

## ارزیابی مقادیر فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار باریده بر شهرهای سنندج، خرم آباد و اندیمشک در غرب ایران ۱۳۹۱-۱۳۹۲

مهدی رجیبی<sup>۱</sup>، بابک سوری<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۲۳

### چکیده

**زمینه و هدف:** طوفان‌های گرد و غباری که اغلب در مناطق خشک و نیمه خشک جهان روی می‌دهند حجم زیادی از ذرات معلق را با خود حمل می‌کنند و از اینرو به عنوان یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی در مقیاس‌های منطقه‌ای و بین‌المللی تلقی می‌گردند. هدف از این تحقیق ارزیابی مقادیر فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار ته‌نشین شده در شهرهای سنندج، خرم آباد و اندیمشک است. روش بررسی: نمونه‌برداری ذرات گرد و غبار از ۳۰ خرداد ۱۳۹۱ بمدت یکسال در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه و به طور همزمان در سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیمشک با استفاده از روش *Deposit Gauge Method* صورت گرفت و اندازه‌گیری فلزات *Fe* و *Mn* با استفاده از جذب اتمی به روش شعله و *Zn, Cu, As, Ag, Cr, Ni* به روش کوره گرافیکی انجام شد. سپس سطح آلودگی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های *Geo-Accumulation Index (I<sub>geo</sub>)* و *Integrated Pollution Index (IPI)* ارزیابی گردید. ماهیت کانی‌ها و شکل ذرات گرد و غبار نیز بوسیله تفرق اشعه ایکس و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. یافته‌ها: نتایج حاصله از شاخص *I<sub>geo</sub>* سطوح آلودگی *Ag* و *Cu* را بیش از *Zn* و *As* در گرد و غبار هر سه ایستگاه ارزیابی نمود در حالی که مقادیر سایر فلزات سنگین آلوده‌کننده ارزیابی نشدند. ضمناً میانگین مقادیر شاخص *IPI* برای ایستگاه‌های سنندج، خرم آباد و اندیمشک بترتیب ۲/۸۶، ۱/۵۵ و ۱/۴۰ محاسبه شد. تفرق اشعه ایکس نیز وفور کانی‌های سیلیکاته (کوارتز) و کربناته (کلسیت) را در ذرات گرد و غبار سه ایستگاه نشان داد. علاوه بر این تصاویر میکروسکوپ الکترونی تشابه شکل ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه را تایید نمود. نتیجه‌گیری: با وجود کمتر بودن میانگین میزان ذرات گرد و غبار باریده بر واحد سطح در ایستگاه سنندج، غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار نمونه‌برداری شده در این ایستگاه در مقایسه با ایستگاه‌های خرم آباد و اندیمشک بطور نسبی بیشتر بود.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، ذرات گرد و غبار، *Deposit gauge method*. غرب ایران

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان  
۲- (نویسنده مسئول): دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

## مقدمه

پدیده گرد و غبار یک معضل منطقه ای و بین‌المللی است که از آن به عنوان یکی از مهمترین بلاهای زیست محیطی نیز نام می‌برند (۳-۱). طوفان‌های گرد و غبار با منشأ طبیعی که اغلب در نواحی خشک و نیمه خشک جهان روی می‌دهند (۴) قادرند حجم بسیار زیادی از مواد را با خود حمل کنند (۵). در بیش از یک دهه اخیر امواج گرد و غبار نیمه غربی ایران را در نور دیده و دامنه اثرات زیانبار این پدیده آن را به مهمترین معضل زیست محیطی کشور تبدیل کرده است. این ذرات معلق علاوه بر کاهش کیفیت هوا (۶) مانع از نفوذ نور خورشید شده (۷) و می‌توانند بر تشکیل و خصوصیات ابر و میزان نزولات جوی اثر بگذارند (۱۰-۸). بطور کلی پدیده گرد و غبار با منشأ طبیعی می‌تواند منجر به تغییرات اقلیمی و همچنین تغییر در چرخه‌های بیولوژیکی، شیمیایی و محیط زیست گردد (۲، ۹). ذرات گرد و غبار بسته به منشأ و مسیر حرکت خود توانایی بالایی در حمل فلزات سنگین دارند (۱۳-۱۱). از این رو بررسی میزان آلودگی این ذرات به فلزات سنگین به دلیل تهدیداتی که می‌تواند متوجه سلامت انسان کند مهم است. بطور کلی آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین به علت سمیت، تجزیه ناپذیری و تجمع پذیری این عناصر یک مشکل جدی تلقی می‌گردد (۱۴، ۱۵). عمدتاً دو منبع فعالیت‌های انسانی و الگوهای فرسایشی خاک برای آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین تبیین شده که از منابع انسانی اغلب در نواحی شهری که فعالیت‌های صنعتی شدت بالایی دارند میتوان آلودگی فلزات سنگین را انتظار داشت در حالی که حضور فلزات سنگین با غلظت‌های بالا در ذرات گرد و غبار در نواحی غیر صنعتی عمدتاً با فرسایش ساختارهای زمین‌شناسی خصوصاً خاک مرتبط هستند (۱۶).

از جمله مطالعات انجام شده قبلی بر روی ترکیبات تشکیل دهنده ذرات گرد و غبار در آسیا و خاورمیانه می‌توان به نتایج Kruger و همکاران (۹) و همچنین Jaradat و همکاران (۱۶) اشاره نمود. در ایران نیز Zarasvandi (۱۷) مطالعاتی را در خصوص برخی فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار خوزستان به انجام رساند. علاوه بر این Khuzestani و

همکار (۱۱) ذرات گرد و غبار شهر سنندج در غرب کشور را از حیث مقادیر فلزات سنگین بررسی نمودند. بمنظور تعیین میزان آلودگی مواد معدنی طبیعی به فلزات سنگینی که از پوسته زمین نشأت می‌گیرند شاخص‌های متعددی ابداع شده‌اند (۱۸). هدف از انجام این مطالعه ارزیابی مقادیر فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار باریده بر نیمه غربی ایران با استفاده از شاخص‌های  $I_{geo}$  Geo-Accumulation Index و Integrated Pollution Index (IPI) است (۱۹). ضمناً در این مطالعه ماهیت و شکل ذرات گرد و غبار نمونه‌برداری شده به منظور امکان مقایسه ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه مطالعاتی، با استفاده از طیف تفرق اشعه ایکس (X-ray Diffraction) و تصاویر میکروسکوپ الکترونی (Scanning Electron Microscope) مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری ذرات گرد و غبار از ۳۰ خرداد ۱۳۹۱ بمدت یک سال در بازه‌های زمانی ۱۰ روزه و با استفاده از روش Deposit Gauge Method (۲۰) بطور همزمان در شهرهای سنندج در مقیاس  $35^{\circ}16'27.50''N$  عرض جغرافیایی و  $46^{\circ}59'69.32''E$  طول جغرافیایی، با آب و هوای سرد و نیمه خشک با میانگین ارتفاع  $1496\text{ m}$  از سطح دریا و بارندگی سالانه  $448\text{ mm}$ ؛ خرم‌آباد در مقیاس  $33^{\circ}27'22.52''N$  عرض جغرافیایی و  $48^{\circ}20'47.36''E$  طول جغرافیایی، با آب و هوای معتدل و نیمه مرطوب میانگین ارتفاع  $1148\text{ m}$  از سطح دریا و بارندگی سالانه  $528\text{ mm}$ ؛ اندیمشک در مقیاس  $33^{\circ}28'46.84''N$  عرض جغرافیایی و  $48^{\circ}20'20.25''E$  طول جغرافیایی، با آب و هوای گرم و مرطوب میانگین ارتفاع  $136\text{ m}$  از سطح دریا و بارندگی سالیانه  $120\text{ mm}$  انجام شد (شکل ۱). در هر یک از شهرهای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک یک دستگاه جمع‌آوری کننده ذرات گرد و غبار (Dust fall jar) نصب گردید و تعداد ۳۶ نمونه در هر شهر و در مجموع ۱۰۸ نمونه در طول دوره یکساله نمونه برداری شدند. لازم به ذکر است که محدودیت‌های هزینه، تردد و زمان تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری را در هر شهر به یک ایستگاه کاهش داد.

صورت گرفت (۱۱).

مقادیر فلزات سنگین اندازه گیری شده در نمونه با استفاده از دو شاخص ذیل مورد ارزیابی قرار گرفتند:

(۱) Geo-Accumulation Index ( $I_{geo}$ )

شاخص  $I_{geo}$  مطابق معادله ۱ آلودگی به فلزات سنگین را با توجه به نسبت غلظت هر فلز سنگین در نمونه مورد بررسی به غلظت زمینه‌ای (Background Concentration) آن فلز در پوسته زمین محاسبه می‌نماید (۲۱):

$$I_{geo} = \text{Log}_v \left( \frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (1)$$

که در معادله ۱؛  $I_{geo}$  معرف Geo-Accumulation Index،  $C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در نمونه و  $B_n$  غلظت زمینه‌ای همان فلز سنگین در پوسته زمین است. ضریب ۱/۵ نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت‌های زمینه‌ای ناشی از فعالیت‌های زمین‌شناسی اعمال می‌شود (۱۸، ۱۹، ۲۲).

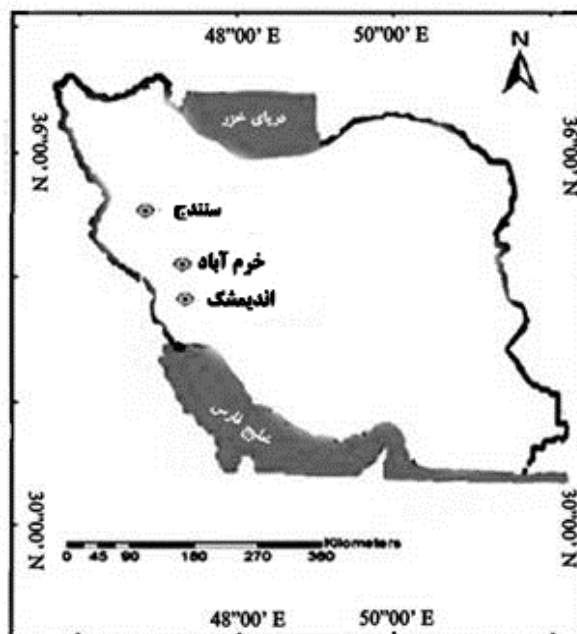
(۲) Integrated Pollution Index (IPI)

شاخص IPI میانگینی از نسبت غلظت چند فلز سنگین به غلظت زمینه‌ای همان فلزات در نمونه مورد بررسی فراهم می‌آورد که مطابق معادله ۲ محاسبه می‌گردد (۱۹، ۲۳):

$$PI_i = C_i / B_i \quad (2)$$

که در معادله ۲؛  $C_i$  غلظت فلز سنگین  $i$ ام در نمونه مورد بررسی،  $B_i$  غلظت زمینه‌ای فلز سنگین  $i$ ام در پوسته زمین و  $i$  تعداد فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در نمونه است. نهایتاً کمیت شاخص IPI بصورت میانگین مقادیر PI برای تمامی فلزات اندازه‌گیری شده محاسبه می‌گردد.

طبقه‌بندی سطوح آلودگی براساس مقادیر شاخص‌های  $I_{geo}$  و IPI در جدول ۱ نشان داده شده است (۲۱، ۲۳). بررسی ماهیت و شکل ذرات گرد و غبار نیز توسط طیف‌نگاری تفرق اشعه ایکس مدل (EQUINOX 3000) و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی SEM (AIS-2100) مورد بررسی قرار گرفت (۲۴).



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در غرب ایران

پس از هر دوره ۱۰ روزه؛ ذرات گرد و غبار تجمع یافته در Dust fall jar با آب مقطر شستشو داده شد و وارد مخزن دستگاه گردید. محتویات مخزن پس از انتقال به آزمایشگاه جهت کاهش حجم محلول در دمای  $105^\circ\text{C}$  به مدت ۲ h حرارت‌دهی شد و پس از سرد شدن با استفاده از فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف شده و بمنظور تعیین میزان گرد و غبار باریده بر واحد سطح توزین گردید. در ادامه  $0.15\text{ g}$  از محتویات نامحلول باقی مانده بر روی فیلتر واتمن با  $5\text{ mL}$  اسید نیتریک  $1\% / 0.1$  هضم و به مدت ۲ h با استفاده از دستگاه Block digest در دمای  $95^\circ\text{C}$  حرارت داده شد. در مرحله بعدی نمونه‌ها به مدت  $30\text{ min}$  و در دمای  $50^\circ\text{C}$  در حمام التراسونیک قرار داده شدند و سپس مجدداً با فیلتر واتمن ۴۲ صاف گردید و محلول بدست آمده به حجم  $25\text{ mL}$  رسید (۱۶). در نهایت در محلول بدست آمده اندازه‌گیری فلزات Fe و Mn با استفاده از جذب اتمی (Phoenix 986) به روش شعله (Flame Atomic Absorption Spectroscopy) و Zn, Cu, As, Ag, Cr, Ni به روش کوره گرافیکی (Furnace Atomic Absorption Spectroscopy)

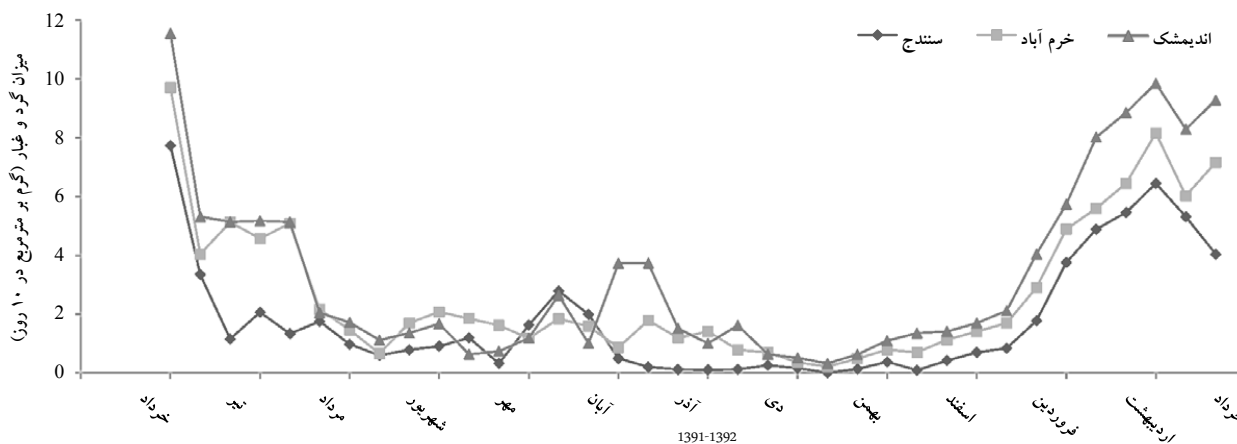
جدول ۱: طبقه‌بندی سطوح آلودگی بر اساس مقادیر شاخص‌های I<sub>geo</sub> و IPI (۱۸، ۱۹)

Geo-Accumulation Index (I <sub>geo</sub> )		Integrated Pollution Index (IPI)	
X ≤ ۰	غیر آلوده	X < ۱	آلودگی کم
۰ < X < ۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱ < X < ۲	آلودگی متوسط
۱ < X < ۲	آلودگی متوسط	۲ < X < ۵	آلودگی زیاد
۲ < X < ۳	آلودگی متوسط تا شدید	۵ < X	آلودگی شدید
۳ < X < ۴	آلودگی شدید		
۴ < X < ۵	آلودگی شدید تا بسیار شدید		
۵ < X	آلودگی بسیار شدید		

### یافته ها

سه ایستگاه به ترتیب در اواسط زمستان و اواخر بهار بوقوع پیوسته است ضمن آنکه میانگین یکساله میزان ذرات گرد و غبار باریده بر واحد سطح برای سنندج، خرم آباد و اندیمشک به ترتیب ۱۰ days gr/m<sup>2</sup>، ۱/۷۳، ۲/۶۶ و ۳/۳۷ اندازه‌گیری شدند.

شکل ۲ روند تغییرات میزان ذرات گرد و غبار باریده بر واحد سطح در سه شهر سنندج، خرم آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه برداری را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تغییرات میزان گرد و غبار در سه ایستگاه از روندی مشابه پیروی می‌کند به نحوی که کمترین و بیشترین میزان آن در هر



شکل ۲: روند تغییرات میزان ذرات گرد و غبار باریده بر سه شهر سنندج، خرم آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه‌برداری (gr/m<sup>2</sup>.10 days)

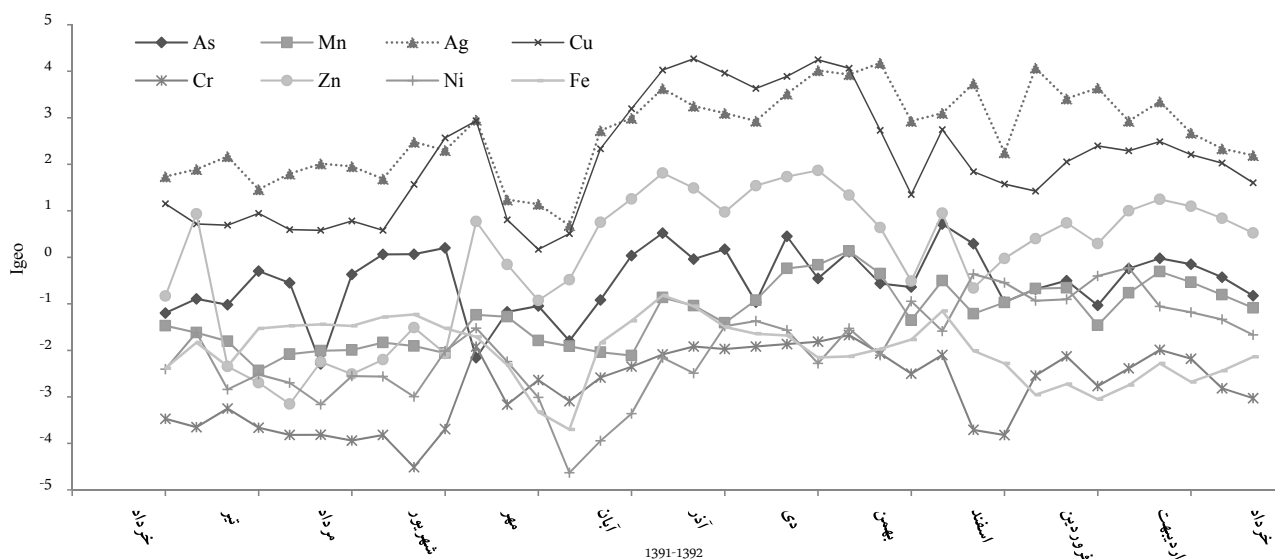
که ملاحظه می‌شود بیشترین و کمترین مقادیر اندازه‌گیری شده در هر سه ایستگاه بترتیب مربوط به فلزات Fe و Ag هستند.

در جدول ۲ مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ذرات گرد و غبار سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیمشک نشان داده شده است و همان‌طور

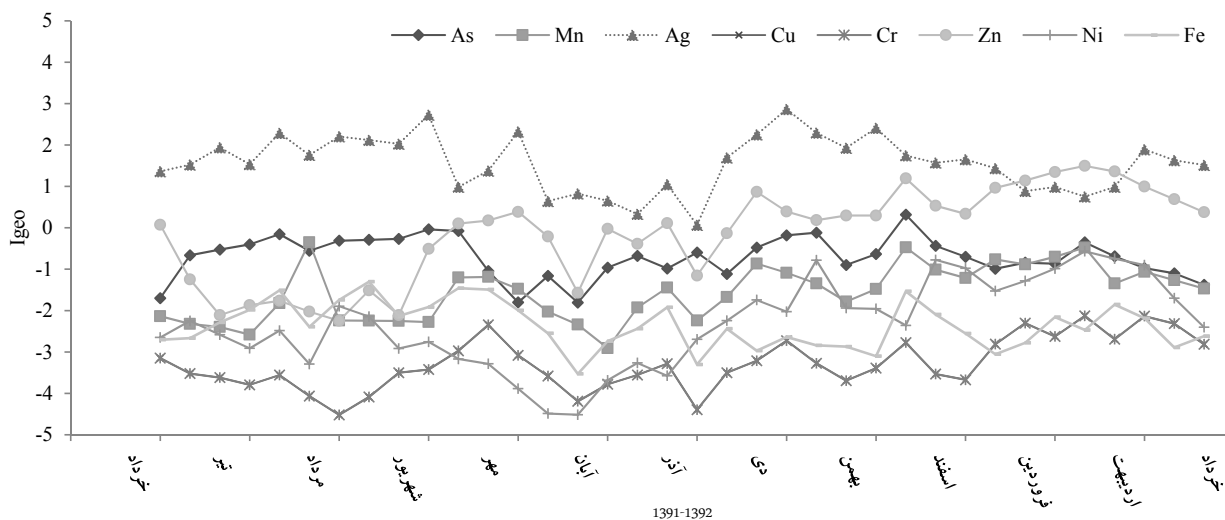
جدول ۲: مقادیر بیشترین، کمترین، میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار (Dust fall) سنندج، خرم آباد و اندیمشک

محل نمونه برداری	Ni	Ag	Cr	As	Cu	Zn	Mn	Fe
	µg/g				mg/g			
سنندج	بیشترین	۱۱۵/۵۰	۱/۹۰	۳۲/۰۰	۳۲/۰۰	۱/۳۰	۰/۵۲	۳۹/۹۶
	کمترین	۵/۴۴	۰/۱۷	۳/۹۸	۴/۴۷	۰/۰۷	۰/۰۱	۵/۴۲
	میانگین	۴۳/۴۲	۰/۸۰	۱۶/۸۱	۱۵/۱۵	۰/۴۱	۰/۲۱	۱۹/۳۹
	انحراف معیار	۲۸/۱۸	۰/۴۷۰	۸/۱۸	۶/۶۹	۰/۳۷۲	۰/۱۴۷	۰/۲۸۶
خرم آباد	بیشترین	۹۱/۱۵	۰/۷۶	۲۴/۳۰	۲۳/۳۳	۰/۳۶	۰/۴۰	۲۸/۵۷
	کمترین	۵/۹۰	۰/۱۱	۵/۵۷	۴/۴۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۶/۱۰
	میانگین	۳۴/۵۷	۰/۳۴	۱۲/۶۱	۱۱/۵۱	۰/۱۷	۰/۱۶	۱۴/۷۱
	انحراف معیار	۲۴/۰۴	۰/۱۵	۴/۱۳	۵/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۰۵	۰/۲۱
اندمشک	بیشترین	۸۲/۵۵	۰/۶۰	۲۵/۰۸	۲۱/۵۰	۰/۳۴	۰/۴۵	۴۴/۳۴
	کمترین	۴/۶۸	۰/۱۳	۳/۲۷	۵/۳۰	۰/۰۹	۰/۰۱	۵/۷۱
	میانگین	۳۳/۸۱	۰/۲۹	۱۱/۶۸	۱۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۷	۱۴/۸۰
	انحراف معیار	۲۳/۳۱	۰/۱۱	۵/۵۸	۴/۲۰	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۲۲

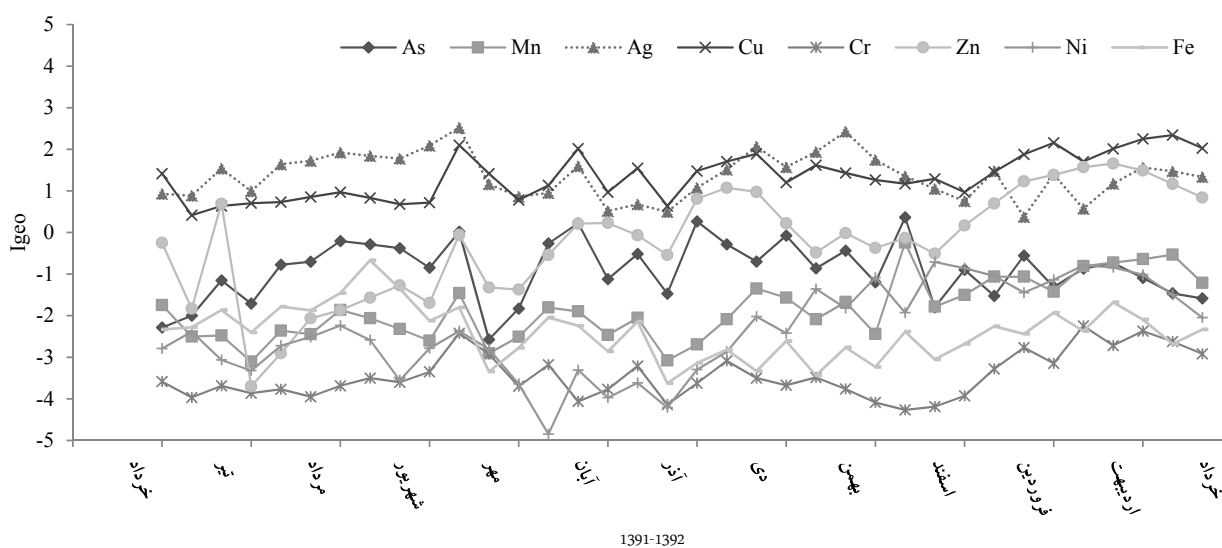
اشکال ۳، ۴ و ۵ مقادیر کمی شاخص  $I_{geo}$  برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در طول دوره نمونه‌برداری در سه ایستگاه را نشان می‌دهند.



شکل ۳: مقادیر شاخص  $I_{geo}$  برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ایستگاه سنندج



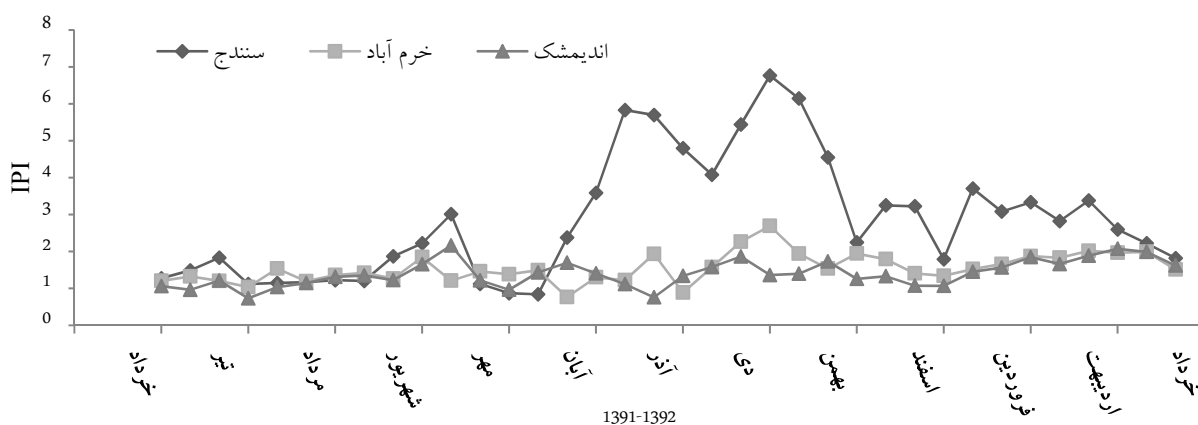
شکل ۴: مقادیر شاخص  $I_{geo}$  برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ایستگاه خرم آباد



شکل ۵: مقادیر شاخص  $I_{geo}$  برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ایستگاه اندیمشک

نگردیدند ( $I_{geo} < 0$ ). ضمناً مقایسه اشکال ۳، ۴ و ۵ مقادیر بیشتر شاخص  $I_{geo}$  خصوصاً برای فلزات Ag و Cu را طی فصول پاییز و زمستان در ایستگاه سنندج نسبت به دو ایستگاه دیگر نشان می‌دهد.

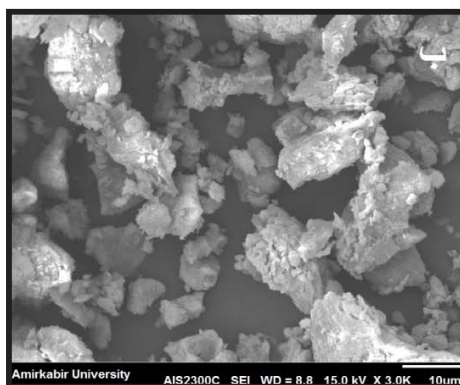
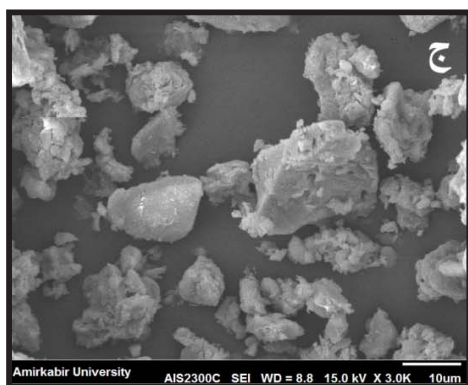
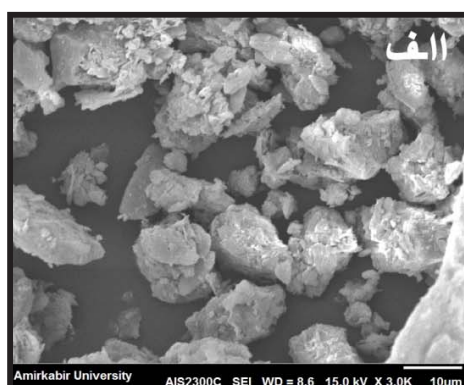
همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر شاخص  $I_{geo}$  برای دو فلز Cu و Ag در هر سه ایستگاه بالاترین سطح آلودگی را بخود اختصاص داده و پس از آنها فلزات Ni و As نیز سطوح کمتری از آلودگی را نشان می‌دهند. این در حالیست که مقادیر  $I_{geo}$  برای سایر فلزات سنگین، آلوده کننده ارزیابی



شکل ۶: روند تغییرات شاخص IPI برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در سه ایستگاه سennedج، خرم آباد و اندیمشک

شاخص برای ایستگاه‌های سennedج، خرم آباد و اندیمشک بترتیب ۲/۸۶، ۱/۵۵ و ۱/۴۰ محاسبه گردید. تصاویر تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM نیز حاکی از آنست که ذراتی مشابه با اشکال نامنظم بیشترین سهم را در گرد و غبار هر سه ایستگاه دارا هستند (شکل ۷).

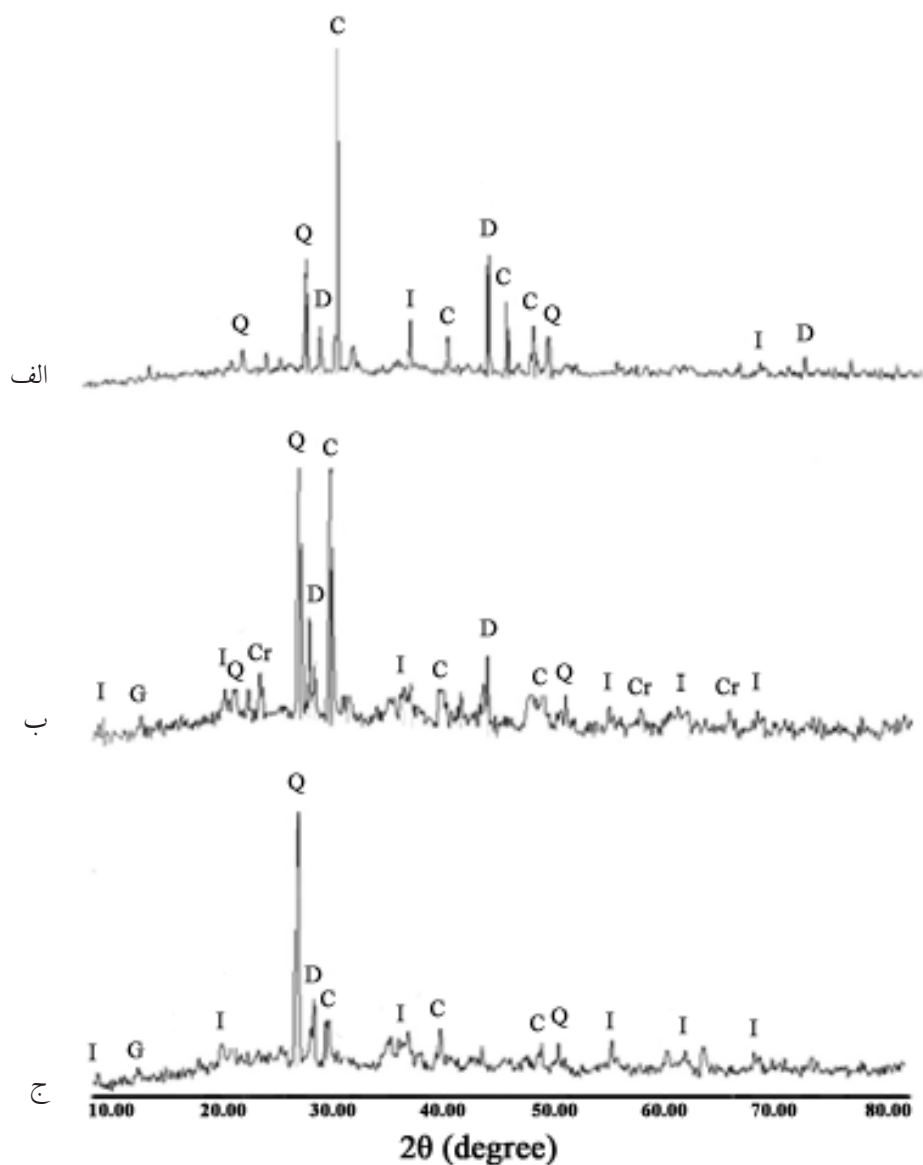
روند تغییرات مقادیر شاخص IPI برای فلزات سنگین مطالعه شده در هر سه ایستگاه در شکل ۶ نشان داده شده است که بطور محسوسی سطوح بالاتر آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین در ایستگاه سennedج خصوصا در فصول پاییز زمستان و بهار را تایید می‌نماید بطوریکه میانگین مقادیر این



شکل ۷: تصاویر SEM ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه سennedج (الف)، خرم آباد (ب) و اندیمشک (ج)

سیلیکاته (کوارتز) را تایید می کند هرچند وجود مقادیر کمتری از کانی های دیگر را نیز نشان می دهد.

بررسی طیف های تفرق اشعه ایکس مربوط به نمونه های سه ایستگاه (شکل ۸) فراوانی غالب کانی های کربناته (کلسیت) و



شکل ۸: طیف های تفرق اشعه ایکس ذرات گرد و غبار در سه ایستگاه سنندج (الف)، خرم آباد (ب) و اندیمشک (ج)  
**Q: quartz; C: calcite; I: illite; G: gypsum; D: dolomite; Cr: cristobalite**

که مناطق خشک و نیمه خشک بیش از دو سوم مساحت ایران را در برمی گیرد وقوع و تشدید این پدیده در کشور را توجیه پذیر می سازد. در میان سه ایستگاه بررسی شده در این تحقیق؛ شهر اندیمشک بدلیل قرار گرفتن در عرض جغرافیایی

### بحث

پدیده گرد و غبار خاص مناطق خشک و نیمه خشک جهان است (۴، ۲۵، ۲۶). همسایگی با کشور عراق به عنوان کانون اصلی معضل ایجاد گرد و غبار (۱۷) در کنار این واقعیت

Cu, Ag و As در ماه‌های پاییز و زمستان کاهش نسبی نشان می‌دهند اما در خصوص فلز سنگین Ni کاهش مشابهی طی فصل تابستان اتفاق می‌افتد که می‌تواند بعنوان تفاوت رفتار Ni در مقایسه با Cu, Ag و As در همراهی با ذرات گرد و غبار تحت شرایط هواشناسی مشابه تفسیر گردد. ضمناً کاربرد شاخص  $I_{geo}$  مقادیر اندازه‌گیری شده فلزات Zn, Mn, Fe و Cr در گرد و غبار سه شهر را آلاینده ارزیابی نمود.

مقادیر شاخص IPI در دو ایستگاه خرم آباد و اندیمشک نوسانات اندکی را در طول سال از خود نشان می‌دهد ضمن آنکه روندی مشابه را در این دو ایستگاه دنبال می‌کنند (شکل ۶). این در حالیست که مقادیر این شاخص در ایستگاه سنندج از اواسط پاییز تا اواخر زمستان افزایش چشمگیری می‌یابد که البته این افزایش در ماه‌های آذر تا بهمن بسیار بیشتر است. سیر نزولی میانگین مقادیر شاخص IPI برای ایستگاه‌های سنندج، خرم آباد و اندیمشک (بترتیب ۲/۸۶، ۱/۵۵ و ۱/۴۰) سطح آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین در سنندج را "زیاد" و سطوح آلودگی مربوط به خرم آباد و اندیمشک را "متوسط" ارزیابی می‌کنند (جدول ۱). مقایسه میزان گرد و غبار با مقادیر شاخص IPI (شکل های ۲ و ۶) نشان می‌دهد که تغییرات محسوس میزان گرد و غبار در طول سال تغییر چندانی در مقادیر شاخص IPI در ایستگاه‌های خرم آباد و اندیمشک بدنبال ندارد در حالی که کاهش میزان ذرات گرد و غبار طی ماه‌های پاییز و زمستان در ایستگاه سنندج همزمان با افزایش شدید شاخص IPI در این ایستگاه حادث گردیده است. همان‌گونه که پیشتر نیز گفته شد بنظر می‌رسد ذرات گرد و غبار با افزایش فاصله از منبع گرایش به ریزتر شدن پیدا می‌کنند (۶) که این مطلب در خصوص ایستگاه سنندج بعلاوه فاصله بیشتر آن از کانون‌های ایجاد گرد و غبار در جنوب عراق نسبت به دو ایستگاه دیگر موضوعیت بیشتری می‌یابد. از این‌رو می‌توان انتظار داشت که طی ماه‌های پاییز و زمستان که میزان ذرات گرد و غبار کاهش می‌یابد در ایستگاه سنندج این کاهش بیشتر در خصوص ذرات درشت دانه تر اتفاق می‌افتد و با افزایش سهم ذرات ریزدانه در توده گرد و غبار که عمده

کمتر و همچنین دارا بودن میانگین بارش کمتر و دمای بیشتر سالیانه و نزدیکی با کانون اصلی تولید ذرات گرد و غبار مقادیر بیشتری از این ذرات را پذیراست. با حرکت به سمت عرض‌های جغرافیایی بیشتر و دور شدن از منبع تولید ذرات گرد و غبار از میزان این ذرات کاسته می‌شود (۶) و از این‌رو میزان ذرات گرد و غبار باریده بر دو شهر خرم آباد و سپس سنندج روند کاهشی را نسبت به اندیمشک نشان می‌دهد. البته بنظر می‌رسد در جریان حمل و نقل ذرات گرد و غبار ابتدا ذرات درشت‌تر از تعلیق بیرون می‌آیند بطوری‌که ذرات گرد و غبار با فاصله از منبع گرایش به ریزتر شدن پیدا می‌کنند (۲۶). شباهت الگوی تغییرات میزان گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه (شکل ۲) علاوه بر آنکه می‌تواند موید منبع یکسان ذرات گرد و غبار در این سه ایستگاه باشد، منتج از تغییرات فصلی مشابه (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) در ایستگاه‌های مذکور نیز تلقی می‌گردد.

مقایسه مقادیر فلزات سنگین مطالعه شده (جدول ۲) برتری مطلق فلز آهن در نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با مطالعه انجام شده توسط Khuzestani و همکار (۱۱) بر روی گرد و غبار شهر سنندج در سال ۱۳۸۹ مطابقت دارد. همان‌گونه که اشکال ۳ تا ۵ نشان می‌دهند تشابه الگوی تغییرات شاخص  $I_{geo}$  در ایستگاه‌های مورد مطالعه همسانی منشا ذرات گرد و غبار رسیده به شهرهای سنندج، خرم آباد و اندیمشک از حیث فلزات سنگین را تایید می‌کند. شاخص  $I_{geo}$  همچنین سطح بالاتری از آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات Cu و Ag در سه ایستگاه را نشان می‌دهد که به استناد مطالعات قبلی به نظر می‌رسد شیوع بیماری‌های چشمی مانند التهاب و ناخنک چشم در بین ساکنان شهرهای غرب ایران (۱۴) با سمیت این دو فلز سنگین در گرد و غبار نیمه غربی کشور مرتبط باشد (۲۷). شاخص  $I_{geo}$  همچنین مقادیری از آلودگی Ni و As در ذرات گرد و غبار نمونه‌برداری شده در هر سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیمشک را نیز نشان می‌دهد که در مورد As نتایج بدست آمده با مطالعات قبلی (۱۱) مشابه است. گرچه سطوح آلودگی برآورد شده توسط این شاخص برای فلزات

تائید نمود. مقایسه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که با افزایش عرض جغرافیایی از میزان ذرات گرد و غبار باریده بر واحد سطح کاسته می‌گردد هر چند به نظر می‌رسد این کاهش بیشتر معطوف به ذرات درشت دانه‌تر باشد ضمن آنکه انتظار می‌رود ذرات ریز دانه تر نقش موثرتری در حمل فلزات سنگین داشته باشند. علاوه بر این تشابه شکل ذرات گرد و غبار و نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها در ایستگاه‌های مطالعه شده همسانی ماهیت ذرات گرد و غبار در نقاط مختلف نیمه غربی ایران را به اثبات می‌رساند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "مقایسه خصوصیات فیزیک و شیمیایی ذرات گرد و غبار در سه شهر سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک در غرب ایران" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۲ و کد ۱۰۶۵۴۵۱ است که با حمایت دانشگاه کردستان اجرا شده است.

### منابع

- 1- Garrison VH, Shinn EA, Foreman WT, Griffin DW, Holmes CW, Kellogg CA, et al. African and Asian dust: From desert soils to coral reefs. *BioScience*. 2003;53(5):469-80.
- 2- Griffin D, Kellogg C. Dust storms and their impact on ocean and human health: Dust in earth's atmosphere. *EcoHealth*. 2004;1(3):284-95.
- 3- Prospero JM, Lamb PJ. African droughts and dust transport to the caribbean: Climate change implications. *Science*. 2003;302(5647):1024-27.
- 4- Ridgwell AJ. Implications of the glacial CO<sub>2</sub> "iron hypothesis" for quaternary climate change. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003;4(9):1-10.
- 5- Revel-Rolland M, De Deckker P, Delmonte B, Hesse PP, Magee JW, Basile-Doelsch I, et al. Eastern Australia: A possible source of dust in East Antarctica interglacial ice. *Earth and Planetary Science Letters*. 2006;249(1-2):1-13.
- 6- Zhang XY, Cao JJ, Li LM, Arimoto R, Cheng Y,

حمل فلزات سنگین مربوط به آنهاست (۱۷) مقادیر شاخص IPI نیز افزایش می‌یابد. در این خصوص می‌توان به نقش رس‌ها در انتقال فلزات سنگین اشاره کرد. بطور مثال کانی رسی ایلات (شکل ۸) با اندازه بسیار کوچک، شکل پهن و نازک و محتوی بالای اکسیدهای فلزی نقش موثری در حمل فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار ایفا می‌کند (۱۷). غلبه اشکال نامنظم ذرات گرد و غبار (شکل ۷) در کنار وفور کانی‌های سیلیکاته (کوارتز) و کربناته (کلسیت) به همراه مقادیری از کانی‌های ایلات و دولومیت (شکل ۸) حاکی از تشابه شکل و ترکیب مینرالوژیکی ذرات گرد و غبار در این سه ایستگاه با ذرات گرد و غبار سایر مناطق دنیاست (۱۷، ۲۸).

### نتیجه‌گیری

ارزیابی مقادیر فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار با استفاده از شاخص‌های IPI و  $I_{geo}$  سطوح آلودگی نسبتاً بالاتری را در ایستگاه سنندج نسبت به ایستگاه‌های خرم‌آباد و اندیمشک

- Huebert B, et al. Characterization of atmospheric aerosol over XiAn in the south margin of the Loess Plateau, China. *Atmospheric Environment*. 2002;36(26):4189-99.
- 7- Liu X, Yin ZY, Zhang X, Yong X. Analyses of the spring dust storm frequency of northern China in relation to antecedent and concurrent wind, precipitation, vegetation, and soil moisture conditions. *Journal of Geophysical Research*. 2004;109:1-16.
- 8- Wang YQ, Zhang XY, Arimoto R, Cao JJ, Shen ZX. Characteristics of carbonate content and carbon and oxygen isotopic composition of northern China soil and dust aerosol and its application to tracing dust sources. *Atmospheric Environment*. 2005;39(14):2631-42.
- 9- Krueger BJ, Grassian VH, Cowin JP, Laskin A. Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: The importance of particle mineralogy. *Atmospheric Environment*. 2004;38(36):6253-61.

- 10- Engelstaedter S, Tegen I, Washington R. North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*. 2006;79(1-2):73-100.
- 11- Khuzestani RB, Souri B. Evaluation of heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan Province, western Iran. *Journal of Environmental Sciences*. 2013;25(7):1346-54.
- 12- Escudero M, Querol X, Pey J, Alastuey A, Pérez N, Ferreira F, et al. A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*. 2007;41(26):5516-24.
- 13- DustScan. Dust monitoring and dust consultancy services: Nuisance dust monitoring. [cited 2013 Jul 19]. Available from: <http://www.dustscan.co.uk/Portals/0/PDFs/Guidance%20Note1.pdf>.
- 14- Naddafi K, Nabizadeh R, Soltanianzadeh Z, Ehamampoosh M. Evaluation of dustfall in the air of Yazd. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2006;3(3):161-68.
- 15- Irabien MJ, Velasco F. Heavy metals in Oka river sediments (Urdaibai National Biosphere Reserve, northern Spain): Lithogenic and anthropogenic effects. *Environmental Geology*. 1999;37(1-2):54-63.
- 16- Jaradat QM, Momani KA, Jbarah A-AQ, Massadeh A. Inorganic analysis of dust fall and office dust in an industrial area of Jordan. *Environmental Research*. 2004;96(2):139-44.
- 17- Zarasvandi AL. Geochemical composition and source of dust storms particles in Khuzestan Province using REE geochemistry: Concerning on Geo-environmental parameter. *Proceedings of Conference of Dust Haze, Monitoring, Effects and Solutions*; 2013 Oct 14; Tehran, Iran (in Persian).
- 18- González-Macías C, Schifter I, Lluch-Cota DB, Méndez-Rodríguez L, Hernández-Vázquez S. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, México. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006;118(1-3):211-30.
- 19- Chen C-W, Kao C-M, Chen C-F, Dong C-D. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*. 2007;66(8):1431-40.
- 20- ASTM. Standard Method for Collection and Analysis for Dust fall (Settled Particulates). Vol 11.07. ASTM D1739-82. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2010.
- 21- Xuan J, Sokolik IN, Hao J, Guo F, Mao H, Yang G. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric Environment*. 2004;38(36):6239-52.
- 22- Ghrefat H, Yusuf N. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*. 2006;65(11):2114-21.
- 23- Valdés J, Vargas G, Sifeddine A, Ortlieb L, Guíñez M. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: Geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*. 2005;50(12):1558-68.
- 24- Wei B, Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*. 2010;94(2):99-107.
- 25- Tegen I, Werner M, Harrison SP, Kohfeld KE. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical Research Letters*. 2004;31(5).
- 26- Zhang XX, Shi PJ, Liu LY, Tang Y, Cao HW, Zhang XN, et al. Ambient TSP concentration and dustfall in major cities of China: Spatial distribution and temporal variability. *Atmospheric Environment*. 2010;44(13):1641-48.
- 27- Zallaghi E. Effects of dust on human health and environment in Khuzestan Province. *Proceedings of the 5th Conference of Environmental Engineering*; 2011 Nov 21-22; Tehran, Iran (in Persian).
- 28- Chester R, Elderfield H, Griffin JJ, Johnson LR, Padgham RC. Eolian dust along the eastern margins of the Atlantic Ocean. *Marine Geology*. 1972;13(2):91-105.

## Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013

M. Rajabi<sup>1</sup>, B. Souri\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc student, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 16 September 2014; Accepted: 14 December 2014

### ABSTRACT

**Background & Objectives:** Dust storms happening frequently in arid and semiarid regions of the world carry huge amount of particulate matters; hence, these are recognized as one of the most important environmental issues at regional and international scales. This study aimed to evaluate heavy metals laden dustfall particles in Sanandaj, Khorramabad, and Andimeshk cities, West Iran.

**Materials & Methods:** Sampling of dustfall particles was conducted once every 10 days from June 20, 2012 for one year at three stations of Sanandaj, Khorramabad, and Andimeshk simultaneously using Deposit Gauge Method. The concentration of Fe and Mn were measured using Flame Atomic Absorption Spectroscopy and Furnace Atomic Absorption Spectroscopy was used for analyzing Ni, Cr, Ag, As, Cu, and Zn. Then, pollution levels for the heavy metals were evaluated using Geo-Accumulation Index ( $I_{geo}$ ) and Integrated Pollution Index (IPI). Mineralogy and morphology of the dustfall particles were inspected using X-ray diffraction and scanning electron microscopy.

**Results:**  $I_{geo}$  index indicated that levels of pollution for Ag and Cu were higher than As and Zn among the dustfall particles of the three stations whereas the concentrations of the other heavy metals were not evaluated as contaminant. Moreover, means of IPI values calculated for stations of Sanandaj, Khorramabad, and Andimeshk were 2.86, 1.55 and 1.40 respectively. X-ray diffraction revealed abundance of silicate (quartz) and carbonate (calcite) minerals in dustfall particles. Additionally, scanning electron microscopy emphasized on similarity of shape of dustfall particles in the three stations.

**Conclusion:** Although mean of dustfall particles on area unit in Sanandaj station was less than Khorramabad and Andimeshk, heavy metals concentration was relatively higher among the sampled dustfall particles.

**Keywords:** Heavy metals, Dustfall particles, Deposit gauge method, Western Iran.

---

\*Corresponding Author: [bsouri@uok.ac.ir](mailto:bsouri@uok.ac.ir)

Tel: +98 871 6620550, Fax: +98 871 6620551