

Study of Physical-Chemical Characteristics and Concentration of Aerosols Derived from Cascade Impactor (Case of Dust storm in Yazd Area)

Ebrahimi, S.¹  | Joghataei, M.¹   | Memarian, M. H.¹  | Azimzadeh, H.² 

1. Department of Atomic and Molecular, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd, Iran.

2. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

Corresponding Author E-mail: mjoghataei@yazd.ac.ir

(Received: 4 Feb 2024, Revised: 5 March 2024, Accepted: 11 Aug 2024, Published online: 5 Oct 2024)

Summary

Due to the lack of laboratory studies in the field of detection of aerosols and dust in Iran and in Yazd, in this study, using laboratory methods such as Cascade Impactor, a vacuum pump for sampling aerosols, Rotameter and other laboratory materials in the field samples have been analyzed for characteristics of dust particles such as PM₁₀ and PM_{2.5} particles, and then the particle concentration has been obtained by weighing the specimens. Qualitative and quantitative studies of aerosols existing inside the dust storms is an effective procedure to identify their environmental effects and source detection. Increasing the frequency of these phenomena in desert areas with hot and dry climates, such as Yazd province, is another aspect of climate change, in that dry climates that are getting drier. On the other hand, increasing temperature due to global warming result in the extension of deserts. The main purpose of this study is identification and comparison of some the physical and chemical characteristics of aerosols existing inside dust storms with model results. For this purpose, we used 7-stage cascade impactor, with specific sampling rate and laboratory methods, aligned with PM_{2.5} and PM₁₀ data.

In this study, four days of storms (3 and 23 May, 29 August and 29 September 2018) were examined. At first, with the use of 7-stage cascade impactor, aerosols of dust storm in the range of 0.4-10 μm are collected in different stages and their values were compared with PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations of particles with the reported values of environmental and meteorological organizations of Yazd city. Cascade impactor works with a specific pump in that the sampling inflow of air is 28.4 L/min in that the inflow was adjusted with a mechanical rotameter. The weight of filters was measured before and after the sampling. These filters were placed in the desiccator in order to eliminate the humidity from them. The results showed the compatibility of 24-hour accumulation of hourly data with cascade impactor results. Then, with using atomic absorption spectrometry device, the values of heavy metals such as Pb, Al, Cd in the samples related to the storms of 29 August and 29 September were examined. In the August 29 test, the lead element was in the low enrichment range (EF <3), and the cadmium element in most filters was in the high enrichment range (10 <EF <25). Also, in the September 29 experiment, the enrichment of the lead element was negligible, and the enrichment of cadmium was in the medium to severe range (5 <EF <10). Also, using HYSPLIT model and pairing with WRF model in five levels, the source and trajectories of the aerosols of storm were examined.

Keywords: Dust Storm, HYSPLIT, Cascade Impactor, PM, EF.

Cite this article: Ebrahimi, S., Joghataei, M., Memarian, M. H., & Azimzadeh, H. (2024). Study of Physical-Chemical Characteristics and Concentration of Aerosols Derived from Cascade Impactor (Case of Dust storm in Yazd Area). *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(3), 763-772. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.371935.1007590>

E-mail: (1) (1) sanaz.ebrahimi33@gmail.com | memarian@yazd.ac.ir (2) hazimzadeh@yazd.ac.ir



مطالعه ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و غلظت هواویزی‌های جوی با دستگاه شمارنده آبشاری ذرات (مورد مطالعه توفان گردوغبار منطقه یزد)

ساناز ابراهیمی^۱ | محمد جغتایی^۱ | محمدحسین معماریان^۱ | حمیدرضا عظیم‌زاده^۲

۱. گروه اتمی و ملکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: mjoghataei@yazd.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵، بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۵/۲۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۷/۱۴)

چکیده

هدف این پژوهش شناسایی برخی از مؤلفه‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات معلق در هنگام توفان با استفاده از نمونه‌گیری و روش‌های آزمایشگاهی و همچنین آشکارسازی منبع و مسیر توفان‌ها با استفاده از مدل پخشی HYSPLIT در شهر یزد است. با استفاده از نمونه‌برداری از ذرات معلق در هنگام توفان با دستگاه جمع‌کننده ذرات به‌روش آبشاری، مقادیر ذرات گردوغبار اندازه‌گیری شد و غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ حاصل با مقادیر گزارش شده از سازمان‌های محیط‌زیست و هواشناسی استان یزد مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه با استفاده از مدل HYSPLIT در پنج ارتفاع منبع و مسیر توفان مورد بررسی قرار گرفت که در توفان مربوط به روز سه‌شنبه اردیبهشت مسیرها جهت جنوب غربی منطقه هدف که بخشی از شهرستان‌های تفت و مهریز را شامل می‌شود، نشان دادند. سپس با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی، مقادیر فلزات سنگین Pb, Al, Cd موجود در نمونه‌های مربوط به توفان‌های ۲۹ مرداد و ۲۹ شهریور مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش مربوط به تاریخ ۲۹ مرداد، عنصر سرب در محدوده غنی‌شدگی کم ($EF < 3$)، که نشان‌دهنده مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است، و عنصر کادمیوم در اکثر فیلترها، در محدوده غنی‌شدگی شدید ($10 < EF < 25$) قرار داشت. همچنین در آزمایش ۲۹ شهریور مقدار غنی‌شدگی عنصر سرب ناچیز، و غنی‌شدگی عنصر کادمیوم در محدوده متوسط تا شدید ($5 < EF < 10$) قرار داشت.

واژه‌های کلیدی: توفان گردوغبار، HYSPLIT، PM، شمارنده آبشاری ذرات، EF.

۱. مقدمه

گردوغبار بخش مهمی از هواویزهای موجود در جو را تشکیل می‌دهد که حیات کره‌زمین را از جهات مختلف متأثر می‌سازد. سالانه حدود ۲۰۰۰ تن گردوغبار گسیل می‌شود که ۷۵ درصد آن روی خاک و ۲۵ درصد بر روی اقیانوس‌ها ته‌نشین می‌شود و بر روی چرخه انرژی، آب و کربن اثر می‌گذارد (شائو و همکاران، ۲۰۱۱). ذرات گردوغبار به‌دلیل جذب یا پراکندگی پرتوهای خورشیدی بر توازن تابشی اثرگذارند. این ذرات با انواع هسته‌سازی باعث تغییر در شکل و نوع ابرها شده و همچنین به‌دلیل گسترده‌بودن مسیر انتقال گردوغبار بر روی خاک و روند زیست‌شناسی آن نیز تغییراتی ایجاد می‌کنند (گویده، ۲۰۰۹).

شناخت و تحلیل عوامل مؤثر در ایجاد پدیده گردوغبار، سازکار آن و پیش‌بینی وقوع پدیده و همچنین دانش کافی در مورد میزان و انواع هواویزهای متنوع معلق‌شده، تا حد زیادی می‌تواند از خسارات احتمالی انسانی و محیطی آن بکاهد (خوش‌کیش و همکاران، ۱۳۹۰). مطالعات زیادی در نقاط مختلف جهان با به‌کارگیری ابزارهای گوناگون از جمله تصاویر ماهواره‌ای، تحلیل هم‌دیدنی نقشه‌های وضع هوا، بررسی‌های دینامیکی، روش‌های آماری، مطالعات آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی صورت گرفته است (تاناکا و چیبیا، ۲۰۰۶؛ شائو، ۲۰۰۸؛ شائو و همکاران، ۲۰۰۹).

استناد: ابراهیمی، ساناز؛ جغتایی، محمد؛ معماریان، محمدحسین و عظیم‌زاده، حمیدرضا (۱۴۰۳). مطالعه ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و غلظت هواویزی‌های جوی با دستگاه شمارنده آبشاری ذرات (مورد مطالعه توفان گردوغبار منطقه یزد). مجله فیزیک زمین و فضا، ۵۰ (۳)، ۷۶۳-۷۷۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.371935.1007590>

رایانامه: (۱) memarian@yazd.ac.ir | sanaz.ebrahimi@yazd.ac.ir | hazimzadeh@yazd.ac.ir

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.371935.1007590>



گردوغبار را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که سه الگوی زوجی، ناوه موج غربی و پرفشار، الگوهای اصلی ایجاد توفان بوده و همچنین محدوده‌ای در حدفاصل مرکز تا شمال عراق و غرب سوریه تا شمال عربستان، منبع اصلی گردوغبار این نواحی می‌باشد.

مطالعات سال‌های اخیر (بوچانی و فاضلی، ۱۳۹۰) نشان می‌دهد پدیده گردوغبار از نظر غلظت، اندازه ذرات معلق، ماندگاری ذرات در هوا، وسعت مکانی و تعداد رویداد نسبت به توفان‌های گردوغبار گذشته بیشتر و سبب بروز نگرانی در حوزه‌های انسانی و محیطی شده است. در سال‌های اخیر به موجب خشک‌سالی‌های مداوم، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی به‌همراه سایر عوامل بشرساز از قبیل استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، تغییر کاربری اراضی، از بین بردن پوشش گیاهی و پوشش‌های طبیعی سنگ‌فرش در سطوح بیابانی، احداث سدها بدون توجه به ارزیابی اثرات پس از توسعه و آمایش سرزمین و جنگ‌های طولانی در منطقه موجب خشکی برخی از تالاب‌ها و دریاچه‌ها شده و همین امر دلیلی بر گسترش هرچه بیشتر گردوغبار شده است.

استان یزد به‌دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی همواره در معرض توفان‌های گردوغباری متعددی است که مشکلات بسیاری در زمینه‌های اقتصادی، محیط‌زیست، حمل‌ونقل و همچنین سلامت انسان‌ها ایجاد کرده است. با وقوع توفان‌های شدید در برخی از مناطق استان که پوشیده از شن و ماسه‌های روان هستند با به حرکت درآمدن تپه‌های شنی، وقوع این رویداد تشدید می‌شود. از طرف دیگر وجود صنایع مختلف در آن نواحی می‌تواند باعث افزایش آلاینده‌های مصنوعی و تشدید غلظت گردوغبار در جو نیز شود (شیرانی و مزیدی، ۱۳۸۸).

در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از دستگاه جمع‌کننده آبخاری پس از تعیین غلظت ذرات گردوغبار در اندازه‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} شدت آلودگی آن از نظر عناصر سنگین کادمیم و سرب با محاسبه شاخص غنی‌شدگی بررسی شود. علاوه بر آن یکی دیگر از اهداف این پژوهش منشأ یابی ذرات بادرفت با استفاده از نرم‌افزار

(۱۹۹۳). با شناسایی منشأ، تعیین میزان انتشار، نحوه پخش و الگوهای به‌وجود آورنده گردوغبار، می‌توان اقدامات لازم برای کاهش آسیب‌های ناشی از این پدیده انجام داد. به‌عنوان نمونه، برآورد توزیع اندازه ذرات هواویز با استفاده از دستگاه شمارنده آبخاری ذرات در مناطق متعددی انجام گرفته است. در منطقه غرب مدیترانه با استفاده از این دستگاه در سال‌های بین ۱۹۸۰ و ۱۹۸۳ عناصر فلزی از قبیل Cd، Al، Na، Pb شناسایی و ردیابی شد به‌طوری‌که نتایج آنها با یک مدل دولایه‌ای غلظت ذرات نیز مقایسه شد که نتایج این مقایسه رضایت‌بخش بود (دولاک و همکاران، ۱۹۸۹). همچنین چان و همکاران در سال ۲۰۰۰ با استفاده از همین دستگاه، ذرات PM_{10} یک توده هوای منطقه بریزبن استرالیا را به شش گروه از ذرات در طبقات کمتر از $0.5 \mu m$ ، $(0.5-61/5)$ ، $(0.5-61/3)$ ، $(0.5-61/1)$ ، $(2/1-7/3)$ ، $(2-7)$ و $(4/9)$ ، $(4-10/9)$ میکرون دسته‌بندی کردند. چن و همکاران در سال ۲۰۰۸، با انجام بررسی جامع بر روی غلظت، جریان و منابع ذرات هواویزهای خلیج عقبه واقع در دریای سرخ، میانگین جرمی برخی از عناصر مانند آلومینیم، آهن و منگنز (به‌ترتیب ۱۰۸۱، ۶۸۳ و ۱۶/۷ نانوگرم بر متر مکعب) موجود در هوای منطقه را بررسی کردند. نتایج نشان داد غلظت این ذرات چیزی در حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از میزان گزارش شده این عناصر در منطقه مدیترانه است که این امر نشان‌دهنده غلظت بیش‌ازحد ذرات معدنی در هوای خلیج عقبه بود. در آن پژوهش با استفاده از مدل HYSPLIT منشأ توفان‌ها را شناسایی و با استفاده از یک دستگاه شمارنده سه طبقه و همچنین جذب اتمی، غلظت عناصر را مورد مطالعه قرار دادند (چن و همکاران، ۲۰۰۸). در ایران نیز پژوهش‌های متعددی درمورد توفان‌های گردوغباری منطقه صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه مفیدی و جعفری (۱۳۹۰)، با هدف تبیین علل وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران و منابع اصلی گردوغبار آنها، ساختار گردش منطقه‌ای جو را مورد بررسی قرار دادند و برای ۳۰ مورد توفان با استفاده از داده‌های NCEP/NCAR و شاخص هواویز سنجنده TOMS و به‌کارگیری مدل HYSPLIT، منابع اصلی

HYSPLIT بوده است.

۲-۲. مدل HYSPLIT

مدل HYSPLIT توانایی پیش‌بینی و شبیه‌سازی پاشندگی و انتشار موادی مانند خاکسترهای آتشفشانی، دود حاصل از آتش‌سوزی، گردوغبار، مواد رادیواکتیو و همه ذرات آلاینده را داشته و برای انجام شبیه‌سازی به داده‌های هواشناختی شبکه‌بندی شده نیاز دارد. حداقل داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل میدان‌های باد افقی، دما، ارتفاع و فشار در یک تراز مرجع (معمولاً فشار سطحی) است و همچنین برای شبیه‌سازی فرونشست مرطوب، میدان‌های رطوبت و بارش نیز لازم است (دراکسلر و هس، ۱۹۹۷). در این پژوهش از خروجی مدل عددی WRF به‌عنوان ورودی مدل HYSPLIT استفاده شد که برای جفت‌شدگی دو مدل از یک برنامه مبدل به نام metprog بهره گرفته شده است. اجرای بخش مسیر مدل HYSPLIT با کمک میدان‌های باد، دما و فشار داده‌های ورودی انجام شده و همگرایی مسیرها در یک منطقه می‌تواند نمودی از منبع آلاینده‌ها باشد. در این مدل شناسایی مسیر حرکت ذرات معلق به دو روش پیش‌رو و پس‌رو صورت می‌گیرد.

۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

به‌منظور بررسی توزیع ذرات موجود در نمونه هوا، از دستگاه شمارنده ذرات به روش آبخاری استفاده شد که این دستگاه با داشتن صفحات جمع‌کننده و فیلترهای مشخص برای هر طبقه قادر به جداسازی ذرات در اندازه‌های گوناگون است. این دستگاه شامل هشت طبقه (طبقات ۰-۷) بوده که از بالا به پایین بازه قطر روزنه‌های فیلتر هر طبقه به ترتیب μm (۹-۱۰)، (۵/۸-۹)، (۵/۴-۸/۷)، (۴/۳-۷/۳)، (۳/۲-۳/۱)، (۲/۱-۱/۱)، (۱/۰-۱/۷)، (۰/۰-۷/۴) میکرون است. در این پژوهش مجموع ذرات جمع‌آوری شده از سه جمع‌کننده پایینی (یعنی طبقات ۵، ۶ و ۷) به‌عنوان ذرات $\text{PM}_{2.5}$ و مجموع ذرات جمع شده از تمام فیلترها به‌عنوان ذرات PM_{10} تعیین شد.

دبی پمپ نمونه بردار دستگاه بر روی $28/3$ لیتر بر دقیقه

۲. روش کار پژوهش

۱-۲. نمونه‌گیری و داده‌های ایستگاهی

در این پژوهش به‌منظور اندازه‌گیری میزان غلظت ذرات گردوغبار در منطقه یزد، در دو توفان موردی در تاریخ‌های ۳ اردیبهشت ۱۳۹۷ (۲۳ آوریل ۲۰۱۸) و ۲۹ مرداد ۱۳۹۷ (۲۰ اوت ۲۰۱۸) که همراه با توفان گردوغبار بوده است انتخاب، و نمونه‌برداری توسط دستگاه شمارنده آبخاری به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. برای هر مورد نمونه‌گیری، دبی دستگاه بر روی $28/3$ لیتر بر دقیقه (معادل $1/7$ مترمکعب بر ساعت) تنظیم و در بازه زمانی ۲۴ ساعت نمونه‌گیری انجام شد. به‌منظور محاسبه جرم ذرات جمع شده در هر طبقه، از تفاضل جرم فیلترها در قبل و بعد از نمونه‌گیری استفاده شد. پس از بررسی جرم ذرات در هر طبقه مشاهده شد که ذرات با اندازه درشت از نظر جرم سهم بیشتری نسبت به ذرات با اندازه کوچک به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است خطای آزمایش (تا سه رقم اعشار) برای تمام فیلترها عدد $0/002$ را نشان می‌دهد.

بخش دیگری از داده‌های استفاده شده در این پژوهش، داده‌های غلظت ساعتی PM_{10} مربوط به ایستگاه سنجش آلودگی هوا واقع در اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان یزد است. مدل دستگاه BEM 2010 بوده و قادر به اندازه‌گیری غلظت تمامی آلاینده‌ها از جمله PM_{10} است. موقعیت جغرافیایی دستگاه در $31^{\circ} 51' 31''$ شمالی و $54^{\circ} 21' 41''$ شرقی واقع شده است. باتوجه به این که دستگاه اندازه‌گیری میزان ذرات $\text{PM}_{2.5}$ اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان یزد در شهرستان میبد قرار دارد، در این پژوهش به‌ناچار از داده‌های این ایستگاه استفاده نشد و از داده‌های دستگاه اندازه‌گیری غلظت $\text{PM}_{2.5}$ موجود در مرکز سینوپتیکی استان یزد استفاده شد. مدل این دستگاه FELIX (با موقعیت جغرافیایی $31^{\circ} 13' 13''$ شمالی و $31^{\circ} 31' 81''$ شرقی) دبی $16/7$ لیتر بر دقیقه و قابلیت اندازه‌گیری $\text{PM}_{2.5}$ را به‌صورت ساعتی دارد.

در بخش بعدی ارائه خواهد شد.

۴. نتایج

۴-۱. توزیع ذرات هواویز بر اساس قطر آیرودینامیک دستگاه با داشتن صفحات جمع‌کننده و فیلترهای مشخص برای هر طبقه قادر به جداسازی ذرات در اندازه‌های گوناگون است. این دستگاه شامل هشت طبقه (طبقات ۰-۷) بوده که از بالا به پایین بازه قطر روزنه‌های فیلتر هر طبقه ذرات را از بزرگ دانه به ریزدانه دسته‌بندی می‌کند. همانطور که اشاره شد در این پژوهش مجموع ذرات جمع‌آوری شده از سه جمع‌کننده پایینی (یعنی طبقات ۵، ۶ و ۷) به‌عنوان ذرات $PM_{2.5}$ و مجموع ذرات جمع شده از تمام فیلترها به‌عنوان ذرات PM_{10} تعیین شد. لازم به ذکر است برای هر دو مورد نمونه‌گیری، دبی دستگاه بر روی $28/3$ لیتر بر دقیقه (معادل $1/7$ مترمکعب بر ساعت) تنظیم و در بازه زمانی ۲۴ ساعت نمونه‌گیری انجام شد.

پژوهش برای هر چهار روز انجام شده است ولی هم‌اکنون به‌عنوان نمونه نتیجه آزمایش ۲۹ مرداد و سه اردیبهشت ۱۳۹۷ ارائه می‌شود.

در نمونه‌گیری روز سه اردیبهشت ذرات با اندازه درشت از نظر جرم سهم بیشتری نسبت به ذرات با اندازه کوچک به خود اختصاص داده‌اند به طوری که با محاسبه غلظت ذرات PM_{10} جرم خالص ذرات تمام طبقات جمع شد $(5/5)$ میلی‌گرم) و غلظت $0/135 \frac{mg}{m^3}$ محاسبه شد. غلظت برای ذرات $PM_{2.5}$ (مجموع جرم خالص ذرات فیلترهای ۵، ۶ و ۷) نیز میزان $0/245 \frac{mg}{m^3}$ به دست آمد. به‌منظور مقایسه غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ نمونه‌گیری شده با غلظت ذرات $PM_{2.5}$ از اداره هواشناسی استان یزد و غلظت ذرات PM_{10} از اداره محیط‌زیست استان یزد، این داده‌ها دریافت شد و در بازه زمانی و مکانی مربوط میانگین‌گیری شد؛ به طوری که این مقادیر برای غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب $0/316 \frac{mg}{m^3}$ و $0/143 \frac{mg}{m^3}$ به دست آمد که همخوانی نسبتاً خوبی با غلظت این پارامترها در فرایند نمونه‌گیری داشت.

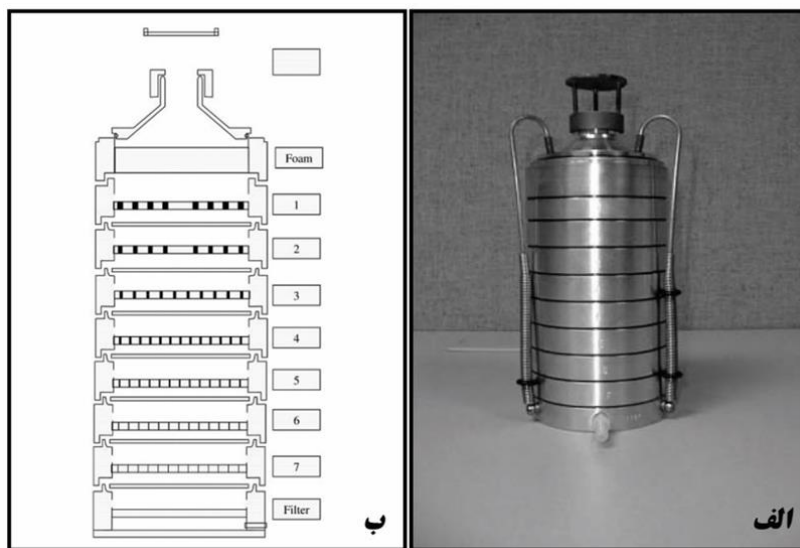
(معادل $1/7$ مترمکعب بر ساعت) تنظیم و در بازه زمانی ۲۴ ساعت نمونه‌گیری انجام می‌شود. به‌منظور محاسبه جرم ذرات جمع شده در هر طبقه، از تفاضل جرم فیلترها در قبل و بعد از نمونه‌گیری استفاده خواهد شد. پس از بررسی جرم ذرات در هر طبقه مشاهده شد که ذرات با اندازه درشت از نظر جرم سهم بیشتری نسبت به ذرات با اندازه کوچک به خود اختصاص داده‌اند. در مرحله بعد به‌منظور محاسبه غلظت ذرات هر طبقه از رابطه زیر استفاده شد:

$$c = \frac{(m_2 - m_1)}{\Delta t \times \varphi} \times 10^3 \quad (1)$$

که در آن، c غلظت گردوغبار در هوای محیط کار بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب، m_1 جرم فیلتر قبل از نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم، m_2 جرم فیلتر بعد از نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم، Δt مدت زمان نمونه‌برداری بر حسب دقیقه و φ دبی پمپ بر حسب لیتر بر دقیقه است. در مرحله بعد غلظت میانگین ۲۴ ساعته از $PM_{2.5}$ و PM_{10} .

در مرحله اول از روند پژوهش، به‌منظور بررسی غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} ، نمونه‌گیری با دستگاه شمارنده ذرات به روش آبخاری انجام شد و از نتایج چهار مورد از نمونه‌گیری‌ها که بهترین همخوانی را با داده‌های ایستگاه هواشناسی داشتند، استفاده شد. لازم به توضیح است به‌منظور شناسایی روزهای همراه با توفان گردوغبار، از پیش‌بینی سایت Fleet با تارنمای (<https://www.metoc.navy.mil/fnmoc/meteorology.html>)

استفاده شد که با دقت خوبی پیش‌بینی‌ها با رویداد گردوغبار تطابق داشت. پس از اندازه‌گیری ذرات با اندازه‌های متفاوت در ادامه روند پژوهش برای هر نمونه، به‌منظور شناسایی ساختار شیمیایی تشکیل‌دهنده نمونه‌ها، از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی استفاده شد. لازم به ذکر است یکی از مزیت‌های شناخت ساختار شیمیایی گردوغبار، می‌تواند شناسایی منبع و مسیر حرکت توفان گردوغبار باشد. همچنین در این پژوهش با استفاده از مدل‌های عددی هواشناختی از مدل HYSPLIT، رویداد توفان برای هر روز از موارد انتخابی، شبیه‌سازی و مسیر حرکت آن به‌صورت برگشتی ترسیم شد که نتایج حاصل



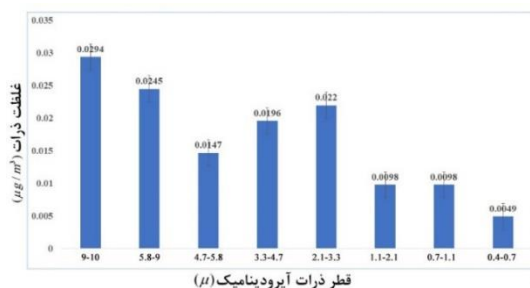
(ب)

(الف)

شکل ۱. الف) نمای بیرونی و ب) طرحواره‌ای از برش عمودی دستگاه جمع‌کننده ذرات به روش آبخاری



(ب)



(الف)

شکل ۱. نمودار غلظت ذرات برحسب محدوده قطر روزنه‌های هر طبقه، مربوط به آزمایش الف) سه اردیبهشت؛ ب) ۲۹ مرداد ۱۳۹۷.

طیف‌سنجی قرار گرفت و به‌عنوان نمونه ۲۹ مرداد ارائه می‌شود. شایان توجه است که طیف‌سنجی جذب اتمی به صورت طیف‌سنجی روی شعله انجام شد.

به منظور بررسی میزان عنصرهای مورد بررسی در نمونه‌ها و مقایسه آن با مقادیر مجاز این عناصر، از شاخص بی بعد "فاکتور غنی‌سازی شده" (EF) استفاده شد؛ که یکی از مهم‌ترین فاکتورها جهت بررسی پراکنش، میزان و منشأ آلاینده‌گی در نمونه‌های گردوغبار است (همکاران، ۲۰۰۷):

$$EF = \frac{\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{\text{Sample}}}{\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{\text{Reference}}} \quad (2)$$

به‌طوری‌که در صورت کسر C_i غلظت عنصر مورد بررسی

در روز ۲۹ مرداد میزان ذرات PM_{10} جمع‌آوری شده $7/9$ میلی‌گرم و میزان ذرات $\text{PM}_{2.5}$ جمع‌آوری شده یک میلی‌گرم بود. غلظت PM_{10} حدود $0/194$ و $\text{PM}_{2.5}$ حدود $0/24$ میلی‌گرم بر مترمکعب محاسبه شد. این مقادیر در مقایسه با غلظت PM_{10} گزارش شده از سازمان محیط زیست ($0/235 \text{ mg}/\text{m}^3$) و غلظت $\text{PM}_{2.5}$ گزارش شده از سازمان هواشناسی ($0/323 \text{ mg}/\text{m}^3$) به ترتیب ۸۲ و $74/3$ درصد کمتر بود. همچنین غلظت ذرات اندازه‌گیری شده از طبقات ۷-۰ در هر دو روز با خطای آزمایش ($\pm 0/2/0$) در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

۲-۴. اندازه‌گیری غلظت فلزات Al، Cd و Pb

در این پژوهش به علت یه‌سری محدودیت‌ها تنها نمونه‌برداری تاریخ ۲۹ مرداد و ۲۹ شهریور مورد

غنی‌شدگی شدید، $25 < EF < 50$ غنی‌شدگی خیلی شدید و $EF > 50$ غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید (چن و همکاران، ۲۰۰۷). مقادیر فاکتور غنی‌سازی برای نمونه ۲۹ مرداد در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

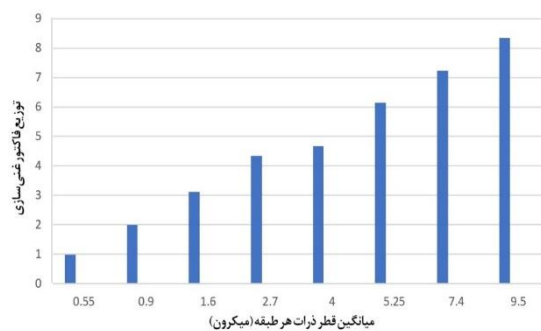
با توجه به مطالب ذکر شده مربوط به مقادیر فاکتور غنی‌سازی، در آزمایش مربوط به تاریخ ۲۹ مرداد ۱۳۹۷، عنصر سرب در محدوده غنی‌شدگی کم ($EF < 3$) قرار داشته و نشان‌دهنده سهم بیشتر عوامل طبیعی و هوازدگی در پیدایش این عنصر در گردوغبار است. همچنین عنصر کادمیوم در اکثر فیلترها، در محدوده غنی‌شدگی شدید ($10 < EF < 25$) قرار داشته و فقط در فیلتر شماره ۲ ($4/5 - 7/8$ میکرون) غنی‌شدگی متوسط و در فیلتر شماره ۷ ($0/4 - 7/0$ میکرون) غنی‌شدگی خیلی شدید اتفاق افتاده است. میانگین فاکتور غنی‌سازی در این مورد، برای عنصر سرب $EF = 1/1675$ و عنصر کادمیوم $EF = 17/6354$ محاسبه شد.

در نمونه (در اینجا عناصر Pb و Cd) و c_n غلظت عنصر مرجع است که در منطقه مورد مطالعه، عنصر Al به دلیل ماهیت ژئوشیمیایی، تغییرات بسیار ناچیز و تحرک کمی که در محیط از خود نشان می‌دهد، به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شد. همچنین c_n و c_i در مخرج کسر، غلظت زمینه همین عناصر در منطقه مورد بررسی (در اینجا خاک دشت یزد-اردکان) است. لازم به ذکر است که با توجه به آزمایشات انجام شده غلظت مجاز عناصر Pb، Cd و Al موجود در خاک دشت یزد-اردکان به ترتیب ۹، ۰/۲۴ و ۸۴۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم لحاظ شده است (سیاحتی و همکاران، ۱۳۹۷).

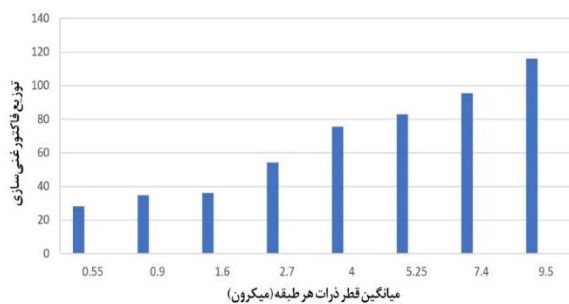
بر اساس مطالعات انجام‌شده چن و همکاران (۲۰۰۷)، دسته‌بندی مقادیر غنی‌شدگی بر اساس فاکتور غنی‌سازی (EF) به این صورت است؛ $EF < 1$ غنی‌شدگی وجود ندارد، $3 < EF < 5$ غنی‌شدگی کم، $5 < EF < 10$ غنی‌شدگی متوسط تا شدید، $10 < EF < 25$

جدول ۱. مقادیر فاکتور غنی‌سازی عناصر Pb و Cd با عنصر شاخص Al برای نمونه تاریخ ۲۹ مرداد ۱۳۹۷.

	فیلتر ۰	فیلتر ۱	فیلتر ۲	فیلتر ۳	فیلتر ۴	فیلتر ۵	فیلتر ۶	فیلتر ۷
EF (Pb)	۱/۱۰۵۷	۱/۰۹۸۲	۱/۰۴۶۲۳	۱/۳۳۳۰	۱/۲۳۴۵	۱/۱۰۵۵	۱/۰۲۱۲	۰/۹۸۰۳
EF (Cd)	۲۰/۸۱۰۴	۱۲/۵۲۹۴	۷/۳۳۹۴	۲۱/۳۰۶۰	۱۸/۰۲۶۷	۱۳/۲۱۴	۱۹/۷۶۴۴	۲۸/۰۹۳۶



(الف)



(ب)

شکل ۳. نمودار توزیع فاکتور غنی‌سازی الف) Pb (ب) Cd در ذرات هواویز مربوط به نمونه ۲۹ مرداد ۱۳۹۷.

پیلک، ۲۰۱۳؛ یرامیلی و همکاران، ۲۰۱۲). لازم به توضیح است مدل HYSPLIT، ارتفاع‌های تعیین شده را بر حسب ترازهای فشاری محاسبه و در خروجی نمایش می‌دهد. مشاهده شد که برای توفان روز ۳ اردیبهشت مسیر حرکت ذرات، جنوب غرب منطقه هدف (شهرستان‌های تفت و مهریز) را نشان می‌دهد. همچنین برای توفان‌های ۲۹ مرداد، مسیر شمال و شمال غرب (شهرستان‌های میبد و اردکان) شبیه‌سازی شده است.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

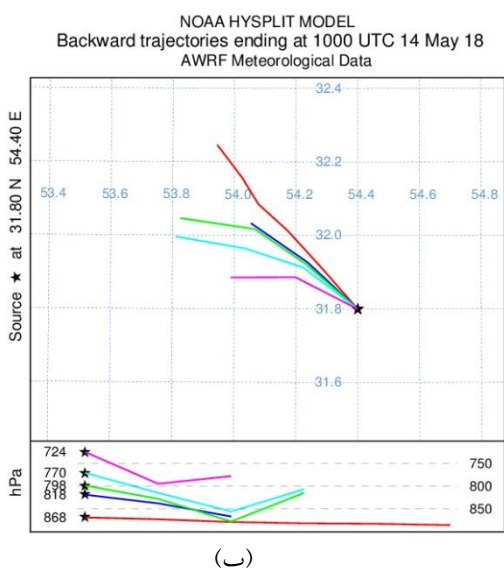
پژوهش حاضر با هدف بررسی کمی و کیفی ذرات PM₁₀ و PM_{2.5} موجود در گردوغبار ناشی از توفان در شهر یزد انجام گرفت. بدین جهت با بررسی پیش‌بینی‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای، چند روز توفانی انتخاب و مقادیر گردوغبار با استفاده از دستگاه شمارنده ذرات، به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. از روزهای انتخابی، چهار مورد با نتایج بهتر، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه، غلظت ذرات PM₁₀ و PM_{2.5} محاسبه شده، با غلظت‌های گزارش شده از سازمان‌های محیط‌زیست و هواشناسی استان یزد مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان‌دهنده عملکرد خوب دستگاه جمع‌کننده ذرات برای تمام نمونه‌گیری‌ها بود.

همچنین در شکل ۳ نمودار توزیع فاکتور غنی‌سازی برای عناصر Cd و Pb مربوط به نمونه ۲۹ مرداد بر حسب میانگین قطر ذرات هر طبقه مشاهده می‌شود.

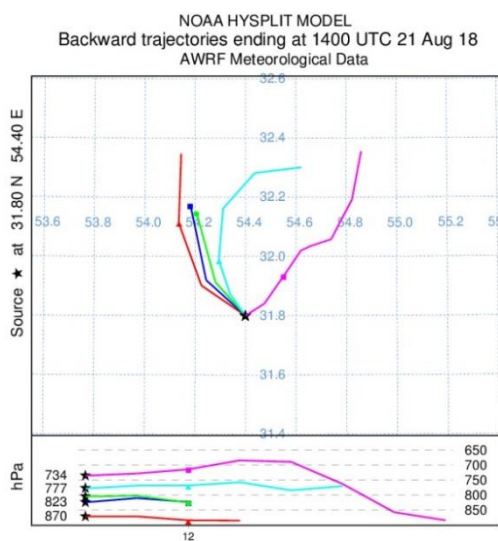
در مقایسه با پژوهش درویشی و همکاران (۱۳۹۱) با موضوع "کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی گردوغبارهای وارده به استان خوزستان (مطالعه موردی خرداد ۱۳۹۱)، مقدار میانگین فاکتور غنی‌سازی برای عناصر سرب و کادمیوم مربوط به گردوغبارهای خردادماه ۱۳۹۱ خوزستان به ترتیب ۲ (غنی‌شدگی کم) و ۹/۱ (غنی‌شدگی متوسط) اندازه‌گیری شد (درویشی و همکاران، ۱۳۹۱)؛ که همخوانی نسبتاً خوبی با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر داشت.

۳-۴. مسیریابی توفان گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT

در این پژوهش با اجرای مدل، مسیرهای برگشت از مختصات محل استقرار دستگاه جمع‌کننده ذرات به مدت ۱۲ ساعت ترسیم شد. همچنین به‌منظور بررسی دقیق‌تر، در نقطه مورد نظر پنج ارتفاع ۱۰، ۵۰۰، ۷۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر تعیین و مسیرهای برگشتی رسم شد. شکل ۴، مسیرهای برگشتی از پنج ارتفاع تعیین شده را برای چهار روز توفانی مورد آزمایش، نشان می‌دهد (شماروک و کلمپ، ۲۰۰۸)؛



(ب)



(الف)

شکل ۴. خروجی مسیر مدل HYSPLIT در پنج ارتفاع برای توفان‌های الف) سه اردیبهشت ب) ۲۹ مرداد ۱۳۹۷.

پیشنهاد می‌شود تا برای تکمیل پژوهش، توفان‌های بیشتری در فصل‌ها و ساعت‌های مختلفی از شبانه‌روز بررسی شود. همچنین می‌توان نتایج حاصل از مدل‌های دیگر مربوط به پدیده گردوغبار را با نتایج مدل WRF و داده‌های ایستگاهی مقایسه کرد.

مراجع

بوچانی، م. ح. و فاضلی، د. (۱۳۹۰). چالش‌های زیست‌محیطی و پیامدهای ناشی از آن ریزگردها و پیامدهای آن در غرب کشور ایران. فصلنامه رنامه سیاستگذاری، ۲(۳)، ۱۲۵-۱۴۶.

خوش‌کیش، ا.؛ علیجانی، ب. و حجازی‌زاده، ز. (۱۳۹۰). تحلیل سینوپتیکی سامانه‌های گردوغبار در استان لرستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱، ۹۱-۱۱۰.

سیاحتی اردکانی، غ.؛ میرسنجری، م.؛ عظیم‌زاده، ح. و سلگی، ع. (۱۳۹۷). ارزیابی محیط زیستی برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله سازی و فولادسازی اردکان. سلامت و محیط زیست، ۱۱(۳)، ۴۴۹-۴۶۴.

شیرانی، ف. و مزیدی، ا. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی اقلیمی استان یزد با روش‌های آماری چندمتغیره. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۳، ۱۵۷-۱۳۹.

مفیدی، ع. و جعفری، س. (۱۳۹۰). بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع طوفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران. اولین کنگره بین‌المللی پدیده گردوغبار و مقابله با آثار زیانبار آن، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

نکته قابل توجه در مقادیر گردوغبارهای اندازه‌گیری شده از طبقات مختلف دستگاه، افزایش مقادیر ذرات گردوغبار در فیلترهای شماره ۳ و ۴ بود. علی‌رغم این که انتظار اولیه از توزیع اندازه ذرات، روند کاهشی از درشت‌دانه به ریزدانه هست ولی می‌توان علت این افزایش غلظت ذرات را فرسایش بادی و برخوردهای حداکثری ذرات بزرگ‌تر و شکست گوشه‌های تیز و برآمدگی هواویزها، و تشکیل ذرات با اندازه کوچک‌تر (با میانگین قطر ۳/۲ میکرون) دانست.

به‌منظور بررسی مسیر حرکت توفان، با استفاده از خروجی مدل WRF به‌عنوان ورودی مدل HYSPLIT، از آن برای پیش‌بینی مسیر توفان و شناسایی منشا گرد و خاک استفاده شد. در شبیه‌سازی مربوط به تاریخ سه اردیبهشت مسیرها مناطق جنوب غربی یزد را نشان دادند که با توجه به قرارگیری شهرستان‌های ییلاقی تفت و مهریز در این مناطق، میزان گردوغبار وارد شده به شهر یزد نسبت به نمونه‌های مورد بررسی دیگر کمترین میزان را داشت. در شبیه‌سازی مربوط به تاریخ ۲۹ مرداد، مسیرها نواحی شمال و شمال‌غرب یزد را نشان دادند. با توجه به قرارگیری مناطق بیابانی دشت یزد-اردکان در این نواحی، میزان گردوغبار وارد شده به شهر یزد نسبت به روز ۳ اردیبهشت چیزی در حدود دو برابر بیشتر بود. همچنین با استفاده از طیف‌سنجی اتمی ذرات گردوغبار نمونه‌گیری شده، مشاهده شد توفان ۲۹ مرداد که منشأ آن مناطق شمال و شمال‌غربی یزد بود بیشترین میزان عناصر سنگین (Al, Pb, Cd) را در خود جای داده و از این حیث خطرات زیست‌محیطی بیشتری را به دنبال داشته است.

Chen, C. W., Kao, C. M., Chen, C. F., & Dong, C. D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8), 1431-1440.

Chen, Y., Paytan, A., Chase, Z., Measures, C., Beck, A. J., Sañudo-Wilhelmy, S. A., & Post, A. F. (2008). Sources and fluxes of atmospheric trace elements to the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D5).

Cong, Z., Kang, S., Liu, X., & Wang, G. (2007).

Elemental composition of aerosol in the Nam Co region, Tibetan Plateau, during summer monsoon season. *Atmospheric Environment*, 41(6), 1180-1187.

Draxler, R. R., & Hess, G. D. (1997). Description of the HYSPLIT4 modeling system.

Dulac, F., Buat-Menard, P. A. T. R. I. C. K., Ezat, U., Melki, S., & Bergametti, G. (1989). Atmospheric input of trace metals to the western Mediterranean: uncertainties in modelling dry deposition from cascade impactor data. *Tellus B*, 41(3), 362-378.

- Goudie, A. S. (2009). Dust storms: Recent developments. *Journal of environmental management*, 90(1), 89-94.
- Pielke Sr, R. A. (2013). Mesoscale meteorological modeling (Vol. 98). Academic press.
- Shao, Y. (2008). *Physics and modelling of wind erosion*. Springer Verlag.
- Shao, Y., Raupach, M. R., & Findlater, P. A. (1993). Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D7), 12719-12726.
- Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., & Yoon, S., (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181-204.
- Skamarock, W. C., & Klemp, J. B. (2008). A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. *Journal of Computational Physics*, 227(7), 3465-3485.
- Yerramilli, A., Dodla, V. B. R., Challa, V. S., Myles, L., Pendergrass, W. R., Vogel, C. A., & Hardy, M. G. (2012). An integrated WRF/HYSPLIT modeling approach for the assessment of PM2.5 source region over the Mississippi Gulf Coast region. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(4), 401-412.