

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵
صفحات ۵۳۱ تا ۵۴۸

ارزیابی غلظت و میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری

مناطق شهری و صنعتی استان بوشهر

زینب نادری زاده^۱؛ شمس‌اله ایوبی^{۲*} و حسین خادمی^۳

۱- دانشجوی دوره دکتری علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲ و ۳- اساتید گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده:

این مطالعه به منظور بررسی غلظت و ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری مناطق شهری، صنعتی و بین شهری استان بوشهر واقع در جنوب غربی ایران انجام شد. بدین منظور ۵۰ نمونه گرد و غبار به صورت خشک از روی برگ‌های نخل و ۵۰ نمونه خاک سطحی در منطقه شهری بوشهر، منطقه صنعتی عسلویه و ترانسکت بین دو شهر به عنوان منطقه غیر شهری جمع‌آوری شد. غلظت کل سرب، مس، کروم، کبالت، منگنز، روی و نیکل نمونه‌های گرد و غبار و خاک بعد از هضم توسط اسید نیتریک ۶ نرمال توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. همچنین سطح آلودگی گرد و غبار اتمسفری به فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های آلودگی شامل فاکتور غنی‌شدن، درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی محاسبه شد. نتایج نشان داد غلظت سرب، مس و روی در گرد و غبار اتمسفری منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی و ترافیک است. نتایج شاخص‌های آلودگی نیز نشان داد بیشترین غنی‌شدگی مربوط به فلز سرب است که در هر سه منطقه در کلاس غنی‌شدگی خیلی زیاد قرار دارد. بیشترین درجه آلودگی گرد و غبار استان بوشهر به فلزات سنگین مربوط به منطقه شهری بوشهر است که در کلاس آلودگی خیلی زیاد قرار دارد. نتایج شاخص درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی نشان داد که گرد و غبار اتمسفری استان بوشهر از لحاظ مجموع این فلزات سنگین آلوده است.

کلید واژگان: فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، شاخص بار آلودگی

۱- مقدمه

امروزه افزایش انتشار منابع انسانی فلزات سنگین در گرد و غبار، تهدیدی جدی برای سلامتی انسان به حساب می آید. فلزات سنگین با اتصال به ذرات گرد و غبار قادرند در مقیاس وسیعی منتشر شوند (Duong and Lee, 2011). این فلزات به علت سمیت، پایداری و تجمع زیستی یکی از آلاینده‌های جدی در محیط زیست طبیعی هستند (Pekey, 2006). در ده‌های اخیر به دلیل اثرات قابل توجه فلزات سنگین بر سلامتی انسان و اکوسیستم توجه بیشتری به آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار شده است. برای مثال قرار گرفتن در معرض سطوح کم سرب می‌تواند روی سیستم آنزیمی، مغز و تولید خون در بدن انسان اثر مضر داشته باشد و سطوح بالای آن ممکن است روی سطح سرب خون و در نتیجه هوش اثر بگذارد. قرار گرفتن به مدت طولانی در معرض سرب می‌تواند احتمال تولد کودکان عقب مانده ذهنی و کاهش رشد مغزی کودکان را افزایش دهد (Wei et al., 2010). بخش اعظم پژوهش‌های مرتبط با فلزات سنگین در گرد و غبار به فلزات سرب، کادمیوم، روی، منگنز، مس، کبالت و کروم اختصاص داده شده است که به دلیل اهمیت آن‌ها و تأثیرشان بر محیط زیست و انسان می‌باشد (Sezgin et al., 2004). درختان به عنوان موجودات زنده با عمر طولانی، اثرات جمعی آلودگی‌های محیط زیستی خاک و هوا را نشان می‌دهند (Madejo'n et al., 2004). در مطالعه‌ای در شهر ریاض عربستان غلظت سرب و

کادمیم در گرد و غبار روی میوه‌های نخل و همچنین بافت میوه‌ها بررسی گردید. نتایج، حضور مقادیر بالای سرب و کادمیم را در این دو بخش نشان داد. غلظت سرب در گرد و غبار و بافت میوه‌ها با افزایش منابع انسانی افزایش یافت. بنابراین از میوه‌های خرما هم می‌توان به عنوان یک شاخص آلودگی استفاده کرد (Fayadh and Al-showiman, 1990).

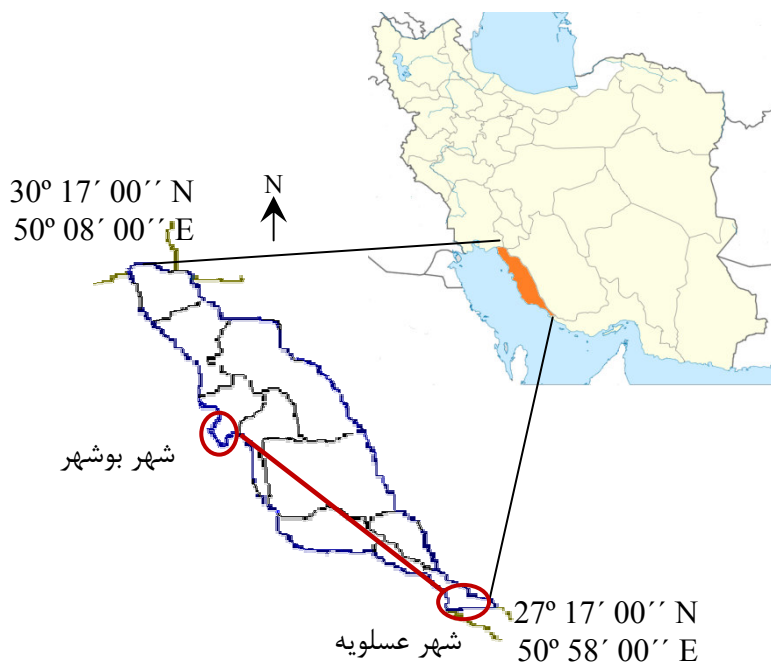
در چند سال اخیر گرد و غبارهای اتمسفری به یک نگرانی محیط زیستی مهم در استان بوشهر تبدیل شده است. وقوع این پدیده خسارات زیادی نیز به بخش‌های مختلف وارد کرده است. با توجه به اثرات زیان‌بار این پدیده روی سلامتی مردم و عدم وجود مطالعات دقیق در مورد سطح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری، انجام چنین مطالعه‌ای در استان بوشهر ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با توجه به توسعه روزافزون صنعت در استان بوشهر به ویژه در منطقه عسلویه با گسترش منطقه ویژه پارس، مجتمع‌های پتروشیمی و پالایشگاه‌ها آلودگی‌های محیط زیست افزایش یافته است و می‌تواند تهدید جدی برای سلامتی ساکنان و کارکنان شاغل در آن منطقه باشد. بنابراین در این پژوهش با استفاده از ویژگی‌هایی مانند غلظت برخی فلزات سنگین در گرد و غبار فرونشسته بر روی برگ‌های نخل، مقایسه با خاک‌های سطحی منطقه و محاسبه شاخص‌های آلودگی مانند غنی‌شدن، درجه آلودگی و بار آلودگی میزان آلودگی گرد و غبار استان بوشهر به فلزات سنگین بررسی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه:

جهت ارزیابی سطح عناصر سنگین در گرد و غبارها و خاک‌های سطحی استان بوشهر و محاسبه شاخص-های آلودگی، یک ترانسکت از شهر بوشهر با میانگین بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا تا منطقه عسلویه با میانگین بارندگی ۱۷ میلی‌متر (میانگین بارندگی سال‌های ۸۵ تا ۹۱) و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا در نظر گرفته شد. شهرهای بوشهر و عسلویه به ترتیب مناطق شهری و صنعتی هستند.

شهر بوشهر مرکز استان بوشهر است، که در فاصله ۲۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۸ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار دارد. عسلویه به عنوان پایتخت انرژی ایران شرقی‌ترین بخش استان بوشهر می‌باشد، که در فاصله ۲۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۵۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۱ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع گردیده است. موقعیت این دو منطقه و ترانسکت مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) موقعیت استان بوشهر و منطقه مورد مطالعه

استفاده شد. بدین منظور گرد و غبار فرو نشسته روی برگ‌هایی از درخت که در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری قرار داشتند، به صورت خشک جمع‌آوری گردید. در شهرهای بوشهر، عسلویه و در طول ترانسکت به

۲-۲- روش نمونه‌برداری

از نخل به عنوان یک نمونه‌گیر طبیعی گرد و غبار در شهرهای بوشهر، عسلویه و مسیر بین این دو شهر

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۳۴

در (al., 1997) به عنوان عنصر مرجع استفاده گردید. در جدول ۱ گروه‌های مختلف فاکتور غنی‌شدن ارائه شده است.

از شاخص درجه آلودگی^۱ نیز جهت تعیین میزان آلودگی گرد و غبار به عناصر سنگین استفاده می‌گردد. درجه آلودگی مجموع فاکتورهای آلودگی می‌باشد. درجه آلودگی توسط ۷ فلز سنگین در گرد و غبار منطقه مورد مطالعه از طریق معادله زیر محاسبه شد (Hakanson, 1980).

معادله (۲)

$$C_d = \sum_{i=1}^5 c_f^i$$

CF^۲ فاکتور آلودگی (نسبت غلظت عنصر در گرد و غبار به غلظت در یک سایت غیر آلوده) است. اگر مقدار درجه آلودگی از ۲۰ بیشتر شود باید اقدامات فوری جهت کاهش منابع ایجاد فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه صورت گیرد (Duong and Lee, 2011).

در هر منطقه میزان آلودگی به فلزات سنگین با استفاده از شاخص بار آلودگی^۳ نیز به دست آمد. این شاخص توسط Thomilson و همکاران (1980) به صورت زیر ارائه گردیده است.

معادله (۳)

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$$

که در این معادله CF فاکتور آلودگی و n تعداد فلزات مورد بررسی است. اگر شاخص بار آلودگی بیش از یک باشد، نشان‌دهنده این است که منطقه آلوده است. شاخص‌های درجه آلودگی و بار آلودگی به

ترتیب ۱۵،۱۲ و ۲۳ نمونه و در مجموع ۵۰ نمونه گرد و غبار برداشته شد. همچنین نزدیک محل نمونه‌های گرد و غبار از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری ۵۰ نمونه خاک گرفته شد. نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۱ صورت گرفت.

۲-۳- مطالعات آزمایشگاهی

غلظت کل عناصر سنگین نمونه‌های خاک و گرد و غبار شامل سرب، مس، کروم، کبالت، منگنز، روی و نیکل پس از هضم توسط اسید نیتریک ۶ نرمال با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین‌المر ۳۰۳۰ تعیین شد. یک نمونه استاندارد مؤسسه تحقیقات ملی فناوری آمریکا (NST) به نام San Joaquin # 2709 به منظور کنترل دقت و صحت نتایج تجزیه فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفت.

فاکتور غنی‌شدن را می‌توان برای مشخص کردن میزان تأثیر فعالیت‌های انسانی استفاده کرد. فاکتور غنی‌شدن عنصر در نمونه گرد و غبار از طریق معادله زیر محاسبه شد (Reimann and de Caritat, 2005):

معادله (۱) $EF =$

$$[(C_n/C_{ref})_{sample}] / [(B_n/B_{ref})_{crust}]$$

در این معادله C_n غلظت عنصر در نمونه گرد و غبار و C_{ref} غلظت عنصر مرجع در گرد و غبار می‌باشد. B_n و B_{ref} به ترتیب مقادیر عنصر مورد نظر و مرجع در پوسته می‌باشد. غنی‌شدگی بالای ۱۰ نشان می‌دهد که عنصر از پوسته منشأ نگرفته است (Yongming Loska et al., 2006). در این مطالعه از منگنز (et al., 2006)

¹ Degree of contamination

² Contamination factor

³ Pollution Load Index

غبار به ترتیب ۳۶۵، ۱۷۰، ۷۹، ۶۸، ۵۴، ۳۶ و ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. بر اساس جدول ۲ بیشترین ضریب تغییرات مربوط به فلز مس می‌باشد که نشان دهنده تغییرات زیاد این فلز در منطقه است. چولگی ۱/۹۳ برای مس و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که بین تمامی فلزات سنگین تنها داده‌های مربوط به مس توزیع نرمال ندارند.

۲-۳- غلظت فلزات سنگین در سه منطقه مورد

مطالعه

طبق شکل ۲-الف و ب غلظت سرب و روی در منطقه صنعتی عسلویه و منطقه شهری بوشهر نسبت به منطقه غیر شهری (ترانسکت) افزایش معنی‌دار ($p < 0.05$) نشان می‌دهد. حداکثر غلظت سرب و روی به ترتیب مربوط به منطقه شهری بوشهر و منطقه صنعتی عسلویه است.

گرد و غبار منطقه صنعتی عسلویه و منطقه شهری بوشهر نسبت به منطقه غیر شهری افزایش معنی‌داری ($p < 0.05$) از لحاظ غلظت مس نشان داد. همچنین غلظت مس در گرد و غبار منطقه شهری بوشهر نسبت به منطقه صنعتی به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافته است (شکل ۲-ج).

بیشترین غلظت کبالت در منطقه شهری بوشهر است. مقدار کبالت و نیکل در این منطقه و ترانسکت بطور معنی‌داری ($p < 0.05$) نسبت به منطقه صنعتی عسلویه افزایش نشان می‌دهد (شکل ۳-الف و ب). در مورد کروم نیز مشابه کبالت بیشترین غلظت آن در بوشهر مشاهده شد. اما بین منطقه غیر شهری و

دلیل این که آلودگی مجموع فلزات مورد اندازه‌گیری را نشان می‌دهند، معیارهای جامع‌تری برای تعیین مناطق آلوده هستند.

۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری

تحلیل‌های آماری از جمله توصیف آماری داده‌ها، همبستگی بین متغیرها و اختلاف بین میانگین غلظت فلزات سنگین با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 صورت گرفت. پس از تعیین اطلاعات اولیه آماری، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها انجام شد. برای تعیین همبستگی بین غلظت فلزات سنگین گرد و غبار، در مورد متغیرهای دارای توزیع طبیعی از ضریب همبستگی پیرسون^۲ و برای متغیرهای با توزیع غیر طبیعی از ضریب همبستگی اسپیرمن^۳ استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- وضعیت آماری غلظت فلزات سنگین در

گرد و غبار استان بوشهر:

همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بالاترین میانگین غلظت فلزات در گرد و غبار به ترتیب مربوط به منگنز < روی < نیکل < سرب < مس < کروم و کبالت می‌باشد که میانگین غلظت آن‌ها در گرد و

¹ Kolmogorov- Smirnov

² Pearson

³ Spearman

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۳۶

منطقه صنعتی اختلاف معنی داری از نظر غلظت کروم نیست (شکل ۳-ج). غلظت منگنز در منطقه غیر شهری (ترانسکت) بیشترین مقدار را دارد که به ترتیب بعد از آن شهر بوشهر و منطقه صنعتی عسلویه قرار دارند (شکل ۳-د).

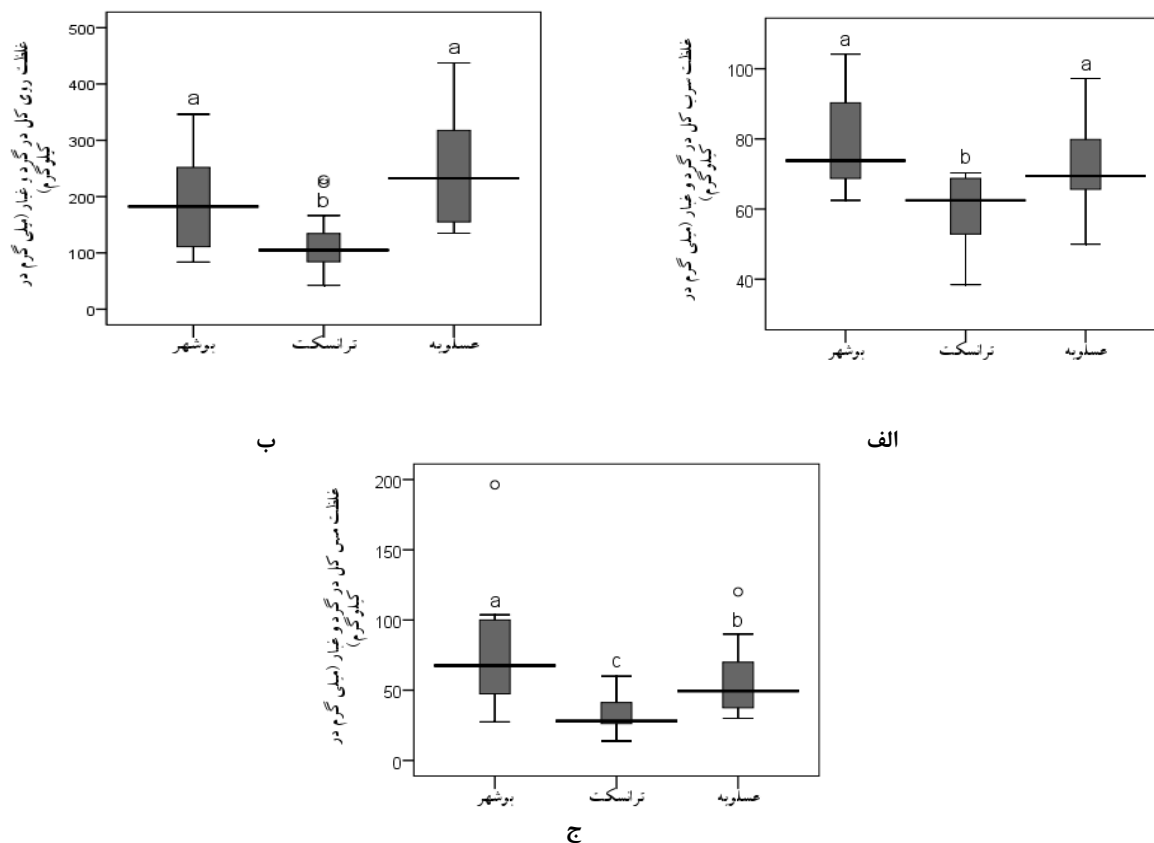
جدول ۱) گروه‌های مختلف محدوده تغییرات فاکتور غنی‌شدن (Yongming et al., 2006)

میزان غنی‌شدگی	مقادیر
کم	$2 >$
متوسط	$2 \leq EF < 5$
زیاد	$5 \leq EF < 20$
خیلی زیاد	$20 \leq EF < 40$
شدیداً زیاد	≥ 40

جدول ۲) وضعیت آماری غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم) در گرد و غبار استان بوشهر

نیکل	روی	منگنز	کروم	کبالت	مس	سرب	
۱۰۳/۸	۴۳۷/۵۰	۴۹۷/۵	۴۷/۵	۲۳/۸	۱۹۶/۳	۱۰۴/۲	حداکثر
۴۷/۵	۴۲/۵۰	۱۵۳/۸	۲۳/۸	۱/۳	۱۳/۸	۳۸/۵	حداقل
۷۹/۰	۱۷۰/۰	۳۶۵/۱	۳۵/۷	۱۱/۷	۵۴/۰	۶۸/۱	میانگین
۸۰/۶	۱۴۲/۵	۳۷۱/۹	۳۵/۰	۱۲/۵	۴۱/۳	۶۸/۸	میانه
۱۲/۷	۹۰/۷	۶۹/۸	۵/۳	۵/۱	۳۵/۷	۱۴/۴	انحراف معیار
۱۶/۰	۵۳/۳	۱۹/۱	۱۴/۹	۴۳/۱	۶۶/۰	۲۱/۲	ضریب تغییرات (درصد)
-۰/۵	۱/۰	-۰/۶	-۰/۰۰۲	۰/۱	۱/۹	۰/۶	چولگی
۰/۵	۰/۵	۰/۵	-۰/۴	-۰/۱	۴/۶	۰/۴	کشیدگی

ارزیابی غلظت و میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار... صفحه ۵۳۷



شکل ۲) نمودار جعبه‌ای سرب (الف)، روی (ب) و مس (ج) کل در منطقه مورد مطالعه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند).

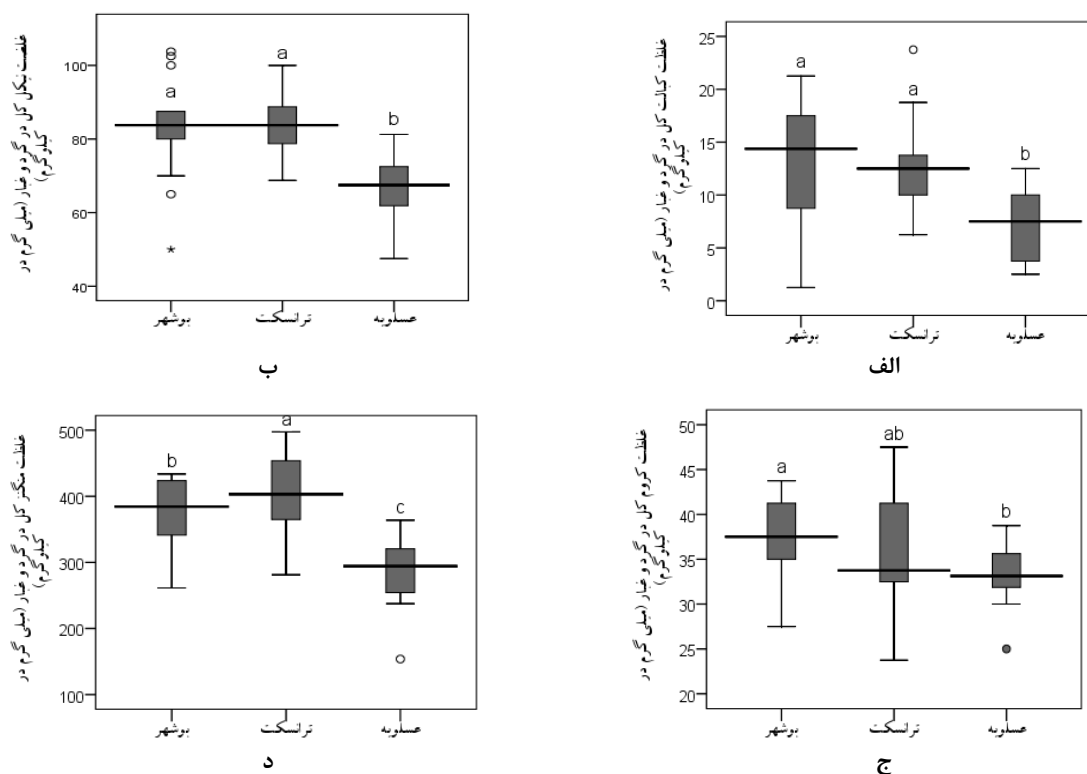
غلظت همه فلزات سنگین به جز سرب در شهر بوشهر و کبالت در شهر عسلویه در گرد و غبار سه منطقه بالاتر از غلظت آن‌ها در خاک می‌باشد (جدول ۴). غلظت مس در گرد و غبار ۲/۲ تا ۴/۳ برابر خاک می‌باشد. ۴/۳ برابر شدن غلظت مس در گرد و غبار نسبت به خاک مربوط به شهر بوشهر است. غلظت سرب نیز در منطقه صنعتی عسلویه ۱/۷ برابر غلظت آن در خاک است. همچنین غلظت روی ۲/۶ تا ۴/۵ برابر در گرد و غبار نسبت به خاک افزایش نشان می‌دهد. بیشترین افزایش روی در گرد و غبار نسبت به خاک (۴/۵ برابر) در منطقه صنعتی عسلویه

در بین فلزات اندازه‌گیری شده در گرد و غبار، سرب، مس و روی همبستگی معنی‌دار با یکدیگر در سطح ۱ درصد آماری نشان می‌دهد (جدول ۳). همبستگی بالا و مثبت نشان دهنده این است که این فلزات احتمالاً از منابع مشابهی ایجاد شده‌اند. منگنز، کروم، کبالت و نیکل نیز همبستگی بالایی در سطح یک درصد با یکدیگر نشان می‌دهند. ضرایب همبستگی در جدول ۳ نشان داده شده است.

۳-۳- مقایسه غلظت فلزات سنگین در گرد و

غبار و خاک منطقه مطالعاتی و سایر مناطق

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۳۸



شکل ۳) نمودار جعبه‌ای کبالت (الف)، نیکل (ب)، کروم (ج) و منگنز (د) کل در منطقه مورد مطالعه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند).

جدول ۳) ضرایب همبستگی پیرسون (P) و اسپیرمن (S) بین فلزات سنگین در گرد و غبار

نیکل	روی	منگنز	کروم	کبالت	مس	سرب
						سرب ۱
					۱	مس 0.52^{**s}
				۱	-0.09^s	کبالت -0.32^*p
			۱	0.53^{**p}	0.08^s	کروم 0.08^p
		۱	0.49^{**p}	0.60^{**p}	-0.34^{*s}	منگنز -0.02^p
	۱	-0.50^{**p}	-0.05^p	-0.27^p	0.78^{**s}	روی 0.57^{**p}
۱	-0.41^{**p}	0.84^{**p}	0.72^{**p}	0.70^{**p}	-0.02^s	نیکل -0.02^p

*, ** به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد آماری است.

استان بوشهر می‌باشد. اما غلظت مس در شهر بوشهر از شهرهای اصفهان (Mahmoudi and Khademi, 2013) و کرمان (Jaafari, 2013) بیشتر است. غلظت کبالت در گرد و غبار بوشهر و ترانسکت نسبت به شهر اوتاوا (Rasmussen *et al.*, 2001) بیشتر است. غلظت کروم در گرد و غبار استان بوشهر از همه شهرها بیشتر است. غلظت منگنز در گرد و غبار شهر بوشهر و ترانسکت نسبت به شهرهای کایسری (Tokalioğlu and Kartal, 2006)، مادرید (de Miguel *et al.*, 1997) و کرمان (Jaafari, 2013) بیشتر است. اما نسبت به گرد و غبار خیابانی شهر تهران (Salmanzadeh *et al.*, 2012) و اصفهان (Mahmoudi and Khademi, 2013) غلظت آن کمتر می‌باشد (جدول ۵). غلظت روی در هر سه منطقه نسبت به پوسته افزایش نشان می‌دهد. اما غلظت این عنصر در گرد و غبارهای شهر بوشهر و ترانسکت نسبت به تمامی شهرها به جز اوتاوا (Rasmussen *et al.*, 2001) کمتر است. غلظت نیکل در گرد و غبارهای منطقه شهری بوشهر و ترانسکت حدود ۳ میلی گرم بر کیلوگرم نسبت به پوسته زمین بیشتر است. همچنین غلظت این عنصر در این دو منطقه نسبت به تمامی شهرهای ارایه شده در جدول ۵ بیشتر است. غلظت نیکل در منطقه صنعتی عسلویه نسبت به تمامی شهرها به جز اصفهان (Mahmoudi and Khademi, 2013) بیشتر است.

مشاهده شد. منگنز گرد و غبار نیز ۱/۴ تا ۱/۸ برابر خاک می‌باشد. علاوه بر این تغییرات نیکل در گرد و غبار نسبت به خاک بین ۱/۵ تا ۱/۸ می‌باشد. مقایسه غلظت عناصر سنگین در گرد و غبار استان بوشهر و پوسته زمین نشان می‌دهد که غلظت سرب در گرد و غبار هر سه منطقه بیشتر از پوسته زمین است (جدول ۵). همچنین غلظت مس نیز به جز در ترانسکت بین دو شهر بالاتر از غلظت آن در پوسته می‌باشد. غلظت بقیه عناصر در گرد و غبار استان بوشهر کمتر از پوسته زمین است. بر اساس اطلاعات جدول ۵ غلظت سرب در هر سه منطقه مورد مطالعه در استان بوشهر از شهرهایی مثل اوتاوا (کانادا) (Rasmussen *et al.*, 2001) و بیرمنگهام (انگلیس) (Charlesworth *et al.*, 2003) بالاتر است. اما نسبت به شهرهایی مانند باوجی (چین) (Lu *et al.*, 2010) و مادرید (اسپانیا) (de Miguel *et al.*, 1997) خیلی کمتر می‌باشد. غلظت این عنصر در گرد و غبار شهر بوشهر که بیشترین غلظت را در استان بوشهر دارد، نسبت به شهرهای تهران (Salmanzadeh *et al.*, 2012) و اصفهان (Mahmoudi and Khademi, 2013) نیز خیلی کمتر است. اما غلظت سرب در گرد و غبار هر سه منطقه مورد مطالعه استان بوشهر نسبت به غلظت آن در گرد و غبار شهر کرمان (Jaafari, 2013) بیشتر است. غلظت مس در گرد و غبار منطقه شهری بوشهر و منطقه صنعتی عسلویه نسبت به شهر کایسری (ترکیه) (Tokalioğlu and Kartel, 2006) بیشتر و نسبت به بقیه شهرها کمتر می‌باشد. غلظت این عنصر در شهر تهران بالاتر از مناطق مطالعه شده در

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۴۰

جدول ۴) مقایسه گرد و غبار و خاک مناطق مورد مطالعه از لحاظ غلظت فزات سنگین (میلی گرم در کیلوگرم)

نیکل	روی		منگنز		کروم		کیالت		مس		سرب	
	گرد و خاک	گرد و غبار	گرد و خاک	گرد و غبار	گرد و خاک	گرد و غبار	گرد و خاک	گرد و غبار	گرد و خاک	گرد و غبار	گرد و خاک	گرد و غبار
۴۶/۸ ^a	۷۰/۴ ^a	۱۹۴/۳ ^a	۲۷۶/۸ ^a	۳۷۴/۱ ^a	۲۷/۰ ^b	۳۷/۹ ^a	۱۲/۰ ^a	۱۳/۷ ^a	۱۹/۰ ^a	۸۲/۱ ^a	۸۴/۸ ^a	۷۹/۳ ^{a*}
۵۴/۵ ^a	۴۴/۹ ^b	۱۱۴/۸ ^b	۲۷۰/۹ ^a	۴۰۰/۸ ^a	۳۱/۶ ^a	۳۵/۵ ^{ab}	۱۱/۰ ^a	۱۲/۹ ^a	۱۵/۱ ^{ab}	۳۳/۶ ^c	۵۸/۵ ^b	۵۹/۳ ^b
۴۴/۰ ^a	۵۴/۱ ^{ab}	۲۴۵/۴ ^a	۱۵۴/۹ ^b	۲۸۵/۳ ^b	۲۴/۵ ^b	۳۳/۳ ^b	۱۰/۳ ^a	۷/۱ ^b	۱۴/۳ ^b	۵۷/۵ ^b	۶۷/۴ ^a	۷۲/۱ ^a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (میانگین‌های غلظت هر فاز در خاک و گرد و غبار بصورت جداگانه بررسی شده است).

ارزیابی غلظت و میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار... صفحه ۵۴۱

جدول ۵) میانگین غلظت فلزات سنگین (میلی گرم در کیلوگرم) در پوسته زمین و گرد و غبار برخی از نقاط ایران و جهان

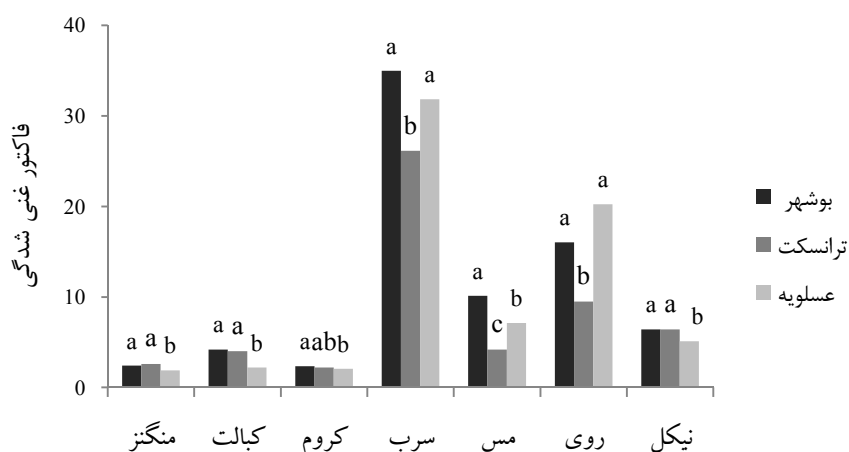
منبع	نیکل	روی	منگنز	کروم	کبالت	مس	سرب	منطقه
(Salmanzadeh <i>et al.</i> , 2012)	۳۴/۵	۸۶۳/۶	۱۲۱۲/۲	۳۳/۳	-	۲۲۲/۰	۲۵۴/۴	تهران
(Mahmoudi and Khademi, 2013)	۸۲/۰	۴۷۰/۳	۴۲۶/۳	۲۴/۴	۲۶/۵	۷۱/۰	۲۳۳/۵	اصفهان
(Jaafari, 2013)	۳۵/۰	۲۱۴/۰	۳۴۱/۸	-	-	۷۴/۱	۴۵/۳	کرمان
(Rasmussen <i>et al.</i> , 2001)	۱۵/۲	۱۱۲/۵	۴۳۱/۵	۴۳/۳	۸/۳	۶۵/۸	۳۹/۱	اوتاوا (کانادا)
(Charlesworth <i>et al.</i> , 2003)	۴۱/۱	۵۳۴/۰	-	-	-	۴۶۶/۹	۴۸/۰	بیرمنگهام (انگلیس)
(Tokaloğlu and Kartal, 2006)	۵۷/۰	-	۲۷۴/۰	-	۲۶/۱	۶۶/۷	۱۶۵/۵	کایسری (ترکیه)
(Lu <i>et al.</i> , 2010)	۴۸/۸	۷۱۵/۳	۸۰۴/۲	۱۲۶/۷	۱۵/۹	۱۳۳/۲	۴۳۳/۲	بالوچی (چین)
(de Miguel <i>et al.</i> , 1997)	۴۴/۰	۴۷۶/۰	۳۶۲/۰	۶۱/۰	-	۱۸۸/۰	۱۹۲۷/۰	مادرید (اسپانیا)
(Wang <i>et al.</i> , 2005; Niencheski <i>et al.</i> , 2002)	۸۰/۰	۷۵/۰	۹۵۰/۰	۱۰۰/۰	۲۰/۰	۵۰/۰	۱۴/۰	میانگین پوسته زمین

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۴۲

عنصر روی در منطقه صنعتی عسلویه از لحاظ غنی- شدن در کلاس خیلی زیاد طبقه بندی می شود و تفاوت معنی دار آماری با ترانسکت نشان می دهد (شکل ۴). شهر بوشهر و ترانسکت از این نظر در کلاس غنی شدن زیاد هستند. مقدار غنی شدن مس در شهرهای بوشهر و عسلویه در کلاس زیاد قرار دارد. نیکل در هر سه منطقه در کلاس غنی شدن زیاد قرار دارد. مقدار غنی شدن کبالت و کروم در هر سه منطقه در کلاس متوسط قرار دارد. غنی شدن منگنز در شهر بوشهر و عسلویه مشابه کبالت و کروم در کلاس متوسط قرار گرفته است. اما در شهر عسلویه در کلاس کم طبقه بندی می شود. مقدار غنی شدن مس، کروم، نیکل، سرب، روی و منگنز در غبارهای ته نشین شده خیابانی شهر تهران به ترتیب زیاد، کم، کم، شدیداً زیاد، خیلی زیاد و متوسط گزارش شده است (Salmanzadeh *et al.*, 2012).

۳-۴- فاکتور غنی شدن

در معادله محاسبه فاکتور غنی شدن در مخرج کسر از مقادیر زمینه استفاده می شود. اما به دلیل عدم ارائه مقدار زمینه عناصر در منطقه مورد مطالعه و حتی در کشور، از مقادیر متوسط پوسته زمین استفاده شد (Reimann and de Caritat, 2005). با توجه به معادله ۱، به یک عنصر نیز به عنوان فلز مبنا نیاز است که برای این منظور از منگنز (Loska *et al.*, 1997) استفاده گردید. با توجه به نتایج شکل ۴ بیشترین غنی شدن مربوط به عنصر سرب است (۳۴/۹۷) که در هر سه منطقه در کلاس غنی شدن خیلی زیاد قرار دارد. غنی شدن این عنصر در منطقه شهری بوشهر و منطقه صنعتی عسلویه نسبت به ترانسکت به طور معنی داری ($p < 0.05$) افزایش نشان می دهد.

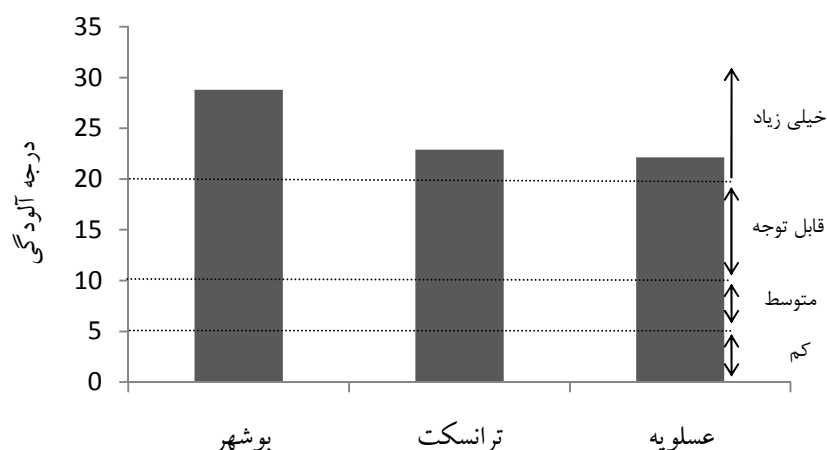


شکل ۴) فاکتور غنی شدن فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه (میانگین های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار آماری ندارند).

۳-۵- درجه آلودگی

در شکل ۵ درجه آلودگی گرد و غبار سه منطقه به فلزات سنگین و ۴ کلاس درجه آلودگی (Hakanson, 1980) مشاهده می‌شود. بیشترین درجه آلودگی گرد و غبار استان بوشهر به عناصر سرب، مس، کبالت، کروم، منگنز، روی و نیکل مربوط به منطقه شهری بوشهر است که در کلاس آلودگی خیلی زیاد (۲۸/۸) قرار دارد. گرد و غبار دو منطقه دیگر نیز از نظر آلودگی به مجموع این عناصر در کلاس خیلی زیاد می‌باشد. نسبت بین درجه آلودگی

هر فلز به درجه آلودگی کل نشان داد که به ترتیب در شهرهای بوشهر و عسلویه ۲۱ و ۱۹ درصد مجموع آلودگی این ۷ فلز مربوط به مس می‌باشد. فلز سرب نیز در شهرهای بوشهر و عسلویه به ترتیب ۷ و ۸ درصد آلودگی کل را ایجاد می‌کند. بیشترین درصد آلودگی در منطقه صنعتی عسلویه مربوط به عنصر روی است که ۲۶ درصد درجه آلودگی کل مربوط به این عنصر می‌باشد. در منطقه شهری بوشهر ۱۶ درصد آلودگی کل را عنصر روی ایجاد می‌کند.



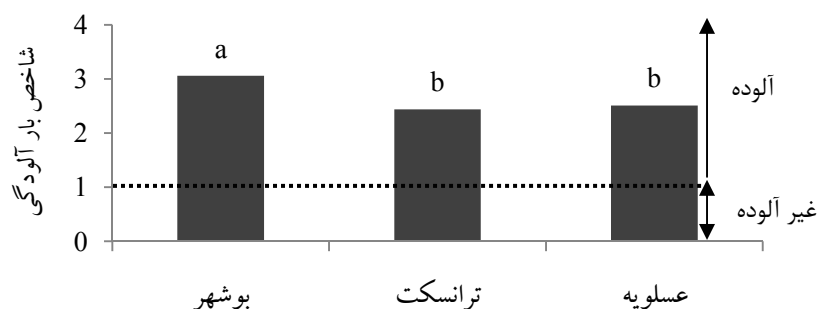
شکل ۵) درجه آلودگی فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه

بوشهر < عسلویه < ترانسکت است. منطقه صنعتی عسلویه و ترانسکت نیز مشابه شهر بوشهر از لحاظ شاخص بار آلودگی در کلاس آلوده قرار دارند. البته آلودگی شهر بوشهر از این لحاظ به طور معنی‌داری بیشتر از دو منطقه دیگر هست. ($p < 0.05$)

۳-۶- شاخص بار آلودگی

شاخص بار آلودگی، وضعیت آلودگی به مجموع عناصر سنگین در هر منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۶ ترتیب کاهش شاخص بار آلودگی به صورت

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۴۴



شکل ۶) شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند).

همکاران (2012) مقادیر بالای برخی از فلزات سنگین در غبارهای خیابانی شهر تهران را به عواملی مانند خوردگی بدنه خودروها، سطوح فلزی مختلف در شهر، ذرات ریز لاستیک و لنت ترمز خودروها نسبت دادند.

بر خلاف عناصر سرب، روی و مس، غلظت منگنز، کبالت، نیکل و کروم در ترانسکت نسبت به منطقه صنعتی عسلویه بالاتر است. همچنین غلظت منگنز در ترانسکت نسبت به غلظت آن در منطقه شهری بوشهر نیز بیشتر است. احتمالاً این چهار عنصر منبعی مشابه مس، روی و سرب ندارند و بیشتر تحت تأثیر منابع طبیعی هستند. مطالعه Zhang و همکاران (2002) نشان داد که عناصر آلومینیم، آهن، منگنز، سیلیسیم، سدیم، وانادیم، نیکل و کروم در گرد و غبار جمع آوری شده از شهرهای چین منشأ طبیعی (پوسته زمین) دارند، در حالی که سرب، روی، کادمیم، مس، آرسنیک، سلنیم و آنتیموان دارای منشأ انسانی هستند.

مقدار غنی‌شدن مس در شهر بوشهر، سرب در هر سه منطقه و روی در منطقه صنعتی عسلویه و شهر بوشهر بیشتر از ۱۰ است و احتمالاً تحت تأثیر

۴- بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت سرب، مس و روی در منطقه صنعتی عسلویه و منطقه شهری بوشهر نسبت به منطقه غیر شهری (ترانسکت) به طور معنی‌داری بیشتر است. با توجه به اینکه غلظت مس در گرد و غبار شهر بوشهر نسبت به منطقه صنعتی عسلویه نیز با اختلاف معنی‌دار آماری بیشتر است. به نظر می‌رسد عامل اصلی ورود مس به گرد و غبار ترافیک شهری می‌باشد. مس از سایش پمپ روغن خودرو یا خوردگی قطعات فلزی در تماس با روغن می‌تواند آزاد و وارد محیط زیست شهری شود (de Miguel, 1997). البته سیستم ترمز ماشین‌ها نیز می‌تواند دلیل دیگر مقدار بالای مس در شهر بوشهر باشد. بدلیل نبود تفاوت آماری معنی‌دار بین غلظت سرب در مناطق شهری و صنعتی استان بوشهر احتمالاً فعالیت‌های صنعتی و ترافیک شهری نقش زیادی در افزایش غلظت سرب در گرد و غبار اتمسفری منطقه دارند. در بین منابع فلزات سنگین، حمل و نقل مهم‌ترین منبع آلودگی در مناطق شهری است (Salmanzadeh, Sawidis et al., 2011).

افزایش زیادی نشان می‌دهد. در مجموع با توجه به نتایج شاخص درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی می‌توان بیان کرد که گرد و غبار اتمسفری استان بوشهر از لحاظ مجموع این فلزات سنگین آلوده است. انتقال گرد و غبار در اتمسفر و رسیدن آن به آب‌های دریایی باعث ورود فلزات سنگین و سمی زیادی به درون آب دریاها می‌شود. ورود فلزات سنگین به آب دریاها باعث ایجاد تغییراتی وسیع در محیط دریایی شده و محیط زیست دریایی را به مخاطره می‌اندازد که عواقب وخیمی در آینده در پی خواهد داشت. مقادیر بالای آلومینیم، منگنز و سرب در آب‌های سطحی دریا را اغلب به ته نشست‌های جوی نسبت می‌دهند. ته‌نشست اتمسفری فلزات کمیاب مانند مس می‌تواند بر فیتوپلانکتون‌ها اثر سمی داشته باشد و مانع از رشد آن‌ها شود (Srinivas and Sarin, 2013). استان بوشهر بیشترین مرز آبی با خلیج فارس دارد، بنابراین خلیج فارس هم متأثر از آلودگی فلزات سنگین ناشی از گرد و غبار می‌باشد و این می‌تواند خطرات جدی برای سلامتی مردم منطقه و محیط زیست دریایی داشته باشد. با توجه به اینکه آبریان نقش مهمی در سبذ غذایی مردم استان بوشهر دارند و آلودگی‌های ناشی از گرد و غبار می‌تواند از طریق زنجیره غذایی سلامتی مردم را به خطر اندازد. بنابراین مسئولان امر باید اقدامات جدی جهت ایجاد هوای پاک و کاهش این آلاینده‌ها به حد استاندارد انجام دهند.

فعالیت‌های انسانی هستند که ضریب خطر بالایی برای سلامتی افراد در معرض این گرد و غبارها دارند. همچنین محاسبه شاخص‌های آلودگی مانند درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی نشان داد که هر سه منطقه مورد مطالعه از نظر این فلزات آلوده هستند. درجه آلودگی بالای ۲۰ در گرد و غبارهای استان بوشهر لزوم انجام اقدامات فوری جهت کاهش ورود این فلزات سنگین را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در محاسبه مقدار شاخص‌های آلودگی که از ضرب یا جمع غلظت فلزات سنگین به دست می‌آید نوع، تعداد و مقدار فلز تاثیرگذار است. بنابراین با تغییر در این سه عامل و وارد کردن فلزاتی که بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند، به محاسبات مربوط به این شاخص‌ها، نتایج متفاوت و این شاخص‌ها در نقاط شهری و صنعتی بیشتر خواهد شد. بنابراین زمان گزارش این شاخص‌ها، معرفی فلزات مورد استفاده ضروری است.

نتایج درجه آلودگی نشان می‌دهد فلزات سرب، مس و روی مجموعاً ۴۴ و ۵۳ درصد کل درجه آلودگی را به ترتیب در منطقه شهری بوشهر و منطقه صنعتی عسلویه باعث می‌شوند. نتایج بررسی Doung و همکاران (2011) در شهر اولسان کره جنوبی نشان داد که درجه آلودگی گرد و غبار جاده‌ای به فلزات سرب، روی، مس، کادمیم و نیکل در بزرگراه‌ها خیلی زیاد و در مناطق حومه شهر قابل توجه است. بیشترین شاخص درجه آلودگی مربوط به شهر بوشهر (۳/۱) است که نسبت به حد مجاز آن که ۱ می‌باشد

REFERENCES

- Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy, R., Ordonez, A. de Miguel, E., 2003. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry. West Midlands, UK. *Environment International* 29, 563-573.
- de Miguel, E., Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O., Vadset, M., 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment* 31, 2733-2740.
- Duong, T.T.T., Lee, B.K., 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management* 92, 554-562.
- Fayadh, J.M., Al-Showiman, S.S., 1990. Chemical composition of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of the Chemical Society of Pakistan* 12, 84-103.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 14, 975-1001.
- Jaafari, F., 2013. Deposition rate and selected physical, chemical and clay mineralogical characteristics of atmospheric dust in Kerman city. M.Sc. thesis. Agriculture College. Isfahan University of Technology, 104 p. (In Persian).
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar J., Wiechula, D., Kwapilinski, J., 1997. Use of enrichment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air, and Soil Pollution* 93, 347- 65.
- Lu, X., Wang, L., Li, L.Y., Lei, K. Huang, L., Kang, D., 2010. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials* 173, 744-749.
- Madejo'n, P., Marano'na, T., Murilloa, J.M., Robinson, B., 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. *Environmental Pollution* 132, 145-155.
- Mahmoudi. Z., Khademi, H., 2013. The use of magnetic susceptibility in prediction pollution of heavy metals in atmospheric dust from Isfahan and its surrounding cities. *Ecology* 2, 123-132. (In Persian).
- Niencheski, L.F.H., Baraj, B., Franca, R.G. Mirlean, N., 2002. Lithium as a normalizer for the assessment of anthropogenic metal contamination of sediments of the southern area of Patos Lagoon. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 5, 473-483.
- Pekey, H., 2006. Heavy metal pollution assessment in sediments of Izmit Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 123, 219-231.
- Rasmussen, P.E., Subramanian, K.S. Jessiman, B.J., 2001. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa Canada. *The Science of the Total Environment* 267, 125-140.
- Reimann, C., de Caritat, P., 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment* 337, 91- 107.
- Salmanzadeh, M., Saidi, M., Nabi bidhendi, G., 2012. Pollution of heavy metals in street dust settled in Tehran and their ecological risk assessment. *Ecology* 61, 9-18. (In Persian).
- Sawidis, T., Breuste, J., Mitrovic, M., Pavlovic, P., Tsigaridas, K., 2011. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution* 159, 3560-3570.
- Sezgin, N., Ozcan, H.K., Demir, G., Nemlioglu, S., Bayat, C., 2004. Determination of heavy metal

concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*. 29, 979-985.

Srinivas, B., Sarin, M.M., 2013. Atmospheric dry-deposition of mineral dust and anthropogenic trace metals to the Bay of Bengal. *Journal of Marine Systems*. 126, 56–68.

Thomilson, D.C., Wilson, D.J., Harris, C.R., Jeffrey, D.W., 1980. Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. *Helgol Wiss Meeresunters* 33, 566–575.

Tokaloğlu, S., Kartal, S., 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the organized industrial district in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment* 40, 2797–2805.

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, 2631-2642.

Wei, B., Jiang, F., Li, X., Mu, S., 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment* 160, 33–45.

Yongming, H., Peixuana, D., Junjib, C., E. Posmentier, S., 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355, 176– 186.

Zhang, X.Y., Cao, J.J., Li, L.M., Arimoto, R., 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, 4189–4199.

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵ صفحه ۵۴۸

Assessment of concentration and heavy metals contamination in atmospheric dust from urban and industrial areas of Bushehr Province

Zeinab Naderizadeh¹, Shamsollah Ayoubi^{2*}, Hossein Khademi³

¹-PhD student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

^{2,3}- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

Abstract:

This study was conducted to assess the concentration of some heavy metals and to examine their contamination hazard in atmospheric dust of urban, industrial and non-urban areas in Bushehr province, southwestern Iran. Fifty dust samples from the leaves of the palm trees and fifty surface soil samples from Bushehr and Assaluyeh cities as urban and industrial areas, respectively, and also from the transect between the two cities as a non-urban area were collected. The total concentrations of Pb, Cu, Co, Cr, Mn, Zn and Ni in dust and soil samples were determined by an atomic absorption spectrometer following the digestion with 6 N nitric acid solution. The degree of contamination of atmospheric dust samples with heavy metals was assessed using indices including enrichment factor, degree of contamination and pollution load index. The results showed that the concentration of Pb, Cu and Zn in dust was affected by traffic and industrial activities. Pollution indices indicated that Pb had the highest enrichment factor among the heavy metals falling in the "Very High" class of enrichment in all the three areas. The highest degree of contamination in dust of Bushehr Province was found for the urban area of Bushehr categorized in the very high pollution class. Results of the degree of contamination and pollution load index showed that atmospheric dust of Bushehr Province is contaminated with heavy metals.

Keys words: Heavy metals, enrichment factor, degree of contamination, pollution load index

* Corresponding Author: Phone: +98-9134023986

E-mail: ayoubi@cc.iut.ac.ir