مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶
ص ۵۶۷-۵۵۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۵
تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷

خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی و کانی‌شناختی ذرات گرد و غبار و هواویز غرب ایران (مطالعهٔ موردی: شهرهای آبادان و ارومیه)

❖ **حسام احمدی‌بیرگانی** *؛ استادیار دانشکدهٔ منابع‌طبیعی دانشگاه ارومیه

❖ **سادات فیض نیا؛** استاد دانشکدهٔ منابع‌طبیعی دانشگاه تهران

❖ **حسن میرنژاد؛** دانشیار دانشکدهٔ زمین‌شناسی دانشگاه تهران

❖ **حسن احمدی؛** استاد دانشکدهٔ منابع‌طبیعی دانشگاه تهران

❖ **کن مک‌کوئین؛** استاد دانشکدهٔ علوم کاربردی دانشگاه کانبرا استرالیا

❖ **محمد قربان‌پور؛** کارشناس ادارهٔ کل هواشناسی آذربایجان غربی

چکیده

در این پژوهش خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی و کانی‌شناختی ذرات گرد و غبار و هواویزهای شهرهای ارومیه و آبادان طی دورهٔ زمانی۶ ماهه در سه دامنهٔ اندازهٔ ذرات TSP،PM_{10} و $PM_{2/5}$ به کمک پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی (EDX) بررسی شد. نتایج پراش پرتو ایکس نشان داد که بیشتر ذرات شامل کلسیت، کوارتز، کانی‌های رسی و کمی ژیپس در نمونه‌ها می‌باشند؛ گرچه کانی‌ها با توجه به فصل، نوع نمونه‌گیر، مکان نمونه‌برداری و مقدار نمونه در تفاوت بوده و با کاهش اندازهٔ ذرات، میزان کوارتز کم شده و مقدار کانی‌های رسی و ذرات سرب افزوده می‌گردد. مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی اشکال مختلف ذرات اعم از کروی، صفحه‌ای، مکعبی، استوانه‌ای و منشوری با اندازهٔ کمتر از ۱ میکرون تا۵۰ میکرون، بیشتر به صورت نامنظم، زاویه‌دار و تا حدودی نیمه‌گرد تا گرد را نمایش می‌دهد. نتایج پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی نیز عناصر Al، Mg، Na، Cl، P، S، Ca، K، Fe، Ti، C، O و Si را در نمونهٔ TSP آبادان و ارومیه در شرایط عادی تشخیص داد. با شروع گرد و غبار علاوه بر عناصر مذکور، عناصر As، Pb، Zn، Mn، Sc، W، Nd، Ce، La، Ba و Ni در هر سه دامنهٔ اندازهٔ ذرات نیز دیده می‌شوند. نتیجه گرفته می‌شود که میزان بالای عناصر Ca، Si، Al، Na و K نشانهٔ حضور کانی‌های کلسیت، کوارتز، هالیت، کانی‌های فیلوسیلیکات و رسی است. در مجموع شهرهای آبادان و نواحی حاشیهٔ خلیج فارس و دریای مَکران در مقایسه با شهر ارومیه از نظر غلظت، کانی‌ها و عناصر، میزان و تنوع بالاتری داشته و نشانهٔ چندمنبعی بودن گرد و غبار، هوای آلوده‌تر منطقه و ذرات معلق بیشتر می‌باشد.

کلید واژگان: گرد و غبار، ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی ذرات گرد و غبار، کانی‌شناسی، آبادان، ارومیه.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۹۱۰۱۸۷۲۷۷۴+
Email: h.ahmadybirgani@urmia.ac.ir

۱. مقدمه

به طورکلی پدیده‌های بیابان‌زایی، حرکت تپه‌های ماسه‌ای و برخاست ذرات معلق به هوا به‌خصوص آنهایی که با رخدادهای گرد و غبار جابه‌جا می‌گردند می‌توانند در مقیاسی کلان بر اقلیم و محیط زیست اثرات چشمگیری داشته باشند [۲، ۳، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۴۷، ۵۳]. در مجموع تعیین ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و کانی‌شناسی ذرات معلق در هوا می‌تواند عامل مهمی در تعیین منبع آنها باشد [۳، ۹، ۱۹، ۲۹، ۴۳]. کانی‌شناسی ذرات معلق غالباً به کمک پراش پرتو ایکس [۳، ۷، ۸، ۹، ۴۲، ۴۳، ۶۴] و میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به سنجندهٔ پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی [۳، ۲۵، ۳۱، ۴۵، ۴۶] صورت می‌پذیرد. البته کانی‌شناسی و ریخت‌شناسی ذرات معلق در هوا و گرد و غبار متغیر بوده و به کانی‌های نواحی منشأ [۳، ۵۶]، زمین‌شناسی منطقه‌ای و نوع و جهت باد غالب [۲۳، ۶۴] بستگی دارد. کانی‌شناسی این ذرات عاملی بسیار کلیدی محسوب می‌گردد، به گونه‌ای که سوکولیک و همکاران [۵۷] اثبات کردند که ترکیبات مختلف کانی‌شناسی (شامل کانی‌های رسی، کوارتز، کربنات‌ها، فلدسپات‌ها، سولفات‌ها و اکسیدهای آهن) بایستی در مدل‌های تابشی جهت برآورد ویژگی‌های تابشی و بصری گرد و غبار گنجانده شوند. در ساعات و زمان اولیهٔ انتشار، ذرات گرد و غبار اغلب متشکل از اجزای نامحلول یا با قابلیت انحلال کم می‌باشند [۲۸]. چندین آزمایش تجربی نشان می‌دهد که ذرات گرد و غبار که تازه انتشار می‌یابند، می‌توانند به عنوان هسته‌های تراکم ابر یا هسته‌های یخی عمل کنند [۱۷، ۴۱]. این هسته‌زایی قطرات کوچک باران توسط ذرات گرد و غبار به احتمال زیاد توسط ترکیب کانی‌شناسی این ذرات (به میزان زیادی کلسیم برای توانایی هسته‌های تراکم ابر [۳۲، ۳۳] و میزان رس (کائولینیت و ایلیت) برای کارایی هسته‌های یخی [۶۶] تأثیر می‌بیند. همچنین برآورد می‌شود که تقریباً ۵۰ درصد ذرات معلق در جو تروپوسفر کانی‌هایی هستند که بیشتر از بیابان‌ها و نواحی اطراف آن منشأ می‌گیرند [۶]. ذرات گرد و غبار معلق در هوا همچنین نقش مهمی را در حذف، ته‌نشینی و انتقال مواد آلایندهٔ جوی ایفا می‌نمایند [۱۴، ۲۱، ۵۵، ۶۲]. همچنین میزان سیلیس‌های آزاد در گرد و غبار (کوارتز، تریدیمیت و کریستوبالایت) به بروز مشکلات سلامتی و بالاخص ریوی (بیماری سیلیکوسیس) منجر شده [۶۳] و بر طبق نظر IARC از سال ۱۹۹۷ کوارتز به‌عنوان عامل سرطان‌زای گروه ۱ دسته‌بندی شده است [۲۶]. اگر هوای آلوده به گرد و غبار به داخل ریه منتقل شود، بدن آن را با سازوکارهای مختلف حذف می‌نماید. البته این سازوکار تابعی از اندازهٔ ذرات می‌باشد و برای ذرات کوچکتر از ۵ میکرون می‌تواند تا نایژک‌های انتهایی و شش‌ها نفوذ کند و بر عملکرد ریه تأثیر بگذارد [۱۸، ۲۷]. کوارتز بلورین نیز که به بافت‌های ریوی حمله می‌کنند از بین نرفته و باعث بیماری‌های گوناگون از جمله مهم‌ترین آن‌ها سیلیکوسیس می‌شوند. بنابراین آگاهی از ترکیبات کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار و اندازهٔ آنها بسیار مهم می‌باشد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، علاوه بر ارائهٔ تصاویری از نوع، اندازهٔ ذرات، شکل و خصوصیات ریخت‌شناسی ذرات گرد و غبار نمونه‌ها [۳، ۶۴]، نحوهٔ قرارگیری اندازه‌های مختلف ذرات در کنار هم و حتی پوشش‌های رسی بر روی ترکیبات و ذرات دیگر از جمله کوارتز را فراهم می‌آورد [۵۸]. علاوه بر این دامنه‌های مختلف اندازهٔ ذرات به همراه شکل و میزان گردشدگی یا زاویه‌دار بودن آنها شاهدی از میزان اختلاط موادی است که از منابع دور و نزدیک انتقال یافته و فاصلهٔ حمل را نشان می‌دهند [۳۴]. به کمک سنجندهٔ پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی (EDX)، می‌توان ترکیب شیمیایی ذرات گرد و غبار و نوع عناصر موجود در نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل غلظت عناصر را تعیین نمود [۳۹]. ذرات گرد و غبار همچنین می‌توانند به دسته‌های شیمیایی طبقه‌بندی شوند و تا حدودی به کمک آن نتایج به بررسی کانی‌های موجود در نمونه‌های گرد و غبار پرداخت. به‌عنوان مثال در این شیوه

ذرات Ca-Mg به‌عنوان دولومیت، ذرات غنی از Ca به‌عنوان کلسیت، ذرات غنی از Si-Al-Mg به‌عنوان رس و ذرات غنی از Si به‌عنوان کوارتز تفسیر می‌شوند [۲۳].

مطالعات هم‌زمان توزیع اندازهٔ ذرات، میکروسکوپ الکترونی روبشی، پراش پرتو ایکس به‌همراه تعیین عناصر اصلی گرچه می‌توانند نمایندگان خوبی برای تعیین منشأ رسوبات از نقطه‌نظر بادی، آبی، کوهرفتی و آبرفتی باشند، ولی جهت تعیین منابع رسوب نیز کاربرد فراوان دارند [۳، ۵۸]. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی ذرات معلق در جو؛ بازتاب‌دهندهٔ مواد مادری و تغییرات ناشی از انتقال آن‌ها می‌باشند [۴۹]. به طور کلی تجزیه و تحلیل شیمیایی ذرات معلق در جو بسیار راحت‌تر از تجزیه و تحلیل‌های کانی‌شناسی می‌باشند که علت آن انجام راحت‌تر تحلیل شیمیایی با مقدار کم نمونه است [۴۲]؛ ولی مجموعهٔ معدنی گرد و غبار جو ممکن است جهت تشخیص منبع مهم‌تر باشند [۹، ۲۰، ۴۳]؛ زیرا نسبت‌های عناصر سیلیکات پیدا شده در پوستهٔ زمین تا حدودی یکسان می‌باشند [۴۹]. مطالعات پای [۴۸] نشان داد گرد و غبار غنی از کوارتز، کربنات و فلدسپار معمولاً منشأ قاره‌ای داشته و از نواحی محلی و فواصل کوتاه تا متوسط نشئت می‌گیرند؛ در حالی که گرد و غبار غنی از کانی‌های رسی سیلیکاته؛ فواصل دور از محیط منشأ را طی می‌نمایند.

هدف از این تحقیق بررسی ذرات معلق در جو و هواویزها در شرایط عادی و نیز در رخداد گرد و غبار با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی (EDX) می‌باشد تا بتوان اطلاعاتی از خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی و کانی‌شناختی آن‌ها در غرب ایران کسب نمود.

۲. روش شناسی

نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده در این مطالعه از فصل زمستان سال ۱۳۹۰ و فصل بهار سال ۱۳۹۱در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ارومیه (عرض جغرافیایی '۵۳ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی °۴۵ شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۲ متر، میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۶ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۱۱/۸ درجه و اقلیم معتدل و سرد) در شمال غرب ایران در مرز با ترکیه و ایستگاه هواشناسی سینوپتیک آبادان (عرض جغرافیایی '۲۷ °۳۰ شمالی و طول جغرافیایی '۱۷ °۴۸ شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۳ متر، میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۶ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۲۶ درجه و اقلیم گرم و بیابانی) در جنوب غرب ایران و در حاشیهٔ کشورهای حوزهٔ خلیج فارس جمع‌آوری گردیدند. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی به‌همراه نمونه‌ای از دستگاه جمع‌کنندهٔ ذرات گرد و غبار دیده می‌شود.

شکل ۱. موقعیت کشور ایران در منطقهٔ خاورمیانه و ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ ارومیه و آبادان با علامت دایرهٔ سیاه‌رنگ مشخص‌اند (الف). نمونه‌ای از دستگاه جمع‌آوری‌کنندهٔ گرد و غبار Micro PNS به‌همراه نمونه‌گیر آن (ب)

به کمک دستگاه‌های جمع‌آوری کنندهٔ گرد و غبار[1] نوع حجم کم[2] به جمع‌آوری نمونه‌های گرد و غبار و هواویز در یک دورهٔ زمانی تقریباً ۶ ماهه پرداخته شد. هر نمونه به مدت ۱۶۸ ساعت (یک هفته) با قدرت مکش ۳۸ لیتر بر دقیقه (۱/۳ مترمکعب در ساعت) جمع‌آوری گردید و هر ماه تعداد ۳ نمونه شامل مجموع ذرات معلق در هوا[3]، ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون[4] و ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون[5] ($PM_{2/5}$) از هر ایستگاه برداشت شد (البته بعضی از اشکالات فنی از جمله از کار افتادن دستگاه، قطعی مداوم برق در پلت‌فرم ایستگاه هواشناسی و نبود نظارت دقیق دیدبان ایستگاه هواشناسی علاوه بر ترکیدگی فیلترها و اشکالات نرم‌افزاری مربوط به دستگاه گرد و غبار سبب از دست دادن تعدادی از نمونه‌های گرد و غبار و هواویز مورد نظر شد. لذا تنها ۲۸ نمونهٔ گرد و غبار به جای۳۲ نمونهٔ گرد و غبار جمع‌آوری شد). دستگاه‌های مذکور در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین قرار داده شدند تا با وزش بادهای شدید خاک‌ها و ذرات معلق در نزدیکی سطح زمین نتوانند وارد مکندهٔ دستگاه شوند. تجزیه و تحلیل میزان ذرات گرد و غبار معلق در هوا در یک محیط خاص توسط عبور حجم معینی هوا از میان یک کاغذ فیلتری در یک دورهٔ زمانی مشخص انجام می‌گیرد. تجزیه و تحلیل ذرات به دام افتاده در فیلتر به کمک تعدادی از روش‌ها به خوبی نگاشته شده است [۶۰]. لذا جهت جمع‌آوری نمونه‌ها نیاز به فیلترهایی می‌باشد تا بتوانند علاوه بر عبور هوای صاف و گیر انداختن ذرات گرد و غبار، توانایی لازم جهت سالم ماندن به علت مکش شدید هوا توسط دستگاه را داشته باشند. از این رو از فیلترهای کوارتز استفاده گردید که دارای قطر ۴۷ میلی‌متر بوده و مملو از الیاف درهم‌تنیدهٔ کوارتز بی‌شکل (آمورف) هستند. در شکل۲ نمونه‌ای از فیلتر کوارتز خالی و فیلتر دارای ذرات گرد و غبار دیده می‌شود.

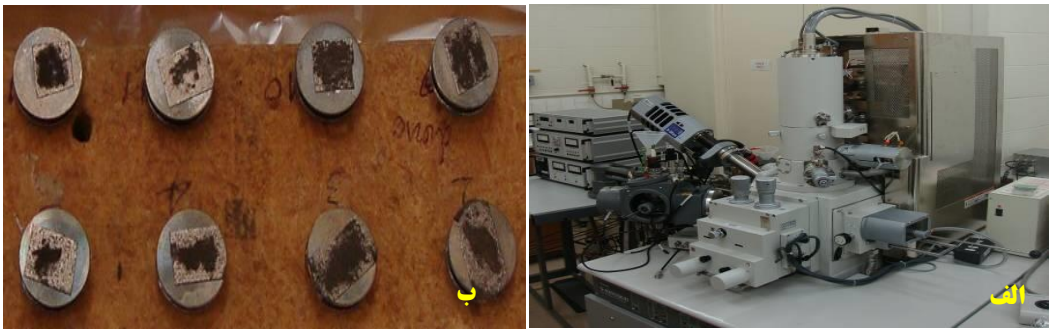
نمونه پس از تخلیه از نمونه‌گیر، به طور دقیقی توزین شده و میزان وزن آن بر حسب میلی‌گرم به دست آمد. سپس وزن فیلتر خالی از آن کسر شده و با توجه به میزان مشخص وزن نمونهٔ گرد و غبار جمع‌شده بر روی فیلتر و حجم ثابت هوای مکش‌شده در طول یک هفته (۱۶۸ ساعت) توسط دستگاه گرد و غبار، میزان غلظت هر نمونه بر حسب میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد (جدول ۱). سپس نمونهٔ گرد و غبار سریعاً به درون پلاستیک‌های مخصوص جهت جلوگیری از آلودگی‌های محیطی بسته‌بندی گردید و بعد از ثبت مشخصات مربوط به تاریخ، زمان، ایستگاه نمونه‌گیری و موارد مرتبط با حجم هوای مکش شده توسط دستگاه، در داخل یخچال با دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند تا از رشد باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها و تغییرات شیمیایی عناصر و کانی‌های موجود در آن جلوگیری گردد.

شکل ۲. نمونه‌ای از فیلتر کوارتز خالی (الف) و مملو از گرد و غبار (ب) جهت جمع‌آوری ذرات معلق در هوا. قطر فیلتر ۴۷ میلی‌متر است.

1 The microcomputer controlled air sampler, Micro PNS
2 Low Volume Sampler (LVS)
3 Total Suspended Particulate (TSP)
4 Particulate Matter up to 10 micrometers in size (PM10)
5 Particulate Matter up to 2.5 micrometers in size (PM2/5)

تجزیه و تحلیل به کمک روش پراش پرتو ایکس یکی از مهم‌ترین روش‌های غیرتخریبی است که برای تشخیص کانی‌های موجود در گرد و غبار به کار می‌رود [۳ و ۲۳]. این اندازه‌گیری به کمک دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس زیمنس D5005 با تشعشع CuKα در دانشکدهٔ زمین‌شناسی دانشگاه ملی استرالیا (ANU) آزمایشگاه پراش پرتو ایکس واقع در شهر کانبرا انجام شد. اسکن نمونه‌ها از زاویهٔ ۱° تا ۹۰° 2θ به‌میزان ۱° 2θ در هر دقیقه بر روی نمونه‌گیر چرخشی صورت پذیرفت. بعد از انجام آزمایش، نتایج به کمک نرم‌افزار EVA تجزیه و تحلیل شدند و هر پیک معدنی به نوع کانی مربوطه مرتبط و ثبت گردید و به کمک نرم افزار SIROQUANT به کمی‌سازی مقادیر کانی‌های موجود در هر نمونه پرداخته شد. به علت میزان کم ذرات گرد و غبار موجود بر روی فیلترها و وجود الیاف کوارتز نگهدارندهٔ ذرات گرد و غبار، نمونه‌های گرد و غبار به طور مستقیم بر روی نگه‌دارندهٔ آلومینیومی نمونه‌های دستگاه پراش پرتو ایکس قرار داده شدند.

جهت مشاهده، تعیین نوع، اندازه، شکل و ویژگی‌های ریخت‌شناسی ذرات گرد و غبار نمونه‌ها به علاوه نحوهٔ قرارگیری اندازه‌های مختلف ذرات در کنار هم و یا حتی نحوهٔ قرارگیری رس‌ها در بین دامنه‌های مختلف ذرات و حتی پوشش‌های رسی بر روی ترکیبات و ذرات دیگر از جمله کوارتز و دانستن ترکیبات شیمیایی عناصر موجود در هر نمونه از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به پراش پرتو ایکس HitachiS-4300SE/N استفاده گردید (شکل۳-الف). در این روش مقداری از نمونهٔ گرد و غبار از روی فیلتر خراش داده شد و بر روی فیلم‌های غیررسانای کربنی سیاه رنگ چسبناک دوطرفه جهت چسبیدن به پایه‌های مخصوص نگهدارنده قرار داده شدند. به کمک دستگاه پوشش‌دهندهٔ پرتابی جهت افزایش رسانایی آنها، از پوشش کربن استفاده گردید و ضخامتی برابر با ۲۰۰A° از کربن بر روی نمونه‌ها قرار گرفت (شکل۳-ب). برخلاف پوشش‌های طلا، پلاتین و مخلوط طلا و پلاتین که ایجاد تصاویر با قدرت تفکیک بالا می‌کنند، پوشش کربن تصاویری معقول و قابلیت استفاده در سنجندهٔ پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی را نیز فراهم می‌آورد [۶۱]. سپس نمونه‌ها داخل میکروسکوپ قرار گرفتند و با ولتاژ ۵ کیلوولت و فاصلهٔ کاری ۱۱/۶ میلی‌متر، از تمامی نمونه‌ها تصاویر الکترونی ثانویه[1] با بزرگنمایی ۲۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۹۰۰۰ تهیه و به کمک تصاویر الکترونی بازپخش‌شده[2] و سنجندهٔ پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی به بررسی ترکیب شیمیایی ذرات و نوع عناصر موجود در نمونه‌های گرد و غبار به‌خصوص ذرات مجزا و خاص پرداخته شد.



شکل ۳. نمونه‌ای از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به EDX (الف) نمونه‌های گرد و غبار با پوشش کربن بر روی فیلم کربن غیررسانا (ب).

1Secondary Electron Image

2 BackScattered Electron Image

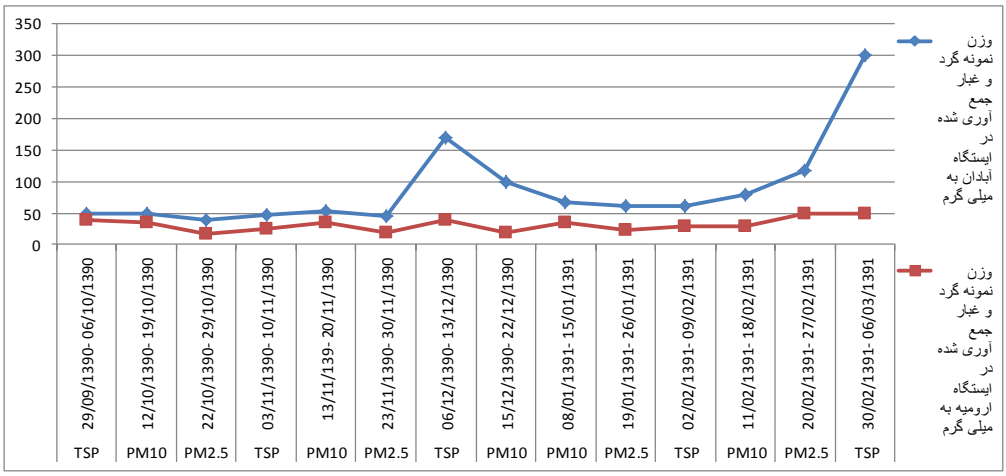
۳. نتایج

پس از نصب نمونه‌گیرها و راه‌اندازی هم‌زمان دستگاه‌های جمع‌کنندهٔ گرد و غبار، نمونه‌های گرد و غبار مطابق جدول ۱ به دست آمدند. نمونه‌ها در سه دامنهٔ TSP، PM_{10} و $PM_{2/5}$ ضبط گردیده و مقادیر مختلف وزن نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده در ۲ ایستگاه مطالعاتی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که از جدول ۱ و جدول ۲ مشخص است، نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ تاریخ‌های ۱۳۹۰/۱۲/۰۶-۱۳۹۰/۱۲/۱۳، ۱۳۹۰/۱۲/۱۵-۱۳۹۰/۱۲/۲۲، ۱۳۹۱/۰۲/۱۱-۱۳۹۱/۰۲/۱۸، ۱۳۹۱/۰۲/۲۰-۱۳۹۱/۰۲/۲۷ و ۱۳۹۱/۰۲/۳۰-۱۳۹۱/۰۳/۰۶ (نمونه‌های شماره ۷، ۸، ۱۲، ۱۳ و ۱۴) در زمان رخداد گرد و غبار بوده است و نمایان‌گر رسوبات غیرمحلی و حمل شده از نقاط دیگر می‌باشند. نتایج بررسی‌های آماری به کمک آزمون تی مستقل[1] نیز نشان داد که بین غلظت نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده بر روی فیلترهای مذکور در زمان رخداد گرد و غبار و شرایط عادی جوی در هر دو ایستگاه مطالعاتی آبادان و ارومیه تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P<۰/۰۱$). البته دانستن اینکه نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ گرد و غبار به همراه اطلاعات وزن و غلظت آنها مربوط به رخداد گرد و غبار است یا نه برداشتی نسبی است و هر کشور و سازمان با توجه به هدف مورد نظر خود معیارهای کمی بیان کرده است. به‌عنوان مثال سازمان بهداشت جهانی میزان استاندارد ذرات PM_{10} و $PM_{2/5}$ هوا برای یک شبانه‌روز (۲۴ ساعت) به ترتیب ۵۰ و ۲۵ میکروگرم بر مترمکعب و برای یک سال به ترتیب ۲۰ و ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌داند. اگرچه امکان مقایسه با داده‌های به دست آمده از این مطالعه مشکل بوده و چون کار این دستگاه‌ها در وهلهٔ اول جمع‌آوری گرد و غبار به مدت یک هفته (۱۶۸ ساعت) می‌باشد، لذا مقایسهٔ این اعداد با هم کاری دقیق و علمی نخواهد بود. بهترین استاندارد ذرات PM_{10} و $PM_{2/5}$ هوا در این مطالعه می‌تواند بررسی روند غلظت و وزن ذرات گرد و غبار نمونه‌های جمع‌آوری شده بر طبق جدول ۱ و شکل ۴ باشد که برای ایستگاه‌های آبادان در شرایط نبود رخداد گرد و غبار برای یک سال به ترتیب ۱۵۰ و ۱۲۰ میکروگرم بر مترمکعب و برای ایستگاه ارومیه نیز برای یک سال به ترتیب ۱۳۰ و ۵۲ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد.

جدول ۱. زمان و مکان نمونه‌برداری گرد و غبار به همراه اطلاعات نوع نمونه‌گیر و میزان وزن و غلظت گرد و غبار در زمان نمونه‌برداری. اطلاعات ستاره‌دار، زمان و مکان رخداد گرد و غبار را برای ایستگاه مطالعاتی نشان می‌دهد.

شمارهٔ نمونه	نوع نمونه‌گیر	تاریخ نمونه‌برداری	وزن نمونهٔ ایستگاه آبادان (میلی گرم)	غلظت نمونهٔ ایستگاه آبادان (میکروگرم بر مترمکعب)	وزن نمونهٔ ایستگاه ارومیه (میلی گرم)	غلظت نمونهٔ ایستگاه ارومیه (میکروگرم بر مترمکعب)
۱	TSP	۱۳۹۰/۱۰/۰۶ -۱۳۹۰/۰۹/۲۹	۵۰	۱۳۰	۴۰	۱۰۴
۲	PM_{10}	۱۳۹۰/۱۰/۱۹ -۱۳۹۰/۱۰/۱۲	۵۰	۱۳۰	۳۵	۹۱
۳	$PM_{2/5}$	۱۳۹۰/۱۰/۲۹ -۱۳۹۰/۱۰/۲۲	۴۰	۱۰۴	۱۷	۴۴
۴	TSP	۱۳۹۰/۱۱/۱۰ -۱۳۹۰/۱۱/۰۳	۴۸	۱۲۴	۲۵	۶۵
۵	PM_{10}	۱۳۹۰/۱۱/۲۰ -۱۳۹/۱۱/۱۳	۵۳	۱۳۷	۳۵	۹۱
۶	$PM_{2/5}$	۱۳۹۰/۱۱/۳۰ -۱۳۹۰/۱۱/۲۳	۴۵	۱۱۷	۲۰	۵۲
۷	TSP	۱۳۹۰/۱۲/۱۳ -۱۳۹۰/۱۲/۰۶	۱۷۰*	۴۴۰*	۴۰*	۱۰۴*
۸	PM_{10}	۱۳۹۰/۱۲/۲۲ -۱۳۹۰/۱۲/۱۵	۱۰۰*	۲۵۹*	۲۰	۵۲
۹	PM_{10}	۱۳۹۱/۰۱/۱۵ -۱۳۹۱/۰۱/۰۸	۶۸	۱۷۶	۳۵	۹۱
۱۰	$PM_{2/5}$	۱۳۹۱/۰۱/۲۶ -۱۳۹۱/۰۱/۱۹	۶۲	۱۶۱	۲۳	۶۰
۱۱	TSP	۱۳۹۱/۰۲/۰۹ -۱۳۹۱/۰۲/۰۲	۶۱	۱۵۸	۳۰	۷۸
۱۲	PM_{10}	۱۳۹۱/۰۲/۱۸ -۱۳۹۱/۰۲/۱۱	۸۰*	۲۰۷*	۳۰	۷۸
۱۳	$PM_{2/5}$	۱۳۹۱/۰۲/۲۷ -۱۳۹۱/۰۲/۲۰	۱۱۷*	۳۰۳*	۵۰*	۱۳۰*
۱۴	TSP	۱۳۹۱/۰۳/۰۶ -۱۳۹۱/۰۲/۳۰	۳۰۰*	۷۷۷*	۵۰*	۱۳۰*

1 Independent T-Test



شکل ۴. نمودار مقایسهٔ وزن نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های آبادان و ارومیه در دو فصل زمستان و بهار

جدول ۲. مقایسهٔ آماری بین نمونه‌های رخدادهای گرد و غبار و شرایط عادی جوی در دو ایستگاه آبادان و ارومیه به روش آزمون تی مستقل

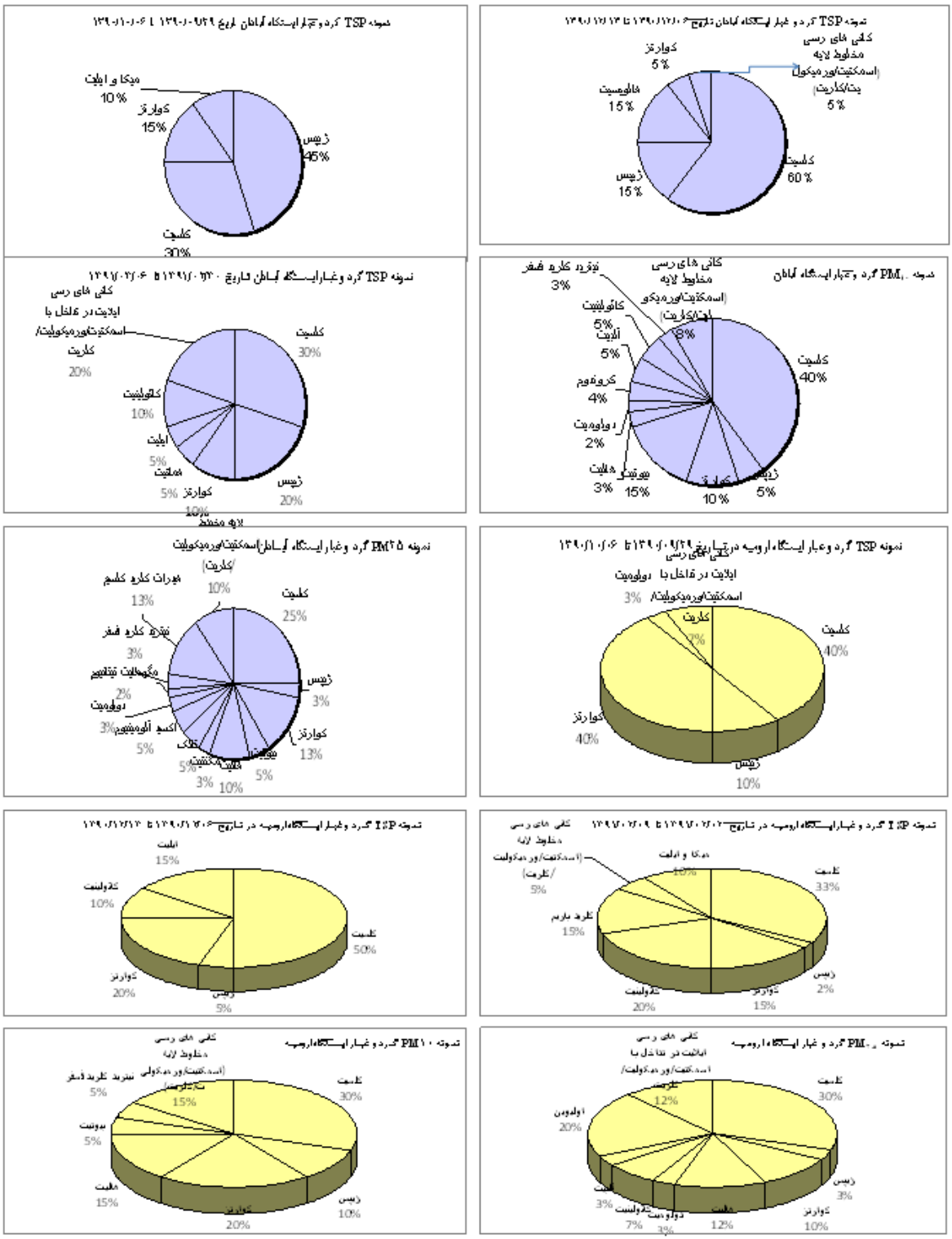
آزمون تی مستقل	میزان معناداری (Sig. (2-Tailed))	سطح معناداری
مقایسهٔ بین غلظت نمونه‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های آبادان و ارومیه در زمان گرد و غبار و شرایط عادی جوی	۰/۰۰۱	در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است
مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه آبادان در شرایط گرد و غبار و شرایط عادی جوی	۰/۰۳۸	در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است
مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه ارومیه در شرایط گرد و غبار و شرایط عادی جوی	۰/۵۹۸	معنی‌دار نیست
مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه‌های آبادان و ارومیه در رخداد گرد و غبار	۰/۰۳۲	در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است
مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه‌های آبادان و ارومیه در شرایط عادی جوی	۰/۳۲۸	معنی‌دار نیست

همان‌گونه که از جدول ۱ و شکل ۴ مشخص است، با شروع فصل زمستان میزان آشفتگی‌های جوی و ناپایداری‌های ناگهانی جو حداقل بوده و این خود را در میزان غلظت نمونه‌های به دست آمده نشان داده است. از طرفی این شرایط آرام در نمونهٔ جمع‌آوری شده در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۰۶ -۱۳۹۰/۱۲/۱۳ در ایستگاه آبادان متفاوت بوده و نشان‌دهندهٔ پدیدهٔ جوی گرد و غبار می‌باشد. با شروع فصل بهار و حرکت به ماه‌های آخر این فصل، با توجه به خشکی خاک و تغییرات مداوم شرایط جوی، این شرایط آرام جای خود را به شرایط ناپایدار داده و افزایش غلظت و تراکم گرد و غبار اتفاق می‌افتد. همان‌گونه که از شکل ۴ مشخص است، افزایش غلظت ذرات معلق در هوا برای ایستگاه ارومیه با توجه به رطوبت بالاتر، بارندگی بیشتر و کوهستانی بودن منطقه کمتر و با شیب کمتری در حال وقوع است؛ در حالی که این شرایط برای ایستگاه آبادان با شیب بیشتر و غلظت ذرات معلق در هوای بالاتر؛ به علت دشتی بودن منطقه و قرارگیری در نزدیکی خط حاره و کشورهای عربی حوزهٔ خلیج فارس و بارندگی بسیار کم و نامنظم می‌باشد. در شکل ۵ کانی‌ها و فازهای مختلف ذرات معلق در هوای جمع‌شده بر روی فیلترهای

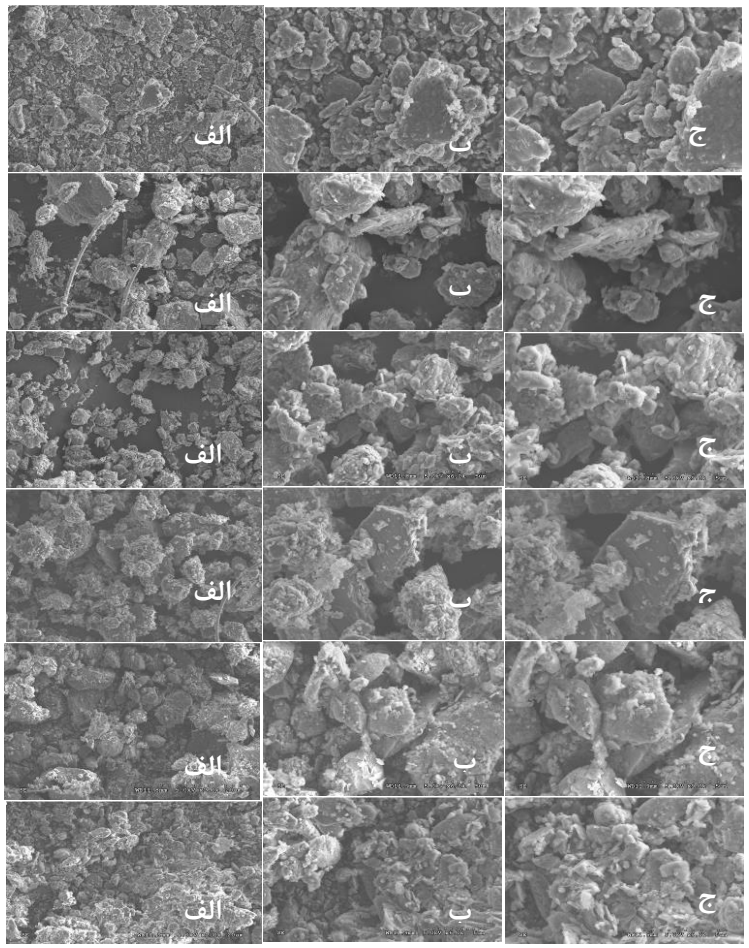
مورد بررسی در دو ایستگاه آبادان و ارومیه مشاهده می‌شود. مطالعات پراش پرتو ایکس وجود کانی‌های کوارتز، کلسیت، ژیپس، هماتیت، هالیت، گوگرد، کلرید باریم، منتیت، بیوتیت، کانی‌های رسی اعم از ایلیت، ورمیکولیت، کائولینیت، کلریت، لایه‌های مختلط ایلیت-اسمکتیت و... در نمونه‌های بررسی شده را نشان می‌دهند. درصد، نوع و تنوع کانی‌های مختلف در دو ایستگاه مطالعاتی متفاوت بوده و نوع نمونه‌گیر اعم از TSP، PM_{10} و $PM_{2/5}$ به همراه وجود یا عدم وجود روزهای گرد و غباری، منبع تغذیهٔ ذرات معلق و فصل نمونه‌گیری در نوع نتایج به دست آمده بسیار مؤثر می‌باشد (جدول ۲).

شکل ۵ نشان می‌دهد که در ایستگاه آبادان در فصل زمستان و در نمونهٔ TSP، میزان کانی‌های موجود در ذرات گرد و غبار روند ثابتی داشته و کانی‌های غالب شامل کلسیت، ژیپس، کوارتز و کانی‌های رسی می‌باشند. با شروع فصل بهار و آغاز رخدادهای گرد و غبار، افزایش میزان کانی‌های رسی ایلیت، کائولینیت و هماتیت به طور قابل‌توجهی در نمونه‌های مورد بررسی دیده می‌شود. ولی کانی‌های موجود در PM_{10} و $PM_{2/5}$ دارای تفاوت‌های قابل تمایزی نسبت به نمونهٔ TSP بوده و میزان کلسیت، کانی‌های رسی و دیگر کانی‌ها از قبیل کروندوم، هالیت، آلبیت، دولومیت، نیترید کلرید فسفر، اکسیدهای‌آهن و بیوتیت نیز در نمونه‌ها مشاهده می‌گردند. در ایستگاه ارومیه شرایط تا حدودی متفاوت بوده و در نمونه‌های TSP فصل زمستان میزان کلسیت و کوارتز و با مقداری کمتر کانی‌های رسی به‌خوبی دیده می‌شود؛ ولی با حرکت به سمت فصل بهار مقدار کوارتز و ژیپس به حداقل رسیده و میزان کانی‌های رسی و میکا و کائولینیت افزایش می‌یابد. ولی در نمونه‌های PM_{10} و $PM_{2/5}$ برخلاف ایستگاه آبادان اگرچه کانی‌های هالیت، اولیوین و آلبیت دیده می‌شود، ولی تفاوت قابل ملاحظه‌ای با نمونه‌های TSP نداشته و در کل غنای کانی در این ایستگاه در مقایسه با ایستگاه آبادان پایین می‌باشد که نشانهٔ تمیزتر بودن هوا و تأثیر کمتر از رخدادهای گرد و غبار و دوری از منابع گرد و غبار می‌باشد. بررسی‌های آماری به کمک آزمون تی مستقل در جدول ۲ نیز نتایج حاصله را تأیید نموده و در مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه آبادان در شرایط گرد و غبار و شرایط عادی جوی و همچنین مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه‌های آبادان و ارومیه در رخداد گرد و غبار تفاوت معنی‌داری بین نتایج بوده و بین مقایسهٔ میانگین‌ها تفاوت وجود دارد ($P<۰/۰۵$) گرچه در مقایسهٔ بین نمونه‌های جمع‌آوری شدهٔ ایستگاه ارومیه در شرایط گرد و غبار و شرایط عادی جوی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های جمع‌آوری شده وجود ندارد (جدول ۲). به طور کلی نسبت میزان کوارتز به سمت ذرات ریزتر گرد و غبار کاهش یافته که با افزایش در کانی‌های رسی و کانی‌های سمی نظیر نیتریدکلریدفسفر همراه می‌باشد. همچنین فراوان‌ترین فاز در بین کانی‌ها را در هر دو ایستگاه؛ کانی کلسیت دارا می‌باشد. البته در نمونه‌های ذرات گرد و غبار PM_{10} و $PM_{2/5}$، این دامنه از ذرات تا حدودی بر میزان شدت پراش پرتو ایکس اثر می‌گذارند و با کاهش اندازهٔ ذرات این شدت کاهش می‌یابد.

همچنین مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که کوارتز و دیگر کانی‌های سیلیکاته به همراه کلسیت با درجه‌ای کمتر، اغلب توسط کانی‌های رسی پوشیده شده که از آن جمله می‌توان به مونتمورینولیت، کائولینیت و ایلیت اشاره نمود. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با قدرت تفکیک بالا دامنهٔ خوبی از اندازهٔ ذرات و پوشش‌های سطحی کوارتز و دیگر ذرات معدنی را نشان می‌دهد. تصاویر موجود از نمونه‌های گرد و غبار مشخص می‌کند که ذرات گرد و غبار در نمونه‌های TSP دارای ذرات درشت‌تری در مقایسه با PM_{10} و $PM_{2/5}$ بوده و به همین دلیل تا حدودی کلوئیدهای رسی و خاکدانه‌های متصل به هم کمتری را شامل می‌شوند (شکل۶).



شکل ۵. مقایسهٔ نوع و میزان درصد کانی‌های موجود در دو ایستگاه آبادان و ارومیه در اندازه‌های مختلف ذرات به کمک روش پراش پرتو ایکس.



نمونهٔ TSP ایستگاه آبادان با بزرگنمایی ۲۰۰۰(الف)، ۶۰۰۰(ب)، و ۹۰۰۰(ج).

نمونهٔ PM_{10} ایستگاه آبادان با بزرگنمایی ۲۰۰۰(الف)، ۶۰۰۰(ب)، و ۹۰۰۰(ج).

نمونهٔ $PM_{2/5}$ ایستگاه آبادان با بزرگنمایی ۲۰۰۰(الف)، ۶۰۰۰(ب)، و ۹۰۰۰(ج).

نمونهٔ TSP ایستگاه ارومیه با بزرگنمایی ۲۰۰۰(الف)، ۶۰۰۰(ب)، و ۹۰۰۰(ج).

نمونهٔ PM_{10} ایستگاه ارومیه با بزرگنمایی

شکل ۶. تصاویر ثانویهٔ میکروسکوپ الکترونی روبشی با قدرت تفکیک۲۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۹۰۰۰. الیاف فیلتر کوارتز در بعضی نمونه‌ها دیده می‌شوند

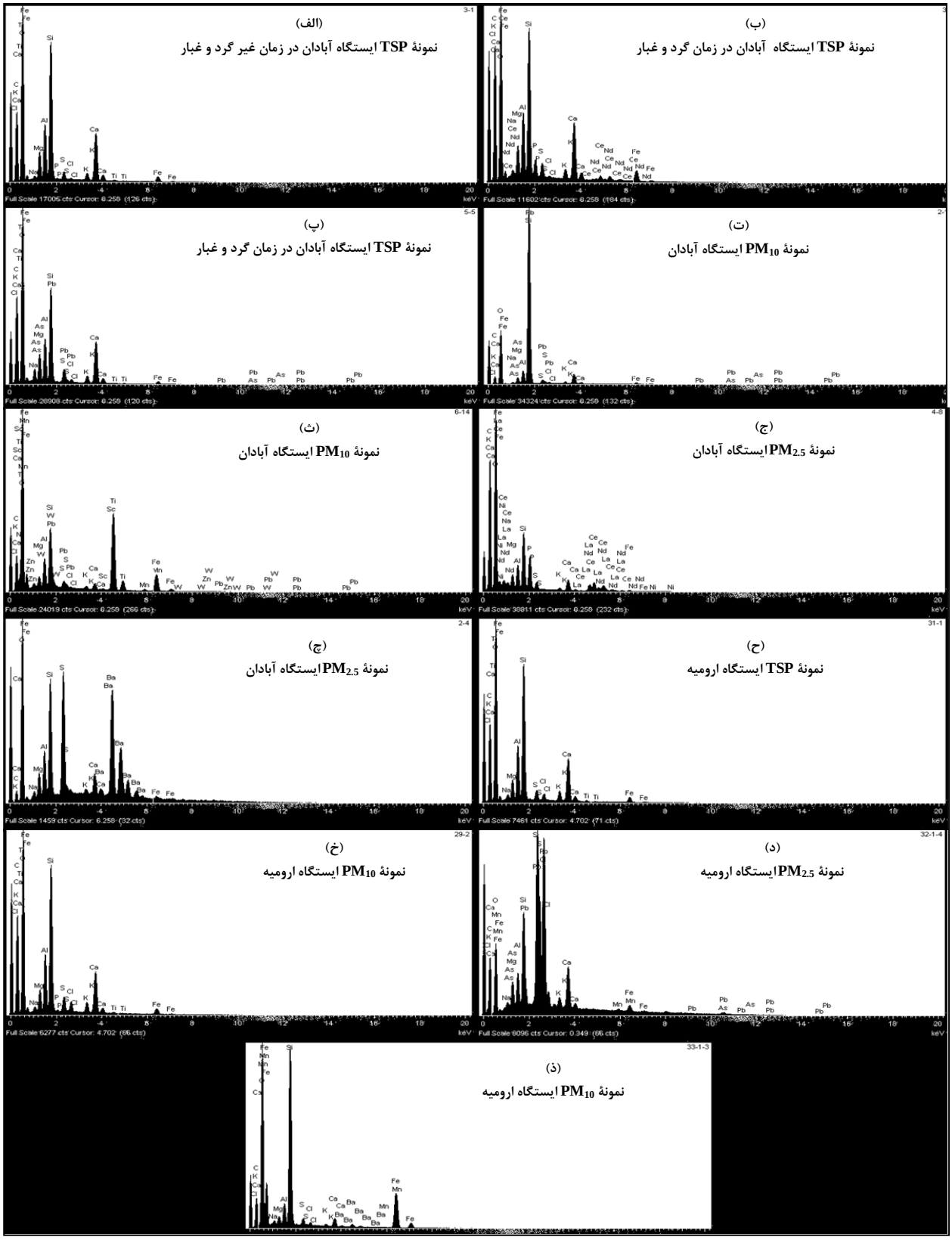
با ریز شدن ذرات، چسبندگی بین ذرات به‌خصوص در ذرات کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون و وجود خاصیت ذرات رسی، این خاکدانه‌ها تشکیل می‌شوند که خود مانعی بر سر راه تشخیص صحیح کانی‌ها و ترکیبات شیمیایی ذرات ریز می‌باشند. در این تصاویر به‌خصوص نمونه‌های TSP، ذرات درشت‌تر کوارتز بوده که به صورت زاویه‌دار تا گردشده دیده می‌شوند و اندازهٔ آن‌ها از ۱ میکرون تا ۵۰ میکرون در تغییر است (شکل۶). همچنین کانی‌های سیلیکات آلومینیوم و کانی‌های رسی که به صورت زاویه‌دار و نیمه‌گرد و صفحه‌ای و میله‌ای، بیشتر در نمونه‌های PM_{10} و $PM_{2/5}$ دیده شده و اندازهٔ آنها از چند میکرون تا ۱۰ میکرون در تفاوت است؛ اگرچه می‌توان آن‌ها را به مقدار کافی در نمونه‌های TSP نیز مشاهده نمود. به علاوه کانی‌های اکسیدآهن نیز در نمونه‌ها مشخص گردیدند که مقدار آن‌ها از چند میکرون تا بیش از ۵۰ میکرون در تغییر بوده و به صورت بیشتر زاویه‌دار و نیز کروی در نمونه‌ها مشاهده گردیدند. در استفاده از میکروسکوپ چشمی هم می‌توان وجود ذرات و دانه‌های سیاه رنگ را به اکسیدهای آهن به‌خصوص هماتیت و منتیت مرتبط دانست. به علت عدد اتمی پایین آهن، این عنصر و کانی‌های مرتبط به آن در تصاویر میکروسکوپی بازپخش شده به صورت تیره دیده می‌شوند. در نمونه‌های مورد مطالعه به میزان کافی ذرات کلسیت وجود دارند که به صورت زاویه‌دار، نیمه‌گرد و گرد دیده می‌شوند و رخ

آنها نیز به راحتی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی قابل تشخیص است (شکل۶). این ذرات به خاطر سختی نسبتاً کم آنها در همه‌نوع اندازه دیده شده و کانی غالب نمونه‌های گرد و غبار مورد مطالعه می‌باشند.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های گرد و غبار دو ایستگاه آبادان و ارومیه نشان می‌دهد که در زمان‌های رخداد گرد و غبار نوع، شکل، اندازهٔ ذرات و نوع کانی‌ها تغییر کرده و تمایل به سمت کوچک‌تر شدن و تا حدودی نیمه‌گرد تا گرد شدن دارند. نوع کانی نیز به سمت کانی‌های رسی و فازهای عناصر فرعی مانند باریت و سرب تغییر کرده که این تا حدود زیادی به فاصلهٔ حمل این ذرات و منبع گرد و غبار بستگی دارد.

در یک بررسی کلی می‌توان نتیجه گرفت که ذرات در مقیاس TSP در مقایسه با PM_{10} و $PM_{2/5}$ پوشش‌های رسی کمتری داشته و لذا به‌راحتی می‌توان به بررسی نوع و اندازهٔ ذرات و کانی‌های موجود در آن‌ها پرداخت؛ به طوری که کانی غالب آنها کلسیت و کوارتز می‌باشد.

همان‌گونه که نمودارهای سنجندهٔ پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی (EDX) نشان می‌دهند، در نمونهٔ TSP ایستگاه آبادان و در شرایط عادی (شکل۷- الف)، عناصر موجود در آن شامل آلومینیوم (Al)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلر (Cl)، فسفر (P)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، تیتانیم (Ti)، کربن (C)، اکسیژن (O) و سیلیسیم (Si) می‌باشد. این شرایط برای نمونه‌های TSP ایستگاه ارومیه نیز تقریباً ثابت می‌باشند و تغییر چندانی ندارند (شکل۷- ح). به طور کلی، غلظت این عناصر با فراوانی کانی‌های موجود در نمونه مرتبط است و به‌عنوان مثال می‌توان وجود آلومینیوم و پتاسیم را به کانی‌های رسی، سیلیسیم و اکسیژن را به کوارتز، سدیم و کلر را به هالیت و منیزیم، کلسیم و کربن را به دولومیت مرتبط دانست. عناصرکمیاب و نادرخاکی نیز در نمونه‌ها مشاهده شدند و نتایج نشان می‌دهد که بعضی از این عناصر نظیر Li, B, Rb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Pb, As و Dy در زمان رخداد گرد و غبار به میزان ۱/۵ تا ۳ برابر بسته به نوع عنصر در مقایسه با زمان غیر گرد و غباری آن وجود دارند. به‌عنوان مثال نمونهٔ TSP ایستگاه آبادان (شکل۷- ب و ۷- پ) دارای مقادیر زیادی نئودیمیم (Nd)، سریم (Ce)، سرب (Pb) و آرسنیک (As) علاوه بر عناصر بالا می‌باشد. این عناصر در نمونه‌های ایستگاه ارومیه به میزان حداقل بوده که خود نشانه‌ای از وجود آلاینده‌های جوی در جنوب غربی ایران در مقایسه با شمال غرب آن می‌باشد. این قاعده در مورد ذرات PM_{10} و $PM_{2/5}$ هم صادق بوده و به طور کلی عناصر کمیاب و نادر خاکی بر اساس مطالعات انجام شده به میزان بیشتری در این دو نوع دامنه از اندازهٔ ذرات در مقایسه با TSP می‌باشند. اگر چه در رخدادهای گرد و غبار این قاعده تا حدودی صادق نبوده و دامنه‌ای وسیع از عناصر در نمونه‌ها حتی در TSP مشاهده می‌گردند. همان‌گونه که از شکل (۷- ت) و (۷- ث) PM_{10} و (۷- ج) و (۷- چ) $PM_{2/5}$ نمونه‌های گرد و غبار آبادان مشخص است، عناصر آرسنیک (As)، سرب (Pb)، روی (Zn)، منگنز (Mn)، اسکاندیم (Sc)، تنگستن (W)، نئودیمیم (Nd)، سریم (Ce)، لانتانیم (La) و نیکل (Ni) قابل شناسایی می‌باشند و نسبت به نمونه‌های PM_{10} و $PM_{2/5}$ ایستگاه ارومیه (شکل ۷- خ، ۷- د و ۷- ذ) با عناصر منگنز (Mn)، باریم (Ba)، سرب (Pb) و آرسنیک (As) علاوه بر عناصر اصلی موجود در آنها، تنوع بالاتری را نشان می‌دهند. البته بایستی توجه نمود که هر کدام از این عناصر کمیاب به‌نوبهٔ خود بر وجود کانی دلالت نداشته و تنها ممکن است جانشین عناصر اصلی در ساختمان کانی‌ها قرار گیرند. همچنین این اندازه‌گیری‌ها بر روی قسمت کوچکی از نمونه‌ها صورت گرفته و چنانچه بتوان زمان بیشتری صرف کرد و تصاویر بازپخش شدهٔ میکروسکوپ الکترونی روبشی را با قدرت تفکیک بیشتر و دقت بالاتر مشاهده نمود، عناصر بیشتری قابل شناسایی هستند.



شکل ۷. مقایسهٔ نوع و درصد عناصر موجود در دو ایستگاه آبادان و ارومیه در اندازه‌های مختلف ذرات به کمک روش EDX.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که در دو ایستگاه آبادان و ارومیه کانی‌های غالب کلسیت، کوارتز و کانی‌های رسی بوده که فراوانی آن‌ها با توجه به فصل و جهت وزش باد، نوع نمونه‌گیر، مکان نمونه‌برداری و مقدار نمونه در تغییر است. با کاهش دامنهٔ اندازهٔ ذرات، از میزان کوارتز کاسته شده و به مقدار کانی‌های رسی افزوده می‌گردد. همچنین در رخدادهای گرد و غبار این پدیده صادق بوده و علاوه بر کانی‌های رسی بر میزان اکسیدهای‌آهن اعم از هماتیت و منتیت، دولومیت و کانی‌های نیتراته اضافه می‌گردد. از این‌رو می‌توان فازهای کربنات (اکثراً کلسیت)، سیلیکات (کوارتز)، سیلیکات‌های آلومینیوم بلورین (میکا و کانی‌های رسی)، اکسیدهای آهن (هماتیت و منتیت) و سولفات (ژیپس) راتشخیص داد که با مطالعات احمدی‌بیرگانی و همکاران [۳]، شی و همکاران [۵۴]، زراسوندی و همکاران [۶۴]، تونـدرا و همکاران [۵۹] و الداباس و همکاران [۵] همخوانی دارد. این فازها بیشتر مؤلفه‌های اصلی گرد و غبار طبیعی را تشکیل می‌دهند [۵۲]؛ هر چند می‌توان مقادیری از کوارتز موجود در نمونه‌ها را به سوختن زغال سنگ و حضور کوارتز، سیلیکات‌های آلومینیوم و اکسیدهای‌آهن بی‌شکل را به فعالیت‌های انسانی مرتبط دانست [۵۱، ۵۲]. این همخوانی در نوع کانی و فازهای مختلف است و در کارهای تحقیقی مذکور کمّیت کانی‌های بالا با این مطالعه در تطابق نمی‌باشند (به علت مطالعهٔ دیگر مناطق جهان و در زمان‌های دیگر). میزان اندک ژیپس، دولومیت و هالیت نیز همخوانی خوبی را با مطالعات حجتی و همکاران [۳۵] نشان می‌دهد؛ هر چند هیچ میزانی از رس‌های پالیگورسکیت در نمونه‌های مطالعاتی مشاهده نشد. الاوادی [۴] با مطالعهٔ گرد و غبارهای کشور کویت نشان داد که کانی‌های رسی بیشتر از نوع پالیگورسکیت، ایلیت و مونتمورینولیت بوده و میزان کمتری کائولینیت می‌باشند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کشور کویت در دورهٔ نمونه‌گیری گرد و غبار، منبع و محل برخاست گرد و غبار نبوده است. میزان بالای کلسیت در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده نیز با مطالعات احمدی‌بیرگانی و همکاران [۳] و رائسپور [۵۰] همخوانی نشان می‌دهد. البته کانی‌شناسی مشابهی از نظر کانی‌های غالب کلسیت و کوارتز برای رخدادهای گرد و غبار در عربستان سعودی [۴۴] و فلسطین اشغالی [۵۶] گزارش گردیده است و به طور کلی می‌توان این دو را کانی غالب منطقهٔ خاورمیانه و حاشیهٔ خلیج فارس و دریای مَکران به حساب آورد. اگر چه در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده میزان کلسیت مقادیر بالایی را نشان می‌دهد، ولی بر خلاف مطالعات ژنگسینگ [۶۵]، ایلیت، کوارتز، کلریت و کائولینیت دارای بیشترین مقادیر در نمونه‌های گرد و غبار بیابان‌های شمالی چین می‌باشند و میزان کلسیت بسیار اندک است. مطالعات نمونه‌های گرد و غبار از ایستگاه‌های ارومیه و آبادان نشان می‌دهد که در اندازهٔ PM_{10} و $PM_{2/5}$ میزان ذرات کوارتز کاهش و کانی‌های رسی افزایش می‌یابد. این نتایج با مطالعات یابوتا و اوهتا [۶۳] و انگلبرچت و همکاران [۲۲] مطابقت دارد. البته شدت پیک پرتو ایکس به میزان توزیع یکنواخت ذرات گرد و غبار بر روی فیلتر و میزان ذرات حبس شده در داخل الیاف فیلتر نیز بستگی قابل توجهی دارد که این موارد با نتایج ایستگاه ارومیه به علت میزان اندک غلظت گرد و غبار بر روی فیلترهای کوارتز به‌خوبی خود را نشان می‌دهد و با نتایج فرگ و همکاران [۲۶]، هارست و همکاران [۳۶] و یابوتا و اوهتا [۶۳] همخوانی دارد. نتایج تجزیه و تحلیل پراش پرتو ایکس نشان داد که تفاوت کانی‌ها در روزهای گرد و غبار با روزهای غیر گرد و غباری نشانهٔ تغذیهٔ گرد و غبار از منابع مختلف و غنای نقاط برداشت است.

مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی دامنه‌ای از اشکال مختلف ذرات اعم از زاویه‌دار، نامنظم، مکعبی، استوانه‌ای، منشوری و اندازهٔ ذرات از کمتر از ۱ میکرون تا ۵۰ میکرون را به نمایش می‌گذارد که نمی‌توان از آنها به‌عنوان شاخصی برای تعیین کانی‌ها استفاده نمود و به

مطالعات بیشتری نیاز است. این ذرات عمدتاً به صورت نامنظم و زاویه‌دار بوده و تا حدودی نیمه‌گرد تا گرد شده هستند که بسته به شرایط رخداد گرد و غبار و نوع منبع تغذیه‌کنندهٔ این ذرات دارد. الداباس و همکاران [۵] گردشدگی ذرات را به فاصلهٔ حمل و زراسوندی و همکاران [۶۴] به نوع کانی مرتبط می‌دانند.

بیشتر کانی‌های موجود در نمونه‌ها توسط کانی‌های رسی پوشیده شده‌اند که با مطالعات احمدی‌بیرگانی و همکاران [۳] و انگلبرچت و همکاران [۲۲] تطابق دارد. مطالعات پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی (EDX) نشان می‌دهد که عناصر اصلی نمونه‌های TSP ایستگاه آبادان و ارومیه در شرایط عادی و عاری از گرد و غبار شامل آلومینیوم، منیزیم، سدیم، کلر، فسفر، گوگرد، کلسیم، پتاسیم، آهن، تیتانیم، کربن، اکسیژن و سیلیسیم می‌باشند؛ اما با شروع گرد و غبار علاوه بر عناصر مذکور، آرسنیک، سرب، روی، منگنز، اسکاندیم، تنگستن، نئودیمیم، سریم، لانتانیم، باریم و نیکل در نمونه‌ها اعم از TSP، PM_{10} و $PM_{2/5}$ دیده می‌شوند. این عناصر می‌توانند خود را در ترکیب اکسیدها و فسفات‌های عناصر کمیاب خاکی نظیر اکسید تنگستن و یا مونازیت‌ها نشان دهند. میزان بالای عناصر کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم، سدیم و پتاسیم در مطالعات پرتو ایکس پاشندهٔ انرژی نشانه‌ای از کانی‌های کلسیت، کوارتز، هالیت، کانی‌های فیلوسیلیکات [۳، ۳۵] و کانی‌های رسی می‌باشد. وجود سرب به میزان زیاد در ایستگاه آبادان خود به علت وجود پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های سوخت فسیلی فراوان و آلودگی‌های شدید صنعتی و شهری است. با توجه به نتایج به دست آمده، غلظت عناصر و کانی‌ها در نمونه‌های ایستگاه مطالعاتی آبادان تنوع و مقادیر بالاتری داشته و این نشانه‌ای از چندمنبعی بودن گرد و غبار و متعاقب آن آلوده‌تر بودن هوای منطقه و وجود ذرات معلق بیشتر می‌باشد که به سمت فصل‌های گرم سال میزان این ذرات معلق در هوا نیز افزایش می‌یابد.

References

[1] Abed, A.M., Al Kuisi, M. and Abul Khair, H. (2009). Characterization of the Khamassen (spring) dust in Jordan. *Atmospheric Environment*, 43, 2868–2876.

[2] Ahmady-Birgani, H., McQueen, K. G., Moeinaddini, M. and Naseri, H. (2017). Sand Dune Encroachment and Desertification Processes of the Rigboland Sand Sea, Central Iran. *Scientific Reports*, 7(1), 1523.

[3] Ahmady-Birgani, H., Mirnejad, H., Feiznia, S. and McQueen, K. G. (2015). Mineralogy and geochemistry of atmospheric particulates in western Iran. *Atmospheric Environment*, 119, 262-272.

[4] Al-Awadhi, J. M. (2005). Dust fallout characteristics in Kuwait: a case study. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 32, 135–151.

[5] Al-Dabbas, M, A., Abbas, M. A. and Al-Khafaji, R. M. (2010). Dust storms loads analyses—Iraq. *Arab Journal of Geoscience*.

[6] Andreae, M. O. (1995). Climate effects of changing atmospheric aerosol levels, in Future Climates of the World: A Modelling Perspective, *Elsevier Press*.

[7] Arnold, E., Merrill, J., Leinen, M. and King, J. (1998). The effect of source area and atmospheric transport on mineral aerosol collected over the North Pacific Ocean. *Global Planet Change*, 18, 137–159.

[8] Avila, A., Queralt-Mitjans, I. and Alarcon, M. (1997). Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over northeastern Spain. *Journal of Geophysical Research*, 102, 977–21.

[9] Bergametti, G., Gomes, L., Coude´-Gaussen, G., Rognon, P. and Costumer, Le. (1989). African dust over Canary Islands: Source regions, identification and transport pattern for some summer situations. *Journal of Geophysical Research*, 94, 14855– 14864.

[10] Bhaskar, R., Xu, L. J. (1994). A comparative study of particle size dependency of IR and XRD methods for quartz analysis. *American Industrial Hygiene Association journal*, 55, 605–609.

[11] Bishop, J. B, K., Davis, R. E. and Sherman, J. T. (2002). Robotic observations of dust storm enhancement of carbon biomass in the North Pacific. *Science*, 298, 817– 821.

[12] Buringh, P. (1960). Soils and soil conditions in Iraq. Ministry of Agriculture, Baghdad.

[13] Buseck, PR. and Posfai, M. (1999). Airborne minerals and related aerosol particles: effects on climate and the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 3372–3379.

[14] Carmichael, G. R., Zhang, Y., Chen, L. L., Hong, M. S. and Ueda, H. (1996). Seasonal variation of aerosol composition at Cheju Island, Korea. *Atmospheric Environment*, 30, 2407–2416.

[15] CDC/NIOSH. (1994). Work-Related Lung Disease Surveillance Report. *DHHS (NIOSH)*, 94–120.

[16] Clarke, A. D., Collins, W. G., Rasch, P. J., Kapustin, V. N., Moore, K., Howell, S. and Fuelberg, H. E. (2001). Dust and pollution transport on global scales: Aerosol measurements and model predictions. *Journal of Geophysical Research*, 106, 32,555–32,569.

[17] Connolly, P. J., ohler, M., Field, O., Saathoff, P. R. H., Burgess, R., Choularton, T. and Gallagher, M. (2009). Studies of heterogeneous freezing by three different desert dust samples. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 9, 2805–2824.

[18] Cowie, RL. Mabena, SK. (1991). Silicosis, chronic airflow limitation, and chronic bronchitis in South African gold miners. *American Review of Respiratory Disease*, 143, 80–4.

[19] Davis, B. L. and Guo, J. (2000). Airborne particulate study in five cities of China. *Atmospheric Environment*, 34, 2703– 2711.

[20] Davis, B. L. (1984). X-ray diffraction analysis and source apportionment of Denver aerosol. *Atmospheric Environment*, 18(10), 2197-2208.

[21] Dentener, F. J., Carmichael, G. R., Zhang, Y., Lelieveld, J. and Crutzen, P. J. (1996). Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 101, 22869– 22889.

[22] Engelbrecht, J. P., McDonald, E. V., Gillies, J. A., Jayanty, R. K. M., Casuccio, G. and Gertler, A.W. (2009a). Characterizing mineral dusts and other aerosols from the Middle East - Part 1: Ambient sampling. *Inhalation Toxicology*, 21, 296–325.

[23] Engelbrecht, J. P., McDonald, E. V., Gillies, J. A., Jayanty, R. K. M., Casuccio, G. and Gertler, A.W. (2009b). Characterizing mineral dusts and other aerosols from the Middle East - Part 2: Grab Sample and Re-Suspension. *Inhalation Toxicology*, 21, 327-336.

[24] Falkovich, A. H., Ganor, E., Levin, Z., Formenti, P. and Rudich, Y. (2001). Chemical and mineralogical analysis of individual mineral dust particles. *Journal of Geophysical Research*, 106.

[25] Fan, X. B., Okada, K., Niimura, N., Kai, K., Arao, K., Shi, G., Qin, Y. and Mitsuta, Y. (1996). Mineral particles collected in China and Japan during the same Asian Dust-storm event. *Atmospheric Environment*, 30, 347– 351.

[26] Ferg, E, E., Loyson, P. and Gromer, G. (2008). The Influence of Particle Size and Composition on the Quantification of Airborne Quartz Analysis on Filter Paper. *Industrial Health*, 46, 144–151.

[27] Filloon, R. (2001). Implementing silica analysis by X-ray diffraction part II: health effects, analysis and regulations.*UHL Hygienic Laboratory*, 39, 2–4.

[28] Formenti, P., Schuetz, L. Balkanski, Y., Desboeufs, K. Ebert, M., Kandler, K., Petzold, A., Scheuvens, D., Weinbruch, S. and Zhang, D. (2010). Recent progress in understanding physical and chemical properties of mineral dust. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 10, 31187-31251.

[29] Ganor, E., Deutsch, Y. and Foner, H. A. (2000). Mineralogical composition and sources of airborne setting particles on Lake Kinneret (the Sea of Galilee), Palestine. *Water Air Soil Pollut*, 118, 245– 262.

[30] Gao, Y. and Anderson, J. R. (2001). Characteristics of Chinese aerosols determined by individual-particle analysis. *Journal of Geophysical Research*, 106.

[31] Gaudichet, A., Lefevre, R., Gaudry, A., Ardouin, B. and Lambert, G. (1989). Mineralogical composition of aerosol at Amsterdam Island. *Tellus*, 41, 334– 352.

[32] Gibson, E. R., Hudson, P. K. and Grassian, V. H. (2006). Aerosol chemistry and climate: laboratory studies of the carbonate component of mineral dust and its reaction products. *Geophysics Research*, 33.

[33] Gustafsson, R. J., Orlov, A., Badger, C. L., Griffiths, P. T., Cox, R. A. and Lambert, R. M. (2005). A comprehensive evaluation of water uptake on atmospherically relevant mineral surfaces: DRIFT pectroscopy, thermogravimetric analysis and aerosol growth measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 5, 3415–3421.

[34] He, C., Breuning-Madsen, H. and Awadzi, T. W. (2007). Mineralogy of dust deposited during the Harmattan season in Ghana. *Danish Journal of Geography*, 107, 1-9.

[35] 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.

[36] Hurst, VJ., PA, S. and RW, S. (1997). Accurate quantification of quartz and other phases by powder X-ray diffraction. *Analytica Chimica Acta*, 337, 233–52.

[37] International Agency for Research on Cancer (IARC). (1987). IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Silica and some silicates. *WHO, IARC*, 42, 49–51.

[38] Jablonska. M., Rietmeijer, F. J. M. and Janeczek, J. (2001). Fine-grained barite in coal fly ash from the upper Silesian Industrial Region. *Environmental Geology*, 40, 941.

[39] Jianhua, Q., Xianguo, L., Lijuan, F. and Manping, Z. (2006). Characterization of Dust and Non-dust Aerosols with SEM/EDX. *Journal of Ocean University of China*, 5(1), 85-90.

[40] Kahlaf, F. I., Al-Kadi, A. and Al-Saleh, S. (1985). Mineralogical composition and potential sources of dust fallout deposits in Kuwait. *Sedimentary Geolology*, 42, 225–278.

[41] Koehler, K. A., Kreidenweis, S. M., DeMott, P. J., Petters, M. D., Prenni, A. J. and Carrico, C. M. (2009). Hygroscopicity and cloud droplet activation of mineral dust aerosol. *Geophysics Research*, 36.

[42] Leinen, M., Prospero, J. M., Arnold, E. and Blank, M. (1994). Mineralogy of aeolian dust reaching the North Pacific Ocean: 1. Sampling and analysis *Journal of Geophysical Research*, 99, 21017– 21023.

[43] Merrill, J., Arnold, E., Leinen, M. and Weaver, C. (1994). Mineralogy of aeolian dust reaching the North Pacific Ocean: 2. Relationship of mineral assemblages to atmospheric transport patterns. *Journal of Geophysical Research*, 99, 21025– 21032.

[44] Modaihsh, A.S. (1997). Characteristics and composition of the falling dust sediments in Riyadh city, Saudi Arabia. *Journal of Arid Environment*, 36, 211–223.

[45] Moreno, T., Gibbons, W., Jones, T. P. and Richards, R. J. (2003). The geology of ambient aerosols: Characterising urban and rural/coastal silicate PM10_2.5 and PM2.5 using high-volume cascade collection and scanning electron microscopy. *Atmospheric Environment*, 37, 4265– 4276.

[46] Mori, I., Nishikawa, M. and Iwasaka, Y. (1998). Chemical reaction during the coagulation of ammonium sulphate and mineral particles in the atmosphere. *Science of the Total Environment*, 224, 87– 91.

[47] Prospero, J. M. (1999). Long-term measurements of the transport of African mineral dust to the southeastern United States: implications for regional air quality. *Journal of Geophysical Research*, 104 (13), 15917–15927.

[48] Pye, K. (1987). Aeolian Dust and Dust Deposits. *Academic Press*, New York, NY.

[49] Queralt, I., Sanfeliu, T., Gomez, E. and Alvarez, C. (2001). X-ray diffraction analysis of atmospheric dust using low-background supports. *Aerosol Science*, 32, 453-459.

[50] Raespour, K. (2008). Statistical and synoptical analysis of dust phenomena in Khuzestan phenomena. *MSc thesis, Sistan and Balouchestan University*, 166p.

[51] Rietmaijer, F. J. m., Janeczek, J. (1997). An analytical electron microscope study of airborne industrial particles in osnowiec, Poland. *Atmospheric Environment*, 31.

[52] Rocks, K. C. (1993). Minerals and a Dust world (health effects of mineral Dust, chapter 2. *Mineralogical Society of America*, 28.

[53] Sharifi, A., Murphy, L. N., Pourmand, A., Clement, A. C., Canuel, E. A., Beni, A. N., and Ahmady-Birgani, H. (2018). Early-Holocene greening of the Afro-Asian dust belt changed sources of mineral dust in West Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, 481, 30-40.

[54] Shi, Z., Shao, L., Jones, T. P. and Lu, S. (2005). Microscopy and mineralogy of airborne particles collected during severe dust storm episodes in Beijing, China, *Journal of Geophysical Research*, 110.

[55] Sievering, H., Boatman, J., Luria, M. and Van Valin, C. (1989). Sulfur dry deposition over the western North Atlantic: The role of coarse aerosol particles. *Tellus*, 41, 338– 343.

[56] Singer, A., Ganor, E., Dultz, S. and Fischer, W. (2003). Dust deposition over the Dead Sea. *Journal of Arid Environment*, 53, 41–59.

[57] Sokolik, I. N. and Toon, O. B. (1999). Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from UV to IR wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, 104(8), 9423–9444.

[58] Tate, S, E., Greene, R. S. B., Scott, K. M. and McQueen, K. G. (2003). Characterisation of regolith materials in the Girilambone region, north-western Lachlan fold belt, NSW. *Advances in Regolith*, 399-405.

[59] Tondera, A., Jabłońska, M. and Janeczek, J. (2007). Mineral Composition of Atmospheric Dust in Biebrza National Park, Poland. *Polish Journal of Environment*, 3.

[60] US Department of Health and Human Services, (1984). *NIOSH manual of analytical methods*, Centres of Disease Control DHHS (NIOSH).

[61] Willis, R. D. and Blanchard, F. T. (2002). Guidelines for the Application of SEM/EDX Analytical Techniques to Particulate Matter Samples.

[62] Winchester, J. W., and Wang, M. X. (1989). Acid-base balance in aerosol components of the Asia-Pacific region. *Tellus*, 41, 323– 327.

[63] Yabuta, J. and Ohta, H. (2003). Determination of Free Silica in Dust Particles: Effect of Particle Size for the X-Ray Diffraction and Phosphoric Acid Methods. *Industrial Health*, 41, 249–259.

[64] Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F. 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.

[65] Zhenxing, Sh., Junji, C., Xuxiang, L. OKUDA, T. Yaqiang, W. and Xiaoye, Zh. (2006). Mass Concentration and Mineralogical Characteristics of Aerosol Particles Collected at Dunhuang During ACE-Asia. *Advances in Atmospheric Science*, 2, 291–298.

[66] Zimmermann, F., Weinbruch, S., Schutz, L., Hofmann, H., Ebert, M., Kandler, K. and Worringen, A. (2008). Ice nucleation properties of the most abundant mineral dust phases, *Journal of Geophysical Research* ,113.