تخریب گونه های گیاهی (لی، ۱۹۷۵)، کاهش تولید اکوسیستم (هار، ۱۹۷۷)، و کاهش تولید بیولوژیک (کودا، ۱۹۸۴) ۶ میلیون هکتار از مناطق خشک و نیمه خشک را تپه های ماسه ای فعال تشکیل می دهند (رفاهی، ۱۳۸۵). در حوزه های آبخیز خشک و نیمه خشک شرق کشور علاوه بر فرسایش آبی، وجود بادهای فرساینده منطقه را مساعد فرسایش بادی ساخته و در بعضی از نقاط مقدار خسارت نیز قابل توجه است در نتیجه تعیین پتانسیل رسوب دهی ناشی از باد نیز اهمیت شایان توجهی دارد (پهلوانروی، ۱۳۹۱). با برآورد و مقایسه پتانسیل رسوب دهی فرسایش بادی و آبی با استفاده از مدل های IRIFR E.A و MPSIAC در منطقه نیمه خشک حوزه آبخیز نعمت آباد بیجار به این نتیجه رسیدند که مدل اریفر از لحاظ کمی و کیفی دقت مناسبی دارد و به لحاظ کمی فرسایش بادی ۲۲/۶ درصد و فرسایش آبی ۷۷/۴ درصد در کاهش حاصلخیزی اراضی موثر است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶). محققان با مقایسه روش های طبقه بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی مناطق خشک با استفاده از داده های ماهواره ای به این نتیجه رسیدند که روش هیبرید با دقت کلی ۷۶/۴۲ درصد و ضریب کاپای ۷۲ درصد بالاترین میزان دقت را دارد (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۶). کارشناسان با اندازه گیری و تهیه نقشه جریان ماسه بادی به روش نصب تله

رسوبگیر در دشت یزد و اردکان به این نتیجه رسیدند که دبی جریان ماسه بادی در بخشی از محدوده ی تپه های ماسه ای از ۱۷۵۰ کیلوگرم در واحد عرض یک متر در سال فراتر می رود ( اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۵). محققان با بررسی تغییرات مکانی فرسایش پذیری خاک با استفاده از روش زمین آمار و GIS در حوزه آبخیز مهر سبزواری به این نتیجه رسیدند که حداقل و حداکثر میزان فرسایش پذیری خاک به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۹۱ است (ایوبی و حسینعلی زاده، ۱۳۸۶). محققان با بررسی سرعت آستانه فرسایش بادی به عنوان یک عامل کلیدی فرسایش خاک با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی در آرژانتین به این نتیجه رسیدند که بیشترین سرعت آستانه فرسایش بادی مصادف با بیشترین رطوبت هوا و کمترین مصادف با کمترین میزان رطوبت هوا بوده است (لارا و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به اهمیت ویژه آب و همچنین شرایط بارندگی، دما، باد و خشکی که منطقه را مستعد فرسایش بادی نموده است ضروری است که به این موضوع در منطقه پرداخته شود و هدف از این تحقیق برآورد پتانسیل فرسایش بادی و رسوبدهی با استفاده از روش IRIFR در منطقه میاندشت اسفراین می باشد.

### داده ها و روش کار

منطقه میاندشت اسفراین به مساحت ۲۴۲۳۱/۳۶ هکتار که بصورت یک عرصه مطالعاتی از اراضی منابع طبیعی می باشد، دارای طول جغرافیایی "۱۶°۲۹'۵۶" تا "۵۱°۵۴'۵۶" و عرض جغرافیایی "۰۰°۵۲'۳۶" تا "۴۹°۵۸'۳۶" که از سمت شمال به کال شور و کوه آنجرلی، از شرق به روستای قاسم خان، از جنوب به ارتفاعات جوین و روستای راه چمن، از غرب جاده خاکی غمیطه به کلاته سلیمان، از شمال غربی به روستای سرخ چشمه و از شمال شرقی به روستای گمه اسحاق متصل می گردد. کمترین ارتفاع منطقه ۹۸۹ متر و بیشترین ارتفاع آن ۱۲۰۳ متر بوده و اختلاف ارتفاع در کل حوزه ۲۱۴ متر می باشد متوسط بارندگی سالانه منطقه میاندشت اسفراین ۲۰۰ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالیانه محدوده ۱۳/۵ درجه سانتیگراد می باشد. اقلیم منطقه به روش دومارتن خشک می باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

بعد از جمع آوری اطلاعات و مطالعات پایه در منطقه و تهیه نقشه های لازم از قبیل توپوگرافی، زمین شناسی، ژئومورفولوژی، قابلیت اراضی، پوشش گیاهی و آگاهی از مطالعات هواشناسی و جهت بادهای غالب در منطقه به بازدید صحرایی پرداخته و فرم های بیابانی و پرسشنامه مردمی در منطقه تکمیل می شود. بعد از انجام مطالعات ژئومورفولوژی و تهیه نقشه ژئومورفولوژی، می توان برای تعیین کلاس فرسایش و برآورد رسوب دهی رخساره ها شروع به کار کرد. در منطقه میاندشت اسفراین پس از

امتیازدهی به عوامل مؤثر در فرسایش بادی در هر یک از رخساره های ژئومرفولوژی (فرسایشی) و جمع امتیازات داده شده میزان تولید رسوب سالانه و نقشه شدت فرسایش منطقه در محیط ArcGIS تهیه گردید. بدلیل اینکه که بخش های وسیعی از مناطق خشک و نیمه خشک کشور تحت تأثیر فرسایش بادی است و بعلت منطبق نبودن مدل های ارائه شده توسط سایر کشورها با شرایط اقلیمی وادافیکی کشورمان، در سال ۱۳۷۴ مدل تجربی IRIFR توسط موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع ایران تدوین و ارائه گردید. این روش برای مناطق فاقدآمار رسوب سنجی بادی کاربرد دارد. در روش IRIFR نقش و تأثیر نه عامل مهم و مؤثر در فرسایش بادی و میزان رسوبدهی ناشی از آن مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار گرفته و بسته به شدت و ضعف هر عامل و تأثیر آن در رسوبزایی، امتیازی به آن نسبت داده می شود. مجموع اعداد به دست آمده برای فاکتورهای مختلف نشان دهنده شدت فرسایش بادی خواهد بود. از روی مجموع اعداد فوق میزان رسوبدهی در رخساره های ژئومرفولوژی منطقه برآورد شده و نقشه شدت فرسایش بادی تهیه خواهد شد. در جدول شماره ۱ نه عامل مؤثر در شدت فرسایش بادی و رسوبدهی ناشی از آن همراه با دامنه امتیازات آنها ارائه شده است.

جدول ۱. عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب با امتیازات مربوطه در مدل IRIFR

| ردیف | عامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب | دامنه امتیاز |
|------|--------------------------------------|--------------|
| ۱    | سنگ شناسی                            | ۰-۱۰         |
| ۲    | شکل اراضی و پستی و بلندی             | ۰-۱۰         |
| ۳    | سرعت و وضعیت باد                     | ۰-۲۰         |
| ۴    | خاک و پوشش سطح آن                    | ۰-۱۵         |
| ۵    | انبوهی پوشش گیاهی                    | ۰-۱۵         |
| ۶    | آثار فرسایشی سطح خاک                 | ۰-۲۰         |
| ۷    | رطوبت خاک                            | ۰-۱۰         |
| ۸    | نوع و پراکنش نهشته های بادی          | ۰-۱۰         |
| ۹    | مدیریت و استفاده از زمین             | ۰-۱۵         |

شدت فرسایش خاک و میزان رسوبدهی که از امتیازات عوامل نه گانه مؤثر در فرسایش بادی حاصل می شوند در پنج کلاس طبقه بندی گردیده است. جدول شماره ۲ کلاس های فرسایش، امتیازات اختصاص یافته و میزان رسوب تولیدی هر کلاس را نشان می دهد.

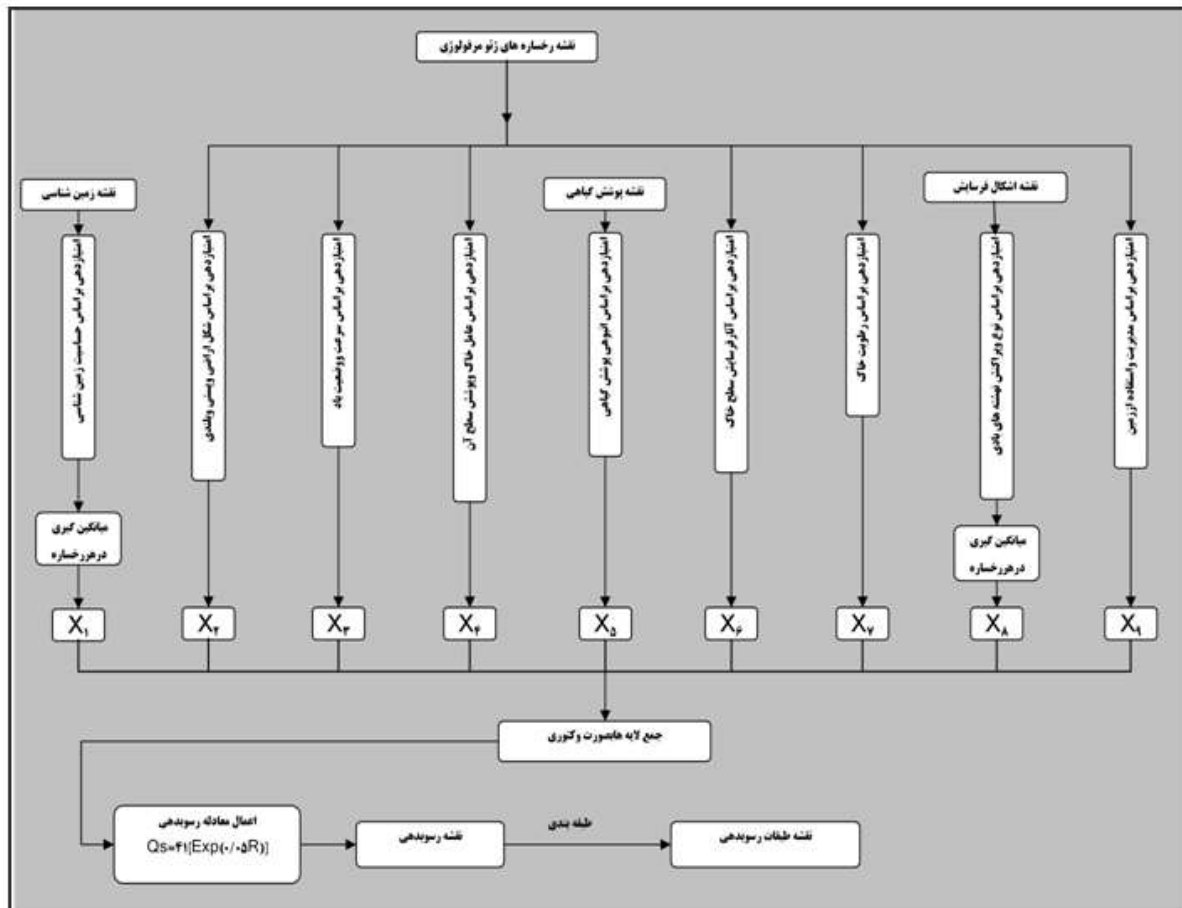
جدول ۲. تعیین میزان تولید رسوب سالیانه و کلاس فرسایش خاک در مدل IRIFR

| شدت و کلاس فرسایش | تولید رسوب سالیانه (ton/km <sup>2</sup> /yr) | امتیاز نشان دهنده شدت فرسایش |
|-------------------|--|------------------------------|
| خیلی کم           | <۲۵۰   | <۲۵                          |
| کم                | ۲۵۰-۵۰۰                                      | ۲۵-۵۰                        |
| متوسط             | ۵۰۰-۱۵۰۰                                     | ۵۰-۷۵                        |
| زیاد              | ۱۵۰۰-۶۰۰۰                                    | ۷۵-۱۰۰                       |
| خیلی زیاد         | >۶۰۰۰  | > ۱۰۰                        |

در منطقه میاندشت اسفراین پس از امتیازدهی به عوامل مؤثر در فرسایش بادی در هر یک از رخساره های ژئومرفولوژی (فرسایشی) و جمع امتیازات داده شده میزان تولید رسوب سالانه و نقشه شدت فرسایش منطقه در محیط ArcGIS تهیه گردید. در روش IRIFR که برای مناطق خشک و نیمه خشک ایران ارائه شده است، نقش نه عامل مؤثر در

فرسایش بادی در منطقه میاندشت مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. به منظور کاربرد روش مذکور در منطقه میاندشت اسفراین به ترتیب زیر عمل شد.

- ۱- امتیاز دهی نقشه زمین شناسی منطقه و سپس اینترسکت نقشه مذکور با نقشه رخساره های ژئومورفولوژی محدوده و در نهایت میانگین گیری از امتیاز مربوطه در هر رخساره برای تعیین عامل  $X_1$ .
- ۲- امتیاز دهی نقشه تیپهای گیاهی منطقه و سپس اینترسکت نقشه مذکور با نقشه رخساره های ژئومورفولوژی محدوده و در نهایت میانگین گیری از امتیاز مربوطه در هر رخساره برای تعیین عامل  $X_5$ .
- ۳- امتیاز دهی نقشه رخساره های فرسایشی منطقه و سپس اینترسکت نقشه مذکور با نقشه رخساره های ژئومورفولوژی محدوده و در نهایت میانگین گیری از امتیاز مربوطه در هر رخساره برای تعیین عامل  $X_6$ .
- ۴- امتیاز دهی نقشه رخساره های ژئومورفولوژی بر اساس اطلاعات بدست آمده از فرمهای امتیازدهی (شکل ۲) در طی بازدید میدانی و نقاط مختصاتی برداشت شده به منظور تعیین سایر عوامل مورد استفاده در روش اریفر.
- ۵- جمع امتیازات بدست آمده و تعیین درجه رسوبدهی در هر یک از رخساره های ژئومورفولوژی منطقه.



شکل ۲. نمودار جریانی مورداستفاده در تهیه نقشه رسوبدهی به روش اریفر

در جدول شماره ۳ نمونه‌ای از فرم ارزیابی عوامل مؤثر در فرسایش بادی به روش IRIFR ارائه شده است.



## سرعت و وضعیت باد

با توجه به اهمیت سرعت و وضعیت باد در روش IRIFR امتیازی بین صفر تا ۲۰ به آن اختصاص یافته است. به طوری که جدول فوق نشان می‌دهد با افزایش سرعت باد و گرد و غبار در طول سال، امتیاز اخذ شده در این عامل نیز افزایش می‌یابد. وجود گرد و غبار که نمود عینی فرسایش بادی در هر منطقه می‌باشد در این زمینه از اهمیت شایان توجهی برخوردار است.

## جدول ۶. تعیین امتیاز عامل سرعت و وضعیت باد در روش IRIFR

| شدت فرسایش و دامنه امتیاز  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| کم (۰-۵)   | متوسط (۵-۱۰)   | زیاد (۱۰-۱۵)  | خیلی زیاد (۱۵-۲۰)   |
| - سرعت متوسط باد در کلیه ماههای سال کمتر از ۴/۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متر می‌باشد. | - سرعت متوسط باد در کلیه ماههای سال بین ۴/۵-۵ متر بر ثانیه | - سرعت متوسط لاقط در یک ماه از سال بیش از ۵ متر بر ثانیه. | - سرعت متوسط باد لاقط در یک ماه از سال بیش از ۵/۵ متر بر ثانیه است. |
| - بادهای شدید فاقد گرد و خاک و غبار محلی   | - بادهای شدید معمولاً فاقد گرد و خاک در سال                | - وقوع حداقل یک طوفان گرد و خاک در سال                    | - بادهای تند همواره بصورت طوفان و گرد و خاک و غبارزا است.           |

## خاک و پوشش سطح آن

نقش افزایشی عامل خاک و پوشش سطح آن نیز در شدت فرسایش و میزان رسوبدهی در خور توجه است. در صورتی که ذرات فاقد بافت و چسبندگی لازم بوده و سطح آنها لخت و بدون پوشش باشد به سادگی توسط نیروی باد جابجا می‌شوند. به همین دلیل امتیاز این عامل در روش IRIFR تا ۱۵ می‌باشد. به طوری که در جدول فوق مشاهده می‌شود پوشش سنگفرشی زمین (Reg) نقش بسیار مهمی در جلوگیری از فرسایش بادی و جابجایی ذرات خاک ایفا می‌نماید.

## جدول ۷. تعیین امتیاز عامل خاک و پوشش سطح آن در روش IRIFR

| شدت فرسایش و دامنه امتیاز   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| کم (۰-۵)  | متوسط (۵-۱۰)  | زیاد (۱۰-۱۵)   | خیلی زیاد (۱۵-۲۰)  |
| - سطح خاک پوشیده از سنگریزه درشت (رگ درشت) با تراکم بیش از ۸۰ درصد. | - سطح خاک با پوشش سنگفرش متوسط تا ریز (رگ متوسط) با تراکم محدود با تراکم کمتر از ۴۰ درصد. | - سطح خاک فاقد سنگریزه. بافت خاک لومی تا شنی با ساختمان دانه ای و فاقد چسبندگی. خاک سیلتی. | - سطح خاک کاملاً رسی و یا سیمانی شده بوسیله نمکها (سطوح کویری سخت) |
| - خاکهای با پوشش سنگی و یا تخته سنگی مناطق کوهستانی                 | - سطح خاک نسبتاً سخت شده بوسیله سیمان رس و یا نمک. خاکهای غیر حساس مناطق کوهستانی         | - بافت خاک شنی رسی با چسبندگی متوسط تا کم  |  |

## انبوهی پوشش گیاهی

در صورتی که تراکم خوب با توزیع یکنواخت همراه باشد بهترین حالت برای جلوگیری از فرسایش بادی و حفاظت از خاک است. به دلیل اهمیت پوشش گیاهی و نقش کاهشی و افزایشی آن در فرسایش بادی و میزان رسوبدهی از آن در روش IRIFR گستره امتیاز این عامل بین ۵ تا ۱۵ متغیر است.

## جدول ۸. تعیین امتیاز عامل انبوهی پوشش گیاهی در روش IRIFR

| شدت فرسایش و دامنه امتیاز  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| کم (۰-۵)   | متوسط (۵-۱۰)  | زیاد (۱۰-۱۵)  | خیلی زیاد (۱۵-۲۰)  |
| - انبوهی تاج پوشش گیاهی موثر سطح خاک بیش از ۴۰ درصد و با توزیع مناسب و یکنواخت | - انبوهی تاج پوشش گیاهی موثر سطح خاک ۲۶-۴۰ درصد با توزیع یکنواخت تا غیر یکنواخت | - انبوهی تاج پوشش گیاهی موثر ۶-۲۵ درصد با توزیع یکنواخت و یا نواری عمود بر باد اصلی | - انبوهی تاج پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد با توزیع یکنواخت تا غیر یکنواخت |

## آثار فرسایش سطح خاک

در صورتی که آثار فرسایش بادی قابل رویت باشد نشان از وضعیت نامناسب زمین از نظر شدت فرسایش است. البته درجه یا شدت عمل باد نیز از اهمیت شایان توجهی برخوردار می‌باشد. به دلیل اهمیت بالای این عامل در روش IRIFR امتیاز اختصاص یافته به آن بین ۵- تا ۲۰ متغیر است.

## جدول ۹. تعیین امتیاز عامل آثار فرسایش سطح خاک در روش IRIFR

| شدت فرسایش و دامنه امتیاز                           |  |   |  |
|---|--|---|--|
| کم (۰-۵)  | متوسط (۵-۱۰)   | زیاد (۱۰-۱۵)  | خیلی زیاد (۱۵-۲۰)  |
| - در سطح خاک هیچگونه آثار فرسایش بادی دیده نمی‌شود. | - آثار فرسایش بادی محدود و بعضاً پوسته‌های شلجمی شکل و یا نیکا در پای بوته‌ها دیده می‌شود. | - آثار فرسایش بادی نسبتاً گسترده و شامل پوسته‌های شلجمی شکل، بیرون زدگی ریشه و طوقه گیاه. | - ظواهر فرسایش ناشی از باد، شدید و کاملاً مشخص و شامل بیرون زدگی ریشه و طوقه گیاهان و تپه‌های ماسه ای فعال و نیمه فعال در منطقه وجود دارد. |
| - تجمع ماسه‌های بادی کم                             | - تراکم ماسه در پای بوته‌ها  |   |  |
| - ضخامت در پای بوته‌ها بصورت پراکنده.               |  |   |  |
| - آثار حمل ماسه بسیار جزئی است                      |  |   |  |

## رطوبت خاک

در صورتی که بادهای فرساینده در فصول خشک شروع به وزیدن نمایند قدرت تخریبی آنها بسیار زیادتر از بادهایی است که تاریخ وقوع آنها در فصول مرطوب است، هر چند که سرعت و تداوم وزش آنها کمتر باشد.

## جدول ۱۰. تعیین امتیاز عامل رطوبت خاک در روش IRIFR

| شدت فرسایش و دامنه امتیاز                                |   |  |   |
|--|---|--|---|
| کم (۰-۲)   | متوسط (۲-۴)   | زیاد (۴-۷)   | خیلی زیاد (۷-۱۰)  |
| - خاک همیشه مرطوب و تحت تاثیر کامل سفره آب زیرزمینی است. | - خاک سطحی در پاره‌ای از اوقات سال تحت تاثیر رطوبت حاشیه کویرها، رودخانه‌های دائمی و یا ساحل دریا قرار می‌گیرد. | - خاک سطحی بطور موقتی تحت تاثیر رطوبت قرار گرفته و بدلیل بافت سبک سریع خشک می‌شود. | - خاکهای کاملاً خشک بازه‌کشی سریع و فاقد چسبندگی ناشی از رطوبت. |
| - کویر مرطوب و چسبناک                                    |   | - بستر رودخانه‌های فصلی و موقتی  |   |
| - منطقه مرطوب  |   |  |   |

## نوع و پراکنش نهشته‌های بادی

نوع نهشته‌های بادی و پراکنندگی آنها در هر منطقه تا حدی می‌تواند نشان دهنده شدت فرسایش بادی و جابجایی ذرات ماسه توسط باد باشد. به همین علت یکی از عوامل مؤثر در شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوبدهی ناشی از آن در روش IRIFR به نوع و پراکنش نهشته‌های بادی اختصاص یافته است.

## جدول ۱۱. تعیین امتیاز عامل نوع و پراکنش نهشته‌های بادی در روش IRIFR

| شدت فرسایش و دامنه امتیاز   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| کم (۰-۲)  | متوسط (۲-۴)   | زیاد (۴-۷)  | خیلی زیاد (۷-۱۰)   |
| - در منطقه آثار نهشته‌های ماسه بادی بصورت پهنه و یا تپه‌های ماسه‌ای دیده نمی‌شود. | - نهشته‌های ماسه‌ای بادی بصورت تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال در محدوده دیده می‌شود. | - نهشته‌های ماسه‌ای بادی اعم از تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال و یا ریبیل مارکهای مشخص در محدوده مورد بررسی دیده می‌شود. | - از انواع نهشته‌های ماسه‌ای بادی اعم از تپه ماسه‌ای، ماسه درپای بوته‌ها و ریبیل مارک (زیبار) در محدوده دیده می‌شود. |



## مدیریت و استفاده از زمین

چگونگی استفاده و بهره‌برداری از اراضی در شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوبدهی آن مؤثر می‌باشد. در روش IRIFR بیش از هر عاملی به بهره‌برداری از اراضی مرتعی، جنگلی و اراضی کشاورزی توجه شده است.

جدول ۱۲. تعیین امتیاز عامل مدیریت و استفاده از زمین در روش IRIFR

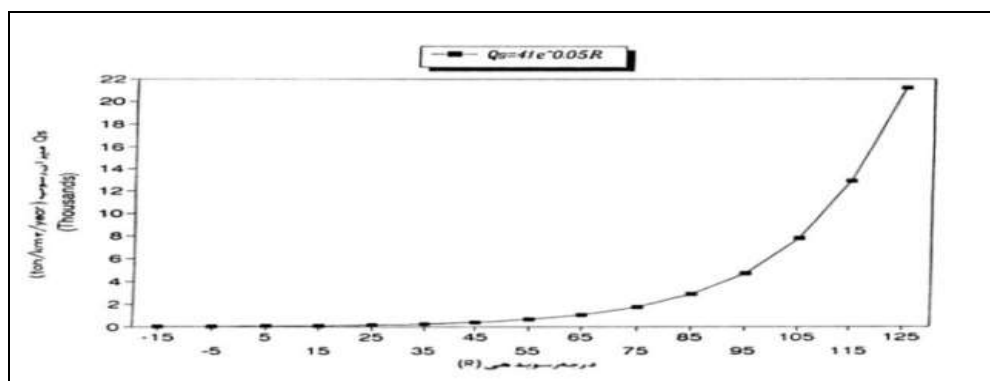
| شدت فرسایش و دامنه امتیاز  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| کم (۰-۵)   | متوسط (۵-۱۰)   | زیاد (۱۰-۵۰)   | خیلی زیاد (۱۵-۱۰۰)  |
| - اراضی مرتعی یا جنگلی متراکم<br>با مدیریت مناسب بهره‌برداری<br>- اراضی کشاورزی بدون آیش و<br>یا باغات با رعایت بادشکن | - اراضی مرتعی یا جنگلی تنک با<br>بهره‌برداری بیش از ظرفیت<br>- اراضی کشاورزی با کمتر از سه<br>ماه آیش و یا باغ بدون رعایت باد<br>شکن | - اراضی جنگلی یا مرتعی مخروطه<br>با چرای بیش از ظرفیت مجاز دام<br>- اراضی کشاورزی بیش از سه ماه<br>آیش و فاقد بادشکن | - اراضی لخت و بیابانی بدون پوشش و<br>یا با پوشش محدود<br>- اراضی زراعی متروکه و شخم خورده |

## برآورد میزان رسوبدهی در مدل IRIFR

به منظور تعیین پتانسیل رسوبدهی در هر یک از رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه می‌توان از جدول شماره ۲ استفاده نمود. برای دقت بیشتر همچنین می‌توان از رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب استفاده بعمل آورد. رابطه اخیر در روش IRIFR بصورت زیر می‌باشد:

$$Q_s = 41 * [Exp(0.005 R)]$$

$Q_s$ : میزان رسوبدهی سالانه بر حسب تن در کیلو متر مربع در سال  $R$ : درجه رسوبدهی (مجموع امتیازات نه عامل مؤثر در فرسایش خاک بروش IRIFR). برای برآورد میزان رسوبدهی ناشی از فرسایش بادی با استفاده از درجه رسوبدهی می‌توان از شکل شماره ۳ که از معادله فوق حاصل شده است در روش IRIFR استفاده بعمل آورد.



شکل ۳. رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان رسوب در مدل IRIFR

## شرح و تفسیر نتایج

درحوزه میاندشت اسفراین بعد از مشخص شدن امتیاز هر یک از عوامل مدل اریفر در رخساره‌های ژئومورفولوژی با استفاده از جدول ۱۳ از جمع این امتیازات درجه رسوبدهی بدست آمد و سپس با استفاده از رابطه ارائه شده زیر میزان رسوبدهی در رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه محاسبه گردید که نتایج به شرح جداول (۱۴) تا (۱۶) می‌باشد. همچنین نقشه طبقات فرسایشی منطقه بر اساس درجه رسوبدهی و اطلاعات جدول ۱ تهیه گردید (شکل ۴).

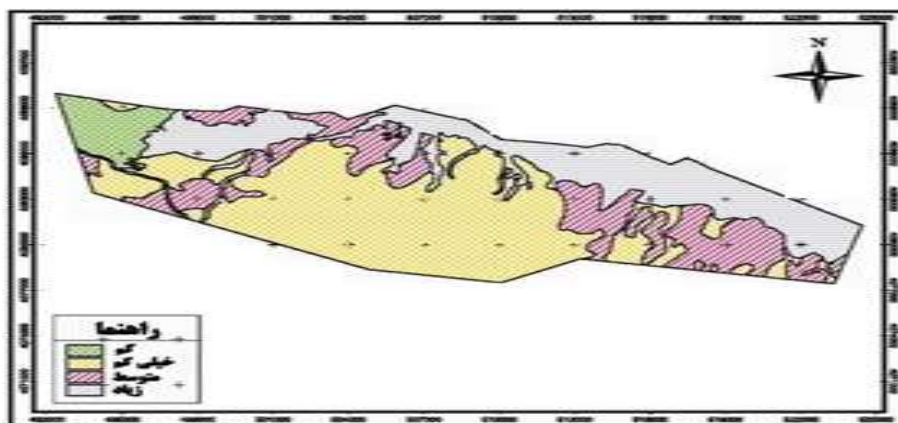
$$Q_s = 41 * [Exp(0.005 R)]$$

جدول ۱۳. امتیازات عوامل نه گانه روش اریفر و کلاس فرسایش در رخساره های ژئومورفولوژی حوزه

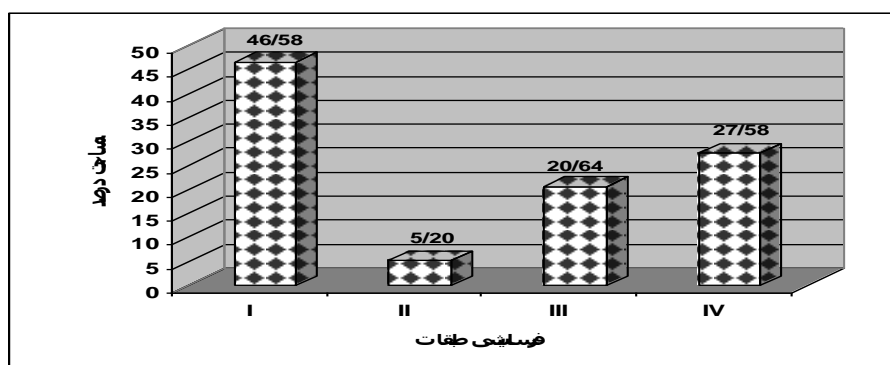
| نام رخساره          | کد رخساره | سنگ شناسی | شکل اراضی و پستی و بلندی | سرعت و وضعیت باد | خاک و پوشش سطح آن | انبوهی پوشش گیاهی | آثار فرسایش سطح خاک | رطوبت خاک | نوع و پراکنش نهشته های بادی | مدیریت استفاده از زمین | جمع امتیازات | کلاس فرسایش |
|---------------------|-----------|-----------|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|--------------|-------------|
| فرسایش آبی          | ۲-۱-۱     | ۴/۴۷      | ۳/۰۰                     | ۱۵/۰۰            | ۰/۰۰              | ۳/۲۰              | -۳/۰۰               | ۰/۰۰      | ۰/۰۰                        | ۳/۲۰                   | ۲۵/۸۷        | خیلی کم     |
| فرسایش آبی          | ۲-۲-۱     | ۶/۵۸      | ۴/۰۰                     | ۱۵/۰۰            | ۲/۰۰              | ۳/۱۸              | -۱/۰۰               | ۰/۰۰      | ۰/۰۰                        | ۳/۱۸                   | ۳۲/۹۵        | خیلی کم     |
| دامنه منظم          | ۲-۲-۲     | ۶/۱۴      | ۵/۰۰                     | ۱۶/۰۰            | ۵/۰۰              | ۳/۲۰              | ۰/۰۰                | ۴/۰۰      | ۱/۰۰                        | ۳/۲۰                   | ۴۳/۵۴        | کم          |
| پهنه ماسه ای        | ۲-۲-۳     | ۷/۶۱      | ۶/۰۰                     | ۱۷/۰۰            | ۶/۵۰              | ۲/۶۲              | ۱۰/۰۰               | ۶/۵۰      | ۷/۰۰                        | ۲/۶۲                   | ۶۵/۸۴        | متوسط       |
| منطقه برداشت        | ۲-۳-۱     | ۸/۰۸      | ۷/۴۹                     | ۱۶/۹۹            | ۸/۹۸              | ۸/۵۹              | ۱۰/۹۸               | ۶/۹۸      | ۲/۰۰                        | ۸/۵۹                   | ۷۸/۶۹        | زیاد        |
| اراضی زراعی         | ۲-۳-۲     | ۸/۵۱      | ۸/۰۰                     | ۱۷/۰۰            | ۱۰/۰۰             | ۷/۰۰              | ۱۲/۰۰               | ۷/۵۰      | ۲/۰۰                        | ۷/۰۰                   | ۷۹/۰۱        | زیاد        |
| دشت ریگی ریز دانه   | ۲-۳-۳     | ۶/۲۰      | ۸/۵۰                     | ۱۸/۰۰            | ۱۲/۰۰             | ۳/۹۹              | ۱۴/۰۰               | ۸/۰۰      | ۲/۰۰                        | ۳/۹۹                   | ۷۶/۶۷        | زیاد        |
| دشت ریگی متوسط دانه | ۲-۳-۴     | ۷/۱۶      | ۷/۰۰                     | ۱۶/۰۰            | ۶/۰۰              | ۴/۵۶              | ۹۸/۵۰               | ۵/۰۰      | ۲/۰۰                        | ۴/۵۶                   | ۶۱/۷۷        | متوسط       |
| مسیل                | ۲-۳-۵     | ۱۰/۰۰     | ۷/۵۰                     | ۱۷/۰۰            | ۸/۰۰              | ۹/۰۰              | ۱۳/۰۰               | ۷/۰۰      | ۲/۰۰                        | ۱۰/۰۰                  | ۸۳/۵۰        | زیاد        |

جدول ۱۴. مساحت هر یک از کلاسهای فرسایشی حوزه میاندشت اسفراین

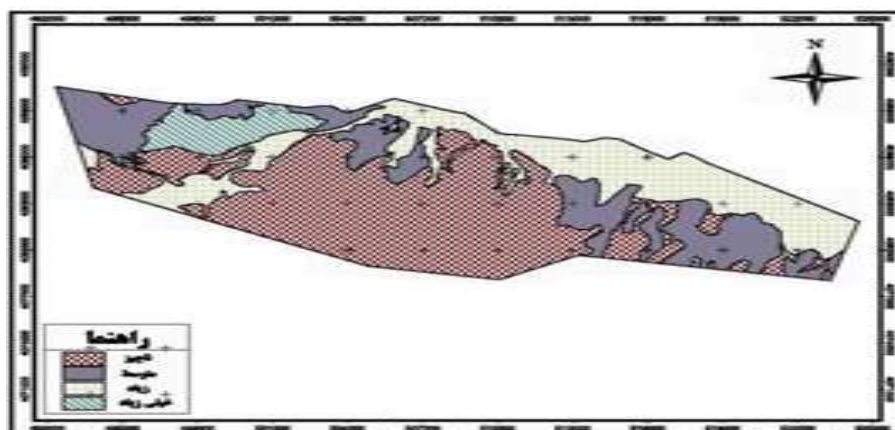
| کلاس فرسایش | کیفیت فرسایش | مساحت (هکتار) | درصد مساحت |
|-------------|--------------|---------------|------------|
| I           | خیلی کم      | ۱۱۲۸۷/۲۱      | ۴۶/۵۸      |
| II          | کم           | ۱۲۶۱/۲۵       | ۵/۲۰       |
| III         | متوسط        | ۵۰۰۱/۰۵       | ۲۰/۶۴      |
| IV          | زیاد         | ۶۶۸۲/۴۵       | ۲۷/۵۸      |



شکل ۴. نقشه فرسایش پذیری خاک منطقه میاندشت اسفراین



شکل ۵. مساحت هر یک از طبقات فرسایش بادی منطقه

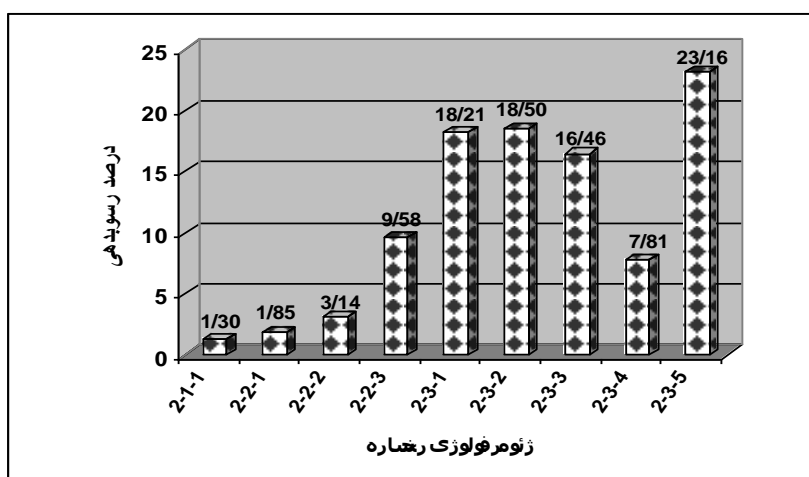


شکل ۶. طبقات فرسایش بادی منطقه

براساس جدول ۱۴ و شکل های ۴، ۵ و ۶ کلاس فرسایشی I (فرسایش خیلی کم) با مساحتی در حدود ۱۱۲۸۷/۲۱ هکتار بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. این طبقه فرسایشی شامل رخساره های ژئومورفولوژی ۱-۱-۲ (فرسایش آبی در دشت سر فرسایشی) و ۱-۲-۲ (فرسایش آبی در دشت سر آپانداژ) می باشد. کلاس فرسایشی IV (فرسایش زیاد) با مساحت ۶۶۸۲/۴۵ هکتار در رتبه دوم از نظر مساحت می باشد. این کلاس فرسایشی نیز دربرگیرنده رخساره های ژئومورفولوژی منطقه برداشت- اراضی زراعی- دشت ریگی ریزدانه و مسیل می باشد.

جدول ۱۵. امتیاز رسوبدهی و مقدار رسوبدهی در رخساره های ژئومورفولوژی منطقه میاندشت اسفراین

| نام رخساره          | کد رخساره | R     | Qs(ton/km <sup>2</sup> /y) | درصد رسوبدهی از کل |
|---------------------|-----------|-------|----------------------------|--------------------|
| فرسایش آبی          | ۲-۱-۱     | ۲۵/۸۷ | ۱۴۹/۵۰                     | ۱/۳۰               |
| فرسایش آبی          | ۲-۲-۱     | ۳۲/۹۵ | ۲۱۲/۹۰                     | ۱/۸۵               |
| دامنه منظم          | ۲-۲-۲     | ۴۳/۵۴ | ۳۶۱/۶۴                     | ۳/۱۴               |
| پهنه ماسه ای        | ۲-۲-۳     | ۶۵/۸۴ | ۱۱۰۲/۸۷                    | ۹/۵۸               |
| منطقه برداشت        | ۲-۳-۱     | ۷۸/۶۹ | ۲۰۹۶/۹۶                    | ۱۸/۲۱              |
| اراضی زراعی         | ۲-۳-۲     | ۷۹/۰۱ | ۲۱۳۰/۶۶                    | ۱۸/۵۰              |
| دشت ریگی ریزدانه    | ۲-۳-۳     | ۷۶/۶۷ | ۱۸۹۵/۲۷                    | ۱۶/۴۶              |
| دشت ریگی متوسط دانه | ۲-۳-۴     | ۶۱/۷۷ | ۸۹۹/۸۰                     | ۷/۸۱               |
| مسیل                | ۲-۳-۵     | ۸۳/۵۰ | ۲۶۶۶/۶۳                    | ۲۳/۱۶              |

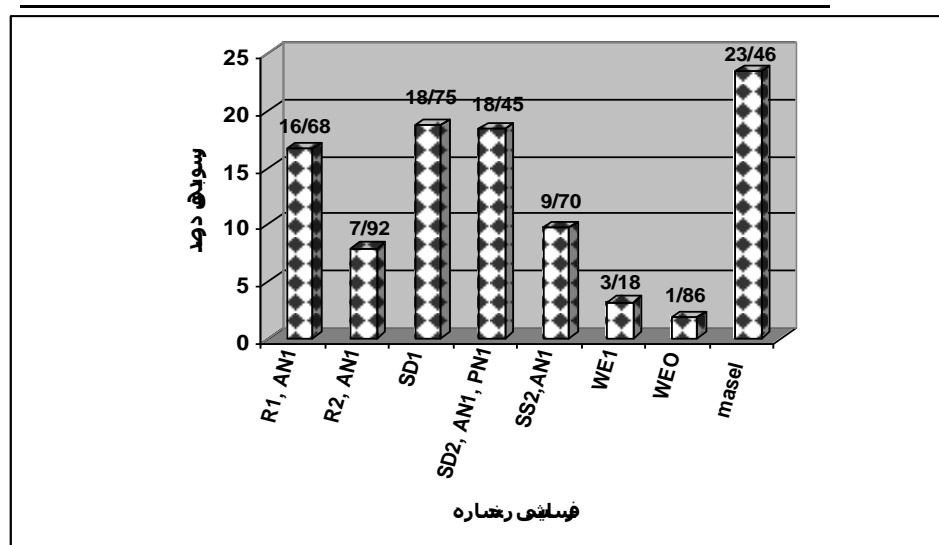


شکل ۷. نمودار درصد رسوبدهی هر یک از رخساره های ژنومرفولوژی منطقه

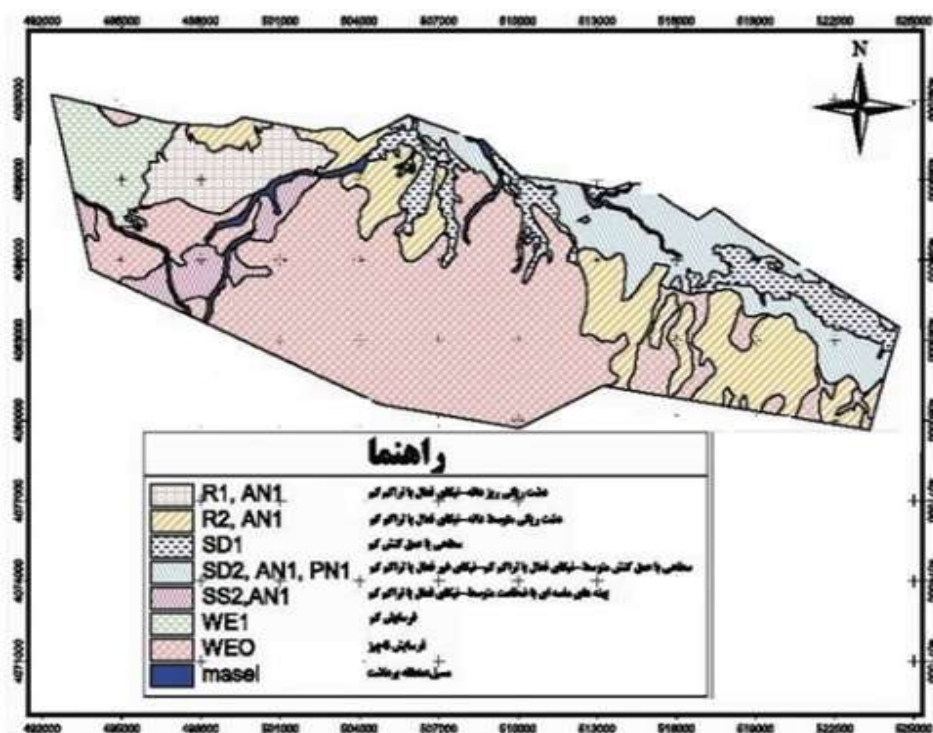
همان طور که در جدول و نمودار بالا مشهود است در بین رخساره های ژنومرفولوژی رخساره های مسیل (۲-۳-۵) و اراضی زراعی (۲-۳-۲) دارای بیشترین مقادیر رسوبدهی می باشند.

جدول ۱۶. میانگین امتیاز و رسوبدهی در رخساره های فرسایشی منطقه میاندشت اسفراین

| رخساره فرسایشی                                      | میانگین امتیاز رسوبدهی | Qs(ton/km <sup>2</sup> /y) | درصد رسوبدهی از کل |
|---|------------------------|----------------------------|--------------------|
| R <sup>۱</sup> , AN <sup>۱</sup>                    | ۷۶/۶۷                  | ۱۸۹۵/۲۷                    | ۱۶/۶۸              |
| R <sup>۲</sup> , AN <sup>۱</sup>                    | ۶۱/۷۷                  | ۸۹۹/۸۰                     | ۷/۹۲               |
| SD <sup>۱</sup>                                     | ۷۹/۰۱                  | ۲۱۳۰/۶۶                    | ۱۸/۷۵              |
| SD <sup>۲</sup> , AN <sup>۱</sup> , PN <sup>۱</sup> | ۷۸/۶۹                  | ۲۰۹۶/۹۶                    | ۱۸/۴۵              |
| SS <sup>۲</sup> , AN <sup>۱</sup>                   | ۶۵/۸۴                  | ۱۱۰۲/۸۷                    | ۹۰/۷۰              |
| WE <sup>۱</sup>                                     | ۴۳/۵۴                  | ۳۶۱/۶۴                     | ۳/۱۸               |
| WEO   | ۳۲/۷۶                  | ۲۱۰/۹۵                     | ۱/۸۶               |
| masel   | ۸۳/۵۰                  | ۲۶۶۶/۶۳                    | ۲۳/۴۶              |



شکل ۸. درصد رسوبدهی رخساره های فرسایشی منطقه



شکل ۹. نقشه رخساره های فرسایش بادی حوزه

طبق جدول ۱۶ و اشکال ۸ و ۹ در بین رخساره های فرسایشی مشاهده شده در منطقه نیز، رخساره های فرسایشی مسیل و SD۱ به ترتیب دارای حداکثر امتیاز رسوبدهی و مقادیر رسوبدهی می باشند.

### نتیجه گیری

برای بررسی نقش فرسایش بادی در تولید رسوب و کارآمد بودن مدل اریفر در مناطق مشابه با حوزه مطالعاتی، عوامل نه گانه مؤثر در فرسایش بادی با شرایط موجود منطقه از طریق تطبیق و بررسی شاخص های تعریف شده در مدل و دامنه امتیازهای هر یک از شاخص ها با وضعیت موجود در واحدهای کاری حوزه ارزیابی شد. در مدل تجربی اریفر برآورد مقدار فرسایش بادی در تطبیق شاخص های تعریف شده با وضعیت موجود حوزه برای عامل رطوبت خاک و نیز عامل استفاده و مدیریت اراضی با اشکالاتی مواجه است، برای عامل رطوبت خاک بجز مسئله عمق و سطح سفره های زیرزمینی اراضی، بارندگی منطقه و تعداد ماه های خشکسالی نیز باید توجه قرار گیرد و در مورد عامل مدیریت اراضی نیز باید مورد مقدار و نقش شخم و شیار مراتع و نحوه عملیات کشاورزی از جمله تعداد دفعات شخم در فصل آیش که نقش بسیار مهمی در فرسایش های بادی منطقه دارد، در نظر گرفته شود. در واقع این محل ها به علت اینکه شیب کمی دارند، مورد تخریب و تصرف بهره بردارن قرار گرفته و پوشش گیاهی آن به طور کامل نابود شده و اغلب یکسال در میان آیش بوده است، به همین علت خاک لخت در معرض باد قرار دارد و بیشترین توفان ها و گردوغبار نیز به هنگام وزش باد در این مناطق مشاهده می شود. کلاس فرسایشی I (فرسایش خیلی کم) با مساحتی در حدود ۱۱۲۸۷/۲۱ هکتار بیشترین مساحت و کلاس فرسایشی IV (فرسایش زیاد) با مساحت ۶۶۸۲/۴۵ هکتار در رتبه دوم از نظر

مساحت می باشد و در بین رخساره های ژئومرفولوژی رخساره های مسیل (۵-۳-۲) و اراضی زراعی (۲-۳-۲) دارای بیشترین مقادیر رسوبدهی می باشند.

فرسایش بادی در منطقه میاندشت دارای ۸ شکل فرسایشی بوده و از نظر شدت فرسایش رخساره های مسیل، منطقه برداشت، اراضی زراعی و دشت ریگی ریز دانه دارای شدت فرسایش زیاد می باشند. منطقه مورد مطالعه از دیدگاه کنترل فرسایش بادی دارای یکسری محدودیت ها و قابلیت ها می باشد که اعم آنها به شرح ذیل می باشد. مهمترین محدودیتها در کنترل فرسایشهای بادی در منطقه میاندشت به شرح زیر می باشد.

۱. همزمانی شروع فصل خشک سال با بالا رفتن سرعت میانگین باد سالانه یا به عبارتی بالا بودن میانگین سالانه سرعت باد در ماههای خرداد، تیر و مرداد نسبت به سایر ماههای سال. که خود باعث افزایش شدت فرسایش بادی می گردد.

۲. وجود بافت ریز دانه، درصد سیلت بالا و املاح فراوان در خاک منطقه که سبب کاهش چسبندگی ذات خاک و از هم گسیختگی ساختمان خاکدانه ها و کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه شده است و آنها را مستعد هر گونه فرسایش نموده است.

۳. وجود توپوگرافی مسطح و اراضی با شیب کم در بخشهای شرقی و شمالی که مستقیماً تحت تاثیر بادهای غالب منطقه می باشند، که باعث شده تا باد از قدرت تخریبی بالاتری برخوردار باشد.

۴. تخریب پوشش گیاهی به دلایل مختلف در بخش اعظم رخساره های فرسایش بادی و همچنین از بین رفتن برخی گونه های گیاهی در بعضی از رخساره های فرسایش بادی در بخشهای شمالی منطقه در مجاورت کالشور به دلیل شوری بالای خاک که در مجموع سبب تشدید فرسایش بادی در سطح حوزه شده است. علی رغم حساسیت منطقه به فرسایش بادی، در منطقه مورد مطالعه پتانسیلها و قابلیتهایی نیز برای کنترل انواع فرسایش وجود دارد. که با بالقوه کردن این قابلیتها می توان گامهای موثری در جهت کنترل پدیده بیابان زایی در منطقه برداشت. از جمله پتانسیلها و قابلیت های فراوان در منطقه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- وجود گونه های مقاوم به خشکی نظیر تاغ *Haloxylon persicum* و درمنه *Artimisia sp* در سطح رخساره های ژئومرفولوژی منطقه به صورت پراکنده که با گسترش کشت آنها می توان به کنترل فرسایش بادی کمک شایانی نمود.

- رشد مناسب درختچه های تاغ دست کاشت در قسمت جنوب شرق منطقه با پراکنش کم تا متوسط که بیان گر نتیجه مثبت عملیات تاغکاری در اراضی محدوده و بخصوص در اراضی ماسه ای می تواند باشد و بهترین گزینه در جهت کنترل فرسایش بادی می تواند باشد.

- رشد خوب گونه های اشنان و آتریپلکس دست کاشت در اراضی شور واقع در دشت سر پوشیده که توانسته مانع تجمع نمک در سطح خاک و از هم پاشیدگی بافت خاک سطحی شود و از طرفی با حفظ خاک توسط ریشه آن را در برابر انواع فرسایش تا حدی حفظ نموده است، از این رو با توسعه کشت این گونه ها در دشت سرهای پوشیده حاشیه شمالی منطقه علاوه بر جلوگیری از شوری بیش از حد خاک و شیرین شدن بیولوژیک آن، می توان به افزایش هوموس خاک و تثبیت آن بوسیله ریشه و نیز از بین بردن اثر باد به عنوان باد شکن در کاهش اثرات فرسایش بادی گامهای موثری برداشت.

## منابع

- احمدی، حسن. ۱۳۷۴. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲، فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران. ص ۵۰۱.
- احمدی، حسن؛ محمد رضا اختصاصی و نعمت الله همتی. ۱۳۸۶. بررسی و مقایسه پتانسیل رسوب دهی فرسایش بادی و آبی با استفاده از مدل های IRIFR E.A و MPSIAC در منطقه نیمه خشک حوزه آبخیز نعمت آباد بیجار، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۰، ۱: ص ۷.
- اختصاصی، محمدرضا و حسن احمدی. ۱۳۷۶. بررسی کمی و کیفی فرسایش بادی و برآورد میزان رسوب، مطالعه موردی. دشت یزد- اردکان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۰ (۲): ص ۵.
- اختصاصی، محمدرضا و حسن احمدی. ۱۳۷۵. معرفی دوروش جدید برآورد رسوب در فرسایش بادی ۱- روش تجربی و آنالیز منطقه ای سرعت و ۲ W.E.meter - اندازه گیری غیرمستقیم کاربردی دستگاه IRIFR. برآورد رسوب فرسایش بادی تداوم باد، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان زایی و روش های مختلف بیابان زدایی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ص ۱۵.
- اختصاصی، محمد رضا؛ محمد رضا دانشور؛ محمد ابوالقاسمی؛ سادات فیض نیا و محمد علی سارمی نائینی. ۱۳۸۵. اندازه گیری و تهیه نقشه جریان ماسه بادی به روش نصب تله رسوبگیر (دشت یزد و اردکان)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹ (۴).
- پهلوانروی، احمد. ۱۳۹۱. ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه زهک دشت سیستان، جغرافیا و توسعه، ۲۷: ۱۲۷-۱۴۰.
- سعدالدین، امیر؛ داود اختری و نادر نورا. ۱۳۸۹. پیش بینی اثرات سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر خطر فرسایش بادی (مطالعه موردی: جنوب دشت ورامین)، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۷ (۱): ۸۰ - ۶۳.
- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۸۵. فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- طهماسبی بیرگانی، علیمحمد؛ حسن احمدی؛ حسینقلی رفاهی و محمدرضا اختصاصی. ۱۳۷۹. مقایسه پتانسیل رسوبدهی فرسایش آبی و بادی با استفاده از مدل های IRIFR.E.A و MPSIAC در مناطق بیابانی ایران (مطالعه موردی حوزه آبخیز آبخش کرممان)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۳ (۱): ص ۵۳.
- فتاحی، محمد مهدی؛ علی اکبر نوروزی و سید علی خلخالی. ۱۳۸۶. مقایسه روش های طبقه بندی و تهیه نقشه استفاده از اراضی مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره ای. مجله پژوهش و سازندگی، ۷۶: ۱۳۴.
- مصباح زاده، طاهره؛ حسن احمدی؛ غلام رضا زهتابیان و فریدون سرمیدان. ۱۳۸۹. ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره گیری از مدل IRIFR. E.A (بررسی موردی: ابوزیدآباد کاشان). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۳ (۳): ۳۹۹ - ۴۱۵.
- Armbrusr, D.V, ; Chepil, W.S. and Siddoway, H. ۱۹۶۴. *Effects of ridegs on erosion of Soil bywind, soil Science Society of America* , proceedings ۲۸.
- Bohlooli, M. ۲۰۰۶. *Estimation of wind erosion in selective farm in Yazd Plain with use of WEPS and IRIFR. E.A - ۲ Models*. M.Sc Thesis, Faculty of Natural Resource, University of Tehran.
- Kovda, V. ۱۹۸۰. *Land aridization and drought control*. Boulder Westview Press.
- Laura, A.D. and Daniel, E.B. ۲۰۰۹. *Threshold wind velocity susceptibility to wind erosion under variable climatic condition. Land Degradation Development*, ۲۰.
- Le Houerou, H.N. ۱۹۷۵. The nature and causes of desertification, In: *Proceedings of the IGU Meeting on Desertification, Cambridge*.

Reining, P. (Editor) .۱۹۷۸. *A Handbook on Desertification Indicators: based on the Science Associations*. Nairobi Seminar on Desertification. Washington: American Association for the Advancement of Science.

Glantz, M. H .۱۹۷۷. *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Lands*. Boulder, Westview Press.

Hare, F.K. ۱۹۷۷. *Connections between climate and desertification*. *Environmental Conservation*, ۴(۲): ۸۲.