مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

ارزیابی ریسک سلامت آلاینده بنزن در منطقه پارس جنوبی

الهام طاهری ابهری*[۱]، امیرارسلان پرداختی[۱]، علیرضا دهاقین[۲]، حسین تقدیسیان[۲]، مهدی تنهازیارتی[۳]

۱- گروه آلودگی هوا، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- پژوهشکده محیط‌زیست، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- اداره بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، عسلویه، بوشهر، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

کلمات کلیدی:
بنزن
ریسک سرطانی
پالایشگاه گاز
صنعت پتروشیمی

چکیده

مقدمه: ترکیبات آلی فرار یکی از موضوعات جدی جامعه علمی در دهه‌های گذشته تاکنون محسوب می‌گردد. تنوع شیمیایی این ترکیبات سبب شده است که اثرات گسترده نامطلوب سرطانی و غیرسرطانی بر سلامت انسان داشته باشند. EPA تا کنون۱۸۹ آلاینده هوا را شناسایی کرده است که ۹۷ مورد از آن‌ها ترکیبات آلی فرار می‌باشند. از این میان، BTEX از مهم‌ترین ترکیبات آلی فرار است که به واسطه اثرات منفی بر روی سلامتی مانند سردرد، سوزش چشم، ضعف، بی‌اشتهایی، بی‌خوابی، مشکلات تنفسی و سرطان‌زایی حائز اهمیت هستند. آژانس بین‌المللی برای تحقیق سرطان (IARC) بنزن را به واسطه مشارکت در سرطان خون، در دسته یک گروه مواد سرطان‌زا قرار داده است.

مواد و روش‌ها: از آن‌جاکه منطقه پارس جنوبی به عنوان قطب استخراج و تولید گازطبیعی و صنایع پتروشیمیایی در کشور محسوب می‌شود و یکی از آلاینده‌های این صنایع بنزن می باشد، در این مطالعه، ریسک سرطانی بنزن مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، از داده های حاصل از روش نمونه‌برداری غیرفعال بنزن در بازه زمانی دی‌ماه ۱۳۹۸ تا پایان دی‌ماه ۱۳۹۹ استفاده گردید که نمونه‌برداری در برخی مرزهای صنعتی و مسکونی (در مجموع ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری)، انجام و نمونه‌ها با استفاده از روشGC آنالیز شد. پس از آنالیز نمونه‌ها و محاسبه غلظت‌های حداکثر، حداقل و متوسط برای هر ایستگاه طی یک‌سال مورد مطالعه، نتایج نشان داد که میزان غلظت متوسط سالیانه بنزن از $1/4 \mu g/m^3$ (در ایستگاه شماره ۸) تا $26/3\ \mu g/m^3$ (در ایستگاه شماره ۲) در نوسان بوده است و غلظت متوسط سالیانه به عنوان مبنای ارزیابی ریسک سرطانی در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که ۳ ایستگاه در منطقه صنعتی و ۷ ایستگاه در منطقه مسکونی قرار دارند که دو ایستگاه از آن‌ها نیز در نزدیکی مدرسه واقع شده است، مفروضاتی در خصوص مدت زمان مواجهه در طی روز (ET)، دفعات مواجهه (EF) و طول زمان مواجهه (ED) و متوسط طول عمر برای ۷ گروه جمعیتی در نظر گرفته شد و ریسک سرطانی بنزن محاسبه گردید.

نتایج: یافته‌ها نشان داد ریسک سرطانی بنزن برای کارکنان صنعتی- اقماری در مقایسه با کارکنان صنعتی- ساکن منطقه در محل کار بیشتر می‌باشد. همچنین، ریسک سرطانی بنزن در مناطق شهری- اداری برای افرادی که در این مناطق سکونت دائم دارند و برای کارکنان صنعتی که محل سکونتشان در مناطق مذکور

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: elham.taheri.abh@ut.ac.ir

است در مقایسه با افرادی که صرفاً در بازه زمانی کاری در محل مورد نظر تردد دارند، بسیار بالاتر است. با مقایسه داده‌های حاصل از محاسبات می‌توان نتیجه گرفت علی‌رغم این‌که غلظت بنزن در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه صنعتی بسیار بیشتر از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه شهری و مسکونی است اما به دلیل این‌که مدت زمان مواجهه در طی روز (ET)، دفعات مواجهه (EF) و طول زمان مواجهه (ED) برای ساکنین دائم در مقایسه با کارکنان صنعتی بیشتر است، ریسک سرطانی بنزن برای ساکنین دائم حتی اگر غلظت بنزن در حد استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست باشد، بسیار بالاتر است. بیشترین میزان ریسک سرطانی بنزن برای ساکنین دائم در مناطق شهری $۲۳/۴\times۱۰^{-۶}$ می‌باشد در حالی‌که این شاخص برای کارکنان اقماری ناحیه صنعتی ۲۲×۱۰^{-۶} و برای کارکنانی در منطقه شهری سکونت دارند $۱۵/۶\times۱۰^{-۶}$ است.

بحث: از آن‌جا که کارکنان در مواجهه با ریسک سرطانی بنزن ناشی از کار در واحد صنعتی نیز می‌باشند. بنابراین، به دلیل ریسک بالای سرطان‌زایی بنزن برای کارکنان صنعتی ساکن منطقه، پیاده‌سازی راهکار فوری و مؤثر جهت کاهش انتشار آلاینده مذکور در صنایع واقع در محدوده ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۲ بسیار ضرورت دارد. همچنین، به همان اندازه که برنامه پایش سلامت کارکنان واحدهای صنعتی پیاده‌سازی می‌شود و از اهمیت برخوردار است، لازم است با همکاری دستگاه‌های اجرایی ذیربط، برنامه جامع پایش سلامت ساکنین بومی/دائمی طرح‌ریزی و اجرایی گردد.

مقدمه

ترکیبات آلی فرار یکی از موضوعات جدی جامعه علمی در دهه‌های گذشته تاکنون محسوب می‌شود. تنوع شیمیایی این ترکیبات سبب شده است که اثرات گسترده نامطلوب سرطانی و غیرسرطانی بر سلامت انسان داشته باشند (Partovi *et al.*, 2015). EPA تاکنون ۱۸۹ آلاینده هوا را شناسایی کرده است که ۹۷ مورد از آن‌ها ترکیبات آلی فرار می‌باشند. مهم‌ترین منابع ترکیبات آلی فرار به شرح زیر می‌باشد (David & Niculescu, 2021):

۱. سوختن سوخت‌های فسیلی و احتراق ناقص آن‌ها یا تبخیر آن‌ها. ۲. حلال‌های مورد استفاده در رنگ و جوهرها. ۳. هواویزهای فشرده تولید شده که حاوی بوتان و پروپان هستند و در شکل‌گیری حدود ۱/۳ میلیارد تن ترکیبات آلی فرار منتشر شده در جهان به طور سالانه مشارکت دارند. ۴. استفاده از بیوسوخت‌ها. ۵. احتراق ناقص زیست‌توده به خصوص از جنگل‌ها و پسماندهای کشاورزی سبب تولید ترکیبات آلی فرار می‌شود. ۶. زباله‌سوزهای پسماندهای شهری.

BTEX که شامل بنزن، تولوئن، اتیلن بنزن و زایلن می‌باشد از مهم‌ترین ترکیبات آلی فرار محسوب می‌شوند که به واسطه اثرات منفی آن‌ها بر روی سلامتی مانند سردرد، سوزش چشم، ضعف، بی‌اشتهایی، بی‌خوابی، مشکلات تنفسی و سرطان‌زایی حائز اهمیت هستند. آژانس بین‌المللی برای تحقیق سرطان (IARC[1]) بنزن را به واسطه مشارکت در سرطان خون، در دسته یک گروه مواد سرطان‌زا قرار داده است (Moridzadeh *et al.*, 2020). این موضوع به دلیل متابولیسم فعال بالای بنزن است که به طور گسترده‌ای در بدن پخش می‌شود. درواقع، سیستم‌های خونی و ایمنی، هدف اصلی بنزن می‌باشند و بر سیستم اعصاب مرکزی و تولیدمثل نیز اثر منفی دارد (ATSDR[2]).

بنزن یک ترکیب آلی قابل اشتعال است که طی فرآیندهای طبیعی یا انسان ساخت تولید می‌شود. قابلیت انحلال بنزن در آب کم است و خیلی سریع به هوا تبخیر می‌گردد (ATSDR). طول عمر بنزن در هوا از چند ساعت تا چند روز می‌باشد که این مدت به شرایط زیست‌محیطی و حضور آلاینده‌های دیگر بستگی دارد. مهم‌ترین نوع تجزیه بنزن در محیط‌زیست از طریق اکسیداسیون رادیکال‌های هیدروکسیل و به دنبال آن، حذف از طریق بارش باران می‌باشد. خواص فیزیکی و شیمیایی بنزن در جدول ۱ آورده شده است (Sekar *et al.*, 2019).

[1]. International Agency for Research on Cancer

2 . Agency for Toxic Substances and Disease Registry

جدول ۱- خواص فیزیکی-شیمیایی بنزن

پارامتر	مقدار/ماهیت
فرمول شیمیایی	C6H6
وزن مولکولی	۷۸/۱۱g/mol
ماهیت	فرار، بی رنگ، قابلیت اشتعال بالا
بو	ppm۱/۵ شیرین در حد
فشاربخار	mmHg at 25oC۹۵/۲
ضریب جداسازی اکتان/آب (K_{ow})	۲/۱۳
ضرایب تبدیل(در حالت گازی)	۱ppm= ۳/۱۹mg/m^3 ۱mg/m^3=۰/۳۱۳ppm

غلظتی که در آن می‌توان بوی بنزن را احساس کردد حدود ۹۷ppm می‌باشد. بنابراین، افراد می‌توانند در تماس زیاد با بنزن باشند، بدون اینکه از این در معرض قرار گرفتن و خطرات آن مطلع باشند. بنزن به سرعت در محیط منتشر می‌شود. سناریوی مواجهه در اغلب موارد، تنفس غلظت کم در مدت طولانی است زیرا افرادی که در تماس با بنزن هستند، اساساً به واسطه تنفس هوای آلوده با بنزن مواجهه دارند به خصوص در ترافیک سنگین، اطراف ایستگاه‌های سوخت‌گیری، تنفس دود تنباکو (چه افرادی که سیگاری و چه افرادی غیرسیگاری مجاور با فرد سیگاری) و در بعضی موارد هوای محیط داخلی ناشی از سیستم تهویه ضعیف هوا. کارکنانی که در صنایعی که بنزن یا محصولات آلوده به بنزن را مصرف یا تولید می‌کنند در مواجهه با بالاترین غلظت‌های بنزن می‌باشند. علاوه بر این، بنزن محصول متداول احتراق چوب و مواد آلی می‌باشد. نزدیکی به سایت‌های پسماند و نزدیکی به محل‌های نشت می‌تولند سبب مواجهه با غلظت‌های بیشتری از بنزن در مقایسه با غلظت موجود در هوای معمولی شود. در خانه‌های شخصی که پارکینگ به خانه چسبیده است، مواجهه با بنزن در فضای داخلی خانه بیشتر از خانه‌های دیگر است. بنزن می‌تواند در غذا و آب هم وجود داشته باشد که غلظت در آن‌ها کم است و مواجهه مهمی محسوب نمی‌شود. آلودگی بنزن در آب‌های زیرزمینی به واسطه نشت از مخازن نگهداری بنزین یا سایر فرآورده‌های نفتی یا نشت از شیرابه‌ها رخ می‌دهد. در زمانی که آب مصرفی لوله‌کشی شده آلوده است، مواجهه با بنزن در زمان دوش گرفتن یا شستشو صورت می‌پذیرد (ATSDR).

از میان ۱۹۳ کشور عضو سازمان ملل تنها ۲۷ درصد از کشورها استاندارد کیفیت هوای محیط برای بنزن را تعیین کرده‌اند که در جدول ۲ این استاندارد آورده شده است. علیرغم وجود استاندارد، در اغلب موارد، حفاظت لازم در مقابل مواجهه با بنزن انجام نمی‌شود (Sekar *et al*, 2019). با توجه به اثرات سرطان‌زایی این ماده شیمیایی، در این مقاله ریسک سرطان‌زایی آن در منطقه پارس جنوبی بررسی گردیده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب کشور به عنوان قطب استخراج و تولید گاز کشور و صنایع پتروشیمیایی محسوب می‌شود. شرکت‌های مستقر در منطقه مسؤولیت استخراج، بهره‌برداری و تولید فرآورده از فازهای چندگلنه میدان گازی را بر عهده دارند. این فازها مشتمل بر ۲۴ فاز گازی است که فاز ۱ تا۱۰ و ۱۵ تا ۱۸ و ۲۱ در عسلویه و فازهای ۱۱ تا ۱۴، فاز ۱۹ و فازهای ۲۲ تا ۲۴ در پارس کنگان قرار دارند. میدان گازی مذکور با وسعت ۹۷۰۰ کیلومتر مربع و در عمق ۳۰۰۰ متری از کف دریا بین ایران و قطر مشترک می‌باشد که با ساحل سایت یک ۱۰۵ کیلومتر فاصله دارد. گستره بخش ایرانی آن ۳۷۰۰ کیلومتر مربع با ذخیره ۱۴ تریلیون متر مکعب گاز و ۱۷ میلیارد بشکه میعانات گازی معادل ۸ درصد از ذخایر گاز جهان و ۵۰ درصد از ذخایر گاز کشور می‌باشد. گازهای استخراج شده از فازهای میدان گازی مذکور در ۱۳ پالایشگاه گازی فرآوری شده که اهم محصولات آن میعانات گازی و گاز طبیعی می‌باشد. همچنین بیش از ۲۰ کارخانه پتروشیمی نیز در این منطقه صنعتی مستقر می‌باشند. این منطقه از دو شهرستان تشکیل شده است که بر اساس آمار سال ۱۳۹۵، جمعیت این دو شهرستان به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۲- استاندارد کیفیت هوای محیط برای بنزن در کشورهای مختلف جهان

قاره	کشور	حد غلظت ($\mu g/m^3$)	متوسط بازه زمانی	استاندارد/تعریف	مرجع
آسیا	ایران	۵	سالانه	Air Quality Standard	European Union,2016
آسیا	هند	۵	سالانه	Air Quality Standard	Central Pollution Control Board,2009
آسیا	عراق	۳	سالانه	Air Quality Standard	Ministry of Oil,2018
آسیا	ژاپن	۳	سالانه	Air Quality Standard	Ministry of Envirnment,2009
آسیا	لبنان	۵	سالانه	Limit Value	European Union,2016
آسیا	روسیه	۱۰۰ ۳۰۰ ۵	۲۴ساعته ۲۰دقیقه سالانه	Maximum Allowable Concentration GN 2.1.6.1338-03 for sanitary protection zone	ENVIRON,2014
آسیا	کره جنوبی	۵	سالانه	Air Quality Standard	Ministry for Environment South Korea,2010
آسیا	سوریه	۲۰	سالانه	Air Quality Standard	Official Gazzetta,2003
آسیا	ویتنام	۲۲ ۱۰	یک ساعته سالانه	National Technical Regulation on Hazardous Substances in Ambient Air (QCVN 06:2009/BTNMT)	Clean Air Initiative for Asian Cities (CAL-Asia) Center,2010
استرالیا	نیوزلند	(۲۰۰۲)۲ (۲۰۱۰)۳/۶	سالانه	Air Quality Standard	Ministry of Environment and Ministry of Health,2002)
آفریقا	بتسووانا	۵	سالانه	Air Quality Standard	Modupe O. Akinola,2017
آفریقا	مراکش	۱۰	سالانه	Air Quality Standard	Crimata et al,2017
آفریقا	آفریقای جنوبی	۱۰	سالانه	Air Quality Standard	Department of Environmental Affairs South Africa,2009
اروپا	اتحادیه اروپا	۵	سالانه	The limit value for human health protection	European Union,2016
اروپا	فرانسه	۲	سالانه	Long term objective	Air quality observatory in Paris region,2018
اروپا	آلبانی	۵	۸ ساعته	Primary & secondary standard	Environmental center for Administration and Technology,2008
اروپا	بلاروس	۴۰ ۱۰	۲۴ ساعته سالانه	Maximum Allowable Concentration	European Union,2016
اروپا	سوئد	حد بالا:۳/۵ حد پایین:۲	سالانه	Environmental quality standard	Swedish Code of Statutes,2010
اروپا	مالت	حد بالا:۳/۵ حد پایین:۲	سالانه	Ambient air quality regulation	Ambient air quality Standard Malta,2010
اروپا	اسکاتلند	۳/۲۵	سالانه	Objective value	Air Pollution Information System,2016
اروپا	ایرلند شمالی	۳/۲۵	سالانه	Objective value	Air Pollution Information System,2016
امریکای جنوبی	کلمبیا	۵	سالانه	Maximum Allowable Concentration	Airlex worldwide Air quality legislation,2013
امریکای جنوبی	پرو	۴	سالانه	Air Quality Standard	Decreto Supremo N074,2001-Pem,2007
امریکای جنوبی	کوبا	۱۰۰۰	۲۰دقیقه	Maximum Allowable Concentration	Airlex worldwide Air quality legislation,2013

جدول ۳- جمعیت منطقه مورد مطالعه

		شهری (نفر)	روستایی و غیر ساکن(نفر)	مجموع(نفر)
عسلویه	مجموع	۳۲۳۹۴	۴۱۵۶۴	۷۳۹۵۸
	زن	۹۰۳۷	۱۳۲۷۹	۲۲۳۱۶
	مرد	۲۳۳۵۷	۲۸۲۸۵	۵۱۶۴۲
پارس دو (کنگان)	مجموع	۸۱۳۰۵	۲۶۴۹۶	۱۰۷۸۰۱
	زن	۳۴۵۶۰	۳۸۷۰	۳۸۴۳۰
	مرد	۴۶۷۴۵	۲۲۶۲۶	۶۹۳۷۱
مجموع منطقه مورد مطالعه (نفر)		۱۱۳۶۹۹	۶۸۰۶۰	۱۸۱۷۵۹

بر اساس برآوردهای انجام شده، جمعیت صنعتی وابسته به فعالیت‌های شرکت‌های نفت و گاز منطقه (اقماری و ساکن) حدود ۶۰ هزار نفر می‌باشد که قریب به یک سوم از کل جمعیت پارس جنوبی را تشکیل می‌دهند و این موضوع نیز نشان‌دهنده استقرار قابل ملاحظه صنایع نفت و گاز در این منطقه می‌باشد.

صنایع مذکور انواع مختلفی از آلاینده‌ها شامل ذرات معلق (PM_{10}[3] و $PM_{2.5}$)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، اکسیدهای گوگرد (SO_x)، ترکیبات آلی فرار (VOCs[4])، فلزات سنگین و غیره را منتشر می‌کنند که اثرات سوء جبران ناپذیری بر اکوسیستم، محیط‌زیست و سلامت انسان دارند (Keshmiri *et al.*, 2018). علاوه بر این، در منطقه مورد مطالعه احتراق ناقص گازهای مشعل نیز سبب تولید VOCs می‌شود که BTEX نیز در زمره آن‌هاست.

در تحقیقی که توسط میرزایی و همکاران انجام شده است، غلظت BTEX حاصل از فلرینگ در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل پراکندگی AERMOD به همراه مدل WRF برآورد شده است و پس از آن ریسک سرطانی و غیرسرطانی آلاینده‌های مذکور نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است (Mirzaei & Orkomi, 2020). همچنین تحقیقی که توسط Moridzadeh و همکاران بر روی کارکنان پالایشگاه گاز منطقه مورد مطالعه انجام شده است، نشان می‌دهد که غلظت BTEX در ادرار کارکنان مذکور در مقایسه با گروه مشابه که در محیط مذکور نیستند، بالاتر است و استفاده از ماسک N95 نیز تأثیری بر جلوگیری از ورود BTEX ندارد (Moridzadeh *et al*, 2020). از آن‌جا که وجود BTEX در منطقه مورد مطالعه به اثبات رسیده و بنزن نیز در گروه یک آلاینده‌های سرطان‌زا طبقه‌بندی شده است لذا، ارزیابی ریسک سلامت بنزن به عنوان یک فرایند تصمیم‌گیری می‌تواند برای مقابله با آلودگی هوا و حفاظت از سلامتی انسان‌ها در مواجهه با آلاینده به کار گرفته شود (Faraji *et al*, 2017) که در این تحقیق به این مهم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه که شامل عسلویه با وسعت ۱۴ هزار هکتار و پارس دو (کنگان) با وسعت ۱۶ هزار هکتار می‌باشد، در بخش شمالی به ارتفاعات استان فارس و در بخش جنوبی به خلیج فارس متصل می‌شود. شیب سطح زمین نیز از بخش شمالی به سمت جنوب کاهش می‌یابد و در نزدیکی ساحل دریا حداقل شیب زمین وجود دارد. پوشش گیاهی در سواحل به صورت جنگل‌های مانگرو و در منطقه عسلویه به صورت مراتع تحت عنوان Range (۵ تا ۲۵ درصد) و Bare Land (کمتر از ۵ درصد) است. در محدوه شمال شرقی منطقه، اراضی زراعی وجود دارد که کشاورزی در آن‌ها به صورت دیم یا آبی انجام می‌شود. همچنین، اراضی با سطوح نمکی در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا می‌باشد، وجود دارند.

آب و هوای منطقه پارس جنوبی معمولاً تحت تأثیر ورود توده‌های مدیترانه‌ای از غرب و توده هوای سودانی از سمت جنوب غرب کشور قرار می‌گیرد که موجب ریزش‌های جوی از در فصل پاییز تا اویل بهار می‌شود. همچنین، وزش بادهای گرم و سوزان از روی ماسه‌زارهای شبه جزیره

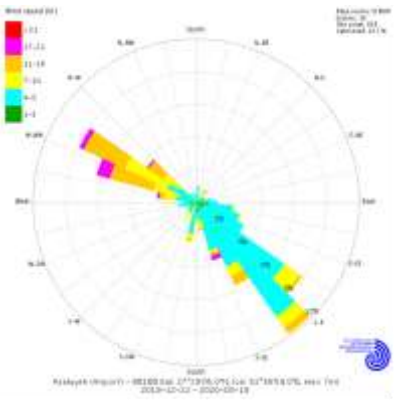
[3]. Particle Matters
[4]. Volatile Organic Compounds

عربســـتان و ســـپس عبور این بادها از روی خلیج فارس موجب تشدید پدیده شرجی در سواحل و گرمای شدید و گرد و غبار می‌شود. پارامترهای هواشناسی در بازه زمانی مورد مطالعه (زمســـتان ۱۳۹۸ تا دیماه ۱۳۹۹)، در جدول ۴ ارائه شـــده اســـت (Meteorology Bulletin, Bushehr Provine, 2022).

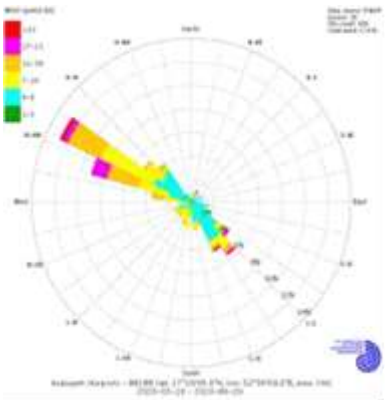
نقشه اقلیمی گلباد اقلیمی منطقه نیز مطابق شکل‌های ۱ تا ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- متغیرهای جوی در منطقه مورد مطالعه

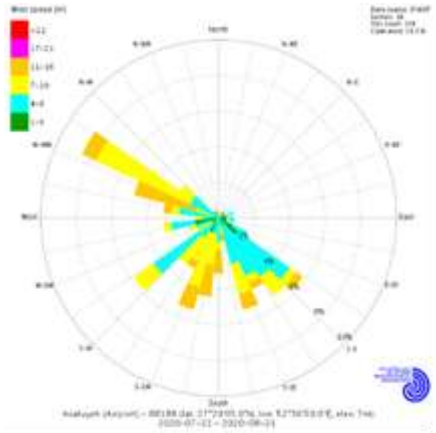
زمان	متوسط دما (^{0}C)	متوسط رطوبت (٪)	ساعات آفتابی در روز(ساعت)
زمستان ۱۳۹۸	۱۹	۶۵	۸
بهار ۱۳۹۹	۲۹	۵۹	۹
تابستان ۱۳۹۹	۳۵/۶	–	–
پاییز ۱۳۹۹	۲۵/۲	–	–
زمستان ۱۳۹۹	۱۹	–	–



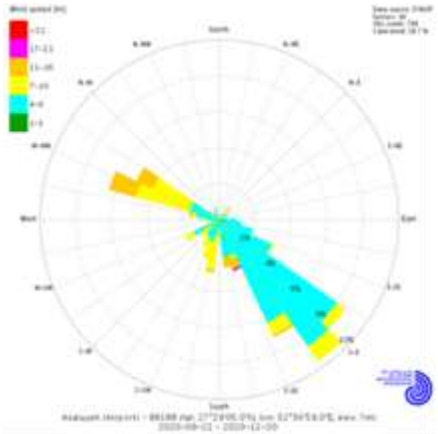
شکل ۱- نقشه گلباد منطقه- زمستان۱۳۹۸



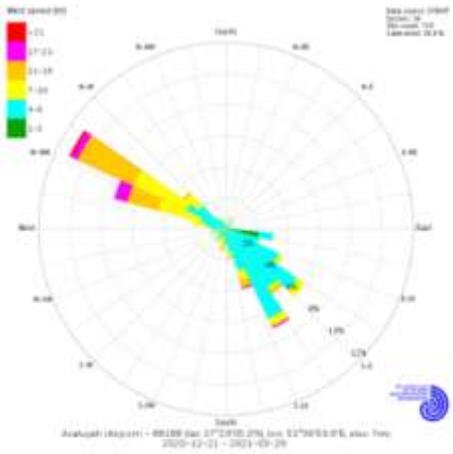
شکل ۲- نقشه گلباد منطقه- بهار۱۳۹۹



شکل ۳- نقشه گلباد منطقه- تابستان۱۳۹۹



شکل ۴- نقشه گلباد منطقه- پاییز۱۳۹۹



شکل ۵- نقشه گلباد منطقه- زمستان۱۳۹۹

منابع آلاینده در منطقه، ناشی از صنایع پالایشگاه گازی و پتروشیمی مستقر در آن عبارتند از احتراقی، تبخیر از مخازن نگهداری، انتشارات فرار از تجهیزات، برج‌های خنک کننده، سامانه پساب، گودال سوخت، بارگیری محصول سیال، بارگیری/ذخیره محصول جامد که بر اساس برآورد انجام شده بیش از ۲۹۰ منابع احتراقی، ۲۵۰ مخازن نگهداری و ۵۴۰ هزار تجهیز در پالایشگاه‌های گاز و صنایع پتروشیمی پارس جنوبی وجود دارد که سبب انتشار آلودگی در منطقه می‌شود. از آن‌جا که مشعل‌سوزی در زمره منابع احتراقی محسوب می‌گردد و سهم بسزایی در آلایندگی و سیاهه انتشار منطقه به عهده دارد، به منظور دستیابی به دید کلی در خصوص میزان انتشار از این منبع آلاینده، بیش از۳۰ مشعل مستقر در پارس جنوبی بر اساس داده‌های گازسوزی جهانی از سامانه برخط GGFR[5] استخراج شد که میزان شعل سوزی آن‌ها حدود ۱۶۹۸/۹۹ میلیون متر مکعب در سال۲۰۲۱ (۱۳۹۹-۱۳۹۸) برآورد شده است (*Flaring Report Tracker*). این میزان انتشار ناشی از یکی از ۸ منبع مورد اشاره، برای منطقه‌ای با وسعت ۳۰ هزار هکتار که از شمال با ارتفاعات و از جنوب به سواحل دریا محدود شده است، سبب بروز چالش‌های محیط زیستی و سلامتی مختلفی شده است.

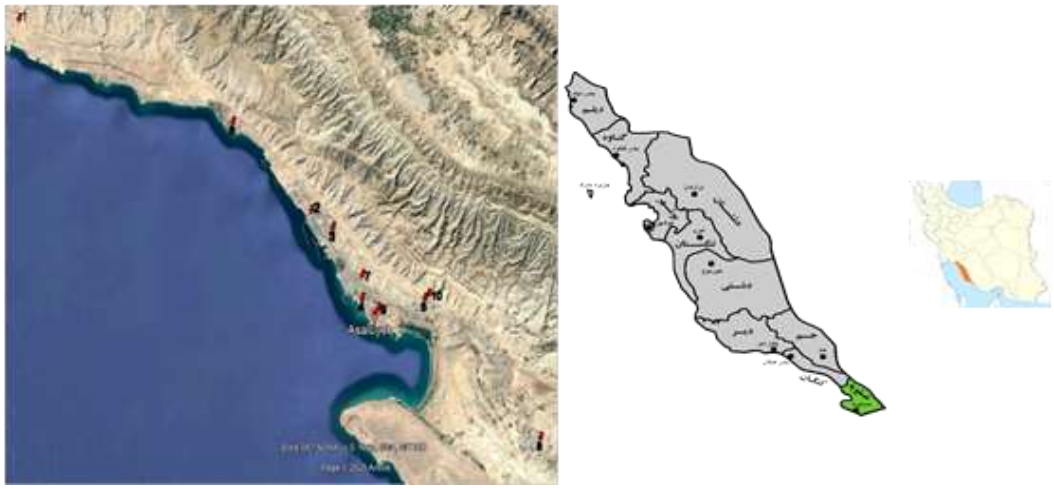
از آن‌جا که در این مطالعه به طور مشخص، ارزیابی ریسک سرطانی بنزن مدنظر می‌باشد، از میان روش‌های مختلف پایش، روش نمونه‌گیری غیرفعال که به واسطه سادگی، مقرون به صرفه بودن، قابلیت اطمینان و دقت آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، انتخاب شد (Civan et *al.*, 2015). نمونه‌برداری غیرفعال بر اساس انرژی سینتیکی ملکول‌ها و نفوذ گازها به یک محیط جاذب در یک محفظه کاملاً بسته عمل می‌کند (Hayward *et al.*, 2010). ادغام نمونه‌برداری غیرفعال با روش‌های آنالیز مانند GC[6] یا HPLC[7] تخمین واقعی در خصوص کیفیت هوا در نقاط نمونه‌برداری ارائه می‌دهد. به همین دلیل این روش به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل قبولی نیز حاصل شده است. نمونه‌برداری با استفاده ار دو لوله کربن فعال انجام شد که به صورت عمودی نصب شدند. برای جمع‌آوری نمونه هوا مورد استفاده قرار گرفتند. وسیله نمونه‌برداری از نوع نفوذی و شامل یک لوله شیشه‌ای است که از یک طرف باز و از طرف دیگر بسته است و حاوی لایه‌های زغال است. دو ورقه سلولزی از جنس استات در دو انتهای لوله برای ثابت نگه‌داشتن لایه‌های زغال مورد استفاده قرار می‌گیرد. این لوله‌ها به دو بخش ۱۰۰ میلی‌گرمی برای جمع‌آوری گازهای فرار و بخش ۵۰ میلی‌گرمی برای زمانی که بخش بزرگ‌تر قادر به جمع‌آوری نیست، تقسیم شده‌اند. یک میلی‌لیتر CS_2 نیز به عنوان حلال BTEX اضافه می‌شود و این لوله در ایستگاه نمونه‌برداری نصب می‌شود. بعد از دو هفته لوله‌های نمونه‌برداری گردآوری شده و میزان بنزن با استفاده ازGC آنالیز و تعیین می‌شود (Cucciniello *et al.*, 2015).

5. Global Gas Flaring Reduction
6 . Gas Chromatography
7 .High Performance Liquid Chromatography

برای انجام این مطالعه، از نمونه‌برداری‌های غیرفعال در برخی مرزهای صنعتی (سه ایستگاه) و مسکونی (هفت ایستگاه) اقدام به سنجش بنزن از دیماه ۱۳۹۸ تا پایان دیماه ۱۳۹۹ شده است. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور در جدول ۵ آورده شده است و با استفاده از نرم‌افزار Google Earth Pro. موقعیت مکانی آن‌ها بر روی نقشه منطقه مورد مطالعه مطابق شکل ۶ مشخص شده است.

جدول ۵- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

شماره ایستگاه نمونه‌برداری	مختصات جغرافیای (UTM)	
	X	Y
۱	۶۲۰۲۸۹	۳۰۶۶۴۳۸
۲	۶۵۲۳۹۳	۳۰۴۹۰۹۸
۳	۶۵۴۷۶۷	۳۰۴۷۵۱۴
۴	۶۵۸۰۳۵	۳۰۴۱۰۰۴
۵	۶۶۴۸۴۰	۳۰۴۱۰۶۳
۶	۶۴۳۷۵۰	۳۰۵۷۱۵۳
۷	۶۵۷۵۰۸	۳۰۴۳۱۴۹
۸	۶۷۷۶۳۶	۳۰۲۸۲۹۸
۹	۶۵۹۷۸۷	۳۰۴۰۰۷۸
۱۰	۶۶۵۲۲۶	۳۰۴۱۴۶۰



شکل ۶- موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه‌گیری در منطقه مورد مطالعه

پس از استخراج داده‌ها و محاسبه غلظت‌های حداکثر، حداقل و متوسط برای هر ایستگاه طی یک‌سال مورد مطالعه، غلظت متوسط به عنوان مبنای ارزیابی ریسک سرطانی در نظر گرفته شد و بر اساس آن، غلظت مواجهه طبق رابطه (۱) محاسبه گردید (Faraji *et al.*, 2017).

$$EC = \frac{CA * ET * EF * ED}{AT} \quad (۱)$$

EC (Exposure Concentration): غلظت مواجهه ($\mu g/m^3$)

CA (Concentration in Air): غلظت در هوا ($\mu g/m^3$)

ET (Exposure Time): زمان مواجهه (hr/day)

EF (Exposure Frequency): دفعات مواجهه ($day/year$)

ED (Exposure Duration): طول زمانی مواجهه (*year*)

AT (Average Time): متوسط طول عمر (*year*)

برای ارزیابی ریسک سرطانی بنزن در محدوده منطقه مورد مطالعه می‌باید مفروضاتی را در نظر گرفت. نظر به این‌که ۳ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه صنعتی و ۷ ایستگاه دیگر در منطقه مسکونی- اداری قرار دارند که دو ایستگاه از آن‌ها نیز در نزدیکی مدرسه واقع شده است، فرضیات لازم برای زمان مواجهه (ET)، دفعات مواجهه (EF)، طول زمانی آن (ED) و متوسط طول عمر (AT) نیز در جدول ۶ ارائه شده است.

سپس ریسک سرطان‌زایی بنزن با استفاده از فاکتور IUR و بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (Faraji *et al.*, 2017).

$$Cancer\ Risk = EC * IUR \quad (۲)$$

IUR: واحد ریسک تنفسی (Inhalation Unit Risk)

مقدار IUR برابر با $۷/۸ * ۱۰^{-۶}$ ($\mu g/m^3$)$^{-۱}$ می‌باشد (RAIS-EPA: Risk Assessment Information System-Environmental Protection Agency).

جدول ۶- مفروضات جهت محاسبه ریسک سرطانی بنزن

پارامتر	ایستگاه صنعتی		ایستگاه کمپ و اقامت کارکنان	ایستگاه مسکونی-اداری			
	کارکنان اقماری	کارکنان ساکن منطقه	کارکنان اقماری	کارکنان ساکن منطقه	کارکنان واحدهای اداری	ساکنین دائمی منازل	دانش‌آموز
زمان مواجهه (hr/day)	۱۲	۸	۱۲	۱۶	۸	۲۴	۶
دفعات مواجهه ($day/year$)	۱۸۲/۵	۲۶۰	۱۸۲/۵	۳۶۵	۲۶۰	۳۶۵	۱۸۰
طول زمانی مواجهه (Year)	۳۰	۳۰	۳۰	۷۰	۳۰	۷۰	۶
متوسط طول عمر (Year)	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰

نتایج

نتایج سنجش در ۱۰ ایستگاه طی یک‌سال در جدول ۷ نشان داده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود میزان متوسط سالیانه غلظت بنزن از ۱/۴ $\mu g/m^3$ (در ایستگاه شماره ۸) تا ۲۶/۳$\mu g/m^3$ (در ایستگاه شماره ۲) در نوسان بوده است. ایستگاه شماره ۳ نیز مرز بین پالایشگاه گاز و پتروشیمی می‌باشد و متوسط غلظت بنزن در آن ۸/۱$\mu g/m^3$ سنجش شده است. با توجه به مقادیر فوق، در مقایسه با استاندارد محیط کار ایران ۱۵۹۵$\mu g/m^3$ - متوسطه هشت ساعت کار)، غلظت‌های ثبت شده در این ایستگاه‌ها بسیار ناچیز محسوب می‌شود (ISLN). غلظت بنزن در ایستگاه‌های مربوط به مناطق مسکونی (۴ تا۱۰) نیز پایین‌تر از استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (۵$\mu g/m^3$) است (Golestanifar *et al.*, 2024).

بر اساس مبانی ارزیابی ریسک سرطانی آلاینده‌ها در قالب رابطه‌های (۱) و (۲)، مفروضات مندرج در جدول ۶ و غلظت‌های متوسط بنزن که در جدول ۷ ارائه شده است، ریسک سرطانی آلاینده بنزن در دامنه شمول این تحقیق محاسبه شد که به شرح جداول ۸ تا ۱۱ می‌باشد.

موارد ذکر شده به طور خلاصه در شکل ۷ نیز نشان داده شده است.

جدول ۷- نتایج سنجش بنزن در منطقه بر حسب ($\mu g/m^3$)

محل نمونه‌برداری	صنعتی				مسکونی					
شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
متوسط	۲/۰	۲۶/۳	۸/۱	۲/۴	۲/۸	۲/۲	۲/۴	۱/۴	۳/۰	۳/۷
حداقل	۱/۳	۱۱/۹	۵/۰	۱/۴	۱/۹	۱/۱	۱/۷	۱/۰	۲/۲	۱/۹
حداکثر	۳/۸	۷۱/۱	۱۶/۵	۵/۳	۵/۰	۴/۵	۵/۰	۳/۵	۵/۸	۸/۵

جدول ۸- ریسک سرطانی آلاینده بنزن در ۳ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه صنعتی

	شماره ایستگاه نمونه‌برداری	۱	۲	۳
ریسک سرطانی بنزن	صنعتی- کارکنان اقماری	$۱/۶۷\times۱۰^{-۶}$	۲۲×۱۰^{-۶}	$۶/۷۷\times۱۰^{-۶}$
	صنعتی- کارکنان ساکن	$۱/۵۹\times۱۰^{-۶}$	$۲۰/۹\times۱۰^{-۶}$	$۶/۴۳\times۱۰^{-۶}$

جدول ۹- ریسک سرطانی آلاینده بنزن در ۲ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه مسکونی-کمپ

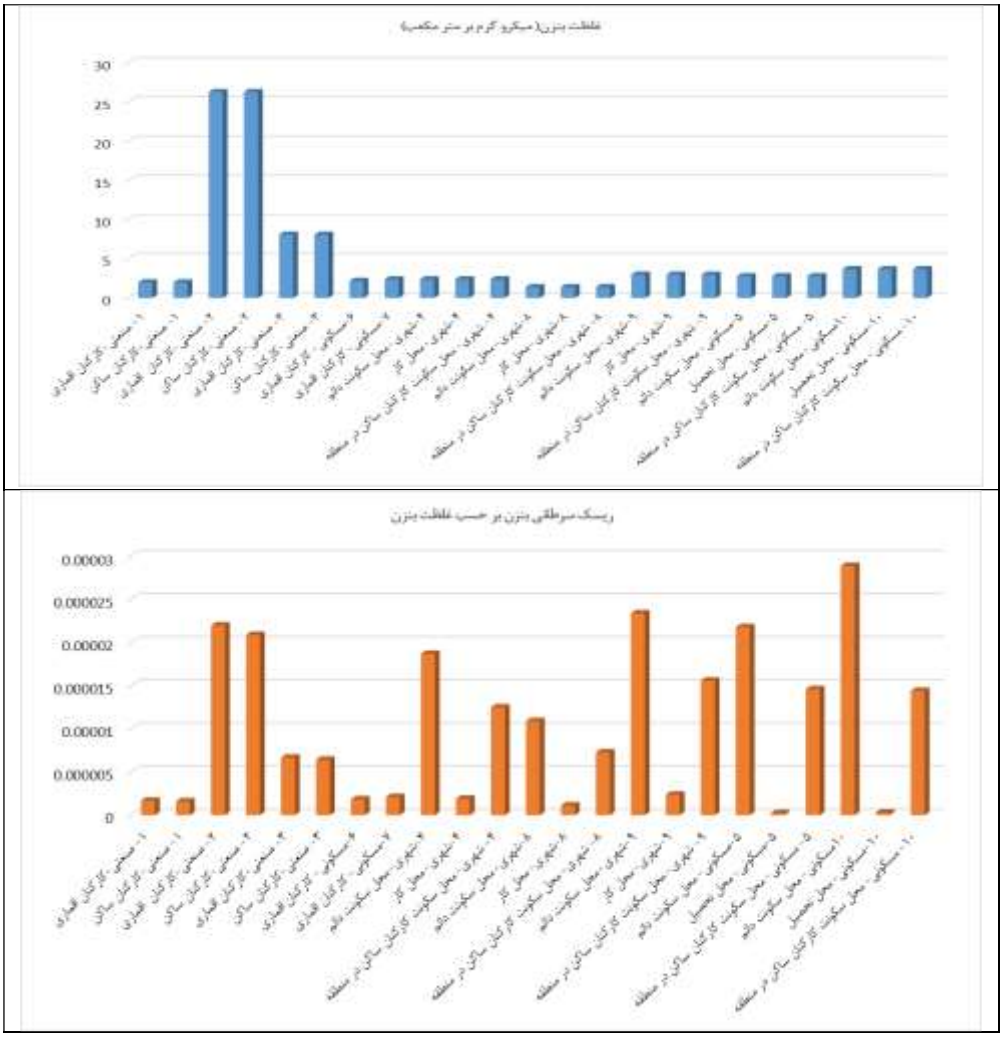
	شماره ایستگاه نمونه‌برداری	۶	۷
ریسک سرطانی بنزن	مسکونی- کارکنان اقماری	$۱/۸۴\times۱۰^{-۶}$	$۲/۱\times۱۰^{-۶}$

جدول ۱۰- ریسک سرطانی آلاینده بنزن در ۳ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه شهری-اداری

	شماره ایستگاه نمونه‌برداری	۴	۸	۹
ریسک سرطانی بنزن	شهری- محل سکونت دائم	$۱۸/۷\times۱۰^{-۶}$	$۱۰/۹\times۱۰^{-۶}$	$۲۳/۴\times۱۰^{-۶}$
	شهری-محل کار	$۱/۹۰\times۱۰^{-۶}$	$۱/۱۱\times۱۰^{-۶}$	$۲/۳۸\times۱۰^{-۶}$
	شهری-محل سکونت کارکنان صنعتی ساکن منطقه	$۱۲/۵\times۱۰^{-۶}$	$۷/۲۸\times۱۰^{-۶}$	$۱۵/۶\times۱۰^{-۶}$

جدول ۱۱- ریسک سرطانی آلاینده بنزن در ۲ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه مسکونی- تحصیلی

	شماره ایستگاه نمونه‌برداری	۵	۱۰
ریسک سرطانی بنزن	مسکونی-محل سکونت دائم	$۲۱/۸\times۱۰^{-۶}$	$۲۸/۹\times۱۰^{-۶}$
	مسکونی- محل تحصیل	$۲/۳۱\times۱۰^{-۷}$	$۳/۰۵\times۱۰^{-۷}$
	مسکونی- محل سکونت کارکنان صنعتی ساکن منطقه	$۱۴/۶\times۱۰^{-۶}$	$۱۴/۴\times۱۰^{-۶}$



شکل ۷- مقایسه غلظت بنزن و ریسک سرطانی آن در محدوده ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

بحث

همانطور که در جدول ۸ نشان داده شده است، ریسک سرطانی بنزن برای کارکنان صنعتی- اقماری در مقایسه با کارکنان صنعتی- ساکن منطقه بیشتر می‌باشد زیرا بر اساس مفروضات مندرج در جدول ۶، مدت زمان مواجهه (ET) برای کارکنان اقماری ۱۲ ساعت و برای کارکنان ساکن منطقه ۸ ساعت می‌باشد. همچنین، با توجه به این که در کمپ‌ها فقط کارکنان اقماری اقامت دارند، محاسبات صرفاً برای این گروه انجام شده است (جدول ۹).

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ ریسک سرطانی بنزن در مناطق شهری- اداری برای افرادی که در این مناطق سکونت دائم دارند در مقایسه با افرادی که صرفاً در بازه زمانی کاری در محل مورد نظر تردد دارند، بسیار بالاتر است زیرا مدت زمان مواجهه در طی روز (ET)، دفعات مواجهه (EF) و طول زمان مواجهه (ED) برای افرادی که سکونت دائم دارند، بیشتر است و البته میزان ریسک سرطانی بنزن برای کارکنانی که محل سکونتشان در این مناطق است، بسیار بالاست.

ایستگاه ۲ به فاصله نزدیکی از واحد پتروشیمی و پایین دست بادهای غالب واقع است و عمده آلودگی دریافتی در این ایستگاه را می‌توان به این پتروشیمی نسبت داد.

از داده‌های جداول ۶، ۷، ۸ و ۱۰ می‌توان نتیجه گرفت علیرغم این‌که غلظت بنزن در ایستگاه‌های ۲ و ۳ در منطقه صنعتی بسیار بیشتر از ایستگاه‌های ۴، ۸ و ۹ می‌باشد اما به دلیل این‌که مدت زمان مواجهه در طی روز (ET)، دفعات مواجهه (EF) و طول زمان مواجهه (ED) برای ساکنین دائم و کارکنان ساکن در منطقه در مقایسه با

کارکنان صنعتی بیشتر است، ریسک سرطانی بنزن برای ساکنین دائم و کارکنان ساکن در منطقه حتی اگر غلظت بنزن در حد استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست باشد، بسیار بالاتر است.

نکته قابل توجه اینست که کارکنان شاغل در محدوده ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۲ بالاترین میزان ریسک سرطانی بنزن را دارا می‌باشند به خصوص، اگر این کارکنان ساکن دائم منطقه باشند و منازلشان در محدوده ایستگاه‌های نمونه‌برداری شماره ۴، ۵، ۹ و ۱۰ باشد.

نتایج نشان می‌دهد اگرچه جهت باد غالب در منطقه مورد مطالعه شمال‌غربی می‌باشد که می تواند بر پارامتر غلظت در هوا (CA) اثرگذار باشد اما عواملی مانند مدت زمان مواجهه در طی روز (ET)، دفعات مواجهه (EF) و طول زمان مواجهه (ED) بر میزان ریسک محاسبه شده تأثیر بیشتری دارند تا پارامترهای جوی منطقه. این موضوع در نمودارهای مندرج در شکل ۷ نشان داده شده است.

بر اساس این نتایج می‌توان اظهار داشت، پیاده‌سازی راهکار فوری و موثر جهت کاهش انتشار بنزن در صنایع واقع در محدوده ایستگاه نمونه‌برداری شماره ۲ بسیار ضروری است. همچنین، به همان اندازه که برنامه پایش سلامت کارکنان واحدهای صنعتی پیاده‌سازی می‌شود و از اهمیت برخوردار است، لازم است با همکاری دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط، برنامه جامع پایش سلامت ساکنین بومی/دائمی طرح‌ریزی و اجرایی گردد.

منابع

1. **Civan, M.Y., Yurdakul, S. and Tuncel, G., 2012.** Improvement of uptake rate equations depending on meteorological conditions for 25 volatile organic compounds. Talanta, 99, 720–729.
2. **Cucciniello, R., Proto, A., Rossi, F., Marchettini, N. and Motta, O., 2015**. An improved method for BTEX extraction from charcoal. Analytical Methods, 7(11), 4811–4815.
3. **David E. and Niculescu V.C., 2021,** Volatile Organic Compounds (VOCs) as environmental pollution: occurrence and mitigation using nanomaterials, International Journal of Environmental Research & Public Health, (18), 131-147.
4. Flaring Report Tracker. Available online at: https://www.worldbank.org .
5. **Faraji, A., Nabibidhendi, G. and Pardakhti, A., 2017**, Risk assessment of exposure to released BTEX in district 12 of Tehran municipality for employees or shopkeepers and gas station customers, Pollution, (3) ,407-415.
6. **Golestanifar, H. and Mashhadi, A., 2024.** Complete set of national and international environmental laws and regulation in the industry,2, Farahmand University Publication, Tehran, Iran.
7. **Hayward, S.J., Gouin, T. and Wania, F., 2010**. Comparison of four active and passive sampling techniques for pesticides in air. Environmental Science & Technology, 44(9), 3410–3416.
8. **Keshmiri, S., Pordel, S., Raesi, A., Nabipour, I., Darabi, H., Dobaradaran, S., Heidari, G., Ostovar, A., Damavandi, B., Tahmasbi, R., Marzban, M., Khajesiyan, A., Saadati, A.M. and Farrokhi, S., 2018**, Evaluation of environmental pollution of gas & petrochemical industries and their impacts on people in Assaloyeh: case study, Tebe Jonoub Journal, 21(2), 185-162.
9. **Mirzaei, M.A. and Orkomi, A.A., 2020.** Gas flares contribution in total health risk assessment of BTEX in Assaloyeh-Iran, Process Safety & Environmental Protection, (137), 223-237.
10. **Moridzadeh, M., Dehghani Rafie, S.A., Hassanvand, M.S., Dehghani, M. and Hoseini, M., 2020**, Assessing BTEX exposure among worker of the second largest natural gas reserve in the world: a biomonitoring approach, Environmental Science & Pollution Research,22, 44519-44527.
11. **Partovi, E., Fathi, M., Assari, M.J., Pourmohamadi, A. and Rahimpour, R., 2015.** Risk assessment of occupational exposure to BTEX in the National Oil Distribution Company in Iran, Chronic Diseases Journal, 4(2), 48-55.
12. **Relevance to public health of Benzene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).** Available on http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tools/TOX-search?select=chemtox
13. **Risk Assessment Information System-Environmental Protection Agency (RAIS-EPA).** Available on http://wwwn.cdc.gov/TSP/index.aspx
14. **Safety Data Sheet of benzene, Iran Scientific laboratories Net.** Ministry of Science, Research and Technology.
15. **Sekar, A., Varghese, G.K. and Ravi Varma, M.K., 2019.** Analysis of benzene air quality standards, monitoring methods and concentrations in indoor and outdoor environment, Heliyon (5), e02918.

2026, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Health Risk Assessment of Benzene in South Pars Zone

Elham Taheri Abhari [1*], Amir Arsalan Pardakhti[1], Alireza Dahaghin[2], Hosein Tghdisiyan[2], Mahdi Tanha Ziyarati[3]

1* -Air Pollution Department, Environment Faculty, Tehran University, Tehran, Iran
2- Environment Department, Reasearch Institute Petroluem Industry, Tehran, Iran
3- Health, Safety & Environment Department, Pars Special Economic Energy Zone, Asaluyeh, Iran

Original Article

Received: 2025.01.05

Accepted: 2025.09.01

Keywords: Benzene, Benzene Cancer Risk, Gas Refinery, Petrochemical Industry

Abstract

Introduction: Exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) has been a major concern for the scientific community in recent decades. These compounds are emitted as gases from certain solids or liquids and include a variety of chemicals, some of which may have short- and long-term adverse health effects. VOCs are emitted by a wide array of products numbering in the thousands, including paints, varnishes, wax, many cleaning, disinfecting, cosmetic, degreasing, and hobby products, as well as fuels. The chemical diversity of VOCs can cause both cancerous and non-cancerous health effects. Among the numerous VOCs, Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene (collectively known as BTEX) are the major contributors, which have adverse effects such as headaches, eye irritation, weakness, fatigue, insomnia, respiratory problems, and carcinogenicity. The Environmental Protection Agency (EPA) has identified 189 air pollutants, of which97 are VOCs. Benzene, in particular, is a well-known carcinogen. The International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified Benzene as a Group 1 carcinogen due to its strong link to leukemia. Long-term exposure to high levels of benzene in the air can cause leukemia, particularly acute myeloid leukemia. Exposure to VOCs, especially Benzene, can occur through inhalation, ingestion, and skin contact. Therefore, this study evaluates the cancer risk of benzene in the South Pars region, a major hub for natural gas extraction and petrochemical industries in Iran.

Materials and Methods: Data were collected using passive sampling methods from January 2020 to January 2021 across ten sampling stations located in both industrial and residential zones. Samples were analyzed using GC (Gas Chromatography), and the maximum, minimum, and average concentrations were calculated over the one-year period. Results showed that the average annual concentration of benzene fluctuated

* Corresponding Author's email: elham.taheri.abh@ut.ac.ir

between 1.4 µg/m³ (at sampling satation NO.8) and 26.3 µg/m³ (at sampling satation NO. 2). This average annual concentration served as the basis for cancer risk assessment. According to the locations of the sampling stations, which are located in three industrial zones and seven in residential areas, including two near schools, exposure assumptions such as daily exposure time (ET), exposure frequency (EF), exposure duration (ED), and average lifespan were considered for seven population groups to calculate cancer risk.

Results: Findings showed that cancer risk from benzene is higher for non-resident industrial workers compared to resident workers. Moreover, urban-official areas posed significantly higher risks for permanent residents and industrial workers living in those areas than for people who only commuted there during working hours. Despite the maximum Benzene concentrations being recorded at industrial sampling stations, the cancer risk in residential-urban areas is high due to longer exposure time (ET), exposure frequency (EF), and exposure duration (ED) for the native population compared to satellite workers, even though the levels are within the Department of Environment (DOE) of Iran's limits. The maximum level of Benzene cancer risk in the urban area for native people is 23×10^{-6}, for non-resident industrial workers in the industrial zone is 22×10^{-6}, and for industrial employees who live in urban areas is 15.6×10^{-6}.

Discussion: Therefore, because of the high level of Benzene cancer risk for industrial employees, it is necessary to reduce Benzene emissions from industries located around Sampling Station No. 2 immediately and effectively. Moreover, it is essential to implement an action plan for the residential-urban population, similar to the specific monitoring plan for staff health in the industrial units.