Determination of hazard distance of chemical release in a petrochemical industry by chemical exposure index (CEI)

M. Jahangiri[1], M. Parsarad[2]

Received: 2010/4/8 Revised: 2010/6/1 Accepted: 2010/8/15

Abstract

Background and aims: Toxic chemical release from process installation is one of the main hazards in chemical industries which can endanger the health of employees and public in the neighbours of industry in case of occurring chemical release accident.

The aim of this study was determining hazard distance of toxic chemical release in one of petrochemical complex for its applicability in emergency response planning.

Methods: Different possible scenarios for toxic chemical release was considered and the worse case scenarios including process vessels rupture was selected for hazard distance study by aid of Dow Chemical Exposure Index (CEI).

Results: Among studied chemical tanks including Chlorine, Phenol, Epichlorohydrin (EPI), Chlorobenzene, Toluene, hydrogen chloride, the highest Chemical Exposure Index (CEI) and hazard distance was for Chlorine with CEI of 340 and hazard distance for ERPG 2 and ERPG 3 concentration were 3399 and 1339 respectively.

Conclusion: Chemical Exposure Index (CEI) can be used for determining hazard distance of a chemical release accident. Hazard distance data can be used in process installation layout and emergency response planning.

Keywords: Hazard distance, chemical exposure, acute toxicity, petrochemical.

1. **Correspondence author**, PhD Student of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Faculty of Health Sciences Tehran, Iran, Tel: +98-2188951390, mhjahangiri@razi.tums.ac.ir
2. MSc Occupational Health, Tarbiyat Modarres University, Occupational Health Department

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

تعیین حریم خطر رهایش مواد شیمیایی با استفاده از شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) در یک صنعت پتروشیمی

مهدی جهانگیری[۱]، عبدالمجید پارساراد[۲]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۹ تاریخ ویرایش: ۸۹/۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲۴

چکیده

هدف: رهایش مواد سمی از تاسیسات فرایندی یکی از مهمترین خطرات صنایع شیمیایی است که می تواند سلامت کارکنان و عموم مردم در همسایگی تاسیسات را در صورت وقوع حوادثی که منجر به رهایش این مواد شود، در معرض خطر قرار دهد. این مطالعه با هدف تعیین حریم خطر رهایش مواد شیمیایی سمی در یکی از صنایع پتروشیمی کشور و به منظور به کارگیری نتایج آن در برنامه ریزی واکنش در شرایط اضطراری انجام شده است.

روش بررسی: برای تعیین حریم خطر ابتدا کلیه سناریوهای احتمالی مربوط به رهایش مواد بررسی و از بین آنها بدترین شرایط که مربوط به پارگی ظروف فرایندی بود انتخاب و محاسبات لازم جهت تعیین حریم خطر در مورد آنها انجام شد. در این مطالعه برای تعیین حریم خطر رهایش مواد شیمیایی سمی از شاخص خطر مواجهه شیمیایی (CEI) که توسط شرکت شیمیایی Dow ارائه شده است استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که از بین مخازن مواد شیمیایی مورد بررسی شامل کلر، فنل، تولوئن، اپی‌کلروهیدرین، کلروبنزن و کلرید هیدروژن، بیشترین شاخص خطر و حریم خطر مربوط به ماده کلر با شاخص مواجهه شیمیایی ۳۴۰ و فاصله خطر ۳۳۹۹ و ۱۳۳۹ متر به ترتیب برای غلظت‌های مربوط به راهنمای برنامه ریزی برای شرایط اضطراری ۲ و ۳ (ERPG 2 و ERPG 3) بود.

نتیجه‌گیری: با استفاده از شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) می توان حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی در اثر رخداد وقایع شیمیایی را مشخص کرد که نتایج آن می تواند در چیدمان تجهیزات و تاسیسات فرایندی و همچنین در برنامه ریزی واکنش در شرایط اضطراری مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: حریم خطر، شاخص مواجهه شیمیایی، سمیت حاد، پتروشیمی

مقدمه

وقوع حوادثی همچون فلیکس بورو (Flixborough)، سوسو (Seveso)، تری‌مایل آیلند (Mile Island-Three) و بوپال (Bhopal) در صنایع فرایندی نمونه های بسیار شناخته شده‌ای از فجایع بزرگ در صنایع شیمیایی بشمار می روند. همه این حوادث در یک عامل مشترک هستند: ماده ای از یک واحد فرایندی رها شده، در هوا منتشر می‌شود و چنان خطری می‌آفرینند که ایمنی کارکنان، همسایگان و حتی افرادی که ممکن است در فاصله زیادی از تاسیسات فرایندی هستند را در معرض خطر قرار می‌دهد. همین عوامل سبب می شود صنایع با گسترش اندازه و رشد تجهیزات، روز به روز در مورد خسارت بالقوه انسانی و اقتصادی نگرانی بیشتری پیدا کنند[۱].

در واقعه فلیکس بورو اصلی ترین نگرانی از دیدگاه

۱. (نویسنده مسئول)، دانشجوی دوره دکتری تخصصی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، خیابان پورسینا، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه‌ای، تلفن: ۸۸۹۵۱۳۹۰، mhjahangiri@razi.tums.ac.ir
۲. کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

ایمنی فرایندی مربوط به خطر حریق و انفجار بود ولی در فاجعه سوسو و تری مایل آیلند مواجهه عموم با مواد شیمیایی رها شده در منطقه ای دور از محل واقعه اصلی ترین عامل نگرانی را به خود اختصاص می داد. درواقعه بوپال نیز شناخت و فهم اثرات بالقوه رهایش موادی که سمیت حاد دارند بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت[۲].

جهت پیش بینی اقدامات لازم در هنگام بروز شرایط اضطراری نظیر وقایعی همچون حریق و انفجار و انتشار مواد شیمیایی خطرناک از تاسیسات فرایندی (نظیر پارگی خطوط و مخازن حاوی مواد خطرناک و ...) لازم است صنایع فرایندی نسبت به تعیین حریم خطر مخازن و تاسیسات فرایندی اقدام نمایند تا با این کار بتوانند در مواقع بروز شرایط اضطراری (مطابق برنامه واکنش در شرایط اضطراری) کارکنان را تا یک فاصله ایمن از محدوده خطر دور نماید. ضمن اینکه اطلاع از حریم ایمنی در چیدمان تجهیزات فرایندی و فاصله آنها از یکدیگر و همچنین از ساختمانهای اداری و سایر تاسیسات فرایندی می تواند بسیار مهم و مفید باشد.

برای تعیین حریم خطر روشها و مدلهای مختلفی نظیر (Locations for Hazardous Atomospheres) ALOHA (Aerial Aanalysis Software Tool) ، PHAST (Process Hazard و ... وجود دارد که در آنها با استفاده از پارامترهای فرایندی و شرایط محیطی (نظیر دما، جهت وزش باد و...) می توان پروفایل غلظت آلاینده های رها شده (در مورد رهایی مواد سمی) و شعاع انفجار و حریق را بر مبنای یک سری معادلات مشخص نمود که همه این روشها در دسته نرم افزارهای مدلسازی پیامد (Consequence Analysis) جای می گیرند.

به غیر از روشها و مدلهای فوق روشهای ساده دیگری نیز برای تعیین حریم خطر و رتبه بندی نسبی ریسک پتانسیل خطر تاسیسات شیمیایی جدید یا تاسیسات در حال تغییر وجود دارد که از جمله آنها می توان به شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (Exposure Index Chemical) (CEI) و شاخص دسته بندی خطر حریق و انفجار (Fire& Explosion Index) (F&EI) اشاره کرد که در سال ۱۹۸۶ و در پی رخداد حوادثی همچون بوپال توسط شرکت شیمیایی Dow ارائه شد.

در برخی مطالعات انجام شده در داخل کشور شاخصهای Dow برای تعیین ریسک نسبی مورد استفاده قرار گرفته اند که از جمله آنها می توان به دو مورد زیر اشاره کرد: احمدی و همکاران ریسک کمی حریق و انفجار را با استفاده از شاخص حریق و انفجار Dow در یک صنعت شیمیایی مورد بررسی قرار دارد [۳]. جباری نیز در مطالعه خود بر روی خطوط لوله منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی، از شاخص CEI برای رتبه بندی خطوط لوله از نظر میزان خطر استفاده کرد [۴]. لازم به ذکر است شاخص های F&EI و CEI به غیر از اینکه می توانند در تعیین حریم خطر مورد استفاده قرار گیرند، دو شاخص مطرح در ارزیابی ایمنی ذاتی (Inherent Safety) هستند و گاولند (Gowland) در سال ۱۹۹۶ آنها را برای تدوین راهکارهای ارتقاء سطح ایمنی در یک کارخانه تولید یورتان به کار برد[۵].

با توجه به موارد فوق و نظر به ضررت توجه به ایمنی کارکنان و عموم مردم از جهت مواجهه حاد با مواد شیمیایی در هنگام رهایش ناگهانی مواد سمی از تاسیسات فرایندی این مطالعه با هدف تعیین حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی انجام شد.

روش بررسی

در این مطالعه که در یکی از صنایع پتروشیمی جنوب کشور انجام شد برای تعیین حریم خطر (Hazard Distance) مواجهه با مواد شیمیایی از روش شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) که ذیلا مراحل محاسبه آن شرح داده خواهد شد، استفاده گردید. برای این منظور پس از بررسی دقیق نقشه های PFD (Process Flow Diagram) و Diagram P&ID (Piping & Instrumentation) صنعت مورد بررسی و مطالعه دقیق فرایند و همچنین شناسایی مواد شیمیایی سمی، کلیه سناریوهای احتمالی نشت مواد از تجهیزات فرایندی مختلف شامل مخازن، خطوط لوله، شیر های اطمینان و ... بررسی گردیدند و در مرحله بعد بدترین شرایط (Worse Case) که مربوط به پارگی ظروف فرایندی بود جهت تعیین حریم خطر انتخاب گردیدند.

مقادیر ذکر شده در راهنمای برنامه ریزی برای شرایط اضطراری ۲ و ۳ (Planning Guideline

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

(Emergency Response Planning Guidelines)(ERPG) انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (American Industrial Hygiene Association)(AIHA) نیز به عنوان معیار مورد استفاده برای محاسبه شاخص CEI مورد استفاده قرار گرفت.

معرفی شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI):

شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI) یک روش طبقه بندی خطر نسبی سمیت حاد مواد شیمیایی برای افراد شاغل در صنایع شیمیایی و همسایگان در هنگام رخداد مواد شیمیایی است که معیاری از اثرات سمیت مواد شیمیایی تحت شرایط فرایندی را ارائه می دهد و از آن برای تعیین ایمنی نسبی یک فرایند از بعد سمیت استفاده می شود. این شاخص یک روش ساده رتبه بندی خطرات سلامتی بالقوه برای جمعیت یا جامعه موجود در همسایگی صنایعی است که در آنجا احتمال رهایش مواد شیمیایی وجود دارد. مهمترین کاربردهای شاخص CEI آنالیز اولیه خطرات فرآیندی) (PHA (Process Hazared Analysis) و طرح ریزی برنامه واکنش در شرایط اضطراری است[۶].

برای محاسبه این شاخص لازم است ابتدا سناریوهای احتمالی جهت تعیین مقادیر هوابرد(quantity Airborn) مواد شیمیایی تعیین گردد. نرخ رهایی برای گازها بر مبنای معادلات میزان جریان هوا و برای مایعات بر مبنای اینکه پس از رهایی مایع چه اتفاقی برای مایع می افتد تخمین زده می شود[۴].

اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI) عبارتند از: نقشه ترسیمی صحیح و دقیق از واحدهای درون کارخانه و نواحی اطراف آن ، جدول جریان فرآیند ساده شده که نشان دهنده محدوده مخازن، خطوط لوله اصلی و مقادیر مواد شیمیایی موجود باشد، خواص شیمیایی و فیزیکی مواد که مورد بررسی قرار می گیرند، راهنمای شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI)، فرم شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI) و راهنمای طرح واکنش در شرایط اضطراری(ERPG) و راهنمای طرح مواجهه با مواد شیمیایی در شرایط اضطراری (EEPG)[۶].

مراحل محاسبه شاخص مواجهه شیمیایی(CEI):

۱- تعیین سناریوی محاسبه میزان رهایش هوابرد مواد: هدف از انتخاب سناریو مشخص کردن تجهیزات فرآیندی است که دارای بیشترین پتانسیل رهایش مقادیر قابل ملاحظه از مواد شیمیایی با سمیت حاد است. در این مرحله سناریویی انتخاب می شود که دارای بیشترین میزان رهایش هوابرد باشند. مهمترین سناریوها در هنگام محاسبه میزان رهایش مواد عبارتند از خطوط فرآیند (پارگی قطورترین لوله فرایند که برای قطرهای کمتر از ۲ اینچ پارگی کامل لوله، برای قطرهای بین ۲ تا ۴ اینچ پارگی برابر قطر ۲ اینچ و برای قطرهای بیش از ۴ اینچ سطح پارگی برابر ۲۰٪ سطح مقطع عرضی در نظر گرفته شود)، شیلنگ ها(Hose) (پارگی کامل شیلنگ در نظر گرفته می شود)، تجهیزات تخلیه فشار که مواد شیمیایی را مستقیما به اتمسفر آزاد می کنند (میزان رهایش کلی در فشار تنظیم شده محاسبه می شوند و کلیه مواد رها شده به صورت هوابرد فرض می شوند)، ظروف فرایندی(Vessels) (پارگی ظروف بر اساس قطورترین لوله ای است که به ظروف وصل شده اند) و سرریز شدن و ریزش مواد از مخازن.

انتخاب سناریوها بر اساس تجربه کارخانه یا تکنولوژی و یا بر اساس بازنگری ها یا مطالعات آنالیز خطرات صورت می گیرد. رهایش از تمام سناریو ها به صورت فرضی برای حداقل ۵ دقیقه ادامه دارد. اگر رهایش به صورت لحظه ای یا بیش از مقدار موجودی ماده شیمیایی باشد مقدار رهایش با تقسیم کردن مقدار ماده موجود بر پنج دقیقه محاسبه می شود.

۲- تعیین معیار :ERPG-۲/EEPG-۲: برای به دست آوردن محدوده غلظت هایی که در اثر تماس با آنها احتمالا در افراد اثرات نامطلوبی مشاهده می شود، به طور معمول از دو معیار استفاده می شود:

الف- راهنماهای واکنش در شرایط اضطراری(ERPGs) که توسط انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (AIHA) ارائه شده و کاربرد مهم آن در فراریت مواد شیمیایی، سمیت، توده ماده رها شده و آگاهی کلی از خطرات بالقوه می باشد.

ب- در مواردی که راهنماهای واکنش در شرایط اضطراری(ERPGs) برای ماده ای موجود نباشد، از راهنماهای واکنش در مواجهات اضطراری (EEPGs) که توسط Dow ارائه شده و معادل راهنمای برنامه واکنش در شرایط اضطراری (AIHA انجمن بهداشت

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

صنعتی آمریکا است، استفاده شده است.

مهمترین این موارد عبارتند از:

EEPG-۱/ERPG-۱: حداکثر غلظت هوابردی که اعتقاد بر آن است که پایین تر از آن تقریبا تمام افراد می توانند به مدت یک ساعت در معرض قرار گیرند و تنها عوارض زیان آور خفیف موقتی روی سلامتی ایجاد می شود یا بویی که به طور واضح توسط افراد قابل درک باشد، ایجاد شود.

ERPG-۲/ EEPG-۲: حداکثر غلظت هوابردی که اعتقاد بر آن است که پایین تر از آن تقریبا تمام افراد می توانند تا یک ساعت در معرض قرار گیرند بدون تجربه اثرات برگشت ناپذیر و دیگر اثرات جدی سلامتی یا علائمی که می توانند سبب آسیب به عملکرد افراد شود.

ERPG-۳/ EEPG-۳: حداکثر غلظت هوابردی که اعتقاد بر آن است که پایین تر از آن تقریبا تمام افراد می توانند تا یک ساعت بدون تجربه اثرات تهدید آمیز زندگی در معرض آن قرار گیرند.

۳- تعیین مقدار هوابرد (AQ): منظور از مقادیر هوابرد، مقادیر کلی از موادی است که در طی زمان به صورت مستقیم تبخیر شده و یا بواسطه تبخیر مایع یا حوضچه تبخیر وارد اتمسفر می شوند. سناریوهای CEI بر روی رهایش موادی تمرکز دارند که به صورت مایع یا بخار منتشر می شوند. مقدار هوابرد برای یک مایع ریخته شده با اتفاقی که برای مایع در هنگام خروج از مخزن رخ می دهد تعیین می گردد. اگر مایع به یک محیطی با دمای بیشتر از نقطه جوش خود وارد شود پس مقدار هوابرد میزان تخلیه از ظرف است. اما اگر مایع به محیطی وارد شود که دمای آن به قدر کافی کمتر از نقطه جوش مایع است به گونه ای که اجازه شکل گیری حوضچه داده شود، پس مقدار هوابرد برابر با جریان گازی است که در نتیجه تغییر ناگهانی (Flash Fraction) به اضافه مقدار هوابردی است که از سطح حوضچه تبخیر می گردد. در انتها، زمانی که تمایل مایع به تغییر ناگهانی کم شد، مقدار هوابرد برابر با میزان تبخیر از حوضچه می شود.

الف) محاسبه مقدار هوابرد برای گازهای رها شده

معادلات زیر بر اساس روابط میزان جریان گازهایی است که فشار معادل سرعت صوت دارند و جهت محاسبه مقدار هوابرد رهایش گازها مورد استفاده قرار می گیرند.

معادله ۱:

$$(AQ) = 4.751\times10^{-6}\times D^2\times P_a\sqrt{\frac{MW}{T+273}}$$

AQ مقدار هوابرد بر حسب کیلوگرم بر ثانیه ، P_a فشار مطلق (فشار گیج یا درجه + ۱۰۱/۳۵) ، P_g فشار گیج بر حسب کیلوپاسکال ، MW وزن مولکولی ماده T دما بر حسب درجه سانتی گراد، D قطر سوراخ بر حسب میلی متر

ب) محاسبه مقدار هوابرد برای رهایش مایعات

مرحله ۱: تعیین میزان دبی مایع رها شده

میزان مایع رها شده (L) از رابطه زیر بدست می آید: در این محاسبات فرض شده است ، رهایش مایع در تمام سناریو ها حداقل ۵ دقیقه قبل از اینکه متوقف شود ادامه خواهد داشت . اگر میزان رهایش در زمان ۵ دقیقه از کل مقدار ماده موجود بیشتر باشد میزان رهایش از تقسیم کردن مقدار ماده موجود بر ۵ دقیقه به دست می آید .

معادله ۲ (کیلوگرم بر ثانیه):

$$(AQ) = 3.751\times10^{-7}\times D^2\times\rho_1\sqrt{\frac{1000P_g}{\rho_1}+9.8\Delta H}$$

فشار گیج بر حسب کیلوپاسکال، ρ_1 چگالی مایع در دمای عملیاتی بر حسب کیلوگر بر متر مکعب، Δh ارتفاع مایع موجود در بالاتر از نقطه انتشار بر حسب متر، D قطر سوراخ بر حسب میلی متر

مرحله ۲: تعیین مقدار کل مایع رها شده

مقدار کل مایع تشکیل دهنده حوضچه بایستی به منظور تعیین اندازه حوضچه مشخص شود. اگر رهایش به اندازه ای بزرگ است که کل ظرف (وسل) را در مدت کمتر از ۱۵ دقیقه (شامل رهایش های خیلی بزرگ در مدت کمتر از ۵ دقیقه) خالی کند، جرم مایعی که وارد حوضچه می شود برابر با جرم کل مایع موجود در ظرف است. برای دوره رهایش طولانی تر (مدت زمان رهایش بیش از ۱۵ دقیقه باشد) حوضچه پس از ۱۵ دقیقه به اندازه نهایی خود می رسد. در این مورد، جرم ماده ای که اندازه حوضچه را تعیین می کند برابر با

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

میزان زمان رهایش ۱۵ دقیقه (۹۰۰ ثانیه) می باشد.

کل رهایش مایع (WT) مقدار کل مایع ذخیره شده در تانک بر حسب کیلوگرم است (تانک در مدت زمان کمتر از ۱۵ دقیقه تخلیه می شود) و یا اینکه بر طبق رابطه زیر بدست می آید که در آن L میزان دبی مایع بر حسب کیلوگرم بر ثانیه است.

معادله ۳:

$$W_T = 900L$$

مرحله ۳: محاسبه مقدار تبخیر ناگهانی (F_v)

چنانچه دمای فرآیند کمتر از دمای جوش نرمال مایع باشد، مقدار برابر صفر در نظر گرفته می شود ولی اگر دمای عملیاتی بیشتر از دمای جوش نرمال مایع باشد، مقدار از رابطه زیر محاسبه می شود:

معادله ۴:

$$F_v = \frac{C_P}{H_v}(T_S - T_b)$$

که در آن T_b دمای جوش نرمال مایع بر حسب درجه سانتی گراد، T_s دمای عملیاتی مایع بر حسب درجه سانتی گراد، C_p میانگین ظرفیت گرمایی مایع بر حسب ژول بر کیلوگرم بر درجه سانتی گراد و H_v گرمای تبخیر مایع بر حسب ژول بر کیلوگرم می باشد.

مقدار هوابردی که توسط تبخیر ناگهانی (AQ_f) ایجاد می شود، بر حسب (کیلوگرم بر ثانیه) از رابطه زیر بدست می آید:

معادله ۵:

$$AQ_F = 5(F_v)(L)$$

در رابطه فوق L سرعت جریان مایع بر حسب کیلوگرم بر ثانیه می باشد. در این رابطه چنانچه F_v بزرگتر از ۰/۲ باشد مقدار هوابرد تولید شده توسط جرقه برابر (L) بوده و هیچ حوضچه تبخیری تشکیل نمی شود و لذا می توان مستقیما به مرحله ۶ رفت.

مرحله ۴: محاسبه مساحت حوضچه تبخیر

جرم کل مایع وارد شده به استخر بخار W_p بر حسب کیلوگرم از رابطه زیر به دست می آید:

معادله ۶:

$$W_P = W_T(1 - 5F_v)$$

که در آن W_T کل مایع منتشر شده وبر حسب کیلوگرم و F_v جزئی است که به طور ناگهانی تبخیر شده است.

اندازه حوضچه برای عمقی معادل یک سانتی متر فرض شده است. اگر ریزش در داخل یک دیوار حائل و به مقدار کافی باشد، مساحت حوضچه برابر مساحت داخل دیوار حائل (Dike) (دایک) در نظر گرفته می شود.

مساحت حوضچه (A_p) بر حسب متر مربع از روابط زیر به دست می آید:

معادله ۷:

$$(A_P) = 100\frac{W_P}{\rho_1}$$

در رابطه فوق W_p جرم کل وارد شده به حوضچه بر حسب کیلوگرم بر ثانیه و ρ_1 چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب است.

مرحله ۵: محاسبه مقدار هوابرد تبخیر شده از سطح حوضچه

مقدار هوا برد تبخیر شده از سطح حوضچه (AQ_p) بر حسب کیلوگرم بر ثانیه از رابطه زیر بدست می آید:

معادله ۸:

$$AQ_P = 9\times10^{-4}(A_P{}^{0.95})\times\frac{(MW)(P_V)}{T+273}$$

در رابطه فوق A_p (مساحت استخر بر حسب متر مربع)، MW وزن مولکولی، P_v فشار بخار مایع در دمای معین استخر بر حسب کیلوپاسکال و T دمای حوضچه بر حسب درجه سانتی گراد است.

مرحله ۶: محاسبه کل مقدار هوابرد

مقدرا کل هوا برد (AQ) بر حسب کیلوگرم بر ثانیه به صورت زیر محاسبه می شود:

معادله ۹:

$$AQ = AQ_F + AQ_p$$

AQ_f مقدار هوا بردی که از تبخیر ناگهانی و AQ_p مقدار هوا بردی که از تبخیر سطحی حوضچه بدست

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

می آید(بر حسب کیلوگرم بر ثانیه).

چنانچه مقدار کل هوابرد بدست آمده (AQ) بزرگتر از میزان جریان مایع (L) باشد مقدار AQ را برابر با مقدار Lدر نظر گرفته می شود.

در پایان این مراحل سناریویی که بیشترین مقدار هوابرد را داشته باشد جهت مرحله بعد انتخاب می شود.

۴- محاسبه مقدار CEI:

تمام محاسبات این شاخص با فرض سرعت باد ۵ متر بر ثانیه و شرایط عادی آب و هوایی خنثی می باشد.

شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI) از رابطه زیر یا نمودار شماره ۱ از روی میزان هوابرد بدست می آید:

معادله ۱۰:

$$CEI = 655.1\sqrt{\frac{AQ}{ERPg-2}}$$

AQ= مقدار هوا برد بر حسب کیلوگرم بر ثانیه و ۲- ERPG بر حسب میلی گرم بر متر مکعب است. اگر مقدار بدست آمده برای CEI بزرگتر از ۱۰۰۰ باشد آن را ۱۰۰۰ در نظر می گیریم.

۵- محاسبه فاصله خطر

فاصله خطر (HD): فاصله ایمن از نقطه خطر که بر حسب غلظت های ERPG و از رابطه زیر بر حسب متر به دست می آید:

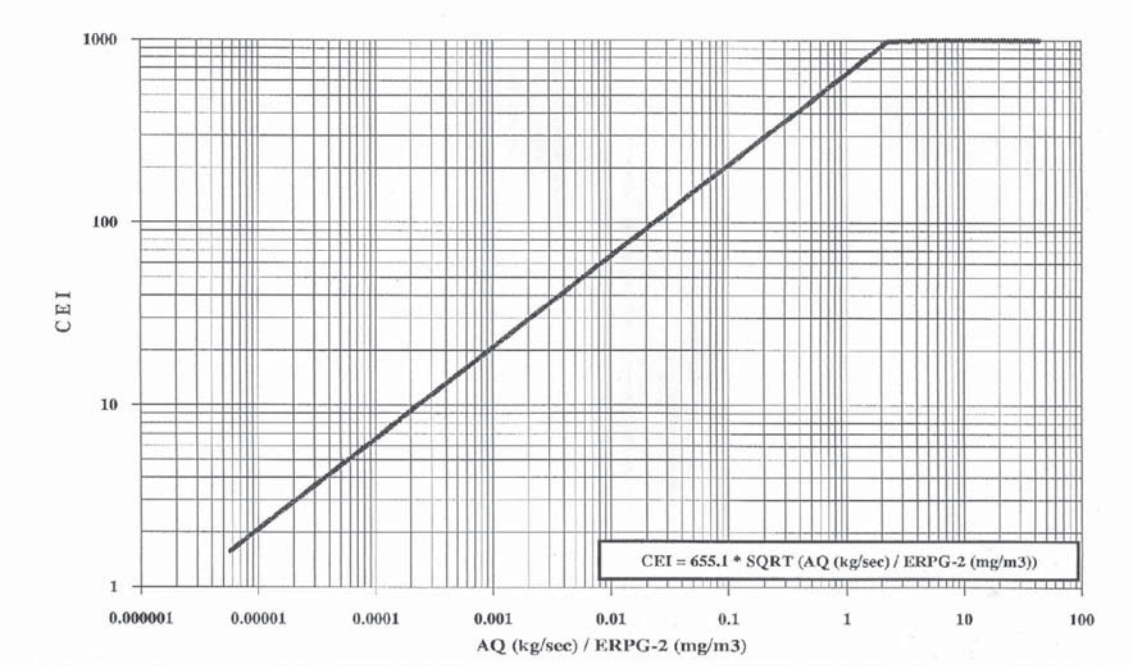
معادله ۱۱:

$$HD = 6551\sqrt{\frac{AQ}{ERPG}}$$

در این رابطه A مقدار هوابرد بر جسب کیلوگرم بر ثانیه و ERPG بر حسب میلی گرم بر متر مکعب می باشد. اگر فاصله خطر (HD) بزرگتر از ۱۰۰۰۰ متر به دست آید ، فاصله خطر برابر ۱۰۰۰۰ متر در نظر گرفته می شود.

یافته ها

در جدول ۱ مشخصات مخازن مواد شیمیایی مورد بررسی در این مطالعه به همراه فاصله آنها تا ساختمان اداری، فاصله تا اتاق کنترل و فاصله تا تاسیسات مجاور مشاهده می شود. همچنین در این جدول حریم خطر محاسبه شده بر مبنای محاسبات صورت گرفته در جدول ۲، جهت مقایسه آورده شده است. در جدول ۲ برگه کاری محاسبه شاخص CEI و حریم خطر مواجهه حاد با انتشار مواد شیمیایی بر اساس مشخصات مواد شیمیایی و پارامترهای فرایندی برای مخازن شش ماده کلروبنزن، فنول، تولوئن، اسید کلریدریک ۰/۳۳،



نمودار ۱- محاسبه شاخص CEI با استفاده از مقدار هوابرد

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

نام ماده شیمیایی	تعداد مخزن	فاصله تا ساختمان اداری (متر)	فاصله تا اتاق کنترل (متر)	فاصله تا تاسیسات مجاور (متر)	حریم خطر(متر) (بر طبق محاسبات جدول ۲)	
					ERPG 2	ERPG 3
کلر	۳	۲۹۰	۲۷۹	۳۰	۳۹۹۹	۱۳۳۹
اپی کلرو هیدرین	۲	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۹/۹۱	۸۷۱	۳۹۱
هیدروژن کلراید (بادرجه خلوص ۰/۳۳)	۱	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۵۹/۸	۸۵۱	۳۵۱
فنل	۳	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۱۱/۴۱	۵۵۱	۲۷۵
تولوئن	۱	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۲۱/۱۱	۴۳۸	۲۴۰
کلروبنزن	۱	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۱۸/۸۱	۱۷۱	۱۲۱

جدول۱- نام و مشخصات مخازن مواد شیمیایی مورد بررسی در این مطالعه

اپی کلروهیدرین و کلر ذکر شده است. روابط مورد استفاده جهت محاسبه شاخصهای ذکر شده در این جدول در قسمت مواد و روشها توضیح داده شد.

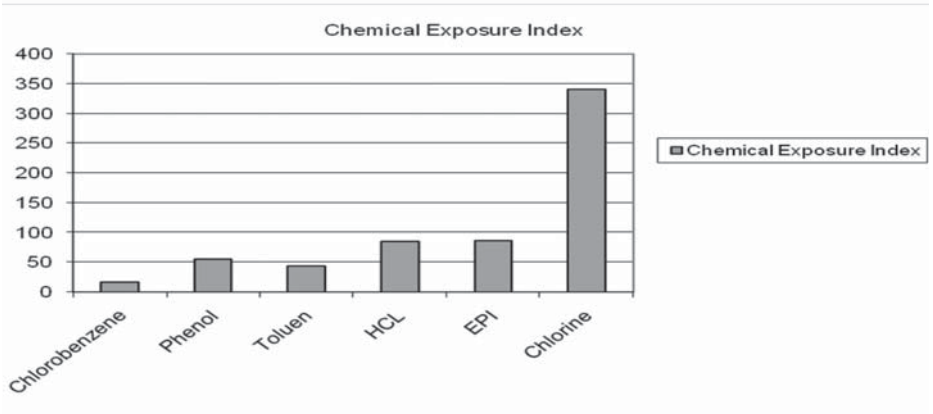
در نمودار ۱ مقادیر محاسبه شده شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) برای مخازن مواد شیمیایی موجود در واحد و در نمودار شماره ۲ حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی مذکور برای غلظتهای راهنمای طرح ریزی شرایط اضطراری ۲و۳ (ERPG۲&۳) ذکر شده است. همانطور که در این نمودارها مشاهده می شود شاخص مواجهه شیمیایی و حریم خطر ماده کلر از دیگر مواد بیشتر است و بعد از کلر بیشترین شاخص مواجهه و حریم خطر به ترتیب مربوط به اپی‌کلروهیدرین، کلریدهیدروژن ۰/۳۳، فنل، تولوئن و در نهایت کلروبنزن بود.

بحث و نتیجه گیری

در شاخص CEI اثرات رهایی مواد شیمیایی را بر طبق ۵ فاکتور سمیت حاد، جزء فرار موادی که می تواند رها شود، فاصله تا ناحیه خطر، وزن ملکولی ماده و پارامترهای فرایندی مختلف نظیر دما، فشار، واکنش پذیری و ... در نظر گرفته و بر این مبنا شاخص خطر و حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی محاسبه می شود[۷]. در این مطالعه از بین سناریوهای مختلف رهایش مواد در بدترین شرایط یعنی پارگی ظروف فرایندی انتخاب گردید و لذا محاسبات صورت گرفته برای بدترین شرایط انجام شده است.

همانطور که در جدول ۲ و نمودار ۲ و ۳ مشاهده شد، شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) و حریم خطر در هنگام رخداد وقایع بر حسب ERPG۲&۳ در مورد ماده کلر از بقیه مواد بیشتر می باشد که نشان دهنده خطر بالای این ماده می باشد.

کلر ماده ای بسیار سمی است که غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام (۰/۱ درصد) از آن می تواند کشنده باشد.



نمودار۲- شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) برای مخازن مواد شیمیایی موجود در واحد

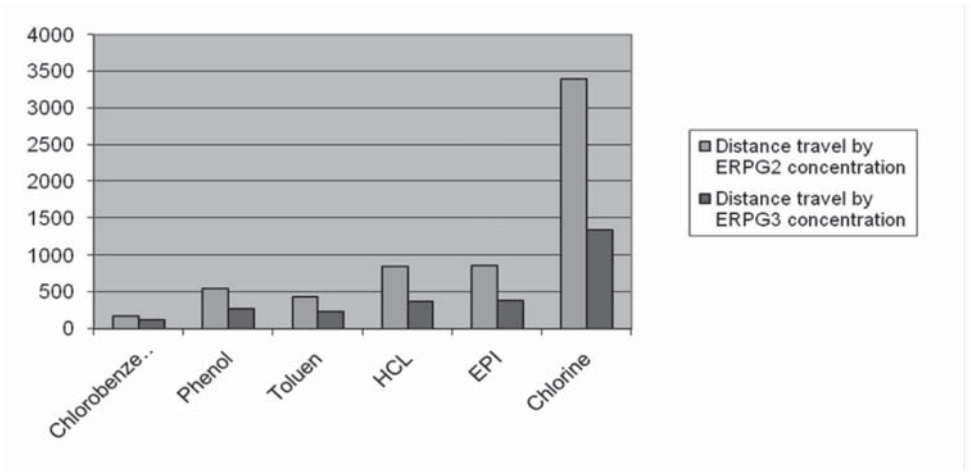
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

مشخصات مواد شیمیایی و پارامترهای فرایندی	کلروبنزن	فنل	تولوئن	کلرید هیدروژن	اپی کلروهیدرین	کلر
مقدار مایع در دسترس برای رهایی (کیلوگرم)	۱۷۴۳۸/۴	۹۴۵۲۵۲	۱۷۱۸۰/۲	۲۴۶۵۶/۲	۴۴۷۳۹۰	۱۵۶۰۰
دمای مواد رها شده بر حسب درجه سانتی گراد	۳۵	۵۰	۳۰	۳۵	۳۰	۷
وزن ملکولی	۹۴	۹۴/۱۱	۹۲/۱	۳۶/۵	۹۲/۵	۷۰/۹۱
نقطه جوش (درجه سانتی گراد)	۱۳۲	۱۸۱/۹	۱۱۱	۱۰۸/۶	۱۱۶	-۳۴
فشار بخار بر حسب کیلوپاسکال در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد	۷۷۸	۰/۰۵۷	۳/۸۱	۴	۲/۲۷۹	۷۷۸
فشار بخار بر حسب کیلوپاسکال در دمای حوضچه	۴/۴۲	۶/۲۵	۹/۸۷	۱۲	۶/۵	۱۰۱
دانسیته مایع بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب در دمای ذخیره سازی (درجه سانتی گراد)	۱۰۸۹/۹	۱۰۵۰/۲۸	۸۵۹/۰۱	۹۹۴/۲	۱۱۷۵	۱۴۵۸
دانسیته مایع بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب در نقطه جوش	۹۸۳/۶۳	۹۲۵/۳۶	۷۸۰/۴۷	۹۵۶/۸۲	۱۰۵۳/۹	۱۵۶۲
نسبت Cp/Hv (ظرفیت گرمایی به گرمای تبخیر)	۰/۰۰۲۲۹۴	۰/۰۰۲۱۶۳	۰/۰۰۲۵۶۳	۰/۰۰۰۰۸۵		۰/۰۰۳۳
فشار گیج در فرایند بر حسب کیلوپاسکال	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۳۳۲
دما (درجه سانتی گراد)	۴۵	۴۵	۴۵	۳۵	۴۵	۴۵
قطر سوراخ بر حسب میلی متر	۵۰	۱۰۱/۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰
ارتفاع محل نشتی از زمین (متر)	۴/۰۴۳	۱۳	۳/۸۵	۵/۵	۱۳	۲
ERPG 2 بر حسب میلی گرم بر متر مکعب	۱۹۲۲	۱۹۲	۳۰۰	۳۰	۷۶	۹
ERPG 3 بر حسب میلی گرم بر متر مکعب	۳۸۴۴	۷۷۰	۱۰۰۰	۲۲۵	۳۸۷	۵۸
مساحت دایک (متر مربع)	۵۸۶/۵	۱۵۸۷/۱۵	۱۵۸۷/۱۵	۱۶۴/۷	۵۸۶/۵	
فاصله از تاسیسات یا فنس مجاور (متر)	۱۸/۸۱	۱۱/۴۱	۲۱/۱۱	۵۹/۸۱	۹/۹۱	۲۷۹
شاخص مواجهه شیمیایی (CEI)	۱۷	۵۵	۴۴	۸۵	۸۷	۳۴۰
حریم خطر برای غلظت ERPG 2	۱۷۱	۵۵۱	۴۳۸	۸۵۱	۸۷۱	۳۳۹۹
حریم خطر برای غلظت ERPG 3	۱۲۱	۲۷۵	۲۴۰	۳۸۱	۳۹۱	۱۳۳۹

جدول ۲ - برگه کاری محاسبه شاخص CEI و حریم خطر رهایش مواد شیمیایی بر اساس مشخصات مواد شیمیایی و پارامترهای فرایندی

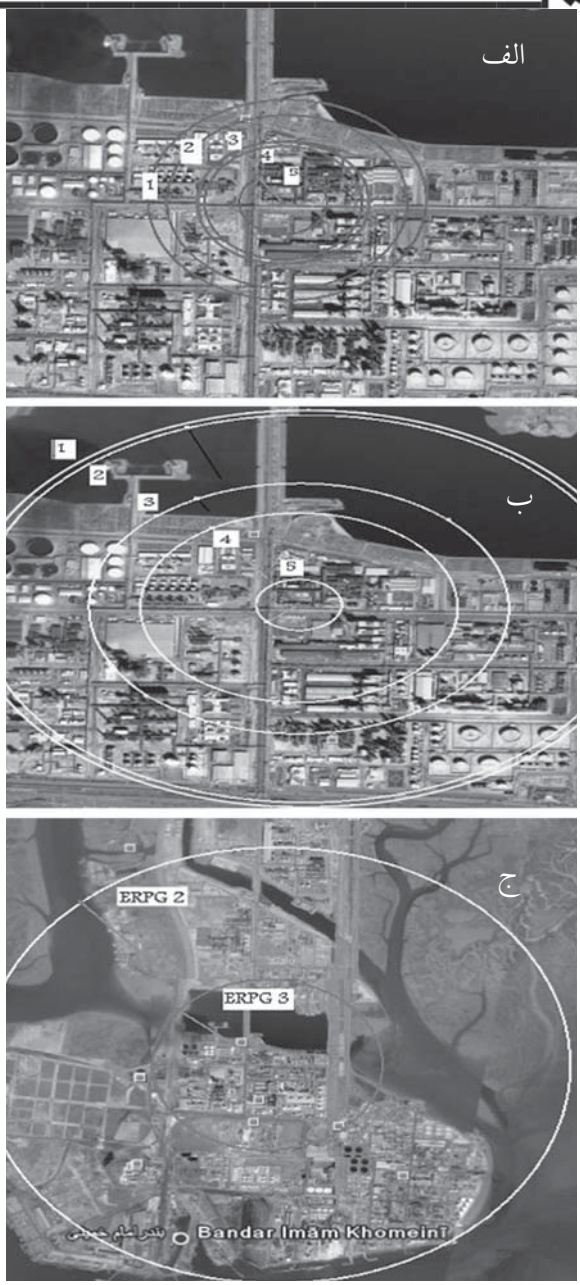
اگرچه مقدار در دسترس این ماده در مقایسه با دیگر مواد از همه کمتر می باشد ولی به علت سمیت بالا و فشار بخار بالا و پارامترهای فرایندی بیشترین شاخص خطر مواجهه و حریم خطر را به خود اختصاص داده است. بنابراین در هنگام رخداد وقایع مربوط به پارگی مخازن محتوی کلر در غلظت ERPG۲ و ERPG۳ افراد می بایست به ترتیب تا شعاع ۳۳۹۹ و ۱۳۳۹ متر از منطقه واقعه تخلیه شوند.

پس از کلر بالاترین رتبه مربوط به ماده اپی‌کلروهیدرین است که شاخص مواجهه شیمیایی آن ۸۷ و حریم خطر آن برای غلظت های ERPG۲ و ERPG۳ به ترتیب ۸۷۱ و ۳۹۱ متر است . اپی‌کلروهیدرین ماده‌ای سمی است که در صورت استنشاق اثرات سمی روی ریه ایجاد می کند. ضمن اینکه شواهدی مبنی بر ناقص الخلقه‌زایی و سرطانزایی آن در حیوانات آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین



نمودار ۳- حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی برای غلظتهای راهنمای طرح ریزی شرایط اضطراری ۲ و ۳ (ERPG۲&۳)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]



شکل ۱ - حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی در محل مورد بررسی الف - برای غلظت ERPG۳ (۱: اپی کلروهیدرین ۳۹۱ متر، ۲: هیدروژن کلراید ۳۵۱ متر، ۳: فنل ۲۷۵ متر، ۴: تولوئن ۲۴۰ متر، ۵: کلروبنزن ۱۲۱ متر) ب - غلظت ۲ ERPG (۱: اپی کلروهیدرین ۸۷۱ متر، ۲: هیدروژن کلراید ۸۵۱ متر، ۳: فنل ۵۵۱ متر، ۴: تولوئن ۴۳۸ متر، ۵: کلروبنزن ۱۷۱ متر). ج - برای کلر (۱: ۲ ERPG ۳۹۹۹ متر و ۳ ERPG ۱۳۳۹ متر)

مواجهه با این ماده می تواند سبب سوختگی و اثر بر روی سیستم عصبی مرکزی گردد.

کلرید هیدروژن ماده خورنده ای است که تماس پوستی، چشمی و استنشاقی با بخارات آن سبب آسیب های دائمی می شود.

این ماده با شاخص CEI ۸۵ و حریم خطر مربوط به غلظتهای ERPG ۲ و ERPG ۳ آن به ترتیب ۸۵۱ و ۳۹۱ متر است و رتبه سوم را به خود اختصاص می دهد. لازم به ذکر است درجه خلوص هیدروژن کلراید موجود در صنعت مورد بررسی ۳۳ درصد می باشد.

فنول یک ماده سمی سیستمیک و خورنده می باشد که مسمومیت حاد با آن می تواند سبب مرگ شود. این ماده از طریق استنشاقی بسیار سمی و محرک می باشد. در بین مواد مورد بررسی این ماده بیشترین میزان در دسترس برای هوابرد شدن را دارد و همانطور که مشاهده شد شاخص CEI آن ۵۵ و حریم خطر برای غلظتهای ERPG ۲ و ERPG ۳ آن به ترتیب ۵۵۱ و ۲۷۵ متر است.

تولوئن نیز که ماده‌ای سمی و محرک بوده و در طولانی مدت استنشاق آن می تواند بسیار خطرناک باشد، دارای CEI ۴۴ و حریم خطر ۴۳۸ و ۲۴۰ متر به ترتیب برای غلظت های ERPG ۲ و ERPG ۳ می باشد.

در نهایت کمترین CEI و حریم خطر مربوط به ماده کلروبنزن است که ماده ای است سمی و تماس پوستی و استنشاقی با آن زیان آور بوده و لذا در هنگام ریزش ناگهانی آن در اثر وقوع حوادث فرایندی می بایست حریم خطر ۱۷۱ و ۱۲۱ متری به ترتیب برای غلظت های ۲ ERPG و ۳ ERPG در مورد آن در نظر گرفته شود.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده شد در مورد مخازن همه مواد مورد بررسی، ساختمان اداری، اتاق کنترل و حتی تاسیسات مجاور در داخل حریم ایمنی مخازن مورد بررسی قرار دارد و لذا در صورت وقوع حوادثی که منجر به رهایی مواد سمی می شوند، کارکنان مستقر در داخل حریم خطر می بایست مطابق فواصل مشخص شده در شکل ۱ تخلیه شوند.

از طرفی از آنجا که ممکن است امکان تخلیه افراد از داخل اتاق کنترل وجود نداشته باشد (به علت ضرورت حضور آنها جهت کنترلهای فرایندی)، ضروری است اقدامات لازم جهت ایمن سازی این محل با اقداماتی نظیر (سیستم تهویه فشار مثبت) به عمل آید. در مورد شرکتهای مجاور مخازن نیز لازم است اطلاع رسانی های لازم به آنها داده شود تا در مواقع اضطراری بتوان با تخلیه آنها از منطقه از به خطر افتادن سلامتی شان جلوگیری نمود.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد با استفاده از شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) در برنامه شرایط اضطراری سازمان می توان حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی را در هنگام رخداد وقایع شیمیایی مشخص کرد که نتایج آن می تواند در چیدمان تجهیزات و رعایت حریم خطر مخازن و تاسیسات فرایندی با ساختمانهای اداری و سایر تاسیسات فرایندی مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کارشناسان بهداشت حرفه ای و مسئولین واحد های HSE شرکتهای پتروشیمی و همچنین مدیریت بهداشت ، ایمنی و محیط زیست شرکت ملی صنایع پتروشیمی قدردانی می گردد.

منابع

1. John T. Marshall, Art Mundt, Dow's chemical exposure index guide, Process Safety Progress, 2004, Volume 14 Issue 3.

2. Isadore Rosenthal, Major Even Analysis in the United States Chemical Industry, After the Event: From Accident, Organizational Learning, 1997.

3. Ahmadi Said, Adl javad va Sakineh varmaziyar, Tayyene kammi riske harigh va enfejar dar yek vahede petroshimi be raveshe shakhese harigh va enfejare DOW, Faslname Salamate kare iran, Bahar va tabestane 87, Doreye 5, Shomareye 1 va 2.

4. M. Jabbari Gharabagh et al, Comprehensive risk assessment and management of petrochemical feed and product transportation pipelines, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2009, Volume 22, Issue 4, 533-539.

5. National Safety Council, Safety through Design in the Chemical Process Industry: Inherently Safer Process Design, Benchmarks for World Class Safety through Design Symposium, 1997

6. American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Dow's Chemical Exposure Index Guide, Wiley-AIChE, 1998.

7. William Bridges, Selection of Hazard Evaluation Techniques, Process Improvement Institute, Inc. (PII), Knoxville, TN 37922 USA, 2004.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-06-25]