

مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و کانی‌شناسی گرد و غبار اتمسفری شهر یزد در مرکز ایران

سمیه سلطانی گردفرامرزى* - استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
مریم مروتی - استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰

چکیده

پدیده گرد و غبار یکی از مخاطرات اقلیمی و زیست‌محیطی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. این مطالعه برای بررسی برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های گرد و غبار اتمسفری شهر یزد، به‌عنوان یکی از شهرهای مهم مناطق خشک کشور ایران، انجام شده است. از زمستان ۱۳۹۷ تا تابستان ۱۳۹۸ به‌صورت فصلی در ۳۰ نقطه از شهر یزد با استفاده از تله رسوب‌گیر از گرد و غبار اتمسفری نمونه‌برداری شد. همچنین، برای مقایسه نتایج گرد و غبار اتمسفری با خاک منطقه، ۳۰ نمونه مختلف خاک سطحی از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری از مناطق نزدیک نقاط نمونه‌برداری گرد و غبار تهیه شد. سپس، برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی از جمله بافت، pH، هدایت الکتریکی، غلظت نیترات، بی‌کربنات، فسفر، گوگرد، سدیم، پتاسیم، منیزیم، و کلر در نمونه‌های گرد و غبار و خاک، همچنین نسبت غنی‌شدگی عناصر در گرد و غبار تعیین شد. کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار نیز با آنالیز XRD مشخص شد. کلاس بافت خاک در هر چهار فصل مورد بررسی سیلت لوم محاسبه شد. نتایج نشان داد عناصر کلر و گوگرد در گرد و غبار نسبت به خاک سطحی به‌طور قابل توجهی غنی شده‌اند. کوارتز، کلسیت، و آلپیت کانی‌های اصلی و کلریت، ایلیت، مسکویت، و دولومیت به‌عنوان کانی‌های فرعی گرد و غبار تعیین شد. با توجه به نتایج آنالیز XRD و اثبات حضور کانی کلسیت و آلپیت به‌عنوان کانی‌های اصلی و وجود کانی کلریت به‌عنوان کانی فرعی در این منطقه، همچنین با توجه به همبستگی بالا و مثبت یون‌های کلر، نیترات، پتاسیم، و سدیم با شوری در گرد و غبار وجود ترکیبات مختلف این املاح خصوصاً ترکیبات کلرید سدیم و گچ در گرد و غبار منطقه مطالعاتی پیش‌بینی می‌شود. بر اساس شباهت بین کانی‌شناسی نمونه‌های گرد و غبار در منطقه با کانی‌شناسی خاک منطقه، احتمالاً می‌توان یکی از منابع گرد و غبار منطقه را بیابان‌های اطراف شهر یزد دانست.

واژگان کلیدی: اندازه ذرات، خصوصیات شیمیایی، کانی‌شناسی، منشأ گرد و غبار، نسبت غنی‌شدگی، شهر یزد، ایران.

مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گرد و غبار است که از جمله مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی در این مناطق محسوب می‌شود. بیش از دوسوم مساحت کشور ایران به دلایل مختلف، از جمله موقعیت جغرافیایی و دوری از پهنه‌های وسیع آبی، در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. محدودیت بارندگی در این منطقه تا حدودی از وقوع فرسایش آبی کاسته است. در حالی که کمبود پوشش گیاهی و سایر عوامل مساعدکننده فرسایش‌پذیری خاک زمینه را برای توسعه فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گرد و غبار فراهم کرده است (مقدسی و

همکاران، ۱۳۹۴: ۷۶؛ علی صوفی و شهریار، ۱۳۹۹). اصطلاح گرد و غبار، عموماً، به ذرات معدنی اطلاق می‌شود که در اثر فرسایش بادی خاک‌ها تولید می‌شوند. با در نظر گرفتن ترکیب ژئوشیمیایی گرد و غبار فرونشسته، منابع آلی و غیرآلی دیگری شامل انتشارات صنعتی و انسان‌زاد، آتشفشان و سوخت زیست‌توده‌ها برای ذرات اتمسفری در نظر گرفته می‌شوند (ژئیوان و همکاران، ۲۰۱۹). ادغام این منابع تولید ذرات اتمسفری با گرد و غبار ناشی از خاک موجب افزایش میزان مواد آلی و عناصر سنگین در گرد و غبار فرونشسته در اکوسیستم‌های خشکی می‌شود (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ یزدی و بهزاد، ۲۰۰۹: ۵۰؛ یزدی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۰۹؛ نارایان و همکاران، ۲۰۱۹). تا سال ۲۰۰۱ طوفان‌های گرد و غبار مشکل جدی در ایران محسوب نمی‌شد؛ اما به تدریج شدت این طوفان‌ها افزایش یافت؛ به طوری که در سال ۲۰۰۸، هجده استان کشور ایران را با مشکل مواجه ساخت. بنابراین، به دلیل ارتباط تنگاتنگ اقلیم با سلامت انسان و فعالیت‌های او، جمع‌آوری اطلاعات و درک مناسب پدیده گرد و غبار برای مبارزه و غلبه بر آن لازم است. به طور کلی، گرد و غبار دارای دو منبع طبیعی و انسانی است. بیش از ۸۰ درصد ذرات گرد و غبار به وسیله منابع طبیعی تولید می‌شود. فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک منبع اصلی گرد و غبار اتمسفری است و میزان ورود گرد و غبار از طریق منابع انسانی حدود ۵ تا ۷ درصد تخمین زده شده که در سال ۲۰۰۷ به ۲۰ درصد افزایش یافته است. انسان با استفاده ناصحیح از منابع آب سطحی و زیرزمینی، تخریب پوشش گیاهی، ضعیف شدن خاک به علت کشاورزی و استفاده ناصحیح از زمین، شرایط را برای وقوع پدیده گرد و غبار فراهم می‌کند (سلطانی گردفرامری و همکاران، ۱۳۹۹). یانگ و همکاران (۲۰۰۷) تغییر اقلیم و خشک‌سالی را عامل مؤثر در طوفان‌های گرد و غبار دانستند. از دیگر عوامل مؤثر بر طوفان‌های گرد و غبار می‌توان به میزان رطوبت خاک، بافت خاک و توپوگرافی، زبری سطح، و میزان چسبندگی ذرات خاک اشاره کرد. تحت تأثیر این عوامل و به دلیل سرعت شدید باد، ذرات ریز خاک از سطح زمین کنده شده و به اتمسفر انتقال داده می‌شوند (سانگ و همکاران، ۲۰۰۷). به طور کلی، خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گرد و غبار مشابه خاکی است که گرد و غبار از آن منشأ شده است. علاوه بر این، بخش‌های مختلف چرخه گرد و غبار ممکن است خصوصیات شیمیایی و فیزیکی گرد و غبار را تغییر دهد (تیانگنگ و همکاران، ۲۰۱۹). به همین دلیل، توزیع اندازه ذرات، کانی‌شناسی، و ویژگی‌های شیمیایی گرد و غبار به بسیاری از فاکتورهای مراحل انتشار، انتقال، و فرونشست گرد و غبار بستگی دارد (ویلیام و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات نشان دادند که درشت‌بودن اندازه ذرات گرد و غبار حاکی از فاصله کوتاه انتقال آن‌ها و نزدیکی و مجاورت محل برداشت به محل فرونشست گرد و غبار است (لائورنس و نف، ۲۰۰۹). بررسی توزیع اندازه گرد و غبار در شهری در مرکز چین نشان داد که حدود ۱۰ درصد از گرد و غبار دارای اندازه کوچک‌تر از ۲/۶، ۳۰ درصد کوچک‌تر از ۱/۵، و ۷۰ درصد کوچک‌تر از ۳۰ میکرومتر بود (کائو و همکاران، ۲۰۱۱). توزیع اندازه ذرات در جزایر قناری نیز نشان داد که این ذرات حاوی ۲۰ تا ۸۹ درصد سیلت، ۹ تا ۱۹ درصد رس، و ۴ تا ۷۱ درصد ذرات ریز و خیلی ریز شن بودند (منندز و همکاران، ۲۰۰۷). خصوصیات کانی‌شناسی و شیمیایی میزان عناصر و توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های گرد و غبار جنوب غرب آرژانتین نشان داد که فلدسپار و کوارتز جزو اساسی‌ترین بخش کانی‌های گرد و غبارند و کانی‌های دیگری مثل میکا، کلسیت، و مگنتیت نیز مشاهده شد (رامسپرگر و همکاران، ۱۹۹۸). راشکی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که ترکیبات اکسیدی سیلیس، کلسیم، آلومینیوم، سدیم، منیزم، و آهن مهم‌ترین ترکیبات اکسیدی و کانی‌های کوارتز، کلسیت، موسکویت، و پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی‌های موجود در ذرات گرد و غبار منطقه سیستان است. علی صوفی و شهریار (۱۳۹۹) برخی خصوصیات شیمیایی و میزان برخی عناصر غذایی همراه با گرد و غبار در دشت سیستان را بررسی کردند. بیشترین میزان عناصر غذایی در منطقه را کلسیم و کمترین آن را فسفر معرفی کردند و نشان

دادند که بیشترین نسبت غنی‌شدگی مربوط به فسفر و کمترین آن مربوط به سدیم بود. صلاحی و بهروزی (۱۳۹۹) در منطقه دزفول استان خوزستان نشان دادند که در بین عناصر محلول در گرد و غبار کلسیم، پتاسیم، سدیم، و منیزیم بیشترین غلظت را داشتند و ردیابی مسیر گرد و غبار نشان داد که رسوبات آبرفتی دجله و فرات در عراق کانون اصلی گرد و غبار در دزفول بوده است.

طی چند سال اخیر، شهر یزد شاهد گرد و غبارهای شدیدی بوده است که بررسی خصوصیات این ذرات در مبارزه بهتر با ایجاد این پدیده یا کاهش اثرها و میزان آن کمک شایانی می‌نماید. این در حالی است که مطالعات جامعی در این خصوص در شهر یزد انجام نگرفته است. اطلاع از نحوه توزیع اندازه ذرات گرد و غبار و ترکیب شیمیایی آن‌ها جهت دانستن خصوصیات فیزیکی- شیمیایی، منابع و مکانیسم تشکیل و رفتار و نیز تعیین راهکارهایی جهت کنترل آن مفید و بارز است. بنابراین، این تحقیق برای بررسی خصوصیات شیمیایی، فیزیکی، و کانی‌شناسی گرد و غبار همچنین نسبت غنی‌شدگی عناصر در گرد و غبار طی فصول مختلف در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام شد.

روش تحقیق

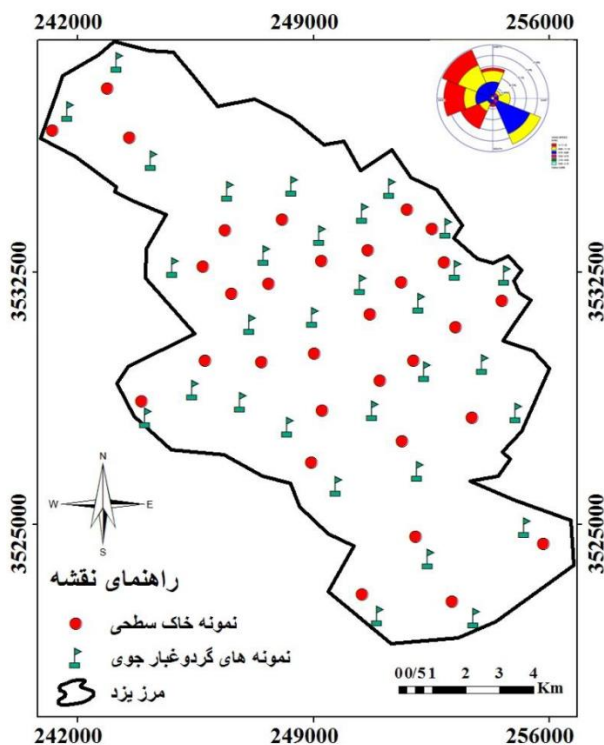
منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در شهر یزد، پرجمعیت‌ترین شهرستان و مرکز استان یزد، با وسعتی بالغ بر ۱۳۶/۳۷ کیلومتر مربع با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی انجام گرفت. جهت باد غالب در شش ماه از سال (بهار و تابستان) شمال غربی و در چهار ماه (آبان تا بهمن) جنوب شرقی و در اسفند و مهر غربی است. طبق اطلاعات هواشناسی، میانگین دمای سالیانه ۱۹/۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۳۱ درصد، مجموع بارندگی سالیانه ۶۰/۸ میلی‌متر، تعداد روزهای با طوفان تندی ۳/۷، تعداد روزهای با طوفان گرد و خاک ۶۲/۵، تعداد روزهای با دید کمتر از دو کیلومتر ۱۵، سرعت باد غالب ۸/۸ کیلومتر، و درصد باد غالب ۱۵/۲ است. بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهرستان ۶۵۶۴۷۴ نفر است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹). با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی، رشد شهرنشینی، و گرایش به صنعت این شهرستان از لحاظ بررسی وضعیت گرد و غبار حائز اهمیت است.

نمونه‌برداری از رسوب و خاک سطحی

به‌منظور نمونه‌برداری از گرد و غبار و خاک سطحی، ۳۰ محل نمونه‌برداری- به نحوی که پوشش مناسبی در کل منطقه حاصل شود- به‌صورت تصادفی در منطقه مطالعاتی انتخاب شد. برای نمونه‌برداری از غبار اتمسفری، از رسوب‌گیر غبار تیله‌ای، از یک سینی پلاستیکی با چند ردیف تیله (حداقل ۲ ردیف) با قطر سینی ۳۱/۵ سانتی‌متری و ارتفاع ۵ سانتی‌متر و قطر تیله‌های شیشه‌ای ۱/۶ سانتی‌متر استفاده شد. این نمونه‌بردار برای جمع‌آوری غبار ریزشی (عمودی) پیشنهاد شده است (اختصاصی و جهان‌بخشی، ۱۳۹۴: ۵۴). نمونه‌برداری از غبار اتمسفری در چهار فصل پاییز و زمستان ۱۳۹۷ و بهار و تابستان ۱۳۹۸ در شهر یزد در ارتفاع سه‌متری سطح زمین (پشت بام منازل یک طبقه) انجام گرفت. ارتفاع یک طبقه این امکان را فراهم می‌کند که غبار فرونشسته تحت تأثیر سایر فرایندهای بادی نزدیک به سطح زمین قرار نگرفته و در عین حال نسبت به ساختمان‌های مرتفع این امکان را مهیا می‌کند که غلظت غبار جمع‌آوری شده تقریباً به مقدار قابل استنشاق توسط افراد نزدیک‌تر باشد. نمونه‌برداری از خاک سطحی نیز در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر یک بار در طول

نمونه‌برداری گرد و غبار و از نزدیکی نقاط نمونه‌برداری گرد و غبار انجام شد. شکل ۱ موقعیت نقاط و نحوه توزیع نقاط نمونه‌برداری گرد و غبار و خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت نقاط نمونه‌برداری رسوب و خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه

مطالعات آزمایشگاهی

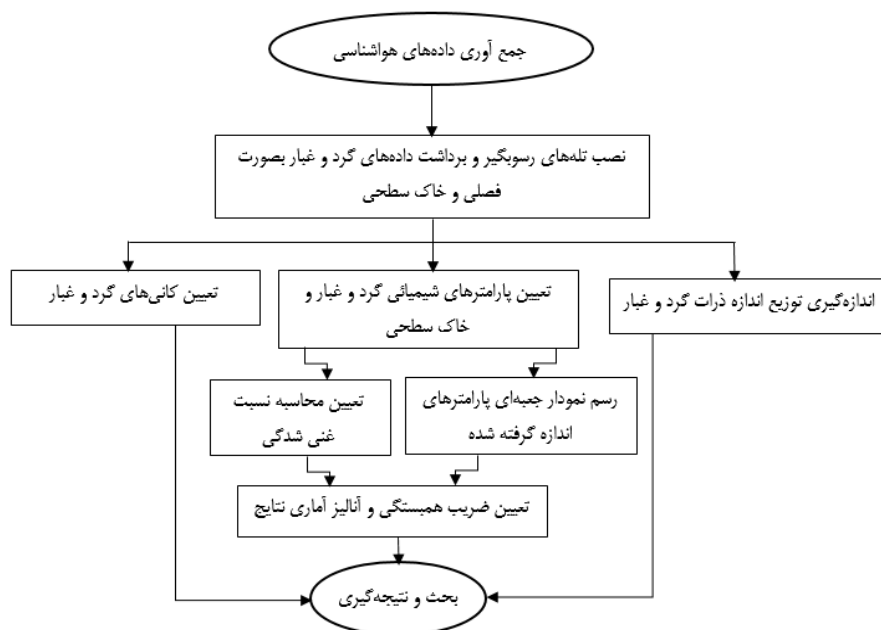
پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نخست همه نمونه‌ها به منظور جداسازی ذرات خار و خاشاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و سپس وزن گردید و سپس خصوصیات گرد و غبار اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک سطحی نیز پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای آنالیز آزمایشگاهی آماده شد. توزیع اندازه ذرات نمونه‌های گرد و غبار به روش سانتیفریوژ اندازه‌گیری شد (گی و باؤدرز، ۱۹۸۶: ۱۵). به منظور کانی‌شناسی ذرات رس نمونه‌های گرد و غبار، نمونه‌های ترکیبی از فصول نمونه‌برداری از پنج نقطه نمونه‌برداری (شمال، جنوب، غرب، شرق، و مرکز شهر) به عنوان نمونه‌های شاهد کل منطقه انتخاب شدند. بر اساس بسیاری از مطالعات، فصل نمونه‌برداری تأثیری در کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار ندارد (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ نوروزی، ۱۳۹۴: ۷۴؛ رامسپرگر و همکاران، ۱۹۹۸). به همین دلیل، نمونه ترکیبی از هر چهار فصل برای انجام دادن این آنالیز استفاده شد. برای اندازه‌گیری کانی‌های رسی، نخست ترکیبات اتصال‌دهنده ذرات از جمله کربنات‌ها با استفاده از بافر استات سدیم و اسید استیک، ماده آلی با آب اکسیژنه ۳۰ درصد و اکسیدهای آهن با استفاده از ترکیب سیترات، بی کربنات و دی تیونات از نمونه‌های گرد و غبار حذف شدند. سپس نمونه‌ها از الک ۲۷۰ مش عبور داده شدند تا ذرات شن حذف شود. جدا کردن ذرات رس از سیلت توسط دستگاه سانتیفریوژ و با استفاده از محلول جداکننده هگزا متا فسفات سدیم در دور ۸۵۰ دور به مدت شش دقیقه انجام شد (بورت، ۲۰۰۴: ۹۸). برای شناسایی کانی‌های رسی مختلف در پراش نگاشت اشعه ایکس از پیک‌های مشخصه هر کانی استفاده

می‌شود. با بررسی پیک‌ها در تیمار منیزیم و مقایسه تغییرات آن‌ها در پراش نگاشت‌های اشعه ایکس تیمارهای اتیلن گلیکول و پتاسیم تحت حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، کانی‌های رسی موجود در نمونه‌های گرد و غبار در آزمایشگاه زرازمای تهران با دستگاه XRD مدل (Asenware (Aw-XDM300 و با طول موج ۱/۵۴۱۸ آنگستروم، step size=0.05 و time=1، و قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌های گرد و غبار و خاک سطحی در عصاره ۱:۲ آب به نمونه گرد و غبار یا خاک سطحی قرائت شد. کلر به وسیله تیتراسیون با نیترات نقره، بی‌کربنات به روش تیتراسیون، و نیترات به روش اسپکتروفوتومتری تعیین شد (بورت، ۲۰۰۴: ۱۰۵). داده‌های به‌دست‌آمده از آنالیز نمونه‌های گرد و غبار و خاک سطحی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 تجزیه و تحلیل شدند. میانگین پارامترهای مورد مطالعه و معنی‌داری اختلاف آن‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شد. پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. برای تعیین همبستگی بین غلظت عناصر در گرد و غبار در مورد متغیرهای دارای توزیع نرمال از ضریب همبستگی پیرسون و برای متغیرهایی با توزیع غیرطبیعی از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. سپس، ضرایب همبستگی بین پارامترهای مورد بررسی محاسبه و نمودارهای جعبه‌ای پارامترهای مورد مطالعه ترسیم شد. برای تعیین نسبت غنی‌شدگی از نسبت غلظت عنصر در نمونه گرد و غبار به غلظت عنصر در نمونه خاک استفاده شد. اگر مقدار نسبت غنی‌شدگی بیشتر از یک باشد، نشان می‌دهد آن عنصر در گرد و غبار نسبت به خاک بیشتر شده و فرسایش انتخابی و میزان هدررفت آن عنصر از خاک منشأ را نشان می‌دهد (علی صوفی و شهریار، ۱۳۹۹). شکل ۲ مراحل اجرای تحقیق را نشان می‌دهد.

یافته‌های تحقیق

اندازه ذرات گرد و غبار

در جدول ۱ فراوانی اندازه‌های مختلف ذرات گرد و غبار و کلاس بافت ذرات گرد و غبار منطقه مورد مطالعه در چهار فصل مورد بررسی ارائه شده است. در همه فصول ذرات سیلت (۲ تا ۵۰ میکرومتر) بیشترین درصد ذرات گرد و غبار را تشکیل داده‌اند. ذرات شن (بیش از ۵۰ میکرومتر) پس از سیلت بیشترین جزء ذرات را تشکیل می‌دهند و ذرات در اندازه رس (کمتر از ۲ میکرومتر) کمترین فراوانی را در گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. این نحوه توزیع اندازه ذرات معمولاً در مواردی که ذرات گرد و غبار از فواصل متوسط تا زیاد منتقل شده باشند مشاهده می‌شود (حجتی و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج بررسی مطالعات نشان می‌دهد که ذرات سیلت مناسب‌ترین اندازه ذرات برای انتقال اتمسفری اند (لائورنس و نف، ۲۰۰۹). حجتی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که ذرات گرد و غبار فرونشسته در منطقه بین جندق تا کوه‌رنگ عمدتاً در اندازه سیلت هستند. منندز و همکاران (۲۰۰۷) نیز فراوان‌ترین اندازه ذرات در گرد و غبار در اسپانیا را ذرات سیلت و کمترین جزء ذرات را رس گزارش کردند. هر چه منبع تولید گرد و غبار تا منطقه فرونشست فاصله بیشتری داشته باشد، گرد و غبار به‌دست‌آمده از ذرات ریزتری تشکیل می‌شود (حجتی و همکاران، ۲۰۱۲). گزارش شده است که خصوصیات گرد و غبار ترسیب‌شده از منابع محلی به‌طور کلی حاوی مقادیر زیادی ذرات درشت است (مک تانیش و همکاران، ۱۹۹۷). درحالی‌که گرد و غبار منطقه‌ای میزان متوسطی از ذرات شن و سیلت درشت را داراست و فراوانی نسبی ذرات دارای بافت ریز در گرد و غبار ترسیب‌شده محلی و منطقه‌ای کم است. گرد و غبار برون‌مرزی کاملاً حاوی ذرات سیلت ریز و رس و عاری از ذرات درشت است. روند کلی کاهش اندازه ذرات با افزایش فاصله از مناطق منبع تولید گرد و غبار در همه مطالعات گزارش شده است (لائورنس و نف، ۲۰۰۹).



شکل ۲. مراحل اجرای تحقیق

جدول ۱. میانگین فراوانی اندازه ذرات مختلف و کلاس بافتی گرد و غبار در فصول مختلف مورد مطالعه

فصل	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کلاس بافت خاک
پاییز	۱۲٫۱	۶۶٫۵	۲۱٫۴	سیلت لوم
زمستان	۷٫۸۸	۶۲٫۳	۲۹٫۸	سیلت لوم
بهار	۷٫۲	۵۸٫۶	۳۴٫۲	سیلت لوم
تابستان	۸٫۱	۶۳٫۴	۲۸٫۵	سیلت لوم

خصوصیات شیمیایی گرد و غبار و خاک سطحی

توصیف آماری برخی خصوصیات شیمیایی مورد بررسی در نمونه‌های خاک و گرد و غبار اتمسفری در جدول ۲ و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه‌های گرد و غبار و خاک سطحی در منطقه مطالعاتی در چهار فصل در نمودارهای جعبه‌ای شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، pH نمونه‌های گرد و غبار از ۷٫۱۰ تا ۹٫۷۴ با میانگینی معادل ۷٫۸۳ تغییر کرده که در مقایسه با نتایج نمونه‌های خاک (حداقل ۷٫۲۹، حداکثر ۱۱٫۵ با میانگین ۸٫۸۸) بدون اختلاف معنی‌دار در همه فصول کمتر است. هرچند حداقل میزان pH در فصل زمستان یافت شد. بسیاری از محققان کاهش pH در فصول سرد را مرتبط با کاهش دما و افزایش وسایل گرمایشی و سوخت‌های فسیلی می‌دانند که باعث انتشار گازهای CO₂ و SO₂ در محیط می‌شود و به تبع آن pH کاهش می‌یابد (جعفری و خادمی، ۱۳۹۶). شوری در فصل زمستان حداکثر و در مقایسه با نمونه‌های خاک سطحی نیز بیشتر بوده و در تابستان به کمترین میزان خود رسیده است. متوسط شوری در نمونه‌های گرد و غبار ۴۴۱۲٫۹۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر با حداقل و حداکثر به ترتیب ۸۸۵ و ۳۱۷۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است که از شوری متوسط خاک کمتر است (حداقل، حداکثر، و متوسط شوری خاک ۱۹۹۰، ۱۸۰۶۰، و ۶۸۵۲٫۹۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر). در حالی که بی‌کربنات (با متوسط ۲۳۲۹٫۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و پتاسیم (با متوسط ۱۸۹۷۲٫۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گرد و غبار بیشتر از مقدار آن در نمونه‌های خاک سطحی (به ترتیب با متوسط ۱۲۴۵٫۳۹ و ۱۶۶۳۳٫۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای بی‌کربنات و پتاسیم) یافت شد. بی‌کربنات در تابستان دارای بیشترین میزان (۲۷۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است و در بهار کمترین مقدار

(۱۷۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را داراست. در مورد نیترات در فصل بهار و پاییز به ترتیب حداکثر (۴۰۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و حداقل (۱۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مقدار خود را دارد. به جز فصل پاییز، نیترات در همه فصول نمونه‌برداری بیشتر از نیترات موجود در خاک سطحی (۲۳۱/۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بوده است. منیزیم موجود در نمونه‌های گرد و غبار در فصل بهار حداقل (۱۰۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمتر از خاک سطحی و در پاییز حداکثر (۱۴۳۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشتر از منیزیم موجود در نمونه‌های خاک سطحی (۱۲۷۵۹/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. میزان سدیم موجود در خاک سطحی و در همه فصول به جز زمستان اختلاف معنی‌دار ندارد. پتاسیم در زمستان در طی چهار فصل نمونه‌برداری دارای بیشترین مقدار (۲۰۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در پاییز (۱۷۷۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای کمترین میزان بود. هرچند پتاسیم موجود در نمونه‌های گرد و غبار از نظر آماری بیشتر از پتاسیم موجود در نمونه‌های خاک سطحی بود. در خصوص کلر، اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های خاک سطحی و نمونه‌های گرد و غبار در همه فصول مشاهده نشد. فسفر نیز در فصل پاییز دارای بیشترین میزان (۵۵۲/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در تابستان (۴۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک سطحی بدون اختلاف معنی‌دار کمتر از فصول پاییز و زمستان است. محققانی از جمله احمدی بیرگانی و همکاران (۱۳۹۵) از عناصری همچون کلسیم، منیزیم، فسفر، و آلومینیوم به عنوان شاخص ریزش گرد و غبار یا وجود رخداد گرد و غبار استفاده کرده‌اند. سلطانی گردفرامری و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که بیشترین میزان نرخ فرودنشست گرد و غبار در شهر یزد در فصل بهار و زمستان و کمترین آن در فصل تابستان اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج این مطالعه نیز، می‌توان افزایش غلظت عناصر شیمیایی در برخی از فصول سال را نشان‌دهنده رخداد گرد و غبار در منطقه دانست.

ضرایب همبستگی پیرسون (P) و اسپیرمن (S) بین آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در گرد و غبار با شوری گرد و غبار طی چهار فصل در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، مقدار شوری خاک با آنیون‌ها و کاتیون‌های نیترات، کلر، پتاسیم، و سدیم در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. هرچند رابطه معنی‌داری بین شوری محلول گرد و غبار با بی‌کربنات، گوگرد، فسفر، و منیزیم وجود نداشت. بی‌کربنات فقط با فسفر و یون نیترات با کلر، فسفر، پتاسیم، منیزیم، و سدیم ارتباط معنی‌دار داشت. همچنین، کلر با کاتیون‌های پتاسیم، منیزیم، و سدیم همبستگی نشان داد. فسفر با منیزیم و گوگرد و بین پتاسیم فقط با سدیم همبستگی معنی‌دار مشاهده شد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین یون‌های مختلف، احتمال وجود ترکیبات مختلف املاح را در گرد و غبار محتمل می‌کند.

کانی‌شناسی رسی گرد و غبار

آنالیز کانی‌شناسی ذرات رس برای نمونه‌های ترکیبی چهار فصل نمونه‌برداری گرد و غبار از پنج سایت نمونه‌برداری، نماینده کل شهر یزد شامل مرکز، جنوب، شمال، شرق، و غرب شهر یزد انجام شد. نتایج پراش نگاشت اشعه ایکس تیمار منیزیم نمونه‌های گرد و غبار بخش رس در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بین پراش نگاشت اشعه ایکس نمونه‌های گرد و غبار در سایت‌های مختلف اختلاف جزئی وجود دارد. برای شناسایی کانی‌های رسی مختلف در پراش نگاشت اشعه ایکس از پیک‌های مشخصه هر کانی استفاده می‌شود. با توجه به پراش اشعه ایکس نمونه‌های گرد و غبار کانی‌های اصلی و فرعی تشخیص داده شده در جدول مشخص شدند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد در این پنج سایت مشخص شده بین کانی‌های اصلی تعیین شده اختلافی وجود ندارد و بیانگر یکسان یا حداقل مشابه بودن منبع تولید گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه است (نوروزی ۱۳۹۴: ۹۵؛ رامسپرگر و همکاران، ۱۹۹۸). طبق جدول ۴، کانی‌های کوارتز، سیلیس، کلسیت، آلبیت، فلدسپار سدیم، و کربنات کلسیم کانی‌های اصلی در هر پنج سایت بوده است و کانی‌های

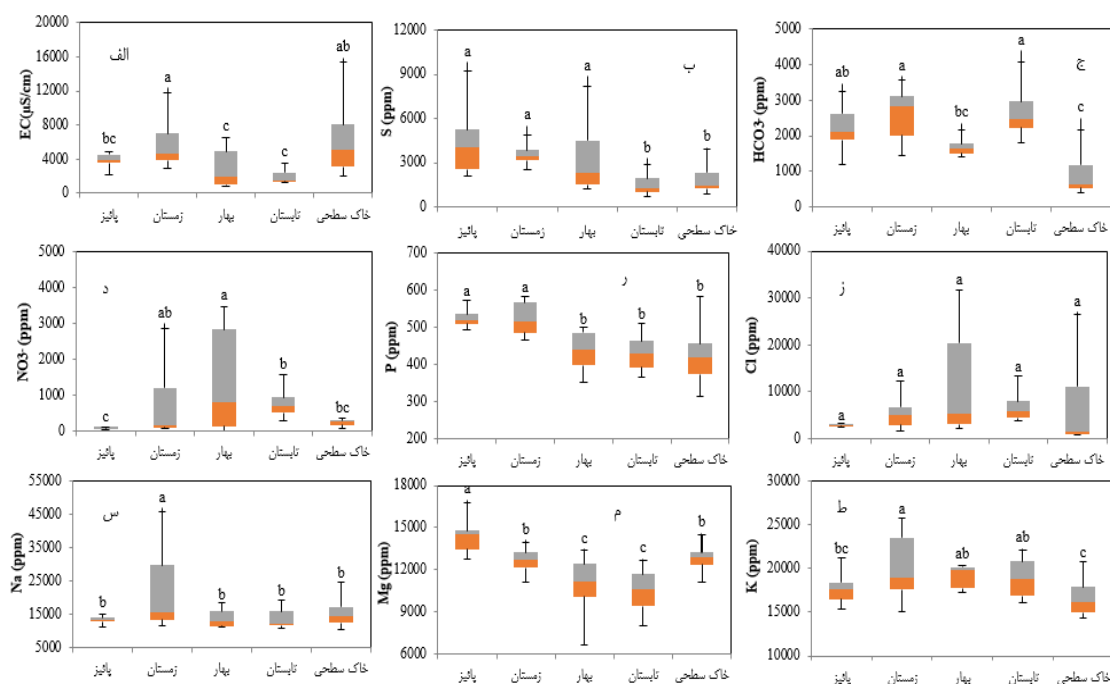
موسکویت، کلریت، دولومیت، و فلدسپار پتاسیم به میزان کمتر در نمونه‌ها دیده می‌شود. کوارتز کانی سیلیکاته‌ای است که بعد از فلدسپات دومین کانی فراوان پوسته زمین است. فلدسپات گسترده‌ترین نوع سیلیکات‌ها در پوسته زمین‌اند و آن‌ها تقریباً ۵۰ درصد وزن پوسته زمین را تشکیل می‌دهند. کلسیت و دولومیت از جمله کانی‌های کربناته‌اند که از واکنش شیمیایی یون‌ها در آب‌های گرم و کم‌عمق به‌وجود می‌آیند (باغی و همکاران، ۱۳۹۹). تغییر جزئی در کانی‌های اصلی و فرعی در نمونه‌های گرد و غبار حاکی از یکسان‌بودن و مشابه‌بودن منشأ تولید گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه است.

نسبت غنی‌شدگی عناصر در گرد و غبار

جدول ۵ و شکل ۴ مقادیر متوسط نسبت غنی‌شدگی عناصر را نشان می‌دهد که به‌جز منیزیم (۰/۹۴) سایر عناصر (پتاسیم با متوسط ۱/۱۵، سدیم با متوسط ۱/۰۳، فسفر با متوسط ۱/۱۳، گوگرد با متوسط ۲/۱۰، و کلر با متوسط ۴/۲۸) در گرد و غبار نسبت به خاک سطحی غنی شده‌اند. بیشترین نسبت غنی‌شدگی مربوط به کلر در فصل بهار (۴/۱۸) و سپس گوگرد در فصل پاییز (۲/۹۴) و کمترین آن مربوط به منیزیم (۰/۷۹) و سپس سدیم (۰/۹) در فصل بهار بود. ذکر این نکته لازم است که نسبت غنی‌شدگی عناصر در فصول بررسی‌شده متفاوت بود. به‌طوری‌که در فصل پاییز و زمستان بیشترین مقدار غنی‌شدگی عناصر در گرد و غبار مشاهده شد و دو فصل بهار و تابستان با اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد دارای کمترین مقدار نسبت غنی‌شدگی عناصر بودند. به‌طور کلی، نسبت غنی‌شدگی بیشتر عناصر مورد مطالعه در گرد و غبار شهر یزد نزدیک یا بیش از یک بوده؛ هرچند در مورد کلر تا بیش از چهار برابر در فصل بهار و در مورد گوگرد این نسبت تا حدود سه برابر در فصل پاییز رسیده است که نشان‌دهنده فرسایش انتخابی این عناصر از خاک‌های منشأ گرد و غبار است.

جدول ۲. آنالیز آماری پارامترهای شیمیایی گرد و غبار و خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه در چهار فصل نمونه‌برداری

	pH	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	P ⁻
		µS/cm				mg kg ⁻¹			
حداقل	۷,۳۵	۲۱۴۰,۰۰	۲۳۰۸,۰۰	۴۰,۸۰	۱۱۹۵,۰۰	۱۵۳۰,۵۰	۱۲۸۰,۱۰	۱۰۲۵۶,۰۰	۴۹۵,۰۰
حداکثر	۸,۱۰	۴۸۸۰,۰۰	۳۳۶۳,۰۰	۱۲۳,۰۰	۳۲۴۱,۰۰	۲۱۵۴۱,۰۰	۱۸۵۹۶,۰۰	۱۴۷۸۵,۰۰	۸۹۶,۰۰
میانگین	۷,۷۶	۳۸۰۹,۷۰	۲۸۹۱,۹۰	۷۳,۲۳	۲۱۹۳,۷۰	۱۷۷۴۷,۰۰	۱۴۳۷۴,۰۰	۱۳۱۸۲,۰۰	۵۵۲,۰۶
انحراف معیار	۰,۲۰	۹۰۱,۹۳	۳۲۲,۰۲	۲۰,۱۳	۶۲۷,۶۵	۱۶۷۱,۸۱	۱۳۲۴,۸۶	۱۰۹۷,۱۶	۹۳,۷۵
حداقل	۷,۱۰	۲۸۹۰,۰۰	۱۶۸۷,۰۰	۸۳,۳۰	۱۴۵۲,۰۰	۱۵۰۱۱,۰۰	۱۱۰۸۵,۰۰	۱۱۵۲۱,۰۰	۴۶۵,۰۰
حداکثر	۸,۰۰	۳۱۷۰,۰۰	۶۶۳۱۷,۰۰	۴۰۱۷,۰۰	۳۵۶۲,۰۰	۲۵۶۸۹,۰۰	۱۳۹۱۳,۰۰	۴۵۸۴۰,۰۰	۵۸۴,۰۰
میانگین	۷,۶۵	۷۷۲۰,۰۰	۱۰۷۰۰,۰۰	۸۴۴,۰۰	۲۵۷۰,۰۰	۲۰۲۰۰,۰۰	۱۲۶۰۰,۰۰	۲۱۹۰۰,۰۰	۵۲۳,۰۰
انحراف معیار	۰,۲۴	۸۳۰۴,۸۰	۱۸۰۹۳,۷۰	۱۲۸۱,۶۶	۶۳۲,۵۵	۳۳۱۵,۳۵	۷۰۷,۰۶	۱۲۲۶,۸۶	۴۲,۱۳
حداقل	۷,۵۰	۸۸۵,۰۰	۲۱۴۴,۰۰	۱۰,۵۰	۱۴۱۲,۰۰	۱۷۲۱۱,۰۰	۱۲۳۴,۰۰	۱۱۲۹۸,۰۰	۳۵۱,۰۰
حداکثر	۹,۷۴	۶۵۲۰,۰۰	۳۱۷۲۲,۰۰	۳۴۵۲,۰۰	۲۳۳۷,۰۰	۲۰۳۶۲,۰۰	۱۳۳۶۵,۰۰	۱۸۶۱۸,۰۰	۵۰۲,۰۰
میانگین	۸,۲۳	۲۸۳۰,۰۰	۱۰۸۰۰,۰۰	۱۴۲۰,۰۰	۱۷۲۰,۰۰	۱۹۰۰۰,۰۰	۱۰۱۰۰,۰۰	۱۳۹۰۰,۰۰	۴۳۶,۰۰
انحراف معیار	۰,۷۴	۲۰۶۷,۸۷	۱۰۳۴۴,۵۴	۱۴۴۲,۲۲	۲۶۷,۸۹	۱۲۸۳,۴۸	۳۶۳۸,۴۹	۲۷۱۶,۸۰	۵۱,۴۶
حداقل	۷,۴۳	۱۳۲۶,۰۰	۳۶۷۶,۰۰	۲۸۷,۰۰	۱۸۱۰,۰۰	۱۶۱۲۱,۰۰	۸۰۲۴,۰۰	۱۰۸۵۵,۰۰	۳۶۵,۰۰
حداکثر	۸,۰۷	۳۴۵۰,۰۰	۲۱۶۰۸,۰۰	۱۶۵۷,۰۰	۴۹۷۶,۰۰	۲۲۱۵۳,۰۰	۱۲۶۳۶,۰۰	۱۹۰۳۹,۰۰	۵۱۱,۰۰
میانگین	۷,۸۰	۱۹۴۰,۰۰	۷۲۷۰,۰۰	۷۷۰,۰۰	۲۷۷۰,۰۰	۱۸۹۰۰,۰۰	۱۰۶۰۰,۰۰	۱۳۸۰۰,۰۰	۴۳۳,۰۰
انحراف معیار	۰,۲۱	۷۵۰,۷۶	۴۹۳۰,۲۸	۳۷۳,۷۰	۹۲۸,۵۴	۲۱۴۳,۱۲	۱۵۲۹,۵۰	۲۸۴۲,۰۸	۴۶,۶۳
حداقل	۷,۲۹	۱۹۹۰,۰۰	۶۹۶,۰۰	۶۹,۴۰	۴۰۶,۰۰	۱۴۲۶۶,۰۰	۱۱۰۵۵,۰۰	۱۰۲۷۹,۰۰	۳۱۳,۰۰
حداکثر	۱۱,۵۰	۱۸۰۶۰,۰۰	۴۰۷۷۲,۰۰	۳۴۶,۰۰	۳۶۴۵,۰۰	۲۰۷۸۸,۰۰	۱۴۶۰۱,۰۰	۲۹۲۰۱,۰۰	۷۱۶,۰۰
میانگین	۸,۸۸	۶۸۵۰,۰۰	۹۰۹۰,۰۰	۲۳۱,۰۰	۱۲۵۰,۰۰	۱۶۶۰۰,۰۰	۱۲۸۰۰,۰۰	۱۵۷۰۰,۰۰	۴۳۸,۰۰
انحراف معیار	۱,۴۶	۴۹۹۳,۴۸	۱۳۳۵۳,۲۵	۸۶,۹۴	۱۱۳۲,۸۵	۱۹۳۲,۱۵	۸۴۱,۹۴	۵۰۱۷,۰۱	۹۱,۴۰



شکل ۳. نمودار جعبه‌ای غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (الف: شوری؛ ب: گوگرد؛ ج: بی‌کربنات؛ د: نیترات؛ ر: فسفر؛ ز: کلسیم؛ س: سدیم؛ م: منیزیم؛ ط: پتاسیم) در نمونه‌های گرد و غبار و خاک سطحی در منطقه مطالعاتی در چهار فصل نمونه‌برداری

جدول ۳. ضرایب همبستگی پیرسون (P) و اسپیرمن (s) بین آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در گرد و غبار با شوری گرد و غبار طی چهار فصل در منطقه مورد مطالعه

	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	P ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S ²⁻	EC
HCO ₃ ⁻	۱								
NO ₃ ⁻	-۰.۲۴۳ ^s	۱							
Cl ⁻	-۰.۱۸۵ ^s	۰.۸۲۲ ^{**s}	۱						
P ⁻	۰.۳۳۹ ^{*p}	-۰.۲۸۳ ^s	-۰.۱۶۶ ^s	۱					
K ⁺	-۰.۲۲۹ ^p	۰.۶۱۲ ^{**s}	۰.۵۷۷ ^{**s}	-۰.۱۶۴ ^p	۱				
Mg ²⁺	۰.۱۳۰ ^p	-۰.۴۴۴ ^{**s}	-۰.۲۵۵ ^s	۰.۵۳۲ ^{*p}	-۰.۲۲۷ ^p	۱			
Na ⁺	-۰.۱۹۵ ^s	۰.۶۴۹ ^{**s}	۰.۶۶۷ ^{**s}	-۰.۰۸۱ ^s	۰.۸۱۰ ^{**s}	۰.۱۰۶ ^s	۱		
S ²⁻	-۰.۲۳۵ ^p	۰.۱۰۵ ^s	۰.۰۵۱ ^s	۰.۴۲۰ ^{**p}	۰.۱۱۹ ^p	۰.۲۳۸ ^p	۰.۱۰۳ ^s	۱	
EC	-۰.۱۰۲ ^s	۰.۶۲۱ ^{**s}	۰.۸۶۲ ^{**s}	۰.۰۹۳ ^s	۰.۵۸۳ ^{**s}	۰.۱۲۱ ^s	۰.۸ ^{**s}	۰.۲۲۲ ^s	۱

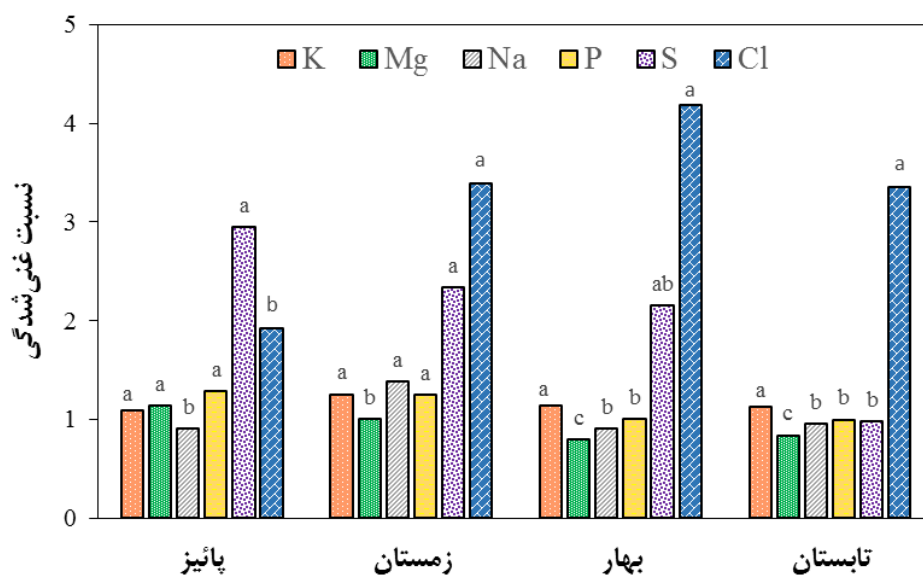
** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری ضرایب همبستگی در سطوح آماری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ هستند.

جدول ۴. کانی‌های تعیین شده توسط آنالیز XRD در نمونه‌های گرد و غبار شهر یزد

نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
شمال منطقه	کوارتز، کلسیت، آلبیت	ارتوکلاز، مسکوویت-ایلیت، کاتولینیت، و دولومیت
شرق منطقه	کوارتز، کلسیت، آلبیت	فلدسپار، مسکوویت-ایلیت، کلریت، و دولومیت
غرب منطقه	کوارتز، کلسیت، آلبیت	فلدسپار، مسکوویت-ایلیت، کلریت، و آنکریت
مرکز منطقه	کوارتز، کلسیت، آلبیت	ارتوکلاز، مسکوویت-ایلیت، کلریت، و دولومیت
جنوب منطقه	کوارتز، کلسیت، آلبیت	فلدسپار، مسکوویت-ایلیت، کلریت، و دولومیت

جدول ۵. آنالیز آماری نسبت غنی‌شدگی عناصر در گرد و غبار شهری منطقه مورد مطالعه در چهار فصل نمونه‌برداری

		K	Mg	Na	P	S	Cl
پاییز ۱۳۹۷	حداکثر	۱,۴۸	۱,۳۲	۱,۳۱	۱,۶۹	۷,۱۶	۳,۹۵
	حداقل	۰,۷۵	۰,۹۵	۰,۵۰	۰,۹۲	۰,۴۵	۰,۱۰۸
	میانگین	۱,۰۹	۱,۱۳	۰,۹۰	۱,۲۸	۲,۹۴	۱,۹۲
	انحراف معیار	۰,۱۹	۰,۱۱	۰,۲۲	۰,۱۸	۲,۰۵	۱,۵۲
زمستان ۱۳۹۷	حداکثر	۱,۶۴	۱,۲۲	۲,۶۵	۱,۸۲	۵,۸۱	۱۱,۳۸
	حداقل	۰,۸۱	۰,۸۳	۰,۶۳	۰,۸۰	۰,۶۴	۰,۱۰۸
	میانگین	۱,۲۴	۱,۰۰	۱,۳۸	۱,۲۴	۲,۳۳	۳,۳۹
	انحراف معیار	۰,۲۷	۰,۱۰	۰,۵۵	۰,۲۶	۱,۲۸	۳,۱۰
بهار ۱۳۹۸	حداکثر	۱,۳۹	۱,۰۰	۱,۱۶	۱,۲۸	۶,۶۱	۱۸,۶۸
	حداقل	۰,۸۳	۰,۱۰	۰,۶۴	۰,۶۱	۰,۲۶	۰,۲۰
	میانگین	۱,۱۴	۰,۷۹	۰,۹۰	۱,۰۰	۲,۱۵	۴,۱۸
	انحراف معیار	۰,۱۹	۰,۲۷	۰,۱۴	۰,۱۹	۱,۹۹	۵,۳۰
تابستان ۱۳۹۸	حداکثر	۱,۴۷	۱,۰۱	۱,۶۵	۱,۴۰	۲,۴۵	۷,۹۴
	حداقل	۰,۸۵	۰,۶۰	۰,۴۲	۰,۷۱	۰,۱۲	۰,۱۵
	میانگین	۱,۱۲	۰,۸۳	۰,۹۵	۰,۹۹	۰,۹۷	۳,۳۵
	انحراف معیار	۰,۱۶	۰,۱۰	۰,۳۷	۰,۱۹	۰,۶۹	۳,۱۰
میانگین		۱,۱۵	۰,۹۴	۱,۰۳	۱,۱۳	۲,۱۰	۴,۲۸



شکل ۴. مقادیر متوسط نسبت غنی‌شدگی عناصر در گرد و غبار

(میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر عنصر در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف آماری معنی‌دار ندارند)

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان خصوصیات شیمیایی بررسی شده در نمونه‌های گرد و غبار به‌طور کلی بیشتر از میزان آن در نمونه‌های خاک سطحی است. همچنین، خصوصیات شیمیایی گرد و غبار بررسی شده دارای روند زمانی متفاوت در

فصل‌های مختلف است که با نتایج جعفری و خادمی (۱۳۹۶) در شهر کرمان و درمانی و همکاران (۱۳۹۹) در شهرستان سرخس مطابقت دارد. مطالعات اندکی برای شناسایی کانی‌های غالب خاک‌های شهر یزد و اطراف آن انجام شده است. تقی‌زاده مهرجردی و اکبرزاده (۲۰۱۴) در منطقه خضرآباد یزد کانی‌های ایلیت، اسمکتیت، کائولینیت، کلریت، و پالی گورسکیت را در مناطق بیابان، نیمه‌بیابانی، و غیربیابانی منطقه شناسایی کرده‌اند که برخی از آن‌ها مانند ایلیت، کلریت، و کائولینیت در نمونه‌های گرد و غبار این مطالعه نیز مشاهده شد. دهقان و همکاران (۱۳۹۲) در بخشی از منطقه مرکزی شهر یزد مطالعه کانی‌شناسی انجام دادند و وجود کانی‌های کلسیت، کوارتز، کائولینیت، ایلیت، و مونت‌موریلونیت را نشان دادند که با نتایج حاصل از بررسی کانی‌های منطقه در این مطالعه همخوانی دارد. اخوان قالیباف و الحسینی المدرسی (۲۰۰۹) در بخش‌هایی از آبرفت‌های قدیمی یزد، رس‌های گروه اسمکتیت را در ایجاد شکاف‌های بزرگ مؤثر دانستند. از آنجا که کانی‌شناسی گرد و غبار بسته به کانی‌شناسی منطقه منبع و منشأ تولید گرد و غبار متفاوت است (لاتورنس و نف، ۲۰۰۹) و بر اساس شباهت بین کانی‌شناسی نمونه‌های گرد و غبار در منطقه با کانی‌شناسی خاک منطقه، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت یکی از منابع گرد و غبار منطقه بیابان‌های اطراف شهر یزد است. در همین ارتباط پی (۱۹۹۲) بر آن است که ذرات گرد و غبار غنی از کوارتز، کربنات، و فلدسپار منشأ قاره‌ای داشته و احتمالاً از مناطق نزدیک یا نسبتاً نزدیک به محل جمع‌آوری نمونه منتقل شده‌اند؛ در صورتی که ذرات گرد و غباری که حاوی مقادیر زیادی کانی‌های رسی هستند از فواصل دورتر منتقل می‌شوند. قائمی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که با توجه به همبستگی زیاد آنیون کلر با کاتیون سدیم و آنیون سولفات با کاتیون کلسیم در املاح گرد و غبار، سدیم کلراید و گچ فراوان‌ترین ترکیب موجود به همراه گرد و غبار در فصول مختلف سال در منطقه شمال دشت یزد- اردکان است. همچنین، وجود سایر ترکیبات یونی املاح شامل $MgSO_4$ ، Na_2SO_4 ، $CaCO_3$ ، $MgCO_3$ ، K_2CO_3 ، $CaCl_2$ و $MgCl_2$ را در گرد و غبار این منطقه محتمل دانستند. البته، با توجه به تبخیری بودن دو کانی‌هالیت و ژینیس، منشأ تالاب‌ها و دریاچه‌های خشک‌شده با توجه به نظر درویشی خاتونی و همکاران (۲۰۱۸) برای آن‌ها متصور است که منطبق بر سطوح پلایایی خشک و تبخیری اطراف منطقه مورد مطالعه است. ماهیت کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار نیز مشابه با کانی‌های مناطق گرم و خشک بوده و حاکی از حضور کانی‌های کوارتز، کلسیت، و فلدسپار است که با نتایج کریمیان و همکاران (۱۳۹۵) در شهر اهواز، باغی و همکاران (۱۳۹۹) در شمال شرق ایران، و زراسوندی و همکاران (۲۰۱۱) در خوزستان مطابقت دارد. با توجه به زیادبودن غلظت کلر و گوگرد در گرد و غبار نسبت به خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه، حضور این ترکیبات در گرد و غبار این منطقه نیز پیش‌بینی می‌شود که با نتایج قائمی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. حجتی و همکاران (۲۰۱۲) نیز مقادیر بالای عناصر کلسیم، سیلیس، و آلومینیوم را در نمونه‌های گرد و غبار ایران مرکزی و رشته‌کوه‌های زاگرس را به مقدار بالای کلسیت، کوارتز، و کانی‌های رسی نسبت دادند. البته در این تحقیق کاتیون کلسیم اندازه‌گیری نشد؛ ولی با توجه به نتایج آنالیز XRD و اثبات حضور کانی کلسیت به‌عنوان کانی اصلی و وجود کانی کلریت به‌عنوان کانی فرعی در این منطقه حضور ترکیبات کلرید سدیم و گچ در گرد و غبار و خاک بسیار محتمل است. همچنین، افزایش مقادیر عناصر منیزیم، پتاسیم، و سدیم می‌تواند حاکی از جابه‌جایی ذرات درشت گرد و غبار یا نزدیکی منبع تغذیه و منشأ باشد. اگرچه وجود ژینیس در نمونه‌های ذرات گرد و غبار ناشی از غنی‌شدگی عنصر گوگرد و جذب و اکسید گازهای کمیاب همچون SO_2 بر روی سطوح ذرات گرد و غبار کلسیم و تشکیل کانی گچ است و نشان‌دهنده منطقه منشأ خود نیست (احمدی بیرگانی و همکاران، ۱۳۹۵) که نشان‌دهنده مطابقت داشتن نتایج کانی‌شناسی، بررسی غلظت عناصر، و غنی‌شدگی عناصر در منطقه مورد مطالعه است. البته، میزان شوری در فصول مختلف سال متغیر بود. به‌طوری‌که شوری در فصل زمستان

حداکثر و در مقایسه با نمونه‌های خاک سطحی نیز بیشتر بوده و در تابستان به کمترین میزان خود رسیده است. قائمی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که با وجود بیشتر بودن میزان درصد شوری گرد و غبار فرونشسته در فصل تابستان در شمال دشت یزد- اردکان، با توجه به اینکه فعالیت گرد و غبار در این فصل کمتر از سایر فصول بوده است، میزان رسوب نمک در واحد سطح در فصل تابستان کمتر بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی، سدیم، پتاسیم، گوگرد، فسفر، و کلر در فصل زمستان مشاهده شد. مقادیر نترات، بی‌کربنات، پتاسیم، و فسفر در مقایسه با خاک سطحی بیشتر بود؛ هرچند مقدار pH در خاک سطحی بیشتر از میزان آن در همه فصل‌ها به‌دست آمد. همچنین، نتایج حاکی از آن است که خصوصیات شیمیایی گرد و غبار دارای روند زمانی متفاوت در فصول سال است. این تغییرات را می‌توان به تغییر در منشأ احتمالی ذرات گرد و غبار در فصول مختلف و تغییر در منابع طبیعی و انسانی تولید گرد و غبار نسبت داد. همچنین، همبستگی بالا و مثبت یون‌های کلر، نترات، پتاسیم، و سدیم با شوری در گرد و غبار می‌تواند دلیلی بر منشأ ذرات گرد و غبار از خاک‌های مناطق شور باشد و با توجه به مقادیر روابط همبستگی، وجود املاح NaCl ، NaNO_3 ، KNO_3 ، KCl ، CaCl_2 ، Na_2SO_4 ، و MgSO_4 در گرد و غبار منطقه مطالعاتی پیش‌بینی می‌شود. کانی‌شناسی نمونه‌های گرد و غبار نشان داد که گرد و غبار منطقه حاوی کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت، فلدسپار سدیم، کلریت، دولومیت، و ایلیت است که برخی از این کانی‌ها مشابه کانی‌شناسی رسی خاک سطحی در منطقه مورد مطالعه است. تغییر جزئی در کانی‌های اصلی و فرعی در نمونه‌های گرد و غبار حاکی از یکسان بودن و مشابه بودن منشأ تولید گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه است. بر اساس شباهت بین کانی‌شناسی نمونه‌های گرد و غبار در منطقه با کانی‌شناسی خاک منطقه، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت یکی از منابع گرد و غبار منطقه بیابان‌های اطراف شهر یزد باشد. همچنین، نوسانات کم غلظت عناصر در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری و در شرایط مختلف جوی نشان‌دهنده عدم تنوع منبع و محل برخاست گرد و غبار است که مقدار غلظت آن‌ها در میزان محدودی تغییر می‌کند. همچنین، افزایش مقادیر عناصر منیزیم، پتاسیم، و سدیم می‌تواند حاکی از جابه‌جایی ذرات درشت گرد و غبار یا نزدیکی منبع تغذیه و منشأ باشد که با نتایج حاصل از بررسی کانی‌شناسی رسی گرد و غبار همخوانی دارد.

تقدیر و تشکر

این مطالعه در قالب بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۹۶۰۰۷۷۳۱ و با حمایت صندوق پژوهشگران و فناوران کشور انجام شد. نویسندگان لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از صندوق پژوهشگران و فناوران کشور، که ما را در اجرا و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

منابع

- احمدی بیرگانی، ح.؛ فیض‌نیا، س.؛ میرنژاد، ح.؛ مک کوبین، ک.؛ ابراهیمیان، س.؛ تابع‌الحجه، م.؛ ابراهیمی، ش.؛ سالمی مجرد، ا.؛ خلیفه‌زاده، ع. و بدری، ج. (۱۳۹۵). ترکیب شیمیایی ذرات TSP گرد و غبار به‌عنوان شاخصی در منشأیابی ژئوشیمیایی رسوبات، محیط زیست طبیعی، ۲(۶۹): ۲۸۳-۳۰۱.
- اختصاصی، م. و جهان‌بخشی، ف. (۱۳۹۴). مدل‌ها و ابزارهای برآورد و اندازه‌گیری فرسایش بادی و ریزگردها، یزد: انتشارات دانشگاه یزد.
- باغی، م.؛ راشکی، ع. و محمودی قرائی، م. ح. (۱۳۹۹). بررسی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گرد و غبار ورودی به شمال شرق ایران و پتانسیل بیماری‌زایی آن، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۱): ۱۳۹-۱۵۳.
- بی‌نام (۱۳۹۹). مرکز آمار ایران. www.amar.org.ir.
- جعفری، ف. و خادمی، ح. (۱۳۹۶). مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی گرد و غبار اتمسفری شهر کرمان، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۱(۱): ۱۳-۲۲.
- درمانی، م.؛ آرا، ه.؛ راشکی، ع. و مافی، آ. (۱۳۹۹). منشأیابی و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات گرد و غبار در شهرستان سرخس، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۳): ۲۱-۳۷.
- دهقان، م.؛ سروش، ع. و صالحی، م. (۱۳۹۲). گنجایش تورم‌پذیری خاک شهر یزد، مهندسی عمران مدرس، ۱۱۳(۱): ۱۰۹-۱۱۶.
- سبحانی، ب.؛ صفریان زنگیر، و. و فیض‌الله‌زاده، س. (۱۳۹۹). مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۲۵(۱): ۱۷-۳۵.
- سلطانی گردفرامری، س.؛ قاسمی، م. و قانعی بافقی، م. (۱۳۹۹). تغییرات مکانی و زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار شهر یزد و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی، محیط زیست طبیعی، ۷۳(۴): ۷۰۱-۷۱۴.
- صلاحی، ب. و بهروزی، م. (۱۳۹۹). شناسایی کانون‌های گرد و غبار و آنالیز فیزیکوشیمیایی ذرات آن در منطقه دزفول، مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۳): ۱۸۷-۲۰۸.
- علی صوفی، م. و شهریاری، ع. (۱۳۹۹). بررسی برخی خصوصیات شیمیایی و میزان برخی عناصر غذایی همراه با گرد و غبار دشت سیستان، مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۳): ۹۹-۱۱۶.
- قائم‌نیا، ع. م.؛ حکیم‌زاده اردکانی، م. ع.؛ تقی‌زاده مهرجردی، ر. و دهقانی، ف. (۱۳۹۸). بررسی کمیّت، کیفیت، و قابلیت فرونشست املاح هوابرد در افزایش شوری خاک سطحی (مطالعه موردی: شمال دشت یزد- اردکان)، علوم آب و خاک، ۲۳(۴): ۹۹-۱۱۲.
- کریمیان، ب.؛ لندی، ا.؛ حجتی، س. و احدیان، ج. (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، و کانی‌شناسی گرد و غبار شهر اهواز، تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۱): ۱۵۹-۱۷۳.
- مقدسی، پ.؛ یزدی، م. و بیاتی، آ. (۱۳۹۴). ویژگی‌های زمین شیمیایی گرد و غبارهای میداین اصلی تهران، علوم محیطی، ۱۱۳(۱): ۷۵-۸۴.
- نوروزی، س. (۱۳۹۴). تغییرات مکانی و زمانی خصوصیات گرد و غبار در منطقه اصفهان و امکان‌سنجی استفاده از برگ چنار در پایش زیستی آلودگی اتمسفری، پایان‌نامه دکتري خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- Ahmady-Birgani, H.; Feiznia, S.; Mirnejad, H.; McQueen, K.; Ebrahimian, S.; Tabe Al-Hojat, M.; Ebrahimi, Sh.; Salemi-Mojarad, E.; Khalifeh Zadeh, Kh. and Badri, J. (2016). Chemical Composition of TSP Dust-Sized as an Indicator in Geochemical Fingerprinting of Sediments, *Journal of Natural Environment*, 69(2): 283-301. [In Persian].
- Akhavan Ghalibaf, M. and Alhoseini Almodarresi, S. (2009). The Vertisols (as paleosols) with their related giant land cracks as a disaster in Central Iran deserts. *International Conference on Desertification in Memory of professor John B. Thornes ICOD(2009)*. Murcia University, Spain.
- Ali Soufi, M. and Shahriari, A. (2020). Investigation of some chemical properties and amounts of some nutrient elements associated with dust in Sistan Plain. *Environmental hazards*, 23(9): 99-116. [In Persian].
- Baghi, M.; Rashki, A. and Mahmudy Gharai, M. (2020). Investigation of Chemical and Mineralogical Properties of Dust Entering Northeastern Iran and its Pathogenic Potential. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(1): 139-153. [In Persian].
- Binam (2020). Statistical Centre of Iran. www.amar.org.ir [In Persian].
- Burt, R. (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report, 4th ed., Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Lincoln, Nebraska.
- Cao, Z.; Yang, Y.; Lu, J. and Zhang, C. (2011). Atmospheric particle characterization, distribution, and deposition in Xian, Shaanxi Province, Central China. *Environmental Pollution*, 159: 577-584.
- Darmany, M.; Ara, H.; Rashki, A. and Mafi, A. (2020). Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(3): 21-37. [In Persian].
- Darvishi khatooni, J.; Abasaghi, F. and Mohammadi, A. (2018). Mineralogy and sedimentary geochemistry of incoming dust to the Khuzestan Province (case study: June 2012). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(14): 1-16.
- Dehghan, M.; Soroush, A. and Salehi, M. (2013). A Comprehensive Study on Swelling Potential of Yazd Clay. *Modares Civil Engineering Journal*. 13(1):109-116. [In Persian].
- Ekhtesasi, M. and Jahanbakhshi, F. (2015). *Models and tools for estimating and measuring wind erosion and fine dust*, Yazd University Press. [In Persian].
- Gee, G.W. and Bauders, J. W. (1986). Particle size analysis. PP. 383-409. In: A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph. No. 9.
- Ghaemina, A. M.; Hakimzadeh Ardakani, M. A.; Taghizadeh- Mehrjardi, R. and Dehghani, F. (2019). Quantity, quality and capability assessment of airborne salts fallout on increasing the surface soil salinity (A case study: North of Yazd- Ardakan Plain). *Journal of Water and Soil Science*, 23(4): 99-112. [In Persian].
- Hojati, S.; Khademi, H.; Cano, A. F. and Landi, A. (2012). Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains. *Catena*, 88: 27-36.
- Jafari, F. and Khademi, H. (2017). Important chemical and physical properties of atmospheric dust in Kerman city. *Journal of Water and Soil Science*, 21(1):13-22. [In Persian].
- Karimian, B.; Landi, A.; Hojati, S. and Ahadian, J. (2016). Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles deposited in Ahvaz city. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(1): 159-173. [In Persian].
- Lawrence, C. R. and Neff, J. C. (2009). The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: A synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chemical Geology*, 267: 46-63.

- McTainsh, G.H.; Nickling, W.G. and Lynch, A.W. (1997). Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. *Catena*, 29: 307-322.
- Menendez, I.; Diaz-Hernandez, J.L.; Mangas, J.; Alonso, I. and Sanchez-Soto, P.J. (2007). Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environments*, 71: 57-81.
- Moghadasi, P.; Yazdi, M. and Biati, A. (2015). Geochemical characteristics of dust in main squares of Tehran. *Environmental sciences*, 13(1): 75-84. [In Persian].
- Narayan, K.; Khanindra, P.; Abhisek, C.; Subodh, K.; Chowdary, V.M.; Satiprasad, C.P.; Singh, S. and Samrat, B. (2019). Assessment of foliar dust using Hyperion and Landsat satellite imagery for mine environmental monitoring in an open cast iron ore mining areas, *Journal of Cleaner Production*, 4(19): 30-33.
- Norouzi, S. (2015). Spatial and temporal changes in dust characteristics in Isfahan region and feasibility study of using sycamore leaves in biological monitoring of atmospheric pollution. PhD Thesis in Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Pye, K. (1992). Aeolian dust transport and deposition over Crete and adjacent parts of the Mediterranean Sea. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17: 271-288.
- Ramsperger, B.; Peinemann, N. and Stahr, K. (1998). Deposition rate and characteristics of aeolian dust in the semi-arid and sub-humid regions of the Argentinean Pampa. *Journal of Arid Environments*, 39: 467-476.
- Rashki, A.; Eriksson, P. G.; Rautenbach, C. J.; Kaskaoutis, D. G.; Grote, W. and Dykstra, J. (2013). Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, 90: 227-236.
- Salahi, B. and Behrouzi, M. (2020). Detection of dust sources and Physico-chemical analysis of its particles in Dezful area. *Environmental hazards*, 23(9): 187-208. [In Persian].
- Sobhani, B.; Safarian Zengir, V. and faizollahzadeh, S. (2020). Modeling and prediction of dust in western Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 52(1): 17-35. [In Persian].
- Soltani-Gerdefaramarzi, S.; Ghasemi, M. and Ghaneie-Bafghi, M. J. (2021). Spatial and temporal Variability in the dust deposition rate of Yazd city and its relationship with some climatic parameters. *Journal of Natural Environment*, 73(4): 701-714. [In Persian].
- Song, Z.; Wang, J. and Wang, S. (2007). Quantitative classification of northeast Asian dust events. *Journal of Geophysical Research*, 112: 100-115.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R. and Akbarzadeh, A. (2014). Soil physico-chemical, mineralogical, and micromorphological changes due to desertification processes in Yazd region, Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(4): 487-506.
- Tiangang, Y.; Siyu, C.; Jianping, H.; Xiaorui, Z.; Yuan, L.; Xiaojun, M. and Guolon, Z. (2019). Sensitivity of simulating a dust storm over Central Asia to different dust schemes using the WRF-Chem model, *Atmospheric Environment*, 15(207): 16-29.
- William, G.; Tobin, M.; David, J. and Zach, U. (2018). Trajectory measurements for individual dust particles on the colorado dust Accelerator. *Nuclear Inst .and Methods in Physics Research*, 10(908): 269-276.
- Yang, B.; Bruning, A.; Zhang, Z.; Dong, Z. and Espe, J. (2007). Dust storm frequency and its relation to climate changes in northern China during the past 1000 years. *Atmospheric Environment*, 41: 9288-9299.

- Yazdi, M. and Behzad, N. (2009). Heavy metal contamination and distribution in the parks city of Islam Shahr, SW Tehran, Iran. *The Open Environmental Pollution & Toxicology Journal*, 1(1): 49-53.
- Yazdi, M.; Soltanzadeh, H. and Biati, A. (2015). Geochemistry of Natural and Anthropogenic Dusts of Ray City, Tehran, Iran. *International Journal of Environmental Monitoring and Protection*, 2(6): 108-112.
- Zarasvandi, A.; Carranza, E.J.M. and Rastmanesh, F. (2011). Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 111: 138-151.
- Zhiyuan, H.; Jianping, H.; Chun, Z.; Jiangrong, B.; Qinjian, J.; Yun, Q.; Ruby, L.; Taichen, F.; Siyu, C. and Jianmin, M. (2019). Modeling the contributions of Northern Hemisphere dust sources to dust outflow from East Asia. *Atmospheric Environment*, 6(14): 1352-2310.