Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 7, Issue 3, Autumn 2020, Pages: 9-17

Original Article

doi: 10.52547/johe.7.3.9

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

Ali Asghar Sajedian[1], Ali Karimi[2], Mohsen Sadeghi-Yarandi[1], Vahid Ahmadi Moshiran[1], Yasaman Aala[3], Farideh Golbabaei[4,*]

[1] *MSc, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *MSc Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[4] *Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

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

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, Golbabaei 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

Abstract

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±122.8 micrograms per cubic meter (0.033±0.056 ppm) on average. The non-carcinogenic risk was also calculated to be 4.04±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 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

Copyright © 2020 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.7.3.9

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

علی‌اصغر ساجدیان [۱]، علی کریمی [۲]، محسن صادقی یارندی [۱]، وحید احمدی [۱]، یاسمن اعلا [۳]، فریده گل‌بابایی [۴*]

[۱] کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۲] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۴] 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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

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. ازاین‌رو مطالعه حاضر با هدف تعیین میزان مواجهه و ارزیابی ریسک کمّی بهداشتی مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در کارکنان مواجهه‌یافته یک مجتمع پتروشیمی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مقطعی که در یک مجتمع پتروشیمی انجام شد، درمجموع 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. درنهایت 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 ۱۲۲/۸ ± ۷۱/۱ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۰۵۶ ± ۰/۰۳۳ پی‌پی‌ام) است. همچنین میزان ریسک غیر سرطان‌زایی نیز ۶/۹۳ ± ۴/۰۴ 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 کمّی 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

همه‌ساله مواد شیمیایی بی‌شماری به بازارهای جهانی عرضه می‌شود که به هزاران ماده شیمیایی حال حاضر در سراسر جهان اضافه می‌شود؛ بنابراین، در بسیاری از محیط‌های کاری، مواجهه با مواد شیمیایی و خطرات ناشی از آن‌ها نیز وجود دارد و در حال

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

افزایش است [۱-۳].

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 ازجمله 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) ازجمله 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 ذکرشده، 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 محدودکردن مواجهه شغلی در ایالات‌متحده 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 آمریکاست 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 کمّی 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

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

ارزیابی کرده باشد. ازاین‌رو مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ریسک کمّی بهداشتی مواجهه با بخارات آکریلونیتریل در کارگران یک صنعت پتروشیمی انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

نوع مطالعه و روش نمونه‌برداری

این مطالعه توصیفی-تحلیلی به‌صورت مقطعی در سال ۱۳۹۷ و در واحدهای ایمنی و آتش‌نشانی، تعمیرات و بازرسی، آزمایشگاه و بهره‌برداری یک صنعت پتروشیمی تولیدکننده کوپلیمر 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. به‌منظور 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 موردنیاز برای انجام پژوهش مطابق الگوی پیشنهادی، ۱۴۸ نمونه برآورد شد. درمجموع از ۴۵ نفر و هر نفر ۳ نمونه به همراه ۱۳ نمونه محیطی به‌منظور پوشش‌دادن میزان مواجهه افراد در زمان استراحت و نیز محل‌های تردد، جمع‌آوری شد.

به‌منظور 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. به‌منظور 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. به‌منظور 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^2:۰/۹۹۷۶). 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 به‌عنوان 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، درصورتی‌که مقدار شاخص خطر کمتر از یک باشد، خطر قابل‌توجهی از منظر ایجاد اثرات بهداشتی نامطلوب وجود ندارد و چنانچه این مقدار بیشتر از یک باشد، احتمال ایجاد این‌گونه اثرات وجود دارد [۳۲].

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

درنهایت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۲۵

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

جدول ۱: پارامترهای استفاده‌شده در مدل ارزیابی ریسک

منبع	مقدار	واحد	تعریف	پارامتر
نمونه‌برداری فردی در محل	-	میلی‌گرم بر مترمکعب	غلظت	C
پرسش‌نامه مشخصات فردی	۳۰	سال	دوره مواجهه	ED
پرسش‌نامه مشخصات فردی	۳۰۰ ± ۱۰	روز در سال	فرکانس مواجهه	EF
پرسش‌نامه مشخصات فردی	۸ ± ۲	ساعت در روز	زمان مواجهه	ET
[۳۰]	۶۵۷۴۵۰	ساعت	متوسط طول عمر	AT
[۳۱]	۰/۰۰۲	میلی‌گرم بر مترمکعب	غلظت رفرنس	RFC
[۲۹]	محاسبه	میلی‌گرم بر مترمکعب	غلظت مواجهه	EC
[۲۹]	محاسبه	-	شاخص خطر	HQ

نرم‌افزار SPSS انجام پذیرفت. به‌منظور بررسی تفاوت بین بخش‌های 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 به‌منظور بررسی نرمال‌بودن یا نبودن توزیع داده‌ها از آزمون آماری ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد.

یافته‌ها

یافته‌های 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 مطالعه‌شده ۱۲۲/۸ ± ۷۱/۱ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۰۵۶ ± ۰/۰۳۳ پی‌پی‌ام) بوده و در تمام موارد کمتر از حدود مجاز مواجهه تصحیح‌شده بر اساس ویژگی‌های شغل است. میزان تراکم ماده آکریلونیتریل در هوای تنفسی افراد بررسی‌شده 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 آتش‌نشانی با میانگین ۲۲۸/۵ ± ۲۴۴/۳ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۱۱۲ پی‌پی‌ام) است. پس از واحد ایمنی و آتش‌نشانی، 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 اندازه‌گیری‌شده در کارکنان واحد Dryer با مقدار متوسط $۹/۲ \times ۱۰^{-۵}$ ± ۳/۶ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۰۰۱۷ پی‌پی‌ام) ثبت شد. به‌طورکلی نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد بین واحدهای مختلف و میانگین غلظت آکریلونیتریل ارتباط معناداری وجود ندارد (P>۰/۰۵).

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	حداقل تراکم میلی‌گرم بر مترمکعب (پی‌پی‌ام)	حداکثر تراکم میلی‌گرم بر مترمکعب (پی‌پی‌ام)	میانگین تراکم میلی‌گرم بر مترمکعب (پی‌پی‌ام)
ایمنی و آتش‌نشانی		۱۵	۰/۰۰۷۱ (۰/۰۰۳۲)	۰/۴۹۸ (۰/۲۲۹)	۰/۲۴۴ (۰/۱۱۲)
آزمایشگاه		۲۷	۰/۰۰۳ (۰/۰۰۱۴)	۰/۰۶۲ (۰/۰۲۸)	۰/۰۱۸ (۰/۰۰۸۳)
بهره‌برداری	SAN	۱۲	۰/۰۷۵ (۰/۰۳۴)	۰/۳۷۵ (۰/۱۷۲)	۰/۱۵۵ (۰/۰۷۱)
	کواگولیشن	۶	۰/۰۰۴ (۰/۰۰۱۸)	۰/۰۶۴ (۰/۰۲۹)	۰/۰۳۴ (۰/۰۱۶)
	کامپاند ۱	۹	۰/۰۰۳۲ (۰/۰۰۱۵)	۰/۰۵۲ (۰/۰۲۴)	۰/۰۲۷ (۰/۰۱۲)
	کامپاند ۲	۹	۰/۰۰۳۲ (۰/۰۰۱۵)	۰/۰۲۸ (۰/۰۱۳)	۰/۰۱۸ (۰/۰۰۸۲)
	سرپرستی	۹	۰/۰۰۷۳ (۰/۰۰۳۴)	۰/۰۳ (۰/۰۱۴)	۰/۰۱۵ (۰/۰۰۶۹)
	بسته‌بندی	۶	۰/۰۰۳۹ (۰/۰۰۱۸)	۰/۰۰۵ (۰/۰۰۲۳)	۰/۰۰۴۴ (۰/۰۰۲)
	PBL	۶	۰/۰۰۳۹ (۰/۰۰۱۸)	۰/۰۰۵۳ (۰/۰۰۲۳)	۰/۰۰۴۶ (۰/۰۰۲۱)
	Dryer	۶	۰/۰۰۳۵ (۰/۰۰۱۶)	۰/۰۰۳۷ (۰/۰۰۱۷)	۰/۰۰۳۶ (۰/۰۰۱۶)
تعمیرات-بازرسی	برق و ابزار دقیق	۱۲	۰/۰۱ (۰/۰۰۴۶)	۰/۳۵ (۰/۱۶)	۰/۱۴۰ (۰/۰۶۴)
	تأسیسات	۱۲	۰/۰۰۳۴ (۰/۰۰۱۶)	۰/۲۳۳ (۰/۱۰۲)	۰/۰۶۹ (۰/۰۰۳۱)
	مکانیک	۶	۰/۰۳۵ (۰/۰۱۶)	۰/۰۴۶ (۰/۰۲۱)	۰/۰۴۱ (۰/۰۰۱۹)

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

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

واحد شغلی		ارزیابی ریسک غیر سرطان‌زایی	
		شاخص خطر (HQ)	سطح ریسک غیر سرطان‌زایی
ایمنی و آتش‌نشانی		۱۳/۰۵	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
آزمایشگاه		۱/۰۵	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
بهره‌برداری	SAN	۱۰/۱۳	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
	کواگولیشن	۱/۹۶	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
	کامپاند ۱	۱/۴	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
	کامپاند ۲	۱/۰۲	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
	سرپرستی	۰/۸۷۱	پایین‌تر از حد مجاز (HQ<1.0)
	بسته‌بندی	۰/۲۸۹	پایین‌تر از حد مجاز (HQ<1.0)
	PBL	۰/۲۲۳	پایین‌تر از حد مجاز (HQ<1.0)
	Dryer	۰/۲۰۴	پایین‌تر از حد مجاز (HQ<1.0)
تعمیرات-بازرسی	برق و ابزار دقیق	۷/۶۸	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
	تأسیسات	۳/۹	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)
	مکانیک	۲/۴۵	بالاتر از حد مجاز (HQ>1.0)

مواجهه‌یافته با بخارات آکریلونیتریل برحسب واحدهای شغلی آمده است. نتایج حاصل از ریسک غیر سرطان‌زایی با استفاده از روش شخص خطر نشان داد ۴۷/۶ درصد از افراد بررسی‌شده در محدوده غیر سرطان‌زایی 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 آتش‌نشانی با مقدار متوسط ۱۳/۰۵ است و پس‌ازآن 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 سرطان‌زایی را در پتروشیمی بررسی‌شده 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<۰/۰۵).

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد میانگین تراکم آکریلونیتریل در پتروشیمی بررسی‌شده ۱۲۲/۸ ± ۷۱/۱ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۰۵۶ ± ۰/۰۳۳ پی‌پی‌ام) است که این مقدار بسیار کمتر از حد مجاز مواجهه شغلی توصیه‌شده ($2\ ppm\ or\ 4.34\frac{mg}{m^3}$) است. Gary در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۵ نشان داد میانگین مواجهه افراد شاغل در یک کارخانه تولید مواد شیمیایی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱، مقدار ۲ پی‌پی‌ام است [۲۰]. در مطالعه‌ای دیگر Thepanondh و همکاران با هدف بررسی ترکیبات آلی فرّار و اثرات بهداشتی آن در نواحی مجاور صنایع پتروشیمی، میزان مواجهه را در بازه ۰/۰۰۸ تا ۱/۲ میکروگرم بر مترمکعب تعیین کردند [۳۳]. در مطالعه Bricarello نیز مقدار میانگین ۰/۰۰۵۲ میکروگرم بر مترمکعب برای مواجهه با بخارات آکریلونیتریل به‌دست آمد که بسیار کمتر از حدود مجاز بررسی‌شده بود و با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد [۳۴].

همچنین مشخص شد بیشترین میانگین تراکم آکریلونیتریل در هوای تنفسی افراد شاغل در بخش ایمنی و آتش‌نشانی با مقدار ۲۴۴ میکروگرم بر مترمکعب وجود دارد. ازجمله دلایل زیادبودن میزان مواجهه شاغلان واحد ایمنی و آتش‌نشانی می‌تواند پایش مداوم این افراد از نظر وضعیت ایمنی محیط‌های کاری مختلف باشد که منجر به تماس نزدیک این افراد با منابع منتشرکننده آلودگی می‌شود. همچنین می‌توان به حضور آن‌ها در محل‌های تخلیه آکریلونیتریل خالص دریافتی پتروشیمی به‌عنوان محصول اولیه اشاره کرد که برای تأمین موارد ایمنی مربوطه صورت می‌گیرد. پس از واحد ایمنی و آتش‌نشانی، 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 عیب‌یابی را در وسایل و تجهیزات صنعت مدنظر بر عهده‌دارند، به دلیل مراجعه بیشتر به سالن‌های مختلف نسبت به سایر واحدها، مواجهه تنفسی بیشتری با بخارات آکریلونیتریل (۱۴۰ میکروگرم بر مترمکعب) داشته‌اند. کمترین تراکم آلاینده اندازه‌گیری‌شده در کارکنان واحد dryer با مقدار متوسط مواجهه تنفسی ۳/۶ میکروگرم بر مترمکعب (۰/۰۰۱۷ پی‌پی‌ام) ثبت شد.

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

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

خطر به‌طور متوسط با مقدار ۴/۰۴ در صنعت بررسی‌شده، مقداری بیشتر از حدود توصیه‌شده 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. پس‌ازآن 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 مطالعه‌شده، ۴۳/۵ - ۴۷/۸ است که به‌مراتب بیشتر از حدود مجاز ارائه‌شده 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 دُز مواجهه ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز، مقداری بین ۰/۰۵۳ - 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 انجام‌شده 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 کمّی بهداشتی ناشی از مواجهه با آن اشاره کرد. مطالعات گذشته بیشتر درخصوص مواجهه با ترکیبات شناخته‌شده‌تر (نظیر بنزن، اتیل بنزن، استایرن، تولوئن و غیره) انجام شده‌اند و پژوهشی صورت نگرفته است که به‌صورت جامع به بررسی و ارزیابی ریسک‌های بهداشتی ترکیب آکریلونیتریل پرداخته باشد. ازجمله محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به درنظرنگرفتن تأثیر فصول مختلف و دمای هوا در پراکندگی بخارات آکریلونیتریل به علت محدودیت زمانی اشاره کرد؛ زیرا عوامل گفته‌شده می‌توانند نقش بسزایی در میزان مواجهه افراد داشته باشند؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی نمونه‌برداری‌ها در فصول مختلف انجام شود. ازجمله مهم‌ترین محدودیت‌های روش ارزیابی ریسک استفاده‌شده، 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. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص غیر سرطان‌زایی در پتروشیمی بررسی‌شده بیشتر از حدود توصیه‌شده 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 قابل‌قبول 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.SPH.REC.1398.036 است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران انجام شده است.

تضاد منافع

پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافعی برای نویسندگان نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

افراد شرکت‌کننده در مطالعه حاضر با اهداف این مطالعه

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

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

جمع‌آوری اطلاعات و تهیه گزارش نهایی مقاله: علی‌اصغر ساجدیان، محسن صادقی یارندی و وحید احمدی؛ واردکردن اطلاعات در نرم‌افزار و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها: علی‌اصغر ساجدیان و یاسمن اعلا؛ انجام تصحیحات: فریده گل‌بابایی 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, Golbabaei 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, Zaebst 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
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/rtph.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 Zeverdegani 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, Omidi 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. Omidi F, Dehghani F, Fallahzadeh RA, Miri M, Taghavi M, Eynipour A. Probabilistic risk assessment of occupational

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]

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.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.52547/johe.7.3.9]