

Distribution, land use and soil characteristics of dust producing sources in Fars province

Hamid Hosseini marandi^{1*} and Hamid Reza Abbasi²

- 1* - Corresponding author, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran, Email:hhmarand@gmail.com
2. Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 01/20/2025

Revised: 05/08/2025

Accepted:06/11/2025

Published:08/21/2025

Abstract

Background and objective

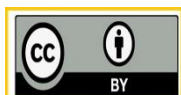
The phenomenon of dust storms results from a combination of natural and human-induced factors and has serious impacts on health, agriculture, transportation, and water resources. Strong winds can detach fine particles from dry soils, leading to the formation of dust storms that transport these particles over long distances. Typically, winds of 6 to 7 meters per second separate fine particles from dry soils, and then strong winds (at least at speeds exceeding 10 to 15 meters per second) can lead to the formation of dust storms that move these particles for kilometers. Consequently, dust storms have become a local, regional, and global challenge. In southwestern Iran, the average number of dusty days over the past 50 years has ranged between 27 and 75 days per year. Due to its geographical and climatic conditions, Fars Province is affected by both internal and external dust sources. Considering the geological characteristics of Fars province, the drying of wetlands, land use patterns, low-yield agricultural lands, and abandoned rainfed fields, the phenomenon of dust storms in this region holds particular significance. This research aims to investigate the distribution and introduce the physical and chemical properties of surface soils in areas influential in dust production. This will be achieved through the examination of documents and meteorological, geological maps, remote sensing, land use analysis, field visits, and laboratory studies, providing a foundation for supplementary research projects and desertification mitigation programs.

Materials and methods

In this study, dust source areas were identified and classified using maps of desert regions, geology, land use, and vegetation cover within a GIS environment. Sampling points were then determined using a 2×2 km grid method over these source areas. Two soil samples were collected from each point: a 2-kg sample from the 0 to 30 cm depth for physicochemical tests and a 20-kg sample for wind erosion testing. The physicochemical tests included measuring pH, electrical conductivity (ECe), ionic compositions, cation exchange capacity (CEC), saturated moisture percentage (SP), gypsum content, and soil texture. Additionally, a wind tunnel test was conducted to evaluate wind erosion. Finally, to examine the relationship between soil properties of the source areas and wind erosion, the data obtained were analyzed.

Results

Five major dust source areas have been identified in Fars Province, including Bakhtegan-Neyriz, Maharloo-Sarvestan, Shahrpir-Zarindasht, Dezhgah-Farashband, and Khonj-Larestan. These dust hotspots are located in the central, eastern, and southern parts of the province and are primarily affected by rangeland degradation, drought, and wetland desiccation. Land-use analysis in these areas indicates that 65% of the land consists of degraded rangelands, 19% comprises dried wetlands, and 16% includes abandoned agricultural lands and rainfed farms. A correlation study between soil wind erosion and parameters such as



salinity, acidity, sodium content, organic matter, and soil texture (sand, silt, clay) indicates a weak correlation between wind erosion and salinity, particularly in saline soils. However, in non-saline soils, a positive and significant correlation (7.66%) exists. Conversely, a positive and significant correlation is observed between wind erosion and sand content, while a negative correlation is found with silt and clay content. The correlation between wind erosion and soil sand content was positive and significant, whereas it was negative for silt and clay content. The wind erosion threshold in these hotspots was measured between 8 and 10 m/s. Moreover, the correlation between erosion intensity and increasing wind speed in most of these areas ranged from 80% to 99%, indicating their high sensitivity to climatic variations and wind speed increases. Wind tunnel experiments showed that the highest wind erosion occurred in the Farashband station, where, at a wind speed of 25 m/s, the erosion rate reached $15.76 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$. Physical and chemical properties of the soils in these hotspots revealed that the soil texture was predominantly loam, sandy loam, and loamy sand. Soil pH ranged from 7.5 to 7.8, and electrical conductivity (ECe) varied from 0.41 to 7.157 dS/m.

Conclusion

Dust sources in Fars Province, including Niyriz-Bakhtagan, Maharlu-Sarvestan, Shahr-e Pir Zarrindasht, Dezhgah Farashband, and Khenj-Laristan, are influenced by a combination of environmental factors. The most significant of these factors include the drying of wetlands (especially Bakhtagan, Abadeh Tashak, and Maharlu), extensive degradation of rangelands, and unfavorable soil characteristics such as loamy texture, high salinity, and low organic carbon content. While high wind speeds (erosion threshold of 8 to 10 meters per second) play a crucial role in the erosion of these areas, the rate of wind erosion and dust production is significantly affected by soil texture and the percentage of clay and silt present. For instance, the dust source at Shahr-e Pir Zarrindasht exhibits less erosion due to its fine-textured soil. Therefore, comprehensive and targeted management of these areas, focusing on the restoration of wetlands, improvement of vegetation cover, and soil remediation, is essential to mitigate the destructive effects of dust.

Keywords: Arid regions, desert, dryland farming, rangelands, storm, wind erosion.

پراکنش و ویژگی‌های خاکی منابع تولیدکننده گردوغبار در استان فارس

حمید حسینی مرندي^{۱*} و حمیدرضا عباسی^۲

۱- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، پست الکترونیک: hhmarand@gmail.com

۲- استادیار، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰

چکیده

سابقه و هدف

پدیده گردوغبار ناشی از ترکیب عوامل طبیعی و انسانی بوده و تأثیرات جدی بر سلامت، کشاورزی، حمل و نقل و منابع آبی دارد. معمولاً بادهایی با سرعت ۶ تا ۷ متر بر ثانیه ذرات ریز را از خاک‌های خشک جدا کرده و در ادامه بادهای شدید (حداقل با سرعت فراتر از ۱۰ تا ۱۵ متر بر ثانیه) می‌توانند منجر به تشکیل طوفان‌های گردوغبار شوند که این ذرات را تا کیلومترها جابه‌جا می‌کنند. به این ترتیب، گردوغبار به چالش محلی، منطقه‌ای و جهانی تبدیل شده است. در جنوب غربی ایران، میانگین روزهای گردوغباری در ۵۰ سال گذشته بین ۲۷ تا ۷۵ روز بوده است. استان فارس، به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی‌اش، تحت تأثیر منابع داخلی و خارجی گردوغبار قرار دارد. نوع کاربری اراضی و خشکسالی‌های متوالی از جمله عوامل مؤثر در گسترش این پدیده هستند. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی استان فارس، خشک شدن تالاب‌ها و کاربری اراضی، زمین‌های کشاورزی کم بازده و دیم رها شده، پدیده گردوغبار در این منطقه اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف این پژوهش بررسی پراکنش و معرفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی مناطق مؤثر در تولید گردوغبار، از طریق بررسی اسناد و نقشه‌های هواشناسی، زمین‌شناسی، سنجش از دور، کاربری اراضی، بازدید میدانی و بررسی آزمایشگاهی و فراهم کردن زمینه‌ای برای طرح‌های مطالعات تکمیلی و برنامه‌های بیابان‌زدایی است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، کانون‌های گردوغبار با استفاده از نقشه‌های مناطق بیابانی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی در محیط GIS شناسایی و تفکیک شدند. سپس، نقاط نمونه‌برداری با روش شبکه‌بندی ۲×۲ کیلومتر بر روی این کانون‌ها تعیین گردیدند. از هر نقطه دو نمونه خاک برداشت شد: یک نمونه دو کیلوگرمی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و یک نمونه بیست کیلوگرمی برای آزمایش فرسایش بادی تهیه شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی شامل اندازه‌گیری pH، هدایت الکتریکی (EC)، ترکیبات یونی محلول، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، درصد رطوبت اشباع (SP)، مقدار گچ و بافت خاک بود. همچنین، برای ارزیابی فرسایش بادی آزمایش تونل باد انجام شد. در نهایت، به منظور بررسی ارتباط ویژگی‌های خاک کانون‌ها با میزان فرسایش بادی، داده‌های حاصل از طریق نمودارها و جدول‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج

در استان فارس، پنج کانون اصلی گردوغبار شناسایی شد که شامل بختگان - نی‌ریز، مهارلو - سروستان، شهرپیر زرین‌دشت، دژگاه فراشبند و خنج - لارستان هستند. این کانون‌ها در مناطق مرکزی، خاوری و جنوبی استان قرار داشته و عمدتاً تحت تأثیر تخریب مراتع، خشکسالی و خشک شدن تالاب‌ها شکل گرفته‌اند. بررسی کاربری اراضی در این مناطق نشان داد که ۶۵ درصد از اراضی را مراتع تخریب‌شده، ۱۹ درصد را تالاب‌های خشک‌شده و ۱۶ درصد را اراضی کشاورزی و دیم‌زارهای رهاشده تشکیل می‌دهند. مطالعه همبستگی بین بادبردگی خاک و پارامترهای شوری، اسیدیته، سدیم، ماده آلی و بافت خاک (ماسه، سیلت، رس) نشان می‌دهد که همبستگی بادبردگی با شوری در کل نمونه‌ها و نمونه‌های شور ضعیف است، اما در نمونه‌های غیر شور، همبستگی مثبت و قابل توجه (۷/۶۶ درصد) وجود دارد. همبستگی بادبردگی با درصد ماسه خاک مثبت و قابل توجه است، در حالی که با درصد سیلت و رس منفی است. آستانه سرعت فرسایش بادی در این کانون‌ها بین ۸ تا ۱۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. همچنین، همبستگی بین شدت فرسایش و افزایش سرعت باد در اغلب این مناطق بین ۸۰ تا ۹۹ درصد بود که نشان‌دهنده حساسیت بالای آنها به تغییرات جوی و افزایش سرعت باد است. آزمایش‌های تونل باد نشان داد که بیشترین میزان بادبردگی در دژگاه فراشبند رخ داده است، به طوری که در سرعت ۲۵ متر بر ثانیه، میزان بادبردگی به ۱۵/۷۶ کیلوگرم بر مترمربع در دقیقه رسید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در این کانون‌ها نشان داد که بافت خاک عمدتاً شامل لوم، لوم ماسه‌ای و ماسه لوم است. میزان pH خاک بین ۷/۵ تا ۸/۵ و هدایت الکتریکی (ECe) بین ۰/۴۱ تا ۱۵۷/۷

دسی زمینس بر متر متغیر بود.

بحث

مطالعه انجام شده نشان می‌دهد که سرعت آستانه فرسایش بادی در مناطق مختلف، به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. در مناطقی که خاک سطحی بافت سبک‌تری دارد و درصد ماسه بیش از ۷۰ درصد و مقدار سیلت بالاتر است (مانند کانون دژگاه فراشبد)، نیروی کمتری برای شروع فرسایش بادی و جابه‌جایی ذرات خاک لازم است، یعنی سرعت آستانه فرسایش بادی پایین‌تر است. بعکس، در مناطقی که درصد رس بیشتر و درصد سیلت کمتر است (مانند بخش‌هایی از کفه‌های خنج و لارستان و کانون شهریر زرین‌دشت)، برای آغاز فرسایش بادی به سرعت باد بیشتری نیاز است. سرعت آستانه فرسایش بادی در کلیه کانون‌های مورد بررسی بین ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. کانون دژگاه فراشبد به دلیل خاک سبک و ماسه‌ای، بیشترین تولید گردوغبار را دارد، در حالی که کانون شهریر زرین‌دشت به دلیل بافت سنگین‌تر خاک، مقاومت بیشتری در برابر فرسایش بادی از خود نشان می‌دهد. همچنین، در مناطقی با شوری بالا، چسبندگی ذرات خاک کاهش یافته و سرعت آستانه فرسایش بادی می‌تواند پایین‌تر باشد. این بررسی نشان می‌دهد که میزان شوری، pH و میزان مواد آلی خاک می‌تواند بر سرعت آستانه فرسایش بادی و تولید گردوغبار تأثیر بگذارد.

نتیجه‌گیری

کانون‌های گردوغبار در استان فارس، شامل نی‌ریز- بختگان، مهارلو - سروستان، شهریر زرین‌دشت، دژگاه فراشبد و خنج-لارستان، تحت تأثیر ترکیبی از عوامل محیطی قرار دارند. مهمترین این عوامل شامل خشک شدن تالاب‌ها (به‌ویژه بختگان، آباد طشک و مهارلو)، تخریب گسترده مراتع و ویژگی‌های نامطلوب خاک از جمله بافت لومی، شوری بالا و فقر کربن آلی می‌باشند. اگرچه سرعت بالای باد (آستانه فرسایش ۸ تا ۱۰ متر بر ثانیه) نقش کلیدی در فرسایش این مناطق ایفا می‌کند، اما میزان بادبردگی و تولید گردوغبار به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر بافت خاک و درصد رس و سیلت موجود در آن قرار دارد. به عنوان مثال، کانون شهریر زرین‌دشت به دلیل بافت ریزدانه خاک، فرسایش کمتری را نشان می‌دهد. بنابراین، مدیریت جامع و هدفمند این مناطق، با تمرکز بر احیای تالاب‌ها، بهبود پوشش گیاهی و اصلاح خاک، برای کاهش اثرهای مخرب گردوغبار ضروریست.

واژه‌های کلیدی: اراضی دیم، بیابان، طوفان، فرسایش بادی، مراتع، مناطق خشک.

مقدمه

گردوغبار به عنوان چالشی محلی، ناحیه‌ای و منطقه‌ای در سطح جهانی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند خاورمیانه مطرح و رو به تشدید است. هنگامی که در مناطق بیابانی سرعت باد از ۶ متر بر ثانیه بیشتر شود، ذرات ریز وارد جریان اتمسفری شده و تولید گردوغبار می‌کنند. عامل اصلی تشکیل پدیده گردوغبار، عوامل طبیعی است، اما عوامل انسانی و مدیریتی نیز از لحاظ شدت، تعدد و گستردگی آنها نقش مهمی دارند. وقتی بادهای قوی ماسه و گردوغبار را از خاک‌های خشک به جو منتقل می‌کنند، طوفان‌های ماسه و گردوغبار ایجاد می‌شود و این ذرات به ارتفاع بلند شده و تا کیلومترها منتقل می‌شوند. این طوفان‌ها بر آب و هوا، اکوسیستم‌ها، سلامت انسان، کشاورزی، حمل و نقل و انرژی خورشیدی تأثیر می‌گذارند، در عین حال مواد مغذی اکوسیستم‌های اقیانوسی را نیز تأمین می‌کنند. حدود ۳۳۰ میلیون نفر از مردم جهان تحت تأثیر طوفان‌های شن و

گردوغبار هستند و ۲۵ درصد از گردوغبار جهانی ناشی از فعالیت‌های انسانی است. بیش از ۸۰ درصد طوفان‌های گردوغبار نیز از بیابان‌های شمال آفریقا و خاورمیانه ایجاد می‌شوند (WMO, 2017). در ایران، زمین‌هایی که به دلیل شرایط خشک و نیمه‌خشک و ویژگی‌های خاک سطحی، مستعد فرسایش بادی هستند، به عنوان کانون‌های تولید گردوغبار شناخته می‌شوند (Jooybari et al., 2022).

در این زمینه، مطالعه و شناخت کانون‌های تولید گردوغبار در ایران، از جمله استان فارس اهمیت زیادی دارد. با تشکیل میدان باد در بیابان‌های سوریه، اردن، عربستان و به‌ویژه عراق و حرکت به سمت ایران، ذرات گردوغبار به مناطق جنوب و جنوب‌غربی کشور و استان فارس می‌رسند (Zulfagari et al., 2018; Dargahian et al., 2019). مناطقی از استان فارس که به دلیل شرایط طبیعی و انسانی و به‌ویژه خشکسالی و تغییرات نادرست کاربری اراضی به بیابان تبدیل شده‌اند، به شدت تحت تأثیر پدیده گردوغبار قرار دارند

نشان داده است که ویژگی‌های خاک، مانند میزان کربنات کلسیم، گچ، کربن آلی و نیتروژن کل، می‌تواند بر ظرفیت تولید گردوغبار تأثیرگذار باشد (Chatrenour et al., 2020). اگرچه تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر ویژگی‌های خاکی و کاربری اراضی بر مناطق در معرض فرسایش بادی انجام شده است، اما به‌ویژه در مناطقی مانند استان فارس که فرسایش بادی در آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته است، هنوز نیاز به مطالعه و تحقیقات بیشتر و دقیق‌تری در مورد ارتباط این ویژگی‌ها با تولید گردوغبار احساس می‌شود. نتایج این مطالعات می‌تواند به فهم بهتری از پدیده گردوغبار و عوامل افزایشدهنده یا کاهشدهنده آن منجر شود. این تحقیق با هدف شناسایی میدانی و معرفی کانون‌های مهم تولید گردوغبار در استان فارس و تحلیل ویژگی‌های محیطی و خاکی آنها، به دنبال ارائه مبنای علمی برای مقابله با این پدیده و پیشنهاد راهکارهای مدیریتی منابع طبیعی و کشاورزی است. شناخت این کانون‌ها و ویژگی‌های خاکی آنها می‌تواند به طراحی برنامه‌های مؤثر در زمینه کنترل فرسایش بادی و کاهش آثار سوء گردوغبار در این منطقه کمک کند.

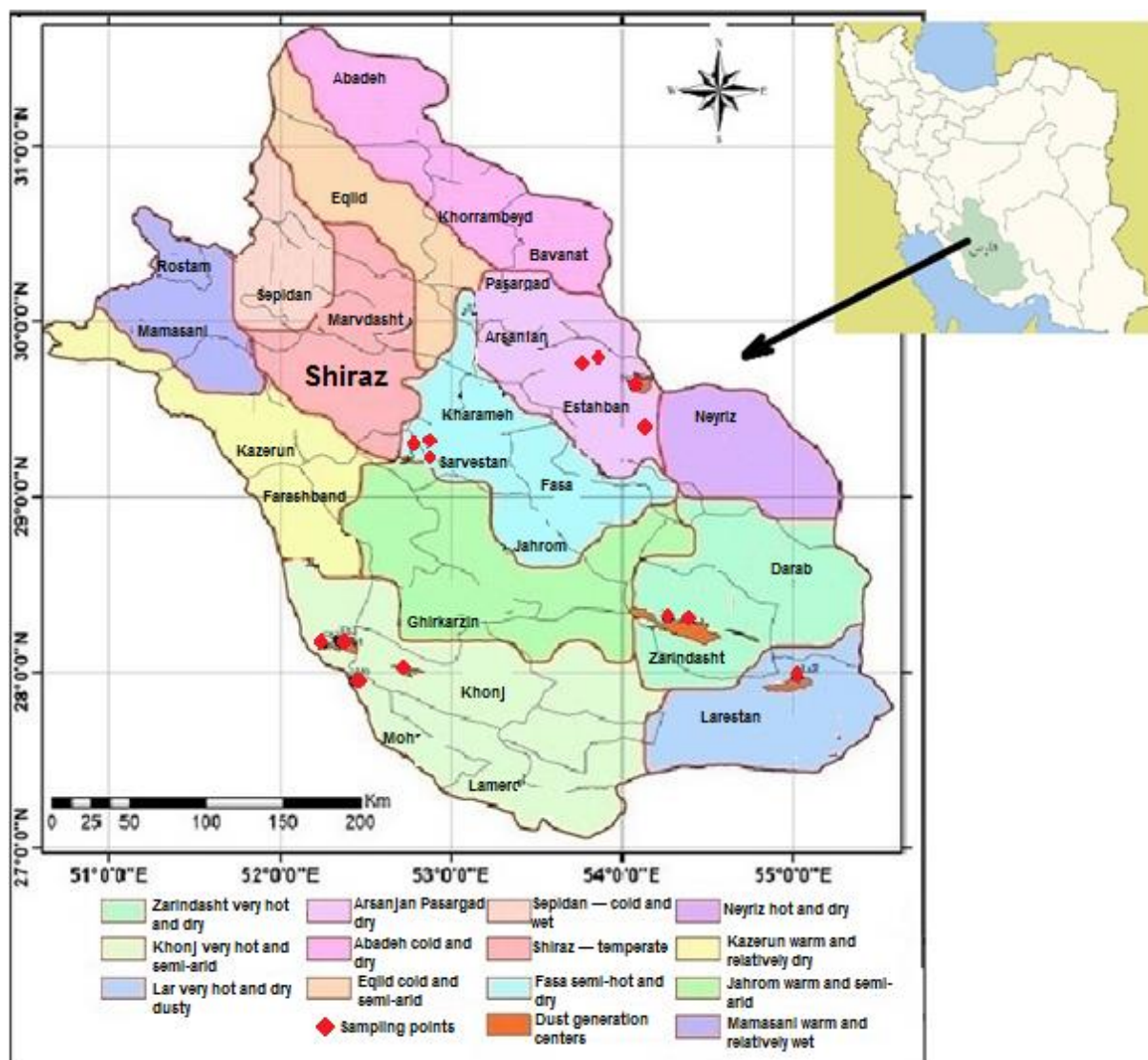
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس با مساحت ۱۲۰۲۶۶،۱۰۷ هکتار در محدوده جغرافیایی بین مختصات ۲۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول خاوری واقع شده و به‌طور متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر است (شکل ۱). این بخش از فلات ایران، تحت تأثیر حرکات عمومی جریان‌های فرامنطقه‌ای از جمله جریان‌های مدیترانه‌ای و هند قرار دارد. همچنین، به دلیل عرض جغرافیایی پایین و مجاورت با خلیج فارس و کوه‌های زاگرس و ایران مرکزی، جریان‌های محلی نیز در این منطقه تأثیرگذار هستند. تفاوت‌های مکانی بارش در استان فارس بسیار زیاد است (Nivar & Bagheri, 2020). این استان شامل ۱۳ ناحیه اقلیمی است که از سرد و خشک آبدار در شمال استان تا بسیار گرم و خشک و غباری لار در

استان فارس به‌دلیل موقعیت جغرافیایی خود و نزدیکی به بیابان‌های عربستان و عراق، همواره در معرض پدیده گردوغبار قرار دارد. تحقیقات نشان داده است که نواحی جنوبی و مرکزی این استان به‌دلیل قرارگیری در عرض‌های پایین و بهره‌برداری کمتر از مسیرهای رطوبتی، بیشتر تحت تأثیر این پدیده هستند (Omidvar & Omid, 2013). مطالعات مشابه در دیگر نقاط جهان نیز نشان داده‌اند که پراکنش گردوغبار و ویژگی‌های خاکی مرتبط با آن، علاوه بر تأثیرات زیست‌محیطی، بر کشاورزی و سلامت انسان نیز تأثیرات قابل توجهی دارد. در مطالعه‌ای در غرب آسیا، ارتباط بین تغییرات گردوغبار و تغییرات کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده افزایش طوفان‌های گردوغبار در فصول بهار و تابستان در مناطقی مانند عراق و سوریه بود (Katorani et al., 2024). همچنین پژوهشی در زمینه استفاده از تکنولوژی سنجش از دور برای پایش گردوغبار در مناطق خشک، نحوه برداشت ویژگی‌های گردوغبار و پراکنش آن انجام شده است (Vafaeinezhad et al., 2014). تحلیل‌های دیگری در مورد فرسایش بادی در مناطق خشک، به‌ویژه در بیابان‌های شمال آفریقا و خاورمیانه، نشان‌دهنده ظرفیت بالای تخریب خاک و تولید گردوغبار در این مناطق است (Yamani, et al., 2014). علاوه بر منابع خارجی، منابع داخلی نیز در تولید گردوغبار در کشور از جمله استان فارس نقش دارند. تغییرات کاربری اراضی، نبود پوشش گیاهی مناسب و مدیریت نادرست منابع آبی از جمله عواملی هستند که به گسترش کانون‌های تولید گردوغبار منجر می‌شوند. به‌عنوان مثال، در استان خوزستان، نبود پوشش گیاهی و عدم مدیریت آبراهه‌ها باعث گسترش کانون‌های تولید گردوغبار شده است که می‌تواند بر استان‌های همجوار مانند فارس نیز تأثیر بگذارد (Abbasi, 2021). مطالعه کانون‌های تولید گردوغبار در استان فارس با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و SWOT، نشان داده است که توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در این مناطق، برای اولویت‌بندی آنها از اهمیت بالایی برخوردار است (Amir Azadi & Jafari, 2020). همچنین بررسی دیگری

جنوب استان متغیر است (Ghahari *et al.*, 2019).



شکل ۱- موقعیت استان فارس، پهنه‌های اقلیمی (Ghahari *et al.*, 2019) و کانون‌های تولید گردوغبار
Figure 1- Location of Fars province, climatic zones (Ghahari *et al.*, 2019) and dust source areas

زمین‌شناسی و خاک‌شناسی

مناطق استان فارس در بخش‌های مختلفی از چین‌خوردگی زاگرس قرار دارند. این مناطق عمدتاً از سنگ‌های آهکی، دولومیتی، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل، مارن و مارن‌های آهکی، سنگ گچ و سنگ‌های نمک‌دار (گنبد‌های نمکی) تشکیل شده و معمولاً دارای چین‌خوردگی‌های ظریفی هستند. جدیدترین رسوبات در مناطق مختلف استان فارس به دوره کواترنری تعلق دارند که عمدتاً سردشت و دشت‌هایی از رسوبات ناپیوسته سخت نشده درشت تا ریزدانه را تشکیل داده و در معرض فرسایش و به‌ویژه فرسایش بادی قرار دارند. از نظر زمین‌ساخت، منطقه فارس دچار گسل‌خوردگی و شکستگی‌هایی شده است که این موضوع نقش به‌سزایی در شکل‌گیری اشکال زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) منطقه ایفا کرده است (Aghanabati, 2004).

در استان فارس، هفت رده خاک شامل انتیسول‌ها (Entisols)، اینسپتیسول‌ها (Inceptisols)، مولیسول‌ها (Mollisols)، آلفی‌سول‌ها (Alfisols)، اریدی‌سول‌ها

(Aridisols)، ورتی‌سول‌ها (Vertisols) و هیستوسول‌ها (Histosols) مشاهده می‌شوند. تیپ‌های اراضی استان فارس شامل: کوه‌ها و تپه‌ها (حدود ۶۲ درصد)، فلات‌ها و تراس‌های فوقانی (حدود ۸,۵ درصد)، انواع دشت‌ها (حدود ۱۰ درصد)، دشت‌های سیلابی (حدود ۳ درصد)، مخروط‌افکنه‌ها (حدود ۱۴ درصد)، اراضی گود، اراضی متفرقه و دریاچه‌ها (حدود ۲ درصد) هستند (Geodata).

روش کار

کانون‌های گردوغبار با استفاده از نقشه‌های موجود کاربری اراضی، پوشش گیاهی، مناطق بیابانی استان فارس، با روش برهم‌نهی نقشه‌ها در محیط GIS شناسایی شدند. برای تعیین نقاط نمونه‌برداری، شبکه‌بندی ۲ در ۲ کیلومتر در محیط GIS اعمال شده و نقاط نمونه‌برداری در مرکز هر شبکه مشخص گردید. مختصات نقاط نمونه‌برداری در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه‌برداری از کانون‌های گردوغبار

Table 1 - Coordinates of Sampling Points from Dust Source Areas

Dust Source Number	Dust Source Name	Sample Description		
		Code	UTM (X)	UTM (X)
1	Bakhtegan- Neyriz	NZ1	219602	3256613
		NZ2	216211	3281103
		NZ3	216799	3281770
		NZ4	767753	3293642
2	Maharlu - Sarvestan	Mh1	640298	3093072
		Mh2	681311	3245468
3	Shahrpir Zarrindasht	Zd1	231999	3131726
		Zd2	244121	3130617
		FB1	634577	3116472
4	Dezhgah Farashband	FB2	623422	323115
		FB3	630783	3118402
5	Khonj - Larestan	La1	281420	3076170
		La2	306394	3095173

تهیه نمونه‌های خاک

معمولاً برای بررسی ویژگی‌های خاک مرتبط با فرسایش بادی، نمونه‌برداری از عمق ۵ تا ۱۰ سانتیمتر خاک سطحی انجام می‌شود. با توجه به اینکه اراضی کشاورزی و دیم‌زارها، به‌ویژه به دلیل شخم‌خوردگی، منابع تولید گردوغبار در نظر

گرفته می‌شوند، در این تحقیق نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر (عمق متداول شخم) انجام شد. در هر نقطه یک نمونه ۲ کیلوگرمی برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و یک نمونه ۲۰ کیلوگرمی برای آزمایش فرسایش بادی تهیه گردید.

آنالیز نمونه‌های خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e)، pH، میزان کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر و بی‌کربنات محلول و مقادیر کربنات کلسیم و گچ با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (FAO, 2020). برای تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، از روش استات آمونیوم، شامل اشباع خاک با محلول استات آمونیوم و بعد اندازه‌گیری مقدار آمونیوم جذب شده توسط خاک که نشان‌دهنده ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک است، استفاده شد. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری طبق طبقه‌بندی وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) تعیین شد (USDA, 2017).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور ارزیابی ظرفیت فرسایش بادی کانون‌های گردوغبار، داده‌های حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. بدین منظور، داده‌های خام، در قالب جدول‌های نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نتایج آزمایش‌های فرسایش بادی سازماندهی گردید. سپس، با استفاده از نرم‌افزار اکسل، نمودارهای همبستگی بین شدت باد و میزان بادبردگی برای هریک از کانون‌های مورد بررسی ترسیم شد. این نمودارها امکان ارزیابی بصری و کمی ارتباط بین سرعت باد و میزان ذرات معلق شده از سطح خاک را فراهم نمودند. به منظور بررسی تحلیلی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و فرسایش بادی، تغییرات ویژگی‌های خاکی و میزان بادبردگی در هر کانون، با استناد به جدول داده‌های آزمایشگاهی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نهایتاً، براساس یافته‌های حاصل از این تحلیل‌ها، کانون‌های مورد مطالعه براساس اولویت و اهمیت آنها در فرسایش بادی، معرفی شدند.

نتایج

ویژگی‌های خاکی و فرسایشی کانون‌ها

پنج کانون اصلی تولید گردوغبار در استان فارس شناسایی و به نام‌های نیریز - بختگان، مهارلو - سروستان، شهرپیر

برای بررسی تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک بر فرسایش بادی و میزان بادبردگی در شرایط کنترل‌شده، آزمایش تونل باد با تنظیم سرعت باد و کنترل عوامل محیطی (تعیین درصد رطوبت خاک پیش از آزمایش به روش وزنی) انجام شد. مقطع اتاق آزمون 80×80 سانتیمتر و طول ۱۶ متر، محرک تونل باد فن‌های جریان محوری توربو فن، کنترل سرعت توسط کنترل دور LG و فشارسنج الکترونیکی و سازوکار انتقال دهنده یک بعدی برای اندازه‌گیری پروفیل سرعت باد است. در این تونل باد امکان شبیه‌سازی سرعت باد از حداقل نیم تا ۳۵ متر بر ثانیه وجود دارد.

در این تحقیق، نمونه‌های خاک در سینی‌های آزمایش با دقت ۱۰ گرم وزن شدند. سینی‌ها در تونل باد قرار گرفته و سرعت باد به تدریج افزایش یافت تا ذرات خاک به صورت خزشی، جهشی و معلق شروع به حرکت کنند. سرعت آستانه فرسایش، به صورت مشاهداتی و در لحظه شروع حرکت جهشی و خزشی ذرات، تعیین گردید. برای اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری بادی، هر نمونه به مدت دو دقیقه در معرض سه سرعت مختلف باد (۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر بر ثانیه، بالاتر از سرعت آستانه) قرار گرفت. سپس، نمونه‌ها دوباره وزن شده و اختلاف وزن که نشان‌دهنده میزان فرسایش است، در هر سرعت باد محاسبه گردید. فرسایش‌پذیری بادی هر نمونه، از طریق محاسبه شیب خط نمودار میزان فرسایش برحسب سرعت باد تعیین شد. در روش محاسباتی، با اندازه‌گیری میزان بادبردگی در سرعت‌های مختلف و با استفاده از معادله خطی که رابطه بین بادبردگی و سرعت باد را نشان می‌دهد، سرعت آستانه فرسایش در نقطه‌ای که میزان بادبردگی به صفر میل می‌کند، تعیین می‌شود. برای این منظور، داده‌ها بر روی نموداری ترسیم می‌شوند که محور X آن نشان‌دهنده سرعت باد و محور Y نشان‌دهنده میزان بادبردگی است. بهترین خط ممکن بر نقاط داده شده برازش داده می‌شود و با امتداد این خط تا محل برخورد با محور X، سرعت آستانه فرسایش تعیین می‌گردد. به طور معادل، با استفاده از معادله ریاضی این خط و قرار دادن مقدار بادبردگی (Y) برابر با صفر، می‌توان سرعت آستانه فرسایش را به دست آورد.

زیرین‌دشت، دژگاه فراشبند و خنج - لارستان نام‌گذاری شدند. این کانون‌ها در مناطق مرکزی، خاوری و جنوبی استان فارس واقع شده‌اند. مشخصات کلی این کانون‌ها در جدول ۲ درج شده و پراکنش آنها نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات کلی کانون‌های تولید گردوغبار استان فارس

Table 2 - General Characteristics of Dust Source Areas in Fars Province

Dust Source Number	Dust Source Name	Area (hectares)	Affected Counties
1	Bakhtegan - Neyriz	33742	Neyriz, Bakhtegan, Kherameh
2	Maharloo - Sarvestan	16330	Sarvestan, Shiraz
3	Shahrpir Zarrindasht	44070	Zarrindasht, Dabiran, Shahrpir
4	Dezhgah Farashband	10850	Farashband
5	Khonj - Larestan	41673	Khonj, Owz, Gerash, Lar
6	Other (Northern Half of Province)	58465	Marvdasht, Arsanjan, Abadeh
7	Other (Southern Half of Province)	16370	Qir and Karzin, Jahrom

کانون بختگان - نی‌ریز

این کانون با مساحت ۳۳،۷۴۲ هکتار در مرکز خاوری استان فارس (بخش باختر نی‌ریز) واقع شده است. سرعت آستانه فرسایش بادی در این کانون بین ۸ تا ۱۰ متر بر ثانیه تعیین گردید. همبستگی شدت فرسایش با افزایش سرعت باد در خاک سطحی این کانون، بین ۹۰ تا ۹۶ درصد است.

کانون مهارلو - سروستان

این کانون با مساحت ۱۶،۳۳۰ هکتار در مرکز استان فارس (خاور شیراز) واقع شده است. سرعت آستانه فرسایش بادی در این کانون بین ۸ تا ۱۰ متر بر ثانیه است. همبستگی شدت فرسایش با افزایش سرعت باد در خاک سطحی این کانون، بین ۹۰ تا ۹۶ درصد است.

کانون شهرپیر زیرین‌دشت

این کانون با مساحت ۴۴،۰۷۰ هکتار در خاور استان فارس (جنوب زیرین‌دشت) قرار دارد. سرعت آستانه فرسایش بادی در این کانون ۱۰ متر بر ثانیه تعیین گردید. همبستگی شدت فرسایش با افزایش سرعت باد در خاک سطحی این

کانون بین ۸۰ تا ۹۹ درصد است.

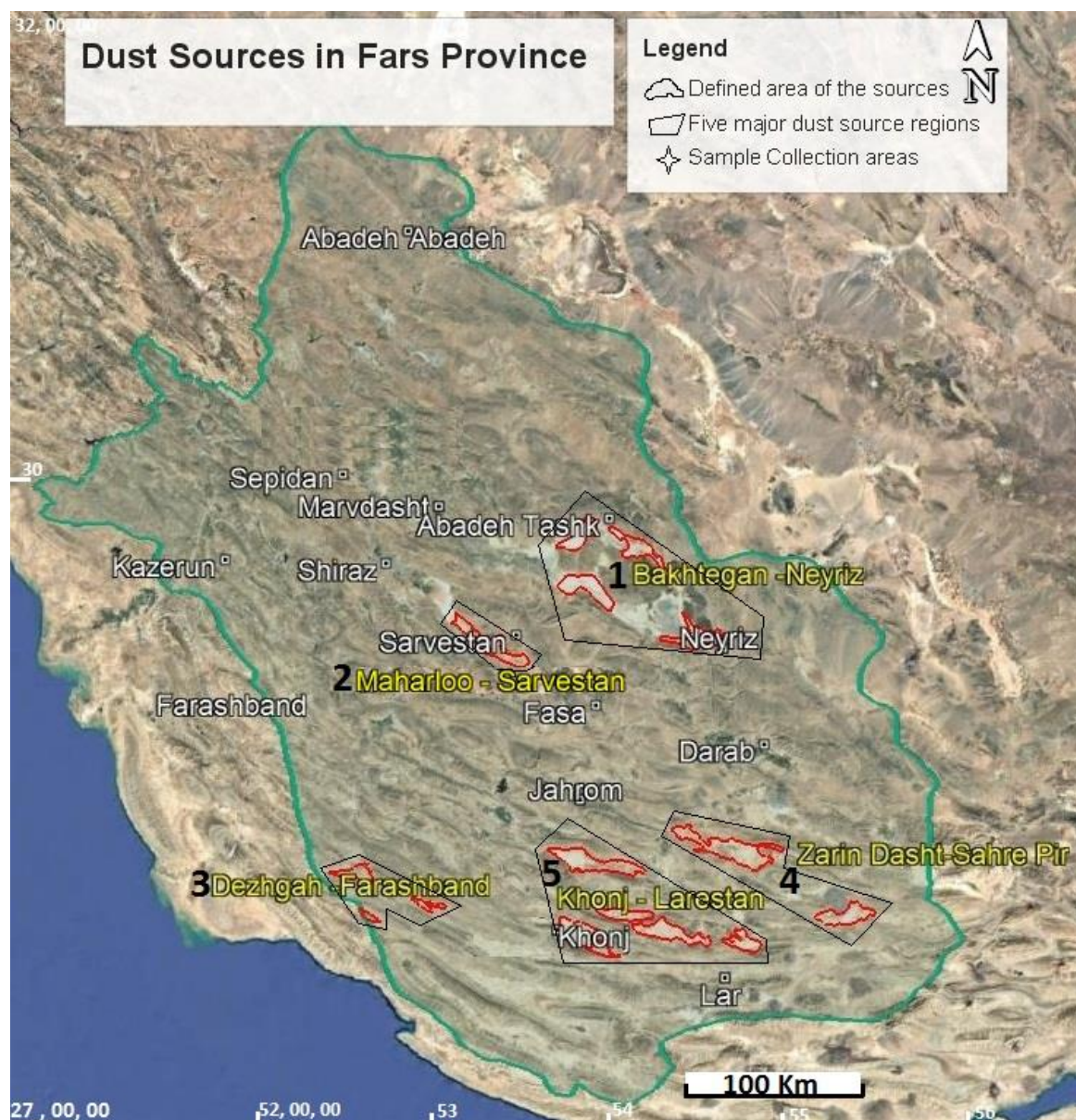
کانون دژگاه فراشبند

این کانون با مساحت ۱۰،۸۵۰ هکتار در جنوب باختری استان فارس (جنوب خاوری فراشبند) واقع شده است. سرعت آستانه فرسایش بادی در این کانون ۱۰ متر بر ثانیه است. همبستگی شدت فرسایش با افزایش سرعت باد در خاک سطحی این کانون بین ۸۹ تا ۹۹ درصد است.

کانون خنج - لارستان

این کانون با مساحت ۴۱،۶۷۳ هکتار در جنوب استان فارس (نواحی خنج تا لارستان) واقع شده است. سرعت آستانه فرسایش بادی در این کانون ۱۰ متر بر ثانیه تعیین گردید. همبستگی شدت فرسایش با افزایش سرعت باد در خاک سطحی این کانون بین ۹۰ تا ۹۵ درصد است.

جدول ۳ نتایج آزمایش ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک، جدول ۴ نتایج آزمایش فرسایش بادی خاک و شکل ۳ همبستگی افزایش سرعت باد با میزان بادبرگی خاک در کانون‌های پنج‌گانه را نشان می‌دهند.



شکل ۲- موقعیت پنج کانون مهم تولید گردوغبار در استان فارس

Figure 2- Distribution of five major dust source regions in Fars province

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی کانون‌های پنج‌گانه

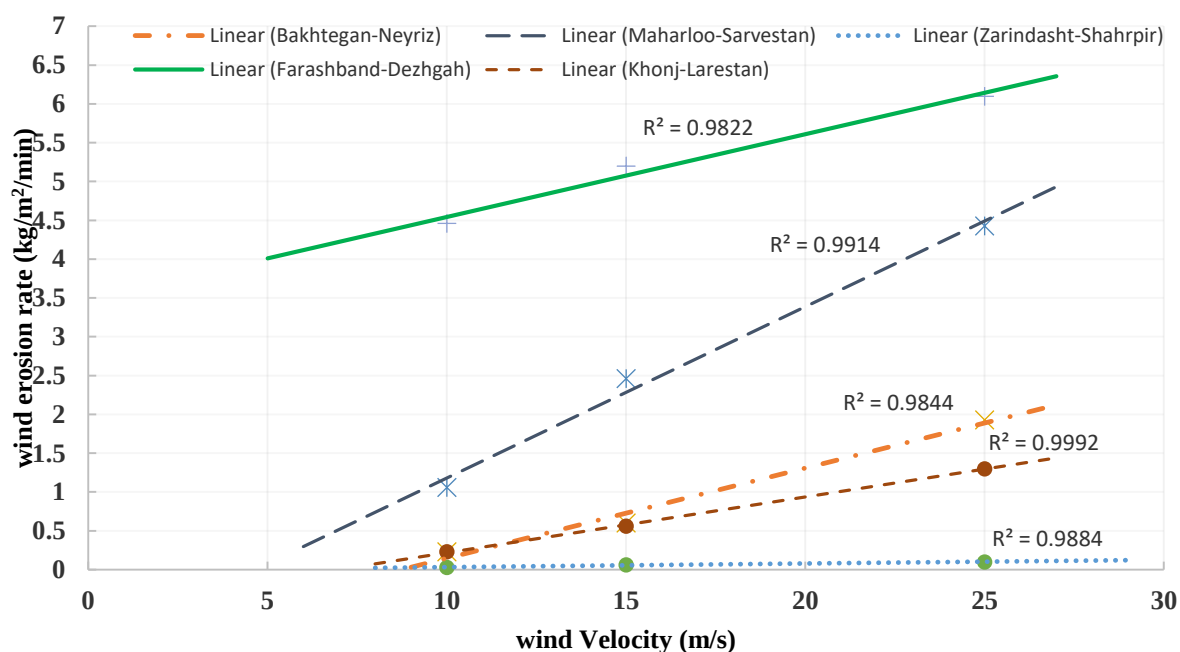
Table 3- Physicochemical properties of surface soil in the five dust source areas.

Dust Source Number	Dust Source Name	Sample code	pH	EC (dS/m)	%clay	%Silt	%Sand	Texture	T.N.V%	%CaSO ₄	O.C%	(Ca+Mg) meq/l	Na (meq/l)	SAR	% SP
1	Bakhtegan-Neyriz	Nz1	7.56	157.7	20.0	45.2	34.8	Loam	43.5	1.4	1.14	686	206	1.11	56.44
		Nz2	8.13	0.57	7.2	21.8	71.0	Sandy loam	38.5	0.6	0.04	5.25	1.29	0.8	26.22
		Nz3	8.48	0.41	5.6	18.0	76.4	Loamy sand	36.0	0.42	0.3	3.5	2.4	1.81	40.68
2	Maharlu – Sarvestan	Mh1	7.76	5.38	9.2	23.6	67.2	Sandy loam	69	0.35	0.33	49	23	4.65	29.57
		Mh2	7.67	34.8	34.4	47	18.6	Silty clay loam	60	1.02	0.97	161	318	35.44	50.76
3	Shahrpir Zarrindasht	zd1	7.51	42.40	52.4	34	13.60	Clay	34	0.10	0.33	231	328	30.52	68.38
		Zd2	7.90	1.32	18.2	51.40	30.40	Silt loam	47	0.48	0.23	10.5	1.35	0.60	41.14
4	Dezhgah Farashband	Fb1	8.44	0.73	3.60	8.20	88.20	Sand	56	0.32	0.07	7	1.62	0.87	35.33
		Fb2	7.43	135.4	16.40	43.80	39.80	Loam	40.5	4.9	0.6	458.5	1750	115.58	50.09
5	Khonj – Larestan	La1	7.87	6.32	10.8	36.4	52.8	Sandy loam	74	0.45	0.16	50.75	34.4	6.83	25.48
		La2	8.45	1.64	7.2	14.6	78.2	Sandy loam	55.5	0.42	0.11	7.7	10	5.1	21.72

جدول ۴- نتایج آزمایش تونل باد برای نمونه‌های خاک کانون‌های پنج‌گانه

Table 4- Wind tunnel test results for soil samples from five dust source areas

Dust Source Number	Dust Source Name	Code	Observed Threshold Erosion m/s	Initial Tray Weight (kg)	Amount of wind erosion at three wind speeds(kg/m ² /min)			Total wind erosion (kg/m ² /min)
					15 m/s	20 m/s	25 m/s	
1	Bakhtegan- Neyriz	Nz1	10	10.74	0.23	0.60	1.93	2.76
		Nz2	8	12.7	2.00	2.56	4.50	9.06
		Nz3	8	12.64	2.30	5.13	6.50	13.93
		Nz4	10	10.90	1.20	3.56	7.60	12.36
2	Maharlu - Sarvestan	Mh1	8	13.48	1.06	2.46	4.43	7.95
		Mh2	10	11.42	0.13	0.50	1.80	2.43
3	Shahrpir Zarrindasht	Zd1	10	10.88	0.03	0.06	0.10	0.19
		Zd2	10	11.5	0.06	0.16	0.9	1.12
4	Dezhgah Farashband	FB1	8	11.28	4.46	5.20	6.10	15.76
		FB2	8	11.78	0.13	1.20	5.33	6.66
5	Khonj – Larestan	La1	10	12.57	0.23	0.56	1.30	2.09
		La2	10	14.52	0.40	0.83	2.36	3.59



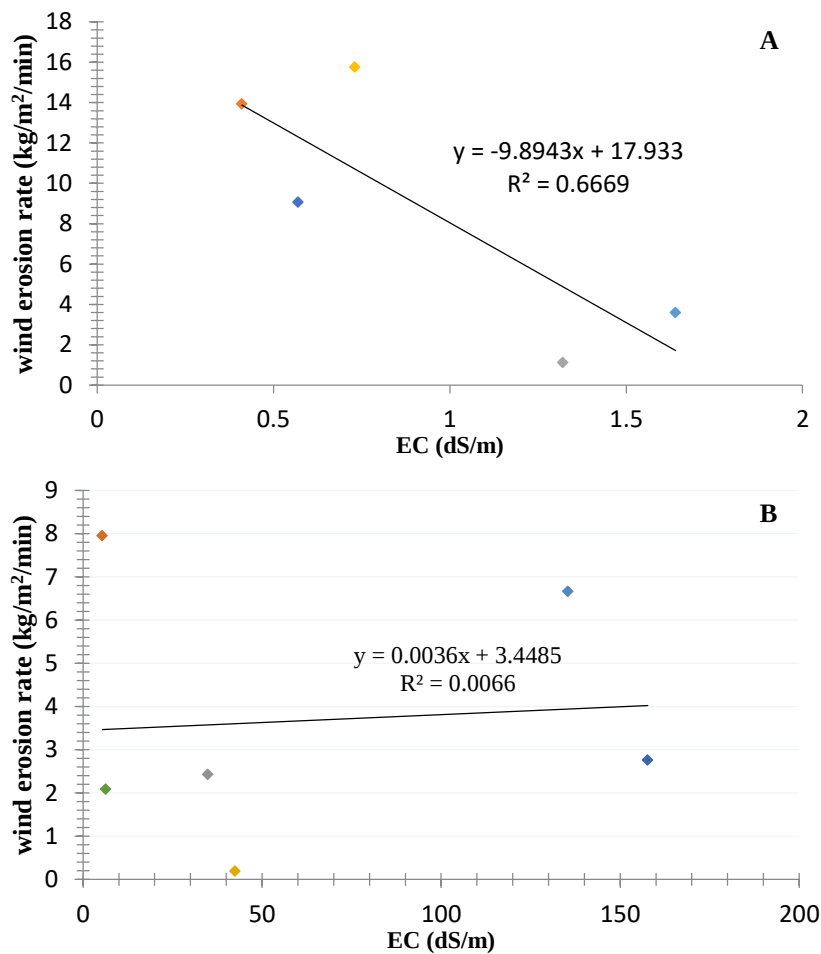
شکل ۳- همبستگی شدت فرسایش خاک سطحی کانون‌های پنج‌گانه با افزایش سرعت باد

Figure 3- Correlation of surface soil erosion intensity in the five dust source areas with increasing wind speed

شکل B-۴ است. این بررسی در نمونه‌های غیر شور (هدایت الکتریکی کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر)، نشان‌دهنده همبستگی منفی و بیش از متوسط (۶۶/۷ درصد) است (شکل A-۴).

بررسی همبستگی میزان بادبردگی با بافت خاک (درصدهای ماسه، سیلت و رس) نیز نشان داد که رابطه مثبت بین بادبردگی و درصد ماسه خاک برقرار بوده و این رابطه در مورد مقدار سیلت و رس نیز به صورت منفی برقرار است (شکل ۵).

همبستگی میزان بادبردگی با برخی ویژگی‌های خاک با استفاده از اعمال رابطه همبستگی بین میزان بادبردگی با شوری، اسیدیته، مقدار سدیم و مقدار ماده آلی خاک و بررسی این رابطه با اجزاء بافت خاک (درصدهای ماسه، سیلت و رس) نتایج بدست آمده که برخی نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. بررسی همبستگی میزان بادبردگی با شوری در کل نمونه‌ها و در نمونه‌های شور (هدایت الکتریکی بیش از ۵ دسی‌زیمنس بر متر)، خیلی ضعیف مثبت است که مربوط به نمونه‌های شور در



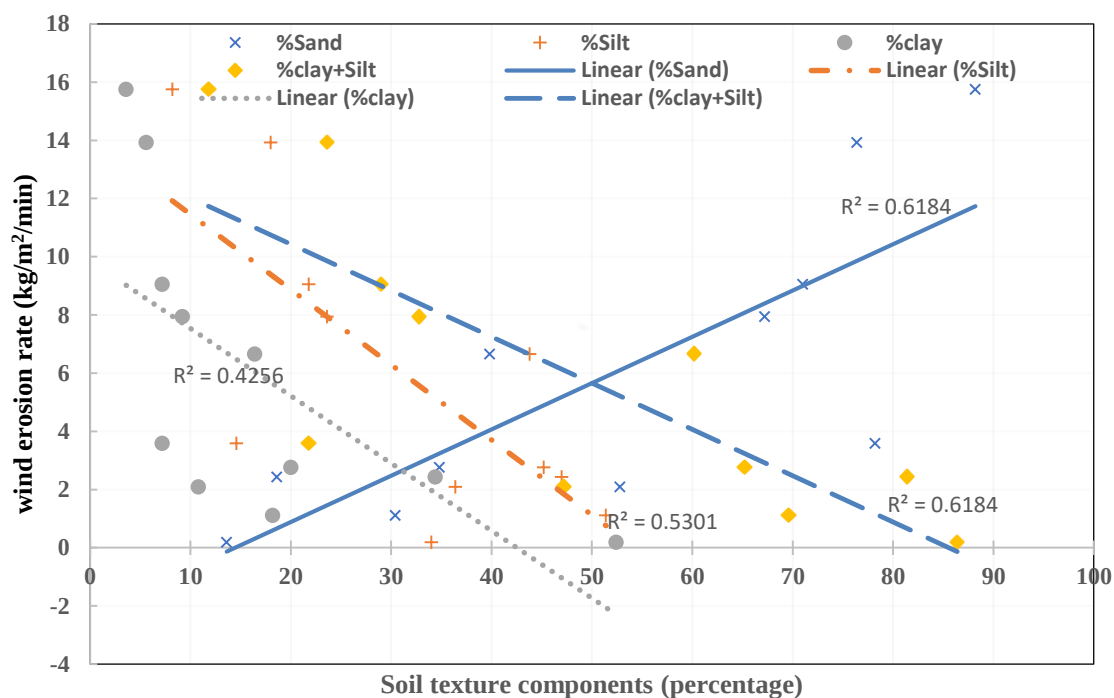
شکل ۴- همبستگی مجموع بادبردگی با شوری نمونه‌های خاک دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر (A) و بیشتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر (B)

Figure 4 - Correlation between total wind erosion and soil salinity in samples with EC < 2 dS/m (A) and EC > 5 dS/m (B).

(به‌ویژه در بالادست تالاب بختگان) خشک شده‌اند. همچنین مراتع تخریب‌شده، به دلیل چرای بیش از حد و خشکسالی‌ها، به کانون‌های فعال تولید گردوغبار تبدیل شده‌اند. درصدی از سطح کانون‌ها را ماسه پوشانده و شن‌زار و عوارض ماسه‌ای در حاشیه کانون‌ها به شکل نبکا دیده می‌شوند. رنگ ماسه در نقاط تثبیت شده قهوه‌ای روشن تا تیره و در نقاط فعال به رنگ خاکستری روشن و ارتفاع تپه‌ها اغلب کمتر از یک متر است (شکل ۶).

کاربری اراضی کانون‌های گردوغبار

براساس نقشه‌های موجود از کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی در سطح کانون‌های گردوغبار استان فارس شامل ۱۹ درصد تالاب‌های خشک شده و اراضی شور حاشیه آنها، ۶۵ درصد مراتع تخریب‌شده و ۱۶ درصد اراضی کشاورزی و دیم‌زارهای رها شده است. مهمترین تالاب‌های خشک شده و در معرض خشکی در استان شامل بختگان، آباده طشک و مهارلو هستند. این تالاب‌ها به دلیل سدسازی و استفاده از منابع آبی در بالادست



شکل ۵- نمودار همبستگی مجموع بادبردگی با اجزاء بافت در نمونه‌های خاک کانون‌ها
Figure 5 - Correlation chart of total wind erosion with soil texture components



شکل ۶ - تپه‌های ماسه بادی در کانون دشت دژگاه فراشبند و گیاهان بیابانی بومی
Figure 6- Sand dunes in the center of Dezhgah Farashband dust production area and endemic desert plants

بحث

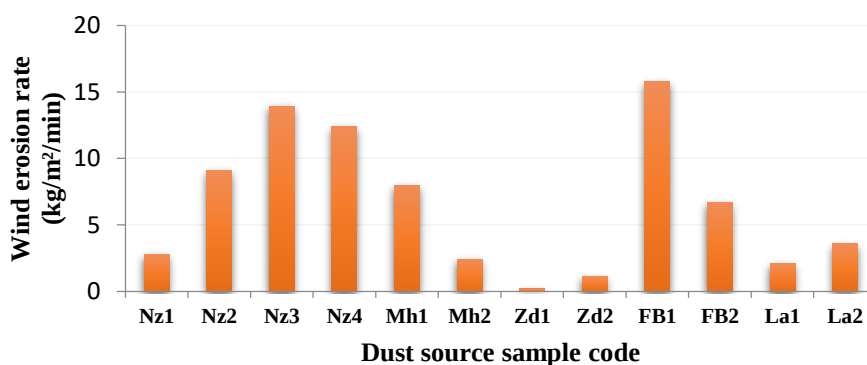
خاک سطحی کانون‌های مورد بررسی، ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه است. مقایسه کانون‌ها از نظر مقدار بادبردگی در شکل ۷ نشان می‌دهد که کانون فراشبند به دلیل خاک سبک و ماسه‌ای بیشترین تولید گردوغبار را داشته و کانون شهرپیر زرین‌دشت نیز به دلیل بافت سنگین خاک مقاومت بیشتری در برابر فرسایش بادی نشان داده و برای حرکت ذرات سرعت آستانه بیشتر باد را نیاز دارد. میزان ماده آلی خاک که معمولاً انعکاسی از وجود پوشش

در کانون‌هایی که خاک سطحی بافت سبک‌تری داشته و درصد ماسه بیش از ۷۰ درصد است و مقدار سیلت بیشتری دارند، سرعت آستانه فرسایش بادی کمتر است (کانون دژگاه فراشبند) و هرچه درصد رس بیشتر و درصد سیلت کمتر باشد (بخش‌هایی از کفه‌های خنج و لارستان و کانون شهرپیر زرین‌دشت) سرعت آستانه فرسایش بادی بیشتر خواهد بود. آستانه سرعت باد برای ایجاد فرسایش بادی و جابه‌جایی

وضعیت بادبردگی نمونه‌ها در سرعت‌های مشابه نمی‌توان یک عامل را مدنظر قرار داد، باید کنش عوامل مختلف را در نظر گرفت. نمونه Zd1 کانون شهرییر زرین‌دشت دارای درصد رس بالایی نسبت به نمونه Zd2 است (۴۲/۴ درصد در برابر ۱۸/۲) و انتظار می‌رود که در سرعت باد برابر، اختلاف میزان بادبردگی این دو نمونه زیاد باشد که این چنین نیست. هرچند که نیاز به بررسی تعداد نمونه‌های بیشتری است، ولی به نظر می‌رسد مجموع درصد رس و سیلت در این کانون نسبت به درصد ماسه، زیاد است (شکل ۸). بنابراین فقط میزان درصد رس را نمی‌توان مبنای مقایسه قرار داد.

مجموع بادبردگی خاک سطحی کانون‌ها نیز از حدود یک کیلوگرم در مترمربع در دقیقه تا بیش از ۱۶ کیلوگرم در مترمربع تغییر می‌کند (شکل ۷). جایی که مقادیر سیلت در بافت رسوب بیشتر باشد، سرعت آستانه فرسایش کمتر (۷ متر بر ثانیه)، بافت ماسه‌ای و مجموع بادبردگی افزایش می‌یابد (بخش‌هایی از کانون دژگاه فراشند).

گیاهی است، می‌تواند در سرعت آستانه فرسایشی و میزان بادبردگی ذرات نقش مؤثری داشته باشد. این موضوع را در نمونه‌های کانون نی‌ریز - بختگان می‌توان دید. تفاوت نسبتاً زیاد میزان بادبردگی خاک سطحی در نمونه یک با دو نمونه دیگر، احتمالاً مربوط به میزان دو تا سه برابری کربن آلی رسوب در نمونه یک است. هرچند مجموع رس و سیلت نمونه یک به بیش از ۶۵ درصد رسیده و بافت لومی رسوب نیز موجب افزایش سرعت آستانه فرسایش شده و می‌تواند در تفاوت میزان بادبردگی نقش داشته باشد (شکل ۷ و شکل ۸). نتایج نشان می‌دهد که در کانون شهرییر زرین‌دشت میزان بادبردگی به‌طور قابل توجهی کمتر از سایر کانون‌هاست. در این کانون خاک سطحی ریزدانه (رس زیاد و ماسه کم در بافت رسوب) گسترش دارد و این وضعیت، هم سرعت آستانه فرسایش را بالاتر برده (بیش از ۱۰ متر بر ثانیه) و هم مجموع بادبردگی فرسایش بادی را به‌طور چشمگیری کاهش داده است (حدود یک کیلوگرم بر مترمربع در دقیقه). برای بررسی



شکل ۷- مقایسه مقدار بادبردگی خاک در کانون‌های پنج‌گانه

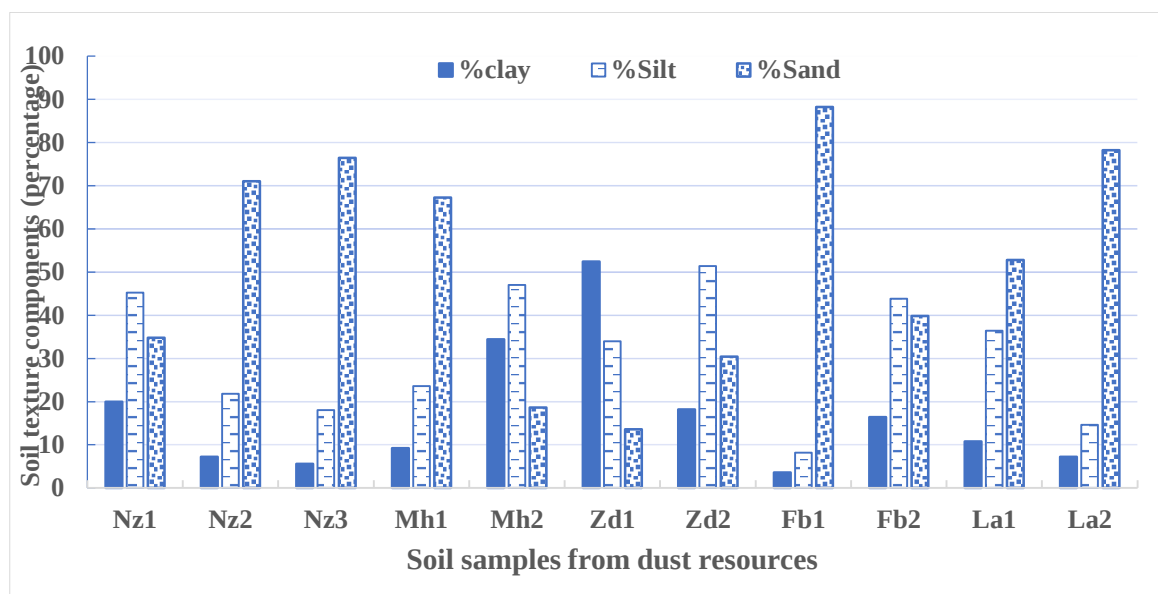
Figure 7 - Comparison of soil wind erosion in five dust sources

خاک از دیگر عوامل مؤثر هستند. این شرایط را در نمونه Mh2 کانون مهارلو - سروستان و نمونه Zd1 کانون شهرییر زرین‌دشت که از شوری و SAR بالا، ولی پایداری بیشتری برخوردار است، می‌توان مشاهده کرد. وجود شن‌زار و تپه‌های ماسه‌ای، به‌ویژه در حضور شوری زیاد، می‌تواند اراضی را به کانون تولید گردوغبار تبدیل کند. نمونه‌های کانون دژگاه

آهکی بودن خاک و آستانه فرسایش پایین می‌تواند شدت آسیب‌پذیری در برابر فرسایش بادی کانون را افزایش دهد. این موضوع را در نمونه Mh1، کانون مهارلو - سروستان که آهک زیاد داشته و بافت سبکی دارد می‌توان دید. همچنین، فقط با مشاهده شوری و SAR بالا، ضرورتاً نباید ناپایداری بیشتر را انتظار داشت، زیرا ترکیب شیمیایی و به‌ویژه بافت

سطحی کانون‌ها اندک (کمتر از یک و اغلب کمتر از ۰/۵ درصد) است که خود نشان‌دهنده فقر ماده آلی و به‌طور کلی ضعف شرایط برای استقرار پوشش گیاهی، ناشی از خشکی و کمبود رطوبت در این نواحی است. البته باید توجه داشت که علاوه بر نقش ماده آلی خاک در کاهش سرعت آستانه و فرسایش بادی، نقش مستقیم پوشش گیاهی در کاهش فرسایش بادی از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعات نشان داده است مناطقی دارای پوشش گیاهی نسبتاً متراکم دارای کمترین سهم و رخساره‌های رسی لیمونی فاقد پوشش گیاهی بیشترین سهم در فرسایش بادی را ایفا می‌کنند (Mohamadxan *et al.*, 2021). همچنین خشکسالی و نبود پوشش گیاهی و عدم مدیریت آبراهه‌ها باعث گسترش کانون‌های گردوغبار شده که نیاز به مطالعات مدرن و کمی، بر مبنای استفاده از داده‌کاوی و ردیابی رسوبات دارند (Jooybari *et al.*, 2022). بنابراین در کانون‌های گردوغبار استان فارس نیز که از پوشش گیاهی فقیری برخوردارند، تشدید فرسایش بادی و تولید گردوغبار وجود دارد.

فراشند دارای بافت سبک، شوری شدید و SAR بالا هستند. کمترین سرعت آستانه فرسایش و بیشترین بادبردگی در این کانون وجود دارد. در نمونه‌های خاک این کانون (Fb1 و Fb2)، شوری زیاد، SAR بالا و بافت خاک، نقشی همسو در افزایش شدت فرسایش بادی دارند. بافت و ماده آلی خاک در کانون‌ها می‌توانند در افزایش شدت فرسایش بادی و تولید گردوغبار نقش مؤثری داشته باشند. در نمونه La2 کانون خنج - لارستان، با وجود درصد شن زیاد (۷۸/۲ درصد) نسبت به نمونه مشابه در کانون فراشند (نمونه Fb1)، از میزان بادبردگی به مراتب کمتری برخوردار است (شکل ۷ و شکل ۸). این تفاوت را می‌توان در تفاوت بافت شنی لومی خاک کانون خنج لارستان نسبت به بافت شنی کانون فراشند، مرتبط دانست. زیرا درصد سیلت و رس بیشتر موجب چسبندگی قابل توجه دانه‌ها می‌شود. البته درصد بیشتر ماده آلی خاک (۱۱/۰ درصد در مقابل ۰/۰۷ درصد) نیز می‌تواند از دیگر دلایل کمتر بودن میزان فرسایش و بادبردگی خاک در نمونه‌های مربوط به کانون خنج - لارستان باشد. کربن آلی در خاک



شکل ۸- مقایسه درصد اجزاء بافت خاک کانون‌های پنج‌گانه (درصد ماسه، سیلت و رس)

Figure 8 - Comparison of the percentage of soil texture components of the five dust source (percentage of sand, silt and clay, respectively)

نتایج بررسی فیزیکی و شیمیایی خاک کانون‌های پنج‌گانه تولید گردوغبار در استان فارس نشان می‌دهد که خاک سطحی کانون‌ها قلیایی و از pH ۷/۴۳ تا ۸/۴۵ برخوردارند. گستره تغییرات مقدار شوری خاک سطحی زیاد و از حدود یک دسی‌زیمنس بر متر (غیر شور) تا ۴۲/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر (خیلی شور) و حتی فراتر از آن نوسان دارد. بنابراین، از نظر شوری، می‌توان گفت که هم خاک‌های سطحی شور و هم غیر شور ایجاد گردوغبار می‌کنند. در این بررسی، کانون‌های متناسب به محیط دریاچه‌های فصلی شور (مه‌ارلو، بختگان و کفه‌های شور خنج تا لارستان) شورترین خاک‌ها را دارند. نتایج نشان می‌دهد که شوری عاملی مهم در میزان فرسایش بادی است، اما عوامل دیگری نیز دخیل هستند. تقسیم نمونه‌ها به دو گروه با سطوح شوری متفاوت، الگوهای همبستگی متفاوتی را آشکار کرده است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده اثر غیرخطی شوری بر فرسایش بادی باشد که به سطح شوری بستگی دارد. در سطوح شوری پایین (کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر)، افزایش شوری منجر به کاهش فرسایش بادی می‌شود، اما در سطوح شوری بالا (بیش از ۵ دسی‌زیمنس بر متر)، این اثر کاهش می‌یابد یا حتی ممکن است معکوس شود (شکل ۴). احتمالاً در سطوح بسیار بالای شوری، تشکیل پوسته‌های نمکی زیاد، بر فرسایش بادی تأثیر منفی می‌گذارد. البته برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزایش شوری خاک می‌تواند سرعت آستانه فرسایش بادی را کاهش داده و حساسیت خاک به فرسایش را افزایش دهد (Azadeslamiyeh et al., 2017, Meshkat et al., 2006, Zhang et al., 2023). به نظر می‌رسد حدود آستانه‌ای از شوری وجود خواهد داشت که در آن ممکن است نقش شوری بر میزان بادبردگی خاک تغییر کند و این رابطه خطی نیست و تحقیقات گسترده و حتی منطقه‌ای برای تعیین نقش شوری در تغییرات میزان فرسایش بادی خاک مورد نیاز است. این بررسی نشان داد که ۴۰ درصد از تغییرات فرسایش بادی با تغییرات pH خاک قابل توضیح است. این همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهد که pH خاک در میزان بادبردگی نقش دارد، اما عوامل دیگری هم مؤثرند. افزایش pH با افزایش

فرسایش بادی همراه است، زیرا pH بالا می‌تواند باعث پراکندگی ذرات خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها شود. در نمونه خاک‌های شور (EC بیش از ۵ دسی‌زیمنس بر متر)، رابطه معناداری بین pH و فرسایش بادی دیده نشد که احتمالاً به دلیل غلبه اثرهای منفی شوری است. در نمونه خاک‌های غیر شور (EC کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر)، pH همچنان در تعیین میزان بادبردگی نقش و همبستگی مثبت دارد. خاک سطحی کانون‌های تولید گردوغبار مورد بررسی در استان فارس، قلیایی و از pH ۷/۴۳ تا ۸/۴۵ برخوردارند. انتظار می‌رود گردوغبارهای ناشی از این کانون‌ها دارای حدود تغییرات کمتری از لحاظ اسیدیته (بیشتر قلیایی) باشند. البته در برخی بررسی‌های گردوغبارهای محلی ناشی از مناطق دست‌کاری شده انسان، گستره تغییرات از اسیدی تا بازی (pH برابر ۴/۶ تا ۸/۱)، گزارش شده است (Nikolay et al., 2021). مجموع کلسیم و منیزیم در خاک سطحی کانون‌های مورد بررسی نیز نسبتاً زیاد است. هرچند گستره تغییرات این عامل شیمیایی زیاد (۳/۵ تا ۶۸۵ و میانگین ۱۵۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر) است. مقدار زیاد سدیم، نسبت جذب سدیم بالا (تا مقدار ۳۰) و درصد گچ قابل توجه (۵ درصد)، می‌تواند نشان‌دهنده خاکهای شور سدیک همراه با آهک باشد. گسترش این نوع از خاک‌های سطحی را می‌توان ناشی از گسترش غالب سازندهای آهکی و گچی در بیشتر مناطق کانون‌های مورد بررسی دانست. انتظار می‌رود که بخشی از گردوغبارهای استان فارس دارای منشأ نزدیک و ناشی از کانون‌های محلی مورد بررسی، از سدیم، کلسیم و منیزیم غنی و از نظر ترکیبی در گروه کربنات‌ها قرار گیرند. در دیگر مطالعات انجام شده نیز طوفان‌های با منشأ نزدیک، حاوی ذرات غنی از پتاسیم، سدیم، منیزیم و آهن و طوفان‌های با منشأ دور، حاوی ذرات غنی از آلومینیوم، کلسیم و غنی از تیتانیم بیان شده است (Li et al., 2017). همچنین در مطالعات انجام شده در دشت خوزستان نیز ترکیب گردوغبارها، در سه گروه کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و تبخیری‌ها تقسیم‌بندی شده است (Jalali et al., 2017). اطلاعات تحلیلی بدست آمده از این تحقیق، می‌تواند به برنامه‌های بیابان‌زدایی و تثبیت مناطق

گردوغبار یک مسئله چندوجهی بوده و تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل کلیدی قرار دارد. مهمترین این عوامل شامل بافت خاک، میزان ماده آلی موجود در آن، سطح شوری، میزان pH و ترکیبات شیمیایی خاک می‌باشد. به‌طور خاص، خاک‌هایی که دارای بافت سبک‌تری بوده و درصد ماسه در آنها بیشتر است، به دلیل پایین‌تر بودن سرعت آستانه فرسایش بادی، بیشتر در معرض خطر تولید گردوغبار قرار دارند. در مقابل، خاک‌هایی با بافت سنگین و غنی از رس، به دلیل مقاومت بیشتر در برابر فرسایش، پایداری بیشتری از خود نشان می‌دهند. علاوه بر بافت خاک، وجود ماده آلی نیز نقش مهمی در کاهش سرعت فرسایش و میزان بادبردگی ذرات ایفا می‌کند. شوری خاک نیز اثرهای پیچیده‌ای دارد، در سطوح پایین شوری، ممکن است فرسایش کاهش یابد، اما در سطوح بالا، این اثر معکوس شده و فرسایش افزایش می‌یابد. همچنین، افزایش pH خاک با افزایش فرسایش بادی مرتبط است، زیرا باعث پراکندگی ذرات و کاهش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. در نهایت، ترکیبات شیمیایی خاک از جمله میزان کلسیم، منیزیم و سدیم نیز می‌تواند بر این پدیده تأثیرگذار باشند، به‌طوری‌که خاک‌های شور سدیک بیشتر مستعد فرسایش هستند. با توجه به این عوامل، کانون‌های دژگاه فراشبند و بختگان - نی‌ریز به دلیل بافت شنی و شوری بالا، در معرض بیشترین خطر فرسایش و تولید گردوغبار قرار دارند، در حالی که کانون شهرپیر زرین‌دشت به دلیل بافت رسی، پایداری بیشتری دارد. برای مقابله با این چالش، استفاده از روش‌هایی که رطوبت خاک را افزایش می‌دهند، مانند حفظ منابع آب سطحی موقتی، توجه به حقایق تالاب‌ها و کفه‌های آبگیر فصلی، استفاده از پساب، می‌تواند راهکاری مؤثر باشد، زیرا علاوه بر تثبیت خاک، به بهبود شرایط زیست‌محیطی نیز کمک می‌کند. بنابراین، مدیریت یکپارچه و توجه به تمامی عوامل مؤثر در فرسایش بادی، برای حفظ خاک و کاهش تولید گردوغبار در این مناطق ضروریست. همچنین، برای مقابله مؤثر با فرسایش بادی، انجام تحقیقات چندوجهی با تمرکز بر تحلیل اثرهای متقابل عوامل کلیدی خاک، پوشش گیاهی، همراه با مدل‌سازی دقیق فرسایش

تولید گردوغبار کمک کند. با ترکیب داده‌های فیزیکی و شیمیایی، سرعت آستانه فرسایش بادی و میزان بادبردگی، می‌توان نتیجه گرفت که کانون‌های دژگاه فراشبند و بختگان - نی‌ریز به دلیل بافت شنی، شوری بالا و آستانه فرسایش پایین، در معرض بیشترین خطر فرسایش بادی قرار دارند و نیازمند اقدامات مدیریتی لازم در زمینه حفاظت خاک هستند. کانون شهرپیر زرین‌دشت به دلیل بافت رسی، از پایداری بیشتری برخوردار است، اما همچنان نیازمند مدیریت مناسب برای جلوگیری از تخریب خاک و حفظ کیفیت آن است. کانون‌های مهارلو - سروستان و خنج - لارستان نیز نیازمند توجه و مدیریت مناسب هستند تا از افزایش فرسایش بادی در این مناطق جلوگیری شود. در کانون‌هایی که خاک سطحی بافت سبک‌تری دارد و درصد ماسه بیش از ۷۰ درصد است و مقدار سیلت بیشتری دارند، سرعت آستانه فرسایش بادی کمتر است (بخش‌هایی از کانون فراشبند) و هر چه درصد رس بیشتر و درصد سیلت کمتر باشد (بخش‌هایی از کفه‌های خنج و لارستان و کانون شهرپیر زرین‌دشت) سرعت آستانه فرسایش بادی بیشتر می‌باشد. در دیگر مطالعات نیز بیان شده که هر چه درصد ذرات کوچک‌تر از ۷۵ میکرون در خاک سطحی بیشتر باشد، ظرفیت تولید گردوغبار در شرایط خشک بیشتر می‌شود (Noorzadeh & Bahrami, 2015; Noorzadeh & Landy 2018). برای تثبیت مناطق تولید گردوغبار راه‌های متعددی پیشنهاد و اجرا شده است. روش‌هایی که موجب افزایش رطوبت خاک می‌شوند، می‌توان روش‌های مؤثر به حساب آورد (Cornelis et al., 2003; Shao, 2008). استفاده از پساب برای تثبیت گردوغبار یکی از راهکارهای مؤثر در کنترل این پدیده است. پساب می‌تواند به‌عنوان یک ماده رطوبت‌زا برای خاک‌های خشک و بیابانی استفاده شود و از طریق افزایش رطوبت خاک، موجب کاهش توان حرکت ذرات گردوغبار شود (Naeimi et al., 2022; Li et al., 2017). این روش نه تنها به تثبیت خاک کمک می‌کند، بلکه باعث بهبود شرایط زیست‌محیطی و کاهش نیاز آبی نیز می‌شود. نتایج حاصل از بررسی کانون‌های تولید گردوغبار در استان فارس نشان می‌دهد که پدیده فرسایش بادی و تولید

پایش و اجرای عملیات مهار بیابان‌زایی سنتی با مشارکت جوامع محلی به‌عنوان توصیه‌های عمومی پیشنهاد می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج پروژه «شناسایی و پایش منابع گردوغبار و ماسه‌های روان استان فارس» است که با پشتیبانی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس اجرا شده است. از همکاری‌های مرکز و مؤسسه مزبور سپاسگزاریم.

بادی، موضوعی ضروری است تا بتوان درک جامعی از این پدیده به دست آورد و راهکارهای پیشگیرانه و ترمیمی مؤثری را توسعه داد.

با توجه به پیچیدگی عوامل مؤثر در فرسایش بادی، تحقیقات آینده باید بر تحلیل اثرهای متقابل عوامل کلیدی، مطالعات آزمایشگاهی ساختار خاک، ارزیابی نقش پوشش گیاهی و فعالیت میکروبی و مدل‌سازی فرسایش بادی تمرکز داشته باشد تا درک بهتری از فرایندها و پیش‌بینی اثر تغییرات محیطی حاصل شود.

برای کاهش فرسایش بادی و گردوغبار در استان، بازنگری در حقایق تالاب‌ها، ایجاد مناطق قرق، ترویج کشاورزی حفاظتی، استفاده از سامانه‌های هوشمند برای

References

- Abbasi, F., 2021. Particulate matter crisis and its effects on regional security. *Journal of Geography and Human Relations*, 12, 601-619. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/gahr.2021.276411.1516>
- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Organization of Geology and Mineral Exploration of the country.
- Amir Azadi, A. R. & Jafari, M., 2020. Prioritization and identification of dust centers in Fars province. *Geography*, 18(64), 64-78. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1411943>
- Azadeslamyeh, M. R., Kalantari, S., Shirmardi, M., & Tazeh, M., 2017. Investigating the effect of salinity on the threshold wind erosion velocity (Case study: Meybod) [Conference paper]. In *Proceedings of the 4th National Conference on Wind Erosion and Dust Storms* (Yazd, Iran). <https://civilica.com/doc/714416>
- Chatrenour, M., Norouzi, A., Farrokhan Firouzi, A., and Landi, A., 2020. Investigating soil properties in susceptible areas of dust production in Khuzestan province by visible and wave-near infrared spectroscopy. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(3), 670-685. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.123907.1570>
- Cornelis, W. M., and Gabriels, D., 2003. The effect of surface moisture on the entrainment of dune sand by wind: an evaluation of selected models. *Sedimentology*, 50(4), 771-790. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00577.x>
- Dargahian, F. and Lotfi Nasab Asl, S., 2019. Temporal and spatial changes and precipitation trends in watersheds leading to dust centers in Khuzestan province. *Iranian Nature*, 5(3), 59-67. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1890626>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020., Standard operating procedure for soil calcium carbonate equivalent: Titrimetric method. Rome, Italy: FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca7152en>
- Geodata, 2024. SOL UFHSD. www.geodatas.ir/product/sol-ufhsd
- Ghahari, G., Hosseinimrandi, H. and Saif, M., 2019. Monitoring of climatic factors affecting the intensification of the phenomenon of dust and sand dune (wind erosion) in Fars province. Fars Agriculture and Natural Resources Research and Education Center. [In Persian].
- Hosseinimrandi, H., Ghahari, G., Mesbah, S.H., and Abbasi, H., 2022. Monitoring the dust sources of sand dunes in Fars Province (The project final report) (Report No. 0-09-09-09-135-961571). Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. [In Persian].
- Jalali, N., Iranmanesh, F., and Davoodi, M., 2017. Identification on dust storm sources and their affecting areas in south-west provinces of Iran, using MODIS image. *Watershed Engineering and Management*, 9(1), 318-331. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.112374>
- Jooybari, S. A., Pirovan, H., Rezaei, P., and Gholami,

- H., 2022. Investigating and analyzing the concentration of heavy metals and indicators of sediment pollution in Handijan dust center, Khuzestan province. *Scientific-Research Journal of Watershed Engineering and Management*, 41(3), 312-331. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.353711.1884>
- Katorani, S., Ahmadi, M., and Dadashi Rudbari, A., 2024. Spatial distribution and trends of dust particles in West Asia and their relationship with land use changes. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 55(8), 1415-1432. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685>
- Li, X., Zhang, L., and Li, J., 2017. Application of waste iron in wet flue gas desulfurization. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2269–2278. doi: 10.1007/s11356-024-35646-z
- Meshkat, M. A., Daneshvar, M. R., Ekhtesasi, M. R., and Dashtkian, K., 2006. Mapping of degradation of vegetative cover, wind erosion and salt affected soils in some of the yazd-ardekan plain. *Range and Desert Research of Iran*, 13(1), 10-16. [In Persian].
- Mohamadkhan, Sh., Abravesh, S., Sarvati, M., & Gharudi Tali, M., 2021. Origin of aeolian sediments based on geochemical traces by sedimentary fingerprinting method [In Persian]. *Geographical Studies of Dry Areas*, 12(46), 17–30. Retrieved from https://jargs.hsu.ac.ir/article_161553
- Naeimi, M., Eftekhari, A., Khalifehzadeh, R., Dargahian, F., and Zandifar, S., 2022. Dust mitigation by the application of treated sewage effluent (TSE) in Iran. *Scientific Reports*, 12(1), 15521. [In Persian]. doi: 10.1038/s41598-022-19331-0
- Nivar, M., and Bagheri, M., 2020. *Spatial analysis of observational rainfall in Fars province and its projection using the CanESM5 climatic model output*. *Journal of Climate Research*, 7(2), 57-70. https://nivar.irimo.ir/article_212718.html
- Nikolay, S. K., Natalia, E. K., Dmitry, V. V., Ksenia, S. N., and Alexander, V. R., 2021. Physicochemical properties of road dust in Moscow. *Science of The Total Environment*, 762, 143081. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143081
- Noorzadeh Haddad, M., & Bahrami, H., 2015. Investigating the relationship of fine dust concentration with surface moisture and soil size distribution using a portable wind erosion simulator in the desert areas of western Khuzestan province. *Geographical Explorations of Desert Areas*, 3(1), 60–72. [In Persian].
- Noorzadeh Haddad, M., & Landi, A., 2018. Mineralogy study and sensitivity of fine dust production sources to gravel cover in the soil surface: A case study of western lands of Khuzestan province. *Ahar Geographical Space Quarterly*, 18(64), 61–74. [In Persian]. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2270-fa.html>
- Omidvar, K., and Omid, Z., 2013. Analysis of dust phenomenon in the south and central regions of Fars province. *Geographical Researches of Desert Areas*, 1(1), 1-10.
- Shao, Y., 2008. Integrated Wind-Erosion Modelling. In Y. Shao (Ed.), *Physics and Modelling of Wind Erosion* (pp. 303-360). Springer. doi.org/10.1007/978-1-4020-8895-7_9
- U.S. Department of Agriculture (USDA), 2017. *Soil survey manual* (Soil Survey Division Staff; Soil Conservation Service, Handbook No. 18). U.S. Department of Agriculture.
- Vafaeinezhad, A., Kheirkhah Zarkesh, M. M., Ahmadi Dahka, F., and Fallah Zazouli, M., 2014. Monitoring of dust haze phenomenon using remote sensing and GIS and its synoptic analysis: Case study of 18 June 2012 dust haze. *Geographical Data*, 23(91), 69-80. <https://sid.ir/paper/253173/en>
- World Meteorological Organization (WMO), 2017. Dust storm or sandstorm. In *International Cloud Atlas*. World Meteorological Organization.
- Yamani, M., Lak, R., Gorabi, A., Shahbazi, R., and Shabani Iraqi, A., 2014. Analysis of the potential of wind erosion and dust phenomena through the application of wind circulation patterns in the Damghan basin. *Journal of Marine Science and Technology*, 23(91), 69-80. <https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-536-fa.html>
- Zhang, G., Li, L., Tang, W., Liu, L., Shi, P., Han, X., & Dai, J., 2023. Wind erosion from crusted playa surfaces by no saltation and with saltation: A comparison through laboratory wind tunnel experiments. *International Soil and Water Conservation Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.10.007>
- Zulfaqari, H., Masoompour, J., Shaygan Mehr, Sh., and Ahmadi, M., 2018. Observational survey of dust storms in the western regions of Iran during the years 2014 to 2018. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 22(3), 17-45. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/153296/fa>