

مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۵، بهار ۱۳۹۴

وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۹/۱۹

تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۱۰

صفحات: ۲۷-۴۵

ارزیابی شدت فرسایش بادی منطقه جزینک سیستان با استفاده از مدل IRIFR

فرهاد ذوالفقاری[□]، دکتر حسن خسروی[□]

چکیده

هدف اصلی این پژوهش بررسی و تهیه نقشه فرسایش بادی توسط مدل اریفر میباشد. در این پژوهش از مدل تجربی IRIFR که در سال ۱۳۷۵ توسط محققان کشور برای شرایط اقلیمی ایران تدوین و ارایه شده است با بهره‌گیری از GIS استفاده گردید. ابتدا نقشه واحدهای کاری تهیه و سپس عوامل ۹ گانه مؤثر در فرسایش بادی شامل سازند زمینشناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، وضعیت باد و شرایط خاص اقلیمی، خاک و پوشش سطحی، پوشش گیاهی، فرسایش بادی، رطوبت خاک، نهشته‌های بادی و عملیات مدیریتی در هریک از واحدهای کاری مورد بررسی قرار گرفت و امتیاز لازم بر اساس مدل به آنها داده شد. برای هر یک از عوامل مذکور یک لایه رستری در محیط GIS ساخته شد. نتیجه بررسیها در این منطقه نشان میدهد که بیشترین امتیاز مربوط به تپه‌های و پهنه‌های ماسه‌ای و اراضی شور و پف کرده با میزان رسوبدهی ۳۸۷۹/۴ تن بر کیلومتر مربع در سال میباشد و کمترین امتیاز مربوط به واحد کاری دشت ریگی متوسط با تراکم کم تا متوسط و میزان رسوبدهی سالانه ۷۰۸/۷۳ تن بر کیلومتر مربع در سال میباشد. همچنین از کل منطقه مورد مطالعه ۳۵/۷۴ درصد معادل ۴۶۴۹۱/۳۶ هکتار در کلاس زیاد و ۶۳/۷۳ درصد منطقه معادل ۸۲۹۰۲/۴۳ هکتار در کلاس متوسط فرسایش بادی قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش بادی، IRIFR، سیستان، میزان رسوبدهی، GIS.

مقدمه

فرسایش بادی در مناطقی با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلیمتر اهمیت ویژه‌ای دارد (گیتی، ۱۳۹۰؛ پهلوانروی، ۱۳۹۱: ۱۴۰-۱۲۷). 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 تداوم و گستره فرسایش در زمان و مکان، بیلان جابجایی توسط این نوع فرسایش در مناطق خشک به مراتب بیشتر از فرسایش آبی می‌باشد. در مقیاس جهانی اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی است ولی گاهی ابعاد و عظمت آن بیش از فرسایش آبی می‌باشد (پهلوی، ۱۳۸۴؛ مصباح زاده و احمدی، ۱۳۸۹: ۷۱۰). توجه به مقوله بیابانزدایی برای کشوری چون ایران که حدود ۸۰ میلیون هکتار آن را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل داده، امری ضروری به نظر می‌رسد (رفاهی، ۱۳۸۵: ۲۴۰). حدود ۲۴ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران را مناطق تحت فرسایش بادی تشکیل می‌دهند که ۱۵-۱۲ میلیون هکتار از این اراضی در سیطره ماسهزارها و تپه‌های ماسه‌ای قرار دارند. از آنجایی که باد یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش و تخریب در سطح زمین، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (مصباح‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۱۵-۳۹۹).

از دیدگاه ژئومورفولوژی، بیابان به سرزمینی اطلاق می‌شود که از نظر پوشش گیاهی فقیر و در آن فرسایش آبی و بادی شدید باشد (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). استان سیستان و بلوچستان دارای بیش از ۵ میلیون هکتار بیابان است که ۱۶ درصد آن یعنی حدود ۸۰۰ هزار هکتار جزو شن زارهای فعال محسوب می‌شود. شن زارهای فعال و نیمه فعال منطقه با وزش باد جابجا شده و با هجوم خود به اراضی کشاورزی، نهرها، راه‌های ارتباطی، شهرها و روستاها، تأسیسات اقتصادی و حیاتی منطقه مشکلات عدیده‌ای را برای زیست مردم فراهم می‌کند و به فعالیت‌های زیر بنایی منطقه لطمه‌های جبران ناپذیری می‌زند (حنطه و دماوندی، ۱۳۹۰: ۷۰).

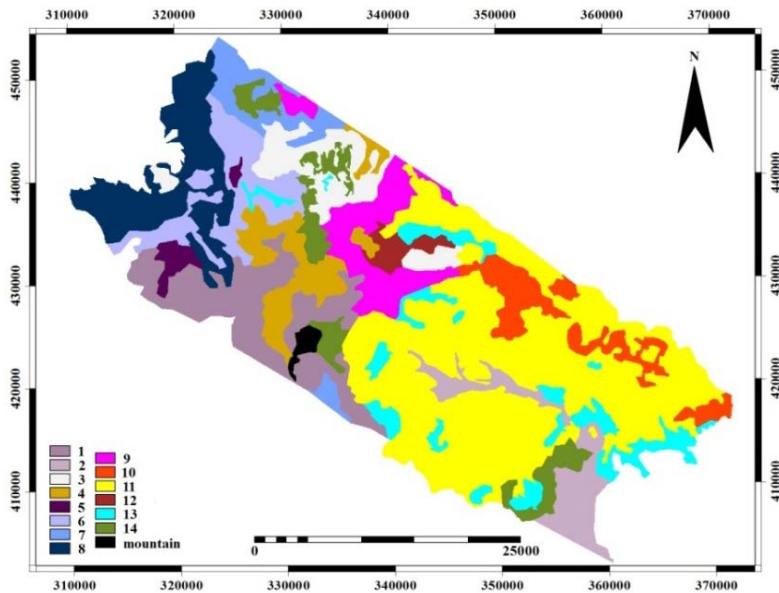
طی دو قرن اخیر و به خصوص در چند دهه‌ی اخیر اثرهای مخرب و زیان بخشی به محیط زیست انسانی وارد آمده است و در اثر استفاده نادرست از منابع طبیعی، بیابان‌ها به سرعت گسترش یافته‌اند (احمدیان، ۱۳۷۸: ۱۲۵؛ نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۳). از برآورد صورت گرفته از شدت پتانسیل باد در ۶۰ ایستگاه هواشناسی کشور، ایستگاه زابل بیشترین مقدار فراوانی و سرعت را به خود اختصاص داده است. این منطقه همچنین با میانگین تعداد ۸۰/۷ روز در سال طی یک دوره‌ی پنج ساله از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ رتبه‌ی دوم وقوع طوفان‌های ماسه‌ای در قاره آسیا را دارا می‌باشد (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۳). بخش گسترده‌ای از منطقه سیستان (کریدور جزینک) به دلیل وضعیت اقلیمی و شرایط خاص ژئومورفولوژیکی و واقع شدن در مسیر وزش بادهای شدید منطقه و دریاچه هامون از شرایط مساعدی برای فرسایش بادی و ظهور رخساره‌های مختلف بادی برخوردار می‌باشد (دولفقاری، ۱۳۸۹: ۲۲۰). بارندگی کمتر از ۶۰ میلی‌متر در سال، اقلیم خشک، خاک‌های ریز دانه، کاهش چشمگیر پوشش گیاهی منطقه به دلیل خشکسالی‌های متوالی، رها شدن بخش وسیعی از اراضی کشاورزی، وزش بادهای سهمگین و طوفان‌های بسیار شدید ۱۲۰ روزه بویژه در فصول خشک سال را می‌توان از جمله عوامل طبیعی تشدیدکننده فرسایش بادی در منطقه مورد نظر شمرد (خسروی، ۱۳۸۳: ۲۵۲-۲۲۹).

منطقه‌ی سیستان یکی از مراکز طوفانزایی است که در آن بطور متوسط سالانه بیش از ۷۰ روز طوفان گرد و غبار وجود دارد و این در حالی است که بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که میانگین روزهای همراه با طوفان گرد و خاک در زابل ۱۷۳/۲ روز، در زاهدان ۶۶/۷ روز، در نهبندان ۲۶ روز و در بیرجند ۱۰ و در حوالی رودخانه زرد چین ۲۱/۶ روز می‌باشد (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۳) که حکایت از خشکی منطقه و شدت فرسایش بادی در منطقه‌ی سیستان دارد. بطور کلی میتوان یکی از فاکتورهای اصلی بیابانزایی در منطقه را فرسایش بادی دانست (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۷). لذا هدف این پژوهش را می‌توان برآورد شدت فرسایش بادی در منطقه و جلوگیری از خسارات ناشی از آن، مطالعه وضع و خصوصیات فرسایش بادی در جهت نیل به برنامه‌ریزی‌های مناسب در راستای کاهش یکی از فاکتورهای بیابانزایی در منطقه عنوان نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق به مساحت ۱۳۰۰۸۴/۶۳ هکتار با جهت شمال غربی- جنوب شرق یکی از مناطق حساس و قابل توجه در منطقه سیستان به دلیل قرار گرفتن بین دریاچه هامون از یک طرف و ختم شده به چاه نیمه چهارم از سوی دیگر می‌باشد. مختصات جغرافیایی منطقه عبارتست از $31^{\circ}12'21''$ تا $61^{\circ}0'42''$ شرقی و $30^{\circ}41'22''$ تا $31^{\circ}12'21''$ عرض شمالی، متوسط بلند مدت بارندگی منطقه ۶۱/۰۱ میلی‌متر می‌باشد که ۴۳/۹۴ میلی‌متر آن در زمستان، ۵/۶۵ میلی‌متر در بهار، ۰/۰۱۲ میلی‌متر در تابستان و ۱۱/۴۳ میلی‌متر در پاییز به وقوع می‌پیوندد. متوسط سالیانه دمای هوا ۲۶/۶ درجه سانتیگراد؛ بر همین اساس تیرماه با متوسط ۴۱/۴ درجه سانتیگراد گرم‌ترین ماه سال و دی ماه با متوسط ۲/۴ درجه سانتیگراد سردترین ماه سال در این منطقه می‌باشد. بر اساس آمار موجود حداکثر سرعت باد در ماه‌های خرداد و تیر به میزان ۲۱/۴ متر بر ثانیه و حداقل آن مربوط به دی ماه به مقدار ۴/۱ متر بر ثانیه می‌باشد. بررسی میانگین سرعت ماهانه باد، نشان می‌دهد که روند سرعت از دی ماه تا تیرماه و مردادماه صعودی و سپس تا آذرماه نزولی می‌باشد. همچنین منطقه مورد مطالعه از لحاظ منابع اراضی خاک به علت ریزدانه بودن در شمار خاکهای شبه رس قرار گرفته و در اکثر رخساره‌های مورد بررسی از حاصل خیزی خوبی برخوردار می‌باشد. اما با توجه به ویژگیهای خاص این نوع خاکها و شدت وزش بادهای در منطقه نسبت به فرسایشهای آبی و بادی حساس هستند (ذوالفقاری، ۱۳۸۹: ۲۲۰).

با استفاده از نقشه‌ها و مطالعات پایه از روی نقشه ژئومورفولوژی منطقه رخساره‌های: ۱- مخروط افکنه پلایایی با نهشته‌های ریزدانه ۲- تراس‌های فرسایش یافته مارنی همراه با رگ کم توأم با کفه‌های رسی ۳- اراضی رسی سیلنتی نسبتاً سفت ۴- پهنه رسی نسبتاً سخت همراه با پوشش ضعیف شور پسند ۵- اراضی شور و پف کرده ۶- اراضی شور و پف کرده توأم با کفه رسی سخت ۷- پوسته خشک و سخت بدون پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی خیلی کم ۸- دشت ریگی با رگ متوسط و تراکم زیاد توأم با کفه‌های رسی ۹- پوسته خشک و سخت و سخت همراه با گز ۱۰- اراضی رها شده، اراضی کشاورزی ماسه‌زار ۱۱- اراضی کشاورزی ۱۲- تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای ۱۳- دشت ریگی متوسط و تراکم کم تا متوسط ۱۴- اراضی رسی سخت همراه با پوشش کم گز و شور پسند در منطقه تعیین و تفکیک گردید (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه رخساره‌های منطقه مورد مطالعه

مأخذ: ذوالفقاری، ۱۳۸۹

برای تعیین شدت فرسایش بادی در هر یک از رخساره‌های ژئومورفولوژیکی از روش تجربی IRIFR[□] (اختصاصی و احمدی، ۱۳۷۵) استفاده گردید. در این روش هر ۹ عامل مؤثر در فرسایش بادی در تک‌تک رخساره‌ها بررسی و تجزیه و تحلیل گردید و پس از امتیاز دهی به هر عامل برای هر کدام از عامل‌های سنگ شناسی، شکل اراضی و میزان پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، بافت خاک و پوشش غیر زنده سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی و مدیریت اراضی یک لایه اطلاعاتی در محیط نرم افزار ILWIS تهیه گردید. امتیاز دهی به عامل سنگ شناسی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از جدول زیر در واحدهای کاری صورت گرفت (احمدی، ۱۳۸۵).

جدول ۱: تعیین عامل سنگشناسی

خیلی کم (۰-۱)	کم (۱-۳)	متوسط (۳-۵)	زیاد (۵-۷)	خیلی زیاد (۷-۱۰)
سنگ‌های آذرین سخت با بافت یکنواخت	سنگ‌های با بافت دانه‌ای و به نسبت سخت	سنگ‌هایی با بافت دانه‌ای و سست	مارن و رس	آبرفت ریزدانه و رگ دانه‌ریز
کوارتزیت	آهک مقاوم	آبرفت درشت دانه و واریزه	آبرفت متوسط دانه ریز و رگ دانه درشت	ماسه ساحلی
آهک توده‌های	ماسه‌سنگ و کنگلومرای با سیمان سخت شدن	رگ درشت دانه	شیل و کنگلومرای درشت	نهشته‌های بادی
گرانیت				جلگه رسی

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

امتیازدهی به عامل شکل اراضی و پستی و بلندی در کلیه واحدهای کاری با استفاده از جدول شماره (۲) صورت گرفته است.

جدول ۲: تعیین عامل شکل اراضی و پستی و بلندی

خیلی زیاد (۷-۱۰)	زیاد (۴-۷)	میانگین (۲-۴)	کم (۰-۲)
دشتهای به نسبتاً هموار با پستی و بلندی محدود و کمتر از ۱۰ سانتیمتر شیب عمومی زمین منطبق با جهت بادهای اصلی	دشتسر فرسایشی دشتسر اپانداژ واریزههای با پستی و بلندی متوسط ناهموار جهت عمومی بادهای منطبق با شیب زمین	منطقه کوهستانی تا تپه ماهوری با دامنههای منظم و خاکدار درههای توپوگرافی منطبق با جهت باد	منطقه کوهستانی و تخته سنگی با پستی و بلندی زیاد و فاقد دالانهای هدایت باد

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

جدول شماره (۳) چگونگی تعیین امتیاز عامل سرعت و وضعیت باد در هریک از رخسارها را نشان میدهد.

جدول ۳: تعیین عامل سرعت و وضعیت باد

خیلی زیاد (۱۵-۲۰)	زیاد (۱۰-۱۵)	متوسط (۵-۱۰)	کم (۰-۵)
سرعت متوسط باد دست کم در یک ماه سال بیش از ۵/۵ متر بر ثانیه	سرعت متوسط باد دست کم در یک ماه از سال بیش از ۸ متر بر ثانیه	سرعت متوسط باد در چند ماه سال بیش از ۵ متر بر ثانیه	سرعت متوسط باد در کلیه ماههای سال کمتر از ۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری
بادهای تند همواره به صورت طوفان و گرد و خاک و غبارزا است.	وقوع دست کم یک طوفان گرد و خاک در سال	بادهای شدید بدون گرد و خاک ولی غبارزا است.	بادهای شدید بدون گرد و خاک و غبار محلی
سرعت شدیدترین بادهای بیش از ۱۵ متر بر ثانیه.	سرعت شدیدترین بادهای ۱۰-۱۴ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری.	سرعت شدیدترین بادهای ۸-۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متر	سرعت شدیدترین بادهای کمتر از ۸ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

در جدول شماره (۴) چگونگی تعیین امتیاز عامل خاک و پوشش سطح آن در روش IRIFR ارائه شده است.

جدول ۴: تعیین عامل خاک و پوشش سطح آن

خیلی زیاد (۱۰-۱۵)	زیاد (۵-۱۰)	متوسط (۰-۵)	کم (۰-۵)
سطح خاک بدون سنگریزه (کمتر از ۲۰ درصد) بافت خاک لومی تا شنی با ساختمان دانه‌ای و فاقد چسبندگی، خاک سیلتی	سنگریزه‌های سطح خاک محدود با تراکم کمتر از ۴۰ درصد بافت خاک شنی-رسی با چسبندگی متوسط تا کم	سطح خاک با پوشش سنگفرش متوسط تا ریز (رگ متوسط) با تراکم ۷۰-۴۰ درصد سطح خاک نسبتاً سخت شده به وسیله سیمان رسی و یا نمک خاک‌های غیر حساس مناطق کوهستانی	سطح خاک پوشیده از سنگریزه درشت (رگ درشت) با تراکم بیش از ۷۰ درصد سطح خاک کاملاً رسی و یا سیمانی شده با نمکها (سطوح کویری سخت) خاک‌هایی با پوشش سنگی و یا تخته سنگی مناطق کوهستانی

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

اهمیت پوشش گیاهی و نقش کاهشی و افزایشی آن در فرسایش بادی و میزان رسوبدهی ناشی از آن در روش IRIFR و نحوه امتیاز دهی این شاخص در جدول ۵ آورده شده است. گستره این عامل بین ۵- تا ۱۵ است.

جدول ۵: تعیین امتیاز عامل انبوهی پوشش گیاهی

کم (۰-۵)	متوسط (۰-۵)	زیاد (۵-۱۰)	خیلی زیاد (۱۰-۱۵)
انبوهی تاج پوشش گیاهی مؤثر سطح خاک بیش از ۵۰ درصد و با توزیع مناسب و یکنواخت	انبوهی تاج پوشش گیاهی مؤثر سطح خاک ۲۶-۵۰ درصد با توزیع یکنواخت تا غیر یکنواخت	انبوهی تاج پوشش گیاهی مؤثر ۱۱-۲۵ درصد با توزیع یکنواخت و یا نواری عمود بر باد اصلی	انبوهی تاج پوشش گیاهی کمتر از ۱۰ درصد با توزیع یکنواخت تا غیر یکنواخت

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

به دلیل اهمیت زیاد عامل آثار فرسایشی سطح خاک امتیاز اختصاص یافته به آن بین صفر تا ۲۰ است.

جدول ۶: تعیین امتیاز عامل آثار فرسایشی سطح خاک

کم (۰-۵)	متوسط (۵-۱۰)	زیاد (۱۰-۱۵)	خیلی زیاد (۱۵-۲۰)
در سطح خاک اثری از فرسایش بادی دیده نمیشود.	آثار فرسایش بادی محدود و بعضاً پوسته‌های شلجی شکل و یا نیکا در پای بوته‌ها دیده میشود. تجمع ماسه‌های بادی کم ضخامت در پای بوته‌ها به صورت پراکنده -آثار حمل ماسه بسیار جزئی است	آثار فرسایش بادی نسبتاً گسترده و شامل پوسته‌های شلجی شکل، بیرونزدگی ریشه و طوقه گیاه -تراکم ماسه در پای بوته‌ها	ظواهر فرسایشی ناشی از باد شدید و کاملاً مشخص و شامل بیرونزدگی ریشه و طوقه گیاهان و تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه فعال در منطقه وجود دارد.

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

عامل رطوبت با بهره‌گیری از داده‌های موجود و مطالعات محلی با توجه به جدول (۷) تعیین شده است. امتیاز نهایی عامل رطوبت خاک در هریک از زیر واحدهای کاری با توجه به امتیاز دریافت شده توسط آنها، بدست آمده است.

جدول ۷: تعیین امتیاز عامل رطوبت

کم (۰-۵)	متوسط (۰-۴)	زیاد (۴-۷)	خیلی زیاد (۷-۱۰)
خاک همیشه مرطوب و تحت تأثیر کامل سفره آب زیرزمینی است. کویر مرطوب و چسبناک. منطقه مرطوب.	خاک سطحی در پارهای از اوقات سال تحت تأثیر رطوبت حاشیه کویرها، رودخانه‌های دائمی و یا ساحل دریا قرار میگیرد.	خاک سطحی بطور موقتی تحت تأثیر رطوبت قرار گرفته و به دلیل بافت سبک سریع خشک میشود. بستر رودخانه‌های فصلی و موقتی	خاکهای کاملاً خشک با زهکشی سریع و فاقد چسبندگی ناشی از رطوبت

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

در این روش امتیاز صفر تا ۱۰ برای عامل نوع و پراکنش نهشتههای بادی در نظر گرفته شده است. در جدول (۸) چگونگی امتیاز به عامل نوع و پراکنش نهشتههای بادی مشخص گردیده است.

جدول ۸: تعیین امتیاز عامل نوع و پراکنش نهشتههای بادی

کم (۰-۲)	متوسط (۲-۴)	زیاد (۴-۷)	خیلی زیاد (۷-۱۰)
در منطقه آثار نهشتههای ماسه بادی به صورت پهنه و یا تپه‌های ماسه‌ای دیده نمیشود.	نهشتههای ماسه‌بادی به صورت تپه‌های ماسه فعال و غیرفعال در منطقه دیده میشود.	نهشتههای ماسه بادی اعم از تپه - های ماسه‌ای، ماسه در پای و یا ریپل‌مارکهای مشخص در منطقه مورد بررسی دیده میشود.	از انواع نهشتههای ماسه بادی بوتها و ریپل مارک (زیبار) در منطقه دیده میشود.

مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

جدول (۹) چگونگی تعیین امتیاز عامل مدیریت و کاربری زمین را نشان میدهد.

جدول ۹: تعیین امتیاز عامل مدیریت و استفاده از زمین

کم (۰-۵)	متوسط (۵-۱۰)	زیاد (۱۰-۱۵)	خیلی زیاد (۱۵-۱۰)
زمینهای مرتعی یا جنگلی متراکم با مدیریت مناسب بهره‌برداری زمینهای کشاورزی منطقه بدون آیش و باغهای دارای بادشکن پوشش گیاهی به صورت بادشکن و عمود بر بادهای فرساینده تردد دام، انسان و وسایل نقلیه بسیار اندک	زمینهای مرتعی یا جنگلی تنک با بهره‌برداری بیش از ظرفیت زمینهای کشاورزی با کمتر از سه ماه آیش تردد انسان، دام و وسایل نقلیه کم	زمینهای مرتعی یا جنگلی با چرای بیش از ظرفیت (شدید) مجاز دام زمینهای کشاورزی بیش از سه ماه آیش و فاقد بادشکن تردد انسان، دام و وسایل نقلیه سبب آشفستگی خاک شده	زمینهای لخت و بیابانی بدون پوشش و یا با پوشش محدود زمینهای زراعی متروکه و شخم خورده تردد انسان، دام و وسایل نقلیه سبب آشفستگی شدید خاک شده

در نهایت پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر کدام از عوامل نه‌گانه مورد بررسی در مدل IRIFR نقشه نهایی شدت فرسایش بادی از تلفیق و جمع ریاضی لایه‌ها در محیط نرم افزار تهیه گردید و در کلاس بندی نهایی نقشه شدت فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه از جدول شماره (۱۰) استفاده گردید.

جدول ۱۰: تعیین کلاس برآورد قابلیت فرسایش اراضی نسبت به فرسایش بادی

کلاس فرسایش	میزان کیفی فرسایش	جمع امتیازات
I	خیلی کم	<۲۵
II	کم	۲۵-۵۰
III	متوسط	۵۰-۷۵
IV	زیاد	۷۵-۱۰۰
V	خیلی زیاد	>۱۰۰

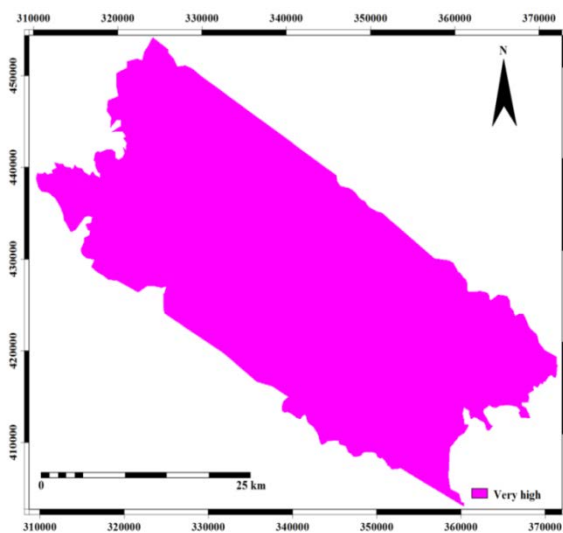
مأخذ: احمدی، ۱۳۸۵

نتایج

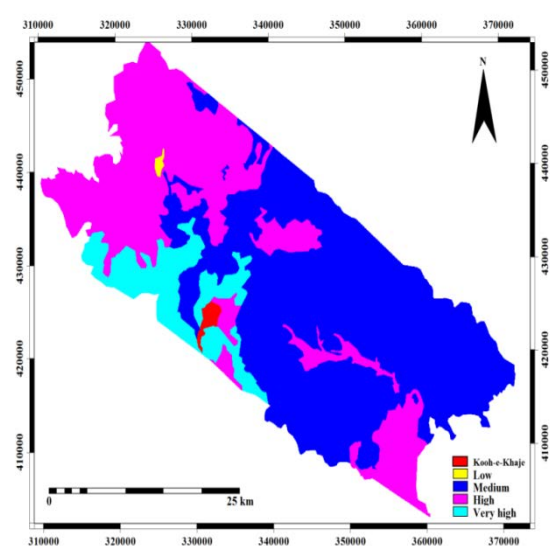
بعد از مشخص شدن واحدهای همگن، عوامل مورد نظر در هر واحد بر اساس جدول‌های ذکر شده م ورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از ارزیابی و امتیازدهی به شاخص‌های مورد بررسی طبق جدول شماره (۱۱) ارائه شد. بر اساس امتیازات هر شاخص لایه مربوطه تهیه و در نهایت نقشه وضعیت فعلی فرسایش بادی تهیه گردید.

- سنگشناسی:

لایه مربوط به سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داد که از نظر ساختار سنگشناسی با توجه به مدل مورد مطالعه ۵۵/۷۹ درصد از سطح منطقه در درجه متوسط و ۳۴/۷۲ درصد از سطح در درجه شدید و ۹/۴۹ درصد آن نیز در درجه خیلی شدید قرار دارد که پراکنش آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۳: لایه شکل اراضی و پستی و بلندی منطقه مورد مطالعه
مأخذ: نگارندگان



شکل ۲: لایه سنگشناسی منطقه مورد مطالعه
مأخذ: نگارندگان

- شکل اراضی و پستی و بلندی:

لایه مربوط به شکل اراضی و پستی و بلندی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که کل منطقه ی مورد مطالعه در درجه خیلی زیاد از نظر این عامل قرار دارد (شکل ۳).

جدول ۱۱: نتایج حاصل از ارزیابی عوامل مؤثر بر فرسایش بادی در واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه

مساحت رخصاره (هکتار)	میزان تولید رسوب سالانه (تن بر کیلومتر مربع در سال)	مدیریت و بهره‌برداری از زمین	نوع و پراکنش نهبتهای بادی	رطوبت خاک	آثار فرسایش سطح خاک	لبوهی پوشش گیاهی	خاک و پوشش سطح آن	سرعت و وضعیت باد	شکل اراضی و بلندی	سنگ شناسی	رخصاره
۱۲۲۷/۲۵	۱۶۵۸/۱۵۵	۱۰	۲	۱۰	۷	۲	۷	۲۰	۸	۸	۱
۵۹۷/۱۸	۱۹۲۶/۴۹۲	۱۰	۳	۷	۶	۶	۱۰	۲۰	۸	۷	۲
۶۱۷/۸۹	۳۰۲/۳	۱۰	۵	۷	۱۲	۶	۱۱	۲۰	۸	۷	۳
۶۳۱/۶۶	۱۹۲۶/۴۹۲	۵	۷	۶	۱۰	۵	۱۱	۲۰	۸	۵	۴
۱۳۲۵/۶۸	۳۵۱۰/۲۲۴	۱۰	۸	۵	۱۲	۷	۱۲	۲۰	۸	۷	۵
۷۴۶۶/۶۶	۲۸۷۳/۹۵۴	۵	۱۰	۶	۱۵	۲	۱۲	۲۰	۸	۷	۶
۴۵۸۰/۱۷۸	۲۴۷۳/۶۶۶	۵	۸	۷	۱۵	۰	۱۲	۲۰	۸	۷	۷
۱۱۰۹۹/۶۶	۱۳۵۷/۵۹	۵	۵	۷	۵	۶	۷	۲۰	۸	۷	۸
۷۲۵۷/۶۳	۸۲۲/۴۳۲۶	۱	۴	۷	۵	۰	۱۰	۲۰	۸	۵	۹
۶۳۵۱/۶۳	۲۷۳۳/۷۹۴	۲	۱۰	۸	۱۵	۶	۱۰	۲۰	۸	۵	۱۰
۴۴۶۰/۸۹۹	۱۲۲۸/۴۰۲	۱	۴	۷	۱۰	۳	۱۰	۲۰	۸	۵	۱۱
۱۵۵۶/۸۶	۳۸۷۹/۳۹۷	۴	۸	۱۰	۱۵	۷	۱۲	۲۰	۸	۷	۱۲
۷۶۶۵/۹	۷۰۸/۷۳۸۲	۱	۳	۶	۶	۳	۵	۲۰	۸	۵	۱۳
۶۱۹۹/۰۲	۱۹۲۶/۴۹۲	۱	۷	۴	۱۲	۸	۱۰	۲۰	۸	۷	۱۴

نتیجه

- سرعت و وضعیت باد:

پس از تجزیه و تحلیل امتیاز عامل سرعت و وضعیت باد در هر یک از واحدهای کاری امتیاز این عامل خیلی زیاد در هر یک از واحدهای کاری منطقه مورد بررسی، تعیین گردید (شکل ۴).

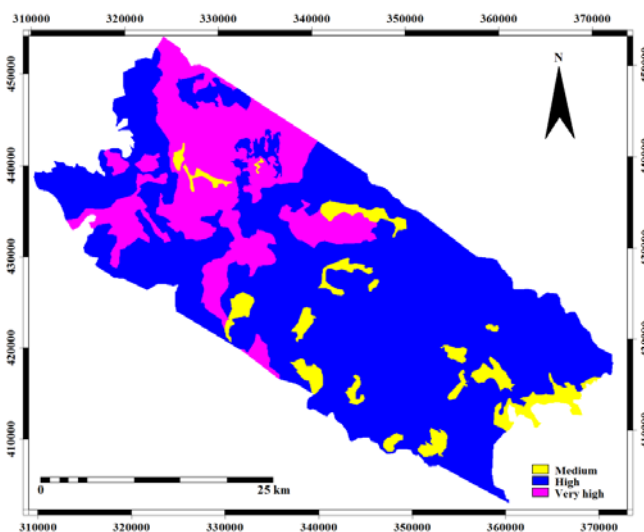


شکل ۴: لایه سرعت و وضعیت باد منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

- خاک و پوشش سطح آن:

بررسی لایه مربوط به خاک و پوشش سطح آن در منطقه مورد مطالعه نشان میدهد که از نظر این عامل ۲۱/۶۲ درصد منطقه در درجه خیلی زیاد، ۷۲/۴۵ درصد در درجه زیاد و ۵/۹۳ درصد از کل منطقه نیز در درجه متوسط قرار دارد (شکل ۵).

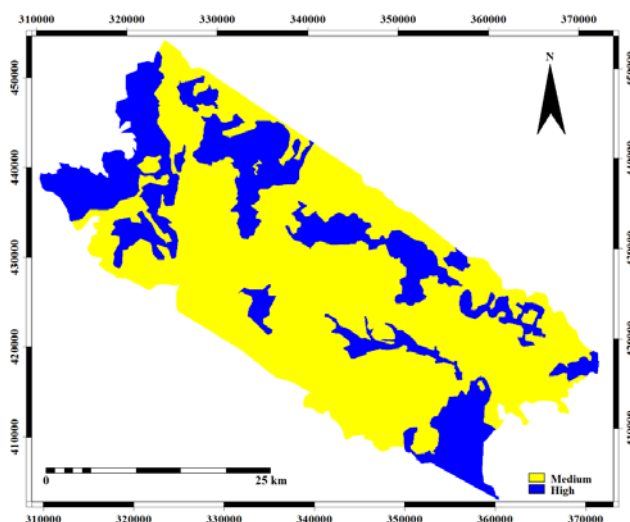


شکل ۵: لایه خاک و پوشش سطح آن منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

انبوهی پوشش گیاهی:

شکل ۶ لایه مربوط به انبوهی پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نشان میدهد که از لحاظ این عامل در منطقه مورد مطالعه ۶۴/۸۰ درصد از منطقه در درجه متوسط و ۳۵/۲۰ درصد منطقه نیز در درجه زیاد ارزیابی میگردد.

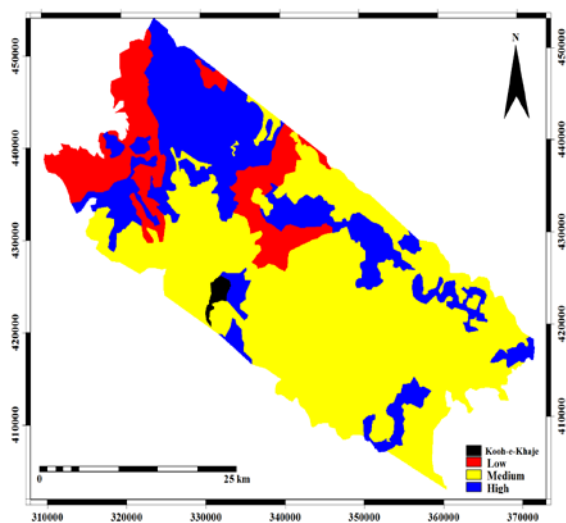


شکل ۶: لایه انبوهی پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

- آثار فرسایشی سطح خاک:

لایه مربوط به آثار فرسایشی سطح خاک منطقه مورد مطالعه نشان میدهد که ۲۶/۴۴ درصد از منطقه از نظر این عامل در درجه زیاد، ۵۹/۳۷ درصد در درجه متوسط و ۱۴/۱۹ درصد از منطقه مورد مطالعه نیز در درجه کم قرار میگیرد (شکل ۷).

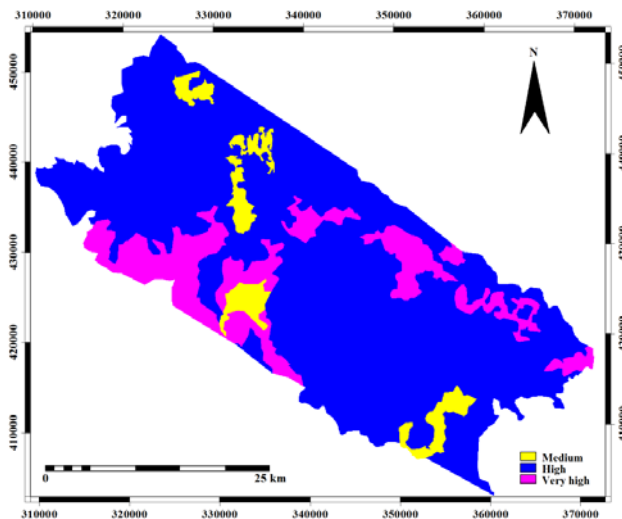


شکل ۷: لایه آثار فرسایشی سطح خاک منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

- رطوبت خاک:

لایه مربوط به رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه نشان میدهد که ۱۵/۶۰ درصد از سطح منطقه در درجه خیلی زیاد، ۷۹/۶۱ درصد در درجه زیاد و ۴/۷۹ درصد منطقه در درجه متوسط از نظر این عامل قرار دارد (شکل ۸).

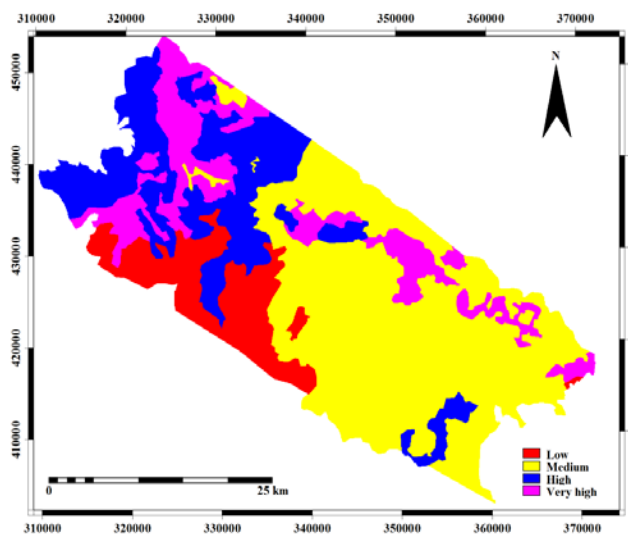


شکل ۸: لایه رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

- نوع و پراکنش نهشته‌های بادی:

لایه مربوط به نوع و پراکنش نهشته‌های بادی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان میدهد که ۱۶/۴۶ درصد در این عامل از کل منطقه در درجه خیلی زیاد، ۲۳/۴۴ درصد از منطقه در درجه زیاد، ۵۰/۶۲ درصد منطقه در درجه متوسط و ۹/۴۸ درصد منطقه نیز در درجه کم حساسیت قرار دارد (شکل ۹).

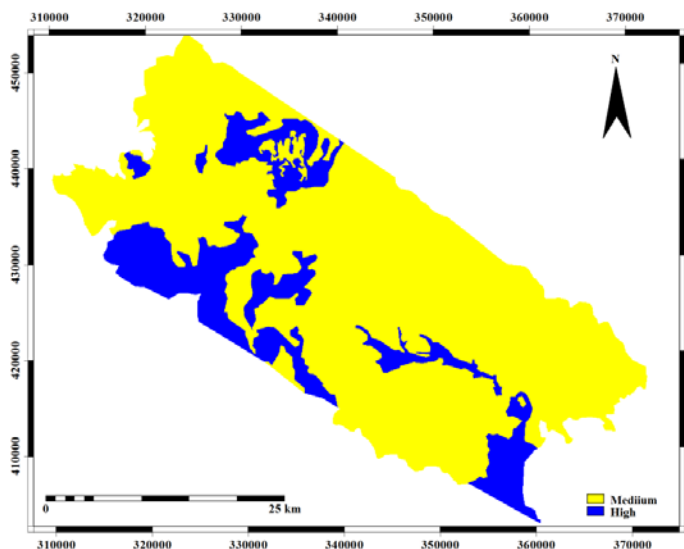


شکل ۹: لایه نوع و پراکنش نهشته‌های بادی منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

- مدیریت و استفاده از زمین:

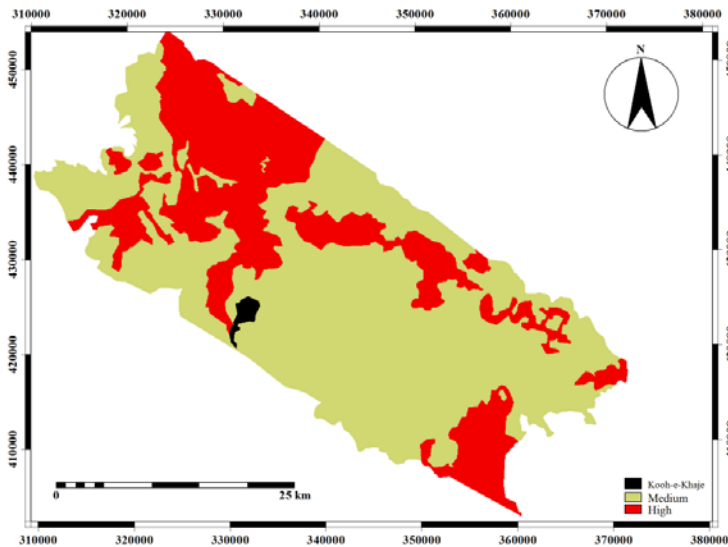
لایه مربوط به مدیریت و استفاده از زمین منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۲۰/۳۲ درصد منطقه در درجه زیاد و ۷۹/۶۸ درصد از منطقه نیز در درجه متوسط از نظر عامل مدیریت و بهره‌برداری از زمین قرار دارد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: لایه مدیریت و استفاده از زمین منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

نقشه نهایی شدت فرسایش بادی منطقه (شکل ۱۱) بیانگر این واقعیت می‌باشد که فرسایش بادی بصورت فعال در منطقه مورد مطالعه وجود داشته و رو به گسترش می‌باشد. همچنین نتایج بیانگر شدتهای متوسط و زیاد در منطقه مورد مطالعه می‌باشد بطوری که از کل منطقه مورد مطالعه ۳۵/۷۴ درصد آن معادل ۴۶۴۹۱/۳۶ هکتار در کلاس شدید فرسایش بادی و ۶۳/۷۳ درصد معادل ۸۲۹۰۲/۴۳ هکتار در کلاس متوسط از نظر فرسایش بادی قرار دارد. همچنین پس از محاسبه امتیاز نهایی عوامل ۹ گانه در تک تک رخصارهها میزان درجه رسوبدهی از مجموع امتیازهای ۹ عامل مورد بررسی در مدل IRIFR بدست آمد و برای بدست آوردن میزان رسوبدهی ویژه در این تحقیق با تأثیر مساحت تکتک واحدهای کاری از میانگین وزنی استفاده و میزان رسوب دهی برای کل منطقه مورد مطالعه ۱۳۲۴/۷۲ تن بر کیلومتر مربع در سال بدست آمد که بیانگر وضعیت متوسط تولید رسوب در منطقه می‌باشد و نتایج حاصل نشان می‌دهد که مناطق با کلاس متوسط با مساحت ۸۲۹۰۲/۴۳ هکتار بیشترین سطح منطقه را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۱: نقشه شدت فرسایش بادی منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

بحث و نتیجه

نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ساختار سنگشناسی منطقه شامل نهشته‌های مربوط به پلیستوسن از دوره کواترنری است. این رسوبات تماماً در واحد دشتسر قرار گرفته و نسبت به فرسایش‌های آبی و بادی نیز حساس هستند. از طرفی یکی از عوامل مهم و مؤثر در فرسایش بادی در هر منطقه نوع سازندهای زمین‌شناسی بویژه بافت ذرات تشکیل دهنده آنها می‌باشد. بطوری که اگر بافت خاک یکنواخت و پیوسته باشد نیروی باد باعث جابجایی آن نخواهد شد، اما اگر ذرات تشکیل‌دهنده منفرد و غیر پیوسته باشد به آسانی در معرض باد قرار گرفته و جابجا میشوند. باد قادر به جابجایی ذرات ریز و خیلی درشت نخواهد بود ولی ذرات ریز مانند آبرفت‌های ریز دانه، لسه‌ها و نهشته‌های بادی را به سهولت جابجا مینماید که این خود از دلایل بالا بودن این امتیاز در روش IRIFR می‌باشد. از نظر ساختار سنگشناسی با توجه به مدل مورد مطالعه ۵۵/۷۹ درصد از سطح منطقه در درجه متوسط و ۳۴/۷۲ درصد از سطح در درجه شدید و ۹/۴۹ درصد آن نیز در درجه خیلی شدید قرار دارد. از نظر توپوگرافی منطقه مورد مطالعه ناحیه‌های هموار محسوب شده و از اختلاف ارتفاع ناچیزی برخوردار می‌باشد. بررسی و بازدید از منطقه نشان می‌دهد که به دلیل عدم وجود پستی و بلندی در منطقه مورد مطالعه و منطبق بودن جهت وزش بادهای غالب با شیب زمین کل منطقه مورد مطالعه در درجه خیلی زیاد از نظر این عامل قرار گرفته است. سرعت باد نیز یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش بوده و با افزایش آن میزان جابجایی ذرات خاک به صورت نمایی افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت سرعت و وضعیت باد در روش IRIFR امتیاز بالایی به آن اختصاص یافته است. مهم‌ترین عامل در فرسایش بادی در هر منطقه سرعت باد و توزیع زمانی رخداد آن است. بادهای از نظر تأثیر بر دما، تبخیر و تعرق، شفافیت اتمسفر، پوشش گیاهی و پروسه‌های ژئومورفولوژیکی دارای اهمیت زیادی هستند.

منطقه مورد مطالعه جهت چیره باد اصلی ۸ ماه از سال شمالی و ۴ ماه دیگر شمال غربی میباشد. حداکثر سرعت بادهای غالب بر اساس دیده‌بانیهای دراز مدت در ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور میباشد که سرعت آنها ۲۶/۶ تا ۳۴/۴ کیلومتر در ساعت برآورد گردیده است.

حداقل متوسط سرعت باد تا ۶/۷ کیلومتر بر ساعت و در آذرماه و شدیدترین باد منطقه در تیرماه معادل ۱۴۸ کیلومتر بر ساعت میباشد. عمده‌ترین اثر ظاهری حفظ یک پوشش بر روی سطح خاک، مقاومت در مقابل فرسایش است. نقش نوع بافت و چسبندگی خاک سطحی در شدت فرسایش و میزان رسوب دهی آن شایان توجه است. در صورتی که بافت خاک از نوع سیلت (اغلب ذرات سیلت باشد که دارای حساسیت زیادی به فرسایش بادی می‌باشند) و بدون چسبندگی باشند به سادگی در معرض باد قرار گرفته و به آسانی جابجا می‌شوند به همین دلیل امتیاز این عامل در روش IRIFR از ۵- تا ۱۵ می‌باشد و در منطقه مورد مطالعه به دلیل اینکه غالب واحدهای کاری منطقه دارای سطوح خاک بدون سنگریزه یا کمتر از ۲۰ درصد بوده و بافت خاک نیز فاقد چسبندگی لازم می‌باشد، در درجه شدید و خیلی شدید قرار گرفته است نیز در تحقیقات خویش نشان داد که باد ۲۸ درصد از خشکیهای جهان را فرسایش میدهد. همچنین با بررسی سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی به عنوان یک عامل کلیدی فرسایش خاک با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی در آرژانتین به این نتیجه رسیدند که بیشترین سرعت آستانه‌ی فرسایش بادی مصادف با بیشترین رطوبت هوا و کمترین میزان سرعت آستانه‌ی فرسایش مصادف با کمترین میزان رطوبت هوا میباشد. اراضی که دارای پوشش گیاهی مناسبی باشند تقریباً از فرسایش بادی در امان میباشد. تأثیر پوشش گیاهی در فرسایش بادی بر حسب ارتفاع، تراکم و نوع پوشش گیاهی تغییر میکند. مهمترین نقش پوشش گیاهی کاهش سرعت باد در سطح زمین است. به دلیل اهمیت پوشش گیاهی و نقش کاهشی و افزایشی آن در فرسایش بادی و میزان رسوبدهی ناشی از آن در روش IRIFR، گستره این عامل بین ۵- تا ۱۵ است. لایه مربوط به انبوهی پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نشان میدهد که از لحاظ این عامل در منطقه مورد مطالعه ۶۴/۸۰ درصد از منطقه در درجه متوسط و ۳۵/۲۰ درصد منطقه نیز در درجه زیاد ارزیابی میگردد که بیانگر وضعیت نامناسب پوشش گیاهی در منطقه و نابودی پوشش میباشد که خود تأثیر بسزایی در میزان فرسایش بادی دارد بطوری که نیز در بررسی رابطه بین پوشش گیاهی و طوفانهای گرد و غبار به این نتیجه رسید که پوشش گیاهی فقیر در شمال چین یکی از اصلیتترین دلایل بروز این قبیل طوفانها میباشد و بطور کلی همبستگی منفی بین پوشش گیاهی و بروز طوفانهای گرد و غبار بدست آوردند. عامل آثار فرسایشی سطح خاک همانند عامل وضعیت فرسایش در سطح حوزه آبخیز در مدل پسیاک است. مهمترین ویژگی یک منطقه از نظر تأثیرگذار بودن فرسایش بادی در آن آثار موجود ناشی از عمل باد است. در صورتی که آثار فرسایش بادی قابل دیدن باشد نشان از وضعیت نامناسب زمین از نظر شدت فرسایش است. با توجه شواهد و آثار فرسایش بادی در منطقه ۲۶/۴۴ درصد از منطقه از نظر این عامل در درجه زیاد، ۵۹/۳۷ درصد در درجه متوسط و ۱۴/۱۹ درصد از منطقه مورد مطالعه نیز در درجه کم قرار میگیرد که این نکته ضرورت بحث حفاظت و اقدامات پیشگیرانه مثل احداث بادشکن و کنترل بیولوژیک در منطقه را دو چندان میطلبد.

نوع نهشته‌های بادی و پراکندگی 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. چگونگی استفاده و بهره‌برداری از زمین در شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوبدهی آن مؤثر می‌باشد. این عامل نیز مانند عوامل خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی و رطوبت خاک نقش افزایش دهنده و کاهش دهنده در شدت فرسایش بادی و میزان رسوبدهی آن دارد. در صورتی که از زمین بر پایه استعداد آن بهره‌برداری شود نه تنها باعث فرسایش نمی‌شود بلکه از اثرگذاری منفی دیگر عوامل نیز می‌کاهد و از این نظر نقش آن شبیه انبوهی پوشش گیاهی می‌باشد. برای تعیین امتیاز مدیریت و بهره‌برداری از زمین در هر یک از واحدهای کاری و کل منطقه مورد بررسی از نتایج بررسی‌های پوشش گیاهی و نقشه کاربری اراضی و مشاهدات صحرایی استفاده گردید که پس از کلاس‌بندی این عامل $20/32$ درصد منطقه در درجه زیاد و $79/68$ درصد از منطقه نیز در درجه متوسط از نظر عامل مدیریت و بهره‌برداری از زمین قرار گرفت که با توجه به اینکه حدود ۸۰ درصد منطقه از نظر این عامل در درجه متوسط قرار گرفته است می‌توان به طرح‌های منابع طبیعی و کلاس‌های ترویجی جهاد در خصوص فرهنگ سازی و اعمال مدیریت مناسب بر روی اراضی خصوصاً در خشکسالی‌های اخیر تا حدودی خوشبین بود.

نقشه نهایی شدت فرسایش بادی منطقه (شکل ۱۱) بیانگر این واقعیت می‌باشد که در منطقه جزینک سیستان فرسایش بادی، به دلیل خشکسالی‌های پی در پی و رها سازی غالب اراضی کشاورزی و خشک بودن دریاچه هامون از شدت متوسط و زیادی برخوردار می‌باشد. با توجه به نقشه وضعیت فرسایش بادی منطقه مورد مطالعه $63/73$ درصد از منطقه در کلاس فرسایش متوسط قرار می‌گیرد که بیشتر شامل رخصاره‌های مخروط افکنه پلایایی با نهشته ریزدانه با تولید رسوب سالانه $1658/15$ تن بر کیلومتر مربع در سال، دشت ریگی با رگ متوسط و تراکم زیاد توأم با کف‌های رسی با تولید رسوب سالانه $1357/59$ تن بر کیلومتر مربع در سال، پوسته خشک و سخت همراه گز و دشت ریگی متوسط با تراکم کم تا متوسط با تولید رسوب سالانه $823/43$ تن بر کیلومتر مربع در سال، اراضی کشاورزی با تولید رسوب سالانه $1228/4$ تن بر کیلومتر مربع در سال و رخصاره دشت ریگی متوسط با تراکم کم تا متوسط با تولید رسوب سالانه $708/73$ تن بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد. این امر بیانگر این هشدار است که در صورت عدم توجه و رعایت مسایلی مانند بوته‌کنی و چرای بیش از حد دام‌های کوچک - به دلیل قرار گرفتن رخصاره‌های کلاس متوسط در اطراف مناطق مسکونی - خطر جدی افزایش درجه شدت فرسایش بادی در این مناطق وجود دارد. از طرفی به دلیل شرایط بسیار بد آب و هوایی و خشکسالی که یکی از جنبه‌های ذاتی تغییرپذیری شرایط اقلیمی است خاک این مناطق بسیار خشک و حساس به فرسایش گردیده است. بطوری که در بین فاکتورها یا عوامل ۹ گانه مورد بررسی در مدل IRIFR در این منطقه لایه مربوط به رطوبت خاک از نظر درجه حساسیت فرسایش نشان می‌دهد که $79/61$ درصد منطقه در درجه زیاد حساسیت قرار دارد.

همچنین بررسی لایه مربوط به خاک و پوشش سطح آن نیز بیانگر این است که بیش از ۹۴ درصد منطقه از نظر این عامل در درجه زیاد و خیلی زیاد قرار دارد که نتایج بررسی نیز نشان داد که منطقه سیستان یکی از مراکز طوفانزای است که بطور متوسط سالانه بیش از ۷۰ روز طوفانهای گرد و غبار دارد که حکایت از خشکی خاک منطقه و شدت وزش باد در زابل دارد. در صورت عدم توجه به این مناطق و عدم کنترل تردهای نابجا و عدم جلوگیری از ورود دام به این مناطق میزان فرسایش بیشتر شده و تهدیدی جدی برای مناطق مسکونی و چاه نیمهها خصوصاً چاهنیمه چهارم که در منتهی‌الیه جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد میباشد. با عنایت به اینکه میانگین وزنی میزان رسوبدهی ویژه در کل منطقه که با تأثیر مساحت هر واحد کاری در میزان رسوبدهی ویژه آن واحد کاری برابر $1324/72$ تن بر کیلومتر مربع در سال میباشد میزان رسوب در کل منطقه حدود 1714105 تن در سال برآورد میگردد که با مقایسه نتایج به دست آمده از تحقیقات به انجام رسیده در منطقه حوضهی آبخیز نعمت‌آباد بیجار، ابوزیدآباد کاشان و منطقه زهک سیستان قابل قبول میباشد. با توجه به اینکه که حجم غالب رسوبات به سمت چاهنیمه چهارم حمل میگردد، خطر جدی و هشدار برای نابودی این مخازن آب که تأمین کننده آب شرب و کشاورزی شهرستانهای زابل میباشد را دارد. به طوری که مطالعه صورت گرفته در خصوص تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسهای در شرق سیستان توسط نگارش و لطیفی در سال ۱۳۸۷ نیز مبین پیشروی تپه‌های ماسهای مسیر زهک به قلعه نو به سمت مخازن چاهنیمه میباشد

منابع

- ۱) احمدیان، محمدعلی (۱۳۷۸). بیابان (نگرشی سیستمی به فرآیند بیابانزایی و بیابانزدایی) فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره پیاپی ۵۲ و ۵۳. صفحات ۱۴۱-۱۲۵.
- ۲) احمدی، حسن (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲. بیابان- فرسایش بادی. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳) اختصاصی، محمدرضا؛ حسن احمدی (۱۳۷۵). معرفی دو روش جدید برآورد رسوب در فرسایش بادی، اول روش تجربی و آنالیزهای منطقه‌ای سرعت اریفر و دوم اندازه‌گیری غیر مستقیم کاربردی دستگاه W.E.meter برآورد رسوب فرسایش بادی تداوم باد، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان‌زدایی. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- ۴) اختصاصی، محمدرضا؛ عادل سپهر (۱۳۹۰). روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابانزایی ، انتشارات دانشگاه یزد.
- ۵) بهلولی، محسن (۱۳۸۴). ارزیابی فرسایش بادی در مزارع انتخابی دشت یزد با استفاده از مدل WEPS و IRIFER. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۶) پهلوآزوری، احمد (۱۳۹۱). ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFER در منطقه زهک دشت سیستان. فصلنامه جغرافیا و توسعه شماره ۲۷. صفحه ۱۴۰-۱۲۷.
- ۷) حنطه، عباس؛ علی‌اکبر دماوندی (۱۳۹۰). اکولوژی مناطق بیابانی. انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی.
- ۸) خسروی، محمود (۱۳۸۳). بررسی روابط بین الگوهای چرخش جوی کلان مقیاس نیمکره شمالی با خشکسالیهای سالانه سیستان و بلوچستان، فصلنامه جغرافیا و توسعه. شماره ۳. صفحات ۲۵۲-۲۲۹.
- ۹) ذوالفقاری، فرهاد (۱۳۸۹). ارزیابی پتانسیل بیابانزایی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه جزینک سیستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل.
- ۱۰) ذوالفقاری، فرهاد؛ علیرضا شهریاری؛ اکبر فخریه؛ علیرضا راشکی؛ سهیلا نوری؛ حسن خسروی (۱۳۹۰). ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA، فصلنامه پژوهش‌های آب‌خیزداری . شماره ۹۱. صفحات ۱۰۷-۹۷.
- ۱۱) رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۵). فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۲) زهتابیان، غلامرضا؛ مجید کریم‌پورریحان؛ علی‌اکبر دماوندی؛ محمد کیانیان؛ میترا شیرازی؛ امین صالح پورجم (۱۳۹۰). ترجمه بیابانها و زیستبومهای بیابانی ، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۳) گیتی، علیرضا (۱۳۹۰). بیابان، بیابانزایی و بیابانزدایی (چالشها و فرصتها). انتشارات علم کشاورزی ایران.

- ۱۴) مصباح‌زاده، طیبه؛ حسن احمدی (۱۳۸۹). نقش رژیم بادی در میزان دبی و جهت انتقال رسوبات تپه‌های ماسه‌ای. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۴ (پیاپی ۹۹). صفحات ۷۱۰-۷۲۴.
- ۱۵) مصباح‌زاده، طیبه؛ حسن احمدی؛ غلامرضا زهتابیان؛ فریدون سرمیدیان (۱۳۸۹). ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره‌گیری از مدل IRIFR، فصلنامه منابع طبیعی ایران. نشریه مرتع و آبخیزداری. دوره ۶۳. شماره ۳. صفحات ۴۱۵-۳۹۹.
- ۱۶) نگارش، حسین و لیلا لطیفی (۱۳۸۷). تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر، فصلنامه جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲. صفحات ۴۳-۶۰.
- 17) Laura, A.D., Daniel, E.B (2009). Threshold wind velocity susceptibility to wind erosion under variable climatic condition. Land Degrad. Develop, Vol, 20.
 - 18) Nicholas, P., Webb, Hamish, A., McGowan, Stuart R., Phinn and Grant H., McTainsh (2006). AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia, Journal of Geomorphology, Vol,78.
 - 19) Washington, R. M., Tood, N., J Middleton and A. S. Goudie (2000). Global dust storm source areas determined by total ozone monitoring spectrometer and ground observations. School of Geography and the Environment, University of Oxford press.
 - 20) Xuakai, K., Panmao, Zou., Zhai, M (2003). Relationship between vegetation coverage and spring dust storms over northern china, Journal of Geophysical Research, 109, 204-217.