



Journal of Environmental  
Management and Law

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست

<https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml>

## Investigation and evaluation of dust compositions in the Kaftar wetland area using systematic sampling method

Malihesadat Afzalizadeh<sup>1</sup>, Mozhgan Ahmadi Nadoushan<sup>\*2</sup>, Ahmad Jalalian, Atefeh Chamani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Sciences, Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Sciences, Waste and Wastewater Research Center, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> Department of Soil Science, Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

<sup>4</sup> Department of environmental Science, Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

\*Corresponding Author: [m.ahmadi@iau.ac.ir](mailto:m.ahmadi@iau.ac.ir)

### Original Paper

### Abstract

Received: 2025.03.05

Accepted: 2025.08.21

### Keywords:

Dust,  
ecosystem,  
chlorinated organic  
pollutants,  
Kaftar,  
sediment trap.

Today, school is considered a gateway for culture building and institutionalization of many cultural and social issues and priorities among different segments of society. Environmental education is considered one of the important indicators in achieving sustainable development. Students in society are the foundation for achieving such development and successful environmental protection. Accordingly, environmental education in schools, especially in the elementary school, will institutionalize the culture of environmental protection. The aim of the present study is to identify and prioritize educational indicators of environmental protection for elementary school children from the perspective of teachers. The research method is descriptive-analytical and its type is applied. The statistical population is elementary school teachers in District 5 of Education and Training in Tehran, and the statistical sample was calculated using the Cochran formula as 301 people. The data collection method is documentary and library and Delphi questionnaire. Descriptive and inferential statistics in SPSS software and AHP technique were used to analyze the data. The results of the study showed that all four indicators of knowledge and awareness, responsibility, interest and participation are of great importance from the perspective of elementary school teachers, and all four sub-hypotheses were confirmed. The results of weighting using the AHP model and Expert Choice software for the main criteria showed that the responsibility criterion with a weight of 0.553 has obtained the highest value. The knowledge and awareness and interest criteria have been assigned the second and third ranks with 0.265 and 0.093 respectively. The participation criterion was also ranked fourth.

<https://doi.org/10.30486/JEML.2025.140408241224690>



Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

# بررسی و ارزیابی ترکیبات گردوغبار محدوده تالاب کافر با استفاده از روش نمونه برداری سیستماتیک

ملیحه سادات افزلی<sup>۱</sup>، مژگان احمدی ندوشن<sup>۲\*</sup>، احمد جلالیان<sup>۳</sup>، عاطفه چمنی<sup>۴</sup>

۱- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

۲- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران، گروه محیط

زیست؛ مرکز تحقیقات پسماند و پساب؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

۳- گروه خاک؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

۴- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.ahmadi@iaui.ac.ir

| نوع مقاله:            | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| علمی-پژوهشی           | خشک شدن تالاب کافر به همراه با فعالیت‌های کشاورزی آلاینده در مناطق بالادست، به ایجاد نقاط بحرانی گردوغبار و آلودگی در این نواحی منجر شده است. این نقاط بحرانی آلودگی می‌توانند پیامدهای شدیدی از جمله تخریب خاک، آلودگی آب و اثرات زیان‌بار بر سلامت جوامع محلی و اکوسیستم‌ها داشته باشند. از این رو، در این مطالعه، برای جانمایی نقاط برداشت گردوغبار، از روش نمونه برداری سیستماتیک استفاده شد. محدوده تالاب به ۲۴ بلوک تقسیم شد و گردوغبار با استفاده از تله رسوب گیر، جمع‌آوری شد. نرخ فرونشست گردوغبار بر اساس واحد جرم بر واحد سطح در واحد زمان تعیین گردید. وزن گردوغبار در بهار ۳/۰ گرم و در پاییز ۳/۸ گرم بوده و نرخ فرونشست به ترتیب ۱/۰۰ و ۱/۲۷ گرم بر مترمربع در ماه بدست آمد. در بین فلزات سنگین، کادمیوم به مراتب غلظت بیشتری را در نمونه‌های و گردوغبار (۰/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از خود نشان داد. برای آلاینده‌های آلی کلره، غلظت HCH- $\gamma$ در رسوبات فصل بهار ۳/۹۱۲ نانوگرم بر گرم بدست آمد، در حالی که در پاییز این مقدار به ۲/۷۲۸ کاهش یافته است. در نمونه‌های گردوغبار نیز غلظت‌های مشابهی به ترتیب برابر با ۵/۳۶۲ و ۳/۹۴۵ نانوگرم بر گرم ثبت شد. غلظت آلاینده آلدین در گردوغبار بهار ۲/۱۷۳ نانوگرم بر گرم بدست آمد، که نتایج نشان می‌دهد در پاییز مقدار آن به ۱/۶۴۲ کاهش یافته است. این مطالعه اهمیت مدیریت پایدار منابع طبیعی و کشاورزی را برای کاهش اثرات آلودگی در این مناطق برجسته می‌کند. اقداماتی مانند تثبیت خاک، کنترل رواناب‌های آلوده و کاهش استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی می‌توانند به کاهش بار آلودگی کمک کند. علاوه بر این، طراحی و اجرای سیاست‌های حفاظتی و احیای تالاب‌های خشک‌شده می‌تواند نقش مهمی در بهبود شرایط محیط زیستی منطقه ایفا می‌کند. |
| تاریخچه مقاله:        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ارسال: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| کلمات کلیدی:          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| گردوغبار،             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| اکوسیستم،             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| آلاینده های آلی کلره، |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| کافر،                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| تله رسوب گیر.         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

## مقدمه

خشکسالی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر تشکیل کانون‌های گردوغبار است که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اثرات عمیقی بر محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها می‌گذارد (Yavuz et al., 2021). خشکسالی به طور مستقیم باعث کاهش پوشش گیاهی می‌شود، که یکی از مهم‌ترین عوامل تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش بادی است. در نبود پوشش گیاهی، خاک‌های سطحی در معرض باد قرار گرفته و به راحتی به ذرات گردوغبار تبدیل می‌شوند. این شرایط در مقایسه با اکوسیستم‌های پر بارش، که در آن‌ها، ریشه گیاهان خاک را تثبیت می‌کنند، شدت بیشتری پیدا می‌کند. در مناطق خشک، حتی کاهش جزئی در بارندگی می‌تواند منجر به از بین رفتن گسترده پوشش گیاهی شود و خطر تشکیل گردوغبار را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (Cheng et al., 2021).

پدیده گرد و غبار یکی از بلایای طبیعی است که به دلیل ذرات معلق در هوا بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان تأثیر می‌گذارد. این ذرات تا ارتفاع بالاتر از ۶ کیلومتر صعود میکنند، در مسافت‌های طولانی تا ۶۰۰۰ کیلومتر حمل می‌شود، کاهش دید افقی تا ۱۰<sup>۲</sup> تا ۱۰<sup>۴</sup> متر و از طریق جذب و پخش تابش خورشیدی بر دمای هوا تأثیر می‌گذارد (Moghanlo et al., 2021). رویداد گردوغبار شامل شکل‌گیری، انتقال و فرونشست است. هر ساله مقدار زیادی ذرات معلق توسط این پدیده به محیط منتشر می‌شود. بخشی از این ذرات در نزدیکی منبع انتشار رسوب می‌کند و بخش دیگر زمان بیشتری در اتمسفر به صورت معلق باقی مانده و مسافت‌های طولانی طی می‌کند. بنابراین شناخت منشأ و خصوصیات این ذرات امری بسیار مهم و کاربردی است که می‌تواند در محاسبه مقادیر انتشار مدلسازی آب و هوا، کنترل آلودگی و اتخاذ استراتژی‌های کنترلی مناسب کارآمد باشد. وسعت تأثیرات پدیده گردوغبار بسیار متعدد است، تغییرات آب و هوایی، چرخه بیوژئوشیمیایی، تداخل در شیمی اتمسفر و تغییرات اقلیمی از جمله اثرات بسیار مهم هستند (Mahmoodimahpash & Sour, 2020). آلاینده‌های آلی کلره شامل گروهی از ترکیبات شیمیایی پایدار مانند دی‌کلرو دی‌فنیل تری‌کلرواتان (DDT) و پلی‌کلرو بی‌فنیل‌ها (PCBs) هستند که عمدتاً از طریق کاربرد سموم کشاورزی، دفع زباله‌های شیمیایی و فرآیندهای صنعتی وارد محیط زیست می‌شوند (Jin et al., 2023). این آلاینده‌ها به دلیل پایداری بالا، قابلیت تجمع زیستی دارند و می‌توانند برای مدت‌های طولانی در رسوبات و گردوغبار باقی بمانند. در مقایسه با فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی کلره تمایل بیشتری به اتصال به ذرات آلی در رسوبات دارند و کمتر مستعد انتقال به گردوغبار هستند. با این حال، در شرایط خشک و با کاهش رطوبت، این آلاینده‌ها می‌توانند از رسوبات جدا شده و به ذرات گردوغبار متصل شوند. حضور این ترکیبات در گردوغبار خطرات خاصی را ایجاد می‌کند، زیرا آن‌ها علاوه بر سمیت مستقیم، می‌توانند به صورت تدریجی در زنجیره غذایی تجمع پیدا کنند (Cheng et al., 2021).

اثرات آلاینده‌های آلی کلره بر سلامت بیشتر به دلیل اختلال در عملکرد هورمونی و سیستم ایمنی بدن رخ می‌دهد. این مواد می‌توانند به سیستم غدد درون‌ریز آسیب رسانده و تعادل هورمونی بدن را برهم زنند. اختلالات هورمونی ممکن است باعث کاهش باروری، مشکلات رشد جنین و افزایش خطر سرطان‌های مرتبط با هورمون‌ها، مانند سرطان پستان و پروستات، شوند. همچنین، آلاینده‌های آلی کلره می‌توانند عملکرد سیستم ایمنی را سرکوب کرده و بدن را در برابر عفونت‌ها و بیماری‌های مزمن آسیب‌پذیرتر کنند. اثرات بلندمدت این مواد نیز شامل مشکلات عصبی مانند اختلالات شناختی، کاهش حافظه و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های عصبی مانند آلزایمر است (Luo et al., 2022; Jabeen et al., 2022).

روش تله‌گذاری یکی از روش‌های سنتی و میدانی برای اندازه‌گیری میزان گردوغبار است. در این روش، ابزارهایی مانند تله‌های ماسه‌ای یا تله‌های غبار برای جمع‌آوری ذرات گردوغبار در یک بازه زمانی مشخص در نقاط مختلف نصب می‌شوند. این روش اطلاعات دقیقی از نوع، اندازه و تراکم ذرات گردوغبار فراهم می‌کند و امکان تحلیل مستقیم تأثیرات محلی را به محققان می‌دهد (Saha et al., 2021).

به نظر می‌رسد که خشک شدن تالاب کافت و تولید گردوغبار در مناطق پایین‌دست آن، همراه با فعالیت‌های کشاورزی در مناطق بالادست، به ایجاد نقاط بحرانی آلودگی در این نواحی منجر شده است. این نقاط بحرانی ممکن است با تجمع فلزات سنگین و آلاینده‌های

آلی کلره همراه شوند که خطرات محیط زیستی و بهداشتی قابل توجهی را به همراه دارند. فعالیت‌های کشاورزی در مناطق بالادست اغلب شامل استفاده از کودها، سموم دفع آفات و علف‌کش‌ها است که برخی از آن‌ها ممکن است حاوی آلاینده‌هایی مانند سرب، کادمیوم و مواد شیمیایی آلی پایدار مانند DDT یا PCBs هستند. این مواد با گذشت زمان می‌توانند وارد خاک و سیستم‌های آبی شوند و در نهایت از طریق رواناب سطحی یا فرسایش بادی به مناطق پایین‌دست منتقل شوند. با خشک شدن تالاب کافت، رسوبات آن که پیش‌تر به عنوان مخزن طبیعی این آلاینده‌ها عمل می‌کردند، در معرض هوا قرار گرفته‌اند. ذرات ریز این رسوبات به راحتی توسط باد جابه‌جا شده و ابرهای غباری حاوی آلاینده‌ها ایجاد می‌کنند. این گردوغبار می‌تواند آلاینده‌ها را در مناطق وسیعی گسترش داده و تخریب محیط‌زیستی منطقه را تشدید کند.

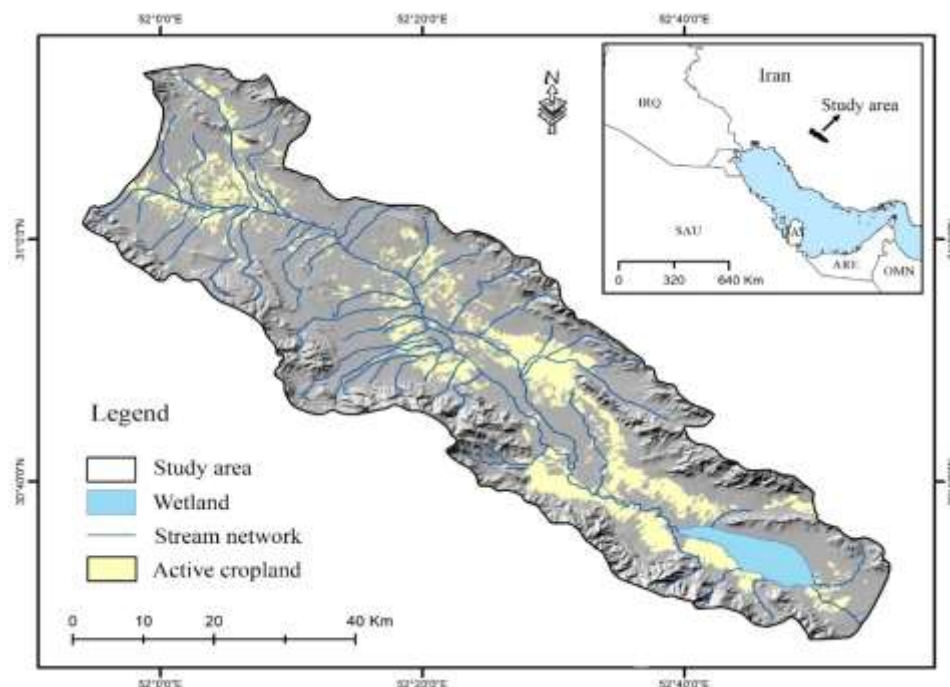
آلاینده‌های آلی کلره به گروهی از ترکیبات شیمیایی پایدار و مصنوعی گفته می‌شود که در ساختار خود یک یا چند اتم کلر دارند و عمده‌تاً به دلیل خواص پایدارشان در محیط زیست و زنجیره‌های غذایی تجمع می‌یابند. این ترکیبات شامل موادی مانند دی‌کلرو دی‌فنیل تری‌کلرواتان (DDT)، پلی‌کلرینه بی‌فنیل‌ها (PCBs) و دی‌اکسین‌ها هستند که به عنوان آفت‌کش‌ها، عایق‌ها و مواد صنعتی به کار می‌روند. آلاینده‌های آلی کلره به دلیل مقاومت بالا در برابر تجزیه زیستی، می‌توانند برای مدت‌های طولانی در خاک، آب و هوا باقی بمانند و از طریق انتقال زیستی در زنجیره‌های غذایی تجمع یابند. این ترکیبات به شدت سمی بوده و اثرات مخربی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند، از جمله سرطان‌زایی، اختلالات هورمونی، سمیت عصبی و آسیب به سیستم‌های تولیدمثلی و ایمنی. به همین دلیل، بسیاری از این ترکیبات تحت مقررات سخت‌گیرانه بین‌المللی مانند کنوانسیون استکهلم قرار گرفته‌اند تا تولید و استفاده از آن‌ها محدود شود (Shen et al., 2023). در منطقه مورد مطالعه، بررسی‌های تاریخی نشان داده است که مصرف DDT تا اواخر دهه ۱۳۷۰ در کشاورزی رایج بوده است. بر اساس اطلاعات غیررسمی محلی و گزارش‌های کشاورزی منطقه، آخرین مصرف قابل ثبت این سم در سال ۱۳۸۰ بوده است. ترکیبات مشتق شده از DDT (شامل DDE و DDD) همچنان در رسوبات و گردوغبار یافت می‌شوند که نشان‌دهنده پایداری بالای آن در محیط زیست است. مطالعه حاضر به بررسی غلظت آلاینده‌های آلی کلره و فلزات سنگین در محدوده تالاب کافت پرداخته تا آگاهی لازم در خصوص شرایط محیطی و آلودگی این ناحیه و ارتباطات آن مشخص گردد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کافت با مساحت ۵۶۰۰ کیلومتر مربع و با مختصات جغرافیایی از ۵۱ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۷.۲۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۴.۴۹ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی در استان فارس واقع شده است (شکل ۱). حوضه به شکل باریک در امتداد جریان آبراهه‌ی اصلی با کاهش تدریجی شیب از شمال غربی به جنوب شرقی قرار گرفته است. میانگین ارتفاع منطقه از ۲۳۰۰ تا ۳۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و با میانگین ۲۴۹۰ متر است. فعالیت‌های کشاورزی اصلی‌ترین فعالیت انسانی در منطقه مورد مطالعه است حال آن که سکونتگاه‌های انسانی قابل توجهی در منطقه وجود نداشته و عمدتاً از مراکز کوچک روستایی تشکیل شده‌اند که بخش بزرگی از آن‌ها به دلیل خشک شدن تالاب کافت از منطقه مهاجرت کرده‌اند. دریاچه کافت یا شادکام از تالاب‌های آب شیرین استان در حوزه آبریز رودخانه سیوند و در مسیر همین رودخانه در نواحی سرآب در ۱۱۰ کیلومتری شمال شیراز قرار دارد (شکل ۱). این دریاچه حدود ۲۵ میلیون متر مکعب حجم دارد و مساحت آن در حدود ۴۸۰۰ کیلومتر و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۳۰۷ متر است. حداکثر عرض دریاچه ۴/۵ کیلومتر است. عمیق‌ترین قسمت دریاچه دارای عمق ۳/۵ متر در وضعیت پرآبی است. منبع تامین آب تالاب کافت، رودخانه شادکام با دبی متوسط ۱ متر مکعب و آهکی است. کیفیت آب دریاچه در پایان دوره بارندگی بهترین و در آغاز بارندگی نامناسب‌ترین است. گونه‌های شاخص تالاب عبارتند از: تنجه، چنگر معمولی، اردک سرحنایی، خوتکا، اردک سرسبز، غاز خاکستری،

عقاب دم سفید و انواع پرندگان کنار آبی است. اراضی حاشیه تالاب محل زمستان‌گزینی جمعیت‌های درنا است. تالاب کافت در سال‌های اخیر بطور کامل خشک بود که با بارندگی ۵۸۰ میلی متری زمستان گذشته نزدیک به ۳۰٪ آن آبیگری شد (Taghvaei & Kiumarsi, 2015).

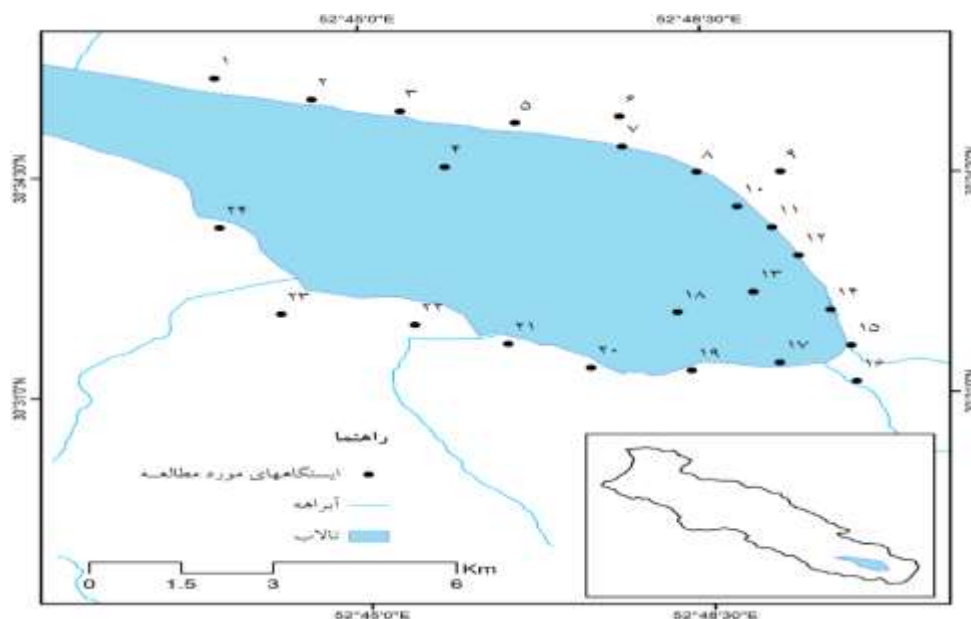


شکل ۱: حوضه آبخیز تالاب کافت

Fig. 1- Kaffar Wetland Catchment Area

### جانمایی نقاط و برداشت نمونه

برای جانمایی نقاط برداشت نمونه گردوغبار، از روش نمونه برداری سیستماتیک استفاده شد. برای این منظور، محدوده تالاب با توجه به مساحت آن به ۲۴ بلوک تقسیم شد (شکل ۲). به منظور جمع‌آوری و اندازه‌گیری گردوغبار، از تله رسوب گیر پیشنهادی قبلاً توسط Hojati و همکاران (۲۰۲۰) استفاده شده بود، برای جمع‌آوری ذرات معلق، استفاده شد. این تله، یک صفحه‌ای شیشه‌ای یک متر مربعی است که یک مش پلاستیک با منافذ ۲\*۲ میلی متر به وسیله داکت بر روی صفحه به منظور به دام انداختن ذرات معلق روی آن قرار گرفته است. در فصول با بارندگی جهت جلوگیری از شستشوی ذرات فرونشست روی شیشه، یک طرفه لبه شیشه ابر و سه طرف دیگر داکت چسبانده شد. با توجه به جهت بادهای غالب در منطقه، ۲۴ نقطه انتخاب و تله‌ها بر روی پشت بام ساختمان‌های زمین‌های کشاورزی اطراف تالاب در ارتفاع ۳ متری از سطح زمین نصب شدند (شکل ۳). به منظور بررسی توزیع زمانی تغییرات خصوصیات گردوغبار، نمونه برداری به صورت فصلی در انتهای فصل پاییز و بهار انجام شد. ذرات رسوب کرده بر روی تله‌ها در فواصل زمانی مشخص با استفاده از کاردک جمع‌آوری و درون پلاستیک‌های زیپ‌دار، به آزمایشگاه انتقال یافت. جهت بادهای غالب منطقه در طول نمونه برداری در منطقه از سازمان هواشناسی شهرستان اقلید دریافت گردید (شکل ۴).



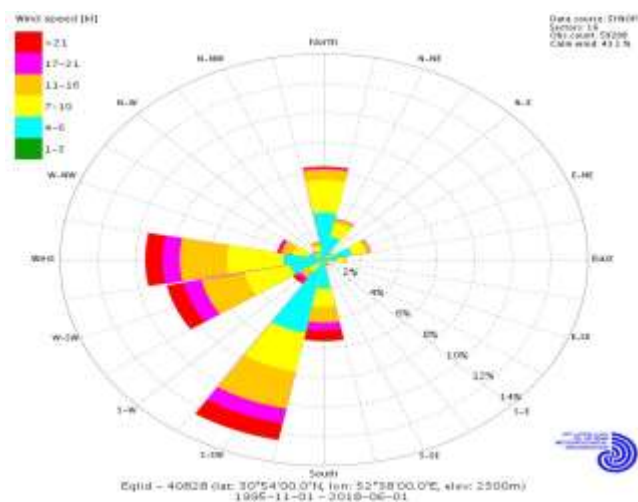
شکل ۲- جانمایی نقاط برداشت نمونه

Fig. 2- Spatial Distribution of Sampling Locations



شکل ۳- تله رسوب گیر نصب شده در نقاط نمونه برداری

Fig. 3 – Sediment trap installed at the sampling points



شکل ۴- جهت بادهای غالب منطقه

Fig. 4 – Direction of the Dominant Winds of the Region

## اندازه گیری فلزات سنگین

برای محاسبه غلظت فلزات سنگین، نمونه‌های خاک در دمای محیط شد تا رطوبت آن‌ها از بین برود. سپس نمونه‌ها به صورت پودری همگن در آمده و از الک با مش ۶۳ میکرون عبور داده شد، تا برای هضم اسیدی آماده شوند. برای هر نمونه، حدود ۰/۵ گرم از خاک توزین شده و با مخلوطی از ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ، ۳ میلی‌لیتر اسید هیدروفلوریک و ۱ تا ۲ میلی‌لیتر اسید پرکلریک یا اسید کلریدریک ترکیب شده است. سپس نمونه‌ها در رآکتور ماکروویو در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۰ بار قرار داده و به مدت ۶۰ دقیقه هضم گردید. پس از اتمام هضم، نمونه‌ها خنک شده و محلول از طریق فیلتر عبور داده شد، تا ذرات جامد جدا شوند. سپس محلول فیلتر شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله نهایی، فلزات سنگین موجود در محلول نمونه‌ها شامل کروم (Cr)، نیکل (Ni)، منگنز (Mn)، سرب (Pb)، روی (Zn)، کبالت (Co)، آرسنیک (As) و کادمیوم (Cd) با استفاده از دستگاه MP شناسایی و غلظت آن‌ها را اندازه‌گیری شد. کنترل کیفیت نیز با استفاده از نمونه‌های شاهد و استانداردهای مرجع انجام شد تا دقت نتایج تضمین گردد.

## محاسبه نرخ فرونشست گردوغبار

نرخ فرونشست گردوغبار بر اساس واحد جرم بر واحد سطح در واحد زمان تعیین گردیده است. نرخ فرونشست گردوغبار طبق رابطه زیر از تقسیم جرم گردوغبار به مساحت تله در طول دوره نمونه برداری بر حسب گرم بر مترمربع بر ماه ( $\text{g/m}^2 \cdot \text{m}$ ) محاسبه شد (Jaffari & Hassanzadeh, 2019).

$$\text{معادله ۱} \quad \text{نرخ فرونشست گرد و غبار اتمسفری} = \frac{\text{جرم گرد و غبار}}{\text{دوره نمونه برداری} * \text{مساحت تله}}$$

## شناسایی غلظت آلاینده‌های آلی کلره

برای شناسایی غلظت آلاینده‌های آلی کلره در مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها، گردوغبار و خاک جمع‌آوری شده ابتدا خشک شدند. برای این منظور، نمونه‌ها در دمای اتاق و به دور از نور مستقیم خورشید قرار داده شدند تا از تغییرات شیمیایی احتمالی جلوگیری شود. سپس نمونه‌ها الک شدند (با مش ۲ میلی‌متر) تا ذرات درشت جدا شوند. برای استخراج آلاینده‌ها، از روش استخراج با حلال استفاده شد. در این مرحله، نمونه‌های آماده‌شده با استفاده از مخلوط استاندارد هگزان و استون با کمک اولتراسونیک تحت فرآیند استخراج قرار گرفتند. پس از استخراج، تخلیص نمونه‌ها انجام گرفت تا ناخالصی‌ها حذف شوند.

این مرحله شامل عبور محلول‌های استخراج‌شده از ستون‌های پر شده با جاذب‌های خاص مانند سیلیکا ژل یا فلورسیل بود تا این جاذب‌ها آلاینده‌های مورد نظر را جدا کرده و امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر را فراهم کنند. در مرحله تجزیه و تحلیل شیمیایی، غلظت آلاینده‌ها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) اندازه‌گیری شد. در نهایت، آلاینده‌های مورد مطالعه شامل ترکیبات ارگانوکلرینه نظیر  $\beta\text{-HCH}$ ،  $\alpha\text{-HCH}$ ،  $\gamma\text{-HCH}$ ،  $p,p'\text{-DDD}$ ،  $p,p'\text{-DDE}$ ،  $p,p'\text{-DDT}$ ، دیلدرین، هپتاکلر، هپتاکلر اپوکسید و آندوسولفان بودند. برای شناسایی و کمیت‌سنجی این ترکیبات، از استانداردهای داخلی و خارجی استفاده شد و دقت و صحت داده‌ها با انجام نمونه‌های شاهد تضمین گردید.

کالیبراسیون دستگاه‌ها از جمله کروماتوگرافی گازی طیف‌سنج جرمی (GC-MS) و دستگاه تفرق اشعه ایکس (XRD) پیش از هر بار استفاده با استفاده از استانداردهای مرجع بین‌المللی انجام شده است. همچنین، به منظور بررسی دقت داده‌ها از نمونه‌های شاهد (بلانک) و نمونه‌های تکراری استفاده شد. دلیل انتخاب GC-MS، دقت بالا و توانایی آن در شناسایی ترکیبات آلی در مقادیر بسیار کم است. در

مورد عناصر فلزی نیز روش طیف‌سنجی جذب اتمی به دلیل دقت بالا، حساسیت مناسب، و قابلیت تشخیص هم زمان چند عنصر انتخاب شد.

## نتایج

### مقادیر نرخ فرونشست گردوغبار

جدول (۱) نشان دهنده وزن گردوغبار جمع‌آوری شده در ۲۴ تله اطراف تالاب خشک‌شده کافت‌ر به صورت وزنی (گرم) و نرخ فرونشست (گرم بر مترمربع در ماه) در دو فصل پاییز و بهار است. در بهار، فعالیت‌های کشاورزی بیشتر و گردوغبار فصلی شدیدتر است. در پاییز، ته‌نشینی رسوبات و کاهش بار آلودگی مشاهده می‌شود. بنابراین، این دو فصل بازه‌های مناسبی برای تحلیل پویایی آلودگی هستند در کل، بیشترین مجموع وزن گردوغبار جمع‌آوری شده در ایستگاه ۲۲ با ۸/۳ گرم و کمترین مقدار در ایستگاه ۱۵ با ۴/۲ گرم ثبت شده است. این امر نشان‌دهنده تفاوت‌های محلی در میزان گردوغبار ته‌نشین شده است. به طور مشابه، نرخ فرونشست نیز بین ایستگاه‌ها و فصل‌ها متفاوت است و بالاترین مقدار در پاییز مشاهده می‌شود.

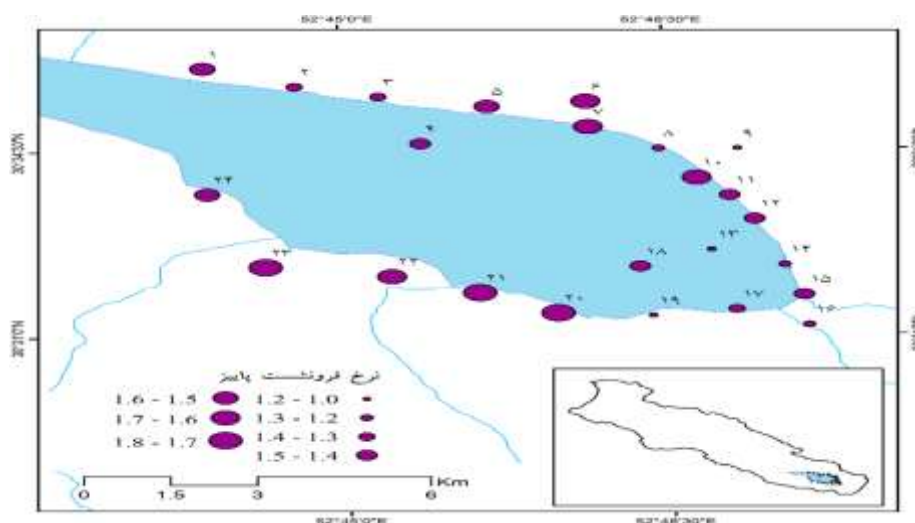
جدول ۱- وزن گردوغبار تجمع یافته در فصل پاییز و بهار و نرخ فرونشست به تفکیک ایستگاه

Table 1 – Weight of accumulated dust and its deposition rate for the autumn and spring seasons, separated by station

| ایستگاه | وزن نمونه (g) |      | مجموع | فرونشست (m <sup>2</sup> g/m) |      |
|---------|---------------|------|-------|------------------------------|------|
|         | پاییز         | بهار |       | پاییز                        | بهار |
| ۱       | ۴/۷           | ۲/۱  | ۶/۸   | ۱/۵۷                         | ۰/۷۰ |
| ۲       | ۳/۸           | ۳/۰  | ۶/۸   | ۱/۲۷                         | ۱/۰۰ |
| ۳       | ۴/۱           | ۲/۲  | ۶/۳   | ۱/۳۷                         | ۰/۷۳ |
| ۴       | ۴/۳           | ۱/۲  | ۵/۵   | ۱/۴۳                         | ۰/۴۰ |
| ۵       | ۴/۱           | ۲/۵  | ۶/۶   | ۱/۳۷                         | ۰/۸۳ |
| ۶       | ۴/۴           | ۲/۵  | ۶/۹   | ۱/۴۷                         | ۰/۸۳ |
| ۷       | ۴/۶           | ۲/۸  | ۷/۴   | ۱/۵۳                         | ۰/۹۳ |
| ۸       | ۴/۹           | ۲/۶  | ۷/۵   | ۱/۶۳                         | ۰/۸۷ |
| ۹       | ۴/۹           | ۳/۲  | ۸/۱   | ۱/۶۳                         | ۱/۰۷ |
| ۱۰      | ۳/۹           | ۳/۴  | ۷/۳   | ۱/۳۰                         | ۱/۱۳ |
| ۱۱      | ۳/۶           | ۳/۲  | ۶/۸   | ۱/۲۰                         | ۱/۰۷ |
| ۱۲      | ۴/۹           | ۳/۰  | ۷/۹   | ۱/۶۳                         | ۱/۰۰ |
| ۱۳      | ۴/۴           | ۲/۴  | ۶/۸   | ۱/۴۷                         | ۰/۸۰ |
| ۱۴      | ۴/۵           | ۲/۹  | ۷/۴   | ۱/۵۰                         | ۰/۹۷ |
| ۱۵      | ۳/۲           | ۱/۰  | ۴/۲   | ۱/۰۷                         | ۰/۳۳ |
| ۱۶      | ۳/۸           | ۱/۲  | ۵/۰   | ۱/۲۷                         | ۰/۴۰ |
| ۱۷      | ۴/۴           | ۱/۵  | ۵/۹   | ۱/۴۷                         | ۰/۵۰ |
| ۱۸      | ۴/۰           | ۱/۹  | ۵/۹   | ۱/۳۳                         | ۰/۶۳ |
| ۱۹      | ۳/۵           | ۱/۸  | ۵/۳   | ۱/۱۷                         | ۰/۶۰ |
| ۲۰      | ۵/۴           | ۱/۲  | ۶/۶   | ۱/۸۰                         | ۰/۴۰ |

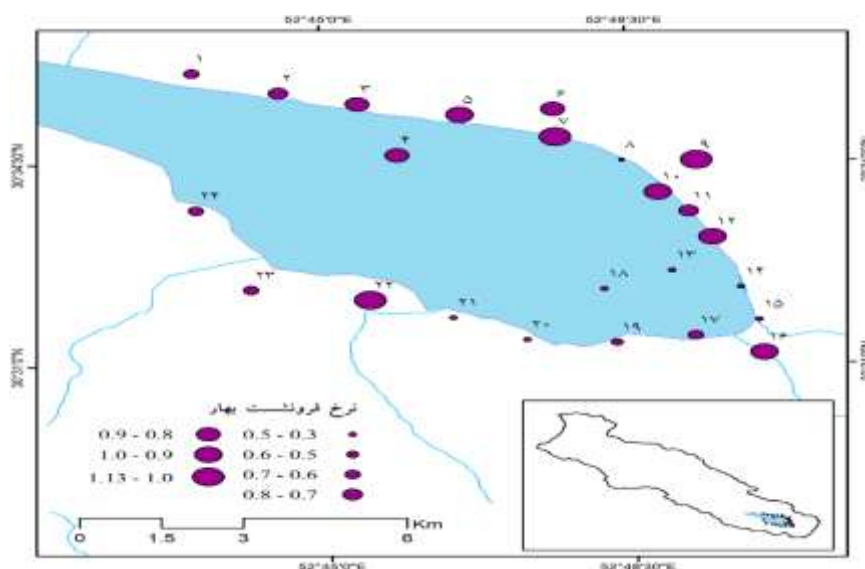
|      |      |     |     |     |    |
|------|------|-----|-----|-----|----|
| ۰/۴۷ | ۱/۷۷ | ۶/۷ | ۱/۴ | ۵/۳ | ۲۱ |
| ۱/۰۷ | ۱/۷۰ | ۸/۳ | ۳/۲ | ۵/۱ | ۲۲ |
| ۰/۶۷ | ۱/۷۳ | ۷/۲ | ۲/۰ | ۵/۲ | ۲۳ |
| ۰/۶۷ | ۱/۶۰ | ۶/۸ | ۲/۰ | ۴/۸ | ۲۴ |

همان طور که در **Error! Reference source not found.** و **Error! Reference source not found.** نشان داده شد ه است، بیشترین مقدار تجمع و فرونشست گردوغبار در بخش شمالی و جنوبی تالاب مشاهده شده است، حال آن که در قسمت‌های پایین دست تالاب (ایستگاه‌های ۱۳ تا ۲۱)، نرخ فرونشست در حداقل مقدار خود بوده است.



شکل ۵- نرخ فرونشست گردوغبار تجمع یافته در فصل پاییز

Fig. 5 – The Deposition Flux of Accumulated Dust during the Autumn Season



شکل ۶- نرخ فرونشست گردوغبار تجمع یافته در فصل پاییز

Fig. 6- Accumulative Dust Deposition Rate During the Autumn Season

## غلظت فلزات سنگین در گردوغبار

غلظت فلزات سنگین در گردوغبار تالاب (جدول ۲ و **Error! Reference source not found.**) نشان‌دهنده تفاوت‌های فصلی و مکانی است که می‌تواند تحت تأثیر عوامل محیطی و انسانی باشد. در مقایسه‌ای کلی، کروم در بیشتر ایستگاه‌ها در محدوده ۵۰ تا ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باقی مانده است. در فصل بهار، غلظت کروم در ایستگاه‌هایی مانند ایستگاه ۱۱ به ۷۶/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسیده است که نسبت به پاییز افزایش چشمگیری نشان می‌دهد. نیکل نیز در فصل بهار غلظت‌های بالاتری را نسبت به پاییز نشان می‌دهد. در ایستگاه ۲، غلظت نیکل از ۱۴/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز به ۱۷/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهار افزایش یافته است. ایستگاه ۱۶ نیز غلظت قابل توجهی در بهار (۱۶/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به پاییز (۱۳/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نشان داد. همچنین، منگنز در فصل بهار به‌طور کلی غلظت بیشتری نشان داد، به‌ویژه در ایستگاه ۹ که غلظت آن از ۴۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز به ۷۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهار افزایش یافته است.

بیشترین غلظت سرب در ایستگاه ۲ در بهار، غلظت ۲۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان داد. روی نیز در فصل بهار افزایش قابل توجهی دارد. غلظت کبالت تغییرات کمتری نشان می‌دهد و در محدوده ۶ تا ۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار دارد. با این حال، در ایستگاه ۵، غلظت کبالت از ۸/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز به ۸/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهار افزایش یافته است. آرسنیک نیز در بهار مقادیر بالاتری دارد. برای مثال، غلظت آرسنیک در ایستگاه ۸ از ۵/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز به ۶/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهار رسیده است. کادمیوم در بین فلزات سنگین کمترین تغییرات فصلی را نشان داد و معمولاً کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم باقی می‌ماند، اگرچه در ایستگاه ۳، غلظت آن از ۰/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز به ۰/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهار افزایش یافته است. غلظت آهن در هر دو فصل تقریباً پایدار است و تغییرات کمی نشان می‌دهد. به عنوان مثال، غلظت آهن در ایستگاه ۱ از ۱۰۶۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز به ۱۱۳۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بهار رسیده است. این ثبات نشان می‌دهد که آهن کمتر تحت تأثیر تغییرات فصلی قرار می‌گیرد. در مجموع، فصل بهار در مقایسه با پاییز غلظت‌های بالاتری از فلزات سنگین مانند نیکل، منگنز و روی دارد، در حالی که فلزاتی مانند آهن و کادمیوم تغییرات کمتری را نشان می‌دهند که این الگوها احتمالاً تحت تأثیر تغییرات فصلی در منابع آلاینده و فرآیندهای محیط زیستی هستند.

یکی از قوی‌ترین همبستگی‌ها بین فلزات سنگین در گردوغبار تالاب خشک‌شده در دو فصل پاییز ( **Error! Reference source not found.**) و بهار (جدول ۵) مربوط به کروم و روی در هر دو فصل است (پاییز  $r = 0/495$ ، بهار  $r = 0/496$ ) که نشان‌دهنده منشأ یا فرآیندهای مشترک برای این دو عنصر است. سرب و کبالت نیز همبستگی قابل توجهی در هر دو فصل نشان دادند (پاییز  $r = 0/507$ ، بهار  $r = 0/506$ ). از سوی دیگر، روی و کادمیوم همبستگی منفی نسبتاً قوی‌ای در هر دو فصل نشان دادند (پاییز  $r = 0/503$ ، بهار  $r = 0/487$ ). برای نیکل و کبالت، و همچنین آرسنیک و کروم در هر دو فصل همبستگی مثبتی مشاهده شد. همبستگی بین فصول فلزات مشابه نیز در تمام موارد، مثبت و معنی‌دار بود ( **Error! Reference source not found.**) به این معنی که تغییرات فصلی ناچیزی در غلظت این ذرات در نمونه‌های گردوغبار منطقه وجود دارد.

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گردوغبار فصل پاییز  
Table 2 – Concentration of Heavy Metals (mg/kg) in Autumn Dust Samples

| ایستگاه | Cr    | Ni    | Mn     | Pb    | Zn     | Co   | As   | Cd   | Fe       |
|---------|-------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|----------|
| ۱       | ۵۹/۲۶ | ۹/۰۶  | ۶۳۱/۱۳ | ۲۳/۶۲ | ۹۸/۸۳  | ۴/۳۲ | ۴/۲۵ | ۰/۷۸ | ۱۰۶۱۸/۹۵ |
| ۲       | ۸۲/۸۲ | ۱۴/۸۵ | ۴۱۸/۳۱ | ۲۷/۱  | ۱۴۹/۵  | ۶/۳۴ | ۵/۷۳ | ۰/۵۵ | ۱۲۲۷۳/۲۲ |
| ۳       | ۵۲/۷۸ | ۱۳/۵۵ | ۶۸۴/۰۸ | ۳۴/۹  | ۱۵۵/۰۷ | ۹    | ۴/۵۳ | ۰/۶۲ | ۱۲۶۶۴/۸۳ |
| ۴       | ۴۹/۷۱ | ۱۳/۵۹ | ۴۶۷/۳۸ | ۲۴/۸۷ | ۱۱۲/۳۲ | ۶/۲  | ۶/۴۶ | ۰/۶۲ | ۱۲۱۶۴/۸۵ |
| ۵       | ۶۵/۷۱ | ۱۶/۵۷ | ۵۳۰/۰۷ | ۳۱/۰۹ | ۱۳۳    | ۸/۳۳ | ۶/۷۹ | ۰/۵۲ | ۱۰۸۸۲/۷۶ |
| ۶       | ۸۵/۲۸ | ۱۴/۱۲ | ۶۶۷/۱۷ | ۲۸/۶۷ | ۱۵۶/۹۲ | ۷/۱۹ | ۵/۴۶ | ۰/۵۳ | ۱۰۷۳۲/۸۵ |

|    |       |       |        |       |        |      |      |      |          |
|----|-------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|----------|
| ۷  | ۷۴/۰۴ | ۱۴/۵۹ | ۶۶۱/۷۲ | ۲۵/۸  | ۱۱۳/۱۶ | ۷/۶۵ | ۵/۶  | ۰/۶۳ | ۱۳۲۷۵/۴۹ |
| ۸  | ۶۷/۸۸ | ۱۹/۶۵ | ۳۶۶/۲۵ | ۲۹/۵۳ | ۱۱۲/۸۳ | ۸/۵۲ | ۵/۸۶ | ۰/۶۹ | ۱۱۵۴۹/۴۹ |
| ۹  | ۵۹/۹۳ | ۲۰/۹۷ | ۴۶۹/۷۱ | ۲۸/۲۹ | ۱۲۲/۶۳ | ۷/۶۶ | ۵/۳۱ | ۰/۸۳ | ۱۱۸۱۷/۵۲ |
| ۱۰ | ۵۹/۰۳ | ۱۵/۷۸ | ۶۰۸/۹۸ | ۳۲/۴۲ | ۹۰/۸۸  | ۷/۶۳ | ۴/۳۳ | ۰/۷۸ | ۱۱۴۰۶/۴۳ |
| ۱۱ | ۴۸/۳۱ | ۸/۸۶  | ۴۳۹/۰۱ | ۲۷    | ۱۱۳/۶  | ۶/۳۳ | ۶/۳۴ | ۰/۸۸ | ۱۲۰۷۲/۲۵ |
| ۱۲ | ۵۰/۷۴ | ۱۵/۲۹ | ۳۹۴/۹۲ | ۲۳/۰۴ | ۱۲۸/۴۴ | ۶/۸۷ | ۳/۶۵ | ۰/۶۴ | ۱۱۹۹۴/۵۶ |
| ۱۳ | ۶۹/۵۹ | ۱۰/۱۶ | ۴۸۰/۸۳ | ۲۷/۳۸ | ۱۵۶/۵۷ | ۷/۶۳ | ۶/۱  | ۰/۵۱ | ۱۱۳۲۸/۰۹ |
| ۱۴ | ۵۳/۶۵ | ۱۰/۱۲ | ۴۷۷/۶۳ | ۲۴/۸۹ | ۱۲۷/۲۴ | ۷/۷۵ | ۵/۱۹ | ۰/۵۸ | ۱۰۹۹۵/۵۹ |
| ۱۵ | ۶۶/۲۵ | ۱۲/۸۴ | ۵۵۹/۴۷ | ۲۸/۳۲ | ۱۵۵/۲۱ | ۷/۴  | ۵/۲۸ | ۰/۸  | ۱۰۴۲۸/۵۹ |
| ۱۶ | ۴۷/۶۳ | ۱۰/۴۴ | ۵۸۱/۱۶ | ۳۲/۰۷ | ۱۰۸/۰۹ | ۷/۴۵ | ۴/۸۹ | ۰/۸۷ | ۱۲۳۷۳/۷  |
| ۱۷ | ۵۸/۳۳ | ۱۶/۱  | ۴۵۲/۸۴ | ۲۸/۲۸ | ۱۴۳/۳۵ | ۶/۲۸ | ۶/۲۲ | ۰/۵۲ | ۱۱۸۶۷    |
| ۱۸ | ۵۷/۳۸ | ۹/۸۳  | ۴۳۳/۵۷ | ۲۹/۱۳ | ۹۳/۳۳  | ۶/۷۶ | ۴/۸۳ | ۰/۸  | ۹۷۷۴/۹   |
| ۱۹ | ۶۰/۴۲ | ۱۲/۵۲ | ۴۸۶/۴۷ | ۲۹/۸۶ | ۱۱۶/۵۲ | ۶/۶۲ | ۴/۲  | ۰/۵۲ | ۱۰۸۰۷/۳۲ |
| ۲۰ | ۵۱/۲  | ۱۳/۱۴ | ۳۸۵/۸۸ | ۲۴/۹  | ۱۱۶/۲۳ | ۷/۲۱ | ۴/۲۹ | ۰/۴۸ | ۱۰۲۱۶/۳۶ |
| ۲۱ | ۴۰/۷۸ | ۱۱/۵۶ | ۴۳۶/۹۶ | ۲۸/۶  | ۹۷/۲۸  | ۶/۶۴ | ۴/۳۳ | ۰/۷۲ | ۱۰۹۷۲/۸۸ |
| ۲۲ | ۵۶/۶۶ | ۸/۰۶  | ۴۶۸/۷  | ۲۸/۵۲ | ۱۳۳/۰۴ | ۵/۹۳ | ۵/۳۸ | ۰/۴۲ | ۱۰۶۸۱/۶  |
| ۲۳ | ۶۵/۷۴ | ۱۶/۶۴ | ۵۹۶/۳۸ | ۲۸/۳۸ | ۱۳۱/۹۶ | ۶/۱۲ | ۵/۵۲ | ۰/۴۲ | ۱۰۹۵۵/۵۷ |
| ۲۴ | ۵۴/۱۴ | ۱۱/۱۱ | ۳۰۹/۶۲ | ۲۴/۷۹ | ۱۳۳/۳۷ | ۷/۳۸ | ۴/۵۸ | ۰/۵  | ۱۰۳۶۵/۱۷ |

جدول ۳- غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه های گردوغبار فصل بهار  
Table 3 - Concentration of Heavy Metals (mg/kg) in Spring Season Dust Samples

| ایستگاه | Cr    | Ni    | Mn     | Pb    | Zn     | Co   | As   | Cd   | Fe       |
|---------|-------|-------|--------|-------|--------|------|------|------|----------|
| ۱       | ۶۶/۴۶ | ۸/۵۷  | ۴۶۹/۷۷ | ۲۳/۷۹ | ۱۳۲/۳۴ | ۵/۰۷ | ۵/۴۸ | ۰/۶۶ | ۱۱۳۳۶/۵۵ |
| ۲       | ۶۷/۱۵ | ۱۷/۷۱ | ۴۱۹/۳۱ | ۳۳    | ۱۵۳/۴۳ | ۶/۰۴ | ۴/۳۲ | ۰/۸۵ | ۱۲۰۲۴/۲۹ |
| ۳       | ۵۸/۴۴ | ۱۷/۴۳ | ۵۸۴/۱۴ | ۳۵/۵۸ | ۱۵۴/۴۴ | ۸/۲۳ | ۵/۵۸ | ۰/۸۸ | ۱۱۹۶۱/۰۷ |
| ۴       | ۵۰/۰۹ | ۱۶/۲۴ | ۵۹۴/۷۹ | ۲۴/۴  | ۱۳۴/۹۱ | ۸/۷۱ | ۵/۲۶ | ۰/۷۷ | ۱۱۵۴۳/۹۸ |
| ۵       | ۶۴/۲۵ | ۱۲/۹۲ | ۵۹۶/۳۵ | ۳۱/۹۲ | ۱۶۰/۰۳ | ۸/۶۶ | ۵/۳۸ | ۰/۶۸ | ۱۲۵۱۶/۸۵ |
| ۶       | ۷۰/۰۴ | ۱۳/۷۹ | ۶۴۵/۶۸ | ۲۸/۹۵ | ۱۵۴/۰۴ | ۷/۹۱ | ۵/۱۸ | ۰/۸۲ | ۱۱۰۰۴/۶۴ |
| ۷       | ۵۸/۸۵ | ۱۵/۸۵ | ۶۴۳/۴۸ | ۲۸/۷  | ۱۵۴/۳۶ | ۸/۵۷ | ۶/۸  | ۰/۹۵ | ۱۱۳۹۲/۹۴ |
| ۸       | ۶۵/۷۴ | ۱۴/۹۲ | ۳۵۶/۹  | ۲۸/۵۵ | ۱۲۷/۵۶ | ۶/۲۹ | ۶/۹۶ | ۰/۴۹ | ۱۰۳۶۲/۱۸ |
| ۹       | ۶۶/۴۷ | ۱۵/۵۶ | ۷۲۹/۹  | ۳۱/۸۹ | ۹۴/۹۲  | ۷/۴۶ | ۶/۴۴ | ۰/۷۷ | ۱۲۵۱۷/۹۴ |

|          |      |      |      |        |       |        |       |       |    |
|----------|------|------|------|--------|-------|--------|-------|-------|----|
| ۱۱۷۳۶/۷۱ | ۰/۷۲ | ۳/۹۹ | ۷/۷۴ | ۱۰۷/۳۸ | ۲۹/۸۶ | ۴۲۶/۴۶ | ۱۰/۳۹ | ۶۱/۰۳ | ۱۰ |
| ۱۱۴۷۲/۷  | ۰/۷۸ | ۳/۸۶ | ۸/۳۹ | ۱۳۰/۹۶ | ۲۹/۳۴ | ۴۷۶/۵۵ | ۱۵/۹۴ | ۷۶/۵۲ | ۱۱ |
| ۱۱۲۶۸/۴۴ | ۰/۷  | ۵/۰۹ | ۵/۷۶ | ۱۰۹/۳  | ۲۶/۶۵ | ۶۰۱/۱۵ | ۷/۶۴  | ۴۷/۳۷ | ۱۲ |
| ۱۲۸۲۵/۱۲ | ۰/۷۷ | ۶/۴۵ | ۸/۱۵ | ۱۴۱/۷۸ | ۲۵/۳۶ | ۴۹۵/۰۵ | ۱۰/۷۱ | ۵۴/۴۹ | ۱۳ |
| ۱۲۰۶۷/۸۷ | ۰/۵۶ | ۴/۹۴ | ۷/۱۵ | ۱۱۶/۵۵ | ۲۷/۰۵ | ۵۶۰/۷۷ | ۱۴/۳۱ | ۷۷/۴۱ | ۱۴ |
| ۱۱۷۱۹/۴  | ۰/۵۷ | ۳/۸۱ | ۸/۹۳ | ۱۱۲/۲  | ۲۵/۰۶ | ۵۱۹/۴۴ | ۱۳/۳۱ | ۵۴/۸۴ | ۱۵ |
| ۱۰۲۸۱/۳۵ | ۰/۶۱ | ۵/۷۳ | ۸/۵۷ | ۱۳۰/۹۱ | ۳۲/۰۹ | ۵۲۰/۱۱ | ۱۶/۸۵ | ۵۲/۰۳ | ۱۶ |
| ۱۰۵۷۲/۶۶ | ۰/۷۹ | ۵/۱۷ | ۶/۲۶ | ۱۴۳/۰۹ | ۲۵/۳۷ | ۶۴۶/۸۵ | ۹/۲۷  | ۴۸/۳۲ | ۱۷ |
| ۱۱۸۵۰/۷۱ | ۰/۷۱ | ۵/۸۵ | ۶/۰۳ | ۱۴۱/۲۸ | ۲۹/۶۷ | ۳۶۱/۴۳ | ۱۵/۷  | ۶۸/۴۶ | ۱۸ |
| ۱۱۶۸۶/۵۸ | ۰/۵۱ | ۵/۸۶ | ۶/۲  | ۱۱۴/۲۹ | ۳۲/۳۳ | ۳۷۱/۶۵ | ۹/۰۲  | ۵۷/۷۴ | ۱۹ |
| ۹۸۵۱/۵۶  | ۰/۶۲ | ۶/۲۵ | ۷/۱۲ | ۹۰/۲   | ۲۸/۴  | ۴۰۵/۸۶ | ۱۶/۶۹ | ۴۶/۱  | ۲۰ |
| ۱۰۳۶۶/۰۴ | ۰/۴۵ | ۵/۷۹ | ۴/۴۸ | ۱۳۵/۲۸ | ۳۱/۴۷ | ۵۴۲/۶۶ | ۱۴/۴۲ | ۵۲/۸۹ | ۲۱ |
| ۱۱۷۶۰/۰۶ | ۰/۶۲ | ۶/۱۷ | ۷/۶۷ | ۱۳۸/۳۲ | ۲۴/۶۶ | ۴۶۳/۶۷ | ۹/۵۶  | ۴۳/۲۶ | ۲۲ |
| ۱۲۴۴۰/۳۴ | ۰/۷  | ۵/۷  | ۶/۲۷ | ۱۴۶/۶۹ | ۲۷/۱۱ | ۴۵۳/۷  | ۸/۵۴  | ۷۳/۲۲ | ۲۳ |
| ۱۱۳۳۶/۵۵ | ۰/۶۶ | ۵/۴۸ | ۵/۰۷ | ۱۳۲/۳۴ | ۲۳/۷۹ | ۴۶۹/۷۷ | ۸/۵۷  | ۶۶/۴۶ | ۲۴ |

جدول ۴- همبستگی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گردوغبار فصل پاییز  
Table 4 - Correlation of Heavy Metal Concentrations (mg/kg) in Autumn Dust Samples

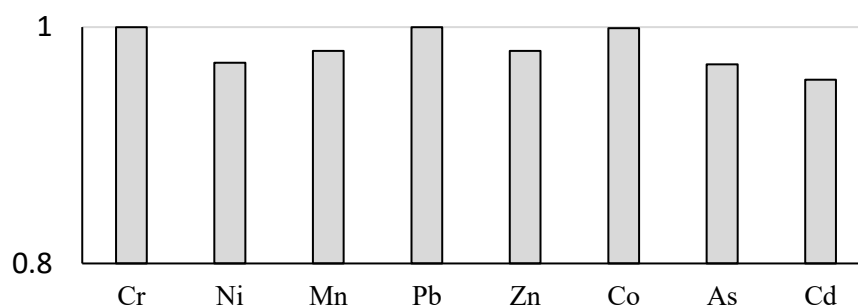
| همبستگی | Cr     | Ni    | Mn     | Pb     | Zn     | Co    | As    | Cd     | Fe    |
|---------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
| Cr      | ۱/۰۰۰  | ۰/۳۳۹ | ۰/۳۰۷  | ۰/۰۴۴  | ۰/۴۹۵* | ۰/۰۹۸ | ۰/۳۵۸ | ۰/۳۰۳  | ۰/۰۴۲ |
| Ni      | ۰/۳۳۹  | ۱/۰۰۰ | ۰/۰۰۸  | ۰/۱۹۷  | ۰/۱۱۱  | ۰/۴۰۴ | ۰/۱۸۴ | ۰/۰۴۵  | ۰/۲۹۶ |
| Mn      | ۰/۳۰۷  | ۰/۰۰۸ | ۱/۰۰۰  | ۰/۴۱۷  | ۰/۱۰۸  | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۰۸ | ۰/۱۲۳  | ۰/۲۶۴ |
| Pb      | ۰/۰۴۴  | ۰/۱۹۷ | ۰/۴۱۷* | ۱/۰۰۰  | ۰/۰۶۹  | ۰/۵۰۷ | ۰/۰۶۹ | ۰/۱۵۲  | ۰/۱۳۶ |
| Zn      | ۰/۴۹۵* | ۰/۱۱۱ | ۰/۱۰۸  | ۰/۰۶۹  | ۱/۰۰۰  | ۰/۲۵۷ | ۰/۳۲۱ | ۰/۵۰۳* | ۰/۰۸۴ |
| Co      | ۰/۰۹۸  | ۰/۴۰۴ | ۰/۰۵۸  | ۰/۵۰۷* | ۰/۲۵۷  | ۱/۰۰۰ | ۰/۰۹۶ | ۰/۰۱۸  | ۰/۲۳۱ |
| As      | ۰/۳۵۸  | ۰/۱۸۴ | ۰/۰۰۸  | ۰/۰۶۹  | ۰/۳۲۱  | ۰/۰۹۶ | ۱/۰۰۰ | ۰/۱۴۲  | ۰/۲۴۷ |
| Cd      | ۰/۳۰۳  | ۰/۰۴۵ | ۰/۱۲۳  | ۰/۱۵۲  | ۰/۵۰۳* | ۰/۰۱۸ | ۰/۱۴۲ | ۱/۰۰۰  | ۰/۱۸۹ |
| Fe      | ۰/۰۴۲  | ۰/۲۹۶ | ۰/۲۶۴  | ۰/۱۳۶  | ۰/۰۸۴  | ۰/۲۳۱ | ۰/۲۴۷ | ۰/۱۸۹  | ۱/۰۰۰ |

جدول ۵- همبستگی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گردوغبار فصل بهار

Table 5- Correlation of Heavy Metal Concentrations (mg/kg) in Spring Dust Samples

| همبستگی | Cr     | Ni    | Mn     | Pb     | Zn      | Co     | As     | Cd      | Fe    |
|---------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|
| Cr      | ۱/۰۰۰  | ۰/۳۳۸ | ۰/۳۰۸  | ۰/۴۱   | ۰/۴۹۶   | ۰/۰۹۶  | ۰/۳۶۱  | -۰/۳۰۳  | ۰/۰۴۳ |
| Ni      | ۰/۳۳۸  | ۱/۰۰۰ | ۰/۰۰۸  | ۰/۱۹۹  | ۰/۱۱۰   | ۰/۳۸۹  | ۰/۱۸۷  | ۰/۰۰۲   | ۰/۲۹۴ |
| Mn      | ۰/۳۰۸  | ۰/۰۰۸ | ۱/۰۰۰  | ۰/۴۱۴* | ۰/۱۰۸   | ۰/۰۶۸  | -۰/۰۰۴ | ۰/۰۸۳   | ۰/۲۶۴ |
| Pb      | ۰/۴۱   | ۰/۱۹۹ | ۰/۴۱۴* | ۱/۰۰۰  | ۰/۰۶۸   | ۰/۵۰۶* | ۰/۰۷۸  | ۰/۱۹۷   | ۰/۱۳۹ |
| Zn      | ۰/۴۹۶* | ۰/۱۱۰ | ۰/۱۰۸  | ۰/۰۶۸  | ۱/۰۰۰   | ۰/۲۵۴  | ۰/۳۲۲  | -۰/۴۸۷* | ۰/۰۸۵ |
| Co      | ۰/۰۹۶  | ۰/۳۸۹ | ۰/۰۶۸  | ۰/۵۰۶* | ۰/۲۵۴   | ۱/۰۰۰  | ۰/۱۲۲  | -۰/۰۴۳  | ۰/۲۲۳ |
| As      | ۰/۳۶۱  | ۰/۱۸۷ | -۰/۰۰۴ | ۰/۰۷۸  | ۰/۳۲۲   | ۰/۱۲۲  | ۱/۰۰۰  | -۰/۰۶۰  | ۰/۲۷۴ |
| Cd      | -۰/۳۰۳ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۸۳  | ۰/۱۹۷  | -۰/۴۸۷* | -۰/۰۴۳ | -۰/۰۶۰ | ۱/۰۰۰   | ۰/۲۳۵ |
| Fe      | ۰/۰۴۳  | ۰/۲۹۴ | ۰/۲۶۴  | ۰/۱۳۹  | ۰/۰۸۵   | ۰/۲۲۳  | ۰/۲۷۴  | ۰/۲۳۵   | ۱/۰۰۰ |

## ضریب همبستگی



شکل ۷- همبستگی غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گردوغبار بین پاییز و بهار

Fig. 7- Correlation of Heavy Metal Concentrations (mg/kg) in Dust Samples Between Autumn and Spring

## غلظت آلاینده‌های آلی کلره در گردوغبار

در این مطالعه، غلظت آلاینده‌های آلی کلره در دو ماتریس محیطی گردوغبار مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). نتایج به‌دست‌آمده از دو فصل بهار و پاییز، نشان داد که غلظت آلاینده‌های آلی کلره در گردوغبار به طور قابل توجهی بیشتر است. غلظت p,p'-DDT، نتایج نشان داد در گردوغبار، این غلظت‌ها به ترتیب ۸/۲۱۴ و ۶/۸۹۳ بدست آمدند. این روند کاهشی در سایر مشتقات DDT نظیر p,p'-DDE و p,p'-DDD نیز قابل مشاهده است. برای مثال، غلظت p,p'-DDE در گردوغبار بهار ۱۲/۵۷۸ نانوگرم بر گرم است که در پاییز به ۹/۴۵۲ کاهش یافته است.

برای ترکیبات دیگر نظیر  $\gamma$ -HCH،  $\alpha$ -HCH و  $\beta$ -HCH، الگوی مشابهی مشاهده شد. به عنوان نمونه، در نمونه‌های گردوغبار نیز غلظت‌های مشابهی به ترتیب برابر با ۵/۳۶۲ و ۳/۹۴۵ نانوگرم بر گرم ثبت شده است. این اختلاف در غلظت‌های بدست آمده نشان‌دهنده توانایی بیشتر گردوغبار تجمع یافته در تله‌ها در نگهداری و انتقال این ترکیبات است، که همچنین می‌تواند به دلیل ویژگی‌های سطحی و قابلیت جذب بالاتر آن باشد. علاوه بر این، ترکیباتی مانند آلدین، دیلدرین، و هپتاکلر نیز رفتار مشابهی را نشان می‌دهند. غلظت آلاینده آلدین در گردوغبار بهار ۲/۱۷۳ نانوگرم بر گرم بدست آمد، که در پاییز به ۱/۶۴۲ کاهش یافته است.

جدول ۶- غلظت آلاینده‌های آلی کلره گردوغبار در فصول مختلف

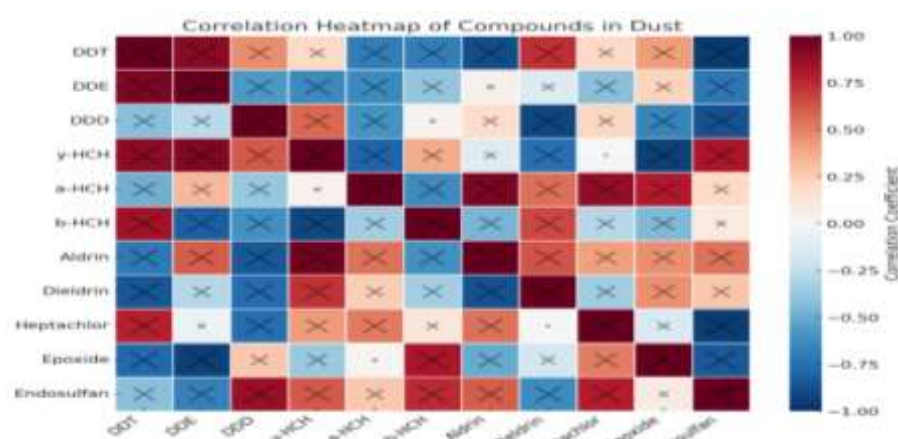
Table 6- Concentration of Organochlorine Pollutants in Dust During Different Seasons

| آلاینده آلی کلره | بهار   |              | پاییز |              |
|------------------|--------|--------------|-------|--------------|
|                  | متوسط  | انحراف معیار | متوسط | انحراف معیار |
| p,p'-DDT         | ۸/۲۱۴  | ۲/۱۳۶        | ۶/۸۹۳ | ۱/۸۹۴        |
| p,p'-DDE         | ۱۲/۵۷۸ | ۳/۲۴۸        | ۹/۴۵۲ | ۲/۳۱۷        |
| p,p'-DDD         | ۷/۱۲۴  | ۱/۸۷۲        | ۵/۳۲۴ | ۱/۴۲۵        |
| $\gamma$ -HCH    | ۵/۳۶۲  | ۱/۳۲۸        | ۳/۹۴۵ | ۱/۰۹۲        |
| $\alpha$ -HCH    | ۴/۲۱۷  | ۱/۰۵۴        | ۳/۱۲۴ | ۰/۸۴۲        |
| $\beta$ -HCH     | ۳/۵۲۸  | ۰/۹۸۷        | ۲/۸۹۱ | ۰/۷۲۱        |
| آلدین            | ۲/۱۷۳  | ۰/۸۳۴        | ۱/۶۴۲ | ۰/۶۱۲        |
| دیلدرین          | ۲/۹۸۴  | ۰/۹۶۷        | ۲/۲۱۷ | ۰/۷۸۴        |
| هپتاکلر          | ۲/۴۳۶  | ۰/۷۹۲        | ۱/۷۲۳ | ۰/۶۴۵        |
| هپتاکلر اپوکسید  | ۳/۵۶۲  | ۱/۰۸۴        | ۲/۶۷۱ | ۰/۹۳۲        |
| آندوسولفان       | ۴/۶۷۸  | ۱/۲۱۵        | ۳/۴۲۹ | ۱/۰۳۴        |

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی همبستگی غلظت این آلاینده‌ها در گردوغبار در شکل ۸ نشان داده شده است. به‌طور کلی، ترکیبات متابولیت DDT (شامل DDE و DDD) با یکدیگر همبستگی مثبت بالایی داشتند که این امر نشان‌دهنده تبدیل تدریجی DDT به محصولات فرعی آن است که در طی فرآیندهای زیستی و غیرزیستی رخ می‌دهد.

در مورد ترکیبات HCH مانند ( $\gamma$ -HCH،  $\alpha$ -HCH و  $\beta$ -HCH) همبستگی‌های متفاوتی مشاهده شد. به‌طور خاص،  $\alpha$ -HCH و  $\beta$ -HCH در هر دو ماتریس همبستگی مثبت متوسطی داشتند، اما  $\gamma$ -HCH همبستگی منفی ضعیفی با این ترکیبات نشان داد که این همبستگی ممکن است به تفاوت در پایداری و رفتار انتقال این ایزومرها در محیط مرتبط باشد. همچنین، همبستگی منفی میان  $\gamma$ -HCH و محصولات مشتق شده از DDT در رسوبات نیز قابل توجه است که نشان‌دهنده تفاوت بارز در منشأ و مسیرهای انتقال این ترکیبات آلاینده در محیط است.

برای آلدین و دی‌آلدین، همبستگی مثبت قابل توجهی در هر دو ماتریس مشاهده شد، که این امر به منشأ مشترک یا تبدیل آلدین به دی‌آلدین در محیط اشاره دارد. در مقابل، هپتاکلر و اپوکسید همبستگی ضعیفی با سایر ترکیبات نشان دادند که این امر می‌تواند به منشأ مستقل یا مسیرهای متفاوت تخریب آن‌ها مرتبط باشد. آندوسولفان نیز در هر دو ماتریس همبستگی متوسطی با محصولات تخریب DDT و ترکیبات HCH نشان دادند.



شکل ۸- همبستگی غلظت آلاینده‌های آلی کلره گردوغبار در فصول مختلف

Fig. 8- Correlation of Chlorinated Organic Pollutants' Concentrations in Dust During Different Seasons

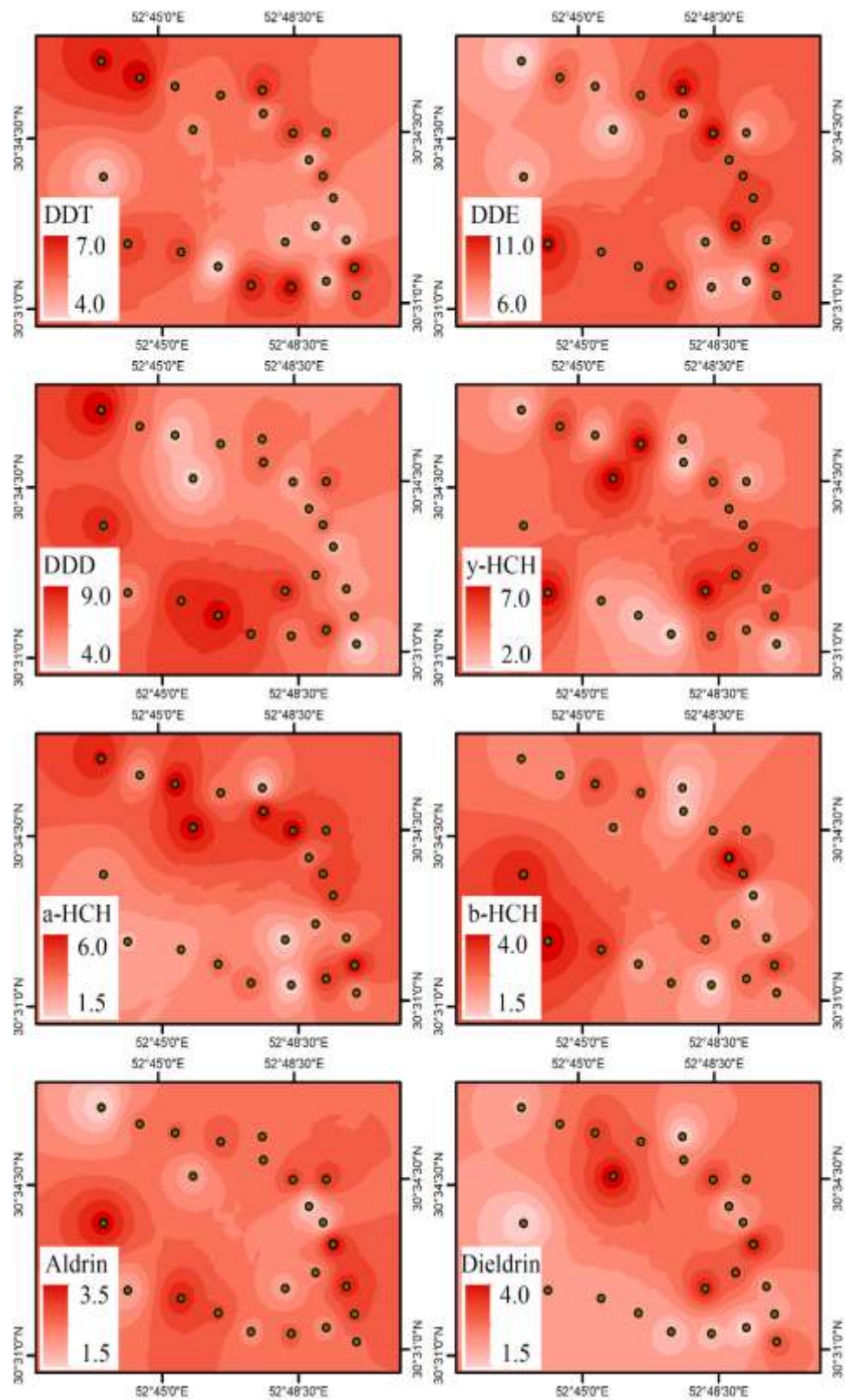


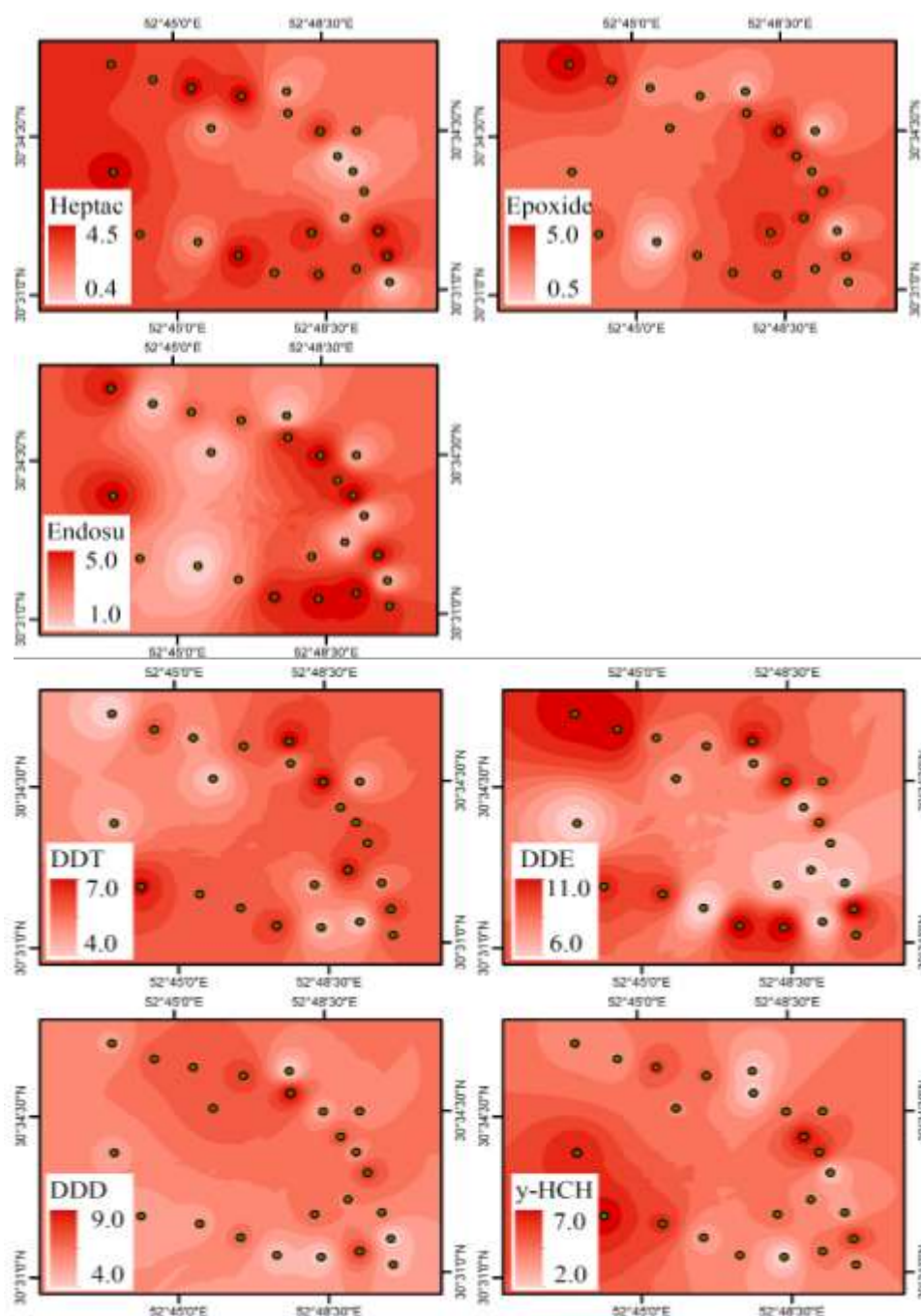
شکل ۹- همبستگی غلظت آلاینده‌های آلی کلره گردوغبار بین فصول مختلف

Fig. 9- Correlation of Organochlorine Pollutant Concentrations in Dust Samples Between Different Seasons

### توزیع و پهنه‌بندی آلاینده‌های آلی کلره

پهنه‌بندی آلاینده‌های آلی کلره در گردوغبار به ترتیب در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی برای این آلاینده‌ها، روندهای متفاوتی را نشان داد. بطور مثال، بیشترین غلظت آلاینده دلدین در نواحی مرکزی تالاب مشاهده شد حال آن که برای آلدین، بیشترین غلظت‌ها در بخش غربی منطقه مورد مطالعه به ثبت رسید. غلظت این دو آلاینده نیز در نمونه‌های گردوغبار به ترتیب در نواحی مرکزی تالاب و نیز در نواحی غربی آن، بیشترین غلظت‌ها را از خود نشان دادند که نشان دهنده‌ی روند مشابه فصلی بین غلظت‌های مشاهده شده در منطقه است. علاوه بر روند تغییرات، ناهمگنی بارزی در توزیع مکانی داده‌ها به چشم می‌خورد، بطوری که در بسیاری از موارد، ایستگاه‌های مجاور یکدیگر نیز تفاوت‌های بارزی در غلظت فلزات سنگین از خود نشان دادند که این روند گویای اثر معنی‌دار متغیرهای محلی در غلظت آلاینده‌های آلی کلره در هر ایستگاه است.





شکل ۱۰- میانمایی متوسط غلظت آلاینده‌های آلی کلره در نمونه‌های گردوغبار

Fig. 10 - Interpolation of the Mean Concentration of Organochlorine Pollutants in Dust Samples

## بحث و نتیجه گیری

### تغییرات فصلی و مکانی در نشست گردوغبار

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه فصلی و مکانی در نشست گردوغبار اطراف تالاب خشک‌شده کافت است. بر اساس نتایج، وزن گردوغبار و نرخ فرونشست در فصل پاییز در مقایسه با بهار در بیشتر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشتر بوده است. به عنوان مثال، در ایستگاه ۱، وزن گردوغبار در پاییز ۴/۷ گرم و در بهار ۱/۲ گرم بوده است، درحالی‌که نرخ فرونشست به ترتیب ۱/۵۷ و ۰/۷ گرم

بر مترمربع در ماه ثبت شده است. این تفاوت فصلی احتمالاً به وزش بادهای شدیدتر و کاهش پوشش گیاهی در پاییز مرتبط است، زیرا پوشش گیاهی نقش مهمی در به دام انداختن ذرات گردوغبار ایفا می‌کند (Ginoux et al., 2018). علاوه بر این، شرایط پایداری جوی و رطوبت هوا نیز می‌توانند بر تعلیق و نشست گردوغبار در فصل‌های مختلف تأثیر بگذارند (Bullard et al., 2018).

افزایش نشست گردوغبار در پاییز احتمالاً ناشی از ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی است. فعالیت‌های کشاورزی فصلی مانند شخم‌زنی ممکن است موجب افزایش تماس خاک با هوا و تشدید انتشار گردوغبار در مناطق اطراف شده باشد. علاوه بر این، روند خشک شدن تالاب کافت‌ر خود ممکن است انتشار گردوغبار را تشدید کرده باشد. همچنین، مقادیر بالای نرخ نشست در بخش‌های شمالی و جنوبی تالاب کافت‌ر نیز ممکن است به الگوهای باد غالب مرتبط باشد که ذرات گردوغبار را به این مناطق منتقل کرده باشد. این الگوها نشان می‌دهند که نیاز به استراتژی‌های کاهش هدمند، مانند جنگل‌کاری یا تثبیت خاک، در این مناطق بحرانی وجود دارد.

### غلظت آلاینده‌های آلی کلره

در مطالعه حاضر، تفاوت‌های قابل توجهی در غلظت آلاینده‌های آلی کلره بین نمونه‌های رسوب و گردوغبار بدست آمد، به‌طوری‌که گردوغبار به‌طور کلی سطوح بالاتری از آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. این روند با یافته‌های مطالعات مشابه Ma و همکاران (۲۰۱۶) و Gaspar و همکاران (۲۰۱۵) همسو است که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد گردوغبار، مانند سطح ویژه بالاتر و ظرفیت جذب بیشتر آن‌ها را به عنوان محیطی مؤثرتر برای انباشت آلاینده‌ها قلمداد کردند. به طور خاص، ترکیباتی مانند  $p,p'$ -DDT و متابولیت‌های آن ( $p,p'$ -DDD و  $p,p'$ -DDE)، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند، به‌طوری‌که نمونه‌های گردوغبار غلظت‌های بالاتر و تغییرات فصلی بیشتری نسبت به رسوبات داشتند. این الگو را می‌توان به ماهیت پویا و متحرک گردوغبار نسبت داد که امکان پراکندگی و انباشت گسترده‌تر آلاینده‌ها را نسبت به ماتریکس نسبتاً پایدار رسوبات فراهم می‌کند. علاوه بر این، تغییرپذیری در آلودگی گردوغبار تحت تأثیر نزدیکی آن به منابع انسانی مانند کشاورزی است. گردوغبار که در هوا معلق است، احتمال بیشتری برای تعامل با آلاینده‌های منتشر شده از این فعالیت‌ها دارد. در مقابل، آلودگی رسوب نشان‌دهنده الگوهای رسوب‌گذاری طولانی‌مدت و تثبیت آلاینده‌ها بوده و عمدتاً سابقه تاریخی بروز آلودگی محیطی را ارائه می‌دهد.

تغییرات فصلی مشاهده شده در غلظت آلاینده‌های آلی کلره به‌ویژه برای ترکیباتی مانند  $p,p'$ -DDT و مشتقات آن، کاهش بار محیطی در پاییز در مقایسه با بهار را نشان می‌دهد. این روند در نمونه‌های گردوغبار بیشتر مشخص است. همان‌طور که Van Dyk و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد، این روند احتمالاً به دلیل افزایش تبخیر و تخریب نوری در دماهای بالاتر و تابش خورشیدی است. همچنین، فعالیت‌های فصلی کشاورزی، از جمله کاهش کاربرد سموم دفع آفات در پاییز، نیز به این کاهش کمک می‌کند. نمونه‌های رسوب که کمتر در معرض چنین پویایی‌های محیطی هستند، نوسانات فصلی کمتری را نشان می‌دهند.

برای سایر آلاینده‌های آلی کلره مانند  $\alpha$ -HCH،  $\beta$ -HCH و  $\gamma$ -HCH، داده‌های بدست آمده کاهش فصلی مشابهی را نشان می‌دهند و غلظت‌ها به طور مداوم در گردوغبار بالاتر از غلظت‌های ثبت شده در نمونه‌های رسوب هستند. این موضوع ظرفیت بیشتر گردوغبار برای جذب و نگهداری آلاینده‌های منتشر شده از فعالیت‌های کشاورزی و سایر منابع انسانی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، الگوهای فصلی متمایز در این ترکیبات، ثبات محیطی متفاوتی را نشان می‌دهد که  $\gamma$ -HCH نسبت به ایزومرهای خود ناپایدارتر است.

تحلیل‌های همبستگی روابط متمایزی را نیز بین آلاینده‌های آلی کلره مختلف در ماتریکس‌های رسوب و گردوغبار نشان دادند. همبستگی‌های مثبت بالا بین متابولیت‌های DDT در هر دو ماتریکس نشان‌دهنده تبدیل مداوم DDT به محصولات جانبی آن است. همبستگی‌های قوی‌تر مشاهده شده در رسوبات نشان‌دهنده ثبات بیشتر و نرخ پراکندگی کمتر این ترکیبات در این محیط است. برعکس،

همبستگی‌های ضعیف‌تر در گردوغبار نشان‌دهنده ماهیت پویا و ناهمگن این آلاینده‌ها است که تحت تأثیر تغییرات مکانی و زمانی در منابع آلاینده قرار دارد.

در این مطالعه،  $\gamma$ -HCH همبستگی‌های منفی ضعیفی با سایر ایزومرهای HCH و مشتقات DDT، به‌ویژه در رسوبات نشان داد. این امر نشان‌دهنده تفاوت در منابع و مسیرهای محیطی این آلاینده‌ها است. مشاهدات مشابهی توسط Booij و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است که چنین تغییراتی را به شیوه‌های کشاورزی و الگوهای استفاده از سموم دفع آفات نسبت دادند. علاوه بر این، اندوسولفان و آلدین در گردوغبار همبستگی متوسطی با مشتقات DDT نشان دادند که احتمالاً به منابع مشترک اما متمایز آن‌ها اشاره دارد. همبستگی‌های ضعیف‌تر در نمونه‌های گردوغبار نیز ممکن است همچنین بازتاب‌دهنده مواجهه آن‌ها با طیف گسترده‌تری از منابع آلودگی مانند انتشار از فعالیت‌های مختلف انسانی و رسوب جوی باشد. انتخاب این ۸ عنصر شامل سرب، کادمیوم، جیوه، آرسنیک، نیکل، کروم، روی و مس به دلیل سمیت بالقوه، پایداری شیمیایی، قابلیت تجمع زیستی و فراوانی در آلودگی‌های محیط زیستی بوده است. این عناصر اغلب به عنوان شاخص‌های جهانی آلودگی خاک و رسوب در مناطق کشاورزی و صنعتی معرفی شده‌اند.

مطالعه‌ی حاضر با تحلیل جامع نشست گردوغبار و رسوبات تالاب خشک‌شده کافت، بر اساس داده‌های فیزیکی-شیمیایی، کانی‌شناسی و شاخص‌های آلودگی، بینش‌های ارزشمندی در مورد تأثیرات متقابل فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی بر الگوهای آلودگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه داده است. تغییرات فصلی و مکانی قابل توجه در غلظت آلاینده‌ها، نوع کانی‌ها و شاخص‌های آلودگی نشان می‌دهد که این عوامل در کنار هم بر کیفیت محیط زیست و پایداری اکوسیستم‌های منطقه اثرگذار هستند. نتایج نشان داد که فصل بهار به‌طور کلی با افزایش قابل توجه غلظت فلزات سنگین مانند نیکل، روی و منگنز در گردوغبار همراه است، که این امر ناشی از تشدید فعالیت‌های کشاورزی شامل شخم‌زنی، استفاده از کودهای شیمیایی و رواناب‌های آلوده در این فصل است. در مقابل، در فصل پاییز به دلیل کاهش فعالیت‌های انسانی و شرایط جوی متفاوت، غلظت آلاینده‌ها کاهش یافته، اما همچنان تفاوت‌های مکانی وابسته به جهت باد و توپوگرافی مشاهده می‌شود.

## Extended Abstract

**Introduction:** The complete desiccation of the Kaftar Wetland in recent years, combined with intensive upstream agricultural activities, has accelerated dust generation and contributed to the emergence of local pollution hotspots in the surrounding environment. These dust emissions carry both heavy metals and organochlorine pollutants (OCPs), posing significant ecological and public health risks. Given the high persistence, bioaccumulation potential, and long-range atmospheric transport of these contaminants, systematic monitoring is essential for understanding their spatial-temporal dynamics and identifying dominant sources. This study investigates the seasonal variability, spatial distribution, and environmental significance of dust deposition, heavy metal concentrations, and organochlorine pollutants in the Kaftar Wetland region.

**Materials and methods:** A systematic sampling strategy was applied by dividing the wetland area into 24 spatial blocks. Dust samples were collected seasonally (autumn and spring) using one-square-meter sediment traps equipped with 2×2 mm mesh, installed at 3 m height to prevent surface contamination. Heavy metal concentrations (Cr, Ni, Mn, Pb, Zn, Co, As, Cd, Fe) were measured following microwave-assisted acid digestion (HNO<sub>3</sub>, HF, HClO<sub>4</sub>/HCl) and quantified using MP-AES under rigorous QA/QC control. Organochlorine pollutants—including DDT and its metabolites (p,p'-DDE, p,p'-DDD), HCH isomers, aldrin, dieldrin, heptachlor, heptachlor epoxide, and endosulfan—were extracted using hexane-acetone solvent systems, purified through silica/Florisil columns, and analyzed via GC-MS. Dust deposition rate (g/m<sup>2</sup>·month) was calculated for each station. Statistical analyses included seasonal comparison, correlation matrices, and spatial interpolation to resolve spatial heterogeneity and potential source influences.

**Results:** Dust deposition exhibited substantial seasonal variation, with higher accumulated mass and deposition rates during autumn (up to 1.80 g/m<sup>2</sup>·month) compared to spring (minimum 0.33 g/m<sup>2</sup>·month). The northern and southern sectors of the wetland showed the strongest deposition signals, consistent with dominant wind directions. Heavy metal concentrations demonstrated clear seasonal shifts. Spring samples generally exhibited elevated levels of Ni, Mn, and Zn relative to autumn, reflecting enhanced agricultural activity and soil disturbance. Cr concentrations spanned 50–70 mg/kg across both seasons, with peaks reaching 76.52 mg/kg. Cd remained the lowest in abundance (0.4–0.9 mg/kg), yet showed localized increases at certain stations. Strong positive correlations were observed between Cr–Zn and Pb–Co in both seasons, suggesting shared anthropogenic or geogenic sources. The overall seasonal correlation pattern indicated relatively stable metal inputs despite variable deposition flux. Organochlorine pollutants were consistently higher in dust than in sediment, highlighting the strong sorptive capacity of airborne particulates. Mean spring concentrations exceeded autumn levels for most OCPs—for example, p,p'-DDT increased from 6.89 to 8.21 ng/g, and γ-HCH from 3.95 to 5.36 ng/g. DDT metabolites (DDE, DDD) showed strong mutual correlations, indicating continuous degradation of historically applied DDT. HCH isomers exhibited mixed behavior, reflecting differences in physicochemical properties and emission pathways. Aldrin and dieldrin showed the highest spatial intensities in the central and western regions. Spatial interpolation revealed pronounced heterogeneity, with adjacent stations showing sharp concentration contrasts attributable to micro-scale land management, soil disturbance, and wind-driven transport patterns.

**Discussion and Conclusion:** The combined results demonstrate that the Kaftar Wetland has transitioned into a significant dust-emission hotspot with the capacity to mobilize both heavy metals and legacy organochlorine pesticides across the landscape. Higher autumn deposition is likely driven by reduced vegetation cover, stronger winds, and soil exposure, whereas spring increases in metal concentrations point to intensified agricultural operations and contaminant remobilization. Elevated dust-phase OCP levels, especially DDT metabolites and HCH isomers, confirm the long-term persistence of past agricultural practices and the susceptibility of desiccated wetlands to re-emit stored pollutants. The marked spatial heterogeneity underscores the influence of local land-use patterns, wind regimes, and microtopographic controls. These

findings highlight the urgent need for integrated land-management strategies, including soil stabilization, controlling polluted runoff, reducing agrochemical inputs, and prioritizing wetland restoration to mitigate dust generation and limit pollutant transport. Continued monitoring of dust-associated contaminants is essential for effective ecosystem management and for reducing health risks to rural communities.

**Keywords:** Dust deposition, Kaftar Wetland, Heavy metals, Organochlorine pollutants, Seasonal variability, Spatial distribution, Environmental risk.

## References

- Booij, P., Holoubek, I., Klánová, J., Kohoutek, J., Dvorská, A., Magulová, K., ... & Čupr, P. (2016). Current implications of past DDT indoor spraying in Oman. *Science of the Total Environment*, 550, 231-240.
- Bullard, J. E., Baddock, M., McTainsh, G., & Leys, J. (2018). Global dust trends: An update on dust emission, transport, and deposition. *Earth-Science Reviews*, 178:447–460.
- Cheng, Y., Zhan, H., Yang, W., Jiang, Q., Wang, Y., & Guo, F. (2021). An ecohydrological perspective of reconstructed vegetation in the semi-arid region in drought seasons. *Agricultural Water Management*, 243, 106488.
- Gaspar, F. W., Chevrier, J., Bornman, R., Crause, M., Obida, M., Barr, D. B., ... & Eskenazi, B. (2015). Undisturbed dust as a metric of long-term indoor insecticide exposure: Residential DDT contamination from indoor residual spraying and its association with serum levels in the VHEMBE cohort. *Environment international*, 85, 163-167.
- Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T.E., Hsu, N.C., & Zhao, M. (2018). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 56(3):744–785.
- Hojati, K., Abedi, Z., Raigani, B., & Panahi, M. (2020). Assessment Of Land Sensitivity To Determine Areas Dust Sources (Case Study: Alborz Province). *Journal Of Environmental Science And Technology*, 23 (11), 151-164. [In Persian]
- Jabeen, M., Ahmed, S. R., & Ahmed, M. (2022). Enhancing water use efficiency and grain yield of wheat by optimizing irrigation supply in arid and semi-arid regions of Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2), 878-885.
- Jaffari, F., & Hassanzadeh, N. (2019). Ecological Quality Assessment Of Anzali Wetland For Heavy Metals Using Heavy Metals Pollution Index (Hpi). *Iranian Journal Of Health And Environment*, 12(2 ), 173-184. [In Persian]
- Jin, M., Wu, J., Zhang, H., Zhao, Z., Alam, M., & Guo, R. (2023). Study on the Aral Sea crisis from the risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in surface water of Amu Darya river basin in Uzbekistan. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1295485.
- Luo, H., Guan, Q., Shao, W., Du, Q., Xiao, X., Ni, F., & Zhang, J. (2022). Quantifying the contribution of dust sources in the arid area of northwest China using multivariate statistical techniques and Bayesian mixing models. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134672.
- Ma, J., Pan, L. B., Yang, X. Y., Liu, X. L., Tao, S. Y., Zhao, L., ... & Zhou, Y. Z. (2016). DDT, DDD, and DDE in soil of Xiangfen County, China: residues, sources, spatial distribution, and health risks. *Chemosphere*, 163, 578-583.
- Mahmoodimaphash, N. and Souri, B. (2020). Detecting origin of dust-fall using ions ratio and morphology of the particles in western Iran. *Journal of Natural Environment*, 73(2), 355-367. doi: 10.22059/jne.2020.294726.1874. [In Persian]

- Moghanlo, S., Alavinejad, M., Oskoei, V., Saleh, H. N., Mohammadi, A. A., Mohammadi, H., & DerakhshanNejad, Z. (2021). Using artificial neural networks to model the impacts of climate change on dust phenomenon in the Zanzan region, north-west Iran. *Urban climate*, 35, 100750.
- Saha, A., Gupta, C. B., & Sekharan, S. (2021). Recycling natural fibre to superabsorbent hydrogel composite for conservation of irrigation water in semi-arid regions. *Waste and Biomass Valorization*, 12(12), 6433-6448.
- Shen, M., Liu, G., Zhou, L., Yin, H., & Arif, M. (2023). Comparison of pollution status and source apportionment for PCBs and OCPs of indoor dust from an industrial city. *Environmental geochemistry and health*, 45(5), 2473-2494.
- Taghvaei, M., & Kiumarsi, H. (2015). Application of the analytical hierarchy process and GIS in optimal site selection for coastal tourist towns: A case study of Kaftar lake beach. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 3(2), 215-241. [In Persian]
- Van Dyk, J. C., Bouwman, H., Barnhoorn, I. E. J., & Bornman, M. S. (2010). DDT contamination from indoor residual spraying for malaria control. *Science of the total environment*, 408(13), 2745-2752.
- Yavuz, D., Seymen, M., Yavuz, N., Çoklar, H., & Ercan, M. (2021). Effects of water stress applied at various phenological stages on yield, quality, and water use efficiency of melon. *Agricultural Water Management*, 246, 106673.