The impact of furrow on aeolian sediment transport, erosion, and granulometry changes (Case study: Nimroz city of Sistan and Baluchestan Province)

Moien Jahantigh [a,*] , **Mansour Jahantigh** [b]
[a] *Assistant professor, Department Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran*
[b] *Associate professor, Department Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2024/9/29 Accepted: 2024/10/25)

Extended abstract

1- Introduction

Currently, continued drought and accelerated desertification in the Sistan region have led to sandstorms and created environmental and humanitarian crises. This has not only devastated the region's ecosystem but also faced significant challenges to the lives of its residents. In addition, the consequences of these destructive phenomenon cause a lot of damage to urban and rural facilities and infrastructures. The most important factors affecting wind erosion in arid areas include low humidity, poor vegetation, destruction of soil structure (Physical and chemical) and flat land surface. In response to the dehydration crisis and the limitations of biological measures, as well as the prevalence of high erosive winds, increasing soil roughness by creating barriers to control the movement of soil and flowing sand is a practical approach to prevent the destructive consequences of wind erosion in this region. Hence, this research aims to investigate the effect of furrow on increasing soil roughness to control sand movement and reduce sediment transport in the wind erosion centers of the Nimroz City.

2- Methodology

The study area located in the west of Hamon Lake with geographical coordinates between 61°8 ' 40" to 61°8 ' 46" east longitude and between 31°9 ' 24" to 31°9 ' 29" north and at an altitude of about 473 meters above sea level. The average annual precipitation of the study area is less than 50 mm, which often falls sporadically in the winter. Regarding topography, the studied area has a low slope and is free from low and high elevations. Moreover, this area due to severe erosion is one of the active dust sources in IRAN. The experiment had been conducted in a randomized complete block design with 42 treatments in 3 replications. The treatments included: type of soil roughness (furrow and control), Distance of sediment traps (1m, 16m, 31m, 46m, 61 and 76m) and times (March, May, June, July, August, September, October). Using tractor and furrower blade, the farrows were built in such a way that they were perpendicular to the wind direction. Sediment traps were set up in each treatment at a height of 0.18 cm above the soil surface. After each sand storm, samples were collected to analyze the sediment particle size and granulometry parameters such as Mid-average, Kurtosis, Skewness, and sorting. To analysis the mean of parameters among different land uses were used the Duncan test.

3- Results

The result showed that under the type of soil roughness there is a significant difference in the amount of aeolian sediment ($P<0.05$). Thus, the amount of sediment in the control area is equal to 454.2 grams, which has decreased to 68.3 grams with the construction of the furrow and the increase in the roughness of the soil surface. Beside that, the findings indicate the amount of sediment trapped is different in the experimental treatments too ($P<0.05$). So that with the increase of wind speed during the months of July and August and (with an average wind speed of 25.1 and 2.23 m/s, respectively) the amount of sediment in the furrow area at intervals of 1, 16, 31, 46, 61 and 76 m was associated with an average decrease of 4.7, 4.8, 6.4, 7.3, 8.6 and 1.14 times compared to the control

* **Corresponding Author: Moienja23@yahoo.com**

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

area. According to the obtained results, the mean and average values of aeolian sediment in the control area are equal to 2.04 phi (equal to 235 microns) and 2.18 phi (equal to 220 microns), respectively. While, by furrow construction the median and mean values of particles size turned to 3.28 phi (105.11 microns) and 3.55 phi (88.39 microns), respectively. According to result the sediment texture in control area is in the sandy-loamy class, which with a decrease of 1.6 times of sand and an increase of 2.6 and 1.1 times of clay and silt has been changed to the loamy class in furrow area.

4- Discussion & Conclusions

In this research, we investigated the effect of furrow construction on soil roughness to control sand movement and reduce erosion in the erosion zone of Nimroz City. As results depicted, under the effect of furrows construction, the amount of sediment trapped decreased by 6.4 times compared to the control area ($P<0.05$). Also, the particles size of aeolian sediment in the control area were equal to 235 microns, which in the furrows area has decreased to 88.39 microns. This process implies that the increment of soil roughness along contour lines, directly alters the wind flow and decreases the destructive power of the wind and consequently sediment transport potential .

Overall, the construction of furrows in the erosion zone of the Sistan region, which is mostly devoid of vegetation and has flat topography, by increasing the roughness of the ground surface, caused the sand movement significantly decreased. In addition, this practice is adapted to harsh weather conditions in the Sistan region and can implemented with minimal facilities in fragile areas. Additionally, due to the scattered rainfall in these areas, the furrow system acts as a rainwater catchment system to collect the runoff and provide a suitable condition for restoring vegetation and consequently stabilizing and controlling erosion zones in these areas.

Key Words: Caravansara, Particle size, Sand movement, Soil roughness, Sediment traps.

Cite this article: Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2024). The impact of furrow on aeolian sediment transport, erosion, and granulometry changes (Case study: Nimroz city of Sistan and Baluchestan Province). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2025; 14 (4) :1-18*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

بررسی تاثیر فارو بر میزان حمل رسوب، فرسایش و گرانولومتری رسوبات‌بادی (مطالعه موردی : شهرستان نیمروز استان سیستان و بلوچستان)

معین جهان‌تیغ* : *استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران*

منصور جهان‌تیغ : *دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۴)

DOI: http//doi.org/

چکیده

تداوم خشکسالی و تسریع روند بیابانزایی باعث تشدید وقوع طوفان‌های گرد و خاک و حرکت ماسه‌های روان در منطقه سیستان شده است که ضمن ایجاد بحران‌های زیست محیطی، خسارات زیادی را نیز به تأسیسات و زیر ساخت‌های شهری و روستایی در این منطقه بهمراه داشته است. هدف از اجرای پژوهش حاضر بررسی تاثیر فارو بر افزایش زبری خاک به منظور کنترل ماسه‌های روان و کاهش بار رسوبی آن در کانون‌های فرسایشی منطقه کاروانسرای شهرستان نیمروز است. تیمارهای این پژوهش متشکل از نوع زبری (فارو و شاهد)، فاصله (۱، ۱۶، ۳۱، ۴۶، ۶۱ و ۷۶ متر)، و زمان (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر) است که به صورت فاکتوریل در بلوک تصادفی و در ۳ تکرار اجرا شد. با نصب تله رسوبگیر و پیکه چوبی، میزان رسوب حمل شده در تیمار و عمق فرسایش در بازه زمانی مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. همچنین با نمونه برداری از تله‌های رسوبگیر پارامترهای آماری میانگین ترسیمی (Mz)، جورشدگی انحراف معیار جامع (σ_I)، کج شدگی ترسیمی (SKI) و کشیدگی (KU) برای هریک از تیمارها با استفاده از نرم افزار GRADISTAT آنالیز شد. یافته‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر در تیمارهای آزمایشی وجود دارد ($P > ۰/۰۵$). بطوریکه با احداث فارو و افزایش زبری سطح خاک میزان رسوب از ۴۵۴/۲ گرم در منطقه شاهد به ۶۸/۳ گرم در محل احداث فاروها کاهش یافته است. همچنین بررسی پارامترهای رسوب‌شناسی نیز بیانگر کاهش محسوس اندازه ذرات رسوبات بادی در محل احداث فاروها (۸۸/۳۹ میکرون) نسبت به منطقه شاهد (۲۲۰ میکرون) بودکه باعث تغییر بافت رسوب از کلاس شنی- لومی در منطقه شاهد به کلاس لومی در محدوده اجرای فاروها شده است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر احداث فارو با افزایش زبری سطح خاک باعث کاهش میزان رسوب انتقالی توسط باد می‌شود که بستری مناسب برای کنترل حرکت ماسه‌های روان در کانون‌های فرسایشی منطقه سیستان را فراهم می‌نماید.

واژگان کلیدی: تله‌رسوبگیر، دانه سنجی، زبری خاک، کاروانسرا، ماسه‌های روان.

* نویسنده مسئول : Moienja23@yahoo.com

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

۱ـ مقدمه

بحران بی‌آبی و تداوم خشکسالی از برجسته ترین چالش‌های موجود در مناطق خشک بشمار می‌رود که با گسترش بیابان‌زایی باعث ایجاد فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های شنی و گرد و غبار در این مناطق شده است (Berdugo et al., 2020; Prăvălie, 2016). این فرآیند ضمن تسریع روند تخریب محیط زیست، سلامت انسانی و شرایط زندگی برای ساکنین این مناطق را نیز با چالش‌های عدیده‌ای همراه نموده است (Jahantigh et al., 2023; Rostami et al., 2023; Mohammadi et al., 2010). علاوه برآن پیامدهای این پدیده مخرب سالانه خسارات زیادی را به تأسیسات و زیر ساخت‌های شهری و روستایی متحمل می‌نماید. در حال حاضر بخش قابل توجهی از مساحت ایران در مناطق خشک و برروی کمربند بیابانزایی واقع شده است که منابع مهمی برای بروز طوفان‌های گرد و غبار به خصوص در نواحی شرق و غرب کشور را فراهم نموده است (Shahsavani et al., 2012; Ebrahimi Khosfi, 2019; Boroughani et al., 2019).

از مهمترین عوامل موثر بر ایجاد فرسایش بادی در مناطق خشک رطوبت کم، پوشش گیاهی فقیر، تخریب ساختمان خاک (فیزیکی و شیمیایی) و سطح صاف و هموار اراضی می‌باشد که تحت تاثیر دخالت‌های انسانی و عدم مدیریت صحیح اراضی تشدید می‌گردد (Wang et al., 2019; Nicholas et al., 2017). از اینرو با در نظر گرفتن پتانسیل‌های موجود در مناطق خشک و بهره‌گیری از روش‌های نوین و کارآمد می‌توان از رویکردهای مدیریتی سازگار برای کنترل فرسایش بادی به ویژه طوفان‌های ماسه‌ای در کانون‌های فرسایشی استفاده نمود. در این خصوص تاثیر ناهمواری سطح زمین که رابطه نزدیکی با توزیع اندازه ذرات دارد و منعکس کننده نحوه فرآیند انتقال رسوب نیز می‌باشد نقش بارزی بر میزان فرسایش و انتقال ذرات رسوبات بادی ایفا می‌نماید. بطوریکه در فرآیند انتقال ذرات رسوب، ذرات با اندازه ۰/۸ تا ۲ میلی¬متر به صورت خزش، ۰/۱ تا ۰/۸ میلی¬متر به صورت جهش و کمتر از ۰/۱ میلی¬متر به صورت تعلیق انتقال می‌یابد (Refahi, 2004; Hagen, 2010). از اینرو افزایش زبری سطح خاک با اجرای عملیات خاک ورزی و ایجاد باد شکن برای کنترل فرسایش بادی به عنوان یکی از روش‌های سازگار با شرایط سخت آب و هوایی در مناطق خشک با تغییر رفتار دینامیکی باد، فرآیند انتقال رسوب و در نتیجه کنترل فرسایش بادی را بهمراه دارد که همواره مورد توجه محققین بوده است. مطالعات Kardous و همکاران (۲۰۰۵) در تونس نشان داد که ایجاد برآمدگی به ارتفاع ۰/۵۲ سانتی‌متر در زمین‌های مسطح نقش زیادی در کاهش سرعت باد و در نتیجه کاهش میزان فرسایش بادی داشته است. در پژوهشی دیگر Hajehforosh Nia و همکاران (۲۰۲۱) با هدف ارزیابی کارایی روش مالچ سنگی بر کنترل حرکت ماسه‌های روان از قلوه سنگ و سرباره‌های فولادی در دشت سگزی اصفهان استفاده نموده‌اند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از مالچ سنگی با قطر ۳۰ تا ۴۰ میلی‌متر با تراکم ۲۵ تا ۵۰ درصد باعث افزایش زبری خاک تا حدود ۴ سانتی متر و کاهش ۴۰ درصدی قدرت فرسایندگی باد در ایستگاهای مورد مطالعه شده است. در مطالعه‌ای دیگر Zhang و همکاران (۲۰۲۲) اثر ناهمواری سطح زمین بر ویژگی‌های رسوبات بادی انتقال یافته در فلات آلکسا چین را مورد بررسی قرار دادند. آنها با اندازه‌گیری تغییرات حجم رسوبات بادی و آنالیز اندازه ذرات در ایستگاه‌های مورد مطالعه دریافتند که درناهمواری‌های کمتر از ۰/۳ متر لندازه ذرات رسوبات‌بادی در حد ۶۳تا ۵۰۰ میکرون متغیر می‌باشد؛ در حالیکه در اراضی مسطح و هموار بیش از ۲۰ درصد فروانی رسوبات مربوط به ذرات بیش از ۵۰۰ میکرون

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

بوده است. آنان افزایش زبری سطح زمین را مهمترین عامل در کاهش قدرت فرسایندگی باد و انتقال ذرات درشت دانه در محدوده مورد مطالعه گزارش نموده‌اند. Caster و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر ناهمواری بر میزان انتقال رسوب بادی در کانون‌های فرسایش بادی آریزونا در ایالات متحده آمریکا پرداختند. آنان با نصب تله‌های رسوبگیر در کاربری‌های مختلف و اندازه‌گیری حجم ماسه‌های روان به صورت ماهانه دریافتند که بیشترین تغییرات حجم ماسه‌های روان مربوط به اراضی بایر و بدون پوشش گیاهی است و با افزایش ناهمواری به ارتفاع ۰/۲۵ سانتی‌متر میزان رسوب انتقالی به طور متوسط ۳۰ درصد کاهش یافته است. علاوه بر آن ایجاد کلوخه با احداث فارو در فواصل مختلف در مناطقی که دارای لایه سخت و متراکم در افق سطحی خاک است ضمن افزایش زبری سطح خاک بستری مناسب برای جمع‌آوری نزولات جوی که به صورت پراکنده در این مناطق ریزش دارد را نیز فراهم می‌نماید. ایجاد زبری و ناهمواری در امتداد یک خط تراز ضمن تقلیل سرعت باد باعث جلوگیری از حرکت ذرات خاک در اراضی مسطح و فاقد پوشش گیاهی می‌باشد که با نفوذ آب و افزایش رطوبت خاک بستری مناسب برای استقرار گیاه را نیز فراهم می‌نماید Liu .(Iwasaki et al., 2024 et al., 2019; Jia) و همکاران در مطالعه‌ای (۲۰۰۶) اثر ناهمواری سطح زمین بر کاهش سرعت باد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خطوط تراز باعث کاهش ۲۰ تا ۶۰ درصدی سرعت باد شده است. آنان همچنین گزارش نموده‌اند که فاصله این خطوط از همدیگر تأثیر مثبتی بر کاهش فرسایش دارد و با افزایش ارتفاع و عرض آنها انتقال ذرات درشت دانه و در نتیجه میزان فرسایش خاک کاسته می‌شود. در پژوهشی دیگر John (۲۰۱۰) گزارش نمود که احداث فاروهایی به عرض ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و عمود بر جهت باد روشی کار آمد به منظور ایجاد کلوخه و افزایش زبری سطح خاک می‌باشد. همچنین شرایط مطلوب برای احداث این فاروها جهت تعدیل قدرت فرسایندگی باد و کنترل ذرات رسوب بادی را نیز در حدود ۱ تا ۲ متر گزارش نموده است. Wang و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی اثر مدیریت خاک‌ورزی بر فرسایش بادی خاک زراعی منطقه مولیسول در چین با نصب تله‌های رسوبگیر در ارتفاعات ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر دریافتند که به ترتیب ۸۰/۳۷ ٪ و ۸۵/۴۲ ٪ از کل فرسایش بادی در تیماری بدون خاک ورزی و خاک‌ورزی به صورت خزش صورت گرفته است و عملیات خاک‌ورزی باعث کاهش ۱۵ درصدی انتقال ذرات درشت دانه در مقایسه با تیمار شاهد شده است.

بررسی یافته‌ها نشان داد که زبری خاک نقش کلیدی بر تغییر شرایط دینامیکی و همچنین کاهش قدرت فرسایندگی باد دارد که این فرآیند انتقال ذرات و میزان فرسایش بادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و از طرفی با توجه به سازگار بودن با طبیعت و قابلیت اجرای با حداقل امکانات و هزینه در عرصه‌های منابع‌طبیعی، سزاوار است که کاربرد آن در کانون‌های فرسایشی مناطق خشک مورد توجه جدی قرار بگیرد.

تداوم خشکسالی و تشدید فرسایش بادی از چالش‌های برجسته در منطقه سیستان است که ضمن ایجاد بحران‌های زیست محیطی، حیات ساکنین این منطقه را نیز با تحدید همراه نموده است. در حال حاضر بخش قابل توجهی از مناطق شهری و روستایی در منطقه سیستان در معرض هجوم ماسه‌های روان قرار دارد که ضمن ایجاد خسارات زیاد به تأسیسات و زیر ساخت‌ها باعث تخلیه مناطق سکونتگاهی و مهاجرت ساکنین این مناطق شده است. با توجه به شرایط سخت آب و هوایی منطقه سیستان و همچنین عدم موفقیت اقدامات بیولوژیکی صورت گرفته طی سال‌های اخیر، کنترل حرکت ماسه‌های روان نیازمند ارائه روشی کارآمد و سازگار با شرایط اقلیمی این منطقه است. از اینرو افزایش زبری

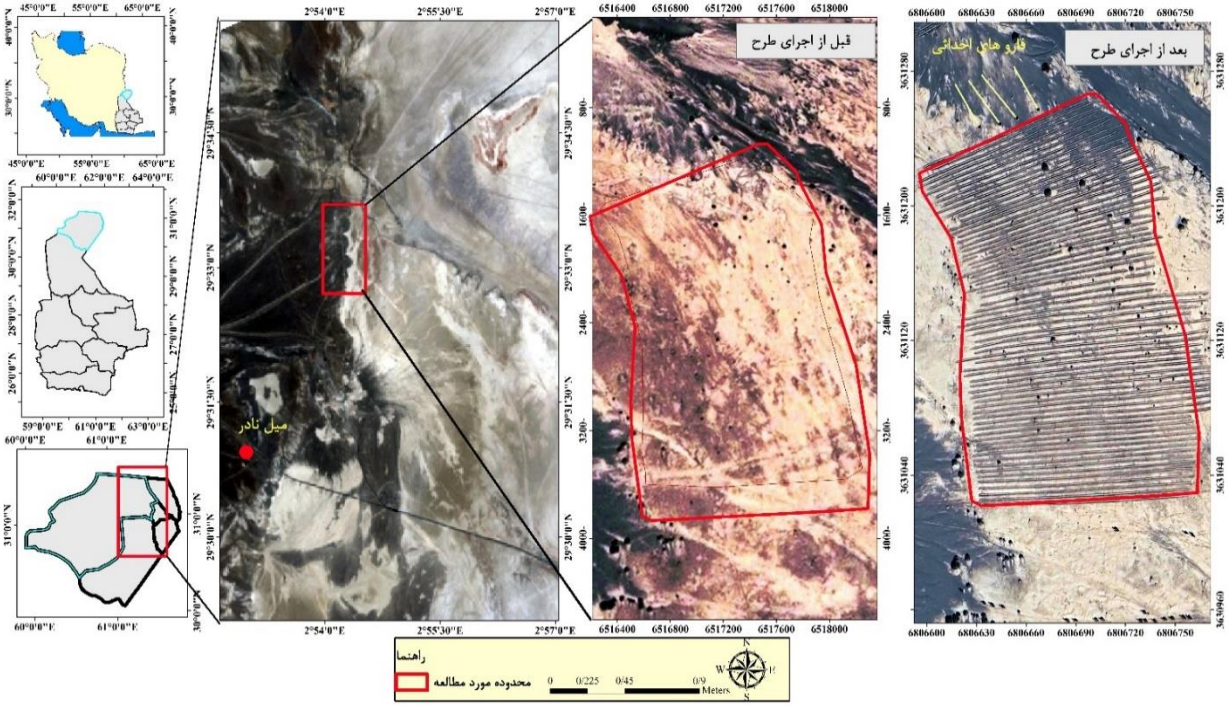
[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

خاک با اجرای عملیات خاک‌ورزی منطبق بر اصول علمی و در نظر گرفتن پتانسیل‌های موجود، نقطه عطفی به منظور ارائه یک اقدام کاربردی و سازگار برای کنترل و کاهش اثرات مخرب فرسایش بادی در منطقه سیستان است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر فارو بر زبری خاک و نقش آن بر تغییرات میزان ترسیب، فرسایش و گرانولومتری رسوبات بادی در - شهرستان نیمروز انجام شد. انتظار می‌رود که دستاوردهای این پژوهش درک و آگاهی کلی ما را از میزان تاثیر فارو بر زبری خاک و نقش آن در توزیع اندازه ذرات رسوبات بادی و همچنین کنترل فرسایش بادی را ارتقا دهد که می‌تواند مبنایی برای اتخاذ اقدامات کاربردی برای تثبیت و کنترل کانون‌های فرسایشی منطقه سیستان قرار گیرد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

محدوده اجرای طرح در شهرستان نیمروز و منطقه کاروانسرا واقع در غرب دریاچه هامون با مختصات جغرافیایی بین ۶۱ درجه و ۸ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۶۱ درجه و ۸ دقیقه و ۴۶ ثانیه طول شرقی و بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه و ۲۴ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۹ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی و ارتفاع حدود ۴۷۳ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). براساس نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (زابل) متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد پژوهش کم تر از ۵۰ میلی‌متر می‌باشد که اغلب به صورت پراکنده و در فصل زمستان ریزش می‌نماید. میانگین درجه حرارت، متوسط حداکثر و حداکثر مطلق سالیانه نیز به‌ترتیب برابر با ۱۸، ۲۵، ۴۳ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. متوسط تبخیر و تعرق منطقه بر اساس دوره آماری ۳۰ ساله در حدود ۵۰۰۰ میلی‌متر است که ۳۰۰۰ میلی‌متر آن در ماه‌های بحرانی (خرداد، تیر و مرداد) اتفاق می‌افتد. این منطقه دارای شرایط سخت اکولوژیکی و به لحاظ اقلیمی جزء مناطق فراخشک و بحرانی کشور به‌شمار می‌رود. از لحاظ توپوگرافی محدوده مورد مطالعه دارای شیب کم و عاری از پستی و بلندی است. پوشش گیاهی منطقه فقیر و به طور عمده از نوع شورپسند و در برخی از نقاط فاقد پوشش گیاهی است. ساختار زمین‌شناسی منطقه نیز مربوط به دوره‌های نئوژن‌کواترنری و دارای آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای، مخروط‌افکنه‌های جوان، پهنه‌های گراولی و پادگانه می‌باشد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان نیمروز، استان سیستان و بلوچستان و کشور

بررسی جهات متناظر با حداکثر سرعت باد در طی دوره آماری ۱۰ ساله بیانگر آن است که بیشترین فراوانی وقوع وزش باد با حداکثر سرعت در محدوده ۳۱۰ تا ۳۴۰ درجه به وقوع می‌پیوندد. وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که از بارزترین مشخصه‌های آب و هوایی این منطقه محسوب می‌شود نیز از اوایل خرداد ماه شروع و تا اوایل مهرماه ادامه دارد که متناظر با جهات ۳۲۰ تا ۳۳۰ درجه و سرعت آنها اغلب به ۱۲۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد (جدول ۱).

جدول ۱ : جهات متناظر با حداکثر سرعت باد به تفکیک ماه در ایستگاه زابل(۲۰۲۲- ۲۰۱۳)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۱۳	۳۲۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۲۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۲۰
۲۰۱۴	۳۴۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰
۲۰۱۵	۳۲۰	۳۲۰	۳۳۰	۲۷۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰
۲۰۱۶	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰
۲۰۱۷	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰
۲۰۱۸	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰
۲۰۱۹	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۴۰
۲۰۲۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۵۰	۳۱۰	۳۴۰	۳۲۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۲۰
۲۰۲۱	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۴۰
۲۰۲۲	۳۴۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۴۰

مآخذ: نگارندگان

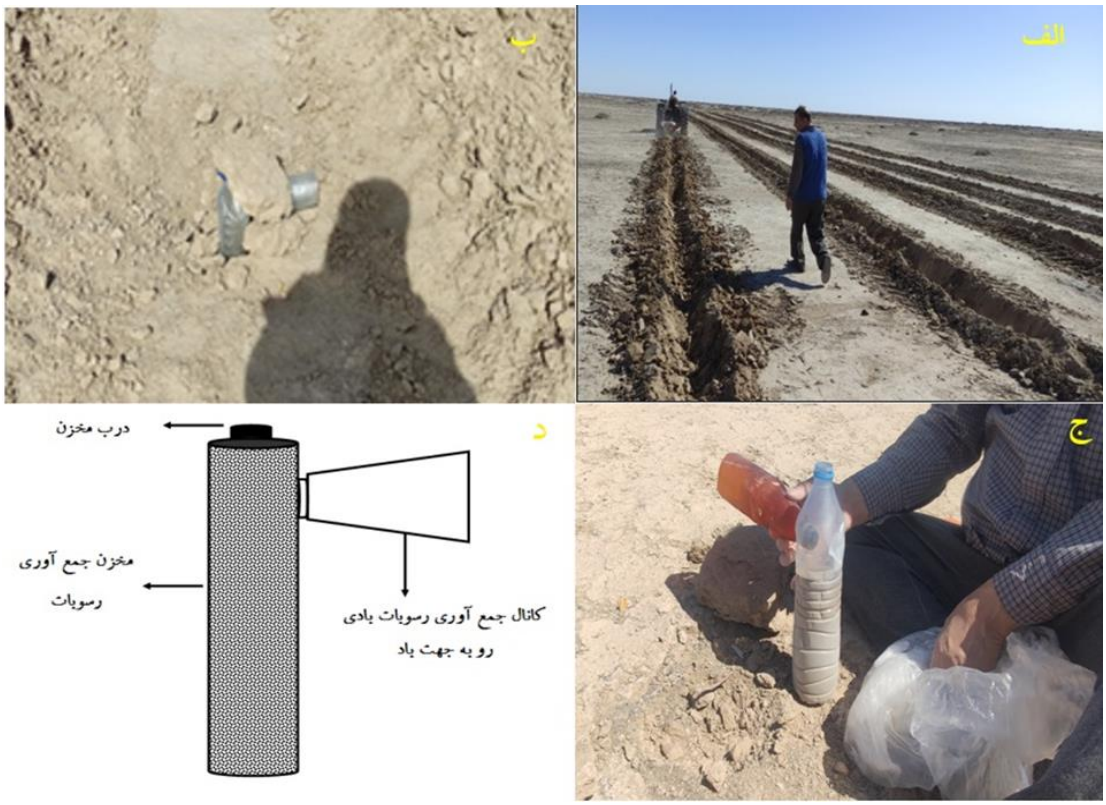
[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

از آنجا که هدف از اجرای این پژوهش افزایش زبری خاک به منظور کنترل فرسایش در کانون‌های بحرانی منطقه سیستان است، لذا در ابتدا با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و گردآوری داده‌های هواشناسی، روزهای همراه با پدیده طوفان‌های گرد و خاک استخراج و با استفاده از آرشیو تصاویر مادیس (وبگاه https://earthdata.nasa.gov) گستره وقوع آن به صورت بصری مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با تهیه بانک اطلاعاتینقشه‌های زمین شناسی، نقشه مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و... طی عملیات میدانی از منطقه بازدید و با بررسی کانون‌های فرسایشی منطقه، یک قطعه آزمایشی انتخاب و با مشخص کردن کروکی آن، نقشه احداث فاروها ترسیم گردید. برای احداث فاروها از نهرکن و تراکتور استفاده شد و احداث آنها به‌گونه‌ای صورت گرفت که عمود بر جهت باد قرار گیرد. فاروهای احداث شده به عمق ۴۰-۳۰ و عرض حدود ۵۰-۴۰ سانتیمتر و به طول ۹۰ متر و به فاصله ۲ متر از همدیگر به‌صورت عمود بر جهت باد احداث شد. در این پژوهش تیمارهای آزمایشی شامل نوع زبری فارو و شاهد، فاصله ۱، ۱۶، ۳۱، ۴۶، ۶۱ و ۷۶ متر، و زمان اسفند، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر ماه می‌باشد که به صورت فاکتوریل در بلوک کامل تصادفی اجرا شد. در هریک از تیمارها سه‌تله رسوب‌گیر و سه پیکه در هر ردیف فارو برای اندازه‌گیری رسوب به دام افتاده و عمق فرسایش خاک نصب گردید و میانگین آنها برای هر تیمار در نظر گرفته شده تا نتایج بیانگر وضعیت کلی هر ردیف فاروی احداثی باشد. در منطقه شاهد نیز تله‌های رسوب‌گیر در امتداد خط تراز هریک از فاروهای احداثی نصب شد. با توجه به اینکه پژوهش حاضر در منطقه مرزی ایران و افغانستان انجام شده است نگهبانی و حراست از آن با محدودیت‌های زیادی مواجه بود کهبرای به‌منظور کاهش هزینه‌های اجرای طرح از مواد پلاستیکی جهت ساخت تله‌های رسوبگیر استفاده شد (شکل ۲). بعد از وقوع هر رخداد طوفان در منطقه، اقدام به اندازه‌گیری میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر و همچنین عمق فرسایش خاک شد. در ادامه نمونه‌های برداشت شده جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]



شکل ۲: نمایی از فرآیند اجرای طرح در منطقه کاروانسرای شهرستان نیمروز، الف) نمایی از نحوه احداث فاروها، ب) نمایی از تله رسوبگیر نصب شده در محدوده اجرای طرح، ج) نمایی از میزان رسوبات به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر، د) شکل شماتیک از اجزای تشکیل دهنده تله رسوبگیر مورد استفاده در پژوهش حاضر.

۳-۲ آنالیز آزمایشگاهی

برای تعیین‌دانه‌بندی رسوبات از روش الک استفاده شد. بدین منظور ۱۰۰ گرم از هر نمونه برداشت شده توسط شیکر الک و نمونه‌های باقی مانده بر روی هر الک با استفاده از ترازوSartorius مدل BP310S با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد (Vaezi etal, 2008; Jahanthigh et al., 2022) با تعیین اندازه ذرات بر حسب مقیاس فی (رابطه ۱) منحنی‌های تجمعی اندازه ذرات برای نمونه‌های جمع‌آوری شده ترسیم گردید.

$$\text{Log2 (D)- = Ø} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در ادامه با استفاده از منحنی‌های تجمعی، شاخص‌های آماری شامل میانگین قطر ذرات، جورشدگی، چولگی و کشیدگی برای هریک از نمونه‌ها با استفاده از نرم افزار GRADISTAT مطابق جدول ۲ برآورد و توصیف آن براساس جدول ۳ صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس و مقایسه میانگین تیمارها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در نرم افزار SPSS ۲۳ و رسم نمودار ها نیز در نرم افزارEXCEL انجام شد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

جدول ۲: شاخص های گرانولومتری و معادلات برآوردی آنها براساس روابط Fork و Word (۱۹۵۷)

ردیف	شاخص	معادله
۱	میانگین ترسیمی (M_z)	$M_z = \frac{\emptyset 16 + \emptyset 50 + \emptyset 84}{3}$
۲	جورشدگی انحراف معیار جامع (σ_I)	$\sigma_I = \frac{\emptyset 84 - \emptyset 16}{4} + \frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{6.6}$
۳	کج شدگی ترسیمی (SK_I)	$SK_I = \frac{\emptyset 16 + \emptyset 84 - 2\emptyset 50}{2(\emptyset 84 - \emptyset 16)} + \frac{\emptyset 5 + \emptyset 95 - 2\emptyset 50}{2(\emptyset 95 - \emptyset 5)}$
۴	کشیدگی (KU)	$K_G = \frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{2.44\,(\emptyset 75 - \emptyset 25)}$

φ_5 = قطر ذرات معادل ۵ درصد در نمودار فراوانی تجمعی بر حسب فی ، φ_{16} = قطر ذرات معادل ۱۶ درصد در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی ، φ_{50} = قطر ذرات معادل ۵۰ درصد در نمودار فراوانی تجمعی بر حسب فی، φ_{84} = قطر ذرات معادل ۸۴ درصد در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی، ϕ_{95} = قطر ذرات معادل ۹۵ درصد در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی

جدول ۳ : مقادیر توصیف شاخص‌های آماری مورد مطالعه

شاخص مورد مطالعه	حدود انحراف معیار ترسیمی جامع فولک بر حسب فی	توصیف جورشدگی
جورشدگی (موسوی حرمی، ۱۳۷۷)	SI < ۰/۳۵	بسیار خوب
	۰/۳۵ – ۰/۵	خوب
	۰/۵ – ۰/۷	نسبتاً خوب
	۰/۷۱ – ۱	متوسط
	۱ - ۲	بد
	۲ – ۴	بسیار بد
	SI >۴	بی نهایت بد
کج شدگی (فولک،۱۹۸۰)	۰/۳تا ۱	زیاد بسمت ذرات ریزدانه
	۰/۱ تا ۰/۳	بسمت ذرات ریزدانه
	-۰/۱ تا ۰/۱	متقارن
	-۰/۳ تا -۰/۱	بسمت ذرات درشت دانه
	-۱ تا -۰/۳	زیاد بسمت ذرات درشت دانه
کشیدگی منحنی دانه‌بندی (فولک،۱۹۸۰)	کمتر از ۰/۶۷	بسیار مسطح
	بین ۰/۶۷ تا ۰/۹۰	مسطح
	بین ۰/۹۰ تا ۱/۱۱	کشیدگی متوسط
	بین ۱/۱۱ تا ۱/۵۰	کشیده
	بین ۱/۵۰ تا ۳/۰	بسیار کشیده
	بیش از ۳/۰۰	بی نهایت کشیده

۴-یافته‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمار بر تغییرات میزان رسوب و عمق باد بردگی در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج اثر فاکتورهای نوع زبری خاک و زمان برداشت بر مقادیر رسوب به دام افتاده و میزان فرسایش در سطح یک درصد و فواصل نصب تله‌رسوبگیر بر این متغییرها در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های رسوب بین منطقه شاهد و محل احداث فاروها نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در میزان رسوب جمع آوری شده

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

با تغییر زبری خاک است. بدین ترتیب که میزان رسوب در منطقه شاهد و سطح هموار برابر با ۴۵۴/۲ گرم است که با احداث فارو و افزایش زبری سطح خاک به ۶۸/۳ گرم کاهش یافته است (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر زمان برداشت بر میزان رسوب جمع‌آوری شده بیانگر تفاوت معنی‌داری در حجم رسوب در ماه‌های مختلف می‌باشد. کم‌ترین و بیشترین میزان رسوب برابر با ۳۴/۳ و۳۴۱/۳ گرم است که به ترتیب در فروردین و مرداد جمع‌آوری شد. براساس آمار نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی نیز در طول دوره مورد مطالعه متوسط سرعت باد در فروردین ماه برابر با ۲/۱ متر بر ثانیه بوده که با یک روند افزایشی محسوس به ۲۵/۱ متر در مرداد ماه افزایش یافته است. از اینرو در منطقه شاهد ارتباط مستقیم بین میزان رسوب و سرعت باد قابل استنباط می‌باشد، بطوریکه با افزایش سرعت باد حجم رسوبات تله‌های رسوبگیر افزایش یافته در مقابل در محدوده اجرای طرح علی‌رغم افزایش سرعت باد حجم رسوبات به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر افزایش قابل توجهی را نشان نمی‌دهد و بیانگر غیر خطی بودن رابطه سرعت باد با میزان حمل رسوب در محل احداث فاروها می‌باشد. در بررسی اثر فاصله برداشت نیز یافته‌ها حاکی از آن است که تفاوت در میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر در فواصل اندازه‌گیری شده محسوس و به لحاظ آماری معنی‌داری می‌باشد. بطوریکه در فاصله ۱ متر از تله‌رسوبگیر بیشترین میزان رسوب به دام افتاده برابر با ۲۸۵/۴ می‌باشد که با افزایش فاصله و کاهش توان حمل رسوب به ۱۷۹/۱ گرم در فاصله ۷۶ متر کاهش یافته است. در بررسی اثر متقابل نوع زبری، زمان برداشت و فاصله نصب تله‌های رسوبگیر بر میزان رسوب نیز، یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین میزان برابر با ۴۳۳/۲ گرم رسوب و مربوط به تله‌های رسوبگیر منطقه شاهد و بدون ناهمواری بودکه در طی ماه مرداد و در فاصله ۱ متر از تله‌رسوبگیر جمع‌آوری شده است. این درحالی است که کم‌ترین میزان رسوب برابر با ۶۱/۲ گرم و در فاصله ۷۶ متر در محل احداث فاروها ماه اسفند ماه اندازه‌گیری شد. براساس نتایج به دست آمده اثر فاکتورهای مورد مطالعه (نوع زبری، زمان و فاصله برداشت) بر عمق بادبردگی نیز مشابه با نتایج اثر این متغیرها بر حجم رسوبات می‌باشد. مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار در میزان عمق بادبردگی درمنطقه شاهد و محل احداث فارو می‌باشد. به طوریکه عمق بادبردگی در منطقه شاهد برابربا ۰/۶۳ میلی‌متر بود که تحت‌تاثیرفاروهای احداثی‌با کاهش ۷ برابری نسبت‌به عرصه مسطح و هموار (۰/۱ میلی متر) همراه بوده است. از اینرو میزان فرسایش در تیمارهای شاهد با احتساب واحد سطح به هکتار در حدود ۷۰ تن در هکتار است که با احداث فاروها به حدود ۱۰ تن در هکتار کاهش یافت (شکل۳).

جدول ۴ : تجزیه واریانس اثر نوع زبری خاک، زمان برداشت و فاصله بر مقادیر رسوبات بادی و عمق فرسایش

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		F	
		مقدار رسوبات	عمق فرسایش	مقدار رسوبات	عمق فرسایش
تکرار	۲	۱۵۶۱۰۶/۳۸ ns	۳/۳۸ ns	۸/۰۱	۰/۴۱
زبری خاک	۱	۱۴۷۷۵۵/۷۲ **	۴/۳۸ **	۴۵/۴۳	۰/۳۱
زمان برداشت	۶	۶۱۵۰۴/۱۲ **	۲/۱۱**	۱/۳۱	۰/۳۴
فاصله اندازه‌گیری‌رسوب	۵	۸۳۵۰۴/۵۲ *	۱/۳۸ *	۰/۵۱	۰/۲۱
فاصله × زمان برداشت × زبری خاک	۴۲	۱۲۵۰۱۲۶/۱۲ *	۲۱۳/۰۸ *	۸۱/۰۱	۱۲/۱۱
خطا	۵۳	۱۷۲۳۴۲۴/۱۵	۱۱/۰۲		

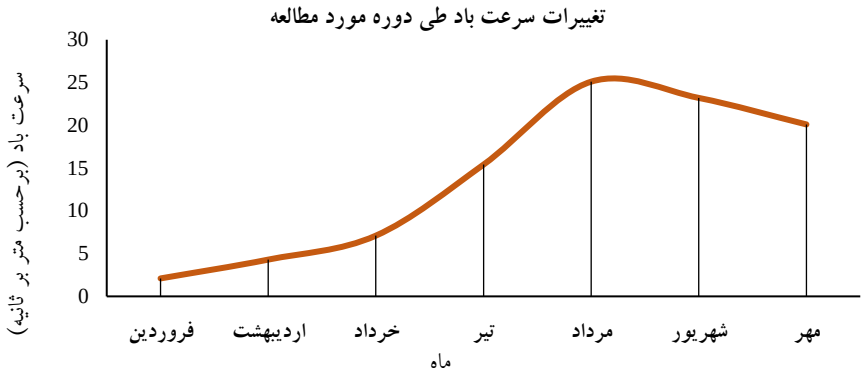
**، *و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ ، ۵ درصد و غیر معنی‌دار است

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

جدول ۵ : مقایسه میانگین اثر نوع زبری، فاصله نصب تله رسوبگیر و زمان برداشت بر میزان رسوب و عمق بادبردگی

متغییر		میزان رسوب (گرم)	عمق بادبردگی (میلی‌متر)
نوع زبری خاک	مسطح و هموار	۴۵۴/۴ a	۰/۶۸ a
	فاروهای احداثی	۶۸/۳ b	۰/۱۱ b
فاصله نصب تله رسوبگیر	یک متر	۲۸۵/۴ a	۰/۴ a
	شانزده متر	۲۶۸/۱ b	۰/۴ a
	سی و یک متر	۲۵۵/۶ c	۰/۳۵ b
	چهل و شش متر	۲۳۴/۱ d	۰/۳۱ c
	شصت و یک متر	۲۰۸/۳ e	۰/۲۳ d
	هفتاد و شش متر	۱۷۹/۱ f	۰/۱۸ e
زمان برداشت	فروردین	۳۴/۳ g	۰/۲ e
	اردیبهشت	۴۸/۵ f	۰/۲۵ d
	خرداد	۶۲/۶ e	۰/۲۱ e
	تیر	۸۷/۱ d	۰/۳ c
	مرداد	۳۴۱/۳ a	۰/۶ a
	شهریور	۲۸۱/۶ b	۰/۴۱ b
	مهر	۱۸۹/۲ c	۰/۳ c

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند



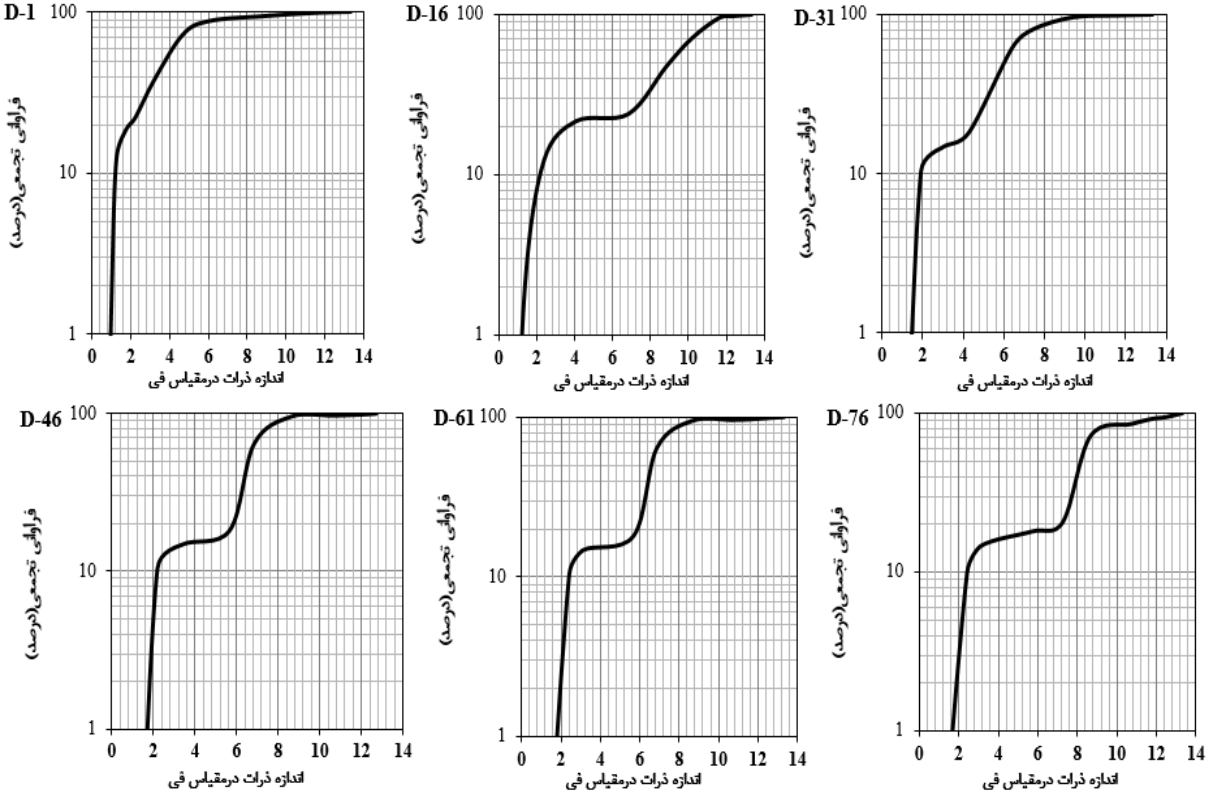
شکل ۳ : تغییرات سرعت باد طی دوره مورد مطالعه در منطقه سیستان

آنالیز دانه‌بندی رسوبات

با انجام آزمایش دانه‌بندی برای نمونه‌های رسوب بادی جمع آوری شده از تله‌های رسوبگیر در محل فاروهای احداث شده و منطقه شاهد، منحنی درصد فراوانی اندازه ذرات برای نمونه ها ترسیم شد (شکل ۴). در ادامه با استفاده از منحنی‌های ترسیم شده، پارامترهای دانه سنجی برای نمونه‌های رسوب بادی برآورد شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل شده مقادیر میانه و میانگین رسوبات بادی در منطقه شاهد به ترتیب برابر با ۲/۰۴ (برابر با ۲۳۵ میکرون) و ۲/۱۸ فی (برابر با ۲۲۰ میکرون) است. از اینرو براساس طبقه‌بندی فولک ذرات رسوبی دارای جورشدگی ضعیف بودند. همچنین کج شدگی این رسوبات به سمت ذرات درشت‌دانه و دارای ذرات با سطح کشیده می‌باشد. توزیع پراکندگی نمونه‌ها نیز بیانگر آن است که ماسه با فراوانی ۵۵/۵ درصد و سیلت با میانگین فراوانی۳۶/۲ درصد در نمونه‌های

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

رسوب جمع آوری شده در منطقه شاهد غالب می‌باشد. در بررسی نمونه‌های رسوب در محدوده فاروهای احداثی، نتایج بیانگر آن است که ذرات نمونه‌های رسوب دارای میانه و میانگین به ترتیب برابر با ۳/۲۸ (۱۰۵/۱۱ میکرون) و ۳/۵۵ فی (۸۸/۳۹ میکرون) بود. جورشدگی ذرات نمونه‌های رسوب در این محدوده بسیار ضعیف و تغییرات شاخص کج‌شدگی نیز به سمت ذرات ریز دانه می‌باشد. همچنین براساس طبقه‌بندی فولک، کشیدگی نمونه‌های رسوب نیز در محدوده خیلی کشیده طبقه‌بندی شد. توزیع اندازه ذرات نیز بیانگر آن است که سیلت با فراوانی ۴۱/۲ درصد و ماسه با فراوانی ۳۵/۶ درصد در نمونه‌های رسوب جمع آوری شده غالب است. نتایج توزیع بافت خاک نیز بیانگر آن است که بافت نمونه های رسوب در منطقه شاهد در کلاس شنی- لومی قرار دارد که با کاهش ۱/۶ برابری ماسه و افزایش ۲/۶ و ۱/۱ رس و سیلت به کلاس لومی در محدوده اجرای فارو ها تغییر یافت (شکل ۵).

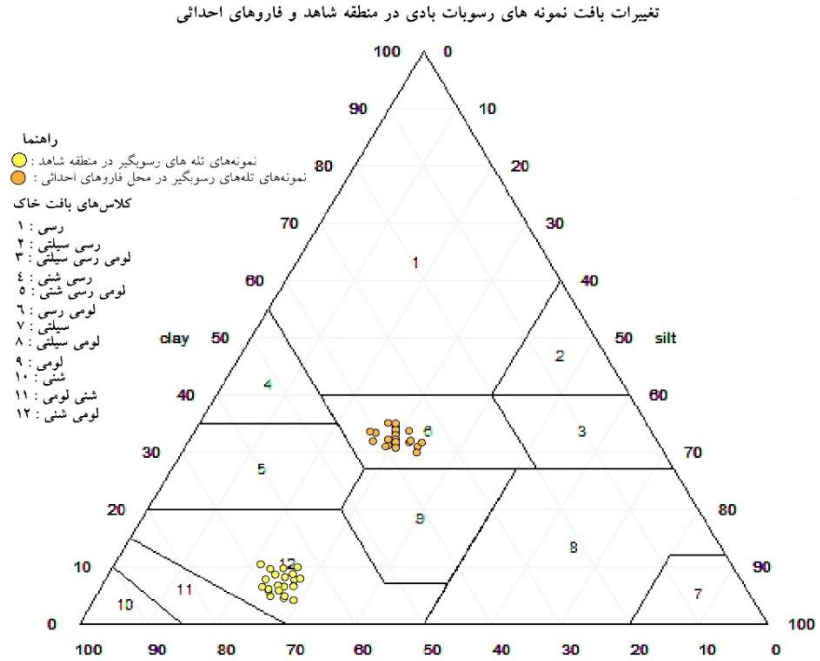


شکل ۴ : منحنی دانه بندی رسوبات بادی در منطقه فاروهای احداثی تاریخ برداشت ۱۴۰۲/۰۵/۴، فاصله یک متر :D-1، فاصله شانزده متر :D-16، فاصله سی و یک متر :D-31، فاصله چهل و شش متر :D-46، فاصله شصت و یک متر :D-61، فاصله هفتاد و شش متر :D-76 .

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

جدول۶ : آنالیز اندازه ذرات رسوبات بادی در محل فاروهای احداثی و شاهد

پارمترهای آماری		متغییر های مورد مطالعه				
		قطر میانگین (فی)	میانه (فی)	جور شدگی (فی)	کج‌شدگی (فی)	کشیدگی (فی)
شاهد	میانگین	۲/۱۸	۲/۰۴	۱/۰۸	-۰/۳۳	۱/۱۳
	دامنه تغییرات	۲/۸۱	۰/۳۱	۰/۰۴	-۲/۱	۰/۲۳
	کمینه	۲/۰۳	۲/۰۴	۰/۹۲	-۰/۰۷	۱/۰۱
	بیشینه	۵/۲۱	۴/۵۶	۱/۰۶	-۰/۵۶	۱/۵۹
فارو	میانگین	۳/۵۵	۳/۲۸	۲/۰۴	۰/۲۳	۱/۷۶
	دامنه تغییرات	۳/۸۵	۲/۱	۰/۶۷	۰/۰۴	۲/۲۱
	کمینه	۱/۳۵	۲/۷۳	۱/۴۶	۰/۱۸	۰/۴۹
	بیشینه	۵/۲	۵/۲	۳/۶	۰/۳۱	۲/۷



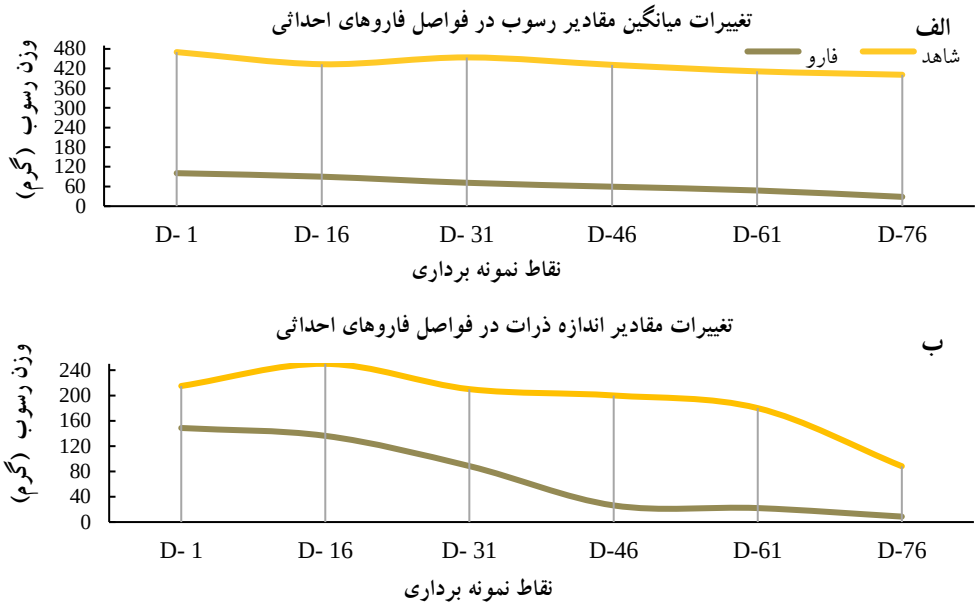
شکل۵ : تغییرات بافت رسوبات بادی به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر منطقه شاهد و محل احداث فاروها

تغییرات مقادیر رسوب و گرانولومتری رسوبات در فواصل مختلف نمونه برداری

به منظور منعکس کردن اثر زبری خاک بر مقادیر و اندازه ذرات رسوبات بادی، تغییرات این متغییرها در فواصل مختلف نصب تله‌های رسوبگیر مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به نتایج در محدوده شاهد میزان رسوب اندازه‌گیری شده در اولین تله‌رسوبگیر برابر با ۴۷۰/۲ گرم اندازه‌گیری شد است که با یک روند نسبتا کاهشی در فاصله ۷۶ متر به ۴۰۱/۱ گرم کاهش می‌یابد. در فاروهای احداثی میزان رسوب حمل شده در فاصله یک متر از اولین فارو برابر با ۱۰۰/۸ گرم می‌باشد که نسبت به تیمار شاهد با کاهش به ترتیب ۴/۷، ۴/۸، ۶/۴، ۷/۳، ۸/۶ و ۱۴/۱ برابری در نقاط اندازه‌گیری شده همراه بوده است. تغییرات اندازه ذرات نمونه‌های رسوب نیز بیانگر آن است که به طور میانگین اندازه ذرات نمونه‌های برداشتی در منطقه شاهد در اولین نقطه برداشت برابر با ۲۱۵ میکرون است که با یک روند کاهشی (۲/۵ برابر) نسبت به منطقه شاهد به ۸۸/۲ میکرون در فاصله ۷۶ متر از نقطه شروع کاهش می‌یابد. در بررسی تغییرات اندازه ذرات در محل

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

فاروهای احداثی نیز یافته‌ها بیانگر آن است که در اولین نقطه برداشت اندازه ذرات در حدود ۱۴۸/۶ میکرون می‌باشد که با افزایش فاصله تا ۷۶ متر بعد از شروع فاروها به۸/۶ میکرون می‌رسد که با کاهش ۱/۴، ۱/۸، ۲/۴، ۷/۶، ۸/۱۴ و ۱۰/۲ برابری نسبت به منطقه شاهد در تله‌های رسوب همراه است (شکل ۶، ب). با توجه به‌طبقه‌بندی فولک میانگین اندازه ذرات رسوب در تیمارهای شاهد در محدوده ماسه متوسط تا ماسه بسیار ریز متغییر می‌باشد. در مقابل دامنه تغییرات اندازه رسوب در محل فاروهای احداثی از ماسه ریز تا سیلت ریز می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی میزان همبستگی تغییرات شاخص های مورد مطالعه در فواصل مختلف نصب تله رسوبگیر مورد و برآورد معادله رگرسیونی آن‌ها در جدول ۷ ارائه شده است. در محل احداث فاروها بین مقادیر رسوب و اندازه ذرات همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد و در مقابل با میزان جورشدگی ذرات، همبستگی منفی را نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر در محدوده فاروها، با افزایش فاصله ضمن کاهش حمل ذرات درشت‌دانه، میزان رسوب انتقالی نیز کاهش می‌یابد و این رسوبات به طور عمده ریزدانه می‌باشند که دارای جورشدگی ضعیف می‌باشد. در تله‌ها رسوب ابتدایی فراوانی ذرات درشت دانه بیشتر و با افزایش فاصله و کنترل رسوبات، ذرات درشت دانه کاهش می‌یابد. در مقابل در تیمار شاهد همبستگی بین میزان رسوب و شاخص‌های مورد مطالعه بسیار ضعیف و بیانگر عدم تاثیر پذیری زبری خاک بر فرآیند حمل رسوبات بادی در منطقه شاهد می‌باشد.



شکل۶ : مقایسه تغییرات مقادیر رسوب (الف) و اندازه ذرات (ب) در فواصل مختلف نصب تله رسوبگیر

جدول۷ : رابطه همبستگی بین وزن رسوبات با شاخص‌های گرانولومتری در منطقه شاهد و فارو

متغییر	محل برداشت			
	فارو های احداثی		منطقه شاهد	
	معادله رگرسیونی	R^2	معادله رگرسیونی	R^2
اندازه ذرات	y = ۰/۴۳۳x + ۳۷/۴۳۱	۰/۹۰	y = ۰/۸۷۲۷x + ۲۱۸/۸۷	۰/۳
جور شدگی	y = -۱۲/۰۵۱x + ۹۲/۳۸	۰/۱۱	y = ۰/۰۰۸۵x + ۷/۳۱۰۳	۰/۴۶
کج‌شدگی	y = ۵۵/۲۴۹x + ۴۹/۷۷۳	۰/۳	y = -۰/۰۰۱۷x - ۱/۳۰۷	۰/۴
کشیدگی	y = ۲۶/۹۱۳x + ۷/۵۶۶۸	۰/۵۹	y = -۰/۰۰۴۷x + ۴/۰۴۱۷	۰/۳۹

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر افزایش زبری خاک با ایجاد فارو جهت کنترل ماسه‌های روان و کاهش بار رسوبی آن در کانون‌های فرسایشی شهرستان نیمروز مورد بررسی قرار گرفت. با احداث فارو و نصب تله‌های رسوبگیر در فواصل مختلف، تغییرات میزان مقادیر رسوب، میزان فرسایش و گرانولومتری رسوبات برای بازه زمانی یک و نیم سال اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در بررسی تغییرات حجم رسوبات، یافته‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان رسوب به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر وجود دارد ($P < ۰/۰۵$). بطوریکه میزان رسوب در فاروها در فواصل ۱، ۱۶، ۳۱، ۴۶، ۶۱ و ۷۶ متر به ترتیب با کاهش ۴/۷، ۴/۸، ۶/۴، ۷/۳، ۸/۶ و ۱۴/۱ برابری نسبت به منطقه شاهد همراه بوده است. در مطالعات صورت گرفته همچون Dong و همکاران (۲۰۰۴) اذعان شده است که افزایش زبری خاک با تغییرات در شرایط دینامیکی باعث افزایش آشفتگی جریان هوا و تقلیل قدرت فرسایندگی باد می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. بطوریکه با احداث فارو در عرصه مورد مطالعه، ارتفاع سطح زمین در حدود ۱۳ تا ۱۷ سانتی‌متر افزایش یافته است که در نتیجه باعث کاهش سرعت باد در نزدیکی سطح زمین و به تبع آن کاهش رسوبات انتقالی و میزان هدررفت خاک می‌شود. با اندازه‌گیری عمق بادبردگی در تیمارهای مورد مطالعه نیز نتایج حاکی از آن بود که میزان فرسایش تحت تاثیر فاروهای احداثی (۰/۱ میلی‌متر) با کاهش ۷ برابری نسبت به منطقه شاهد (۰/۶۳ میلی‌متر) همراه بوده است که با تعمیم آن به واحد سطح میزان فرسایش از حدود ۷۰ تن در منطقه شاهد به ۱۰ تن در هکتار با احداث فاروها کاهش می‌یابد. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که افزایش زبری خاک بیش از حد باعث انحراف جریان باد به طرف بالا و افزایش شدت تلاطم و در نتیجه افزایش میزان فرسایش خاک می‌شود. در همین راستا Chepil و Milne (۱۹۴۱) و Amerykhah و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نموده‌اند که میزان بهینه زبری خاک برای کنترل فرسایش‌بادی ناهمواری‌های کم‌تر از ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد که مشابه با میزان افزایش ارتفاع و ناهمواری ایجاد شده توسط فاروها در محدوده اجرای طرح بوده است. تالاب هامون که از رسوبات آبرفتی رودخانه هیرمند تشکیل شده است دارای آستانه فرسایشی کم و حساس به فرسایش می‌باشد و علاوه برآن همواره تحت تاثیر حرکت ماسه‌های روان از کشورهای همسایه قرار دارد. به‌طوریکه بنا به گزارش‌های ارائه شده سرعت آستانه فرسایش بادی این رسوبات در حدود ۰/۹ متر بر ثانیه می‌باشد درحالی که ۸۰ درصد فراوانی بادها در این منطقه سرعتی بین ۲۰ تا ۳۰ متر برثانیه دارند (and Jahantigh, 2019 Jahantigh) از طرفی مطالعات آزمایشگاهی نیز نشان داده است که بادهایی با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه قادر به حمل ذرات با قطر بیش از ۲ میلیمتر می‌باشند و در شریطی که سطح زمین هموار و مسطح باشد، این فرآیند تسهیل می‌یابد (Yamani et al, 2011). توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که در مراحل انتقال ذرات طی فرآیند انتقال رسوب، در پدیده خزش (۰/۸ تا ۲ میلی‌متر)، جهش (۰/۱ تا ۰/۸ و کمتر) و تعلیق (کمتر از ۰/۱ میلی متر) ذرات با اندازه‌های متفاوت انتقال می‌یابد (Hagen, 2010). از اینرو با ایجاد ناهمواری قدرت تخریبی باد تقلیل یافته و با کاهش توان حمل رسوب باعث کنترل رسوبات بادی انتقالی می‌شود. لذا افزایش زبری خاک ضمن تغییر شرایط دینامیکی اعمال شده توسط باد، باعث کنترل ذرات حمل شده توسط باد نیز می‌گردد (Hajehforosh and et al.,2021; Zang et al., 2022). در تایید این مهم بررسی پارامترهای رسوب‌شناسی نشان داد که میانگین ترسیمی رسوبات بادی در منطقه شاهد برابر با ۲۲۰ میکرون و دارای جورشدگی ضعیف بودند. در حالیکه در محدوده فاروهای احداثی میانگین رسوبات به دام افتاده در

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

تله‌های رسوبگیر برابر با ۸۸/۳۹ میکرون و دارای جورشدگی بسیار ضعیف بوده است. توزیع اندازه ذرات بافت رسوبات جمع آوری شده نیز نشان داد که در منطقه شاهد ۵۵/۵ و ۳۶/۲ درصد اندازه ذرات به ترتیب مربوط به ماسه و سیلت می‌باشد که تحت تاثیر فاروهای احداثی با کاهش ۱/۶ و ۱/۱ برابری ماسه و سیلت همراه بوده که به تبع آن بافت نمونه‌های رسوب در منطقه شاهد از کلاس شنی- لومی به کلاس لومی در محدوده اجرای فاروها تغییر یافته است. از اینرو با بررسی تغییرات پارامترهای رسوبشناسی در محدوده اجرای طرح میتوان اینگونه اذعان نمود که افزایش زبری خاک ضمن کاهش و کنترل حرکت رسوبات بادی باعث تغییر شاخص‌های دانه‌سنجی رسوبات متاثر از تغییر رفتار دینامیکی باد نیز شده است که بیانگر کارآمدی این فارو در محل اجرا بوده است.

در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، احداث فاروها با افزایش زبری سطح خاک باعث کاهش محسوس میزان رسوب (۶/۷ برابر) و اندازه ذرات انتقالی (۲/۵ برابر) نسبت به منطقه شاهد شده است که این فرآیند ضمن کنترل حرکت ماسه‌های روان در اراضی مسطح و هموار با استحصال و جمع آوری رواناب می‌تواند بستری مناسب برای احیاء پوشش گیاهی و به تبع آن تثبیت و کنترل کانون‌های فرسایشی در این مناطق را نیز فراهم نماید. پیشنهاد می‌شود با توجه به تشدید وقوع طوفان‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه برای جلوگیری از هجوم شن‌های روان به مراکز سکونتگاهی، این اقدام مدیریتی سازگار و کارآمد در کانون‌های فرسایشی منطقه سیستان توسعه یابد.

سپاسگزاری

از دست‌اندرکاران پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان جهت تامین اعتبارات لازم و فراهم کردن تجهیزات مورد نیاز برای اجرای این طرح تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع:

1. Amerykhah, H., Khadem, A. & Maszi, A. (2007). Predict Wind erosion in Omidiye land using models WEPS, RWEQ, WEQ and IRIFR. *First National Conference Wind Erosion*. Yazd, 10 P (in Persian).
2. Boroughani, M., Pourhashemi, S. & Zarei, M. (2019). Identification of Dust Source Areas and its Characteristics in Eastern Iran. *Desert Ecosystem Engineer*, 25, 39-52. (in Persian)
3. Chepil W.S. & Milne, R.A. (1941). Wind erosion of soil in relation to roughness of surface. Soil Science, 52 (6), 417-434.
4. Caster, J., Sankey, J. B., Sankey, T. T., Kasprak, A., Bowker, M. A., & Joyal, T. (2024). Do topographic changes tell us about variability in aeolian sediment transport and dune mobility? Analysis of monthly to decadal surface changes in a partially vegetated and biocrust covered dunefield. Geomorphology, 447, 109021.
5. Dong, Z., Chen, G., He. X., Han. Z., & Wang. X. (2004). Controlling blown sand along the highway crossing the Taklimakan Desert. *Journal of Arid Environment*, 57,329- 344.
6. Ebrahimi-Khosfi, Z. (2019). Analysis of the effect of wind speed and soil moisture on horizontal visibility variations caused by dust event in arid regions (Study region: southeast of Iran). *Desert Ecosystem Engineer*, 16, 49-58. (in Persian)
7. Hagen, L.J., Van Pelt and, S, & Sharratt, B. (2010). Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion. *Aeolian Research*, 1,147-153.
8. Hajehforosh, S., Khosroshahi, M., & Borhani, M. (2021). Evaluation of the efficiency of rock mulching method against wind erosion (Case study: Segzi plain and Fasaran plain of Isfahan). *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, *9*(2), 113-135. (in Persian)

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]

9. Iwasaki, K., Shimoda, S., Nakata, Y., Hayamizu, M., Nanko, K., & Torita, H. (2024). Remote sensing of soil ridge height to visualize windbreak effectiveness in wind erosion control: A strategy for sustainable agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, *219*, 108778.
10. Jahanthigh, M., Najafinejad, A., jahantigh, M., & Hosseinalizadeh, M. (2022). Effect of sand mulch and nano-clay in buried clay pot irrigation on soil moisture, temperature and aggregate stability variations in arid region, case study: Nimroz City. *Watershed Engineering and Management*, *14*(2), 260-281. doi: 10.22092/ijwmse.2021.354750.1901**.** (in Persian)
11. Jahantigh, M., Jahantigh, M, & Iranmanesh, F. (2023). Identification of Storms and Centers of Dust Production in Southeast of Iran (Case Study: Sistan Region). *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 13 (3) :67-92. (in Persian)
12. Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2019). The effect of 120 days winds on flood deposits in Sistan region by sediment characteristics analyze. Quarterly journal of Environmental Erosion Research. 33(9), 85-104. (in Persian)
13. Jia, W., Zhang, C., Zou, X., Cheng, H., Kang, L., Liu, B., ... & Li, H. (2019). Effects of ridge height and spacing on the near-surface airflow field and on wind erosion of a sandy soil: Results of a wind tunnel study. *Soil and* Tillage Research, 186, 94-104.
14. John, A. (2010). Emergency Wind Erosion Control, http://extension.unl.edu/publications.
15. Kardous, M., Bergametti, G., & Marticorena, B. (2005). Wind tunnel experiments on the effects of tillage ridge features on wind erosion horizontal fluxes. *Annales Geophysicae*, 23, 3195-3206.
16. Liu, M. X., Wang, J. A, Liu, L. Y, Ge,Y. Q., Li., X. Y., Hu, X., Song., Y., & Wang, L. (2006). Wind tunnel simulation of ridge-tillage effects on soil erosion from cropland, *Soil & Tillage Research*, 90, 242–249.
17. Mohammadi, M. A., Matinkhah, H., Khajehuddin, J. (2010). Identification of scissor ecology as an effective species in controlling wind erosion, *Second Conference on Wind Erosion and Dust Storm*, February 17-18, Yazd. (in Persian)
18. Nicholas, P., Webb-Justin, W., Van, Z., Jason, W., Karl-Jeffrey, E., Herrick, Ericha M., Courtright-Benjamin, J., Billings, R., Adrian, C., Michael, C., Duniway-Justin, D., Derner, Jenny, L., et al., (2017). Enhancing Wind Erosion Monitoring and Assessment for U.S. *Rangelands, Rangelands, 39, 3–4, 86-96.*
19. Refahi, H,. (2004). Wind erosion and its control. *Tehran Publishing*. 315 p. (in Persian)
20. Rostami, N., Karimi, H., Tavakoli, M., Mirhasani, M., & Heydari, M. (2023). Evaluation of Oil Mulch Effect on Wind Erosion Threshold Velocity and Some of Soil Properties, (Case Study: Dehloran, Ilam). *Desert*, *28*(1), 85-101. doi: 10.22059/jdesert.2023.93544. (in Persian)
21. Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghighifard, N.J., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Arahami, M., Sowlat, M.H., Yarahmadi, M., Saki, H. & Alimohamadi, M. (2012). The evaluation of PM10, PM2. 5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Journal of arid environments*, 77, 72- 83.
22. Vaezi, A. R., Sadeghi, S. H. R., Bahrami, H. A., & Mahdian, H. A. (2008). Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97(3-4), 414-423. (in Persian)
23. Wang, C., Hill, R. L., Bu, C., Li, B., Yuan, F., Yang, Y., ... & Zhang, K. (2021). Evaluation of wind erosion control practices at a photovoltaic power station within a sandy area of northwest, China. *Land Degradation & Development*, *32*(4), 1854-1872.
24. Yamani, M.., Zohab-Nazori, S., & Goraee, M., (2011). statistics of wind stations surrounding Kerman obtained and were analyzed by wind rose. *journal of Arid Regions Geographic Studies*, 1(4), 17 - 33(in Persian)
25. Zhang, Z. C., Dong, Z. B., Pan, K. J., Zhang, Y., & Han, L. Y. (2024). characteristics of the Aeolian sediments transported above a Gobi surface. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 129(10), e2024JF007736.

[DOI: 10.61186/jeer.14.4.1]