



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

مقاله پژوهشی

آلودگی، منشاء و ارزیابی ریسک سلامت هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در خاک‌های بخش مرکزی شهرستان بندرعباس

سیده لیلا موسوی، عطا شاکری*، محمد نخعی
گروه زمین شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) گروه بزرگی از آلاینده‌های آلی هستند که از دو یا چند حلقه بنزنی تشکیل شده‌اند. PAHs بدلیل خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی بالا در انسان توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. لذا در این تحقیق سعی شده است با اندازه‌گیری غلظت PAHs در منطقه مورد مطالعه میزان ریسک سلامت را مورد ارزیابی قرار دهیم.

روش بررسی: ۳۶ نمونه خاک از بخش مرکزی شهرستان بندرعباس جمع‌آوری شد. آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی انجام شد. همچنین جهت تعیین منشاء مدل فاکتور ماتریس مثبت (PMF) مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌ها: میانگین غلظت کل PAHs در نمونه‌های خاک $1/46 \text{ mg/kg}$ است. شاخص ریسک افزایش تدریجی سرطان در طول عمر (ILCR) برای خاک در معرض PAHs برای کودکان $10^{-6} \times 4/95$ و بزرگسالان $10^{-6} \times 1/06$ بدست آمد.

نتیجه‌گیری: ارزیابی ریسک اکولوژیکی نشان داد که غلظت تمام گونه‌های PAHs به جز دی بنزو (a,h)آنتراسن و اسنفتن کمتر از مقدار تأثیرات با دامنه کم است. نتایج برآورد ILCR نشان داد که ساکنان بخش مرکزی شهرستان بندرعباس به‌طور بالقوه در معرض خطر ابتلا به سرطان از طریق هر دو مسیر بلع و تماس پوستی قرار دارند. نتایج مدل PMF چهار منشاء، احتراق سوخت فسیلی (۱۴ درصد)، احتراق زیست توده (۱۳ درصد)، انتشار از وسایل نقلیه (۳۶ درصد) و احتراق سوخت فسیلی / نفت خام (۳۷ درصد) را شناسایی کرد.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۶
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۶/۰۷
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۱۳
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۶/۲۹

واژگان کلیدی: خاک، هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی، فاکتور ماتریس مثبت، بندرعباس، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

atahakeri@khu.ac.ir
shakeri1353@gmail.com

مقدمه

صنایع مختلف از جمله وجود میادین گاز، پالایشگاه، نیروگاه تولید برق، عبور جاده ترانزیتی و پایانه صادراتی شهید رجایی از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف اصلی این تحقیق بررسی آلودگی ۱۲ ترکیب PAHs همراه با تعیین منشاء آنها با استفاده مدل فاکتور ماتریس مثبت (PMF) در خاک‌های بخش مرکزی شهرستان بندرعباس است.

مواد و روش‌ها

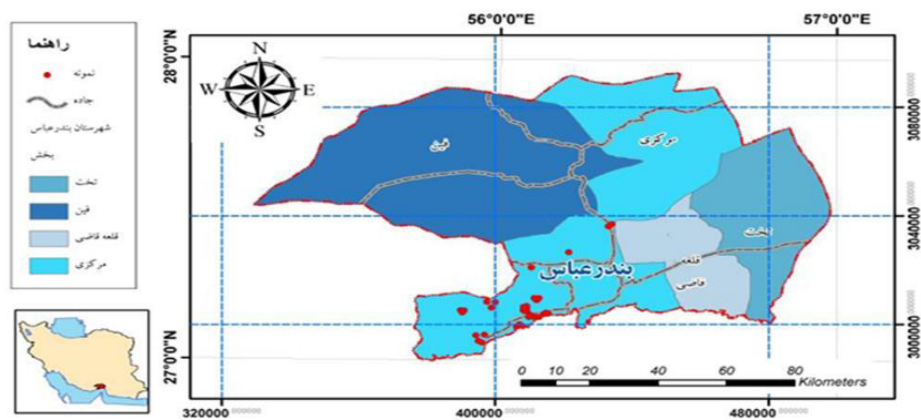
- منطقه بررسی شده

بخش مرکزی شهرستان بندرعباس با وسعت حدود 4063 km^2 در جنوب استان هرمزگان قرار دارد و از دهستان‌های گچین، ایسین، تازیان، سیاهو و سرخون تشکیل شده است (شکل ۱).

- نمونه‌برداری و روش‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری براساس نقشه کاربری اراضی و بررسی‌های میدانی، از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتیمتری و براساس روش استاندارد انجام گرفت. برای برداشت هر نمونه نهایی، در هر ایستگاه از گوشه‌های مربع به فاصله دو متری، نمونه‌برداری صورت گرفت که پس از مخلوط کردن چهار نمونه، یک نمونه معرف برای هر ایستگاه به وزن 1 kg بدست آمد. سپس نمونه‌ها براساس روش استاندارد آماده‌سازی و برای اندازه‌گیری ۱۲ نوع PAHs پارامترهای مورد نیاز به آزمایشگاه ارسال شدند (۷) محل و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) گروه بزرگی از ترکیبات آلی با دو یا چند حلقه آروماتیک هستند که از اتم‌های هیدروژن و کربن تشکیل شده‌اند (۱). این ترکیبات از مهمترین آلاینده‌های آلی هستند که بطور گسترده‌ای در محیط زیست توزیع شده‌اند (۲). تاکنون بیش از ۱۰۰ ترکیب PAHs در طبیعت شناخته شده است که ۱۶ نوع از این ترکیبات را سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا به عنوان آلاینده اولویت‌دار و خطرناک معرفی کرده است (۳). هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی به واسطه حضور و مقاومتشان در محیط‌های مختلف و بدلیل خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است (۴). این آلاینده‌ها از دو طریق طبیعی و انسان‌زاد ایجاد می‌شوند. PAHs با منشاء انسان‌زاد را می‌توان به دو گروه پیروژنیک و پتروژنیک طبقه‌بندی کرد. PAHs پیروژنیک از احتراق ناقص مواد آلی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی، وسایل نقلیه و زغال‌سنگ ناشی می‌شوند (۵). هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی با منشاء پتروژنیک شامل نفت خام نسوخته و مشتقات آن مانند بنزین، سوخت دیزل و روغن است (۶). خاک به عنوان یک شاخص خوب از آلودگی محیط زیست است که می‌تواند مهمترین مخزن برای تجمع PAHs در نظر گرفته شود (۷)، از این رو تعیین غلظت، آلودگی و منشاء PAHs در خاک ضروری است. در این راستا پایش کیفی خاک‌های بخش مرکزی شهرستان بندرعباس بدلیل وجود



شکل ۱- محل نقاط نمونه‌برداری از خاک‌های آلوده بخش مرکزی شهرستان بندرعباس

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه برداری خاک در بخش مرکزی شهرستان بندرعباس

| UTM Zone 39N | | ایستگاه نمونه برداری | کد نمونه |
|--------------|---------|----------------------------------|----------|
| X | Y | | |
| 449356 | 3037684 | نیروگاه گازی | HY1 |
| 447353 | 3032018 | نیروگاه گازی | HY2 |
| 451614 | 3033130 | میدان گازی | HY3 |
| 421443 | 3026600 | میدان گازی | HY4 |
| 410568 | 3020979 | شرکت شناور سازی سپهر دریای جنوب | HY5 |
| 415455 | 3003833 | شرکت شناور سازی سپهر دریای جنوب | HY6 |
| 414271 | 3003757 | شرکت شناور سازی سپهر دریای جنوب | HY7 |
| 414796 | 3004283 | پارس پترولیوم | HY8 |
| 412130 | 3008885 | پارس پترولیوم | HY9 |
| 411384 | 3009652 | پارس پترولیوم | HY10 |
| 412727 | 3009680 | نیروگاه برق بندرعباس | HY11 |
| 412132 | 3001738 | نیروگاه برق بندرعباس | HY12 |
| 412826 | 3002656 | نیروگاه گازی نما | HY13 |
| 411502 | 3002596 | نیروگاه گازی نما | HY14 |
| 410178 | 3003474 | نیروگاه گازی نما | HY15 |
| 409794 | 3002625 | شرکت نفت پاسارگاد | HY16 |
| 410366 | 3003058 | شرکت نفت پاسارگاد | HY17 |
| 408690 | 3005228 | شرکت نفت پاسارگاد | HY18 |
| 408690 | 3004762 | پالایشگاه هشتم نفت بندرعباس | HY19 |
| 409164 | 3005226 | پالایشگاه هشتم نفت بندرعباس | HY20 |
| 409121 | 3005855 | پالایشگاه هشتم نفت بندرعباس | HY21 |
| 409192 | 300670 | بندر شهید رجایی | HY22 |
| 408223 | 3006436 | بندر شهید رجایی | HY23 |
| 406285 | 2999094 | بندر شهید رجایی | HY24 |
| 407998 | 3000003 | پالایشگاه گازی | HY25 |
| 407998 | 2999275 | پالایشگاه گازی | HY26 |
| 398825 | 3006184 | پالایشگاه گازی | HY27 |
| 400009 | 3008185 | نیروگاه بخاری | HY28 |
| 397515 | 3008288 | نیروگاه بخاری | HY29 |
| 394320 | 2995971 | نیروگاه بخاری | HY30 |
| 396863 | 2996122 | پالایشگاه نفتی | HY31 |
| 395029 | 2993898 | پالایشگاه نفتی | HY32 |
| 389871 | 3005179 | پالایشگاه نفتی | HY33 |
| 390818 | 3005179 | مجتمع کشتی سازی فراساحل ایران | HY34 |
| 433107 | 3036134 | جاده ترانزیتی بندرعباس-حاجی آباد | HY35 |
| 434068 | 3036924 | جاده ترانزیتی بندرعباس-حاجی آباد | HY36 |

روش شناسی تحلیل داده‌ها

در این تحقیق برای تحلیل منشاء PAHs از مدل فاکتور ماتریس مثبت (Positive Matrix Factorization (PMF)) استفاده شد. فاکتور ماتریس مثبت برای تعیین منشاء آلاینده‌ها توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۸). PMF یک ابزار مدل‌سازی پیشرفته است که در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط Paatero و همکار (۹) برای بدست آوردن تحلیل‌های واقعی‌تر فیزیکی و محدودیت استفاده از نتایج منفی توسعه داده شد. PMF در طیف گسترده‌ای از داده‌ها از جمله آلودگی هوا، خاک، رسوبات و همچنین ترکیبات آلی فرار (VOC) مانند PAHs استفاده شده است.

- ارزیابی ریسک زیست‌شناختی

ریسک اکولوژیکی به معنی بررسی میزان ترکیبات آروماتیک حلقوی در خاک و رسوبات و اثرات احتمالی منفی بر موجودات در آن اکوسیستم براساس مقایسه با استانداردهای مختلف است (۱۰). برای ارزیابی کمی و کیفی آلودگی خاک و برای ارزیابی ریسک سلامت براساس دستورالعمل کیفی خاک (SOGs) شاخص‌های اکولوژیکی مانند (Effects Range Median (ERM) و (Effects Range Low) را پیشنهاد کردند. معیارهای ERL و ERM با استفاده از صدک‌های دهم و پنجاهم از افزایش غلظت، در ارتباط با عوارض جانبی بیولوژیکی است. غلظت کمتر از مقدار ERL حداقل اثرات زیست محیطی (Minimal-effects) را دارد و بیانگر تاثیراتی است که به ندرت رخ می‌دهد. غلظت‌های مساوی یا بیشتر از مقادیر ERL و پایین‌تر از ERM نشان‌دهنده محدوده تاثیرات ممکن (Possible-effects) است، که گاهی رخ می‌دهند. غلظت‌های برابر یا بالاتر از مقدار ERM نشان‌دهنده تاثیرات احتمالی (Probable-effects) هستند، اثراتی که اغلب رخ می‌دهند.

- محاسبه ریسک سرطان‌زایی بوسیله معادله بنزو (a) پابرن

$$(BaP_{eq})$$

ارزیابی ریسک سلامت PAHs سرطان‌زا تنها مربوط به غلظت کل نیست. بلکه، هر گونه PAHs پتانسیل سرطان‌زایی متفاوتی دارد. BaP تقریباً بالاترین سهم سرطان‌زایی را در بین تمام گونه‌های PAHs را دارا است (۱۱). BaP معادل (BaP_{eq}) یک شاخص مفید برای ارزیابی ریسک سرطان‌زایی PAHs است که برای برآورد غلظت معادل BaP و همچنین برای تعیین کمیت پتانسیل سرطان‌زایی دیگر PAHs نسبت به BaP از فاکتور هم‌ارز سمیت (TEF) ارائه شده توسط Nisbet و همکار (۱۲) (جدول ۳) استفاده می‌شود. حداکثر TEF، ۱ بیان شده است و به BaP اختصاص دارد و غلظت معادل سمی (TEQ) هر نمونه خاک توسط مجموع حاصل ضرب غلظت هر گونه PAH و TEF آن محاسبه می‌شود. معادله BaP_{eq} و TEQ به شرح ذیل است (معادله ۱):

$$(۱)$$

$$BaP_{eqi} = PAH_i \times TEF_i ; TEQ = \sum(PAH_i \times TEF_i)$$

که در آن: PAH_i غلظت PAH گونه i، TEF_i فاکتور هم‌ارز سمیت گونه i، TEQ غلظت معادل سمی

- محاسبه ریسک سرطان‌زایی

ریسک افزایش تدریجی سرطان در طول عمر (ILCR) به‌عنوان یک شاخص پتانسیل ریسک سرطان انتخاب شد. مدل ILCR را می‌توان در برآورد احتمال افزایش سرطان در یک فرد با میانگین طول عمر ۷۰ سال استفاده کرد (۱۳). مقادیر ILCR کمتر از ۱۰^{-۶} نشان‌دهنده ایمنی واقعی، بین ۱۰^{-۴} و ۱۰^{-۶} نشان‌دهنده پتانسیل ریسک و مقادیر بزرگتر از ۱۰^{-۴} پتانسیل بالای ریسک را نشان می‌دهد (۱۴). با توجه به قرار گرفتن انسان‌ها در معرض روزانه PAHs از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی، شاخص ILCR توسط معادله ۲، ۳ و ۴ محاسبه می‌شود:

$$ILCR_{(Ingestion)} = \frac{\sum TEQ \cdot \{CSF_{Ingestion}(BW/70)^{-1}\} \cdot ED \cdot EF \cdot IR_{soil}}{BW \cdot AT \cdot CF} \quad (۲)$$

$$ILCR_{(Inhalation)} = \frac{\sum TEQ \cdot \{CSF_{inhalation}(BW/V_0)^{-1}\} \cdot ED \cdot EF \cdot IR_{air}}{BW \cdot AT \cdot PEF} \quad (3)$$

$$ILCR_{(Dermal\ contact)} = \frac{\sum TEQ \cdot \{CSF_{dermal\ contact}(BW/V_0)^{-1}\} \cdot ABS \cdot AF \cdot SA \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot CF} \quad (4)$$

پوستی و CSF بلع از BaP به ترتیب ۳/۸۵، ۲۵ و ۳/۷ (mg⁻¹ kg day). پارامترهای استفاده شده در ارزیابی ریسک افزایش تدریجی سرطان در طول عمر در جدول ۲ آورده شده است.

که در آن: TEQ مجموع غلظت PAHs تبدیل شده توسط BaP_{eq} با استفاده از فاکتور معادل سمیت (TEF) برحسب (g kg⁻¹) ارائه شده در جدول ۳، CSF فاکتور شیب سرطانزایی برحسب (kg day mg⁻¹)، CSF استنشاق،

جدول ۲- پارامترهای استفاده شده در ارزیابی ریسک افزایش تدریجی سرطان در طول عمر

| منابع | بزرگسال | خردسال | واحد | متغیرهای مواجهه |
|-------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|--|
| (۱۵) | ۶۱/۵ | ۱۵ | kg | Body weight (BW) وزن بدن |
| (۱۶) | ۱۸۰ | ۱۸۰ | day year ⁻¹ | Exposure frequency (EF) فرکانس در معرض قرارگیری |
| (۱۷) | ۲۴ | ۶ | year | Exposure duration (ED) مدت زمان در معرض قرارگیری |
| (۱۸) | ۲۰ | ۱۰ | m ³ day ⁻¹ | Inhalation rate (IR _{inhalation}) نرخ استنشاق |
| (۱۷) | ۱۰۰ | ۲۰۰ | mg day ⁻¹ | Dust ingestion rate (IR _{Ingestion}) نرخ بلع |
| (۱۷) | ۵۷۰۰ | ۲۸۰۰ | cm ² day ⁻¹ | Dermal exposure area (SA) سطح منطقه پوستی در معرض |
| (۱۷) | ۰/۰۷ | ۰/۲ | mg cm ⁻² | Dermal exp adherence factor (AF) فاکتور جذب پوستی |
| (۱۷) | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ | Unitless | Dermal adsorption fraction (ABS) بخش جذب پوستی |
| (۱۶) | ۳۶۵×۷۰=۲۵۵۵۰ | ۳۶۵×۷۰=۲۵۵۵۰ | day | Average life span (AT) طول عمر متوسط |
| (۱۷) | ۱/۳۶×۱۰ ^۹ | ۱/۳۶×۱۰ ^۹ | m ³ kg ⁻¹ | Particle emission factor (PEF) تولید گرد و غبار |

یافته‌ها

غلظت PAHs mg/kg ۱/۴۸ و بیشینه غلظت آن mg/kg ۶/۸۶ بدست آمد که مربوط به نمونه HY5 است که دارای آلودگی بسیار زیاد است.

- توزیع هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی و آمار توصیفی پارامترهای آماری PAHs مانند میانگین، بیشینه و کمینه غلظت و انحراف معیار نمونه‌های خاک در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین

جدول ۳- غلظت آروماتیک‌های حلقوی در نمونه‌های خاک شهرستان بندرعباس (mg/kg)

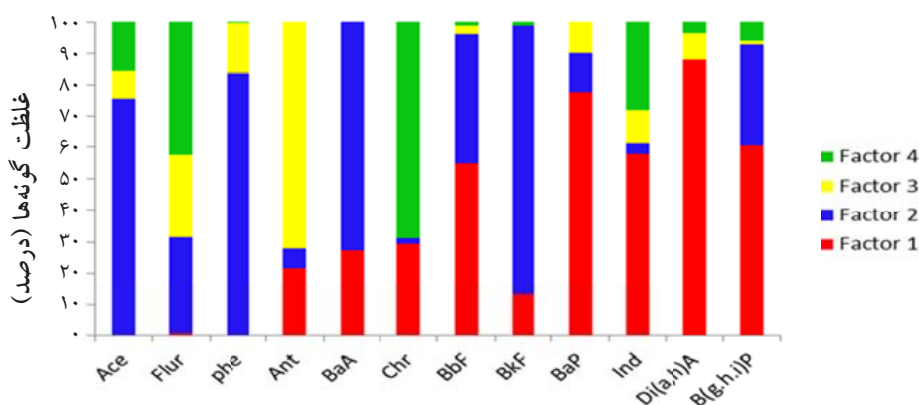
| PAHs | تعداد حلقه‌ها | کمینه | بیشینه | میانگین | انحراف معیار | TEF |
|------------------------------------|---------------|-------|--------|---------|--------------|-------|
| Acenaphthene (Ace) | 3 | 0.01 | 1.45 | 0.12 | 0.10 | 0.001 |
| Flourene (Flu) | 3 | 0.01 | 0.52 | 0.04 | 0.01 | 0.001 |
| Phenanthrene (Phe) | 3 | 0.01 | 1.27 | 0.16 | 0.14 | 0.001 |
| Anthracene (Ant) | 4 | 0.01 | 0.68 | 0.26 | 0.04 | 0.010 |
| Chrysene (Chr)* | 4 | 0.00 | 0.91 | 0.14 | 0.09 | 0.010 |
| Benzo(a) anthracene (BaA)* | 4 | 0.00 | 0.60 | 0.13 | 0.03 | 0.100 |
| Benzo(b) fluoranthene (BbF)* | 5 | 0.00 | 0.56 | 0.10 | 0.03 | 0.100 |
| Benzo (k) fluoranthene (BkF)* | 5 | 0.00 | 0.53 | 0.05 | 0.02 | 0.100 |
| Dibenzo (a,h)anthracene Di(a,h)A * | 5 | 0.01 | 1.40 | 0.06 | 0.14 | 0.010 |
| Benzo (a) pyrene (BaP)* | 5 | 0.00 | 0.54 | 0.08 | 0.02 | 1.000 |
| Benzo(g,h,i) perylene B(g,h,i)P* | 6 | 0.01 | 0.71 | 0.20 | 0.02 | 1.000 |
| Indeno (1,2,3-cd) pyrene (Ind)* | 6 | 0.01 | 1.07 | 0.08 | 0.04 | 0.010 |
| SUM PAHs | | 0.07 | 6.86 | 1.48 | 3.20 | |
| Sum PAHs carc | | 0.04 | 4.69 | 0.89 | 1.53 | |
| BaP _{eq} | | 0.06 | 0.73 | 0.12 | | |
| TEQ | | 0.01 | 1.62 | 0.19 | | |
| *Carcinogenic PAHs | | | | | | |

شاخص انتشار از ترافیک هستند (۲۰). منشا این فاکتور را می‌توان انتشار از وسایل نقلیه در نظر گرفت. فاکتور دوم شامل ۳۷/۱۰ درصد از واریانس کل است که دارای فاکتور وزنی بالایی از Ace, Phe, BkF و BaA است. Phe و Ace از سوخت فسیلی منتشر می‌شوند (۲۱). از طرفی غلظت بالایی از Phe را می‌توان به احتراق زغال‌سنگ یا نفت خام حاصل از وسایل نقلیه نسبت داد (۲۲). همچنین BaA و BkF مهمترین گونه‌های تولید شده توسط احتراق دیزلی هستند (۲۳). پس منشا این فاکتور را می‌توان به احتراق

- تعیین منشا PAHs با استفاده از مدل PMF

در این تحقیق به منظور ارزیابی کمی سهم منابع مختلف مربوط به آلودگی PAHs از مدل PMF استفاده شده است. در این تحقیق ۴ فاکتور به‌عنوان مناسب‌ترین تعداد فاکتور انتخاب شد (نمودار ۱).

فاکتور اول با ۳۶/۰۳ درصد از واریانس کل فاکتور وزنی بالایی از BghiP, BaP, DiA و Ind و فاکتور وزنی متوسط DiA و BbF و BgP را نشان می‌دهد. Ind, BaP, BbF و BgP غالب از وسایل نقلیه منتشر می‌شوند (۱۹).



نمودار ۱- درصد غلظت گونه‌ها در هر فاکتور

سوختن زیست توده/چوب است. فاکتور چهارم با ۱۳/۸۷ درصد از واریانس کل دارای فاکتور وزنی بالایی از Chr، Flu و Ind است. براساس مطالعات صورت گرفته، Ind و Chr شاخص احتراق از گاز طبیعی و دیزلی هستند (۲۵). از طرفی Flu و Chr از احتراق سوخت‌های فسیلی نیز منتشر می‌شوند، در نتیجه فاکتور اول نشان می‌دهد منشا PAHs عمدتاً از احتراق سوخت‌های فسیلی است.

سوخت فسیلی / نفت خام نسبت داد. فاکتور سوم با ۱۲/۹۷ درصد از واریانس کل PAHs فاکتور وزنی بالای Ant و فاکتور وزنی متوسط Flu و Phe را نشان می‌دهد. Phe یک شاخص مهم سوختن چوب است (۲۱)، و ترکیبات با وزن مولکولی کم (LMW PAHs) مانند Ant، Flu و Phe بطور قابل توجهی از فرایندهای پیروژنیک دما پایین ناشی می‌شوند (۲۴). بنابراین منشاء این فاکتور

جدول ۴- معیارهای آلودگی استاندارد زیست شناختی اجزای PAHs برای خاک شهرستان بندرعباس (۱۰)

| PAH component | SQGs | | خاک بخش مرکزی بندرعباس | |
|---------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|
| | ERL (ppb) | ERM (ppb) | Ave (ppb) | Max (ppb) |
| Ace | 16 | 500 | 127.78 | 1450 |
| Flu | 600 | 5100 | 41.78 | 520 |
| Phe | 240 | 1500 | 162.39 | 1270 |
| Ant | 853 | 1100 | 260.56 | 680 |
| Pyr | 665 | 2600 | 141.83 | 910 |
| Chr | 384 | 2800 | 144.50 | 600 |
| BaA | 261 | 1600 | 102.83 | 560 |
| BbF | 320 | 1880 | 57.61 | 530 |
| BkF | 280 | 1620 | 84.17 | 540 |
| BaP | 430 | 1600 | 85.83 | 710 |
| DBA | 63.4 | 260 | 66.89 | 1070 |
| Ind | Nd | Nd | 208.92 | 1400 |
| Total | 4112.4 | 20560 | 1485.08 | 10240 |

جدول ۵- مقادیر شاخص ریسک افزایش تدریجی سرطان در طول عمر برای دو گروه سنی در منطقه مورد مطالعه

| | Child | | | | Adult | | | |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| | ILCR _{ing} | ILCR _{inh} | ILCR _{der} | Cancer Risk | ILCR _{ing} | ILCR _{inh} | ILCR _{der} | Cancer Risk |
| بیشینه | 1.83E-05 | 3.54E-10 | 2.27E-05 | 4.10E-05 | 3.10E-06 | 2.40E-10 | 5.50E-06 | 8.60E-06 |
| کمینه | 1.60E-07 | 3.10E-12 | 1.99E-07 | 3.58E-07 | 2.71E-08 | 2.10E-12 | 4.82E-08 | 7.52E-08 |
| میانه | 4.43E-07 | 8.59E-12 | 5.52E-07 | 9.95E-07 | 7.52E-08 | 5.82E-12 | 1.65E-07 | 2.57E-07 |
| میانگین | 2.21E-06 | 4.28E-11 | 2.74E-06 | 4.95E-06 | 3.74E-07 | 2.90E-11 | 6.93E-07 | 1.06E-06 |

می‌تواند تأثیرات منفی اکولوژیکی را در این دو محدوده به همراه داشته باشد. میانگین سطوح ریسک سرطان از طریق مسیر بلع و تماس پوستی $10^{-6} \times 2/20$ و $10^{-6} \times 2/74$ در کودکان $10^{-7} \times 3/74$ و $10^{-7} \times 2/89$ در بزرگسالان است، در حالی که میانگین ریسک سرطان از طریق استنشاق به ترتیب $10^{-11} \times 4/27$ برای کودکان و $10^{-11} \times 2/89$ برای بزرگسالان است.

- ارزیابی ریسک زیست شناختی و ریسک سلامت
نتایج برآورد ریسک زیست شناختی و ریسک سرطان‌زایی در جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهد که غلظت تمام PAHs در نمونه‌های خاک محدوده مورد مطالعه کمتر از مقادیر ERL است. غلظت Ace و Dia در دو نمونه خاک در مناطق HY5 و HY23 به ترتیب در محدوده ($ERM <$ و $ERL \geq$) قرار می‌گیرد که

- محاسبه معادله بنزو (a) پایرن (BaPeq)

غلظت (BaPeq) و TEQ برای تمامی نمونه‌های خاک در منطقه مورد مطالعه محاسبه شده و مقادیر آن در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق جدول ۳ مقدار (BaPeq) برای نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه در دامنه ۰/۷۳ تا ۰/۰۶ و با میانگین مقدار ۰/۱۲ و غلظت TEQ در دامنه ۰/۰۱ تا ۱/۶۲ و با میانگین $0.19 \mu\text{g}/\text{kg}$ است. سطوح بالاتری از TEQ در مناطق HY18، HY19، و HY23 یافت شد که نشان می‌دهد که PAHs در این سایت‌ها سمیت نسبتاً بالاتری را نشان می‌دهد.

بحث

ارزیابی ریسک زیست‌شناختی نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها اثرات بیولوژیکی به‌ندرت رخ می‌دهند به جز دو ایستگاه ذکر شده که در آن اثرات بیولوژیکی گاهی اوقات رخ می‌دهد. نتایج ریسک سرطان‌زایی نشان می‌دهد که استنشاق ذرات خاک از طریق دهان و بینی نسبت به سایر مسیرها ناچیز است. مقادیر ریسک از طریق بلع مستقیم برای کودکان کمی بالاتر از ریسک از طریق بلع برای بزرگسالان است. کودکان بدلیل فعالیت دست به دهان بخش حساس جامعه هستند که به موجب آن گرد و غبار به آسانی می‌تواند خورده شود. علاوه بر این با توجه به وزن پایین بدن کودکان گفته می‌شود که مصرف PAHs ($\text{mg}/\text{kg}(\text{bw})/\text{day}$) در کودکان بیشتر از بزرگسالان است. در بزرگسالان مقادیر ILCRs بررسی شده از طریق سه مسیر، کمتر از سطح قابل قبول است (10^{-6})، بجز دو مسیر، بلع در ایستگاه‌های (HY18-19, HY23) و مسیر تماس پوستی در ایستگاه‌های (HY5-7, HY13-14, HY18-19, HY23)

ریسک سرطان در محدوده قابل قبول است و در بقیه ایستگاه‌ها ریسک سرطان وجود ندارد، بنابراین ریسک سرطان در کودکان بیشتر از بزرگسالان است. ریسک سرطان کل نیز از طریق مجموع ریسک‌های رخ داده از طریق مسیرهای بلع، استنشاق و تماس پوستی محاسبه شده است که نسبت به سطح قابل قبول بالاتر است (یک مورد سرطان در هر یک میلیون نفر) (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد که کودکان در مناطق مورد مطالعه، از دو طریق مسیر بلع و تماس پوستی در معرض پتانسیل ریسک سرطان‌زایی بالا قرار گرفته‌اند و از طریق مسیر استنشاق ریسک سرطان وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی مقاله حاضر، تعیین آلودگی، منشاء و ارزیابی ریسک سلامت هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در خاک‌های آلوده بخش مرکزی شهرستان بندرعباس است. بالاترین غلظت PAHs در نمونه خاک در منطقه HY5 یافت شد که نشان می‌دهد دارای آلودگی بسیار زیاد است. ارزیابی ریسک زیست محیطی PAHs نشان داد که در دو سایت HY5 و HY23 گاهی اوقات عوارض جانبی بیولوژیکی رخ می‌دهد و نتایج ارزیابی ریسک سلامت نشان می‌دهد که کودکان در مناطق مورد مطالعه، از دو طریق مسیر بلع و تماس پوستی در معرض پتانسیل ریسک سرطان‌زایی بالا قرار گرفته‌اند و از طریق مسیر استنشاق ریسک سرطان وجود ندارد، همچنین ریسک سرطان در کودکان بیشتر از بزرگسالان است. مدل PMF برای شناسایی منابع PAHs در نمونه‌های خاک استفاده شد که نشان‌دهنده چهار منشاء اصلی احتراق سوخت فسیلی، احتراق زیست توده، انتشار از وسایل نقلیه و احتراق سوخت فسیلی / نفت خام است.

منابع

1. Walker CH. Organic Pollutants: An Ecotoxicological Perspective. Boca Raton: CRC Press; 2008.
2. Ravindra K, Sokhi R, Van Grieken R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. Atmospheric Environment. 2008;42(13):2895-921.
3. USEPA. Development of a relative potency factor (RPF) approach for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) mixtures. Washington DC: US Environmental Protection Agency; 2010.
4. Kamal A, Malik RN, Martellini T, Cincinelli A. Cancer risk evaluation of brick kiln workers exposed

- to dust bound PAHs in Punjab province (Pakistan). *Science of the Total Environment*. 2014;493:562-70.
5. Tobiszewski M, Namieśnik J. PAH diagnostic ratios for the identification of pollution emission sources. *Environmental Pollution*. 2012;162:110-19.
 6. Lang Y, Wang N, Gao H, Bai J. Distribution and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from Liaohe estuarine wetland soils. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184(9):5545-52.
 7. USEPA. EPA positive matrix factorization (PMF) 2.5: fundamentals & user guide. Washington DC: US Environmental Protection Agency; 2008.
 8. Ma C, Ye S, Lin T, Ding X, Yuan H, Guo Z. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of wetlands in the Liao River Delta, Northeast China. *Marine pollution bulletin*. 2014;80(1):160-67.
 9. Paatero P, Tapper U. Positive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics*. 1994;5:111-26.
 10. Long ER, Macdonald DD, Smith SL, Calder FD. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 1995;19(1):81-97.
 11. Halek F, Nabi G, Kavousi A. Polycyclic aromatic hydrocarbons study and toxic equivalency factor (TEFs) in Tehran, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008;143(1):303-11.
 12. Nisbet IC, LaGoy PK. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1992;16(3):290-300.
 13. Meiners R, Yandle B., Taking the Environment Seriously. USA: Rowman & Littlefield Publishers; 1995.
 14. Liao C-M, Chiang K-C. Probabilistic risk assessment for personal exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiwanese temples. *Chemosphere*. 2006;63(9):1610-19.
 15. Shi G, Chen Z, Bi C, Wang L, Teng J, Li Y, et al. A comparative study of health risk of potentially toxic metals in urban and suburban road dust in the most populated city of China. *Atmospheric Environment*. 2011;45(3):764-71.
 16. Ferreira-Baptista L, De Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric Environment*. 2005;39(25):4501-12.
 17. USEPA. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Washington DC: US Environmental Protection Agency; 2001.
 18. Norwegian Pollution Control Authority. Guidelines on risk assessment of contaminated sites. Norway: Norwegian Pollution Control Authority; 1999.
 19. Gocht T, Barth JA, Epp M, Jochmann M, Blessing M, Schmidt TC, et al. Indications for pedogenic formation of perylene in a terrestrial soil profile: depth distribution and first results from stable carbon isotope ratios. *Applied Geochemistry*. 2007;22(12):2652-63.
 20. Harrison RM, Smith D, Luhana L. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK. *Environmental Science & Technology*. 1996;30(3):825-32.
 21. Simcik MF, Eisenreich SJ, Lioy PJ. Source apportionment and source/sink relationships of PAHs in the coastal atmosphere of Chicago and Lake Michigan. *Atmospheric Environment*. 1999;33(30):5071-79.
 22. Zuo Q, Duan Y, Yang Y, Wang X, Tao S. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, China. *Environmental Pollution*. 2007;147(2):303-10.
 23. Lee JH, Gigliotti CL, Offenbergh JH, Eisenreich SJ, Turpin BJ. Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons to the Hudson River Airshed. *Atmospheric Environment*. 2004;38(35):5971-81.
 24. Xiao Y, Tong F, Kuang Y, B C. Distribution and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in forest soils from urban to rural areas in the Pearl River Delta of southern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014;11:2642-56.
 25. Valavanidis A, Fiotakis K, Vlahogianni T, Bakeas EB, Triantafyllaki S, Paraskevopoulou V, et al. Characterization of atmospheric particulates, particle-bound transition metals and polycyclic aromatic hydrocarbons of urban air in the center of Athens (Greece). *Chemosphere*. 2006;65:760-68.



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

Original Article



Contamination, source apportionment and health risk assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in soils of Bandar Abbas county central district

SL Mousavi, A Shakeri*, M Nakhaei

Department of Applied Geology, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 6 June 2017
Revised: 29 August 2017
Accepted: 4 September 2017
Published: 20 September 2017

Key words: Soil, Polycyclic aromatic hydrocarbons, Positive matrix factorization, Bandar Abbas, Iran

*Corresponding Author:

atashakeri@khu.ac.ir
shakeri1353@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) constitute a large class of organic compounds that are composed of two or more fused aromatic rings. Due to their potential mutagenic, carcinogenic and teratogenic effects on human health, PAHs have attracted particular concern. Therefore, in this study it was attempted to measure the PAHs concentration in the study area to evaluate the health risk.

Materials and Methods: 36 samples were taken from the central district in Bandar Abbas county to investigate the degree of contamination, sources and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Analysis of the samples was performed using gas chromatography. Also, PMF Model was used to determine the possible sources.

Results: The total PAHs concentration had a mean value of 1.48 mg/kg in the soil samples. The total incremental life time cancer risk (ILCR) due to exposure to PAHs in soil is 1.06×10^{-6} for an adult and 4.95×10^{-6} for children. The results estimated for ILCR indicated that residents live in the central district of Bandar Abbas county are potentially exposed to cancer risk via both dust ingestion and dermal contact.

Conclusion: The ecological risk assessment of PAHs showed that the levels of all types of PAHs were lower than the lower value of effects range, except for dibenzo(a,h) anthracene and acenaphthene. The estimated results of ILCR indicated that Bandar Abbas county central district residents are potentially exposed to cancer risk via both ingestion and dermal contact. The PMF analysis identified four sources that were included fossil fuel combustion (14%), biomass combustion (13%), vehicular emissions (36%) and fossil fuel combustion/unburned petroleum (37%).