



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

۷۱-۸۶

## مقایسه یون‌های محلول موجود در گرد و غبار باریده بر عرض‌های جغرافیایی مختلف در نیمه غربی ایران

ناهید محمودی مه‌پاش و بابک سوری\*

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۳۱

محمودی مه‌پاش، ن. و ب. سوری. ۱۳۹۹. مقایسه یون‌های محلول موجود در گرد و غبار باریده بر عرض‌های جغرافیایی مختلف در نیمه غربی ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۱): ۷۱-۸۶.

**سابقه و هدف:** ذرات گرد و غباری که توسط جریان‌های هوا حمل می‌شوند بر کیفیت محیط زیست اثر می‌گذارند. ترکیب‌های شیمیایی این ذرات از عامل‌های موثر بر کیفیت زندگی ساکنان هر منطقه است. گرد و غبار ناشی از فرسایش خاک در سال‌های اخیر مشکل‌های فراوانی را برای ساکنان نیمه غربی ایران به وجود آورده است. موقعیت جغرافیای ایران و نزدیکی آن با کشورهای نظیر عراق، سوریه و عربستان که منابع تولید این گرد و غبار در آن‌ها قرار دارد در کنار معضلاتی نظیر تغییر اقلیم از جمله دلیل‌های بروز و تشدید این پدیده بحران‌ساز تلقی می‌گردند. از این‌رو مطالعه و شناسایی ویژگی‌های این پدیده از جمله ویژگی‌های شیمیایی آن می‌تواند به گرفتن تدابیر پیشگیرانه و بیان راهکار علمی برای کنترل آسیب‌های این پدیده کمک کند. هدف از این مطالعه مقایسه مقادیر یون‌های محلول موجود در ذرات گرد و غبار باریده بر عرض‌های مختلف جغرافیایی در نیمه غربی ایران است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق سه ایستگاه در شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک در نیمه غربی ایران برای نمونه‌برداری از ذرات گرد و غبار تعیین گردید. نمونه‌برداری به صورت ماهانه به مدت یک سال در شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک به طور همزمان و به روش غیر فعال انجام شد و تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده نیز با استفاده از نرم افزارهای SPSS V23 و Excel 2016 انجام گردید. برای مقایسه ویژگی‌های شیمیایی ذرات گرد و غبار از ضریب واگرایی و آزمون چند دامن‌های دانکن استفاده شد.

**نتایج و بحث:** نتایج نشان داد کلسیم و سولفات با میانگین‌های ۰/۵۹۲، ۰/۲۷۱ میلی‌گرم بر گرم نسبت به دیگر یون‌ها از غلظت بالاتری در نمونه‌های گرد و غبار مطالعه شده برخوردار هستند. بالا بودن غلظت کلسیم نشان می‌دهد که گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه دارای منشأ طبیعی بوده و به طور عمده شامل خاک‌ها و تشکیلات زمین شناسی آهکی می‌باشد. در ضمن غلظت بالای سولفات نیز نشان دهنده سهم رسوبات تبخیری بویژه کانی ژپس (سولفات کلسیم آبدار) در ذرات گرد و غبار مورد مطالعه می‌باشد. محاسبه ضریب واگرایی نیز نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی در سه ایستگاه اکثراً مشابه هستند ( $CD < 0.5$ ). همبستگی ضریب واگرایی کاتیون‌های سنندج و خرم‌آباد با فاکتور باد ( $r = 0.99, p < 0.05$ )، آنیون‌های سنندج و اندیمشک با فاکتور بارش و رطوبت به ترتیب ( $r = 1, p < 0.01$ ) و ( $r = 0.89, p < 0.05$ ) نشان داد که عوامل هواشناسی در کیفیت ویژگی‌های شیمیایی ذرات گرد و غبار تاثیر دارد. آزمون چند دامن‌های دانکن نیز نشان داد که سدیم به عنوان عنصری که حلالیت بسیاری بالایی دارد در فصل بهار در هر سه ایستگاه غلظت متفاوتی داشت ( $p < 0.05$ ). همچنین ترکیب‌هایی مانند  $CaSO_4$ ،  $Ca(NO_3)_2$ ،  $Mg(NO_3)_2$ ،  $NaCl$ ،  $KF$  و  $CaF_2$  در هر سه ایستگاه مشاهده شد که حضور این ترکیب‌ها گویای وجود کانی‌هایی مانند ژپس، انیدریت و هالیت در ذرات گرد و غبار می‌باشند.

\*Corresponding Author. Email Address: bsouri@uok.ac.ir

**نتیجه‌گیری:** شرایط محیطی عرض‌های جغرافیایی مختلف از جنبه‌های متعددی بر ویژگی‌های شیمیایی ذرات گرد و غبار رسیده از مناطق دور تأثیر گذار هستند. با این حال مقادیر و تغییرات غلظت یون‌های محلول شامل کاتیون‌های  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$  و آنیون‌های  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{Cl}^-$  در ذرات گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه سنج، خرم‌آباد و اندیمشک که پس از طی مسافت طولانی به مناطق مختلف نیمه غربی ایران می‌رسند بیشتر دارای مشابهت زیادی هستند. از این رو می‌توان گفت که گرد و غبار باریده بر این سه شهر از منابع مشابه و تا حد زیادی یکسان نشأت می‌گیرند.

**واژه‌های کلیدی:** ذرات گرد و غبار، یون‌های محلول، ضریب واگرایی، آزمون چنددامنه‌ای، غرب ایران.

## مقدمه

مطالعه Wang *et al.* (2015) نشان داده شد که یک سوم از ذرات معلق موجود در منطقه‌های شهری یون‌های محلول در آب می‌باشند که اثرهای زیان‌باری بر جای می‌گذارند. یون‌ها به دلیل خاصیتشان راحت‌تر توسط بدن انسان‌ها جذب می‌شوند بنابراین اثرهای قابل ملاحظه‌ای بر سلامت انسان‌ها دارند. افزون بر این یون‌ها بر تشکیل، رشد و تکامل ذرات تأثیر گذارند به طوری که آن‌ها سنجه بهتری نسبت به هم‌تایان خود در واکنش‌های رخ داده در سطح ذره هستند مانند سولفات، نیترات، آمونیوم و ... نقش مهمی در ویژگی‌های هیگروسکوپیک آئروسول‌های<sup>۱</sup> (HA) اتمسفری داشته و در اتمسفر با قرارگیری به‌عنوان هسته ابرها نقش مهمی در تشکیل ابرها ایفا می‌کنند (Wang *et al.*, 2005; Kang *et al.*, 2013). فراوانی یون‌هایی ایران بر روی کمربند بیابانی و نیمه بیابانی کره زمین قرار دارد و حدود ۶۵ درصد از مساحت آن را مناطق خشک تشکیل می‌دهند. مجاورت نیمه غربی ایران با بیابان‌های کشورهای هم‌چون عراق، سوریه و عربستان سبب شده که در بیشتر اوقات سال تحت تأثیر پدیده گرد و غبار قرار گیرد و معضلات زیادی در نیمه غربی ایران مشاهده شود. با توجه به مطالعات اندک انجام گرفته درباره ویژگی‌های این پدیده فراگیر، تحقیقات در سطح گسترده در زمینه ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی ذرات گرد و غبار بویژه ترکیب‌های یونی در ایران مورد نیاز است چرا که شناخت بهتر این پدیده در سطح وسیع به تعیین استراتژی‌های مناسب کنترل می‌انجامد. از این رو این تحقیق با هدف مقایسه ویژگی‌های شیمیایی بویژه مقایسه مقادیر و تغییرات یون‌های محلول و میزان مشابهت آن‌ها در ذرات گرد و غبار باریده بر عرض‌های جغرافیای مختلف در نیمه غربی ایران با استفاده از ضریب واگرایی<sup>۲</sup> (CD) و آزمون چند

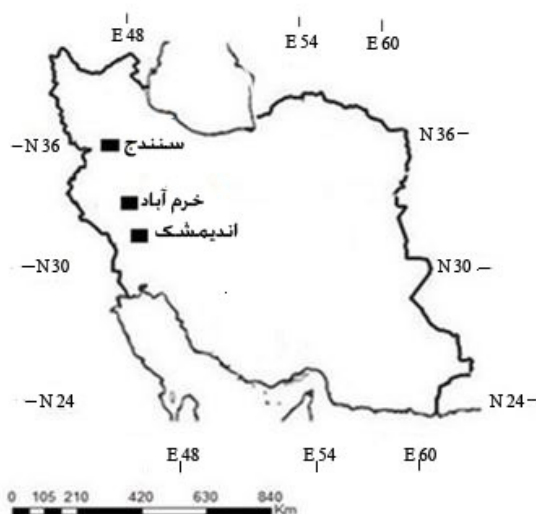
یکی از عامل‌هایی که در تعیین کیفیت محیط زیست نقش مهمی دارد هواویزها می‌باشند. هواویزها از دو منبع طبیعی و انسان ساخت به وجود می‌آیند. گرد و غبار ناشی از منابع طبیعی در مناطقی که در کمربند بیابانی و نیمه بیابانی نیمکره شمالی قرار گرفته‌اند (Rashki *et al.*, 2013) بویژه در عرض‌های جغرافیایی نیمه حاره‌های ۱۵ تا ۴۵ درجه شمالی رخ می‌دهد (Lawrence and Neff, 2009; In-) (doitu *et al.*, 2012; Khuzestani and Souri, 2013). هواویزهایی که از این پدیده تولید می‌شود، اثرهای متفاوتی هم در منبع و هم در مسیر دارد به طوری که می‌توان گفت اثرهای این ذرات تا منطقه فرونشست آن‌ها تداوم دارد. تأثیر بر سلامتی انسان‌ها، اقتصاد، آلودگی و کیفیت هوا، دید افقی، تغییرات آب و هوایی و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی از جمله تبعاتی هستند که توسط این ذرات ایجاد می‌شوند (Wang *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2008; Miri *et al.*, 2009; Shen *et al.*, 2011; Tam *et al.*, 2012; Al-Harbi, 2017; Norouzi *et al.*, 2015). ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی ذرات معلق نقش مهمی در بروز اثرهای آن در ابعاد جهانی و منطقه‌ای دارند. بنابراین شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها امری ضروری به‌شمار می‌رود. ذرات معلق دارای ترکیب‌های مختلفی همچون یون‌های محلول در آب، مواد آلی و ... بوده که از دو منبع طبیعی و مصنوعی سرچشمه گرفته‌اند، از جمله ترکیب‌های مهم، یون‌های محلول در آب هستند که ۶۰ الی ۷۰ درصد ذرات معلق موجود در اتمسفر را تشکیل می‌دهند (Zhang *et al.*, 2011; Cheng *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2016). همچنین در

دامن‌های<sup>۲</sup> (MRT) دانکن ساماندهی گردید.

### مواد و روش‌ها

سانتیمتر بود که بر سطح پشت بام (به ارتفاع تقریبی ۵ متر از زمین) در سه ایستگاه قرار داده شدند. نمونه‌گیری در این تحقیق به روش غیرفعال<sup>۴</sup> (Hojati *et al.*, 2012) به مدت یک سال از تیر ۱۳۹۱ تا خرداد ۱۳۹۲ از ذرات گرد و غبار باریده به‌صورت ده روزه صورت گرفت. پس از هر بار نمونه‌برداری شیشه‌ها شسته و نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه توزین شدند و در آن به مدت ۲۴ ساعت تحت حرارت قرار گرفتند. نمونه‌های خشک شده در پلاستیک‌های زیپ‌دار برای تعیین آزمون‌های بعدی نگهداری شدند (Jaradat *et al.*, 2004). برای سنجش کاتیون‌های  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Na^{+}$ ،  $K^{+}$  و آنیون‌های  $NO_3^{-}$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $Cl^{-}$ ،  $F^{-}$  موجود در گرد و غبار ابتدا ۰/۱۵ گرم از نمونه‌ها توزین و سپس ۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه<sup>۵</sup> به آن‌ها اضافه شد. در ادامه به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد با هیتر<sup>۶</sup> حرارت داده شدند و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در حمام التراسونیک<sup>۷</sup> قرار گرفته و سپس با استفاده از کاغذ واتمن<sup>۸</sup> ۴۲ صاف شدند. در نهایت مقادیر کاتیون‌ها توسط فلیم فتومتری<sup>۹</sup> (مدل BWB) و آنیون‌ها با استفاده از کروماتوگرافی یونی<sup>۱۰</sup> (مدل Compact IC761) اندازه‌گیری شدند (Kang *et al.*, 2009). پس از اینکه از نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها اطمینان حاصل شد در صورت نرمال نبودن داده‌ها فرآیند نرمال‌سازی با استفاده از نرم افزارهای

با توجه به مشکل‌های متعددی که سالیان اخیر پدیده گرد و غبار در زمینه‌های مختلف در نیمه غربی ایران به‌وجود آورده سه ایستگاه مطالعاتی شهری در سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک با ویژگی‌های زیر برای نمونه‌برداری ذرات گرد و غبار در این پهنه از نیمه غربی ایران انتخاب گردید (شکل ۱): شهر سنندج، مرکز استان کردستان، به‌عنوان ایستگاه شماره ۱ در مختصات جغرافیایی ۱۴ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و ۴۶ درجه طول شرقی، با ارتفاع ۱۴۹۶ متر از سطح دریا و بارندگی سالانه نیز برابر ۴۴۸ میلی‌متر، شهر خرم‌آباد، مرکز استان لرستان، به‌عنوان ایستگاه شماره ۲ در مختصات جغرافیایی ۵۰°۴۸' شرقی و ۳۳°۴۰' شمالی، یا میانگین ارتفاع ۱۱۴۸ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۵۲۸ میلی‌متر، شهر اندیمشک، شمالی‌ترین شهر استان خوزستان، به‌عنوان ایستگاه شماره ۳ در مختصات ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول جغرافیایی و عرض ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه، با میانگین ارتفاع ۱۳۶ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالیانه ۱۲۰ میلی‌متر. بمنظور تهیه نمونه‌های گرد و غبار و مطالعه ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها از سه شیشه مستطیلی شکل به ابعاد ۵×۱۰×۱ متر مربع استفاده شد (Hojati *et al.*, 2012) تا ذرات گرد و غبار روی شیشه‌ها فرونشینند. ضخامت شیشه‌ها ۵



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در نیمه غربی ایران  
Fig. 1- Location of sampling stations in western Iran

مقادیر را دارا بودند. میانگین مقادیر  $SO_4^{2-}$ ،  $NO_3^-$ ،  $Cl^-$  و  $F^-$  در ایستگاه سنندج به ترتیب ۰/۳۹۲، ۰/۱۶۰، ۰/۱۹۳ و ۰/۱۸، ۰/۴۱۶، ۰/۱۸۱، ۰/۴۳۴ و ۰/۲۴۷ و ۰/۱۸ و برای ایستگاه اندیمشک به ترتیب ۰/۴۳۴، ۰/۲۰۱، ۰/۲۱۸ و ۰/۱۹ میلی گرم بر گرم گزارش گردید. در میان آنیون‌ها، سولفات دارای بیشترین مقدار میانگین ۰/۴۳۴ میلی گرم بر گرم در ایستگاه اندیمشک بود. فلوراید در هر دو ایستگاه سنندج و خرم آباد با میانگین ۰/۱۸ میلی گرم بر گرم کمترین مقدار میانگین را به خود اختصاص داد. روند تغییرات سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در سه ایستگاه در طول دوره نمونه برداری در شکل ۲ آورده شده است. بیشترین غلظت سدیم، پتاسیم و منیزیم به ترتیب با مقادیر ۲/۶۹۰، ۱/۲۰۰ و ۰/۲۱۰ میلی گرم بر گرم در ماه‌های دی، آبان و دی در ایستگاه اندیمشک به دست آمدند. همچنین کلسیم با غلظت ۳/۸۷۱ میلی گرم بر گرم بیشترین مقدار را در ماه فروردین در ایستگاه سنندج دارا بود. روند تغییرات آنیون‌های سولفات، نیترات، کلراید و فلوراید در سه ایستگاه در شکل ۳ نشان داده شده است که در آن سولفات، نیترات، کلراید و فلوراید با غلظت‌های ۰/۶۸۳، ۰/۳۸۴، ۰/۵۴۳ و ۰/۰۶۶ میلی گرم بر گرم به ترتیب در ماه‌های اردیبهشت، اسفند، دی و آذر در ایستگاه اندیمشک بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند.

کلسیم از جمله عناصر شاخص پوسته زمین است که در

Excel-2016 و SPSS V23 انجام شد. پارامترهای هواشناسی نظیر سرعت باد، رطوبت نسبی، دما و فشار هوا در هر سه ایستگاه مورد مطالعه از سایت هواشناسی ایران به صورت روزانه استخراج سپس میانگین ده روزه و ماهانه آن‌ها محاسبه شد. برای مقایسه ویژگی‌های شیمیایی ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه از ضریب واگرایی و آزمون چند دامن‌های دانکن استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### غلظت یون‌ها

تجزیه و تحلیل شیمیایی آئروسول‌های اتمسفر برای شناسایی تقسیم‌بندی منابع و همچنین کاهش دید افقی ضروری می‌باشد (Cao *et al.*, 2012). نتایج آمار توصیفی یون‌های محلول اندازه‌گیری شده سه ایستگاه در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود میانگین مقادیر کاتیون‌های محلول  $Na^+$ ،  $K^+$ ،  $Mg^{2+}$  و  $Ca^{2+}$  در ایستگاه سنندج به ترتیب ۰/۴۶۹، ۰/۴۶۷، ۰/۰۹۷ و ۱/۹۸۹ در ایستگاه خرم‌آباد به ترتیب ۰/۳۱۲، ۰/۴۴۲، ۰/۰۸۹ و ۰/۹۶۴ و همچنین برای ایستگاه اندیمشک به ترتیب ۰/۷۰۸، ۰/۹۱۳، ۰/۱۰۴ و ۱/۳۶۶ میلی گرم بر گرم به دست آمد. از بین چهار کاتیون بیان شده کلسیم با میانگین غلظت ۱/۹۸۹ در ایستگاه سنندج و منیزیم با میانگین غلظت ۰/۰۸۹ میلی گرم بر گرم در ایستگاه خرم‌آباد به ترتیب بیشترین و کمترین

جدول ۱- مقادیر غلظت یون‌ها بر حسب میلی گرم بر گرم در سه ایستگاه مورد بررسی در طول دوره نمونه برداری  
Table 1. Values of ions' concentration (mg.g<sup>-1</sup>) in the three studied stations during the sampling period

یون Ion	سنندج Sanandaj				خرم آباد Khorramabad				اندیمشک Andimeshk			
	ماکزیمم Max	کمترین Min	میانگین Mean	انحراف معیار SD	ماکزیمم Max	کمترین Min	میانگین Mean	انحراف معیار SD	ماکزیمم Max	کمترین Min	میانگین Mean	انحراف معیار SD
Na <sup>+</sup>	.764	.913	2.69	.163	.239	.312	.730	.050	.350	.469	1.354	.103
K <sup>+</sup>	.271	.708	1.20	.308	.309	.442	1.170	.170	.254	.467	.878	.188
Mg <sup>2+</sup>	.037	.104	.210	.070	.048	.089	.199	.026	.038	.097	.161	.019
Ca <sup>2+</sup>	.614	1.336	2.430	.577	.322	.964	1.763	.420	1.328	1.989	3.871	.592
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.132	.434	.668	.271	.173	.416	.637	.187	.141	.392	.570	.204
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.105	.201	.348	.021	.063	.181	.348	.118	.070	.160	.336	.062
Cl <sup>-</sup>	.145	.218	.543	.048	.150	.247	.458	.057	.119	.193	.416	.033
F <sup>-</sup>	.017	.019	.066	.003	.009	.018	.031	.003	.014	.018	.043	.001

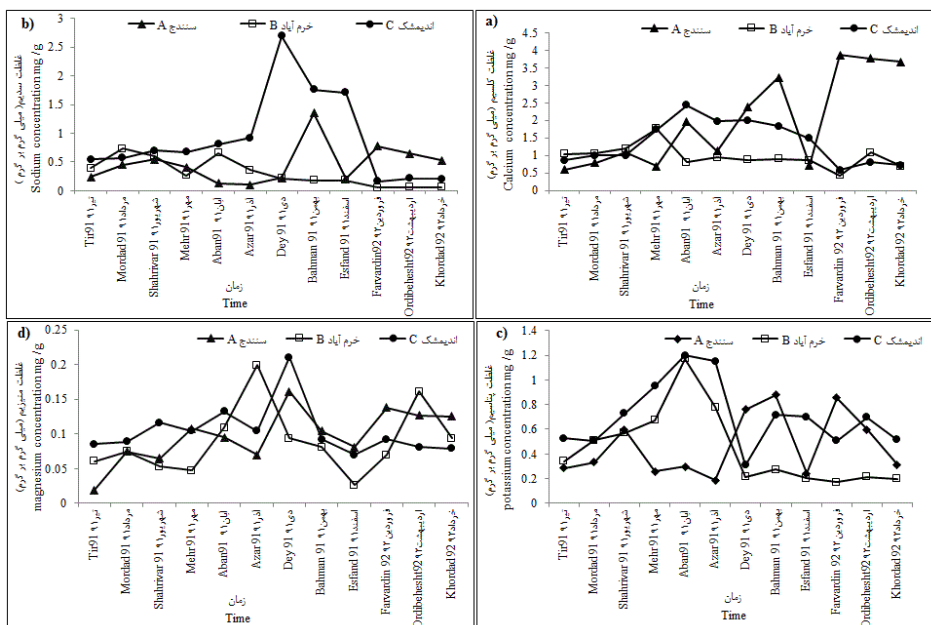
طولاتی در جو متوقف می‌شوند (Liu *et al.*, 2011). پتاسیم در اندیمشک غلظت بالایی از خود نشان داد. این عنصر افزون بر اینکه از پوسته زمین منشا می‌گیرد سنجه سوخت‌های زیست توده نیز می‌باشد (Javed *et al.*, 2015).

### ضریب واگرایی

ضریب واگرایی یک روش کیفی است و برای مقایسه غلظت ترکیب‌های شیمیایی آئروسول‌های اتمسفر در مکان‌های مختلف به کار می‌رود (Wang *et al.*, 2005) (رابطه ۱). در ضریب واگرایی،  $Z$  و  $k$  نشان دهنده دو مکان نمونه‌برداری،  $X_{ij}$  میانگین غلظت ترکیب‌های شیمیایی در مکان  $Z$  و  $X_{ik}$  میانگین غلظت ترکیب‌های شیمیایی در مکان  $k$  و  $p$  تعداد متغیرهای شیمیایی می‌باشند. این ضریب بین صفر تا یک متغیر است (Wang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2014; Ma *et al.*, 2016). هنگامی که  $CD > 0.2$  باشد ویژگی‌های شیمیایی دو ایستگاه مورد مطالعه مشابه هستند، و اگر ضریب واگرایی  $CD < 0.5$  باشد ویژگی‌های شیمیایی کامابیش مشابه هستند. همچنین  $CD > 0.5$  نشان دهنده تفاوت ویژگی‌های شیمیایی در دو ایستگاه نمونه‌گیری هستند (Zou *et al.*, 2017).

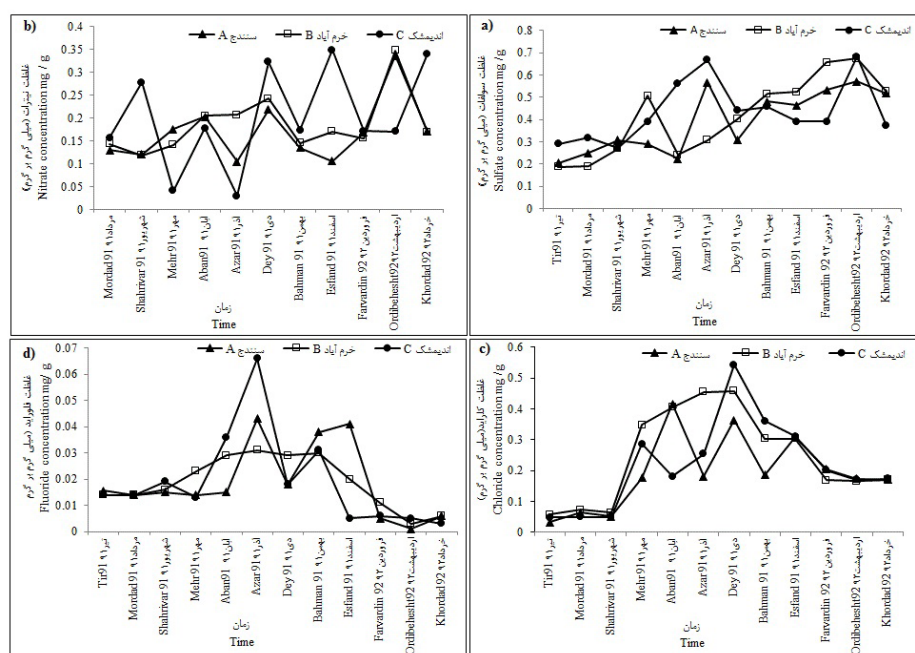
خاک‌های آهکی به مقدار فراوان موجود بوده و به عنوان عنصر اصلی تشکیل دهنده کانی کلسیت در تحقیقات بسیاری، از آن به عنوان منشا طبیعی گرد و غبار یاد می‌شود (Zhang *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2005) به همین دلیل می‌توان گفت که گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه دارای منشا طبیعی و به طور عمده آهکی می‌باشد. ضمن اینکه غلظت بالای سولفات در ذرات گرد و غبار ایستگاه اندیمشک از وجود رسوبات تبخیری بویژه کانی ژپس (سولفات کلسیم آبدار) حکایت دارد، از طرفی سهم منابع انسان ساخت را در تولید سولفات نباید نادیده گرفت (Javed *et al.*, 2015; Behrooz *et al.*, 2017). افزون بر این در ایستگاه اندیمشک نیترات بالاترین مقدار را در اسفند ماه دارا بود که احتمال دارد بخاطر حرارت پایین، رطوبت نسبی بالا و شرایط آرام جوی باشد.

در ماه دی سدیم و کلراید در ایستگاه اندیمشک غلظت بالایی داشته که دارای حلالیت بسیار بالایی می‌باشند و سنجه خاک‌های شور هستند. ذرات گرد و غبار که از خاک‌های شور سرچشمه گرفته غنی از ترکیباتی مانند  $NaCl$ ،  $CaCl_2$ ،  $MgCl_2$  و دیگر ترکیب‌های کلریدی بوده که مدت‌های



شکل ۲- نمودار روند تغییرات غلظت کاتیون‌های (a) سدیم، (b) پتاسیم، (c) منیزیم و (d) کلسیم بر حسب میلی‌گرم بر گرم در سه ایستگاه مورد بررسی در طول دوره نمونه‌برداری

Fig. 2- Trend of changes of cations a) sodium, b) potassium, c) magnesium, and d) calcium in mg.g<sup>-1</sup> in the three studied stations during the sampling period



شکل ۳- نمودار روند تغییرات غلظت آنیون‌های (a) سولفات، (b) نیترات، (c) کلراید و (d) فلوراید بر حسب میلی‌گرم بر گرم در سه ایستگاه مورد بررسی در طول دوره نمونه‌برداری

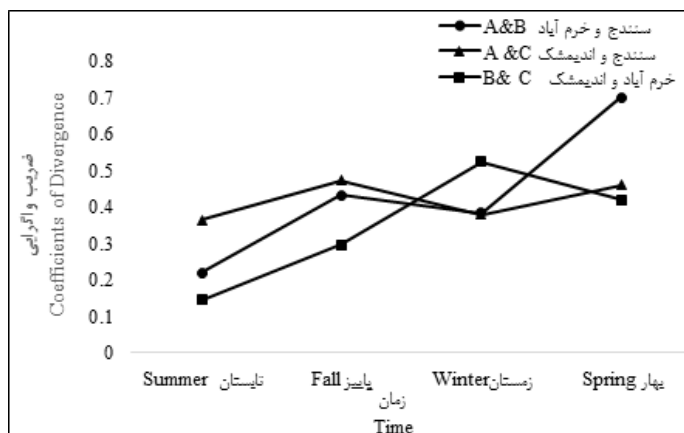
Fig. 3- Trend of changes of anions a) sulfate, b) nitrate, c) chloride, and d) fluoride in mg.g<sup>-1</sup> in the three examined stations during the sampling period

کاتیون‌ها (۰/۱۴۵) و آنیون‌ها (۰/۱۹۸) به‌طور کامل مشابه هستند ( $0.5 > CD$ ) و در فصل زمستان دو ایستگاه از نظر کاتیون‌ها اختلاف داشته که احتمال دارد به‌دلیل نزدیک بودن اندیمشک به منابع غبار فرامرزی و وجود منابع غبار فراوان محلی در استان خوزستان باشد. با نگاه کلی می‌توان دریافت سنجه ضریب واگرایی میان ایستگاه‌ها اغلب کمتر از ۰/۵ می‌باشد، که گویای شباهت ویژگی‌های شیمیایی سه ایستگاه مورد مطالعه است. همچنین روند فصلی سنجه ضریب واگرایی برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده که این روندها کمابیش مشابه بوده که نشان دهنده مشابهت کیفیت غبار باریده بر سه ایستگاه است.

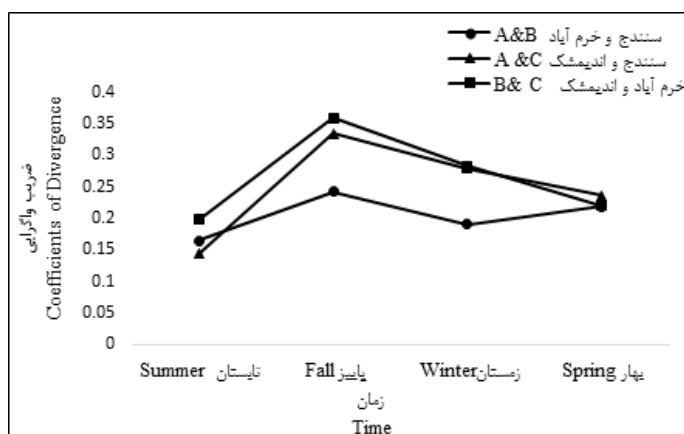
همبستگی پیرسون بین ۴ پارامتر عمده هواشناسی: باد، بارش، رطوبت نسبی و دما و سنجه ضریب واگرایی ایستگاه‌ها به‌صورت فصلی به‌دست آمد (جدول ۳). فاکتورهای هواشناسی از مهمترین عامل‌های تاثیر گذار بر کیفیت ویژگی‌های شیمیایی ذرات گرد و غبار هستند. با توجه به جدول ۳ ارتباط معناداری بین سنجه ضریب واگرایی کاتیون‌های سنندج و خرم‌آباد با فاکتور باد ( $r=0.99$ ،  $p < 0.05$ )، آنیون‌های سنندج و اندیمشک با فاکتور بارش و رطوبت به‌ترتیب

$$CD_{jk} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \left( \frac{X_{ij} - X_{ik}}{X_{ij} + X_{ik}} \right)^2} \quad (1)$$

در جدول ۲ نتایج ضریب واگرایی کاتیون‌ها و آنیون‌ها بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیان شد. ضریب واگرایی کاتیون‌ها بین ایستگاه‌های سنندج و خرم‌آباد در فصل بهار ۰/۷۰۱ است ( $0.5 < CD$ )، که با وجود نزدیکی فاصله دو ایستگاه بیشترین اختلاف میان آن‌ها وجود دارد. احتمال دارد این اختلاف به‌دلیل شرایط هواشناسی حاکم، حضور پدیده‌های محلی و همچنین وضعیت توپوگرافی دو شهر باشد (Zou et al., 2017). همچنین این سنجه در فصل‌های تابستان ۰/۲۲۰، پاییز ۰/۴۳۲ و زمستان ۰/۳۸۳ به‌دست آمده که نشان دهنده تشابه اندک بین کاتیون‌هاست. همچنین برای آنیون‌ها در فصل تابستان ۰/۱۶۵ و زمستان ۰/۱۹۰ ( $0.5 > CD$ )، ثبت شد که نشان از تشابه کامل آنیون‌ها در ایستگاه‌های سنندج و خرم‌آباد دارد. در ایستگاه‌های سنندج و اندیمشک مقدار سنجه ضریب واگرایی کاتیون‌ها و آنیون‌ها در تمام فصل‌ها (جز بهار) بین  $0.2 < CD < 0.5$  است که نشان دهنده شباهت اندک میان آنیون‌ها است. افزون بر این ایستگاه‌های خرم‌آباد و اندیمشک در فصل تابستان از نظر



شکل ۴- روند تغییرات فصلی ضریب واگرایی کاتیون های بین سه ایستگاه سنندج (A)، خرم آباد (B) و اندیمشک (C) مورد مطالعه  
 Fig. 4- Seasonal variation of the cations' coefficient of divergence among the three studied stations



شکل ۵- روند تغییرات فصلی ضریب واگرایی آنیون های بین سه ایستگاه سنندج (A)، خرم آباد (B) و اندیمشک (C) مورد مطالعه  
 Fig. 5- Seasonal variation of the anions' coefficient of divergence among the three studied stations

غبار فرامرزی به ایران در فصل های بهار و تابستان صورت می پذیرد. از این رو غلظت عناصر خاک زاد مانند کلسیم و منیزیم نیز بیشتر می شود (Birgani *et al.*, 2015) در مورد عنصر سدیم در فصل پاییز ایستگاه سنندج و اندیمشک، در فصل زمستان ایستگاه اندیمشک نسبت به دو ایستگاه دیگر و در فصل بهار همه ایستگاه ها با هم متفاوت بودند. عنصر سدیم دارای حلالیت زیاد بوده و با افزایش شرایط رطوبتی جو، از جمله افزایش رطوبت نسبی و بارندگی در فصل های پاییز، زمستان و بهار غلظت آن در ذرات افزایش پیدا می کند (Lagzi *et al.*, 2013; Mmari *et al.*, 2013) پتاسیم نیز در فصل های بهار و پاییز در ایستگاه سنندج با دو ایستگاه دیگر تفاوت داشت. ضمن آنکه آنیون نترات در فصل تابستان اختلاف معنی داری در دو ایستگاه سنندج و اندیمشک از خود نشان داد.

این نتایج (r=0.89, p<0.05) و (r=1, p<0.01) به دست آمد. نشان می دهند، سنجه ضریب واگرایی به تبع ویژگی های شیمیایی ذرات غبار متاثر از پارامترهای هواشناسی هستند. چنانچه پارامترهای بیان شده هواشناسی (باد، بارش، رطوبت نسبی و دما) تغییر کند ضریب واگرایی بین ایستگاه ها نیز تغییر کرده و احتمال می رود که در رفتار عنصرها تاثیر گذار باشد.

### مقایسه میانگین ها

بر اساس مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه های دانکن، کلسیم در ایستگاه سنندج در فصل بهار با دیگر ایستگاه ها تفاوت معنی (p < 0.05) داری از خود نشان داده و همچنین غلظت کاتیون منیزیم در ایستگاه های سنندج و اندیمشک در فصل تابستان متفاوت بود. ورود پدیده گرد و

جدول ۲- سنجه فصلی ضریب واگرایی (CD) کاتیون‌ها (Cn) و آنیون‌ها (An) موجود در ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه سنندج (A)، خرم‌آباد (B) و اندیمشک (C) مورد مطالعه

Table 2. Seasonal index of the coefficient of divergence for cations (Cn) and anions (An) in the dust fall particles at three stations of Sanandaj (A), Khorramabad (B), and C) Andimeshk

	تابستان Summer	پاییز Fall	زمستان Winter	بهار Spring
ضریب واگرایی کاتیون‌ها CD Cn				
سنندج و خرم‌آباد A & B	.220	.432	.383	.701
سنندج و اندیمشک A & C	.365	.472	.378	.459
خرم‌آباد و اندیمشک B & C	.145	.297	.524	.420
ضریب واگرایی آنیون‌ها CD An				
سنندج و خرم‌آباد A & B	.165	.242	.190	.219
سنندج و اندیمشک A & C	.143	.334	.279	.236
خرم‌آباد و اندیمشک B & C	.198	.359	.283	.220

جدول ۳- همبستگی فصلی ضریب واگرایی (CD) کاتیون‌ها (Cn) و آنیون‌ها (An) با پارامترهای هواشناسی در سه ایستگاه مورد مطالعه سنندج (A)، خرم‌آباد (B) و اندیمشک (C)

Table 3. Seasonal correlation of coefficient of divergence (CD) of cations (Cn) and anions (An) and meteorological parameters at the three studied stations of Sanandaj (A), Khorramabad (B) and Andimeshk (C)

سنجه ضریب واگرایی Coefficient of divergence index	بارش Precipitation	رطوبت Relative humidity	باد Wind	دما Temperature
سنجه ضریب واگرایی کاتیون سنندج و خرم‌آباد A & B, CD, Cn	.10 <sup>ns</sup>	-.34 <sup>ns</sup>	.99*	.55 <sup>ns</sup>
سنجه ضریب واگرایی آنیون سنندج و خرم‌آباد A & B, CD, An	.03 <sup>ns</sup>	-.22 <sup>ns</sup>	.59 <sup>ns</sup>	.70 <sup>ns</sup>
سنجه ضریب واگرایی کاتیون سنندج و اندیمشک A & C, CD, Cn	.62 <sup>ns</sup>	.24 <sup>ns</sup>	-.67 <sup>ns</sup>	-.18 <sup>ns</sup>
سنجه ضریب واگرایی آنیون سنندج و اندیمشک A & C, CD, An	1**	.89*	-.91 <sup>ns</sup>	-.81 <sup>ns</sup>
سنجه ضریب واگرایی کاتیون خرم‌آباد و اندیمشک B & C, CD, Cn	.07 <sup>ns</sup>	.61 <sup>ns</sup>	.93 <sup>ns</sup>	.66 <sup>ns</sup>
سنجه ضریب واگرایی آنیون خرم‌آباد و اندیمشک B & C, CD, An	.92 <sup>ns</sup>	-.39 <sup>ns</sup>	-.12 <sup>ns</sup>	-.57 <sup>ns</sup>

\* معنی‌داری در سطح ۵ درصد (Significance at 0.05)  
\*\* معنی‌داری در سطح یک درصد (Significance at 0.01)  
ns عدم معنی‌داری

ایستگاه سنندج ارتباط معنا داری بین کاتیون‌های  $Ca^{2+}$  و  $Na^+$  و  $K^+$  و  $Na^+$ ،  $(r=0.718, p < 0.01)$  و  $K^+$  و  $Ca^{2+}$ ،  $(r=0.651, p < 0.05)$  و  $Mg^{2+}$ ،  $(r=0.721, p < 0.05)$  در ایستگاه خرم‌آباد بین  $Na^+$  و  $K^+$  و  $(r=0.715, p < 0.01)$  و در نهایت در ایستگاه اندیمشک میان کاتیون‌های  $K^+$  و  $Ca^{2+}$

### همبستگی یون‌ها

برای تعیین ترکیب‌های شیمیایی احتمالی در ذرات گرد و غبار، همبستگی پیرسون بین یون‌ها در سه ایستگاه نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۵). این همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد محاسبه شده است. در



جدول ۴- مقایسه میانگین فصلی کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه مورد مطالعه

Table 4. Comparison of seasonal means of cations and anions in dust fall particles among the three studied stations

فصل Season	متغیر Variable	مجموع مربعات Sum of Square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F	Sig
تابستان/Summer						
	Na <sup>+</sup>	.058	2	.029	1.533	.290 <sup>ns</sup>
	K <sup>+</sup>	.05	2	.25	1.29	.340 <sup>ns</sup>
	Mg <sup>2+</sup>	.003	2	.002	3.601	.094 <sup>ns</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	.209	2	.105	1.903	.229 <sup>ns</sup>
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.009	2	.005	2.637	.159 <sup>ns</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.020	2	.01	5.937	.038*
	Cl <sup>-</sup>	0	2	0	2.328	.179 <sup>ns</sup>
	F <sup>-</sup>	0	2	0	.273	.770 <sup>ns</sup>
پاییز/Fall						
	Na <sup>+</sup>	.631	2	.315	6.483	.032*
	K <sup>+</sup>	1.179	2	.586	19.16	.002*
	Mg <sup>2+</sup>	.001	2	.001	.3	.751 <sup>ns</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	.416	2	.208	1.789	.246 <sup>ns</sup>
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.068	2	.034	1.430	.311 <sup>ns</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.017	2	.008	2.362	.175 <sup>ns</sup>
	Cl <sup>-</sup>	.047	2	.024	2.890	.132 <sup>ns</sup>
	F <sup>-</sup>	.002	2	.001	.404	.685 <sup>ns</sup>
زمستان/Winter						
	Na <sup>+</sup>	1.646	2	.823	10.80	.01*
	K <sup>+</sup>	.279	2	.140	2.476	.164 <sup>ns</sup>
	Mg <sup>2+</sup>	.006	2	.003	.967	.433 <sup>ns</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	.549	2	.275	2.296	.182 <sup>ns</sup>
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.007	2	.003	.667	.548 <sup>ns</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.027	2	.013	2.683	.147 <sup>ns</sup>
	Cl <sup>-</sup>	.021	2	.011	1.030	.412 <sup>ns</sup>
	F <sup>-</sup>	.004	2	.002	1.258	.350 <sup>ns</sup>
بهار/Spring						
	Na <sup>+</sup>	1.685	2	.843	19.6	0*
	K <sup>+</sup>	.298	2	.149	5.278	.048*
	Mg <sup>2+</sup>	.003	2	.002	1.998	.216 <sup>ns</sup>
	Ca <sup>2+</sup>	3.186	2	1.593	7.943	.021*
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.028	2	.014	1.120	.386 <sup>ns</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	2	0	.001	.999 <sup>ns</sup>
	Cl <sup>-</sup>	0	2	0	.786	.498 <sup>ns</sup>
	F <sup>-</sup>	.001	2	0	.629	.565 <sup>ns</sup>

\*معنی‌داری در سطح ۵ درصد (Significance at 0.05)  
ns عدم معنی‌داری

و NO<sub>3</sub><sup>-</sup>، (r = 0.617، p < 0.05) و Mg<sup>2+</sup> (r = 0.715، p < 0.01) و Ca<sup>2+</sup> (r = 0.620، p < 0.05) همبستگی وجود دارد بنابراین می‌توان گفت ترکیب‌های CaSO<sub>4</sub>، Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> و Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> در ذرات گرد و غبار باریده بر ایستگاه سنج‌ساز موجود است. منبع اصلی سولفات کلسیم در ژئوسفر و انیدریت بوده که این کانی‌ها از نوع تبخیری می‌باشند، غلظت بالای Ca<sup>2+</sup> و SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> در ذرات گرد و غبار و رسوب آن‌ها در آب‌ها

، (r = 0.592، p < 0.05) Na<sup>+</sup> و Ca<sup>2+</sup> (r = 0.630، p < 0.05) و Mg<sup>2+</sup> (r = 0.645، p < 0.05) همبستگی مشاهده شد. کاتیون‌ها به‌طور معمول از پوسته زمین سرچشمه می‌گیرند. ارتباط معنادار بین کاتیون‌ها در هر سه ایستگاه نشان می‌دهد که منشا عناصر موجود یکسان است (Singh *et al.*, 2016; Behrooz *et al.*, 2017). در ایستگاه سنج‌ساز بین یون‌های SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> و Ca<sup>2+</sup> (p < 0.05)

جدول ۵- نتایج همبستگی پیرسون بین کاتیون‌ها و آنیون‌های ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه سنندج (A)، خرم آباد (B) و اندیمشک (C)

Table 5. Pearson correlations between cations and anions in the dust fall particles among studied satations of Sanandaj (A), Khorramabad (B) and Andimeshk (C)

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
(A) سنندج								
Na <sup>+</sup>	1							
K <sup>+</sup>	.71*	1						
Mg <sup>2+</sup>	.26	.55 <sup>ns</sup>	1					
Ca <sup>2+</sup>	.58*	.65*	.72*	1				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.36 <sup>ns</sup>	.032 <sup>ns</sup>	.39 <sup>ns</sup>	.61*	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.13 <sup>ns</sup>	.33 <sup>ns</sup>	.71**	.61 <sup>ns</sup>	.27 <sup>ns</sup>	1		
Cl <sup>-</sup>	-.26 <sup>ns</sup>	.071 <sup>ns</sup>	.55 <sup>ns</sup>	.22 <sup>ns</sup>	.059 <sup>ns</sup>	.37 <sup>ns</sup>	1	
F <sup>-</sup>	-.027 <sup>ns</sup>	-.19 <sup>ns</sup>	-.32 <sup>ns</sup>	-.40 <sup>ns</sup>	.16 <sup>ns</sup>	-.54 <sup>ns</sup>	.19 <sup>ns</sup>	1
(B) خرم‌آباد								
Na <sup>+</sup>	1							
K <sup>+</sup>	.71**	1						
Mg <sup>2+</sup>	-.07 <sup>ns</sup>	.25 <sup>ns</sup>	1					
Ca <sup>2+</sup>	.27 <sup>ns</sup>	.30 <sup>ns</sup>	-.15 <sup>ns</sup>	1				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.88**	-.58*	.2 <sup>ns</sup>	-.18 <sup>ns</sup>	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-.35 <sup>ns</sup>	-.10 <sup>ns</sup>	.67*	-.10 <sup>ns</sup>	.39 <sup>ns</sup>	1		
Cl <sup>-</sup>	-.14 <sup>ns</sup>	.35 <sup>ns</sup>	.35 <sup>ns</sup>	.004 <sup>ns</sup>	.10 <sup>ns</sup>	.31 <sup>ns</sup>	1	
F <sup>-</sup>	.29 <sup>ns</sup>	.51 <sup>ns</sup>	.10 <sup>ns</sup>	.11 <sup>ns</sup>	-.35 <sup>ns</sup>	-.16 <sup>ns</sup>	.78**	1
(C) اندیمشک								
Na <sup>+</sup>	1							
K <sup>+</sup>	-.16 <sup>ns</sup>	1						
Mg <sup>2+</sup>	.64*	-.13 <sup>ns</sup>	1					
Ca <sup>2+</sup>	.63*	.59*	.53 <sup>ns</sup>	1				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.02 <sup>ns</sup>	.54 <sup>ns</sup>	.075 <sup>ns</sup>	.41 <sup>ns</sup>	1			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.32 <sup>ns</sup>	-.59*	.15 <sup>ns</sup>	-.23 <sup>ns</sup>	-.42 <sup>ns</sup>	1		
Cl <sup>-</sup>	.81**	.09 <sup>ns</sup>	.58*	.58*	.58*	.29 <sup>ns</sup>	1	
F <sup>-</sup>	.20 <sup>ns</sup>	.67*	.66*	.60*	.50 <sup>ns</sup>	-.53 <sup>ns</sup>	.14 <sup>ns</sup>	1

\*معنی‌داری در سطح ۵ درصد (Significance at 0.05)

\*\*معنی‌داری در سطح یک درصد (Significance at 0.01)

ns عدم معنی‌داری

هالیت به‌صورت گنبد‌ها و یخچال‌های نمکی در مناطق خشک شرق زاگرس وجود دارد.

### نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در ذرات گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک شباهت میان ماهیت ذرات گرد و غبار را نشان داد. به‌کارگیری ضریب واگرایی نیز وجود نداشتن تفاوت فاحش میان محتویات گرد و غبار در این سه عرض مختلف جغرافیایی در غرب ایران را

سبب به‌وجود آمدن معضلاتی برای آبیاری و آشامیدن می‌شود، همچنین سختی دائمی را در آب‌ها به‌وجود می‌آورد (Behrooz *et al.*, 2017). در ایستگاه خرم‌آباد بین NO<sub>3</sub><sup>-</sup> و Mg<sup>2+</sup> (r=0.671, p<0.05) و همچنین در ایستگاه اندیمشک میان Cl<sup>-</sup> و Na<sup>+</sup> (r = 0.815, p < 0.01) و F<sup>-</sup> و K<sup>+</sup> (p < 0.05)، (r = 0.671 و F<sup>-</sup> و Ca<sup>2+</sup> (r = 0.661, p < 0.05) مشاهده شد که نشان می‌دهد ترکیباتی نظیر NaCl، KF، CaF<sub>2</sub> وجود دارد. NaCl جزء کانی‌های رسوبی تبخیری هستند که در نتیجه خشک شدن دریاچه‌های محصور رخ می‌دهد (Rashki *et al.*, 2013).

سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک می‌باشد.

### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Hygroscopic Aerosols
- <sup>2</sup> Coefficient of Divergence
- <sup>3</sup> Multiple Range Test
- <sup>4</sup> Passive
- <sup>5</sup> De-ionized
- <sup>6</sup> Heater
- <sup>7</sup> Ultrasonic
- <sup>8</sup> Whatman
- <sup>9</sup> Flame Photometry
- <sup>10</sup> Ion Chromatography

تایید نمود. یون‌های مطالعه شده و نوع ترکیب‌هایی که از آن‌ها ناشی می‌شوند حکایت از غلبه کانی‌هایی نظیر کلسیت و دیگر ترکیب‌های تبخیری همانند ژئپس در ذرات گرد و غبار باریده بر سه شهر مورد مطالعه دارند. همبستگی میان سنجه ضریب واگرایی و پارامترهای هواشناسی حاکم بر هر سه ایستگاه نیز نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی گرد و غبار در غرب ایران تحت تاثیر پارامترهای هواشناسی قرار می‌گیرند. در ضمن نوع و همبستگی یون‌ها در ایستگاه‌های مطالعاتی موید ماهیت خاک‌زاد و منشا یکسان ذرات گرد و غبار باریده بر شهرهای

### منابع

- Al- Harbi, M., 2015. Characteristics and composition of the falling dust in urban environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 12, 641-652.
- Behrooz, D.R., Sari, E.A., Bahramifar, N. and Kas-kautis, D.G., 2017. Analysis of the TSP, PM<sub>10</sub> concentrations and water-soluble ionic species in airborne samples over Sistan, Iran during the summer dusty period. *Journal of Atmospheric Pollution Research*. 8, 403-417.
- Birgani, A.H., Mirnejad, H., Feiznia, S. and McQueen, K.G., 2015. Mineralogy and geochemistry of atmospheric particulates in western Iran. *Journal of Atmospheric Environment*. 119, 262-272.
- Cao, J., Wang, Q.Y., Chow, J.C., Watson, J.G., Tie, X., Shen, Z.X., Wang, P. and An, Z.S., 2012. Impacts of aerosol compositions on visibility impairment in Xi'an, China. *Journal of Atmospheric Environment*. 59, 559-566.
- Cheng, Ch.M., You, F.M., Cao, J. and Jin, Zh., 2012. Spatial and seasonal variability of water-soluble ions in PM<sub>2.5</sub> aerosols in 14 major cities in China. *Journal of Atmospheric Environment*. 60, 182-192.
- 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. *Journal of Catena*. 88, 27-36.
- Huang, X., Liu, Z., Zhang, J., Wen, T., Ji, D. and Wang, Y., 2016. Seasonal variation and secondary formation of size-segregated aerosol water-soluble inorganic ions during pollution episodes in Beijing. *Journal of Atmospheric Research*. 168, 70- 79.
- Indoitu, R., Orlovsky, L. and Orlovsky, N., 2012. Dust storms in central Asia: spatial and temporal variations. *Journal of Arid Environments*. 85, 62-70.
- Jaradat, Q.M., Momani, K.M., Jbarah, A.Z.Q. and Massadeh, A., 2004. Inorganic analysis of dust fall and office dust in an industrial area of Jordan. *Journal of Environmental Research*. 96, 139-144.
- Javed, W., Wexler, A., Murtaza, G., Ahmad, H.R. and Basra, S.M.A., 2015. Spatial, temporal and size distribution of particulate matter and its chemical constituents in Faisalabad, Pakistan. *Journal of Atmosfera*. 28, 99-116.
- Kang, Ch.H., Kim, W.H., Ko, H.J. and Hong, S.B., 2009. Asian dust effects on total suspended particulate (TSP) compositions at Gosan in Jeju Island, Korea. *Journal of Atmospheric Research*. 94, 345-355.
- Kang, E., Han, J., Lee, M., Lee, G. and Kim J.Ch., 2013. Chemical characteristics of size-resolved aerosols from Asian dust and haze episode in Seoul Metropolitan City. *Journal of Atmospheric Research*. 127, 34-46.

- Khuzestani, R.B. and Souri, B., 2013. Evaluation of the heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan province, Western Iran. *Journal of Environment sciences*. 25, 251346-1354.
- Lagzi, I., Meszaros, R., Gelybo, G. and Leelossy, A., 2013. *Atmospheric Chemistry*. Eötvös Loránd University, ELTE Faculties of Science Student Foundation, Hungary.
- 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. *Journal of Chemical Geology*. 267, 46–63.
- Lee, B.K. and Hieu, N.Th., 2013. Seasonal ion characteristics of fine and coarse particles from an urban residential area in a typical industrial city. *Journal of Atmospheric Research*. 122, 362–377.
- Liu, D., Abuduwaili, J., Lei, J. and Wu, G., 2011. Deposition rate and chemical composition of the Aeolian Dust from a Bare Saline Playa, Ebinur Lake, Xinjiang, China. *Journal of Water, Air, & Soil Pollution*. 218, 175–184.
- Ma, Y., Wang, Z., Tan, Y., Xu, S., Kong, S., Wu, G., Wu, X. and Li, H., 2016. Comparison of inorganic chemical compositions of atmospheric TSP, PM10 and PM2.5 in northern and southern Chinese coastal cities. *Journal of Environmental Sciences*. 55, 339-353.
- Mmari, A.G., Potgieter-Vermaak, S.S., Bencs, L., McCrindle, R.I. and Grieken, R.V., 2013. Elemental and ionic components of atmospheric aerosols and associated gaseous pollutants in and near Dar es Salaam, Tanzania. *Journal of Atmospheric Environment*. 77, 51- 61.
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A., 2009. Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*. 66, 343–355.
- Norouzi, S., Khademi, H., Ayubi, Sh., Cano, F.A. and 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. *Journal of Atmospheric Pollution Research*. 8, 1-4.
- Rashki, A., Eriksson, P.G., Rautenbach, C.J.D.W., Kaskaoutis, D.G., Grote, W. and Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Journal of Chemosphere*. 90, 227–236.
- Shen, Z.X., Cao, J.J., Arimoto, R., Zhang, R.J., Jie, D.M., Liu, S.X. and Zhu, C.S., 2007. Chemical composition and source characterization of spring aerosol over Horqin sand land in northeastern China. *Journal of Geophysical Research*. 112, 1-15.
- Shen, Zh., Wang, X., Zhang, R., Ho, K., Cao, J.J. and Zhang, M., 2011. Chemical composition of water-soluble ions and carbonate estimation in spring aerosol at a semi-arid site of Tongyu, China. *Journal of Aerosol and Air Quality Research*. 10, 360-368.
- Singh, A., Rastogi, N., Patel, A. and Singh, D., 2016. Seasonality in size-segregated ionic composition of ambient particulate pollutants over the Indo-Gangetic Plain: Source apportionment using PMF. *Journal of Environmental Pollution*. 219, 906-915.
- Tam, W.W.S., Wong, T.W., Wong, A.H.S. and Hui, D.S.C., 2012. Effect of dust storm events on daily emergency admissions for respiratory diseases. *Journal of Respiratory*. 17, 143-148.
- Wang, Sh., Wang, J., Zhou, Z. and Shang, K., 2005. Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China. *Journal of Atmospheric Environment*. 39, 509–520.
- Wang, Y., Zhuang, G., Tang, A., Yuan, H., Sun, Y., Chen, Sh. and Zheng, A., 2005a. The ion chemistry and the source of PM<sub>2.5</sub> aerosol in Beijing. *Journal of Atmospheric Environment*. 39, 3771- 3784.
- Wang, Y., Zhuang, G., Sun, Y. and An, Z., 2005b.

Water-soluble part of the aerosol in the dust storm season- evidence of the mixing between mineral and pollution aerosols. *Journal of Atmospheric Environment*. 39, 7020–7029.

Yang, Y.Q., Hou, Q., Zhou, C.H., Liu, H.L., Wang, Y.Q. and Niu, T., 2008. Sand/dust storm processes in Northeast Asia and associated large-scale circulations. *Journal of Atmospheric Chemistry Physics*. 8, 25–33.

Zhang, Q., Shen, Zh., Cao, J., Ho, K., Zhang, R., Bie, Z. and Chang, H., 2014. Chemical profiles of urban fugitive dust over Xi'an in the south margin of the Loess Plateau, China. *Journal of Atmospheric Pollution Research*. 5, 421-430.

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. *Journal of Atmospheric Research*. 102, 110–119.

Zou, J., Liu, Z., Hu, B., Huang, X., Wen, T., Ji., D., Liu, J., Yang, Y., Yao, Q. and 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. *Journal of Atmospheric Research*. 201, 235-246.





Environmental Sciences Vol.18/ No.1/ Spring 2020

71-86

## Comparison of soluble ions in dust fall among various latitudes in western Iran

Nahid Mahmoodimashpash and Bubak Souri\*

Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 2018.12.22 Accepted: 2019.04.20

**Mahmoodimashpash, N. and Souri, B., 2020.** Comparison of soluble ions in dust fall among various latitudes in western Iran. *Environmental Sciences*. 18(1): 71-86.

**Introduction:** Dust particles moved by air streams influence the quality of the environment. Chemical compounds of these particles are influential on the life's quality of the residents of every region. Dust fall particles originated from the soil erosion has caused many problems for the residents of western Iran during recent years. Iran's geographical location in the vicinity of Iraq, Syria, and Saudi Arabia, where are major sources of dust, alongside issues such as climate change are among the roots for making and worsening this critical phenomenon. Hence, investigation and recognition of characteristics of this phenomenon including chemical characteristics of it may help the adaptation of pre-emptive measures and reaching scientific clues to control harms of this phenomenon. The main objective of this study was to compare the concentration of soluble ions in dust fall particles among various latitudes in western Iran.

**Material and methods:** Simultaneous samplings were conducted monthly for one year in three cities i.e. Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk using the passive method. The obtained data were then analyzed by Excel and SPSS v.23. For comparison of chemical characteristics of the dust fall particles, Coefficient of Divergence (CD) and Duncan's Multiple Range Test (MRT) were applied.

**Results and discussion:** The results showed that calcium and sulfate with a concentration of 0.271 and 0.592 mg.g<sup>-1</sup>, respectively, had the highest concentration among the studied dust fall samples. High calcium concentration confirmed that the dust fall on the three stations had natural origins, which were mainly calcareous soils and geological formations. Additionally, a high concentration of sulfate implied a share of evaporated sediments, particularly gypsum (hydrated calcium sulfate), among the studied dust fall particles. Calculation of CD also showed that chemical characteristics of dust falls in the three stations were mostly similar (CD < 0.5). Correlation of CD

\*Corresponding Author. *Email Address:* bsouri@uok.ac.ir

between cations in Sanandaj and Khorramabad and the wind factor ( $r= 0.99$ ,  $p< 0.05$ ), anions of Sanandaj and Andimeshk and rainfall ( $r= 1$ ,  $p< 0.01$ ) and moisture factors ( $r= 0.89$ ,  $p< 0.05$ ), respectively, demonstrated that the meteorological factors influence chemical characteristics of dust fall particles. MRT also showed that sodium as a highly soluble element had different concentrations throughout the three stations in the spring season ( $< 0.05$ ). Moreover, compounds such as  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KF}$  and  $\text{CaF}_2$  were found in the three stations, which confirmed the presence of gypsum, anhydrite, and halite in the dust fall particles.

**Conclusion:** Environmental conditions in various latitudes influence the chemical characteristics of dust fall particles from various aspects. Nevertheless, values and changes in the concentration of soluble ions in the dust fall including  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{K}^+$  cations and  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{F}^-$  anions in the three stations of Sanandaj, Khorramabad, and Andimeshk were mainly similar. Hence, it can be concluded that the dust fall on the three studied cities originated from the same sources.

**Keywords:** Dust fall particles, Soluble ions, Coefficient of divergence, Multiple range test, Western Iran.

