

Development of A Wind Erosion Sensitivity Model Using Multi-Criteria Assessment Method (Case Study: Hamoun Wildlife Refuge)

V. Rahdari^{1*}, S. Maleki¹, M. Mir²

1. Assistant Professor, Department of Environment., Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.
 2. PhD student, Agriculture faculty, University of Zabol, Zabol, Iran.
- * Corresponding Author: vrahdari@uoz.ac.ir

Received date: 07/04/2022

Accepted date: 20/05/2022



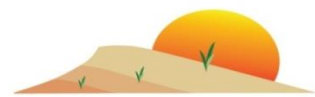
[10.22034/JDMAL.2022.551548.1382](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.551548.1382)

Abstract

Wind erosion and dust storms are among the most important natural hazards and have negative impacts on environment and people. The Hamoun international wetland- located in the southeast of Iran and southwest of Afghanistan, at the estuary of the Helmand River – due to the severe droughts during the last three decades has become the main source of soil erosion. The purpose of this study is to investigate the sensitivity of wind erosion in the Iranian section of the Hamoun wetland as the Hamoun wildlife refuge. By literature reviewing and using experts' knowledge, 15 effective criteria in the phenomenon of wind erosion were determined and weighted by using AHP method. The weights analysis showed that among the criteria, vegetation cover with 0.13 had the highest weight. Using satellite images related to November 2021, the SAVI vegetation index was prepared as an index of the amount of vegetation cover. To prepare the soil criteria maps, 135 pints of surface soil were taken and transferred to the lab. After determining the criteria value in each sample, the map of each criterion was prepared using the IDW method. The criteria were standardized using the FUZZY method, and then combined by applying the calculated weights and using the weighted linear combination method to prepare the wind erodibility model. The prepared model was classified into five erodibility classes. To assess model accuracy, the wind erosion threshold speed was calculated by installing a portable wind tunnel device at 40 sites. The resulting figures were classified into five levels according to the erodibility classes, and compared with the corresponding erosion class of the wind tunnel sites. An overall accuracy of 81% for the prepared model shows capability of this model to prepare an accurate wind erosion model.

Keywords: Dust storm; Soil properties; Weighted linear combination; Hamoun wetland





ارائه مدل حساسیت به فرسایش بادی با بهره‌گیری از روش ارزیابی چند معیاره در پناهگاه حیات وحش هامون

وحید راهداری^{۱*}، سعیده ملکی^۱، محدثه میر^۲

۱. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، گروه محیط زیست، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. دانشجوی دکتری اقتصاد محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

* نویسنده مسئول: vrahdari@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

doi [10.22034/JDMAL.2022.551548.1382](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.551548.1382)

چکیده

پدیده فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غباری یکی از مهمترین مخاطره‌های اقلیمی فراگیر است که خسارت‌های فراوانی را بر بخش‌های مختلف از جمله محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها وارد می‌کند. تالاب بین‌المللی هامون در شرق ایران و در مصب رودخانه هیرمند قرار گرفته است که با وقوع خشکسالی‌های شدید سه دهه اخیر، بستر آن به کانون برداشت گردوخاک تبدیل شده است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی حساسیت فرسایش بادی در بخش ایرانی تالاب هامون به عنوان پناهگاه حیات وحش است. برای این منظور، با انجام مرور منابع و بررسی نظر خبرگان، تعداد ۱۵ معیار مؤثر بر فرسایش بادی تعیین و با بهره‌گیری از روش AHP، وزن‌دهی شد. بررسی وزن‌ها نشان داد تاج پوشش گیاهی با ۰/۱۳ بیشترین وزن را دارد. با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای آبان ۱۴۰۰، شاخص گیاهی SAVI به عنوان نمایه‌ای از مقدار تاج پوشش گیاهی سطح زمین تهیه شد. برای تهیه نقشه معیارهای ویژگی‌های خاک، از ۱۳۵ نقطه از خاک سطحی نمونه‌برداری انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از تعیین مقادیر عددی معیارهای مورد نظر در هر نمونه، نقشه معیارها با بهره‌گیری از روش IWD تهیه شد. معیارها به روش فازی استاندارد شد و سپس با اعمال وزن‌ها به روش ترکیب خطی وزن‌دار با یکدیگر ترکیب و مدل فرسایش‌پذیری بادی خاک، تهیه و به پنج طبقه فرسایش‌پذیری طبقه‌بندی شد. برای بررسی صحت مدل، در ۴۰ محل، با استقرار دستگاه تونل باد قابل حمل، سرعت آستانه فرسایش بادی اندازه‌گیری و اعداد به‌دست آمده مطابق با طبقه‌های فرسایش‌پذیری به پنج طبقه، دسته‌بندی و با طبقه متناظر فرسایش‌پذیری محل استقرار تونل باد مقایسه شد. صحت کلی به‌دست آمده ۰/۸۱ نشان دهنده توانایی این روش در تهیه مدل فرسایش بادی خاک است.

واژگان کلیدی: توفان گرد و غبار؛ ویژگی‌های خاک؛ ترکیب خطی وزن‌دار؛ تالاب هامون



■ مقدمه

فرسایش بادی یکی از مهمترین معضله‌های مناطق خشک و نیمه خشک است (۳، ۲۴) که شدت گرفتن آن مشکل‌های متعدد محیط‌زیستی مانند کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب زیرساخت‌ها و مشکلات اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی، ایجاد کرده است (۲۲، ۲۵). این مسئله به ویژه در مناطق خشک به دلیل فقر پوشش گیاهی، کمبود هوموس، خشک بودن و ریز دانه بودن، وجود املاح زیاد خاک جدی‌تر است (۴، ۱۴). اگرچه منشأ ریزگردها، مناطق خشک و بسیار خشک می‌باشند، رشد جمعیت و کاهش حاصلخیزی خاک، خشک شدن تالاب‌ها و تغییر اقلیمی این فرایند را افزایش داده‌اند (۴، ۱۷).

فرسایش‌پذیری بادی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط می‌شود (۵، ۱۲، ۲۵). بنابراین برای بررسی و ارزیابی پدیده فرسایش بادی خاک و توفان‌های گرد و غبار، نه تنها ویژگی‌های مربوط به باد، بلکه ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک باید مورد بررسی قرار بگیرند (۹، ۲۴). فرسایش‌بادی در مناطق با خاک‌های نرم و رطوبت کم، دانه‌بندی ریز و بدون پوشش گیاهی، از شدت بیشتری برخوردار است و در نتیجه در این مناطق ذرات خاک در سرعت‌های کمتر باد جابجا می‌شوند (۳، ۱۶). در مطالعه‌ای برای بررسی عوامل مؤثر بر توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان، کم بودن رطوبت خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی و سرعت باد به عنوان مهمترین دلایل تشدید توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان بیان شد (۲۶). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، برای بررسی تأثیر برخی از ویژگی‌های خاک بر روی فرسایش‌پذیری بادی خاک، به میانگین وزنی قطر خاکدانه و نسبت جذب سدیم (SAR1) به‌عنوان مهمترین مولفه‌های تأثیر گذار بر فرسایش بادی اشاره شده است (۲۴). در پژوهشی بر روی تغییرات مکانی سرعت آستانه فرسایش‌بادی در منطقه جزینک دشت سیستان، درصد رس، سیلت و ماسه، اسیدیته، شوری، درصد ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سنگریزه خاک سطحی، به‌عنوان عوامل مهم در تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی تعیین شدند (۲). همچنین در تحقیقی،

رابطه منفی و معنی‌دار بین شدت فرسایش خاک و تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند مقدار سنگریزه سطحی، میانگین قطر خاکدانه‌ها، مقدار رس و میزان رطوبت خاک را گزارش شده است (۲۵). از طرف دیگر، رطوبت خاک سطحی، اندازه و چگالی ذرات خاک، از جمله عواملی هستند که بر روی فرسایش‌بادی خاک مؤثر هستند و افزایش آنها موجب کاهش مقدار فرسایش بادی خاک می‌گردد (۷، ۱۴). بعلاوه در مطالعه دیگر، کاتیون سدیم به عنوان مهمترین کاتیون در افزایش فرسایش‌پذیری و کاتیون کلسیم به عنوان مهمترین کاتیون در تثبیت خاک و ماده آلی خاک به عنوان یک هسته و اتصال دهنده که موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌گردد، بیان شده است (۲۸).

تعیین مناطق حساس و مولفه‌های تأثیرگذار بر ایجاد حساسیت خاک در مقابل فرسایش بادی، مهمترین بخش برای کاهش روند در حال توسعه فرسایش خاک و اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن می‌باشد (۱، ۲۵). بررسی سرعت آستانه فرسایش بادی، یکی از روش‌های تعیین حساسیت مناطق مختلف به فرسایش بادی خاک می‌باشد (۱۳، ۱۵). سرعت آستانه فرسایش بادی آن مقدار از سرعت باد است که در آن فرسایش خاک و برداشت ذرات از بستر آغاز می‌شود (۱، ۵، ۶، ۹). تعیین آستانه فرسایش‌بادی در یک منطقه موجب مشخص شدن حساس‌ترین مناطق به فرسایش‌بادی و تعیین کانون‌های بحرانی فرسایش گردد (۵). این مسئله موجب صرفه‌جویی در هزینه اقدامات لازم برای کاهش پدیده گرد و غبار خواهد شد (۵، ۶). روش‌های مختلفی برای ارزیابی حساسیت فرسایش بادی خاک تا کنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

روش ارزیابی چند معیاره یکی از روش‌های ارزیابی برای موضوع‌های مختلف است (۲۱). این روش امکان بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS^۲) را ایجاد کرده که جهش عظیمی در مطالعات ارزیابی ایجاد نموده است (۱۵). برای ارزیابی، مهمترین کاربرد GIS بازبازی اطلاعات متفاوت از منابع مختلف، تبدیل هندسی آنها، مدل‌سازی و همپوشانی نقشه‌ها بر روی یکدیگر است (۱۹، ۲۱). GIS قادر است از تلفیق نقشه‌های مکانی

فازی، با بکارگیری مهمترین معیارهای تأثیر گذار بر روی این پدیده می‌باشد.

■ مواد و روش

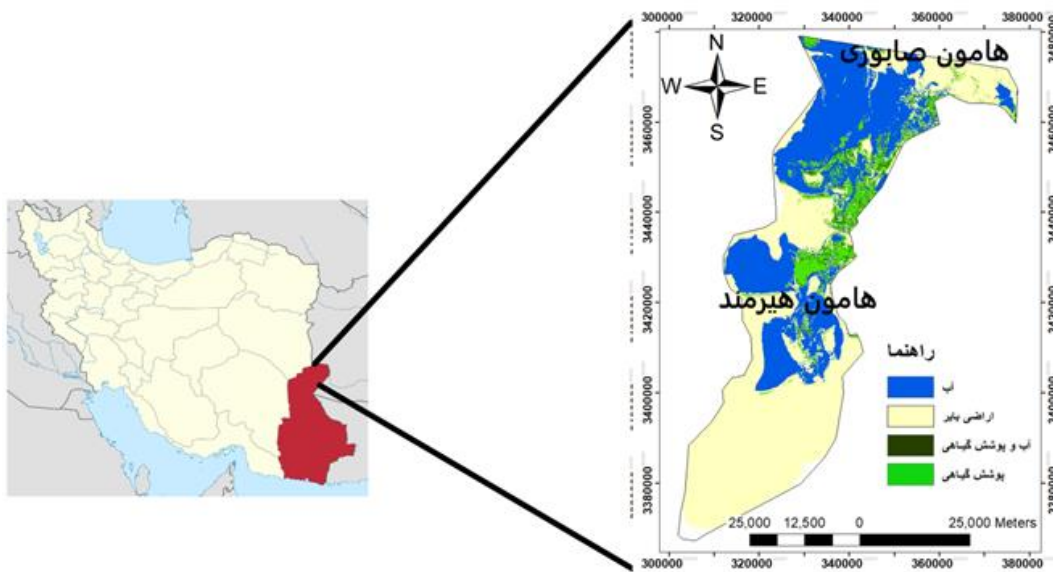
منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر در قسمت ایرانی تالاب بین المللی هامون با عنوان پناهگاه حیات وحش هامون، با مساحتی بالغ بر ۲۸۰۰۰۰ ha در ۲۵' ۳۰° تا ۲۷' ۳۱° عرض جغرافیایی و ۵۶' ۴۰° تا ۴۳' ۶۱° طول جغرافیایی در جنوب شرق ایران، شمال استان سیستان و بلوچستان و در مجاورت شهرستان زابل انجام شده است (شکل ۱). مهمترین منابع تأمین کننده آب تالاب هامون، رودخانه‌های هیرمند و فراه‌رود می‌باشند (۲۲). در زمان پرآبی پناهگاه حیات وحش هامون تنوع زیستی و گیاهی زیادی دارد. میانگین بارندگی منطقه کمتر از ۵۰mm و اقلیم آن به روش دمارتن فوق خشک است (۱۷). مهمترین جهت وزش بادهای کم‌منطقه متأثر از سامانه موسمی، شمال به جنوب به نام بادهای ۱۲۰ روزه است که از خرداد تا شهریور هر سال می‌وزند. مهمترین عامل تهدید کننده این پناهگاه، کاهش ورودی آب رودخانه‌های منتهی به آن و خشکسالی هیدرولوژیکی می‌باشد. به دلیل خشک شدن تالاب و وزش بادهای شدید موسمی، فرسایش بادی خاک بستر تالاب شدت یافته و در نتیجه شدت و تناوب توفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان افزایش پیدا کرده است (۱۲، ۲۲).

ویژگی‌های مختلف سرزمین، نقشه‌های نهایی ارزیابی را با بکارگیری مدل‌های ریاضی ارائه کند (۱۵).

منطقه سیستان با بارش سالانه حدود ۵۰mm و بدلیل وجود رسوبات آبرفتی، رودخانه‌ای و دریاچه‌ای ریزدانه، فرسایش‌پذیری زیادی دارد که با توجه به وزش بادهای ۱۲۰ روزه و اقلیم منطقه و ناکافی بودن پوشش گیاهی، ذرات خاک به آسانی جابجا شده و نه تنها موجب ایجاد ریزگردها و تشکیل توفان‌های گرد و غبار می‌شود، بلکه باعث به وجود آمدن تپه‌های ماسه‌ای به اشکال مختلف شده است (۲، ۱۲، ۱۶). این امر موجب مدفون شدن اراضی زراعی، کانال‌های آبیاری و روستاها شده و علاوه بر آن هوای آلوده و مملو از ریزگردها، ساکنین منطقه را دچار مشکلات تنفسی می‌نماید (۲۲). ردیابی توفان‌ها توسط تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که گستره وسیعی از مناطق شرق و جنوب کشور نیز تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبارناشی از منطقه سیستان قرار می‌گیرند (۱۶). در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از مدل ارزیابی چند معیاره که کمتر در مطالعات فرسایش بادی و خاکشناسی مورد استفاده قرار گرفته به همراه نظر کارشناسان و خبرگان و بر اساس شرایط خاک، اقدام به بررسی حساسیت پذیری منطقه به فرسایش بادی شده است.

هدف از انجام پژوهش حاضر، تعیین حساسیت مناطق مختلف پناهگاه حیات‌وحش هامون به فرسایش بادی با بهره‌گیری از روش ارزیابی چند معیاره و تلفیق آن با روش



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی

روش پژوهش

داده‌ها

برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر از تصویر ماهواره‌ای برای مرداد ۱۳۹۷ در زمان وقوع توفان گرد و غبار و تصویر آبان سال ۱۴۰۰ مربوط به سنجنده OLI^۱، همزمان با مطالعات میدانی، بررسی مطالعات گذشته مرتبط با موضوع مطالعه و نتایج مطالعات میدانی و نظرات کارشناسان و خبرگان استفاده شد.

تعیین معیارهای مورد نیاز مطالعه

برای تعیین معیارهای مورد نیاز ارزیابی حساسیت فرسایش بادی منطقه، در آغاز با مرور منابع ۱۹ معیار انتخاب شد. در پایان بر پایه پرسشنامه تکمیل شده توسط ۱۷ نفر از خبرگان خاکشناسی، مرتعداری، ژئومورفولوژی و محیط‌زیست تعداد ۱۴ معیار مربوط به خاک و ۱ معیار درصد تاج پوشش گیاهی انتخاب شد.

تعیین وزن معیارها

با تهیه ماتریس مقایسه‌های زوجی در قالب ۱۷ پرسشنامه و به روش AHP^۲ معیارها به صورت دو به دو، با یکدیگر مقایسه، نتایج به نرم افزار Expert choice وارد و وزن معیارها در هر پرسشنامه محاسبه شد. برای بررسی پرسشنامه‌ها، ضریب سازگاری آنها محاسبه و پرسشنامه‌های با ضریب بیش از ۰/۱ تعیین و ضمن توضیح، جهت بررسی مجدد برگشت داده شدند. با میانگین‌گیری هندسی از وزن‌های بدست آمده از هر پرسشنامه، وزن نهایی معیارها

تعیین شد. جواب‌های مقایسه برای هر دو معیار بر اساس جدول ۱، تکمیل شد.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی منطقه از تصویر سنجنده OLI مربوط به آبان ۱ و همزمان با نمونه برداری‌های میدانی استفاده شد. بنا به اطلاعات همراه تصویر، تصحیح هندسی بر روی تصاویر انجام شده بود. برای تهیه نقشه دقیق، تصحیح اتمسفریک به روش FLASH^۳ در محیط نرم افزار ENVI 5.1 بر روی تصویر اعمال شد. همچنین با اعمال مرز پناهگاه حیات وحش هامون، تصویر این منطقه از کل تصویر ماهواره‌ای جدا شد. برای معیار تراکم پوشش گیاهی از شاخص گیاهی SAVI^۴ تهیه شد. این شاخص با بهره‌گیری از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز و با ضریب L برابر ۰/۵ تهیه گردید (۱۱). رابطه ۱، نحوه محاسبه شاخص SAVI را نشان می‌دهد.

$$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right) \cdot (1 + L) \quad (1)$$

در این رابطه RED باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد. همچنین برای تهیه نقشه پوشش‌های مختلف خاک در تالاب هامون، با اعمال طبقه‌بندی نظارت نشده به روش خوشه‌ای، نقشه منطقه بر اساس تنوع بازتابی سطح زمین در ۹ طبقه بدون برچسب^۵ تهیه شد.

جدول ۱. مقیاسی برای مقایسه دو به دو معیارها (۱۹)

تعریف	امتیاز	ردیف
اهمیت مساوی	۱	۱
اهمیت اندکی بیشتر	۳	۲
اهمیت بیشتر	۵	۳
اهمیت خیلی بیشتر	۷	۴
اهمیت مطلق	۹	۵
اهمیت بینابین	۸، ۶، ۴، ۲	۶

4 Soil-Adjusted Vegetation Index

5 Label

1 Operational Land Imager

2 Analytic Hierarchy Process

3Fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hyper cubes

نمونه‌برداری میدانی و تهیه ویژگی‌های خاک

برای تهیه بررسی ویژگی‌های خاک منطقه با توجه به دسته‌های تهیه شده در طبقه‌بندی نظارت نشده تصویر ماهواره‌ای، بررسی نظر کارشناسان و بودجه زمانی و مکانی، تعداد ۱۳۵ نقطه محل نمونه‌برداری خاک در ۹ طبقه بازتابشی تعیین شد. برای تعیین زمان نمونه‌برداری، به منظور جلوگیری از تأثیر رطوبت حاصل از بارندگی، داده‌های مربوط به بارش شهرستان زابل بررسی و نمونه‌برداری به گونه‌ای انجام شد که طی ۲ ماه قبل از بررسی میدانی، باران در منطقه نباریده باشد. نمونه‌برداری از خاک سطحی تا عمق ۰/۱ متری انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل و اطلاعات مورد نیاز بر اساس جدول ۴، با روش‌های استاندارد، تعیین شد.

آماده‌سازی معیارها

برای ممکن شدن ترکیب معیارها با واحدها و مقادیر متفاوت، معیارها به روش فازی و با اعمال توابع مناسب با در نظر گرفتن تأثیر هر معیار در پدیده فرسایش بادی، بین صفر تا ۲۵۵ از مناطق بدون حساسیت تا حساسیت خیلی زیاد، استاندارد شدند. نقشه هر یک از معیارهای مربوط به خاک، با بهره‌گیری از روش درون‌یابی فاصله معکوس وزنی IDW¹ در محیط نرم افزار ARC GIS تهیه شد.

استانداردسازی داده‌ها

برای فراهم شدن امکان تلفیق معیارها با ارزش‌ها و واحدهای متفاوت، تمامی آنها با توجه به تأثیر گذاری مثبت یا منفی بر روی مقدار فرسایش‌پذیری بادی خاک، با بهره‌گیری از توابع کاهنده یا افزایشنده و با بهره‌گیری از توابع J شکل، بین صفر تا ۲۵۵ با عنوان بدون حساسیت و با

حساسیت خیلی زیاد، استاندارد شدند.

تهیه مدل حساسیت فرسایش بادی منطقه

برای تهیه مدل فرسایش بادی منطقه، معیارهای استاندارد شده با توجه به وزن‌های محاسبه شده به روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC²) بر پایه رابطه ۲، با یکدیگر ترکیب و مدل حساسیت فرسایش بادی پناهگاه حیات وحش هامون تهیه شد.

$$S = \sum W_i X_i \prod C_i \quad (2)$$

S = حساسیت به فرسایش بادی، X_i = ارزش فازی معیار، \prod = علامت ضرب، C_i = لایه بولین که محدودیت نامیده می‌شود، W_i = از لایه‌ها هریک وزن

در این مطالعه، لایه بولین مورد استفاده قرار نگرفت. برای تهیه نقشه طبقه‌های حساسیت به فرسایش، با در نظر گرفتن دامنه عددی استفاده شده در فازی‌سازی داده‌ها که بین صفر تا ۲۵۵ بود، مدل تهیه شده در طبقات ۵۰ واحدی، با توجه به جدول ۲، در ۵ طبقه تهیه شد.

ارزیابی صحت مدل فرسایش‌پذیری خاک

برای بررسی دقت نقشه تولید شده در ارتباط با سرعت آستانه فرسایش بادی و نتیجه مدل فرسایش بادی، در زمان نمونه برداری در ۴۰ محل نمونه‌برداری خاک که در شعاع بیش از ۵۰۰ متری محل از جهت وضعیت ظاهری خاک و پوشش گیاهی از وضعیت همگن برخوردار بود، با استقرار تونل باد سرعت آستانه فرسایش بادی اندازه‌گیری شد. به این ترتیب سعی شد تا سرعت آستانه محاسبه شده نماینده سطح وسیعی از منطقه باشد.

جدول ۲. حدود مناسب برای هر طبقه حساسیت فرسایش بادی

نام هر طبقه حساسیت فرسایش بادی	دامنه اعداد
با حساسیت فرسایش بادی خیلی کم	۰ - ۵۰
با حساسیت فرسایش بادی کم	۵۰ - ۱۰۰
با حساسیت فرسایش بادی متوسط	۱۰۰ - ۱۵۰
با حساسیت فرسایش بادی زیاد	۱۵۰ - ۲۰۰
با حساسیت فرسایش بادی خیلی زیاد	۲۰۰ - ۲۵۵

$$O.A = \frac{\sum_i^c E_{ii}}{N} \quad (17)$$

که در آن C تعداد طبقه‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا و $O.A^2$ صحت کلی می‌باشد.

نتایج و بحث

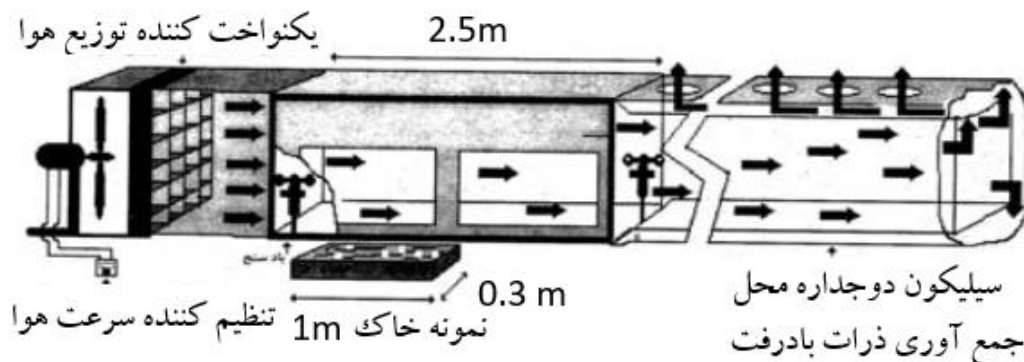
تعیین، تهیه نقشه و استانداردسازی نقشه معیارها

تصمیم‌گیری چند معیاره، روشی برای تصمیم‌گیری در مورد اهداف پیچیده چندگانه است (۱۵). این روش برای حل مسائل در دوره‌های زمانی بلند مدت، عدم قطعیت، ریسک و موضوعات پیچیده به کار می‌رود (۱۹). یکی از مزایای این روش امکان استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان در موضوعات مطالعه می‌باشد (۱۹، ۲۱). در ارزیابی چند معیاره، وزن‌دهی موجب می‌شود که لایه‌های مختلف ارزش‌های متفاوتی پیدا کنند و از این طریق تجزیه و تحلیل‌ها با دقت بیشتری صورت گیرد (۲۱).

دستگاه که دارای یک سطح تماس با خاک است و تغییرات ایجاد شده در خاک توسط باد با وجود جدار شیشه‌ای تعبیه شده قابل مشاهده است. کیسهٔ رسوبگیر که در انتهای تونل قرار دارد و بیشتر برای تعیین مقدار خاک فرسایش یافته قابل استفاده است. در این پژوهش از دستگاه تونل بادی (۲) ساخته شده توسط دانشگاه یزد استفاده شد (شکل ۲).

آستانه‌های مربوط به فرسایش بادی منطقه، در نرم‌افزار آماری و با بهره‌گیری از دستور گروه‌بندی شرطی^۱ براساس جدول ۳، با طبقه‌های مختلف حساسیت فرسایش‌پذیری بادی تطبیق داده شدند.

سپس آستانه فرسایش به سطح همگن نسبت داده شد و با مقایسه موقعیت هر محل با طبقه متناظر در نقشه فرسایش‌پذیری خاک، صحت کلی نقشه‌های تولیدی بر پایهٔ رابطهٔ ۳، محاسبه شد. صحت کلی به‌عنوان یک معیار ارزش‌گذاری دقت مدل از طریق تقسیم مجموعه پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده تمامی طبقات به مجموع پیکسل‌های مرجع می‌باشد:



شکل ۲. تصویر تونل باد مورد استفاده

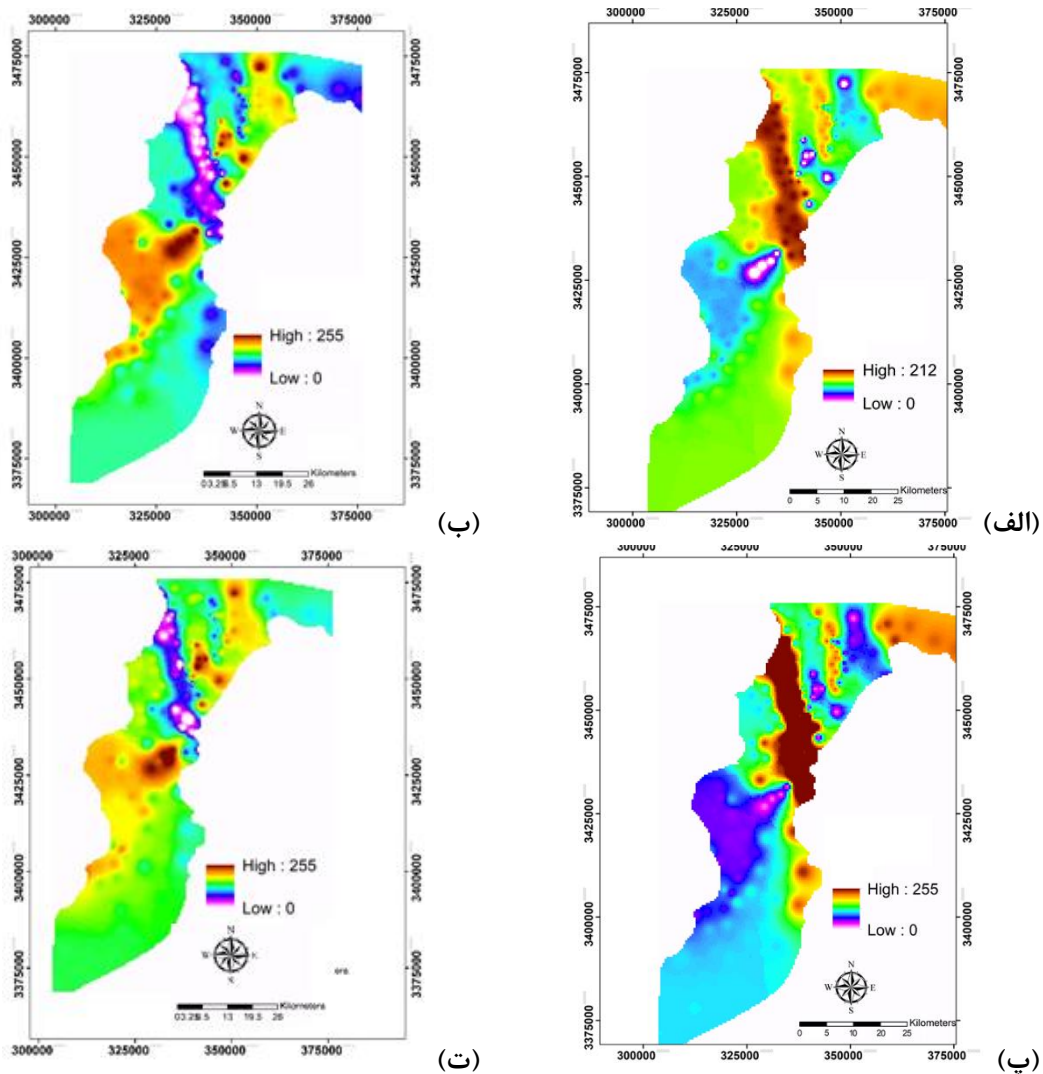
جدول ۳. حدود تعیین شده برای تعیین طبقات حساسیت فرسایش بادی بر اساس مقدار سرعت باد

ردیف	طبقات حساسیت فرسایش بادی	سرعت آستانه فرسایش بادی (متر بر ثانیه)
۱	با حساسیت فرسایش بادی خیلی کم	بیشتر از ۱۲
۲	با حساسیت فرسایش بادی کم	۱۰ تا ۱۲
۳	با حساسیت فرسایش بادی متوسط	۷ تا ۱۰
۴	با حساسیت فرسایش بادی زیاد	۵ تا ۷
۵	با حساسیت فرسایش بادی خیلی زیاد	کمتر از ۵

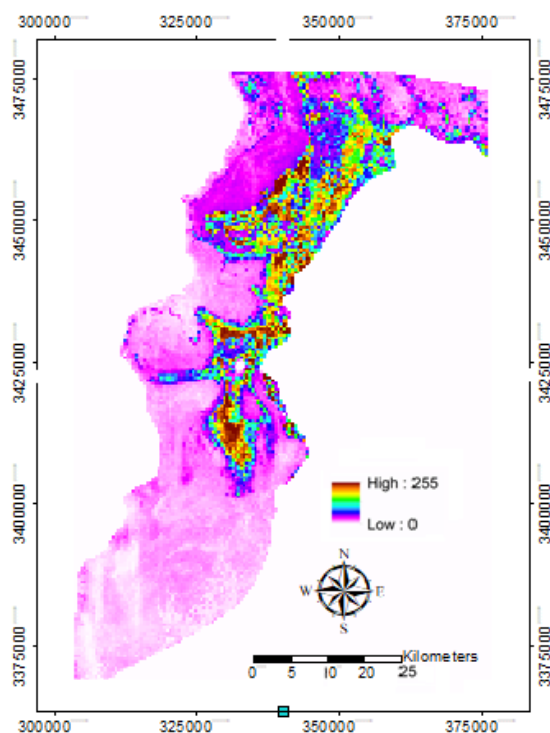
عددی پیکسل‌ها به مقادیر واقعی آنها گردید. مقادیر مربوط به هر شاخص نیز با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد در آزمایشگاه تهیه شد. نقشه معیارهای خاک با بهره‌گیری از روش IDW درون‌یابی شدند. از مزایای این روش حفظ مقدار نمونه در محل نمونه برداری و تهیه نقشه مناسب در صورت پراکنش مناسب نقاط نمونه برداری در منطقه می‌باشد (۲۷). نقشه‌های مختلف ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به همراه شاخص گیاهی SAVI تهیه و به صورت فازی استاندارد شدند. (شکل‌های ۳ الف الی ت)، نقشه استاندارد شده تعدادی از معیارهای مربوط به خاک و شکل ۴، نقشه استاندارد شده پوشش گیاهی بر اساس شاخص SAVI که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.

همچنین امکان تلفیق این روش با روش فازی، موجب می‌شود تا از مقدار عدم قطعیت که معمولاً در داده‌های مربوط به محیط زیست و منابع طبیعی وجود دارد کاسته شود (۱۹). با توجه به پیچیدگی ویژگی‌های خاک و معیارهای مؤثر بر فرسایش بادی، ارزیابی چند معیاره حساسیت فرسایش و استفاده از روش فازی، ضمن کاهش عدم قطعیت داده‌ها، امکان استفاده از طیف مختلفی از داده‌ها را فراهم نموده است.

در این پژوهش، با انجام مرور منابع و بررسی نظر کارشناسان، تعداد ۱۵ معیار شامل ۱۴ معیار خاک و معیار درصد تاج پوشش گیاهی، مناسب شرایط منطقه و مطالعه، در نظر گرفته شد. برای تهیه شاخص SAVI تصحیح اتمسفریک بر روی تصاویر انجام شد که موجب تبدیل ارزش



شکل ۳. نقشه فازی شده هدایت الکتریکی (EC) (الف)، کاتیون سدیم (ب)، کاتیون منیزیم (پ)، کاتیون کلسیم (ت)



شکل ۴. نقشه استاندارد شده پوشش گیاهی

در پژوهش حاضر وزن معیارها به روش AHP تعیین گردید. در مجموع ۱۷ پرسشنامه توسط استادان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌ها و تخصص‌های مختلف (خاکشناسی، آب و حفاظت آب و خاک) تکمیل شد. ضریب ناسازگاری در ۶ پرسشنامه بیش از ۰/۱ برآورد، به مصاحبه شونده اعلام و از ایشان درخواست شد تا در قضاوت‌ها بازنگری کنند. وزن نهایی لایه‌ها به روش میانگین گیری هندسی محاسبه شد. جدول ۴، وزن معیارها را نشان می‌دهد.

همانطور که جدول ۴، نشان می‌دهد، پوشش گیاهی دارای بیشترین وزن در بین معیارهای مورد بررسی بوده که نشان دهنده تأثیر مهم پوشش گیاهی بر روی فرسایش بادی می‌باشد. بررسی میدانی و تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی نشان داد در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم بونی^۱ (چمن) یا بوته‌ای همراه بونی، وجود دارد، مقدار آستانه فرسایش بادی در حالت بیشینه خود می‌باشد. همچنین در بررسی تأثیر افزایش مقدار پوشش گیاهی بر روی کاهش شدت توفان گرد و غبار در مرکز ایران اشاره شده است (۸). در پژوهش حاضر، وزن تخصیص داده شده به معیار EC خاک دومین رتبه را به خود اختصاص داده است.

بررسی (شکل‌های ۳ الف و ب) نشان می‌دهد معیارهای هدایت الکتریکی و سدیم خاک به عنوان معیارها با اثر گذاری افزایش بر روی فرسایش خاک در بستر هامون صابری دارای بیشترین مقادیر در سطح پناهگاه حیات وحش هامون می‌باشند. از طرف دیگر، بررسی (شکل‌های ۳ پ و ت) مربوط به مقدار کاتیون‌های کلسیم و منیزیم نشان می‌دهد در همین مناطق این کاتیون‌ها با اثر کاهنده بر روی پدیده فرسایش بادی، دارای مقادیر کمتر می‌باشند. برخلاف کاتیون سدیم که موجب از هم پاشیدگی ذرات خاک می‌شود، کاتیون‌های منیزیم و کلسیم دارای رابطه معکوس با قابلیت فرسایش پذیری خاک می‌باشند (۲۴). شکل ۴، مربوط به کمیت پوشش گیاهی در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد بیشتر نواحی تالاب هامون دارای خاک بدون پوشش می‌باشند. استقرار پوشش گیاهی، موجب تثبیت خاک و مقاومت در برابر فرسایش بادی، می‌گردد (۲۶).

تعیین وزن معیارها

جدول ۴. وزن محاسبه شده برای معیارها

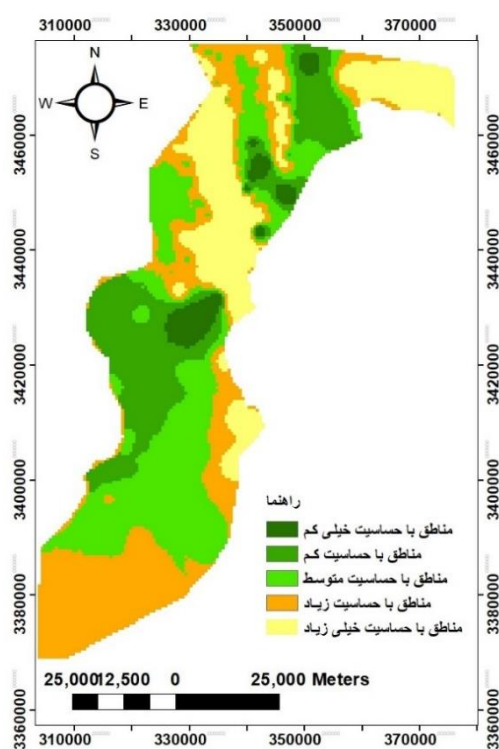
ردیف	معیار	وزن	ردیف	معیار	وزن
۱	کربنات کلسیم	۰/۰۷	۹	ماده الی	۰/۰۴
۲	کلسیم	۰/۰۳	۱۰	pH	۰/۰۶
۳	رس	۰/۰۶	۱۱	سیلت	۰/۰۸
۴	EC	۰/۱	۱۲	شن	۰/۰۳
۵	ESP	۰/۰۹	۱۳	SAR	۰/۰۸
۶	رطوبت	۰/۰۵	۱۴	وزن مخصوص	۰/۰۷
۷	منیزیم	۰/۰۲	۱۵	پوشش گیاهی	۰/۱۳
۸	سدیم	۰/۰۹			

نیز با افزایش حساسیت خاک به فرسایش بادی، دارای ارتباط مستقیم است (۲۴).

تلفیق معیارها

تمامی معیارها با بهره‌گیری از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) با یکدیگر ترکیب گردیده و مدل تهیه شده بر اساس جدول ۲، طبقه‌بندی شد. نقشه مربوط به حساسیت خاک پناهگاه حیات وحش هامون به فرسایش بادی در (شکل ۵) و مساحت هر یک از طبقات حساسیت به فرسایش بادی در (شکل ۶) نشان داده شده است.

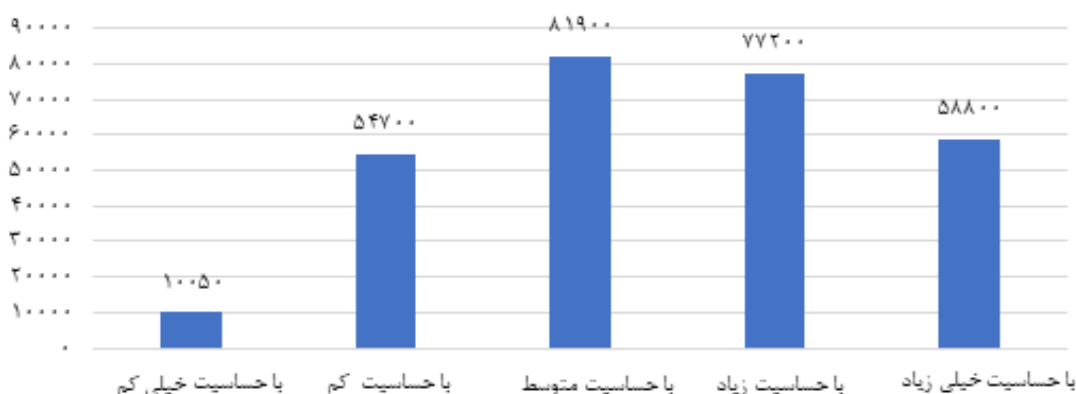
بررسی حساسیت خاک به فرسایش بادی، نشان‌دهنده است که هدایت الکتریکی به عنوان عامل مهمی در فرسایش بادی خاک است که با افزایش مقدار آن، خاک از نمک اشباع و نمک تبلور یافته به عنوان بخشی از ذرات خاک، موجب از هم پاشیدگی ذرات خاک و در نتیجه کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود که در نتیجه آن، سرعت آستانه فرسایش بادی کاهش پیدا می‌کند (۹) و (۲۰). از طرف دیگر، با افزایش مقدار هدایت الکتریکی خاک مقدار نسبت جذب سدیم افزایش پیدا می‌کند که این معیار



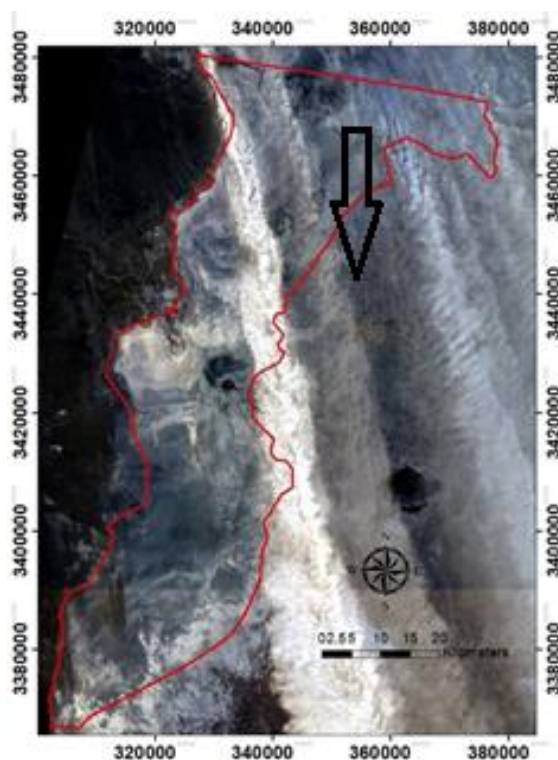
شکل ۵. نقشه حساسیت خاک به فرسایش بادی

(شکل ۷) مربوط به وقوع توفان گرد و غبار در مرداد سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد مناطق با بیشترین حساسیت به فرسایش بادی، منطبق با تونل‌های گرد و غبار در بستر هامون صابری می‌باشند که بررسی (شکل ۴) و (شکل ۷) نشان می‌دهد که شدیدترین آنها مربوط به نواحی بدون پوشش در بستر هامون صابری هستند. همچنین، قسمت جنوب شرقی منطقه در پناهگاه، دارای خاک حساس و منطبق با شدت توفان گرد و غبار در مرداد ۱۳۹۷ می‌باشد.

بررسی (شکل ۶)، مربوط به مساحت مناطق، نشان می‌دهد سطح وسیعی از منطقه در طبقه با حساسیت فرسایش متوسط تا خیلی زیاد قرار گرفته است. تصویر مربوط به وقوع توفان گرد و غبار در سطح منطقه سیستان و پناهگاه حیات وحش هامون مربوط به مرداد سال ۱۳۹۷ در (شکل ۷) نشان داده شده است. در این شکل قسمت‌های روشن مربوط به توفان گرد و غبار از جهت شمال به جنوب است که جهت وزش باد با فلش نشان داده شده است. مقایسه (شکل ۵) مربوط به حساسیت به فرسایش بادی با



شکل ۶. مساحت هر یک از طبقات حساسیت به فرسایش بادی (ha)



شکل ۷. تصویر توفان گرد و غبار در منطقه سیستان (خط قرمز، مرز پناهگاه حیات وحش هامون)

خشکی شدید و تردد زیاد دام و خودرو، توسط باد و با همراهی ذرات درشت‌تر، جابجا شده و بافت خاک به سمت سیلتی شدن پیش می‌رود (۲۶). از آنجائیکه پوشش گیاهی با دارا بودن تأثیر زیاد نقش مهمی در تثبیت خاک دارد (۸)، با ادامه خشکی بستر دریاچه و نیز روند شدید چرای دام‌های اهلی، با کاهش تراکم پوشش گیاهی، کوبیده شدن خاک توسط دام و با شورتر شدن خاک سطحی و در نتیجه از هم گسیختگی ذرات خاک، امکان تبدیل هر طبقه از حساسیت فرسایش بادی به طبقه و یا طبقات حساس‌تر وجود دارد که تهدید بزرگی برای حیات منطقه سیستان می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر به تأثیر عبور و مرور دام بر روی از بین رفتن سله‌ها و ساختمان سطح خاک و ایجاد ذرات ریزتر و در نتیجه افزایش شدید فرسایش پذیری خاک اشاره شده است (۵).

بررسی دقت مدل حساسیت فرسایش بادی

سرعت‌های محاسبه شده برای هر محل راه اندازه‌ی تونل باد با وضعیت موقعیت متناظر آن در نقشه حساسیت به فرسایش بادی مقایسه و صحت کلی نقشه برابر ۸۱٪ محاسبه شد که در حد قابل قبول در مقیاس مطالعه می‌باشد. جدول ۵، ماتریس تهیه شده برای ارزیابی صحت نقشه مدل حساسیت فرسایش بادی را نشان می‌دهد. بررسی جدول ۵، نشان می‌دهد بیشتر خطاهای مدل مربوط به تخصیص پیکسل‌های یک طبقه فرسایش‌پذیری به پیکسل‌های در طبقات بالاتر و پایین‌تر می‌باشد. در این جدول، سطر بیانگر مجموع پیکسل‌های نمونه برداری شده بر اساس نتایج استقرار تونل باد است.

بررسی میدانی نقشه فرسایش‌پذیری و روی هم اندازی لایه پوشش گیاهی بر روی آن نشان داد، مناطق با حساسیت فرسایش‌پذیری خیلی کم، بیشتر، منطبق با نواحی با پوشش گیاهی متراکم و با تخریب کم در اثر چرای دام، می‌باشند. از طرف دیگر، بافت خاک بر روی مقدار فرسایش بادی، دارای تأثیر است (۱، ۵، ۱۳). کاهش سطح پوشش گیاهی موجب افزایش سطح تماس باد با ذرات خاک می‌گردد و در نتیجه مقدار فرسایش بادی افزایش پیدا می‌کند (۱۸). مقایسه نقشه حساسیت خاک به فرسایش و نقشه مقدار رس خاک نشان داد، منطقه‌های موجود در دو طبقه با حساسیت خیلی کم و کم، بیشتر شامل مناطق با بافت رسی سخت با رطوبت بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر، مناطق با کمترین مقدار سرعت آستانه فرسایش بادی، اراضی با بافت لومی و شنی، با مقادیر بیشتر سدیم، رطوبت کم و SAR زیاد می‌باشد. در پژوهشی دیگر، ضمن اشاره به تأثیر بافت و رطوبت خاک بر روی فرسایش بادی و افزایش آن در مناطق با بافت لومی - شنی، به فرسایش‌پذیر بودن خاک‌های با بافت درشت و فاقد ذرات ریز چسبنده اشاره شده است (۳). در پژوهشی دلیل تأثیر رس در کاهش فرسایش‌پذیری خاک را کاهش نفوذپذیری خاک و پایداری خاک‌دانه‌ها و ایجاد چسبندگی بین ذرات خاک بیان کرده‌اند (۲۳). با این وجود، نتایج پژوهش حاضر نشان داد علی‌رغم رسی بودن خاک در برخی مناطق، فرسایش‌پذیری این نواحی بسیار زیاد می‌باشد. در پژوهشی در دشت سیستان بیان شده است، ذرات ریز رس با داشتن رطوبت موجب ایجاد چسبندگی می‌شوند، اما در شرایط خشکسالی‌های متوالی سیستان و کاهش رطوبت خاک، این ذرات به دلیل شدت یافتن وزش بادهای موسمی منطقه،

جدول ۵. نتیجه ارزیابی صحت مدل حساسیت فرسایش بادی

	با حساسیت خیلی کم	با حساسیت کم	با حساسیت متوسط	با حساسیت زیاد	با حساسیت خیلی زیاد
با حساسیت خیلی کم	۲۹۸	۱۰	۰	۱۱	۲۹
با حساسیت کم	۱۷	۳۹۳	۳۴	۲۰	۳۵
با حساسیت متوسط	۹	۳۰	۴۶۸	۷۲	۴۰
با حساسیت زیاد	۴	۲۶	۳۳	۴۵۰	۸۰
با حساسیت خیلی زیاد	۱۰	۲۱	۱۶	۴۱	۶۹۸
مجموع	۳۳۸	۴۵۰	۵۵۱	۵۹۴	۹۰۳
		٪۸۱	صحت کلی	۲۳۰۷	مجموع پیکسل‌های قطر اصلی
				۲۸۴۵	مجموع پیکسل‌ها

با این وجود، در طبقات با قابلیت فرسایش زیاد و خیلی زیاد، پیکسل‌هایی مشاهده می‌شوند که نتایج استقرار دستگاه تونل باد، آنها را به طبقات با قابلیت فرسایش‌پذیری کم و حتی خیلی کم نسبت داده است. بازدیدهای میدانی نشان داد، در برخی مناطق پوسته رویی خاک سطحی با ضخامت در حدود یک تا دو میلی‌متر، محکم و با آستانه منطبق با فرسایش‌پذیری کم یا حتی خیلی کم بود. بررسی وضعیت خاک لایه خاک زیرین این پوسته نشان داد که خاک، به صورت کاملاً پودری و بسیار فرسایش‌پذیر است. در این موارد علی‌رغم اینکه بر اساس معیارهای ارزیابی و نتایج آزمایشگاهی، منطقه دارای حساسیت فرسایش‌پذیری بسیار زیاد تعیین شده بود، اما سرعت آستانه محاسبه شده، تأییدکننده نقشه تهیه شده نبود. بررسی نمونه‌های برداشت شده، سدیمی بودن شدید خاک این نواحی را نشان داد. در مطالعه‌ای بیان شده است در خاک‌های غنی از نمک‌ها، نمک در سطح خاک تلغیظ شده و پوسته نازک نمکی را ایجاد می‌کند که مانع بادبردگی ذرات خاک می‌گردد. همچنین، وجود کربنات کلسیم بخصوص در خاک‌های رسی، موجب ایجاد سطح سخت و صیقلی بیان شده است (۹). بررسی جدول ۵، نشان می‌دهد، در برخی از نواحی، استقرار دستگاه تونل باد، یک منطقه با حساسیت زیاد به فرسایش بادی را نشان می‌داد در حالی که نتایج مدل‌سازی بر اساس ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی، نشان‌دهنده یک ناحیه با فرسایش کم و حتی خیلی کم بود. بررسی میدانی منطقه نشان‌دهنده چرای شدید و تحریب پوشش گیاهی در زمان نمونه برداری بود که موجب ایجاد اختلاف در مدل تهیه شده و واقعیت میدانی شده بود. بررسی‌های میدانی و مصاحبه با افراد محلی نشان داد در صورت شکستن لایه نازک سطحی خاک به وسیله دام‌های منطقه، این نواحی از مهمترین کانون‌های گردوغبار منطقه می‌باشند (۵).

■ نتیجه‌گیری

تالاب هامون قبل از شروع خشکسالی در سال ۱۳۷۸، به عنوان یکی از مهمترین زیستگاه‌های شرق ایران، منبع اقتصادی ساکنین منطقه سیستان و متعادل‌کننده وضعیت اقلیمی منطقه بوده است (۱۶، ۱۷، ۲۲). با تداوم

خشکسالی‌ها به دلیل قطع رودخانه‌های تامین‌کننده آب آن، در طی سه دهه اخیر بسیاری از کارکردهای خود را از دست داده است و هم‌اکنون بستر آن به یکی از مهمترین کانون‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران و کشورهای همسایه با اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تبدیل شده است (۱۶، ۲۲). این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک پناهگاه حیات وحش هامون بر قابلیت فرسایش‌پذیری نواحی مختلف آن انجام شد. آنگیزی برخی از قسمت‌های تالاب در زمان بررسی، یکی از محدودیت‌های این بررسی بود. بررسی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به وقوع توفان‌های گرد و غبار، بررسی نظر کارشناسان و بازدیدهای میدانی، نواحی مختلف این تالاب دارای حساسیتهای متفاوت به پدیده فرسایش بادی هستند (۱۶). یکی از مهمترین یافته‌های پژوهش حاضر، پهنه بندی حساسیت فرسایش بادی خاک بر اساس معیارهای فازی شده مؤثر در مقدار فرسایش بادی منطقه، در سطح تالاب هامون بود. بررسی نمونه‌های خاک برداشت شده از سطح تالاب هامون نشان داد، هر چند مقدار رس در بیشتر نواحی تالاب غالب می‌باشد، اما با تداوم خشکسالی و از دست دادن رطوبت خاک، چسبندگی ذرات خاک کاهش یافته و ذرات ریز رس، با وزش باد از سطح خاک کنده می‌شوند (۲۰). یکی از تفاوت‌های مهم در خاک این تالاب، تفاوت در مقدار هدایت الکتریکی و مقدار کاتیون سدیم خاک در برخی مناطق بود که موجب از هم پاشیدگی ذرات خاک در این نواحی شده بود (۹). از طرف دیگر، در برخی مناطق، به‌ویژه در هامون صابری، حتی علی‌رغم وجود پوشش گیاهی، به دلیل چرای شدید دام، پیوستگی بین ذرات سبک خاک از بین رفته بود که استقرار تونل باد در این نواحی نشان داد، این مناطق به یکی از مهمترین کانون‌های گرد و غبار در سطح تالاب تبدیل شده‌اند که منطبق با نتایج مدل تهیه شده نبود. با توجه به تداوم خشکسالی در منطقه سیستان و وزش بادهای شدید موسمی، این امکان وجود دارد تا برخی از طبقات حساسیت فرسایش بادی این منطقه به طبقات با حساسیت بیشتر تبدیل شوند که موجب تشدید پدیده گرد و غبار در منطقه سیستان، کشورهای افغانستان، پاکستان و ایران خواهد

بر روی افزایش فرسایش‌پذیری خاک مورد بررسی بیشتری قرار گیرد.

■ سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تأمین‌کننده مالی این پژوهش، دانشگاه زابل با شماره پژوهانه IR-UOZ-GR-4211 تقدیر و تشکر نمایند.

شد. با توجه به تأثیرهای وسیع پدیده گرد و غبار در زندگی جوامع منطقه سیستان، نتایج این بررسی در انجام اقدامات مدیریتی با بیشترین تأثیر در کاهش پدیده گرد و غبار در مناطق با بیشترین قابلیت فرسایش‌پذیری بادی و نیز کنترل طبقات با قابلیت کمتر اما مستعد افزایش مقدار فرسایش‌پذیری، دارای کاربرد خواهد بود. همچنین، پیشنهاد می‌شود در بررسی دیگر مناطق، تأثیر چرای دام

■ References

1. Amin, P and Taghizadeh, R. (2016). Investigating the potential of soil wind erodibility in arid and hyper arid lands in central Iran (Case Study: Yazd-Ardakan plain). *Quantitative Geomorphological Research*, 5(2), 20-35. (in Farsi)
2. Arbab, M., Pahlavanravi, A., Piri, S, H & Amiri, M. (2018). Accuracy assessment of geo-statistics and artificial neural networks methods to estimate threshold wind velocity: A Case of Jazinak Region, Sistan Plain. *Environmental Erosion Research Journal*, 8(31), 87-105. (in Farsi)
3. Ayazi, Z., Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H and Mashhadi, N. 2017. Investigation potential sedimentation geomorphology facies with usage wind erosion meter and IRIFR. E. A model (case study, Kashan- Aran). *Desert Management*, 4(8), 70-83. (in Farsi)
4. Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L & Panagos, P. (2016). A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modeling approach. *Land Degradation and Development*, 28, 335-344.
5. Chakherlou, S., Jafarzadeh, A.A., Ahmadi, A., Feizizadeh, B and Shahbazi, F. 2021. Soil Wind Erodibility Zonation of the Urmia Lake Eastern shores. *Water and Soil Science*, 31(3), 1-14.
6. Chatrenour, M., Landi, A., Noroozi, A.A & Bahrami, H.A. (2021). Estimation of Wind Erosion Threshold Friction Velocity in Areas Prone to Dust Production by Spectroscopy in Khuzestan. *Soil Research*, 34(4), 465-483. (in Farsi)
7. Cornelis, W.M., Gabriels, D., and Hartmann, R. (2004). A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. *Geomorphology*, 59, 43-51.
8. Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M and Naghavi, S. (2019). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management*, 34(3), 239-263.
9. Ekhtesasi, M.R. Akhavan, M., Azimzadeh, H.R and Emtehani, M.H. (2003). Effect of salt on erodibility of soil by wind. *Natural Resource*, 56(1), 17-28. (in Farsi)
10. Hagen, L. J., Van, S.V & Sharratt, B. (2010). Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion. *Aeolian Research*, 1, 147-153.

11. Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 25, 295-309.
12. Jahantigh, M. (2015). Study of back and forth role in wind erosion of dry land region, case study: dry bed of Hamoon lake in Sistan area. *Watershed Engineering and Management*, 7(3), 297-305. (in Farsi)
13. Ji, J, H., Qiang, C & Wen, C. (2013). Tunnel study of multiple factors affecting wind erosion from cropland in agro-pastoral area of Inner Mongolia, China. *Mountain Science*, 10, 68-74.
14. Mahmoudabadi, M & Zamani, S. (2013). Effect of wind speed and soil particle size distribution on sediment transport mechanisms due to wind erosion. *Watershed Engineering and Management*, 4(3), 1-16. (in Farsi)
15. Malczewski, J. (2006). GIS-based multi criteria decision analysis: a survey of the literature. *Geographical Information Science*, 20(7), 703-726
16. Maleki, S., Miri, A., Rahdari, V and Dragovich, D. (2021). A method to select sites for sand and dust storm source mitigation: case study in the Sistan region of southeast Iran, *Environmental Planning and Management*, 64(12), 2192-2213
17. Maleki, S & Rahdari, V. (2022). Investigation of L band PALSAR synthetic aperture radar (SAR) data in land cover mapping. *Desert Management*, 9(4),23-38. (in Farsi)
18. Middleton, N. (2018). Rangeland management and climate hazards in drylands: Dust storms, desertification and the overgrazing debate. *Natural Hazards*, 92 (S1),57-70.
19. Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R & Mirfenderesk, H. (2015). Comparison of and AHP in spatial multi criteria decision making model for urban land-use planning. *Computer, Environment and Urban Systems*, 49, 54-65.
20. Panayiotopoulos, K. P., N. Barbayiannis and K. Papatolios. (2004). Influence of electrolyte concentration, sodium adsorption ratio, and mechanical disturbance on dispersed clay particle size and critical flocculation concentration in Alfisols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*,35, 1415-1434.
21. Rahdari, V. (2020). Black bear habitat suitability modeling in a part of Sistan and Balouchestan province using multi-criteria evaluation method. *Natural Environment*, 73(3), 485-499. (in Farsi)
22. Rahdari, V & Maleki, S. (2019). *Assessing the economic damage of drought and dust storm in the last two decades in Sistan region*. International Conference of Dust storm in Southwest Asia, University of Zabol. (in Farsi)
23. Sadatinejad, S, J., Yazdani, Y, Khazayi, M and Vali, A. 2015. Study of soil erodibility using geostatistics way (Case Study: Province of Kohgiluyeh Boyer Ahmad). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(6), 2015. 43-54. (in Farsi)
24. Shahabinejad, N., Mahmoodabadi, M., Jalalian, A and Chavoshi, E. (2020) . The Influence of Soil Properties on the Wind Erosion Rate at Different Regions of Kerman Province. *Water and Soil Science*, 24(3), 209-222. (in Farsi)

25. Sirjani, E., A. Sameni, A. A. Moosavi, M. Mahmoodabadi and B. Laurent. (2019). Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma*, 333, 69-80.
26. Soloki, H., Khamsehchian, M., Hafezi.M, N & Alavi.P, S.K. (2009). Study of wind erosion in Sistan plain and its effects on engineering properties of soils. *Engineering Geology*, 2(3), 13-26.
27. Zhengquan, L., Kuo, W., Hao, M and And Yaoxiang, W. 2018. Adjusted inverse distance weighted spatial interpolation method. *Advances in Computer Science Research*, 65, 128-132.
28. Yan, N., P. Marschner, W. Cao, C. Zuo and W. Qin. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3,316-323.