علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره پنج، مرداد ماه ۹۹

ارزیابی ریسک آلودگی BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) در هوای منطقه صنعتی زرقان (اسفند ۱۳۹۰)

ناهید گلستانه[۱]

محمدمهدی تقی‌زاده[۲*]

tgmehdi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۵ **تاریخ پذیرش:۹۶/۹/۱**

چکیده

زمینه و هدف: منطقهٔ صنعتی زرقان (شمال شرق شیراز) تحت تأثیر منابع متعدد آلودگی هوا قرار دارد. در این پژوهش، ارزیابی ریسک سلامت ساکنین دایم زرقان و تخمین میزان ابتلا به بیماری های سرطانی و غیرسرطانی ناشی از تنفس هوای آلوده به BTEX، انجام شده و نتایج آن با مطالعات مشابه و استانداردهای بین‌المللی در این زمینه مقایسه شده است.

روش بررسی: با استفاده از اندازه‌گیری های BTEX که از هوای زرقان، در مطالعات قبلی انجام شده، ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی با استفاده از روش های معتبر علمی (IRIS-USEPA) در ساکنین دایم زرقان انجام شده است.

یافته‌ها: بالاترین ریسک سرطانی بنزن در ایستگاه های پالایشگاه ($۱/۶۱\times۱۰^{-۴}$) و میدان امام ($۵/۳۹\times۱۰^{-۵}$) محاسبه شده است. همچنین، بالاترین ریسک سرطانی اتیل بنزن در ایستگاه های شهرک صنعتی ۱ ($۶/۴۷\times۱۰^{-۶}$) و پالایشگاه ($۶/۲۳\times۱۰^{-۶}$) بدست آمده است. با درنظر گرفتن میانگین غلظت های BTEX درایستگاه هایداخل شهر زرقان، نسبت مخاطره (HQ) برای همه آلاینده‌ها در این پژوهش، به صورت مجزا و مجموع (HI) کم تر از "یک" بدست آمده است.

بحث و نتیجه گیری: این آلاینده‌ها در غلظت های موجود خطر غیرسرطانی آشکار برای مردم زرقان ندارند. بالاترین ریسک سرطانی مربوط به بنزن $۳/۸۱\times۱۰^{-۵}$ و اتیل بنزن $۴/۳۲\times۱۰^{-۶}$ می‌باشد. برای کاهش ریسک سرطان به تعداد "قابل قبول" برای آلاینده‌های سرطان زا در این مطالعه (بنزن، اتیل بنزن) از نظر WHO (۱×۱۰^{-۵}) غلظت بنزن می‌بایست از $۵/۱۰\ \mu g/m^3$ (میانگین غلظت اندازه‌گیری شده) به $۱/۳۴\ \mu g/m^3$ کاهش یابد.

واژه های کلیدی: ارزیابی ریسک، BTEX، زرقان.

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.

۲- استادیارگروه محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان. * (مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.5, July, 2020

Risk Assessment OF BTEX Pollutant (Benzene, Toluene, Ethyl Benzene , Xylene) in Air of the Industrial Zone of Zarghan City (Feb.2012)

Nahid Golestane [1]
Mohammad Mehdi Taghizadeh [2 *]
tgmehdi@yahoo.com

Admission Date:November 22, 2017 Date Received: January 14, 2017

Abstract

Background and Objective: Zarghan Industrial Zone (Northeast of Shiraz) is under the influence of various sources of air pollution. In this study, the health risk assessment of permanent residents of Zarghan and the estimation of the incidence of cancer and non-cancerous diseases caused by breathing air contaminated with BTEX, and the results have been compared with similar studies and international standards in this field.

Method: Using BTEX measurements from Zarghan air in previous studies, cancer and non-cancer risk assessments have been performed using valid scientific methods (IRIS-USEPA) in permanent residents of Zarghan.

Findings:The highest cancer risk of benzene has been calculated in refinery stations (1.61 4 4-10) and Imam Square (5.39 -10 5-10). Also, the highest cancer risk of ethylbenzene was obtained in the stations of Industrial Town 1 (6.47 -10 6-10) and refinery (6.23 -10 6-10). Considering the average concentrations of BTEX in Haydan station inside Zarghan city, the hazard ratio (HQ) for all pollutants in this study, separately and in total (HI) is less than "one".

Discussion and Conclusion: These contaminants in the present concentrations do not pose an obvious non-cancerous risk to the people of Zarghan. The highest cancer risk is related to 3.81 -10 5-10 benzene and 4.32 -10 6-10 -10 ethyl benzene. In order to reduce the risk of cancer to an "acceptable" number for carcinogenic pollutants in this study (benzene, ethylbenzene) according to the WHO (1-10-10) benzene concentration should be from 5.10 g / m3 (mean measured concentration) to g / m3µ 1.34 is reduced.

Keywords: Zarghan, BETEX,Risk Assessment.

1- M.Sc., Environmental Engineering Department, Islamic Azad Univercity, Estahban Branch, Fars,Iran

2- Assistant Professor, Environmental Engineering Department, Islamic Azad Univercity, Estahban Branch, Fars,Iran * (Corresponding Authors)

مقدمه

با توسعه صنعتی و رشد شهرنشینی، آلاینده‌های هوا در مناطق شهری و صنعتی، به یک مساله مهم تبدیل شده است (۱). ترکیبات آلی فرار بسیار واکنش‌پذیر (VOC_S)، که طبق گزارش ها سمی هستند و ممکن است در تعدادی از واکنش ها در اتمسفر شرکت کنند. این واکنش ها باعث تشکیل آلاینده‌های ثانویه هوا از جمله ازن سطح زمین و ذرات ریز آلی ثانویه می‌شوند (۲و۳). بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن متداول ترین ترکیبات آلی فرار (VOC_S) شناخته شده در هوای شهرها هستند. سطح بالای (VOC_S) در هوای شهرهایی که منطقه صنعتی هستند، گزارش شده است (۴،۵ و۶)

BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و p،-m زایلن و o-زایلن) گروهی از ترکیبات آلی فرار (VOC_S) هستند که جزء آلاینده‌های خطرناک و سرطان زای هوا [1](HAPs) بشمار می‌روند (۱و۳)

بنزن به عنوان حلال و ماده خام در صنایع مختلف کاربرد دارد (۴). مواجهه طولانی مدت با بنزن ممکن است باعث آسیب به مغز استخوان و القاء آسیب ژنتیکی، سرطان خون و بیماری های لنفاوی شود. بر طبق چاپ دوم از دستورالعملهای کیفیت هوا برای اروپا (۷)، خطر ابتلا به سرطان لوسمی در چرخه زندگی افراد در معرض هوا با غلظت بنزن 6×10^{-6} $\mu g/m^3$ استو همچنین کم خونی، لوسمی و آسیب های کرموزومی از تماس با بنزن گزارش شده است (۵و۸). مقدار حد بنزن برای حفاظت از سلامت انسان در سال ۲۰۰۸ بوسیله‌ی رهنمود اروپا (۹) به‌میزان ۵ $\mu g/m^3$ با یک نوسان ۲ $\mu g/m^3$ تعیین شده است.

اتیل‌بنزن ترکیبی آلی است و در گروه D مواد سرطان زا طبقه‌بندی می‌شود (۱۰).

ارزیابی ریسک یکی از سریع ترین ابزارهای در حال تحول است که می‌تواند تأثیر خطرات را روی سلامت انسان ارزیابی کند. همچنین، سطوح لازم برای بهبود را تعیین کرده و مسایل محیط زیستی خاص را حل نماید (۱۱و۱۲). برای ارزیابی خطرات برای سلامت انسان، آلاینده‌ها معمولاً به گروههای سرطان زا و غیرسرطان زا تقسیم‌بندی می‌شوند(۱۳).تعیین آثار بالقوه نامناسب بهداشت محیطی تماس یک آلاینده یا ماده سمی دیگر بر انسان را ارزیابی مخاطره می‌گویند (۱۴). در خصوص ارزیابی خطرات BTEX پژوهش هایی در شهر پکن (۱۵) نیز انجام شده که نشان دهنده افزایش خطرات در مناطق پر ترافیک و شلوغ شهری بوده است.

منطقهٔ صنعتی زرقان (شمال شرق شیراز) تحت تأثیر منابع متعدد آلودگی هوا قرار دارد. این منابع شامل پالایشگاه شیراز، شهرک صنعتی آب باریک با حدود ۳۵ کارگاه و کارخانه، در شعاع ۱۰ کیلومتری شهر زرقان قرار دارند. همچنین موقعیت توپوگرافی این شهر با وجود یک صخره دیوار مانند که در ضلع شرقی شهر قرار دارد، ممکن است، تأثیر زیادی در مقابل عبور جریان هوا داشته داشته باشد؛ و از پراکنش آلاینده جلوگیری کرده، باعث ماندگاری این آلاینده‌ها در هوای شهر شود. این پژوهش در نظر دارد، با استفاده از اندازه‌گیری های BTEX که از هوای زرقان، در مطالعات قبلی انجام شده است، ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی با استفاده از روش های معتبر علمی (IRIS[2]-USEPA[3]) در جمعیت ساکنین دایم زرقان انجام دهد.

روش بررسی

بخش زرقان در ۲۵ کیلومتری شمال‌شرق شیراز در دامنه جنوبی کوه زرقان و در مجاورت اتوبان شیراز به اصفهان واقع شده است. جمعیت شهر زرقان نزدیک به ۳۰ هزار نفر می‌باشد.. ارتفاع بلندترین نقطه کوه شمالی که بر زرقان مشرف است، نسبت به سطح زمین ۶۰۰ متر است .از جهت صنعتی ۲۰-۱۸٪ صنعت فارس در زرقان استقرار دارند. از جمله این کارخانجات پالایشگاه شیراز؛

1- Hazardous air pollutants

2- Integrated Risk Information System

3- U.S. Environmental Protection Agency

کارخانه کاشی و سرامیک حافظ؛ کارخانه شیر پاستوریزه پگاه فارس؛ شهرک صنعتی آب باریک زرقان، کارخانه صنایع شیمیائی فارس؛ کارخانه صنایع شیمیایی سینا؛ کارخانه لعابیران و ده ها کارخانه و کارگاه صنعتی و تولیدی دیگر می‌باشند . بادهای غالب سالانه این منطقه از جهت جنوب غرب به شمال غرب و از جهت شمال غرب به جنوب غرب می‌باشد .

- **روابط محاسبه ارزیابی ریسک**

مواجهه روزانه[1] (E): مواجهه روزانه عبارت است از مقداری از یک آلاینده که یک فرد در یک روز خاص با آن مواجهه می‌شود و به صورت میلی‌گرم/ کیلوگرم در روز بیان می‌شود. چنان چه بخواهیم مقدار مواجهه روزانه یک آلاینده را از راه استنشاق محاسبه کنیم، از رابطه (۱) استفاده می‌شود (۱۶):

رابطه (۱) $$E(\frac{mg}{kg}.day) = \frac{CA.IR.ET}{BW}$$

که در آن، CA = غلظت آلاینده در هوا (day/year) , IR = نرخ استنشاق (m^3/hr), ET = زمان مواجهه (year)، BW = وزن شخص (kg)

غلظت مواجهه مزمن و زیرمزمن[2] (EC)

غلظت مواجهه مزمن و زیر مزمن به صورت میکروگرم بر مترمکعب بیان می‌شود و عبارت است از دریافت مقدار غلظتی از ماده آلاینده که برآورد می‌شود در طول زندگی اتفاق افتد. با استفاده از رابطه (۲) غلظت مواجهه برای یک آلاینده در هوا قابل محاسبه است (۲۹).

رابطه (۲) $$EC(\mu g/m^3) = \frac{CA.ET.EF.ED}{AT}$$

که در آن، CA = غلظت آلاینده در هوا ($\mu g/m^3$)، ET = زمان مواجهه (hr/day)

EF = فرکانس مواجهه (day/yea)، ED = مدت مواجهه (year)، AT = متوسط زمان (year)

بر اساس اینکه آلاینده سرطان زا است یا خیر، ارزیابی ریسک سلامت به ارزیابی ریسک سرطانی و ارزیابی ریسک بیماری های غیرسرطانی تقسیم شده است. در مورد آلاینده‌هایی که در هوای استنشاقی وجود دارند، ریسک سرطانی و غیر سرطانی به صورت زیر قابل محاسبه است (۱۶).

ریسک سرطانی[3] (CR)

ریسک سرطانی، خطر سرطان واحد استنشاق تولید شده (یا ضریب شدت جریان) و غلظت متوسط مواجهه در چرخه زندگی بیان می‌شود. در گروه اثرات سرطانی، جهت بروز سرطان، نیاز به حد آستانه نیست. این بدان معنا است که حتی کمترین مقدار تماس انسان با آلاینده مورد نظر باعث افزایش ریسک سرطان در طول عمر خواهد شد. ریسک واحد استنشاق (IUR[4]) برای تخمین افزایش ریسک تعداد سرطان بر اثر تماس مستمر با یک ماده به غلظت واحد در هوا است و به صورت میکروگرم در مترمکعب بیان می‌شود. ریسک واحد استنشاق (IUR) احتمال سرطان برای یک مواجهه ۷۰ ساله با ۱ میکروگرم بر مترمکعب آلاینده در هوا است (۱۶). پس از تعیین غلظت مواجهه با آلاینده در هوای تنفسی، که تخمین زده می‌شود در طول زندگی اتفاق افتد، از رابطه (۳) جهت تعیین مقدار ریسک سرطان به‌وسیله‌ی آلاینده مورد نظر استفاده می‌شود (۱۶):

ریسک سرطان در چرخه زندگی (CR، بدون بعد)

رابطه (۳) $$CR = EC.IUR$$

که در آن، EC ، غلظت مواجهه با آلاینده در طول زندگی ($\mu g/m^3$)، IUR ، ریسک واحد استنشاق ($\mu g/m^3$) مدت زمان زندگی خطر سرطانی بین 1×10^{-5} و 1×10^{-6} به عنوان "قابل قبول" بوسیله WHO مورد توجه قرار گرفته است در حالیکه توصیه USEPA سطح ریسک 1×10^{-6} است. برای مقادیر ریسک بالاتر از 1×10^{-4} یک اقدام ضروری نیاز است (۷و۱۶).

1- Daily expoure
2- Chronic and sub-chronic exposure concentration
3- cancer risk
4- inhalation unit risk

نسبت مخاطره[1] ریسک غیرسرطانی (HQ)

در گروه اثرات غیرسرطانی تا زمانی که میزان تماس فرد با آلاینده به یک حد آستانه مشخص نرسد، احتمال پدید آمدن عوارض غیرسرطانی مشخص برای آن وجود ندارد و یا بسیار ضعیف است.

در مورد آلاینده‌های موجود در هوای تنفسی، غلظت تنفسی مرجع (RfC[2]) بر مبنای غلظت آلاینده در هوا و بر حسب میلی‌گرم بر مترمکعب گزارش می‌شود. نسبت مخاطره (بدون بعد) برای بیماری های غیرسرطانی ناشی از یک آلاینده در هوا از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (۱۶):

رابطه (۴) $$HQ = \frac{EC}{Rfc}$$

که در آن،EC ، غلظت مواجهه با آلاینده در طول زندگی ($\mu g/m^3$)

Rfc = غلظت تنفسی مرجع (mg/m^3)

مرجع غلظت (Rfc) تخمینی است از مواجهه روزانه یک فرد سالم از جمعیت انسانی (از جمله گروه حساس، مانند کودکان) که احتمالاً بدون ریسک قابل ملاحظه‌ای از اثرات مضر در طول زندگی است (۳۵). اگر HQ >۱ باشد، نشان‌دهنده زمان طولانی مواجهه است که ممکن است تأثیرات مضر روی سلامت نتیجه داشته باشد. اگر مقدار HQ <۱ باشد نشان‌دهنده این است که آلاینده‌ها هیچ خطر غیرسرطانی آشکار برای سلامت انسان ندارند. چنان چه بخواهیم نسبت مخاطره را برای چند آلاینده بدست آوریم، از رابطه (۵) استفاده می‌شود (۱۶).

شاخص خطر[3] (مجموع نسبت مخاطره چندین آلاینده، HI، بدون بعد):

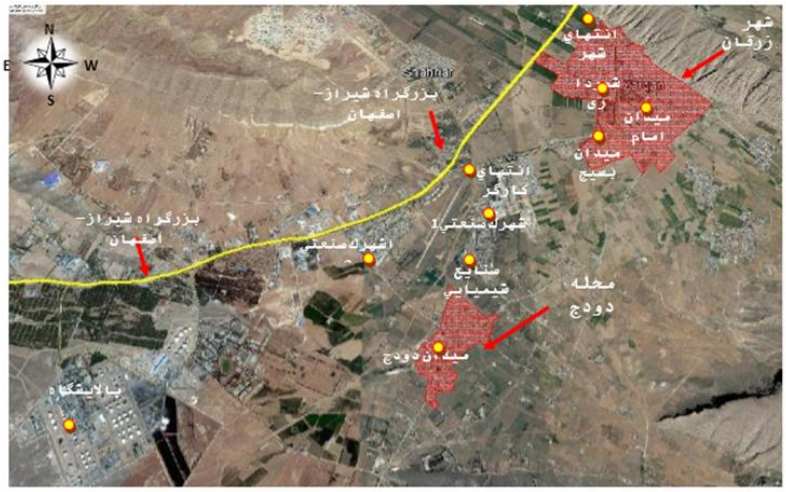
رابطه (۵) $$HI = \sum_{i=1}^{n} HQi$$

که، HQi نسبت مخاطره ریسک غیرسرطانی[4] ماده شیمیایی i ام است.

• نتایج نمونه‌برداری BTEX

در این مطالعه از نتایج نمونه‌برداری BTEX که در مطالعات پیشین در این منطقه انجام شده، استفاده گردیده است. نمونه‌برداری BTEX به مدت ۱۰ روز از تاریخ ۱۵ تا ۲۵ اسفند ۱۳۹۰ از هوای منطقه صنعتی زرقان انجام شده است. نمونه‌برداری غیرفعال[5] و به روش دیفیوژن انجام شده است. تعداد محلهای نمونه‌برداری ۱۰ نقطه (شکل ۱) و محل نصب جاذبهای نمونه‌برداری در فاصلهٔ ۳ تا ۴ متری از زمین و عموماً در کنار تیرهای برق بوده است. نتایج نمونه‌برداری BTEX در هوای منطقه صنعتی زرقان در جدول ۱ آمده است (۱۷).

1- hazard quotient
2- reference concentration
3- Hazard index
4- non-cancer risk
5- Passive Sampling



شکل ۱- محل های نمونه‌برداری BTEX در منطقه صنعتی زرقان

Figure 1. BTEX Sampling Sites in Zarghan Industrial Zone

- **محاسبه ارزیابی ریسک**

در این پژوهش، برای ارزیابی ریسک سلامت ساکنان دایمی زرقان ابتدا از رابطه (۲) غلظت مواجه (EC) به صورت میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شد. مولفه‌های به کار رفته این رابطه، در جدول ۲ارایه شده است.

جدول ۱- غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) در ایستگاه های نمونه‌برداری منطقه صنعتی زرقان (۱۷)

Table 1-Density of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) in Sampling Sites in Zarghan Industrial Zone (17)

شماره	ایستگاه	بنزن ($\mu g/m^3$)	تولوئن ($\mu g/m^3$)	اتیل بنزن ($\mu g/m^3$)	پارازایلن ($\mu g/m^3$)	متازایلن ($\mu g/m^3$)	اورتوزایلن ($\mu g/m^3$)
۱	شهرداری	۴/	۱۵/۳	۱/۳	۱/۴	۳/۵	۱/۳
۲	میدان بسیج	۴/۵	۹/۷	۱/۸	۱/۷	۴	۱/۵
۳	میدان امام	۷/۲	۱۷/۹	۲/۵	۴/۲	۸	۳/۴
۴	انتهای شهر	۴/۳	۹/۷	۱/۶	۱/۵	۲/۹	۱/۵
۵	دودج	۵	۱۲	۱/۲	۰/۶	۳	۱/۲
۶	شهرک صنعتی ۱	۳/۲	۶	۲/۷	۲/۴	۵/۳	۲/۲
۷	شهرک صنعتی ۲	۳/۶	۱۳/۷	۲/۴	۱/۹	۴/۳	۲/۴
۸	ابتدای کارگر	۴/۸	۱۴/۳	۱/۸	۲/۲	۵/۷	۲/۳
۹	صنایع شیمیایی	۴/۱	۷/۷	۱	۰/۷	۱/۹	۱/۲
۱۰	پالایشگاه	۲۱/۵	۳۰/۲	۲/۶	۳/۹	۹/۷	۳/۸

جدول ۲- مؤلفه‌های رابطه محاسبه غلظت مواجهه (EC)

Table 2.Elements Regarding the Calculation of Exposure Concentration (EC)

موارد مطرح در رابطه	مخفف	مقدار	واحد
غلظت آلاینده در هوا	CA	-	mg/m^3
تعداد ساعات تماس در طی روز	ET	۲۴	hr/day
تعداد روزهای تماس با آلاینده در سال	EF	*۳۵۰	days/yr
متوسط طول عمر	ED	۷۰	year
*مدت زمان محتمل برای ابتلا به بیماری	AT	۷۰×۳۶۵×۲۴ hr	year

* برای ساکنان دایمی. EF برای هر گروه از افراد جامعه با توجه به تعداد روزهای که در معرض آلاینده مورد نظر باشند، در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه فرض شده است، هر فرد ساکن زرقان ۳۵۰ روز از ۳۶۵ روز سال را در این شهر حضور دارد.

ریسک سرطانی (CR): غلظت های راهنمای ریسک واحد تنفس (IUR) برای تعیین خطر سرطانی در مورد آلاینده‌های این پژوهش (BTEX) در جدول ۳ آمده است. ریسک سرطانی از رابطه (۳) محاسبه شده است.

جدول ۳- غلظت های راهنما ریسک واحد تنفس (IUR) برای تعیین خطر سرطانی وغیر سرطانی(RFC)(۱۶)*

Table 3. Concentration guidelines of Inhalation Unit Risk (IUR) to determine Cancer and non-cancer (RFC)Risks (۱۶)

آلاینده زیست محیطی	IUR ($\mu g/m^3$)	RfC (mg/m^3)
بنزن	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۳
تولوئن	عددی ذکر نشده	۵
اتیل بنزن	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۱
زایلن	عددی ذکر نشده	۰/۱

*گرفته شده از .(http://www.epa.gov/iris)

ریسک غیر سرطانی (نسبت مخاطره (HQ))

مقدار غلظت تنفسی مرجع (RfC) برای ارزیابی ریسک غیرسرطانی، در مورد آلاینده‌های این پژوهش (BTEX) در جدول۴ آمده است. ریسک غیرسرطانی از رابطه (۴) محاسبه شده است.

یافته‌ها

ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی ناشی از آلاینده‌های BTEX در ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری در هوای زرقان، در جدول ۵ارایه شده است. در این پژوهش، ارزیابی ریسک سلامت برای ساکنان دایمی زرقان محاسبه شده است. به این مفهوم که ارزیابی ریسک انجام شده در مورد افرادی صادق است که روزانه ۲۴ ساعت در ۳۵۰ روز از روزهای سال (فرض شده ۱۵ روز از سال در شهر زرقان نباشند) در همه عمر خود (۷۰ سال فرض شده) در معرض آلاینده‌های BTEX از راه هوای تنفسی باشند.

به منظور دست یافتن به عددی که نمایانگری صحیح از ریسک سرطانی و غیرسرطانی در جمعیت شهر زرقان باشد، ارزیابی با توجه به میانگین غلظت های اندازه‌گیری شده BTEX درایستگاه های داخل شهر زرقان انجام شده است. نتایج ارزیابی ریسک سرطانی BTEX برای ساکنان زرقان در جدول ۶ آمده

است.ارزیابی ریسک سلامت برای بیماری هـای غیرسـرطانی در

جدول ۷ارایه شده است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی ریسک BTEX درایستگاه های نمونه‌برداری منطقه صنعتی زرقان

Table 5. BTEX Risk assessment results from Zarghan Industrial Zone Sampling Sites

شماره	ایستگاه	آلاینده	EC ($\mu g/m^3$)	Rfc (mg/m^3)	IUR ($\mu g/m^3$)	HQ	Risk
۱	شهرداری	بنزن	۴/۵۱	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۵	$۳/۵۲\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۱۴/۶۷	۵	-	۰/۰۰۳	-
		اتیل بنزن	۱/۲۵	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۲	$۳/۱۲\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۵/۹۵	۰/۱	-	۰/۰۵۹	-
۲	میدان بسیج	بنزن	۴/۳۲	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۴	$۳/۳۷\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۹/۳۰	۵	-	۰/۰۰۲	-
		اتیل بنزن	۱/۷۳	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۷	$۴/۳۲\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۶/۹	۰/۱	-	۰/۰۶۹	-
۳	میدان امام	بنزن	۶/۹	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۲۳	$۵/۳۹\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۱۷/۱۶	۵	-	۰/۰۰۳	-
		اتیل بنزن	۲/۴۰	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۲۴	$۵/۹۹\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۱۴/۹۶	۰/۱	-	۰/۱۵	-
۴	انتهای شهر	بنزن	۴/۱۲	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۴	$۳/۲۲\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۹/۳	۵	-	۰/۰۰۲	-
		اتیل بنزن	۱/۵۳	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۵	$۳/۸۴\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۵/۶۶	۰/۱	-	۰/۰۵۷	-
۵	دودج	بنزن	۴/۷۹	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۶	$۳/۷۴\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۱۱/۵۱	۵	-	۰/۰۰۲	-
		اتیل بنزن	۱/۱۵	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۲	$۲/۸۸\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۴/۶	۰/۱	-	۰/۰۴۶	-
۶	شهرک صنعتی ۱	بنزن	۳/۰۷	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۰	$۲/۳۹\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۵/۷۵	۵	-	۰/۰۰۱	-
		اتیل بنزن	۲/۵۹	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۲۶	$۶/۴۷\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۹/۴۹	۰/۱	-	۰/۰۹۵	-
۷	شهرک صنعتی ۲	بنزن	۳/۴۵	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۲	$۲/۶۹\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۱۳/۱۴	۵	-	۰/۰۰۳	-
		اتیل بنزن	۲/۳۰	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۲	$۵/۷۵\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۸/۲۵	۰/۱	-	۰/۰۸۲	-
۸	ابتدای کارگر	بنزن	۴/۶	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۵	$۳/۵۹\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۱۳/۷۱	۵	-	۰/۰۰۳	-

		اتیل بنزن	۱/۷۳	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۷	$۴/۳۲\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۹/۷۸	۰/۱	-	۰/۰۹۸	-
۹	صنایع شیمیایی	بنزن	۳/۹۳	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۱۳	$۳/۰۷\times۱۰^{-۵}$
		تولوئن	۷/۳۷	۵	-	۰/۰۰۱	-
		اتیل بنزن	۰/۹۶	۱	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱	$۲/۴\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۳/۶۴	۰/۱	-	۰/۰۳۶	-
۱۰	پالایشگاه	بنزن	۲۰/۶۲	۰/۰۳	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۶۹	$۱/۶\times۱۰^{-۴}$
		تولوئن	۲۸/۹۶	۵	-	۰/۰۰۶	-
		اتیل بنزن	۲/۴۹	۱	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۲۵	$۶/۲۳\times۱۰^{-۶}$
		زایلن	۱۶/۶۸	۰/۱	-	۰/۱۶۷	-

جدول ۶- نتایج ارزیابی ریسک سرطانی BTEX برای ساکنان دایمی شهر زرقان*

Table 6-BTEX Cancer Risk assessment results for Zarghan permanent residents

آلاینده	EC ($\mu g/m^3$)	IUR ($\mu g/m^3$)	Risk
بنزن	۴/۸۹	$۷/۸\times۱۰^{-۶}$	$۳/۸۱\times۱۰^{-۵}$
تولوئن	۱۲/۸۳	–	–
اتیل بنزن	۱/۷۳	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	$۴/۳۲\times۱۰^{-۶}$
زایلن	۸/۶۳	–	–

* بر اساس غلظت میانگین BTEX درایستگاه های داخل شهر شهرداری، میدان بسیج، میدان امام، انتهای شهر و ابتدای کارگر) محاسبه شده است.

جدول ۷- نتایج ارزیابی غیرسرطانی (نسبت مخاطره (HQ)) BTEX برای ساکنان دایمی شهر زرقان*

Table 7. Non-Cancer assessment results (hazard quotient (HQ)) for Zarghan permanent residents

آلاینده	EC ($\mu g/m^3$)	Rfc (mg/m^3)	HQ
بنزن	۴/۸۹	۰/۰۳	۰/۱۶
تولوئن	۱۲/۸۳	۵	۰/۰۰۳
اتیل بنزن	۱/۷۳	۱	۰/۰۰۱۷
زایلن	۸/۶۳	۰/۱	۰/۰۸۷

* بر اساس غلظت میانگین BTEX درایستگاه هایداخل شهر (شهرداری، میدان بسیج، میدان امام، انتهای شهر و ابتدای کارگر) محاسبه شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

- **ارزیابی ریسک غیرسرطانی BTEX درایستگاه های نمونه‌برداری**

در تمامی ایستگاه های نمونه‌برداری BTEX، نسبت مخاطره (HQ) کمتر از ۱ محاسبه شده است و این آلاینده‌های با غلظت های موجود هیچ‌گونه خطر غیرسرطانی برای ساکنان زرقان ندارند. نتایج ارزیابی در جدول ۵ مشاهده می‌شوند.

ارزیابی ریسک سرطانی BTEX درایستگاه های نمونه‌برداری

در بین ترکیبات BTEX که برای آنها (بنزن و اتیل بنزن) غلظت های راهنما برای تعیین خطر سرطانی (IUR)ارایه شده است، بیشترین ریسک سرطانی مربوط به بنزن ($۱/۶\times۱۰^{-۴}$) در ایستگاه پالایشگاه است که از مقدارارایه شده آن به‌وسیله‌ی EPA (۱×۱۰^{-۶}) بیشتر است. مدت زمان زندگی خطر سرطانی بین ۱×۱۰^{-۵} و ۱×۱۰^{-۶} به عنوان "قابل قبول" بوسیله WHO مورد توجه قرار گرفته است در حالیکه توصیه USEPA سطح ریسک ۱×۱۰^{-۶} است. برای مقادیر ریسک بالاتر از ۱×۱۰^{-۴} یک اقدام سریع ضروری است (۲۸و۲۹). به عبارت دیگر، از نظر USEPA بروز سرطان در طول زندگی در هر یک میلیون نفر ۱ نفر قابل قبول است، در حالی که در ایستگاه پالایشگاه ریسک سرطانی ۱/۶ نفر در هر ده‌هزار نفر بدست آمده است. لازم به توضیح است ریسک سرطانی بدست آمده قابل تعمیم به جمعیت شهر زرقان که در فاصله ۱۰ کیلومتری پالایشگاه زندگی می‌کنند، نیست. بزرگراه شیراز- اصفهان که از نزدیکی شهر زرقان می‌گذرد، تأثیر چندانی در انتشار ترکیبات BTEX در این منطقه ندارد. غلظت های BTEX در دو ایستگاه ابتدای بلوار کارگر و انتهای شهر که در نزدیک ترین نقطه به این بزرگراه هستند، این موضوع را تأیید می‌کنند. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، کم ترین ریسک سرطانی بنزن در ایستگاه شهرک صنعتی ۱ ($۲/۳۹\times۱۰^{-۵}$) و بیشترین آن ($۱/۶\times۱۰^{-۴}$) در ایستگاه پالایشگاه می‌باشد. همچنین کمترین ریسک سرطانی اتیل بنزن در ایستگاه صنایع شیمیایی ($۲/۴\times۱۰^{-۶}$) و بیشترین آن ($۶/۴۷\times۱۰^{-۶}$) در ایستگاه شهرک صنعتی ۱ می‌باشد.

- **ارزیابی ریسک سرطانی BTEX در شهر زرقان**

با توجه به غلظت های میانگین BTEX درایستگاه هایداخل شهر زرقان (جدول ۶) تعداد موارد بروز سرطان اضافی ناشی از غلظت بنزن در هر صدهزار نفر ۳/۸۱ مورد و برای اتیل بنزن در هر یک میلیون نفر ۴/۳۲ مورد در طول زندگی خواهد بود. ریسک سرطانی بدست آمده برای بنزن بالاتر از استاندارد EPA و در محدوده توصیه WHO قرار دارد. ریسک سرطانی محاسبه شده اتیل بنزن نیز در محدوده توصیه WHO و با تفاوت اندکی بالاتر از استاندارد قابل قبول از نظر EPA می‌باشد. یادآور می‌شود، برای تولوئن و زایلن از گروه ترکیبات BTEX عدد راهنمای ریسک واحد تنفس (IUR) برای اثرات سرطانیارایه نشده است. بنابراین ریسک سرطانی آنها قابل محاسبه نیستند.

- **تعیین استانداردهای محلی BTEX**

مقادیر بنزن و اتیل بنزن از گروه BTEX به منظور کاهش ریسک سرطان از دو دیدگاه مقدار ریسک "قابل قبول" از نظر WHO و EPA محاسبه شده و در جدول ۸ نشان داده شده است. تعداد موارد سرطان اضافی "قابل قبول" از نظر WHO 1×10^{-5} تا ۶-۱۰× و از نظر EPA 10-6× می‌باشد.

جدول ۸- مقدار مجاز آلاینده‌های بنزن و اتیل بنزن در هوای زرقان برای کاهش ریسک سرطان ناشی از آنها به میزان "قابل قبول" از نظر WHO و EPA

Table 8-EPA ,WHO permissible amounts of Benzene and Ethylbenaene pollutants in Zarghan air needed to decrease the Cancer Risks

آلاینده	مقدار اندازه‌گیری شده ($\mu g/m^3$)	ریسک محاسبه شده(نفر)	مقدار آلاینده برای کاهش ریسک سرطان به میزان "قابل قبول" WHO (۱×۱۰^{-۵}) ($\mu g/m^3$)	مقدار آلاینده برای کاهش ریسک سرطان به میزان "قابل قبول" EPA (۱×۱۰^{-۶}) ($\mu g/m^3$)
بنزن	۵/۱	$۳/۸۱\times۱۰^{-۵}$	۱/۳۴	۰/۱۳۴
اتیل بنزن	۱/۸	$۴/۳۲\times۱۰^{-۶}$	۴/۱۷	۰/۴۱۷

از آنجایی که تولوئن و زایلن از گروه BTEX اثر سرطان زایی شناخته شده ندارند، و از طرفی بر اساس ارزیابی ریسک انجام شده در این مطالعه، با غلظت های موجود در زرقان هیچ گونه خطر غیرسرطانی شناخته شده نیز ندارند، مقادیر مجاز برای آنها محاسبه نشده است.

Reference

1. Demirel, G., Özden, O., Gero Glu, T.D., Gaga, E.O., 2014. Personal exposure of primary school children to BTEX, NO2 and ozone in Eski şehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment. Science of the Total Environment. Vol. 473–474, pp. 537–548.
2. Barletta, B., Meinardi, S., Simpson, I.J., Zou, S., Rowland, F.S., 2008. Ambient mixing ratios of non-methane hydrocarbons (NMHCs) in two major urban centers of the Pearl River Delta (PRD) region: Guangzhou and Dongguan. Atmospheric Environment. Vol. 42, pp. 4393-4408.
3. Grosjean, D., Grosjean, E., Moreira, L., 2002. Speciated ambient carbonyls in Rio de Janeiro, Brazil. Environmental Science and Technology. Vol. 36, pp. 1389-1395.
4. Aksoy, M., Dincol, K., Erdem, S., Dinkol, G., 1972. Details of blood changes in 32 patients with pancytopenia associated with long-term exposure to benzene. British Journal of Industrial Medicine. Vol. 29, Issue 1, pp. 56–64.
5. Li, L., Li, H., Zhang, X., Wang, L., Xu, L., Wang, X., Yu, Y., Zhang, Y., Cao,.G., 2014. Pollution characteristics and health risk assessment of benzene homologues in ambient air in the northeastern urban area of Beijing, China. Journal of Environmental Sciences. Vol. 26, pp. 214–223.
6. Young, N.S., Scheinberg, P., and Calado, R.T., 1995. Aplastic anaemia. Lancet. Vol. 346, pp. 228–23.2
7. Smith, M.T., 1996. Overview of benzene-induced aplastic anaemia. European Journal of Hematology. Vol. 60, pp. 107-110.
8. Dutta, C., Som, D., Chatterjee, A., Mukherjee, A.K., Jana, T.K., Sen, S., 2009. Mixing ratios of carbonyls and BTEX in ambient air of Kolkata, India

and their associated health risk. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 148, Issue 1-4, pp. 97–107.

9. European Union Parliament and Council: Directive 2000/69/CE of the European Parliament and Council of the 16 November 2000 concerning the limit values for benzene and carbon monoxide in environmental air, 2000. Official Journal European Communication. Lex. 313, pp. 12–21.
10. LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C., 1994. Hazardous Waste Management. McGraw Hill. New York.
11. Botkin, D.B., Keller, E.A, 2007. Environmental Science: Earth as a Living Planet. Wiley. New York.
12. Absalon, D., Ślesak, B. 2010. The effects of changes in cadmium and lead air pollution on cancer incidence in children. Science water sources. Science of The Total Environment. Vol. 408, , Issue 20, pp. 4420–4428.
13. International Agency for Research on Cancer (IARC), 1995. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. Vol. 62, pp. 336-349.
14. Zhang, Y., Mu,Y.,Liu, J., Mellouki, A., 2012. Levels ،sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing ،China. Journal of Environmental Sciences Vol. 24, pp. 124–130.
15. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2009a. Integrated Risk Information System (IRIS) online database. http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm
16. IPCS (International Programme on Chemical Safety), 2000. Environmental Health criteria 214: Human Exposure Assessment. World Health Organization, Geneva. http://www. inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc214. htm.
17. Dehghani,M,Taghizadeh ,MM., Rastgoo E" GIS-Assisted Investigation on Dispersion of BTEX in Industrial Regions of Zarghan, Iran "Journal of Environmental Studies 03/2014; 39(4):125-136.