

جغرافیا و توسعه شماره ۲۷ تابستان ۱۳۹۱

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۷/۱۳

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۲/۲۰

صفحات: ۱۴۰ - ۱۲۷

ارزیابی فرسایش و رسوبات بادی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه‌ی زهک دشت سیستان

دکتر احمد پهلوانروی^۱

چکیده

تاکنون روش‌های زیادی جهت برآورد میزان شدت بیابان‌زایی در نقاط مختلف دنیا ارائه شده است. در همین راستا به دلیل منطبق نبودن مدل‌های ارائه شده توسط کارشناسان در سایر کشورها با شرایط اقلیمی کشورمان در سال ۱۳۷۵ مدل تجربی IRIFR.E.A توسط محققان کشورمان تدوین و ارائه گشته است. در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از مدل نام برده شده میزان تخریب اراضی در سطحی برابر با ۴۸۲۱۹ هکتار برآورد و نقشه‌ی خطر بیابان‌زایی منطقه ترسیم شود، برای این کار ابتدا با بررسی شرایط منطقه بر اساس بازدیدهای میدانی، عوامل مؤثر بر روند تخریب اراضی شناسایی شده است. این عوامل شامل سازند زمین‌شناسی منطقه، 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 می‌باشد. با استفاده از جداول ارزیابی مدل مورد استفاده، میزان تأثیر هر عامل بر روند بیابان شدن منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در همین راستا نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد منطقه‌ی مورد مطالعه در طبقه‌های بیابان‌زایی متوسط، شدید و خیلی شدید قرار گرفته است. همچنین نتایج نشان می‌دهند از کل منطقه‌ی مورد مطالعه ۵۹/۴ درصد معادل ۲۸۶۴۲ هکتار در طبقه بیابان‌زایی شدید، ۴۰/۶ درصد ۱۹۵۷۷ هکتار در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد از میان عوامل مؤثر بر فرآیند بیابان‌زایی مدیریت کاربری اراضی و اقلیم با کسب بیشترین میزان امتیاز به عنوان مهمترین عوامل مؤثر بر فرآیند بیابان‌زایی شناخته شدند.

کلیدواژه‌ها: بیابان‌زایی، فرسایش بادی، مدل IRIFR.E.A، دشت سیستان.

مقدمه

طبق نظریه‌ی گلنتس واژه‌ی بیابان‌زایی در حدود یکصد تعریف دارد (Glantz, 1977: 26). نقطه‌ی مشترک در همه این تعریف‌ها تخریب شدید محیط بر اثر فرآیند بیابان‌زایی است. برخی از این تعریف‌ها عبارتند از: تخریب اکوسیستم (Reining, 1978: 56)، تخریب گونه‌های گیاهی (Le Houerou, 1975: 23)، کاهش تولید اکوسیستم (Hare, 1977: 14) و کاهش تولید بیولوژیک (Kovda, 1980: 34). هر کدام از تعریف‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییر اکوسیستم از وضعیت مطلوب به وضعیت نامطلوب و کاهش تولید بیولوژیکی می‌باشد. در کنفرانس محیط زیست و توسعه‌ی سازمان ملل متحد در ریودوژانیرو در سال ۱۹۹۲ مفهوم بیابان‌زایی^۱ بدین صورت مطرح شد: بیابان‌زایی عبارت است از: تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب در اثر فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی. در حال حاضر بیابان‌زایی به عنوان یک معضل جدی دامنگیر بسیاری از کشورهای جهان می‌باشد. توجه به مقوله بیابان‌زایی برای کشوری همچون ایران که حدود ۸۰ میلیون هکتار آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک فرا گرفته، ضرورتی انکارناپذیر است (رفاهی، ۱۳۸۵: ۸). با توجه به اینکه ۱۲ میلیون هکتار از این سطح را ماسه‌های روان اشغال کرده است. ۶ میلیون هکتار آن را تپه‌های ماسه‌ای فعال تشکیل می‌دهند (رفاهی، ۱۳۸۵: ۸).

مدل‌های چندی جهت برآورد میزان شدت بیابان‌زایی تاکنون در نقاط مختلف دنیا ارائه شده است. مدل‌های ارائه شده خاص اقلیم منطقه‌های مورد مطالعه می‌باشند که در زیر به مواردی از این قبیل اشاره می‌شود. کمیسیون اروپا اقدام به تحقیقی جامع در این زمینه نمود و پروژه‌ای تحت عنوان MEDALUS^۲ معرفی نمود

و در نهایت در سال ۱۹۹۹ مدل ESAs^۳ ارائه گردید (Kosmas et al, 1999: 61). بررسی حساسیت اراضی به تخریب با استفاده از مدل ESAs در جنوب غرب اسپانیا انجام شده، در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که نقشه‌ی بیابان‌زایی تهیه شده نسبت به سایر مدل‌ها بهتر و با شرایط طبیعی سازگارتر می‌باشد (Lavado et al, 2008: 142). کمیسیون اروپا به دنبال یک برنامه بین‌المللی برای تحقیق پیرامون بیابان‌زایی، تخریب اراضی و تخریب منابع آب بود.

در این تحقیق محققان به این نتیجه رسیدند اگر برای تلفیق نهایی نقشه‌ها از میانگین هندسی پارامترها استفاده شود نتیجه‌ی بهتری به دست خواهد آمد (Kosmas et al, 2003: 47). محققین با بررسی فرآیند بیابان‌زایی در دوره‌ی سی ساله در شمال چین به این نتیجه رسیدند که مهمترین فرایند بیابان‌زایی در ارتباط با تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد. در این تحقیق پژوهشگران مشخص کردند که فاکتور اقلیم به عنوان فاکتور کلیدی تغییرات اراضی می‌باشد. در این تحقیق مشخص شده از میان عوامل محیطی تغییرات بارندگی محلی و درجه حرارت مهمترین شاخص‌های تغییرات کاربری‌های اراضی می‌باشند (Yang et al, 2007: 11). کارشناسان با بررسی تأثیر انتخاب سیستم چرای بر روی فاکتور پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند برخی از استراتژی‌های چرای منجر به کاهش مداوم میزان پوشش گیاهی نسبت به دیگر سیستم‌ها چرای می‌شود. چنین مطالعاتی پیشنهادت پایه‌ای برای بهتر شدن عملیات چرای تحت سیستم بارندگی‌های متغیر می‌باشند (Emma R.M. Archer, 2004: 400).

محققان با بررسی یک دوره‌ی طولانی پوشش گیاهی جهت ارزیابی فرآیند بیابان‌زایی در شمال تونس به این نتیجه رسیدند تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی

(یوبی و حسینعلی زاده، ۱۳۸۶: ۳۷۷). محققین با برآورد میزان فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPCIAIC در حوضه آبخیز زیارت به این نتیجه رسیدند میزان رسوب تولیدی سالانه در حوضه آبخیز بر اساس مدل مورد استفاده برابر با ۲۲۰۴۳/۷۹ تن در سال می‌باشد (تاجگردون و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۲).

محققان با ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اراده مدل منطقه‌ای در حوضه آبخیز ماهان با تأکید بر فرسایش آبی به این نتیجه رسیدند که از میان عوامل مؤثر بر فرایند بیابان‌زایی عامل استعداد محیطی با کسب بیشترین میزان امتیاز به عنوان عامل اصلی مؤثر شناخته شده است (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۳).

پژوهشگران با بررسی و تهیه نقشه‌ی بیابان‌زایی در منطقه‌ی ورامین به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی بیابان‌زایی در منطقه‌ی مدیریت کاربری اراضی می‌باشد (زهتابیان و رفیعی‌امام، ۱۳۸۲: ۱۲۲). با بررسی وضعیت فعلی و گرایش فرایند بیابان‌زایی در منطقه‌ی عربی به این نتیجه رسیدند سیاست اشتباه مدیریت منابع از جمله چرای شدید، بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع آب و اراضی و جنگل تراشی از جمله عوامل اصلی تخریب در منابع و توسعه‌ی فرایند بیابان‌زایی شناخته شدند (Asma et al, 2002: 54). کارشناسان با بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی و پوشش سطح روی تخریب منابع در حوضه‌های آبخیز دریاچه‌ی کینگ‌های در چین به این نتیجه رسیدند که حوضه نام برده شدیداً آسیب‌پذیر و حساس به تغییرات اقلیم و مداخله‌های انسانی می‌باشد (Li et al, 2009: 79).

محققان 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 رطوبت‌هوا و کمترین میزان سرعت آستانه‌ی فرسایش مصادف با کمترین میزان رطوبت هوا بوده (Laura et al, 2009: 18).

در ۲۵ سال اخیر باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در واحدهای گیاهی و ساختار اکولوژیکی گیاهان شده (Hanafi and Jauffret, 2008: 570).

پژوهشگران با بررسی داده‌های ماهواره NOAA و بارندگی جهت ارزیابی تخریب اراضی در بوته‌زارهای خشک شمال استرالیا به این نتیجه رسیدند که ارتباط مناسبی بین سطح زمین و داده‌های ماهواره وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد رابطه‌ی چندان نزدیکی بین داده‌های ماهواره و میزان بارندگی قابل استفاده وجود ندارد (Alexander et al, 2003: 154). محققان با بررسی خصوصیات خاک و تأثیر آن بر فرایند پخش سیلاب در ایستگاه سرچاهان (هرمزگان) به این نتیجه رسیدند درصد شن در خاک مناطق متأثر از سیل و رسوب کمتر و درصد سیلت و رس در آن بیشتر می‌باشد. همچنین مشخص کردند پخش سیلاب آثار مفیدی بر برخی از خصوصیات خاک از جمله بافت خاک دارد (لطف‌الله زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۶۰). محققان با مقایسه‌ی روش‌های طبقه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی مناطق خشک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند که روش هیبرید (ترکیب طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده) با دقت کلی ۷۶/۴۲ درصد و ضریب کاپای ۷۲ درصد بالاترین میزان دقت را دارد (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳۴).

کارشناسان با اندازه‌گیری و تهیه‌ی نقشه‌ی جریان ماسه بادی به روش نصب تله رسوبگیر در دشت یزد و اردکان به این نتیجه رسیدند که بادهای با سرعت بیش از ۸/۵ متر بر ثانیه به عنوان شاخص حمل ماسه در منطقه‌ی مورد مطالعه شناخته شدند. دبی جریان ماسه بادی در بخشی از محدوده تپه‌های ماسه‌ای از ۱۷۵۰ کیلوگرم در واحد عرض یک متر در سال فراتر می‌رود (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۵: ۷۷۹). محققان با بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش زمین آمار و GIS در حوضه‌ی آبخیز مهر سبزواری به این نتیجه رسیدند حداقل و حداکثر میزان فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۹۱ است

جغرافیایی "61°30'00" تا "61°50'00" متوسط طول‌های شرقی و "30°47'00" تا "31°05'00" عرض‌های شمال قرار دارد.

مواد روش‌ها

فرسایش بادی به‌عنوان یکی از عوامل مهم بیابان‌زایی، همواره مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون محققان مدل‌های تجربی متنوعی را در خصوص برآورد شدت فرسایش و پتانسیل رسوبدهی در فرسایش آبی و بادی ارائه کرده‌اند تا در مناطقی که از نظر اطلاعات و آمار با کمبود مواجه است، مورد استفاده قرار گیرد. در برآورد مقدار و شدت فرسایش بادی به صورت مستقیم در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران ایستگاهی برای اندازه‌گیری رسوبات فرسایش بادی وجود ندارد. از این‌رو غالب روش‌های برآورد رسوب متکی به مدل‌های تجربی است که در بسیاری از موارد نیز خطای اندازه‌گیری دارد. از طرفی مدل‌های تجربی موجود نیز اغلب در مناطق بخصوصی ارزیابی می‌شوند و کاربرد این مدل‌ها در سایر مناطق باید با دقت صورت گیرد یا اصلاح و بازنگری شود. در بیشتر موارد فقط از مدل تجربی پسیاک در برآورد کل پتانسیل رسوبدهی اراضی استفاده شده است. در صورتی که این مدل بیانگر پتانسیل رسوبدهی فرسایش آبی است. این درحالی است که بیشتر عرصه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند. در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک شرق کشور، علاوه بر فرسایش آبی به علت اینکه بیشتر مدت از سال دارای فصل خشک است و دخالت‌های بیحد و مرز بشر در تخریب و تصرف عرصه‌های طبیعی، سبب شده پوشش گیاهی منطقه تا حد بسیار زیادی نابود شود، از این‌رو وجود بادهای فرساینده منطقه را مساعد فرسایش بادی ساخته و در بعضی از نقاط، مقدار خسارت نیز قابل توجه است، در نتیجه تعیین پتانسیل رسوبدهی ناشی از باد نیز اهمیت شایان توجهی دارد.

کارشناسان با استفاده از سیستم GIS و شبکه‌ی فازی توانستند نقشه‌ی فرسایش خاک را با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برای منطقه‌ای از چین طراحی کنند. در این تحقیق منطقه در شش کلاس طبقه‌بندی شده که شامل طبقه‌های غیر حساس تا شدیداً بحرانی می‌باشند (Zhu et al, 2009: 662).

با بررسی فرسایش خاک در اگان‌دای جنوبی با استفاده از مدل WEPP با تأکید بر فرسایش آبی به این نتیجه رسیدند که خصوصیات خاک متأثر از توپوگرافی منطقه بوده این ویژگی تأثیر مهمی بر روی فرآیند فرسایش خاک دارد. همچنین نشان دادند که بخش محدب و پشت شیب حساس‌ترین بخش دامنه به فرسایش می‌باشند (Brunner et al, 2008: 63). ارزیابی شوری‌زایی و ارتباط آن با فرآیند بیابان‌زایی در هند به وسیله (Singh, 2009: 380) به انجام رسیده و در این تحقیق نشان داده شده که مشکل شوری‌زایی در ۶/۷۳ میلیون هکتار گسترش دارد و همچنین نشان داده که ۳۰ تا ۸۴ درصد آب‌های زیرزمینی شمال غرب هندشور و مناسب آبیاری اراضی زراعی نیست (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۷). با برآورد و مقایسه پتانسیل رسوبدهی فرسایش بادی و آبی با استفاده از مدل‌های IRIFR.E.A^۱ و MPSIAC^۲ در منطقه‌ی نیمه‌خشک حوضه‌ی آبخیز نعمت‌آباد بیجار به این نتیجه رسیدند که مدل IRIFR.E.A 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 مؤثر است.

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شرق ایران واقع در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این عرصه با وسعت ۴۸۲۱۹ هکتار در شمال شرق دشت سیستان و موقعیت

ژئومورفولوژی. جدول زیر نه عامل مؤثر بر شدت فرسایش بادی را نشان می‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱: عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب

بر اساس مدل IRIFR

امتیاز	عامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب به روش IRIFR	ردیف
۰ - ۱۰	سنگ‌شناسی	۱
۰ - ۱۰	شکل اراضی و پستی بلندی	۲
۰ - ۲۰	سرعت و وضعیت باد	۳
۵ - ۱۵	خاک و پوشش سطح	۴
۵ - ۱۵	انبوهی پوشش گیاهی	۵
۰ - ۲۰	آثار فرسایش در سطح	۶
۰ - ۱۰	رطوبت خاک	۷
۰ - ۱۰	نوع و پراکنش نهشته‌های باد	۸
۵ - ۱۵	مدیریت کاربری اراضی	۹

مأخذ: نگارنده

بر این اساس مراحل طی شده به شرح زیر است:

تعیین و تفکیک نوع محیط‌های بیابانی

در این مرحله به کمک مطالعات پایه اعم از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، نقشه تیپ‌های گیاهی کلیه‌ی چشم‌اندازهای طبیعی و نهایتاً محیط‌های اصلی بیابانی تفکیک و علامت‌گذاری می‌شوند، برای این کار ابتدا محدوده‌ی منطقه را روی عکس‌های هوایی مشخص کرده و با استفاده از پردازش چشمی به وسیله‌ی استریوسکوپ واحدهای همگن را جدا کرده و به همراه نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، نقشه‌ی رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه را به دست آورده و با ترکیب نقشه رخساره به دست آمده با نقشه تیپ گیاهی نقشه واحدهای کاربری اراضی طراحی می‌شود.

تعیین پتانسیل رسوبدهی و شدت فرسایش‌پذیری

عوامل مؤثر در شدت فرسایش بادی در مدل IRIFR.E.A

عوامل نه‌گانه شامل سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، سرعت و وضعیت باد، عامل خاک و پوشش سطح آن،

از این رو بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه‌ی مورد مطالعه مدل IRIFR جهت ارزیابی تخریب اراضی انتخاب شده است. به طور کلی عوامل مؤثر بر تشدید فرسایش بادی در منطقه‌ی مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته عوامل انسانی و محیطی تقسیم نمود. عوامل محیطی عمدتاً ریشه در ساختار تغییرات اقلیمی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و ژئومورفولوژی دارد و از عوامل انسانی (مدیریتی) می‌توان به چرای بی‌رویه دام، بوته‌کشی، تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به زراعی، بهره‌برداری بی‌رویه و نامناسب از اراضی اعمال گردد. هر چند که جهت تعیین اولویت‌ها گاهی اوقات به آماربرداری و مقایسه پارامترهای مورد بررسی در دوره‌های زمانی مشخص نیاز است ولی تا زمان دستیابی به این شیوه‌ها می‌توان از اطلاعات و اظهارات مردم که با مشاهده و تجربه در طی سال‌های عمر خود در منطقه به دست آورده‌اند بهره گرفت. با توجه به موارد ذکر شده در این تحقیق جهت برآورد میزان شدت بیابان‌زایی از روش IRIFR.E.A ارائه شده توسط محققین کشورمان (اختصاصی-احمدی) استفاده شده (اختصاصی و/احمدی، ۱۳۷۵: ۱۵). مدل IRIFR مانند مدل PSIAC نقش و تأثیر نه عامل را در فرسایش بادی و میزان رسوبدهی ناشی از آن را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این روش که روشی جامع و کاربردی در تعیین منشأ رسوبات بادی است، در نقاط مختلف کشور مورد آزمایش قرار گرفته و بر اساس جواب مناسبی در جهت منشایابی تپه‌های ماسه‌ای به دست آمده، امروزه به عنوان یک روش بین‌المللی شناخته شده است.

این روش در دو مرحله انجام می‌گیرد:

اول جهت‌یابی مناطق برداشت شامل: جمع‌آوری اطلاعات منطقه از طریق پرسشنامه‌های محلی، بررسی و مقایسه‌ی عکس‌های هوایی، بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و بررسی رژیم باد و شناسایی بادهای غالب منطقه. دوم مکان‌یابی مناطق بحرانی برداشت رسوب که شامل: بررسی ژئومورفولوژی و شناسایی رخساره‌ها و نمونه‌برداری خاک سطحی از رخساره‌های

ناشی از آن دره‌ریک از واحدهای کاری و کل منطقه‌ی مورد مطالعه پس از تعیین عوامل مؤثر در فرسایش بادی به روش IRIFR و به دست آوردن جمع امتیازات (درجه رسوبدهی R)، از جدول (۳) استفاده می‌شود. با توجه به امتیازات به دست آمده در هر یک از واحدهای کاری رخساره‌های ژئومورفولوژیکی و انطباق کلیه اطلاعات موجود با رخساره‌های فوق‌الذکر که به عنوان بستر و پایه مطالعات مد نظر قرار گرفته است، نقشه حساسیت اراضی به فرسایش بادی حاصل شده است. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت اراضی به فرسایش بادی محدوده‌ی هر کلاس در کل منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از سیستم رقومی مشخص می‌شود.

برآورد میزان رسوبدهی ناشی از فرسایش بادی

در منطقه‌ی مطالعاتی با استفاده از مدل IRIFR

به منظور برآورد پتانسیل رسوبدهی فرسایش بادی در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از مدل IRIFR از رابطه ارائه شده بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب که در زیر آمده است استفاده به عمل آمده است:

$$QS = 41(EXP(0.05R))$$

که در آن QS میزان رسوبدهی سالانه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال و R درجه رسوبدهی (مجموعه امتیازات عوامل مؤثر بر فرسایش بادی) می‌باشد.

برای به دست آوردن درجه‌ی رسوبدهی R، در هر یک از رخساره‌های ژئومورفولوژی و کل عرصه‌ی مطالعاتی از مجموع امتیاز عوامل مؤثر در فرسایش بادی استخراج و با استفاده از رابطه‌ی بالا پتانسیل رسوبدهی ناشی از فرسایش بادی در آنها برآورد می‌گردد.

پوشش گیاهی، اشکال فرسایش سطح خاک، ارزیابی وضعیت فعلی فرسایش بادی و مدیریت و استفاده از زمین در سطح حوضه‌ی زهک مورد ارزیابی و نقش و تأثیر هر کدام از این عوامل در فرسایش تعیین شد.

تعیین امتیاز نه‌گانه مؤثر در فرسایش بادی

برای استفاده از مدل‌های تجربی در ارزیابی شدت فرسایش بادی معمولاً بین فرسایش‌پذیری خاک و عوامل مؤثر بر آن رابطه‌های برقرار است و نقش هر عامل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مدل مورد استفاده که برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران ارائه شده، به‌منظور کاربری روش مذکور به کمک انطباق نقشه‌های پایه مانند سازندهای زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شکل اراضی و پستی و بلندی، خاک-شناسی و قابلیت اراضی و سایر اطلاعات موجود از جمله وضعیت رطوبت، باد و وضعیت فرسایش سطحی با نقشه ژئومورفولوژی (به عنوان پایه و بستر مطالعات فرسایش بادی) در هر یک از رخساره‌های ژئومورفولوژی عوامل مؤثر مورد ارزیابی و امتیازدهی صورت گرفته. پس از تعیین شاخص‌های تعریف شده برای هر یک از عوامل بر اساس مدل IRIFR.E.A در سطح حوضه در هر یک از واحدهای کاری (به روش اختصاصی - احمدی) امتیازی تعلق گرفته و در نهایت اقدام به میانگین‌گیری به صورت وزنی برای هر یک از عوامل شد تا امتیاز هر یک از شاخص‌ها در حوضه‌ی مورد مطالعه تعیین شود.

تعیین کلاس فرسایشی و پتانسیل رسوبدهی

با توجه به مجموع امتیازهای عوامل نه‌گانه در سطح حوضه‌ی مورد بررسی و با استفاده از جدول ۲ (طراحی شده در مدل IRIFR.E.A) کلاس فرسایش بادی و رابطه‌ی بین درجه رسوبدهی و تولید رسوب، پتانسیل رسوبدهی در حوضه‌ی مورد مطالعه تعیین می‌شود. برای تعیین شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوبدهی

جدول ۲: تعیین امتیاز عوامل مؤثر بر فرآیند بیابان‌زایی بر اساس مدل IRIFR

عامل	کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
سنگ‌شناسی	سنگ‌های آذرین سخت با بافت یکنواخت، کوارتزیت و سنگ آهک	سنگ‌های با بافت دانه‌ای تسیتا سخت، گرانیت آرنیزه، ماسه سنگ، کنگلومرا درشت دانه با سیمان محکم و آبرفت درشت دانه	سنگ‌های با بافت دانه‌ای و شیست، شیل و کنگلومرای سست، مارن و آبرفت دانه‌ای متوسط دارای سنگریزه	آبرفت ریزدانه و فاقد سنگریزه، ماسه ساحلی- لس و نهشته- های بادی
شکل اراضی	منطقه کوهستانی و تخته- سنگی با پستی و بلندی زیاد و فاقد کریدورهای هدایت باد	منطقه کوهستانی تا تپه ماهوری با دامنه‌های منظم خاکدار و دره‌های توپوگرافی منطبق با جهت باد	دشت‌های پای‌کوهی، تراس‌های آبرفتی، مخروطه‌افکنه، واریزه با پستی و بلندی متوسط تا هموار و جهت عمومی باد منطبق با جهت شیب	دشت‌های نسبتاً هموار با پستی و بلندی محدود و تر از ۱۰ سانتیمتر، دشت‌های دامنه‌ای، دشت‌های سیلابی و شیب عمومی منطبق با جهت بادهای غالب و درصد آن کمتر از ۵٪ می‌باشد
باد	سرعت متوسط باد در تمام سال کمتر از ۴/۵ متر بر ثانیه در ارتفاع ده متری از سطح زمین می‌باشد، بادهای شدید فاقد گرد و خاک و غبار محلی و روزهای شن باد (باد با سرعت بیش از ۱۶ متر در ثانیه در ارتفاع ۱۰ متر) در منطقه ثبت نشده.	سرعت متوسط باد در کلیه ماه‌های سال بین ۴/۵-۵ متر بر ثانیه می‌باشد، بادهای شدید معمولاً گرد و خاک ولی غبارزا هستند و روزهای شن باد در بعضی از سال‌ها گزارش شده.	سرعت متوسط و یا وقوع باد لاقط در یک ماه از سال بین ۵-۵/۵ متر بر ثانیه می‌باشد، وقوع حداقل یک طوفان گرد و خاک در سال و روزهای شن باد یک تا پنج بار در سال گزارش شده است.	سرعت متوسط باد لاقط در یک ماه از سال بیش از ۵/۵ متر بر ثانیه می‌باشد، ثبت باد با سرعت بیش از ۷۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد، بادهای تند همواره بصورت طوفان و گرد و خاک است و روزهای شن باد بیش از پنج بار در سال گزارش شده است.
خاک	سطح خاک پوشیده از سنگریزه درشت (Reg) با تراکم بیش از ۶۰٪، سطح خاک کاملاً رسی و یا سیمانی شده بوسیله نمک (سطوح کویری)، خاکهای با پوشش سنگی و یا تخته سنگی مناطق کوهستانی و خاک همیشه مرطوب و تحت تأثیر کامل سفره آب زیرزمینی است.	سطح خاک با پوشش سنگفرش متوسط تا ریز با تراکم ۲۰-۶۰٪، سطح خاک نسبتاً سخت شده و بوسیله سیمان رس یا نمک، خاک‌های غیرحساس مناطق کوهستانی و خاک سطحی بیش از سه فصل از سال تحت تأثیر رطوبت حاشیه کویر، رودخانه‌دایمی، سواحل دریاها و یا ذوب برف‌ها و ریزش باران است.	سنگریزه‌های ۲ میلیمتری و کوچکتر با تراکم کمتر از ۴۰٪، بافت خاک شنی-رسی با چسبندگی متوسط تا کم، خاک سطحی بیش از ۲ فصل تحت تأثیر رطوبت قرار گرفته و بدلیل بافت سبک سریع خشک نمی‌شود، بستر رودخانه فصلی و موقت و سواحل دور از دریا	سطح خاک فاقد سنگریزه، بافت خاک لومی تا ماسه‌ای با ساختمان دانه‌ای و فاقد چسبندگی و خاک‌های کاملاً خشک با زهکشی سریع و فاقد چسبندگی ناشی از رطوبت و بیش از سه فصل از سال خشک است.
پوشش گیاهی	انبوه تاج پوشش گیاهی متأثر سطح خاک بیش از ۵۰٪ و با توزیع مناسب و یکنواخت.	انبوهی تاج پوشش گیاهی مؤثر سطح خاک ۳۰-۵۰٪ با توزیع یکنواخت تا غیر یکنواخت	انبوهی تاج پوشش گیاهی مؤثر ۲۰-۱۰٪ با توزیع غیریکنواخت و نوارهای عمود بر باد اصلی.	انبوه تاج پوشش گیاهی کمتر از ۱۰٪ با توزیع غیر یکنواخت.
فرسایش بادی	سطح خاک فاقد آثار فرسایش بادی	آثار فرسایش بادی محدود و بعضاً پوسته‌های شلجی شکل و یا نیکا در پای بوته‌ها دیده می‌شود.	آثار فرسایش بادی نسبتاً گسترده و شامل پوسته‌های شلجی شکل، بیرون‌زدگی ریشه و طوقه گیاه و همراه با رخساره نیکا	ظواهر فرسایش بادی کاملاً مشخص و شامل کلوت و یاردانگ، همراه بیرون‌زدگی ریشه و طوقه گیاهان و تل- ماسه‌های بادی فعال.
رطوبت خاک	خاک همیشه مرطوب و تحت تأثیر کامل سفره آب زیرزمینی است، کویر مرطوب و چسبناک	خاک سطحی بیش از سه فصل سال تحت تأثیر رطوبت حاشیه کویرها و رودخانه دائمی، سواحل دریاها و ذوب برف و ریش باران است	خاک سطحی بیش از دو فصل تحت تأثیر رطوبت قرار گرفته و به دلیل بافت سبک سریع خشک می‌شود، بستر رودخانه‌های فصلی و موقتی و سواحل دور از دریا	خاک‌های کاملاً خشک با زهکشی سریع و فاقد چسبندگی ناشی از رطوبت، بیش از سه فصل سال خاک خشک است
نهشته‌های بادی	در منطقه آثار نهشته‌های ماسه- بادی به صورت تل ماسه و یا تپه‌های ماسه‌ای حداقل به شعاع ۲۰	نهشته ماسه بادی بصورت تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال در محدوده ۲۰-۱۰ کیلومتری دیده می‌شود.	نهشته‌های ماسه بادی اعم از تپه‌های ماسه‌ای فعال و غیر فعال و یا ریپل مارک‌های مشخص در فاصله ۱۰-۵ کیلومتر دیده می‌شود.	یکی از انواع نهشته‌های ماسه بادی اعم از تپه‌های ماسه‌ای نیکا‌های مشخص، ریپل مارک در فاصله کمتر از ۵ کیلومتر دیده می‌شود.
مدیریت	اراضی مرتعی یا جنگلی تنک با بهره‌برداری بیش از ظرفیت، اراضی کشاورزی با کمتر از ۳ ماه آیش و یا باغ بدون بادشکن.	اراضی مرتعی یا جنگلی مخروطه با چرای بیش از ظرفیت (شدید)، اراضی کشاورزی با آیش بیش ۳ ماه و فاقد بادشکن.	اراضی لخت و بیابانی بدون پوشش گیاهی و یا پوشش محدود، اراضی زراعی متروکه و شخم خورده.	اراضی مرتعی یا جنگلی متراکم با مدیریت متناسب بهره- برداری، اراضی کشاورزی بدون آیش و یا باغات با رعایت بادشکن.

مأخذ: نگارنده

نتایج

نمایش داده شده است (شکل ۱). مشخصات رخساره‌های ژئومورفولوژیکی در جدول (۴) ارائه شده است.

با توجه بررسی‌های میدانی نقشه‌ی کاربری اراضی طراحی شده که شامل نه رخساره که در شکل زیر

جدول ۳: کلاس‌های فرسایش خاک و تولید رسوب بر اساس از مدل IRIFR

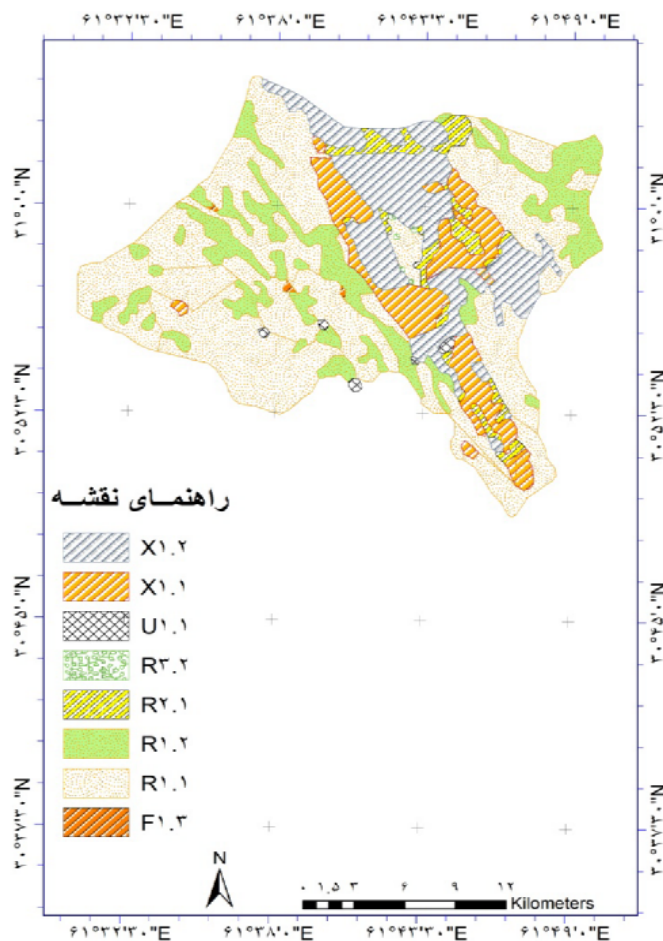
دامنه امتیاز IRIFR	تولید رسوب سالانه	شرح وضعیت	کلاس شدت فرسایش
0-25	250	غیر حساس	I
25-50	250-500	ناچیز	II
50-75	500-1500	متوسط	III
75-100	1500-6000	شدید	IV
100<	6000<	خیلی شدید	V

مأخذ: نگارنده

جدول ۴: واحدها، تیپ‌ها و رخساره‌های ژئومورفولوژیکی تفکیک شده در منطقه‌ی مورد مطالعه

علامت	نام و کد رخساره ژئومورفولوژی	نام و کد تیپ ژئومورفولوژی		نام و کد واحد ژئومورفولوژی		
		تیپ	کد	واحد	کد	
R1.1	اراضی کشاورزی در خشکسالی رها شده	دشت سرپوشیده	۱-۱	دشت سر	۱	
R1.2	مجموعه اراضی کشاورزی، اراضی رها شده و ماسه‌زارها					۱-۱-۱
R2.1	اراضی نامرغوب کشاورزی رها شده					۳-۱-۱
X1.1	تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای					۴-۱-۱
X1.2	تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای جنگل کاری شده					۵-۱-۱
U1.1	مناطق مسکونی					۶-۱-۱
R3.2	اراضی شور و پف کرده	جلگه رسی	۱-۲	پلایا	۲	
F1.3	پوسته خشک و سخت همراه با گزنی					۲-۱-۲

مأخذ: نگارنده



شکل ۱: نقشه‌ی واحدهای کاری به دست آمده از منطقه‌ی مورد مطالعه
مأخذ: نگارنده

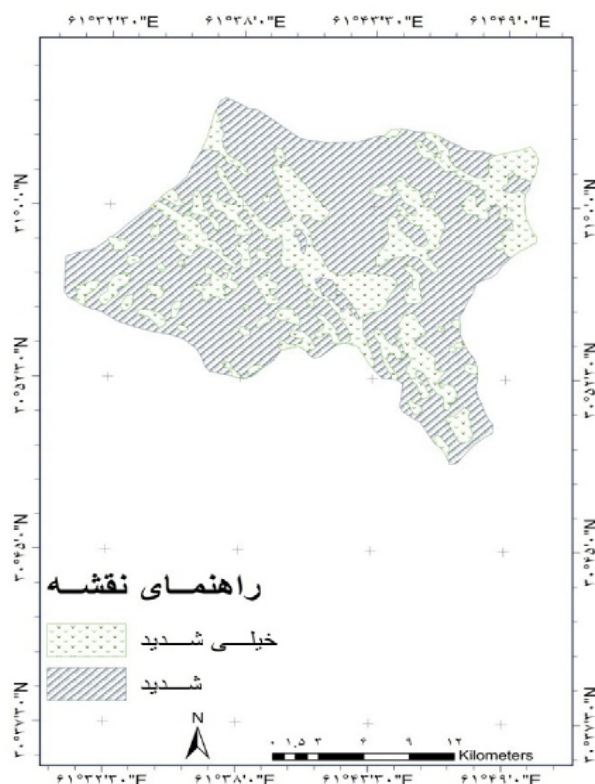
مورد مطالعه در کلاس‌های بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید قرار دارد و از کل منطقه مورد مطالعه ۵۹/۴ درصد معادل ۲۸۶۴۲ هکتار در طبقه بیابان‌زایی شدید، ۴۰/۶ درصد معادل ۱۹۵۷۷ هکتار در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارد. با توجه نتایج به دست آمده از این تحقیق و بازدیدهای به عمل آمده مناطقی که در کلاس بحرانی پایین قرار داشته می‌توان با اجرای طرح‌های بیولوژیکی و مکانیکی از پیشروی فرآیند بیابان‌زایی جلوگیری کرد. در غیر این صورت به علت شرایط خاص اقلیمی حاکم بر منطقه وضعیت این مناطق بحرانی‌تر خواهد شد.

بعد از مشخص شدن واحدهای همگن (نقشه‌ی کاربری اراضی) عوامل مورد نظر در هر واحد بر اساس جداول طراحی شده مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از ارزیابی و امتیازدهی به شاخص‌های مورد بررسی در روش مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه شده در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده از مراحل قبل نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی با استفاده از مدل IRIFR در منطقه‌ی مورد مطالعه مطابق شکل زیر به دست می‌آید (شکل ۲). نتایج حاصله از این تحقیق بیانگر این واقعیت می‌باشد که بیابان‌زایی در شکل فعال خود در منطقه به وقوع پیوسته و روند آن رو به گسترش می‌باشد. همچنین نشان می‌دهد که منطقه‌ی

جدول ۵: نتایج حاصل از ارزیابی عوامل مؤثر بر فرآیند بیابان‌زایی

مدیریت	نهبشته‌های بادی	رطوبت خاک	فرسایش بادی	پوشش گیاهی	خاک	وضعیت باد	شکل اراضی	سنگ‌شناسی	رخساره
13	9	7	14	4	13	20	10	8	R1.1
14	9	8/5	13	7	14	20	10	8/5	R1.2
5	9	6	12	6	14	20	10	9/4	R2.1
13	6	5	15	7/5	10	20	10	10	R3.2
15	8	10	20	7	15	20	9	9/5	X1.1
6	8/5	8	20	1	14	20	8/5	10	X1.2
5	4	9	10	3	12/5	20	10	8	U1.1
5	5	7	7	-4	14	20	10	8/5	F1.3

مأخذ: نگارنده



شکل ۲: نقشه کلاس‌های بیابان‌زایی به دست آمده از روش IRIFR در منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: نگارنده

می‌کند. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت اراضی به فرسایش بادی، محدوده‌ی هر کلاس در کل منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از سیستم رقوم‌ی محاسبه می‌گردد، محاسبه و درصد نسبی کلاس‌های فرسایش بادی در عرصه مورد مطالعه در جدول (۶) نمایش داده شده.

مناطق با طبقه شدید با مساحتی بالغ بر ۲۸۶۴۲ هکتار بیشترین درصد منطقه را به خود اختصاص داده که شامل اراضی شور و پف کرده و پوسته‌های سخت و خشک بدون پوشش گیاهی و همراه با نی می‌باشد. در صورت عدم مهار این مناطق به نواحی دیگر انتقال یافته و وضعیت منطقه را از شرایط حال بحرانی‌تر

جدول ۶: درصد مساحت مربوط به هر طبقه کلاسی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

درصد مساحت	مساحت منطقه	کلاس شدت فرسایش	شرح وضعیت	دامنه امتیاز IRIFR I
-	-	I	غیر حساس	0-25
-	-	II	ناچیز	25-50
-	-	III	متوسط	50-75
59/4	28642	IV	شدید	75-100
40/6	19577	V	خیلی شدید	100<

مأخذ: نگارنده

بحث و پیشنهادات

با توجه به ارزیابی عوامل مورد بررسی بر اساس روش IRIFR مشخص شده که واحد کاربری اراضی تپه‌های ماسه‌ای (کد واحد کاری $X_{1.1}$) با کسب بیشترین میزان امتیاز در بین رخساره‌های ژئومورفولوژی به عنوان بحرانی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه شناسایی شده، بر اساس جدول (۶) که بیانگر نتایج حاصل از روش IRIFR می‌باشد، مشخص شده که منطقه مورد بررسی در دو طبقه بیابانی شدید و خیلی شدید واقع شده. بر اساس این روش عامل اصلی بیابان‌زایی در منطقه سیستم بدون شک عوامل محیطی می‌باشند. چرا که در اغلب واحدهای کاری عوامل محیطی (وضعیت باد و فرسایش بادی) با کسب بیشترین میزان امتیاز به عنوان عامل اصلی بیابان‌زایی تشخیص داده شده است. در بین عوامل محیطی اقلیم بیشترین تأثیر را در وقوع این سناریو داشته است. به واقع نیز این گونه است که با وقوع خشکسالی‌های اقلیمی و هواشناسی از یک سو و تشدید خشکسالی دو سویه هیدرولوژیکی از سوی دیگر موجب شد تا بحران آب در منطقه شکل جدی‌تری به خود بگیرد و به دنبال خشک شدن دریاچه‌های هامون (پوزک، صابری، هیرمند) بستر دریاچه تبدیل به منبعی غنی برداشت ماسه و در نهایت تبدیل اراضی کشاورزی به منطقه رسوبگذاری یا ارگ (ERG) گردد.

به علت عوامل مخرب روی پوشش گیاهی از جمله چرای شدید و برداشت‌های بی‌رویه، تنوع گونه‌ای در منطقه چندان مشهود نمی‌باشد. آثار و شواهد موجود

بر اساس نتایج حاصل شده از برآورد میزان درجه رسوبدهی ناشی از فرسایش بادی مشخص شده که منطقه مورد مطالعه بطور کل از درجه رسوبدهی بالایی برخوردار می‌باشد. از میان کاربری اراضی مختلف، $X_{1.1}$ با کسب بیشترین میزان درجه رسوبدهی از میزان رسوب ویژه بالایی برخوردار می‌باشد. همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، میزان درجه رسوبدهی کاربری اراضی نام برده شده $113/5$ برآورد شده است. این میزان بر اساس رابطه زیر معادل ایجاد رسوب ویژه برابر با 11951 تن در کیلومترمربع در سال می‌باشد. با این وجود کاربری اراضی تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای ($X_{1.1}$) به عنوان بحرانی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است. دلیل این امر بافت کاملاً حساس خاک تشکیل دهنده تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد. بافت غالب خاک منطقه از دانه‌های ماسه‌ای تشکیل شده‌اند که با اندک جریان هوا به حرکت درآمده و باعث بروز مشکلاتی در پایین دست می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی میزان رسوبدهی در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷: نتایج حاصل از ارزیابی میزان رسوبدهی منطقه مورد مطالعه

رخساره ژئومورفولوژی	درجه رسوبدهی	رسوب ویژه (Ton/Km ² /year)
R1.1	98	5505/9
R1.2	104	7432/2
R2.1	91/4	3958/3
R3.2	96/5	5108
X1.1	113/5	11951
X1.2	96	4982
U1.1	81/5	2413
F1.3	69/5	1324/2
میانگین	93/8	4463

مأخذ: نگارنده

در منطقه بیانگر این واقعیت است که در گذشته‌ی نه چندان دور پوشش گیاهی منطقه غنی و از تنوع گونه‌ای بالایی برخوردار بوده به طوری که آثار و شواهد باقیمانده از جنگل‌های گز (*Tamarix stricta*) و نی‌زارهای انبوه و چمن‌زارهای فصلی (*Aeluropus littoralis*) مشاهده می‌شود. این واقعیت نشانگر آن است که در گذشته کلیماکس منطقه‌ی مورد مطالعه را گونه‌های فوق تشکیل داده و بر اثر مدیریت غلط از بین رفتند. در حال حاضر نبود پوشش گیاهی در برخی از کاربری‌های اراضی از جمله تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای، اراضی شور و پف‌کرده، اراضی نامرغوب کشاورزی رهاشده و مجموعه اراضی کشاورزی، اراضی رها شده و ماسه‌زارها باعث حساسیت بالای این بخش از منطقه نسبت به فرآیند بیابان‌زایی شده است. در نهایت وضعیت اقلیم منطقه با توجه به داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زابل، شرایط را در تمامی بخش‌های منطقه مستعد فرآیند بیابان‌زایی نموده، به گونه‌ای که این عامل به عنوان مهمترین عامل محدود کننده منطقه به حساب می‌آید. با توجه به بررسی به انجام رسیده در این تحقیق باید روش پیشنهاد شده در طرح، بر اساس معیارها و شاخص‌های مؤثر بر فرآیند بیابان‌زایی در سایر نقاط سیستان با شرایط مختلف به کار رود تا نقاط قوت و ضعف آن بیشتر آشکار شود. بر اساس نتایج حاصل شده از این تحقیق و بازدیدهای به عمل آمده از منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص شد، مدل مورد استفاده از کارآیی خوبی جهت برآورد میزان شدت بیابان‌زایی منطقه‌ی مورد مطالعه برخوردار است، چرا که سیمای واقعی بیابانی منطقه را به خوبی به تصویر کشیده و بیابانی بودن منطقه را به طور کاملاً مشخصی نمایش داده است. برای اینکه برنامه‌های حفاظت خاک با موفقیت بیشتری انجام گیرد، لازم است اطلاعاتی در مورد شدت فرسایش و عوامل مؤثر در آن داشته باشیم. باید در نظر داشت که معمولاً نمی‌توان عامل مشخصی

را به عنوان عامل اصلی فرسایش بادی در یک منطقه معرفی نمود، اما به منظور اجرای طرح‌های عمرانی با کمترین هزینه و بیشترین کارآیی باید عوامل اصلی در اولویت قرار گرفته شوند. در همین راستا با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۵) مشخص است که عوامل مدیریتی، باد و شرایط اقلیمی منطقه با کسب بیشترین میزان امتیاز بیشترین نقش را در تخریب اراضی دارد. بر این اساس توصیه می‌شود در مناطقی که شرایط احداث بادشکن وجود دارد به منظور جلوگیری از پیشرفت فرآیند تخریب اراضی اقدام به احداث بادشکن شود. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که کاربری اراضی $X_{1.1}$ که شامل اراضی تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای می‌باشد با کسب بیشترین میزان درجه رسوب‌دهی ($R=113/5$) بیشترین میزان تولید رسوب ویژه ($QS=11951$) را در منطقه داشته و به عنوان بحرانی‌ترین بخش منطقه از دیدگاه تولید رسوب شناخته شده. به علت اینکه منطقه‌ی مورد مطالعه به عنوان محدوده‌ی حمل و انتقال می‌باشد لذا پیشنهاد می‌شود به منظور جلوگیری هر چه بهتر از فرآیند بیابان‌زایی طرح‌های اجرایی در مناطق برداشت اجرا شوند. با توجه به مطالب ارائه شده در این اراضی با توجه به اینکه عامل اصلی تخریب باد می‌باشد، توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از روند پیشروی بیابان، اقدام به احداث بادشکن غیر زنده شود. این پیشنهاد صرفاً به عنوان مسکن عمل کرده و مشکل محدوده را حل نمی‌کند. با توجه به اینکه محدوده‌ی بحرانی منطقه‌ی مورد مطالعه در بستر خشک دریاچه هیرمند قرار گرفته پیشنهاد می‌شود به علت آبگیری این منطقه در فصول تر به همراه بادشکن‌های غیرزنده اقدام به تثبیت بیولوژیک با استفاده از گونه‌های بومی (اغلب گونه‌های گز) منطقه شود. میزان رسوبدهی ویژه در کل منطقه برابر با ۴۴۶۳ تن در کیلومتر مربع در سال می‌باشد. این میزان رسوب در کل منطقه‌ی مورد

- ۳- اختصاصی، محمدرضا؛ محمدرضا دانشور؛ محمد ابوالقاسمی؛ سادات فیض‌نیا؛ محمدعلی سارمی‌نائینی (۱۳۸۵). اندازه‌گیری و تهیه نقشه جریان ماسه بادی به روش نصب تله رسوبگیر (دشت یزد و اردکان)، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۹، شماره ۴.
- ۴- پروری اصل، سیدهدایت (۱۳۸۹). طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل فائو- یونپ در منطقه نیاتک سیستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل، دانشکده منابع طبیعی.
- ۵- تاجگردون، تکتیم؛ شمس‌اله ایوبی؛ شعبان‌شای جویباری (۱۳۸۷). برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPCIAAC (مطالعه موردی حوضه آبخیز زیارت). مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۷۹.
- ۶- رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۵). فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۷- زهتابیان، غلامرضا؛ محمدرضا جوادی؛ حسن احمدی؛ حسین آذرنیوند؛ احمد یزدان‌پناه (۱۳۸۶). ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اراده یک مدل منطقه‌ای در حوضه آبخیز ماهان (با تأکید بر فرسایش آبی). مجله منابع طبیعی. دوره ۶۰، شماره ۲.
- ۸- زهتابیان، غلامرضا؛ عمار رفیعی‌امام (۱۳۸۲). ESAs روشی جدید برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی، مجله بیابان. جلد ۸، شماره ۱.
- ۹- شهریاری، علیرضا؛ سیدهدایت پروری اصل؛ محمدجواد بهی (۱۳۸۸). مراحل تهیه نقشه بیابان‌زایی به روش ESAS. فصلنامه علمی، اجتماعی، اقتصادی جنگل و مرتع.
- ۱۰- فتاحی، محمدمهدی؛ علی‌اکبر نوروزی؛ سیدعلی خلخالی (۱۳۸۶). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی و تهیه نقشه‌ی استفاده از اراضی مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مجله پژوهش و سازندگی. جلد ۷۶.
- ۱۱- لطف‌الله‌زاده، دادور؛ محمد زارع مهرجوردی؛ کورش کمالی (۱۳۸۶). بررسی تأثیر پخش سیلاب بر برخی خصوصیات خاک در ایستگاه پخش سیلاب سرچاهان، مجله پژوهش و سازندگی. جلد ۷۶.

مطالعه معادل ۲۱۳۸۹۹۵ تن در سال محاسبه شده است. با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از تحقیق انجام شده در منطقه‌ی مورد مطالعه با تحقیق به انجام رسیده در منطقه‌ی نیمه‌خشک حوضه‌ی آبخیز نعمت‌آباد بیجار مشخص شده نتایج به دست آمده با توجه به شرایط بحرانی منطقه‌ی مورد مطالعه قابل قبول می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق میزان تولید رسوب منطقه را در صورت بحرانی تخمین زده و تا حدودی با شرایط منطقه سازگار می‌باشد. همچنین میزان شدت بیابان‌زایی را در کلاس‌های بحرانی تخمین زده است. با این وجود به این نتیجه پی می‌بریم که مدل مورد استفاده در منطقه‌ی مورد مطالعه نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. همچنین با مقایسه نتایج به دست آمده در منطقه‌ی مورد مطالعه با نتایج حاصل از تحقیقی که در منطقه‌ی نیاتک به انجام رسیده مشخص می‌شود در هر دو مورد عامل اصلی فرآیند بیابان‌زایی در منطقه‌ی سیستان از عوامل محیطی شناخته شده‌اند (پروری، ۱۳۸۹: ۷۲).

منابع

- ۱- اختصاصی، محمدرضا؛ حسن احمدی (۱۳۷۵). معرفی دو روش جدید برآورد رسوب در فرسایش بادی: اول روش تجربی و آنالیز منطقه‌ای سرعت IRIFR و دوم اندازه‌گیری غیرمستقیم کاربرد دستگاه W.E.meter برآورد رسوب فرسایش بادی تداوم باد، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان‌زایی و روش‌های مختلف بیابان‌زدایی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- ۲- احمدی، حسن؛ محمدرضا اختصاصی؛ نعمت‌اله همتی (۱۳۸۶). بررسی و مقایسه پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی و آبی با استفاده از مدل‌های IRIFR.E.A و MPSIAC در مناطق نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز نعمت‌آباد بیجار)، مجله منابع طبیعی ایران. دوره ۶۰، شماره ۱.

- 22- Kosmas, C, Tsara, M., Moustakas, N and Karavitis, C (2003). Identification of indicators for desertification. *Annals of Arid Zones*, Vol, 42; No, 3/4.
- 23- Kovda, V (1980). *Land aridization and drought control*, Boulder Westview Press.
- 24- Laura, A.D. and Daniel, E.B (2009). Threshold wind velocity susceptibility to wind erosion under variable climatic condition. *Land Degrad. Develop*, Vol, 20.
- 25- Lavado, C. J. F, Schnabel, S, Mezo Gutierrez, A.G and Pulido, F. M (2009). Mapping Sensitivity to land degradation Extremadura.SW Spain. *Land Degrad. Develop*, Vol, 20.
- 26- Le Houerou, H.N (1975). The nature and causes of desertification, In: *Proceedings of the IGU Meeting on Desertification*, Cambridge.
- 27- Li, X.Y, Ma, Y.J, Xu, H.Y, Wang, J.H. and Zhang, D.S (2009). Impact of land use and land cover change on environment degradation in lake QINGHAI watershed, northeast QINGHAI-TIBET plateau. *Land Degrad. Develop*, 20.
- 28- Reining, P (compiler) (1978). *A Handbook on Desertification Indicators: based on the Science Associations' Nairobi Seminar on Desertification*. Washington: American Association for the Advancement of Science.
- 29- Risser, P. G (1984). *Method for Inventory and monitoring vegetation litter and soil surface condition. Development strategies for range land management*. West view press, Bolder Colorado.
- 30- Singh, G (2009). Salinity related desertification and management strategies INDIAN experience. *Land Degrad. Develop*, Vol, 20.
- 31- Zhu, D, Wang, T.W, Cai, C.F, Li, L. and Shi, Z. H (2009). Large-scale assessment of soil erosion using a neuro-fuzzy model combined with GIS: A case study of HUBEI PROVINCE, CHINA. *Land Degrad. Develop*, 20.
- 12- Yang, X., Z. Ding., X. Fan., Z. Zhou., N. Ma (2007). Processes and mechanisms of desertification in northern China during the last 30 years, with a special reference to the Hunshandake Sandy Land, eastern Inner Mongolia. *catena* 71
- 13- Emma R.M. Archer (2004). Beyond the "climate versus grazing" impasse: using remote sensing to investigate the effects of grazing system choice on vegetation cover in the eastern Karoo. *Journal of Arid Environments* 57.
- 14- Hanafi, A. and S. Jauffret (2008). Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *Journal of Arid Environments* 72.
- 15- Alexander, M.H., W.C, Cridland., L.R, Michael (2003). The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia. *Remote sensing of environment* 85.
- 16- Asma, A.A., Anwar, Sh.A., Waleed, K.A., Nabil, A.E. and Mahmmod, A.R (2002). Desertification in the Arab Region: analysis of current status and trends. *Journal of Arid Environments*, Vol, 51.
- 17- Brunner, A.C., Park, S.J., Ruecker, G.R. and Vlek, P.L.G (2008). Erosion modeling approach to simulation the effect of land management options on soil loss by considering catenary soil development and farmers precipitation. *Land Degrad. Develop*, Vol, 19.
- 18- Glantz, M. H (1977). *Desertification: Environmental Degradation in and around Arid Lands*. Boulder, Westview Press.
- 19- Hare, F.K (1977). Connections between climate and desertification, *Environmental Conservation*, 4(2): 82.
- 20- Kosmas, C, Ferrara, A, Briasouli, H. and Imeson, A (1999). *Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification*. European commission.
- 21- Kosmas, C, Krikby, M and Geeson (1999). *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. Office for Official Publications of the European Communities. European communities.