ارزیابی هیدروکربن های چند حلقه‌ای آروماتیک در هوای تنفسی کارگران آسفالت‌کار شهر تهران

حامد آقائی[۱] - حسین کاکویی[۲*] - سید جمال الدین شاهطاهری[۲] - فریبرز امیدی[۳] - صفورا عارفیان[۴] - کمال اعظم[۵]

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 می‌شوند. این ترکیبات به دلیل پایداری، تجمع پذیری زیستی، اثرات سرطان‌زایی و جهش زایی به عنوان یکی از نگرانی های جوامع علمی در محیط کار و محیط زیست به‌شمار می‌روند. از آنجایی که آسفالت‌کاران نیز به واسطه شغل خود با این ترکیبات مواجه هستند، لذا در این تحقیق سعی شده است با اندازه‌گیری غلظت PAH ها در منطقه تنفسی‌شان میزان مواجهه آنها را موردارزیابی 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 ∑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 آسفالت‌کاران 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 آسفالت‌کاری میزان مواجهه با PAH ها 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 آسفالت‌کاران 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 سرطان‌زایی 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 PAH ها 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 آسفالت‌کاری 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 حلقه‌ای آروماتیک، مواجهه فردی، آسفالت‌کاران، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا*

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۲- استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۳- مربی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود
۴- کارشناس گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، 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 آلاینده های ارگانیک پایدارند که شامل حلقه های چند هسته ای آرن‌ها یا پلی آرن‌ها می باشند که در همه جا حضور دارند (Vo Dinh, 1989). این ترکیبات برای سال‌ها به دلیل پایداری، قابلیت تجمع پذیری زیستی و نیز اثرات سرطان زایی و جهش زایی شان مورد توجه محافل علمی بوده اند (Costantino and Bearden, 1995; Kalina *et al.*, 1998; Kim Oanh *et al.,* 2005). PAH ها عموما در اثر احتراق ناقص مواد آلی ضمن فعالیت های صنعتی و یا سایر فعالیت های انسانی حاصل می شوند. این فعالیت ها و فرایندها شامل فراوری ذغال سنگ و نفت خام، احتراق گازهای طبیعی، احتراق پسماندها، ترافیک وسایل نقلیه آشپزی و استعمال دخانیات و نیز فرایندهای طبیعی همچون حریق جنگل هاست (Inc, 2006).

آژانس بین المللی تحقیقات سرطان، برخی از PAH ها مانند بنزو آ پیرن را در گروه ۱ (سرطان‌زای انسانی) و برخی دیگر مانندآنتراسن (DBA) را در گروه 2A (احتمالا سرطان‌زای انسانی) طبقه بندی نموده است (IARC, 1989; 2005). روش‌های آنالیز مدرن امکان تشخیص بیش از صد نوع PAH را در ذرات هوابرد فراهم کرده است که برخی از آنها دارای پتانسیل سرطان‌زایی می‌باشند. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای که به‌عنوان سرطان‌زا شناخته شده اند عبارتند از بنزو (آلفا) آنتراسن، کریزن، بنزو (بتا) فلورانتن، بنزو (کا) فلوراتن، بنزو (آلفا) پیرن، بنزو (جی اچ آی) پیلن، آنتراسن و ایندنو (سی دی) پیرن (Topinka *et al.,* 2009; Taioli *et al.,* 2007). PAH ها با توجه به فشار بخار در دو فاز گازی و ذره ای دیده می شوند. در مجموع PAH هایی که بیش از پنج حلقه دارند، مانند BaP، اغلب به صورت ذره ای دیده می شوند ، آنهایی که دو یا سه حلقه دارند به‌شکل گازی و PAH های چهار حلقه مانند فلورانتین، پیرن و بنزو آلفا آنتراسن به هر دو صورت گازی و ذره‌ای دیده می شوند (NIOSH, 2000). موادی مانند آسفالت (Kim Oanh *et al.,* 2005)، کروزوت و نگه‌دارنده های چوب دارای مقادیر بسیار زیادی از PAHها هستند (Inc, 2006).

آسفالت شامل هیدروکربن های پارافینیک و آروماتیک و ترکیبات حلقه ای خطرناک کربن، سولفور، نیتروژن واکسیژن است (CONCAWE, 1992). ترکیب شیمیایی دقیق آسفالت به ترکیب شیمیایی نفت خام مورد استفاده و فرایند های تولیدی بستگی دارد. نسبت های مواد شیمیایی تشکیل دهنده آسفالت (غالبا ترکیبات آلیفاتیک، آلکان های حلقوی، هیدروکربن های آروماتیک، نیتروژن، اکسیژن، و سولفور) به دلیل تفاوت در نفت خام از میادین مختلف و حتی از مکان های موجود در یک میدان می تواند متفاوت باشد. در تولید آسفالت از مواد آلی گوناگونی مانند تار و قیر استفاده می شود. قیر به‌عنوان یک محصول فرعی در فرایند های شیمیایی که بر روی نفت خام صورت می پذیرد تولید می شود. 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 حدودا حاوی ۱ درصد و فیوم های تار (قطران) حاوی ۹۰ درصد PAH می باشند از همین رو IARC تار را به‌عنوان سرطان‌زای انسانی در گروه ۱ و قیر را در گروه ۳ (به‌عنوان سرطان‌زای انسانی طبقه‌بندی نمی‌شود)

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

سرطان‌زایی هیدروکربن های چند حلقه‌ای آروماتیک به‌صورت منفرد و مخلوط در چندین مطالعه بررسی شده است. یافته های حاصل نشان دادند که تعدادی از PAH ها که در حیوانات تحت مطالعه باعث ایجاد سرطان می‌شوند، پتانسیل ایجاد سرطان در انسان را دارا می‌باشند. سرطان‌زایی PAH ها با توجه به راه مواجهه متفاوت می‌باشد (WHO, 1998). میزان مرگ و میر ناشی از بیماری های سیستم تنفسی در آسفالت‌کاران رو به افزایش است. همچنین این فرضیه که PAH ها باعث ایجاد بیماری های انسدادی تنفسی می شوند نیز وجود دارد (Hansen, 1991). مطالعات اخیر نشان دادند که ریسک ابتلا به سرطان در میان کارگرانی که در مواجهه با فیوم های 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 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

حلقه‌ای آروماتیک از جاذب نیز قسمت جلویی (بزرگتر) هر لوله جاذب با یک سوهان علامت گذاری شد. لوله علامت‌گذاری شده از قسمت علامت گذاری 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 به‌دست 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 به‌منظور جداسازی و شناسایی هیدروکربن های 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 گرادیانت فاز متحرک استونیتریل و آب دی یونیزه طبق جدول شماره ۱ بهره گرفته‌شد.

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 SIGMA – ALDRICH در غلظتهای ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ قسمت در بیلیون استفاده گردید. معادله خط، حد تشخیص کمی و ضریب همبستگی (R^2) در جدول شماره ۲ برای هریک از هیدروکربن های تحت مطالعه آورده شده است. جهت تعیین حد تشخیص کمی از روش تجربی استفاده گردید (Armbruster *et al.*, 1994). بعد از رسم منحنی استاندارد PAH ها نمونه های اصلی جهت تعیین مقدار به دستگاه HPLC تزریق شده و پس از تعیین غلظت توسط معادله زیر تراکم هر یک از PAH ها در هوا مشخص گردید.

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

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 آسفالت‌کار 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: گرادیانت 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 تغیرات (CV %)
Naphtalene	۰/۵	Y=27.841X+88.211	۰/۹۹۹۶	۶
Acenaphtylene	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

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 گرادیانت مورد استفاده جهت اخذ پیک های مناسب آورده شده است.

معادله خطی، زمان ماند ، حد تشخیص کمی و ضریب همبستگی (2R) برای هیدروکربن های چند حلقه‌ای آروماتیک در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.بیشترین میزان حد تشخیص کمی مربوط به فنانترنو و کمترین میزان مربوط به ترکیبات کریزن، بنزو بتا، بنزوکا فلورانتن و بنزو آلفا پیرن به‌دست آمد. ضریب هبستگی 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

جدول ۳: توزیع میانگین (انحراف معیار) مواجهه شغلی با PAH ها در وظایف مختلف آسفالت‌کار (ng/m^3)

	چرب کن تعداد=۶	راننده غلتک آهنی=۶	راننده غلتک لاستیکی تعداد=۶	ماله کش تعداد=۶	بیل به دست تعداد=۶	کمک فینیشر تعداد=۶	راننده فینیشر تعداد=۶
NAP	۲/۳۵(۱/۰۷)	۳۰۰/۸۲(۱۹/۳۶)	۶۸/۶۱(۳۲/۶۳)	۷۰۸/۲۵(۲۱۷/۵۵)	۷۲۷/۹۳(۲۰/۲۲)	۱۰۶۱/۴(۴۶۵/۱۶)	۶۴۸/۷۲(۲۷۱)
ANTL	۰/۶۳(۰/۲۳)	۴۵/۴۰(۱۸/۲۵)	۱۰/۸۵(۵/۷۲)	۱۷/۷۷(۱۱/۰۵)	۲۵/۲۰(۹/۳۵)	۱۸۳/۰۸(۱۰۱/۸۹)	۱۴۸/۷۶(۱۱۱/۹۳)
FLE	۷/۱۳(۱/۶۶)	۲۲/۵۳(۱۳/۲۱)	۸/۰۵(۵/۲۳)	۱۹/۱۵(۱۰/۳۲)	۲۲/۰۴(۸/۵۸)	۶۱/۱۳(۳۳/۵۷)	۸۸/۶۰(۷۰/۶۶)
PHE	۵/۳۰(۲/۴۶)	۶۵/۲۴(۲۵/۰۴)	۱۴/۱۵(۳/۳۲)	۱۷۶(۸۴/۳۹)	۲۳۰/۰۵(۱۰۶/۹۴)	۴۷/۹۳(۲۴/۵)	۲۳۰/۵(۲۱۴/۳۷)
ANT	۲/۴۰(۰/۲)	۸/۳(۲/۶)	۶/۱۵(۰/۹۱)	۴۴/۴۰(۲۱/۹۱)	۵۶/۰۷(۹/۸۴)	۴۹/۹۸(۲۰/۲۳)	۵۶/۰۲(۳۵//۲۵)
FLT	۱/۳۶(۰/۸۹)	۱۷/۷۶(۶/۳۷)	۱۲/۴۶(۳/۱۲)	۲۲/۰۳(۱۰/۹۹)	۲۵/۷۰(۱۹/۳۶)	۱۰۲/۰۶(۲۴/۲۲)	۳۲/۲۲(۲۵/۴۹)
PYR	۵/۴۸(۳/۱۲)	۵۹/۶۱(۲۳/۱۲)	۲۱/۲۴(۸/۸۲)	۴۵/۸۶(۱۵/۹۸)	۴۳/۳۲(۲۸/۳۲)	۱۰۵/۴۳(۷۷/۹۳)	۸۳/۹۵(۵/۳۸)
CHR	BDL[۶]	۳/۳۸(۱/۶۸)	۲/۲۵(۱/۳۳)	۸/۶۳(۵/۸۳)	۱۰/۹۳(۴/۱۷)	۲۴/۹۵(۱۲/۹۴)	۱۳/۵۲(۶/۱۲)
B*a*A	BDL	۶/۹۸(۲/۶۵)	۴/۵۶(۱/۸۹)	۸/۷۵(۴/۷۵)	۸/۴۰(۵/۸۷)	۲۴/۵۶(۷/۵۲)	۱۰/۳۶(۵/۳۸)
B*b*F	BDL	۱۰/۱۰(۶/۱۸)	۳/۰۷(۱/۲۸)	۱۸/۶۴(۸/۶۲)	۲۰/۲۲(۵/۴)	۳۳/۷(۹/۳۷)	۱۴/۲(۸/۰۷)
B*k*F	BDL	۱۱/۱۰(۵/۳۹)	۲/۰۲(۰/۸۹)	۱۲/۷۱(۱۰/۰۲)	۱/۸۰(۰/۸۳)	۳(۱/۱۵)	۳(۱/۶۳)
B*a*P	BDL	۱/۱(۰/۲۸)	۷/۷۰(۳/۸)	۲۰/۰۳(۱۱/۱۶)	۲۰/۶۲(۶/۴۱)	۳۷/۸۳(۱۷/۴۷)	۲۶/۹۵(۲۰/۱۲)
dBA	BDL	۵/۸۴(۲/۰۸)	۲/۶۵(۱/۲)	۶/۰۸(۲/۵۰)	۹/۶۶(۲/۹۵)	۱۰/۹۷(۶/۴)	۶/۳۴(۳/۷۵)
BPE	BDL	۸/۴۶(۲/۱۲)	۳/۱۰(۰/۸۴)	۳/۹۸(۲/۵۸)	۳/۳۷(۱/۸)	۳/۵۳(۰/۷۰)	۱/۸۲(۰/۷۱)
IPY	BDL	۶/۳۰(۲/۶۶)	۳/۴۰(۳/۱۱)	۶/۳(۳/۳ ۸)	۲/۹۰(۲/۳۹)	۴/۹۳(۱/۹۴)	۳/۳(۰/۸۴)
∑PAH	۲۴/۶۵	۵۷۲/۹۲	۱۷۰/۲۶	۱۱۱۵/۹۱	۱۲۰۸/۲	۱۷۵۴/۴۸	۱۳۹۸/۲۶

آسفالت‌کاری در جدول شماره ۳ ارایه گردیده است.

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

در میان وظایف مختلف کاری بیشترین میزان مواجهه با هیدروکربن های چند حلقه ای 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 در وظیفه کمک فینیشر و راننده فینیشر با وظایف کاری دیگر اختلاف معنا داری مشاهده شد.

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

بحث و نتیجه گیری

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

ترکیبات مواجهه دارند مانند آسفالت‌کاری در ایران بسیار ناچیز و در حد صفر است. در مطالعه حاضر که در میان آسفالت‌کاران شهر تهران انجام شد، میزان مواجهه شغلی با هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مختلف در مشاغل مختلف کاری کمتر از حدود مجاز ارایه شده توسط سازمان های OSHA، NIOSH، ACGIH و همچنین حدود مجاز مواجه 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 ۱۰۶۱/۴-۲/۳۵ نانو گرم بر متر مکعب) همچنین ترکیب بنزو جی اچ آی پریلن با دامنه ۸/۴۶-۱/۸۲ نانوگرم بر مترمکعب 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 ایندنو آ اچ آنتراسن و دی بنزو آ اچ آنتراسن در بین ترکیبات PAH نسبت داد.

با توجه به نتایج جدول شماره ۳ مشاهده می شود که در اکثر وظایف آسفالت‌کاری، بیشترین میزان مواجهه با ترکیب نفتالین می‌باشدکه 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 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 ۳۷/۸۳ نانوگرم برمتر مکعب و حداقل میزان مواجهه مربوط به وظیفه راننده غلتک آهنی با ۱/۱ نانوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد. بنزوآلفاپیرن در هیچ‌کدام 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 ۰/۳۸، ۰/۱۹، ۶/۲۴ و ۰/۲۷ نانوگرم بر متر مکعب گزارش شد (Cirla *et al.,* 2007). Posniak در سال ۲۰۰۵ بر روی میزان مواجهه آسفالت‌کاران با هیدروکربنهای چند حلقه‌ای آروماتیک پژوهشی انجام داد میانگین مواجهه با بنزو آلفا پیرن برای آنها ۶ نانو گرم بر متر مکعب به‌دست 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∑ مربوط به وظیفه کمک فینیشر با ۱۷۵۴/۴۸ نانوگرم برمتر مکعب و حداقل میزان مواجهه با مجموع PAH∑ مربوط به وظیفه چرب کن با ۲۴/۶۵ نانوگرم بر مترمکعب به‌دست 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 آسفالت‌کاران ایران با PAH

ها بالاتر از آسفالت‌کاران این کشورها می‌باشد (Cirla *et al.,* 2007; Burstyn *et al.,* 2002; Järvholm *et al.,* 1999; Watts *et al.,* 1998). دلایل احتمالی بالا بودن مقادیر مواجهه در آسفالت‌کاران 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 آسفالت‌کاری 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 اچ آی پریلن و ایندنو 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، اسنفتیلن، فلورانتن، پیرن، بنزو آلفا آنتراسن، کریزن، بنزو بتا فلورانتن، بنزو آلفا پیرن و بنزو جی آی اچ پریلن که عمدتا PAH های ذره‌ای هستند، در وظایف مختلف آسفالت‌کاری ارتباط معناداری دارد. در میان وظایف مختلف آسفالت‌کاری میزان مواجهه وظیفه کمک فینیشر با اکثر وظایف دیگر اختلاف معناداری را نشان می 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 آسفالت‌کاران 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.

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 Tipografico 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 Evluation 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 Evluation of the carcinogenic Risk to Human. 1989.

Järvholm 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 Policyclic 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 [1]; H. Kakooei [2*]; S.J. Shahtaheri [2]; F. Omidi [3]; S. Arefian [4]; K. Azam[5]

[1] MSc, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences
[2] Professor, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences
[3] MSc, School of public Health, Shahroud University of Medical Sciences
[4] Bsc, Department of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences
[5] 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 releas from hot asphalt as incomplete combusting. 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 acetonithrile 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^3 , 24.65 ng/m^3 had maximum and minimum exposed to ∑PAH, respectively. Among the PAHs compounds, which asphalt workers exposed to, Naphtalene had the highest concentration. Among different asphalt workers tasks, screedman expoused 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, likes 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 releasesd from the construction machinery.

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

* Corresponding Author Email: *hkakooei@sina.tums.ac.ir*