Journal of Health and Safety at Work 2021; 10(4): 316-328

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Occupational Exposure to Styrene Vapor and Determining Risks of Health Consequences in Petrochemical Industry Workers

Vahid Ahmadi Moshiran[1], Ali Karimi[2*], Farideh Golbabaei[1], Mohsen Sadeghi Yarandi[1], Ali Asghar Sajediyan[1], Aysa Ghasemi Koozekonan[1]

[1] Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2019-11-09 Accepted: 2020-08-09

ABSTRACT

Introduction: Styrene ($C_6H_5CH=CH_2$) is known as one of the volatile organic substances produced or used in petrochemical industries. Exposure to this chemical compound can thus lead to respiratory diseases. Therefore, this study aimed to evaluate occupational exposure to styrene vapor and to determine the risks of its health consequences in petrochemical industry workers through a quantitative method.

Material and Methods: In this descriptive cross-sectional study, a total number of 150 samples from 50 employees were studied using the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1501 method. The samples were then analyzed by the Varian CP-3800 chromatograph. Upon determining exposure to styrene vapor, the risk assessment of the health consequences of styrene in the workers in the given industry was evaluated via the relationships established by the United States Environmental Protection Agency (US/EPA).

Results: According to the results, the polybutadiene latex unit (PBL) was observed with the highest average exposure (0.44 $mg.(kg\text{-}day)^{-1}$). Therefore, the top predictors of carcinogenic and non-carcinogenic risks were valued 0.44 and 0.71, respectively, for the PBL unit. Given the lowest average exposure (0.0012 $mg.(kg\text{-}day)^{-1}$) in the drying unit, the prediction revealed the most moderate carcinogenic (0.1×10^{-5}) and non-carcinogenic risks (2×10^{-3}) for the same employees.

Conclusion: Overall, the health risk was higher than the permissible limit in the petrochemical industry studied, especially in the PBL unit. Therefore, it is recommended to make use of artificial ventilation, notably the local type, in addition to the natural ones.

Keywords: *Health Risk Assessment; Styrene; Occupational exposure; Petrochemical*

1. INTRODUCTION

Styrene ($C_6H_5CH=CH_2$) is known one of the volatile organic substances produced or used in petrochemical industries. Exposure to this chemical compound can thus bring about toxic effects, including changes in the central and peripheral nervous systems, such as drowsiness, headache, imbalance, skin irritation, problems in respiratory system, and mild liver damage. The United States Environmental Protection Agency (US/EPA) has also proposed the Integrated Risk Information System (IRIS) method to decide on controlling measures and protecting employees from chemical injuries.

* Corresponding Author Email: *fgolbabaei@tums.ac.ir*

2. MATERIALS AND METHODS

In total, 50 workers were randomly selected from similar exposure groups to be included in the present study. Sampling was further performed according to the NIOSH 1501 method. Three samples (namely, two samples before the rest time and one after it) were taken from each worker. Accordingly, 150 samples were collected. The samples were then injected into a Varian CP-3800 gas chromatography following their preparation and the analyte was extracted using carbon disulfide (CS2). The results of the analysis of the samples were subsequently utilized to calculate respiratory exposure as well as carcinogenic and non-carcinogenic risks through the EPA method.

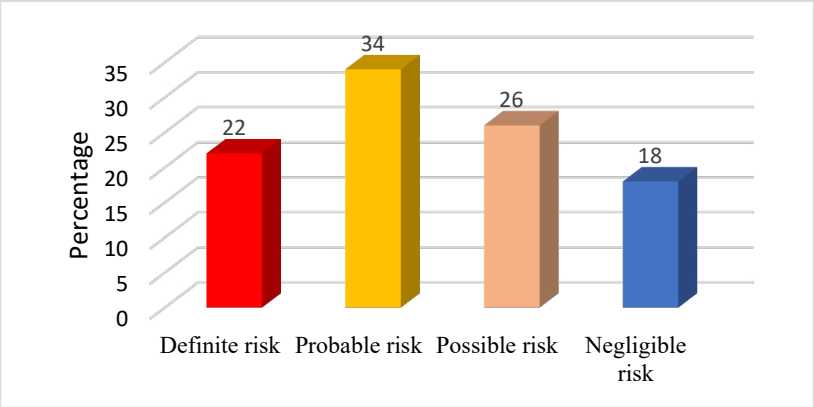


Fig. 1. Cancer Risk Based on WHO Recommendation

Table 1. Statistical differences of mean TWA, Respiratory Exposure, Carcinogenic Risk, and non-cancer Risk of Styrene

	TWA	Respiratory Exposure	Cancer risk	Non-cancer risk
P-value	0.048	0.009	0.009	0.009

Finally, the results were compared with the values recommended by the World Health Organization (WHO).

3. RESULTS AND DISCUSSION

As shown in Fig. 1, it is predicted, according to the WHO classification, that if exposure to styrene lasts for 30 years, there will be definitive carcinogenicity in 22% of cases. For 34% of exposure, the agency also forecasts a probable risk. Overall, an 82% risk of cancers is predicted for styrene. In this sense, the results of the Kruskal-Wallis test also revealed significant differences between the units in terms of exposure concentration, exposure level, and health risks of styrene ($P<0.05$).

4. CONCLUSION

The carcinogenic and non-carcinogenic risks of styrene in some units, especially in the PBL unit, were higher than that within the EPA recommended limit. Therefore, one of the most prominent measures to improve operating conditions and to reduce exposures to styrene vapor is the use of local artificial ventilation at specific places, including the area of melting extraction from the mixer with adequate suction power.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The study was funded by Tehran University of Medical Sciences (TUMS).

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۰/ شماره ۴/ زمستان ۱۳۹۹ صفحات ۳۱۶-۳۲۸

ارزیابی میزان مواجهه شغلی با بخارات استایرن و تعیین سطح ریسک سلامتی ناشی از آن در کارکنان یک صنعت پتروشیمی

وحید احمدی مشیران، علی کریمی*، فریده گلبابایی، محسن صادقی یارندی، علی اصغر ساجدیان، آیسا قاسمی کوزه کنان

گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۱۸، تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۹

چکیده

مقدمه: ازجمله مواد آلی فرار که درصنایع پتروشیمی تولید یا استفاده می شوند استایرن می باشد. که مواجهه تنفسی با آن اختلالات و بیماری هایی به دنبال دارد. لذا هدف این مطالعه ارزیابی میزان مواجهه شغلی با بخارات استایرن و تعیین سطح ریسک اثرات سلامتی ناشی از آن به روش کمی در کارکنان صنعت پتروشیمی مورد مطالعه است.

روش کار: در این مطالعه توصیفی- مقطعی، ۱۵۰ نمونه فردی از ۵۰ نفر از کارکنان صنعت مورد مطالعه به روش 1501NIOSH، انجام گرفت. نمونه ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل Varian-cp3800، آنالیز شد. بعد از تعیین غلظت استایرن مورد مواجهه، با استفاده از روابط ارائه شده از سوی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا(U.S EPA)، ریسک اثرات سلامتی استایرن بر کارکنان شاغل در این صنعت ارزیابی شد.

یافته ها: بر اساس نتایج، بیشترین میزان مواجهه ($mg.(kg-day)^{-1}$ ۰/۴۴) در واحد پلی بوتادین لاتکس (PBL) بود. بنابراین پیش بینی بالاترین ریسک سرطان و ریسک غیر سرطانی به ترتیب با میانه ۰/۴۴ و ۰/۷۱ برای واحد PBL بود. با توجه به این که کمترین میزان مواجهه ($mg.(kg-day)^{-1}$ ۰/۰۱۲۰) در واحد درایر به دست آمد. پیش بینی کمترین ریسک سرطان زایی (۰/۰۰۰۰۰۱) و ریسک غیر سرطان(۰/۰۰۲) برای کارکنان همین واحد بود.

نتیجه گیری: بطور کلی در برخی از بخش های پتروشیمی مورد مطالعه بویژه در بخشPBL، میزان ریسک سلامتی بالاتر از حدود مجاز بود. لذا پیشنهاد می گردد، علاوه بر تهویه های طبیعی، از تهویه های مصنوعی به ویژه تهویه موضعی استفاده بشود.

کلمات کلیدی: *ارزیابی ریسک بهداشتی، استایرن، مواجهه شغلی، پتروشیمی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *alikarimi57@gmail.com*

مقدمه

بدنبال رشد صنایع در دهه های اخیر، کیفیت هوای محیط های شغلی یکی از دغدغه های اصلی بوده است. کاهش کیفیت هوای محیط کاری به خاطر وجود مواد شیمیایی در هوا اثبات شده است (۲،۱). یکی از دسته های گسترده مواد شیمیایی ترکیبات آلی فرار (VOC) می باشد که در مقادیر زیاد در صنایع مختلف مواد شیمیایی وجود دارد (۳). مواجهه با مواد شیمیایی آلی فرار میتواند گستره وسیعی از اثرات حاد و مزمن برسلامتی شامل تداخلات سیستم عصبی و آسم و.... را در پی داشته باشد (۴، ۵). طبق گزارشات و آمارهای سازمان جهانی بهداشت(WHO)، ۴میلیون نفر از مردم جهان با صنایع شیمیایی درگیر هستند و هرسال یک میلیون نفر بخاطر مواجهه ناایمن با مواد شیمیایی، بیمار شده یا جان خود را از دست می دهند (۶-۹).

استایرن از جمله این مواد شیمیایی آلی است و لزوم پرداختن به استایرن زمانی اهمیت خود را نشان می دهد که به کاربرد گسترده این ماده پی برده می شود (۱۰). این ماده در صنایع پلاستیک سازی، لاستیک سازی، رزین پلی استر ، فایبرگلاس، صنعت اسبابازی و وسایل منزل و... کاربرد دارد (۱۱، ۱۲). استایرن با فرمول C_8H_8 یک هیدرو کربن آروماتیک مشتق شده از بنزن می باشد که بی رنگ و چرب با بوی شیرین است و به راحتی بخار می شود. از جمله نام های تجاری استایرن می توان به وینیل بنزن، فنیل اتیلن، سینامن، دیارکس، استیروپول، آنامن و استیرلن اشاره کرد (۱۳، ۱۴). قرار گرفتن در معرض استایرن باعث ایجاد اثرات سمی شامل تغییراتی در سیستم اعصاب مرکزی (همچون خواب آلودگی، سردردعدم تعادل) و محیطی و تحریک پوست و دستگاه تنفسی و آسیب خفیف کبدی میشود (۱۱، ۱۵). حتی بین مواجهه با استایرن و اختلال درتشخیص رنگ ها (به عنوان بارزترین علامت سمیت عصبی استایرن)، افت شنوایی و اختلال شناختی عصبی ارتباط های معناداری بدست آمده است (۱۶). آژانس بین المللی تحقیقات سرطان(IARC[1])، این ماده را در گروه 2B که نشان دهنده احتمال سرطان زایی برای انسان می باشد، قرار داده است (۱۷). سازمان ارزیابی خطرات بهداشت محیطی(OEHHA[2]) نیز در آپریل سال ۲۰۱۶، استایرن را در لیست مواد شیمیایی سرطان زا قرار داد (۱۸).

رندال[3] و همکارانش، در یک مطالعه مروری در مورد بیماری های خوش خیم تنفسی در میان کارگرانی که مواجهه شغلی با استایرن داشته اند، ارتباط بین مواجهه با استایرن و بیماری خوش خیم تنفسی مرتبط با مرگ و میر را بررسی کردند. نتیجه کلی نشان داد مواجهه با استایرن یک ریسک فاکتور برای بیماری های خوش خیم تنفسی محسوب میشود (۱۶). همچنین رودر و برتک[4]، بروز سرطان در ۳۷۰۴ کارگران کشتی سازی را که در معرض مواجهه با استایرن بودند، ارزیابی کردند. در نهایت مدارکی دال بر بروز سرطان در اثر مواجهه با استایرن وجود داشت که قابل توجه بود (۱۹). در مطالعه دیگری تای چنگ[5] و همکاران با بررسی غلظت ۶۴ نوع ترکیب آلی فرار(VOC[6])، منتشرشده از واحد های مختلف فرایند ایجاد ضایعات جامد پلاستیک، بالاترین غلظت VOC را در واحدABS[7] ثبت کردند. ترکیب اصلی منتشره از واحدهای ABS و پلی استایرن(PS)، مونومرهای آروماتیک بود. نتایج نشان داد که براساس ارزیابی حدود مواجهه شغلی(OEL)، کارگران در واحد های انتشار PS وABS به نسبت بیشتری از واحد های دیگر در معرض ریسک های سلامتی حاد و مزمن ناشی از ترکیبات آلی فرار قرار داشتند (۲۰).

برای تصمیم گیری در مورد اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان در برابر عوارض سوء ناشی از مواد شیمیایی، نیاز است که ارزیابی ریسک این مواد بطور اختصاصی انجام گیرد (۲۱، ۲۲). در این خصوص آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا(U.S EPA) روش IRIS[8] را پیشنهاد میکند.

1 International Agency for Research on Cancer

2 Office of Environmental Health Hazard Assessment
3 Randall
4 Ruder and Bertek
5 Taicheng
6 volatile organic compounds
7 acrylonitrile-butadiene styrene
8 Integrated Risk Information System

این روش با برآورد میزان مواجهه، ریسک ناشی از سمیت مواد را به صورت کمی تخمین می زند (۲۳). در این راستا با توجه به قوانین ارائه شده از سوی سازمانهای بین المللی و کشوری همچون انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی کار آمریکا (NIOSH) و U.S EPA وحدود مواجهه شغلی ایران (OEL) و ... برای محافظت و صیانت از نیروی های کار در صنایع، ارزیابی ریسک سلامتی در قالب ریسک غیرسرطان زایی(در مطالعه حاضر ریسک "غیر سرطانی" به بیماری ها و ناراحتی های جسمی به جز سرطان اشاره دارد.) و ریسک سرطان زایی مواد شیمیایی امری ضروری برای تدابیر و کنترل های بعدی می باشد. از سویی دیگر برای بررسی ریسک مواجهه، اندازه گیری مستقیم آلاینده مورد نظر در منطقه تنفسی کارگر، معتبرترین راه تخمین میزان مواجهه می باشد (۲۴، ۲۵). لذا با توجه به اثرات بهداشتی استایرن، مطالعه حاضر در جهت ارزیابی مواجهه و ارزیابی ریسک سلامتی استایرن در یک صنعت پتروشیمی در تابستان ۱۳۹۷ انجام شد.

مواد و روش کار

مجتمع پتروشیمی مورد مطالعه سالانه ۳۶ هزار تن ABS، تولید می کند. نسبت آکرونیتریل، بوتادین و استایرن در محصول ABS به ترتیب۱۵-۳۵، ۵-۳۰، ۴۰-۶۰ درصد می باشد. تعداد کارکنان این صنعت بالغ بر ۴۰۰ نفر می باشد از این تعداد ۳۰۰ نفر در زمان اجرای پژوهش در واحدهای تولیدی مشغول به کار بودند. نمونه برداری در واحد های مورد مطالعه، شامل PBL[9]، واحد پلیمریزاسیون (SAN[10])، واحد ترکیب مواد (compounding)، واحد خشک کن، بسته بندی، واحد۳۱۰، آزمایشگاه، آتش نشانی و تعمیرات از طریق تشکیل گروهای مواجهه مشابه (SEG[11]) انجام گرفت. تعداد ۵۰ نفر از کارگرها از میان گروههای مواجهه مشابه به صورت تصادفی برای شرکت در مطالعه انتخاب شدند. آزمایشگاه به نسبت سایر بخش ها، جزو محل های با تراکم نیروی زیاد بود. همچنین تنوع کاری در این بخش زیاد بود که از آن جمله می توان به واحدهای عوامل شیمیایی، واحد مدل سازی تولید ABS، واحد آزمایش کیفیت مواد رنگ، واحد جمع آوری نمونه ها از بخش های مختلف ، واحد آنالیز نمونه ها با دستگاههای GC و ... اشاره کرد. لذا تعداد پرسنل شرکت کننده در مطالعه از این واحد نسبت به سایر واحد ها بیشتر بود.

تعداد نمونه ها طبق توصیه NIOSH و با توجه به حجم SEG ها انتخاب شدند. شرایط ورود به مطالعه برای نفرات انتخاب شده شامل داشتن شغل تمام وقت در صنعت مورد مطالعه (شیفت کامل کاری)، عدم استفاده از مرخصی ساعتی در حین اجرای مطالعه و داشتن وظیفه شغلی در خطوط تولید (جزو کارکنان اداری نباشد) بود. نمونه برداری بر اساس روش ۱۵۰۱NIOSH، انجام شد. از هر کدام از کارگرها سه نمونه (شامل دو نمونه قبل از زمان استراحت و ناهار و یک نمونه بعد از زمان استراحت) گرفته شد که جمعا ۱۵۰ نمونه فردی تهیه گردید. زمان هر نمونه بر اساس روش ۱۵۰۱NIOSH، ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد. همچنین سه نمونه محیطی از محل رستوران گرفته شد. جهت تخمین اولیه تعداد ۱۰ نمونه محیطی قبل از نمونه برداری اصلی برای پایش محیط انجام گرفته بود که بر اساس آنها براورد اولیه از غلظت استایرن در رستوران مقادیر پایینی بود. لذا از محدوده توصیه شده در روش ۱۵۰۱NIOSH برای دبی، حد بالای آن یعنی ۲ لیتر بر دقیقه انتخاب شد. میانگین نمونه های محیطی به عنوان غلظت مواجهه در محوطه رستوان در نظر گرفته شد. در این مطالعه از پمپ نمونه برداری فردی مدل SKC Universal 44XR (دبی ۰/۹ لیتر بر دقیقه) و لوله ذغال فعال ۱۵۰ میلی گرمی با منشا پوست نارگیل (SKC Inc., PA, USA) برای نمونه برداری از از منطقه تنفسی کارگرها استفاده شد.

بعد از انجام نمونه برداری، نمونه های جمع آوری شده به آزمایشگاه منتقل شد و در کمتر از۷۲ساعت، آماده تزریق به دستگاه گازکروماتوگرافی (GC) گردید. آماده سازی نمونه طبق روش ۱۵۰۱NIOSH ، به این صورت

9 polybutadiene latex unit
10 styrene Acrylonitrile
11 Similar exposure group

جدول۱. میزان ریسک سرطان زایی براساس مقادیر ارئه شده از سوی WHO

ELCR	میزان سرطان زایی
10^{-4}<LCR	Definite risk(سرطان زایی قطعی)
10^{-5} <LCR<10^{-4}	Probable risk(احتمال سرطان زایی)
10^{-6}<LCR<10^{-5}	Possible risk(امکان سرطان زایی)
LCR<10^{-6}	Negligible risk(بندرت سرطان زا)

انجام گرفت که ابتدا ذغال فعال بخش جلویی و بخش عقبی لوله جاذب، داخل ویال های شیشه ای جداگانه ای ریخته شد. سپس ۰/۱ میلی لیتر حلال (کربن دی سولفید) به هر کدام از ویال هایی که ذغال فعال درون آنها ریخته شده بود، اضافه گردیده و درپوش آن سریعا بسته شد. جهت بازجذب حداکثری آنالیت از جاذب، ویال ها به مدت ۶۰-۳۰ دقیقه در همزن قرار داده شد. پس از آماده سازی نمونه و استخراج آنالیت توسط cs_2، نمونه ها به دستگاه گاز کروماتوگرافی مدلVarian-cp3800، تزریق شدند. در این مرحله با مقایسه غلظت های بدست آمده از آنالیز دستگاهی برای قسمت جلو و قسمت عقب لوله زغال فعال، احتمال ترک آلاینده از قسمت جلو جاذب و جذب در قسمت عقب بررسی گردید.

آشکار ساز به کار رفته در دستگاه گاز کروماتوگرافی، از نوع یونش شعله ای بود و هلیوم با دبی ۱/۸ میلی لیتر بر دقیقه به عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت. دمای محل تزریق ۲۰۰ درجه سانتی گراد و دمای اولیه ستون ۴۰ درجه سانتی گراد بود که بعد از ۸ دقیقه با نرخ یک درجه سانتی گراد بر دقیقه تا ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت. همچنین دمای آشکار ساز ۲۲۰ درجه سانتی گراد بود.

برای رسم منحنی کالیبراسیون، محلول های استاندارد کاربردی در غلظت های مشخص(۰/۵، ۲، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و۱۰۰۰میلی گرم بر لیتر) تهیه شده و به دستگاه GC تزریق گردید.

مقدار R^2 برای منحنی کالیبراسیون بزرگتر از ۰/۹۹۸ بدست آمد. همچنین میزان LOD، مقدار عددی ۰/۲ میکروگرم بر مترمکعب و میزان LOQ، ۰/۶۲ میکروگرم بر مترمکعب بدست آمد.

ریسک سرطان زایی

ریسک سرطان زایی با استفاده از رابطه۱، محاسبه گردید (۲۶).

ELCR=CDI×CSF

در این رابطه برای ELCR[12] (خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی)، سازمان بهداشت جهانی (WHO) حدود تعریف شده ای در نظر گرفته است که در جدول۱، قابل مشاهده است (۲۶). سازمان EPA، حد مجاز برای قابل قبول بودن در مورد سرطان زایی(ELCR) را کمتر از 10^{-6} عنوان کرده است.CSF[13] عامل شیب سرطان می باشد که برای حالت استنشاق استایرن مقدار آن $5.7\times10^{-4}\,\mathrm{kg-day/mg}$ می باشد (۲۸).

CDI[14] یا همان جذب روزانه مزمن با واحد $mg.(kg-day)^{-1}$ ، از رابطه۲، بدست آمد (۲۷، ۲۹):

$$CDI=\frac{C\times IR\times ED\times EF}{AT\times BW} \qquad (۲)$$

c : غلظت آلاینده در هوا ($\frac{mg}{M^3}$) و BW: وزن بدن (kg) بوده و سایر پارامتر ها در جدول۲، قابل مشاهده است.

ریسک غیر سرطان زایی

فاکتور خطر بر اساس مقادیر غلظت مواجهه (رابطه۳) محاسبه شد (۲۷). بر اساس نتیجه حاصله از رابطه۳، اگر $HQ\leq1$ بدست آید، خطر غیر سرطانزایی قابل توجهی

12 Excess Lifetime Cancer Risk
13 Cancer slope factor
14 chronic daily intake

جدول ۲. پارامتر های استفاده شده برای محاسبه CDI,EC,ELCR HQ,

پارامتر		واحد	مقدار	منبع
فاکتور شیب سرطان زایی	CSF	$kg-day/mg$	۰/۰۰۰۵۷	(۲۸)
نرخ تنفس	IR	$m3.day^{-1}$	۱۶	(۳۲)
زمان مواجهه	ET	$hr.day^{-1}$	۸	(۳۳)
طول مدت مواجهه	ED	year	۳۰	(۳۳)
فرکانس مواجهه	EF	$day.year^{-1}$	۲۷۴روز در سال	(۳۳)
متوسط طول عمر	AT	hr	۷۵×۳۶۵×۲۴	(۳۴ ،۳۳)
غلظت رفرنس	RFC	$mg.m^{-3}$	۱	(۳۶ ،۳۵)

افراد را تهدید نمی کند (قابل قبول) ولی اگر $HQ>1$ باشد، ریسک غیرسرطان زایی بالا بوده و غیر قابل قبول خواهد بود (۳۰).

$$HQ=\frac{EC}{RFC} \quad (۳)$$

HQ[15]: فاکتور خطر

EC: غلظت مواجهه ($\frac{mg}{m^3}$) می باشد که از رابطه۴، بدست می آید (۲۷، ۳۱). پارامترهای این رابطه در جدول۲، شرح داده شده است. فرکانس مواجهه (EF) کارکنان با استایرن به دلیل سه روز شیفت کاری و یک روز استراحت، ۲۷۴روز در سال لحاظ شد.

$$EC=\frac{C\times ET\times ED\times EF}{AT} \quad (۴)$$

به منظور تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از ارزیابی میزان مواجهه کارکنان، نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگروف- اسمیرونوف بررسی شد. باتوجه به غیر نرمال بودن داده های مربوط به پارامترهای سلامتی برای توصیف این متغیرها، از میانه آماری در محیط نرم افزار SPSS۲۵ استفاده گردید. برای تحلیل داده ها از آزمون کروسکال-والیس استفاده شد. برای تمامی آزمونها مقدار آلفا، ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

15 Hazard quotient

یافته ها

برخی از پارامتر های مهم مورد استفاده در محاسبات ارزیابی ریسک سلامتی، شامل اطلاعات دموگرافیک از قبیل سن، سابقه کار و وزن بدن بود که نتایج توصیفی آنها در جدول۳، آورده شده است. همان گونه که در این جدول مشاهده می شود، واحد بسته بندی با ۳ نفر(۶درصد) و بخش آزمایشگاه با تعداد ۹ نفر(۱۸درصد) به ترتیب کمترین و بیشترین تعداد کارکنان را دربین بخش های مورد مطالعه داشتند. بیشترین میانگین سنی مربوط به کارکنان واحد آزمایشگاه (۴۰/۸ ± ۳/۷۵) و کمترین میانگین سنی مربوط به واحد ۳۱۰ (۳۳/۵۷ ± ۲/۲۲)، می باشد. از طرفی بیشترین سابقه کار را نیرو های شاغل در واحد خشک کن با میانگین ۱۳/۲۵ ± ۲/۸۷ و کمترین سابقه کار را پرسنل واحد ۳۱۰ بامیانگین ۷/۲۸ ± ۳/۷۷ سال داشتند. کارکنان آزمایشگاه بالاترین میانگین وزنی (۸۲/۵ ۴۳ ±۱۳/) را نسبت به کارکنان سایر واحد ها داشتند.

مواجهه تنفسی با استایرن

مواجهه تنفسی با استایرن به عنوان یکی از مواد با بالاترین غلظت در بخش های مختلف صنعت پتروشیمی تولید کنندهABS، بررسی شد و همانگونه که در جدول۴، مشاهده می شود، بالاترین میانه مواجهه تنفسی با استایرن در واحدPBL، ($mg.(kg-day)^{-1}$ ۰/۴۴)

جدول ۳. اطلاعات دموگرافیک کارکنان شاغل در در بخش های مختلف

واحد	تعداد کارکنان		سن			سابقه کاری			وزن بدن		
	تعداد	درصد فراوانی	میانگین (انحراف معیار)	کمترین	بیشترین	میانگین (انحراف معیار)	کمترین	بیشترین	میانگین (انحراف معیار)	کمترین	بیشترین
۳۱۰	۷	۱۴	(۲/۲۲) ۳۳/۵۷	۲۹	۳۶	(۳/۷۷) ۷/۲۸	۳	۱۴	(۱۱/۶۵) ۷۶/۲۹	۵۲	۸۷
بسته بندی	۳	۶	(۳/۷۸) ۴۰/۳۳	۳۶	۴۳	(۴/۵۸) ۱۲	۸	۱۷	(۱/۷۳) ۷۷	۷۵	۷۸
ترکیب مواد	۸	۱۶	(۴/۱) ۳۵	۳۰	۴۴	(۴/۱۷) ۱۰	۶	۱۶	(۱۲/۴۵) ۸۱/۲۵	۶۰	۱۰۰
خشک کن	۴	۸	(۲/۸۸) ۳۶/۵	۳۳	۴۰	(۲/۸۷) ۱۳/۲۵	۹	۱۵	(۴/۲) ۷۲/۵	۶۸	۷۸
PBL*	۴	۸	(۹/۲۹) ۳۹/۵	۳۰	۵۲	(۷/۰۴) ۸/۵	۱	۱۵	(۱۳/۵) ۶۸/۷۵	۵۴	۸۳
پلیمریزاسیون	۴	۸	(۵/۳۱) ۳۴/۲۵	۳۰	۴۲	(۲/۵۱) ۱۰/۵	۸	۱۴	(۱۲/۳۳) ۷۵/۷۵	۶۰	۹۰
آتش نشانی	۴	۸	(۵/۲۵) ۳۶/۵	۲۹	۴۱	(۵/۷۴) ۱۲/۵	۴	۱۶	(۳/۸۳) ۷۵	۷۰	۷۸
آزمایشگاه	۹	۱۸	(۳/۷۵) ۴۰/۸	۳۳	۴۱	(۴/۴۱) ۱۲/۴۴	۲	۱۶	(۱۳/۴۳) ۸۲/۵	۶۵	۱۰۰
تعمیرات	۷	۱۴	(۲/۸۱) ۳۷/۲۸	۳۳	۴۱	(۳/۳۹) ۱۱/۵۸	۶	۱۶	(۱۳/۲۴) ۸۰/۵۷	۶۵	۹۷
کل	۵۰	۱۰۰	(۴/۸۰) ۳۷/۰۴	۲۹	۵۲	(۴/۴۵) ۱۰/۸۲	۱	۱۷	(۱۲/۰۱) ۷۵/۸۴	۵۲	۱۰۰

polybutadiene latex *unit*

و کمترین میانه مربوط به واحد خشک کن با ۰۰۱۲ $mg.(kg-day)^{-1}$/ ۰ بود. نتایج نشان داد پرسنل واحد آتش نشانی بیشترین میزان مواجهه با استایرن را بعد از پرسنل واحد PBL، داشتند. میانه کلی برای CDI،TWA، ELCR و HQ به ترتیب شامل مقادیر ۰/۵۷، ۰/۰۳۵، ۰/۰۰۰۰۲، ۰/۰۵۵ می باشد.

ریسک سرطان زایی

مطابق آنچه که در جدول۴، مشاهده می شود. پیش بینی ریسک سرطان استایرن برای واحد PBL (۰/۰۰۰۲۳) و آتش نشانی (۰/۰۰۰۱۳)، بیشتر از سایر واحد ها بود . در حالی که کمترین پیش بینی برای واحد درایر بود.

در کل همان گونه که در نمودار۱، مشاهده می شود، بر اساس طبقه بندی سازمان WHO (قابل مشاهده در جدول۱)، پیش بینی می شود، درصورت مواجهه ۳۰ ساله با استایرن، در ۲۲درصد از موارد، " سرطان زایی قطعی" وجود داشته باشد و برای۳۴درصد از مواجهه ها، "احتمال سرطان زایی" پیش بینی می شود. بطور کلی با توجه به غلظت استایرن اندازه گیری شده در صنعت مورد مطالعه، ۸۲ درصد سرطان زایی برای این ماده قابل پیش بینی است.

ریسک غیر سرطان زایی

مشابه ریسک سرطان زایی استایرن، ریسک غیر سرطان زایی استایرن نیز در واحد PBL و آتش نشانی بالاترین میزان را داشت که میانه آنها به ترتیب مقادیر ۰/۷۱ و ۰/۲۹ بدست آمد (جدول۴).

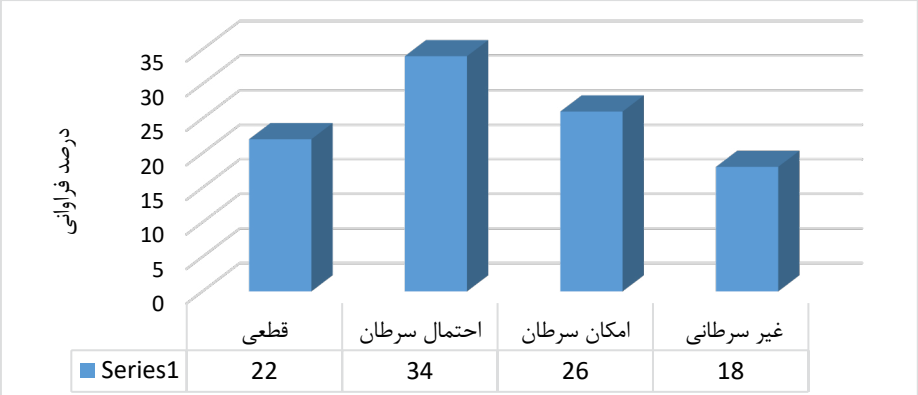
با توجه به اینکه نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرونوف غیر نرمال بودن داده ها را نشان داد لذا برای تحلیل داده ها، آزمون کروسکال والیس استفاده شد. همان گونه که در جدول۵، مشاهده می شود، نتایج این آزمون نشان داد در سطح اطمینان ۹۵درصد، میان واحدها از نظر غلظت آلاینده، میزان مواجهه و ریسک های سلامتی استایرن تفاوت معناداری وجود دارد($p<0.05$).

جدول ۴. میزان غلظت آلاینده، مواجهه تنفسی، ریسک های سلامتی استایرن

	[a] TWA	[b] CDI	[c] ELCR		[d] HQ	
	میانه(IQR[e]) $mg.m^{-3}$	میانه(IQR) $mg.(kg-day)^{-1}$	میانه (IQR)	سطح ریسک سرطان	میانه (IQR)	سطح ریسک بهداشتی
۳۱۰	۰/۲۷ (۰/۴۲)	۰/۰۰۲ (۰/۰۵)	۰/۰۰۰۰۱۵ (۰/۰۰۰۰۳)	غ.ق.ق*	۰/۰۰۴ (۰/۰۹)	ق.ق*
بسته بندی	۱/۳۳ (۰/۱۱)	۰/۰۳۸ (۰/۰۰۱)	۰/۰۰۰۰۲۱ (۰/۰۰۰۰۱)	غ.ق.ق	۰/۰۴۸ (۰/۰۰۲)	ق.ق
ترکیب مواد	۲/۱۸ (۲/۴۶)	۰/۰۰۷ (۰/۰۹)	۰/۰۰۰۰۳۸ (۰/۰۰۰۰۵)	غ.ق.ق	۰/۰۱۱ (۰/۱۴)	ق.ق
خشک کن	۲/۳۶ (۴/۵۶)	۰/۰۰۱۲ (۰/۰۰۲)	۰/۰۰۰۰۰۷۲ (۰/۰۰۰۰۰۱)	ق.ق	۰/۰۰۲۳ (۰/۰۰۲)	ق.ق
PBL[f]	۰/۵۰ (۲/۳۱)	۰/۴۴ (۰/۳۲)	۰/۰۰۰۲۵ (۰/۰۰۰۲)	غ.ق.ق	۰/۷۱ (۱/۷۲)	ق.ق
پلیمریزاسیون	۰/۲۹ (۰/۵۴)	۰/۱۱ (۰/۲۹)	۰/۰۰۰۰۷۸ (۰/۰۰۰۱)	غ.ق.ق	۰/۱۶ (۰/۴۹)	ق.ق
آتش نشانی	۵/۵۴ (۶/۱۳)	۰/۲۱ (۰/۴۲)	۰/۰۰۰۱۲ (۰/۰۰۰۱)	غ.ق.ق	۰/۲۹ (۰/۶۷)	ق.ق
آزمایشگاه	۰/۰۳۵ (۰/۶۹)	۰/۰۵ (۰/۲۵)	۰/۰۰۰۳ (۰/۰۰۱)	غ.ق.ق	۰/۰۸ (۰/۳۵)	ق.ق
تعمیرات	۱/۱۳ (۴/۳۶)	۰/۰۵۱ (۰/۰۷)	۰/۰۰۰۲۹ (۰/۰۰۰۲)	غ.ق.ق	۰/۰۵۸ (۰/۱۱)	ق.ق
کل	۰/۵۷ (۲/۷)	۰/۰۳۵ (۰/۱۶)	۰/۰۰۰۲ (۰/۰۰۰۹)	غ.ق.ق	۰/۰۵۵ (۰/۲۷)	ق.ق

*غ.ق.ق= غیر قابل قبول ق.ق= قابل قبول

a - *Time weighted average* b - Chronic daily intake c - Excess Lifetime Cancer Risk
d - Hazard quotient e- Interquartile range f -polybutadiene latex *unit*



نمودار ۱. درجه بندی میزان سرطان زایی استایرن در صنعت مورد مطالعه براساس توصیه WHO

غلظت، میزان مواجهه، ریسک سرطانی و غیر سرطانی استایرن در واحد PBL تفاوت معناداری با واحدهای ۳۱۰، بسته بندی، تعمیرات، واحد ترکیب مواد و واحد خشک کن داشت($p<0.05$). همچنین بین واحد ۳۱۰ در مقایسه با واحد های آتش نشانی و آزمایشگاه تفاوت معناداری از نظر غلظت آلاینده، میزان مواجهه و ریسک سرطان زایی مشاهده شد ($p<0.05$). در خصوص همه متغیر های ذکر شده در جدول ۵، تفاوت معناداری بین واحد خشک کن با واحد های آتش نشانی و آزمایشگاه و تعمیرات بدست آمد ($p<0.05$).

جدول ۵. بررسی تفاوت آماری میانگین غلظت آلاینده، مواجهه تنفسی، ریسک های سلامتی استایرن در بین بخش های مختلف

	غلظت آلاینده	غلظت مورد مواجهه	ریسک سرطان زایی	ریسک غیر سرطانی
P-value	۰/۰۴۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹

بحث

در این مطالعه ریسک سلامتی ۵۰ نفر از کارکنانی که در بخش های مختلف یک پتروشیمی تولید کننده اکرونیتریل- بوتادی ان- استایرن(ABS)، با استایرن مواجهه داشتند، بررسی شد. نتایج بررسی ها بیان کننده ریسک سرطان زایی غیر قابل قبول برای تمامی واحدها، بجز واحد خشک کن است اما ریسک غیر سرطانی برای تمام واحد ها در حد قابل قبول بود. هم چنین برای این پتروشیمی ریسک کلی سرطان زایی ۸۲درصد پیش بینی شد.

در این مطالعه میانه کلی برای CDI، ELCR به ترتیب شامل مقادیر ۰/۰۳۵، ۰/۰۰۰۰۲ بدست آمد که نشان دهنده سرطان زایی محتمل استایرن برای کارکنان پتروشیمی مورد مطالعه می باشد. رودر و برتک نیز در سال ۲۰۱۷ در مطالعه خود در مورد ارزیابی بروز سرطان در کارگران کشتی سازی در معرض مواجهه با استایرن، مدارکی دال بر بروز سرطان در اثر مواجهه با استایرن را بدست آوردند. این موضوع از آن جهت قابل توجه بود که هنوز این کارگران به سن میان سالی (۶۵ سالگی)که برای سرطان در آمریکا شایع است نرسیده بودند (۱۹). در سال ۲۰۱۸ نیز یک مطالعه متا آنالیز در خصوص میزان مرگ و میر ناشی از سرطان در بین کارگران صنایع تزریق پلاستیک که در معرض مواجهه با استایرن بودند، توسط لومیس[16] و همکارانش انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد، سرطان مری ارتباط معناداری با مواجهه با بخارات استایرن چه بصورت میانگین و چه بصورت تجمعی داشت. بین سرطان پانکراس و مواجهه با متوسط استایرن نیز ارتباط معنادار مشاهده شد (۳۷).

نتایج این مطالعه نشان داد که علی رغم نزدیک بودن دو واحد PBL و خشک کن، مواجهه تنفسی با استایرن در واحد PBL بیشترین میزان و در واحد خشک کن کمترین میزان را داشت. لذا دلیل اختلاف زیاد در میزان مواجهه با استایرن در این دو واحد را میتوان ناشی از دو عامل دانست: PBL یک ساختمان سه طبقه با تهویه طبیعی(در و پنجره) بود که این نوع تهویه کارایی ضعیفی دارد، در حالی که واحد درایر در محیطی باز قرار گرفته بود. دلیل دوم می تواند این موضوع باشد که به واسطه نوع پروسه کاری نیاز به حضور فرد در محوطه درایر خیلی کمتر از مدت زمانی بود که فرد باید در PBL سپری میکرد. پرسنل آتش نشانی نیز به دلیل سرکشی مداوم به واحد ها و نیز به دلیل قرار گیری واحد آتش نشانی در کنار واحد PBL متوسط مواجهه بالایی با استایرن را داشتند.

در مطالعه حاضر ۲۲ درصد از کارگران در معرض ریسک قطعی سرطان زایی قرار داشتند در صورتی که محمدیان و همکاران درمطالعه خود در صنعت الکترونیک که در سال ۲۰۱۹ انجام دادند، ریسک سرطان زایی ناشی از مواجهه با استایرن را برای تمامی کارگران قطعی بدست آوردند (۳۸). تفاوت در سرطان زایی قطعی استایرن بین مطالعه محمدیان و مطالعه حاضر می تواند ناشی از میانگین بالای غلظت استایرن اندازه گیری شده در صنعت الکترونیک با مقدار $mg.m^{-3}$ ۷۹/۶۱ نسبت به غلظت پایین استایرن اندازه گیری شده مطالعه حاضر ($mg.m^{-3}$ ۰/۵۷) باشد.

نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی با مقدار ۰/۰۵۵ سطح قابل قبولی را برای مواجهه شغلی با استایرن در پتروشیمی مورد مطالعه ارائه داد. این نتیجه با مقادیر بدست آمده از برخی مطالعات پیشین تفاوت هایی را دارد. به عنوان نمونه کومینگ و همکارانش، به منظور مطالعه پیامد های بهداشتی مرتبط با استایرن در کارخانه ساخت

16 Loomis

لوازم پلاستیکی، ، ارتباط بین متابولیت های استایرن در ادرار کارگران و میزان مواجهه با استایرن را بررسی کردند. میانگین مواجهه با استایرن ۵۳/۶ میلی گرم بر گرم کراتینین بدست آمد. نتایج مطالعه اثرات بینایی و تنفسی استایرن بر سلامتی کارکنان را نشان داد (۱۴). این موضوع میتواند ناشی از غلظت بالای استایرن مواجهه یافته در مطالعات آنها باشد. در حالی که در مطالعه حاضر متوسط غلظت استایرن پایین تر از حدود توصیه شده توسط سازمان های مرتبط بود که برای اثرات بهداشتی سطح قابل قبولی را نتیجه داد.

این مطالعه تاثیرات دما و سرعت وزش باد و تغییرات فصلی در محاسبات لحاظ نکرده است و به صورت مقطعی در یک برش زمانی خاص انجام شده است. لذا قابلیت تعمیم برای مواجهه سالیانه با احتیاط باید صورت بگیرد. همچنین بحث سلامتی کارگران (مانند مشکلات ریوی و کبدی که طبق مطالعات اشاره شده رابطه مستقیم با مواجهه با استایرن دارند) و سابقه کاری افراد در مشاغل قبلی، در نظر گرفته نشده است. از نقاط قوت این مطاله می توان به تعداد بالای نمونه های جمع آوری شده (۱۵۰ نمونه) در یک صنعت خاص را نام برد. چرا که تعدا بالای نمونه ها طبیعتا باعث کاهش خطای محاسباتی و نزدیک بودن نتایج بررسی ها به مقادیر واقعی می باشد. ذکر این نکته ضروری است که در هیچ محیطی به ویژه محیط های صنعتی که دارای چندین نوع ترکیبات شیمیایی مختلف میباشند، نمی توان پیش بینی ها در مورد اختلالات سلامتی را ناشی از مواجهه با یک ماده خاص دانست. در این راستا باید اظهار کرد که این مطالعه صرفا درجاتی از اختلالات سلامتی ناشی از مواجهه کارگران با غلظت های محاسبه شده استایرن را پیش بینی می کند ولی با توجه به وجود سایر مواد شیمیایی در محیط این اختلالات می تواند شدیدتر نیز باشد که این امر نیاز به مطالعات بیشتری در آینده را می طلبد.

نتیجه گیری

نتیجه کلی این مطالعه نشان میدهد که ریسک سرطان زایی و ریسک غیر سرطان زایی استایرن در برخی از بخش های پتروشیمی مورد مطالعه بویژه در بخش PBL، بالاتر از حدود اعلام شده از سوی سازمان EPA بود. همچنین ۲۲درصد پرسنل مورد مطالعه این صنعت شامل میزان سرطان زایی قطعی می شدند که از سوی سازمان WHO ارائه شده بود. لذا جهت بهبود شرایط کاری یکی از بارزترین اقدامات برای کاهش مواجهه با بخارات استایرن، استفاده از تهویه مصنوعی به صورت موضعی در نقاط خاص از جمله محل خروج ماده مذاب از دستگاه میکسر با توان مکش مناسب می باشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش نتیجه بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول، وحید احمدی مشیران به کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1398.023 می باشد که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام گردیده است. لذا نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه علوم پزشکی تهران اعلام می دارند.

REFERENCES

1- Jafari MJ, Khajevandi AA, Najarkola SA, Yekaninejad MS, Pourhoseingholi MA, Omidi L, Kalantary S. Association of sick building syndrome with indoor air parameters. Tanaffos. 2015;14(1):55.

2- Golbabaei F, Mahdizade M, Gheasedin M, Mohajer K, Eskandari D. Risk assessment of weldersexposure to total fume in an automobile industry. Health Safety Work. 2012;1(1):9-18.

3- Dehghani F, Golbabaei F, Abolfazl Zakerian S, Omidi F, Mansournia MA. Health risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) in a painting unit of an automotive industry. Health and Safety at Work. 2018 Apr 15;8(1):55-64.

4- Hu R, Liu G, Zhang H, Xue H, Wang X. Levels, characteristics and health risk assessment of VOCs in different functional zones of Hefei. Ecotoxicology and environmental safety. 2018 Sep 30;160:301-7.

5- Heydari M, Omidvari M, Fam IM. Presenting of a material exposure health risk assessment model in Oil and Gas Industries (case study: Pars Economic and Energy Region). Health and Safety at Work. 2014 Feb 15;3(4):11-22.
6- Beheshti MH, FirooziChahak A, AlinaghiLangari AA, Rostami S. Semi-quantitative risk assessment of health exposure to hazardous chemical agents in a petrochemical plant. Journal of Occupational Health and Epidemiology. 2015;4(1):1-8.
7- Beigzadeh Z, Pourhassan B, Golbabaei F. Occupational exposure to wood dust and risk of nasopharyngeal cancer: A systematic review and meta-analysis. Environmental research. 2019 Apr 1;171:170-6.
8- Ranjbarian M, Dehghani A, Kalantari S. The prevalence of pulmonary functional impairments workers induced by occupational exposure to Formaldehyde in a resin factory. Journal of Health in the Field.;1(4).
9- Zarei F, R Azari M, Salehpour S, Khodakarim S, Kalantary S, Tavakol E. Exposure assessment of core making workers to respirable crystalline silica dust. Health and Safety at Work. 2017 Apr 15;7(1):1-8.
10- Ahmadizadeh M, Pol T, Boazar M. Effect of Vitamin C on Styrene Induced Respiratory Toxicity. International Journal of Occupational Hygiene. 2011:76-80.
11- Marczynski B, Peel M, Baur X. New aspects in genotoxic risk assessment of styrene exposure–a working hypothesis. Medical hypotheses. 2000 Apr 1;54(4):619-23.
12- Kim KW. Effects of styrene-metabolizing enzyme polymorphisms and lifestyle behaviors on blood styrene and urinary metabolite levels in workers chronically exposed to styrene. Toxicological research. 2015 Dec 1;31(4):355-61.
13- Filser JG, Gelbke HP. An evaluation of concentrations of styrene-7, 8-oxide in rats and humans resulting from exposure to styrene or styrene-7, 8-oxide and potential genotoxicity. Toxicology letters. 2016 Apr 15;247:11-28.
14- McCague AB, Cox-Ganser JM, Harney JM, Alwis KU, Blount BC, Cummings KJ, Edwards N, Kreiss K. Styrene-associated health outcomes at a windblade manufacturing plant. American journal of industrial medicine. 2015 Nov;58(11):1150-9.
15- Aminian O, Rafeemanesh E, Sharifian A, Abbasi M. Study of the Liver Function in a Plastic Processing Industry Workers Exposed to Styrene in 1382 (2003). Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2004;3(3):165-71.
16- Nett RJ, Cox-Ganser JM, Hubbs AF, Ruder AM, Cummings KJ, Huang YC, Kreiss K. Non-malignant respiratory disease among workers in industries using styrene—A review of the evidence. American journal of industrial medicine. 2017 Feb;60(2):163-80.
17- Mohamadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Moghadam SR. Occupational exposure to styrene and its relation with urine mandelic acid, in plastic injection workers. Environmental monitoring and assessment. 2019 Feb 1;191(2):62.
18- The Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) 2109 [on line]; Available from.https://oehha.ca.gov/proposition-65/crnr/styrene-listed-effective-april-22-2016-known-state-california-cause-cancer.
19- Ruder AM, Bertke SJ. Cancer incidence among boat-building workers exposed to styrene. American journal of industrial medicine. 2017 Jul;60(7):651-7.
20- He Z, Li G, Chen J, Huang Y, An T, Zhang C. Pollution characteristics and health risk assessment of volatile organic compounds emitted from different plastic solid waste recycling workshops. Environment international. 2015 Apr 1;77:85-94.
21- Jahangiri M, Parsarad M. Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry. Iran occupational health. 2010;7(4):18-24.
22- Jahani A. Sycamore failure hazard classification model (SFHCM): an environmental decision support system (EDSS) in urban green spaces. International journal of environmental science and technology. 2019 Feb 4;16(2):955-64.
23- National Research Council. Review of EPA's integrated risk information system (IRIS) process. National Academies Press; 2014 Jun 25.
24- Sahranavard Y, Zare S, Kalantary S, Omidi L, Karami MJJoOHE. Determining Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes (BTEX) Concentrations in the Hydrometallurgical Environment of Sarcheshmeh Copper Complex. 2016;2(4):9-13.
25- JAFARI M, LAJEVARDI S, MOHAMMAD-FAM IR. Semi quantitative risk assessment of a hydrogen production unit. International Journal of Occupational Hygiene. 2013;5(3):101-8.

26- Zhang Z, Yan X, Gao F, Thai P, Wang H, Chen D, Zhou L, Gong D, Li Q, Morawska L, Wang B. Emission and health risk assessment of volatile organic compounds in various processes of a petroleum refinery in the Pearl River Delta, China. Environmental Pollution. 2018 Jul 1;238:452-61.

27- Delikhoon M, Fazlzadeh M, Sorooshian A, Baghani AN, Golaki M, Ashournejad Q, Barkhordari A. Characteristics and health effects of formaldehyde and acetaldehyde in an urban area in Iran. Environmental pollution. 2018 Nov 1;242:938-51.

28- Du Z, Mo J, Zhang Y. Risk assessment of population inhalation exposure to volatile organic compounds and carbonyls in urban China. Environment international. 2014 Dec 1;73:33-45.

29- Sweeney LM, Sheets BA, Tomljanovic C, Groseclose RD. Industrial health risk assessment for routine workers in a military paint shop. Human and Ecological Risk Assessment. 2000 Jun 1;6(4):643-70.

30- Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part A. 2019 [on line]. Available from https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part.

31- Omidi F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Barati Chamgordani S, Gharibi V. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. Health and Safety at Work. 2018 Sep 10;8(3):299-308.

32- Exposure Assessment Tools by Approaches - Indirect Estimation (Scenario Evaluation); 2019 [on line]. Available from www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-approaches-indirect-estimation-scenario-evaluation#factors.

33- Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual. 2019 [on line]. Available from https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part-f. 2009.

34- Life expectancy at birth m/f (years, 2016) 2019 [on line]; Available from.www.who.int/countries/irn/en/

35- Persad AS, Cooper GS. Use of epidemiologic data in Integrated Risk Information System (IRIS) assessments. Toxicology and applied pharmacology. 2008 Nov 15;233(1):137-45.

36- United States Environmental Protection Agency. Styrene CASRN 100-42-5.2019[on line]. Available from https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=74270.

37- Loomis D, Guha N, Kogevinas M, Fontana V, Gennaro V, Kolstad HA, McElvenny DM, Sallmén M, Saracci R. Cancer mortality in an international cohort of reinforced plastics workers exposed to styrene: a reanalysis. Occupational and environmental medicine. 2019 Mar 1;76(3):157-62.

38- Mohammadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Moghadam SR, Moghadam AM. Health risk assessment of occupational exposure to styrene in Neyshabur electronic industries. Environmental Science and Pollution Research. 2019 Apr 1;26(12):11920-7