

مقایسه شاخص‌های غنی‌شدگی، ریسک اکولوژیکی، بار آلودگی و ضریب واگرایی به منظور برآورد آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار نیمه غربی ایران

مهدی رجبی^۱، بابک سوری^{۲*}

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲ دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۷/۰۹)

چکیده

ذرات معلق گرد و غبار با منشا فرسایش بادی خاک از عوامل آلاینده هوا به شمار می‌روند که هنگام جابه‌جایی در اتمسفر مقادیری از ترکیبات موجود در قشر زمین را حمل نموده و موجب کاهش کیفیت محیط‌زیست می‌شوند که این امر با به کارگیری شاخص‌های مختلفی قابل ارزیابی است. در این تحقیق مقادیر دو فلز Fe و Mn و شش فلز Zn, Cu, As, Ag, Cr, Ni به ترتیب به روش شعله و کوره گرافیکی جذب اتمی در نمونه‌های گرد و غباری که به مدت یک سال با فواصل زمانی ۱۰ روزه از سه شهر واقع در نیمه غربی کشور (اندیمشک، خرم‌آباد و سنندج) که در عرض‌های جغرافیایی متفاوتی قرار دارند تهیه شد. سپس سطح خطر آلودگی این فلزات سنگین در نمونه‌های به دست آمده با استفاده از شاخص‌های EF (Enrichment Factor)، ERⁿ (Ecological Risk)، PLI (Pollution Load Index) و CD (Coefficient of Divergence) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از برآورد سطح بالای خطر آلودگی Cu و Ag در گرد و غبار هر سه شهر با استفاده از شاخص‌های EF و ERⁿ بود. همچنین شاخص PLI بیشتر بودن آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار سنندج را تایید نمود. علاوه بر این شاخص CD به طور نسبی شباهت بیشتری میان گرد و غبار خرم‌آباد و اندیمشک از حیث مقادیر فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در طول دوره نمونه‌برداری نشان داد ضمن آن که سطح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار هر سه ایستگاه در فصل زمستان بیشترین مقادیر را نسبت به سایر فصول دارا بود.

کلید واژه‌ها: گرد و غبار غرب ایران، فلزات سنگین، Pollution Load Index, Ecological Risk, Enrichment Factor, Coefficient of Divergence.

سرآغاز

طوفان‌های گرد و غباری رویدادهای طبیعی هستند که به طور گسترده در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به‌ویژه در مناطق نیمه گرمسیری جهان به وقوع می‌پیوندند. هر چند وقوع این پدیده ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیمی مانند بارندگی، دما، باد، پوشش گیاهی و نوع خاک دارد اما به طور کلی در اطراف عرض ۴۰ درجه شمالی و جنوبی کره زمین بیش از سایر نقاط جهان رخ می‌دهد (Ridgwell, 2003; Krueger et al., 2004; Griffin et al., 2003).

ایران به دلیل واقع شدن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و همچنین همسایگی با کشور عراق وقوع بادهای حامل گرد و غبار محلی و منطقه‌ای را تجربه کرده است (Khuzestani & Souri, 2013; Nadafi, 2010). اما در سالیان اخیر با شدت تکرار این پدیده به خصوص در پهنه غربی کشور تحت تاثیر طیف وسیعی از خسارت‌های زیانبار ذرات معلق گرد و غبار قرار گرفته است. این طوفان‌ها به علت دارا بودن حجم بسیار زیادی از ذرات معلق هر ساله خسارت فراوانی به گستره فعالیت خود وارد می‌کنند. ذرات گرد و غبار علاوه بر کاستن از کیفیت هوا و قابلیت دید که آسمانی تار و حزن انگیز به وجود می‌آورد، نفوذ نور خورشید و ریزش نزولات آسمانی را تحت تاثیر قرار داده و در مقیاس جهانی سبب تغییر در چرخه‌های طبیعی هواشناسی، زمین‌شناسی و محیط‌زیست می‌شود (Zhang et al., 2002; Wang et al., 2005; Krueger et al., 2004; Engelstaedter et al., 2006).

علاوه بر اثرات ذکر شده، جذب و انتقال فلزات سنگین توسط ذرات معلق گرد و غبار نقش تهدیدکننده آن را به عنوان سلامت انسان نشان می‌دهد (Khuzestani & Souri, 2013; Escudero et al., 2007). این فلزات به علت ویژگی‌های خاص خود از جمله سمیت، تجزیه‌ناپذیری و قابلیت تجمع‌پذیری به عنوان یک تهدید در محیط آب و خاک و هوا به شمار می‌روند (Nadafi, 2010; Irabien & Velasco., 1999).

این پدیده طبیعی در دهه اخیر با حضور مستمر خود آسمان ایران خصوصا نیمه غربی را تحت اثرات سوء خود قرار داده به نحوی که آن را از یک رویداد به یک بحران با منشا فرا قاره‌ای تبدیل کرده است (Rajabi & Souri., 2016).

با افزایش طوفان‌های گرد و غباری مطالعه‌های متعددی خصوصا در کشورهای تحت تاثیر این پدیده صورت گرفته است. فنگ و

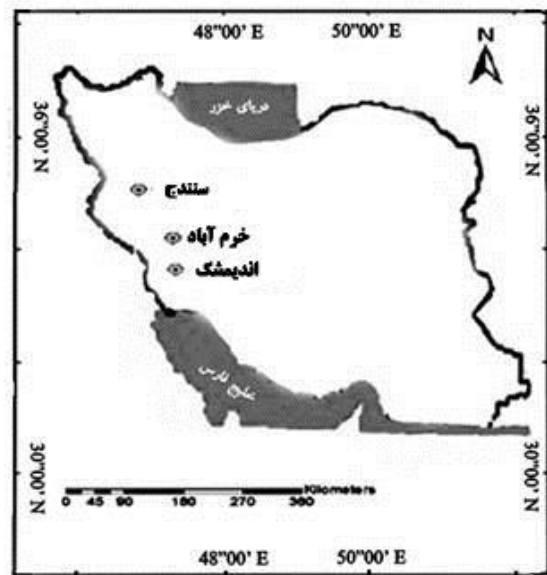
همکاران فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شمال کشور چین را مورد مطالعه قرار دادند (Feng et al., 2011). کروگر و همکاران به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های گرد و غبار چین و عربستان پرداختند (Krueger et al., 2004). همچنین سوری و خوزستانی میزان فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار شهر سنندج در غرب کشور را بررسی نمودند (Khuzestani & Souri, 2013). علاوه بر این زراسوندی و همکاران در مقاله‌ای ویژگی‌های ذرات گرد و غبار استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند (Zarasvandi et al., 2011).

کنترل، تعدیل و کاهش اثرات پدیده گرد و غبار نیازمند شناخت کامل و مطالعه دقیق ترکیبات موجود در ذرات گرد و غبار است. این تحقیق به بررسی فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار و نیز مقایسه کیفیت این ذرات در سه شهر سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک در نیمه غربی ایران پرداخته است. بدین منظور ضمن نمونه‌برداری گرد و غبار از سه ایستگاه، توزین گرد و غبار باریده در هر ایستگاه در مقیاس میکروگرم بر مترمربع صورت گرفت. بررسی مقادیر و سطوح آلودگی فلزات سنگین موجود در آنها با استفاده از شاخص‌های Ecological Enrichment Factor، Risk و Pollution Load Index آنالیز و همچنین به منظور مقایسه کیفیت گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه با توجه به فصول مختلف سال و نیز فاصله آنها از یکدیگر از شاخص Coefficient of Divergence استفاده شد (Abraham & Parker., 2008; Hakanson, 1980; Chen et al., 2007; Park & Kim., 2004).

مواد و روش‌ها

کار جمع‌آوری ذرات گرد و غبار از ایستگاه‌های سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک از ابتدای تیرماه ۱۳۹۱ با استفاده از روش سنجش ریزش^(۱) شروع شد (ASTM, 2010) و به مدت یک سال به طول انجامید (شکل ۱). در هر ایستگاه یک دستگاه جمع‌آوری‌کننده ذرات گرد و غبار^(۲) در ارتفاع ده متر از سطح زمین نصب شد (Jaradat et al, 2004) و تعداد ۳۶ نمونه در هر شهر و در مجموع ۱۰۸ نمونه در طول دوره یک ساله نمونه‌برداری شدند. لازم به ذکر است که محدودیت‌های هزینه، تردد و زمان تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری را در هر شهر به یک ایستگاه کاهش داد.

اطلاعات مربوط به سه ایستگاه نمونه‌برداری در جدول (۱) آمده است (اقتباس از مرکز آمار ایران). در هر ایستگاه نمونه‌های ذرات گرد و غبار بعد هر دوره ده روزه با آب دو بار تقطیر به آزمایشگاه منتقل و به مدت دو ساعت در دمای ۱۰۵ درجه قرار گرفت. با عبور نمونه‌ها از فیلتر واتمن، ۰/۱۵ گرم از محتویات نامحلول باقی‌مانده بر روی فیلتر با ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۰۱ درصد هضم شد. سپس نمونه ۹۵ دقیقه در دستگاه بلوک هضم^(۳) و ۳۰ دقیقه در دستگاه التراسونیک حرارت‌دهی شد. دوباره نمونه‌ها از فیلتر واتمن ۴۲ صاف شده و محلول به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید (Jaradat et al., 2004). در نهایت با استفاده از این محلول اندازه‌گیری فلزات Fe و Mn با استفاده از دستگاه جذب اتمی^(۴) به روش شعله^(۵) و Zn, Cu, As, Ag, Cr, Cd, Pb, Ni, به روش کوره گرافیکی^(۶) صورت گرفت.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در غرب ایران

جدول (۱): اطلاعات مربوط به سه ایستگاه سندانج، خرم‌آباد و اندیمشک به عنوان سه شهر مورد مطالعه

ایستگاه	کد	مقیاس جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین بارش سالیانه (mm)	جمعیت (۱۰,۰۰۰)	مساحت (Km ²)
سندانج	A	35°16'50,27°N 46°59'32,69°E	۱۴۹۶	۴۴۸	۴۵۰,۱۶۷	۴۰
خرم‌آباد	B	33° 27°52,22°N 48°20'36,47°E	۱۱۴۸	۵۲۸	۴۸۷,۱۶۷	۳۵
اندیمشک	C	48°20'25,20°E 33°28'84,46°N	۱۲۰	۱۳۶	۱۶۷,۱۲۶	۵/۳

عنصر در محتوی زمینه^(۸) مقایسه می‌شود. این غلظت‌ها بر اساس غلظت فلز مرجع آهن، نرمال شده و بر اساس فرمول (۲) محاسبه می‌شوند (Parker., 2008).

$$EF: (M_{\text{sample}}/Fe_{\text{sample}})/(M_{\text{standard}}/Fe_{\text{standard}}) \quad (2)$$

شاخص ریسک اکولوژیکی^(۹) (ERI)

به منظور بیان کیفی ریسک اکولوژیکی یک آلاینده فرمول (۳) پیشنهاد شده است:

$$Er^i = Tri^i * Cfi \quad (3)$$

که در آن:

Er^i ریسک اکولوژیکی آلودگی، Tri ضریب سمیت و Cfi ضریب

میزان ذرات گرد و غبار در هر ایستگاه با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد:

$$R = 1.273 (W/D^2) \times (10/N) \times 10^4 \quad (1)$$

که در آن: R غلظت ریزگردهای باریده در واحد سطح، W وزن کل گرد و غبار جمع شده و D قطر دهانه دستگاه نمونه‌برداری (۳۰cm) و N تعداد روزهای جمع‌آوری گرد و غبار است. (ASTM, 2010).

شاخص‌های مورد استفاده

شاخص غنی‌شدگی^(۷) (EF)

کاربرد شاخص EF به منظور ارزیابی آلودگی نمونه‌ها به فلزات سنگین است که در آن غلظت عناصر در نمونه آلوده با غلظت آن

Er^i آمده است.

آلودگی می‌باشد. (Hakanson, 1980)

در جدول (۲) طبقه‌بندی درجه ریسک بر اساس شاخص EF و

جدول (۲): طبقه‌بندی آلودگی بر اساس شاخص EF و Er^i

Er^i	سطح آلودگی	EF	سطح آلودگی
$Er^i < 40$	آلودگی کم	$EF < 1$	بدون آلودگی
$40 \leq Er^i < 80$	آلودگی متوسط	$1 < EF < 3$	آلودگی کم
$80 \leq Er^i < 160$	آلودگی قابل ملاحظه	$3 < EF < 5$	آلودگی متوسط
$160 \leq Er^i < 320$	آلودگی زیاد	$5 < EF < 10$	آلودگی متوسط تا زیاد
$320 \leq Er^i$	آلودگی بسیار زیاد	$10 < EF < 25$	آلودگی زیاد
		$25 < EF < 50$	آلودگی شدید
		$EF > 50$	آلودگی بسیار شدید

که در آن CD ضریب واگرایی، X_{ij} غلظت میانگین عنصر شیمیایی i در سایت z، j و k دو سایت نمونه‌برداری و p تعداد عناصر شیمیایی مورد مطالعه است. هر چه ضریب واگرایی به صفر نزدیک شود نشان از تشابه، و با نزدیکی به عدد یک میزان تفاوت در عناصر شیمیایی مورد مطالعه دو سایت نمونه‌گیری را بیان می‌کند.

یافته‌ها

شکل (۲) روند تغییرات میزان ذرات گرد و غبار باریده بر واحد سطح در سه شهر سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه‌برداری 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 سه ایستگاه به ترتیب در اواسط زمستان و اواخر بهار بوقوع پیوسته است ضمن آن که میانگین یک ساله میزان ذرات گرد و غبار باریده بر واحد سطح برای سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک به ترتیب 10 days gr/m^2 ، $1/73$ ، $2/66$ و $3/37$ اندازه‌گیری شدند.

در جدول (۳) مقادیر میانگین غلظت فلزات سنگین ذرات گرد و غبار سه ایستگاه و نیز سطوح آلودگی آنان بر اساس شاخص EF و Er^i آمده است. ملاحظه می‌شود در هر سه ایستگاه Fe و Mn بیشترین و Ag و Cd کمترین میانگین غلظت را در بین تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه دارا هستند.

در جدول (۳) میانگین شاخص EF، Er^i و PLI به تفکیک هر ماه برای هر سه ایستگاه آمده است. برای EF و Er^i بدین صورت

شاخص بار آلودگی ($PLI^{(10)}$)

PLI شامل ضریب آلودگی است که این ضریب از تقسیم کردن غلظت فلز آلاینده در نمونه موردنظر به غلظت زمینه‌ای همان فلز به دست آمده و بیانگر میزان آلودگی نمونه به آن فلز سنگین است (Chen et al., 2007; Qishlag et al., 2007).

ضریب آلودگی طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Cf: C_{\text{sample}} / C_{\text{background}} \quad (4)$$

که در آن:

Cf : ضریب آلودگی، C_{sample} : غلظت فلز در نمونه و $C_{\text{background}}$: غلظت زمینه‌ای فلز می‌باشد.

فرمول شاخص بار آلودگی بر اساس فرمول ضریب آلودگی به شکل زیر به دست می‌آید:

$$PLI = (Cf_1 * Cf_2 * Cf_3 * \dots * Cf_n)^{1/n} \quad (5)$$

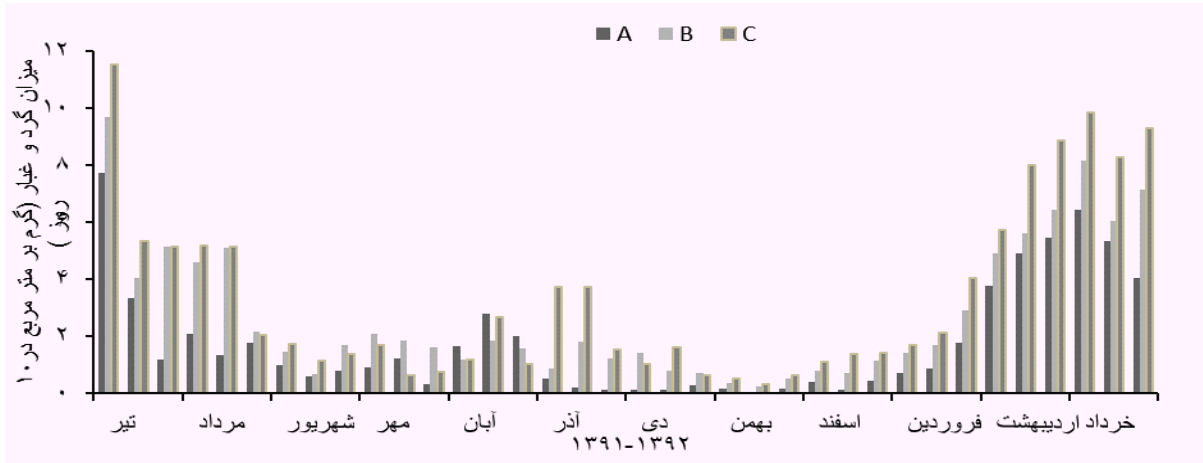
که طبق آن PLI شاخص بار آلودگی و n تعداد فلز مورد مطالعه است.

ضریب واگرایی ($CD^{(11)}$)

به منظور قضاوت در مورد شباهت یا تفاوت (کیفیت) در غلظت‌های عناصر شیمیایی متنوع در ذرات معلق مکان‌های مختلف، از CD طبق فرمول (۶) محاسبه استفاده می‌شود (Park & Kim., 2004).

$$CD = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \left[\frac{(X_{ij} - X_{ik})}{(X_{ij} + X_{ik})} \right]^2} \quad (6)$$

که میانگین سطوح آلودگی و سمیت هر یک از فلزات در ماه برای هر ایستگاه در هر ماه به دست آمد. محاسبه شده و میانگین مجموع ماهیانه همه فلزات مورد بررسی



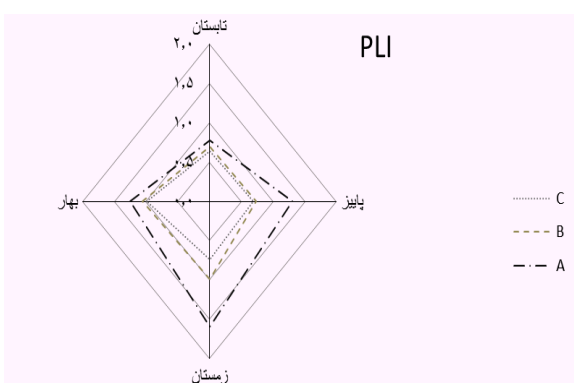
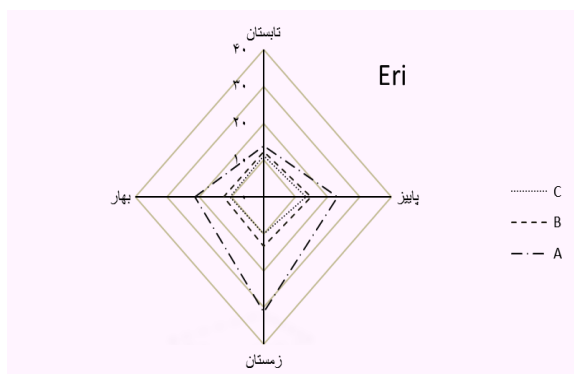
شکل (۲): روند تغییرات میزان ذرات گرد و غبار باریده بر سه شهر سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک در طول دوره نمونه‌برداری ($gr/m^2.10\ days$)

جدول (۳): میانگین غلظت یک ساله فلزات سنگین (برای Fe, Mn, Zn, Cu بر حسب mg/g و سایر فلزات $\mu g/g$) و سطوح آلودگی آنان بر اساس شاخص EF و Er^i

Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ag	Ni	Cd	Pb	As		
۱۹/۳۹	۰/۶۰	۰/۲۱	۰/۴۱	۱۶/۸۱	۰/۸۰	۴۳/۴۲	۰/۳۹	۳۱/۳۳	۱۵/۱۵	Concentration	A
۱/۰۰	۲/۱۲	۶/۱۶	۲۳/۰۴	۰/۷۳	۲۲/۲۸	۱/۳۵	۳/۶۵	۴/۳۰	۳/۱۱	EF	
۰/۴۲	۰/۷۱	۲/۱۹	۴۵/۷۲	۰/۵۰	۱۱۴/۵۷	۲/۴۳	۳۸/۵۲	۷/۸۴	۱۱/۶۶	Er^i	
۱۴/۷۲	۰/۴۸	۰/۱۶	۰/۱۷	۱۱/۵۲	۰/۳۴	۳۴/۵۷	۰/۴۴	۲۲/۷۹	۱۲/۶۱	Concentration	B
۱/۰۰	۲/۰۴	۶/۴۰	۱۴/۴۹	۰/۶۱	۱۷/۵۴	۱/۴۲	۵/۵۹	۴/۲۱	۳/۳۹	EF	
۰/۳۴	۰/۵۷	۱/۷۶	۱۹/۴۲	۰/۳۴	۴۹/۰۱	۱/۹۳	۴۴/۲۸	۵/۷۰	۹/۷۰	Er^i	
۱۴/۸۰	۰/۴۰	۰/۱۷	۱۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۲۹	۳۳/۸۱	۰/۳۴	۱۴/۶۱	۱۱/۶۸	Concentration	C
۱/۰۰	۱/۷۴	۶/۷۹	۰/۵۵	۱۵/۶۹	۱۵/۴۵	۱/۴۷	۴/۲۷	۲/۶۲	۳/۲۹	EF	
۰/۳۲	۰/۴۶	۱/۷۸	۰/۳۰	۲۰/۴۰	۴۱/۲۵	۱/۸۸	۳۳/۵۶	۳/۶۵	۸/۹۹	Er^i	

جدول (۴): مقادیر میانگین فصلی شاخص‌های EF و Er^i و PLI برای سه ایستگاه سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک

C			B			A			ایستگاه
PLI	Er^i	EF	PLI	Er^i	EF	PLI	Er^i	EF	
۰/۶۴	۱۱/۳۰	۲/۵۸	۰/۶۹	۱۲/۲۷	۳/۲۳	۰/۷۷	۱۳/۸۲	۲/۹۴	تابستان
۰/۶۹	۱۳/۳۴	۵/۲۸	۰/۷۳	۱۴/۸۱	۴/۲۵	۱/۳۰	۲۳/۱۱	۶/۴۹	پاییز
۰/۷۴	۹/۹۵	۷/۲۰	۰/۹۹	۱۳/۴۵	۷/۵۸	۱/۵۹	۳۱/۲۳	۱۱	زمستان
۰/۹۸	۱۰/۳۶	۵/۲۸	۱/۰۴	۱۲/۴۶	۶/۶۰	۱/۲۵	۲۱/۴۵	۹/۵۹	بهار



شکل (۴): تغییرات فصلی مقادیر آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین برای هر سه ایستگاه بر اساس شاخص‌های EF ، E_r و PLI

هر سه شاخص به طور نسبی در فصل زمستان بیشترین مقادیر آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین را نشان می‌دهند که در ایستگاه سنندج با وضوح بیشتری مشخص است.

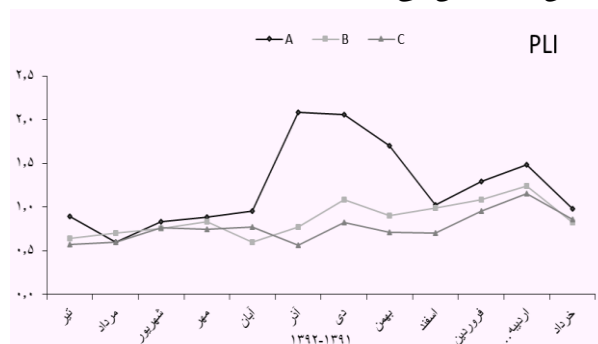
در شکل (۵) روند تغییرات شاخص CD برای سه ایستگاه نمونه برداری آمده است.

میانگین یک ساله CD برای ایستگاه سنندج و خرم‌آباد ۰/۲۷، برای ایستگاه سنندج و اندیمشک ۰/۳۶ و برای ایستگاه خرم‌آباد و اندیمشک ۰/۱۹ به دست آمد. که نشان‌دهنده میزان مشابهت کیفی گرد و غبار در ایستگاه‌ها می‌باشد.

شکل (۶) ارتباط فصلی شاخص CD با فاصله ایستگاه‌های نمونه برداری را نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر مقادیر CD نیز بیشتر می‌شود به نحوی که بیشترین میزان CD برای سنندج-اندیمشک (زمستان) که بیشترین فاصله جغرافیایی را از همدیگر دارند، به دست آمده است.

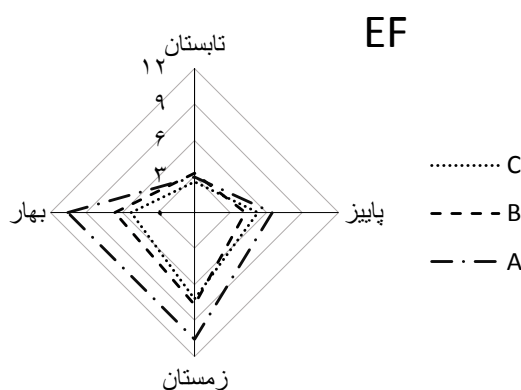
شکل (۳) سطوح آلودگی گرد و غبار سه ایستگاه را بر اساس شاخص PLI نشان می‌دهد.



شکل (۳): روند تغییرات PLI برای فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در سه ایستگاه سنندج، خرم‌آباد و اندیمشک

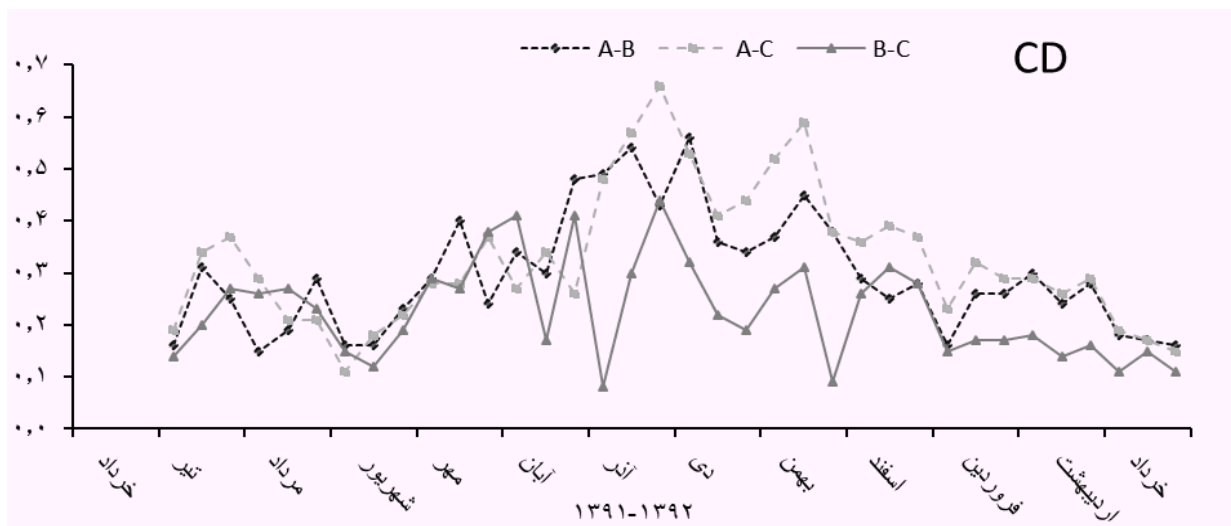
می‌توان گفت روند تغییرات PLI از روندی مشابه خصوصاً برای ایستگاه‌های خرم‌آباد و اندیمشک پیروی می‌کند. به عبارتی تغییرات یک ساله آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین از روند مشابه‌ای برای سه ایستگاه حکایت دارد. هر چند PLI به طور نسبی سطوح بیشتری از آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین را برای ایستگاه سنندج نشان می‌دهد.

در شکل (۴) تغییرات فصلی شاخص‌های EF ، E_r و PLI را برای هر ایستگاه در دوره یکساله نمونه برداری نشان داده شده است.

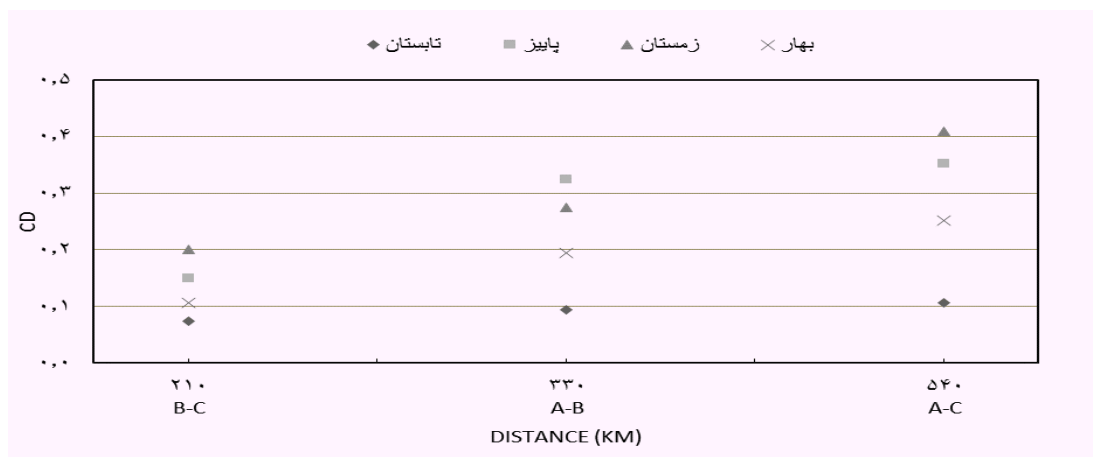


(برای هر زوج ایستگاه) با مقادیر CD (برای همان زوج ایستگاه) در تست پیرسون مورد همبستگی قرار گرفت. در ادامه ارتباط میانگین دوره‌های ده روزه میزان گرد و غبار ایستگاه‌ها به صورت زوجی مقایسه شده و سپس با CD نظیر آنها بررسی شده است.

جدول (۶) ارتباط CD با میانگین غلظت ۴ پارامتر هواشناسی (سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی و فشار) دو ایستگاه نظیر و میانگین گرد و غبار باریده دو ایستگاه متناظر بر اساس تست پیرسون آمده است. در این آنالیز ابتدا میانگین ده روزه ۴ پارامتر برای هر ایستگاه محاسبه شده سپس تفاضل این میانگین



شکل (۵): روند تغییرات CD در سه ایستگاه سنندج، خرم آباد و اندیشک



شکل (۶): ارتباط فصلی شاخص CD با فاصله ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول (۶): ارتباط CD با میانگین ۴ پارامتر هواشناسی و میانگین گرد و غبار در سه ایستگاه

CD		تفاضل میزان گرد و غبار			تفاضل میانگین پارامترهای هواشناسی		
		A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
CD	A-B	-۰/۴۷۶			-۰/۶۷۹*		
	A-C		-۰/۴۴۶			۰/۲۲۵	
	B-C			-۰/۴۶۱			-۰/۶۹۴*

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

بحث و نتیجه‌گیری

پدیده گرد و غبار خاص مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Griffin et al., 2003; Krueger et al., 2004). همسایگی با کشور عراق به عنوان کانون اصلی معضل ایجاد گرد و غبار (Khuzestani & Souri., 2013) در کنار این واقعیت که مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از دو سوم مساحت ایران را در بر می‌گیرد وقوع و تشدید این پدیده در ایران را توجیه‌پذیر می‌سازد. در میان سه ایستگاه بررسی شده در این تحقیق، شهر اندیمشک به دلیل قرار گرفتن در عرض جغرافیایی 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 (شکل ۲). با حرکت به سمت عرض‌های جغرافیایی بیشتر و دور شدن از منبع تولید ذرات گرد و غبار از میزان این ذرات کاسته می‌شود. (Zhang et al., 2002) از این رو میزان ذرات گرد و غبار باریده بر دو شهر خرم‌آباد و سپس سنندج روند کاهشی را نسبت به اندیمشک نشان می‌دهد. به بیان دیگر سنندج با وجود دارا بودن کمترین میزان گرد و غبار (شکل ۲) بیشترین میانگین مقادیر فلزات سنگین را داراست (جدول ۳). چنان که ایستگاه اندیمشک با بیشترین میزان گرد و غبار (شکل ۲) کمترین میانگین مقادیر فلزات سنگین را داشت (جدول ۳).

بر اساس شاخص EF، Ag و Cu بیشترین سطوح آلودگی را در گرد و غبار هر سه ایستگاه دارند (جدول ۴). در بررسی توصیفات کیفی شاخص EF، در ایستگاه سنندج عناصر Ag و Cu غنی‌شدگی شدید، عنصر Zn غنی‌شدگی متوسط تا شدید و دیگر عناصر حد غنای متوسط و یا کم را نشان می‌دهند. در ایستگاه خرم‌آباد عناصر Ag و Cu حد شدید، عناصر Zn و Cd حد متوسط تا شدید و دیگر عناصر حد غنی‌شدگی متوسط و یا کم را دارند. در ایستگاه اندیمشک عناصر Ag و Cu حد غنی‌شدگی شدید، عنصر Zn غنی‌شدگی متوسط تا شدید و دیگر عناصر حد غنی‌شدگی کم را دارا هستند.

همچنین بر اساس شاخص Er⁺ در ایستگاه سنندج Ag حد سمیت قابل ملاحظه و Cu حد متوسط سمیت را نشان می‌دهند. ضمن آن که در ایستگاه خرم‌آباد Ag و Cd و در ایستگاه اندیمشک Ag در حد متوسط از سمیت قرار دارند (جدول ۴). در بررسی میانگین ماهیانه مقادیر آلودگی فلزات سنگین، شاخص

EF در هر سه ایستگاه در بهمن بیشترین مقادیر را داراست. علاوه بر این شاخص Er⁺ برای ایستگاه سنندج و خرم‌آباد در آذر و برای ایستگاه اندیمشک در شهریور ماه بیشترین میانگین سطوح سمیت فلزات سنگین را نشان می‌دهد (جدول ۵).

شاخص PLI (شکل ۳) گرد و غبار ایستگاه سنندج را آلوده‌تر از دو ایستگاه دیگر نشان می‌دهد به طوری که برای سنندج ۱/۲۰، برای خرم‌آباد ۰/۸۵ و برای اندیمشک ۰/۷۶ به دست آمد که بالاترین سطح آلودگی را برای ایستگاه سنندج در آذر و برای خرم‌آباد و اندیمشک در اردیبهشت نشان می‌دهد.

از مقایسه روند فصلی مقادیر آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار بر اساس شاخص‌های EF، Er⁺ و PLI (شکل ۴)، فصل زمستان برای هر سه ایستگاه بیشترین مقادیر آلودگی و سمیت را داراست که به نظر می‌رسد سطح آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار مستقل از میزان گرد و غبار باریده می‌باشد. احتمالاً به خاطر اثرات شرایط آب و هوایی بر میزان آلودگی فلزات سنگین باشد (Jong et al., 2012).

شاخص CD که بر اساس میانگین غلظت ماهانه ده فلز سنگین به بررسی مقایسه کیفی گرد و غبار سه ایستگاه نمونه‌برداری پرداخته، ارتباط معناداری با مقادیر میانگین گرد و غبار باریده بر ایستگاه‌ها نشان نمی‌دهد (جدول ۶). در واقع معنادار نبودن ارتباط CD با میانگین گرد و غبار باریده بر ایستگاه‌های متناظر، حکایت از مستقل بودن کیفیت گرد و غبار از میزان گرد و غبار باریده بر ایستگاه‌ها دارد. همچنین شاخص CD کیفیت گرد و غبار ایستگاه‌ها را متأثر از وضعیت هواشناسی آنها بر اساس ۴ پارامتر سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و فشار هوا می‌داند. یعنی هر چه شرایط آب و هوایی (بر اساس ۴ پارامتر مذکور) بین ایستگاه‌ها تغییر کند شاخص CD نیز مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد چنانکه CD برای سنندج - خرم‌آباد به میزان 0.679 در سطح معنی‌داری ۵ درصد و برای خرم‌آباد - اندیمشک به میزان 0.694 در سطح معنی‌داری ۵ درصد با میانگین پارامترهای هواشناسی دو ایستگاه همبستگی دارد (جدول ۶).

تغییرات CD در ارتباط با فصول مختلف نسبت به فاصله ایستگاه‌های نمونه برداری قابل توصیف است. با تغییر فصول سال، ترکیب شیمیایی (کیفیت) گرد و غبار نیز تغییر می‌کند (Zhuzi et al., 2015) که این تغییر نشان‌دهنده افزایش تشابه کیفیت گرد و غبار با کاهش فاصله بین ایستگاه‌هاست به نحوی که دو ایستگاه خرم‌آباد و اندیمشک با فاصله ۲۱۰ کیلومتر از

ذکر هستند: فلزات نقره و مس و کادمیوم به طور نسبی بیشترین سطح آلودگی را در گرد و غبار هر سه ایستگاه دارا بوده و بیشترین میزان آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین، در ایستگاه سنج سبس ایستگاه خرم‌آباد و بعد ایستگاه اندیمشک به دست آمد. همچنین در هر سه ایستگاه، گرد و غبار باریده در فصل زمستان بیشترین میزان آلودگی به فلزات سنگین را دارا می‌باشد. احتمالاً میزان آلودگی گرد و غبار ارتباطی با حجم کلی گرد و غبار (خصوصاً در ایستگاه خرم‌آباد و سنج) ندارد. ضمن آن که شاخص CD تحت تاثیر فاصله جغرافیایی و نیز شرایط آب و هوایی ایستگاه‌ها به بررسی کیفیت گرد و غبار می‌پردازد که در فصل تابستان بیشترین کیفیت مشابه را برای گرد و غبار ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. در نهایت گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه منبع یکسانی دارد.

یادداشت‌ها

1. Deposit Gauge Method
2. Dust Fall Jar
3. Block Digest
4. Atomic Absorption
5. Flame Atomic Absorption Spectroscopy
6. Furnace Atomic Absorption Spectroscopy
7. Enrichment Factor
8. Background Concentration
9. Ecological Risk Index
10. Pollution Load Index
11. Coefficient of Divergence

کمترین مقادیر CD (بیشترین تشابه کیفیت گرد و غبار) برای هر فصل برخوردار هستند. همچنین با افزایش فاصله ایستگاه‌ها از هم، مقادیر CD برای فصول مختلف سال افزایش می‌یابد. برای مثال دو ایستگاه سنج و اندیمشک با فاصله ۵۴۰ کیلومتر بیشترین مقادیر CD (کمترین تشابه کیفیت گرد و غبار) را دارند. ضمن آن که در فصل تابستان کمترین مقادیر CD به دست آمد. بدین معنی که در این فصل تشابه کیفیت گرد و غبار در سه ایستگاه به بالاترین میزان خود می‌رسد. به عبارت دیگر تفاوت در کیفیت گرد و غبار با فاصله ایستگاه‌ها به تدریج افزایش پیدا می‌کند به طور مثال در زمستان CD برای ایستگاه سنج و اندیمشک بیشترین مقدار را نشان می‌دهد (شکل ۶). در واقع بیشترین تفاوت در کیفیت گرد و غبار سه ایستگاه در ماه‌های سرد سال (آذر، دی و بهمن) به دست آمده و با نزدیکی به ماه‌های گرم از میزان مقادیر CD کاسته و تشابه کیفیت گرد و غبار به تدریج نمایان می‌شود (شکل ۶).

احتمالاً گرد و غبار باریده بر سه شهر از منبع یکسانی باشد. روند مشابه در دوره یک ساله گرد و غبار باریده بر سه ایستگاه (شکل ۲)، سطوح مشابه آلودگی و سمیت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار سه ایستگاه (جدول ۳)، تشابه مقادیر ماهیانه (جدول ۴) و تغییرات فصلی (شکل ۴) آلودگی گرد و غبار به فلزات سنگین بر اساس EF ، Er و PLI و همچنین تشابه تغییرات کیفی گرد و غبار (شکل ۶) می‌تواند تاییدکننده منبع یکسان برای گرد و غبار باریده بر هر سه ایستگاه باشد.

به طور کلی و با توجه به شاخص‌های بررسی شده این نتایج قابل

فهرست منابع

- Ridgwell, A. J. 2003. Implications of the glacial CO₂, iron hypothesis for quaternary climate change. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 4(9). 1076.
- Griffin, D.W. & Christina, A. K. 2003. Dust Storms and Their Impact on Ocean and Human Health: Dust in Earth Atmosphere. *Eco Health Journal*. 1(3): 284-295.
- Krueger, B. J.; Grassian, V. H.; Cowin, J.P. & Laskin, A. 2004. Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: the importance of particle mineralogy. *Atmospheric Environment*. 38(36): 6253-61.
- Khuzestani, R. B. & Souri, B. 2013. Evaluation of heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan Province, Western Iran. *Journal of Environment Science*. 25(7) 1-9.
- Nadafi, K. 2010. Air pollution (its origin and control), Nas Scientific Institute, Inc, Tehran, Iran.
- Zhang, X.Y.; Cao, J. J.; Li, L .M.; Arimoto, R. Cao.; Cheng, Y.; Huebert, B. & Wang, D. 2002. Characterization of atmospheric aerosol over Xi'an in the South Margin of the Loess Plateau, China. *Atmospheric Environment*. 36(26): 4189-4199.

- Wang, Y.Q.; Zhang, X.Y.; Arimoto, R.; Cao, J. J. & Shen, Z. X. 2005. 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*. 39(14): 2631-42.
- Engelstaedter, S.; Tegen, I. & Washington, R. 2006. North African dust emissions and transport. *Earth-Science Reviews*. 79(1-2): 73-100.
- Escudero, M.; Querol, X.; Pey, J.; Alastuey, A.; Perez, N.; Ferreira, F.; Alonso, S.; Rodriguez, S. & Cuevas, E. 2007. A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. *Atmospheric Environment*. 41 (26): 5516-5524.
- Irabien, M. J. & Velasco, F. 1999. Heavy metals in Oka Rive sediments (Urdaibai National Biosphere Reserve, Northern Spain): Lithogenic and anthropogenic Effects. *Environmental Geology*. 37: 54-63.
- Rajabi, M. & Souri, B. 2016. Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran. *Journal of Health and Environmen*. 8 (1). 22-11. (persian)
- Feng, H.; Liu, N.; Zhang, X. & Du. Y. Liu. 2011. Contamination assessment of copper, lead, zinc, and chromium in dust fall of jinan, NE China. *Environ Earth Sei*: 11-1412-2
- Zarasvandi, A.; mer, F.; Nazarpour, A. 2011. Mineralogy and morphology of dust storms particles in Khuzestan province: XRD and SEM analysis concerning. *Journal of crystallography and mineralogy*. 2011; 19 (3):511-518. (In Persian)
- ASTM. 2010. Standard Method for Collection and Analysis for Dust fall (Settled Particulates). ASTM D-1739-82 & Standard Specification for Reagent Water. 11(3):1193-91.
- Jaradat, Q, M.; Momani, K, A.; Jbarah, A, Q. & Massadeh, A. 2004 Inorganic analysis of dust fall and office dust in an industrial area of Jordan. *Environmental Research*. 96: 139-144.
- Qishlag, A.; Moore, F. & Forghani, G. 2007. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran, *Environmental Monitiring Assessment*. 149: 254- 262.
- Abraham, GMS. & Parker, RJ. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree contamination in marine sediments from Tamaki. Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 136 (3) 227- 238.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach [J]. *Water Research*. 14: 975-1001.
- Chen, C. W.; Kao, C. M.; Chen, C. F. & Dong, C. D. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung harbor, Taiwan. *Chemosphere*. 66(8):1431-1440.
- Park, S. S. & Kim, Y. J. 2004. PM_{2.5} particles and size-segregated ionic species measured during fall season in three urban sites in Korea. *Atmospheric Environment*. 38: 1459-1471.
- Garrison, V. H.; Shinn, E. A.; Foreman, W. T.; Griffin, D. W.; Holmes, C. W.; Kellogg, C. A.; Majewski, M. S.; Richardson, L. L.; Ritchie, K. B. & Smith, G. W. 2003. African and Asian dust: from desert soils to coral reEFs. *Bioscience*. 53:469-480.
- Jong, k. C.; Jong, B. H.; Soo, J.B.; Seung, M.Y. & Kyung, D. Z. 2012. Chemical characteristics of PM 2.5 aerosol in Incheon, Korea. *Atmospheric Environment*. 60: 583-592.
- Zhuji, Z.; Junji, C.; Zhenxing, S.; Ru-Jin, H.; Tafeng, H.; Ping, W.; Ting, Z. & Suixin, L. 2015. Chemical composition of PM 2.5 at a high-altitude regional background site over Northeast of Tibet Plateau. *Atmospheric Pollution Research*. 6: 815-823.