



"مقاله پژوهشی"

بررسی میزان حساسیت بستر هامون صابری به پدیده بیابانزایی

کامیار شکوهی رازی^۱، محمد رحیمی^۲ و علی اصغر ذوالفقاری^۳

۱- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی دانشگاه کویر شناسی سمنان

۲- دانشیار دانشگاه کویر شناسی سمنان، (نویسنده مسوول: mrahimi@semnan.ac.ir)

۳- دانشیار دانشگاه سمنان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۱

صفحه: ۱۰۵ تا ۱۱۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: در دهه‌های اخیر با کاهش آورد رودخانه هیرمند از کشور افغانستان و در نتیجه خشک شدن دریاچه هامون و تداوم بادهای ۱۲۰ روزه، فراوانی طوفان‌های گردوغبار ایجاد شده از بستر تالاب بین‌المللی هامون بیشتر شده است. این طوفان‌ها مناطق گسترده‌ای از دشت سیستان تا زاهدان و منطقه‌ای در حدود ۲۰۰ کیلومترمربع در کشورهای افغانستان و پاکستان را در هم‌جواری مرز ایران تحت تأثیر قرار می‌دهد. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای طوفان‌های وقوع یافته شاخص در منطقه، بستر هامون صابری با وسعت حدود ۱۳۰۰ کیلومترمربع به‌عنوان وسیع‌ترین و اصلی‌ترین کانون برداشت ذرات گردوغبار در دشت سیستان معرفی شد که در آن تخریب زمین با تأثیر از عوامل طبیعی و انسانی صدمات جبران‌ناپذیری را به محیط‌زیست و جوامع انسانی باعث شده است. لذا انجام اقدامات کنترلی و پیشگیرانه در دو فاز برنامه‌ریزی و اجرا در این کانون برداشت ریز گرد مستلزم تعیین و طبقه‌بندی حساسیت به بیابان‌زایی این عرصه است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور تعیین میزان حساسیت بستر هامون صابری به پدیده بیابان‌زایی به دلیل سازگاری مناسب‌تر شاخص‌های مدل مدالوس با وضعیت طبیعی دشت سیستان و داده‌های موجود، از این مدل جامع جهت تعیین میزان حساسیت واحدهای کاری در سال ۱۳۹۵ استفاده شد. در این راستا ضمن در نظر گرفتن واحدهای ژئومورفولوژی به‌عنوان واحدهای کاری، وضعیت معیارهای پنج‌گانه کیفیت خاک، کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت اقلیم، کیفیت مدیریت و کیفیت فرسایش در آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با جمع‌بندی امتیازات وضعیت حساسیت واحدها کاری به فرسایش تعیین و نقشه‌های آن در نرم افزار Arcgis ترسیم شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از بررسی معیارها و جمع‌بندی امتیازات مدل نشان داد که با کاهش سطح آب و در نهایت خشک شدن کامل تالاب به دلیل تبخیر و تعرق در بازه زمانی مورد مطالعه کیفیت خاک و پوشش زمین به دلیل تجمع املاح در منطقه، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کرده است. این امر با توجه به وجود بادهای فرساینده شرایط را برای تخریب زمین و فرسایش خاک فراهم نموده، به‌گونه‌ای که واحد کاری QT3 در بستر تالاب که مناطقی مانند چونگ یکدست و ریگ را شامل می‌شود، با میانگین امتیازی ۱/۸۳ در کلاس چهار و وضعیت خیلی شدید و سایر واحدهای کاری با میانگین امتیاز ۱/۴۸ در کلاس سه و وضعیت کیفی شدید قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصله در برنامه‌ریزی برای مقابله با فرسایش بادی دشت سیستان و کلیه پروژه‌های اجرایی بیابان‌زدایی مدنظر می‌بایست واحدهای کاری QT3 با توجه به میزان بالای حساسیت به بیابان‌زایی نسبت به سایر واحدها در اولویت اقدام قرار گیرند تا به‌منظور مدیریت بحران فرسایش بادی بتوان در مدت‌زمان کوتاه‌تری به نتایج بهتر و اثربخشی بیشتری دست‌یافت.

واژه‌های کلیدی: سیستان، شدت فرسایش، گردوغبار، هامون صابری، هیرمند

مقدمه

زیست‌محیطی فراوانی را برای ساکنین منطقه به وجود آورده است. مجموع این عوامل سبب شده است که در دوره خشکی بستر دریاچه، موجب ایجاد مشکلات عدیده‌ای برای این دیار شود و هامون صابری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین مناطق برداشت ریز گرد‌ها در دشت سیستان اهمیت فراوانی در بررسی و مطالعه وضعیت فرسایش را دارا می‌باشد (۲۱).

یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین نیازهای مقابله با پدیده فرسایش بادی و ایجاد توفان‌های گردوغبار با توجه به محدودیت منابع مالی و زمانی، تعیین نقاط بحرانی و اولویت‌دار مقابله و پیشگیری است که می‌تواند اثربخشی اقدامات پیشگیرانه و تثبیتی را ارتقاء داده و صرف هزینه و زمان را کاهش دهد. در این تحقیق سعی شده با توجه به اینکه هامون صابری کانون اصلی برداشت قسمت زیادی از گردوغبار دشت سیستان است، شدت فرسایش در آن در دوره بعد از وقوع خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی توسط مدل مدالوس مورد ارزیابی قرار گیرد تا وضعیت واحدهای کاری مختلف از نظر شدت فرسایش مشخص و میزان تأثیر معیارهای مختلف بر روی پدیده فرسایش سطح این تالاب مورد ارزیابی قرار گیرد تا در نهایت امکان برنامه‌ریزی هدفمند بر اساس اولویت‌ها برای

سیستان سرزمینی خشک با نزولات جوی بسیار کم است به‌طوری‌که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین را که در حدود ۸۶۰ میلی‌متر است با متوسط بارندگی سالانه سیستان مقایسه کنیم، ملاحظه می‌شود که بارندگی در سیستان کمتر از یک دوازدهم متوسط بارندگی در سطح دنیا است که این موضوع اهمیت رودخانه بزرگ هیرمند را به‌عنوان منبع دائمی تأمین آب موردنیاز دشت سیستان نشان می‌دهد (۹).

در ۲۰ سال اخیر، کاهش آورد رودخانه هیرمند و در مقطعی قطع شدن آن باعث بروز بزرگ‌ترین مشکل زیست‌محیطی شرق ایران در دشت سیستان شده است. خشک شدن تالاب‌های بین‌المللی هامون به‌عنوان بزرگ‌ترین تالاب ایران خسارت‌های اقتصادی-اجتماعی فراوانی را برای مردم منطقه در برداشته است (۲۴). با خشک شدن دریاچه هامون دمای منطقه سیستان افزایش محسوسی داشته، که این خود باعث افزایش بیشتر تبخیر، تغییرات فشار و سرعت باد شده است. علاوه بر این، در دوره خشکی دریاچه هامون، رسوباتی که در طی سالیان دراز توسط رودخانه هیرمند در دریاچه رسوب کرده‌اند توسط باد به هوا برخاسته و خطرات

رفع مشکل کنترل طوفان‌های گردوغبار دشت سیستان فراهم گردد.

در خصوص بررسی شدت فرسایش در مناطق مختلف، مطالعات مختلفی صورت گرفته است و محققین همواره ارزیابی‌هایی را از میزان شدت فرسایش و معیارهای تأثیرگذار بر روی آن داشته‌اند ولی همواره اکثریت این تحقیقات به‌خصوص در منطقه سیستان بدون توجه به مناطق اولویت‌دار اقدام بوده که در نهایت تبدیل به نسخه‌ای کلی برای سیستان شده است. برای افزایش اثربخشی نتایج این تحقیقات نیاز است تا فرآیند تحقیق بر مبنای مناطق بحرانی و اولویت‌دار پیشگیری فراهم شود. از این رو با تعیین نقاط با حساسیت‌های مختلف به فرسایش در بستر هامون، می‌توان پیشنهادهای اجرایی و هدفمندی را با توجه به شرایط موجود ارائه کرد.

شهریاری و همکاران (۲۶) در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی تخریب سرزمین در منطقه سیستان با تأکید بر فرسایش بادی به بررسی وضعیت منطقه نیاتک با استفاده از مدل مدالوس پرداختند که نتایج نشان داد که فرآیند تخریب فراتر از حد استاندارد بوده و شامل کلاس‌های متوسط، زیاد و شدید می‌باشد. کلاس متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۵۹/۳ و ۳۱/۲ و ۹/۵ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌گردند. برآورد وضعیت آینده منطقه نشان داد که در آینده منطقه نیاتک در سه کلاس کم، متوسط و زیاد شدت تخریب سرزمین قرار می‌گیرد. حبیبی و همکاران (۱۲) در تحقیقی تحت عنوان بررسی شدت بیابان‌زایی در رخصاره‌های ژئومورفولوژی استان خوزستان با بهره‌مندی از مدل مدالوس پرداختند که نتایج نشان داد ۵۳/۷٪ از کل منطقه در کلاس بسیار شدید بیابان‌زایی، ۳۶/۳٪ در کلاس شدید بیابان‌زایی و ۹/۸٪ در کلاس متوسط از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفتند که منطبق با اراضی پف‌کرده و کویری، سطوح تپه ماسه‌ای، فرسایش آبراهه‌ای و مخروط‌افکنه، دشت ریگی و پادگانه آبرفتی می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها و معیارهای مختلف تأثیرگذار در بیابان‌زایی نشان داده است که مدیریت و سیاست با متوسط امتیاز ۱۷۶، پوشش گیاهی با متوسط امتیاز ۱۶۶/۸، فرسایش بادی با متوسط امتیاز ۱۶۴/۷۵، اقلیم با متوسط امتیاز ۱۶۲/۱۳، خاک با متوسط امتیاز ۱۴۵/۲۵ و فرسایش آبی با متوسط امتیاز ۱۳۲/۴ از عوامل تأثیرگذار بر بیابان‌زایی می‌باشند. ضمناً میانگین وزنی ارزش کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه بر اساس شش معیار موردبررسی $DS=155/7$ است که کلاس حساسیت به بیابان‌زایی برای کل منطقه بحرانی نوع (c3) برآورد گردید.

احمدی و همکاران (۱) از مدل مدالوس در بررسی تخریب سرزمین دشت کاشان استفاده نمودند. ایشان در مطالعه‌ی خود دریافتند که فرآیند تخریب منابع آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین فرآیند تخریب در منطقه مطرح بوده و پس‌از آن به ترتیب فرآیندهای اقلیم، مدیریت، پوشش گیاهی، فرسایش بادی، خاک و فرسایش آبی قرار دارند. قاسمی و همکاران (۱۰) وضعیت تخریب سرزمین منطقه پشت آب و شیب آب زابل را با استفاده از مدل مدالوس و با تأکید بر فرآیند آب‌وخاک موردبررسی قرار دادند. با توجه به دو معیار اصلی انتخاب‌شده

آب‌وخاک و نیز معیار کاربری اراضی، نقشه نهایی تخریب سرزمین نشان‌دهنده میزان شدید و بسیار شدید روند تخریب منطقه می‌باشد. معیار خاک با متوسط ۱/۶۸ و معیار آب با متوسط ۱/۶۳ هر دو در کلاس شدید تخریب سرزمین قرار می‌گیرند و از میان شاخص‌ها، راندمان آبیاری کمترین تأثیر در روند تخریب منطقه داشته است.

تقی‌پور و همکاران (۲۸) به تهیه نقشه خطر بیابان‌زایی با استفاده از روش مدالوس در جنوب غرب ایران پرداخته‌اند. بدین منظور از معیارهای شاخص کیفیت خاک، شاخص کیفیت مدیریت، شاخص کیفیت اقلیم، شاخص کیفیت پوشش گیاهی و شاخص کیفیت آب کشاورزی استفاده کرده، به این نتیجه رسیدند که ۲۴ درصد از منطقه مطالعاتی دارای حساسیت بالا نسبت به بیابان‌زایی می‌باشد. یغمائیان و همکاران (۳۰) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر تخریب زمین با استفاده از روش مدالوس و مدالوس اصلاح‌شده در حوضه سیاه‌پوش استان اردبیل با استفاده از چهار معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت و سیاست پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که معیارهای مدیریت و کیفیت اقلیم به ترتیب با متوسط وزنی ۱/۳۱ و ۱/۱۲ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. کادوویچ و همکاران (۱۵) به ارزیابی حساسیت زمین نسبت به بیابان‌زایی با استفاده از روش مدالوس در تپه‌های ماسه‌ای دلیالتو در صربستان با استفاده از چهار معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که ۸۱/۲۱ درصد از منطقه مطالعاتی در طبقه خطر بیابان‌زایی بحرانی قرار گرفته‌اند. فوزونی و همکاران (۸) با استفاده از روش مدالوس اصلاح‌شده به ارزیابی خطر بیابان‌زایی در دشت سیستان با استفاده از شش شاخص آب، اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که شاخص اقلیم با میانگین ۱/۳ و فرسایش بادی با میانگین ۱/۱۱ بیشترین تأثیر و در مقابل شاخص‌های خاک و آب کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی داشته‌اند. بخشنده مهر و همکاران (۴) به ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی در دشت سگری اصفهان با استفاده از روش مدالوس اصلاح‌شده پرداخته، بدین منظور از هفت معیار کیفی مشتمل بر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، آب زیرزمینی، فرسایش بادی، فرسایش آبی و مدیریت و سیاسی استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که دو درصد از مساحت منطقه در طبقه بیابان‌زایی متوسط، ۹۸ درصد در طبقه بیابان‌زایی شدید و ۱۹ درصد در طبقه بیابان‌زایی خیلی شدید قرار گرفته است و همچنین، معیارهای اقلیم و مدیریت و سیاست از مهم‌ترین عوامل در ایجاد بیابان در منطقه مطالعاتی شناخته‌شده‌اند. کاظمی نیا و همکاران (۱۷) در تحقیق تحت عنوان بررسی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس به بررسی وضعیت اراضی غرب اهواز پرداختند که نتایج نشان داد که ۱۱٪ منطقه در کلاس کم، ۳۰٪ در کلاس متوسط، ۲۵٪ در کلاس زیاد و ۲۹٪ در کلاس خیلی زیاد قرار دارد. معیار اقلیم با مقدار شاخص ۲/۶ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته که علت آن وزش بادهای شدید و افزایش تعداد روزهای طوفانی و گردوغباری است.

(۲۳) در ایتالیا به ارزیابی سیستم هشدار اولیه میزان حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با در بین سال‌های ۱۹۶۰ الی ۲۰۰۸ پرداختند که نتایج بررسی‌های آن‌ها افزایش آشکاری در میزان حساسیت حوضه مورد مطالعه به عوامل تخریب در طی ۳۱ سال گذشته نشان داد.

تحقیقات حاضر همواره تأثیر معیارهای محدودی را بر روی فرسایش و بیابان‌زایی بدون توجه به میزان تأثیرگذاری همه معیارها مورد ارزیابی قرار داده‌اند، درحالی‌که برای بررسی پدیده فرسایش و تهیه نسخه‌های مدیریتی، اجرایی و کنترلی می‌بایست تأثیر تمامی عوامل محیطی و انسانی را بر روی این پدیده مورد ارزیابی جامع قرار داد تا در شرایط کنونی که شاهد خشکی هیدرولوژیکی رودخانه هیرمند هستیم بتوان با بهره‌مندی از روش‌های مؤثر نسبت به کنترل مناطق بحرانی با توجه به شدت تأثیرگذاری معیارها عمل کنیم.

منطقه مورد مطالعه

تالاب بین‌المللی هامون یکی از تالاب‌های مهم دنیا و بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین در سراسر فلات ایران محسوب می‌شود که با مساحتی در حدود ۵۷۰۰ کیلومترمربع در دشت سیستان و شمال استان سیستان و بلوچستان و در محدوده طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی واقع گردیده است. این تالاب با دامنه عمقی ۱ تا ۵ متر در ناحیه کویری و بیابانی شرق کشور و انتهای حوزه آبخیز هیرمند قرار گرفته است که از سه بخش به نام‌های هامون پوزک در شمال شرقی، هامون صابری در شمال و هامون هیرمند در غرب و جنوب غربی سیستان تشکیل شده است. بخش وسیعی از هامون پوزک و قسمتی از هامون صابری در خاک افغانستان و مابقی هامون‌ها در خاک ایران قرار دارد. سطح هر یک از هامون‌ها بسته به میزان آب ورودی، فصول پر بارش، خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها تفاوت داشته و تابعی از آب جریان یافته در رودخانه هیرمند، خروجی پشت سدها و رودخانه‌های فصلی دیگر می‌باشد. اغلب در سال‌های پربابی و در فصل بهار بعد از بروز سیلاب رودخانه هیرمند و انشعابات آن، سه هامون به هم متصل شده و به شکل یک نعل اسب دیده می‌شود (۱۶). ارتفاع هامون صابری حدود ۴۷۵ متر از سطح دریا بوده و در فاصله ۲۷ کیلومتری شمال غربی شهرستان زابل واقع شده است (شکل ۱). عمق متوسط آن در مواقع پربابی ۵/۱ متر و در شرایط میان آبی و کم‌آبی ۱ متر تعیین شده است. این هامون در تاریخ ۱۹۷۵/۶/۲۳ به عنوان تالاب بین‌المللی تعیین و با شماره R 21۰۰۷ ثبت گردیده است. حدود ۵۹ درصد سطح آن در خاک ایران و بقیه متعلق به کشور افغانستان می‌باشد. با توجه به نوسانات آب، دیرتر از هامون هیرمند خشک شده و نسبت به آن ظرفیت آبی بیشتری دارد (۲۴). در داخل این هامون چند برکه با عمق بیشتر وجود دارد که عبارت‌اند از چونگ دراز، چونگ یکدست و چونگ ریگ که در مواقع کم‌آبی به مدت طولانی‌تری آب خود را حفظ می‌کنند. هامون صابری دیرتر از هامون هیرمند خشک شده و نسبت به آن از کیفیت آب بالاتری برخوردار هست، اما به دلیل بالا بودن غلظت مواد آلی (فضولات

زهتاییان و همکاران (۳۱) در تحقیقی به بررسی اثر معیار خاک در بیابان‌زایی حوزه حبله رود با استفاده از مدل مدالوس پرداختند که نتایج نشان داد که ۴/۱۶٪ منطقه در کلاس بیابان‌زایی با شدت کم تخریب منابع خاک قرار گرفته و اختلاف معناداری بین شاخص‌ها در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد و تنها ۰/۰۱ می‌باشد. توپا و همکاران (۷) حساسیت به بیابان‌زایی دو منطقه در کشور سنگال را با استفاده از روش اصلاح شده ESAS مورد بررسی قرار دادند و عامل اصلی حساسیت بحرانی به بیابان‌زایی در بخش شمالی منطقه را بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی ذکر کردند. آن‌ها در نهایت نقشه بیابان‌زایی توسعه یافته را ابزاری ارزشمند برای ترویج مدیریتی کارآمدتر از مناطق آسیب‌دیده و جهت‌یابی مؤثر برای سیاست‌های پیشگیری از بیابان‌زایی قلمداد کردند.

یانگ و همکاران (۲۹) بیابان‌زایی چین را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به اقلیم‌های مختلف می‌بایست روشی منحصر به آن منطقه را برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی بکار برد. گیوردانو و همکاران (۱۱) به منظور ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه سیسیل ایتالیا از مدل مدالوس استفاده نمودند. بدین ترتیب که پس از اصلاح و بازسازی آن با توجه به شرایط منطقه، چهار معیار خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی را که پارامترهای کلیدی بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی بودند را در نظر گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که در بیش از ۵۰ درصد منطقه حساسیت به بیابان‌زایی زیاد تا متوسط است.

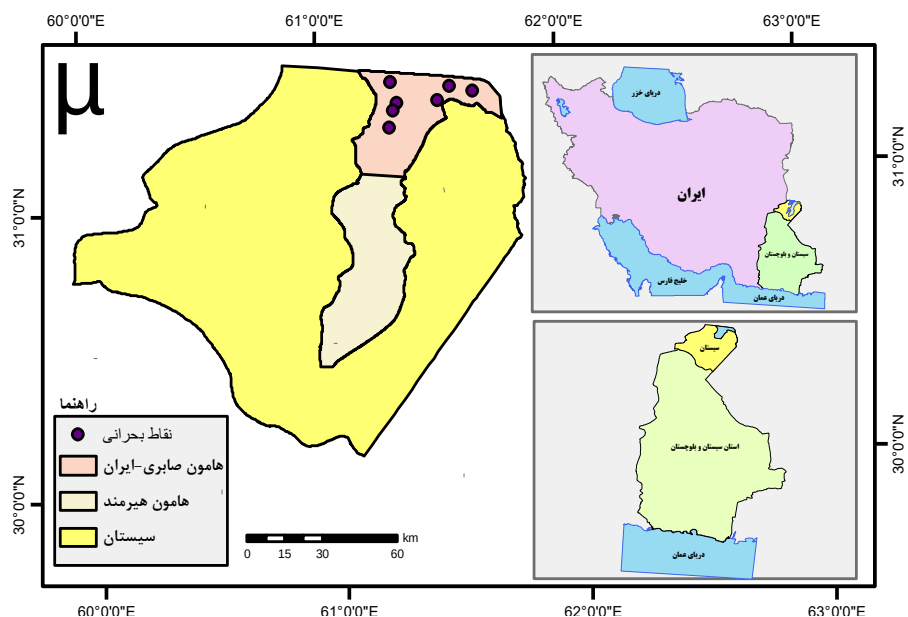
کوندا و همکاران (۱۸) به بررسی خطر بیابان‌زایی حوزه چو رو هندوستان با استفاده از مدل IMDPA با تأکید بر استفاده از سنجش‌ازدور پرداختند که نتایج نشان داد که قسمت‌هایی از حوزه چو رو که تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارند، دارای خطر بیابان‌زایی بالایی هستند. اسما و همکاران (۳) با بررسی وضعیت فعلی و گرایش فرایند بیابان‌زایی در غرب آسیا نتیجه گرفتند که سیاست غیر صحیح مدیریت منابع از جمله چرای شدید، بهره‌برداری بیش‌از اندازه منابع آب- اراضی و جنگل تراشی از جمله عوامل اصلی در تخریب منابع و توسعه فرایند بیابان‌زایی می‌باشند.

لاوادی و همکاران (۱۴) در بررسی حساسیت اراضی به تخریب در منطقه جنوب غرب اسپانیا از مدل ESAS استفاده کردند. نتایج نشان داد که نقشه بیابان‌زایی تهیه شده در این تحقیق نسبت به سایر مدل‌ها بهتر و با شرایط طبیعی سازگارتر می‌باشد.

دییائولا و همکاران (۵) به مطالعه هم‌زمان بیابان‌زایی و فرسایش خاک جنوب ایتالیا پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مدل‌های ESAS و RUSLE مناسب جهت مطالعه بیابان‌زایی هستند. لهلاویی و همکاران (۱۳) به ارزیابی خطر بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس در حوزه آبخیز اود در ماروکو با استفاده از معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و مدیریت پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که ۹۸ درصد از منطقه در طبقه حساسیت بالا قرار گرفته است. صلواتی و باجوکو

نمی‌باشد (۲۰).

حیوانی)، شیمیایی (فاضلاب‌های کشاورزی) و املاح، دارای استانداردهای لازم آشامیدن و حتی استفاده دام و کشاورزی

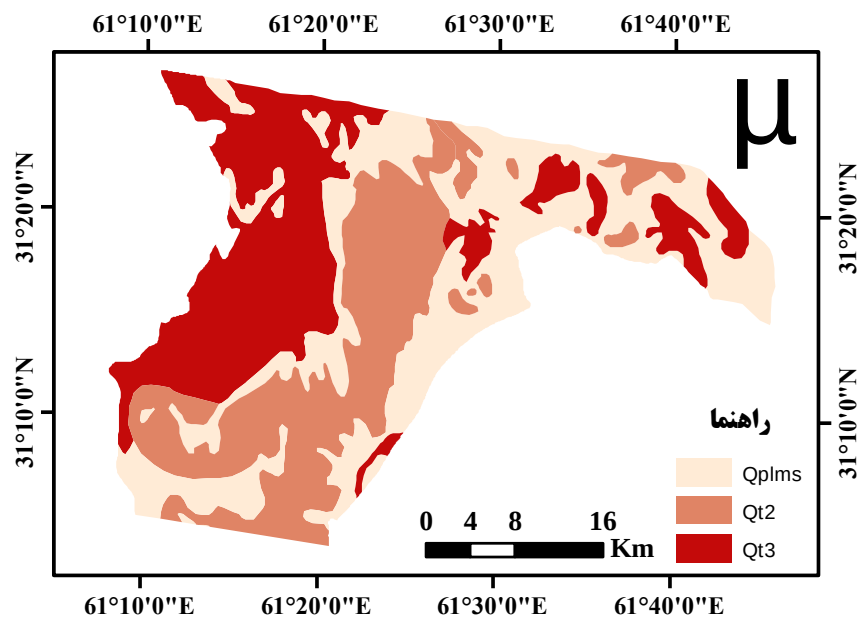


شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه
Figure 1. map of study area

مواد و روش‌ها

بررسی‌های گوناگون و برحسب سوابق و تطبیق‌پذیری معیارهای مدل مدالوس، این مدل جهت کمی‌سازی فرسایش در بستر هامون مورد استفاده قرار گرفت که دارای پنج معیار کلیدی کیفیت خاک، کیفیت اقلیم، کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت مدیریت و کیفیت فرسایش می‌باشد (۲) (جدول ۱). هر معیار دارای شاخص‌هایی است که در واقع لایه‌های اطلاعاتی آن معیار را تشکیل می‌دهند. جهت امتیازدهی به کلیه معیارها و کمی‌سازی شاخص‌ها نیاز است تا در ابتدا واحدهای کاری در بستر تالاب تعیین شود. در این راستا با توجه به روال مرسوم و یکنواختی این بستر در بسیاری از موارد در نهایت با استفاده از نقشه رقومی ژئومورفولوژی هامون که توسط پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون دانشگاه زابل تهیه شده است، واحدهای ژئومورفولوژی 'QT2' و 'QT3' و 'QPLMS' به‌عنوان واحدهای کاری در نظر گرفته شدند (شکل ۲).

جهت استفاده از مدل مدالوس در تعیین میزان حساسیت بستر تالاب هامون صابری به فرسایش می‌بایست در گام نخست محدوده این تالاب (بخش ایرانی) در دوره پربابی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS از روی تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۳۷۵) معین شود. در گام بعدی با استفاده از داده‌های دیده‌بانی ایستگاه سینوپتیک زابل زمان‌های وقوع طوفان‌های گردوغبار در بازده زمانی ده‌ساله ۸۵-۹۵ استخراج و ضمن بررسی مناطق برداشت، نقاط مشترک اصلی به‌عنوان کانون‌های اصلی برداشت در منطقه تعیین شد تا در نهایت با کلاس‌های فرسایشی روی هم اندازی شوند (شکل ۱). یکی از کلیدی‌ترین بخش‌های تحقیق تعیین وضعیت کمی و کیفی شدت فرسایش در بستر تالاب هامون صابری (بخش ایرانی) است. بدین منظور ضمن



شکل ۲- واحدهای کاری در محدوده مورد مطالعه
Figure 2. work unit in the study area

جدول ۱- معیارها و شاخص‌های مدل مدالوس

Table 1. Indicators in MEDALUS model

شاخص	معیار	ردیف
درصد پوشش سنگریزه، بافت خاک، عمق خاک، شوری، درصد شیب	وضعیت خاک	۱
بارندگی، تبخیر و تعرق، شاخص خشکی	وضعیت اقلیم	۲
خطر آتش‌سوزی، محافظت در برابر خشک‌سالی، دوام و پایداری در برابر فرسایش، درصد پوشش گیاهی	وضعیت پوشش گیاهی	۳
فشار جمعیت، تراکم و فشار چرا، سیاست‌های اجرایی، کاربری اراضی	وضعیت مدیریت و عامل انسانی	۴
فرسایش بادی	وضعیت فرسایش	۵

وضعیت خاک

در مدل مدالوس معیار وضعیت خاک توسط بررسی شاخص‌های بافت خاک، عمق خاک، شوری، شیب و درصد سنگریزه بررسی می‌شود. وضعیت شیب در محدوده مورد نظر از نقشه خطوط میزان تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور در نرم‌افزار ArcGIS معین و در نهایت متوسط شیب منطقه مورد مطالعه در هر واحد کاری تعیین و برحسب جدول وضعیت خاک مدالوس، امتیاز مربوطه منظور می‌شود (۶).

$$\frac{1}{5}(\text{شوری} * \text{عمق خاک} * \text{پوشش سنگریزه ای} * \text{شیب} * \text{بافت}) = \text{معیار کیفیت خاک}$$

وضعیت اقلیم

تغییر پارامترهای اقلیمی می‌تواند بر روی وضعیت شدت فرسایش بسیار متأثر باشد و با تشدید میزان فرسایش خاک موضوع شدت فرسایش را به عامل حاد منطقه مبدل کند؛ بنابراین بهتر است تغییر پارامترهای اقلیمی به عنوان یک عامل تأثیرگذار در معادلات برآورد شدت فرسایش در نظر گرفته شود. در مدل مدالوس با این دیدگاه یکی از معیارهای ارزیابی شدت فرسایش کیفیت اقلیم در نظر گرفته شده است (۱۷). کیفیت

در خصوص پوشش سنگریزه نیز بازدید میدانی از واحدهای کاری انجام گرفت. به منظور بررسی پارامتر شوری ۲۰ نمونه خاک به روش تصادفی برداشت و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت میزان شوری در هر واحد کاری مشخص شد. در نهایت جهت تعیین وضعیت معیار خاک امتیازات شاخص‌ها در هر واحد کاری طبق فرمول ذیل مشخص می‌شود. در گام بعدی اطلاعات به دست آمده در جدول هر واحد کاری در محیط ArcGIS وارد می‌شود تا در نهایت نقشه مربوط به وضعیت خاک تهیه شود.

اقلیم محدوده مورد نظر با بررسی سه شاخص بارندگی، تبخیر و تعرق و خشکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و از آنجایی که تنها ایستگاه سینوپتیک فعال و موجود در منطقه سیستان با فاصله ۱۳ کیلومتری از محدوده مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک زابل است از داده‌های این ایستگاه برای بررسی‌های اقلیمی مدل استفاده می‌شود. شاخص خشکی از تقسیم متوسط سالانه بارش بر متوسط قابلیت تبخیر و تعرق سالانه به دست می‌آید و سپس با توجه به جدول مربوطه کلاس خشکی منطقه مشخص

می‌شود. درنهایت با توجه به داده‌های ایستگاهی دو شاخص بارش و تبخیر و تعرق امتیازدهی می‌شوند تا مطابق فرمول ذیل،

امتیاز نهایی و وضعیت اقلیم مشخص شود.

$$\frac{1}{3}(\text{بارندگی} * \text{شاخص خشکی} * \text{تبخیر و تعرق}) = \text{معیار کیفیت اقلیم}$$

وضعیت پوشش گیاهی

پوشش گیاهی یکی از پارامترهایی است که بر روی میزان تخریب خاک نقش مؤثر و محدودکننده‌ای دارد. به گونه‌ای که با بهبود این وضعیت قاعدتاً میزان شدت فرسایش کاهش و با کاهش کیفیت آن میزان تخریب رفتار معکوس خواهد داشت. معیار وضعیت پوشش گیاهی در مدل مدالوس با بررسی چهار شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که شاخص‌های حفاظت در برابر فرسایش و مقابله در برابر خشک‌سالی با تعیین مراتع مشجر، بوته‌زار، مزارع و یا اراضی بایر و

لخت وضعیت آن‌ها از نظر کیفی مشخص می‌شوند. درصد پوشش گیاهی نیز خود متأثر از میزان درصد پوشش زمین توسط گیاهان بوده و خطر آتش‌سوزی نیز خود مانند سایر شاخص‌ها از میزان و نوع پوشش گیاهی سطح زمین تبعیت می‌کند (۶). درنهایت با استفاده از فرمول ذیل امتیاز کلی کیفیت پوشش گیاهی در هر واحد کاری مشخص می‌شود تا در تعیین کلاس تخریب زمین مورد استفاده قرار گیرد. در این مرحله کلیه امتیازات در جدول مربوطه در نرم‌افزار ArcGIS ثبت می‌شود تا امکان تهیه نقشه نیز فراهم شود.

$$\frac{1}{5}(\text{مقاومت در برابر خشک‌سالی} * \text{درصد پوشش} * \text{حفاظت در برابر فرسایش} * \text{خطر آتش‌سوزی}) = \text{حساسیت به فرسایش}$$

وضعیت مدیریت

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت فرسایش که همواره به عنوان عامل تشدیدکننده شناخته می‌شود فعالیت‌های انسانی است. در محیط‌های طبیعی این موضوع در قالب‌های مختلفی متبلور می‌شود ولی در مدل مدالوس با توجه نقش مهم این پارامتر، آن را در معیاری تحت عنوان وضعیت مدیریت گنجانده‌اند تا تأثیر این عامل در وضعیت شدت فرسایش در نظر گرفته شود. بررسی این معیار با استفاده از شاخص‌های کاربری اراضی، تراکم چرا، فشار جمعیت و سیاست‌های اجرایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تراکم چرا با استفاده از محاسبه شاخص AUM^۱ (ظرفیت علوفه‌ای) در محدوده مورد نظر تعیین می‌شود که با توجه به بررسی‌های به عمل آمده داده‌های مورد نیاز از اداره منابع طبیعی شهرستان زابل تهیه شده و شاخص سالانه AUM برای کل محدوده در نظر گرفته می‌شود. شاخص کاربری اراضی در هر یک از واحدهای کاری با استفاده از تفسیر بصری تصاویر ماهواره لندس ۷ (ETM+) از نظر نوع کاربری (اراضی

کشاورزی، مراتع فقیر، مراتع متوسط و مراتع خوب) در آن واحد کاری مشخص می‌شود. تعیین وضعیت شاخص سیاست‌های اجرایی نیازمند وجود اطلاعات میزان سطح محدوده‌های حفاظت شده می‌باشد. این اطلاعات با ریزنی‌های صورت گرفته از اداره حفاظت محیط‌زیست و همچنین منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان تهیه و در امتیازدهی سال‌های مختلف مدنظر قرار گرفته شده است.

یکی از شاخص‌های مهم شاخص فشار جمعیت است که برحسب میزان درصد رشد جمعیت در منطقه دشت سیستان محاسبه می‌شود. در این قسمت با توجه به اینکه اکثریت مردم ساکن در دشت سیستان چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم بهره‌بردار هامون‌ها شناخته و از حق آبه آن برای مصارف گوناگون استفاده می‌کنند، از کل آمار جمعیتی آن‌ها در تعیین شاخص فشار جمعیت استفاده می‌شود در پایان این بخش در هر واحد کاری با استفاده از فرمول ذیل (۶) وضعیت کیفیت مدیریت مشخص می‌شود.

$$\frac{1}{4}(\text{سیاست اجرایی} * \text{فشار جمعیت} * \text{ظرفیت چرا} * \text{کاربری اراضی}) = \text{معیار کیفیت مدیریت}$$

وضعیت فرسایش

طبق آمار موجود در اثر فرسایش بادی، سالیانه خسارتی در حدود یک هزار میلیارد ریال به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر منابع طبیعی کشور وارد می‌شود (۲۰). فرسایش‌های آبی و بادی، از عوامل عمده و بسیار خطرناک شدت فرسایش است که باعث جابجایی و هدر رفت خاک از بستر اولیه خود می‌شود. فرسایش بادی یک پدیده فعال در دشت سیستان بوده و همواره خساراتی به راه‌های ارتباطی، اراضی زراعی و روستاهای مجاور وارد کرده است. با توجه به وجود باد فرساینده ۱۲۰ روزه سیستان و همچنین بستر گسترده و خشک هامون‌ها این پارامتر می‌تواند نقش مهمی در تغییر وضعیت دشت سیستان داشته باشد و به همین دلیل در مدل مدالوس تأثیر این عامل را در تعیین شدت فرسایش زمین بررسی گردید.

در این ارتباط نیاز است تا از یکی از مدل‌های فرسایش بادی برای امتیازدهی به این معیار استفاده شود. به همین منظور مدل‌های مختلف از نظر سازگاری با منطقه و اعتبار مورد ارزیابی قرار گرفتند و با توجه به سازگاری مناسب و اطلاعات در

دسترس، مدل اریفر برای تعیین کلاس فرسایش بادی در منطقه مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل وضعیت معیار فرسایش بادی توسط نه شاخص سنگ‌شناسی، شکل اراضی، سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی، آثار فرسایش سطح خاک، رطوبت خاک، مدیریت استفاده از اراضی و نوع و پراکنش نهشته‌های بادی در هر کدام از واحدهای کاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و درنهایت وضعیت فرسایش بادی در واحدهای کاری معین و نقشه وضعیت فرسایش بادی تهیه می‌شود.

جمع‌بندی امتیازات

در این مرحله می‌بایست کلیه امتیازات مربوط به پنج معیار در هر واحد کاری جمع‌بندی و درنهایت تبدیل به شدت فرسایش در هر واحد کاری شود. در این خصوص با استفاده از فرمول ذیل به روش میانگین هندسی وزن نهایی خطر بیابان‌زایی تعیین می‌شود تا درنهایت نقشه سالانه وضعیت تخریب خاک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تولید شود (جدول ۲).

1- Animal unit per month (AUM)

$$1/5) \text{ (کیفیت فرسایش} * \text{کیفیت مدیریت} * \text{کیفیت پوشش گیاهی} * \text{کیفیت اقلیم} * \text{کیفیت خاک)} = \text{شدت فرسایش}$$

جدول ۲- تعیین شدت فرسایش

Table 2. Determining the Erosion intensity

نوع	ضعیت فرسایش	متوسط	شدید	خیلی شدید
کیفی	خفیف	۱/۱-۲۳/۳۷	۱/۱-۳۸/۵۳	۱/۲-۵۴
کمی	۱-۱/۲۲	۲	۳	۴
رتبه	۱	۲	۳	۴

نتایج و بحث

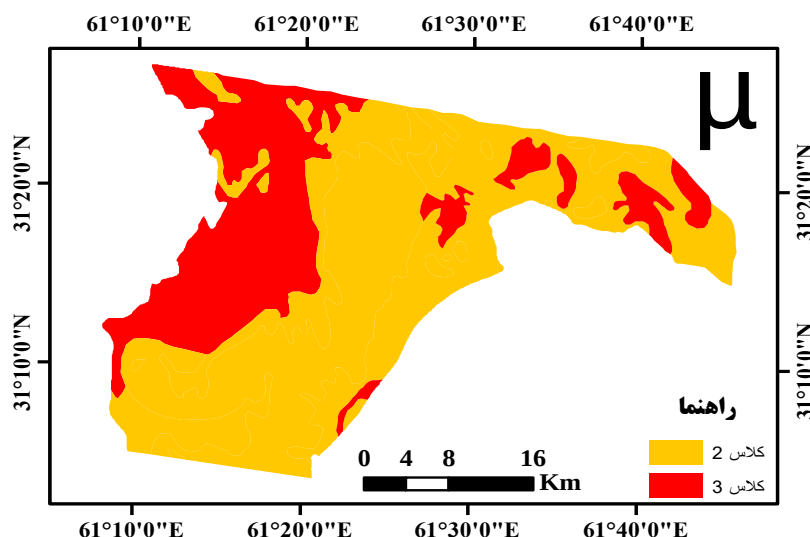
دشت سیستان در حال حاضر یکی از مناطق بحرانی فرسایش بادی در منطقه شرق ایران و خاورمیانه شناخته می‌شود که ساکنین آن همواره در معرض مشکلات ناشی از طوفان‌های گردوغبار قرار دارند. ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش در این تحقیق که بر اساس مدل مدالوس انجام گرفته است نیازمند بررسی معیارهای آن و درنهایت تعیین کلاس فرسایش و تولید نقشه‌های موردنظر است. از این رو معیارها در واحدهای کاری موردنظر به شکل ذیل مورد ارزیابی قرار گرفته و اطلاعات هرکدام از شاخص‌ها جمع‌آوری و کلاس فرسایش مشخص شد.

کیفیت خاک

پوشش سنگریزه‌ای درواقع خود عاملی جهت جلوگیری از فرسایش سطحی در فرسایش‌های بادی و آبی می‌باشد. این عامل در دشت سیستان به واسطه نوع بافت ریزدانه خاک بستر دریاچه‌ها و همچنین فرسایش بادی منطقه همواره کمتر از ۲۰ درصد پوشش سنگریزه است که اندازه‌گیری‌های میدانی نیز این موضوع را تأیید می‌کند. از این رو در کلیه واحدهای کاری این مقدار برابر با مقدار وزنی دو در نظر گرفته می‌شود. بافت خاک در بستر هامون صابری در محدوده زمانی مورد مطالعه همواره تحت تأثیر عوامل فرساینده و خشک‌سالی‌ها قرار داشته است و تغییرات در این بافت انکارناپذیر است. در این

خصوص با توجه به همگنی تقریبی واحدهای کاری نمونه‌برداری بافت خاک انجام شد که تمامی واحدهای کاری در کلاس سه قرار گرفتند. عمق خاک در دشت سیستان تقریباً در تمام مناطق به صورت یکنواخت بوده و این مقدار تغییراتی در طی سال‌های مختلف نداشته است و برحسب جداول مدل مدالوس، کلیه واحدهای در رده خاک‌های عمیق قرار می‌گیرند. شوری بر اساس هدایت الکتریکی خاک بیان می‌شود که نماینده میزان املاح هادی موجود در محلول خاک می‌باشد که با توجه به نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت‌شده درنهایت مشخص شد که واحد کاری QT3 در کلاس پنج و واحدهای کاری QT2 و QPLMS در کلاس سه قرار گرفتند.

بستر دریاچه یک عرصه هموار و فاقد ناهمواری و دریاچه‌ای با عمق کم و وسعت زیاد است و همچنین دارای شیب یکنواخت و کمی بوده که برحسب جداول امتیازدهی در مدل مدالوس میزان متوسط شیب در تمام واحدهای کاری کمتر از ۶ درصد است که امتیاز یک در مدل برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. جهت جمع‌بندی شاخص‌های کیفیت خاک کلیه امتیازات مربوط به هر واحد کاری با میانگین هندسی محاسبه شده و درنهایت واحد کاری QT3 با امتیاز ۲ در کلاس ۳ قرار گرفته و سایر واحدها با امتیاز ۱/۵ در کلاس دو قرار گرفتند و بر این اساس نقشه وضعیت خاک تهیه گردید (شکل ۳).

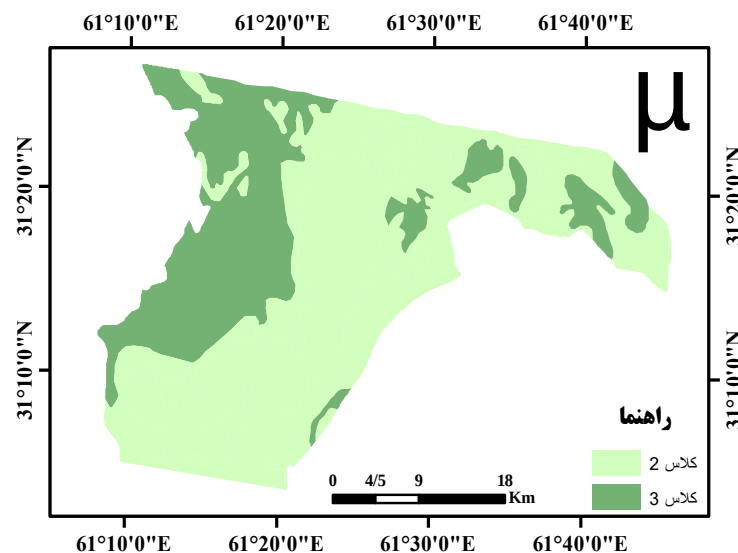


شکل ۳- نقشه کیفیت خاک
Figure 3. Soil quality map

کیفیت پوشش گیاهی

در این ارتباط شاخص‌های مورد نظر برحسب جداول مربوطه در هر واحد کاری امتیازدهی می‌شوند. خطر آتش‌سوزی یکی از شاخص‌هایی است که با افزایش خشک‌سالی و همچنین مقدار علوفه خشک افزایش می‌یابد. از این نظر اراضی لخت و بایر به دلیل اینکه فاقد پوشش گیاهی زیاد می‌باشند دارای مقدار خطرپذیری پایین‌تری هستند. لذا واحد کاری QT3 در کلاس یک و سایر واحدهای کاری در کلاس دو قرار می‌گیرند. نوع پوشش سطح زمین نقش بسیار مؤثری بر روی میزان حفاظت خاک در برابر عوامل فرساینده دارد (۲۷)، لذا با کاهش مقدار پوشش سطح زمین مقدار وزن اختصاص یافته به هر واحد کاری افزایش می‌یابد به طوری که واحد کاری QT3 در کلاس سه و سایر واحدهای کاری در کلاس دو قرار گرفتند. بررسی شاخص مقابله در برابر خشک‌سالی نیازمند داشتن اطلاعات جامع درباره نوع پوشش سطح زمین می‌باشد. با

توجه به خشک‌سالی‌های طولانی اقلیمی و هیدرولوژیکی در دشت سیستان مقدار وزن این شاخص در هر واحد کاری افزایش یافته و در سال ۱۳۹۵ این مقدار در واحد کاری QT3 در کلاس سه و سایر واحدهای کاری در کلاس دو قرار گرفتند. شاخص درصد پوشش گیاهی با افزایش میزان درصد پوشش گیاهی مقدار وزن آن کاهش می‌یابد و از تأثیرپذیری آن بر روی نتایج کاسته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل شده واحد کاری QT3 در کلاس سه قرار گرفته و سایر واحدهای کاری در کلاس دو قرار می‌گیرند. امتیازات مربوط به هر کدام از شاخص‌ها در هر واحد کاری برحسب مراحل فوق‌الذکر محاسبه شده و در نهایت با میانگین هندسی مقدار کیفیت پوشش گیاهی مشخص شد که QT3 با ۲ امتیاز در کلاس سه و سایر واحدهای کاری با امتیاز ۱/۵ در کلاس دو قرار گرفتند و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه مربوطه تهیه شد (شکل ۴).



شکل ۴- نقشه کیفیت پوشش گیاهی

Figure 4. Vegetation quality map

وضعیت اقلیم

بررسی وضعیت اقلیم با توجه به ماهیت آن مربوط به کل منطقه می‌شود که بدین منظور سه شاخص خشکی، بارش و تبخیر و تعرق مورد ارزیابی قرار گرفت. مجموع بارش‌های سالانه دشت سیستان در ایستگاه زابل ۴۰ میلی‌متر می‌باشد (۱۸) که در کلاس سه با وزن ۲ برای کل واحدهای کاری قرار می‌گیرد.

میزان تبخیر و تعرق در حدود ۳۵۰۰ میلی‌متر در سال ثبت شده است که طبق جدول ذیل در کلاس ۳ قرار می‌گیرد. شاخص خشکی یا AI یکی دیگر از شاخص مورد نظر در ارزیابی کیفیت اقلیم می‌باشد که برحسب داده‌های ایستگاه زابل مقدار آن ۰/۰۲ محاسبه شده که در کلاس سه قرار می‌گیرد. وضعیت اقلیم برای کل واحدهای کاری دارای امتیاز ۱/۷ است که برحسب جدول سه در کلاس سه قرار می‌گیرد.

جدول ۳- کیفیت اقلیم

Table 3. Climate quality

کلاس	تشریح	دامنه وزن‌ها
۱	کیفیت بالا	۱-۰
۲	کیفیت متوسط	۱-۱/۵
۳	کیفیت پایین	۱/۲-۵

بررسی وضعیت مدیریت

معیار مدیریت در مدل مدالوس نقش عوامل و اقدامات انسانی را بر روی شدت فرسایش موردبررسی قرار می‌دهد. فشار جمعیت درواقع درصد رشد جمعیت است که بر اساس آمار نفوس مسکن استانداری سیستان و بلوچستان ۰/۹ محاسبه شده که در کلاس دو با وزن ۱/۳ قرار می‌گیرد که یکی از دلایل آن مهاجرت مردم به دلیل خشک شدن هامون‌ها است. شاخص تراکم و فشار چرا بر اساس میزان ظرفیت چرای دام در مرتع مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که برای سامانه عرفی هامون ۰/۵ برآورد می‌شود که در کلاس یک قرار می‌گیرد. سیاست‌های اجرایی تحت تأثیر مناطق تحت حفاظت محیط‌زیست و منابع طبیعی قرار دارد که طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده با توجه به

تداوم خشکی هامون‌ها در طی سنوات گذشته به دلیل حفظ وضعیت موجود مناطق تحت حفاظت از بستر هامون‌ها از ۲۵ درصد مساحت به ۷۵ درصد افزایش یافته است و در کلاس یک قرار گرفته‌اند.

نوع کاربری اراضی در مقاومت آن‌ها در برابر فرسایش نقش مؤثری دارد. با توجه به تداوم خشکی هامون اراضی مرتعی منطقه در دو کلاس اراضی فقیر و اراضی لخت و بایر قرار می‌گیرند که این خود نشان از زوال پوشش گیاهی منطقه دارد. جهت تعیین میزان کیفیت مدیریت، میانگین هندسی کلیه شاخص‌ها در هر واحد کاری محاسبه می‌شود (جدول ۴) که بر اساس نتایج حاصله همه واحدهای کاری در کلاس سه قرار گرفتند.

جدول ۴- وضعیت کیفیت مدیریت در واحدهای کاری

Table 4. Status of management quality in work units

ردیف	واحد کاری	میانگین	کلاس	وضعیت	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	QT2	۲/۳	۳	زیاد	۴۹۵
۲	QT3	۲/۱	۳	زیاد	۵۲۲
۳	QPLMS	۱/۸۶	۳	زیاد	۲۸۳

کیفیت فرسایش بادی

در استفاده از مدل مدالوس مهم‌ترین بخش بررسی معیار فرسایش می‌باشد که با توجه به سابقه تطبیق‌پذیری مدل اریفر در دشت سیستان از این مدل جهت ارزیابی کیفیت فرسایش بادی استفاده شد. در مدل اریفر برای ارزیابی وضعیت فرسایش بادی ۹ شاخص مربوطه در واحدهای کاری مورد ارزیابی قرار گرفت که منتج به ارائه یک امتیاز نهایی برای هر کدام از واحدهای کاری شده است. ساختار سنگ‌شناسی به‌ویژه از نظر بافت ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها است که هر چه مقدار پیوستگی بین ذرات بیشتر باشد باد قادر به جابجایی کم ذرات خاک و تخریب خاک است که با برداشت‌های میدانی در واحدهای کاری تعیین شد.

شکل اراضی و پستی‌وبلندی‌ها بر روی میزان فرسایش بادی تأثیر به‌سزایی دارد و با در معرض باد قرار دادن سطح خاک می‌تواند این کار تسهیل و یا عمل حفاظت را انجام دهد. بررسی‌ها و نتایج حاصل نشان می‌دهد که اکثریت واحدهای کاری با توجه به ساختار تقریباً هموار هامون‌ها از نظر امتیازی در سطح بالایی قرار می‌گیرند که نقش بالای این شاخص را بر روی میزان فرسایش به‌خوبی نشان می‌دهد. مهم‌ترین عامل فرسایش بادی در هر منطقه سرعت باد و توزیع زمانی آن می‌باشد. به‌طوری‌که بادهای فرساینده در فصل‌هایی که رطوبت خاک کافی نباشد می‌توانند باعث فرسایش خاک شوند. چسبندگی و پوشش سطح یکی از عواملی است که موجب افزایش و کاهش شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوب‌دهی آن می‌شود. بدین ترتیب در صورتی که چسبندگی خاک سطحی

زیاد و بافت آن رسی و یا پوشش سطح آن مناسب باشد از تأثیر منفی ناشی از سایر عوامل نیز می‌کاهد (۲۲).

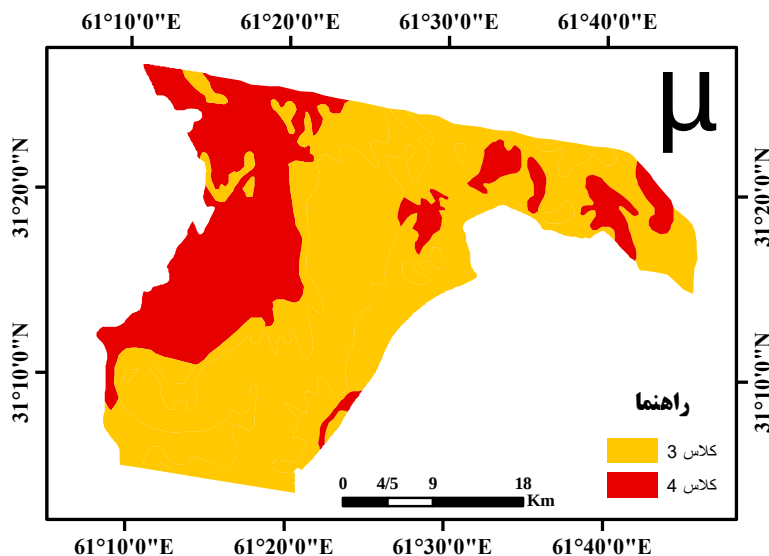
انبوهی پوشش گیاهی در فرسایش بادی برحسب ارتفاع، تراکم و نوع پوشش گیاهی تغییر می‌کند. پوشش گیاهی به گونه‌های مختلف از حرکت و جابجایی ذرات جلوگیری می‌کند (۲۵). برحسب میزان انبوهی و توزیع پوشش گیاهی امتیاز مربوطه در هر واحد کاری ثبت شده است. آثار فرسایشی در سطح زمین خود نشان‌دهنده وضعیت نامناسب منطقه از نظر تخریب زمین می‌باشد. لذا در این بخش بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، در هر واحد کاری اقدام به امتیازدهی و تهیه نقشه مربوطه می‌شود که بیان‌کننده وضعیت این شاخص در هر واحد کاری می‌باشد.

نوع نهشته‌های بادی و پراکندگی آن‌ها در هر منطقه تا حدی می‌تواند نشان‌دهنده شدت فرسایش بادی و جابجایی ذرات ماسه توسط باد باشد که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای در هر واحد کاری امتیاز مربوطه تعیین شد. همچنین بهره‌برداری از زمین در شدت فرسایش بادی و پتانسیل رسوب‌دهی آن مؤثر است. این عامل نیز مانند عوامل خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی و رطوبت خاک نقش افزاینده و کاهنده در شدت فرسایش بادی و میزان رسوب‌دهی آن دارد. در تصاویر ماهواره‌ای با توجه به نوع کاربری در هر واحد کاری امتیاز مربوطه مشخص و در نهایت به‌منظور تهیه نقشه‌های موردنظر، امتیازهای مربوط به واحدهای کاری در نرم‌افزار ArcGIS وارد و نقشه فرسایش بادی تهیه شد. (جدول ۵) در نهایت طبق جمع‌بندی‌های انجام‌گرفته واحد کاری QT3 با امتیاز ۸۱ در کلاس چهار و سایر واحدهای کاری از نظر وضعیت فرسایش بادی در کلاس سه قرار گرفتند (شکل ۵).

جدول ۵- جدول جمع‌بندی مدل اریفر

Table 5. Summary table of IRIFR.E.A model

ردیف	واحد کاری	کلاس	جمع امتیاز	نمره در مدالوس	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	QT2	۳	۶۵	۱/۷	۴۹۵
۲	QT3	۴	۸۱	۲	۵۲۲
۳	QPLMS	۳	۷۰	۱/۷	۲۸۳



شکل ۵- نقشه وضعیت فرسایش بادی
Figure 5. Wind erosion status map

تعیین کلاس شدت فرسایش

کلاس تخریب زمین درواقع برآیند کلیه امتیازها در هر واحد کاری می‌باشد که جهت به دست آوردن آن میانگین هندسی کلیه معیارهای پنج‌گانه در هر واحد کاری محاسبه می‌شود. این امتیازات بر اساس جدول ذیل منجر به تعیین کلاس حساسیت

به فرسایش در واحدهای کاری شده که واحد کاری QT3 با مقدار ۱/۸۶ در کلاس چهار و وضعیت کیفی خیلی شدید قرار گرفت (جدول ۶) و سایر واحدهای کاری در کلاس سه و وضعیت کیفی شدید قرار گرفتند (شکل ۶).

جدول ۶- جدول طبقه‌بندی شدت حساسیت به فرسایش مدل مدالوس

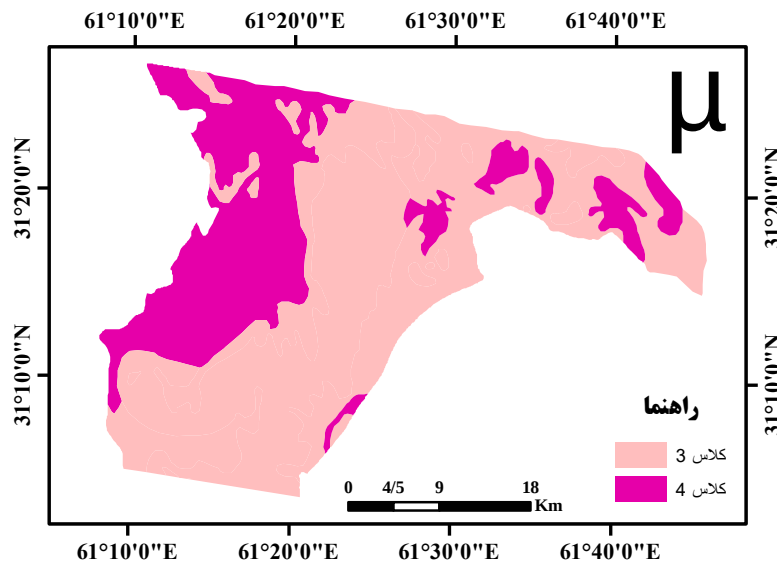
Table 6. Erosion susceptibility classification table of Madalus model

نوع	خطر بیابان‌زایی یا تخریب زمین	متوسط	شدید	خیلی شدید
کمی	۱/۱-۲۲	۱/۱-۳۷/۲۳	۱/۱-۵۳/۳۸	۱-۲/۵۴
کیفی	۱	۲	۳	۴
رتبه				

جدول ۷- جدول نهایی مدالوس

Table 7. Madalus final table

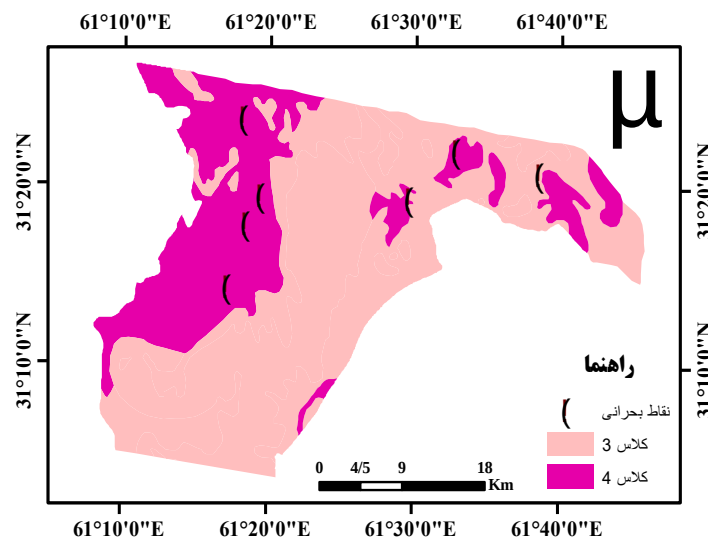
ردیف	واحد کاری	امتیاز	کلاس	وضعیت	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	QT2	۱/۴۵	۳	شدید	۴۹۵
۲	QT3	۱/۸۶	۴	خیلی شدید	۵۲۲
۳	QPLMS	۱/۴۹	۳	شدید	۲۸۳



شکل ۶ - نقشه شدت حساسیت به فرسایش بستر هامون صابری در مدل مدالوس
Figure 6. Hamoun Saberi bed erosion susceptibility map in Medalus model

بررسی نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که واحد کاری QT2 و QPLMS دارای وضعیت مناسب‌تری از نظر شدت فرسایش در مدل هستند و واحد کاری QT3 از نظر میزان تخریب در وضعیت حادی قرار دارد و همان‌طور که در شکل ۹ از جانمایی نقاط بحرانی فرسایش بادی در منطقه مشخص است که واحد کاری QT3 با این مناطق دارای همپوشانی است (شکل ۷). دلایل مختلفی برای تغییر شرایط در واحد کاری QT3 وجود دارد که مدل مدالوس به‌خوبی موارد مؤثر در این تغییر وضعیت را نشان می‌دهد.

با توجه به نقش غیرقابل‌انکاری که منابع آب سطحی دشت سیستان در کنترل سرعت باد و کاهش اثرات نامساعد بادهای ۱۲۰ روزه دارند بدیهی است که تغییر سطح هامون‌ها می‌تواند نقش مؤثری در وضعیت طوفان‌های گردوغبار دشت سیستان داشته باشد. از طرف دیگر بادهای فرساینده سیستان با سرعت بیش از آستانه فرسایش (m/s^6) به‌شدت باعث افزایش تخریب خاک و افزایش شدت بیابان‌زایی در منطقه می‌شوند که طوفان‌های گردوغبار ناشی از بادهای شدید همواره مشکلات فراوانی را برای مردم ساکن منطقه فراهم نموده است.



شکل ۷ - نقشه شدت حساسیت به فرسایش و نقاط بحرانی بستر هامون صابری
Figure 7. Map of erosion sensitivity and critical points of Hamoun Saberi bed

که در این واحد کاری با سایر واحدها تمایز ایجاد کرده‌اند که ماهیت و وضعیت آن در بروز این اختلاف بسیار مؤثر است و

همان‌طور که مشخص است کیفیت پوشش گیاهی، کیفیت خاک، کیفیت مدیریت و وضعیت فرسایش جزء مواردی هستند

پوشش سنگریزه، بافت خاک و هدایت الکتریکی می‌تواند در بهبود وضعیت حساسیت به فرسایش در بستر هامون صابری نقش مؤثری را ایفا نماید. از سوی دیگر در اولویت‌بندی اجرای پروژه‌های بیابان‌زدایی باید توجه ویژه به مناطق با کلاس فرسایشی خیلی زیاد باشد و با ارتقاء وضعیت معیارهای تعیین‌شده توسط مدل بر میزان اثربخشی پروژه‌های اجرایی مدیریت مناطق بیابانی افزود و نیز با تدوین برنامه‌های هدفمند بتوان در رفع مشکلات معیارهای تأثیرگذار اقدام مؤثری انجام داد. از طرف دیگر همپوشانی مناسب مناطق برداشت گردوغبار در بستر هامون صابری با مناطق بحرانی با شدت فرسایش خیلی شدید بار دیگر بر اهمیت توجه به مناطق بحرانی به‌عنوان کلیدی‌ترین منابع برداشت صحره می‌گذارد که نیازمند توجه تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیران و تشکیل ستاد بررسی زیست‌محیطی تالاب بین‌المللی هامون به‌منظور بررسی پتانسیل‌های احیاء و نیز تدوین سندهای اجرایی خواهد بود.

این در حالی است که در بسیار از تحقیقات صورت گرفته تنها به بررسی عامل فرسایش بادی و پارامترهای مؤثر آن پرداخته‌شده و مجموعه عوامل محیطی مؤثر بر تخریب سرزمین نادیده گرفته‌شده است. در خصوص کیفیت خاک تجمع بیشتر املاح در این قسمت سبب کاهش کیفیت خاک و زمینه‌ساز استقرار پوشش گیاهی کمتر نسبت به سایر واحدهای کاری شده است زیرا این واحدها نسبت به سایر بخش‌ها عمیق‌تر بوده و در زمان خشک شدن املاح شسته شده از سایر سطوح در این واحد (QT3) تجمع و در اثر تبخیر آب باقی می‌ماند و باعث افزایش شوری و میزان حساسیت به فرسایش می‌شود.

باوجوداینکه کیفیت مدیریت و فرسایش هر دو، از دو عامل پوشش گیاهی و خاک تأثیرپذیرند ولی از نظر کیفیتی عامل خاک با توجه به اینکه زمینه‌ساز افزایش کیفیت سایر موارد می‌باشد، نقش مؤثرتری در تعیین وضعیت شدت فرسایش بستر هامون دارد. لذا توجه به ارتقاء شاخص‌هایی همچون درصد

منابع

- Ahmadi, H., Gh. Zehtabian and H. Khosravi. 2006. Madalus Calibration Model to Present a Regional Model for Desertification Degradation in Kashan Region, Iranian Journal of Natural Resources. Volume 6: 727-744 (In Persian).
- Arabameri, A., KH. Rezaii, M. Ramesht and M. Sohrabi. 2018. Quantitative assessment of desertification risk using the modified Medallus model, study Case: Shahroud-Bastam watershed. Journal of Watershed Engineering and Management, 11(2): 508-522 (In Persian).
- Asma, A.A., Sh.A. Anwar, K.A. Waleed, A.E. Nabil and A.R. Mahmmoud. 2002. Desertification in the Arab Region: analysis of current status and trends. Journal of Arid Environments, 51: 521-545 (In Persian).
- Bakhshandehmehr, L., S. Soltani and A. Sepehr. 2013. Assessment of present status of desertification and modifying the MEDALUS model in Segzi plain of Isfahan. Journal of range and watershed management. 66(1): 27-41 (In Persian).
- De Paola, F., D. Ducci and M. Giugni. 2009. Soil erosion and desertification: a combined approach using RUSLE and ESAs models in the Tusciano basin (southern Italy). In: EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, Austria. 21.
- Ekhatesasi, M. and A. Sepehr. 2011. Methods and models of desertification assessment and mapping. Yazd University press, 286 pp (In Persian).
- Elena Topa, M., P. Iavazzo, S. Terracciano, P. Adamo, A. Coly, F. De Paola, S. Giardano, M. Giugni and S. Eric Traore. 2013. Evaluation of sensitivity to desertification by a Modified ESAs method in two sub-Saharan peri-urban areas: Ouagadougou (Burkina Faso) And Saint Louis (Senegal). Geophysical Research Abstracts. Issue 15: 2013-2229.
- Fozooni, L., A. Fakhrieh and M.R. Ekhtesasi. 2012. Assessment of desertification using of modify MEDALUS model in Sistan Plain (the east of IRAN). Elixir International Journal, 47: 8950-8955 (In Persian).
- Ghasemi, S. 2007. Evaluation of desertification criteria and indicators based on water and soil to evaluate the intensity of desertification and prepare a desert map of Zabol region, Master Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran (In Persian).
- Ghasemi, M., Gh. Zehtabian and H. Ahmadi. 2008. Evaluation of desertification intensity in Zabol region from the perspective of water criteria using Madalus model. Journal of Research and Construction, 21: 59-71 (In Persian).
- Giordano, L.F., S. Giordano, M. Grauso, M. Lannetta, G. Scicortino and F. Bonnati. 2002. Desertification vulnerability in Sicily. Proc. Of the 2nd Int. Conference On New Trend in Water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-Compatible Solution for Aquatic Environments.
- Habibi, A., S. Shadfar and M. Sadeghi. 2012. Investigation of Desertification Intensity in Geomorphological Landscapes Using GIS in Khuzestan Province, Journal of Applied Research in Geographical Sciences, Fourteenth Year, 32: 141-159 (In Persian).
- Lahlaoi, H., H. Rhinane, A. Hilali, S. Lahssini and S. Moukrim. 2017. Desertification assessment using MEDALUS model in watershed Oued El Maleh, Morocco. Geosciences, 7(50): 1-16.
- Lavado, C.J.F., S. Schnabel, A.G. Mezo Gutierrez and F.M. Pulido. 2009. Mapping Sensitivity to land degradation Extremadura. SW Spain, Land Degrad Develop, 20: 129-144.

15. Kadovich, R., A. Mansour, Y. Bohajar, V. Perovich, S. Belanovich Simik, M. Todosijevich, S. Tosich, M. Andelic and U. Dovezenski. 2016. Land sensitivity analysis of degradation using MEDALUS model, case study: Deliblato Sands, Serbia. *Archives of Environmental Protection*, 42(4): 114-124.
16. Kardawani, P. and A. Palash. 2009. Comparison of the role of Hamoon Lake during waterlogging and drought in the economic and social situation of Sistan. *Geography*, 9(8): 123-144 (In Persian).
17. Kazemini, A.R., K. Rangzan and M. Mahmoud Abadi. 2017. Assessment of Desertification using the MEDALUS model (Case study: the lands of west Ahvaz). *Journal of RS & GIS for Natural Resources*, 8(2): 111-126 (In Persian).
18. Kundu, A. and D. Dutta. 2010. Monitoring desertification risk through climate change and Human interference using remote sensing and GIS techniques. *Int. J. of Geometrics and Geosciences*, 2(1): 21-33.
19. Mahmoodabadi, M., K. Omidvar, GH. Mozafari and A. Mazidi, 2016. Assessment of Teleconnection Patterns Affecting Rainfall Extreme Indices (Case Study: Sistan-Baluchestan Province). *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 280-294 (In Persian).
20. Rashki, A. 2013. Investigating the Variability of the Source of Sistan Dust Storms Due to the Drying of Hamoon Lakes, First International Dust Conference, Ahvaz (In Persian).
21. Rakhshani, A. and Z. Rakhshani. 2018. The effects of the environmental crisis of Hamoon Wetland on the social situation of the people of Sistan and the presentation of managerial and executive solutions. 9th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources: 135-143 (In Persian).
22. Rezayepour, A.B., H. Bahrami, J. Rafysharifabad and H. Khosravi. 2013. Evaluation of desertification using Madalus model (Case study of Baghdar, Yazd), *Quarterly Journal of Geographical Studies of Arid Areas*, Fifth Year. 19: 42-54 (In Persian).
23. Salvati, L. and S. Bajocco. 2011. Land sensitivity to desertification across Italy: past, present, and future. *Applied Geography*, 31(1): 223-231.
24. Sargazi, H. and M. Onogh. 2017. Study and ranking of desertification criteria in Sistan plain. *Journal of Gorgan Water and Soil Research*: 160-173 (In Persian).
25. Shahbazi, K., M. Khosrowshahi, M. Heshmati and M. Ghiatary. 2020. Effects of Geological and Topographical Factors on Determining Gully Erosion Thresholds. *jwmr*. 11(21): 259-268 (In Persian).
26. Shariyary, A., M. Hoseini, M. Ekhtesasi and A. Fakhire. 2009. Assessment of land degradation in Sistan region with emphasis Ton wind erosion, *Journal of Geography and Development*, 20: 21-36 (In Persian).
27. Soleimani Sardo, M. and M. Zarei. 2019. Drought Monitoring Using MODIS Data and Its Comparison with SPI Meteorological Index in Short Periods (Case Study: Jaz_Murian basin). *Journal of Watershed Management Research*. 10(20): 250-261 (In Persian).
28. Taghipour-Javi, S., A. Fazeli and B. Kazemi. 2016. A case study of desertification hazard mapping using the MEDALUS (ESAs) methodology in south-west Iran. *Journal of Natural Resources and Development*, 6(1): 8-24 (In Persian).
29. Yang, X., K. Zhang, B. Jia and L. Ci. 2005. Desertification assessment in China: An Overview. *Journal Arid Environ.* Issue 63: 517-531.
30. Yaghmaeian Mahabadi, N., H. Asadi and S. Rezaei. 2017. Mapping and assessment of land degradation risk using MEDALUS model in Siyahpoush Catchment, Ardabil Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(1): 173-187 (In Persian).
31. Zehtabian, Gh., A. Khosravi and H. Azarnivand. 2015. Evaluation of desertification intensity in Kashan region from the perspective of soil criteria. Sixth National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Tarbiat Modares University, 285-293 (In Persian).

Investigation of the Sensitivity of Hamoon-E- Saberi Bed to Desertification Phenomenon

Kamyar Shockoohi Razi¹, Mohamad Rahimi² and Ali Asghar Zolfaghari³

1- PhD Student in Semnan Desertification University , (Corresponding author: k.shokoohi@gmail.com)

2- Associate Professor, Semnan University of Desert Studies

3- Associate Professor, Semnan University of Desert Studies

Received: 6 January, 2021 Accepted: 13 October, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: In recent decades, the decrease of the Helmand River water's feeding from Afghanistan and consequently desiccation of Hamoon Lake's bed also, the continuity of the 120-day winds, has been resulted in frequency of dust storms originated from the bed of Hamoon International Wetland. These storms not only affect vast areas from Sistan plain to Zahedan also, include an extent of about 200 square kilometers in Afghanistan and Pakistan in Iran border's proximity. Based on investigation of satellite images of significant storms, the bed of Hamoon- E- Saberi with About 1000 square kilometers was identified as the largest and the main origin of dust particles in the Sistan plain, where land degradation caused by natural and human factors resulted in irreparable damages to the environment and human communities. Therefore, control and preventive measures in both planning and implementation phase require to determination and classification of the Hamoon bed susceptibility to desertification.

Material and Methods: In order to determine the sensitivity of Hamoon Saberi bed to desertification phenomenon due to better compatibility of Madalus model indicators with the natural state of Sistan plain and available data, this comprehensive model was used to determine the sensitivity of work units in 2016. In this regard, geomorphological units were considered as working units and the status of five criteria of soil quality, vegetation quality, climate quality, management quality and erosion quality in those units were evaluated. Finally, by summarizing the scores, the sensitivity of the units to erosion was determined and its drawings were drawn in Arcgis software.

Results: Results that is achieved by investigation criteria and sum up scores showed that by reducing the water level and finally complete wetland desiccation due to high range of evapotranspiration also soil quality reduction due to salt accumulation, land cover has been decreased in the region. These changes accompanying with the presence of erosive winds in the region, has provided the conditions for land degradation and soil erosion, so that the QT3 unit with an average score of 1.83 in the wetland's bed which is included areas such as Chong-e-Yekdast and Chong-e-Rig is located in class IV (very severe) while other work units with an average score of 1.48 are located in class III (severe).

Conclusion: Based on the results of the research, in planning to deal with wind erosion in Sistan plain and all desertification executive projects, QT3 work units should be given priority over other units due to their high sensitivity to desertification, So that in the management of wind erosion crisis, better results and more effectiveness can be achieved in a shorter period of time.

Keywords: Dust, Erosion intensity, Hamoon-e- Saberi, Helmand, Sistan