

کاربرد مدل طبقه‌بندی رقومی به منظور پهنه‌بندی پتانسیل خطر

فرسایش بادی، مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد

محمدحسن صادقی روش^۱

استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان؛ m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

دریافت: 90/10/27 و پذیرش: 92/4/17

چکیده

فرسایش بادی به دلیل تداوم و وسعت عمل فرساینده‌گی در زمان و مکان به ویژه در مناطق خشک دارای پتانسیل تخریب بالایی است. از این رو، خسارات وارد شده به منابع اقتصادی به ویژه خاک و پوشش گیاهی چشمگیر است. لذا، شناخت جامع شکل‌گیری، عملکرد، مناطق تحت‌تأثیر و اثرات آن ضروری است. در این راستا، این پژوهش با هدف ارائه مدلی مناسب به منظور برآورد کمی و تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرسایش بادی به انجام رسید. در ایجاد فرسایش ناشی از باد، عوامل متعددی به صورت برهم‌کنش تأثیر می‌گذارند، بنابراین با توجه به وضعیت منطقه مطالعاتی، به بررسی نقش‌شش عامل مؤثر تغییرات ارتفاع، ژئومورفولوژی، حساسیت سنگ به فرسایش بادی، تیپ‌های خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی پرداخته شد. به این منظور، از مدل تاکسونومی عددی توسعه یافته که از مهمترین مدل‌های درجه‌بندی رتبه‌ای است، استفاده شد. در چارچوب این مدل، ابتدا اقدام به تفکیک واحدهای کاری از روش ژئومورفولوژی شد. سپس، از روش تاکسونومی شدت فرسایش و شاخص‌های مؤثر در هر واحد تعیین و در نهایت در محیط Arc View نقشه پهنه‌بندی ارائه شد. نتایج حاصله نشان داد که واحدهای تپه‌های ماسه‌ای با پوشش گیاهی (SDPC)، اراضی رسی لخت (BCG) و با پوشش گیاهی (CGPC)، به ترتیب با بیشترین ارزش کمی 0/76، 0/76 و 0/77 در معرض فرسایش بادی خیلی شدید قرار دارند. درعین حال، ارزش کمی خطر فرسایش بادی برای کل منطقه 0/52 برآورد شد که نشان از پتانسیل شدید منطقه در وقوع فرسایش بادی دارد. به طور کلی، بر اساس لایه نهایی، 15 درصد از مساحت حوضه خضرآباد در معرض خطر زیاد (خیلی شدید) فرسایش بادی قرار دارد و با مجموع طبقه شدید فرسایش بادی نزدیک به 70 درصد منطقه را تهدید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، شاخص‌های ارزیابی، ماتریس داده‌ها، مناطق خشک.

مقدمه

به بیش از 5/05 میلیون کیلومترمربع می‌رسد. این مقدار فرسایش با 46/4 درصد از اراضی تحت تخریب زمین به وسیله کلیه عوامل برابر است (دانگ و همکاران، 2000). بخش وسیعی از کشور را مناطق خشک و فراخشک فرا گرفته که به دلیل شرایط مختلف، از جمله خاک نارس و تراکم محدود پوشش گیاهی، زمینه برای وقوع فرسایش

فرسایش بادی پدیده‌ای است که در نواحی خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کم و دامنه نوسان زیاد، پوشش گیاهی ناچیز و بادهای قوی با فراوانی وقوع بالا و حاوی سنگریزه‌های سطحی مستعد برای بادبردگی ایجاد می‌شود. فرسایش بادی مسئله زیست‌محیطی مهمی است به طوری که هم‌اکنون اراضی تحت تأثیر فرسایش بادی

^۱ نویسنده مسئول، آدرس: تاکستان، سه راهی شامی شاپ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، دانشکده کشاورزی، گروه تخصصی محیط زیست

برآورد فرسایش بادی و یا دسته‌بندی آن عوامل و امتیازدهی آنها در مناطق مختلف یا اصلاً بیانگر شدت فرسایش نبوده است (همانند سرعت باد در منطقه خضرآباد) و یا دامنه نوسان عامل در منطقه مطالعاتی با دسته‌بندی و امتیازدهی جدول I.R.I.F.R. متناسب نبوده است (مثل دسته‌بندی پارامترهای خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی که بر مبنای شرایط منطقه‌ای بوده است نه شرایط محلی).

بنابراین، لازم است مدلی ارائه شود که در انتخاب عوامل و درجه‌بندی یا امتیازدهی آنها شرایط محلی را نیز مدنظر قرار دهد تا نتایج با دقت بالاتری ارائه شود. به این منظور، از مدل تاکسونومی توسعه‌یافته استفاده شد. مدل تاکسونومی از مهمترین روش‌های درجه‌بندی رتبه‌ای است (آذر و رجب‌زاده، 1381)، اولین بار به منظور پهنه‌بندی شدت بیابانزایی تحت عنوان مدل MNT² به کار گرفته شد (صادقی روش، 1387؛ صادقی روش و همکاران 2009). نتایج حاصل از کاربرد این مدل نشان از توانایی بالای آن در ارزیابی و تهیه نقشه شدت بیابانزایی داشت، به طوری که، امکان شناخت بهتر منطقه در مرحله تعیین واحدهای کاری، امکان تفکیک عوامل انسانی و طبیعی در فرآیند بیابانزایی، انعطاف‌پذیری بودن، توانایی بومی شدن مدل با هر منطقه، امکان کمی کردن شاخص‌های مؤثر در بیابانزایی، کاهش خطای انسانی و امکان تهیه نقشه حساسیت منطقه به بیابانزایی بر پایه واحدهای کاری با کاربرد این مدل محقق شد.

هدف از این پژوهش، ارائه مدل متناسب برای پهنه‌بندی شدت فرسایش بادی است که شرایط محلی را در انتخاب و درجه بندی عوامل مؤثر به صورت نظام‌مند مدنظر قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

منطقه خضرآباد با وسعتی معادل 782 کیلومتر مربع در 10 کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی 55°، 53° الی 20°، 54° طول شرقی و 45°، 31° الی 15°، 32° عرض شمالی قرار گرفته، ارتفاع متوسط منطقه 1397 متر و 84/79 درصد منطقه (663 کیلومتر مربع) شیبی کمتر از 10 درصد دارد. بنابراین، قسمت اعظم منطقه را اراضی پست با شیب متوسط 9/41 درصد تشکیل می‌دهد. از نظر اقلیمی بر مبنای اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم منطقه مورد مطالعه در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود (شکل 1). متوسط بارندگی سالیانه 121 میلیمتر و جهت باد

بادی بسیار مناسب است. از سویی، وقوع این پدیده زمینه‌ساز مسائل و مشکلات عدیده‌ای از جمله کاهش استعداد باروری اراضی، کاهش تولیدات کشاورزی، افزایش تلفات منابع آب و خاک و کاهش کمی و کیفی منابع مرتعی است. همچنین، با توجه به رشد فزاینده جمعیت و افزایش شدت بهره‌برداری از اراضی و منابع، لزوم پرداختن به جنبه‌های مختلف این مسئله به‌ویژه برآورد کمی میزان فرسایش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی ضروری به نظر می‌رسد. این نقشه‌ها به عنوان ابزاری کارآمد ضمن شناسایی نقاط بحرانی، منجر به حفاظت جلوه‌های باقی مانده حیات در آن نقاط می‌شوند. از سویی این نقشه‌ها با هدایت برنامه‌ریزان به مناطق کم‌خطر، ارزش افزوده سرمایه‌گذاریهای ملی را در پایدارترین و مناسب‌ترین حالت ممکن تضمین کرده و امکان تمرکز فعالیت‌های اصلاحی و جلوگیری از هدر رفتن امکانات و سرمایه‌های محدود را فراهم می‌آورند.

در این زمینه تاکنون مدل‌ها و روش‌های مختلفی به منظور برآورد میزان فرسایش بادی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به مدل Woodruff و Cheppil (شفیل و وودروف، 1954)، Woodruff و Siddoway (ودروف و سیدوی، 1965)¹، I.R.I.F.R. (احمدی، 1384) اشاره کرد. در غالب این مدل‌ها، عامل حساسیت‌پذیری خاک نقش مهمی را ایفا می‌کند و از آنجا که عوامل گوناگونی نظیر دانه‌بندی (بافت) خاک، چسبندگی ذرات و وزن مخصوص در پایداری آن نقش دارند، برآورد دقیق و کمی این عامل به صورت تجربی غیرممکن است. از سویی، وجود ضرائب مختلف و تجارب متفاوت کارشناسی در برآورد عوامل مذکور نیز از دقت نتایج می‌کاهد. همچنین، این مدل‌ها بر اساس عواملی پایه‌گذاری شده‌اند که بومی ایران نبوده و با شرایط محیطی ایران سازگاری ندارند. در بین مدل‌های مطرح، مدل I.R.I.F.R. مطابق با شرایط اکولوژیکی ایران ارائه شده است (اختصاصی و احمدی، 1375 و 1376) و تحقیقات بعدی در زمینه فرسایش بادی بر مبنای این مدل شکل گرفته (جعفری و همکاران، 2009؛ سپهر و همکاران، 2007؛ آذرکار و همکاران، 2006؛ زهتابیان و جوادی، 1386). مدل اخیر هرچند در ارائه عوامل مؤثر و امتیازدهی آنها شرایط منطقه‌ای ایران را در نظر گرفته، ولی از آنجا که شرایط محلی بسیار متنوعی در ایران حاکم است، نقص وزن دهی از روی جدول امتیازدهی یکسان برای تمامی نواحی همچنان پایدار بود. به عبارتی، عوامل در نظر گرفته شده در جدول به منظور

¹ Iranian Research Institute of Forests and Rangelands (Ekhtesasi and Ahmadi, 1994)

² Modify Numerical Taxonomy (MNT)

موقعیت جغرافیایی مناطق تحت تأثیر به صورت نقشه 1/50000 ارائه شد (شکل 3). از این لایه برای تحلیل متغیرهای مؤثر و وزن‌دهی آنها استفاده شد.

به منظور تفکیک و وزن‌دهی متغیرها بر مبنای شرایط محلی، مدل رقومی ارتفاعی از داده‌های ارتفاعی نقشه‌های رقومی 1/25000 سازمان نقشه‌برداری کشور، در مقیاس 1/50000 تهیه شد. در ادامه بر مبنای نقشه DEM² در محیط Arc view، نقشه‌های منحنی میزان، هیپسومتریک، شیب، جهات جغرافیایی با توجه به هدف مطالعاتی شکل گرفت و با محاسبه مساحت طبقات مختلف هر لایه و تشکیل جدول درصد فراوانی تجمعی، نمودارهای درصد مساحت بدست آمد. سپس نقشه‌های موضوعی لیتولوژی، تیپ خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ژئومرفولوژی نیز از مرزبندی و آماربرداری عکس‌های هوایی 1/25000 و تصاویر ETM سال 2002 (لیساند و کیف، 2000) در مقیاس 1/50000 شکل گرفتند و با مطالعات میدانی مرزبندهای اولیه اصلاح شد و نقشه‌های نهایی به صورت رقومی وارد محیط Arc view شد. در مرحله بعد، مساحت طبقات محاسبه و با تشکیل جداول درصد فراوانی برای هر لایه، درصد مساحت محاسبه شد. سپس با روی هم-پوشانی دودویی نقشه پراکندگی حوضه‌های عملکردی فرسایش بادی و نقشه‌های موضوعی مذکور با استفاده از دستور Geoprocessing و تهیه نقشه‌های تلفیقی، نمودارهای مقایسه‌ای مساحت ناشی از فرسایش بادی به نسبت هر کدام از عوامل مؤثر در فرسایش شکل گرفت (اشکال 1 و 2) که این اشکال بیانگر پتانسیل فرسایش هر طبقه از نقشه‌های موضوعی در مقابل فرسایش می‌باشد (قهرودی تالی، 1383). بنابراین، بر اساس دامنه نوسان متغیرها و ارتباط آنها با ظهور رخساره‌های فرسایش بادی در منطقه، متغیرها به سطوح مختلف تقسیم و در مقیاس 1 الی 9 وزن دهی شد (جدول 1).

تعیین ارزش هر شاخص در هر واحدکاری و تشکیل

ماتریس داده‌ها

در ادامه با تشکیل ماتریس داده‌ها، ارزش هر شاخص در هر واحدکاری، از نظر اثر بر فرایند فرسایش با توجه به جدول امتیازدهی شاخص‌ها (جدول 1) در مقیاس 1 الی 9، مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول 2).

تعیین مقدار ایده‌آل (D_{0i}) از ماتریس داده‌ها

در این مرحله در انتهای ماتریس داده‌ها، کوچکترین عدد قابل مشاهده در هر ستون تحت عنوان عدد ایده‌آل (D_{0i}) بدست آمد. در این ساختار هر قدر امتیازدهی به هر

غالب شمال غربی با فراوانی وقوع 16/94 درصد و با حداکثر سرعت 16/3 کیلومتر در ساعت می‌باشد. حدود 130 کیلومتر مربع (16/5 درصد) از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده است. ارگ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل 89 کیلومترمربع در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد که قلمرو وقوع طوفان‌های ماسه‌ای با فراوانی بیش از 10 تکرار در سال با جهت غالب غربی و شمال‌غربی می‌باشد. سالانه در حدود 120 تن گردوغبار بر شهر یزد فرو می‌ریزند. مجموع این ویژگی‌ها بیانگر غلبه کامل عملکرد فرسایش بادی در منطقه و لزوم شناخت و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی می‌باشد (صادقی روش، 1387).

روش پژوهش

پژوهش حاضر بر مبنای مدل تاکسونومی توسعه‌یافته انجام و نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی تهیه شد. مدل تاکسونومی توسعه‌یافته اولین بار در سال 1387 در نتیجه بازنگری و توسعه مدل تاکسونومی و به منظور دستیابی به مدلی بهینه به منظور ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابانی شدن به کار گرفته شد (صادقی روش، 1387).

مدل تاکسونومی عددی توسعه یافته¹ (MNT) طی مراحل ذیل به انجام رسید:

تعیین واحدهای کاری و شاخص‌های ارزیابی

به منظور ارزیابی فرسایش در ابتدا برای تعیین چارچوبی مناسب برای تهیه نقشه فرسایش، اقدام به تعیین و تفکیک واحدهای کاری از روش ژئومرفولوژی (احمدی، 1384) در سطح منطقه مطالعاتی شد (شکل 2). سپس، بر اساس میزان تأثیر متغیرها در فرسایش، شش متغیر به عنوان متغیرهای اصلی فرسایش بادی در منطقه در نظر گرفته شد. متغیرهای مذکور شامل تغییرات ارتفاع، پستی و بلندی زمین، حساسیت سنگ به فرسایش بادی، تیپ‌های خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی است. البته دامنه نوسان برخی متغیرها همانند سرعت باد، میزان بارش در ارتباط با پراکندگی رخساره‌های فرسایش بادی به عنوان پارامتر شاهد فعالیت فرسایشی معنی‌دار نبودند، لذا در محاسبات لحاظ نشدند.

ارزش‌گذاری شاخص‌ها در مقیاسی واحد

بر اساس مطالعات انجام شده بر روی رخساره‌های فرسایش بادی منطقه مطالعاتی (مرکز ملی بیابانزدایی، 1385) با استفاده از عکس‌های هوایی 1/40000، تصاویر ماهواره‌ای ETM سال 2002 و بررسی‌های میدانی،

² Digital Elevation Model

¹ Modify Numerical Taxonomy

باشد، نشانگر وضعیت بهتر یا شدت فرسایش کمتر، در آن واحدکاری و بالعکس است.

$$Fi = \frac{Cio}{Co} \quad (4)$$

که در آن: Fi = درجه توسعه یافتگی هر واحدکاری مطابق جدول طبقه‌بندی واحدها از لحاظ شدت فرسایش بادی (جدول 1)، هر واحد کاری با توجه به شدت فرسایش محاسبه شده در یکی از طبقات قرار می‌گیرد. در نهایت بر روی نقشه واحدهای کاری، از تلفیق واحدهای دارای طبقات یکسان، نقشه‌های نهایی پتانسیل خطر فرسایش بادی در محیط Arc View بدست می‌آید (شکل 4) (صادقی روش، 1387؛ صادقی روش و همکاران، 2009).

نتایج و بحث

پس از تهیه نقشه واحدهای کاری (شکل 2) تعیین شاخص‌های موثر و تهیه نقشه پراکندگی حوضه‌های عملکردی فرسایش بادی (شکل 3) مطابق روش پژوهش، نمودارهای مقایسه‌ای مساحت ناشی از فرسایش بادی به نسبت هر کدام از عوامل مؤثر در فرسایش شکل گرفت. به منظور اجتناب از طولانی شدن مقاله دو مورد از این نمودارها ارائه شده است (اشکال 4 و 5) که بیانگر پتانسیل فرسایش هر طبقه از نقشه‌های موضوعی در مقابل فرسایش است. بنابراین، بر اساس دامنه نوسان متغیرها و ارتباط آنها با ظهور رخساره‌های فرسایش بادی در منطقه، متغیرها به سطوح مختلف تقسیم و در مقیاس 1 الی 9 وزن‌دهی شد (جدول 2).

با توجه به جدول ارزش‌گذاری شاخص‌ها در مقیاس واحد (جدول 2)، ارزش هر شاخص در هر واحد کاری برآورد شد. در ادامه در انتهای ماتریس داده‌ها، کمترین مقادیر عددی شاخص‌ها در ماتریس داده‌ها تحت عنوان ایده‌آل به‌دست آمد (جدول 3).

پس از ارزش‌گذاری هر شاخص در هر واحدکاری، ماتریس توسعه واحد‌های کاری شکل گرفت و سرمشق توسعه به تفکیک هر واحدکاری به دست آمد. سپس حد بالای فرسایش در واحدهای کاری (Co) از رابطه 3 معادل 21/83 محاسبه شد. در نهایت شدت فرسایش بادی در واحدهای کاری (Fi) برآورد شد (جدول 4).

در نهایت بر روی نقشه واحدهای کاری، از تلفیق واحدهای دارای طبقات یکسان، نقشه‌های نهایی پتانسیل خطر فرسایش بادی در محیط Arc View به دست آمد (شکل 6).

نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرسایش بادی نشانگر آن است که واحدهای تپه‌های ماسه‌ای لخت

شاخص در ارتباط با هر واحدکاری کمتر باشد، نشان دهنده اثر کمتر آن شاخص در فرسایش بادی است. لذا، کمترین مقادیر عددی شاخص‌ها در ماتریس داده‌ها تحت عنوان ایده‌آل به‌دست آمد (جدول 2).

تشکیل ماتریس توسعه واحدهای کاری

در ادامه مجذور فاصله هر شاخص از عدد ایده‌آل همان شاخص (D_{oj}) مطابق رابطه (1) محاسبه و در ماتریس دو بعدی دیگری تحت عنوان "ماتریس توسعه واحدهای کاری" وارد شد. فاصله کم هر شاخص از عدد ایده‌آل منفی نمایانگر اثر کم آن شاخص (I_n) در فرسایش در آن واحدکاری (TMU_m) و بالعکس می‌باشد (جدول 3).

$$(a_{ij} - D_{oj})^2 \quad (1)$$

که در آن: a_{ij} = ارزش هر شاخص i در هر واحدکاری j
 D_{oj} = عدد ایده‌آل منفی یا کوچکترین عدد در هر

ستون ماتریس داده‌ها

از رابطه (2) مجموع مجذورات انحرافات از عدد ایده‌آل منفی، در هر واحدکاری به تفکیک شاخص‌ها مشخص شد. که تحت عنوان "سرمشق¹ توسعه واحدهای کاری (Cio)" ارائه می‌شود (جدول 3).

(2)

$$Cio = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - D_{oj})^2}$$

که در آن: Cio = سرمشق توسعه هر واحدکاری

به منظور تعیین شدت فرسایش واحدهای کاری، تعیین طبقات، کلاسه‌بندی و تهیه نقشه پهنه‌بندی فرسایش بادی، حد بالای فرسایش در واحدهای کاری (Co) از رابطه (3) محاسبه شد:

$$Co = \overline{Cio} + 2\delta Cio \quad (3)$$

که در آن: Co = حد بالای توسعه مجموع

واحدهای کاری

\overline{Cio} = میانگین سرمشق توسعه

واحدهای کاری

δCio = انحراف معیار سرمشق توسعه

واحدهای کاری

در نهایت، شدت فرسایش بادی در واحدهای کاری (Fi) از رابطه (4) به تفکیک شاخص‌ها محاسبه شد. از آنجا که بر طبق این روش، شدت فرسایش بادی در واحدهای کاری، همواره بین صفر و یک می‌باشد ($0 \leq Fi \leq 1$) بنابراین هر قدر این مفهوم به صفر نزدیکتر

¹. Pattern

قدیمی برای بهره‌وری بیشتر از زمین و لخت نماندن سطح زمین به آن مبادرت می‌کردند.

استفاده از نباتات حامی مثل آفتابگردان، سورگوم، کرچک، در اطراف پلاتها با فواصل مناسب و به صورت ردیفی در کاهش فرسایش مؤثر هستند.

استفاده از گونه‌های زراعی قابل کشت نزدیک به هم (تصادفی)، مثل گراس‌ها (گندم، جو، ارزن) که تأثیرشان در کاهش فرسایش بادی بیشتر از کشت گونه‌های ردیفی مثل پنبه است.

استفاده از گونه‌هایی که بقایای باقی گذاشته‌شان بر روی خاک پس از برداشت زیاد است مانند گندم، جو کاهش چرای دام در سطح مزرعه (پس چر مزارع) و شخم حداقل

نتیجه‌گیری

ارزیابی خطر فرسایش بادی امروزه نقش مهمی را در مدیریت پایدار منابع طبیعی ایفا می‌کند. از این رو، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی از مدل تاکسونومی توسعه یافته استفاده شد. در این مدل، انتخاب شاخص‌ها و طبقه‌بندی آنها در مقیاس واحد در ارتباط با معنی‌دار بودن پراکندگی رخساره فرسایش بادی که بیانگر مناطق تحت تأثیر است، در مقایسه با توزیع شاخص‌های مؤثر برآورد می‌شود. از این رو شاخص‌ها به صورت کاملاً محلی انتخاب و در واحدهای یکسان طبقه‌بندی شده و سپس با مطالعات میدانی ارزش هر شاخص در هر واحدکاری تعیین می‌شود. بنابراین، نتایج حاصله از این مدل دارای ضریب اطمینان بیشتری است، در حالی که در مدل‌های دیگر از جمله I.R.I.F.R. از آنجا که شاخص‌ها و طبقه‌بندی آنها به صورت پیش فرض تعیین شده لذا به نظر می‌رسد در بعضی مکانها یا شاخص‌ها در فرسایش نمی‌توانند مؤثر باشند یا طبقات امتیازدهی نمی‌توانند به صورت واقعی بیانگر عملکرد شاخص‌ها در فرسایش باشند.

در این مدل، به منظور دسته‌بندی و ارزش‌دهی شاخص‌های مؤثر در فرسایش به صورت محلی، اقدام به انطباق لایه پراکندگی فرسایش (شکل 3) با لایه‌های مؤثر در فرسایش شد. نتایج حاصله نشان داد در طبقات هر لایه، طبقه خاصی بیشترین استعداد را برای ناپایداری داراست. در لایه ژئومرفولوژی، بیشترین عملکرد فرسایش بادی در تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای و اراضی کشاورزی دشت سرآپانداژ و در ارتفاعی کمتر از 1200 متر رخ داده است. در لایه لیتولوژی، لایه‌های ریزدانه و منفصل تراس-های قدیمی و تپه‌های ماسه‌ای، در لایه خاک، تپه‌های خاک دشت سرآپانداژ با شیب بسیار کم شامل خاکهای

(BSD) و با پوشش گیاهی (SDPC)، اراضی رسی لخت (BCG) و با پوشش گیاهی (CGPC) و اراضی کشاورزی (PAG) در میان سایر واحدهای کاری واجد بیشترین پتانسیل رخداد فرسایش بادی می‌باشند.

عوامل طبیعی و انسانی متنوعی در رخداد فرسایش بادی در این واحدها مؤثرند. از جمله این عوامل در واحدهای تپه‌های ماسه‌ای و اراضی رسی می‌توان به بافت ریزدانه خاک، فشار دام و بوته‌کنی، افت سفره آب زیرزمینی اشاره کرد. به منظور کنترل و کاهش فرسایش در این واحدها می‌توان، حفاظت از تاغزارها، جلوگیری از چرای نامناسب دام، تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی، ایجاد بادشکن غیرزنده با منابع قرضه و احیاء پوشش گیاهی با تأکید بر گونه‌های بومی را در دستور کار قرار داد.

عوامل مؤثر در رخداد فرسایش بادی در واحد اراضی کشاورزی (PAG) عمدتاً عوامل انسانی حاصل از فعالیت کشاورزی می‌باشند. این عوامل باعث خرد شدن خاکدانه‌ها و بدون پوشش ماندن سطح خاک می‌شوند و خاک این مناطق را مستعد فرسایش می‌کنند. از جمله این عوامل می‌توان به، روش‌ها و سیستم‌های نامناسب آبیاری، افت سفره، رانده‌مان پایین آبیاری، شخم و آیش نامناسب، الگوی نامناسب کشت و مدیریت غلط تولید، تغییر نامناسب کاربری اراضی، استفاده نامناسب از ماشین-آلات و مواد شیمیایی که به منظور کنترل و کاهش فرسایش بادی، راهکارهای زیر توصیه می‌شود.

احداث بادشکن زنده و غیرزنده در اطراف مزارع

تغییر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آب خواه همانند کشت گلخانه‌ای و آبیاری قطره‌ای.

جلوگیری از تبدیل زمین‌های کشاورزی به مناطق مسکونی و صنعتی

جلوگیری از تفکیک و کوچک سازی اراضی کاهش فاصله کشت و افزایش تکرار آبیاری کشت نواری و ردیفی عمود بر جهت باد اصلی باقی گذاشتن مالچ گیاهی (کاه و کلش و بقایای محصولات زراعی)

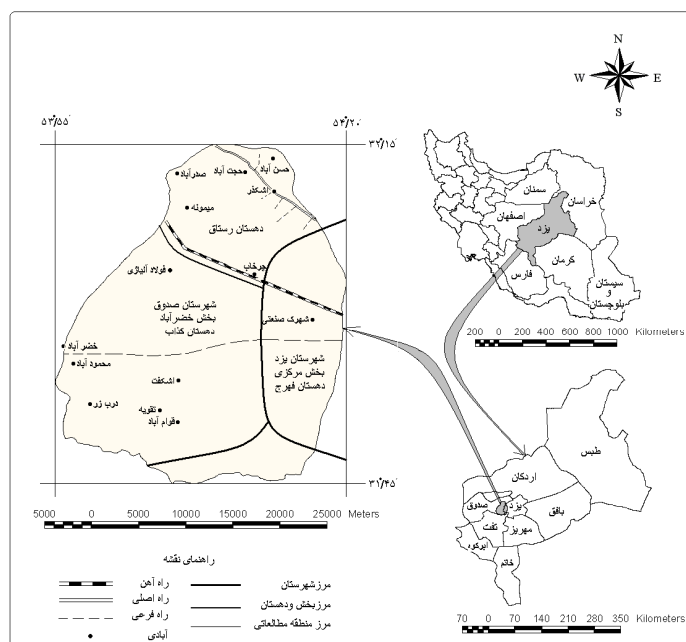
افزایش مواد آلی و کودهای حیوانی به خاک افزایش زبری سطح خاک با شخم در جهت عمود بر باد، شخم اسکنه‌ای، عدم استفاده از دیسک در زمان کاشت بذر استفاده از الگوی زراعی مناسب و منطبق با فصل بادهای شدید مثل گندم و جو که در بهار مانع باد بردگی سطح خاک می‌شوند.

تناوب زراعی مناسب و منطبق با شرایط اقلیمی و خاک منطقه مانند تناوب کشت گندم - شلغم که کشاورزان

با پوشش گیاهی (CGPC)، به ترتیب با بیشترین ارزش کمی 0/77، 0/76 و 0/76 در معرض فرسایش بادی خیلی شدید قرار دارند. درعین حال، ارزش کمی خطر فرسایش بادی برای کل منطقه 0/52 برآورد شد که نشان از پتانسیل شدید منطقه در وقوع فرسایش بادی دارد. به طور کلی، بر اساس لایه نهایی 15 درصد از مساحت حوضه خضرآباد در معرض خطر زیاد (خیلی شدید) فرسایش بادی قرار دارد و با مجموع طبقه شدید فرسایش بادی نزدیک به 70 درصد منطقه را تهدید می‌کند.

ریزدانه و عمیق لومی - رسی با وضعیت زهکشی ضعیف و شوری بالا، در لایه پوشش گیاهی، واحدهای تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده و اراضی بدون پوشش و در لایه کاربری اراضی تپه‌های ماسه‌ای با پوشش و اراضی مرتعی (شکل 5) بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش داشته‌اند.

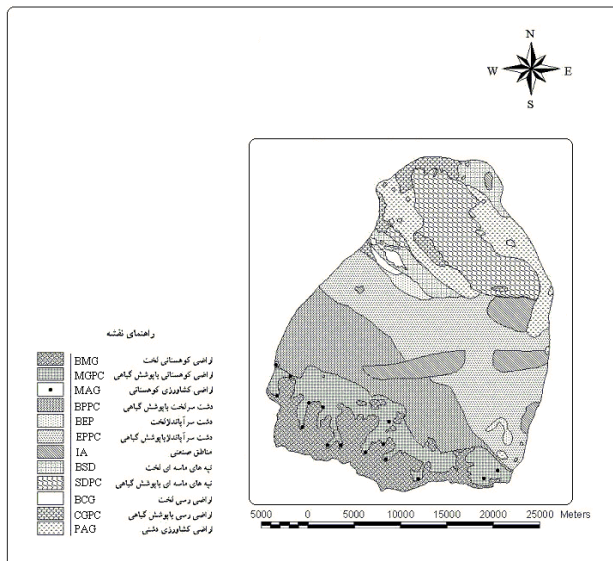
برای تهیه لایه نهایی پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی، لایه‌های مذکور در قالب مدل تاکسونومی توسعه یافته تلفیق شد، نتایج حاصله نشان داد واحدهای تپه‌های ماسه - ای با پوشش گیاهی (SDPC)، اراضی رسی لخت (BCG) و



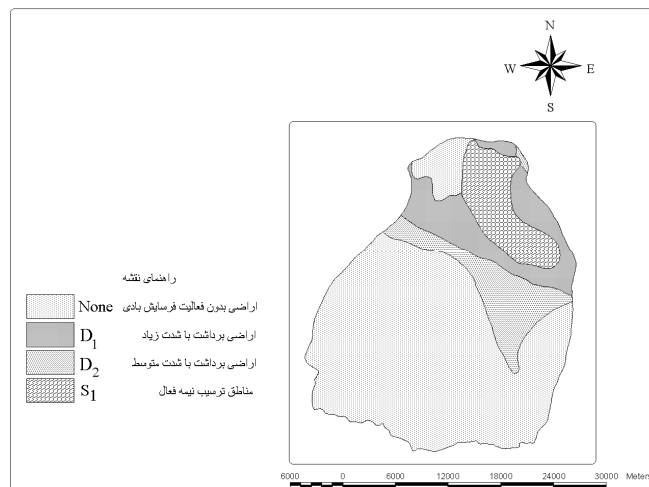
شکل 1 - موقعیت جغرافیایی منطقه خضرآباد

جدول 1- طبقه‌بندی واحدهای کاری از لحاظ شدت فرسایش بادی

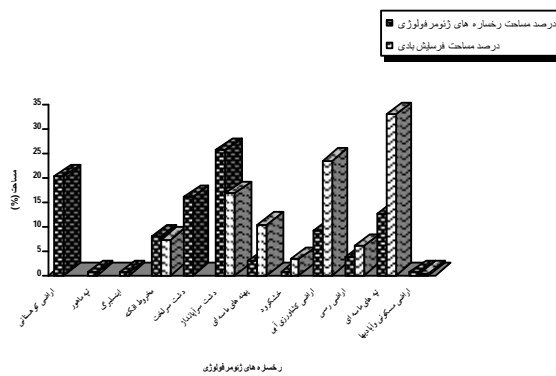
علائم	شدت فرسایش بادی (EI)	طبقات شدت (CLASS)	کم (ناچیز)
I	0 - 0/25	low	متوسط
II	0/26-0/ 50	moderate	شدید
III	0/51-0/75	intense	خیلی شدید
IV	0/76 - 1	very intense	



شکل 2 - نقشه واحدهای کاری منطقه خضرباد



شکل 3- پراکندگی فعالیت فرسایش بادی بر مبنای پراکنش رخساره‌های فرسایشی در حوضه خضرباد



شکل 4- مقایسه‌ای مساحت طبقات رخساره‌های مورفولوژی با مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی

جدول 2 – امتیازدهی شاخص‌ها در مقیاس واحد

شدت فرسایش شاخص ارزیابی (متغیرها)(I)	آرام (3 - 1)	متوسط (5 - 3/1)	شدید (7 - 5/1)	بسیار شدید (9 - 7/1)
تغییرات ارتفاع	>1400	1300-1400	1200-1300	<1200
ژئومرفولوژی	منطقه کوهستانی و تپه ماهوری با پستی و بلندی زیاد و دشت سر لخت با پوشش خاکی ناچیز و رخنمون سنگی و فرسایش خندقی	اراضی با رسوبات منفصل درشت و متوسط همانند مخروط افکنه ها و بسترهای خشک‌رود با پستی و بلندی متوسط	تپه ها و پهنه های ماسه ای و اراضی کشاورزی دشت سر آپانداژ و نسبتاً هموار	اراضی هموار رسی و رسوبات آبرفتی جوان با آثار فرسایشی همانند کلوتک و یاردانگ
واحدهای سنگ شناسی	آهک، آندزیت، دایک، شیل سبز، ماسه سنگ، تراکیت، دولومیت، سیلت	آبرفت جدید	تپه‌های ماسه‌ای	تراسه‌های قدیمی
خاک	خاک‌های تیپ کوهستان (M) خاک‌های تیپ دشت سر لخت (BP)	-	خاک‌های تیپ دشت سر آپانداژ با شیب کم (EP ₁)	خاک‌های تیپ دشت سر آپانداژ با شیب بسیار کم (EP ₂) خاک‌های ماسه‌ای (C)
پوشش گیاهی	تیپ درمنه - بوه شور (A.Sa) تیپ طارون چرخه (C.La) تیپ درمنه - قلم (A.Fo)	تیپ درمنه - جارو (A.Sc) اراضی لخت تاغ کاری شده (Hal/B.L)	تپه‌های ماسه‌ای تاغ کاری شده (Hal/S.D)	تیپ درمنه - کوزینیا (A.Co)
کاربری اراضی	اراضی لخت کوهستانی و تپه ماهوری B(M&H) چراگاه فصلی (PL)	اراضی لخت و بایر (B) مناطق صنعتی (I) تپه‌های ماسه‌ای لخت (B(S.D))	اراضی کشاورزی آبی (A(I)) کشاورزی و صنعتی (A(I),I)	تپه‌های ماسه‌ای با پوشش گیاهی (P(S.D)) اراضی مرتعی و کشاورزی آبی (PL,A(I))

جدول 3 - ارزش هر شاخص در هر واحد کاری

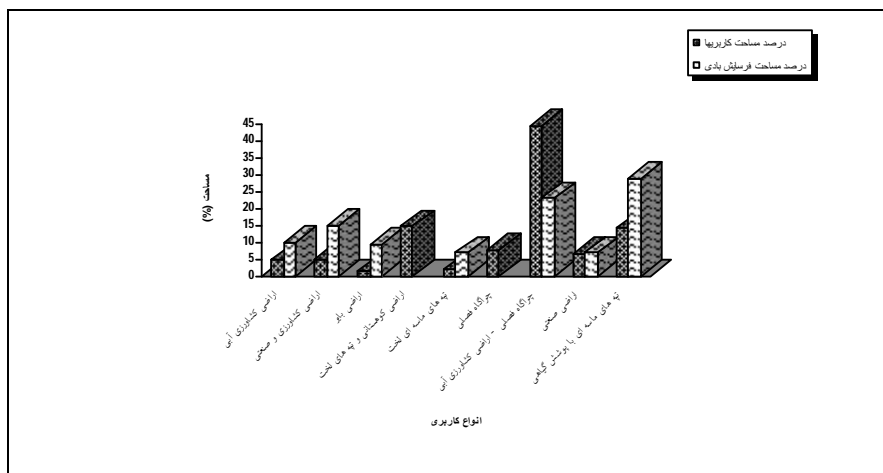
شاخص (I _i)	تغییرات ارتفاع	ژنومرفولوژی	واحد‌های سنگ شناسی	خاک	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	واحد کاری
							▼ (TMU)
	1	1	1	1	4	2	(BMG)
	2	1	5	2	2	3	(MGPC)
	4	2	8	3	6	4	(BPPC)
	7	8	9	7	3	3	(BEP)
	6	6	9	6	8	4	(EPPC)
	8	7	9	8	5	6	(PAG)
	8	9	9	8	6	8	(CGPC)
	8	9	9	9	4	8	(BCG)
	9	8	7	9	2	4	(BSD)
	8	8	7	9	7	9	(SDPC)
	6	6	5	6	7	5	(IA)
	2	1	3	2	2	5	(MAG)
	1	1	1	1	2	2	D _{oij}

در این جدول: (BMG): واحد کاری اراضی کوهستانی لخت، (MGPC): واحد کاری اراضی کوهستانی با پوشش گیاهی، (MAG): واحد کاری اراضی کشاورزی کوهستانی، (BPPC): واحد کاری دشت سر لخت با پوشش گیاهی، (BEP): واحد کاری دشت سرآب‌انداز لخت، (EPPC): واحد کاری دشت سرآب‌انداز با پوشش، (IA): واحد کاری نواحی صنعتی، (BSD): واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای لخت، (SDPC): واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای با پوشش، (BCG): واحد کاری اراضی رسی لخت، (CGPC): واحد کاری اراضی رسی با پوشش گیاهی، (PAG): واحد کاری اراضی کشاورزی دشتی، می‌باشند.

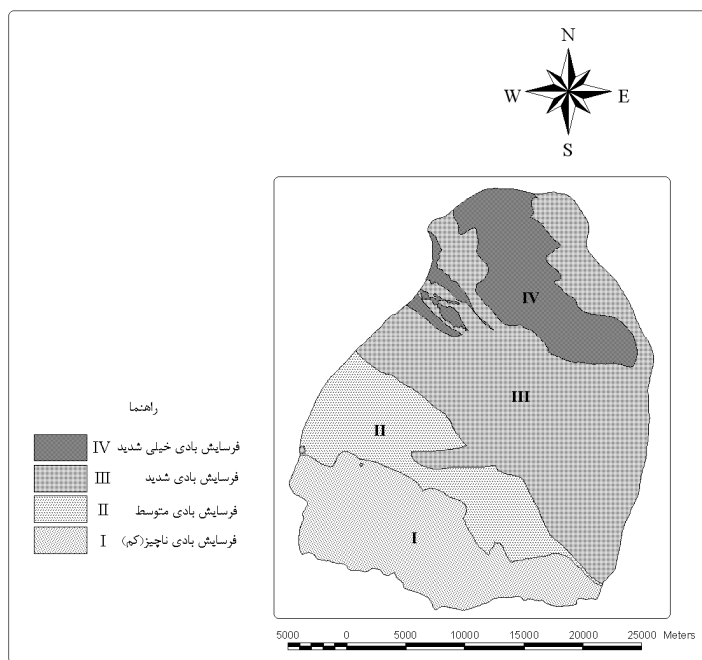
جدول 4 - شدت فرسایش بادی در واحد های کاری

واحد کاری ▼	$\sum (a_{ij} - D_{oj})^2$	$C_{io} = \sqrt{\sum_{j=1, i=1}^{n,m} (a_{ij} - D_{oj})^2}$	شدت فرسایش (Fi)	طبقات شدت	علائم
(BMG)	4	2	0/09	کم	I
(MGPC)	19	4/35	0/20	کم	I
(BPPC)	83	9/11	0/41	متوسط	II
(BEP)	187	13/67	0/62	شدید	III
(EPPC)	179	13/37	0/61	شدید	III
(PAG)	223	14/93	0/68	شدید	III
(CGPC)	278	16/67	0/76	خیلی شدید	III
(BCG)	281	16/76	0/76	خیلی شدید	III
(BSD)	217	14/73	0/67	شدید	III
(SDPC)	287	16/94	0/77	خیلی شدید	IV
(IA)	125	11/18	0/51	شدید	III
(MAG)	16	4	0/18	کم	II

در این جدول: (BMG): واحد کاری اراضی کوهستانی لخت، (MGPC): واحد کاری اراضی کوهستانی با پوشش گیاهی، (MAG): واحد کاری اراضی کشاورزی کوهستانی، (BPPC): واحد کاری دشت سر لخت با پوشش گیاهی، (BEP): واحد کاری دشت سرآب‌انداز لخت، (EPPC): واحد کاری دشت سرآب‌انداز با پوشش، (IA): واحد کاری نواحی صنعتی، (BSD): واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای لخت، (SDPC): واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای با پوشش، (BCG): واحد کاری اراضی رسی لخت، (CGPC): واحد کاری اراضی رسی با پوشش گیاهی، (PAG): واحد کاری اراضی کشاورزی دشتی، می‌باشند.



شکل 5- مقایسه‌ی مساحت کاربری اراضی با مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی



شکل 6 - پهنه بندی پتانسیل خطر فرسایش بادی در حوضه خضرآباد

فهرست منابع:

1. آذر، ع. و ع. رجب زاده. 1381. تصمیم‌گیری کاربردی (رویکرد MADM). انتشارات نگاه، تهران.
2. احمدی، ح. 1384. ژنومرفولوژی کاربردی، بیابان و فرسایش بادی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
3. اختصاصی، م. ر. و ح. احمدی. 1375. روش تجربی برآورد رسوب فرسایش بادی. دومین همایش ملی بیابانزایی و روش‌های مختلف بیابانزدایی، اول و دوم شهریورماه، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، کرمان.
4. اختصاصی، م. ر. و ح. احمدی. 1376. روش تجربی برآورد رسوب فرسایش بادی. مجله منابع طبیعی ایران. شماره 51، صفحات 13 تا 25.

5. مرکز ملی بیابانزدایی. 1385. مطالعات شناسائی کانونهای بحرانی فرسایش بادی و تعیین اولویت‌های اجرایی استان یزد- شهرستان صدوق. گزارش طرح تحقیقاتی، انتشارات جهاد کشاورزی استان یزد، یزد.
6. زهتابیان، غ. ر. و م. ر. جوادی. 1386. بررسی اثرات فرسایش بادی روی افزایش شدت بیابانزایی و ارائه مدل منطقه‌ای بیابانزایی در حوضه ماهان. مجله پژوهش و سازندگی، شماره 73، ص. 65 تا 70.
7. صادقی روش، م. ح. 1387. بررسی عوامل تأثیرگذار بیابانزایی در تخریب محیط زیست، رساله دکتری، واحد علوم و تحقیقات تهران. دانشگاه آزاد، 395 صفحه.
8. قهرودی تالی، م. 1383. کاربرد Arc View در ژئو مرفولوژی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم، تهران.
9. Azarkar, S.M., H. Ahmadi, N. Khorasani, and M. Karami. 2006. Investigating the relationship between wind erosion and value of animal habitats in desert areas. *J. Environment Science and Technology*, 2(4):387-393.
10. Chepil, W S and N P. Woodruff. 1954. Estimation of wind erodibility of field surfaces. *J. Soil and Water Conservation*, 9(6): 256-265.
11. Dong, Z., X. Wang and L. Liu. 2000. Wind erosion in arid and semi-arid China: an overview. *J. Soil and Water Conservation*, 55(2): 439-444.
12. Jafari, M., M. Nasri, M. H. Shameli, M. Jafari, and M. Jafari. 2009. Management of saxaul-plot (*Haloxylon* sp.) lands in desert areas using GIS technique and field assessments (case study: Aran and Bidgol region, Iran). *J. Human and Social Sciences*, 4(7):524-532.
13. Lillesand, T M., and R W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York.
14. Sadeghi Ravesh, M H., H. Ahmadi, G R. Zehtabian and M. Rehayi Khoram. 2009. Development of the Numerical Taxonomy Model to Assess Desertification: An example of modeling intensity in central Iran. *J. Philipp Agric Scientist*, 92(2): 213- 227.
15. Sepehr, A., A M. Hassanli, M R. Ekhtesasi and J B. Jamali. 2007. Quantitative assessment of desertification in South of Iran using MEDALUS method, *J. Environmental Monitoring and Assessment*, 134(2): 243-254.
16. Woodruff, N.P, and F.H. Siddoway. 1965. A wind e rosion equation. *Soil Sci. SOC. Am. Proc.*, 29:602-608