

# Health Risk Assessment of Acrylonitrile Vapors in a Petrochemical Industry Using the United States Environmental Protection Agency Method

Ali Asghar Sajedian<sup>1</sup> , Ali Karimi<sup>2</sup>, Mohsen Sadeghi-Yarandi<sup>1</sup>, Vahid Ahmadi Moshiran<sup>1</sup>, Yasaman Aala<sup>3</sup>, Farideh Golbabaie<sup>4,\*</sup> 

<sup>1</sup> MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> MSc Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>4</sup> Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\* **Corresponding Author:** Farideh Golbabaie, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: fgolbabaie@tums.ac.ir

## Abstract

**Received:** 28/05/2020

**Accepted:** 04/08/2020

### How to Cite this Article:

Sajedian AA, Karimi A, Sadeghi-Yarandi M, Ahmadi Moshiran V, Aala Y, Golbabaie F. Health Risk Assessment of Acrylonitrile Vapors in a Petrochemical Industry Using the United States Environmental Protection Agency Method. *J Occup Hyg Eng.* 2020; 7(3): 9-17. DOI: 10.52547/johe.7.3.9

**Background and Objective:** Acrylonitrile is a potential carcinogen for humans and exposure to its vapors can have a variety of adverse effects on employees in the petrochemical industry. Therefore, the present study was conducted to determine the level of exposure and assess the quantitative health risk of exposure to acrylonitrile vapors in the exposed personnel of a petrochemical complex.

**Materials and Methods:** In this cross-sectional study, which was conducted in a petrochemical complex, a total of 45 inhaled air (3 samples per person) was sampled. Samples were collected using absorbent tubes containing activated charcoal from SKC. The samples were prepared and analyzed according to the 1601 NIOSH method using the VARIAN CP-3800 gas chromatography. Finally, the US Environmental Protection Agency (EPA) method was used to determine the level of employee exposure and the health or non-cancer risk index (HQ). Data analysis was performed using SPSS software version 25. In order to investigate the differences between different sections in terms of exposure and health risk, Kruskal-Wallis statistical test was used at a significance level of less than 0.05.

**Results:** The results of the present study showed that the average concentration of acrylonitrile vapors in the studied petrochemical complex is  $71.1 \pm 122.8$  micrograms per cubic meter ( $0.033 \pm 0.056$  ppm) on average. The non-carcinogenic risk was also calculated to be  $4.04 \pm 6.93$ . It was found that 47.6% of the subjects were within the permissible non-carcinogenic range ( $HQ < 1$ ) and 53.3% of the subjects were within the allowable range ( $HQ > 1$ ).

**Conclusion:** Considering that the health risk of exposure to acrylonitrile vapors in the studied petrochemical complex was more than the recommended range (2 ppm or  $4.34 \text{ mg/m}^3$ ), taking engineering and management measures to control and reduce the risk levels to an acceptable level, including modification of local and general ventilation systems, as one of the main reasons for the respiratory exposure of the workers, is essential for the improvement of the situation.

**Keywords:** Acrylonitrile; Health Risk Assessment; Exposure; Petrochemical; EPA Method

# ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در یک صنعت پتروشیمی به روش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا

علی اصغر ساجدیان<sup>۱</sup>، علی کریمی<sup>۲</sup>، محسن صادقی یارندی<sup>۱</sup>، وحید احمدی<sup>۱</sup>، یاسمن اعلا<sup>۳</sup>، فریده گل‌بابایی<sup>۴\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

<sup>۴</sup> استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: فریده گل‌بابایی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

ایمیل: fgolbabaei@tums.ac.ir

## چکیده

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴

**سابقه و هدف:** آکریلونیتریل ماده سرطان‌زای احتمالی برای انسان است و مواجهه با بخارات این ماده اثرات سوء متنوعی را برای شاغلان در صنایع پتروشیمی به وجود می‌آورد. از این‌رو مطالعه حاضر با هدف تعیین میزان مواجهه و ارزیابی ریسک کمی بهداشتی مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در کارکنان مواجهه‌یافته یک مجتمع پتروشیمی انجام پذیرفت.

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه مقطعی که در یک مجتمع پتروشیمی انجام شد، در مجموع از هوای استنشاقی ۴۵ نفر (۳ نمونه برای هر فرد) نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌ها با استفاده از لوله‌های جاذب حاوی زغال فعال شرکت SKC جمع‌آوری شد. آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها بر اساس روش NIOSH 1601 و با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل VARIAN CP-3800 انجام گرفت. در نهایت برای تعیین میزان مواجهه افراد شاغل و شاخص ریسک بهداشتی یا غیرسرطان (HQ: Hazard Quotient) از روش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA: Environmental Protection Agency) استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۲۵ نرم‌افزار SPSS انجام پذیرفت. به‌منظور بررسی تفاوت بین بخش‌های مختلف از نظر میزان مواجهه، ریسک سلامتی و تحلیل آماری آن از آزمون آماری کروسکال-والیس در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد مقدار متوسط تراکم بخارات آکریلونیتریل در مجتمع پتروشیمی مدنظر به‌طور میانگین  $122/8 \pm 71/1$  میکروگرم بر مترمکعب ( $0/056 \pm 0/033$  پی‌پی‌ام) است. همچنین میزان ریسک غیر سرطان‌زایی نیز  $6/93 \pm 4/04$  محاسبه شد. مشخص شد که ۴۷/۶ درصد از افراد مطالعه‌شده در محدوده غیر سرطان‌زایی مجاز ( $HQ < 1$ ) و ۵۳/۳ درصد از افراد نیز در محدوده بیشتر از حد مجاز ( $HQ > 1$ ) قرار دارند.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به اینکه شاخص کمی بهداشتی مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در مجتمع پتروشیمی مطالعه‌شده بیشتر از حدود توصیه‌شده (۲ پی‌پی‌ام یا ۴/۳۴ میلی‌گرم بر مترمکعب) توسط سازمان‌های ذی‌ربط است، اقدامات مهندسی و کنترل مدیریتی لازم برای کنترل و مدیریت سطح ریسک تا حد قابل‌قبول، ازجمله بازنگری در سیستم‌های تهویه موضعی و عمومی که از عمده‌ترین دلایل مواجهه افراد است، برای بهبود اوضاع ضروری است.

**واژگان کلیدی:** آکریلونیتریل؛ ارزیابی ریسک بهداشتی؛ پتروشیمی؛ روش EPA؛ مواجهه شغلی

## مقدمه

افزایش می‌شود؛ بنابراین، در بسیاری از محیط‌های کاری، مواجهه با مواد شیمیایی و خطرات ناشی از آن‌ها نیز وجود دارد و در حال

همه‌ساله مواد شیمیایی بی‌شماری به بازارهای جهانی عرضه می‌شود که به هزاران ماده شیمیایی حال حاضر در سراسر جهان

افزایش است [۳-۱].

بر اساس آماری که سازمان بهداشت جهانی ارائه کرده است، تقریباً چهار میلیون نفر در سراسر جهان سالانه در صنایع شیمیایی و فعالیت‌های مشابه اشتغال دارند و یک میلیون نفر از این افراد در اثر مواجهه ناایمن با مواد شیمیایی جان خود را از دست می‌دهند یا دچار معلولیت می‌شوند [۴]. مواجهه با ترکیبات شیمیایی از جمله مهم‌ترین عوامل خطر و چالش‌های موجود در محیط‌های کاری در عصر حاضر است که همواره خسارات و عوارض بسیار زیادی را بر افراد و محیط‌زیست تحمیل می‌کند [۵، ۶].

آکریلونیتریل (AN: Acrylonitrile) از جمله ترکیباتی است که در صنایع پتروشیمی استفاده می‌شود. آکریلونیتریل مایعی شفاف، بی‌رنگ و بسیار قابل اشتعال است که بوی ناخوشایند و تحریک‌کننده‌ای دارد [۷]. بیشترین کاربرد الیاف کربن مبتنی بر پلی‌آکریلونیتریل در دو دهه گذشته به‌طور گسترده در فناوری کامپوزیت بوده است [۸]. این فیبر به دلیل داشتن خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پیشرفته، برای کامپوزیت‌هایی با کارایی بالا در فناوری‌هایی نظیر خودرو و هوافضا بسیار مطلوب است [۹]. با توجه به کاربردهای گسترده ذکر شده، این ترکیب به شکل گرانول در صنایع پتروشیمی تهیه می‌شود و در دسترس سایر صنایع قرار می‌گیرد. مسمومیت با آکریلونیتریل در انسان باعث تحریک چشم و بینی، ضعف، سختی تنفس، سرگیجه، اختلال در تصمیم‌گیری، سیانوز، حالت تهوع و تشنج می‌شود. آکریلونیتریل همچنین باعث سوختگی شدید پوست می‌شود. در حیوانات، اثرات مسمومیت شامل تغییرات تنفسی، سیانوز، تشنج و مرگ است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد آکریلونیتریل عملکرد غیرطبیعی سیستم عصبی محیطی و مرکزی را ایجاد می‌کند و باعث آسیب به کلیه‌ها می‌شود. همچنین مشخص گردیده است که مواجهات مزمن با این ترکیب منجر به نقص عملکرد طبیعی کبد و کلیه می‌گردد [۱۰].

مطالعات اولیه اپیدمیولوژیک ارتباط بالقوه بین مواجهه شغلی با آکریلونیتریل و سرطان سیستم تنفسی را نشان داده است [۱۱]. در چهار مطالعه کوهورت بزرگ، هیچ شواهدی برای اثبات رابطه علت و معلولی بین مواجهه شغلی و سرطان، به‌ویژه سرطان سیستم تنفسی نشان داده نشده است [۱۲-۱۵]. داده‌های اپیدمیولوژی بیانگر این است که این ارتباط را نمی‌توان به‌طور کامل رد کرد [۱۶].

در سال ۱۹۷۸، نگرانی از اینکه آکریلونیتریل ممکن است عامل سرطان‌زایی در انسان باشد، منجر به محدود کردن مواجهه شغلی در ایالات متحده به بیش از ۲ پی‌پی‌ام (۴/۳۴ میلی‌گرم بر مترمکعب) در هوا به‌عنوان میانگین وزن هشت‌ساعته (TLV-TWA: Threshold Limit Value-Time Weighted Average)، با مواجهه سقف (TLV-C: Threshold Limit Value-Ceiling) ۱۵ دقیقه‌ای ۱۰ پی‌پی‌ام شد [۱۷]. در سال

۱۹۷۹، آژانس بین‌المللی تحقیقات در مورد سرطان (IARC: International Agency for Research on Cancer) آکریلونیتریل را بر اساس شواهد کافی از سرطان‌زایی در حیوانات آزمایشگاهی و شواهد محدود در انسان، به‌عنوان عامل ایجاد سرطان احتمالی انسانی (دسته 2A) طبقه‌بندی کرد [۱۸]. در سال ۱۹۹۹ با استناد به مطالعات اپیدمیولوژیک انجام‌شده، آژانس بین‌المللی تحقیقات در مورد سرطان طبقه‌بندی خود را به امکان سرطان‌زایی برای انسان (گروه 2B) کاهش داد [۱۹]. همچنین پیش‌بینی می‌شود آکریلونیتریل به‌طور منطقی عامل سرطان‌زا باشد [۲۰].

در میان صنایع شیمیایی موجود، صنعت پتروشیمی یک صنعت با خطر زیاد محیط‌زیست است؛ زیرا در آن مقدار زیادی از مواد سمی، خطرناک، قابل اشتعال و مواد منفجره در مراحل ساخت و بهره‌برداری استفاده می‌شود [۲۱]. با توجه به نگرانی روزافزون مردم در زمینه تأثیر مواجهه محیطی و شغلی مواد شیمیایی بر سلامت انسان، ارزیابی ریسک، به‌ویژه ارزیابی ریسک سلامتی انسان، کانون توجه بوده است [۲۲]. ارزیابی ریسک که شامل توصیف عوارض جانبی سلامتی بالقوه به دلیل مواجهه با خطرات محیطی است، توسط تعدادی از آژانس‌ها و سازمان‌ها در سراسر جهان انجام می‌شود. اگرچه مواجهه و سطح جزئیات آن ممکن است بر اساس سازمان یا کشور مدنظر متفاوت باشد، چارچوب کلی این ارزیابی‌ها از الگوی ارائه‌شده توسط شورای تحقیقات ملی، با تقسیم فرایند ارزیابی ریسک از چهار مؤلفه پیروی می‌کند: ۱. شناسایی خطر، ۲. ارزیابی دُز-پاسخ، ۳. ارزیابی مواجهه و ۴. بررسی خصوصیات خطر [۲۳].

سیستم اطلاعات ریسک یکپارچه (IRIS: Integrated Risk Information System) یک پایگاه داده سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا است که حاوی مواضع علمی آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در زمینه اثرات منفی بر سلامتی انسان است که ممکن است ناشی از مواجهه مزمن (طول عمر) خوراکی یا استنشاقی با مواد شیمیایی خاص در محیط باشد [۲۴]. همچنین یک برنامه ارزیابی سلامت علمی در انسان است که اطلاعات خطر کمی و کیفی را در زمینه اثراتی ارزیابی می‌کند که ممکن است ناشی از مواجهه با آلاینده‌های زیست‌محیطی باشد [۲۵، ۲۶].

بنابراین، تقویت ارزیابی ریسک زیست‌محیطی و مدیریتی در صنعت پتروشیمی ضروری است [۲۱]. همچنین برای درک بهتر از خطرات شیمیایی و کنترل کارآمدتر آن‌ها، ارزیابی ریسک لازم است [۲۷]. درخصوص بررسی مواجهه و ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی موجود در صنایع، به‌خصوص صنایع پتروشیمی، مطالعات فراوانی در سطح جهان صورت گرفته است. این مطالعات بیشتر درخصوص مواجهه با ترکیب شناخته‌شده BTEX انجام شده و پژوهشی صورت نگرفته است که به‌صورت جامع ریسک‌های بهداشتی ترکیب آکریلونیتریل را بررسی و

ارزیابی کرده باشد. از این رو مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ریسک کمی بهداشتی مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در کارگران یک صنعت پتروشیمی انجام پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

### نوع مطالعه و روش نمونه‌برداری

این مطالعه توصیفی-تحلیلی به صورت مقطعی در سال ۱۳۹۷ و در واحدهای ایمنی و آتش‌نشانی، تعمیرات و بازرسی، آزمایشگاه و بهره‌برداری یک صنعت پتروشیمی تولیدکننده کاپلیمر آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene) انجام پذیرفت. نتایج پایش‌های سالانه و نظرات متخصصان صنعت حاکی از آن بود که امکان مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در واحدهای مذکور بیش از سایر واحدهاست. به منظور تعیین حجم نمونه از الگوی پیشنهادشده مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health) با عنوان گروه‌های با مواجهه مشابه (SEG: Similar Exposure Groups) استفاده شد. مطابق این الگو، افرادی که پیش‌بینی می‌شدند میزان مواجهه مشابه با آکریلونیتریل داشته باشند در یک گروه قرار گرفتند و حجم نمونه مورد نیاز برای انجام پژوهش مطابق الگوی پیشنهادی، ۱۴۸ نمونه برآورد شد. در مجموع از ۴۵ نفر و هر نفر ۳ نمونه به همراه ۱۳ نمونه محیطی به منظور پوشش‌دادن میزان مواجهه افراد در زمان استراحت و نیز محل‌های تردد، جمع‌آوری شد.

به منظور نمونه‌برداری از روش NIOSH 1604 استفاده شد. مطابق روش مذکور، برای نمونه‌برداری از هوای استنشاقی، از لوله‌های جاذب حاوی زغال فعال شرکت SKC با نسبت ۵۰/۱۰۰ میلی‌گرم و نمونه‌برداری ساخت همان شرکت و کالیبره‌شده با لوله حباب صابون استفاده شد. دبی نمونه‌برداری مطابق با روش و برای جلوگیری از پدیده ترک آلاینده ۱۵۰ میلی‌لیتر بر دقیقه لحاظ شد. مطابق استراتژی شماره ۶ NIOSH، نمونه‌برداری‌ها در سه دوره ۹۰ دقیقه‌ای صورت پذیرفت. به منظور بررسی خطاهای نمونه‌برداری به ازای هر ۱۰ نمونه گرفته‌شده و نمونه‌برداری از هریک از بخش‌های صنعت مطالعه‌شده، یک نمونه شاهد طی مطالعه حاضر در نظر گرفته شد. تمام مراحل مذکور روی نمونه شاهد نیز اعمال شد، با این تفاوت که هوا از بستر نمونه شاهد عبور نکرد و بلافاصله پس از شکسته‌شدن دو طرف لوله زغال فعال در محل نمونه‌برداری، درپوش دو طرف آن در محل خود قرار داده شد. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، لوله‌های جاذب برای تجزیه و تعیین مقدار به آزمایشگاه منتقل شدند.

### آماده‌سازی و تحلیل نمونه‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها بر اساس روش NIOSH 1604 انجام شد. محتوای زغال فعال موجود در بخش‌های جلو و عقب لوله نمونه‌بردار به ویال‌های جداگانه با حجم ۲ میلی‌لیتر منتقل شد.

استخراج نمونه‌ها به روش بازیافت شیمیایی با استفاده از ۱ میلی‌لیتر بنزن (۹۹/۵ درصد) ساخت شرکت MERCK انجام شد. به منظور استخراج کامل آکریلونیتریل از زغال فعال، حداقل ۳۰ دقیقه زمان در نظر گرفته شد.

پس از استخراج، نمونه‌ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل VARIAN CP-3800 ساخت ژاپن، مجهز به آشکارساز شعله‌ای یونی (FID: Flame Ionization Detector) دارای ستون کاپیلاری با حداقل طول ۲۵ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر تحلیل شدند. بدین منظور ابتدا بر اساس روش NIOSH 1604 و با استفاده از محلول استاندارد مادر (از این محلول، غلظت‌های ۱، ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام تهیه و به دستگاه گاز کروماتوگرافی تزریق شد) دستگاه تنظیم و کالیبره شد ( $R^2: 0.9976$ ). دمای اولیه ستون ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود که با نسبت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و زمان نهایی تحلیل هر نمونه ۵ دقیقه و ۶ ثانیه بود. دمای محل تزریق و نیز آشکارساز به ترتیب ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. از گاز هلیوم با دبی ۲ میلی‌لیتر به عنوان گاز حامل استفاده شد. حجم تزریق ۱ میکرولیتر با نسبت اسپلیت ۳:۱ در نظر گرفته شد که با سرنگ ۱۰ میکرولیتری شرکت Hamilton به دستگاه تزریق شد. پس از محاسبه غلظت نمونه‌ها با کمک روش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، ریسک بهداشتی آکریلونیتریل بررسی و ارزیابی شد [۲۸].

### ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی

بدین منظور از روش شاخص خطر (HQ: Hazard Quotient) برای محاسبه ریسک غیر سرطان‌زایی آکریلونیتریل استفاده شد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۹]:

$$HQ = \frac{EC}{RFC}$$

که در آن RFC غلظت مرجع و EC غلظت مواجهه است و از معادله زیر محاسبه می‌شود [۲۹]:

$$EC = (C \times ET \times ED \times EF) / AT$$

سایر پارامترها در جدول ۱ خلاصه شده است. بر اساس نظر سازمان جهانی بهداشت و آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا، در صورتی که مقدار شاخص خطر کمتر از یک باشد، خطر قابل توجهی از منظر ایجاد اثرات بهداشتی نامطلوب وجود ندارد و چنانچه این مقدار بیشتر از یک باشد، احتمال ایجاد این گونه اثرات وجود دارد [۳۲].

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۲۵

جدول ۱: پارامترهای استفاده شده در مدل ارزیابی ریسک

| منبع                     | مقدار        | واحد                | تعریف         | پارامتر |
|--------------------------|--------------|---------------------|---------------|---------|
| نمونه برداری فردی در محل | -            | میلی گرم بر مترمکعب | غلظت          | C       |
| پرسش نامه مشخصات فردی    | ۳۰           | سال                 | دوره مواجهه   | ED      |
| پرسش نامه مشخصات فردی    | $300 \pm 10$ | روز در سال          | فرکانس مواجهه | EF      |
| پرسش نامه مشخصات فردی    | $8 \pm 2$    | ساعت در روز         | زمان مواجهه   | ET      |
| [۳۰]                     | ۶۵۷۴۵۰       | ساعت                | متوسط طول عمر | AT      |
| [۳۱]                     | ۰/۰۰۲        | میلی گرم بر مترمکعب | غلظت رفرنس    | RFC     |
| [۲۹]                     | محاسبه       | میلی گرم بر مترمکعب | غلظت مواجهه   | EC      |
| [۲۹]                     | محاسبه       | -                   | شاخص خطر      | HQ      |

نرم افزار SPSS انجام پذیرفت. به منظور بررسی تفاوت بین بخش های مختلف از نظر میزان مواجهه و ریسک سلامتی و تحلیل آماری آن از آزمون آماری کروسکال-والیس در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ استفاده شد. همچنین به منظور بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع داده ها از آزمون آماری ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد.

## یافته ها

### یافته های مربوط به میزان مواجهه فردی

نتایج حاصل از بررسی میزان مواجهه افراد با آکریلونیتریل نشان داد میانگین مواجهه با بخارات ماده مذکور در بین تمام افراد مطالعه شده  $122/8 \pm 71/1$  میکروگرم بر مترمکعب ( $0/056 \pm 0/033$  پی پی ام) بوده و در تمام موارد کمتر از حدود مجاز مواجهه تصحیح شده بر اساس ویژگی های شغل است. میزان تراکم ماده آکریلونیتریل در هوای تنفسی افراد بررسی شده

برحسب واحد شغلی در جدول ۲ آمده است. نتایج حاکی از آن بود که در بین واحدهای شغلی بیشترین میزان مواجهه در شاغلان واحد ایمنی و آتش نشانی با میانگین  $228/5 \pm 244/3$  میکروگرم بر مترمکعب ( $0/112$  پی پی ام) است. پس از واحد ایمنی و آتش نشانی، بیشترین تراکم بخارات آکریلونیتریل در واحدهای SAN، برق و ابزار دقیق، تأسیسات و مکانیک به ترتیب با مقادیر ۱۵۵، ۱۴۰، ۶۹ و ۴۱ میکروگرم بر مترمکعب وجود دارد. همچنین کمترین تراکم آلاینده اندازه گیری شده در کارکنان واحد Dryer با مقدار متوسط  $10^{-5} \times 9/2 \pm 3/6$  میکروگرم بر مترمکعب ( $0/0017$  پی پی ام) ثبت شد. به طور کلی نتایج تحلیل های آماری نشان داد بین واحدهای مختلف و میانگین غلظت آکریلونیتریل ارتباط معناداری وجود ندارد ( $P > 0/05$ ).

### ارزیابی ریسک بهداشتی

در جدول ۳ مقادیر نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی شاغلان

جدول ۲: میزان مواجهه شاغلان با بخارات آکریلونیتریل در واحدهای شغلی مختلف

| واحد شغلی         | تعداد نمونه | حد اقل تراکم<br>میلی گرم بر مترمکعب<br>(پی پی ام) | حداکثر تراکم<br>میلی گرم بر مترمکعب<br>(پی پی ام) | میانگین تراکم<br>میلی گرم بر مترمکعب<br>(پی پی ام) |
|-------------------|-------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ایمنی و آتش نشانی | ۱۵          | $0/0071$ ( $0/0032$ )                             | $0/498$ ( $0/229$ )                               | $0/244$ ( $0/112$ )                                |
| آزمایشگاه         | ۲۷          | $0/003$ ( $0/0014$ )                              | $0/062$ ( $0/028$ )                               | $0/018$ ( $0/0083$ )                               |
| SAN               | ۱۲          | $0/075$ ( $0/034$ )                               | $0/375$ ( $0/172$ )                               | $0/155$ ( $0/071$ )                                |
| کواگولیشن         | ۶           | $0/004$ ( $0/0018$ )                              | $0/064$ ( $0/029$ )                               | $0/034$ ( $0/016$ )                                |
| کامپاند ۱         | ۹           | $0/0032$ ( $0/0015$ )                             | $0/052$ ( $0/024$ )                               | $0/027$ ( $0/012$ )                                |
| کامپاند ۲         | ۹           | $0/0032$ ( $0/0015$ )                             | $0/028$ ( $0/013$ )                               | $0/018$ ( $0/0082$ )                               |
| سرب پرستی         | ۹           | $0/0073$ ( $0/0034$ )                             | $0/03$ ( $0/014$ )                                | $0/015$ ( $0/0069$ )                               |
| بسته بندی         | ۶           | $0/0039$ ( $0/0018$ )                             | $0/005$ ( $0/0023$ )                              | $0/0044$ ( $0/002$ )                               |
| PBL               | ۶           | $0/0039$ ( $0/0018$ )                             | $0/0053$ ( $0/0023$ )                             | $0/0046$ ( $0/0021$ )                              |
| Dryer             | ۶           | $0/0035$ ( $0/0016$ )                             | $0/0037$ ( $0/0017$ )                             | $0/0036$ ( $0/0016$ )                              |
| برق و ابزار دقیق  | ۱۲          | $0/01$ ( $0/0046$ )                               | $0/35$ ( $0/16$ )                                 | $0/140$ ( $0/064$ )                                |
| تأسیسات           | ۱۲          | $0/0034$ ( $0/0016$ )                             | $0/233$ ( $0/102$ )                               | $0/069$ ( $0/031$ )                                |
| مکانیک            | ۶           | $0/035$ ( $0/016$ )                               | $0/046$ ( $0/021$ )                               | $0/041$ ( $0/019$ )                                |

جدول ۳: ارزیابی ریسک بهداشتی شاغلان مواجهه یافته با بخارات آکریلونیتریل برحسب واحدهای شغلی

| واحد شغلی                      | شاخص خطر (HQ) | سطح ریسک غیر سرطان زایی            |
|--------------------------------|---------------|------------------------------------|
| ایمنی و آتش نشانی<br>آزمایشگاه | ۱۳/۰۵         | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۱/۰۵          | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
| بهره برداری                    | ۱۰/۱۳         | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۱/۹۶          | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۱/۴           | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۱/۰۲          | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۰/۸۷۱         | پایین تر از حد مجاز ( $HQ < 1.0$ ) |
|                                | ۰/۲۸۹         | پایین تر از حد مجاز ( $HQ < 1.0$ ) |
|                                | ۰/۲۲۳         | پایین تر از حد مجاز ( $HQ < 1.0$ ) |
|                                | ۰/۲۰۴         | پایین تر از حد مجاز ( $HQ < 1.0$ ) |
| تعمیرات-بازرسی                 | ۷/۶۸          | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۳/۹           | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                | ۲/۴۵          | بالتر از حد مجاز ( $HQ > 1.0$ )    |
|                                |               |                                    |

میکروگرم بر مترمکعب برای مواجهه با بخارات آکریلونیتریل به دست آمد که بسیار کمتر از حدود مجاز بررسی شده بود و با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۴].

همچنین مشخص شد بیشترین میانگین تراکم آکریلونیتریل در هوای تنفسی افراد شاغل در بخش ایمنی و آتش نشانی با مقدار ۲۴۴ میکروگرم بر مترمکعب وجود دارد. از جمله دلایل زیاد بودن میزان مواجهه شاغلان واحد ایمنی و آتش نشانی می تواند پایش مداوم این افراد از نظر وضعیت ایمنی محیط های کاری مختلف باشد که منجر به تماس نزدیک این افراد با منابع منتشرکننده آلودگی می شود. همچنین می توان به حضور آن ها در محل های تخلیه آکریلونیتریل خالص دریافتی پتروشیمی به عنوان محصول اولیه اشاره کرد که برای تأمین موارد ایمنی مربوطه صورت می گیرد. پس از واحد ایمنی و آتش نشانی، واحد SAN (استایرن-آکریلونیتریل) به دلیل فرآوری آکریلونیتریل خالص و همچنین نبود سیستم تهویه ترقیقی و موضعی مناسب در این بخش، بیشترین مواجهه در طول شیفت کاری این افراد ثبت شد. میانگین مواجهه در شاغلان این واحد ۱۵۵ میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شد. همچنین کارکنان واحد برق و ابزار دقیق که مسئولیت عیب یابی را در وسایل و تجهیزات صنعت مدنظر بر عهده دارند، به دلیل مراجعه بیشتر به سالن های مختلف نسبت به سایر واحدها، مواجهه تنفسی بیشتری با بخارات آکریلونیتریل (۱۴۰ میکروگرم بر مترمکعب) داشته اند. کمترین تراکم آلاینده اندازه گیری شده در کارکنان واحد dryer با مقدار متوسط مواجهه تنفسی ۳/۶ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۰۱۷ پی پی ام) ثبت شد.

نتایج ارزیابی ریسک غیر سرطان زایی (بهداشتی) در مواجهه با بخارات آکریلونیتریل حاکی از آن بود که شاخص

مواجهه یافته با بخارات آکریلونیتریل برحسب واحدهای شغلی آمده است. نتایج حاصل از ریسک غیر سرطان زایی با استفاده از روش شخص خطر نشان داد ۴۷/۶ درصد از افراد بررسی شده در محدوده غیر سرطان زایی مجاز ( $HQ < 1$ ) و ۵۳/۳ درصد از افراد در محدوده بیشتر از حد مجاز ( $HQ > 1$ ) قرار داشتند. همچنین مشخص شد بیشترین میانگین شاخص خطر مربوط به واحد ایمنی و آتش نشانی با مقدار متوسط ۱۳/۰۵ است و پس از آن نیز واحدهای SAN، برق و ابزار دقیق، تأسیسات و مکانیک به ترتیب با مقادیر ۱۰/۱۳، ۷/۶۸، ۳/۹ و ۲/۴۵ بیشترین ریسک غیر سرطان زایی را در پتروشیمی بررسی شده دارند. همچنین شاغلان واحد Dryer با مقدار ۰/۲۰۴ کمترین ریسک بهداشتی را دارند. نتایج آزمون کروسکال-والیس نشان داد بین شاخص خطر با واحدهای شغلی مختلف ارتباط معناداری وجود دارد ( $P < 0.05$ ).

## بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد میانگین تراکم آکریلونیتریل در پتروشیمی بررسی شده  $122/8 \pm 71/1$  میکروگرم بر مترمکعب ( $0.33 \pm 0.056$  پی پی ام) است که این مقدار بسیار کمتر از حد مجاز مواجهه شغلی توصیه شده ( $2 \text{ ppm or } 4.34 \frac{mg}{m^3}$ ) است. Gary در مطالعه ای در سال ۲۰۱۵ نشان داد میانگین مواجهه افراد شاغل در یک کارخانه تولید مواد شیمیایی بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱، مقدار ۲ پی پی ام است [۲۰]. در مطالعه ای دیگر Thepanondh و همکاران با هدف بررسی ترکیبات آلی فرار و اثرات بهداشتی آن در نواحی مجاور صنایع پتروشیمی، میزان مواجهه را در بازه ۰/۰۰۸ تا ۱/۲ میکروگرم بر مترمکعب تعیین کردند [۲۳]. در مطالعه Bricarello نیز مقدار میانگین ۰/۰۵۲



بهداشتی ترکیب آکریلونیتریل پرداخته باشد. ازجمله محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به در نظر نگرفتن تأثیر فصول مختلف و دمای هوا در پراکندگی بخارات آکریلونیتریل به علت محدودیت زمانی اشاره کرد؛ زیرا عوامل گفته شده می‌توانند نقش بسزایی در میزان مواجهه افراد داشته باشند؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی نمونه برداری‌ها در فصول مختلف انجام شود. ازجمله مهم‌ترین محدودیت‌های روش ارزیابی ریسک استفاده شده، می‌توان به عدم توانایی بررسی اثرات هم‌افزایی حلال‌های مختلط اشاره کرد.

### نتیجه‌گیری

با استفاده از ارزیابی ریسک بهداشتی می‌توان نتایج اندازه‌گیری‌ها و ارزیابی عوامل شیمیایی مضر را در محیط کار در قالب رتبه‌بندی ارزیابی ریسک مواد شیمیایی ارائه داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص غیر سرطان‌زایی در پتروشیمی بررسی شده بیشتر از حدود توصیه شده توسط سازمان‌های ذی‌ربط است؛ لذا به‌منظور کاهش ریسک خطرات بهداشتی در مواجهه با بخارات آکریلونیتریل با توجه به اینکه نمی‌توان آن را با ماده‌ای با خطرات کمتر جایگزین کرد، پیشنهاد می‌شود از اقدامات مهندسی و کنترل مدیریتی برای کنترل آلاینده استفاده کرد؛ نظیر طراحی مجدد سیستم‌های تهویه عمومی و موضعی، کاهش ساعات مواجهه کارگران با اقداماتی از قبیل گردش کار و محدودیت ساعات مواجهه، اجرای برنامه تعمیر و نگهداری دوره‌ای سیستم‌های فرایندی، اعمال تدابیر حفاظتی هنگام تخلیه آکریلونیتریل مانند استفاده از ماسک‌های مناسب و اتاقک‌های دارای تهویه، افزایش سطح آگاهی مدیران و کارگران از اثرات مواجهه با ترکیب مذکور، لزوم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی و نیز برنامه‌های پایش مداوم غلظت آلاینده. اعمال و به‌کارگیری موارد فوق می‌تواند سطح ریسک را تا حد قابل قبول کاهش دهد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه بخشی از پایان‌نامه نویسنده اول با عنوان «ارزیابی ریسک سرطان‌زایی مواجهه شغلی با بخارات آکریلونیتریل در کارکنان یک صنعت پتروشیمی» در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۷ با کد اخلاق IR.TUMS.SP.HREC.1398.036 است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران انجام شده است.

### تضاد منافع

پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافی برای نویسندگان نداشته است.

### ملاحظات اخلاقی

افراد شرکت‌کننده در مطالعه حاضر با اهداف این مطالعه

خطر به‌طور متوسط با مقدار ۴/۰۴ در صنعت بررسی شده، مقداری بیشتر از حدود توصیه شده سازمان جهانی بهداشت و آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (HQ=۱) است. ۵۳/۳ درصد از کارکنان مقداری بیشتر از ۱ داشتند و در محدوده ریسک بهداشتی غیرمجاز بودند. ۴۷/۷ درصد از کارکنان نیز مقداری کمتر از ۱ داشتند و در محدوده ریسک بهداشتی مجاز قرار داشتند. بیشترین شاخص ریسک بهداشتی در بخش ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۱۳/۰۵ است. ازجمله دلایل آن می‌توان به بیشترین میزان مواجهه تنفسی در طول شیفت کاری بین کارکنان این واحد شغلی اشاره کرد. پس‌از آن نیز واحدهای SAN، برق و ابزار دقیق به ترتیب میانگین ریسک غیر سرطان‌زایی ۱۰/۱۳ و ۷/۶۸ داشتند.

نتایج مطالعه Chan و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد میانگین شاخص خطر در صنعت پتروشیمی مطالعه شده، ۴۳/۵ - ۴۷/۸ است که به‌مراتب بیشتر از حدود مجاز ارائه شده برای شاخص ریسک بهداشتی است [۲۹]. در مطالعه Thepanondh مقدار شاخص خطر برای نواحی مجاور پتروشیمی، کمتر از ۱ گزارش شد [۲۷]. همچنین در مطالعه Johnston و همکاران متوسط شاخص خطر در دُرّ مواجهه ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز، مقداری بین ۰/۵۳ - ۰/۲۳۸ محاسبه شد [۳۰]. در پژوهش صادقی یارندی و همکاران در زمینه ارزیابی میزان مواجهه تنفسی با ترکیب ۳،۱- بوتادین و ریسک بهداشتی ناشی از آن در یک صنعت پتروشیمی مشخص شد که میانگین وزنی-زمانی مواجهه تنفسی افراد با ترکیب ۳،۱-بوتادین طی شیفت کاری بسیار کم (۰/۲۵۳ پی‌پی‌ام) است. همچنین مشخص شد که مقدار مواجهه مذکور باعث قرارگیری ۶۰ درصد از افراد در ناحیه ریسک بهداشتی بیشتر از حد مجاز شده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۳۲].

این موضوع نشان می‌دهد که مواجهه تنفسی با ترکیبات آلی سرطان‌زا و بسیار فرّار نظیر آکریلونیتریل، بوتادین، بنزن و غیره که نرخ مخاطره زیادی نیز دارند (حتی در مقادیر بسیار کم)، می‌تواند سطوح ریسک زیادی ایجاد کند. لذا استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک بهداشتی و سرطان‌زایی، مخصوصاً در زمینه ترکیبات سرطان‌زا با فاکتور شیب زیاد، به‌عنوان مکمل ارزیابی‌های انجام شده در زمینه مواجهه تنفسی افراد در طول شیفت‌های کاری، بسیار ضروری است. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بررسی اثرات شغلی مواجهات در مقادیر ریسک بهداشتی بیشتر از ۱ گزارش نشده است و هیچ‌گونه دسته‌بندی‌ای در زمینه شدت و پیامد اثرات مواجهات تنفسی در مقادیر ریسک بهداشتی بیشتر از ۱ وجود ندارد.

ازجمله نقاط قوت مطالعه می‌توان به ارزیابی مواجهه تنفسی افراد با بخارات آکریلونیتریل و نیز ارزیابی ریسک کمی بهداشتی ناشی از مواجهه با آن اشاره کرد. مطالعات گذشته بیشتر درخصوص مواجهه با ترکیبات شناخته شده‌تر (نظیر بنزن، اتیل بنزن، استایرن، تولوئن و غیره) انجام شده‌اند و پژوهشی صورت نگرفته است که به‌صورت جامع به بررسی و ارزیابی ریسک‌های

ساجدیان، محسن صادقی یارندی و وحید احمدی؛ وارد کردن اطلاعات در نرم افزار و تجزیه و تحلیل داده ها: علی اصغر ساجدیان و یاسمن اعلا؛ انجام تصحیحات: فریده گل بابایی و علی کریمی.

### حمایت مالی

این پژوهش با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران انجام شده است.

### REFERENCES

1. Abhilash P, Singh N. Pesticide use and application: an Indian scenario. *J Hazard Materials*. 2009;165(1-3):1-12. PMID: 19081675 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.061
2. Zamanian Z, Mortazavi SM, Asmand E, Nikeghbal K. Assessment of health consequences of steel industry welders' occupational exposure to ultraviolet radiation. *Int J Prev*. 2015;6:123. PMID: 26900437 DOI: 10.4103/2008-7802.172379
3. Yarandi MS, Mahdinia M, Barazandeh J, Soltanzadeh A. Evaluation of the toxic effects of ammonia dispersion: consequence analysis of ammonia leakage in an industrial slaughterhouse. *Med Gas Res*. 2020;10(3):1-6.
4. Golbabaie F, Eskandari D, Azari M, Jahangiri M, Rahimi A, Shahtaheri J. Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex. *Iran Occup Health*. 2012;9(3):11-21. [Persian]
5. Torabi Goodarzi S, Golbabaie F, Harati B, Chang R, Ahmadi V. Relationship of lead exposure with workers' blood pressure and blood components: a case study. *Arch Occup Health*. 2020;4(1):509-15. DOI: 10.18502/aoh.v4i1.2249
6. Pourbabaki R, Samiei S, Alefi M, Sadeghi Yarandi M, Karimi A. Modeling of occupational risk factors in the development of musculoskeletal disorders in nurses. *Arch Occup Health*. 2020;4(1):474-9. DOI: 10.18502/aoh.v4i1.2253
7. Wong D, Persad AS, Berner T. Toxicological review of acrylonitrile (CAS No. 107-13-1). Washington, DC: U.S Environmental Protection Agency; 2011.
8. Pamula E, Rouxhet PG. Bulk and surface chemical functionalities of type III PAN-based carbon fibres. *Carbon*. 2003;41(10):1905-15. DOI: 10.1016/S0008-6223(03)00177-5
9. Wiles KB. Determination of reactivity ratios for acrylonitrile/methyl acrylate radical copolymerization via nonlinear methodologies using real time FTIR. Blacksburg, Virginia: Virginia Tech; 2002.
10. Neal MW. Health assessment document for acrylonitrile. New York: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development; 1982.
11. O'Berg MT. Epidemiologic study of workers exposed to acrylonitrile. *J Occup Med*. 1980;22(4):245-52. PMID: 7365560
12. Symons JM, Kreckmann KH, Sakr CJ, Kaplan AM, Leonard RC. Mortality among workers exposed to acrylonitrile in fiber production: an update. *J Occup Environ Med*. 2008;50(5):550-60. PMID: 18469624 DOI: 10.1097/JOM.0b013e318162f640
13. Swaen GM, Bloemen LJ, Twisk J, Scheffers T, Slangen JJ, Collins JJ, et al. Mortality update of workers exposed to acrylonitrile in The Netherlands. *J Occup Environ Med*. 2004;46(7):691-8. PMID: 15247808 DOI: 10.1097/01.jom.0000128161.17144.27
14. Blair A, Stewart PA, Zaebs DD. Mortality of industrial workers exposed to acrylonitrile. *Occup Health Ind Med*. 1999;1(40):20.
15. Benn T, Osborne K. Mortality of United Kingdom acrylonitrile workers-an extended and updated study. *Scand J Work Environ Health*. 1998;24(Suppl):17-24. PMID: 9714510
16. Haber L, Patterson J. Report of an independent peer review of an acrylonitrile risk assessment. *Hum Exp Toxicol*. 2005;24(10):487-527. PMID: 16270753 DOI: 10.1191/0960327105ht552oa

کاملاً آشنایی داشتند. شرکت در مطالعه کاملاً داوطلبانه بود و افراد در صورت نداشتن رضایت کامل، قادر به ترک مطالعه در هر مرحله از انجام پژوهش بودند. همچنین به افراد اطمینان داده شد که اطلاعات آنان کاملاً محرمانه خواهد ماند و صرفاً در راستای اهداف مطالعه استفاده خواهد شد.

### سهم نویسندگان

جمع آوری اطلاعات و تهیه گزارش نهایی مقاله: علی اصغر

17. Occupational Safety and Health Administration. Occupational exposure to acrylonitrile (vinyl cyanide). Proposed standard and notice of hearing. *Fed Reg*. 1978;43:2586.
18. Felter SP, Dollarhide JS. Acrylonitrile: a reevaluation of the database to support an inhalation cancer risk assessment. *Regul Toxicol Pharmacol*. 1997;26(3):281-7. PMID: 9441918 DOI: 10.1006/rtp.1997.1174
19. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Re-evaluation of some organic chemicals, hydrazine and hydrogen peroxide. Proceedings of the IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon, France, 17-24 February 1998. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*. 1999;71(Pt 1):1-315. PMID: 10507919
20. Marsh GM, Zimmerman SD. Mortality among chemical plant workers exposed to acrylonitrile: 2011 follow-up. *J Occup Environ Med*. 2015;57(2):134-45. PMID: 25612296 DOI: 10.1097/JOM.0000000000000369
21. Guo L, Yuan P, Song Y, Peng J, Wang L. Case study and environmental risk assessment of the petrochemical industry. 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China; 2011. DOI: 10.1109/RSETE.2011.5965668
22. Sadeghi Yarandi M, Soltanzadeh A, Koohpaei A, Sajedian AA, Ahmadi V, Sakari S, et al. Effectiveness of three ergonomic risk assessment tools, namely NERPA, RULA, and REBA, for screening musculoskeletal disorders. *Arch Hyg Sci*. 2019;8(3):188-201. DOI: 10.29252/ArchHygSci.8.3.188
23. National Research Council (US) Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health. Risk assessment in the federal government: managing the process. Washington (DC): National Academies Press; 1983. PMID: 25032414 DOI: 10.17226/366
24. Mills A, Foureman GL. US EPA's IRIS pilot program: establishing IRIS as a centralized, peer-reviewed data base with agency consensus. *Toxicology*. 1998;127(1-3):85-95. PMID: 9699796 DOI: 10.1016/S0300-483X(98)00038-9
25. Gehlhaus MW 3rd, Gift JS, Hogan KA, Kopylev L, Schlosser PM, Kadry AR. Approaches to cancer assessment in EPA's Integrated Risk Information System. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2011;254(2):170-80. PMID: 21034767 DOI: 10.1016/j.taap.2010.10.019
26. Yarandi MS, Karimi A, Sajedian AA, Ahmadi V. Comparative assessment of carcinogenic risk of respiratory exposure to 1, 3-Butadiene in a petrochemical industry by the US Environmental Protection Agency (USEPA) and Singapore Health Department methods. *J Health Saf Work*. 2019;10(3):237-50.
27. Karimi Zevevdagani S, Barakat S, Yazdi M. Chemical risk assessment in a chemical laboratory based on three different techniques. *J Occup Health Epidemiol*. 2016;5(3):168-75. DOI: 10.18869/acadpub.johe.5.3.168
28. Dehghani F, Omid F, Heravizadeh O, Barati Chamgordani S, Gharibi V, Sotoudeh Manesh A. Occupational health risk assessment of volatile organic compounds emitted from the coke production unit of a steel plant. *Int J Occup Saf Ergon*. 2018;26(2):227-32. PMID: 29465294 DOI: 10.1080/10803548.2018.1443593
29. Omid F, Dehghani F, Fallahzadeh RA, Miri M, Taghavi M, Eynipour A. Probabilistic risk assessment of occupational



- exposure to volatile organic compounds in the rendering plant of a poultry slaughterhouse. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019; **176**:132-6. [PMID: 30925329](#) [DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.03.079](#)
30. World Health Organization. Life expectancy at birth. Geneva: World Health Organization; 2016.
  31. Acrylonitrile; CASRN 107-13-1. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency; 1991.
  32. Sadeghi Yarandi M, Karimi A, Sajedian A, Ahmadi V, Golbabaei F. Quantitative health risk assessment of respiratory exposure to 1,3-Butadiene in a petrochemical industry. *Iran Occup Health.* 2020;**17**(1):11-9. [Persian]
  33. Thepanondh S, Varoonphan J, Sarutichart P, Makkasap T. Airborne volatile organic compounds and their potential health impact on the vicinity of petrochemical industrial complex. *Water Air Soil Pollut.* 2011;**214**(1-4):83-92. [DOI: 10.1007/s11270-010-0406-0](#)
  34. Bricarello JR. The measurement of acrylonitrile in ambient air using solid sorbent tubes and thermal desorption. California: State of California Air Resources Board; 2010.