



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

M. Jahangiri<sup>1</sup>, M. Parsarad<sup>2</sup>

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 Modares University, Occupational Health Department

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

مهدی جهانگیری<sup>۱</sup>، عبدالمجید پارسارداد<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲۴

تاریخ ویرایش: ۸۹/۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۹

### چکیده

هدف: رهایش مواد سمی از تاسیسات فرایندی یکی از مهمترین خطرات صنایع شیمیایی است که می‌تواند سلامت کارکنان و عموم مردم در همسایگی تاسیسات را در صورت وقوع حادثی 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 برنامه‌ریزی 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. یافته‌ها: نتایج نشان داد که از بین مخازن مواد شیمیایی مورد بررسی شامل کلر، فنل، تولوئن، اپی‌کلوروهیدرین، 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 برنامه‌ریزی برای شرایط اضطراری ۲ و ۳ (ERPG 3 و ERPG 2) بود.

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

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

رها شده، در هوا منتشر می‌شود و چنان خطری می‌آفریند 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 می‌شود صنایع با گسترش اندازه و رشد تجهیزات، روز به روز در مورد خسارت بالقوه انسانی و اقتصادی نگرانی بیشتری پیدا کنند<sup>[۱]</sup>. در واقعه فلیکس بورو اصلی ترین نگرانی از دیدگاه

### مقدمه

وقوع حادثی همچون فلیکس بورو (Flixborough)، سوسو (Seveso)، تری مایل آیلند (Three Mile Island) و بوبال (Bhopal) در صنایع فرایندی نمونه های بسیار شناخته شده‌ای از فجایع بزرگ در صنایع شیمیایی بشمار می‌روند. همه این حوادث در یک عامل مشترک هستند: ماده‌ای از یک واحد فرایندی

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: ۰۰۹۰۵۱۳۹۰، mhjhahangiri@razi.tums.ac.ir.  
۲. کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس



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 حريق 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 خطراستفاده کرد [۴]. لازم به ذکر است شاخص های CEI و F&EI 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 کاربرد [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 Diagram PFD(Process Flow Diagram) و 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، شیرهای اطمینان و... بررسی گردیدند و در مرحله بعد بدترین شرایط (Worse Case) که مربوط به پارگی طوفانی بود جهت تعیین حریم خطر انتخاب گردیدند.

مقادیر ذکر شده در راهنمای برنامه ریزی برای Planning Guideline ۲ و ۳ (Shahrood University of Technology) اشاره

ایمنی فرایندی مربوط به خطر حريق و انفجار بود ولی در فاجعه سوسو و تری مایل آیلند مواجهه عموم بامداد شیمیایی رها شده در منطقه ای دور از محل واقعه اصلی ترین عامل نگرانی را به خود اختصاص می داد. در واقعه 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 حريق 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 این کار بتوانند در موقع بروز شرایط اضطراری (مطابق برنامه واکنش در شرایط اضطراری) کارکنان را تایک 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 مدلها مختلفی Locations for Hazardous Atmospheres (Neft) نظیر ALOHA (Aerial Analysis Software Tool)، PHAST (Process Hazard 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 حريق 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 مدلها 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 حريق (F&EI) (Fire & Explosion Index) اشاره کرد که در سال ۱۹۸۶ در پی رخداد حوادثی همچون بوپال توسط شرکت شیمیایی Dow ارائه شد.

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 سناریوهادر هنگام محاسبه میزان رهایش مواد عبارتند از خطوط فرآیند (پارگی قطورترین لوله فرایند که برای قطرهای کمتر از ۲۰ اینچ پارگی کامل لوله، برای قطرهای بین ۲ تا ۴ اینچ پارگی برابر قطر ۲۰ اینچ و برای قطرهای بیش از ۴ اینچ سطح پارگی برابر ۲۰٪ سطح مقطع عرضی در نظر گرفته شود)، شیلنگ‌ها (Hose) (پارگی کامل شیلنگ در نظر گرفته می شود)، تجهیزات تخلیه فشار که مواد شیمیایی را مستقیماً به اتمسفر آزاد می کنند (میزان رهایش کلی در فشار تنظیم شده محاسبه می شوند و کلیه مواد رهاسنده 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 های یا مطالعات آنالیز خطرات صورت می گیرد. رهایش از تمام سناریوهای 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: EEPG-۲/EEPG-۲: برای به دست آوردن محدوده غلظت هایی که در اثر تماس با آنها احتمالاً در افراد اثرات نامطلوبی مشاهده می شود، به طور معمول از دو معیار استفاده می شود:

الف- راهنمایی های 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 رهایش و آگاهی کلی از خطرات بالقوه می باشد.

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

(ERPG) (Emergency Response Industrial Hygiene Association) (AIHA) (American CEI) مورد استفاده شاخص برای محاسبه 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 رانه می دهد و از آن برای تعیین اینمی 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) مواد شیمیایی تعیین گردد. نرخ رهایی برای گازهای بر مبنای معادلات میزان جریان هوای برای میانع 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



محاسبه مقدار هوابرد رهایش گازها مورد استفاده قرار می‌گیرند.  
معادله ۱:

$$(AQ) = 4.751 \times 10^{-6} \times D^2 \times P_a \sqrt{\frac{MW}{T + 273}}$$

AQ مقدار هوابرد بر حسب کیلوگرم بر ثانیه ، Pa فشار مطلق (فشار گیج یادگرجه  $101/35 +$  ) ، Pg فشار گیج بر حسب کیلوپاسکال ، MW وزن مولکولی ماده D مدار حسب درجه سانتی گراد، D قطر سوراخ بر حسب میلی متر

ب) محاسبه مقدار هوابرد برای رهایش مایعات مرحله ۱: تعیین میزان دبی مایع رهاشده میزان مایع رهاشده (L) از رابطه زیر بدست می آید: در این محاسبات فرض شده است ، رهایش مایع در تمام سناریوهای 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):

$$(AQ) = 3.751 \times 10^{-7} \times D^2 \times \rho_1 \sqrt{\frac{1000P_g}{\rho_1} + 9.8\Delta H}$$

فشار گیج بر حسب کیلوپاسکال ، m چگالی مایع در دمای عملیاتی بر حسب کیلوگر بر متر مکعب،  $\Delta H$  ارتفاع مایع موجود در بالاتر از نقطه انتشار بر حسب متر، D قطر سوراخ بر حسب میلی متر

مرحله ۲: تعیین مقدار کل مایع رهاشده مقدار کل مایع تشکیل دهنده حوضچه بایستی به منظور تعیین اندازه حوضچه مشخص شود . اگر منظور مایع اندازه ای بزرگ است که کل ظرف (وسل) را 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

صنعتی آمریکا است، استفاده شده است.

مهمترین این موارد عبارتنداز:

EEPG-۱/ERPG-۱: حداکثر غلظت هوابردی که اعتقاد بر آن است که پایین تراز آن تقریباً 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 تراز آن تقریباً تمام افراد می توانند تا یک ساعت در معرض قرار گیرند بدون تجربه اثرات برگشت ناپذیر و دیگر اثرات جدی سلامتی یاعلائمی که می توانند سبب آسیب به عملکرد افراد شود.

ERPG-۳/EEPG-۳: حداکثر غلظت هوابردی که اعتقاد بر آن است که پایین تراز آن تقریباً تمام افراد می توانند تا یک ساعت بدون تجربه اثرات تهدیدآمیز 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 بادمای 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 انتهای، 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 رهاشده معادلات زیر بر اساس روابط میزان جریان گازهایی است که فشار معادل سرعت صوت دارند و جهت

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

که در آن  $W_T$  کل مایع منتشر شده و بر 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  $\rho_1$  چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب است.

مرحله ۵: محاسبه مقدار هوابرد تبخیر شده از سطح حوضچه مقدار هوابرد تبخیر شده از سطح حوضچه ( $AQ_p$ ) بر حسب کیلوگرم بر ثانیه از رابطه زیر بدست می آید:

معادله ۸:

$$AQ_p = 9 \times 10^{-4} (A_p^{0.95}) \times \frac{(MW)(P_v)}{T + 273}$$

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

مرحله ۶: محاسبه کل مقدار هوابرد مقدار کل هوابرد ( $AQ$ ) بر حسب کیلوگرم بر ثانیه به صورت زیر محاسبه می شود:

معادله ۹:

$$AQ = AQ_F + AQ_p$$

$AQ_f$  مقدار هوابردی که از تبخیر ناگهانی و  $AQ_p$  مقدار هوابردی که از تبخیر سطحی حوضچه بدست

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 جريان مایع بر حسب کیلوگرم بر ثانیه می باشد. در اين رابطه چنانچه  $F_v$  بزرگتر از  $2/$ . باشد مقدار هوابرد تولید شده توسط جرقه برابر ( $L$ ) بوده و هيچ حوضچه تبخیری تشکيل نمی شود ولذا می توان مستقيما به مرحله ۶ رفت.

مرحله ۴: محاسبه مساحت حوضچه تبخیر جرم کل مایع وارد شده به استخراج بخار  $W_p$  بر حسب کیلوگرم از رابطه زیر به دست می آید:

معادله ۶:



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 ۱۰۰۰ متر به دست آید، فاصله خطر برابر ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته می شود.

#### یافته ها

در جدول ۱ مشخصات مخازن مواد شیمیایی مورد بررسی در این مطالعه به همراه فاصله آنها تاساختمان 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،

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 L در 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 بافرض سرعت باد ۵ متر

بر ثانیه و شرایط عادی آب و هوایی خنثی می باشد.

شاخص مواجهه با مواد شیمیایی (CEI) از رابطه

زیر یانمودار شماره ۱ از روی میزان هوابرد بدست

می آید:

معادله ۱۰:

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

-۱- مقدار هوابرد بر حسب کیلوگرم بر ثانیه و

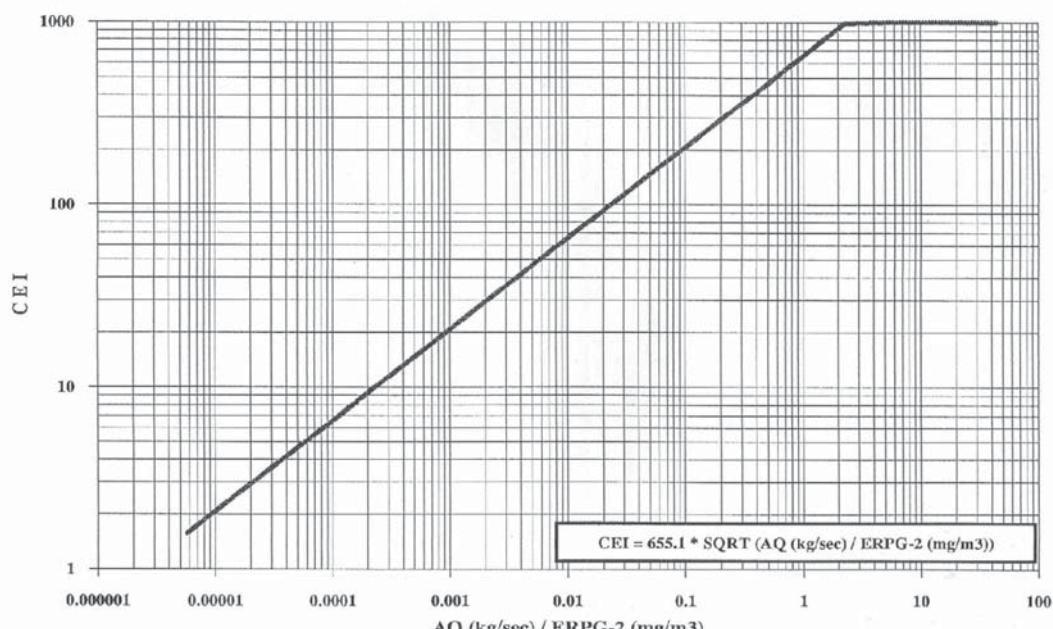
ERPG بر حسب میلی گرم بر متر مکعب است. اگر

مقدار بدست آمده برای CEI بزرگتر از ۱۰۰ باشد آن را

۱۰۰ در نظر می گیریم.

#### ۵- محاسبه فاصله خطر

فاصله خطر (HD): فاصله ایمن از نقطه خطر که بر



نمودار ۱- محاسبه شاخص CEI با استفاده از مقدار هوابرد

نام ماده شیمیایی	مختص	تعداد	فاصله تا ساختمان اداری (متر)	فاصله تا اتاق کنترل (متر)	فاصله تا تاسیسات مجاور (متر)	حریم خطر (متر) (بر طبق محاسبات جدول ۲)	حریم خطر (متر) (بر طبق محاسبات جدول ۳)
کلر	۳	۲۹۰	۲۷۹	۳۰	۳۹۹۹	۱۳۳۹	۳۹۹۹
ایپی کلرو هیدرین	۲	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۹/۹۱	۸۷۱	۴۹۱	۸۷۱
هیدروژن کلراید (بادرجه خلوص ۰/۳۳)	۱	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۵۹/۸	۸۵۱	۳۵۱	۸۵۱
فنل	۳	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۱۱/۴۱	۵۵۱	۲۷۵	۵۵۱
تولوئن	۱	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۲۱/۱۱	۴۳۸	۲۴۰	۴۳۸
کلروبنزن	۱	۲۲۰/۵	۱۶۰/۸۹	۱۸/۸۱	۱۷۱	۱۲۱	۱۷۱

جدول ۱- نام و مشخصات مخازن مواد شیمیایی مورد بررسی در این مطالعه

طبق ۵ فاکتور سمیت حاد، جزء فرار موادی که می‌تواند رهاشود، فاصله تanaxیه خطر، وزن ملکولی ماده و پارامترهای فرایندی مختلف نظیر دما، فشار، واکنش پذیری و ... در نظر گرفته و بر این مبنای شاخص خطر و حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی محاسبه می‌شود [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.

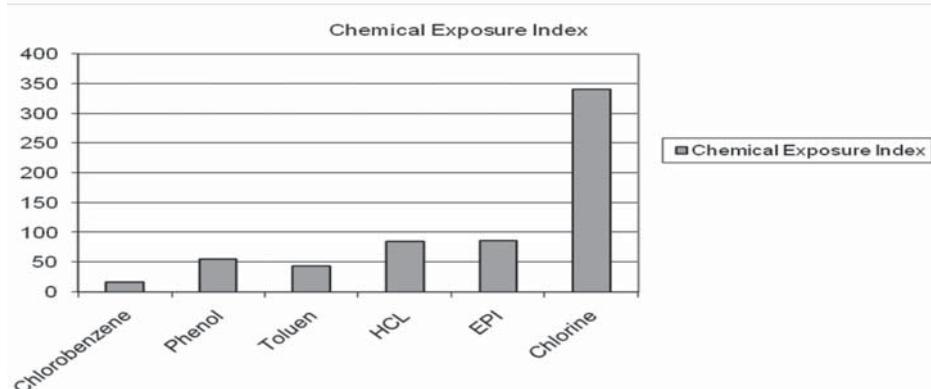
همانطور که در جدول ۲ و نمودار ۲ و ۳ مشاهده شد، شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) و حریم خطر در هنگام رخداد وقایع بر حسب ERPG ۲&۳ در مورد ماده کلر از بقیه مواد بیشتر می‌باشد که نشان دهنده خطر بالای این ماده می‌باشد.

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

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 ۲ و ۳ (ERPG ۲&۳) ذکر شده است. همانطور که در این نمودار هماشده می‌شود شاخص مواجهه شیمیایی و حریم خطر ماده کلر از دیگر مواد بیشتر است و بعد از کلربیسترن شاخص مواجهه و حریم خطر به ترتیب مربوط به اپی کلروهیدرین، کلریدهیدروژن ۰/۳۳، فنل، تولوئن و درنهایت کلروبنزن بود.

**بحث و نتیجه گیری**  
در شاخص CEI اثرات رهایی مواد شیمیایی را بر



نمودار ۲- شاخص مواجهه شیمیایی (CEI) برای مخازن مواد شیمیایی موجود در واحد

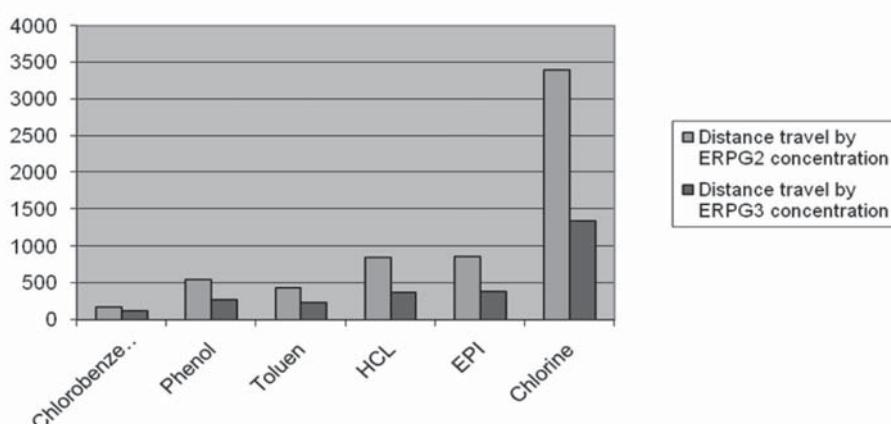


مشخصات مواد شیمیایی و پارامترهای فرایندی	کلر	اپی کلروهیدرین	کلرید هیدروژن	تولوئن	فلن	کلروبنزن	
مقدار مایع در دسترس برای رهایی (کیلوگرم)	۱۵۶۰	۴۴۷۳۹۰	۲۴۶۵۶/۲	۱۷۱۸۰/۲	۹۴۵۲۵۲	۱۷۴۳۸/۴	
دماهی مواد رها شده بر حسب درجه سانتی گراد	۷	۳۰	۳۵	۳۰	۵۰	۳۵	
وزن ملکولی	۷۰/۹۱	۹۲/۵	۳۶/۵	۹۲/۱	۹۴/۱۱	۹۴	
نقطه جوش (درجه سانتی گراد)	-۳۴	۱۱۶	۱۰۸/۶	۱۱۱	۱۸۱/۹	۱۳۲	
فشار بخار بر حسب کیلوپاسکال در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد	۷۷۸	۲/۳۷۹	۴	۳/۸۱	۰/۰۵۷	۷۷۸	
فشار بخار بر حسب کیلوپاسکال در دمای حوضجه	۱۰۱	۶/۵	۱۲	۹/۸۷	۶/۲۵	۴/۴۲	
دانسیته مایع بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب در دمای ذخیره سازی (درجه سانتی گراد)	۱۴۵۸	۱۱۷۵	۹۹۴/۲	۸۵۹/۰۱	۱۰۵۰/۲۸	۱۰۸۹/۹	
دانسیته مایع بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب در نقطه جوش	۱۵۶۲	۱۰۵۳/۹	۹۵۶/۸۲	۷۸۰/۴۷	۹۲۵/۳۶	۹۸۳/۶۳	
نسبت Cp/Hv (ظرفیت گرمایی به گرمای تبخیر)	۰/۰۰۳۳		۰/۰۰۰۸۵	۰/۰۰۲۵۶۳	۰/۰۰۲۱۶۳	۰/۰۰۲۲۹۴	
فشار گیج در فرایند بر حسب کیلوپاسکال	۳۳۲	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	۱۰۳/۳۲۵	
دما (درجه سانتی گراد)	۴۵	۴۵	۳۵	۴۵	۴۵	۴۵	
قطر سوراخ بر حسب میلی متر	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۱/۶	۵۰	
ارتفاع محل نشستی از زمین (متر)	۲	۱۳	۵/۵	۳/۸۵	۱۳	۴/۰۴۳	
ERPG 2 بر حسب میلی گرم بر متر مکعب	۹	۷۶	۳۰	۳۰۰	۱۹۲	۱۹۲۲	
ERPG 3 بر حسب میلی گرم بر متر مکعب	۵۸	۳۸۷	۲۲۵	۱۰۰۰	۷۷۰	۳۸۴۴	
مساحت دایک (متر مربع)	۵۸۶/۵	۱۶۴/۷	۱۵۸۷/۱۵	۱۵۸۷/۱۵	۵۸۶/۵		
فاصله از تاسیسات یا فنس مجاور (متر)	۲۷۹	۹/۹۱	۵۹/۸۱	۲۱/۱۱	۱۱/۴۱	۱۸/۸۱	
شاخص مواجهه شیمیایی (CEI)	۳۴۰	۸۷	۸۵	۴۴	۵۵	۱۷	
حریم خطر برای غلظت 2	۳۳۹۹	۸۷۱	۸۵۱	۴۳۸	۵۵۱	۱۷۱	
حریم خطر برای غلظت 3	۱۳۳۹	۳۹۱	۳۸۱	۲۴۰	۲۷۵	۱۲۱	

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

پس از کلر بالاترین رتبه مربوط به ماده اپی کلروهیدرین است که شاخص مواجهه شیمیایی آن ۸۷ و حریم خطر آن برای غلظت های ERPG ۲ و ERPG ۳ به ترتیب ۸۷۱ و ۳۹۱ متر است. اپی کلروهیدرین ماده ای سمی است که در صورت استنشاق اثرات سمی روی ریه ایجاد می کند. ضمن اینکه شواهدی مبنی بر ناقص الخلقه زایی و سرطانزایی آن در حیوانات آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین

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 و قایع مربوط به پارگی ERPG ۳ و ERPG ۲ مخازن محتوی کلر در غلظت ۱۷۱ و ۱۳۳۹ متر از افراد می بایست به ترتیب تاشعاع ۳۳۹۹ و ۳۳۹۹ متر از منطقه واقعه تخلیه شوند.



نمودار ۳ - حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی برای غلظت های راهنمای طرح ریزی شرایط اضطراری ۲ و ۳ (ERPG ۲ &amp; ۳)

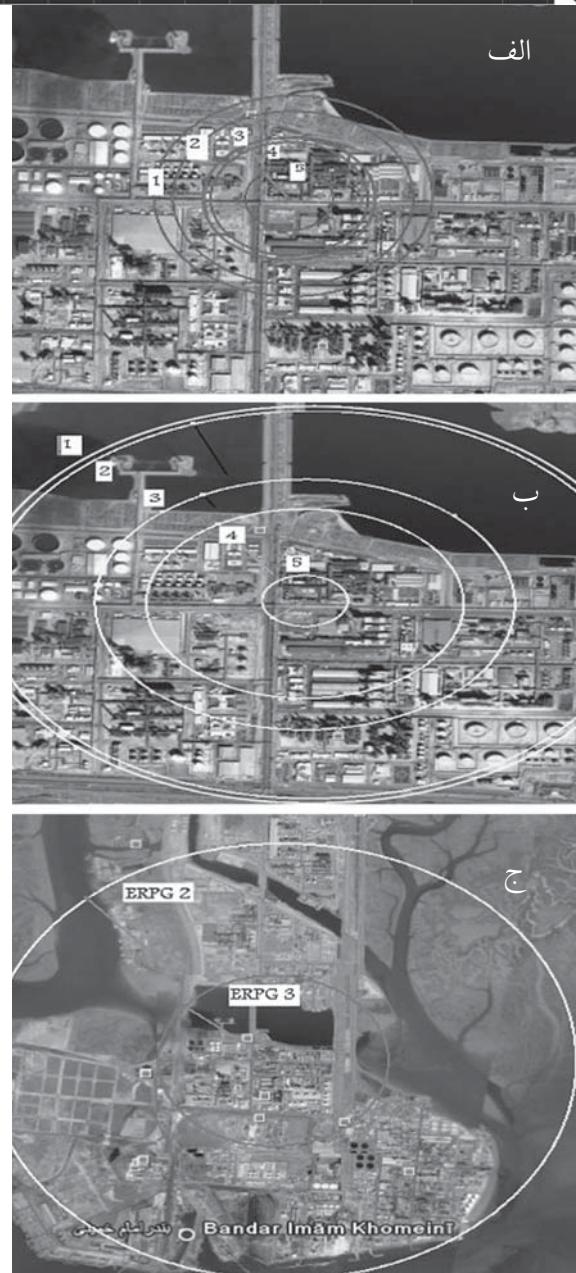
این ماده با شاخص CEI ۸۵ و حریم خطر مربوط به غلظتهاي ERPG ۲ و ERPG ۳ آن به ترتیب ۳۹۱ و ۸۵۱ متر است و رتبه سوم را به خود اختصاص می دهد. لازم به ذکر است درجه خلوص هیدروژن کلراید موجود در صنعت مورد بررسی ۳۳ درصد می باشد.

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 محرك 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 غلظتهاي ERPG ۲ و ERPG ۳ آن به ترتیب ۵۵ و ۲۷۵ متر است.

تولوئن نیز که ماده ای سمی و محرك بوده و در طولانی مدت استنشاق آن می تواند بسیار خطرناک باشد، دارای CEI ۴۴ و حریم خطر ۴۳۸ و ۴۲۰ متر به ترتیب برای غلظتهاي ERPG ۲ و ERPG ۳ می باشد. در نهایت کمترین CEI و حریم خطر مربوط به ماده کلروبینزن است که ماده ای است سمی و تماس پوستی واستنشاقی با آن زیان آور بوده ولذا در هنگام ریزش ناگهانی آن در اثر وقوع حوادث فرایندی می بايست حریم خطر ۱۷۱ و ۱۲۱ متری به ترتیب برای غلظتهاي ERPG ۳ و ERPG ۲ در مورد آن در نظر گرفته شود.

همانطور که در جدول ا 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 ولذا در صورت وقوع حادثی که منجر به رهایی مواد سمی می شوند، کارکنان مستقر در داخل حریم خطر می بايست 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 تهويه 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.



شکل ۱ - حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی در محل مورد بررسی الف- برای غلظت ERPG ۳: ۱: ایپی کلروهیدرین ۳۹۱ متر، ۲: هیدروژن کلراید ۳۵۱ متر، ۳: فنل ۲۷۵ متر، ۴: تولوئن ۴۲۰ متر، ۵: کلروبینزن ۱۲۱ متر)- ب- غلظت ERPG ۲: ۱: ایپی کلروهیدرین ۸۷۱ متر، ۲: هیدروژن کلراید ۸۵۱ متر، ۳: فنل ۵۵۱ متر، ۴: تولوئن ۴۳۸ متر، ۵: کلروبینزن ۱۷۱ متر). ج- برای کلر ۳۹۹ ERPG ۳ مترو و ۱۳۳۹ ERPG ۲ مترو

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.



### 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 ساختمنهای 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.