

## منشأ یابی گردوغبار با استفاده از نسبت یونها و مرفولوژی ذرات در نیمه

### غربی ایران

ناهید محمودی مه پاش\*<sup>۱</sup> و بابک سوری<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد علوم و مهندسی محیط زیست دانشگاه کردستان

۲- دانشیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت ۹۸/۱۰/۰۸-تاریخ پذیرش ۹۹/۰۱/۰۶)

#### چکیده:

پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران معضلات محیط زیستی زیادی به بار آورده، بنابراین شناخت جنبه‌های کمی و کیفی آن ضروری است. این تحقیق به بررسی نسبت یونها و مرفولوژی ذرات گردوغبار با هدف تعیین منابع احتمالی دخیل در ایجاد گردوغبار می‌پردازد. نمونه‌برداری بمدت یک‌سال در شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک به روش غیرفعال صورت گرفت. مقادیر سنجش شده بوسیله IC با استفاده از نسبت‌های  $Cl^-/Na^+$ ،  $Mg^{2+}/Na^+$  و  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  ارزیابی شدند. آنالیز داده‌ها با نرم‌افزارهای Spss-ver23 و Excel-2016 انجام پذیرفت. نتایج نشان داد کلسیم میانگین درصد بیشتری نسبت به سایر کاتیون‌ها در سه ایستگاه (۴۴۴/۰۴٪، ۶۸۴/۰۳٪) دارد. آنیون‌ها در سه ایستگاه میانگین درصد مشابهی داشتند. بالا بودن درصد یونها موید منشأ خاکزاد و نقش رسوبات تبخیری در پدیده گردوغبار می‌باشد. میانگین نسبت  $Cl^-/Na^+$  در ایستگاه‌های سنندج و اندیمشک (۰/۸۱۵، ۰/۴۳۲) کمتر از استاندارد منابع دریایی (۱/۱۷) بدست آمد. نسبت  $Mg^{2+}/Na^+$  در سه ایستگاه بالاتر از حد استاندارد منابع دریایی بود (۰/۲۳). بررسی نسبت یونها نشان داد ذرات گردوغبار از بسترهای خشک شده منابع آبی (مناطق تولید گردوغبار فرامرزی و داخلی) که با خشکسالی از بین رفته‌اند منشأ گرفته‌اند و در مسیر انتقال، بوسیله جریان هوا ترکیب یونها بواسطه ترکیب با عوامل مختلف دچار تغییرات، واکنش‌ها و نوساناتی گردیده است. اندازه ذرات گردوغبار با دور شدن از منبع شکل‌گیری آن‌ها (غبارهای فرامرزی) تمایل به ریز شدن داشتند. بطوریکه میانگین اندازه ذرات در سنندج ۷/۹، خرم‌آباد ۸/۹ و اندیمشک ۱۰/۶ میکرومتر بود. مرفولوژی ذرات در سه ایستگاه به شکل کروی، نیمه‌کروی و زاویه‌دار بود.

**کلید واژگان:** سنندج، خرم‌آباد، اندیمشک، نسبت یونی،  $Cl^-/Na^+$ ،  $Mg^{2+}/Na^+$ .

## ۱. مقدمه

رویداد گردوغبار شامل شکل‌گیری، انتقال و فرونشست می‌باشد. هر ساله مقدار زیادی ذرات معلق توسط این پدیده به محیط منتشر می‌شود. بخشی از این ذرات در نزدیکی منبع انتشار رسوب می‌کند و بخشی دیگر زمان بیشتری در اتمسفر به صورت معلق باقی مانده و مسافت‌های طولانی طی می‌کند (Behrooz *et al.*, 2017). این پدیده عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک جهان روی می‌دهد که از جمله شرایط مستعد برای بوجود آمدن آن کاهش پوشش گیاهی و رطوبت خاک است (Rezazadeh *et al.*, 2018; Rashki *et al.*, 2013). ذرات گردوغبار سالانه بیش از یک سوم آئروسول‌های اتمسفر را تشکیل می‌دهند و طبق برآوردهای جهانی انتشار ذرات حدود ۱۰۰۰-۳۰۰۰ میلیون تن در سال می‌باشد (Ji *et al.*, 2019). ایران بر روی کمربند بیابانی و نیمه‌بیابانی کره زمین قرار دارد و حدود ۶۵ درصد از مساحت آن را مناطق خشک تشکیل می‌دهد که بستر مناسبی برای تولید گردوغبار می‌باشد. اما در سال‌های اخیر شاهد حضور و گسترش مداوم پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران هستیم که علت عمده آن همجواری با بیابان‌های کشورهای بیابانی همچون عربستان، عراق و سوریه می‌باشد و معضلات محیط زیستی مخربی در این منطقه بوجود آورده است (Revandi *et al.*, 2013).

بنابراین شناخت منشا و خصوصیات این ذرات امری بسیار مهم و کاربردی است که می‌تواند در محاسبه مقادیر انتشار (Molnar *et al.*, 2014)، مدل‌سازی آب و هوا (Goudie and Middleton, 2006)، کنترل آلودگی (Shen *et al.*, 2009) و اتخاذ استراتژی‌های کنترلی مناسب کارآمد باشد. وسعت

تأثیرات پدیده گردوغبار بسیار متعدد است؛ تغییرات آب و هوایی، چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، تداخل در شیمی اتمسفر و تغییرات اقلیمی از جمله اثرات بسیار مهم می‌باشند (Shen *et al.*, 2011; Norouzi *et al.*, 2017). اثر ذرات گردوغبار بر سلامتی انسان بستگی به ترکیب شیمیایی و اندازه ذرات دارد که عوامل بیماری‌زایی مانند آلرژن‌ها و پاتوژن‌ها را با خود حمل می‌کنند که می‌توانند باعث بیماری‌های تنفسی و قلبی و عروقی شوند (Behrooz *et al.*, 2016; Behrooz *et al.*, 2017; Rashki *et al.*, 2018). همچنین اندازه و شکل ذرات گردوغبار شاخص مهمی از خصوصیات فیزیکی آن می‌باشد که با انتشار، حمل و نقل و رسوب پدیده گردوغبار در ارتباط می‌باشند؛ بطوری که ذرات با اشکال کروی و نیمه‌کروی حاصل فرسایش بادی خاک هستند (Khuzestani and Souri, 2013). اندازه ذرات اطلاعات ارزشمندی راجع به منشا گردوغبارهای محلی یا گردوغبار بوجود آمده از منابع دور دست می‌دهد و برای بازسازی تغییرات رژیم بادی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gossens, 2007). با فاصله از منبع تولید گردوغبار، اندازه ذرات کاهش می‌یابد و ذرات کوچکتر از ۲۰ میکرومتر روزها و هفته‌ها به صورت معلق در اتمسفر باقی می‌مانند و مسافت‌های طولانی را طی می‌کنند این ذرات در مسیر انتقال ممکن است با آلودگی‌های متعددی ترکیب شده اثرات مخرب‌تری ایجاد کنند (Ji *et al.*, 2019). یون‌ها یکی از مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی گردوغبار هستند که یون‌های محلول در آب نظیر سولفات، نترات و آمونیوم به عنوان یون‌های ثانویه بخش مهمی از ذرات معلق را تشکیل می‌دهند و اثرات سوء بر سلامتی انسان دارند (Lee and Hieu, 2019).

شاخص‌های پدیده گردوغبار خاورمیانه ارائه شدند. در بررسی یون‌های محلول در آب موجود در ذرات گردوغبار شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک در نیمه غربی ایران، آزمون چند دامنه‌ای دانکن بین یون‌های مورد بررسی نشان داد که سدیم به عنوان عنصری که حلالیت بسیاری بالایی دارد، در فصل بهار در هر سه ایستگاه غلظت متفاوتی داشت ( $<0/05$ ). علاوه بر این محاسبه ضریب واگرایی برای ذرات سه ایستگاه نشان داد که خصوصیات شیمیایی در سه ایستگاه اکثراً مشابه هستند ( $<0/05$ ) (Mahpash and Sour, 2019). و همکاران (2015) در بررسی یون‌های محلول در آب در ذرات معلق برخاسته از بستر خشک دریاچه ارومیه دریافتند سولفات بیشترین غلظت و سپس نیترات و سدیم دارای غلظت بالاتری بودند، همچنین نسبت  $Cl^-/Na^+$  در فصل تابستان کمترین مقدار نسبت به سایر فصل‌ها بدست آمد. اندازه ذرات گردوغبار موجود در شهر سنندج با میانگین  $11/762$  میکرومتر و با انحراف معیار  $0/490$  میکرومتر مشاهده شد. کانی‌های کلسیت، کوارتز و کانی رسی ایلات فراوانی بیشتری نسبت به کانی‌های مورد بررسی به خود اختصاص دادند. اندازه ذرات و حضور این کانی‌ها تایید کننده منبع زمین شناختی ذرات گردوغبار در نیمه غربی ایران بود (Khuzestani and Sour, 2013). Wang و همکاران (2006) در شانگهای به بررسی یون‌های تشکیل دهنده TSP و  $PM_{2.5}$  پرداختند. یون‌های سولفات و کلراید از ذرات معلق حاصل از دریا منشأ گرفتند و کاتیون‌های کلسیم، سدیم و منیزیم حاصل پوسته زمین و منابع دریایی بودند و نسبت  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  کمتر از یک بدست آمد. از آنجا که مقادیر مطلق ترکیبات موجود در/ همراه با ذرات

(2013). علاوه بر این نقش مهمی در ویژگی‌های هیگروسکوپیک آئروسول‌های اتمسفری داشته و در اتمسفر با قرارگیری به عنوان هسته ابرها نقش مهمی در تشکیل ابرها ایفا می‌کنند (Wang et al., 2005; Lee and Hieu, 2013). سولفات یون ثانویه اسیدی در ذرات با اندازه  $0/4-1$  میکرون غلظت بالایی داشته و نقش مهمی در کاهش دید دارد (Lee and Hieu, 2013). بخش عمده‌ای از یون‌های سولفات و نیترات در اتمسفر از اکسیداسیون  $SO_2$  و  $NO_x$  توسط رادیکال OH تشکیل می‌شوند.  $SO_2$  هنگام احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها، منابع خانگی و... تولید می‌شود. همچنین مهم‌ترین منبع انتشار  $NO_x$  وسایل حمل و نقل شهری می‌باشد؛ ذرات گردوغبار با دخالت در چرخه این ترکیبات عامل افزایش یون‌های ثانویه در اتمسفر می‌شود. از اینرو نسبت  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  شاخصی برای تعیین منابع ثابت و متحرک در تولید ترکیبات نیتروژنی و گوگردی است (Javid et al., 2015). یون‌های کلراید و سدیم شاخص خاک‌هایی با عناصر محلول و شور هستند و حضور آن‌ها در اتمسفر به علت ذرات معلق ناشی از منابع خاکی، ذرات حاصل از نمک‌های دریا و استفاده از نمک به عنوان ضد یخ در جاده‌ها می‌باشد. نسبت  $Cl^-/Na^+$  که استاندارد منبع دریایی است به عنوان شاخص مهمی برای پی بردن به منابع دخیل در تولید دو یون مذکور در ذرات معلق اتمسفر می‌باشد، و دو یون مورد بررسی نسبت به استاندارد ذکر شده سنجیده می‌شوند. از جمله مطالعات انجام شده بر روی خصوصیات ذرات گردوغبار می‌توان به مواردی اشاره نمود. در مطالعه Shamsavani و همکاران (2012) ترکیبات یونی TSP و  $PM_{10}$  طی پدیده گردوغبار خاورمیانه در اهواز بررسی و نسبت‌های  $Cl^-/Na^+$  و  $Ca^{2+}/Na^+$  به عنوان

گردوغبار بدلیل تنوع منابع دخیل در ایجاد این پدیده چندان در تعیین منشا این ذرات موثر نیست؛ از اینرو در این تحقیق تلاش شده تا بعوض مقادیر مطلق نسبت ترکیبات یونی به همراه مرفولوژی این ذرات بمنظور تعیین منشا ذرات گردوغبار در نیمه غربی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

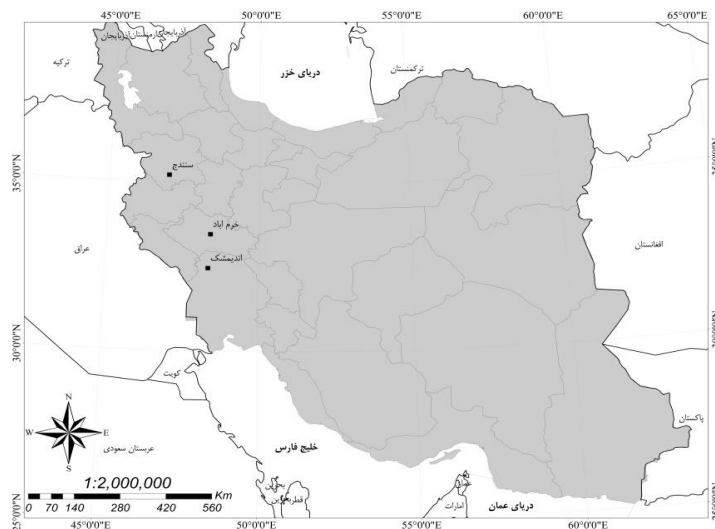
گردوغبارهای ورودی به نیمه غربی ایران مشکلات متعددی در زمینه‌های مختلف بوجود آورده است بنابراین سه ایستگاه نمونه‌برداری در شهرهای سنندج با موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ}16'46''$  شمالی و  $56^{\circ}46'59''$  شرقی، خرم‌آباد با موقعیت  $33^{\circ}28'52''$  شمالی و  $48^{\circ}24'25''$  شرقی و در اندیمشک با موقعیت جغرافیایی  $30^{\circ}28'26''$  شمالی و  $21^{\circ}48'11''$  شرقی که در مسیر حملات زینبار این پدیده بوده و طی دهه اخیر مطالعات کمی بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی آن صورت گرفته است، معین گردید (شکل ۱).

### ۲-۲. نمونه‌گیری و آنالیزها

نمونه‌گیری در این تحقیق به روش غیرفعال (Hojati *et al.*, 2012) با فواصل ۱۰ روزه از تیر ماه ۱۳۹۱ لغایت خرداد ماه ۱۳۹۲ انجام گرفت. در ایستگاه‌های مورد بررسی سه نمونه در هر ماه برداشت شد و به علت محدودیت‌های امکانات آزمایشگاهی با هم ترکیب و برای هر ایستگاه ۱۲ نمونه در مدت زمان نمونه‌برداری بدست آمد سپس آنالیزها بصورت ماهانه صورت گرفت. برای جمع‌آوری نمونه‌های گردوغبار، از سه سطح شیشه‌ای هر یک به ابعاد  $1 \times 5$  متر مربع استفاده گردید که در هر ایستگاه، بر روی پشت بام

ساختمان‌هایی به ارتفاع تقریبی ۵ متر از زمین مستقر شدند. با پایان هر مرحله از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و توزین شدند و در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $105^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند، در نهایت در پلاستیک‌های زیپ دار نگهداری شدند (Hojati *et al.*, 2012). برای اندازه‌گیری یون‌های  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Na^{+}$ ،  $K^{+}$ ،  $NO_3^{-}$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $Cl^{-}$  موجود در گردوغبار، پس از توزین  $0.15$  گرم از هر نمونه و افزودن ۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه، به مدت ۲ ساعت در دمای  $95^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد بوسیله هیتر حرارت دهی صورت گرفت، سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای  $50^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد در حمام التراسونیک قرار داده شد و با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف گردید (Jaradat *et al.*, 2004). نهایتاً کاتیون‌های  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Na^{+}$  و  $K^{+}$  بوسیله فلیم فتومتر و آنیون‌های  $NO_3^{-}$ ،  $SO_4^{2-}$  و  $Cl^{-}$  با روش کروماتوگرافی یونی سنجش گردید. علاوه بر این برای کالیبراسیون دستگاه، استانداردهای عناصر با رقیق سازی محلول  $1000$  ppm آن‌ها تهیه گردید. سپس با بکارگیری نرم‌افزارهای Excel-2016 و Spss-ver23 از نرمال بودن/ شدن داده‌ها و همگنی واریانس‌های مربوطه اطمینان حاصل شد. برای بررسی تنوع شکل و اندازه ذرات در نمونه‌ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مدل (MIRA3 TESCAN) استفاده گردید. در این روش جهت پراکنده شدن و جلوگیری از چسبندگی ذرات گردوغبار، اتانول استفاده شد. سپس با روکش طلا پوشش دهی و با ولتاژ  $15$  kv در مقیاس  $50$  میکرومتر تصویربرداری صورت گرفت. اندازه ذرات نمونه‌ها با نرم افزار Image J مشخص گردید. همچنین EDX نیز تهیه گردید. برای تعیین کانی‌ها، ذرات گردوغبار با استفاده از دستگاه XRD مدل

Crystall Impact) پیک‌های تهیه شده از برنامه (Maacth version 1.11) استفاده شد. PW1800 در شرایط ۴۰ Kv و ۳۰ mA با زاویه اسکن ۰ تا ۹۰ نانومتر مورد آنالیز قرار گرفتند و برای تفسیر



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در غرب ایران

ایستگاه مورد مطالعه نسبت بیشتری را به خود اختصاص داده است (۵/۴۸۸، ۴/۴۴۴، ۳/۶۸۴). ضمن اینکه درصد کاتیون‌های پتاسیم و منیزیم در ایستگاه خرم آباد سهم بیشتری نسبت به دو ایستگاه دیگر دارند (۲/۰۴۷، ۰/۴۱۳). درصد آنیون سولفات در سه ایستگاه غلظت بیشتری از خود نشان داد (۴/۳۸۶، ۴/۱۱۰، ۴/۲۳۱).

### ۳. نتایج

#### ۳-۱. نسبت سهم یون‌ها

میانگین نسبت سهم هر کاتیون به مجموع کاتیون‌ها و سهم هر آنیون به مجموع آنیون‌های سنجش شده در گردوغبار شهرهای سنندج، خرم آباد و اندیمشک در جدول ۱ نشان داده شده است و همانگونه که مشاهده می‌شود درصد کاتیون کلسیم در هر سه

جدول ۱- سهم یون‌ها (درصد) در سه ایستگاه مورد بررسی در طول دوره نمونه‌برداری

میانگین (%)							ایستگاه
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
۱/۷۹۱	۲/۱۶۷	۴/۳۸۶	۵/۴۸۸	۰/۲۶۹	۱/۲۸۹	۱/۲۹۶	سنندج
۱/۷۸۷	۲/۴۴۶	۴/۱۱۰	۴/۴۴۴	۰/۴۱۳	۲/۰۴۷	۱/۴۴۲	خرم آباد
۱/۹۶۲	۲/۱۳۵	۴/۲۳۱	۳/۶۸۴	۰/۲۸۴	۱/۹۱۲	۲/۴۶۳	اندیمشک

(*et al.*, 2011; *Ma et al.*, 2016). در این معادله،

غلظت یون‌ها (mg/g) نسبت به جرم مولکولی آن‌ها محاسبه می‌گردد (رابطه ۱ و ۲):

$$1- \text{Cation equivalents} = \text{Na}^+ / 23 + \text{K}^+ / 39.1 + \text{Ca}^{2+} / 20 + \text{Mg}^{2+} / 12$$

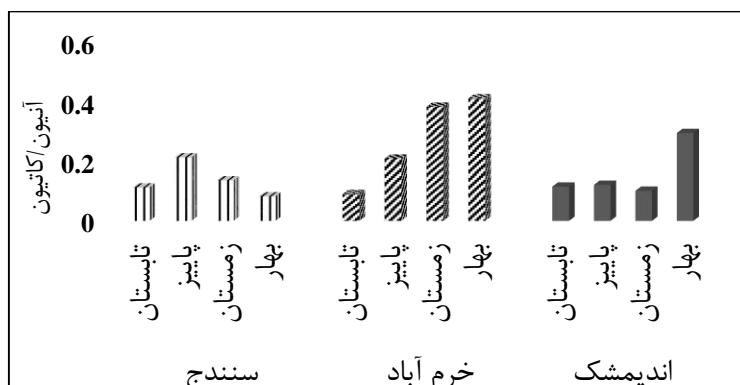
#### ۳-۲. تعادل یونی

معادله نسبت آنیون به کاتیون برای بررسی اسیدیته یون‌های موجود در ذرات معلق یا نمونه‌های دیگر محیطی بکار می‌رود (*Shen et al.*, 2007; *Zhang*)

۰/۰۹، پاییز ۰/۲۰، زمستان ۰/۳۸ و بهار ۰/۴۱ و برای اندیمشک در تابستان ۰/۱۱، پاییز ۰/۱۲، زمستان ۰/۱۰ و در بهار ۰/۲۹ بدست آمد که در شکل ۲ آورده شده است.

$$2- \text{Anion equivalents} = \text{SO}_4^{2-}/48 + \text{NO}_3^-/62 + \text{Cl}^-/35.5$$

نسبت هم‌ارز آنیونی به کاتیونی در سنندج به ترتیب در فصل‌های تابستان ۰/۱۱، پاییز ۰/۲۱، زمستان ۰/۱۳ و بهار ۰/۰۸، در خرم آباد در فصل‌های تابستان



شکل ۲- نسبت هم‌ارز آنیونی به کاتیونی در ذرات معلق سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه‌برداری

۰/۹۵۴ بدست آمد (جدول ۲). همچنین در سه ایستگاه کمترین نسبت در فصل تابستان و بیشترین در پاییز و سپس زمستان حاصل شد (شکل ۳ الف) که احتمالاً به دلیل تشکیل گاز HCl حاصل از ترکیب NaCl و گازهای اسیدی باشد (Gholampour *et al.*, 2015; Behrooz *et al.*, 2016).



### ۳-۳. نسبت $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$

برای مشخص نمودن تاثیر ذرات حاصل از رسوبات بستر منابع آبی بر خصوصیات شیمیایی ذرات گردوغبار نسبت  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  در فصل‌های نمونه‌برداری در ایستگاه سنندج بین ۰/۱۲۳ - ۱/۷۶، در ایستگاه خرم آباد ۰/۱۱۷ - ۰/۳۶ و در ایستگاه اندیمشک بین ۰/۰۸۳ -

جدول ۲- نسبت های  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ ،  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  اندازه‌گیری شده در ذرات گردوغبار سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه‌برداری

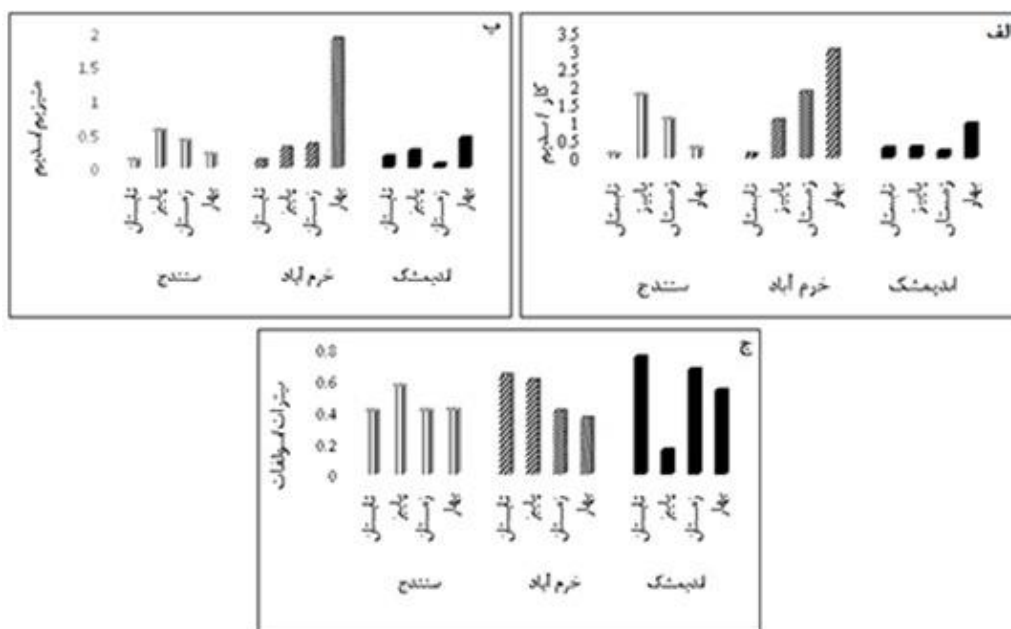
پارامتر	ایستگاه	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	میانگین
$\text{Cl}^-/\text{Na}^+$	سنندج	۰/۸۱۵	۰/۲۸۲	۱/۰۸۷	۱/۷۶۶	۰/۱۲۳
	خرم آباد	۱/۵۰۴	۳/۰۰۷	۱/۸۳۷	۱/۰۵۷	۰/۱۱۷
	اندیمشک	۰/۴۳۲	۰/۹۵۴	۰/۱۹۶	۱/۳۰۸	۰/۲۸۳
$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	سنندج	۰/۳۱۹	۰/۲۰۲	۰/۴۰۱	۰/۵۵۲	۰/۱۲۱
	خرم آباد	۰/۶۶۵	۱/۹۰۳	۰/۳۴۶	۰/۲۹۸	۰/۱۱۶
	اندیمشک	۰/۲۳۱	۰/۴۴۴	۰/۰۵۷	۰/۲۵۴	۰/۱۶۹
$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$	سنندج	۰/۴۴۵	۰/۴۱۱	۰/۴۰۵	۰/۵۶۳	۰/۴۰۴
	خرم آباد	۰/۴۹۷	۰/۳۵۷	۰/۴۰۳	۰/۵۹۸	۰/۶۳۳
	اندیمشک	۰/۵۲۵	۰/۵۳۴	۰/۶۶۶	۰/۱۵۵	۰/۷۴۶

### ۳-۴. نسبت $Mg^{2+}/Na^+$

نسبت  $Mg^{2+}/Na^+$  نیز برای تعیین قرابت ذرات گردوغبار با منشا اکوسیستم‌های آبی خشک شده کاربرد دارد. نسبت  $Mg^{2+}/Na^+$  در ایستگاه سنندج بین ۰/۱۲۱ - ۰/۵۵۲، ایستگاه خرم آباد ۰/۱۱۶ - ۰/۹۰۳ و در ایستگاه اندیمشک بین ۰/۰۵۷ - ۰/۴۴۴ در فصل‌های تابستان، پاییز، زمستان و بهار حاصل شد، همچنین میانگین این نسبت در سه ایستگاه مورد مطالعه بترتیب ۰/۳۱۹، ۰/۶۶۵ و ۰/۲۳۱ بدست آمد (جدول ۲، شکل ۳ ب).

### ۳-۵. نسبت $NO_3^-/SO_4^{2-}$

برای تعیین اهمیت منابع صنعتی (متحرک و ثابت) در انتشار ذرات معلق، شاخص  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  استفاده می‌شود. نسبت  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  در ایستگاه سنندج بین ۰/۴۰۴ - ۰/۵۶۳، ایستگاه خرم آباد ۰/۳۵۷ - ۰/۶۳۳ و در ایستگاه اندیمشک بین ۰/۱۵۵ - ۰/۷۴۶ طی دوره نمونه‌برداری حاصل شد (جدول ۲، شکل ۳ ج). در سه ایستگاه این شاخص کمتر از واحد می‌باشد.



شکل ۳- نسبت های الف)  $Cl^-/Na^+$ ، ب)  $Mg^{2+}/Na^+$ ، ج)  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  اندازه گیری شده در ذرات گردو غبار سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه برداری

### ۳-۶. نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی

شکل ۴ تصاویر ذرات گردوغبار سه ایستگاه را با بزرگنمایی مشابه و با شاخص خطی بطول ۵۰ میکرومتر نشان می‌دهد. شکل ذرات در هر سه ایستگاه به صورت کروی، نیمه‌کروی و زاویه‌دار و نامنظم ارزیابی گردید (Khuzestani and Souri, 2013) دامنه اندازه ذرات نیز به ترتیب در ایستگاه سنندج بین ۳ - ۱۷ میکرومتر با میانگین ۷/۹، ایستگاه

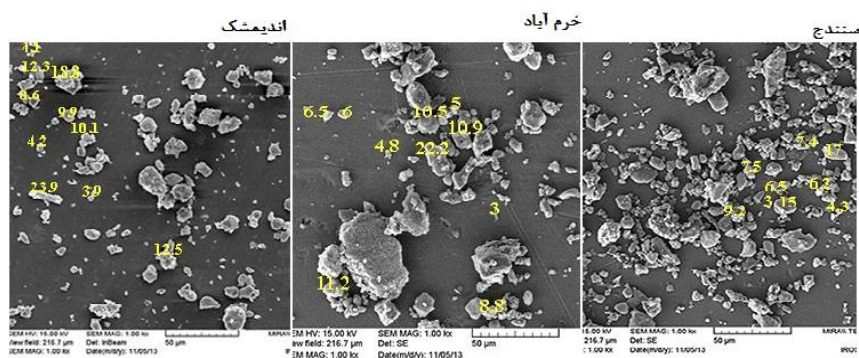
خرم آباد بین ۴/۸ - ۲۲/۲ میکرومتر با میانگین ۸/۹ و در ایستگاه اندیمشک ۳/۹ - ۲۳/۹ میکرومتر و میانگین ۱۰/۶ مشاهده شد.

### ۳-۷. نتایج تصاویر طیف تفرق اشعه ایکس و EDX

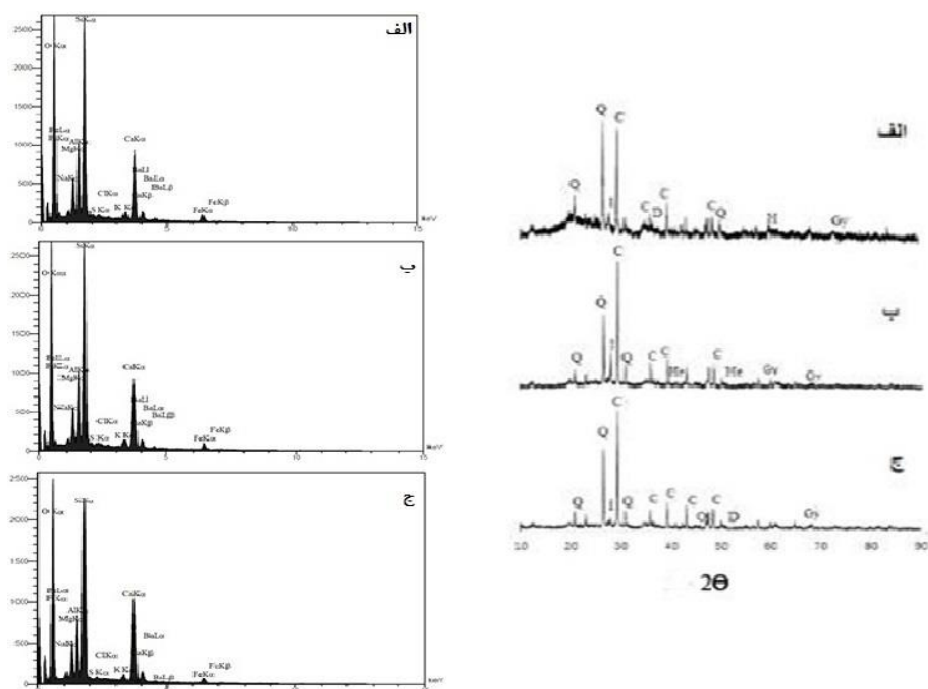
نتایج حاصل از بررسی نوع و میزان کانی‌های موجود در ذرات گردوغبار سه ایستگاه در شکل ۵ (سمت راست) نشان می‌دهد که طیف‌های بدست آمده از تفرق

دادند. به طور کلی می توان بیان کرد کوارتز و کلسیت در سه ایستگاه غالب ترین کانی ها می باشند. همچنین نتایج حاصل از EDX شکل ۵ (سمت چپ) نشان داد، در بین عناصر مورد بررسی، سیلیسیم و اکسیژن بیشترین درصد را برخوردارند که در ایستگاه سنندج اکسیژن ۵۳/۱ و سیلیسیم ۱۴/۶ درصد، ایستگاه خرم آباد اکسیژن و سیلیسیم بترتیب ۵۲ و ۱۲/۲ درصد و در ایستگاه اندیمشک اکسیژن ۵۱/۸ و سیلیسیم ۱۰/۴ درصد ارائه شد.

اشعه ایکس در هر سه ایستگاه از الگوی مشابهی پیروی می کنند. کانی های شناسایی شده در ایستگاه سنندج شامل کلسیت، کوارتز، ایلیت، دولومیت، هالیت و ژپس به ترتیب با فراوانی ۲۶/۷، ۲۹/۲، ۱۴/۲، ۷/۹، ۱/۸ و ۰/۲ درصد، در ایستگاه خرم آباد شامل کلسیت، کوارتز، ایلیت، دولومیت، هالیت و ژپس به ترتیب برابر ۴۲/۶، ۱۴/۳، ۱۳/۳، ۱۰/۲، ۴/۵ و ۱ درصد مشاهده شدند. علاوه بر این کانی های کلسیت، کوارتز، ایلیت، دولومیت و ژپس ۵۴، ۲۶/۷، ۸، ۱۵/۵ و ۰/۲ درصد را در ایستگاه اندیمشک به خود اختصاص



شکل ۴- تصاویر تهیه شده از ذرات گردوغبار ایستگاه های الف (سنندج، ب) خرم آباد و ج) اندیمشک با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM



شکل ۵- طیف تفرق اشعه ایکس ذرات گردوغبار ایستگاه های الف (سنندج، ب) خرم آباد و ج) اندیمشک. Q: کوارتز، C: کلسیت، D: دولومیت، Gy: ژپس، H: هالیت، He: همانیت، O: الیون (سمت راست) - تصاویر EDX ذرات گردوغبار ایستگاه های الف (سنندج، ب) خرم آباد، ج) اندیمشک بر حسب درصد (سمت چپ)



## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

### ۴-۱. بحث

در بررسی درصد سهم کاتیون‌ها و آنیون‌ها به مجموع یون‌هایشان، کلسیم بیشترین غلظت را به خود اختصاص داد این عنصر، کاتیون اصلی گردوغبارهایی با منشأ طبیعی عنوان شده است و به عنوان شاخص خاک‌های آهکی بشمار می‌رود. پتاسیم در ایستگاه خرم‌آباد غلظت بالایی داشت (جدول ۱). این عنصر علاوه بر اینکه از پوسته زمین منشأ می‌گیرد شاخص سوخت‌های زیست توده نیز به شمار می‌آید ( Javed *et al.*, 2015). نسبت سهم کاتیون سدیم در ایستگاه اندیمشک نسبت به دو ایستگاه دیگر بگونه قابل توجهی بیشتر بود (۲/۴۶۳). علی‌رغم اینکه نسبت سهم آنیون‌ها در هر سه شهر مورد مطالعه نزدیک به یکدیگر است آنیون سولفات با بیشترین نسبت در میان آنیون‌های سنجش شده موید نقش بیشتر رسوبات تبخیری در تولید ذرات گردوغبار مطالعه شده است. پس از سولفات یون کلراید مقام بعدی را در نسبت آنیون‌های مطالعه شده داشت که می‌تواند تاییدی بر حضور نمک در ترکیبات ذرات گردوغبار باشد که در زمره کانی‌های رسوبی تبخیری بوده و عمدتاً از خشک شدن اکوسیستم‌های آبی ناشی می‌شود (Rashki *et al.*, 2013) ضمن اینکه حضور ترکیباتی همچون  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  و  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  در گردوغبار حادث شده در سه ایستگاه مطالعه شده احتمال بالایی دارد (Mahpash and Souri, 2019). در تعادل یونی زمانی که نسبت هم‌ارز آنیونی به هم‌ارز کاتیونی برابر واحد باشد می‌توان ذرات گردوغبار را در حالت تعادل یونی (خنثی) قلمداد نمود و چنانچه این نسبت بیش از واحد باشد این ذرات در شرایط اسیدی

قرار دارند و در مقابل نسبت کمتر از واحد نشان دهنده قلیاییت تعادل یونی است. همانگونه که ملاحظه شد نسبت‌های بدست آمده همگی کمتر از ۱ بودند (شکل ۲) که تایید کننده قلیاییت ذرات می‌باشد. بنابراین می‌توان اظهار داشت، عناصر خاکزاد مانند کلسیم و منیزیم در ذرات گردوغبار باعث ایجاد قلیاییت در ذرات می‌شوند. علاوه بر این نسبت هم‌ارز آنیونی به کاتیونی با کاهش اندازه ذرات معلق افزایش می‌یابد به نحوی که ذرات معلق با ابعاد کوچک دارای ترکیبات اسیدی تری نسبت به ذرات درشت‌تر هستند (Zou *et al.*, 2017). خصوصیت قلیایی ذرات گردوغبار برای بسیاری از چرخه‌های بیوژئوشیمیایی مهم است زیرا آن‌ها در مسیر باد مسافت‌های طولانی را طی می‌کنند و ویژگی اسیدی اتمسفر را خنثی می‌کنند (Shen *et al.*, 2007). همانگونه که اشاره شد برای تعیین تاثیر ذرات حاصل از رسوبات بستر منابع آبی بر خصوصیات شیمیایی ذرات گردوغبار نسبت  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  استفاده می‌شود. لذا میانگین  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  در ایستگاه سنندج ۰/۸۱۵ در ایستگاه خرم‌آباد ۱/۵۰۴ و در ایستگاه اندیمشک ۰/۴۳۲ بدست آمد (جدول ۲)، که با توجه به مقدار استاندارد  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  (۱/۱۷) منابع دریایی، در ایستگاه سنندج و اندیمشک این مقدار کمتر از حد استاندارد (۱/۱۷) و بیان کننده تاثیر بیشتر ذرات حاصل از منابع آبی (خصوصاً رسوبات بسترهای خشک منابع آبی) و اثر کم منابع دیگر در این دو ایستگاه است. سدیم دارای حلالیت بالا و شاخص خاک‌های نمکی است و منشأ عمده آن ذرات برخاسته از مناطق کویری و بسترهای خشک منابع آبی کشورهای مجاور نیمه غربی ایران، بویژه عراق که عامل اصلی تولید گردوغبار ورودی به ایران می‌باشد (Arami *et al.*, 2018). علاوه بر این وجود

می‌توان گفت که ذرات ریز دانه در غبار ایستگاه سنندج وفور بیشتری دارند. در واقع اندازه ذرات گردوغبار با دور شدن از منبع شکل‌گیری تمایل به ریز شدن داشته به نحویکه که ذرات درشت در نزدیکی منبع (محل) انتشار رسوب کرده و زودتر از تعلیق خارج می‌شوند و ذرات ریز می‌توانند هزاران کیلومتر در اتمسفر منتقل (جابجا) شوند (Rajabi and Souri, 2015; Lawrence and Neff, 2009). ذرات کوچک‌تر از ده میکرون برای سلامتی مضر می‌باشند برخی از ذرات دارای شکل زاویه‌دار می‌توانند با احتمال بیشتری پس از ورود به دستگاه تنفسی به آن آسیب برسانند. این ذرات زاویه‌دار عمدتاً از کانی‌هایی سخت‌تر مانند کوارتز تشکیل شده‌اند که واکنش‌پذیری پایینی در اتمسفر با دیگر ترکیبات دارند این در حالیست که استنشاق ذرات کوارتز بدلیل تیزی زاویه‌دار آن می‌تواند آسیب بیشتری را متوجه بافت ریه نموده و بیماری سیلیکوسیز را بوجود می‌آورد (Amjadian *et al.*, 2018). نتایج حاصل از شکل ۵ نشان داد کانی‌های کوارتز و کلسیت غالب‌ترین و فراوان‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده ذرات گردوغبار سه ایستگاه مورد بررسی می‌باشند. کوارتز جز کانی‌های اولیه از گروه سیلیکاته می‌باشد که به مقدار زیادی در خاک یافت می‌شود این کانی اصولاً از مواد مادری حاصل می‌شود (Wang *et al.*, 2010) و فراوان بودن آن در ذرات گردوغبار نشان می‌دهد که گردوغبار باریده بر سه ایستگاه دارای منشأ طبیعی و خاکزاد می‌باشند. کانی کربناته کلسیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک به فراوانی یافت می‌شود و در خاک‌های آهکی حضور بالایی دارد، بنابراین می‌توان بیان داشت ذرات گردوغبار باریده بر سه ایستگاه دارای منشأ آهکی می‌باشند همانطور

تالاب‌های متعدد خشک، رسوبات آبرفتی دانه ریز، و زمین‌هایی با رسوبات نمکی در جنوب خوزستان (بخش عمده گردوغبار محلی) بر افزایش غلظت این عنصر اثر دارند (Khatooni, 2016)، بنابراین افزایش یون سدیم باعث کاهش نسبت  $Cl^-/Na^+$  در ایستگاه های سنندج و اندیمشک می‌شود (Gholampour *et al.*, 2015). علاوه بر این محاسبات نسبت  $Mg^{2+}/Na^+$  در هر سه ایستگاه از استاندارد (۰/۲۳) Zhang *et al.*, 2016) دریایی آن بالاتر هستند (Zhang *et al.*, 2013; Behrooz *et al.*, 2016) و نشان می‌دهد بخش اعظم منیزیم از منابع خاکزاد (عمدتاً کربنات‌های معدنی) منشأ می‌گیرند؛ ضمن آن‌که میانگین این نسبت در سه ایستگاه تقریباً اعداد نزدیک هم می‌باشند که تایید می‌کند سرچشمه این ذرات منبع مشابهی است. با توجه به نتایج نسبت  $NO_3^-/SO_4^{2-}$  در جدول ۲ منابع آلاینده صنعتی نظیر کارخانجات در سه ایستگاه مورد مطالعه نقش مهمی در انتشار ذرات معلق و تاثیر بر ترکیبات ذرات گردوغبار دارند (Javid *et al.*, 2015; He *et al.*, 2017). کلسیم موجود در ذرات گردوغبار در اتمسفر با ترکیبات اسیدی نظیر نیتریک اسید و  $NO_x$  و  $SO_x$  واکنش داده و منجر به تشکیل ترکیباتی نظیر  $Ca(NO_3)_2$  می‌شود در نتیجه غلظت سولفات و نترات در ذرات معلق افزایش می‌یابد (Wang *et al.*, 2018). بنابراین می‌توان اظهار داشت ذرات گردوغبار عاملی برای افزایش ترکیبات ثانویه نترات و سولفات در اتمسفر می‌باشند. در این مطالعه از تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای تعیین شکل، اندازه و خاستگاه ذرات گردوغبار بکار گرفته شد (Zarasvandi *et al.*, 2011; Rashki *et al.*, 2013). با توجه به شکل ۴ و نتایج بدست آمده

گردوغبار در مسیر انتقال خود، تحت تاثیر منابع صنعتی و وسایل نقلیه بویژه کارخانجات قرار می گیرند و ترکیبات ثانویه سولفات و نترات در آن ها افزایش می یابد. همچنین نتایج حاصل از SEM نشان می دهد ذرات دارای اشکال گوناگون هستند که همراهی ذرات گردوغبار با ذرات حاصل از منابع دیگر را تایید می کند. علاوه بر این بیشتر بودن ذرات ریزتر در غبار ایستگاه سنجندج نسبت به دو ایستگاه دیگر با توجه به فاصله بیشتر ایستگاه سنجندج از منبع غبارهای فرامرزی قابل توجه است. علاوه بر این حضور ذرات کوچکتر از ده میکرون نیز مخرب بودن پدیده گردوغبار را اثبات میکند. غالب بودن کانی های کوارتز و کلسیت و عناصر اکسیژن و سیلیسیم نشان می دهد ذرات گردوغبار سه ایستگاه از پوسته زمین منشا گرفته اند.

که در ابتدای بحث بیان شد کلسیم غلظت بالایی در هر سه ایستگاه دارد، بنابراین نتایج تفرق اشعه ایکس این ادعا را تایید می کند. با توجه به نتایج حاصل از EDX سیلیسیم و اکسیژن بیشترین درصد را در بین عناصر مورد بررسی به خود اختصاص دادند این عناصر غلظت بالایی در پوسته زمین دارند و ساختار کانی های سیلیکاته را تشکیل می دهند که طبیعی بودن منشأ غبار را در سه ایستگاه اثبات می کند.

#### ۲-۴. نتیجه گیری

نسبت های  $Mg^{2+}/Na^{+}$  و  $Cl^{-}/Na^{+}$  در ایستگاه های مورد مطالعه، موید ذرات گردوغبار حاصل از رسوبات نمکی بستر خشک منابع آبی است که در سال های اخیر به علت مدیریت غلط و تغییرات اقلیمی خشک شده اند و بستری مناسب برای تولید ذرات معلق می باشند. نسبت  $NO_3^{-}/SO_4^{2-}$  نشان می دهد ذرات

## References

- Amjadian, K., Pirouei, M., Mehr, R M., Shakeri, A., Rasool, Kh Sh., Haji, I D. 2018. Contamination, health risk, mineralogical and morphological status of street dusts- Case study: Erbil metropolis, Kurdistan Region-Iraq. Environmental Pollution. (2018), 10.1016/j.envpol.2018.09.116.
- Arami, S. A., Ownegh, M., Behbahani, M, A., Akbari, M., Zarasvandi, A. 2018. The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2018). Journal of Spatial Environmental Hazards. 5(1), 39-66. (In Persian).
- Behrooz, D R., Sari -E, A., Bahramifar, N., Kaskaoutis, D.G. 2016. Analysis of the TSP, PM10 concentrations and water-soluble ionic species in airborne samples over Sistan, Iran during the summer dusty period. Atmospheric Pollution Research. 8, 1- 15.
- Behrooz, D R., Sari -E, A., Bahramifar, N., Kaskaoutis, D.G., Saeb, K., Rajaei, F. 2017. Trace element concentrations and water-soluble ions in size-segregated dust-borne and soil samples in Sistan, southeast Iran. Aeolian Research. 25, 87-105.
- Gholampour, A., Nabizadeh, R., Hassanvand, M S., Taghipour, H., Nazmara, Sh., Mahvi, AH. 2015. Characterization of saline dust emission resulted from Urmia Lake drying. Journal of Environmental Health Science & Engineering. 28, 13- 82.
- Goudie, A., Middleton, N., 2006. Desert Dust in the Global System. ISBN 978-3-540-32355-6.
- He, Q., Yan, Y., Guo, L., Zhang, Y., Zhang, G., Wang, X. 2017. Characterization and source analysis of water-soluble inorganic ionic species in PM2.5 in Taiyuan city, China. Atmospheric Research. 184, 48-55.
- Hojati S., Khademi, H., Cano, A. F., Landi A. 2012. Characteristics of dust deposited along a Transect between central Iran and the Zagros Mountains. Catena. 88(1), 27- 36.

- Ji, Y., Chen, X., Li, Y., Zhang, W., Shi, Q., Chen, J., Gao, Y., Li, G., Wang, J., Tian, P., An, T. 2019. The mixing state of mineral dusts with typical anthropogenic pollutants: A mechanism study. *Atmospheric Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.035>.
- Jaradat, Q. M., Momani, K. M., Jbarah, A-Z. Q., Massadeh, A. 2004. Inorganic analysis of dust fall and office dust in an industrial area of Jordan. *Environmental Research*. 96(2), 139- 144.
- Javed, W., Wexler A., Murtaza, G., Ahmad, H.R., Basra, S. M. A. 2015. Spatial, temporal and size distribution of particulate matter and its chemical constituents in Faisalabad, Pakistan. *Atmosfera*. 28(2), 99- 116.
- Javid, M., Bahramifar, N., Younesi, H., Taghavi, S M., Givehchi, R. 2015. Dry deposition, seasonal variation and source interpretation of ionic species at Abali, Firouzkouh and Varamin, Tehran Province, Iran. *Atmospheric Research*. 157, 74- 90.
- Khatooni, D, J. 2016. Sedimentology and geochemistry of Khuzestan plain quaternary sediments: implications on the dust storm production. *New findings in Applied Geology*. 10(20). (In persian)
- Khuzestani, B R., Souri B. 2013. Evaluation of the heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan province, Western Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 25(7), 1346- 1354.
- Lawrence, C. R., 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.
- Lee, B- K., Hieu, N. Th. 2013. Seasonal ion characteristics of fine and coarse particles from an urban residential area in a typical industrial city. *Atmospheric Research*. 122, 362- 377.
- Mahpash M, N., Souri, B. 2019. Comparison of soluble ions among dust fall particles of various latitudes in western Iran. *Iranian Journal of Environmental Sciences*. (In Persian).
- Ma, Y., Wang, Z., Tan, Y., Xu, S., Kong, S., Wu, G., Wu, X., Li, H. 2016. Comparison of inorganic chemical compositions of atmospheric TSP, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in northern and southern Chinese coastal cities. *Journal of Environmental Sciences*. 55, 339- 353.
- Molnar P, Johannesson S, Quass U. 2014. Source Apportionment of PM<sub>2.5</sub> Using Positive Matrix Factorization (PMF) and PMF with Factor Selection. *Aerosol and Air Quality Research*. 14, 725- 733.
- Norouzi, S., Khademi, H., Ayubi, Sh., Cano, F.A., Acosta A.J. 2017. Seasonal and spatial variations in dust deposition rate and concentrations of dust-borne heavy metals, a case study from Isfahan, central Iran. *Atmospheric Pollution Research*. 8(4), 1- 4.
- Rajabi, M., Souri, B. 2015. Evaluation of heavy metals among dust fall particles of Sanandaj, Khorramabad, and Andimeshk cities in western Iran 2012- 2013. *Iranian Journal of Health and Environment*. 8(1). (In persian).
- Rashki, A., Eriksson P. G., W. Rautenbach C. J. de., Kaskaoutis D. G., Grote W., Dykstra J. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*. 90 (2), 227- 236.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Sepehr A. 2018. Statistical evaluation of the dust events at selected stations in Southwest Asia: From the Caspian Sea to the Arabian Sea. *Catena*. 165, 590- 603.
- Revandi, A., Mirrokni, M., Mohammadiha, A. 2013. Investigation of formation and propagation of Dust Storms entering to the west and southwest of Iran using lagrangian particle diffusion model, HYSPLIT. *Journal of Climate Research*. 4, 1- 16. (In Persian).
- Rezazadeh, M., Irannejad, P., and Shao, Y. 2013. Climatology of the Middle East dust events. *Journal of Aeolian Research*. 10, 103- 109.
- Shahsavani A, Nadaffi K, Jafarzadeh H. N, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, Arhami M, Yarahmadi M, Sowlat M. H, Ghani M, Jafari A.J, Alimohamadi M, Motevalian S. A, Soleimani Z.

2012. Characterization of ionic composition of TSP and PM<sub>10</sub> during the middle- eastern dust storms in Ahvaz, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184(11), 6683- 6692.
- Shen, Zh, X., Cao, J., Arimoto, R., Zhang, R.J., Jie, D. M., Liu, S. X., Zhu, Ch. Sh. 2007. Chemical composition and source characterization of spring aerosol over Horqin sand land in northeastern China. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 112. 34.
- Shen, Zh., Wang X., Zhang R., Ho K., Cao J., Zhang M. 2011. Chemical Composition of Water-soluble ions and carbonate estimation in spring aerosol at a semi-arid site of Tongyu, China. *Aerosol and Air Quality Research*. 10, 360– 368.
- Shen, Zh., Cao, J., Arimoto, R., Han, Zh., Zhang, R., Han, Y., Liu, S., Okuda, T., Nakao, Sh., Tanaka, Sh. 2009. Ionic composition of TSP and PM<sub>2.5</sub> during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China. *Atmospheric Environment*. 43 (18), 2911-2918.
- Wang, X., Huang N., Dong, Zh., Zhang, C. 2010. Mineral and trace element analysis in dustfall collected in the Hexi Corridor and its significance as an indicator of environmental changes. *Environmental Earth Sciences*. 60, (1), 1– 10.
- Wang, Zh., Pan, X., Uno, I., Chen, X., Yamamoto, Sh., Zheng, H., Li, J., Wang, Z. 2018. Importance of mineral dust and anthropogenic pollutants mixing during a long- lasting high PM event over East Asia. *Environmental Pollution*. 234, 368- 378.
- Wang, Sh., Wang, J., Zhou, Z., Shang, K. 2005. Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China. *Atmospheric Environment*. 39 (3), 509- 520.
- Zarasvandi, A., Mor, F., Nazarpour, A. 2011. Mineralogical and morphological composition of dust particles forming in Khuzestan province SEM and XRD images based on analyzes. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*. 19, 511- 518. (In Persian).
- Zhang, T., Cao, J. J., Tie, X. X., Shen, Z. X., Liu, S. X., Ding, H., Han, Y. M., Wang, G. H., Hoa, K. F., Qiangd, J., Lie, W. T. 2011. Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in Xi'an, China: Seasonal variations and sources. *Atmospheric Research*. 102 (1-2), 110– 119.
- Zhang, R., Jing, J., Tao, J., Hsu, S- C., Wang, G., Cao, J., Lee, C. S., Zhu, L., Chen, Z., Zhao, Y., Shen, Z. 2013. Chemical characterization and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Beijing: seasonel perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 7053– 7074.
- Zou, J., Liu, Z., Hu, B., Huang, X., Wen, T., Ji, D., Liu, J., Yang, Y., Yao, Q., Wan, Y. 2017. Characteristics of the Chemical Compositions of Aerosols in the North China Plain and their Impact on the Visibility in Beijing and Tianjin. (2017). *Atmospheric Research*. doi:10.1016/j.atmosres.2017.09.014.