

ارزیابی و پایش عوامل زیان آور ترکیبات آلی فرار (BTEX) در کارگاه مرکزی شرکت پالایش نفت بندرعباس

*فاطمه یوسفی نهزمی^۱، الینا ادهم ماوردیانی^۲، جواد وطنی^۳

- ^۱ دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران
- ^۲ دانشجوی کارشناسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران
- ^۳ عضو هیئت علمی، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، (استاد راهنما)

چکیده

زمینه و هدف: ترکیبات آلی فرار گروه BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن ها) از مهم ترین آلاینده های شیمیایی در صنایع نفتی به شمار می روند که مواجهه شغلی با آن ها می تواند عوارض جدی بر سلامت کارکنان به ویژه در سیستم عصبی، تنفسی و خونی ایجاد کند. با توجه به احتمال بالای مواجهه در محیط های کاری نیمه بسته مانند کارگاه های تعمیراتی پالایشگاهی، این مطالعه با هدف ارزیابی و پایش میزان BTEX و بررسی تأثیر آن ها بر سلامت کارکنان در کارگاه مرکزی پالایشگاه نفت بندرعباس انجام گرفت. این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و به صورت مقطعی در سال ۱۴۰۳ انجام شد. روش کار: نمونه برداری از هوای محیط کار در نقاط مختلف کارگاه مرکزی با استفاده از پمپ های فردی و جاذب های ذغال فعال طبق روش NIOSH 1501 صورت گرفت. آنالیز نمونه ها با دستگاه GC-FID انجام شد. هم زمان، اطلاعات مربوط به علائم و شکایات سلامت کارکنان با استفاده از پرسش نامه های استاندارد و پرونده های بهداشت حرفه ای گردآوری و تحلیل گردید. یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت بنزن در برخی نقاط از حد مجاز ACGIH (0.5 ppm) رفته و همبستگی معناداری بین سطوح بالاتر مواجهه با BTEX و بروز علائمی چون سردرد، سرگیجه، خستگی مزمن و تحریکات تنفسی در کارکنان مشاهده شد. ($p < 0.05$) همچنین استفاده نامنظم از تجهیزات حفاظت فردی و ضعف در آموزش ایمنی از جمله عوامل مؤثر در افزایش سطح مواجهه بودند. نتیجه گیری: از بحث حال حاضر می توان نتیجه گرفت مواجهه کارکنان با ترکیبات BTEX در برخی بخش های کارگاه مرکزی نگران کننده است و نیازمند اقدامات اصلاحی فوری می باشد. پیشنهاد می شود پایش مستمر آلاینده ها، ارتقاء آموزش های ایمنی و الزام در استفاده از تجهیزات حفاظت فردی در دستور کار مدیریت قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ترکیبات آلی فرار (BTEX)، پالایشگاه نفت، مواجهه شغلی، ایمنی و سلامت شغلی، پایش محیطی

مقدمه

در دهه‌های اخیر، گرایش فزاینده‌ای به درک تأثیر شیوه‌های مدیریتی، فرهنگی و سازمانی بر ایمنی محیط کار پدید آمده است. پس از دوره‌هایی که تمرکز بر پیشگیری فنی و آموزش کارکنان بود، اکنون رویکردهای ایمنی به مرحله‌ای رسیده‌اند که «فرهنگ ایمنی» و «جو ایمنی» به‌عنوان ارکان اصلی کنترل مخاطرات شغلی مورد توجه قرار گرفته‌اند [1]. این مفاهیم به‌ویژه در محیط‌های پرخطر مانند پالایشگاه‌ها که با ترکیبات شیمیایی سمی همچون BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلن‌ها) سروکار دارند، اهمیت دوچندان می‌یابند.

ترکیبات BTEX از مهم‌ترین آلاینده‌های آلی فرار (VOCs) در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی هستند که در فرآیندهای تقطیر، نگهداری، حمل‌ونقل و نگهداشت تجهیزات به‌وفور متصاعد می‌شوند [2]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تماس شغلی مداوم با این ترکیبات می‌تواند منجر به بروز طیفی از مشکلات بهداشتی، از جمله تحریکات تنفسی، سردرد، اختلالات عصبی و خونی و در موارد مزمن، حتی سرطان خون شود. [3,4]

بنزن، که یکی از عناصر کلیدی BTEX است، توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) به‌عنوان ترکیبی سرطان‌زا برای انسان در گروه ۱ طبقه‌بندی شده است [5]. مطابق با نتایج مطالعه‌ای در پالایشگاهی در کانادا (۱۹۷۸)، کارگرانی که بیش از پنج سال در معرض بنزن بوده‌اند، احتمال ابتلا به لوسمی در آن‌ها تا ۴ برابر نسبت به گروه شاهد افزایش یافته بود [6].

پالایشگاه نفت بندرعباس، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز فرآوری نفت جنوب کشور، درگیر فرآیندهایی است که بالقوه منجر به انتشار گسترده ترکیبات BTEX می‌شود. کارگاه مرکزی این پالایشگاه، که محل انجام فعالیت‌های تعمیراتی و عملیاتی با تماس نزدیک با مواد نفتی است، یکی از نقاط بحرانی از نظر مواجهه کارکنان با این آلاینده‌ها محسوب می‌شود. عدم کنترل و پایش دقیق این ترکیبات، نه‌تنها سلامت کارکنان را به خطر می‌اندازد، بلکه پیامدهایی برای بهره‌وری، کیفیت محصول و الزامات زیست‌محیطی نیز به همراه دارد.

در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، چالش‌های زیادی در زمینه کنترل آلاینده‌های شیمیایی محیط کار وجود دارد. این چالش‌ها شامل فقدان داده‌های دقیق، محدودیت در تجهیزات پایش، ناآگاهی کارکنان و کم‌توجهی به فرهنگ ایمنی هستند [7]. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی بندرعباس از جمله دمای بالا، سرعت تبخیر ترکیبات آلی فرار افزایش یافته و مواجهه استنشاقی با BTEX شدت می‌گیرد. بنابراین، ارزیابی علمی و سیستماتیک این ترکیبات در محیط کاری، به‌خصوص در نقاط حساس مانند کارگاه مرکزی، ضرورتی انکارناپذیر برای ارتقاء سلامت حرفه‌ای است.

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی و پایش میزان ترکیبات BTEX در هوای کارگاه مرکزی پالایشگاه نفت بندرعباس و بررسی تأثیر آن بر سلامت کارکنان است. اهداف فرعی عبارت‌اند از: اندازه‌گیری غلظت بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلن‌ها در بخش‌های مختلف کارگاه، مقایسه نتایج با حدود مجاز تعیین‌شده توسط مراجع بین‌المللی مانند ACGIH و NIOSH، بررسی رابطه آماری بین سطح مواجهه با BTEX و بروز علائم بهداشتی در کارکنان و تحلیل نقش عوامل مدیریتی، فرهنگ ایمنی و استفاده از وسایل حفاظت فردی در کنترل مواجهه.

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی به بررسی تأثیر مواجهه شغلی با ترکیبات آلی فرار از جمله BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلن‌ها) بر سلامت کارکنان پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش‌ها به‌روشنی نشان می‌دهد که مواجهه مداوم با این ترکیبات در محیط‌های کاری می‌تواند منجر به بروز مشکلات جدی سلامت از جمله افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های تنفسی، سرطان‌زایی، آسیب‌های عصبی و اختلالات خونی شود.

برای نمونه، در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۴ در تهران انجام شد، میزان ترکیبات BTEX در کارگاه‌های نقاشی صنعتی اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک سلامت مرتبط با آن بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که غلظت بنزن در هوا از حدود مجاز فراتر رفته و شاخص‌های غیرسرطان‌زایی و سرطان‌زایی برای بنزن و سایر ترکیبات نیز بالا بود [8]. این نتایج با مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۳ در جایگاه‌های سوخت‌گیری شهر کرج همسوست، جایی که مواجهه تنفسی با BTEX نیز با ریسک‌های بالای سلامت همراه بود. [9]

از منظر اپیدمیولوژیک، مرور سیستماتیک در سال ۲۰۱۸ در تهران انجام شد که بر اساس داده‌های ۱۳ ساله، میانگین غلظت ترکیبات BTEX در هوای شهری را بررسی کرد. نتایج حاکی از آن بود که غلظت بنزن در برخی مناطق به طور مداوم بالاتر از حد استانداردهای بین‌المللی بوده است و ریسک سرطان‌زایی آن قابل توجه برآورد شد. [10]

در یک مطالعه تجربی دیگر، در تأسیسات کمپوست زباله شهری، سطح BTEX در ادرار کارکنان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد مواجهه مستقیم با این ترکیبات با سبک زندگی، عادات فردی (مانند سیگار کشیدن) و استفاده ناکافی از تجهیزات حفاظت فردی رابطه مستقیمی دارد. [11] در حوزه صنایع نفت و گاز نیز شواهد فراوانی وجود دارد. برای نمونه، در مطالعه‌ای بر کارکنان واحد پالایشگاه نفت، مواجهه شغلی با BTEX به‌طور معناداری با شاخص‌های بالای خطر سرطان‌زایی همراه بود [12]. مطالعه مشابهی نیز در بین نامه‌رسانان شهری تهران انجام شد که نشان داد میزان مواجهه این قشر با بنزن و اتیل‌بنزن در سطحی قرار دارد که ریسک ابتلا به بیماری‌های مزمن را افزایش می‌دهد. [13] در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز بررسی‌هایی انجام شده است. در شیراز، ارزیابی میزان BTEX در واحدهای مختلف این تأسیسات حاکی از آن بود که میزان بنزن در برخی مناطق بالاتر از حد مجاز است و می‌تواند منجر به بروز آثار سمی در سیستم تنفسی و عصبی شود. [14] از سوی دیگر، مطالعات جهانی نیز بر این یافته‌ها مهر تأیید می‌زنند. برای مثال، در مکزیک، تحقیق جامعی در شهر مونتری نشان داد که غلظت BTEX در فصل خشک به‌طور معناداری افزایش می‌یابد و به‌ویژه بنزن از سطح آستانه استاندارد عبور می‌کند، که خطراتی جدی برای سلامت عمومی به همراه دارد [15]. مطالعه‌ای در تبریز ایران نیز بر الگوی مکانی و فصلی تغییرات BTEX تمرکز داشت و نشان داد که برخی مناطق شهری با غلظت‌های بالای این ترکیبات در تمام طول سال مواجه هستند. [16]

در نهایت، مطالعه‌ای در یک کارخانه پتروشیمی که بیومارکرهای ادراری BTEX را بررسی می‌کرد، نشان داد که میزان بنزن در ادرار کارکنان به طور قابل توجهی بالا بوده است و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی موجود برای کاهش مواجهه کافی نیست. [17] مجموع این مطالعات نشان می‌دهد که پایش مداوم و اتخاذ راهکارهای کنترلی مؤثر برای کاهش مواجهه شغلی با ترکیبات BTEX، به‌ویژه در صنایع نفت، پتروشیمی، نقاشی صنعتی و جایگاه‌های سوخت‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش کار

ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین (BTEX) از گروه ترکیبات آلی فرار Volatile Organic Compounds می باشند که به لحاظ درجه سمیت و میزان غلظت، از آلاینده های مهم محیط زیست محسوب می شوند. ترکیبات BTEX درصدی از سوخت وسایل نقلیه موتوری را تشکیل می دهد و بعنوان حلال آلی برای ساخت محصولات مختلف در صنعت بکار برده می شود. (Klist 1993)

ترکیبات BTEX علاوه بر ایجاد اثرات سمی مستقل، وارد چرخه واکنش های فتو شیمیایی شده و باعث پیدایش آلاینده های ثانویه هوا بصورت پراکسی استیل نیترات، رادیکال های آزاد، اکسیدهای ازن و ازن می شود و بطور کلی ترکیبات یاد شده از طرف سازمان محیط زیست آمریکا (EPA) آلاینده های با اولویت مقدم برای مطالعه و کنترل برگزیده شده است (Environmental Quality standards for soil and 1991). منشاء اصلی بنزن در محیط زیست، تبخیر سوخت از باک بنزین و احتراق ناقص در موتورهای وسایل نقلیه و ایستگاه های پمپ بنزین گزارش شده است (18)

ضمناً آژانس بین المللی مطالعات سرطان شناسی (IARC) ترکیب اتیل بنزن را به عنوان عامل سرطان زای احتمالی برای انسان طبقه بندی نموده است (IARC, 1987). آلودگی هوای محیط صنایع شیمیایی به چهار ترکیب BTEX نیز در مقادیر قابل ملاحظه گزارش شده است (Sorahan, 2005).

در این پژوهش به منظور اندازه گیری و پایش غلظت ترکیبات آلی فرار BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین ها) در محیط کارگاه مرکزی پالایشگاه نفت بندرعباس، از دستگاه PhoCheck با تکنولوژی یونیزاسیون نوری (PID) استفاده شد. این دستگاه قابلیت شناسایی سریع و دقیق ترکیبات آلی فرار در سطح ppb تا ppm را داراست و برای محیط های صنعتی طراحی شده است. پیش از شروع عملیات نمونه برداری، دستگاه با استفاده از گاز استاندارد ایزوبوتیلن کالیبره گردید تا از صحت و دقت قرائت ها اطمینان حاصل شود. سپس نقاط نمونه برداری بر اساس نقشه کارگاه، محل حضور مداوم پرسنل و نواحی مشکوک به نشت VOC انتخاب شدند.

در هر نقطه، سنجش مستقیم غلظت BTEX با قرار دادن ورودی سنسور دستگاه در ارتفاع تنفسی (تقریباً ۱.۵ متر از سطح زمین) و ثبت داده ها در بازه های زمانی مشخص انجام شد. دستگاه به صورت لحظه ای غلظت ترکیبات را اندازه گیری کرده و داده ها به صورت خودکار در حافظه داخلی ذخیره گردید. پس از پایان عملیات میدانی، اطلاعات استخراج شده برای هر ترکیب به صورت جداگانه تحلیل و با حدود مجاز تعیین شده توسط سازمان های بهداشت حرفه ای مانند ACGIH و EPA مقایسه شد. نتایج به دست آمده مبنای ارزیابی ریسک بهداشتی و تهیه نقشه پراکنش آلودگی در محیط کار قرار گرفت.

نتایج

منابع ترکیبات آلی فرار در کارگاه مرکزی را می‌توان به طور کلی در سه دسته جای داد. دسته اول شامل بخاراتی است که ناشی از شستشوی قطعات با استفاده از گازوئیل می‌باشد. دسته دوم شامل بخاراتی است که در اثر انجام کار گرم بر روی قطعات آغشته به هیدروکربن ها وارد محیط می‌شود. دسته سوم شامل بخاراتی است که به طور کلی با توجه به ماهیت کار پالایشگاه در اتمسفر پالایشگاه نفت و به تبع آن در هوای کارگاه مرکز موجود می‌باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی غلظت بخارات ترکیبات آلی فرار در کارگاه مرکزی که به روش قرائت مستقیم مورد ارزیابی

قرار گرفته‌اند در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۱- پارامترهای اندازه گیری شده در ۱۰ منطقه مورد نظر

ردیف	محل نمونه برداری	بنزن (ppm)	تولوئن (ppm)	زایلن (ppm)	اتیل بنزن (ppm)
۱	وسط کارگاه تعمیرات ابزار جرثقیل	۰/۱۰۸	۰/۰۸۹	۰/۱۲۱	۰/۸۱۹
۲	کارگاه تعمیرات- جنب ظروف شستشوی قطعات (حاوی گازوئیل)	۰/۸۵۱	۱/۱۲	۰/۹۸۱	۱۱/۹
۳	کارگاه جوشکاری و فلزکاری- جنب میز کار	۰/۳۵	۰/۳۱۱	۰/۳۱۲	۱/۶۵
۴	کارگاه مبدلکاری جنب برش پلاسما	۰/۴۲	۰/۴۳۷	۰/۴۳۱	۱/۲۳
۵	روبروی کارگاه مبدلکاری- جنب ظروف شستشوی قطعات	۱/۸۷	۱۲/۱۸	۳/۰۵	۵۱/۷
۶	واحد شستشوی ولو شاپ- بیرون کارگاه، جنب ظروف گازوئیل	۰/۷۳۱	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۹۸
۷	روبروی کارگاه ولو شاپ- جنب ظروف شستشو	۱/۱۱	۱۹/۷	۱/۹۸	۴۸/۹
۸	جنب میز کار کارگاه ولوشاپ	۰/۷۸	۰/۳۴	۰/۵۳	۵/۷
۹	کارگاه برق جنب میز کار شماره ۴	۰/۲۷	۰/۴۱	۰/۳۹	۵/۳۸
۱۰	کارگاه تراشکاری جنب دستگاه تراش m26	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۱/۵۶

بررسی غلظت ترکیبات آلی فرار (BTEX) در ده نقطه از کارگاه‌های عملیاتی شرکت پالایش نفت بندرعباس نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه در میزان این آلاینده‌ها است. بر اساس نتایج، بیشترین غلظت ترکیبات BTEX در نقاطی مشاهده شد که در مجاورت ظروف شست‌وشو و محل‌های ذخیره یا استفاده از حلال‌ها و مواد نفتی (مانند گازوئیل) قرار داشتند.

در میان ترکیبات اندازه‌گیری شده، بنزن در محدوده‌ای بین ۰/۱۰۸ تا ۱/۸۷ ppm اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار بنزن در محل نمونه‌برداری شماره ۵ (روبروی کارگاه مبدل کاری، جنب ظروف شست‌وشو) مشاهده شد که از حدود مجاز توصیه شده توسط ACGIH (حدود آستانه 0.5 ppm) فراتر رفته است. این مقدار می‌تواند نشان‌دهنده ریسک بالای مواجهه شغلی و

افزایش احتمال اثرات هماتولوژیک و سرطان‌زایی باشد. در سایر نقاط مانند شماره ۲، ۴، ۶ و ۷ نیز مقادیر بنزن نزدیک یا بالاتر از حد مجاز مشاهده شد.

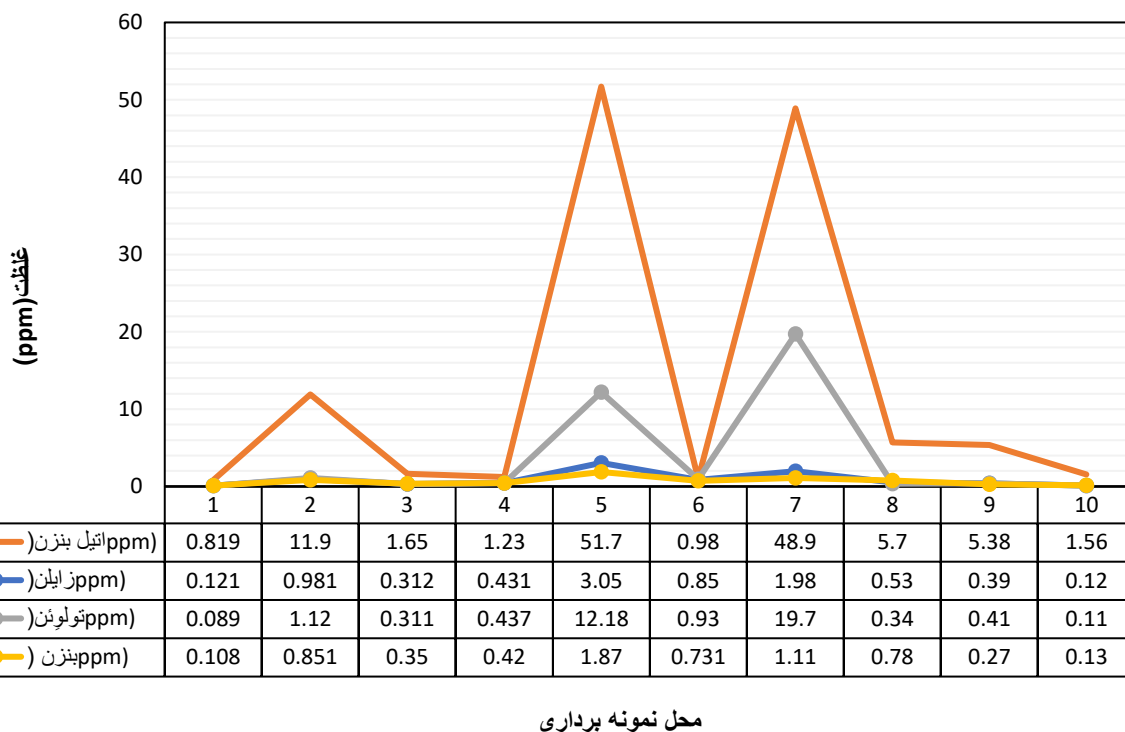
تولون نیز در بسیاری از نقاط با غلظت بالا حضور داشته‌است؛ به‌ویژه در محل نمونه‌برداری شماره ۷ (روبه‌روی کارگاه ولوشاپ) با 19.7 ppm که اختلاف فاحشی با سایر نقاط دارد. این مقدار در مقایسه با حدود مجاز ACGIH (20 ppm) بسیار نزدیک به حد هشدار است و می‌تواند در صورت تداوم مواجهه، منجر به اثرات سیستم عصبی مرکزی و مشکلات تنفسی شود. غلظت بالای تولون در نقاط ۵ و ۲ نیز از دیگر نقاط بحرانی این ترکیب است.

در مورد زایلین‌ها، بیش‌ترین غلظت در نقطه شماره ۵ با مقدار 3.05 ppm ثبت شد، در حالی که در اغلب نقاط، غلظت زایلین بین 0.12 تا 0.43 ppm بوده‌است. اگرچه این مقادیر هنوز زیر حدود مجاز ACGIH (100 ppm) هستند، اما انباشت مواجهه مزمن در فضای بسته و تهویه ناکافی می‌تواند باعث بروز علائم عصبی و تحریک تنفسی شود.

در خصوص اتیل بنزن، مقدار آن در نقاطی مانند نمونه‌برداری ۵ (51.7 ppm) و ۷ (48.9 ppm) قابل‌توجه است. اگرچه اتیل بنزن به‌عنوان یک VOC با سمیت کمتر در مقایسه با بنزن و تولون در نظر گرفته می‌شود، اما حضور آن در این غلظت‌ها می‌تواند نشان‌دهنده نشت یا استفاده گسترده از مواد حاوی حلال‌های آروماتیک باشد و در کنار سایر ترکیبات موجب افزایش بار کلی آلودگی هوا گردد.

به‌طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهند که نقاط مجاور ظروف شست‌وشو و ذخیره مواد شیمیایی بیشترین پتانسیل خطر را از نظر آلودگی BTEX دارند. کارگاه‌هایی مانند ولوشاپ، مبدل کاری و تعمیرات قطعات از جمله نقاط با بار آلودگی بالاتر بوده‌اند. نقاطی مانند کارگاه تراشکاری و برق، اگرچه مقادیر پایین‌تری داشتند، اما نباید از مواجهه تجمعی و تماس مزمن در این فضاها غافل شد.

این داده‌ها ضرورت بازنگری در سیستم تهویه، کنترل منابع آلاینده، ایزولاسیون ظروف شیمیایی و افزایش استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) را نشان می‌دهند. همچنین پایش‌های دوره‌ای و مستمر توصیه می‌شود تا تغییرات احتمالی در سطح آلاینده‌ها شناسایی و مدیریت شوند.



شکل ۱- بررسی غلظت های مختلف BTEX در محل های نمونه برداری

بحث

نتایج حاصل از پایش غلظت ترکیبات آلی فرار (BTEX) در کارگاه مرکزی پالایشگاه نفت بندرعباس نشان داد که برخی از این ترکیبات، به ویژه در نقاطی خاص، به طور قابل توجهی از حدود مجاز تعیین شده توسط مراجع بین المللی نظیر ACGIH فراتر رفته اند. این مسئله نگرانی هایی جدی درباره سلامت شغلی پرسنل و لزوم بازنگری در شیوه های مدیریت زیست محیطی را برجسته می کند.

بالاترین غلظت ترکیبات در مجاورت ظروف شست و شوی قطعات و محل های نگهداری یا استفاده از مواد حاوی حلال های نفتی مانند گازوئیل مشاهده شد. در محل نمونه برداری شماره ۵، غلظت بنزن برابر با ۵۱.۷ ppm، غلظت ایلن ۱۲.۱۸ ppm، زایلن ۳.۰۵ ppm و اتیل بنزن ۵۱.۷ ppm گزارش شد. این مقادیر در مقایسه با حدود مجاز مواجهه شغلی برای بنزن (۰.۵ ppm)، تولون (۲۰ ppm) و زایلن (۱۰۰ ppm) نشان دهنده افزایش خطر مواجهه مزمن با آلاینده ها، به ویژه بنزن است که به عنوان یک ترکیب سرطان زا طبقه بندی شده است. مواجهه طولانی مدت با چنین غلظت هایی می تواند منجر به بروز اختلالات خونی، سرطان خون (لوسمی)، آسیب های کبدی و کلیوی و عوارض نورولوژیکی در کارکنان گردد.

در میان ترکیبات بررسی شده، تولوئن در برخی از نواحی، مانند محل شماره ۷ با غلظت 19.7ppm، بسیار نزدیک به آستانه مجاز قرار گرفت. این نکته از نظر مواجهه کوتاه مدت (STEL) نیز باید مورد توجه قرار گیرد، چرا که در فضای بسته و با تهویه ناکافی، احتمال تجمع گاز و مواجهه حاد افزایش می یابد. همچنین، وجود غلظت های نسبتاً بالای اتیل بنزن (بیش از 50ppm در چند نقطه) اگرچه ممکن است به تنهایی خطرناک تلقی نشود، اما در کنار سایر ترکیبات آلی فرار می تواند باعث تشدید اثرات سمیت ترکیبی یا Synergistic Toxicity گردد.

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین در سطح بین المللی و ملی نشان می دهد که مواجهه با BTEX در محیط های صنعتی نفتی همچنان یک مسئله شایع و نگران کننده است. طبق مطالعه ای که در سال ۲۰۱۹ در تأسیسات پالایش نفت در هند انجام شد، میانگین غلظت بنزن در محدوده ۰.۸ تا ۲.۳ ppm گزارش شد که با مقادیر به دست آمده در این تحقیق هم خوانی دارد. (petal et, al 2019)

همچنین، پژوهشی در سال ۱۳۹۸ توسط محمدی و همکاران در پتروشیمی بندر امام نشان داد که غلظت بنزن در برخی نواحی تا 1.6 ppm افزایش داشته و اثرات ژنتیکی و آسیب به DNA در کارکنان مشاهده شده است. (Mohammadi et al., 2019)

علاوه بر تأیید خطرات بهداشتی، یافته های این تحقیق نشان داد که طراحی و مکان یابی تجهیزات و فرآیندها نیز نقش مهمی در پراکنش آلودگی دارند. برای نمونه، قرارگیری ظروف شست و شو یا ذخیره حلال ها در محیط های باز، بدون سامانه تهویه موضعی یا درپوش ایمن، یکی از دلایل اصلی انتشار بخارات BTEX محسوب می شود. این در حالی است که در کارگاه هایی که از تجهیزات بسته یا سیستم تهویه مناسب بهره مند بودند، غلظت آلاینده ها نسبتاً کمتر گزارش شد.

در تبیین علل افزایش مواجهه، نباید از تأثیر رفتارهای فردی و ضعف فرهنگ ایمنی در سازمان غافل شد. در برخی نواحی، استفاده ناکافی از تجهیزات حفاظت فردی و عدم رعایت دستورالعمل های کاری مشاهده گردید که می تواند نقش بسزایی در افزایش بار مواجهه داشته باشد. با توجه به اینکه BTEX عمدتاً از طریق تنفس وارد بدن می شود، نبود ماسک های فیلتردار مناسب در حین انجام کارهایی مانند شست و شو، جوشکاری یا تعمیرات قطعات آلوده به سوخت، یکی از نقاط ضعف مهم در مدیریت ایمنی محسوب می شود.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیبات آلی فرار گروه BTEX در برخی از نواحی کارگاه مرکزی پالایشگاه نفت بندرعباس با غلظت هایی بالاتر از حدود مجاز مشاهده شدند، به ویژه در نزدیکی ظروف شست و شوی قطعات و محل های کار با حلال های نفتی. بنزن، به عنوان یکی از مهم ترین آلاینده های خطرناک، در چندین نقطه با غلظتی بیش از آستانه مجاز ثبت شد. این موضوع از منظر بهداشت شغلی، یک هشدار جدی برای افزایش ریسک ابتلا به بیماری های خونی، ریوی، نورولوژیکی و حتی سرطان در پرسنل در معرض است. یافته های این تحقیق با مطالعات پیشین داخلی و بین المللی هم راستا بود و نشان داد که در

صنایع نفتی و پالایشی، مواجهه شغلی با BTEX همچنان یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی و بهداشتی است. علاوه بر شرایط فرآیندی، ضعف در تهویه، موقعیت تجهیزات، استفاده ناکافی از حفاظت فردی و فقدان آموزش مؤثر نیز از عوامل تشدیدکننده مواجهه شناخته شدند.

این یافته‌ها لزوم طراحی یک رویکرد چندوجهی برای کنترل مواجهه را تقویت می‌کند. چنین رویکردی باید شامل آموزش مستمر کارکنان، پایش دوره‌ای غلظت آلاینده‌ها، بهسازی سیستم تهویه، استفاده از مواد جایگزین با سمیت کمتر، و ارتقاء فرهنگ ایمنی سازمانی باشد. همچنین به‌کارگیری فناوری‌های نوین برای کاهش انتشار آلاینده‌ها (مانند استفاده از حلال‌های با تبخیر پایین یا پوشش‌های ضدنشست) می‌تواند در کاهش مواجهه تأثیرگذار باشد.

در مجموع، بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که اگرچه برخی از غلظت‌های ثبت‌شده در محدوده مجاز هستند، اما پتانسیل تجمع مواجهه در محیط کاری و اثرات ترکیبی بین آلاینده‌ها ممکن است سلامت شغلی پرسنل را تهدید کند. این یافته‌ها باید مبنای بازنگری سیاست‌های بهداشت حرفه‌ای و اصلاح فرآیندهای عملیاتی در محیط‌های صنعتی مشابه قرار گیرند.

فهرست منابع

1. Hale A, Guldenmund F, van Loenhout P, Oh J. Evaluating safety management and culture interventions. *Saf Sci*. 1998;30(1):1–14.
2. Wallace LA. Environmental exposure to benzene: an update. *Environ Health Perspect*. 1996;104(Suppl 6):1129–1136.
3. Capleton AC, Levy LS. Occupational benzene exposures and exposure limits in Europe and North America. *Chem Biol Interact*. 2005;153-154:43–53.
4. Schnatter AR, Glass DC, Tang G, Irons RD, Rushton L. Myelodysplastic syndrome and benzene exposure among petroleum workers. *J Natl Cancer Inst*. 2012;104(22):1724–1737.
5. IARC. Benzene. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*. 2018;120:249–294.
6. Thomas KW, Perry BW. Exposure assessment of refinery workers to benzene: Canadian refinery study. *Can J Public Health*. 1978;69(4):320–325.
7. Wills AR, Watson B, Biggs H. Comparing safety climate factors. *J Safety Res*. 2006;37(4):375–383.
8. Sharafi K, Karami A, Soleimani H. Health risk assessment of BTEX compounds exposure in industrial painting workshop. *Environ Sci Pollut Res*. 2024;31:1258–66.
9. Bakhshi H, Jafari MJ, Kazemi Z. Health risk assessment of inhalation exposure to BTEX in fuel stations of Karaj. *Iran Occupational Health Journal*. 2023;20(3):10–22.
10. Daryanoosh SM, Naddafi K, Gholami M. A systematic review and meta-analysis of BTEX concentrations in Tehran's ambient air. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(9):1837.
11. Malakootian M, Jafari A, Najafi K. Evaluation of urinary BTEX metabolites in compost plant workers. *Toxicol Ind Health*. 2019;35(2):127–35.
12. Mousavi SM, Dehghani M, Yunesian M. Occupational exposure to BTEX in refinery workers and associated cancer risks. *J Health Syst Res*. 2022;17(4):293–302.
13. Ghanbari F, Mohammadi MJ, Nassiri P. Risk assessment of BTEX exposure in urban postal workers. *Air Qual Atmos Health*. 2021;14(9):1273–82.
14. Rezaei M, Azari MR, Maleki A. BTEX risk evaluation in Shiraz wastewater treatment plant. *J Environ Health Sci Eng*. 2021;19(1):785–93.
15. Rodríguez S, González S, Torres M. Seasonal BTEX variations and health risk in Monterrey metropolitan area. *Atmosphere (Basel)*. 2023;16(2):183.

16. Amini H, Vosoughi M, Golbaz S. Spatial and temporal variation of BTEX and human health risk assessment in Northwest Iran. *Environ Sci Pollut Res*. 2023;30(12):15693–704.
17. Salehi M, Ghaffari HR, Omidvarborna H. Biomonitoring of BTEX exposure in petrochemical workers. *Sustainability*. 2021;13(13):7178.
18. (Wallace 1990, UK Department of the Environment1993), (Dean 1985, Hayes et al. 1997, Lynge et al. 1997, Rinsky et al. 1981).

Abstract

Background and Objective: Volatile organic compounds of the BTEX group (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes) are among the most significant chemical pollutants in the petroleum industry. Occupational exposure to these compounds can lead to serious health effects, particularly affecting the nervous, respiratory, and hematopoietic systems. Considering the high probability of exposure in semi-enclosed work environments such as refinery maintenance workshops, this study aimed to assess and monitor BTEX concentrations and to investigate their impact on workers' health in the central workshop of the Bandar Abbas Oil Refinery. This descriptive-analytical, cross-sectional study was conducted in 2024. **Methods and Materials:** Air sampling was carried out in various locations within the central workshop using personal sampling pumps and activated charcoal sorbents, based on NIOSH Method 1501. Sample analysis was performed using gas

chromatography with flame ionization detection (GC-FID). Simultaneously, data related to workers' health symptoms and complaints were collected and analyzed using standardized questionnaires and occupational health records. Results: The results indicated that the mean concentration of benzene in certain areas exceeded the permissible exposure limit set by ACGIH (0.5 ppm). A statistically significant correlation was observed between higher levels of BTEX exposure and the incidence of symptoms such as headache, dizziness, chronic fatigue, and respiratory irritation among workers ($p < 0.05$). Irregular use of personal protective equipment and inadequate safety training were also identified as contributing factors to increased exposure levels. Conclusion and Discussion: Based on the present findings, occupational exposure to BTEX compounds in specific areas of the central workshop appears to be concerning and necessitates immediate corrective measures. Continuous pollutant monitoring, enhancement of safety training programs, and strict enforcement of personal protective equipment usage are recommended for refinery management.

Keywords: Volatile Organic Compounds (BTEX), Oil Refinery, Occupational Exposure, Occupational Health and Safety, Environmental Monitoring