

Land management approaches to mitigate dust in the southeastern dust source of Ahvaz

Hamidreza Abbasi^{1*}, Adel Jalili², Mohammad Khosroshahi³, Mohammad Fayaz⁴, Farhad Khaksarian⁵, Hashem Kenshlo⁶, Azadeh Gohardost⁵, Kurosh Behnamfar⁷, Mehri Dinarvand⁷, Banafshe Yasrebi⁷, SeyedJafar Seyedakhali⁸, Fatemeh Dargahian⁹, Samira Zandifar⁸, Sakineh Lotfinasab⁸, Samane Razavizadeh⁸, Shahram Banjshafiei⁹, Leila Kashi Zenozi⁵, Tahera Ensafimoghadam⁸, Zahra Saeedifar⁵, Sara Teimuri¹⁰, Yaser Ghasemi Arian⁸, Nasim Bagheri⁵, Fateme Kenshlo⁵, Maryam Naimi⁸, Mohammad Hossein Arami⁷, Sajjad Ali Mahmoudi Sarab⁷

- 1* - Corresponding Author, Assistant Prof., Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: abbasi.hamidreza@ymail.com
- 2-Prof., Botany Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 3- Prof., Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 4- Assistant Prof., Rangeland Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 5- Researcher, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 6- Assistant Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 7- Assistant Prof., Forests and Ranges Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Training Center of Khuzestan Province, Ahvaz, Iran
- 8-Assistant Prof., Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 9- Associate Prof., Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 10- Assistant Prof., Department of Poplar and Fast-Growing Trees, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 01.07.2024

Accepted: 01.10.2024

Abstract

Background and objectives: The phenomenon of dust storms has become a global environmental challenge. As a natural disaster, it has significantly affected Khuzestan province due to its geographical location and proximity to vast desert areas. This study aims to examine land management strategies to mitigate dust production in the southeastern dust source of Ahvaz by implementing effective land management techniques to control wind erosion in this region.

Methodology: To conduct this research, ecological land resources—including climate, geology, soil properties, land use, vegetation cover, wind erosion, and agricultural and livestock conditions were analyzed using satellite imagery and extensive field surveys. By overlaying maps, the dust source area was classified into ecologically homogeneous units (work units). Based on the physical and chemical properties of the soil, the vegetative potential for biological stabilization was determined according to the ecological requirements of native plant species. Soil samples were collected from 106 points at three depths, and soil erodibility was assessed using a wind tunnel. A wind erosion sensitivity map was then generated to prioritize the stabilization of work units. The characteristics of erosive winds were analyzed using hourly wind speed and direction data from 21 meteorological stations. After creating a database of ecological resources in a GIS environment, the vegetative potential of the work units was

evaluated using soil properties. Subsequently, specific stabilization projects were proposed for each work unit.

Results: The findings of this study indicate that the stabilization strategy was planned systematically, considering the ecosystem type, and dust control projects were designed based on land use classifications. The land use distribution of the dust source area includes 37% rangelands, 10% bare lands, 11% dried wetlands, 24% rainfed agriculture, and 13% irrigated agriculture. The proposed projects included biological measures such as shrub planting, afforestation, roadside tree planting, and living windbreaks along farm edges, as well as management strategies such as soil moistening, leaching, irrigation, grazing control, construction of non-living windbreaks, and rainwater harvesting techniques. Analysis of the energy trend of erosive winds over the past decade revealed no significant changes. Instead, the activation of dust sources was attributed to land use changes, precipitation patterns, and drought occurrences.

Conclusion: The lack of water allocation to downstream ecosystems, combined with the construction of large dams and multiple watershed management structures in upstream areas, has led to the transformation of wetlands and sedimentary plains into major dust sources and has contributed to surface soil salinization. Restoring flood capacity in these areas was achieved through the construction of water supply channels to meet the water demands of biological stabilization projects and facilitate the moistening of wind erosion-sensitive units. Overall, the implementation of these projects demonstrated that this ecosystem restoration-based approach, with a focus on wind erosion-prone lands, can serve as an effective model for stabilizing the country's dust source areas.

Key words: Dust mitigation, wind erosion control, rehabilitation ecosystem, erodibility.

روش‌های مدیریت سرزمین برای کاهش تولید گردوغبار در کانون جنوب‌شرق اهواز

حمیدرضا عباسی^{۱*}، عادل جلیلی^۲، محمد خسروشاهی^۳، محمد فیاض^۴، فرهاد خاکساریان^۵، هاشم کنشلو^۶، آزاده گوهردوست^۵، کورش بهنام‌فر^۷، مهری دیناروند^۷، بنفشه یثربی^۷، سیدجعفر سیداخلاقی^۸، فاطمه درگاهیان^۹، سمیرا زندی‌فر^۸، سکینه لطفی‌نسب^۸، سمانه رضوی‌زاده^۸، شهرام بانج شفیعی^۹، لیلا کاشی‌زنوزی^۵، طاهره انصافی‌مقدم^۸، زهرا سعیدی‌فر^۵، سارا تیموری^{۱۰}، یاسر قاسمی‌آریان^۸، نسیم باقری^۵، فاطمه کنشلو^۵، مریم نعیمی^۸، محمدحسین آرامی^۷، سجاد عالی محمودی سراب^۷

*-نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

پست الکترونیک: abbasi.hamidreza@ymail.com

- ۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
- ۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۵- محقق، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۷- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ایران
- ۸- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۹- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۱۰- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و گونه‌های سریع‌ال رشد، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: پدیده گردوغبار به یک مشکل فراگیر در سطح دنیا تبدیل شده است. این پدیده به‌عنوان یکی از بلاهای طبیعی، استان خوزستان را به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و هم‌جواری آن با پهنه‌های بزرگی از مناطق بیابانی بیش از سایر مناطق تحت تأثیر قرار داده است. هدف از این نوشتار، بررسی روش‌های مدیریت سرزمین برای کاهش تولید گردوغبار در کانون جنوب‌شرق اهواز با ارائه روش‌های مدیریت سرزمین برای مهار فرسایش بادی در کانون (منبع) گردوغبار جنوب‌شرق اهواز است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور انجام این پژوهش منابع اکولوژیکی سرزمین شامل اقلیم، زمین‌شناسی، خاک و منابع اراضی، پوشش گیاهی، فرسایش بادی، وضعیت کشاورزی و دامداری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی گسترده جمع‌آوری شد. با استفاده از روش روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها، سطح کانون به واحدهای همگن اکولوژیکی (واحد کاری) تقسیم‌بندی و با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، قابلیت رویشی خاک‌ها (تثبیت بیولوژیک) براساس نیاز اکولوژیکی گونه‌های گیاهی بومی منطقه مشخص شد. نمونه‌برداری خاک در سه عمق در ۱۰۶ نقطه و فرسایش‌پذیری خاک‌ها در واحدهای کاری با استفاده از تونل باد اندازه‌گیری شد و نقشه حساسیت اراضی به فرسایش بادی تهیه و مبنای اولویت‌بندی تثبیت واحدهای کاری قرار گرفت. ویژگی‌های بادهای فرساینده با استفاده از آمار ساعتی سرعت و جهت باد ۲۱ ایستگاه هواشناسی تجزیه و تحلیل شد. پس از تشکیل بانک اطلاعات منابع اکولوژیکی در محیط GIS، ارزیابی توان رویشی واحدهای کاری با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد. سپس برای هر واحد کاری پروژه‌های مختلف تثبیت تعریف شد.

نتایج و یافته‌ها: براساس یافته‌های این پژوهش خط‌مشی عملیات تثبیت براساس روش سیستماتیک و با توجه به نوع زیست‌بوم

برنامه‌ریزی شد و پروژه‌های کنترل گردوغبار براساس نوع کاربری در هر اکوسیستم تعریف گردید. از نظر کاربری اراضی، سطح کانون ریزگرد، ۳۷ درصد مراتع، ۱۰ درصد اراضی بدون پوشش، ۱۱ درصد تالاب‌های خشک‌شده، ۲۴ درصد زراعت دیم و ۱۳ درصد زراعت آبی است. در نهایت پروژه‌های بیولوژیکی شامل بونه‌کاری، جنگل‌کاری، درخت‌کاری حاشیه جاده‌ها، بادشکن زنده حاشیه مزارع، یا برنامه‌های مدیریتی شامل عملیات مرطوب‌سازی، آب‌شویی، قرق، مدیریت چرا، احداث بادشکن غیرزنده و تکنیک‌های ذخیره نزولات پیشنهاد شد. نتایج بررسی روند انرژی بادهای فرساینده در دهه گذشته حکایت از این دارد که تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای وجود ندارد و علت فعال شدن کانون‌های ریزگرد به تغییرات کاربری اراضی و ویژگی‌های بارش و بروز خشک‌سالی باز می‌گردد.

نتیجه‌گیری: عدم اختصاص حقا به اکوسیستم‌های پایین‌دست و احداث سدهای مرتفع و بندهای متعدد آب‌خیزداری در حوزه بالادست باعث تبدیل شدن هورها و اراضی دشت رسوبی به کانون تولید گردوغبار و شور شدن خاک سطحی دشت‌های رسوبی شده است. بازگرداندن ظرفیت سیلابی به این مناطق با احداث کانال آب‌رسانی انجام شد تا ضمن برآورده کردن نیاز آبی پروژه‌های تثبیت بیولوژیکی، امکان مرطوب‌سازی واحدهای حساس به فرسایش بادی را نیز فراهم سازد. در مجموع، نتایج اجرای پروژه‌های نشان داد، این روش مطالعه با رویکرد احیای اکوسیستم و تمرکز بر اراضی حساس به فرسایش بادی می‌تواند الگوی مناسبی برای تثبیت کانون‌های گردوغباری کشور باشد.

واژه‌های کلیدی: کاهش گردوغبار، مهار فرسایش بادی، فرسایش‌پذیری خاک‌ها، احیای اکوسیستم.

مقدمه

با وجود این، کانون‌های ریزگرد داخلی استان خوزستان نیز در دهه اخیر به علت خشک‌سالی‌های فصلی، تغییر اقلیم و بهره‌برداری بیش‌ازحد از سرزمین فعال شده‌اند. البته سهم منابع داخلی و خارجی گردوغبار در دوره‌های زمانی مختلف متغیر بوده است، به‌طورمثال در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۷۹ سهم منابع داخلی ۸/۴ درصد و خارجی ۹۱/۶ درصد است (Dargahian et al., 2017).

در بهمن‌ماه ۱۳۹۵ در استان خوزستان پدیده گردوغبار شدیدی رخ داد که همراه با قطعی برق و آب برای چند روز، مشکلات اجتماعی و امنیتی برای این استان به وجود آورد. این موضوع نشان داد، تأثیر گردوغبار حاصل از کانون‌های داخلی بر استان و به‌ویژه شهر اهواز بسیار شدیدتر از فعالیت کانون‌های خارجی است. براین‌اساس، تدوین طرح مطالعات جامع کنترل گردوغبار با منشأ داخلی استان با هدف دستیابی به روش‌های کارآمد و پایدار به مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور محول شد. رویکرد کلی تثبیت کانون‌های ریزگرد به‌عنوان اکوسیستم‌های تخریب‌شده، براساس بازیابی اکوسیستم با انجام یک‌مجموعه عملیات کاهنده پیامدهای مخرب سرزمین

سازمان بهداشت جهانی، شهر اهواز را در سال ۱۳۸۸ به‌عنوان آلوده‌ترین شهر جهان از نظر غلظت ذرات کوچک‌تر از دو و نیم میکرون معرفی کرده است (WHO, 2016). میانگین تعداد روزهای همراه با پدیده گردوغبار در اهواز، آبادان و بستان، سه شهر در معرض گردوغبار استان خوزستان، به‌ترتیب به ۱۰۴، ۸۹ و ۹۴ روز در بازه زمانی ۱۳۵۸ تا ۱۳۹۶ رسیده است (Abbasi et al., 2021). بنابراین، پدیده ریزگردها یکی از چالش‌های مهم این بخش از کشور است که موجب کاهش کیفیت زندگی، کیفیت هوا، ایمنی پروازها، سلامت مردم و خسارت به ساختارهای زیربنایی و راه‌های مواصلاتی شده است (Abbasi, 2023; Foroushani, 2021). بیشترین توفان‌های گردوغباری که خوزستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، از شبه‌جزیره عربستان، سوریه و عراق منشأ می‌گیرند (McLeman et al., 2014; GhasemiArian & Yari 2022; Abadi et al., 2022). بخش پایینی میان‌رودان (بین‌النهرین) غبارآلودترین منطقه خاورمیانه است که حدود ۲۰ درصد کل انتشار گردوغبار را در این منطقه تولید می‌کند (Hennen, 2017).

فصول زمستان با سیلاب‌ها، احیای پوشش گیاهی و تدوین برنامه‌های مدیریت چرا و قرق در این مناطق تا حدودی راهگشاست (Abbasi, 2017).

کانون‌های صفحه‌ای دارای وسعت زیاد و تنوع منابع اکولوژیکی مانند تنوع خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و کاربری‌های متفاوت هستند. از این رو، تثبیت این کانون‌ها پیچیده و مشکل است و برنامه‌های متنوع را می‌طلبد. از سوی دیگر، وسعت این کانون‌ها بسیار بزرگ بوده و پیاده‌سازی برنامه‌های اجرایی تثبیت بیولوژیکی، فیزیکی-مکانیکی و مدیریتی زمان‌بر و پرهزینه است. از آنجایی که یک کانون ریزگرد، یک اکوسیستم تخریب شده است که در اثر بیابان‌زایی طبیعی و انسانی به مرحله‌ای از درجه تخریب رسیده است که گردوغبار تولید می‌کند، پس رویکرد مهار آن باید بر احیای اکوسیستم استوار باشد. این موضوع از طریق کاهش شدت عوامل تخریب و انتخاب رویکرد حفاظتی انجام می‌شود (Jalili, 2020). در واقع با کاهش شدت عوامل تخریب، اکوسیستم تخریب‌یافته خود را بازیابی می‌کند. این رویکرد، کم‌هزینه‌ترین روش تثبیت است که در مدت زمان کوتاهی اجازه می‌دهد تا سیستم خود را بازیابد.

تجارب کشورهای دیگر در مواجهه با پدیده مشابه در خوزستان، حکایت از این دارد که سیاست‌گذاران ملی و منطقه‌ای برای مهار گردوغبار به یک مجموعه رویکردهای حفاظتی در رابطه با نحوه مدیریت سرزمین روی آورده‌اند. به‌طورمثال، خشک‌سالی شدید و مدیریت نامعقول سرزمین در دشت‌های بزرگ آمریکای شمالی در دهه ۱۹۳۰ (دهه توفان‌های سیاه) منجر به فرسایش بادی و بروز توفان‌های گردوغباری شدید و مشکلات اقتصادی گسترده‌ای شد و دولت، سیاست‌های تشویق مشارکت مردم را در حفاظت از خاک اتخاذ کرد (Worster, 2004). بیشتر اراضی تولیدکننده گردوغبار دارای کاربری کشاورزی بودند و سرویس حفاظت خاک (SCS) در ۱۹۳۵ با استفاده از نقشه‌های دقیق خاک، مناطق منشأ و محدوده‌های نیازمند اصلاح را شناسایی و مزارع نمایشی-ترویجی از عملیات

پی‌ریزی شد (Kenshlo, 2019). یافتن راهکارهای مناسب و ارائه برنامه تثبیت تفصیلی-اجرایی که بتواند کانون ریزگرد را غیرفعال نماید، همراه با تهیه لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با منابع اکولوژیکی و بررسی دقیق جزئیات اکوسیستم انجام می‌شود. دستیابی به برنامه مدیریت سرزمین نیاز به متخصصان علوم مرتبط با محیط‌زیست، منابع طبیعی و کشاورزی به‌صورت گروهی است تا ویژگی‌های مختلف سرزمین را مطالعه و به‌صورت لایه‌های نقشه تهیه نمایند (Makdoun, 2008).

از نظر شکل‌شناسی، کانون‌های ریزگرد را می‌توان به سه دسته کانون‌های نقطه‌ای، خطی و صفحه‌ای تقسیم‌بندی کرد (Abbasi, 2017). این طبقه‌بندی به رویکرد کلی کنترل گردوغبار کمک شایانی می‌نماید. نوع کاربری در هر یک از این اشکال کانون‌ها، پروژه‌های اجرایی را مشخص می‌کند. کانون‌های نقطه‌ای مشتمل بر دریاچه‌های موقت و زودگذر در مناطق بیابانی مانند هامون‌ها، هورها و تالاب‌های خشک‌شده هستند که سطح محدود دارند و بیشتر در اثر دخالت نامعقول در چرخه آب خشک و فعال می‌شوند. کانون‌های خطی معمولاً در حاشیه بستر دریاها، یا بستر خشک‌رودها و جاده‌های خاکی در مناطق خشک شکل می‌گیرند. راه‌حل پایدار (درازمدت) کانون‌های وابسته به آب، بازگرداندن چرخه آب به حالت طبیعی و دادن حقابه اکوسیستم‌های پایین‌دست حوزه است، از آنجایی که با مصرف بیش‌ازحد آب در بالادست، آب کمتری به پایین‌دست می‌رسد، ضروری است راهکارهای میان‌مدت در نظر گرفته شوند تا از این مرحله حساس سیاسی-اجتماعی و بحث خودکفایی کشاورزی عبور نماییم. در واقع، پژوهشگران باید سعی کنند راهکارهایی بیابند که هم بتوانند اکوسیستم‌های پایین‌دست را زنده نگه دارند و چالش‌های آنها را کاهش دهند و هم بحث امنیت غذایی را مدنظر قرار دهند. یکی از مهمترین چالش‌های نرسیدن آب به تالاب‌ها و دریاچه‌های زودگذر پایین‌دست، تولید گردوغبار است. شناسایی مناطق حساس به فرسایش در سطح بستر دریاچه‌های خشک‌شده و مرطوب‌سازی آنها در

جلوگیری از تخریب‌های گسترده منابع طبیعی و تشدید توفان‌های گردوغبار، اموری انحصاری، یا حتی اساساً فنی نیستند. بلکه این راه‌حل‌ها بیشتر اجتماعی و سیاسی است و به شرط به‌کارگیری دانش محلی داوطلبان اجتماعی و مردمی قابل‌حل خواهند بود. در همین رابطه، رویکرد استفاده از سرمایه‌های اجتماعی و مشارکت ذی‌نفعان (کشاورزان) در کاهش فرسایش بادی و مهار کانون‌های گردوغبار تحت برنامه مراقبت از سرزمین (Landcare) نتایج رضایت‌بخشی برای این کشور به همراه داشته است (Sobels *et al.*, 2001).

تجربه ایران در مورد تثبیت کانون‌های فرسایش بادی بیشتر به تثبیت ماسه‌های روان باز می‌گردد که از سال ۱۳۳۸ در مساحت ۱۸ هکتار از خوزستان شروع شد (Rahmani *et al.*, 2021). از آن زمان تاکنون پروژه‌ها و تجارب بسیار زیادی توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در مورد تثبیت ماسه‌های روان و به‌منظور حفاظت از مناطق مسکونی، تأسیساتی، خطوط ریلی و مواصلاتی، اراضی کشاورزی، فرودگاه‌ها و ... به اجرا درآمده است. همچنین، ایران در شمار نخستین کشورهایی است که در سال ۱۳۷۵ به پیمان (کنوانسیون) مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد پیوسته است.

اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب باختری (۱۳۹۴)، کانون‌های داخلی ریزگرد استان خوزستان را در ۷ محدوده شامل ناحیه جنوب‌غرب هویزه، ناحیه شمال و شرق خرمشهر، ناحیه شرق اهواز، ناحیه جنوب‌شرق اهواز، محدوده بندر امام- امیدیه، محدوده ماهشهر- هندیجان و محدوده شرق هندیجان با سطحی برابر ۳۵۰۰۰۰ هکتار شناسایی کرده و ویژگی‌های عمومی آنها را تشریح کرده است (HeidarianPeyman *et al.*, 2018). براساس نتایج بررسی‌های میدانی و نمونه‌برداری در مطالعه خاک‌شناسی و فرسایش بادی در سال ۱۳۹۶، سطح کانون‌های تولیدکننده گردوغبار ۷۳۷۷۹۰ هکتار در ۴ کانون (منبع) شامل کانون جنوب‌شرق اهواز، کانون شرق اهواز، کانون ماهشهر- امیدیه- هندیجان و کانون

حفاظت خاک‌ورزی به وجود آورد. همچنین، سایر سازمان‌های دولتی (Government Agencies) برای بهبود عملیات خاک‌ورزی مانند شخم، به کشاورزان یارانه پرداخت کردند و علاوه‌بر تأمین مالی، آموزش دستورالعمل‌های ایجاد کمربندهای حفاظتی و بادشکن‌های زنده و غیرزنده را در بسیاری از زمین‌های بخش خصوصی تأمین کردند. علاوه‌برآن، یک برنامه تشویقی اسکان دوباره برای صاحبان مزارع کوچک رهاشده در بخش‌های تخریب‌شده و خشک‌تر را به اجرا درآوردند (McLeman *et al.*, 2014; Ervin & Lee, 1994). در کانادا تصمیمات مشابه نیز از سوی دولت ملی و ایالتی برای مهار گردوغبار در اراضی مستعد شامل خرید زمین‌های کشاورزی تخریب‌شده و تبدیل آنها به مرتع، ارائه یارانه به خانواده‌هایی که مایل به ترک مزارع بودند و تشویق کشاورزان به ایجاد کمربندهای سبز و اجرای عملیات حفاظت از خاک اتخاذ شد (Marchildon *et al.*, 2008).

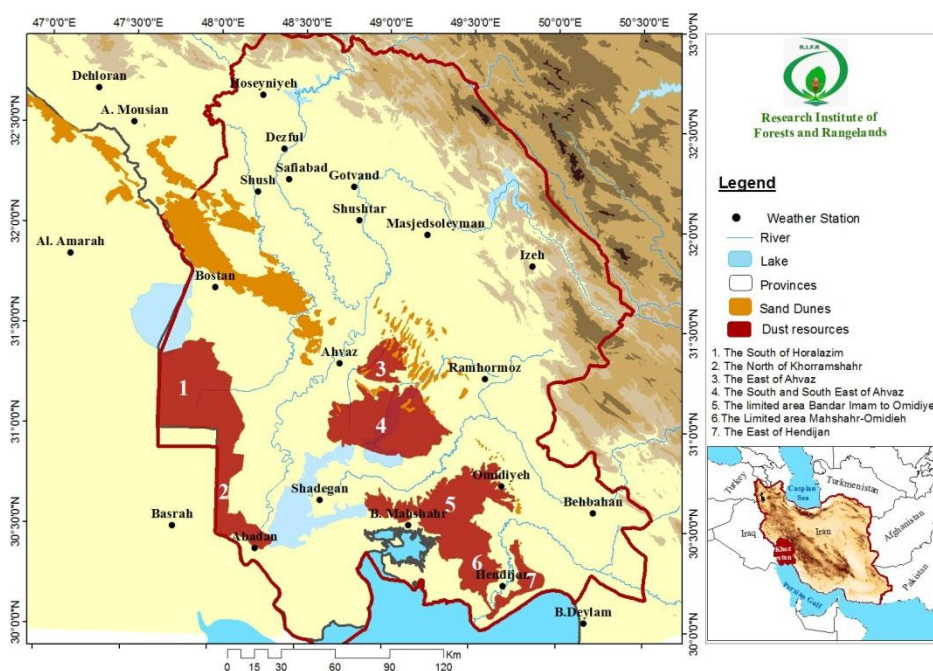
در چین سیاست‌های دولتی برای کمک به کاهش اثرهای گردوغبار همسو با سایر اهداف دولت، مانند مهار بیابان‌زایی و بهبود سلامت با اهداف اقتصادی گسترده‌تر تدوین شده است. برنامه سه پناهگاه (کمربند) جنگلی شمال (Three Norths Forest Shelterbelt) که یک پروژه جنگل‌کاری گسترده و جاه‌طلبانه از نوارهای جنگلی بادشکن معروف به دیوار سبز بزرگ (GGW) است که در ۱۹۷۸ راه‌اندازی و تا ۲۰۵۰ ادامه خواهد یافت (Wang *et al.*, 2010; Tan & Li, 2015). برنامه کنترل منشأهای گردوغبار و ماسه‌های روان پکن- تیانجین نیز یک پروژه بازسازی اکولوژیکی منطقه‌ای در بخش‌های شمالی کشور است که از سال ۲۰۰۰، ترکیبی از اقدامات مختلف از جمله محدودیت‌های چرا و تبدیل زمین‌های زراعی به جنگل یا مرتع (بدون چرا) را به اجرا در آورده است. علاوه‌برآن، چین یکی از معدود کشورهای دارای برنامه اقدام ملی مهار بیابان‌زایی (UNCCD) در بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۳ و برنامه پایش بیابان‌زایی از ۲۰۰۲ است (Lei *et al.*, 2012). تجارب استرالیا نیز نشان داده است، راه‌حل‌های

شش گروه تخصصی شامل هیدرولوژی و منابع آب (در سطح حوضه‌های آبریز)، هوا و اقلیم‌شناسی، خاک و منابع اراضی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، فرسایش بادی و مسائل اقتصادی و اجتماعی شکل گرفت و ماحصل نتایج تلفیق اطلاعات، تدوین برنامه تثبیت در مقیاس تفصیلی-اجرایی بود.

رویکرد اساسی تهیه این برنامه‌ها بر کاهش عوامل تخریب اکوسیستم و کمک به احیای آن پایه‌گذاری شد که به نام روش مهار کانون‌های ریزگرد مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع و مراعات (Research Institute of Forests and Rangelands-Sand and Dust Sources Control) نام‌گذاری گردید که می‌تواند الگوی مناسبی برای تثبیت کانون‌های ریزگرد در کشور باشد.

هورالعظیم شناسایی و تقسیم‌بندی شدند که با احتساب ۲۲۷ هزار هکتار ناهمواری ماسه بادی، مجموع سطح کانون‌های فرسایش بادی در استان خوزستان برابر ۹۶۴۷۹۰ هکتار است (Abbasi, 2019). مهمترین و مؤثرترین کانون تولید گردوغبار، کانون جنوب‌شرق اهواز است که به دلیل حساسیت بالا به فرسایش بادی و فاصله نزدیک به شهر اهواز، با قابلیت تولید گردوغبار غلیظ اولویت بیشتری از نظر تثبیت دارد (Azhdari, 2015; Abbasi, 2019).

برنامه‌ریزی تثبیت کانون جنوب‌شرق اهواز براساس برنامه‌ریزی سرزمین‌پیریزی شد که با توجه به ویژگی‌های اکولوژیکی سرزمین، انواع برنامه‌های تثبیت بیولوژیکی، فیزیکی- مکانیکی و مدیریتی با توجه به ویژگی‌های خاک و منابع اراضی تعریف شد. براین‌اساس،



شکل ۱- موقعیت کانون‌های گردوغباری جنوب‌شرق اهواز (شماره ۴) نسبت به کانون‌های دیگر و تپه‌های ماسه بادی خوزستان (ریگ کرخه)

Figure 1. The location of the dust centers in the Ahvaz southeast (number 4) compared to other dust centers and sand dunes of Khuzestan (Rig Karkheh)

مواد و روش‌ها

موقعیت کانون ریزگرد

کانون ریزگرد جنوب شرق اهواز از فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر اهواز آغاز می‌شود و در امتداد بزرگراه اهواز ماهشهر در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با سطحی حدود ۱۸۵۰۴۳ هکتار گسترش می‌یابد. حد شمالی این کانون محدود به اراضی فرودگاه در دست احداث، شرق آن به اراضی روستای غیزانیه، حد جنوبی آن به مرز بالایی تالاب شادگان و حد غربی آن به جاده اهواز-آبادان محدود می‌شود (کانون شماره ۴ در شکل ۱).

براساس روش دومارتن اصلاح شده، این منطقه دارای آب‌وهوای خشک گرم تا فراخشک گرم است، متوسط دمای سالانه آن ۲۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای حداکثر ۳۳/۸ و حداقل آن ۱۹/۶ درجه سانتی‌گراد است و بارش متوسط سالانه آن ۱۹۰ میلی‌متر است.

روش تحقیق

برای دستیابی به روش‌های کنترل و تثبیت کانون گردوغبار جنوب شرق اهواز مراحل زیر انجام شد.

تجزیه و تحلیل بادهای فرساینده

برای بررسی وضعیت بادهای فرساینده در سطح استان خوزستان، آمار ساعتی سرعت و جهت باد ۱۷ ایستگاه هواشناسی در دوره ۲۰۱۳-۱۹۹۵ تجزیه و تحلیل شد و تقویم وزش، میانگین، بیشینه، کمینه و انرژی بادهای بالاتر از آستانه فرسایش بادی خاک‌ها و مقدار ظرفیت حمل ماسه (Drift Potential, DP) (برحسب واحد برداری VU)، جهت

رابطه (۱)

$$EF = \frac{29.09 + 0.31Sa + 0.17Si + 0.33\frac{Sg}{Cl} - 2.59OM - 0.95CaCO_3}{100},$$

خشک)، Sa: درصد ماسه، Si: درصد سیلت، Cl: درصد رس، OM: درصد مواد آلی و CaCO₃: درصد آهک.

که در آن EF: جزء فرسایش‌پذیر خاک (درصد خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از ۰/۸۵ میلی‌متر در خاک هوا

حرکت نهایی ماسه (Resultant Drift Direction, RDD)، اندازه برداری حمل ماسه (Resultant Drift Potential (RDP)) و شاخص همگنی تغییرپذیری جهات باد (The ratio of RDP/DP) براساس روش فرایبرگر-دین (۱۹۷۹) و با کمک روابط ریاضی در ۱۶ جهت اصلی محاسبه و با کمک مدل‌های زمین‌آمار پهنه‌بندی شدند. میزان انرژی بادهای فرساینده براساس ظرفیت حمل ماسه به سه گروه انرژی کم (DP < ۲۰۰)، انرژی متوسط (۲۰۰-۴۰۰) و انرژی زیاد (DP > ۴۰۰) در سطح استان با روش مناسب زمین‌آمار پهنه‌بندی شد (Foroushani et al., 2021).

تعیین ویژگی‌های خاک و تفکیک واحدهای اراضی

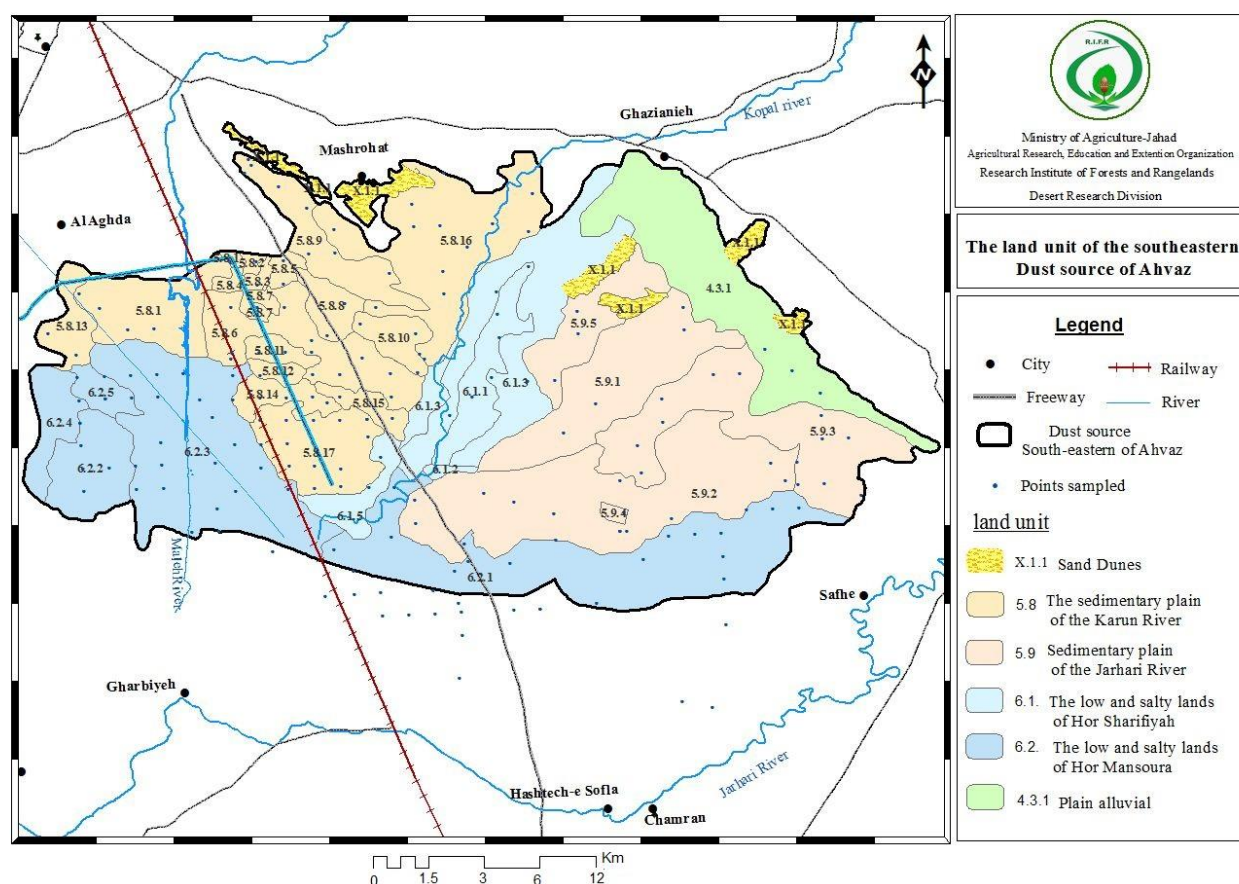
به منظور تدوین برنامه تثبیت کانون ریزگرد جنوب شرقی اهواز، در ابتدا ویژگی‌های عمومی خاکی و پوشش گیاهی در یک شبکه ۲×۲ کیلومتر در سطح کانون برداشت شد. تعداد ۱۰۶ مته حفر و حدود ۳۰۹ نمونه از اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر و گاهی بیشتر تهیه و تجزیه‌های بافت، اسیدیته، شوری، SAR، ESP، مواد آلی، آهک و گچ روی آنها انجام شد. ویژگی‌های عمومی خاک‌ها و اراضی، وجود سخت لایه و جنس آن، نوع پوشش گیاهی و کاربری، آثار و علائم فرسایش مانند وجود نپکا و پیکان ماسه‌ای در پشت گیاهان و غیره برداشت گردید. واحدهای اراضی با استفاده از روش منابع اراضی و براساس شکل زمین، ویژگی‌های خاک و کاربری اراضی تا سر حد اجزای واحد اراضی از یکدیگر تفکیک و به‌عنوان واحدهای کاری استفاده شدند (شکل ۲). مقدار جزء فرسایش‌پذیر با استفاده از نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Wang et al., 2020).

رابطه (۲)

$$SCF = \frac{1}{1 + 0.0066(CI)^2 + 0.021(OM)^2}$$

که در آن SCF: جزء یا قابلیت تولید سله، CI: درصد رس و OM: درصد مواد آلی است.

همچنین، مقدار قابلیت تولید سله که در مقابل فرسایش بادی موجب مقاومت خاک می‌شود نیز از طریق رابطه ۲ به دست آمد (Xu et al., 2019).



شکل ۲- اجزای واحد اراضی در کانون ریزگرد جنوب شرق اهواز

Figure 2. The land unit components in the dust center of southeast Ahvaz

منابع اراضی) تهیه شد. این نمونه خاک‌ها دست‌خورده بودند، زیرا در سطح کانون ریزگرد به دلیل شدت بالای فعالیت انسانی مانند رفت‌وآمد بومیان، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تردد گله‌های گوسفند، موجب شکسته شدن سله سطحی و برهم خوردن خاک سطحی می‌شوند. مناسب است تا میزان فرسایش‌پذیری خاک‌ها

فرسایش‌پذیری خاک‌ها و حساسیت اراضی به منظور تعیین فرسایش‌پذیری خاک‌ها، آستانه فرسایش بادی و میزان رسوب‌دهی خاک‌ها در مقابل باد از تونل باد ثابت استفاده شد. به همین منظور، ۲۱ نمونه خاک در سینی‌هایی به ابعاد ۶۰×۳۵ و به عمق ۱۰ سانتی‌متر از هریک از اجزا واحد اراضی (نقشه خاک و

داده‌های منابع اکولوژیکی ناپایدار (اقلیم، منابع آب، انرژی باد و ...) به جدول‌های ویژگی‌های هر واحد کاری اضافه شد. همچنین، میزان ظرفیت منابع آب قابل‌استفاده حاصل از ریزش‌های مستقیم جوی برای احیای پوشش گیاهی بررسی شد. در نهایت، برای هر واحد کاری تصمیم‌گیری شد که چه پروژه‌هایی قابل‌تعریف هستند. گاهی بیش از یک پروژه در هر واحد کاری تعریف شد.

نتایج

ویژگی‌های بادهای فرساینده

نتایج تجزیه و تحلیل بادهای محدوده، نشان‌دهنده وجود ۴ باد شمال‌غربی، غربی، جنوبی و جنوب‌شرقی روی استان خوزستان در طول سال است. تقریباً دو باد غالب شمال‌غربی تا غربی و باد جنوبی تا جنوب‌شرقی بیشتر در فعال کردن کانون‌های گردوغباری نقش دارند. هرچقدر از جنوب به شمال و از غرب به شرق استان حرکت کنیم، متوسط سرعت باد کاهش می‌یابد، به طوری که در اهواز کمترین متوسط سرعت مشاهده می‌شود. توزیع انرژی باد در سطح کانون ریزگرد نیز نشان داد، هر چه از شمال کانون جنوب‌شرق اهواز به سمت جنوب کانون پیش برویم مقدار انرژی باد بیشتر می‌شود که با نتایج بادبردگی خاک‌ها در سطح کانون ریزگرد نیز منطبق است و تعداد و حجم نیک‌ها در مناطق جنوبی کانون بیشتر و بزرگ‌تر هستند. نتایج ظرفیت حمل (DP) و جهت حمل ماسه RDD و شاخص همگنی RDP/DP برای ۱۷ ایستگاه منتخب استان خوزستان و اطراف آن محاسبه شد که قسمتی از آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

زمانی اندازه‌گیری شود که در حساس‌ترین زمان خود (بدون سله سطحی) باشند. نمونه‌ها براساس واحدهای کاری تفکیک شده در نقشه خاک و منابع اراضی تهیه و آستانه فرسایش بادی و میزان بادبردگی در سرعت‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متر در طول مدت ۲ دقیقه در تونل باد ثابت اندازه‌گیری شد و نمودارهای مقدار هدررفت خاک برحسب گرم بر مترمربع در دقیقه محاسبه شد. بدین ترتیب سرعت آستانه فرسایش خاک برای هر واحد کاری مشخص شد، سپس با روی هم‌گذاری نقشه فرسایش‌پذیری با نقشه تراکم پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از داده‌های تصاویر لندست در سال ۲۰۱۷، نقشه حساسیت اراضی به فرسایش بادی تهیه شد.

برنامه‌ریزی تثبیت

این فرایند پس از شناسایی کلیه منابع اکولوژیکی موجود در کانون جنوب‌شرق اهواز و تهیه نقشه‌های موضوعی با مقیاس مناسب، جمع‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شد. تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی داده‌ها در فرایند ارزیابی توان اکولوژیکی را می‌توان به منزله ترکیب کردن طبقات تمامی منابع اکولوژیکی با همدیگر، برای به دست آوردن یگان‌ها یا واحدهای کاری تعبیر نمود (Makdoun, 2008). بدین منظور از روش روی هم‌گذاری و به شیوه دوترکیبی استفاده شد. به طوری که نقشه‌های اجزای واحد اراضی حاصل از مطالعات خاک و منابع اراضی روی نقشه پوشش گیاهی (تیپ و تراکم) قرار گرفت. چون سطح وسیعی از محدوده در هنگام مطالعه، بایر و فاقد پوشش گیاهی بود. از این رو، نقشه اجزای واحدهای اراضی به عنوان واحد کاری پایه پذیرفته شد. سپس برای تکمیل اطلاعات،

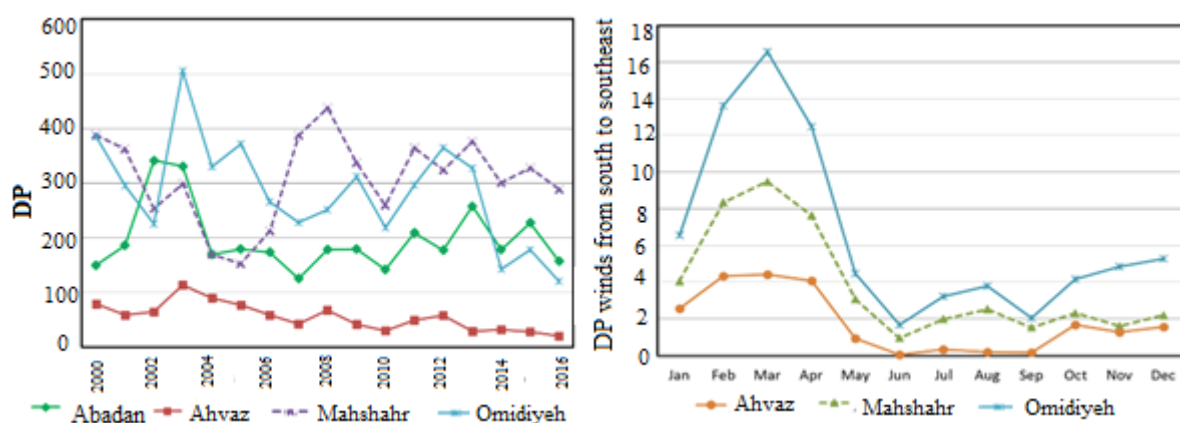
جدول ۱- ویژگی‌های بادهای فرساینده در چند ایستگاه منتخب استان خوزستان

Table 1. Characteristics of erosive winds in some selected stations of Khuzestan province

Station	Period	calm wind %	DP v.u	RDD°	RDP	RDP/DP	Average Speed m/s
Ahvaz	1392-1374	31	70	149	26	0.4	2.4
Mahshahr	1392-1374	27	331	140	171	0.5	3.6
Hendiyn	1392-1379	7	328	147	145	0.4	4.4
Omidiyeh	1392-1374	44	302	161	68	0.2	2.9
Bostan	1395-1379	15	225	175	124	0.5	4.1
ABadan	1395-1379	33	198	124	135	0.7	4.3

جنوبی تا جنوب شرقی گردوغبار حاصل از کانون‌های جنوب شرقی اهواز را مستقیماً روی شهر اهواز بارگذاری می‌کند. موقعیت این کانون نیز به گونه‌ای است که گردوغبار حاصل از کانون‌های ریزگرد هندیجان، امیدیه و ماهشهر روی این کانون شدت می‌گیرد و شهر اهواز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، تقویم وزش این باد براساس ظرفیت حمل از اواسط آذر تا اواخر اسفند است (شکل ۳). از این رو، باید برخی عملیات مهار ریزگرد مانند پخش آب و مرطوب‌سازی در این دوره انجام شود.

روند تغییرات انرژی باد برحسب ظرفیت حمل ماسه در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ نشان داد، تغییرات مهمی در آن وجود ندارد. پهنه‌بندی انرژی بادهای فرساینده براساس ظرفیت حمل ماسه در جنوب شرق کشور و لبه شرقی عراق نیز نشان داده است، لبه شرقی مرز عراق و قسمت کوچکی از استان ایلام و خوزستان انرژی زیادی دارد که به سمت شرق استان خوزستان مقدار آن کاهش می‌یابد (Abbasi, 2021). همچنین، از شمال به جنوب استان نیز انرژی باد از کلاس کم به متوسط تغییر می‌کند. باد فرساینده با جهت



شکل ۳- روند تغییرات انرژی بادهای فرساینده براساس قابلیت حمل ماسه (۲۰۰۰-۲۰۱۶) و تقویم وزش باد فرساینده جنوبی تا

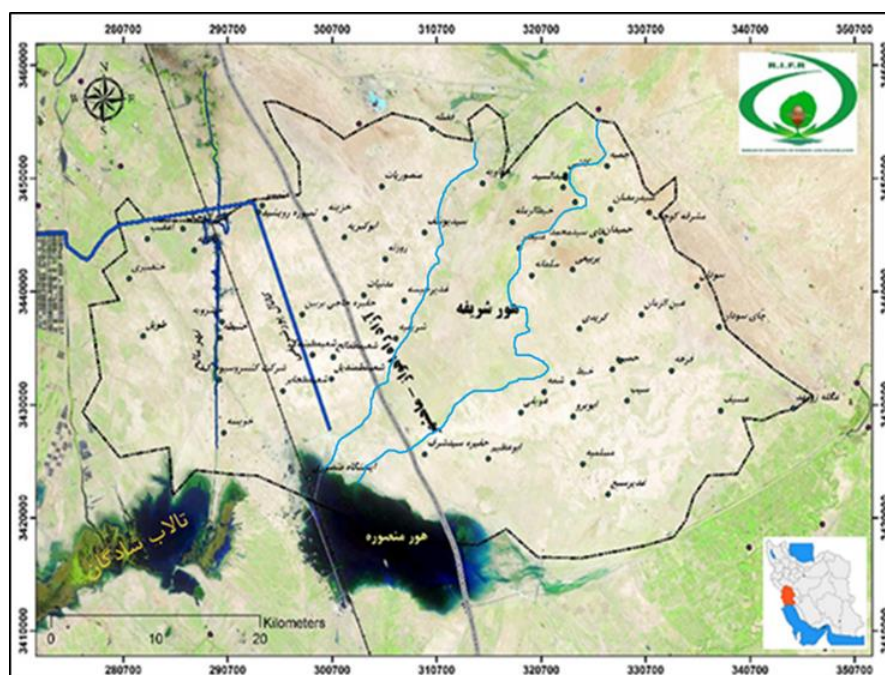
جنوب شرقی در ایستگاه‌های اهواز، امیدیه و ماهشهر

Figure 3. The changing trend of erosive winds based on sand carrying capacity (2000-2016) and the calendar of erosive winds from south to southeast in Ahvaz, Omidiyeh, Mahshahr stations.

سه حوزه آبخیز رودهای کوپال، جراحی و نهرمالح (کارون) قرار دارد. سه هور شریفیه و قسمت‌هایی از هور منصوریه و حاشیه تالاب شادگان در این کانون قرار دارند. هور شریفیه در واقع در مسیر رودخانه کوپال به هور منصوریه شکل گرفته است و یکی از نقاط حساس به فرسایش بادی در هنگام خشکی است (شکل ۴). بررسی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های بعد از ۱۳۸۷، نشان داد متأسفانه حقایق سیلابی هور شریفیه و هور منصوریه از رودخانه کوپال حذف و بعد از این سال هیچ آبی در مواقع سیلابی از رودخانه کوپال به این دو هور وارد نشده است، این مسئله بدون شک در فعال شدن کانون جنوب‌شرق اهواز نقش بسزایی داشته است. دبی متوسط سالانه رودخانه جراحی در تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری و در بازه زمانی ۵۰ ساله (۱۳۴۵-۱۳۹۵) روند کاهشی دارد.

خصوصیات زمین‌ساخت کانون گردوغباری از نظر زمین‌ساختی در اثر رسوب‌گذاری رودخانه‌های کوپال و بخش‌های کوچکی از آن توسط رودهای جراحی و کارون به وجود آمده است. حوزه کوپال از منظر زمین‌ریخت‌شناسی به سه واحد اصلی کوهستان، دشت‌سر و پلایا تقسیم می‌شود. واحد کوهستان با شیب بیش از ۲۰ درصد، از تناوب گچ ضخیم لایه و توده‌ای و مارن بین لایه سنگ آهک (سازند گچساران) با رخساره دامنه‌های نامنظم، برونزد سنگی و پوشش پراکنده درختان کنار (Zandifar, 2020) و تپه‌های ماسه‌ای به‌دام‌افتاده در شمال‌شرقی کانون ریزگرد قرار دارد.

خصوصیات هیدرولوژیک از نظر هیدرولوژی، محدوده کانون ریزگرد در قلمروی



شکل ۴- موقعیت روستاها و هورهای شریفیه، منصوریه و شادگان در کانون ریزگرد جنوب‌شرق اهواز

Figure 4. The location, villages and wetlands of Sharifiyeh, Mansouriyeh and Shadgan in the southeast Ahvaz dust center

جنوب‌شرق اهواز از چهار تیپ اراضی دشت رسوبی (5)، اراضی پست و شور (6)، دشت دامنه‌ای (4.3) و اراضی

خصوصیات خاک و منابع اراضی از دیدگاه خاک و منابع اراضی کانون گردوغباری،

جزء واحد اراضی تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲). تیپ اراضی دشت رسوبی (5) به دو واحد اراضی 5.1 و 5.2 تقسیم گردید. واحد 5.1 به ۱۷ جزء و واحد 5.2 به ۵ جزء اراضی تفکیک شد. اراضی پست و شور (6) به دو واحد اراضی 6.1 و 6.2 تقسیم شدند که هر یک به ترتیب به ۵ و ۱ جزء واحد اراضی تفکیک گردیدند. تیپ‌های اراضی آبرفت بادبزنی‌شکل و اراضی متفرقه به دلیل یکنواختی شکل اراضی هر یک به یک واحد و یک جزء اراضی به ترتیب با کدهای 9.1.1 و X.1.1 تقسیم شدند. میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۲ و تغییرات مکانی آنها با استفاده از مدل‌های مناسب زمین‌آمار در شکل ۵ نشان داده شده است.

متفرقه تپه‌های ماسه بادی (X) تشکیل شده است. تیپ اراضی دشت رسوبی، مسطح و دارای خاک عمیق تا خیلی عمیق، با محدودیت شوری و سدیمی است. تیپ اراضی پست و شور شامل هور شریفیه و قسمتی از هور منصوریه است. بخشی از محدوده واریزه بادبزنی‌شکل پای کوه‌های شرقی محدوده است که به دلیل نبود سنگ ریزه در دسته دشت دامنه‌ای طبقه‌بندی شده است. تپه‌های ماسه بادی که حاصل رفت و روب بادهای شمال‌غربی و جنوبی تا جنوب‌شرقی است در دامنه ناهمواری‌های شمال‌شرقی و شرقی این کانون از نوع گیرافتاده در توپوگرافی هستند (Azhdari, 2015). این تیپ‌ها در اثر موقعیت قرارگیری و فرایند شکل‌گیری به واحدهای مختلف و به دلیل ویژگی‌های خاک به ویژه تغییرات بافت و شوری و سدیمی خاک به ۳۰

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های خاک در کانون ریزگرد جنوب شرق

Table 2. Average of soil properties in the dust center of southeast Ahvaz

Parameter	Unit	Horizon 0-30 cm				Horizon 30-60 cm				Horizon 60-90 cm			
		Average	Standard Deviation	Max	Min	Average	Standard Deviation	Max	Min	Average	Standard Deviation	Max	Min
Clay	%	25	10.2	49	10.2	26	11.7	55	4	28	11.1	57	0
Silt	%	45	9	66	14	46	8.8	68	22	44	9.6	64	4
Sand	%	30	9.9	68	9	28	10.2	68	10	29	12.8	96	8
pH	-	8	0.3	8.9	7.5	8.3	0.4	9.5	7.1	8.4	0.4	۹.۴	5.6
ECe	ds/m	49	24.9	111	4.2	32.6	14.4	70.3	6	29.2	12.5	76.6	6.4
Na	mEq/L	2115	1646	5202	29	1185	950	4961	29	396	713	4782	30
CA	mEq/L	172	100	591	24	123	71.7	560	5.8	101	46.7	297	18
Mg	mEq/L	50	28.2	137	0.6	51	27.6	134	0	50	25.6	135	2.4
SAR	-	199	145	593	6.2	131	10.1	578	131	111	72.5	443	4.3
ESP	-	12.5	1.9	13.8	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
EF*	-	0.16	0.06	0.34	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
SCF*	-	0.26	0.2	0.97	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-

EF: The soil erodibility fraction, SCF=Soil Crust Factor

سدیمی شدن در همین خاکها براساس SAR تغییری از نسبت ۲۴ به ۳۹ را نشان داد (Abbasi, 2021)؛ این شوری زایی حاصل نبود (Taherzadeh, 1995). آب شویی افق سطحی خاکها است که در گذشته توسط بارندگیها و سیلابها روی می داد. اگرچه خشک سالیهای اخیر موجب شده تا املاح در خاک تجمع یابند، قسمت بزرگ این رویداد ناشی از احداث سدها و بندهای آبخیزداری در بالادست است که روی رودهای دائمی و فصلی احداث شده است. بدین ترتیب می توان گفت، تغییرات اساسی در میزان شوری و سدیمی خاک یکی از علل اصلی تشدید تولید گردوغبار در این نوع اراضی است و انجام عملیات تثبیت نیاز به شست و شوی خاک سطحی دارد. براین اساس، تأمین آب از یک منبع مطمئن برای تثبیت بیولوژیک و شست و شوی خاک سطحی ضروری بود که تصمیم بر احداث کانالهای آبرسانی پورشریفی و منابع طبیعی گرفته شد تا آب لازم از رود کارون به کانون ریزگرد منتقل شود.

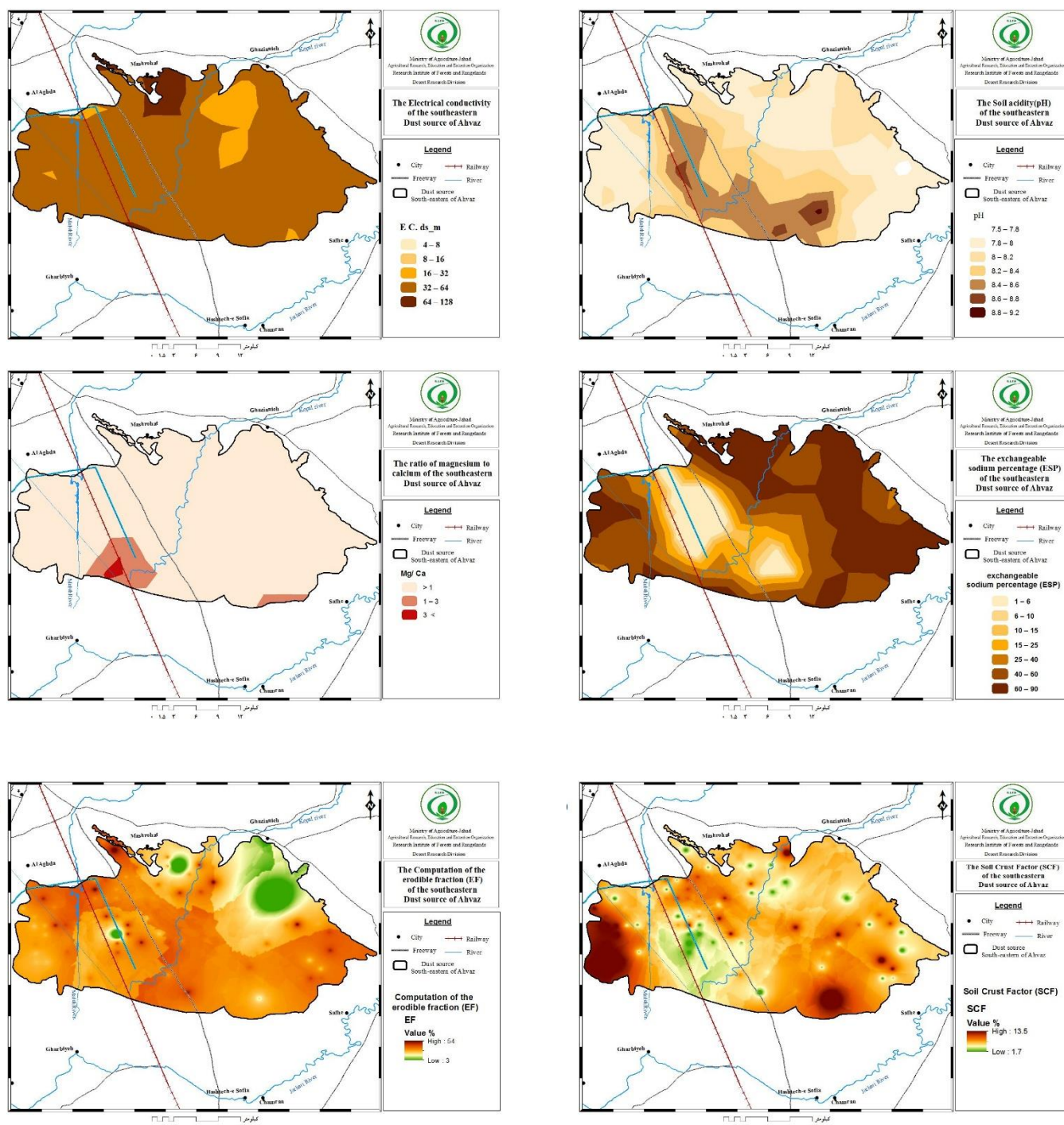
ویژگیهای پوشش گیاهی

براساس مشاهدات میدانی، تعداد ۱۹۵ گونه گیاهی در مناطق بیابانی جنوب غرب ایران شناسایی شدند. در جنوب شرق اهواز مطابق جدول ۳ تعداد ۵۷ گونه گیاهی خشکیزی متعلق به ۱۸ تیره شناسایی شد. تعداد ۶ گونه درختچه ای و شبه درختچه ای منطقه را انواع شورگزه های محلی (*Tamarix spp.*)، اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*)، ((Ehrenb.) Bge. ex Boiss. و نوعی سویدا (*Suaeda vermiculata* Forssk. ex J.F. Gmel. تشکیل می دهد (Dinarvand & Jamzad, 2020).

از نظر رده بندی، خاکهای موجود در دو رده انتی سولها (Entisols) و اریدی سولها (Aridisols) شناسایی و تفکیک شدند. وجود افقهای سالیک و کلسیک و نبود افقهای مشخصه دیگر، رده اریدی سولها را در گروههای بزرگ Haplosalids, Aquosalids و Haplocalcids و رده انتی سولها را در گروه بزرگ Torriorthents و ماسه های بادی در زمره Psamments طبقه بندی شدند.

بیشتر خاکهای تشکیل شده در تمامی اجزای واحد اراضی دارای محدودیت شوری و سدیمی هستند و تنها بخشی از دیمزارهای اطراف روستای مدینات دارای شوری کم تا متوسط هستند. آنچه مسلم است، محدوده مورد مطالعه به عنوان جزئی از دشت خوزستان به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی لب شور، در ماههای خشک سال در حال شور شدن است. یک سفره آب زیرزمینی زیر قشر سطحی در عمق ۲ تا ۴ متری، که از نظر کمی نیز بسیار محدود است، در بافت ریزدانه دشت رسوبی محدوده وجود دارد. به دلیل خیز مویینگی و تبخیر از سطح خاک، املاح در سطح خاک تجمع پیدا می کند و شوری زایی ثانویه روی می دهد.

مقایسه برخی نتایج نمونه های خاک در مطالعات خاک شناسی اجمالی بخشی از اراضی جنوب اهواز، نشریه فنی ۸۸۸ سال ۱۳۷۲ و مطالعات اجمالی خاک شناسی اراضی شمال شادگان، نشریه فنی شماره ۹۶۳ سال ۱۳۷۴، با نمونه های اخذ شده در این مطالعه نشان داد، میانگین شوری خاک سطحی در ۱۵ مجموعه خاک دشت رسوبی محدوده کانون و اطراف آن از ۲۴ به ۴۶ دسی زیمنس بر متر افزایش یافته است. همچنین، میزان



شکل ۵- تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در کانون گردوغباری جنوب شرق اهواز

Figure 5. Spatial changes of physical and chemical characteristics of soils in the dust center of southeast Ahvaz

جدول ۳- اسامی علمی، کوروتیپ و شکل زیستی گونه‌های گیاهی شناسایی شده در کانون گردوغبار جنوب شرق خوزستان: IT: ایران‌تورانی، M: مدیترانه‌ای، ES: اوروسیبری، SS: صحرا سندی، Plur: چندناحیه‌ای، Cosm: جهان‌وطنی، Ch: کریتوفیت، C.h: کریتوفیت هیدروفیت، C.g: کریتوفیت ژئوفیت، Th: تروفیت، He: همی کریتوفیت، Ph: فانروفیت

Table 3. Scientific names, chorotypes and biological forms of plant species identified in the dust center of southeast Khuzestan

No.	Families and Species/ infraspecific taxa	Biological Forms	Chorotypes
Amaranthaceae Juss. (including Chenopodiaceae)			
1	<i>Atriplex leucoclada</i> Boiss. ^{s, s.d}	Ch	IT, ES, SS, M
2	<i>Bassia eriophora</i> (Schrad.) Asch. ^s	Th	SS, M
3	<i>Bassia hyssopifolia</i> (Pall.) Kuntze ^s	Th	IT, ES, SS, M
4	<i>Bassia muricata</i> (L.) Asch. ^s	Th	SS, M
5	<i>Beta vulgaris</i> L. ^s	Th	Cosm
6	<i>Bienertia cycloptera</i> Bunge ^{s m}	Th	IT, SS, M
7	<i>Chenopodium murale</i> L. ^s	Th	Cosm
8	<i>Halocharis sulphurea</i> (Moq.) Moq. ^{s,d,s}	Th	IT, SS
9	<i>Halocnemum strobilaceum</i> (Pall.) M.Bieb. ^s	Ch	IT, SS
10	<i>Halothamnus iranicus</i> Botsch. ^{s,d,s}	Ch	SS
11	<i>Salsola incanescens</i> C.A.Mey. ^{s,d,s}	Th	IT, SS
12	<i>Salsola jordanicola</i> Eig. ^{s,d,s}	Th	IT, SS, M
13	<i>Seidlitzia rosmarinus</i> (Ehrenb.) Bge. ex Boiss. ^{s,d,s m}	Ch	IT, SS, M
14	<i>Suaeda aegyptica</i> (Hasselq.) Zohary ^{s,d,s m}	Th	IT, SS, M
15	<i>Suaeda vermiculata</i> Forssk. ex J.F.Gmel. ^{s,d,s} (= <i>Suaeda fruticosa</i> Forssk. ex J.F.Gmel.)	Ph	IT, SS, M
Apiaceae Lindl.			
16	<i>Ammi majus</i> L. ^{s,d,s}	Th	IT, SS
Asteraceae Bercht. & J.Presl			
17	<i>Calendula arvensis</i> (Vaill.) L. ^{s, m}	Th	IT, ES, SS
18	<i>Carthamus oxyacantha</i> M.Bieb. ^{s,d,s, m}	Th	IT, SS
19	<i>Centaurea bruguierana</i> subsp. <i>belangerana</i> (DC.) Bornm.	Th	IT, SS
20	<i>Launaea mucronata</i> subsp. <i>cassiniana</i> (Jaub. & Spach) N.Kilian ^{s,d}	Th	SS
21	<i>Launaea procumbens</i> (Roxb.) Ramayya & Rajagopal ^{s,d}	He	IT, SS
22	<i>Matricaria aurea</i> (Loefl.) Schultz-Bip. ^{s,m}	Th	IT, ES, SS
23	<i>Onopordum leptolepis</i> DC. ^{s,d,s}	Th	IT, SS
24	<i>Pentanema divaricatum</i> Cass. ^s	Th	IT, SS
25	<i>Pulicaria vulgaris</i> Gaertn. ^s	Th	SS
26	<i>Reichardia tingitana</i> (L.) Roth ^{s,d} (= <i>Reichardia orientalis</i> (L.) Hochr.)	Th	IT, SS
27	<i>Senecio glaucus</i> L. ^{s,d}	Th	IT, ES, SS
28	<i>Urospermum picroides</i> (L.) Scop. ex F.W.Schmidt ^s	Th	IT, ES, SS
Brassicaceae Burnett			
29	<i>Lepidium aucheri</i> Boiss. ^{s,d}	Th	SS
30	<i>Matthiola longipetala</i> (Vent.) DC. ^{s,d,s}	Th	IT, SS
Capparaceae Juss.			
31	<i>Capparis spinosa</i> L. ^{s,d,s, m}	Ch	IT, ES, SS
Caryophyllaceae Juss.			

No.	Families and Species/ infraspecific taxa	Biological Forms	Chorotypes
32	<i>Spergularia marina</i> (L.) Besser ^s Convolvulaceae Juss.	Th	IT, ES, SS
33	<i>Cressa cretica</i> L. ^{s,d,s} Cucurbitaceae Juss.	He	IT, SS, M
34	<i>Citrullus colocynthis</i> (L.) Schrad. ^{s,m} Cyperaceae Juss.	He	IT, SS, M
35	<i>Cyperus rotundus</i> L. ^{s,m} Fabaceae Lindl.	C.g	IT, SS
36	<i>Alhagi graecorum</i> Boiss. ^{s,d,s,m}	Ch	IT, SS, M
37	<i>Lotus halophilus</i> Boiss. & Sprun. ^s	Th	SS
38	<i>Medicago polymorpha</i> L. ^{s,d} Frankeniaceae Desv.	Th	IT, ES, SS
39	<i>Frankenia pulverulenta</i> L. ^s Malvaceae Juss.	Th	IT, ES, SS
40	<i>Malva parviflora</i> L. ^{s,d,s,m} Leguminosae Juss. (=Fabaceae Lindl. Sub-family: Mimosaceae)	Th	IT, SS
41	<i>Prosopis farcta</i> (Banks & Sol.) J.F.Macbr. ^{s,d,s,m} Plumbaginaceae Juss.	Ch	IT, ES, SS
42	<i>Psylliostachys spicata</i> (Willd.) Nevski ^s Poaceae Barnhart	Th	IT, ES
43	<i>Aegilops triuncialis</i> L. ^{s,d}	Th	IT, SS, M
44	<i>Aeluropus lagopoides</i> (L.) Thwaites ^s	C.g	IT, ES, SS
45	<i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan) Parl. ^s	C.g	IT, SS
46	<i>Bromus danthomiae</i> Trin. ^{s,d}	Th	IT, ES
47	<i>Bromus scoparius</i> L. ^{s,d}	Th	IT, ES
48	<i>Hordeum murinum</i> subsp. <i>glaucum</i> (Steud.) Tzvelev ^{s,d} (= <i>Hordeum glaucum</i> Steud.)	Th	IT, ES, SS, M
49	<i>Phalaris minor</i> Retz. ^{s,d}	Th	Cosm
50	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud. ^{s,d}	C.he	Cosm
51	<i>Stipa capensis</i> Thunb. ^{s,d} Primulaceae Batsch ex Borkh.	Th	IT, SS
52	<i>Anagallis arvensis</i> L. subsp. <i>arvensis</i> var. <i>caerulea</i> (L.) Gouan ^{s,d} Solanaceae Juss.	Th	IT, ES, SS
53	<i>Lycium depressum</i> Stocks ^{s,d,s} Tamaricaceae Link	Ph	IT, ES, SS
54	<i>Tamarix kotschyi</i> Bunge ^{s,d,s} (= <i>Tamarix leptopetala</i> Bunge)	Ph	IT, SS
55	<i>Tamarix meyeri</i> Boiss. ^{s,d,s} (= <i>Tamarix tetragyna</i> Ehrenb. var. <i>meyeri</i> (Boiss.) Boiss.)	Ph	IT, ES, SS
56	<i>Tamarix passerinoides</i> Del. var. <i>passerinoides</i> ^{s,d,s}	Ph	IT, ES, SS
57	<i>Tamarix passerinoides</i> var. <i>macrocarpa</i> Ehrenb. ^{s,d,s}	Ph	IT, SS

*Medicinal species (M), salty species (S), sand dunes (SD) species

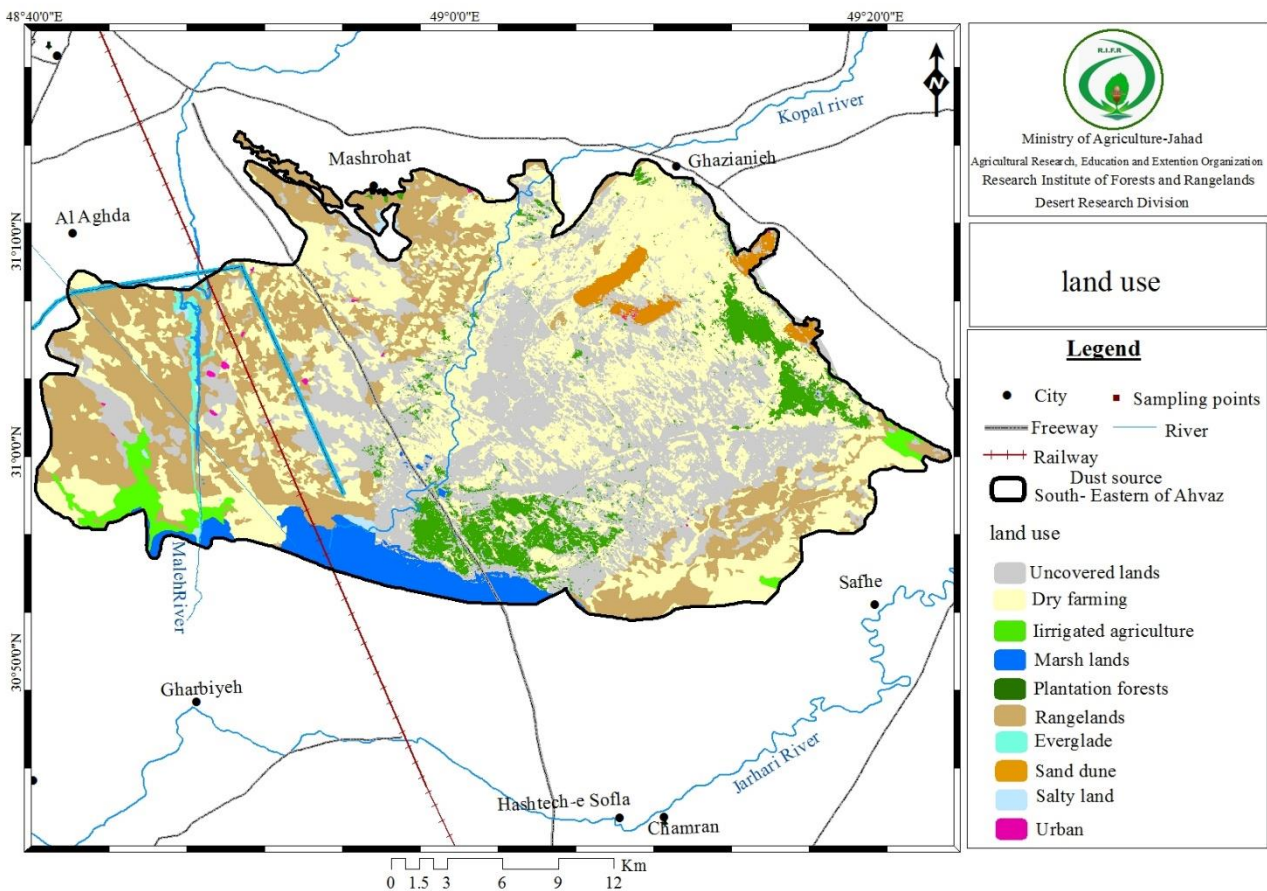
مراعات ۳۷ درصد، زراعت دیم ۲۴ درصد، اراضی بدون پوشش
۱۰ درصد، تالاب‌های خشک‌شده ۱۱ درصد و زراعت آبی

وضعیت کاربری اراضی، کشاورزی و جمعیت
بررسی کاربری اراضی کانون جنوب شرق اهواز نشان داد،

این مؤید میزان و شدت وابستگی به زمین در این کانون است. نگاهی اجمالی به کارکردهای بخش کشاورزی در استان نشان داد، در هر سه حوزه داخل استان در دهه‌های اخیر به‌ویژه در فواصل سال‌های ۹۵-۱۳۸۵ سطح کشت دارای روند افزایشی بوده است. به‌طور کلی، روند کشت محصولات زراعی در استان طی سال‌های کشت یعنی از ابتدای ۷۳-۱۳۷۲ با مقدار ۴۴۰ هزار هکتار سیر صعودی داشته است و تا پایان سال ۹۵-۹۴ نسبت به ابتدا به حدود دو برابر یعنی به بیش از ۸۰۰ هزار هکتار افزایش یافته است. با وجود کاهش منابع آب در دوره خشک‌سالی طی سال‌های ۸۶ تا ۹۴، مقایسه مصرف آب کشاورزی در سال ۸۷-۸۶ از ۶/۶ میلیارد مترمکعب به ۱۰/۲ میلیارد مترمکعب در سال ۹۵-۹۴ افزایش یافته است.

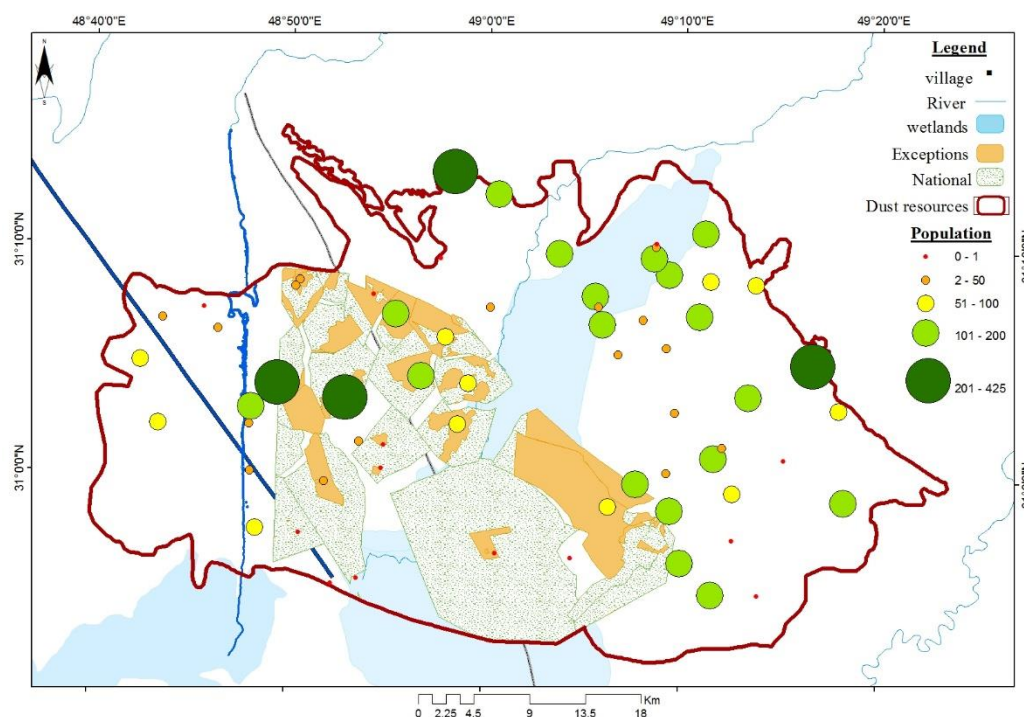
۱۳ درصد اراضی را به خود اختصاص داده است (Yasrebi *et al.*, 2022) که در شکل ۶ نشان داده شده است.

محدوده جنوب‌شرق اهواز، براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ دارای ۸۰۷۵ نفر جمعیت و ۲۰۰۵ خانوار روستایی بوده است. آبادی‌های عگله‌زویه، عوافی، سودان، ایستگاه خسروی، العقدا، تل‌اسود، بستین، مدینات و حفیره حاجی‌برین از آبادی‌های به‌نسبت پرجمعیت محدوده به‌شمار می‌آیند (شکل ۷). میزان رشد جمعیت در بیشتر نقاط سکونتگاهی منفی است، به‌طوری‌که در بین کانون‌های هفتگانه گردوغباری خوزستان، بیشترین برون‌فرستی جمعیت در محدوده کانون جنوب‌شرق اهواز اتفاق افتاده است و ۵۱ درصد آبادی‌های محدوده از رشد منفی برخوردارند (Seyed Akhlagi & Banj shafie, 2020). ۷۸ درصد مردم در بخش کشاورزی فعالیت داشته و



شکل ۶- نقشه کاربری‌های رایج در کانون جنوب‌شرق اهواز در سال ۱۳۹۶

Figure 6. Map of common land uses in the dust center of southeast Ahvaz in 2016



شکل ۷- پراکنش جمعیت و مالکیت حدودی اراضی در سطح کانون ریزگرد جنوب شرق اهواز

Figure 7. Population distribution and land ownership in the area of the dust center in the Ahvaz southeast

موجود در منطقه مجاز و بقیه مازاد بر ظرفیت مرتع هستند (Sobels *et al.*, 2001). در سال‌های اخیر (۵-۶ سال گذشته) به دلیل کاهش میزان بارندگی‌ها و خشک شدن جریان‌های سطحی و تغییر اقلیم، تولید مراتع به شدت کاهش یافته است و بنا به اظهار نظر افراد محلی، به ناچار نسبت به تقلیل تعداد دام خود اقدام نموده‌اند.

فرسایش‌پذیری خاک به فرسایش بادی

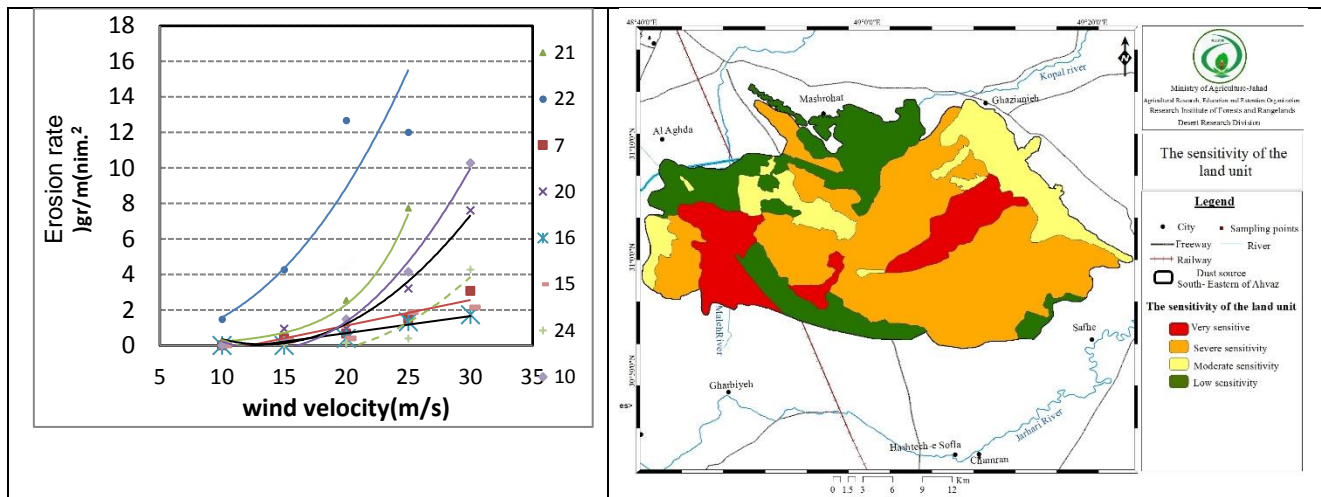
نتایج پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری خاک‌ها در هریک از اجزای واحد اراضی به صورت آستانه فرسایش و مقدار رسوب منتقل‌شده برحسب گرم در مترمربع در دقیقه با استفاده از تونل باد انجام شد که نتایج نشان دادند، آستانه فرسایش‌پذیری خاک‌ها از حدود ۵/۵ متر بر ثانیه تا ۱۳/۵ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. بیشترین فرسایش‌پذیری خاک‌ها متعلق به خاک‌های محدوده جنوب تا جنوب شرقی کانون است. نقشه حساسیت اراضی به فرسایش بادی نشان داد،

بررسی الگوی کشت نیز نشان داد، متأسفانه گیاهانی که از آب‌بری بالاتری برخوردار بودند، در سال‌های اخیر و در شرایط کم‌آبی، سطح کشت آنها افزایش یافته است. برای نمونه، سطح کشت نیشکر با حجم متوسط مصرف ۳۵۰۰۰ هزار مترمکعب در واحد سطح در سال ۸۷-۸۶ از ۶۰۹۴۶ هکتار به ۱۰۷۱۴۲ هکتار در سال ۹۴-۹۳ و به ۸۹۵۶۵ هکتار در سال ۹۵-۹۴ تغییر پیدا کرده است. در سال ۹۵ سطح کشت برنج در استان به بیش از ۵۷ هزار هکتار و در سال ۹۳ حتی به بیش از ۷۳ هزار هکتار رسید (Sobels *et al.*, 2001). در این شرایط و با این افزایش سطح زیرکشت و بالا رفتن مصرف آب، حبابه هورها و دشت‌های سیلابی میسر نیست و طبیعی است که بیشتر آنها خشک شوند.

تعداد دامداران موجود در منطقه ۲۳۷ نفر دارای پروانه چرا با تعداد دام ۱۰۷۵۷۵ رأس (بیشتر شامل بز، گوسفند و شتر) است و ظرفیت مراتع یک‌چهارم تا یک‌سوم واحد دامی در هکتار است. براین اساس، تعداد ۶۷۴۲ رأس از دام

(شکل ۸). مستعدترین مناطق تولیدکننده ریزگرد در حاشیه هورهای شریفیه و شمال تالاب شادگان، اراضی پف کرده شور هستند.

۲۲ درصد سطح کانون‌ها دارای حساسیت زیاد و در اولویت یکم، ۲۶ درصد در اولویت دوم، ۲۵ درصد در اولویت سوم و ۲۷ درصد در اولویت چهارم برای عملیات تثبیت هستند



شکل ۸- نقشه حساسیت اراضی و میزان فرسایش پذیری خاک سطحی واحدهای کاری در تونل باد

Figure 8. Land sensitivity map and surface soil erosion rate of land units in the wind tunnel

محدودیت منابع مالی و امکانات اجرایی بر مبنای اولویت‌های تعیین شده امری اجتناب‌ناپذیر بود. بعد از تعیین اولویت‌ها، اقدامات و فعالیت‌های اجرایی از نظر فنی برای هر واحد متناسب با خصوصیات آن تعیین شد.

مبنای تعریف پروژه‌های اجرایی

در مجموع، برنامه‌های پیشنهادی در سه راهکار کلی با پروژه‌های مختلف با توجه به شرایط هر واحد کاری تعریف شد: ۱- برنامه‌های تثبیت بیولوژیکی شامل بوته‌کاری، جنگل‌کاری، درخت‌کاری حاشیه جاده‌ها، بادشکن زنده حاشیه مزارع، غنی‌سازی، ۲- برنامه‌های عملیات فیزیکی و مکانیکی (جمع‌آوری هرزآب سطحی) شامل پخش آب و مرطوب‌سازی، آب‌شویی خاک و کاربرد مواد اصلاح‌کننده، احداث حفیره، فارو، هلالی، پیتینگ، افزایش زبری خاک سطحی، مالچ‌پاشی و بادشکن غیرزنده و ۳- برنامه‌های مدیریتی به تفکیک

روش‌های کنترل و تثبیت کانون‌های گردوغبار کانون جنوب‌شرق اهواز

برنامه تثبیت کانون ریزگرد با کاربری‌های مختلف و در این سطح و مقیاس، اولین تجربه کشور در مورد این پدیده با چنین شرایطی بود. از این رو، روش‌های پیشنهادی بر پایه نتایج بررسی منابع علمی خارجی (Middleton & Kang, 2017)، گفت‌وگوهای حضوری با استادان دانشگاهی و کارشناسان مختلف پژوهشی و اجرایی به دست آمد.

بر اساس نتایج مطالعات خاک و منابع اراضی و تعیین حساسیت به فرسایش بادی، مبنای تعیین اولویت در اجرای پروژه‌های تعریف شده، نقش و سهم هر واحد در تولید گردوغبار است. اولویت‌های تعیین شده به‌عنوان مبنای اولویت در اجرای پروژه‌ها با هدف تسریع در کنترل و کاهش گردوغبار پیشنهاد شد. با توجه به گستردگی عرصه‌های دارای قابلیت تولید گردوغبار،

پخش می‌شود، در کاربری مرتبط با منابع طبیعی، با احداث فارو و رهاسازی آب، ضمن کاهش میزان شوری خاک، به دلیل بانک بذر خاک، گونه‌های بومی در فواصل بین نهال‌های کاشته شده استقرار یافتند. چون نمک رایج در خاک، کلرید سدیم بود و محدودیت دمایی برای شست‌وشو وجود نداشت (Jafari, 2004) و هر زمانی که آب کافی وجود داشت این کار انجام شد.

در واحدهایی که پوشش گیاهی مناسب بود و عناصر گیاهی اصلی اکوسیستم در عرصه مشاهده شد، با کاهش فشار چرای دام و قرق، امکان احیای پوشش گیاهی وجود داشت، از این رو، در این واحدها برنامه مدیریت و چرای دام پیشنهاد شد. در واحدهای کاری که در محدوده هورها از جمله هور منصوریه و هور شریفیه، خاک بانک بذر مناسب داشت، عملیات مرطوب‌سازی پیشنهاد شد که نتیجه بسیار مطلوبی را به همراه داشت. در واحدهای فاقد پوشش گیاهی و محدودیت شوری کم، کشت نهال‌های بومی و سازگار با شرایط خاک، اعم از گونه‌های درختی، درختچه‌ای و بوته‌ای پیشنهاد شد. فهرست گونه‌های گیاهی برای تثبیت بیولوژیک در جدول ۵ ارائه شده است، متأسفانه به دلیل نبود نهال به غیر از یک گونه در بازار، در هنگام شروع عملیات، بیشتر از آن استفاده شد. انتخاب روش فارو برای جنگل‌کاری و بوته‌کاری موجب شد، در بین نهال‌های کاشته شده، گونه‌های بومی استقرار یابند. ضرورت کاشت نهال یا بوته برای ایجاد قرق ضروری بود و این موضوع به بازگشت و احیای اکوسیستم کمک شایانی کرد.

نوع کاربری شامل قرق و مدیریت چرا در مراتع تخریب‌شده و پروژه‌های نگهداری بقایای گیاهی، کاهش عملیات خاک‌ورزی، کشت نواری، کاهش عرض کرت‌ها و ایجاد زبری در خاک‌های با بافت سنگین با شخم نواری که در جدول ۴ ارائه شده است. اگرچه برخی از پروژه‌های پیشنهادی به دلیل مشکلات اقتصادی-اجتماعی و معارضات، به مرحله اجرایی نرسید ولی مشارکت روستاییان در احیای اکوسیستم تخریب‌شده به دلیل جذب در شرکت‌های پیمانکاری مهم بود. شایان ذکر است، یک اکوسیستم زمانی شروع به تولید گردوغبار می‌کند که در اوج تخریب خود قرار گیرد، این گونه اراضی معارض زیادی ندارند.

مبنای پروژه‌های اجرایی تعریف‌شده با توجه به نوع اکوسیستم و کاربری‌های موجود در آن اکوسیستم تعریف شدند. امکان یا نبود امکان تعریف پروژه‌ها با توجه به ویژگی‌های خاک و میزان حساسیت آنها نسبت به فرسایش بادی انجام شد.

مهمترین عامل نبود امکان تثبیت بیولوژیک، محدودیت شوری و سدیمی و ماندابی شدن خاک بود، هرچند نوع اکوسیستم موجود نیز همواره مدنظر بود که اشتباهاتی مانند جنگل‌کاری در کف یک تالاب (هور خشک‌شده) انجام نشود. برخی از پروژه‌ها را می‌توان برای هر کاربری استفاده کرد و برخی دیگر، وابسته به کاربری خاصی بودند، به‌طورمثال، آب‌شویی سطحی خاک در هر دو کاربری کشاورزی و منابع طبیعی قابل کاربرد است ولی روش‌های آنها کاملاً متفاوت است. معمولاً برخلاف کشاورزی، که آب فراوان در تمام سطح

جدول ۴- عملیات اجرایی قابل پیشنهاد برای احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده در یک کانون ریزگرد و سطح عملیات اجراشده برخی از آنها در کانون جنوب شرق اهواز

Table 4. Proposed operations for the restoration of destroyed ecosystems in a dust center and the area of their operations in the southeast of Ahvaz

Row	General solutions	Proposed projects	Implemented area (ha)
1	Biological stabilization	Forestry	24000
		Shrub planting	
		Live windbreaker	
		Tree planting on the side of the road and highway	
2	Physical and mechanical operations (Collection of surface waste water)	Water spreading and humidification	7000
		Soil washing and application of modifiers	
		Construction of pit	
		Construction of Faro	
		Construction of curved pits	
		Pitting	
		Increasing soil surface roughness	
		Mulching	
Abiotic windbreak			
3	Management operations	Rangeland (destroyed)	39000
		Agricultural lands (Abandoned and dry-farmed)	
		Exclusion	
		Grazing management	
		Management of plant residues	
Sum		Reduction of tillage operations	70000
		Strip cultivation	
		Reducing the width of the	
		Cultivated plots	

با توجه به حذف ظرفیت سیلاب‌ها از محدوده و اهمیت سرعت اجرای پروژه‌های مهار گردوغبار به‌ویژه در کانون جنوب شرق اهواز، بالابردن درصد موفقیت پروژه‌های جنگل‌کاری و مرطوب‌سازی نیاز به آبرسانی به منطقه داشت. براین اساس، کانال انتقال آب (کانال پورشریفی) به طول ۴۴ کیلومتر توسط شرکت جهاد نصر احداث شد، سپس، یک کانال نیز به نام کانال منابع طبیعی توسط اداره کل منابع طبیعی به شبکه آبرسانی پروژه‌ها اضافه شد (Seyed Akhlagi & Banj shafie, 2020). موقعیت تخلیه این کانال‌ها (در نقشه‌های شکل ۱۰ دیده می‌شود) روی حساس‌ترین

بررسی‌های میدانی نشان داد، گودال‌های جمع‌آوری آب که به نام محلی حفیره هستند، یا گودال‌هایی که در اثر برخورد گلوله‌های توپ در زمان جنگ ایجاد شده بود، در ایجاد پوشش گیاهی، کارکرد و نقش مثبتی دارند. این دانش بومی می‌تواند در تأمین رطوبت خاک کمک شایانی نماید و فرصت احیای پوشش گیاهی را فراهم کند. کارایی روش‌هایی مانند حفر فارو، پیتینگ و هلالی آبگیر در احیا و استقرار پوشش گیاهی در اراضی تخریب‌شده بیابانی اثبات شده است (Taherzadeh, 1995)، که با توجه به تیپ اراضی (دشت سیلابی یا اراضی پست و شور) پروژه‌های مناسب پیشنهاد شد.

۳۴/۱۴ میلیون مترمکعب در سال است (Lotfinasabasl)
 ۱۲۰ و ۹۵ مترمکعب آب قابل استحصال است (Khosroshahi
 et al., 2021).

واحدهایی برای جنگل‌کاری مناسب هستند که
 محدودیت اکولوژیکی چندانی ندارند. توجه به مکان
 جنگل‌کاری نیز ضروریست. به‌طورمثال، در سال‌های
 خشک نباید به اشتباه بستر یک تالاب یا هور خشک‌شده
 جنگل‌کاری شود. باوجود مزایای زیادی که جنگل‌کاری
 دارد، ضروری است که در اجرای عملیات جنگل‌کاری دقت
 کافی شود و قبل از اجرا نسبت به رفع و حذف عامل
 محدودکننده اقدام شود. به‌طورمثال، واحدهایی که دارای
 قشر سخت لایه در افق‌های بالایی خاک و کمتر از یک متر
 هستند، عرصه‌هایی که خاک شور و سدیمی دارند و مقدار
 هدایت الکتریکی آنها در محدوده رشد ریشه بیش از ۴۱
 دسی‌زیمنس است و واحدهایی که در معرض وزش
 ماسه‌های روان قرار دارند.

در مناطقی که شوری خاک بیش از ۴۱ دسی‌زیمنس بر
 متر باشد و امکان کاشت گونه درختی وجود نداشته باشد،
 می‌توان از گونه‌های بوته‌ای مانند آتریپلکس (*Atriplex*
 sp.) استفاده کرد که در بحث تغییر اقلیم اهمیت بسزایی
 دارد. علاوه‌براین موارد، در مناطقی که ضرورت پوشش
 زیاد، تأمین علوفه، وجود سخت لایه بالای ۶۰ سانتی‌متر و
 آب آبیاری دارای هدایت الکتریکی بیش از ۸ هزار
 دسی‌زیمنس بر متر نیز وجود دارد می‌توان بوته‌کاری کرد
 (Kenshlo, 2019).

مناطق به فرسایش بادی انتخاب شد.
 پخش آب در هور شریفیه که در گذشته از طریق
 سیلاب‌های رودخانه کوپال مشروب می‌شد و به‌دلیل
 تجمع املاح و احداث جاده دسترسی پوشش خود را از
 دست داده بود، موجب کاهش شوری و استقرار گیاهان
 شورروی مانند هالکنوم (*Haloctenium*
strobilaceum)، بونی (*Aeluropus lagopoides*) به
 همراه گونه سلمکی ساقه سفید (*Atriplex leucoclada*)
 و گاهی گونه‌هایی از گز (*Tamarix* sp.) شد. در
 مناطقی که خاک به‌دلیل ماندابی شدن دوباره شور و
 سدیمی شد، جوامع اشنان (*Seidlitzia* sp.) به همراه
 آنابازیس (*Anabasis* sp.) ظاهر شدند. آنچه مهم است،
 بقا و ماندگاری جوامع گیاهی و وابستگی آنها به
 سیلاب‌ها می‌باشد که از محدوده کانون حذف شده است.
 شوری‌زایی ثانوی در دشت‌های سیلابی به‌دلیل خیز
 موینگی در فصول گرم، موجب تجمع املاح در سطح
 خاک می‌شود. در گذشته به موجب وجود سیلاب‌ها، این
 خاک‌ها شست‌وشو و به‌سرعت احیا و پوشش‌دار می‌شدند
 ولی در حال حاضر این چرخه به‌دلیل سدسازی
 برهم‌خورده است. برای‌اساس نیاز است، قبل از کشت،
 آب‌شویی سطحی خاک در فاروها انجام شود. در منابع
 طبیعی منظور از شست‌وشو ایجاد فاروهای ۲۰ تا ۴۰
 سانتی‌متری و رهاسازی آب در آنهاست و نیازی به
 شست‌وشوی تمام سطح اراضی نیست. با پایین‌آمدن
 هدایت الکتریکی، بذر خاک گونه‌های بومی به سرعت
 جوانه زده و در داخل فاروها استقرار می‌یابند. محدوده
 کانون ریزگرد دارای ظرفیت تولید رواناب به ارتفاع
 ۴/۳۶ میلی‌متر در سال و به حجم رواناب سالانه

جدول ۵- گونه‌های پیشنهادشده برای تثبیت بیولوژیک در کانون جنوب شرق اهواز (Keneshlo, 2019)

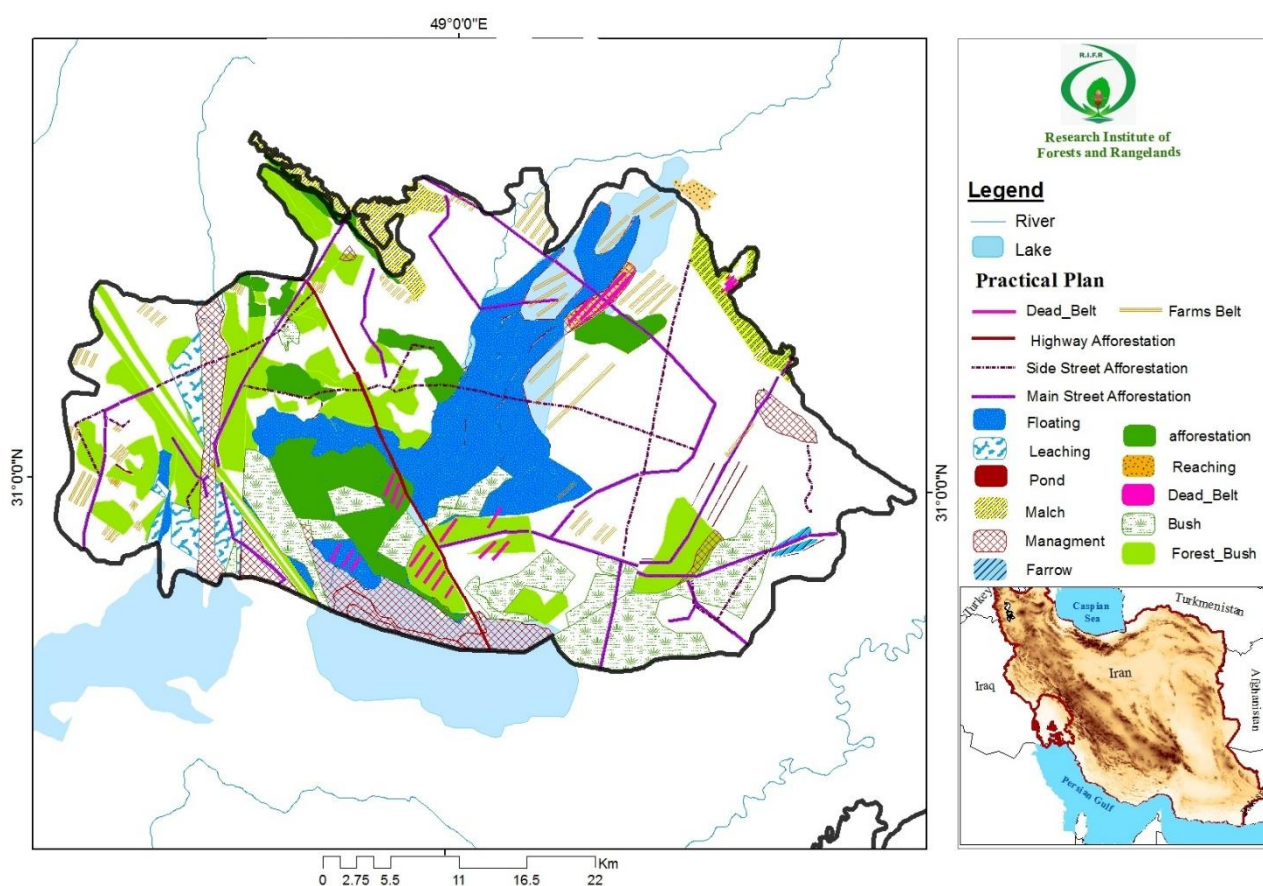
Table 5. Suggested species for biological stabilization in the dust center of southeast Ahvaz (Keneshlo, 2019)

Row	Type of Operation	Code	Type of species
1	Abiotic windbreak	DS	<i>Phragmites australis</i> - <i>Tamarix aphylla</i>
2	Windbreak on the edge of fields	SB	<i>Ziziphus spina-chirsti</i> - <i>Lycium depressum</i>
3	Wood farming	AF	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> - <i>Eucalyptus Microtheca</i>
4	Tree planting on the side of the highway	HP	<i>Prosopis juliflora</i> - <i>Tamarix. stricta</i> - <i>Conocarpus erectus</i> - <i>Nerium oleander</i> -
5	Tree planting on the side of the main road	SP	<i>Prosopis juliflora</i> - <i>Tamarix gallica</i> - <i>Conocarpus erectus</i> - <i>Nerium oleander</i> - <i>Parkinsonia aculeata</i>
6	Tree plantation in the side border and between the fields	RP	<i>Prosopis juliflora</i> - <i>Tamarix gallica</i> - <i>Conocarpus erectus</i> - <i>Nerium oleander</i> - <i>Parkinsonia aculeata</i>
7	Forestry	RF	<i>Seidlitzia rosmarinus</i> - <i>Tamarix. passerinoides</i>
8	Shrub planting	BP	<i>Tamarix. ramosissima</i> - <i>Tamarix. tetragyna</i> - <i>Tamarix. leptopetala</i>
9	Forestry and Shrub planting	FB	<i>Lycium</i> - <i>Atriplex Spp</i> - <i>Seidlitzia</i>
10	Gourab	PS	<i>Lycium depressum</i> - <i>Aeluropus lagopoides</i> - <i>Tamarix. passerinoides</i>



شکل ۹- تصاویر کانون گردوغباری در خوزستان قبل و بعد از انجام عملیات احیایی

Figure 9. The dust sources in Khuzestan before and after the stabilization operations



شکل ۱۰- نقشه‌های برخی از عملیات پیشنهادی برای تثبیت در کانون جنوب شرق اهواز

Figure 10. Maps of some proposed operations for stabilization in the dust center of southeast Ahvaz

نتیجه‌گیری

کنترل آن در ۱۳۹۵ به‌خوبی مشخص نبود و توجه به شرایط اجتماعی و امنیتی در آن زمان ضروری بود. تجارب کشور بیشتر به تثبیت تپه‌های ماسه‌ای محدود بود.

- نتایج آنالیز روند بادهای فرساینده نشان داد، تغییرات مهمی در شدت و جهت وزش آنها در محدوده کانون مورد مطالعه در سال‌های اخیر به وجود نیامده است، پس شدت گرفتن میزان برداشت گردوغبار از سطح این کانون به مسائل دیگری به‌غیر از باد، مانند پارامترهای دیگر اقلیمی و سطح اراضی برمی‌گردد.

- عدم اختصاص حقایبه به اکوسیستم‌های پایین‌دست، همچنین احداث بندهای متعدد آبخیزداری در حوزه

آنچه مسلم است خشک‌سالی (فصلی)، چرای بیش‌ازحد، تجمع املاح و افزایش شوری و سدیم در خاک‌ها و مهمتر از همه حذف ظرفیت سیلابی، موجب فعال‌شدن کانون گردوغبار جنوب‌شرق اهواز شده است. بازیابی اکوسیستم‌های تخریب‌شده باید به سرعت انجام می‌شد و تعریف پروژه‌های احیایی ضروری بودند. به‌طورکلی می‌توان مباحث زیر را در ارتباط با برنامه‌ریزی عملیات احیایی مدنظر قرار داد.

- کنترل پدیده ریزگرد با این شدت در کانون جنوب‌شرق اهواز، یک تجربه جدی برای کشور و شاید اولین تجربه در این مورد بود. شناخت از این پدیده و نحوه

عملیات تثبیت در آنها انجام نشده است، این موضوع بیشتر در دیم‌کاری‌های رهاشده مطرح است که احداث بادشکن و کمربندهای حفاظتی راهکار آن است.

- پروژه مهار گردوغبار خوزستان یکی از محدود پروژه‌هایی بود که با همکاری چندجانبه بخش‌های اجرایی منابع طبیعی، مؤسسات پژوهشی، دانشگاه‌ها و سازمان محیط‌زیست انجام شد که از این نظر نقطه عطفی در عملیات تثبیت است. همچنین، مسئولیت نظارت بر اجرای پروژه‌های مهار گردوغبار نیز از مهرماه سال ۱۳۹۸ به دستور دولت، به مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور واگذار شد. این موضوع از آن جهت که اصلاح و به‌روزرسانی پروژه‌های پیشنهادی را امکان‌پذیر می‌کرد، در نوع خود بی‌نظیر بود.

سپاسگزاری

حمایت مالی این پروژه توسط وزارت جهاد کشاورزی، سازمان حفاظت محیط‌زیست و با همکاری سازمان جنگلها و مراتع کشور و اداره کل منابع طبیعی خوزستان انجام شد. همچنین، بیشتر کارکنان مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌نحوی در این پروژه درگیر بودند. پیگیری‌ها و بازدیدهای مستمر از عملیات انجام‌شده توسط آقای مهندس حجتی، وزیر وقت و دکتر بخشنده، معاون برنامه‌ریزی در وزارتخانه نقش مهمی در پیشبرد اهداف طرح داشت. جا دارد از همه کسانی که به هر شکل در این موضوع ما را یاری دادند، قدردانی بکنیم.

بالادست، یا خشک‌سالی و تغییر اقلیم باعث تبدیل شدن هورها و اراضی دشت رسوبی به کانون تولید ریزگرد شده است. همچنین، احداث سدها در حوزه کارون و جراحی و بندهای آبخیزداری روی رودخانه کوپال، موجب کاهش ظرفیت سیلابی شده است و میزان املاح در سطح خاک افزایش یافته است. بیشتر سطح کانون دارای مشکل شوری و سدیمی است و با توجه به ژئومورفولوژی دشت رسوبی که به‌دلیل طغیان رودخانه‌ها در گذشته شست‌وشوی املاح انجام می‌شده و هم اکنون به‌علت ساخت سدها متوقف شده است. با توجه به این شرایط، بازگرداندن اکوسیستم به شرایط عادی به‌راحتی امکان‌پذیر نیست.

- تثبیت بیولوژیک به‌عنوان راهکار اساسی برای احیای اکوسیستم پایه‌گذاری مدنظر قرار گرفت و با توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های خاک، با الهام از طبیعت، ۱۵ شیوه و تکنیک پیشنهاد شد. براین‌اساس، حدود ۲۰ گونه برای کاشت انتخاب گردید که غالب آنها بومی بوده، یا در منطقه سازگار شده‌اند ولی با توجه به نبود نهال در بازار، در سال اول نهال‌کاری بیشتر از یک گونه استفاده شد.

- اگرچه بسیاری از پروژه‌های اجراشده با موفقیت به‌نسبت بالایی همراه بوده است ولی هنوز تا رسیدن به تثبیت کل کانون راه درازی مانده است. راهکارهایی مانند تأمین حقایبه هور شریفیه و اراضی اطراف آن که قابلیت زیادی در تولید گردوغبار دارند، همچنین بخش‌های دیگری از سطح کانون که دارای اولویت یک تثبیت بوده‌اند، اما به‌دلیل وجود مسائل اجتماعی و معارضت‌ها، تاکنون

References

- Abadi, A.R.S., Hamzeh, N.H., Chel Gee Ooi, M., Kong, S.S.-K. and Opp, C., 2022. Investigation of two severe shamal dust storms and the highest dust frequencies in the south and southwest of Iran. *Atmosphere*, 13: 1990.
- Abbasi, H.R., 2023. Monitoring of sand and dust

- storms sources in Iran. Technical Report. Research Institute of Forests and Rangelands Iran, 1215p (In Persian).
- Abbasi, H.R., 2021. Determining the physical and chemical properties of the dust centers of Khuzestan. final report of the project of Forestry and Rangeland Research Institute, 85p (In Persian).

- Abbasi, H.R., 2019. Physico-chemical properties of soils in Khuzestan dust sources. Technical Report, Research Institute of Forests and Rangelands Iran, 85p (In Persian).
- Abbasi, H.R., 2017. Planning for dust stabilization. *Iran Nature*, 2(3): 12-17 (In Persian).
- Abbasi, H.R., Opp, C., Groll, M., Gohardoust, A. and Rohipour H., 2021. Wind regime and aeolian sand transport in Khuzestan Sand Sea. *Aeolian Research Journal*, 53: 100746.
- Azhdari, A., 2015. Recognized Dust Sources in Khuzestan Province. Ministry of Industry, Mine and Trade Geological Survey of Iran South West Regional Center, 63p.
- Dargahian, F., LotfinasabAsl, S., Khosroshahi, M. and Gohardoust, A., 2017. Determining the share of internal and external resources of dust in Khuzestan province'. *Iran Nature*, 2(5): 36-41. <https://doi.org/10.22092/irn.2017.113621> (In Persian).
- Dinarvand, M. and Jamzad, Z., 2020. Plant diversity of Khuzestan and dust sources in the southwest of Iran. with a checklist of vascular plants. *Phytotaxa*, 434(3): 219-254.
- Ervin, R.T. and Lee, J.A., 1994. Impact of conservation practices on airborne dust in the southern high plains of Texas. *J. Soil Water Conserv*, 49: 430-437.
- Foroushani, M.A., Opp, C.H. and Groll, M., 2021. Investigation of Aeolian dust deposition rates in different climate zones of Southwestern Iran. *Atmosphere*, 12: 229.
- GhasemiArian, Y. and Yari, A. R., 2022. The role, importance and economic value of vegetation cover in sand dune and dust controlling. *4darkht Publication*, 86p.
- HeidarianPeyman, A., Azhdari, M.J., Darvishi Khatooni, J. and Fathtabar Firoozjaei, S., 2018. Integrating Remote Sensing, GIS, and Sedimentology Techniques for Identifying Dust Storm Sources: A Case Study in Khuzestan, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7): 1113-1124. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0774-2>.
- Hennen, M., 2017. Identifying Mineral Dust Emission Sources in the Middle East Using Remote Sensing Techniques, Reading university.
- Jafari, M., 2004. Reclamation of Aridlands. University of Tehran Press, 248 p.
- Jalili, A., 2020. Do's and don'ts in desert ecosystems and selecting the proper management strategy. *Iran Nature*, 5(2): 3-3. <https://doi.org/10.22092/irn.2020.121625> (In Persian).
- Kenshlo, H., 2019. Investigating the vegetation cover of dust centers in Khuzestan, the comprehensive plan of dust control studies in Khuzestan, vegetation section. Research Institute of Forestry and Rangeland, 64p (In Persian).
- Khosroshahi, M., Jalili, A., Lotfi Nasab, S., Dargahian, F., Saiedifar, Z., Gohardoust, A., Zandifar, S., Razavizadeh, S., Teimouri, S., Banedjschafie, S., Shahbazi, K.H., Abbasi, H.M. and Naeimi, M., 2021. Evaluation of runoff production due to rainfall in dust source of Khuzestan province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 19(1): 1-18.
- Lei, D. E., Shangguan, Z.P. and Rui, L.I., 2012. Effects of the grain-for-green program on soil erosion in China. *International Journal of Sediment Research*, 27: 120-127.
- Lotfinasabasl, S., 2020. Investigation and study of groundwater quality in Zohreh-Jarrahi watershed. final report of research project of Forests and Rangelands Research Institute, 143p (In Persian).
- Lotfinasabasl, S., Khosroshahi, M., Gohardoost, M., Khaksarian, F. and Abbasi, H.R., 2020. Assessment of Koopal River Flow and the Runoff Potential Estimation of Southeast Dust Source of Ahwaz. *Journal of Watershed Management Research*, 22(11): 43-57.
- Marchildon, G.P., Kulshreshtha, S., Wheaton, E. and Sauchyn, D., 2008. Drought and institutional adaptation in the Great Plains of Alberta and Saskatchewan, 1914-1939. *Natural Hazards*, 45: 391-411.
- Makdoun, M., 2008. Land Use Planning, Tehran University, 192p.
- McLeman, R.A., Dupre, J., Ford, L.B., Ford, J., Gajewski, K. and Marchildon, G., 2014. What we learned from the Dust Bowl: Lessons in science, policy, and adaptation. *Population and Environment*, 35: 417-440.
- Middleton, N. and Kang, U., 2017. Sand and Dust Storms: Impact Mitigation, Sustainability. *UNEP*, 9(6): 1053.
- Rahmani, A., Behnamfar, K., Noor Alizade, H., Rajaei, A. H., Keneshlou, H. and Fayyaz M., 2021. Programs, measures and projects implemented to stabilize Khuzestan dust sources after the crisis in 2016. *Iran Nature*, 6(3): 101-122 (In Persian).
- Seyed Akhlagi, S.J. and Banj shafie, S.h., 2020. Investigating the socio-economic issues of dust sources in Khuzestan/Iran. Research Institute Forests and Rangelands, Technical Report, 164p (In Persian).
- Sobels, J., Curtis, A. and Lockie, S., 2001. The role of Landcare group networks in rural Australia: Exploring the contribution of social capital. *Journal of Rural Studies*, 17: 265-276
- Taherzadeh, M.H., 1995. Detailed soil studies of Ahvaz Agricultural Research Station. Soil and Water

- Research Institute, (969): 78.
- Tan, M. and Li, X., 2015. Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43: 42-47.
- Wang, W., Samat, A., Ge, Y., Ma, L., Tuheti, A., Zou, S. and Abuduwaili, J., 2020. Quantitative Soil Wind Erosion Potential Mapping for Central Asia Using the Google Earth Engine Platform. *Remote Sens*, 12: 3430.
- Wang, X., Zhang, C., Hasi, E. and Dong, Z., 2010. Has the Three Norths Forest Shelterbelt Program solved the desertification and dust storm problems in arid and semiarid China? *Journal of Arid Environments*, 74: 13-22.
- WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005, summary of risk assessment, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02.
- Worster, D., 2004. Dust Bowl: The Southern Plains in the 1930s. Oxford University Press, Oxford.UK. ISBN 978-01-951-7488-5.
- Xu, J., Xiao, Y., Xie, G., Wang, Y. and Jiang, Y., 2019. Computing payments for wind erosion prevention service incorporating ecosystem services flow and regional disparity in Yanchi County. *Science of The Total Environment*, 674: 563-579.
- Yasrebi, B., Abbasi, H., Behnamfar, K. and Dinarvand, M., 2022. Land use/ Land Cover Dynamic Modeling Using RS and GIS with Emphasis on Maximum Likelihood Rule and Transition Matrix. *Ecopersia*, 10 (3): 191-202.
- Zandifar, S., 2020. Study of geology and geomorphology of Khuzestan province, Scientific Report. Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), 90p (In Persian).