Archive of SID

Journal of Health

Vol. 6, No. 5, Winter 2015, Pages 517 - 526

Health Risk Assessment of Occupational Exposure to Benzene Using Fuzzy Method, Case Study (Petrochemical Benzene Disproportionation Unit)

Novin V*[1], Givehchi S[2], Hoveidi H[2]

1. Graduate student of health and safety, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran
2. Assistant Professor, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran
Corresponding author. Tel: +989128920272 Fax: +982166593226 E-mail: Vahid_Novin83@yahoo.com

Received: Sep 13, 2014 Accepted: Jan 17, 2015

ABSTRACT

Background & objectives: Uncertainty and variability are inevitably included in health risk assessment. The objective of this study is to develop an integrated approach to evaluate risks of benzene using fuzzy logic to consider variety of factors and actual respiration rate of cases.
Methods: This is a descriptive analytic study. In this study an integration model was created based on fuzzy logic and it was invented by using fuzzy toolbox in Matlab software, then by using IRIS instruction, the CDI rate and cancer and non-cancer risk was calculated. A questionnaire was also prepared to expand on the Information about jobs, activities, tasks and sites came from interviews with employees. Active sampling was performed within a week for each season and finally 280 samples were collected after one year.
Results: The results of air sampling have shown the concentration of benzene in the air at the site and loading units is beyond the standard (PEL-TWA). results of risk assessment indicates that among different groups , due to more contacts with pollutants, cancer risk in people working in loading Units is higher than the Standard measure , and requires controlling action.
Conclusion: The proposed approach handles the uncertainties in health risk assessment using combination of probability and fuzzy set theory. The results show that the assessment of risk with this method will cover wide range of affective factors and risk assessment will be dealt with more details and explanations.
Keywords: Risk Assessment; Health Hazards; Benzene; Fuzzy Logic.

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی خطر بهداشتی مواجهه شغلی ناشی از بنزن با استفاده از روش فازی، مطالعه موردی (واحد جداسازی بنزن در یک پتروشیمی‌نمونه)

وحید نوین[1]*، سعید گیوه چی[2]، حسن هویدی[2]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد ایمنی و بهداشت دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست

۲. استادیار و عضو هیئت علمی گروه سوانح و ایمنی دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۲۸۹۲۰۲۷۲ فکس: ۰۲۱۶۶۵۹۳۲۲۶ ایمیل: vahid_novin83@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: وجود پارامترهای اثرگذار نامشخص و عدم قطعیت در بحث ارزیابی مخاطرات بهداشتی، پیش بینی دقیق خطرات را با عدم اطمینان و پیچیدگی مواجه کرده است. هدف از این تحقیق آن است که با اعمال متغیرهای اثرگذار و بدست آوردن میزان تنفس یا نرخ جذب صحیح از آلاینده مورد نظر رتبه بندی خطر دقیق تر و کامل تری صورت گیرد.

روش کار: این پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی بوده که پس از انجام مطالعات اسنادی و بازدید میدانی مدلی بر اساس منطق فازی به کمک جعبه افزار فازی در نرم افزار Matlab برای در نظرگرفتن عوامل مختلف و بدست آوردن میزان تنفس واقعی افراد ساخته شده، سپس با بکارگیری دستورالعمل‌های IRIS میزان CDI و خطر سرطانی و غیرسرطانی محاسبه گردید. نمونه برداری فعال جهت تعیین تراکم بنزن برای هر فصل از سال صورت گرفت و در پایان سال تعداد ۲۸۰ نمونه از جمع آوری گردید.

یافته ها: نتایج نمونه برداری محیط نشان داد که کار تراکم بنزن در هوا در واحد بارگیری و سایت فرآیندی بیش از حد مجاز (PEL-TWA) بود. همچنین میزان خطر سرطانی گروه های شغلی واحد بارگیری به علت تماس بیشتر با آلاینده، بالاتر از حد استاندارد بوده و نیاز به اقدامات کنترلی داشت.

نتیجه گیری: نتایج بدست آمده نشان می دهد که ارزیابی خطر با کمک روش فازی طیف وسیعی از عوامل تاثیرگذار را در بر می گیرد. متغییر های کیفی و مبهم در مباحث بهداشتی را می‌توان با روش فازی صورت بندی ریاضی نمود و در محاسبات ارزیابی خطر بصورت کمی بکار برد.

واژه های کلیدی: ارزیابی خطر سلامت، مخاطرات بهداشتی، بنزن، منطق فازی

دریافت: ۹۳/۶/۲۲ **پذیرش:** ۹۳/۱۰/۲۷

مقدمه

بنزن یک ماده شیمیایی سمی‌و سرطانزا است که بصورت گسترده‌ای در صنایع پتروشیمی‌و اغلب به عنوان ماده اولیه یا واسطه برای تولید محصولات شیمیایی مانند پلاستیک، لاستیک مصنوعی، رنگ و آفت‌کش‌ها استفاده می‌شود. تماس کوتاه مدت از نوع حاد با بنزن در غلظت‌های بالا، باعث اختلال در سیستم اعصاب مرکزی گردیده و در نتیجه منجر به خواب آلودگی، گیجی، سردرد، تهوع و بی‌حالی می‌گردد. تماس با غلظت‌های بالاتر از ۲۰۰۰ppm برای ۵ تا ۱۰ دقیقه باعث مرگ می‌گردد. مهم ترین اثر بهداشتی بنزن، اثر آن بر روی سیستم خون‌ساز می‌باشد. بنزن بر کبد و مغز استخوان نیز تاثیر می‌گذارد (۱). چندین موسسه از جمله انجمن تحقیقات سرطان دنیا، انجمن حفاظت محیط زیست امریکا، اداره خدمات بهداشت امریکا، بنزن را عامل سرطان خون (لوسمی) و دارای درجه سرطان زایی «۱» معرفی کرده‌اند (۲). علاوه بر میزان تراکم بنزن

www.SID.ir

Archive of SID

و زمان تماس شغلی، نوع تغذیه، سن، جنسیت، وجود پارامترهای اثرگذار نامشخص و عدم قطعیت در بحث ارزیابی مخاطرات و موضوع سرطانزایی این ماده، پیش‌بینی کمی‌و دقیق خطر را با عدم اطمینان و پیچیدگی مواجه کرده است. روش‌های متداول امروزی تا حدی قادر به رتبه‌بندی مخاطرات این ماده شیمیایی هستند، اما نمی‌توانند میزان و نحوه اثر تمامی عوامل اثرگذار بر شدت آسیب را تعیین کنند. پتروشیمی مورد نظر علاوه بر تولید محصولاتی مانند ارتوزایلین و پارازایلین، سالیانه ۴۳۰ هزار تن بنزن تولید می‌کند. از آنجایی‌که بنزن دارای فشار بخار بالایی می‌باشد، می‌تواند به راحتی در محیط انتشار یابد، بنابراین کارکنان مشغول در واحد استخراج بنزن در معرض تماس با حجم زیادی از بنزن خواهند بود (۱). مشکل اصلی که در رابطه با خطرات بنزن وجود دارد این است که بر خلاف حوادث شغلی که بلافاصله بعد از وقوع یک جراحت نمایان می‌گردد، عواقب حاصل از تماس با یک خطر بهداشتی ممکن است ماه‌ها و گاهی سال‌ها طول بکشد تا خود را نشان دهد، به همین منظور لازم است که با بکارگیری روش‌های جامع و مناسب، خطرات موجود را ارزیابی و مدیریت نمود (۳). لذا در این مطالعه خطر بهداشتی افراد در معرض، با کمک ابزار منطق فازی انجام شد. این روش قادر است حتی عوامل خطر نیمه کمی و کیفی را به صورت کمی رتبه‌بندی کند و در فرآیند ارزیابی خطر تمامی‌آنها را به صورت عددی بکار گیرد. با این تکنیک می‌توان اطلاعات کیفی و توصیفی را با دیگر داده‌های کمی هماهنگ کرد. بدین ترتیب بسیاری از عوامل موثر مانند شدت فعالیت فرد را که مهم هستند ولی اطلاعات کمی در موردشان وجود ندارد، مدل‌سازی ریاضی کرده و دقت ارزیابی را افزایش داد (٤).

با توجه به اینکه روش منطق فازی تا کنون در زمینه ارزیابی بهداشتی و سلامت در ایران بکار گرفته نشده است و از طرفی تعداد زیادی از منابع با ارزش انسانی کشور در معرض تماس با بنزن هستند و بطور قطعی معلوم نیست پس از گذشت سال‌ها چه اثراتی بر روی سلامتی آنها خواهد گذاشت، این پژوهش به منظور بررسی خطرات بهداشتی بنزن در یکی از واحدهای پتروشیمی کشور انجام شد.

روش کار

این پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی بود. پس از انجام مطالعات اسنادی و بازدید میدانی، و جمع‌آوری اطلاعات لازم، میزان خطر بهداشتی مواجهه شغلی با بنزن برای کارکنان تعیین خواهد شد. برای انجام ارزیابی خطر سلامت ٤ گام مهم لازم است (۵). در این تحقیق بکارگیری این چهار مرحله به شرح زیر صورت گرفت:

شناسایی خطرات

فرآیند شناسایی خطرات مراحل زیر را در بر گرفت (۶):

- شناسایی همهٔ گروه‌های شغلی؛
- بررسی لیست مواد موجود در انبار، صورت موجودی، دفتر ثبت، شناسنامه ایمنی مواد شیمیایی[1] (MSDS)؛
- بازدید از همه محل‌های نگهداری و فرایندهای مصرف‌کننده مواد شیمیایی؛
- توجه به تمام مواد تولید شده در فرایند کاری، محصولات جانبی، محصولات نهایی و کلیه عواملی که از فرآیند بیرون می‌آیند، نظیر پسماندها (جامد و مایع)، ضایعات و ترکیبات ناپایدار.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری تراکم بنزن

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بنزن به شرح زیر صورت گرفت:

جهت نمونه‌برداری و سنجش بنزن از هوا، روش انستیتوی ملی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی آمریکا

[1] Material Safety Data Sheet

www.SID.ir

Archive of SID

(NIOSH)[1] شماره ۱۵۰۱ (هیدرو کربن‌های آروماتیک) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور نمونه‌برداری از هوای استنشاقی لوله جاذب زغال فعال با منشاء پوست نارگیل (۱۰۰/۵۰mgsection) استفاده گردید. در این روش بخارات بنزن روی لوله جاذب حاوی کربن فعال جمع‌آوری و با دی سولفید کربن بازیافت می‌شود. سپس با استفاده از دستگاه گازکروماتوگرافی دارای آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای، تجزیه و تعیین مقدار می‌گردد (۷). در این تحقیق نمونه‌برداری فعال به صورت روزانه و به مدت یک هفته (هفته ششم فصل) در هر فصل از سال انجام شد. در هر هفته ۷۰ نمونه و در نهایت برای یک سال تعداد ۲۸۰ نمونه جمع‌آوری گردید.

ارزیابی مقدار تماس

در فرمول‌های محاسبه خطر بهداشتی مقدار تنفس یا IR[2] اغلب عددی ثابت در نظر گرفته می‌شود ($۰/۸۷۵m^3/h$ برای فرد بالغ)، اما در حقیقت این مقدار دقیق و واقعی نیست، چرا که میزان تنفس هر فرد تحت تاثیر عوامل گوناگون دیگری از قبیل سن و وزن فرد، سیگاری بودن یا نبودن، نوع فعالیت روزمره و... قرار دارد. لازم است یادآوری شود که میزان تاثیر این عوامل نیز درجات مختلف دارد، یعنی شدت هر کدام به نسبت‌های مختلفی باعث افزایش یا کاهش IR خواهد بود (۸،۹).

برای بررسی مقدار تماس کارکنان در معرض، چک‌لیست ارزیابی تماس تهیه و برای هر واحد بطور جداگانه تکمیل گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سن، وزن و نحوه فعالیت کارکنان، میزان تنفس واقعی هر فرد با استفاده از تکنیک فازی محاسبه گردید.

کاربرد منطق فازی در ارزیابی خطر بهداشتی

اطلاعات ورودی در مباحث بهداشتی اغلب صفاتی مبهم و نا مشخص مانند کم، زیاد، خطرناک و... هستند. پس در ابتدا لازم است تا این صفات کمی‌سازی شده و به مجموعه‌های فازی تبدیل گردند. سپس مدل مجموعه‌های فازی ساخته شده بر اساس پایگاه قوانین منطق فازی یعنی قوانین «اگر، آنگاه» تفسیر خواهند شد. در واقع منطق فازی تجربه و دانش انسانی را به ترکیبی از اعداد ریاضی و کمی تبدیل می‌کند (۱۰). لذا در این مرحله پارامترهای سن، وزن و نوع فعالیت که از پارامترهای مهم در اندازه تنفس و میزان جذب آلاینده می‌باشند، به عنوان ورودی‌های سیستم فازی در نظر گرفته شده و رتبه‌بندی خواهند شد. سپس با استفاده از جعبه‌افزار فازی[3] به اعداد فازی تبدیل خواهند شد (۱۱). ابتدا جداول مربوط به رتبه‌بندی و ارزش‌گذاری پارامترهای سن (جدول ۱)، وزن (جدول ۲) و فعالیت فیزیکی (جدول ۳)، در زمینه ارزیابی خطر بهداشتی ارائه می‌گردد (۱۲).

جدول ۱. جدول رتبه‌بندی متغیر سن (۱۲)

اندازه متغیر (سن)	ارزش زبانی یا گفتاری
۱۸ – ۳۰	کم
۲۵ – ۶٤	متوسط
۵۹ – ۸۰	زیاد

جدول ۲. جدول رتبه‌بندی متغیر وزن (۱۲)

اندازه متغیر (وزن)	ارزش زبانی یا گفتاری
٤۵ – ۶۵	کم
۵۵ -۹۵	متوسط
۸۵ -۱۱۰	زیاد

جدول ۳ نشان‌دهنده تقسیم بندی فعالیت‌های فیزیکی بر اساس میزان متابولیسم پایه[4] (BMR) می‌باشد. BMR معیاری برای ارزیابی مقدار کالری مورد نیاز بدن است و توسط آن مقدار کالری که باید روزانه توسط فرد مصرف شود، محاسبه می‌شود (۱۲).

[1] National Institute for Occupational Safety and Health
[2] Inhalation Rate
[3] Fuzzy Logic Toolbox
[4] Basal Metabolic Rate

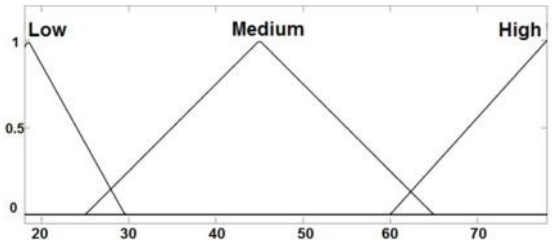
www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳. جدول تقسیم بندی فعالیت‌های فیزیکی (۱۲)

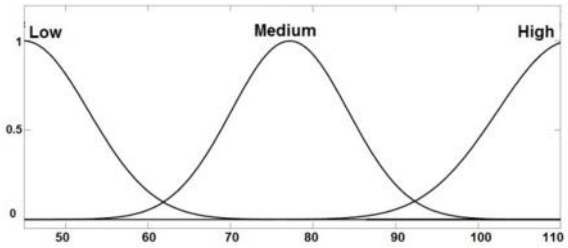
فعالیت فیزیکی	ضریب BMR
کم تحرک (نشسته و تحرک بسیار کم)	۱/۲-۱/۷
تحرک متوسط (ایستاده و نسبتاً ساکن)	۱/۸-۱/۹
پرتحرک (فعالیت ورزشی، روزانه ۶۰ دقیقه)	۲-۲/۳
تحرک بسیار زیاد (کارهای بسیار سنگین روزانه)	۲-٤/۲

پس از رتبه‌بندی متغیرها توسط جعبه افزار فازی به مجموعه‌های فازی تبدیل می‌شوند. شکل ۱ اعداد فازی مثلثی مربوط به متغیر ورودی سن را نشان می‌دهد. محور افقی نشانگر اندازه پارامتر مورد نظر و محور عمودی نشان‌دهنده درجه عضویت یا میزان تعلق هر یک از مقادیر می‌باشد (۱۱).

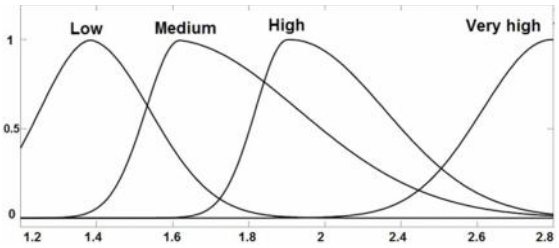


شکل ۱. تابع عضویت مربوط به متغیر ورودی «سن» (۱۱)

متغیر بعدی که به مجموعه فازی تبدیل می‌گردد، پارامتر وزن می‌باشد. در این قسمت بر اساس رتبه‌بندی موجود در جدول ۲ و توابع توزیع نرمال در جعبه افزار فازی، متغیر وزن نیز به صورت عدد فازی نمایش داده می‌شود (شکل ۲). در شکل ۳ سطوح مختلف پارامتر فعالیت فیزیکی نیز با استفاده از توابع عضویت نرمال در نرم افزار Matlab به مجموعه فازی تبدیل شده و رسم گردید.

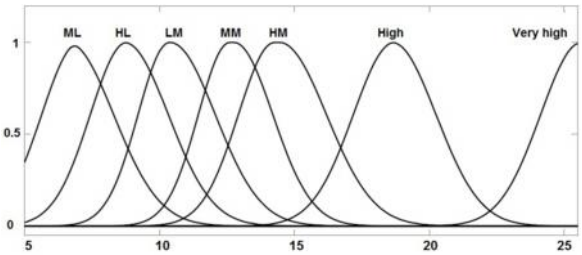


شکل۲. تابع عضویت مربوط به متغیر ورودی «وزن» (۱۱)



شکل ۳. تابع عضویت مربوط به متغیر ورودی «فعالیت فیزیکی» (۱۱،۱۲)

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، عباراتی همچون کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را که به راحتی قابل تفسیر نیستند، پس از تبدبل کردن به اعداد فازی می‌توان بصورت کمی ارزش‌گذاری و تفکیک کرد تا بتوان در محاسبات عددی آنها را بکار گرفت (۱۰). شکل ٤ عدد فازی مربوط به خروجی سیستم می‌باشد. خروجی سیستم میزان تنفس روزانه فردی را بر اساس داده‌های ورودی نشان می‌دهد.



شکل ٤. تابع عضویت مربوط به متغیر خروجی «میزان تنفس» (۱۱، ۱۲)

ساخت قواعد فازی

اصول استنتاج فازی در بسیاری از منابع موجود است، ولی از پرکاربردترین استنتاج فازی می‌توان به مدل ممدانی[1] و مدل خطی Sugeno اشاره کرد. روش ممدانی که در این تحقیق و در نرم افزار Matlab انتخاب شده است، مستلزم آن می‌باشد که تابع خروجی مجموعه فازی باشد (۱۳). مثال زیر نمونه‌ای از مدلسازی فازی می‌باشد که در آن از قواعد اگر- آنگاه به منظور استنتاج بر مبنای منطق فازی استفاده شده است.

[1] Mamdani

www.SID.ir

Archive of SID

۱- میزان تنفس تناسب مستقیم با سطح فعالیت دارد.

۲- میزان تنفس تناسب معکوس با افزایش سن دارد.

اینگونه تفسیر خواهد شد:

اگر سطح فعالیت زیاد (کم) باشد، آنگاه میزان تنفس زیاد (کم) خواهد بود.

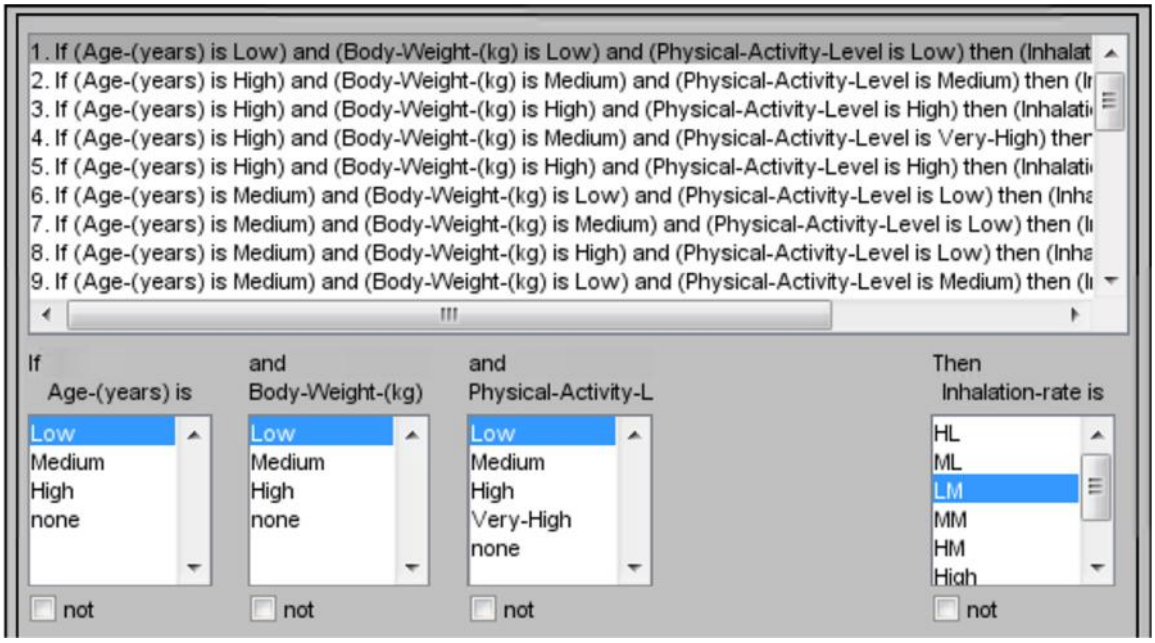
اگر سن افراد بالا (پایین) باشد، آنگاه میزان تنفس کم (زیاد) خواهد بود.

قواعد فازی یک ارتباط منطقی بین متغیرهای ورودی و خروجی‌های فازی را نشان می‌دهند. بکارگیری قواعد ارزیابی فازی کمک می‌کند تا با استفاده از تجربیات و اطلاعات موجود بهترین سناریو برای پیش‌بینی مخاطرات ساخته شود تا نقاط بحرانی به این طریق شناسایی شده و تدابیر لازم اتخاذ گردد (۱٤).

شکل ۵ نمایش گرافیکی قواعد فازی ساخته شده با نرم افزار Matlab می‌باشد. این قوانین به عنوان پایگاه اطلاعاتی مرجع در سیستم ذخیره شده و در مراحل بعد برای محاسبه میزان تنفس در موقعیت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دیفازی سازی و کمی‌کردن داده‌های خروجی

به منظور دیفازی سازی، ۵ روش از پیش ساخته شده وجود دارند؛ ولی پرکاربردترین آنها روش مرکز ثقل نام دارد که مرکز سطح زیر منحنی را نشان می‌دهد (۱۵). در این تحقیق به منظور دیفازی‌سازی داده‌ها روش مرکزثقل در نرم افزار Matlab انتخاب شد. در مرحله دیفازی‌سازی برآیند متغیرهای ورودی و دیگر فاکتورهای اثرگذار بر روی اندازه خطر به صورت عددی نمایش داده می‌شود. داده خروجی در این تحقیق میزان تنفس فردی می‌باشد.



شکل ۵. پایگاه قوانین ساخته شده در نرم افزار Matlab

محاسبه مقدار جذب آلاینده

بدین منظور پس از نمونه‌برداری و تعیین غلظت ماده شیمیایی مورد نظر در هوای منطقه مورد مطالعه، از دستورالعمل تعریف شده آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا که طی برنامه سیستم هماهنگ اطلاعات خطر به چاپ رسیده است، استفاده شد تا مقدار غلظتی که هر فرد با این ماده خطرناک در هوا از طرق مختلف در تماس است، شناسایی شود (۱۶). مقدار تماس از طریق تنفس، جداگانه محاسبه و مشخص شد. سیستم IRIS طی بررسی مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

گسترده، فاکتورهایی از قبیل طول عمر متوسط، وزن متوسط، ضرایب جذب و مدت تماس را ارائه کرده که با استفاده از آن، مشخص شد که هر فرد در محدوده مورد مطالعه به طور متوسط چه میزان هوا استنشاق کرده و چه مقدار ماده آلاینده جذب بدن او می‌شود (۸). میزان دریافت روزانهٔ آلاینده ناشی از تنفس با استفاده از رابطه۱ محاسبه شد (۱۶):

$$CDI_{inhal}=CA\times IR\times ET\times EF\times ED/(BW\times AT) \quad (۱)$$

که در آن:

CDI_{Iinhal}[1]= میزان دریافت روزانهٔ آلایندهٔ ناشی از تنفس (mg/kg/day)؛

IR= میزان تنفس انسان (m^3/h)؛

Cair[2]= تراکم ماده در هوا (mg/m^3)؛

از آنجایی که در هر عمل دم تقریباً ۵۰ درصد بنزن توسط ریه‌ها جذب بدن می‌گردد و نصف دیگر همراه با عمل بازدم از بدن خارج می‌شود، در هنگام محاسبه CDI_{inhal} نصف مقدار Ca اندازه‌گیری شده را در نظر می‌گیرند (۱).

EF[3]= تعداد دفعات تماس (۲۵۰ روز در سال)

ED[4]= تعداد سال‌هایی که احتمال بیمارشدن وجود دارد یا دوره یا طول مواجهه (۳۰ سال برای کارگران)

ET[5]= تعداد ساعات شبانه روز در تماس با آلاینده (۸ ساعت در روز برای کارگران و برای ساکنان دائمی ۲٤ ساعت

BW= وزن بدن بر حسب کیلو گرم (بطور متوسط ۷۰/٥٤ کیلوگرم)

AT[6]= روزهای طول عمر انسان که برای بیماری‌های سرطانی و محاسبه خطر آن معادل ۷۰ سال (میانگین کل طول عمر) ضرب در ۳۶۵ روز است و برای ارزیابی مخاطرات غیرسرطانی معادل زمانی است که در تماسیم. یعنی ۳۰ سال ضربدر ۳۶۵ روز خواهد بود (۸،۱۶).

ارزیابی خطر سرطانی بنزن

در بحث آثار سرطانی حتی کمترین میزان تماس با آلاینده مورد نظر باعث افزایش خطر بروز سرطان در انسان‌ها می‌شود (۹). پس از تعیین مقدار تماس روزانه از راه تنفس، از رابطه ۲ برای محاسبه مقدار خطر سرطان استفاده می‌شود (۱۶).

$$\text{Cancer risk} = CDI \times CSF \quad (۲)$$

CSF[7]= دوز مرجع تنفسی می‌باشد که مقدار آن برای بنزن برابر با ($2.73\times10^{-2}\ mg/kg/d^{-1}$) تعیین شده است (۹).

استاندارد تعیین شده برای خطر سرطانی بنزن ۱×۱۰^{-۶} می‌باشد (احتمال سرطان یک نفر در یک میلیون نفر). این بدان معنی است که سطح قابل قبول CR یک نفر در یک میلیون نفر می‌باشد (۱).

محاسبه خطر غیر سرطانی

پس از تعیین مقدار نهایی تماس افراد با ماده خطرناک، از فاکتورهای RFC[8] و CDI استفاده شد تا خطر غیرسرطان در اثر تماس با ماده شیمیایی محاسبه و ارزیابی شود. خطر غیرسرطانی را با اندیس HQ[9] نشان می‌دهند (فرمول۳) (۱۸)

$$HQ_{inhalation}=CDI_{inhalation}/RfC_{inhalation} \quad (۳)$$

اگر مقدار HQ کمتر از یک بشود، آلاینده مورد نظر از نظر خطر غیر سرطانی در حد قابل قبول خواهد بود (۷). استانداردهای لازم در رابطه با ارزیابی خطر بهداشتی بنزن در جدول ٤ آورده شده است. لازم به یادآوری است که برای محاسبه CDI خطر غیرسرطانی، مقدار AT را (۳۶۵روز × ۳۰سال) در نظر می‌گیرند (۸).

[1] Chronic Daily Intake
[2] Concentration
[3] Exposure Frequency
[4] Exposure Duration
[5] Exposure Time
[6] Average Time

[7] Cancer Slope Factor
[8] Reference Dose for Inhalation
[9] Hazard Quotient

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. استانداردهای مربوط به ارزیابی خطر بهداشتی بنزن (۱)

RfC (mg/m^3)	CSF ($mg/kg/d^{-1}$)	TWA(ppm) ACGIH	OSHA
3×10^{-2}	2.73×10^{-2}	0.5	1

یافته‌ها

نتایج میزان تماس محیطی کارکنان در محل‌های کاری که کارکنان در تماس با بنزن هستند، شامل واحد مخازن، واحد بارگیری، سایت (راکتورها و برج تقطیر)، اتاق کنترل و آزمایشگاه در مقایسه با مقادیر حدود مجاز، حاکی از پایین‌بودن غلظت آلاینده بنزن در هوای محیطی اکثر واحدها در مقایسه با استانداردهای موجود می‌باشد. لذا با توجه به نتایج موجود در جدول ۵، تراکم بنزن در هوا در واحد بارگیری و سایت بیش از استاندارد (PEL-TWA) می‌باشد. تراکم بنزن در واحد مخازن و اتاق کنترل صفر می‌باشد، بنابراین از ذکر آنها در جدول خودداری شد.

نتایج محاسبه میزان تنفس فردی

در این مرحله تعیین میزان واقعی تنفس کارکنان با استفاده از نرم افزار Matlab و تکنیک فازی انجام شد و میزان واقعی تنفس با استفاده از سیستم فازی بدست آمد. مقدار تنفس ساعتی هر فرد در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵. میانگین تماس محیطی (۲)

غلظت بنزن / محل‌های کاری	TWA (ppm)	میانگین سالانه (ppm)	استاندارد ACGIH PEL-TWA (ppm)	استاندارد ACGIH PEL-STEL (ppm)
۱- واحد مخازن	-	-	۰/۵	۲/۵
۲- واحد بارگیری	۱/۶	۰/۶		
۳- سایت	۱	۰/٤۷		
٤- اتاق کنترل	-	-		
۵- آزمایشگاه	۰/۳	۰/۲۳		

جدول ۶. نتایج محاسبه میزان تنفس افراد و تراکم بنزن در محل مربوطه

گروه شغلی	سن	سطح فعالیت برحسب BMR	وزن (kg)	میزان تنفس (m^3/hr)	میانگین تراکم بنزن (mg/m^3)
کارمند واحد بارگیری	٤۷	۲/۵	۷۹	۰/۹۷۶	۱/۹۲
کارمند واحد بارگیری	۲٤	۲/۵	۹۱	۰/۹۱۱	۱/۹۲
کارمند واحد بارگیری	۲۹	۲/۵	۸۳	۰/۸۹٤	۱/۹۲
کارمند واحد بارگیری	۳۵	۲/۵	۹۵	۰/۷۸۹	۱/۹۲
اپراتور سایت	۲۷	۲/۲	۷۶	۰/۷۷۹	۱/۵
اپراتور سایت	۳۲	۲/۲	۸۰	۰/۷۵۶	۱/۵
اپراتور سایت	۳۸	۲/۲	۸۹	۰/۷۵۱	۱/۵
کارمند تعمیرات	۲۸	۲/٤	۸۷	۰/۸۵۶	۱/۵
کارمند تعمیرات	۳۰	۲/٤	۷٤	۰/۸۲۵	۱/۵
کارمند تعمیرات	۳۹	۲/٤	۹۰	۰/۸٤۱	۱/۵
کارمند تعمیرات	٤۸	۲/٤	۸۸	۰/۸۷	۱/۵
کارشناس آزمایشگاه	۵۰	۱/۸	۸۹	۰/۷۰۱	۰/۶٤
نمونه‌بردار آزمایشگاه	٤۲	۱/۹	۷۹	۰/۷۰۸	۰/۶٤

یافته‌های ارزیابی خطر سرطانی و غیر سرطانی

نتایج حاصل از ارزیابی خطر مواجهه با بنزن در این مطالعه نشان می‌دهد که در بین گروه‌های مختلف مواجهه، میزان خطر سرطانی گروه‌های شغلی واحد بارگیری به علت تماس بیشتر با آلاینده، بالاتر از حد

www.SID.ir

Archive of SID

استاندارد (۱×۱۰^{-۶}) بوده ونیاز به اقدامات کنترلی دارد (جدول ۷).

جدول ۷. ارزیابی محاسبه خطر سرطانی و غیر سرطانی (منبع: محاسبات نگارنده)

گروه شغلی	Inhalation Ambient Air Non-Carcinogenic CDI	Inhalation Ambient Air Carcinogenic CDI	Inhalation Ambient Air HQ	Inhalation Ambient Air Cancer Risk
کارمند بارگیری ۱	$٤/٣٤\times١٠^{-٤}$	$١/٥٥\times١٠^{-١}$	$١/٤٥\times١٠^{-٢}$	$١/٢١\times١٠^{-٦}$
کارمند بارگیری ۲	$٥/٢\times١٠^{-٤}$	$١/٨٨\times١٠^{-١}$	$١/٧٥\times١٠^{-٢}$	$١/٤٦\times١٠^{-٦}$
کارمند بارگیری ۳	$٣/٨٨\times١٠^{-٤}$	$١/٣٩\times١٠^{-١}$	$١/٢٩\times١٠^{-٢}$	$١/٢٨\times١٠^{-٦}$
کارمند بارگیری ٤	$٤/٩١\times١٠^{-٤}$	$١/٧٥\times١٠^{-١}$	$١/٦٤\times١٠^{-٢}$	$١/٣٧\times١٠^{-٦}$
اپراتور سایت ۱	$٣/٤٢\times١٠^{-٤}$	$١/٢٢\times١٠^{-١}$	$١/١٤\times١٠^{-٢}$	$٩/٥٤\times١٠^{-٧}$
اپراتور سایت ۲	$٣/٠٨\times١٠^{-٤}$	$١/١٠\times١٠^{-١}$	$١/٠٣\times١٠^{-٢}$	$٨/٥٩\times١٠^{-٧}$
اپراتور سایت۳	$٢/٩٩\times١٠^{-٤}$	$١/٠٧\times١٠^{-١}$	$٩/٩٧\times١٠^{-٣}$	$٨/٣٣\times١٠^{-٧}$
کارمند تعمیرات ۱	$٣/٥٨\times١٠^{-٤}$	$١/٢٨\times١٠^{-١}$	$١/١٩\times١٠^{-٢}$	$٩/٩٩\times١٠^{-٧}$
کارمند تعمیرات ۲	$٣/٤٩\times١٠^{-٤}$	$١/٢٥\times١٠^{-١}$	$١/١٦\times١٠^{-٢}$	$٩/٧٣\times١٠^{-٧}$
کارمند تعمیرات ۳	$٣/٥٤\times١٠^{-٤}$	$١/٢٦\times١٠^{-١}$	$١/١٨\times١٠^{-٢}$	$٩/٨٦\times١٠^{-٧}$
کارمند تعمیرات ٤	$٣/٦\times١٠^{-٤}$	$١/٢٩\times١٠^{-١}$	$١/٢\times١٠^{-٢}$	١×١٠^{-٧}
کارشناس آزمایشگاه	$٣/٤٦\times١٠^{-٤}$	$٥/٢٢\times١٠^{-١}$	$٤/٨٧\times١٠^{-٣}$	$٤/٠٧\times١٠^{-٧}$
نمونه‌بردار آزمایشگاه	$١/٤٨\times١٠^{-٤}$	$٥/٣٠\times١٠^{-٢}$	$٤/٩٥\times١٠^{-٣}$	$٤/١٣\times١٠^{-٧}$

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر سعی شد تا ضمن معرفی منطق فازی، نحوه کاربرد آن در موضوعات بهداشتی توضیح داده شود. بنابراین سعی شد تا مدلی بر اساس منطق فازی به کمک نرم افزار Matlab برای ارزیابی خطر سلامت ارائه گردد.

نتیجه مهم بدست آمده، تفاوت در رتبه خطر کارکنان یک واحد یکسان است. این اختلاف ناشی از تفاوت در نوع فعالیت، سن، وزن و میزان تنفس کارکنان است که این عوامل در روش‌های متداول خطر در نظر گرفته نمی‌شوند (۱۰). در روش‌های متداول میزان تنفس، نوع فعالیت و سن افراد برای همه مقداری برابر در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه رتبه خطر افراد در تراکم مشخص آلاینده مقداری مشابه بدست می‌آید. نتایج این تحقیق در جدول ۷ نشان می‌دهد کارکنان هر واحد با اینکه در تماس با غلظت یکسان بنزن هستند، ولی میزان خطر برای هر کدام مقداری متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال در واحد بارگیری احتمال خطر سرطانی برای پرسنل شماره ۳ بدلیل میزان تنفس بیشتر و جذب بالاتر آلاینده، در رتبه بالاتری نسبت به سایر کارکنان همان واحد قرار دارد. همینطور میزان خطر در اکثر کارکنان این واحد به دلیل انجام فعالیت‌های سنگین و تماس بالاتر از حد مجاز می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ارزیابی خطر با این روش طیف وسیعی از عوامل تاثیرگذار را می‌تواند در بر گیرد و اندازه‌گیری خطر با جزئیات و توصیفات بیشتری خواهد بود. از آنجایی‌که بسیاری از عوامل عدم قطعیت نیز در محاسبات در نظر گرفته می‌شوند، نتایج بدست آمده به واقعیت نزدیک تر بوده و قابل اطمینان تر هستند (۱۷).

بحث

در چند دهه گذشته ابزارهای محاسباتی و نرم‌افزاری نظیر منطق فازی اثرات قابل توجهی را در رشد و توسعه علوم مختلف داشته‌اند. لیکن این روش‌ها کاربردهای محدودی در شاخه سلامت و بهداشت تاکنون داشته‌اند. منطق فازی تغییر عمده‌ای در رویکردها و نگرش مربوط به روش‌ها و خروجی‌ها در ارزیابی سلامت ارائه می‌دهد، تحلیل

www.SID.ir

Archive of SID

خطر و خطرات بهداشتی با توجه به توانایی منطق فازی در ترکیب اهداف چندگانه مانند اهداف بهداشتی و ارتقاءِ سطح ایمنی به خوبی قابل انجام است (۱۷). البته این تکنیک دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که عبارتند از (۱۸):

- تعیین متغیرهای ورودی، دسته‌بندی و ارزش‌گذاری آنها وقت گیر می‌باشد.
- نیاز به اعضای با تجربه و ماهر برای تشکیل تیم دارد (انجام مطالعه دقیق و موثر کاملاً به تجربه و شناخت کافی از وضع موجود وابسته است و هرگونه محدودیت در انتخاب اعضای تیم اثرات نامطلوبی بر موقعیت مطالعه خواهد داشت).

تشکر و قدردانی

این مطالعه بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد (شماره تصویب: ۸٤/۱۸۰۰۸۸) دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران بوده و بدین وسیله نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از اساتید محترم گروه سوانح و ایمنی دانشکده محیط زیست اعلام می‌دارند.

References

1- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for benzene. Atlanta, USA. 2007; 130: 141-154. Available from: http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.pdf
2- ACGIH. Benzene threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2005: 25.
3- Isabel L, Mrio S. Applications of Fuzzy Logic in Risk Assessment – The RA_X Case. Universidad Nova de Lisboa. 2011.
4- Mure S, Demichela M. Fuzzy Application procedure (FAP) for the risk assessment of occupational accidents. loss prevention in the process industries. 2009; 22: 593-599.
5- Howard J. Prevention through Design: Introduction. Journal al of Safety research. 2008; 39(2); 113
6- Less FP. Loss Prevention in the Process Industries. 3rd ed.: Butterworth Heinemann. Oxford. 2005: 853-952.
7- NIOSH. National Institute Occupational Safety and Health. [Online]; 2008. Available from: HYPERLINK "http:// www.cdc.gov."
8- Absalon D. The effects of changes in cadmium and lead air pollution on cancer incidence. Science of the Total Environment. 2010; 408(20):4420-4428.
9- IRIS. Benzene. Integrated Risk Information System. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/iris/subst/index.html. May 1, 2007.
10- Demichela M, Baldissone G, Murè S. Advanced Tools for Occupational Accidents Data Collection and Analysis. AR2TS. 2011; 31(3):62-72.
11- Rajkumar T, Guesgen W, Robinson S, Fisher W. A New Dose Model for Assessment of Health Risk. Air & Waste Management Association. 2000; 50(1):3-20.
12- Passmore R, Durnin JV. Human energy expenditure. Physiological Review. 1995; 35:801-840.
13- Mamdani HE, Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. International journal of Man – Machine studies. 1975; 7:1-13.
14- Cox LA. Quantitative Health Risk Analysis Methods. University of Colorado: springer. 2006; 82 (1): 24-35.
15- Nait-Said R, Zidani F, Ouzraoui N. Modified Risk Graph Method using Fuzzy Rule – Based Approach. Journal of Hazardous Materials. 2009; 164(2-3) 651-658.
16- US. EPA (U.S Environmental Protection Agency). Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Risk Assessment Forum, Washington DC 2005; EPA/630/P-03/001F.
17- Tadic D, Djapan M. A Fuzzy Model for Assessing Risk. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE). 2012; 18 (2); 115-126.
18- Markowski M, Sam-Mannan M. Fuzzy Logic for Process Safety Analysis. Journal of Loss Prevention. 2009; 22(6): 695-702.

www.SID.ir