

بررسی ارتباط بین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزین استنشاقی با سطوح متابولیت‌های ادراری مربوطه در افراد شاغل در یک مجتمع پتروشیمی

داوود شاه‌محمدی^۱، سارا کریمی زوردگانی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت HSE، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
^۲ دکترای بهداشت حرفه‌ای، استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

* نویسنده مسئول: سارا کریمی زوردگانی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران. ایمیل: s_karimi@hlth.mui.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: صنایع پتروشیمی یکی از منابع مهم انتشار آلاینده‌های آلی می‌باشند که سلامت افراد شاغل را به مخاطره می‌اندازند. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف بررسی ارتباط بین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و گزین (BTEX: Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes) استنشاقی با برخی از متابولیت‌های ادراری در افراد شاغل در یک مجتمع پتروشیمی انجام شد.

مواد و روش‌ها: مطالعه مقطعی - تحلیلی حاضر در ارتباط با ۶۰ نمونه هوای استنشاقی و نمونه‌های بیولوژیکی انجام شد. نمونه‌برداری و تجزیه آلاینده‌ها مطابق با روش‌های ۱۵۰۱ و ۲۵۴۹ (NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health) انجام شد و نتایج با حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL: Occupational Exposure Limit) و شاخص‌های بیولوژیکی مواجهه (BEI: Biological Exposure Index) پیشنهادی کشور مقایسه شدند. تحلیل آماری نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17 صورت گرفت.

یافته‌ها: بر مبنای نتایج میانگین غلظت ترانس ترانس موکونیک اسید ۱۳۷ میکروگرم بر گرم کراتینین، میانگین غلظت هیپوریک اسید، فنیل گلی اگزالیک اسید و ایزومرهای متیل هیپوریک اسید به ترتیب ۰/۵۷۷، ۰/۰۶۶ و ۰/۴۰۴ گرم بر گرم کراتینین و میانگین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، ارتو متاگزین و پاراگزین به ترتیب ۳/۸۱۸، ۴/۰۰۴، ۳/۳۵۷، ۰/۱۳۲ و ۲/۰۱۵۹ بخش در میلیون بود. یافته‌ها حاکی از آن بودند که غلظت بنزن و تولوئن در پنج نمونه استنشاقی و ترانس ترانس موکونیک اسید و هیپوریک اسید در ۱۰ نمونه ادراری بیشتر از حد مجاز بود.

نتیجه‌گیری: میانگین غلظت کلی BTEXs استنشاقی و متابولیت‌های ادراری آن‌ها از حدود مجاز پیشنهادی کشور کمتر بود. همبستگی بالا و معنادار به‌دست آمده بین آلاینده‌های مورد سنجش در هوای تنفسی و غلظت متابولیت‌های ادراری می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که مواجهه مزمن با آلاینده‌های مذکور موجب افزایش دفع متابولیت‌های ادراری می‌شود و فعالیت شغلی تأثیر به‌سزایی بر سلامت افراد شاغل در مواجهه با ترکیبات آلی فرار مورد مطالعه دارد.

واژگان کلیدی: پایش بیولوژیکی؛ پتروشیمی؛ مواجهه شغلی؛ BTEXs

مقدمه

وسیع می‌شود که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند اثراتی بر سلامت افراد شاغل داشته باشد. یکی از مهم‌ترین خطرات این فرایند که از هر سه جنبه بهداشت، ایمنی و محیط زیست حائز اهمیت می‌باشد، انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs: Volatile Organic Compounds) در هوا است. به دلیل فرار بودن این ترکیبات، بسیاری از افراد در محیط‌های صنعتی و غیرصنعتی با این ترکیبات مواجه می‌باشند [۲]. گزارش سازمان جهانی

ترکیبات BTEXs (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و m, p, o زایلن) از ترکیبات مهم خانواده آلاینده‌های آلی فرار هستند که استفاده گسترده‌ای در فرایندهای صنعتی دارند. این ترکیبات در گروه‌های مختلف مواد سرطان‌زا طبقه‌بندی می‌شوند و دارای سمیت عصبی هستند [۱]. با وجود دستاوردهای مثبتی که صنعت پتروشیمی به‌عنوان یک صنعت مدرن برای بشریت به ارمغان آورده است؛ اما سبب تولید آلاینده‌های گازی در مقیاسی

بنابراین، هدف از مطالعه حاضر اندازه‌گیری میزان غلظت BTEXs هوای استنشاقی افراد شاغل، پایش بیولوژیکی متابولیت‌های اداری آن‌ها و بررسی ارتباط آن‌ها با یکدیگر می‌باشد.

در مطالعه Kim و همکاران در مورد سنجش THCs (Total Hydrocarbons) و VOCs در یک منطقه صنعتی در کره جنوبی مشاهده شد که غلظت VOCs در مناطق صنعتی شهر Ulsan کره جنوبی حدود چهار برابر بیشتر از مناطق پایین‌دست این شهر است [۱۱].

Cetin و همکاران نیز در سال ۲۰۰۳ طی مطالعه‌ای در مورد سنجش VOCs محیطی در اطراف یک مجتمع پتروشیمی مشاهده کردند که غلظت VOCs در برخی نقاط از استاندارد وضع شده توسط ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) (۱۰۰ بخش در میلیون) بیشتر است [۱۲]. علاوه بر این، رحیم‌پور و همکاران طی پژوهشی در سال ۲۰۱۵ گزارش کردند که میزان برخی از ترکیبات حلال‌های آلی فرار در هوای صنایع پتروشیمی ماهشهر ایران از مقادیر TLV توصیه‌شده توسط ACGIH بیشتر می‌باشد [۱۳].

مواد و روش‌ها

مطالعه توصیفی-تحلیلی حاضر به روش مقطعی در یک مجتمع پتروشیمی در جنوب کشور در فصل زمستان انجام شد. تعداد افراد شاغل در این مجتمع ۳۰۰ نفر بود که از این تعداد، ۱۰ درصد افرادی که دارای بالاترین مواجهه بودند به‌عنوان گروه اصلی انتخاب گردیدند؛ به‌طوری که ۳۰ نفر به‌منظور تعیین نشانگر زیستی اداری تعیین شدند. علاوه بر این، ۳۰ نمونه هوای استنشاقی از افراد شاغل دارای مواجهه به روش تسهیم و تصدیف ساده (Simple Random Sampling) گرفته شد. معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از: رضایت آگاهانه افراد شاغل مورد مطالعه، قراردادن در محدوده سنی ۲۵ تا ۶۰ سال، داشتن حداقل ۳ سال سابقه کار و نداشتن سابقه بیماری‌های خاص. معیارهای خروج از پژوهش نیز عدم رضایت افراد شاغل در هر مرحله از نمونه‌برداری تنفسی یا متابولیک اداری، انجام فعالیت غیرنرمال توسط افراد شاغل و ایجاد شرایط اضطرار در طول مدت نمونه‌برداری را شامل می‌شدند.

در ابتدای شیفت کاری در مورد روند و اهداف مطالعه برای افراد شاغل مورد بررسی شفاف‌سازی شد. پس از جلب رضایت و اعتماد کارگران و تکمیل پرسشنامه فردی و رضایت‌نامه (رعایت ملاحظات اخلاقی)، ظروف پلی‌اتیلنی در اختیار آن‌ها قرار گرفت تا در انتهای شیفت کاری ادرار خود را درون آن بریزند. در انتهای شیفت کاری پس از تحویل گرفتن نمونه ادرار، کد مربوط به هر فرد (همانند کد نمونه هوا) با چسب کاغذی بر روی ظرف

بهداشت (WHO: World Health Organization) بیانگر آن است که هم‌اکنون ۱۰۰۰۰۰ ماده شیمیایی وجود دارد و سالیانه بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ماده شیمیایی دیگر به این لیست افزوده می‌شود [۳].

از جمله مشاغلی که بیشترین مواجهه را با این دسته از ترکیبات دارند می‌توان به افراد شاغل در صنایع پتروشیمی اشاره کرد [۴]. به‌منظور قضاوت صحیح در مورد میزان مواجهه و اثرگذاری آلاینده‌های هوا بر سلامت افراد شاغل، علاوه بر سنجش میزان آلاینده موجود در هوای استنشاقی آن‌ها، پایش بیولوژیکی متابولیت آلاینده‌ها نیز بسیار ارزشمند است. بسیاری از آلاینده‌های مورد بررسی علاوه بر استنشاق می‌توانند از راه‌های دیگر نیز جذب شوند و سلامت فرد را تهدید نمایند [۵]. هیدروکربن‌های آروماتیک با توجه به نوع ترکیب و غلظت، اثرات متفاوتی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند. در ارتباط با اثرات مخرب محیط زیستی آن‌ها می‌توان به کاهش ازن استراتوسفری و گرمایش جهانی اشاره نمود [۶]. باید خاطرنشان ساخت که این اثرات بر سلامت از موارد جزئی تا سرطان متفاوت می‌باشد [۷]. پایش بیولوژیک یک ابزار مفید به‌منظور بررسی ارتباط میزان مواجهه با مقدار ترکیب در بدن و اثرات احتمالی منفی برای سلامتی تلقی می‌شود. پایش بیولوژیک دربرگیرنده آنالیز مایعات بدن، بافت‌ها و یا هوای بازدمی در فرد مواجهه‌یافته با آلاینده می‌باشد. در این حالت، شاخص‌های تماس بیولوژیک (BEI) به‌عنوان حدود مجاز منبع مورد استفاده قرار می‌گیرند. این درحالی است که با پایش هوای محیط کار می‌توان تماس استنشاقی افراد شاغل با مواد شیمیایی موجود در محیط کار را از طریق اندازه‌گیری غلظت ماده شیمیایی در هوای محیط کار ارزیابی نمود و حدود مجاز تماس شغلی (TLV: Threshold Limit Value) را در این مورد مرجع قرار داد [۸]. به‌منظور لحاظ نمودن کلیرانس و عملکرد کلیوی افراد شاغل در میزان دفع اداری ترکیبات یا متابولیت آن‌ها از بدن، از میزان کراتینین اداری به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری استفاده می‌شود [۹].

در پژوهش صورت‌گرفته توسط کرامتی و همکاران (۲۰۱۴) که در ارتباط با بررسی غلظت BTEXs و VOCs در منطقه پارس جنوبی در شش ایستگاه انجام شد، مشخص گردید که بین غلظت آلاینده‌ها و ساعات، ماه‌ها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری رابطه معناداری وجود دارد و میانگین غلظت بنزن در ایستگاه‌ها بالاتر از حدود مجاز است [۱۰].

با توجه به کاربرد فراوان ترکیبات آلی فرار در صنعت پتروشیمی و بروز اثرات منفی در سلامتی انسان به دنبال مواجهه با ترکیبات آلی فرار و نیز بر مبنای اثرات تجمعی ناشی از مواجهه طولانی‌مدت و نبود مطالعات در زمینه ارزیابی میزان مواجهه افراد شاغل با BTEXs از طریق پایش بیولوژیکی فردی در پتروشیمی مورد مطالعه، انجام پژوهش حاضر ضرورت یافت؛

نمونه‌برداری، شرایط نمونه‌برداری از جمله نوع پمپ، ساعت نمونه‌برداری، محل نمونه‌برداری، دما، رطوبت، جهت و سرعت باد و مدت زمان نمونه‌برداری مشخص گردید. به ازای هر سری از تیوپ‌های کربن جاذب، حداقل یک تیوپ به‌عنوان شاهد (Blank) بدون عبور هوا از آن در نظر گرفته شد تا خطای احتمالی که در زمان نمونه‌برداری، انتقال، استخراج و آنالیز بر روی نمونه‌ها تأثیرگذار است، مشخص شود و در محاسبات لحاظ گردد.

کارایی بازجذب لوله‌های کربن فعال مطابق با روش ASTM (American Society for Testing and Materials) انجام شد. در ادامه با استفاده از معادله ۱، درصد بازجذب برای هر لوله کربن فعال محاسبه گردید.

$$D.E=100(SS-SB/SL) \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله $D.E$ راندمان بازجذب زغال فعال؛ S_S = سطح زیر منحنی ناشی از تزریق مایع بازجذبی غلظت‌های اضافه‌شده بر روی لوله‌های کربن فعال؛ S_B = سطح زیر منحنی ناشی از تزریق مایع بازجذبی لوله‌های شاهد؛ S_L = سطح زیر منحنی ناشی از تزریق غلظت‌های اضافه‌شده مستقیم بر مایع CS_2 می‌باشد. برای محاسبه غلظت واقعی آلاینده موجود در نمونه نیز از معادله ۲ استفاده شد.

$$CA=(CS-CB)/D.E \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادله CA = غلظت واقعی موجود در نمونه؛ CS = غلظت اندازه‌گیری‌شده نمونه؛ CB = غلظت اندازه‌گیری‌شده شاهد می‌باشد.

به‌منظور آنالیز آماری اطلاعات جمع‌آوری‌شده، بررسی میزان همبستگی متغیرهای کمی با یکدیگر و وضعیت هریک از متغیرهای مورد بررسی براساس متغیرهای کیفی از نرم‌افزار SPSS 17 و آزمون رگرسیون خطی استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج جمعیت‌شناختی افراد مورد مطالعه از نظر سن و سابقه کار و میانگین غلظت BTEXs هوای تنفسی و متابولیت‌های ادراری آن‌ها و مقایسه با حدود مجاز به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. مقایسه میانگین میزان غلظت BTEXs و متابولیت ادراری آن‌ها با حدود مجاز پیشنهادی کشور نیز در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشد.

برای تعیین رابطه پایش محیطی و بیولوژیکی ترکیبات مورد بررسی از آزمون رگرسیون خطی استفاده شد. ارتباط بین غلظت بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و گزیلن با متابولیت‌های ادراری مربوطه در نمودارهای رگرسیون (نمودار ۱) نشان داده شده است.

پلی‌اتیلنی چسبانده شد.

تعیین مقدار متابولیت این آلاینده‌ها به روش NIOSH 2549 و با استفاده از کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا و مجهز به آشکارساز UV انجام شد. برای اندازه‌گیری متابولیت‌های ادراری ترکیبات مورد نظر، نمونه‌های ادراری در پایان شیفت کاری افراد مواجهه‌یافته با BTEXs در ظروف ۲۵۰ میلی‌لیتری پلی‌اتیلن حاوی ۰/۱ تیمول (به‌منظور نگهداری نمونه) جمع‌آوری شدند و در مجاورت یخ خشک به آزمایشگاه منتقل گردیدند و تا قبل از آنالیز در فریزری با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در ادامه، نمونه‌های ادرار فریزشده به مدت ۳۰ دقیقه در حمام بن ماری حاوی آب گرم با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به حالت مایع تبدیل گردند. سپس به‌منظور یکنواخت‌سازی محتویات نمونه، مقداری از آن به لوله آزمایش منتقل شد و به مدت ۵ دقیقه با ۱۵۰۰ دور سانتریفوژ گردید [۱۴].

به‌منظور تعیین غلظت TTMA (Trans, Trans-Muconic Acid) ادراری از روش استخراج فاز جامد (SPE: Solid Phase Extraction) توسط کارتریج مبادله‌کننده قوی استفاده شد و برای اندازه‌گیری هیپوریک اسید و ایزومرهای متیل هیپوریک اسید ادراری مطابق با روش استاندارد NIOSH 8301، پس از آماده‌سازی ۱ میلی‌لیتر از نمونه ادرار، به میزان ۱۰ میکرولیتر از آن به دستگاه HPLC (High Performance Liquid Chromatography) تنظیم‌شده در طول موج ۲۵۴ نانومتر تزریق شد. علاوه‌براین، به‌منظور اندازه‌گیری فنل ادراری مطابق با روش استاندارد 8305 NIOSH، پس از آماده‌سازی ۵ میلی‌لیتر از نمونه ادرار، ۵ میکرولیتر از آن به دستگاه کروماتوگرافی (مدل GC2010) مجهز به آشکارساز FID (Flame Ionization Detector) و ستون ۳۰ متری موئین تزریق گردید.

به‌منظور تصحیح مقادیر متابولیت‌های ادراری، مقدار کراتینین نمونه ادرار به روش آزمایش Jaffe اندازه‌گیری شد و در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر میزان جذب اندازه‌گیری گردید.

نمونه‌برداری از هوای منطقه تنفسی افراد شاغل مواجهه‌یافته در پایان شیفت کاری روزانه با دبی پمپ‌ها (۰/۵-۱/۰ لیتر در دقیقه) و حجم نمونه‌برداری (۵-۱ لیتر) با روش آنالیز TD/GC-MS و توسط تیوپ‌های حاوی کربن جاذب بین ۲ تا ۳ ساعت انجام شد. شایان ذکر است که برای تعیین غلظت BTEXs هوای تنفسی، نمونه‌برداری توسط لوله‌های جاذب زغال فعال و پمپ نمونه‌برداری فردی صورت گرفت. جهت تجزیه نمونه‌های هوا نیز از روش NIOSH 1501 و دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز به آشکارساز FID استفاده گردید [۱۵].

باید عنوان نمود که پمپ‌های نمونه‌برداری قبل از انجام عملیات نمونه‌برداری توسط فلومتر کالیبره شدند. در حین

جدول ۱: نتایج جمعیت‌شناختی افراد مورد مطالعه

متغیر	رده	درصد	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل
سن (سال)	<۳۰	۶/۷	۴۱	۸/۵۵	۵۵	۲۸
	۳۰-۴۰	۵۶/۷				
سابقه کاری (سال)	<۵	۱۰	۱۵/۰۳	۷/۹۹	۳۰	۳
	۵-۱۵	۴۶/۶				
	≥۴۰	۳۶/۶				
	≥۱۵	۴۳/۴				

۸۰ درصد از افراد مورد مطالعه غیرسیگاری و ۲۰ درصد سیگاری بودند

جدول ۲: نتایج اندازه‌گیری ترکیبات BTEXs هوای تنفسی کارگران و متابولیت‌های اداری آن‌ها

متغیر	واحد	OEL	BEL	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
آلاینده	بنزن	۰/۵	-	۰/۰۱۲	۱/۰۱۱	۰/۱۳۲	۰/۲۰۹
متابولیت اداری	ترانس ترانس موکونیک اسید	میکروگرم بر گرم کراتینین	۵۰۰	۱۰/۱۹	۸۱۱/۹۸۷	۲۱۶/۱۶۸	۱۳۷/۰۲۵
آلاینده	تولوئن	بخش در میلیون	۲۰	۰/۰۱۶۰	۳۸/۳۹	۳/۸۱۸	۸/۷۷۷
متابولیت اداری	هیپوریک اسید	گرم بر گرم کراتینین	۱/۶	۰/۰۱۴	۳/۰۰۵	۰/۸۲۵	۰/۵۷۷
آلاینده	اتیل‌بنزن	بخش در میلیون	۲۰	۰/۰۱	۲۵/۰۱	۴/۰۰۴	۶/۲۴۴
متابولیت اداری	فنیل گلی‌اگزالیک اسید	گرم بر گرم کراتینین	۰/۱۵	۰/۰۱۱	۰/۱۷۵	۰/۰۴۶	۰/۰۶۶
آلاینده	ارتوگزیلین	بخش در میلیون	۱۰۰	۰/۰۲۵	۲۲/۵۸۹	۳/۳۵۷	۷/۰۶۹
متابولیت اداری	۲ متیل هیپوریک اسید	گرم بر گرم کراتینین	۱/۵	۰/۱۰۲	۲/۰۴۱	۰/۴۷۵	۰/۴۷۳
آلاینده	متاگزیلین	بخش در میلیون	۱۰۰	۰/۰۲۵	۲۲/۵۸۹	۳/۳۵۷	۷/۰۶۹
متابولیت اداری	۳ متیل هیپوریک اسید	گرم بر گرم کراتینین	۱/۵	۰/۱۰۲	۲/۰۴۱	۰/۴۷۵	۰/۴۷۳
آلاینده	پاراگزیلین	بخش در میلیون	۱۰۰	۰/۰۳۵	۱۴/۹۴۷	۲/۰۱۵	۴/۴۰۳
متابولیت اداری	۴ متیل هیپوریک اسید	گرم بر گرم کراتینین	۱/۵	۰/۰۱۵	۱/۴۷۵	۰/۳۷۴	۰/۳۳۶

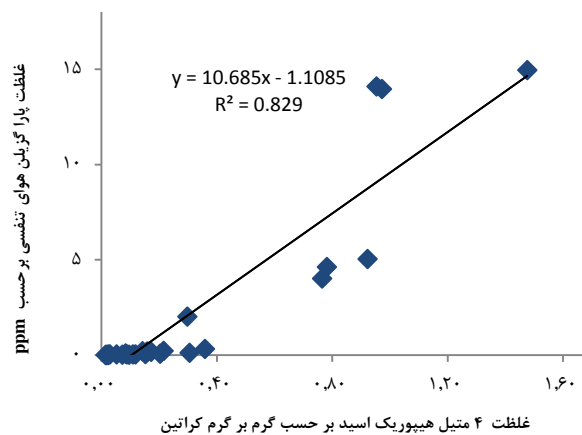
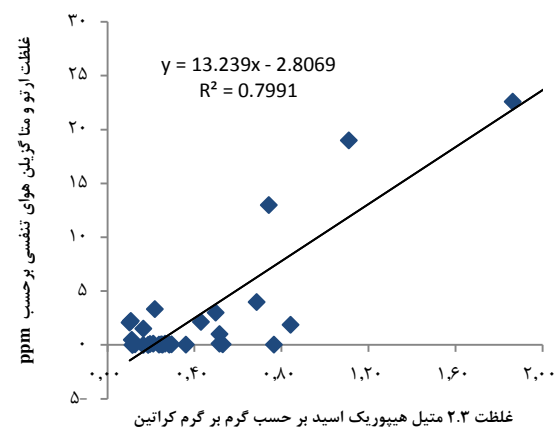
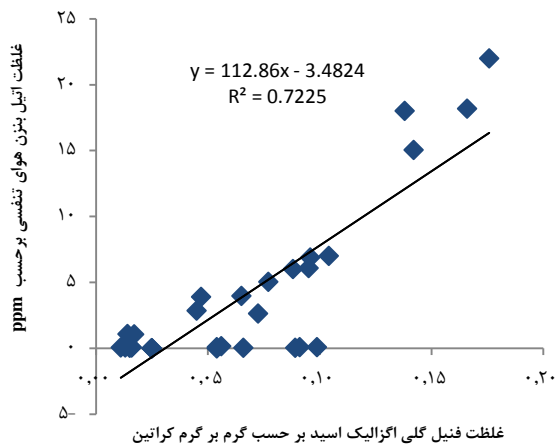
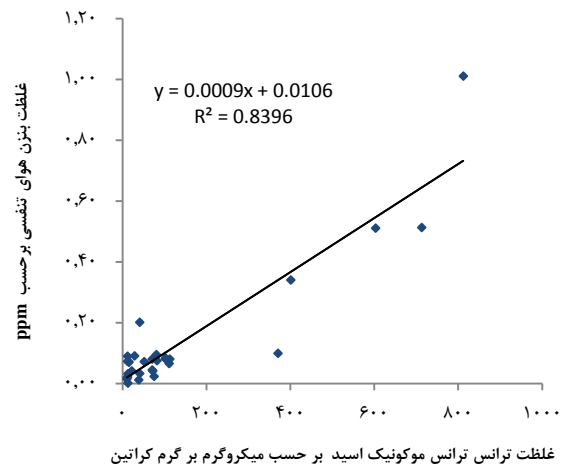
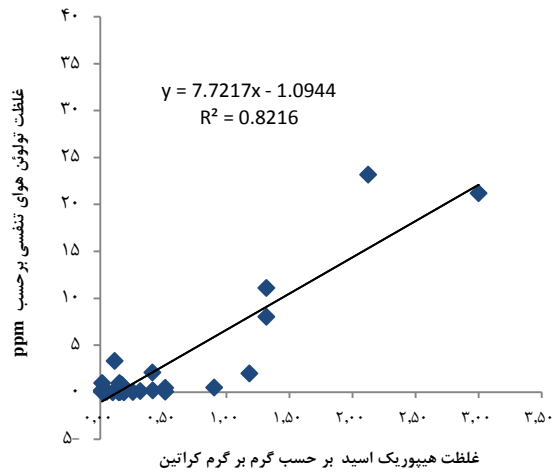
جدول ۳: مقایسه میانگین میزان غلظت ترکیبات BTEXs و متابولیت‌های اداری آن‌ها با حدود مجاز

نام آلاینده	حد مجاز	>حد مجاز	حد مجاز
بنزن	۱۰ درصد	۹۰ درصد	۰/۵ بخش در میلیون
ترانس ترانس موکونیک اسید	۱۰ درصد	۹۰ درصد	۵۰۰ میکروگرم بر گرم کراتینین
تولوئن	۱۰ درصد	۹۰ درصد	۲۰ بخش در میلیون
هیپوریک اسید	۱۰ درصد	۹۰ درصد	۱/۶ گرم بر گرم کراتینین
اتیل‌بنزن	۳/۳۴ درصد	۹۶/۶۶ درصد	۲۰ بخش در میلیون
فنیل گلی‌اگزالیک اسید	۶/۶۷ درصد	۹۳/۳۳ درصد	۰/۱۵ گرم بر گرم کراتینین
ارتوگزیلین	۰/۰ درصد	۱۰۰ درصد	۱۰۰ بخش در میلیون
۲ متیل هیپوریک اسید	۶/۶۷ درصد	۹۳/۳۳ درصد	۱/۵ گرم بر گرم کراتینین
متاگزیلین	۰/۰ درصد	۱۰۰ درصد	۱۰۰ بخش در میلیون
۳ متیل هیپوریک اسید	۶/۶۷ درصد	۹۳/۳۳ درصد	۱/۵ گرم بر گرم کراتینین
پاراگزیلین	۰/۰ درصد	۱۰۰ درصد	۱۰۰ بخش در میلیون
۴ متیل هیپوریک اسید	۰/۰ درصد	۱۰۰ درصد	۱/۵ گرم بر گرم کراتینین

بحث

نتایج نشان دادند که میانگین غلظت BTEXs و متابولیت‌های اداری آن‌ها از حدود مجاز و شاخص‌های بیولوژیکی مواجهه کشور کمتر می‌باشد. میانگین غلظت بنزن هوای تنفسی و غلظت ترانس ترانس موکونیک اسید اداری نیز از حد مجاز تعیین شده کمتر بود. علاوه بر این، ضریب رگرسیون به دست آمده از بررسی ارتباط بین دو متغیر بنزن هوای تنفسی و ترانس ترانس موکونیک

اسید اداری نشان دهنده ارتباط خطی، مستقیم و معناداری بین این دو متغیر کمی بود ($P < 0.001$, $r^2 = 0.84$) که دلیل این امر می‌تواند مواجهه کارکنان با آلاینده‌های محیطی در طول شیفت کاری و متابولیزه شدن در حین شیفت کاری باشد که این امر در مطالعات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است. از سوی دیگر، بالاترین غلظت بنزن در نمونه جمع‌آوری شده از هوای منطقه



نمودار ۱: منحنی رگرسیون ارتباط غلظت بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و ارتو، متا و پاراگزلیک با متابولیت‌های ادراری

توسط مرکز سلامت محیط و کار کشور بیشتر می‌باشد. در مطالعه آن‌ها مشخص شد که بین غلظت ترکیبات آلی فرار هوا و متابولیت ادراری کارگران ارتباط خطی و مستقیمی وجود دارد [۱۶].

در مطالعه Carrieri و همکاران که در سال ۲۰۱۰ در ارتباط با ۲۹ کارگر شاغل در صنعت پتروشیمی ایتالیا صورت گرفت نیز نشان داده شد که میانگین غلظت بنزن هوای تنفسی و TTMA ادراری کارگران به ترتیب برابر با ۰/۰۱۴ بخش در میلیون و ۱۰۱

تنفسی کارکنان مربوط به متصدی انبار مواد شیمیایی با مقدار ۱/۰۱۱ بخش در میلیون و بیشترین غلظت متابولیت ادراری آن (ترانس ترانس موکونیک اسید) مربوط به همین شغل با مقدار ۸۱۱/۹۸۷ میکروگرم بر گرم کراتین ادرار بود.

بهرامی و همکاران در پژوهشی که در سال ۲۰۱۲ در مورد ۱۰۴ کارگر شاغل در چند مجتمع پتروشیمی در ماهشهر انجام دادند، عنوان نمودند که میانگین بنزن هوای تنفسی و غلظت ترانس ترانس موکونیک اسید ادراری از استاندارد تعیین‌شده

انجام دادند، به این مهم دست یافتند که مواجهه در غلظت ۰/۴ تا ۰/۶ بخش در میلیون بوده و ارتباط بین غلظت آلاینده در هوای تنفسی و متابولیت اداری فنل افراد شاغل خطی، معنادار و خوب می‌باشد ($r^2=0/93$) [۲۰].

بر مبنای نتایج میانگین غلظت ارتو، متا و پاراگزین تنفسی و ۲، ۳ و ۴ متیل هیپوریک اسید اداری افراد شاغل مورد مطالعه از حدود استاندارد تعیین شده توسط مرکز سلامت محیط و کار کشور کمتر بود. همچنین بین غلظت ارتو، متا و پاراگزین هوای تنفسی و میزان دفع اداری ۲، ۳ و ۴ متیل هیپوریک اسید ارتباط معناداری مشاهده گردید (به ترتیب $r^2=0/799$ ، $r^2=0/820$ ، $P<0/05$) که این امر بیانگر این موضوع می‌باشد که مواجهه مزمن با ایزومرهای گزین موجب افزایش دفع اداری ایزومرهای متیل هیپوریک اسید می‌شود. نتایج گویای آن بودند که بیشترین غلظت ارتو و متاگزین مربوط به شغل برق کار با مقدار ۲۶/۳۹ بخش در میلیون بوده و بیشترین میزان متابولیت اداری آن (۲ و ۳ متیل هیپوریک اسید) به همین شغل با مقدار ۲/۰۴۱ گرم بر گرم کراتین ادرا اختصاص دارد. در این راستا، مطالعه Huang و همکاران در سال ۱۹۹۴ نشان داد که بین میزان مواجهه تنفسی با ایزومرهای گزین و میزان غلظت ۲، ۳ و ۴ متیل هیپوریک اسید اداری، ارتباط خطی و معناداری وجود دارد ($r^2=0/73$) که این مهم با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد [۲۱].

بهرامی و همکاران در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۱ در مورد ۴۰ رفتگر در معرض ترکیبات آلی فرار و ۴۰ رفتگر شاهد در شهر همدان انجام دادند، عنوان نمودند که بین غلظت ایزومرهای گزین در هوای تنفسی کارگران و غلظت ۲، ۳ و ۴ متیل هیپوریک اسید اداری آن‌ها ارتباط ضعیفی وجود دارد که این یافته با نتایج مطالعه حاضر همخوان نمی‌باشد [۲۲]. یکی از دلایل اصلی و احتمالی این عدم همخوانی، تفاوت در شغل افراد مورد مطالعه و طول مدت مواجهه با آلاینده می‌باشد.

از سوی دیگر، با بررسی وضعیت انتشار آلاینده‌ها مشخص گردید که بیشترین تراکم غلظت آلاینده‌های BTEX در فضاهای بسته و واحدهایی که در سمت جنوب شرقی مجتمع قرار دارند، می‌باشد که این امر نقش مؤثر باد غالب در توزیع آلودگی‌ها را نشان می‌دهد. این مطلب را مشاغلی که دارای بالاترین میزان آلاینده می‌باشند نیز تأیید می‌نمایند که به‌طور عمده بیشترین تراکم غلظت آلاینده‌های BTEX در فضاهای بسته و یا در واحدهای جنوب و جنوب شرقی مجتمع وجود دارد. باید توجه داشت که به‌منظور بررسی دقیق‌تر لازم است به نوع فعالیت‌های صورت گرفته توسط کارگران مورد مطالعه و میزان مواجهه آن‌ها با منابع آلودگی در روز نمونه‌برداری بیشتر توجه گردد.

با توجه به اهمیت ترکیبات سرطان‌زا در سطوح پایین

میکروگرم بر گرم کراتینین می‌باشد که این مقادیر از حد مجاز تعیین شده توسط ACGIH کمتر هستند [۱۷].

از سوی دیگر، میانگین غلظت تولوئن هوای تنفسی و غلظت هیپوریک اسید اداری افراد شاغل از حدود مجاز شغلی کشور کمتر بود که این مهم با توجه به پایین بودن غلظت تولوئن هوای تنفسی دور از انتظار نمی‌باشد. ضریب رگرسیون به‌دست آمده از ارتباط بین دو متغیر تولوئن هوای تنفسی و هیپوریک اسید اداری نشان‌دهنده وجود ارتباط معنادار و خطی بین این دو متغیر کمی می‌باشد ($r^2=0/82$ ، $P<0/01$). بر مبنای نتایج بالاترین غلظت تولوئن مربوط به شغل برق کار صنعتی با میزان ۳۸/۳۹ بخش در میلیون بود. بیشترین میزان متابولیت اداری آن (هیپوریک اسید) نیز به همین شغل با مقدار ۳/۰۰۵ گرم بر گرم کراتین ادرا اختصاص داشت.

در مطالعه Moro و همکاران که در سال ۲۰۱۲ انجام شد، مشخص گردید که در مواجهه با مقادیر پایین تولوئن، بین تولوئن هوای استنشاقی و هیپوریک اسید اداری ارتباطی مستقیم و نسبتاً خطی وجود دارد ($r^2=0/48$) [۱۸].

Angerer و همکاران نیز در پژوهشی که در سال ۱۹۹۷ در ارتباط با ۳۳ کارگر شاغل در صنایع شیمیایی انجام دادند، عنوان نمودند که بین غلظت تولوئن هوای استنشاقی و هیپوریک اسید اداری، ارتباط خطی و معناداری وجود ندارد. این پژوهشگران بیان نمودند که در مواجهه با غلظت‌های پایین تولوئن، ارتوکروزل بیومارکر مناسب‌تری نسبت به هیپوریک اسید می‌باشد که این مهم با نتایج مطالعه حاضر همخوانی ندارد [۱۹]. علت عدم همخوانی نتایج احتمالاً تفاوت در ویژگی‌های فیزیولوژیک افراد مورد مطالعه، طول مدت مواجهه افراد شاغل با این آلاینده و زمان نمونه‌برداری می‌باشد.

در پژوهش حاضر میانگین غلظت اتیل بنزن تنفسی و فنیل گلی اگزالیک اسید اداری آن کمتر از حدود استاندارد تعیین شده توسط مرکز سلامت محیط و کار کشور بود. ضریب رگرسیون به‌دست آمده بین دو متغیر اتیل بنزن هوای تنفسی و فنیل گلی اگزالیک اسید اداری نشان‌دهنده ارتباط معنادار و خطی بین این دو متغیر کمی بود ($r^2=0/722$ ، $P<0/05$). این امر بیانگر آن است که افراد شاغلی که در معرض مواجهه با اتیل بنزن قرار دارند، میزان دفع اداری متابولیت بالاتری از این آلاینده دارند که دلیل آن می‌تواند مواجهه کارکنان با بخارات ظروف حلال‌ها، تینر و رنگ‌ها، لاستیک‌های صنعتی و غیره در طول شیفت کاری و متابولیزه شدن در حین شیفت کاری باشد که این مهم در مطالعات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است. شایان ذکر می‌باشد که بالاترین غلظت اتیل بنزن مربوط به متصدی انبار مواد شیمیایی با میزان ۲۲/۰۱ بخش در میلیون بود. بیشترین میزان متابولیت اداری آن نیز به همین شغل با مقدار ۰/۱۷۵ گرم بر گرم کراتین ادرا اختصاص داشت. در پژوهشی که Philippat و همکاران در سال ۲۰۱۳ در ارتباط با ۹۷ کارگر در معرض مواجهه

کار و مواجهه افراد شاغل برداشت [۲۳].

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که میانگین غلظت آلاینده‌های بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و گزین از حد مجاز کشور کمتر می‌باشد. باید توجه داشت که میانگین مقدار شاخص مواجهه بیولوژیکی هیچ‌یک از متابولیت‌های ادراری از مقادیر پیشنهاد شده بیشتر نبود. علاوه بر این، مشاهده گردید که بین BTEXs و متابولیت‌های ادراری آن‌ها ارتباطی معنادار و خطی وجود دارد.

بر مبنای نتایج، میزان مواجهه افراد شاغل در پتروشیمی مورد بررسی با بنزن و تولوئن قابل توجه بود و در برخی موارد از حدود توصیه‌شده فراتر رفته بود. همچنین، مشخص گردید که نوع فعالیت شغلی کارکنان تأثیر به‌سزایی بر میزان مواجهه آن‌ها با بنزن و تولوئن دارد.

از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به مقطعی بودن آن اشاره نمود. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی تأثیر رژیم غذایی و نوع داروهای مصرفی در میزان متابولیت‌ها سنجیده شوند. همچنین، می‌توان برای BTEXs از متابولیت‌های اختصاصی دیگر و یا از دو متابولیت استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت محیط زیست گرایش HSE دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد. بدین‌وسیله پژوهشگران از همکاری مدیریت مجتمع پتروشیمی به دلیل تأمین منابع مالی طرح و همچنین از کارکنان زحمتکش آن مجموعه که در راستای انجام این پژوهش صمیمانه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مواجهه در مدت زمان طولانی، راه‌کارهای مدیریتی و کنترلی زیر به‌منظور کاهش مواجهه کارکنان با ترکیبات فرار موجود در صنعت پتروشیمی مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده به‌منظور بررسی دقیق تأثیر شغل و فعالیت بر متابولیت ادراری افراد شاغل در شرکت‌های نفتی که به‌صورت اقماری (دو هفته کار و دو هفته استراحت) فعالیت می‌کنند و در معرض BTEXs هستند، نمونه‌ها در بدو ورود به محل کار و همچنین پس از اتمام دوره کاری و قبل از عزیمت به شهر سکونت گرفته شوند.

علاوه بر این، برای کارگاه‌ها و فضاهای بسته (از جمله انبارهای نگهداری مواد شیمیایی در این مجتمع) می‌توان از سیستم‌های تهویه صنعتی شامل: چیلرهای خنک‌کننده و مکند‌های فیلتردار جاذب بخارات آلی با قابلیت استفاده مجدد از هوای برگشتی خنک آن‌ها به‌منظور کاهش استفاده از انرژی استفاده نمود. از سوی دیگر، با اقدامات مهندسی و کنترلی دیگری از قبیل جایگزینی مواد پرخطر با کم‌خطرتر از قبیل هگزان به جای تولوئن، استفاده از درپوش‌های پرس و فیت‌شده برای ظروف نگهداری حلال‌های آلی، شیرهای تخلیه خودکار به جای شیرهای تخلیه‌کننده دستی، انجام بازرسی‌های منظم و به‌موقع جهت جلوگیری از نشت یا سرریز مواد شیمیایی در سایت، پوشاندن اتصالات کانال‌ها و مجاری آب‌راه‌های صنعتی با ورقه‌های فلزی به جای شبکه‌های مشبک، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی مناسب جهت جذب ترکیبات آلی فرار، کاهش مدت زمان مواجهه با به‌کارگیری رویه‌های مدیریتی مانند گردش کار نوبت‌کاران و افراد شاغل در تماس با ترکیبات آلی، انجام آزمایشات ادواری کلینیکی خاص و سنجش متابولیت‌ها در خون و ادرار در مورد واحدها و مشاغل با ریسک بالا در کنار معاینات ادواری سالیانه می‌توان قدم‌های مؤثری در کاهش بار آلاینده‌ها در هوای محیط

REFERENCES

- Yadav JS, Reddy CA. Degradation of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX) by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl Environ Microbiol*. 1993;59(3):756-62. PMID: 8481002
- Thepanondh S, Varoonphan J, Sarutichart P, Makkasap T. Airborne volatile organic compounds and their potential health impact on the vicinity of petrochemical industrial complex. *Water Air Soil Pollut*. 2011;214(1):83-92.
- Health Center of Environment and Occupation. Chemical hazards guideline. Tehran: University of Tehran; 2012.
- Bahrami A, Zare Sakhvidi MJ. Engineering, particle control methods. Tehran: Fanavar; 2011. [Persian]
- Al Zabadi H, Ferrari L, Sari-Minodier I, Keratret MA, Tiberguent A, Paris C, et al. Integrated exposure assessment of sewage workers to genotoxicants: an urinary biomarker approach and oxidative stress evaluation. *Environ Health*. 2011;10(1):23. PMID: 21435260 DOI: 10.1186/1476-069X-10-23
- National Toxicology Program. 12th Report on Carcinogens. North Carolina: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program; 2011.
- Moradpour Z, Bahrami A, Sultanian A, Shahna FG, Negahban AR. Seasonal comparison of emissions of volatile organic compounds in the chemical industry based on oil during the years 2013 and 2014. *Iran Occup Health J*. 2015;11(6):55-63. [Persian]
- Assary MJ. Guideline on the biological survey of the workplace, health and environment center. Hamedan: Daneshju; 2016. [Persian]
- Lam PK, Gray JS. The use of biomarkers in environmental monitoring programmes. *Marine Pollut Bull*. 2003;46(2):182-86. DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00449-6
- Keramati A, Nabizadeh Nodehi R, Rezaei Kalantary R, Nazmara S, Zahedi A, Azari A. TVOCs and BTEX Concentrations in the Air of South Pars Special Economic Energy Zone. *J Mazandaran Univ Med Sci*. 2016;26(133):236-44. [Persian]
- NIOSH 2549. NIOSH manual of analytical methods: hydrocarbons and aromatic. 4th ed. New York: National Institute for Occupational Safety and Health; 2003. P. 1-6.
- NIOSH 1501. NIOSH manual of analytical methods: hydrocarbons and aromatic. 4th ed. New York: National Institute for Occupational Safety and Health; 2003. P. 1-7.
- Na K, Kim YP, Moon KC, Moon I, Fung K. Concentrations of volatile organic compounds in an industrial area of Korea. *Atmos Environ*. 2001;35(15):2747-56. DOI: 10.1016/S1352-2310(00)00313-7
- Cetin E, Odabasi M, Seyfioglu R. Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery. *Sci Total Environ*. 2003;312(1-2):103-12. PMID: 12873403 DOI: 10.1016/

- [S0048-9697\(03\)00197-9](#)
15. Rahimpour R, Bahrami AR, Ghorbani F, Assari MJ, Negahban AR, Rahimnejad S, et al. Evaluation of urinary metabolites of volatile organic compounds and some related factors in petrochemical industry workers. *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2014;**24**(116):119-31. [Persian]
 16. Rahimpour R, Bahrami AR, Ghorbani F, Assari MJ, Negahban AR, Rahimnejad S, et al. Evaluation of urinary metabolites of volatile organic compounds and some related factors in petrochemical industry workers. *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2014;**24**(116):119-31. [Persian]
 17. Carrieri M, Tranfo G, Pignini D, Paci E, Salamon F, Scapellato ML, et al. Correlation between environmental and biological monitoring of exposure to benzene in petrochemical industry operators. *Toxicol Lett.* 2010;**192**(1):17-21. [PMID: 19628029](#) [DOI: 10.1016/j.toxlet.2009.07.015](#)
 18. Moro AM, Brucker N, Charão M, Bulcão R, Freitas F, Baierle M, et al. Evaluation of genotoxicity and oxidative damage in painters exposed to low levels of toluene. *Mutat Res.* 2012;**746**(1):42-8. [PMID: 22405974](#) [DOI: 10.1016/j.mrgentox.2012.02.007](#)
 19. Angerer J, Kramer A, Occupational chronic exposure solvents. XVI. Ambient and monitoring of workers exposed to toluene. *Int Arch Environ Health.* 1997;**69**(2):91-6. [PMID: 9001914](#)
 20. Philippat C, Wolff MS, Calafat AM, Ye X, Bausell R, Meadows M, et al. Prenatal exposure to environmental phenols: concentrations in amniotic fluid and variability in urinary concentrations during pregnancy. *Environ Health Perspect.* 2013;**121**(10):1225-31. [PMID: 23942273](#) [DOI: 10.1289/ehp.1206335](#)
 21. Huang. MY, Jin C, Liu Y T, Li B H, Qu QS, Uchida Y, et al. Exposure of workers to a mixture of toluene and xylenes. I. Metabolism. *Occup Environ Med.* 1994;**51**(1):42-6. [PMID: 8124462](#)
 22. Bahrami A, Mahjub H, Asari M. Biological evaluation of Hippuric Acid concentration from metabolite of Toluene in urine of gas stations workers. *J Qazvin Univ Med Sci.* 2001;**18**:17-21. [Persian]
 23. Muzenda E. Pre-treatment methods in the abatement of volatile organic compounds: a discussion. International Conference on Nanotechnology and Chemical Engineering, Bangkok, Thailand; 2012.