

## ارزیابی هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک در هوای تنفسی کارگران آسفالت کار شهر تهران

حامد آقائی<sup>۱</sup> - حسین کاکویی<sup>۲\*</sup> - سید جمال الدین شاهپاوری<sup>۲</sup> - فریبرز امیدی<sup>۳</sup> - صفورا عارفیان<sup>۴</sup> - کمال اعظم<sup>۵</sup>

hkakooei@sina.tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۸

### چکیده

**مقدمه:** PAHها، ترکیباتی با حلقه های بنزنی ناشی از سوخت ناقص مواد آلی هستند که از آسفالت داغ متصاعد می شوند. این ترکیبات به دلیل پایداری، تجمع پذیری زیستی، اثرات سرطان زایی و جهش زایی به عنوان یکی از نگرانی های جوامع علمی در محیط کار و محیط زیست به شمار می روند. از آنجایی که آسفالت کاران نیز به واسطه شغل خود با این ترکیبات مواجه هستند، لذا در این تحقیق سعی شده است با اندازه گیری غلظت PAHها در منطقه تنفسی شان میزان مواجهه آنها را مورد ارزیابی قرار دهیم.

**روش کار:** در این مطالعه نمونه های هوای تنفسی کارگران با روش NIOSH 5506 و با استفاده از فیلتر PTFE و جاذب XAD-2 جمع آوری گردید. به منظور استخراج آنالیت ها از فیلتر و جاذب از حمام التراسونیک و حلال استونیتریل استفاده شد. همچنین جهت آنالیز نمونه ها HPLC-UV مورد استفاده قرار گرفت.

**یافته ها:** در نمونه های مورد مطالعه حداکثر میزان مواجهه با  $\Sigma$ PAH مربوط به وظیفه کمک فینیشر با ۱۷۵۴/۴۸ نانوگرم برمتر مکعب و حداقل میزان مواجهه مربوط به وظیفه چرب کن با ۲۴/۶۵ نانوگرم بر مترمکعب به دست آمد. در میان آسفالت کاران میزان مواجهه با نفتالین بیش از سایر هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک بود (دامنه ۶۴۸/۷۲-۲/۳۵ نانو گرم بر متر مکعب). در وظایف مختلف آسفالت کاری میزان مواجهه با PAHها در وظیفه کمک فینیشر با اکثر وظایف دیگر اختلاف معناداری را نشان داد.

**نتیجه گیری:** برآورد غلظت هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک در منطقه تنفسی آسفالت کاران نشان داد که میزان مواجهه با این ترکیبات پایین تر از حدود مجاز اعلام شده توسط OSHA، ACGIH، NIOSH و ایران می باشد. با توجه به پتانسیل سرطان زایی بالای برخی از این ترکیبات و عدم تعیین حدود مجاز شغلی برای آنها مانند کریزن و بنزو آلفا آنتراسن پیشنهاد می شود که ضمن استفاده از راهکارهای فنی برای کنترل مواجهه با PAHها از وسایل حفاظت فردی مناسب از قبیل ماسک تنفسی و لباس های مناسب استفاده شود. این مطالعه همچنین نشان داد که بین میزان مواجهه در اکثر وظایف آسفالت کاری با هیدروکربن های چند حلقه آروماتیک اختلاف معناداری وجود دارد که می تواند ناشی از نزدیکی به منبع آسفالت داغ و همچنین گازهای خروجی از اگزوز ماشین الات راهسازی باشد.

**کلمات کلیدی:** هیدروکربن های چند حلقه ای آروماتیک، مواجهه فردی، آسفالت کاران، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۲- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۳- مربی گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود
- ۴- کارشناس گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
- ۵- استادیار گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

### مقدمه

هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک گروهی از آلاینده‌های ارگانیک پایدارند که شامل حلقه‌های چند هسته‌ای آرن‌ها یا پلی آرن‌ها می‌باشند که در همه جا حضور دارند (Vo Dinh, 1989). این ترکیبات برای سال‌ها به دلیل پایداری، قابلیت تجمع پذیری زیستی و نیز اثرات سرطان‌زایی و جهش‌زایی شان مورد توجه محافل علمی بوده‌اند (Costantino and Bearden, 1995; Kalina *et al.*, 1998; Kim Oanh *et al.*, 2005). PAHها عموماً در اثر احتراق ناقص مواد آلی ضمن فعالیت‌های صنعتی و یا سایر فعالیت‌های انسانی حاصل می‌شوند. این فعالیت‌ها و فرایندها شامل فراوری ذغال سنگ و نفت خام، احتراق گازهای طبیعی، احتراق پسماندها، ترافیک وسایل نقلیه آسپزی و استعمال دخانیات و نیز فرایندهای طبیعی همچون حریق جنگل‌هاست (Inc, 2006).

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، برخی از PAHها مانند بنزو آپیرن را در گروه ۱ (سرطان‌زای انسانی) و برخی دیگر مانند آنتراسن (DBA) را در گروه 2A (احتمالاً سرطان‌زای انسانی) طبقه‌بندی نموده است (IARC, 1989; 2005). روش‌های آنالیز مدرن امکان تشخیص بیش از صد نوع PAH را در ذرات هوا برد فراهم کرده است که برخی از آنها دارای پتانسیل سرطان‌زایی می‌باشند. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای که به‌عنوان سرطان‌زا شناخته شده‌اند عبارتند از بنزو (آلفا) آنتراسن، کریزن، بنزو (بتا) فلورانتن، بنزو (کا) فلورانتن، بنزو (آلفا) پیرن، بنزو (جی اچ آی) پیلن، آنتراسن و ایندینو (سی دی) پیرن (Topinka *et al.*, 2009; Taioli *et al.*, 2007). PAHها با توجه به فشار بخار در دو فاز گازی و ذره‌ای دیده می‌شوند.

در مجموع PAHهایی که بیش از پنج حلقه دارند، مانند BaP، اغلب به صورت ذره‌ای دیده می‌شوند، آنهایی که دو یا سه حلقه دارند به شکل گازی و PAHهای چهار حلقه مانند فلورانتین، پیرن و بنزو آلفا آنتراسن به هر دو صورت گازی و ذره‌ای دیده می‌شوند (NIOSH, 2000). موادی مانند آسفالت (Kim Oanh *et al.*, 2005)، کرومیت و نکه‌دارنده‌های چوب دارای مقادیر بسیار زیادی از PAHها هستند (Inc, 2006).

آسفالت شامل هیدروکربن‌های پارافینیک و آروماتیک و ترکیبات حلقه‌ای خطرناک کربن، سولفور، نیتروژن و اکسیژن است (CONCAWE, 1992). ترکیب شیمیایی دقیق آسفالت به ترکیب شیمیایی نفت خام مورد استفاده و فرایند‌های تولیدی بستگی دارد. نسبت‌های مواد شیمیایی تشکیل‌دهنده آسفالت (غالباً ترکیبات آلیفاتیک، آلکان‌های حلقوی، هیدروکربن‌های آروماتیک، نیتروژن، اکسیژن، و سولفور) به دلیل تفاوت در نفت خام از میادین مختلف و حتی از مکان‌های موجود در یک میدان می‌تواند متفاوت باشد. در تولید آسفالت از مواد آلی گوناگونی مانند تار و قیر استفاده می‌شود. قیر به‌عنوان یک محصول فرعی در فرایند‌های شیمیایی که بر روی نفت خام صورت می‌پذیرد تولید می‌شود. قطران نیز در حکم یک ماده ویسکوز از تقطیر تخریبی ذغال سنگ به‌وجود می‌آید که شامل ترکیبات آلی بسیاری است که عمده‌ترین آنها PAHها می‌باشد (Giavarini and Scarsella, 1993; Giua and Lollini, 1993). فیوم‌های قیر حدوداً حاوی ۱ درصد و فیوم‌های تار (قطران) حاوی ۹۰ درصد PAH می‌باشند از همین رو IARC تار را به‌عنوان سرطان‌زای انسانی در گروه ۱ و قیر را در گروه ۳ (به‌عنوان سرطان‌زای انسانی طبقه‌بندی نمی‌شود)

را از طریق نمونه برداری فردی از منطقه تنفسی با PAHها مورد ارزیابی قرار دهیم.

### روش کار

این مطالعه در طول فصول تابستان و پاییز سال ۱۳۹۱ در شهر تهران انجام شد که نمونه‌ها در طول زمان انجام فرایند آسفالت ریزی جمع آوری گردید. جهت تعیین حجم نمونه از مطالعه انجام شده در شهر میلان ایتالیا استفاده شد که در مجموع حجم نمونه ۳۸ تعیین شد و با احتساب ۱۰ درصد خطا، در مجموع تعداد ۴۲ نمونه فردی از هوای تنفسی آسفالت‌کاران تحت پوشش شهرداری تهران جمع آوری شد. به منظور نمونه برداری از هوای منطقه تنفسی آسفالت‌کاران از پمپ نمونه برداری فردی (مدل SKC) کالیبره شده توسط کالیبراتور الکتریکی به همراه جاذب XAD-2 و فیلتر ۳۷ میلی متری PTFE طبق روش نایوش ۵۵۰۶ استفاده شد. بعد از نمونه برداری فردی فیلتر و جاذب در فویل آلومینیومی پیچیده شده و در فلاسک یخ به آزمایشگاه انتقال داده شد. جهت استخراج هیدرو کربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک از فیلتر استونیتریل با درجه HPLC تهیه شده از شرکت مرک آلمان همراه با حمام التراسونیک استفاده گردید. بدین صورت که فیلتر توسط پنس به لوله آزمایش منتقل گردید و بعد از اضافه نمودن ۵ میلی لیتر استونیتریل به لوله آزمایش، به مدت ۳۰ دقیقه در حمام التراسونیک قرار داده می شد. سپس با استفاده از سرنگ و فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری، محلول تهیه شده تصفیه و آماده تزریق به دستگاه کروماتوگرافی با عملکرد بالا گردید. جهت استخراج هیدروکربن‌های چند

جای داده‌است (CONCAWE, 1992; NIOSH, 2000). PAHها از طریق سیستم تنفسی، لوله گوارشی و پوست جذب بدن می شوند. میزان جذب از راه ریه بستگی به نوع ترکیب، سایز ذراتی که PAHها به آن جذب شده اند و ترکیب ماده جذب شونده دارد. این ترکیبات پس از جذب سریعاً در بدن منتشر می گردند. از آنجا که PAHها ترکیباتی بسیار چربی دوست هستند، در مطالعاتی که بر روی جوندگان انجام گرفته است، ترکیبات PAHها و متابولیت آنها را اغلب در بافت‌ها و به خصوص بافت‌های دارای چربی زیاد یافت شده‌اند (Douglas et al., 1971).

سرطان‌زایی هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک به صورت منفرد و مخلوط در چندین مطالعه بررسی شده است. یافته‌های حاصل نشان دادند که تعدادی از PAHها که در حیوانات تحت مطالعه باعث ایجاد سرطان می‌شوند، پتانسیل ایجاد سرطان در انسان را دارا می‌باشند. سرطان‌زایی PAHها با توجه به راه مواجهه متفاوت می‌باشد (WHO, 1998). میزان مرگ و میر ناشی از بیماری‌های سیستم تنفسی در آسفالت‌کاران رو به افزایش است. همچنین این فرضیه که PAHها باعث ایجاد بیماری‌های انسدادی تنفسی می‌شوند نیز وجود دارد (Hansen, 1991). مطالعات اخیر نشان دادند که ریسک ابتلا به سرطان در میان کارگرانی که در مواجهه با فیوم‌های قیر و ترکیبات دیگر موجود در آسفالت هستند افزایش یافته است (Partanen and Boffetta, 1994) با توجه به اینکه در ایران هیچ‌گونه اطلاعاتی در خصوص میزان مواجهه آسفالت‌کاران با هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک که دارای پتانسیل سرطان‌زایی بالایی هستند، وجود ندارد لذا بر آن شدیم که در این مطالعه میزان مواجهه تنفسی آسفالت‌کاران تحت پوشش شهرداری تهران

حلقه‌ای آروماتیک از جاذب نیز قسمت جلویی (بزرگتر) هر لوله جاذب با یک سوهان علامت گذاری شد. لوله علامت‌گذاری شده از قسمت علامت‌گذاری شده شکسته شد. سپس پلاگ پشم شیشه‌ای جلویی و بخش جلویی جاذب به یک لوله آزمایش منتقل گردید. بخش عقبی جاذب و پلاگ پشم شیشه‌ای میانی به لوله آزمایش دوم انتقال داده شد. پس از آن به هر لوله آزمایش ۳ میلی لیتر استونیتریل اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در درمای محیط در حمام التراسونیک قرار داده شد. در نهایت توسط سرنگ و فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری، محلول به دست آمده تصفیه گردید. به منظور آنالیز کیفی و کمی هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک از روش کروماتوگرافی با عملکرد بالا (HPLC) ساخت شرکت Knauer آلمان مجهز به آشکار ساز ماورا بنفش و لوپ ۲۰ میکرولیتری در طول موج ۲۵۴ نانومتر استفاده شد (NIOSH, 1998). در سیستم HPLC به منظور جداسازی و شناسایی هیدروکربن‌های چند حلقه آروماتیک تحت مطالعه که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شده است، از ستون فاز معکوس C18 با مشخصات Chromolith performance RR- c18 e 100\*4.6 mm استفاده شد. جهت دستیابی به کروماتوگرام مناسب از روش شویش گرادینانت فاز متحرک استونیتریل و آب دی یونیزه طبق جدول شماره ۱ بهره گرفته شد.

حلقه‌ای آروماتیک از جاذب نیز قسمت جلویی (بزرگتر) هر لوله جاذب با یک سوهان علامت گذاری شد. لوله علامت‌گذاری شده از قسمت علامت‌گذاری شده شکسته شد. سپس پلاگ پشم شیشه‌ای جلویی و بخش جلویی جاذب به یک لوله آزمایش منتقل گردید. بخش عقبی جاذب و پلاگ پشم شیشه‌ای میانی به لوله آزمایش دوم انتقال داده شد. پس از آن به هر لوله آزمایش ۳ میلی لیتر استونیتریل اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در درمای محیط در حمام التراسونیک قرار داده شد. در نهایت توسط سرنگ و فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری، محلول به دست آمده تصفیه گردید. به منظور آنالیز کیفی و کمی هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک از روش کروماتوگرافی با عملکرد بالا (HPLC) ساخت شرکت Knauer آلمان مجهز به آشکار ساز ماورا بنفش و لوپ ۲۰ میکرولیتری در طول موج ۲۵۴ نانومتر استفاده شد (NIOSH, 1998). در سیستم HPLC به منظور جداسازی و شناسایی هیدروکربن‌های چند حلقه آروماتیک تحت مطالعه که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شده است، از ستون فاز معکوس C18 با مشخصات Chromolith performance RR- c18 e 100\*4.6 mm استفاده شد. جهت دستیابی به کروماتوگرام مناسب از روش شویش گرادینانت فاز متحرک استونیتریل و آب دی یونیزه طبق جدول شماره ۱ بهره گرفته شد.

به منظور رسم منحنی های استاندارد جهت تعیین نوع (با استفاده از زمان ماند) و مقدار (با استفاده از سطح زیر منحنی) هر یک از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک از محلول استوک مخلوط PAH تهیه شده از شرکت

$$C = ((W + W_f + W_b - B - B_f - B_b) / V) , \quad \text{mg/m}^3$$

در این معادله W جرم هر آنالیت یافت شده بر روی فیلتر،  $W_f$  مقدار آنالیت در بخش جلویی جاذب،  $W_b$  مقدار آنالیت در بخش عقبی جاذب، B مقادیر میانگین آنالیت بر روی بستر فیلتر بلانک،  $B_f$  مقدار آنالیت در بخش جلویی جاذب بلانک،  $B_b$  مقدار آنالیت در بخش عقبی جاذب بلانک بر حسب میکروگرم، V حجم هوای نمونه برداری شده بر حسب لیتر و C تراکم آنالیت بر حسب میلی گرم بر متر مکعب می باشد. آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۱/۵ انجام گرفت.

### ≡ یافته ها

در این مطالعه ۴۲ آسفالت کار مورد بررسی قرار گرفتند که شامل ۶ نفر راننده دستگاه فینیشر، ۶ نفر کمک فینیشر، ۶ نفر راننده غلتک آهنی، ۶ نفر راننده غلتک لاستیکی، ۶ نفر بیل به دست ، ۶ نفر ماله کش و ۶ نفر به عنوان چرب کن بودند. حداقل و حداکثر زمان نمونه برداری ۱۳۵ و ۲۶۰

جدول ۱: گرادینت فاز متحرک

زمان (دقیقه)	دبی فاز متحرک (لیتر بر دقیقه)	آب (%)	استونیتریل (%)
۰	۱	۶۰	۴۰
۱۰	۱	۶۰	۴۰
۳۰	۱	۰	۱۰۰
۴۰	۱	۳۵	۶۵

جدول ۲: معادله خطی، زمان ماند، حد تشخیص کمی و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای PAH ها

ترکیب مورد نظر	حد تشخیص کمی (نانو گرم بر میلی لیتر)	معادله خط	$R^2$	ضریب تغییرات (CV %)
Naphtalene	۰/۵	$Y=27.841X+88.211$	۰/۹۹۹۶	۶
Acenaphthylene	۰/۲	$Y=19.921X+51.818$	۰/۹۹۸۸	۶/۵
Fluorene	۰/۴	$Y=142.65X + 210.7$	۰/۹۹۹۸	۶/۷
Phenanthrene	۰/۸	$Y=3.1588X+21.035$	۰/۹۹۹	۶/۱
Anthracene	۰/۶	$Y=301.88X-1849.4$	۰/۹۹۹	۸/۱
Fluoranthene	۰/۴	$Y = 523.93X - 2541$	۰/۹۹۹	۷/۸
Pyrene	۰/۴	$Y=78.099X+ 495.4$	۰/۹۹۹	۴/۵
Benzo(a)anthracene	۰/۲	$Y=67.614X+ 456.3$	۰/۹۹۷	۷/۵
Chrysene	۰/۱	$Y=494.19X+1103.8$	۰/۹۹۸	۷/۴
Benzo(b)fluoranthene	۰/۱	$Y=91.244X+1468.1$	۰/۹۹۷	۴/۱
Benzo(k)fluoranthene	۰/۱	$Y=26.253X+738.71$	۰/۹۸۸	۶/۳۷
Benzo(a)pyrene	۰/۱	$Y=149.26X+1510.3$	۰/۹۹۹	۷/۶
Dibenzo(a,h)anthracene	۰/۲	$Y=52.217X+0.4339$	۰/۹۹۶	۶/۳
Benzo(ghi)perylene	۰/۳	$Y=118.92X+35.377$	۰/۹۹۹	۷/۳
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	۰/۲	$Y=38.861X+16.858$	۰/۹۹۹	۸

کمی مربوط به فنانترو و کمترین میزان مربوط به ترکیبات کریزن، بنزو بتا، بنزو کا فلورانتن و بنزو آلفا پیرن به دست آمد. ضریب همبستگی برای تمامی ترکیبات بیش از ۰/۹۹ حاصل شد. در این مطالعه بیشترین میزان ضریب تغییرات مربوط به ترکیب آنتراسن (۸/۱) و کمترین مقدار مربوط به بنزو کافلورانتن بود.

میانگین و انحراف معیار غلظت ترکیبات مورد مطالعه در منطقه تنفسی مشاغل مختلف

دقیقه بود که با توجه به دبی ۲ لیتر بر دقیقه حجم هوای نمونه برداری شده در این مطالعه به ترتیب ۲۷۰ و ۵۲۰ لیتر جمع آوری شد.

در جدول شماره ۱ گرادینت مورد استفاده جهت اخذ پیک های مناسب آورده شده است.

معادله خطی، زمان ماند، حد تشخیص کمی و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای هیدروکربن های چند حلقه‌ای آروماتیک در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. بیشترین میزان حد تشخیص

جدول ۳: توزیع میانگین (انحراف معیار) مواجهه شغلی با PAH ها در وظایف مختلف آسفالت کار (ng/m<sup>3</sup>)

	راننده فینیشر تعداد=۶	کمک فینیشر تعداد=۶	بیل به دست تعداد=۶	ماله کش تعداد=۶	راننده غلتک لاستیکی تعداد=۶	راننده غلتک آهنی=۶	چرب کن تعداد=۶
NAP	۶۴۸/۷۲(۲۷۱)	۱۰۶۱/۴(۴۶۵/۱۶)	۷۲۷/۹۳(۲۰/۲۲)	۷۰۸/۲۵(۲۱۷/۵۵)	۶۸/۶۱(۳۲/۶۳)	۳۰۰/۸۲(۱۹/۳۶)	۲/۳۵(۱/۰۷)
ANTL	۱۴۸/۷۶(۱۱۱/۹۳)	۱۸۳/۰۸(۱۰۱/۸۹)	۲۵/۲۰(۹/۳۵)	۱۷/۷۷(۱۱/۰۵)	۱۰/۸۵(۵/۷۲)	۴۵/۴۰(۱۸/۲۵)	۰/۶۲(۰/۲۳)
FLE	۸۸/۶۰(۷۰/۶۶)	۶۱/۱۳(۳۳/۵۷)	۲۲/۰۴(۸/۵۸)	۱۹/۱۵(۱۰/۳۲)	۸/۰۵(۵/۲۳)	۲۲/۵۳(۱۳/۲۱)	۷/۱۳(۱/۶۶)
PHE	۲۳۰/۵(۲۱۴/۳۷)	۴۷/۹۳(۲۴/۵)	۲۳۰/۰۵(۱۰۶/۹۴)	۱۷۶(۸۴/۳۹)	۱۴/۱۵(۳/۳۲)	۶۵/۲۴(۲۵/۰۴)	۵/۳۰(۲/۴۶)
ANT	۵۶/۰۲(۳۵/۲۵)	۴۹/۹۸(۲۰/۲۳)	۵۶/۰۷(۹/۸۴)	۴۴/۴۰(۲۱/۹۱)	۶/۱۵(۰/۹۱)	۸/۳(۲/۶)	۲/۴۰(۰/۲)
FLT	۲۲/۲۲(۲۵/۴۹)	۱۰۲/۰۶(۲۴/۲۲)	۲۵/۷۰(۱۹/۳۶)	۲۲/۰۳(۱۰/۹۹)	۱۲/۴۶(۳/۱۲)	۱۷/۷۶(۶/۳۷)	۱/۳۶(۰/۸۹)
PYR	۸۳/۹۵(۵/۳۸)	۱۰۵/۴۳(۷۷/۹۳)	۴۳/۳۲(۲۸/۳۲)	۴۵/۸۶(۱۵/۹۸)	۲۱/۲۴(۸/۸۲)	۵۹/۶۱(۲۳/۱۲)	۵/۴۸(۳/۱۲)
CHR	۱۳/۵۲(۶/۱۲)	۲۴/۹۵(۱۲/۹۴)	۱۰/۹۳(۴/۱۷)	۸/۶۳(۵/۸۳)	۲/۲۵(۱/۳۲)	۳/۳۸(۱/۶۸)	BDL <sup>۶</sup>
BaA	۱۰/۳۶(۵/۳۸)	۲۴/۵۶(۷/۵۲)	۸/۴۰(۵/۸۷)	۸/۷۵(۴/۷۵)	۴/۵۶(۱/۸۹)	۶/۹۸(۲/۶۵)	BDL
BbF	۱۴/۳(۸/۰۷)	۳۳/۷(۹/۳۷)	۲۰/۲۲(۵/۴)	۱۸/۶۴(۸/۶۲)	۳/۰۷(۱/۲۸)	۱۰/۱۰(۶/۱۸)	BDL
BkF	۳(۱/۶۳)	۳(۱/۱۵)	۱/۸۰(۰/۸۳)	۱۲/۷۱(۱۰/۰۲)	۲/۰۲(۰/۸۹)	۱۱/۱۰(۵/۳۹)	BDL
BaP	۲۶/۹۵(۲۰/۱۲)	۳۷/۸۳(۱۷/۴۷)	۲۰/۶۲(۶/۴۱)	۲۰/۰۳(۱۱/۱۶)	۷/۷۰(۳/۸)	۱/۱(۰/۲۸)	BDL
dBA	۶/۳۳(۳/۷۵)	۱۰/۹۷(۶/۴)	۹/۶۶(۲/۹۵)	۶/۰۸(۲/۵۰)	۲/۶۵(۱/۲)	۵/۸۴(۲/۰۸)	BDL
BPE	۱/۸۲(۰/۷۱)	۳/۵۳(۰/۷۰)	۳/۳۷(۱/۸)	۳/۹۸(۲/۵۸)	۳/۱۰(۰/۸۴)	۸/۴۶(۲/۱۲)	BDL
IPY	۲۳(۰/۸۴)	۴/۹۳(۱/۹۴)	۲/۹۰(۲/۳۹)	۶/۳(۳/۳۸)	۲/۴۰(۳/۱۱)	۶/۳۰(۲/۶۶)	BDL
ΣPAH	۱۳۹۸/۲۶	۱۷۵۴/۴۸	۱۲۰/۸/۲	۱۱۱۵/۹۱	۱۷۰/۲۶	۵۷۲/۹۲	۲۴/۶۵

در وظیفه کمک فینیشر و راننده فینیشر با وظایف کاری دیگر اختلاف معناداری مشاهده شد.

در جدول شماره ۳ میزان مواجهه شغلی در وظایف مختلف آسفالت کاری با هر یک از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک ارزیابی گردیده است.

### بحث و نتیجه گیری

علی‌رغم اینکه سال‌هاست سرطان‌زایی برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک به اثبات رسیده است، اما تعداد مطالعات مرتبط با ارزیابی غلظت این ترکیبات در مشاغل مختلفی که با این

آسفالت کاری در جدول شماره ۳ ارزیابی گردیده است.

در میان ترکیبات مورد مطالعه بیشترین میزان مواجهه در مشاغل مختلف مربوط به نفتالین و کمترین میزان مواجهه مربوط به بنزوجی اچ آی پرلن می باشد.

در میان وظایف مختلف کاری بیشترین میزان مواجهه با هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مربوط به وظیفه کمک فینیشر و کمترین میزان مواجهه مربوط به وظیفه چرب کن می باشد. در میان وظایف مختلف کاری، میان میزان مواجهه شغلی با هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک

مطلب می باشد (Cirla *et al.*, 2007).

در نمونه های مورد مطالعه حداکثر میزان مواجهه با ترکیب سرطانزای بنزو آلفا پیرن مربوط به وظیفه کمک فینیشر با  $37/83$  نانوگرم بر متر مکعب و حداقل میزان مواجهه مربوط به وظیفه راننده غلتک آهنی با  $1/1$  نانوگرم بر متر مکعب به دست آمد. بنزوآلفاپیرن در هیچ کدام از نمونه‌های وظیفه چرب کنی شناسایی نشد. در مطالعه‌ای که توسط Piero Emanuele Cirla و همکاران در شهر میلان انجام شد، میزان مواجهه تنفسی با بنزو آلفا پیرن در وظیفه راننده فینیشر، کمک فینیشر، ماله کش و بیل به دست به ترتیب برابر  $0/38$ ،  $0/19$ ،  $6/24$  و  $0/27$  نانوگرم بر متر مکعب گزارش شد (Cirla *et al.*, 2007). Posniak در سال ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه آسفالت کاران با هیدروکربنهای چند حلقه‌ای آروماتیک پژوهشی انجام داد میانگین مواجهه با بنزو آلفا پیرن برای آنها ۶ نانو گرم بر متر مکعب به دست آمد (Posniak, 2005). نتایج مطالعه حاضر به مراتب میزان مواجهه تنفسی بیشتری نسبت به مطالعه شهر میلان و مطالعه Posniak را نشان می‌دهد که این اختلاف می‌تواند ناشی از ترکیب آسفالت مورد استفاده، تکنولوژی و تجهیزات مورد استفاده و دمای آسفالت باشد. در نمونه‌های مورد مطالعه حداکثر میزان مواجهه با مجموع PAH $\Sigma$  مربوط به وظیفه کمک فینیشر با  $1754/48$  نانوگرم بر متر مکعب و حداقل میزان مواجهه با مجموع PAH $\Sigma$  مربوط به وظیفه چرب کن با  $24/65$  نانوگرم بر متر مکعب به دست آمد. زمانی که نتایج موجود در این تحقیق با مطالعات انجام شده در نروژ، سوئد، ایتالیا و آمریکا مقایسه می‌شود، مشاهده می‌گردند که میزان مواجهه آسفالت کاران ایران با PAH

ترکیبات مواجهه دارند مانند آسفالت کاری در ایران بسیار ناچیز و در حد صفر است. در مطالعه حاضر که در میان آسفالت کاران شهر تهران انجام شد، میزان مواجهه شغلی با هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مختلف در مشاغل مختلف کاری کمتر از حدود مجاز ارایه شده توسط سازمان‌های OSHA، NIOSH، ACGIH و همچنین حدود مجاز مواجهه شغلی ایران می باشد. با توجه به اینکه حدود مجاز مربوط به سازمان‌های ذیربط به طور قطعی نمی تواند سلامت کلیه افراد مواجهه یافته را تامین کند، لذا پیشنهاد می‌شود که از تجهیزات حفاظت فردی به منظور پیشگیری از اثرات سو این ترکیبات استفاده گردد.

در میان تمام وظایف کاری نفتالین به عنوان ماده ای است که بیشترین میزان مواجهه با آن وجود دارد (دامنه  $1061/4-2/35$  نانو گرم بر متر مکعب) همچنین ترکیب بنزو جی اچ آی پریلن با دامنه  $1/82-8/46$  نانوگرم بر متر مکعب در میان وظایف مختلف دارای کمترین میزان مواجهه است. این موضوع را می توان به بالا بودن فشار بخار نفتالین و پیرن و همچنین پایین بودن فشار بخار ایندینو آچ آنتراسن و دی بنزو آچ آنتراسن در بین ترکیبات PAH نسبت داد.

با توجه به نتایج جدول شماره ۳ مشاهده می شود که در اکثر وظایف آسفالت کاری، بیشترین میزان مواجهه با ترکیب نفتالین می‌باشد که از این یافته می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نفتالین به عنوان یکی از PAH هایی است که به دلیل بالا بودن فشار بخار نسبت به هیدرو کربن های چند حلقه ای دیگر از آسفالت داغ به میزان بیشتری متصاعد می شود. نتایج حاصل از مطالعه Piero Emanuele Cirla در ایتالیا نیز گویای این

دهد که علت این امر نزدیکی این افراد به منبع تولید PAH یعنی آسفالت داغ و همچنین مواجهه با دود خروجی از اگزوز ماشین آلات راهسازی می باشد. با توجه به اینکه نتایج این مطالعه میزان مواجهه آسفالت کاران را کمتر از حدود استاندارد تعیین شده نشان داد، اما با فهم اینکه برای بسیاری از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک حدود مجاز شغلی تعیین نشده و از طرفی اغلب این ترکیبات به‌عنوان ماده سرطان‌زا شناخته شده‌اند، لذا لازم است جهت حفظ سلامت این گروه شغلی از راهکارهای فنی و مدیریتی استفاده نمود.

### منابع

- Armbruster DA, Tillman MD, Hubbs LM. Limit of detection (LQD)/limit of quantitation (LOQ): comparison of the empirical and the statistical methods exemplified with GC-MS assays of abused drugs. *Clinical chemistry*. 1994;40(7):1233-8.
- Burstyn I, Randem B, Lien Je, Langard S, Kromhout H. Bitumen, polycyclic aromatic hydrocarbons and vehicle exhaust: exposure levels and controls among Norwegian asphalt workers. *Annals of Occupational Hygiene*. 2002;46(1):79-87.
- Cirla PE, Martinotti I, Buratti M, Fustinoni S, Campo L, Zito E, et al. Assessment of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Italian asphalt workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007;4(S1):87-99.

ها بالاتر از آسفالت کاران این کشورها می‌باشد (Cirla et al., 2007; Burstyn et al., 2002;) دلایل (Järholm et al., 1999; Watts et al., 1998) احتمالی بالا بودن مقادیر مواجهه در آسفالت کاران در این مطالعه می توان اشاره نمود شامل ترکیب آسفالت مورد استفاده، تکنولوژی و تجهیزات مورد استفاده و همچنین مرغوب نبودن سوخت مورد استفاده در تجهیزات آسفالت کاری است. به موارد فوق می توان قرار داشتن محل آسفالت کاری در بزرگراه پرتردد را اضافه نمود که باعث تولید حجم بالایی از ترکیبات هیدروکربن چند حلقه ای آروماتیک می شود.

در میان تمام وظایف کاری تنها در وظیفه چرب کن ترکیبات کریزن، بنزو آلفا آنتراسن، بنزو بتا فلورانتن، بنزو کا فلورانتن، بنزو آلفا پیرن، دی بنزو آ اچ آنتراسن، بنزو جی ای پرین و ایندینو سی دی پیرن در هیچ‌کدام از نمونه ها شناسایی نشد ولی در سایر وظایف تمام پانزده PAH در نمونه ها شناسایی گردید. علت این امر می‌تواند ناشی از دور بودن افراد شاغل در این گروه از منابع آسفالت داغ و همچنین نوع فعالیت آنها باشد که در مواقع مورد نیاز به چرب کردن غلتک فلزی می پردازند.

نتایج حاصل از آنالیز آماری با استفاده از One Way ANOVA نشان داد که میانگین میزان مواجهه ترکیبات نفتالین، اسنفتیلین، فلورانتن، پیرن، بنزو آلفا آنتراسن، کریزن، بنزو بتا فلورانتن، بنزو آلفا پیرن و بنزو جی ای اچ پرین که عمدتاً PAH های ذره‌ای هستند، در وظایف مختلف آسفالت کاری ارتباط معناداری دارد. در میان وظایف مختلف آسفالت کاری میزان مواجهه وظیفه کمک فینیشر با اکثر وظایف دیگر اختلاف معناداری را نشان می



- J-O, Wahlström J, Östman C, et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and genotoxic effects on nonsmoking Swedish road pavement workers. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 1999;131-6.
- Kalina I, Brezáni P, Gajdošová D, Binková B, Šalagovič J, Habalová V, et al. Cytogenetic monitoring in coke oven workers. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 1998;417(1):9-17.
- Kim Oanh NT, Albina DO, Ping L, Wang X. Emission of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons from select cookstove–fuel systems in Asia. *Biomass and Bioenergy*. 2005;28(6):579-90.
- NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health . Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by HPLC: Method 5506, Issue 3, 1998
- NIOSH, National Institute of Safety and Health . Hazard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt.2000.
- Partanen T, Boffetta P. Cancer risk in asphalt workers and roofers: Review and meta-analysis of epidemiologic studies. *American journal of industrial medicine*. 1994;26(6):721-40.
- Posniak M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the occupational environment during exposure to bitumen fumes. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2005;14(6):809-15.
- CONCAWE. Bitumen and Bitumen Derivatives. Brussels. 1992.
- Costantino JP RC, Bearden A,. Occupationally related cancer risk among coke oven workers: 30 years of follow-up. *J Occup Environ Med*. 1995; 37.
- Douglas Rees E, Mandelstam P, Lowry JQ, Lipscomb H. A study of the mechanism of intestinal absorption of benzo (a) pyrene. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*. 1971;225(1):96-107.
- Giavarini C, and M. Scarsella:. Struttura e composizione del bitume. *La chimica & l'industria*. 1993;75:754–64.
- Giua M, and C. Lollini. *Dizionario di chimica generale e industriale*. Unione Tipografica Editrice Torinese. 1993.
- Hansen ES. Mortality of mastic asphalt workers. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 1991:20-4.
- IARC, International Agency for Research on Cancer. Monographs on the Evaluation of the carcinogenic Risk to Human. 2005.
- Inc WA. Review of Approaches for Setting an Objective for Mixtures in Ambient Air Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). 2006.
- International Agency for Research on Cancer. IARC. Monographs on the Evaluation of the carcinogenic Risk to Human. 1989.
- Järholm B, Nordström G, Högstedt B, Levin

- lated biological systems. In: Vo-Dinh T, ed. Chemical analysis of polycyclic aromatic compounds, A series of monographs on analytical chemistry and its applications, Vol. 101. New York, NY, John Wiley & Sons, 1989, pp. 1-5.
- Watts RR, Wallingford KM, Williams RW, House DE, Lewtas J. Airborne exposures to PAH and PM2.5 particles for road paving workers applying conventional asphalt and crumb rubber modified asphalt. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*. 1998;8(2):213.
- WHO, World Health Organization. Selected Non-Hetrocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Geneva: 1998
- Taioli E, Sram RJ, Binkova B, Kalina I, Popov TA, Garte S, et al. Biomarkers of exposure to carcinogenic PAHs and their relationship with environmental factors. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 2007;620(1-2):16-21
- Topinka J, Milcova A, Libalova H, Novakova Z, Rossner Jr P, Balascak I, et al. Biomarkers of exposure to tobacco smoke and environmental pollutants in mothers and their transplacental transfer to the foetus. Part I: Bulky DNA adducts. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 2009;669(1-2):13-9.
- Vo Dinh, T, Significance of chemical analysis of polycyclic aromatic compounds and re-

## Evaluating Poly-Aromatic Hydrocarbons in respiratory zone of the asphalt workers in Tehran city

H. Aghaei <sup>1</sup>; H. Kakooei <sup>2\*</sup>; S.J. Shahtaheri <sup>2</sup>; F. Omidi <sup>3</sup>; S. Arefian <sup>4</sup>; K. Azam <sup>5</sup>

<sup>1</sup> MSc, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

<sup>2</sup> Professor, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

<sup>3</sup> MSc, School of public Health, Shahroud University of Medical Sciences

<sup>4</sup> Bsc, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

### Abstract

**Introduction:** PAHs are organic compounds with benzenic rings that release from hot asphalt as incomplete combustion. These compounds are one of the major concern in scientific societies, workplace and environment due to their stability, bioaccumulation, carcinogenic and mutagenic effects. Since asphalt workers are exposed to PAHs frequently in their job, in this study it was attempted to evaluate respiratory exposure of asphalt workers to PAHs in their breathing zone.

**Material and Method:** In this study air samples of the asphalt workers were collected in accordance with the NIOSH 5506 method using PTFE filter and XAD-2 adsorbent. The ultrasonic bath and acetonitrile are used in order to extract the analytes from the filter and adsorbent. Also, the samples were analyzed by HPLC-UV.

**Result:** In all samples, Finisher assistance and oilman with 1754.48 ng/m<sup>3</sup>, 24.65 ng/m<sup>3</sup> had maximum and minimum exposed to  $\Sigma$ PAH, respectively. Among the PAHs compounds, which asphalt workers exposed to, Naphthalene had the highest concentration. Among different asphalt workers tasks, screedman exposed to PAHs, had a significant difference.

**Conclusion:** Evaluation of Polycyclic aromatic hydrocarbons concentrations in the breathing zone of asphalt workers indicated that exposure to these compounds were below the occupational exposure limits recommended by NIOSH, OSAH, ACGIH and Iranian OEL. Due to the highly carcinogenic potential of some of these compounds and absence of occupational exposure limits for these compounds, like Chrysene and Benzo (a) Anthracene, it is strictly recommended to employ engineering controls and using suitable PPEs. This study also indicated that the exposure to PAHs in the most asphalt workers tasks had significant differences, and it can be due to proximity of the workers to the source of hot asphalt and also exposure to the exhaust gases that released from the construction machinery.

**Key words:** PAHs, Personal exposure, Asphalt workers, HPLC-UV

\* Corresponding Author Email: [hkakooei@sina.tums.ac.ir](mailto:hkakooei@sina.tums.ac.ir)