



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی شاخص‌های آلودگی و غنی‌شدگی فلزات سنگین حمل شده توسط ذرات گرد و غبار اتمسفری در کلان شهرهای استان خوزستان

مسلم رحیمی^۱، مریم محمدی روزبهانی^{۱*}، خوشناز پاینده^۲، احد نظریور^۳، ابراهیم پناهپور^۲

- ۱- گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- ۲- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- ۳- گروه زمین شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: با توجه به گسترش هوای گرد و غباری و انتقال این ذرات به شهرهای استان خوزستان، بررسی وضعیت این ذرات از نظر آلودگی به فلزات سنگین و وضعیت آلودگی آنها اهمیت بالایی دارد.

روش بررسی: در این مطالعه، غلظت فلزات Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr در هوای ۴ شهر استان خوزستان (اهواز، دزفول، ماهشهر و آبادان) در شرایط گرد و غبار و بدون گرد و غبار طی یک دوره ۹ ماهه (فصول پاییز، زمستان و بهار) در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸ بررسی گردید. ۴۸ نمونه در شرایط آلوده و ۴۸ نمونه در شرایط غیر آلوده، در نقاط و زمان‌های یکسان و با استفاده از پمپ نمونه‌برداری High Volume با دبی ۱۱۰ L/min و به مدت ۶ h برداشت شد. غلظت فلزات با استفاده از دستگاه ICP سنجش شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات مورد بررسی به استثناء Ni, Mn, Mg در زمان گرد و غبار بالاتر از غلظت آنها در شرایط غیر گرد و غباری بود ($p < 0.05$). در هوای گرد و غباری ترتیب فلزات سنگین براساس غلظت $Cu > Fe > Pb > Cr > Ni > Mn > Mg > Zn$ و در هوای غیر گرد و غباری $Cr > Fe > Ni > Pb > Mn > Mg$ بود که نشان می‌دهد منشأ فلزات روی و مس و افزایش غلظت کروم در هوای آلوده، گرد و غبار و انتقال آلودگی از خارج به درون شهرها توسط این پدیده بوده است. شهرهای اهواز، دزفول، ماهشهر و آبادان از نظر وضعیت آلودگی به فلزات سنگین در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری وضعیت به شدت غنی شده را داشتند. در بررسی منشأ فلزات، نیکل، کروم، روی و منیزیم در مولفه اول، مس، سرب و منگنز در مولفه دوم و آهن در مولفه سوم قرار داشت که منشأ زمین‌زاد این فلز را در مقایسه با منشأ انسان زاد فلزات را تایید می‌کند.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه نشان داد که هر چند غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار هوا در هوای صاف و نیز گرد و غباری مقادیر پایینی را داشت اما نتایج خطر بالای فلزاتی نظیر روی در شهرهای استان خوزستان به ویژه ماهشهر را نشان می‌دهد که عموماً از فعالیت‌های درون شهری و یا استانی منشأ دارند که این موضوع با توجه به شرایط خشکسالی که زمینه را برای بروز بیشتر گرد و غبار فراهم می‌سازد، نیازمند توجه بیشتری است.

واژگان کلیدی: ارزیابی آلودگی، آلودگی هوا، غبار اتمسفری، خوزستان

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
mmohammadiroozbahani@yahoo.com

Please cite this article as: Rahimi M, Mohammadi Rouzbahani M, Payandeh Kh, Nazarpour A, Panahpour E. Investigation of pollution and enrichment indices of heavy metals transported by atmospheric dust particles in the metropolis of the cities of Khuzestan province. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;14(2):299-318.

مقدمه

طوفان گرد و غبار نتیجه اغتشاش هواست که توده بزرگی از گرد و غبار را در اتمسفر جابجا کرده و دید افقی را به کمتر از 100 m کاهش می‌دهد. غرب آسیا از جمله شبه جزیره عربستان، سوریه، عراق و ایران، به عنوان یکی از مهمترین منابع اولیه گرد و غبار کشورهای منطقه شناخته است (۱). از این رو در کشوری با وضعیت آب و هوای ایران، پدیده‌ای غیر طبیعی محسوب نمی‌شود. اما در طی سال‌های اخیر به دلایل مختلف نظیر افزایش ناگهانی تعداد روزهای گرد و غباری و افزایش سطح گرد و غبار موجود در هوا بخصوص در نواحی جنوب غربی ایران که تاثیر بسیار زیادی بر روی سلامت مردم و زندگی روزانه آنها دارد، گرد و غبار سبب بروز مشکلات بسیار زیادی شده است (۱، ۲). ذرات معلق می‌تواند سبب تغییر در وضعیت آب و هوایی و شرایط اقلیمی یک منطقه گردند. با توجه به شرایط فیزیکی ذرات معلق (شکل و سایز آنها) و مواد تشکیل دهنده آنها، این ذرات می‌توانند با انعکاس نور خورشید فضا، موجب خنک شدن سطح زمین شوند و یا در حالتی دیگر، با جذب نور خورشید، اتمسفر را گرم‌تر نمایند (۳). اگرچه آئروسول‌های فلزدار بخش کوچکی از ذرات معلق با جرم کم‌تر از $10\ \mu\text{m}$ را تشکیل می‌دهند اما غلظت‌های بیش از حد و یا مواجه طولانی مدت با آنها می‌تواند باعث اثرات سمی شدیدی بر روی انسان و محیط زیست گردد (۴). حضور این فلزات در هوا علاوه بر تهدید سلامت انسان (با افزایش $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ در غلظت ذرات کوچک‌تر یا مساوی $10\ \mu\text{m}$ ، مرگ و میر ۱ درصد افزایش می‌یابد)، با تحت تاثیر قرار دادن اکوسیستم و تجمع در بخش‌های مختلف یک زنجیره غذایی، ساختار آن را نیز تغییر می‌دهند (۵).

فلزات سنگین به دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه زیستی یکی از گروه‌های اصلی و خطرناک در بین آلودگی‌ها هستند (۶) و حلقه اولیه ورود این فلزات به هوا در زمان بروز گرد و غبار است (۷). سپس این مواد از طریق فرونشست یا از طریق تنفس و یا تماس پوستی و یا از طریق انتقال از زنجیره خاک و گیاه به شکل غیر مستقیم به بدن انسان وارد می‌شوند. مهمترین مسئله در بحث آلودگی فلزات سنگین همراه با گرد و غبار که به شکلی مداوم در یک منطقه بروز می‌شود اندازه‌گیری میزان سمیت، تجمع‌زیستی و بزرگنمایی زیستی، که امکان ارزیابی و توزیع آلاینده‌ها و انتقال

آنها را در زنجیره زیستی فراهم می‌سازد (۸). با توجه به خطرات این ذرات در طی سال‌های اخیر مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است از جمله Farahmandkia و همکاران (۹) در زنجان، Dibert و همکار (۱۰) در Abidjan، Esfandiari و همکاران (۱۱) در یزد و Sohrabi و همکاران (۱۲) در تهران که بر اثرات منفی ذرات گرد و غبار بر روی سلامت ساکنان این شهرها تاکید کردند.

در اغلب موارد، زمانی که چندین منشا آلودگی در یک ناحیه وجود دارد، بهبود خطر ریسک آلودگی بسیار مشکل است زیرا شناسایی منبع انتشار آلاینده‌های خطر و بهبود آن به سختی قابل انجام است در این شرایط ارزیابی مداوم آلودگی جهت ترسیم یک استراتژی ویژه اهمیت بالاتری پیدا می‌کند (۱۳) که این اصل در مورد شهرهای صنعتی در معرض گرد و غبارهایی با منشا خارجی و داخلی انطباق دارد. طی سال‌های اخیر گسترش خشکسالی در منطقه سبب خیزش مداوم گرد و غبار از کشورهای مجاور و نیز کانون‌های داخلی در جنوب غرب کشور شده است که پیامدهای کوتاه مدت زیادی بر روی سلامت را به در پی داشته است اما نکته‌ای که به ندرت مورد توجه قرار گرفته است اثرات طولانی مدت آلودگی‌های حمل شده توسط این ذرات نظیر فلزات سنگین است که با آلوده‌سازی و غنی نمودن محیط زندگی، پیامدهای نظیر بروز سرطان را در طولانی مدت در انسان افزایش می‌دهد (۱۴). از این رو مطالعه حاضر به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین موجود در ذرات گرد و غبار ورودی به ۴ کلان شهر ماهشهر، اهواز، دزفول و آبادان در استان خوزستان و محاسبه شاخص غنی‌شدگی این ذرات، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه

در این مطالعه چهار شهر پرجمعیت استان خوزستان (آبادان، اهواز، دزفول و ماهشهر) با موقعیت‌های متفاوت جغرافیایی، صنعتی و کشاورزی انتخاب شدند (جدول ۱). این چهار شهر در بخش‌های غربی، مرکزی، شمالی و جنوبی استان خوزستان قرار داشته و به سبب پراکندگی در سطح استان، می‌توانند بیانگر دیدی کلی از وضعیت استان خوزستان باشند.

جدول ۱- ویژگی‌های نقاط نمونه‌برداری در شهرهای استان خوزستان

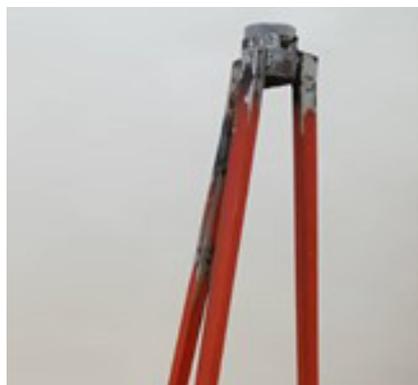
شهر	نوع منطقه	جمعیت شهر (نفر)*	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
آبادان	صنعتی - نفتی	۲۲۹۵۴۴	۳۰/۲۲	۴۸/۱۵	۶/۶
اهواز	صنعتی - نفتی	۱۰۵۹۴۶۱	۳۱/۲۰	۴۸/۴۰	۲۲/۵
دزفول	صنعتی - کشاورزی	۲۶۵۳۵۴	۳۲/۲۴	۴۸/۲۳	۱۴۳
ماهشهر	صنعتی - نفتی	۱۹۷۴۶۶	۳۰/۳۳	۴۹/۰۹	۶/۲

* طرح آمایش استان خوزستان، (۱۳۹۱) (۱۵)

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

بهار جمع‌آوری شد. نقاط نمونه‌برداری در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری یکسان بوده و نمونه‌برداری در ساعات یکسانی از روز انجام شد. نمونه‌برداری طبق روش استاندارد EPA (۱۶) و با رعایت فاصله دو برابر از موانع و فاصله ۱/۵ m از سطح زمین و با استفاده از پمپ نمونه‌برداری High Volume با دبی ۱۱۰ L/min و به مدت ۶ h صورت گرفت (شکل ۱).

این مطالعه توصیفی - مقطعی به مدت ۹ ماه (فصول پاییز، زمستان و بهار) و در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸ انجام گرفت. در هر شهر ۵ نقطه پر رفت و آمد و در هر نقطه ۲ نمونه در دو شرایط هوای صاف و بدون گرد و غبار و در زمان توفان گرد و غبار جمع‌آوری شد. در مجموع ۴۰ نمونه و در مجموع ۱۲۰ نمونه در شرایط آلوده و غیر آلوده در سه فصل پاییز، زمستان و



شکل ۱- پایه طراحی شده و فیلتر جهت نمونه‌گیری از ذرات گرد و غبار به مدت ۶ h

در سه مرحله تحت تشعشع ماکروویو قرار گرفتند. در مرحله اول به مدت ۶۰ min در دمای ۱۴۰ °C، سپس بعد از افزودن ۱ mL HClO₄، در دماهای ۱۶۰ °C و ۱۸۰ °C به مدت ۶۰ min و ۴۵ min تحت تشعشع قرار گرفتند. پس از سرد شدن، نمونه‌ها از استفاده از کاغذ صافی واتمن ۱۱ mL با پورسایز ۰/۴۵ μm عبور داده شدند (۱۷، ۱۸). در گام بعد محلول فیلتر

تفاوت وزن فیلتر قبل و بعد از فیلتر کردن، وزن ذرات جمع‌آوری شده را نشان داد که پس از اعمال حجم هوای عبوری، غلظت ذرات معلق کل محاسبه گردید. پس از نمونه‌برداری، ۰/۲ g از فیلترهای فایبر گلاس (قطر ۱۱ cm و پورسایز ۰/۲ μm) خرد و در ظروف پلی‌پروپیلنی حاوی ۸ mL اسید نیتریک (۶۵ درصد) و ۲ mL هیدروفلوریک اسید (۴۸ درصد)

معادله ۱، فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین مورد استفاده در این مطالعه است.

$$EF = \frac{[C_n/C_r]_S}{[C_n/C_r]_B} \quad (1)$$

$[C_n/C_r]_S$: غلظت فعلی عنصر مورد نظر به غلظت عنصر مرجع در نمونه

$[C_n/C_r]_B$: غلظت فعلی عنصر مورد نظر به غلظت عنصر مرجع در پوسته زمین

در جدول ۲ رده‌بندی رسوبات براساس ضریب غنی‌شدگی آورده شده است.

شده با آب مقطر به حجم ۵۰ mL رسانده شد. غلظت فلزات (Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr) با استفاده از دستگاه (inductively coupled plasma optical emission spectroscopy) ICP تعیین شدند.

فاکتور غنی‌شدگی (*Enrichment Factor*)

از این فاکتور برای تعیین منابع احتمالی طبیعی یا انسانی فلزات موجود در ذرات گرد و غبار استفاده می‌شود. عنصر مرجع، عنصری است که تغییرات اندکی در محیط داشته و غلظت آن در محیط متأثر از فعالیت‌های انسانی نباشد. در این مطالعه نیز، آهن به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شد (۱۹).

جدول ۲- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (۱۹)

مقادیر شاخص غنی‌سازی	شدت غنی‌شدگی
$EF < 2$	غناى حداقل
$2 \leq EF < 5$	غناى متوسط
$5 \leq EF < 20$	غناى قابل توجه
$20 \leq EF < 40$	غناى شدید
$EF \geq 40$	غناى بسیار شدید

شاخص جامع آلودگی (معادله ۳)، تمام عناصر سنگین را در یک نمونه بررسی و به عنوان متوسط شاخص آلودگی تمام عناصر، سه طبقه را معرفی می‌کند. این شاخص، ریسک آلودگی نسبت به همه فلزاتی که مورد بررسی قرار می‌گیرند، مشخص می‌شود (جدول ۳).

(۳)

$$PLI = \sqrt[9]{CF_{Cr} \times CF_{Cu} \times CF_{Zn} \times CF_{Pb} \times CF_{Ni} \times CF_{Fe} \times CF_{Mg} \times CF_{Mn}}$$

شاخص آلودگی (*Pollution Index*) و شاخص جامع آلودگی (*Integrated Pollution Index*)

در این مطالعه شاخص آلودگی (معادله ۲) و شاخص جامع آلودگی برای ارزیابی کیفیت هوا نیز استفاده شده است. شاخص آلودگی برای هر عنصر به صورت نسبت غلظت عنصر در نمونه به غلظت زمینه تعریف شده می‌شود (۱۹) (جدول ۳).

$$PI = \sqrt{\frac{(C_{f\text{average}})^2 + (C_{f\text{max}})^2}{2}} \quad (2)$$

جدول ۳- فاکتور غنی‌شدگی

سطح آلودگی	شاخص جامع آلودگی	شاخص آلودگی	کلاس
کم	$IPI \leq 1$	$PI \leq 1$	۱
متوسط	$1 < IPI \leq 2$	$1 < PI \leq 3$	۲
زیاد	$IPI > 2$	$PI > 3$	۳

پردازش داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری و ویرایش تمام داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزارهای SPSS^{۲۳} و Excel استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk مورد بررسی قرار گرفت. جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه از آزمون واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای تفکیک گروه‌های دارای اختلاف معنی‌دار از آزمون تکمیلی و از آزمون تی‌تست برای مقایسه غلظت فلزات در شرایط گرد غباری و غیر گرد و غباری استفاده شد. PCA جهت تعیین مولفه‌های تاثیرگذار و جهت دسته‌بندی داده‌ها و آنالیز خوشه‌ای جهت بررسی متغیرهای مورد بررسی در هوای گرد و غباری و غیر گرد و غباری منطقه مطالعاتی خوزستان بکار گرفته شد.

یافته‌ها

غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار

غلظت فلزات (Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr) در گرد و غبار شهرهای مختلف استان خوزستان (اهواز، آبادان، ماهشهر و دزفول) در جدول ۴ نشان داده شده است. در میان ۸ نوع فلز، در شرایط غیر آلوده در آبادان فلز Mn، در شهرهای اهواز و دزفول Mg و در ماهشهر فلزات Ni و Mg بالاترین غلظت را به ترتیب با مقادیر ۲۹/۰۳، ۳۲/۳۳، ۱۹/۶۵ و ۱۹/۲۷ mg/kg داشتند. در شرایط هوای آلوده (گرد و خاک) در هر ۴ شهر فلز Zn بالاترین غلظت را داشت (p<۰/۰۵). به جز غلظت فلزات نیکل و آهن در دزفول و اهواز که در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری اختلاف معنی‌داری نداشتند (p<۰/۰۵) سایر فلزات در شرایط غیر آلوده در مقایسه با شرایط آلوده غلظت بالاتری داشتند (p<۰/۰۵).

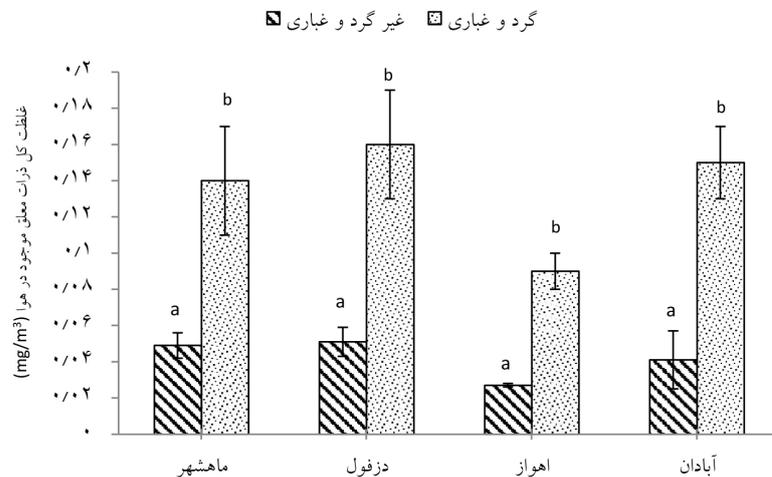
جدول ۴- غلظت فلزات در گرد و غبار جمع‌آوری شده (mg/kg) از شهرهای استان خوزستان (۹۸-۱۳۹۷)

عنصر	ماهشهر		دزفول		اهواز		آبادان	
	روز گرد و غباری	روز غیر گرد و غباری	روز گرد و غباری	روز غیر گرد و غباری	روز گرد و غباری	روز غیر گرد و غباری	روز گرد و غباری	روز غیر گرد و غباری
Cr	۵/۶۴±۰/۳۷ ^b	۲/۹۰±۰/۴۸ ^a	۴/۹۹±۱/۰۴ ^b	۱/۴۲±۰/۲۴ ^a	۳/۵۰±۱/۰۴ ^b	۲/۰۹±۰/۴۴ ^a	۳/۲۴±۰/۴۱ ^b	۲/۵۳±۰/۲۴ ^a
Cu	-	-	۰/۱۹±۰/۰۴	-	۰/۷۷±۰/۲۱	-	۰/۳۱±۰/۰۹	-
Zn	۱۱۸/۱۵±۴۴/۳۴	-	۲۲/۶۵±۲/۰۷	-	۶۴/۹۷±۱۲/۰۶	-	۷۹/۰۸±۵/۰۷	-
Pb	۱/۵۳±۰/۳۱ ^b	۰/۶۸±۰/۱۱ ^a	۱/۰۷±۰/۰۹ ^b	۰/۵۹±۰/۰۹ ^a	۲/۳۸±۰/۶۰ ^b	۰/۹±۰/۰۳ ^a	۲/۴۴±۰/۴۵ ^b	۱/۱۷±۰/۳۲ ^a
Ni	۹/۵۸±۲/۱۴ ^a	۸/۱۸±۲/۳۲ ^a	۳/۹۹±۰/۹۴ ^a	۳/۷۹±۰/۴۱ ^a	۳/۷±۱/۰۶ ^a	۲/۳۸±۰/۶۰ ^a	۳/۱۰±۰/۱۴ ^b	۱/۷۹±۰/۰۹ ^a
Fe	۳/۰۶±۰/۶۶ ^b	۱/۳۴±۰/۱۵ ^a	۰/۲۸±۰/۰۹ ^a	۰/۲±۰/۰۵ ^a	۰/۵۹±۰/۱۹ ^a	۰/۷۲±۰/۰۷ ^a	۰/۹۶±۰/۱۸ ^b	۰/۶۷±۰/۰۵ ^a
Mg	۴۰/۲۳±۹/۷۷ ^b	۱۹/۳۸±۲/۱۹ ^a	۳۰/۵۵±۵/۵۰ ^b	۱۰/۱۵±۱/۱۰ ^a	۴۱/۵۹±۷/۴۴ ^b	۲/۵۱±۵/۶۷ ^a	۱۶/۶۸±۳/۰۵ ^a	۱۷/۳۶±۲/۶۹ ^a
Mn	۸/۹±۰/۹۶ ^b	۶/۸۵±۰/۸۲ ^a	۶/۷۳±۰/۱۰	-	۱۰/۷۹±۱/۸۲ ^a	۱۱/۰۴±۱/۷۲ ^a	۲۳/۰۵±۶/۸۱ ^b	۱۲/۹۱±۴/۲۹ ^a

حروف غیر مشابه به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد بین روزهای گرد و غباری و غیر گرد و غباری در هر شهر است (p<۰/۰۵).

معنی‌داری افزایش یافت و بالاترین سطح افزایش ذرات گرد و غبار در دزفول و کمترین غلظت ذرات در اهواز اندازه‌گیری شد ($p < 0.05$).

با توجه به نتایج اندازه‌گیری شده (نمودار ۱)، غلظت ذرات گرد و غبار (ذراتی با سایز $0.8-8 \mu$) در ۴ شهر آبادان، ماهشهر، دزفول و اهواز با شروع گرد و غبار به شکل

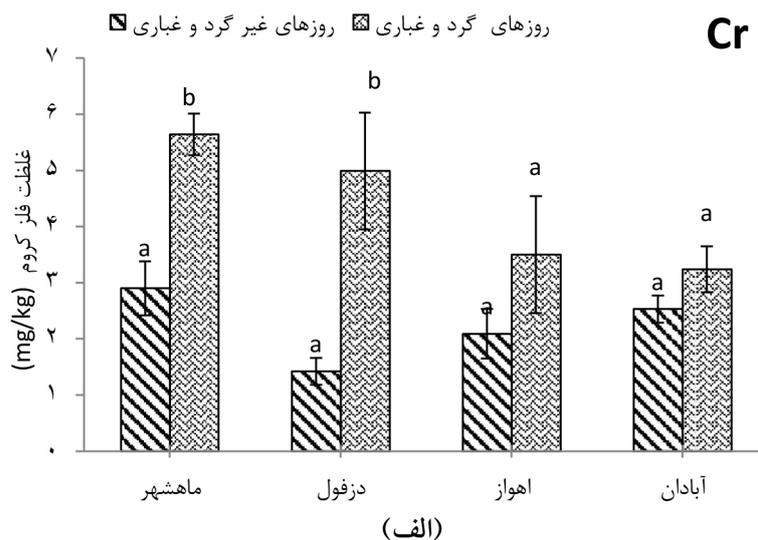


نمودار ۱- مقایسه میانگین غلظت ذرات گرد و غبار موجود در هوای شهرهای مورد بررسی

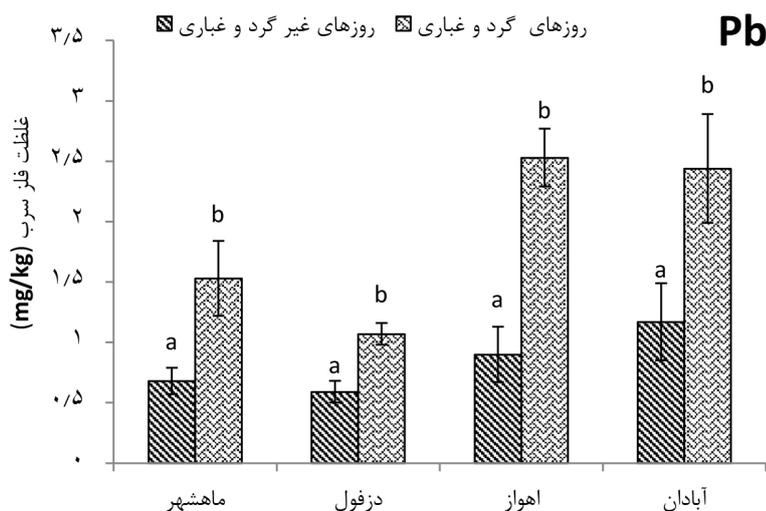
حروف غیر مشابه کوچک به معنی اختلاف معنی‌دار بین غلظت ذرات گرد و غبار در هر شهر است ($p < 0.05$).

($p < 0.05$) که نقش و اهمیت ورود گرد و غبار را در افزایش این فلزات را نشان می‌دهد. براساس نمودار ۲، غلظت فلزات نیکل بین دو شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری در شهرهای ماهشهر، دزفول و اهواز اختلاف معنی‌داری نداشت ($p < 0.05$).

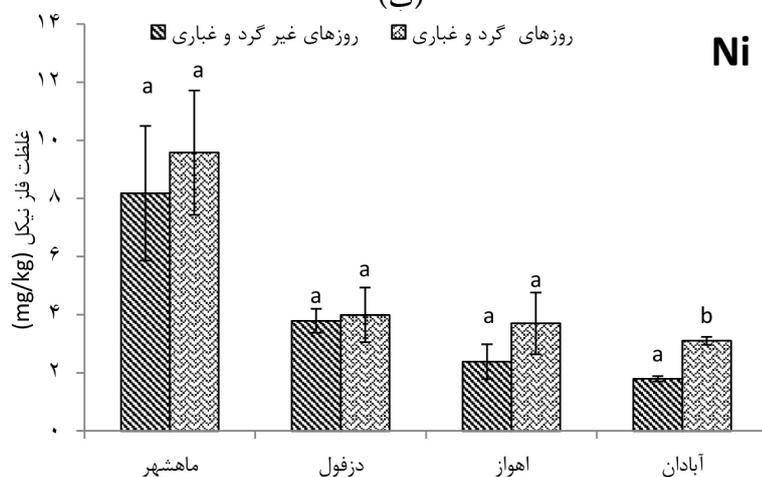
حروف غیر مشابه بزرگ به معنی اختلاف معنی‌دار بین غلظت ذرات گرد و غبار بین شهرهای مورد بررسی است ($p < 0.05$). غلظت فلزات کروم، مس، روی، سرب و آهن در شرایط گرد و غباری در مقایسه با شرایط غیر گرد و غباری بالاتر بود



نمودار ۲- مقایسه میانگین غلظت فلزات الف (Cr، ب (Pb، ج (Ni، د (Fe، ر (Mg، ز) Mn موجود در ذرات گرد و غبار در هوای آلوده و غیر آلوده



(ب)

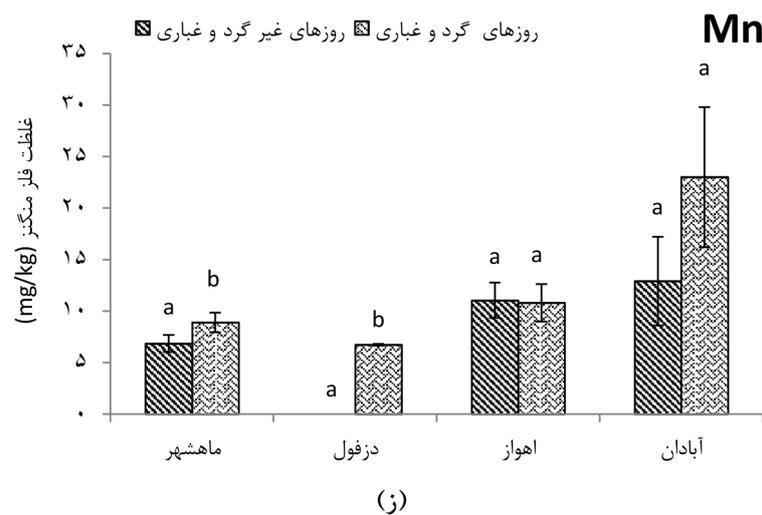
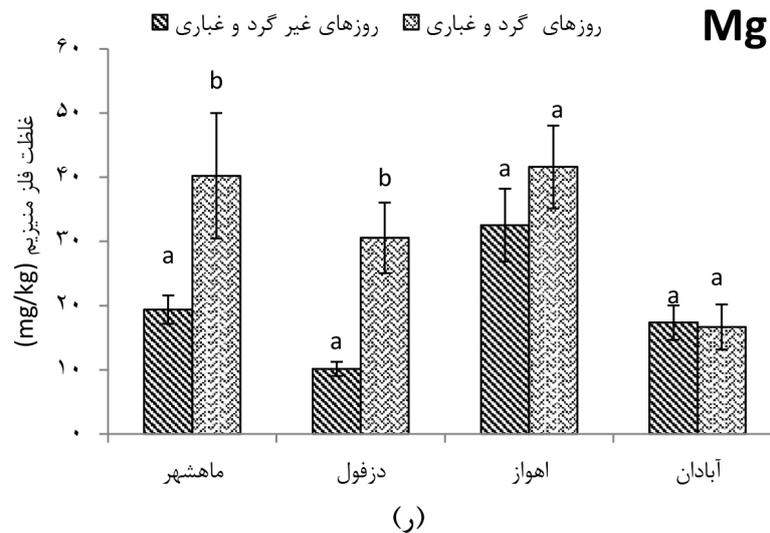


(ج)



(د)

ادامه نمودار ۲- مقایسه میانگین غلظت فلزات الف (Cr، ب) Pb، ج) Ni، د) Fe، ر) Mg، ز) Mn موجود در ذرات گرد و غبار در هوای آلوده و غیر آلوده

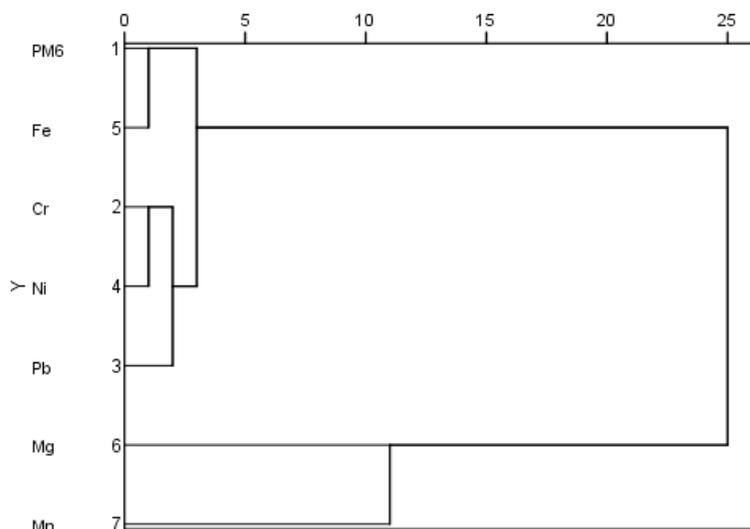


ادامه نمودار ۲- مقایسه میانگین غلظت فلزات الف (Cr، ب (Pb، ج (Ni، د (Fe، ر (Mg، ز) Mn موجود در ذرات گرد و غبار در هوای آلوده و غیر آلوده

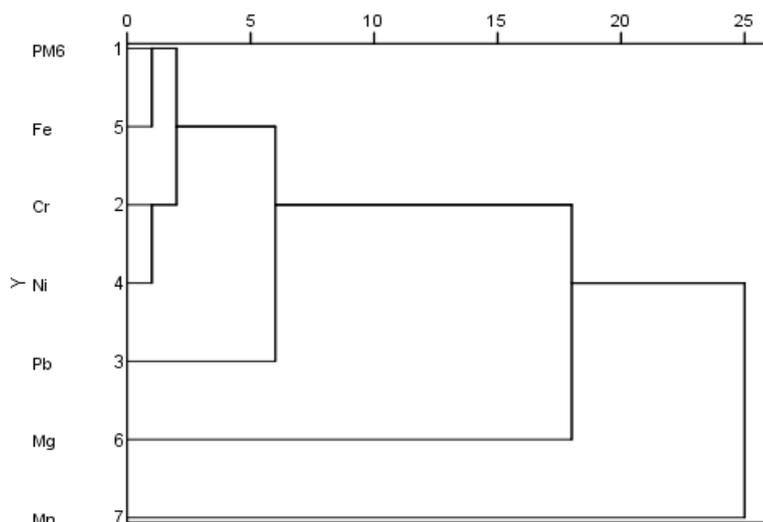
عموماً طبیعی) در یک خوشه، سایر فلزات به همراه ذرات معلق در خوشه جداگانه (منشا انسانی) قرار داشتند که با توجه به قرار گرفتن در یک خوشه دو فلز منگنز و منیزیم در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری، می‌توان عنوان کرد، گرد و غبار در افزایش این دو فلز تاثیر معنی‌داری نداشت ($p < 0.05$).

منشایی فلزات ذرات گرد و غبار جهت منشایی فلزات ذرات گرد و غبار در شرایط گرد و غبار و غیر گرد و غباری، از دندوگرام (نمودار ۳) استفاده شد. در شرایط هوای گرد و غباری، مس و روی شناسایی نشد. در سطح شباهت ۱۰، در هوای غیر گرد و غباری منیزیم و منگنز (منشا

هوای غیر گرد و غباری



هوای گرد و غبار



نمودار ۳- دندوگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای متغیرهای مورد بررسی در گرد و غبار منطقه مطالعاتی خوزستان

(۵). بالاترین شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین به فلز منگنز و کمترین آن به فلز سرب تعلق داشت. ترتیب شاخص غنی‌شدگی فلزات در استان خوزستان به شکل منگنز < منیزیم < کروم < نیکل < سرب بود.

– شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین در گرد و غبار شهرهای مورد بررسی در شرایط غیر گرد و غباری بجز در مورد سرب در شهر ماهشهر، در وضعیت به شدت آلوده قرار داشتند (جدول

جدول ۵- شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین در هوای غیر گرد و غبار شهرهای استان خوزستان (۱۳۹۷-۹۸)

فلز سنگین	ماهشهر		دزفول		اهواز		آبادان	
	شاخص غنی‌شدگی	رده بندی غنی‌شدگی						
Cr	۶۷/۱۶		۴۵۰		۱۲۵		۱۳۴/۳۲	
Pb	۲۲/۳۸		۱۵۰		۴۱/۶۶		۴۴/۷۷	
Ni	۵۰/۷۴		۳۴۷۰		۹۴/۴۴		۱۰۱/۴۹	
Mn	۶۳۴/۳۲		-		۱۱۸۰/۵۵		۱۲۶۸/۶۵	
Mg	۷۱۶/۲۲		۶۹۱۰		۴۲۳/۱۱		۶۵۷/۶۴	

راهنما: رنگ بندی شاخص غنی‌شدگی
 کم (سبز) متوسط (آبی) قابل توجه (قهوه‌ای) خیلی زیاد (قرمز) به شدت زیاد (بنفش)

را نشان داد. در شهر آبادان نیز به جز فلز سرب که در وضعیت آلودگی خیلی زیاد قرار داشت سایر فلزات وضعیت آلودگی به شدت زیاد را نشان دادند (جدول ۶). ترتیب شاخص غنی‌شدگی فلزات به شکل منگنز < منیزیم < روی < کروم < نیکل < سرب بود.

در شرایط هوای گرد و غباری، تمامی فلزات در شهرهای دزفول و اهواز شاخص غنی‌شدگی خیلی زیاد را نشان دادند. در ماهشهر فلزات کروم، روی، سرب در وضعیت آلودگی متوسط، نیکل در وضعیت آلودگی خیلی زیاد و منگنز وضعیت آلودگی به شدت زیاد

جدول ۶- شاخص غنی‌شدگی فلزات سنگین در هوای گرد و غبار شهرهای استان خوزستان (۱۳۹۷-۹۸)

فلز سنگین	ماهشهر		دزفول		اهواز		آبادان	
	شاخص غنی‌شدگی	رده بندی غنی‌شدگی						
Cr	۲۹/۴۱		۳۲۱/۴۲		۱۵۲/۵۴		۹۳/۷۵	
Cu	-		۱۶۰/۷۱		۷۶/۲۷		۶۴/۸۷	
Zn	۳۱/۰۴		۳۳۹/۲۸		۱۶۱/۰۱		۹۸/۹۵	
Pb	۹/۸۰		۱۰۷/۱۴		۵۰/۸۴		۳۱/۲۵	
Ni	۲۲/۲۲		۲۴۲/۸۵		۱۱۵/۲۵		۷۰/۸۳	
Mn	۲۷۷/۷۷		۳۰۳۵/۷۱		۱۴۴۰/۶۷		۸۸۵/۴۱	
Mg	۹۸۷/۱۶		۴۷۸۲		۲۹۸۶		۱۲۰/۱۰	

راهنما: رنگ بندی شاخص غنی‌شدگی
 کم (سبز) متوسط (آبی) قابل توجه (قهوه‌ای) خیلی زیاد (قرمز) به شدت زیاد (بنفش)

عامل وزنی مثبت برای مس، سرب و منگنز و مولفه سوم روی و آهن را نشان داد. عامل وزنی بالای فلز آهن در مولفه سوم نشان می‌دهد که این عنصر منشا مشترک و زمین‌زاد دارد. عامل وزنی مثبت زیاد فلزات نیکل، کروم، روی، منیزیم، مس، سرب و منگنز در مولفه اول و دوم در مقایسه با مولفه سوم، نشان دهنده منشا انسان‌زاد آنها در مقایسه با منشا زمین‌زاد این عناصر است.

تحلیل مولفه اصلی
 تحلیل مولفه اصلی یا PCA نوعی روش آماری چند متغیره است که در بررسی زیست محیطی جهت دسته بندی داده‌ها استفاده می‌شود (جدول ۷). نتایج مولفه اصلی برای عناصر مختلف در جدول نشان داده شده است. مولفه اول با ۳۹/۵۲ عامل وزنی مثبت بالای عناصر نیکل، کروم، روی و منیزیم را نشان داد. مولفه دوم با ۲۲/۳۵ درصد از واریانس کل دارای

جدول ۷- تحلیل عاملی عناصر در نمونه‌های غبار

Component	Component		
	۱	۲	۳
Cr	۰/۷۳۹	-۰/۳۷۵	-۰/۰۱۴
Cu	۰/۰۸۱	۰/۲۰۳	-۰/۸۷۵
Zn	۰/۷۸۱	۰/۳۵۵	۰/۳۰۷
Pb	-۰/۱۰۸	۰/۸۲۵	-۰/۳۵۴
Ni	۰/۹۰۷	-۰/۱۳۴	۰/۰۷۲
Fe	۰/۱۹۴	۰/۰۰۵	۰/۷۷۶
Mg	۰/۸۹۱	-۰/۰۶۵	-۰/۲۱۰
Mn	-۰/۰۵۹	۰/۹۲۲	۰/۰۴۳
% of Variance	۳۹/۵۲	۲۲/۳۵	۱۷/۹۴
Cumulative %	۳۹/۵۲	۶۲/۸۸	۸۰/۸۲

– شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی

این شاخص، شاخص آلودگی برای فلزات کروم، سرب، نیکل، آهن، منگنز و منیزیم در وضعیت آلودگی کم بود.

در جدول ۸ شاخص آلودگی در هوای غیر گرد و غباری در شهرهای استان خوزستان نشان داده شده است. براساس نتایج

جدول ۸- نتایج شاخص آلودگی در هوای غیر گرد و غباری شهرهای استان خوزستان (۹۸-۱۳۹۷)

فلز سنگین	شهر			
	آبادان	اهواز	دزفول	ماهشهر
Cr	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱
Pb	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱
Ni	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
Fe	۶۷۱۴۵۸ E -۰۸	۶۰۸۶۴۶E	۴/۹۴۰۶۱ E -۰۹	۵/۷۴۰۹۷E
Mg	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲
Mn	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴	-	۰/۰۰۰۱

کم (سبز) متوسط (قرمز) زیاد (بنفش)

راهنما: رنگ بندی شاخص آلودگی

مورد فلزات روی در ماهشهر در وضعیت آلودگی متوسط قرار داشت در حالی که این فلز در سایر شهرها وضعیت آلودگی کم را نشان داد.

در جدول ۹، شاخص آلودگی فلزات کروم، سرب، نیکل، آهن، منگنز و منیزیم و مس در هوای گرد و غباری در شهرهای ماهشهر، دزفول، اهواز و آبادان در وضعیت آلودگی کم و در

جدول ۹- نتایج شاخص آلودگی در هوای غیر گرد و غباری شهرهای استان خوزستان (۹۸-۱۳۹۷)

فلز سنگین	شهر			
	آبادان	اهواز	دزفول	ماهشهر
Cr	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
Cu	۴/۸۸۵۴ E -۰۵	۰/۰۰۰۳	۱/۸۶۹۱۶ E -۰۵	-
Zn	۰/۷۶	۰/۴۹	۰/۰۷	۲/۷۳
Pb	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
Ni	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۲
Fe	۶/۷۱۴۵۸ E -۰۸	۶/۰۸۶۴۶ E -۰۸	۴/۹۴۰۶۱ E -۰۹	۵/۷۴۰۹۷ E -۰۷
Mg	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۱
Mn	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳

راهنما: رنگ بندی شاخص آلودگی
 کم (سبز) متوسط (قرمز) زیاد (بنفش)

راهنما: رنگ بندی شاخص آلودگی

و غباری و غیر گرد و غباری در وضعیت آلودگی کم قرار داشت (جدول ۱۰).

براساس نتایج محاسبه شاخص جامع آلودگی، هوای شهرهای ماهشهر، دزفول، اهواز و آبادان در شرایط گرد

جدول ۱۰- نتایج شاخص جامع آلودگی در هوای غیر گرد و غباری شهرهای استان خوزستان (۹۸-۱۳۹۷)

فلز سنگین	شهر	
	گرد و غباری	غیر گرد و غباری
ماهشهر	۹/۵۴۷۶ -۳۰	۴/۰۶۱۲۵ E -۳۴
دزفول	۴/۷۲۶۴۲ E -۴۱	۲/۵۱۹۴۶ E -۳۳
اهواز	۳/۶۵۶۲۲ E -۳۶	۶/۰۷۸۴ E -۳۵
آبادان	۱/۵۳۷۳۸ E -۳۶	۲/۷۱۳۸۵ E -۳۵

راهنما: رنگ بندی شاخص جامع آلودگی
 کم (سبز) متوسط (قرمز) زیاد (بنفش)

راهنما: رنگ بندی شاخص جامع آلودگی

بحث

نداشته و شهری کشاورزی است و به جز در مورد منیزیم که به عنوان کود کشاورزی کاربرد دارد و غلظت بالایی در هوای دزفول داشت در مورد سایر فلزات شهر دزفول کمترین غلظت را داشت. در جدول ۱۱ غلظت فلزات سنگین در ذرات گرد و غبار شهرهای مورد مطالعه در استان خوزستان با مطالعات انجام شده در این استان و سایر شهر مقایسه شده است. براساس نتایج این جدول، غلظت فلزات سنگین در اهواز در مطالعه حاضر در مقایسه با مطالعه Neisi و همکاران (۱۸) روندی افزایشی داشت که این روند افزایشی در مطالعه Kianpor و همکاران (۲۲) نیز همچنان ادامه داشت که گسترش آلودگی را نشان می‌دهد. میانگین غلظت ذرات در مطالعه Amarloei و همکاران (۲۳) $9/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و افزایش اندازه ذرات را در زمان گرد و غبار در شهر ایلام گزارش کردند. همچنین در مطالعه Kamani و همکاران (۲۴)، غلظت ذرات معلق شهر زاهدان را حداقل و حداکثر $4/130-75/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ گزارش کردند که با توجه به محدوده $0/027-0/051 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در زمان گرد و غباری و $0/09-0/16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در زمان غیر گرد و غباری ضمن نشان دادن افزایش ذرات در زمان گرد و غبار نشان دهنده وضعیت بهتر شهرهای مورد بررسی در مطالعه حاضر در مقایسه با ایلام و زاهدان است که این تفاوت می‌تواند ناشی از الگوهای هوای و نیز سیستم‌های آورنده گرد و غبار در ایلام و نیز وزش بادهای موسمی و دائمی در زاهدان باشد. درخصوص غلظت ذرات معلق در هوا، براساس استاندارد ASTM (American Society for Testing and Materials) $0/26 \text{ mg}/\text{m}^3$ ، در زمان گرد و غبار و غیر گرد و غبار، غلظت ذرات معلق در محدوده مجاز قرار داشتند (۲۵).

مساله آلودگی هوا در شهرهای بزرگ به دلیل وجود منابع متعدد آلاینده از قبیل خودروها، صنایع، وسایل گرمایشی، فعالیت‌های ساختمانی و تجاری، طی چند دهه اخیر تشدید شده است که در کنار تغییرات اقلیمی و بروز بلایایی طبیعی افزایش دهنده آلودگی نظیر گرد و غبار، نگرانی‌های بسیاری را در پی داشته است (۲۰). در هوای گرد و غباری ترتیب فلزات سنگین براساس غلظت $\text{Cu} < \text{Fe} < \text{Pb} < \text{Cr} < \text{Ni} < \text{Mn} < \text{Mg} < \text{Zn}$ و در هوای غیر گرد و غباری $\text{Cr} < \text{Fe} < \text{Pb} < \text{Ni} < \text{Mn} < \text{Mg}$ بود. Lee و همکار (۲۱)، در مطالعه خود به عنوان ویژگی فلزات سنگین در ذرات معلق موجود در هوای گرد و غبار و عادی، گزارش کردند که میانگین غلظت ذرات سرب و منگنز در هوای غباری چندین برابر هوای عادی بودند. ترتیب غلظت فلزات سنگین در شهر اهواز در مطالعه Neisi و همکاران (۱۸) به صورت $\text{Ni} < \text{Cr} < \text{Pb} < \text{Mn} < \text{Cu} < \text{Zn}$ و در مطالعه Kianpor و همکاران (۲۲) به صورت $\text{Cu} < \text{Cr} < \text{Ni} < \text{Pb} < \text{Zn}$ بود که با روند غلظت فلزات در مطالعه حاضر همخوانی دارد و نشان دهنده منشا آلودگی یکسان و نیز تاثیر غلظت طبیعی فلزات موجود در یک منطقه بر روی غلظت فلزات حمل شده توسط ذرات گرد و غبار دارد.

در روزهای غیرگرد و غباری فلزات Mn در آبادان، Mg در اهواز، Ni، Cr و Fe در ماهشهر بالاترین مقدار را داشتند. در روزهای گرد و غباری Zn در ماهشهر و Cu و Pb در اهواز بالاترین میزان و در روزهای غیر گرد و غباری سرب آبادان بالاترین میزان را داشتند. وجه مشترک این سه شهر وجود صنعت استخراج و پالایش نفت است در حالی که در شهر دزفول این صنعت وجود

جدول ۱۱- مقایسه میانگین غلظت فلزات (mg/kg) در شرایط گرد و غبار در نقاط مختلف ایران (۹۸-۱۳۹۷)

Cr	Cu	Zn	Pb	Ni	Fe	Mg	Mn	مکان	تعداد نمونه	نویسنده
۳۵/۷	۵۴	۱۷۰	۶۸/۱	۷۹	۱۱۲۸۰	-	۳۶۵/۱	جنوب غرب ایران (بوشهر)	۵۰	Naderizadeh et al., 2016 (۲۶)
۱۷/۸	۱۱/۶	۹۱/۵	-	۳۶/۶	۳۲۸۵	۳۲/۶	-	کرمانشاه، ایران	۴۹	Ahmadi Doabi et al., 2016 (۲۷)
۰/۰۲۶	۰/۱۵۹	۰/۸۹	۰/۰۸۴	۰/۰۲	-	-	۰/۱۳۹	S ₁		
۰/۰۲۵	۰/۱۳۱	۰/۷۰۱	۰/۱۲۴	۰/۰۱۸	-	-	۰/۱۲۹	اهواز (شهری)	۱۰۸	Neisi et al., 2016 (۱۸)
۰/۰۲	۰/۰۷۲	۰/۳۸۶	۰/۰۳۶۹	۰/۰۱	-	-	۰/۰۸۲۶	S ₃		
-	۸/۶۳	۲۲/۸۷	۱۹/۱۲	۴/۰۴	۱۶۰۱۷۰	-	۲۲۵۶	یزد	-	Esfandiari et al., 2019 (۱۱)
۵۷	۴۵	۹۹۹	۸۶	۵۸	-	-	-	اهواز	۲۹	Kianpor et al., 2019 (۲۲)
۳/۲۴	۰/۳۱	۷۹/۷	۲/۴۴	۳/۱۰	۰/۹۶	۱۶/۶۸	۲۳/۰۵	آبادان		
۳/۵۰	۰/۷۷	۶۴/۹۷	۲/۵۳	۳/۷	۰/۵۹	۴۱/۵۹	۱۰/۷۹	اهواز	۱۲۰	مطالعه حاضر
۴/۹۹	۰/۱۹	۲۲/۶۵	۱/۰۷	۳/۹۹	۰/۲۸	۳۰/۵۵	۶/۷۳	دزفول		
۵/۶۴	N.D	۱۱۸/۱۵	۱/۵۳	۹/۵۸	۳/۰۶	۴۰/۲۳	۸/۹	ماهشهر		

(Not Detected) N.D: پایین‌تر از حد ردیابی

و سرب را به عنوان این فلزات گزارش کرد. طی تحقیقی در هند بیان شد که غلظت عناصر در گرد و غبار تحت تاثیر فاکتورهای هواشناسی، شرایط جغرافیایی و منابع تولید ذرات مانند منابع صنعتی، ترافیک، فعالیت‌های کشاورزی و منابع طبیعی تولید گرد و غبار است (۲۹). منشا روی و سرب در گرد و غبار سایش تایر و خوردگی قطعات فلزی اتومبیل‌ها است که این امر با توجه به افزایش حرکت ماشین‌ها و تعداد بالاتر ماشین‌ها بخصوص در کلان شهر اهواز در زمان‌های گرد و غبار قابل پیش‌بینی بود البته در خصوص فلزات کروم و نیکل نیز افزایش غلظت این فلزات را می‌توان با افزایش حرکت وسایل نقلیه همزمان با افزایش غلظت گرد و غبار مرتبط دانست (۳۰). Al Bakain و همکاران (۳۱) گزارش نمودند که نیکل عمدتاً از منابع

در شرایط غیر آلوده تحلیل خوشه‌بندی نشان داد که منشا منیزیم و منگنز و نیز نیکل با سایر فلزات متفاوت بود اما در شرایط گرد و غبار منشا روی با اختلاف بسیار بالا با سایر فلزات در دسته‌ای جدا قرار داشت که نشان می‌دهد غلظت روی به شدت تحت تاثیر گرد و غبار و انتقال آلودگی بخصوص از فضای پیرامون مراکز صنعتی قرار داشت. چنین نتیجه‌ای در تحلیل مولفه اصلی نیز به دست آمد به شکلی که هر ۷ فلز نیکل، کروم، روی، منیزیم، مس، سرب و منگنز دارای منشا انسان‌زاد بالاتری در مقایسه با زمین‌زاد (فقط آهن در این دسته قرار گرفت) داشتند. Jafari (۲۸) طی بررسی گرد و غبار اتمسفری کرمان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، دو منبع: منابع طبیعی برای نیکل و منگنز و منابع انسانی برای روی، مس

ناشی از فلزات سنگین در شرایط گرد و غباری (جدول ۵) به ترتیب منگنز < روی < کروم < نیکل < مس < سرب و در شرایط غیر گرد و غباری منگنز < نیکل < کروم < سرب بود. همچنین نتایج نشان دهنده افزایش تعداد فلزات موجود در ذرات و حضور فلزات روی و مس در شرایط گرد و غباری است. در مطالعه حاضر بیشینه فاکتور غنی‌سازی برای تمامی فلزات بالاتر از ۱۰ بود که نشان می‌دهد این فلزات در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری عمدتاً از منابع انسانی منشأ گرفته‌اند (۳۶). منگنز، کروم و نیکل در شرایط غیر گرد و غباری و منگنز، روی و کروم در شرایط گرد و غباری بالاترین میزان EF را داشتند. Goodarzi و همکاران (۳۷)، منشأ زمینی فلز آلومینیوم را عامل غنی‌سازی پایین‌تر و غنی‌سازی بالاتر روی و سرب را با منابع انسان ساخت همانند حمل و نقل و انتشارات صنعتی مرتبط دانستند و غلظت ذرات در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری همانند مطالعه حاضر از استاندارد تعیین شده بالاتر بود. در مطالعه Li و همکاران (۳۸) در چین کادمیوم، سرب و منگنز موجود در ذرات گرد و غبار شهری با مقادیر EF، ۸۱/۳۷، ۱۹/۵۱ و ۱۱ در مقایسه با فلزات نیکل، آرسنیک، کبالت، روی، مس و کروم، غنی‌شدگی بالاتری داشتند و علت بالاتر بودن شاخص غنی‌شدگی این فلزات به خصوص سرب و منگنز را با ترافیک مرتبط دانستند. Ahmadi Doabi و همکاران (۲۷) در بررسی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری استان کرمانشاه گزارش کردند که روی، مس، نیکل و کروم عمدتاً منشأ انسانی و آهن و منگنز منشأ طبیعی دارند. همچنین عنوان کردند منابع ترافیکی و فرایندهای احتراق عمده‌ترین منبع آلودگی این فلزات است. در بین ۴ شهر مورد بررسی، شهر ماهشهر روندی متفاوت در مقایسه با سایر شهرها داشت. در شرایط غیر گرد و غباری میزان غنی‌شدگی فلزات سنگین بالاتر از زمان گرد و غباری بود که این موضوع را با توجه به افزایش غلظت آهن در شرایط گرد و غباری در مقایسه با شرایط

صنعتی سرچشمه گرفته است. Wei و همکاران (۱۹)، طی تحقیقی منبع اصلی نیکل را ترافیک و صنعت گزارش کردند همچنین آنها دریافتند که انتشارات ترافیکی ممکن است منبع عمده آلودگی برای روی، مس و کروم باشد در حالی که کروم نیز ممکن است از ترکیب منابع ترافیکی و صنعتی منشأ گرفته باشد. بالا بودن غلظت ۵ فلز سنگین بخصوص فلزات روی و کروم در ماهشهر به احتمال زیاد می‌تواند ناشی از فعالیت‌های صنعتی به خصوص وجود مجتمع‌های بزرگ پتروشیمی باشد که در زمان گرد و غبار و وزش باد، این آلودگی را از خاک منطقه صنعتی به شهرها منتقل می‌کنند. این نشان می‌دهد که این عناصر می‌توانند با انباشت در سطح خاک، مناطق شهری را طی سال‌های آینده با مشکل جدی آلودگی همراه کنند و سبب برهم‌زدن توازن عناصر در خاک شوند. همچنین با انتقال به چرخه غذایی و جذب این عناصر توسط انسان، سلامت افراد جامعه به ویژه کودکان و سالمندان را در معرض خطر قرار دهند. مقایسه غلظت فلزات گرد و غبار شهرهای استان خوزستان با استان همجوار (کرمانشاه) که در مقایسه با استان خوزستان تعداد روزهای گرد و غباری بالاتری دارد، غلظت بالاتر آلودگی را نشان داد که شامل فلزات Co، Cd و Cr نیز بود.

از طرفی ذرات گرد و غبار عموماً از ذرات ریز در اندازه سیلت و رس تشکیل شده‌اند و به سبب سطح ویژه بالای آنها و همچنین تمایل فلزات سنگین برای جذب سطحی کانی‌های رسی (۳۲) قادرند مقادیر بالایی از فلزات سنگین را انتقال دهند. مقایسه غلظت فلزات نیکل، منگنز و آرسنیک در شرایط آلودگی هوا در ۴ شهر مورد بررسی با غلظت مرجع حاد و مزمن (۳۳) نشان داد که به جز مس، سایر فلزات غلظت بالایی داشتند. به دلیل غلظت بالای آهن در پوسته (۳۱) و نقش کم انسان برای ایجاد آن در اتمسفر (۳۴)، در این مطالعه از این فلز به عنوان فلز مبنا برای محاسبه غنی‌شدگی فلزات موجود در ذرات گرد و غبار استفاده شد (۳۵). بیشترین احتمال خطر

غلظت ذرات گرد و غبار در هر دو شرایط آلوده و غیر آلوده در محدوده مجاز قرار داشت. طی ۲۷۶ روز بررسی، گرد و غبار مسبب افزایش آلودگی هوا به فلزات Ni, Pb, Cr و Mn بوده و حامل ورود فلزات Cu و Zn به جو شهرهای ماهشهر، دزفول، اهواز و آبادان بود. از نظر شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی شهرهای ماهشهر (به جز روی در هوای گرد و غباری در شهر ماهشهر با وضعیت آلودگی خیلی زیاد)، دزفول، اهواز و آبادان وضعیت آلودگی کم را نشان دادند اما بالا بودن شاخص غنی‌شدگی، زنگ خطری برای تولید یک کانون از ذرات آلوده غنی از فلزات سنگین است که با کوچک‌ترین وزشی معلق شده و ریسک بروز بیماری را چندین برابر می‌سازد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه به عنوان "توزیع مکانی زمانی، تعیین ضرایب فرونشست در زمان‌های عادی و وقوع پدیده ریزگردها و ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی با فلزات سنگین در هوای شهرهای جنوبی استان خوزستان" در مقطع دکترا در دانشگاه آزاد اسلامی اهواز است.

غیر گرد و غباری و نقشی که این فلز در تعیین مقدار عددی غنی‌شدگی دارد توضیح داد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد هر چند غنی‌شدگی این فلزات در شهرهای استان خوزستان مقیاس به شدت غنی‌شده را نشان داد اما از نظر شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی این شهرها وضعیت آلودگی کم را نشان دادند که خود زنگ خطری بزرگ است زیرا وزش باد عامل حرکت این ذرات غنی شده از فلزات سنگین و انتقال این ذرات به درون شهرها است که خود کانونی جدید از آلودگی هستند که پاکسازی و مهار آنها اگر غیر ممکن نباشد بسیار سخت و هزینه‌برداری است. البته لازم به ذکر است که همزمان نبودن نمونه‌برداری در هر ۴ شهر به دلیل عدم دسترسی به تعداد زیاد پمپ و نیز نیروی متخصص و نیز فاصله گستردگی منطقه مورد بررسی، یکی از محدودیت‌های این پژوهش است که ممکن است با توجه به جهت وزش باد و نیز فاصله منشا گرد و غبار با شهر مورد بررسی، بر روی غلظت فلزات سنگین موثر باشد.

نتیجه گیری

این مطالعه غلظت ۸ فلز سنگین موجود در ذرات گرد و غبار هوای ۴ شهر پرجمعیت استان خوزستان (اهواز، ماهشهر، دزفول و آبادان) را در شرایط گرد و غباری و غیر گرد و غباری طی ۹ ماه مورد سنجش قرار داده است.

References

1. Boloorani AD, Nabavi SO, Bahrami HA, Mirzapour F, Kavosi M, Abasi E, et al. Investigation of dust storms entering Western Iran using remotely sensed data and synoptic analysis. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2014;12(1):1-12.
2. Mickovski SB, van Beek L. Test data from pullout experiments on vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) grown in semi-arid climate. *Data in Brief*. 2018;17:463-68.
3. Ye B, Ji X, Yang H, Yao X, Chan CK, Cadle SH, et al. Concentration and chemical composition of PM_{2.5} in Shanghai for a 1-year period. *Atmospheric Environment*. 2003;37(4):499-510.
4. WHO. Health and Environment in Europe: Progress Assessment. Copenhagen: World Health Organization; 2010.
5. 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.
6. Arpanaei A, Attarrosan S, Sabzalipour S, Arpanaei I. Bioaccumulation of some heavy metals (copper, nickel, and lead) and air pollution tolerance index of *Prosopis juliflora* and *Conocarpus erectus* species in Mahshahr, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;13(4):747-66 (in Persian).
 7. Zmijková D, Koliba M, Raclavský K. Human health risk assessment of heavy metals bound on particulate matter. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*. 2018;5:93-98.
 8. Kabir MH, Rashid MH, Wang Q, Wang W, Lu S, Yonemochi S. Determination of heavy metal contamination and pollution indices of roadside dust in Dhaka City, Bangladesh. *Processes*. 2021;9(10):1732.
 9. Farahmandkia Z, Moattar F, Zayeri F, Sekhavatjou MS, Mansouri N. Evaluation of cancer risk of heavy metals in the air of a high traffic urban region and its source identification. *Journal of Human, Environment and Health Promotion*. 2017;2(2):79-88.
 10. Dibert K, Paul D. Health risk assessment of heavy metals in road dusts at Attinguie tollbooth in Abidjan, Côte d'ivoire. *The International Journal of Engineering and Science*. 2018;7(9):13-19.
 11. Esfandiari M, Sodaiezadeh H, Hakimzadeh Ardakani MA, Mokhtari MH. Determination of heavy metal pollutions in the atmospheric falling dust by multivariate analysis. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2019;17(3):199-211.
 12. Sohrabi M, Hassanzadeh N, Hedayatzadeh F, Mofid M. Air quality and trace elements biomonitoring in Tehran urban areas using epiphytic lichen. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;13(4):705-34 (in Persian).
 13. Hajduga G, Generowicz A, Kryłów M. Human health risk assessment of heavy metals in road dust collected in Cracow. 11th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK; 2019; Cracow, Poland.
 14. Aguilera A, Bautista F, Gutiérrez-Ruiz M, Cenicerós-Gómez AE, Cejudo R, Goguitchaichvili A. Heavy metal pollution of street dust in the largest city of Mexico, sources and health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021;193(4):1-16.
 15. Khuzestan Management and Planning Organization. Planning studies of Khuzestan province. Ahvaz: Khuzestan Management and Planning Organization; 2012 (in Persian).
 16. EPA. Guidance on Use of Modeled Results to Demonstrate Attainment of the Ozone NAAQS. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1996.
 17. Yang Y, Liu L, Guo L, Lv Y, Zhang G, Lei J, et al. Seasonal concentrations, contamination levels, and health risk assessment of arsenic and heavy metals in the suspended particulate matter from an urban household environment in a metropolitan city, Beijing, China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187(7):1-15.
 18. Neisi A, Goudarzi G, Akbar Babaei A, Vosoughi M, Hashemzadeh H, Naimabadi A, et al. Study of heavy metal levels in indoor dust and their health risk assessment in children of Ahvaz city, Iran. *Toxin Reviews*. 2016;35(1-2):16-23.
 19. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010;160(1):33-45.
 20. Wang R, Zou X, Cheng H, Wu X, Zhang C, Kang L. Spatial distribution and source apportionment of atmospheric dust fall at Beijing during spring of

- 2008–2009. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(5):3547-57.
21. Lee B-K, Park G-H. Characteristics of heavy metals in airborne particulate matter on misty and clear days. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;184(1-3):406-16.
22. Kianpor M, Payandeh K, Ghanavati N. Environmental assessment of some heavy metals pollution in street dust in the industrial areas of Ahvaz. *Jundishapur Journal of Health Sciences*. 2019;11(3):e87212.
23. Amarloei A, Jonidi Jafari A, Asilian Mahabadi H, Asadollahi K. The evaluation of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₂ concentration during dust storm events in Ilam city, from Mar 2013 through Feb 2014. *Journal of Ilam University of Medical Sciences*. 2014;22:240-59 (in Persian).
24. Kamani H, Hassanvand MS, Khammari A, Haghighat S. Trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter of 2.5 μm and smaller in Zahedan city in 2018-2019. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;13(4):639-52 (in Persian).
25. USEPA. Soil screening guidance: Technical background document. Washington DC: Office of Solid Waste and Emergency Response; 2017. Report No.: 204601996.
26. Naderizadeh Z, Khademi H, Ayoubi S. Biomonitoring of atmospheric heavy metals pollution using dust deposited on date palm leaves in southwestern Iran. *Atmosfera*. 2016;29(2):141-55.
27. Ahmadi Doabi S, Afyuni M, Khademi H, Karami M. Statistical analysis of heavy metal contamination in atmospheric dusts of Kermanshah Province, Iran. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 2016;20(76):29-43.
28. Jafari F. The rate of sequestration and the most important characteristics of physical, chemical and biochemical properties of atmospheric dust in Kerman city [dissertation]. Isfahan: Isfahan University of Technology; 2013 (in Persian).
29. Verma SK, Deb MK, Suzuki Y, Tsai YI. Ion chemistry and source identification of coarse and fine aerosols in an urban area of eastern central India. *Atmospheric Research*. 2010;95(1):65-76.
30. Tepanosyan G, Maghakyan N, Sahakyan L, Saghatelian A. Heavy metals pollution levels and children health risk assessment of Yerevan kindergartens soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;142:257-65.
31. Al Bakain R, Jaradat Q, Momani K. Indoor and outdoor heavy metals evaluation in kindergartens in Amman, Jordan. *Jordan Journal of Physics*. 2012;5(1):43-52.
32. Ashokkumar S, Mayavu P, Sampathkumar P, Manivasagam P, Rajaram G, Marinebiology C, et al. Seasonal distribution of heavy metals in the Mullipallam creek of Muthupettai mangroves (southeast coast of India). *American-Eurasian Journal of Scientific Research*. 2009;4(4):308-12.
33. USEPA. Guidelines for carcinogen risk assessment. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2005.
34. Jiang Y, Shi L, Guang A-I, Mu Z, Zhan H, Wu Y. Contamination levels and human health risk assessment of toxic heavy metals in street dust in an industrial city in Northwest China. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018;40(5):2007-20.
35. Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2-3):1058-62.
36. Liu Q-T, Diamond ML, Gingrich SE, Ondov JM, Maciejczyk P, Stern GA. Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. *Environmental Pollution*. 2003;122(1):51-61.
37. Goodarzi M, Hoseini A, Ahmadi h. Assessing

Temporal and Spatial Distribution of Dust Storm in the south and south west of Iran. Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering. 2018;11(39):1-10.

38. Li K, Liang T, Wang L, Yang Z. Contamination and health risk assessment of heavy metals in road dust in Bayan Obo Mining Region in Inner Mongolia, North China. Journal of Geographical Sciences. 2015;25(12):1439-51.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Investigation of pollution and enrichment indices of heavy metals transported by atmospheric dust particles in the metropolis of the cities of Khuzestan province

Moslem Rahimi¹, Maryam Mohammadi Rouzbahani^{1*}, Khoshnaz Payandeh², Ahad Nazarpour³, Ebrahim Panahpour²

1- Department of Environmental Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Department of Soil Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

3- Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 04 August 2021

Revised: 15 September 2021

Accepted: 18 September 2021

Published: 22 September 2021

Keywords: Pollution assessment, Air pollution, Atmospheric dust, Khuzestan

*Corresponding Author:

mmohammadiroozbahani@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Due to the spread of dusty air and the transfer of these particles to the cities of Khuzestan province, it is very important to study the status of these particles in terms of heavy metal pollution and their pollution status.

Materials and Methods: In this study, the concentrations of Cr, Cu, Zn, Pb, Ni, Mn, Mg and Fe in the air of 4 cities of Khuzestan province (Ahvaz, Dezful, Mahshahr and Abadan) in dusty and dust-free conditions over a period of 9 months (autumn, winter and spring) were measured in 2018-2019. Due to the spread of dusty air and the transfer of these particles to the cities of Khuzestan province, it is very important to study the status of these particles in terms of heavy metal pollution and their pollution status.

Results: 48 samples in contaminated conditions and 48 samples in non-contaminated conditions were collected at the specific points and exact times using a High Volume sampling pump with a flow rate of 110 L/min for 6 hours. Metal concentrations were measured using ICP. Except for Ni, Mn and Mg, the mean concentration of other studied metals were higher at dusty conditions as compared with their values in non-dusty conditions ($p < 0.05$). In dusty and non-dusty air conditions the order of heavy metals based on their concentrations were obtained as following: Zn> Mg> Mn> Ni> Cr> Pb> Fe> Cu and Mg> Mn> Ni> Pb> Fe> Cr, respectively. This result shows that the origin of zinc and copper metals and the increase in chromium concentration in polluted air are due to the entering of dust and pollution transfer from the outside area into cities. The cities of Ahvaz, Dezful, Mahshahr and Abadan were highly enriched in terms of heavy metals pollution either in dusty or non-dusty conditions.

Conclusion: The findings of this study showed that despite low concentration of heavy metals in airborne dust particles in clear and dusty air, high health risks of metals such as zinc in cities of Khuzestan province, especially Mahshahr are probable. Further investigation showed that particles are generally derived from intra-city or provincial activities, which call for more attention due to the drought conditions that attributes to more dust formation.

Please cite this article as: Rahimi M, Mohammadi Rouzbahani M, Payandeh Kh, Nazarpour A, Panahpour E. Investigation of pollution and enrichment indices of heavy metals transported by atmospheric dust particles in the metropolis of the cities of Khuzestan province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(2):299-318.

