

## تعیین کمی ریسک حریق و انفجار در یک واحد فرایندی به روش شاخص حریق و انفجار DOW

سعید احمدی<sup>۱</sup>، جواد عدل<sup>۲</sup>، سکینه ورمزیار<sup>۳</sup>

### چکیده

**زمینه و هدف:** خطر آتش سوزی و انفجار به ترتیب از اولین و دومین خطرات اصلی در صنایع فرایندی است. این مطالعه به منظور تعیین شدت ریسک حریق و انفجار، شعاع در معرض و برآورد محتمل ترین خسارت انجام شد.

**روش بررسی:** در این مطالعه کمی واحد فرایندی مورد نظر بر اساس پارامترهای تأثیرگذار بر ریسک حریق و انفجار انتخاب شد. سپس با استفاده از روش شاخص حریق و انفجار (F&EI) DOW مورد آنالیز قرار گرفت. اطلاعات فنی مورد نیاز برای محاسبه شاخص از اسناد فرایندی، راهنمای شاخص و گزارشات موجود بدست آمد پس از محاسبه شاخص، شعاع در معرض خطر تعیین و محتمل ترین خسارت واقعی برآورد گردید.

**یافته‌ها:** شاخص حریق و انفجار واحد فرایندی تحت مطالعه ۲۲۶ محاسبه شد که شدت ریسک معادل با آن شدید و غیرقابل پذیرش بود. از طرفی شعاع خطر در صد آسیب به تجهیزات موجود در این ناحیه به ترتیب ۵۷ متر و ۸۳ درصد تعیین گردید. به علاوه محتمل ترین خسارت واقعی ۶/۷ میلیون دلار برآورد شد.

**نتیجه گیری:** شاخص حریق و انفجار یک تکنیک مناسب برای ارزیابی ریسک و برآورد خسارات ناشی از حریق و انفجار صنایع فرایندی و برای تعیین نقاط پرخطر و کم خطر یک صنعت است. در این تکنیک مجموعه عوامل تأثیرگذار بر ریسک حریق و انفجار بصورت شاخصی نمایش داده می شود که مبنایی برای قضاوت درجه ریسک است. از طرفی خسارات برآورد شده می توانند به عنوان مبنایی برای حق بیمه ناشی از انفجار و آتش سوزی قرار گیرند.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص حریق و انفجار، واحد فرایندی، ریسک، خسارت

### مقدمه

خطر آتش سوزی و انفجار به ترتیب از اولین و دومین خطرات اصلی در صنایع فرایندی محسوب می شوند [۱]. فرایند اکسیداسیون سریع در دماهای بالا را که با تولید محصولات گازی گرم و انتشار تشعشعات مرئی و غیر مرئی همراه می باشد را حریق تعریف کرده اند. در ضمن، آزاد سازی ناگهانی و شدید انرژی یا آزاد شدن سریع گاز با فشار زیاد به محیط را انفجار گویند. اگر چه خطرات انفجار بزرگترین خسارات را در صنایع فرایندی بوجود می آورند. اما حوادث حریق به دلیل وسعت آن

جدی تر از انفجار می باشند [۲، ۱]. محیط مطالعاتی این پژوهش یکی از صنایع پتروشیمیایی کشور است. خطر حریق و انفجار در این صنایع همواره به دلایلی چون قابلیت اشتعال و واکنش پذیری مواد، نشتی، دما و فشار، هزینه های ناشی از وقفه در تولید، ارزش تجهیزات و غیره از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است [۳].

لذا با توجه به اهمیت خطر حریق و انفجار و به منظور کنترل این خطرهای ایمن سازی صنعت مورد بحث باید خطرات مذکور دقیقاً مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، نقاط بحرانی شناسایی و راههای مبارزه و کنترل مشخص گردند.

۱- (نویسنده مسئول) مربی گروه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین (email: saeidahmad@gmail.com)

۲- استادیار گروه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- پژوهشگر



نمودار ۱- مراحل تعیین شاخص حریق و انفجار

شناسایی خطرات و تعیین درجه آسیب پذیری فرایندهای صنعتی توسط تکنیک‌های مختلفی قابل اجرا است. یکی از این تکنیک‌ها شاخصهای خطر می‌باشند. شاخص‌های خطر با بررسی کلیه فاکتورهای تأثیر گذار بر آیت‌مورد انداره گیری به صورت کمی محاسبه می‌شوند. با اجرای شاخص‌های خطر در واحدهای فرایندی مختلف یک صنعت نقاط با سطح ریسک بالا شناسایی می‌شوند و واحدهای فرایندی یک کارخانه را براساس سطح ریسک عمومی آنها طبقه بندی می‌کنند. به علاوه با شناسایی نقاط پرخطر راه‌حلهای کنترلی را برای کاهش ریسک‌های غیر قابل پذیرش ارائه می‌دهند. شاخصهای خطر در روشی نسبتاً ساده و کامل ریسک کلی واحدهای فرایندی را به سرعت محاسبه می‌کنند، به سطح بالایی از تخصص نیاز ندارند، با استفاده از امتیازهای ویژه تفسیر نتایج را آسان می‌کنند، به جزئیات دقیق فرایند نیاز ندارند [۴، ۷].

انتخاب واحد فرایندی در صنعت مورد مطالعه  
تعیین فاکتور مواد  
محاسبه فاکتور خطرات عمومی فرایند  
محاسبه فاکتور خطرات خاص فرایند  
تعیین فاکتور خطرات واحد فرایند  
تعیین شاخص حریق و انفجار DOW  
تعیین شعاع و ناحیه تماس با خطر  
تعیین ارزش جایگزین در ناحیه تماس  
تعیین محتمل ترین خسارت پایه  
تعیین محتمل ترین خسارت واقعی  
تعیین فاکتور آسیب

سیستم ترکیبی از پارامترهای تأثیر گذار بر ریسک حریق و انفجار به صورت کمی نمایش داده می‌شود که شاخص حریق و انفجار نامیده می‌شود. Etowa و همکاران در سال ۲۰۰۲ شاخص حریق و انفجار DOW را برای مخازن ذخیره متیل ایزوسیانات حادثه بوپال هند که بیش از ۲۰۰۰۰ نفر کشته و زخمی بر جای نهاد عدد ۲۳۸ محاسبه کرده‌اند. شدت خطر معادل با این عدد در گروه شدید طبقه بندی شد [۳].

از آنجائی که اجراء تکنیکهای کلاسیک ارزیابی ریسک (نظیر HAZOP، FTA) بر روی کلیه بخشهای صنعت بسیار وقت گیر و پرهزینه است لذا برای صرفه جوئی در وقت و تمرکز فعالیتهای کنترل حریق و انفجار در بخشهای مهم و بحرانی صنعت، استفاده از چنین شاخصهایی، مخصوصاً برای شناسایی بحرانی ترین بخشها اجتناب ناپذیر است. پس از شناسایی بحرانی ترین بخشها می‌توان با بهره جستن از تکنیک‌های کلاسیک آن را دقیق تر و جزئی تر ارزیابی کرد. در این پژوهش اهداف ذیل دنبال می‌شوند:

تعیین شاخص حریق و انفجار که در واقع تعیین سطح ریسک واحد فرایندی تحت بررسی است.  
تعیین شعاع و مساحت ناحیه در معرض خطر حریق و انفجار

متوسط سالانه (Instantaneous Fractional Annual Loss Index=IFAL)، شاخص حریق، انفجار و سمیت موند (MOND نام شرکت ارائه دهنده)، شاخص خطر وزنی ایمنی (hazard Index=SWEHI)، و شاخص ایمنی ذاتی (Safety Weighted Safety Index=ISI)، و شاخص ایمنی ذاتی (Safety Weighted Safety Index=ISI) اشاره کرد [۸].

بررسی سیستمهای کنترل فرایند و تعیین محتمل ترین خسارت ناشی از حریق و انفجار

یکی از پرکاربردترین و جامعترین شاخصهای خطر که در این مطالعه از آن بهره گرفته شده سیستم شاخص حریق و انفجار DOW (DOW's Fire and Explosion Index) است [۴]. در این

موقعیت : مجتمع پتروشیمی مورد مطالعه		واحد تولید کننده : کارخانه آروماتیک	واحد فرایندی: برج عریان ساز
شرایط عملیاتی : نرمال		ماده / مواد اصلی جهت تعیین فاکتور مواد: نفتا بوتان	
فاکتور مواد: ۱۶		فاکتور مواد تصحیح شده : ۲۱	
۱- خطرات عمومی فرایند			
فاکتور پایه		حدود فاکتور جریمه	
A. واکنش شیمیایی گرمازا		۱	
B. فرآیندهای گرماگیر		۰/۳۰ - ۱/۲۵	
C. انتقال ، جابجایی و انبار کردن مواد		۰/۱۰۰	
D. واحدهای فرایندی محصور شده یا داخلی		۰/۱۰۰	
E. دسترسی		۰/۱۰۰	
F. زه کشی و کنترل نشتی		۰/۱۰۰	
فاکتور خطرات عمومی فرایند ( F <sub>۱</sub> )		۰/۲۵ - ۰/۹۰	
۲- خطرات خاص فرایند		۰/۲۰ - ۰/۳۵	
فاکتور پایه		۰/۲۵ - ۰/۵۰	
A. مواد سمی		۱	
B. فشار کمتر از اتمسفر (< ۵۰۰ mmHg)		۰/۸۰ - ۰/۲۰	
C. فشار		۰/۵۰	
D. کم دمایی		۰/۵۲	
E. مقدار مواد قابل اشتعال / ناپایدار		۰/۲۰ - ۰/۳۰	
F. خوردگی و فرسایش		۱/۹	
G. نشتی		۰/۵۰ - ۰/۷۵	
H. استفاده از تجهیزات مشتعل		۱/۵۰ - ۰/۱۰	
I. سیستم تبادل گرمایی گازوئیل داغ		۰/۴۰	
J. تجهیزات دوار		۰/۱۰۰ - ۱/۱۵	
فاکتور خطرات خاص فرایند (F <sub>۲</sub> )		۰/۵۰	
فاکتور خطرات واحد فرایند		۷/۱۲	
شاخص حریق و انفجار DOW		۱۰/۸	
شعاع در معرض خطر ( m )		۲۲۶	
مساحت در معرض خطر ( m <sup>۲</sup> )		۵۷	
		۱۰۲۰۱	
		F <sub>۱</sub> × F <sub>۲</sub> = F <sub>۲</sub>	
		F <sub>۲</sub> × MF = F & EI	
		R(m) = F & EI * 0.256	

جدول ۱- فرم شاخص حریق و انفجار DOW

### روش بررسی

الگوریتم محاسبه شاخص حریق و انفجار در شکل شماره ۱ مشاهده می شود [۶، ۱۰، ۱۱]. در پژوهش حاضر اطلاعات لازم از اسناد فرایندی، راهنمای حریق و انفجار، گزارشات اندازه گیری پارامترهای عملیاتی، استانداردهای مربوطه، مصاحبه و مشاوره با مسئولین بدست آمد. در ابتداء با در نظر گرفتن فاکتورهای نظیر اشتعال پذیری و واکنش پذیری مواد، مقدار مواد خطرناک، دما و فشار عملیاتی، برج عریان ساز ناحیه سولفور زدایی یکی از کارخانجات آروماتیک کشور به عنوان واحد فرایندی برای انجام این تحقیق در نظر گرفته شد. سپس فاکتور مواد بر اساس درجه اشتعال پذیری و درجه واکنش

پذیری مواد تعیین و از نظر دمایی تصحیح شد [۶، ۱۳]. در ادامه فاکتورهای خطرات عمومی (F<sub>۱</sub>) و خاص (F<sub>۲</sub>) فرایند توسط آیتیم های ویژه ای که در فرم شاخص (جدول شماره ۱) نشان داده شده بررسی شدند. پس از بررسی شرایط فرایند فاکتور جریمه ویژه ای از محدوده عددی ارائه شده برای هر یک از آیتیم ها انتخاب شد. به تناسب افزایش شرایط خطرناک یا نواقص میزان جریمه نیز افزایش خواهد یافت. در جریمه صفر آیتیم مورد نظر خطری را برای واحد فرایندی ایجاد نمی کند. برای تعیین جریمه هر یک از آیتیمها از پارامترهای عملیاتی (مثل دما، فشار و ...) و معیارهای تأثیر گذار بر ریسک استفاده شد. برای مثال چنانچه مسیرهای دسترسی کافی و تجهیزات اطفاء کننده

فاکتور اعتبار شده	حدود فاکتور اعتبار	ویژگی کنترلی	فاکتور اعتبار شده	حدود فاکتور اعتبار	ویژگی کنترلی	فاکتور حفاظت از حریق C <sub>1</sub>
۱	۰/۹۷-۰/۹۸	f. پرده های بخار	۰/۹۸	۰/۹۴-۰/۹۸	a. تشخیص نشئی	
۱	۰/۹۲-۰/۹۷	g. فوم	۰/۹۸	۰/۹۵-۰/۹۸	b. ساختار فولادی	
۰/۹۸	۰/۹۳-۰/۹۸	h. مونیتورها/ اطفاء کننده	۰/۹۴	۰/۹۴-۰/۹۷	c. تأمین آب حریق	
۰/۹۶	۰/۹۴-۰/۹۸	i. حفاظت کابل	۱	۰/۹۱	d. سیستمهای ویژه اسپرینکلر	
C <sub>1</sub> = ۰/۸۲						
۰/۹۷	۰/۹۱-۰/۹۷	l. زه کشی	۰/۹۸	۰/۹۶-۰/۹۸	z. شیر کنترل راه دور	فاکتور جداسازی C <sub>2</sub>
۱	۰/۹۸	m. قفل خودکار	۰/۹۶	۰/۹۶-۰/۹۸	k. تخلیه سریع	
C <sub>2</sub> = ۰/۹۱						
۱	۰/۹۴-۰/۹۶	r. گازهای خنثی	۱	۰/۹۸	n. نیروی محرکه اضطراری	فاکتور کنترل فرآیند C <sub>3</sub>
۰/۹۵	۰/۹۱-۰/۹۹	s. دستورالعمل عملیاتی	۱	۰/۹۷-۰/۹۹	o. سیستم سردکننده	
۰/۹۶	۰/۹۱-۰/۹۸	t. آنالیزهای خطر فرآیند	۱	۰/۸۴-۰/۹۸	p. کنترل انفجار	
۰/۹۸	۰/۹۳-۰/۹۱	u. کنترل کامپیوتری	۰/۹۸	۰/۹۶-۰/۹۹	q. خاموش کردن اضطراری	
C <sub>3</sub> = ۰/۸۸						
C = C <sub>1</sub> × C <sub>2</sub> × C <sub>3</sub> = ۰/۶۴						

جدول ۲- فرم فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان در برج عریان ساز

$Nf =$  و درجه واکنش پذیری ( $Nr = 0$ ) نفتا فاکتور مواد آن ۱۶ بدست آمد. این فاکتور برای شرایط دمایی محیطی (۶۰ درجه سانتیگراد) است لذا در شرایط دمایی برج تصحیح شد که برابر ۲۱ است [۱۳، ۶].

فاکتور جریمه اختصاص یافته به هر یک از آیتم های بررسی شده در فرم شاخص حریق و انفجار (جدول شماره ۱) مشاهده می شود. نتایج تعدادی از مهمترین آیتم های تأثیر گذار بر ریسک حریق و انفجار برج عریان ساز به شرح ذیل است:

**دسترسی:** جاده های فرعی اطراف واحد فرآیندی حداقل از دو جهت دسترسی سریع به برج را میسر می سازند. علاوه بر آن تجهیزات اطفاء حریق در فاصله امن نسبت به برج قرار دادند. لذا در صورت وقوع حریق و انفجار دسترسی سریع به این ناحیه فراهم است، بنابراین آیتم دسترسی جریمه ای دریافت نکرد.

**زه کشی و کنترل نشئی:** حوضچه سیستم زه کشی کارخانه با حجم مناسب توانایی پذیرش مجموع مایعات هیدروکربنی آزاد شده از برج و آب آتش نشانی مورد استفاده در شرایط اضطراری را دارد. اما وجود رسوبات بر جداره کانالهای زه کشی مانع از هدایت سریع مایعات به حوضچه شده و اکثر اوقات مجاری مملو از مایعات می باشند که نتیجه آن تجمع مایعات هیدروکربنی در سطح کارخانه است. این شرایط بر شدت حوادث حریق و انفجار در شرایط اضطراری می افزایند بنابراین ماکزیمم فاکتور جریمه

اضطراری برای واحد فرآیندی در نظر گرفته باشند جریمه آیتم دسترسی صفر در غیر این صورت به آن جریمه خاصی تعلق می گیرد. روش محاسبه شاخص در جدول شماره ۱ مشاهده می شود. پس از محاسبه شاخص، محتمل ترین خسارت واقعی با در نظر گرفتن اقدامات ایمنی و کنترلی موجود تعیین گردید. اقدامات ایمنی و کنترلی موجود، همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده می شود تحت عنوان فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان (Loss Control Credit Factor) در سه بخش جداگانه بررسی شد. برای هر یک از این ویژگیهای کنترلی با توجه به درجه حفاظتی و کارایی آن در کاهش پیامدها فاکتور اعتبار ویژه ای از این محدوده عددی انتخاب گردید. حداکثر فاکتور اعتبار عددی یک و حداقل آن صفر است که به ترتیب بیانگر حداکثر و حداقل درجه حفاظتی است.

## نتایج

۱- محاسبه شاخص حریق و انفجار و ناحیه در معرض خطر مواد تشکیل دهنده برج عریان ساز عبارتند از: نفتا، متان، اتان، پروپان، بوتان، هیدروژن، سولفید هیدروژن و آمونیاک. در حدود ۹۵ درصد وزنی از این اجزاء نفتا و مجموع سایر ترکیبات ۵ درصد وزنی را تشکیل می دهند که بسیار ناچیز و در محاسبه فاکتور مواد حذف می شوند. با توجه به درجه اشتعال پذیری (۳)

ناحیه تحت بررسی نصب شده و دارای عملکرد مطلوب هستند. این کاشفها فقط گازهای نشت کرده را شناسایی و آلام می دهند. اما قادر به فعال کردن سیستم حفاظتی نیستند. بنابراین فاکتور اعتبار ۰/۹۸ به آن اختصاص یافت.

**ساختار اسکلتی:** ساختار اسکلتی ساختمان کارخانه و بخشهای پایینی برج عریان ساز تا ارتفاع ۵ متر با بتن عایق شده اند. فاکتور اعتبار معادل با این ارتفاع از ضد حریق کردن برابر ۰/۹۸ است.

**پرده های بخار:** پرده های اسپری بخار بمنظور کاهش دسترسی گاز ها و بخارات آزاد شده به مشعل کوره هادر پیرامون آنها طراحی شده است. این پرده ها به روش دستی فعال شده و فاقد سیستم های تشخیص برای فعال کردن خودکار آنها است. لذا امکان اشتعال گازها و بخارات قبل از فعال کردن پرده بخار توسط اپراتورها وجود دارد، به همین جهت برای این بخش فاکتور اعتبار ۱ در نظر گرفته شد.

همانطور که در فرم فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان (جدول ۲) مشاهده می شود به تعدادی از ویژگیهای کنترلی فاکتور اعتبار اختصاص یافته است. چنین ویژگیهایی نظیر نیروی محرکه اضطراری، سیستم های سرد کننده و ... در واحد فرایندی برج عریان ساز وجود ندارند یا اینکه نظیر پرده های بخار معیارهای ایمنی لازم را برای کنترل ضرر و زیان دارا نمی باشند.

پس از محاسبه فاکتورهای اعتبار حفاظت از حریق ( $C_1 = 0/82$ ) جداسازی مواد ( $C_2 = 0/91$ ) و کنترل فرایند ( $C_3 = 0/88$ ) از حاصل ضرب ۳ فاکتور فوق فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان  $C = 0/64$  تعیین می شد. در ادامه با توجه به فاکتور اعتبار و خسارت پایه محتمل ترین خسارت واقعی ۶/۷ میلیون دلار برآورد شد. (جدول ۳)

**بحث**

بر اساس راهنمای شاخص حریق و انفجار شدت ریسک می تواند در یکی از گروه های سبک، متوسط، سنگین و شدید طبقه بندی شود [۶]. شاخص حریق و انفجار برج عریان ساز مقدار ۲۲۶ محاسبه شد. شدت ریسک حریق و انفجار معادل با این عدد در گروه با درجه ریسک شدید ( $F \& EI > 158$ ) و ریسک آن غیر قابل پذیرش ( $F \& EI > 128$ ) می باشد.

شاخص حریق و انفجار برج عریان ساز با شاخص محاسبه شده برای مخزن ذخیره متیل ایزوسیانات حادثه بوپال که باعث مرگ بیش از ۲۰۰۰۰ نفر شد تفاوت چندانی ندارد. شاخص حریق و انفجار این مخزن نمرة ۲۳۸ گزارش شده است. متیل ایزوسیانات با فاکتور مواد ۲۹ (درجه واکنش پذیری ۳، درجه اشتعال پذیری ۳) نسبت به ماده نفتای برج عریان ساز با فاکتور مواد ۱۶ (درجه واکنش پذیری صفر، درجه اشتعال پذیری ۳) انرژی پتانسیل ذاتی بیشتر و بسیار خطرناکتر است. نفتا در حالت عادی و حتی در مجاورت با حریق پایدار است، اما متیل

۲۲۶	۱- شاخص حریق و انفجار (F&E)
۵۷	۲- شعاع تماس (متر)
۱۰۲۰۱	۳- ناحیه تماس (مترمربع)
۱۲/۷	۴- ارزش تجهیزات در ناحیه تماس (میلیون دلار)
۸۳	۵- فاکتور آسیب (درصد آسیب)
۱۰/۵	۶- محتمل ترین خسارت پایه (میلیون دلار) [۴ × ۵]
۰/۶۴	۷- فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان
۶/۷	۸- محتمل ترین خسارت واقعی (میلیون دلار) [۶ × ۷]

جدول ۳- فرم خلاصه تجزیه و تحلیل ریسک واحد فرایندی برج عریان ساز

برای این آیتم انتخاب شد.

**مواد سمی:** سمی ترین ماده موجود در برج عریان ساز گاز سولفید هیدروژن با درجه خطر بهداشتی ۴ است. بنابراین ماکزیمم فاکتور جریمه ۰/۸ برای این آیتم تعیین گردید.

**نشستی:** در برج عریان ساز از چشمی شیشه ای برای قرائت سطح مایع داخل آن استفاده می گردد. کاربرد چنین وسایلی در طراحی تجهیزات فرایندی بالاترین ریسک نشستی را دارد. زیرا شکستن ناگهانی شیشه باعث آزاد سازی حجم زیادی از مواد قابل اشتعال به محیط می شود. بنابراین ماکزیمم جریمه ۱/۵ به این آیتم اختصاص یافت.

سرعت خوردگی بالا، کوره های اطراف برج، تجهیزات دوار با توان کاری خطرناک و فشار عملیاتی سایر فاکتورهایی هستند که باعث افزایش ریسک حریق و انفجار برج عریان ساز شدند.

همانطور که در فرم شاخص حریق و انفجار مشاهده می شود فاکتور خطرات عمومی و خاص فرایند به ترتیب ۱/۵ و ۷/۱۲ در ادامه شاخص حریق و انفجار برج عریان ساز ۲۲۶ محاسبه شد. شدت ریسک حریق و انفجار این واحد فرایندی در گروه شدید ( $F \& EI > 158$ ) طبقه بندی شده و ریسک آن غیر قابل پذیرش ( $F \& EI > 128$ ) است. شعاع در معرض خطر ۵۷ متر و مساحت این ناحیه ۱۰۲۰۱ متر مربع بدست آمد.

**۲- تعیین محتمل ترین خسارت و فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان**

همانطور که در فرم خلاصه تجزیه و تحلیل ریسک واحد فرایندی (جدول شماره ۳) مشاهده می شود ارزش جایگزینی تجهیزات ناحیه در معرض خطر با تجهیزات نو ساخت مشابه ۱۲/۷ میلیون دلار، درصد آسیب به تجهیزات موجود در این ناحیه ۸۳ و محتمل ترین خسارت پایه ۱۰/۵ میلیون دلار برآورد شد. برای تعیین اقدامات کنترلی و ایمنی موجود، ویژگیهای کنترلی واحد فرایندی مورد مطالعه بررسی شد که فاکتور اعتبار اختصاص یافته به هر یک از آنها در فرم فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان (جدول شماره ۲) مشاهده می شود. نتایج تعدادی از ویژگیهای کنترلی به شرح ذیل است:

**تشخیص نشستی:** کاشف های گازهای قابل اشتعال در سرتاسر

قابل توجه دمای عملیاتی برج عریان ساز است که بالاتر از نقطه شعله زنی ماده نفتامی باشد. چنانچه دمای عملیاتی برج عریان ساز پایین تر از نقطه شعله زنی نفتا باشد، آزاد سازی و تجمع مایعات خطری را ایجاد نمی کند.

آیتم های بررسی شده در بخش خطرات خاص نسبت به خطرات عمومی تأثیر بیشتری بر ریسک حریق و انفجار محاسبه شده داشتند. یکی از آیتم های بررسی شده سمیت مواد شیمیایی واحد فرایندی تحت بررسی است. در حریق ناشی از مواد قابل احتراق، محصولات ناشی از حریق به عنوان یک جزء سمی و خطرناک محسوب می گردند. اما در این مطالعه سمیت مواد داخل تجهیزات مورد توجه است. مواد سمی موجود در فرایند با توجه به درجه سمیت آنها به هنگام آزاد شدن در یک رویداد حریق و انفجار به نسبت های مختلفی باعث کندی عملیات اطفاء حریق و افزایش پیامدهای آن خواهند شد. در مقایسه با سایر تجهیزات کارخانه آروماتیک که حاوی موادی نظیر بنزن، تولوئن، زایلین، پروپان و بوتان هستند برج عریان ساز حاوی گاز سمی سولفید هیدروژن است. حتی تماسهای کوتاه مدت با این ماده می تواند باعث مرگ یا آسیبهای شدید گردد. البته ماده نفتای موجود در این برج از نظر سمیت قابل توجه نیست. در حادثه بوپال یکی از عوامل اصلی مرگ و میر ماده متیل ایزوسیانات بود که خطر بهداشتی ۳ بود. به گفته کارشناسان کارخانه مورد مطالعه در یکی از حوادث مربوط به نشت گاز کلر، تماس افراد با این ماده به حدی بود که مصدومین زیادی را برجای نهاد. درجه خطر بهداشتی کلر با سولفید هیدروژن یکسان و برابر ۴ است.

وجود منابع اشتعال متعدد (کوره ها) به عنوان منبع جرقه در مجاورت برج عریان ساز و آزاد شدن نفتا در دمایی بالاتر از دمای جوش خود به ترتیب باعث اشتعال و پراکنش سریع نشتی می شود. این فاصله کم فرصت لازم برای پراکنش مواد نشت کرده را نمی دهد. همچنین دمای عملیاتی بالا باعث می شود تامواد نشت کرده در شکل اسپری به سرعت به اطراف پراکنده شوند تا به یک منبع جرقه برسند. چنانچه دمای عملیاتی کمتر یا حتی بالاتر از نقطه شعله زنی مواد باشد خطر آتش سوزی به مراتب کمتر از شرایطی است که بالاتر از نقطه جوش مواد باشد. در حال حاضر به منظور محصور کردن منابع اشتعال کوره ها از پرده های بخار استفاده شده که به صورت دستی فعال می شوند و احتمال مشتعل شدن بخارات قبل از جداسازی کوره ها توسط اپراتور بسیار زیاد است. البته عدم تشکیل پرده بخار یکپارچه در اطراف کوره ها نیز از نقص های این سیستم است.

شعاع و مساحت ناحیه در معرض خطر حریق و انفجار متناسب با شاخص حریق و انفجار افزایش می یابد. شعاع در معرض خطر برج عریان ساز در حدود ۱۰ درصد از مساحت کارخانه آروماتیک را دربر می گیرد. در این فاصله بسیاری از تجهیزات مهم کارخانه مستقر هستند، اما ساختمانی که محل استقرار مسئولین و کارکنان کارخانه باشد واقع نبود. وقوع حادثه حریق و انفجار در این ناحیه بیشتر از آنکه باعث خطر

ایزوسیانات در دما و فشار بالا به شوکهای حرارتی یا مکانیکی حساس و در حضور یک منبع انرژی قوی یا به واسطه محصور شدن در یک محفظه گرم به خودی خود قادر به انفجار یا تجزیه انفجاری است. ماده نفتا در مقایسه با موادی نظیر فلورین، نیتروگلیسرین و اسید پیکریک با ماکزیمم فاکتور مواد ۴۰ و در مقایسه با موادی نظیر کلر، دی اکسید سولفور با حداقل فاکتور مواد یک جزء مواد پتانسیل انرژی ذاتی متوسط طبقه بندی می شود که با فاکتور مواد آن با بنزین یکسان است. فاکتور مواد برج عریان ساز در شرایط دمایی محیطی مقدار عددی ۱۶ محاسبه شد، اما از آنجایی که خطرات واکنش پذیری و آتش سوزی بطور قابل توجهی با افزایش دما تغییر می کند، فاکتور مواد نفتا برای شرایط دمایی برج تصحیح شد. بنابراین شرایط دمایی به عنوان یک عامل مهم در افزایش ریسک قلمداد می شود. در کارخانه تحت بررسی علاوه بر برج عریان ساز مخزن نگهداری نفتانیز حاوی ماده نفتای خام است، اما با توجه به اینکه مخزن نفتا در شرایط دمایی محیطی قرار دارد فاکتور مواد آن نسبت به فاکتور مواد برج عریان ساز کمتر است. فاکتور مواد انرژی پتانسیل ذاتی مواد یکی از پارمترهای اصلی برای محاسبه شاخص حریق و انفجار است. ریسک فاکتورهای اصلی حریق و انفجار در این برج سیستم زه کشی نامناسب، سمیت گاز سولفید هیدروژن، مقدار زیاد نفتا، سرعت خوردگی زیاد به دلیل حضور گازها و بخارات خورنده سولفید هیدروژن و آمونیاک، پتانسیل نشتی از چشمی شیشه ای، تجهیزات مشتعل متعدد اطراف برج و تجهیزات دوار با توان کاری خطرناک (اسب بخار ۷۵ > توان پمپها) می باشند. در بخش خطرات عمومی تنها آیتم تأثیرگذار بر ریسک حریق و انفجار سیستم زه کشی کارخانه بود. فرایند برج عریان ساز یک فرایند فیزیکی است و فاقد واکنشهای شیمیایی گرماگیر یا گرمازا می باشد. از طرفی برج عریان ساز در یک فضای باز قرار دارد و هرگونه نشتی مایعات و گازهای قابل اشتعال باعث پراکندگی سریع آنها در محیط اطراف خواهد شد بنابراین چنین محیطی پتانسیل انفجار در یک فضای بسته را کاهش می دهد. دسترسی کافی به جاده ها و تجهیزات اطفاء حریق فراهم است و ایستگاه آتش نشانی در نزدیکی کارخانه قرار دارد. سیستم زه کشی یکی از جنبه های غیرفعال چیدمان کارخانه در حفاظت از حریق محسوب می شود و نقش ویژه ای در انتقال و جابجایی مواد خطرناک خارج شده از دستگاهها در شرایط اضطراری به خارج از کارخانه دارد. از آنجایی که وجود رسوبات هیدروکربنی سنگین در کانال های سیستم زه کشی مانع از هدایت سریع مواد آزاد شده از فرایند به خارج از ناحیه فرایندی می شود تجمع مایعات هیدروکربنی آزاد شده از دستگاهها با دمایی بالاتر از نقطه شعله زنی خود در سطح کارخانه با تشکیل ابر بزرگی از بخارات قابل اشتعال همراه است. لذا احتمال وقوع حریق حوضچه ای در چنین شرایطی افزایش می یابد. لازم به ذکر است سیستم زه کشی بایستی علاوه بر مایعات هیدروکربنی توانایی پذیرش و انتقال آب آتش نشانی را نیز داشته باشد. نکته

کشی از رسوبات، نصب اسپرینکلرهای آب خنک کننده بر روی سینی های کابل و... ارائه گردید.

**تقدیر و تشکر:** بدین وسیله از ریاست و مسئولین کارخانه آروماتیک پتروشیمی بندرامام خمینی (ره) که در انجام این تحقیق مساعدت های لازم را مبذول داشته اند تشکر نموده و صمیمانه قدر دانی می نمایم. همچنین از ریاست و مسئولین محترم امور ایمنی، بهداشت و محیط زیست شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران بخصوص آقای مهندس صادقپور تقدیر و تشکر به عمل می آید.

### منابع

1. Lees FP. Loss prevention in the process industries. London: Butterworths, 1996.
2. Hirst R. Underdown's practical fire precaution. 3rd ed. Canada: Gower Technical, 1989, 4-10, 330-333, 379.
3. Etowa CB, Amyotte PR, Pegg MJ, Khan FI. Quantification of inherent safety aspect of the dow indices. Loss Prevention 2002; 15: 477-487
4. Khan FI, Sadiq R, Amyotte PR. Evaluation of available indices for inherently safer design options. Process Safety Progress. 2003; 22(2): 83-97
5. King R, Hirst R. King safety in the process industries. 2nd ed. Canada: Wuerz Publishing Ltd, 1998, 294-7.
6. American Institute of Chemical Engineers. Dow's fire and explosion index hazard classification guide. 7th ed. New York: AIChE; 1994, 1-64.
7. Suardin J. The integration of Dow's Fire and explosion index into process design and optimization to achieve an inherently safer design. A thesis for Master of Science. Texas: A&M University. August 2005.
8. Khan FI, Abbasi SA. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. 1998; 11: 261-277
9. NFPA 704. Standard system for the identification of the hazards of materials for emergency response. USA; National Fire Protection Association, 2003: 6-7
10. Gupta JP, Khemani G, Mannan SM. Calculation of fire and explosion index (f&ei) value for the Dow guide taking credit for the loss control measures. Loss Prevention in The Process Industries 2003; 16: 235-241
11. Gupta JP. Application of Dow's fire and explosion index hazard classification guide to process plants in developing countries. Loss Prevention 1997; 10(1): 7-15
12. Santamaria Ramiro JM, Brana PA. Risk analysis and reduction in the chemical process industry. USA: Blacking Academic & Professional. 1998
13. NFPA 325, Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids. USA: National Fire Protection Association, 2003.

جانی گردد، خطر مالی را در پی دارد.

عموماً وقوع حوادث حریق و انفجار در هر واحد فرایندی به خسارت های مختلفی منجر می شود. برآورد دقیق خسارات اقتصادی کار بسیار مشکلی است و در تخمین هزینه یک حادثه ممکن است تعیین دقیق خسارات عملی نباشد، اما حتی یک تخمین کلی می تواند نشانگر خسارات اقتصادی چنین وقایعی باشد. از آنجایی که هدف مدیران کاهش هزینه های حوادث به حداقل ممکن می باشد، آگاهی از هزینه حوادث به منظور تنظیم مخارج مرتبط با ایمنی و پیشگیری از حادثه ضروری است. خسارت های ناشی از تخریب تجهیزات از جمله هزینه های اصلی حریق و انفجار است که در این مطالعه برآورد شده است. خسارت محاسبه شده در این مطالعه واقع بینانه ترین خسارت است که با در نظر گرفتن اقدامات ایمنی و پیشگیرانه موجود بدست آمده است متناسب با بهبود ویژگی های کنترلی، میزان خسارت واقعی کاهش می یابد. در این مطالعه اقدامات کنترلی در بخش حفاظت از حریق نسبت به کنترل فرایند و جداسازی مواد بسیار چشم گیر تر هستند. تجهیز واحد فرایندی برج عریان ساز به کاشف های گازهای قابل اشتعال و گاز سمی سولفید هیدروژن، تأمین آب آتش نشانی با فشار و مقدار مناسب، عایق سازی ساختار اسکلتی کارخانه، وجود اسپرینکلرهای آب و انتقال کابل های برق از طریق کانال های زیر زمین از جمله مهمترین اقدامات کنترلی برای کاهش ریسک حریق و انفجار در کارخانه تحت بررسی هستند. البته بخشی از کابل های برق توسط سینی کابل و از روی زمین انتقال یافته است. آسیب به کابل های برق اغلب اوقات به قطع طولانی برق منجر می شود که خسارات ناشی از تعلیق شغل را در پی دارد. از آنجایی که محصولات آروماتیک بسیار با ارزش هستند و فرایند تولید سایر واحدها بصورت سری در امتداد واحد فرایندی برج عریان ساز قرار دارند، تعلیق شغل در این واحد می تواند باعث توقف تولید کارخانه و افزایش پیامدها گردد.

### نتیجه گیری

شاخص حریق و انفجار به عنوان یکی از اختصاصی ترین روشها برای ارزیابی ریسک و برآورد خسارات ناشی از حریق و انفجار صنایع فرایندی در سرتاسر دنیا استفاده می شود. در این روش مجموعه عوامل تأثیر گذار بر ریسک حریق و انفجار بصورت شاخصی نمایش داده می شود که مبنایی برای قضاوت درجه ریسک است. از طرفی خسارات برآورد شده توسط این روش می توانند به عنوان مبنایی برای تعیین حق بیمه ناشی از انفجار و آتش سوزی قرار گیرند. در این مطالعه ریسک واحد فرایندی غیر قابل پذیرش محاسبه شد. استفاده از تدابیر نظیر کاهش مقدار مواد، دما، فشار و افزایش فواصل دستگاهها برای کاهش پیامد از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، لذا به منظور کاهش پیامدها پیشنهادهای نظیر کاربرد پوشش های ضد حریق، راه اندازی خودکار پرده های بخار، زدودن مجاری زه



## Risk quantitative determination of fire and explosion in a process unit by Dow's Fire and Explosion Index

Saeid Ahmadi<sup>1</sup>  
Javad Adl<sup>2</sup>  
Sakineh Varmazyar<sup>3</sup>

### Abstract:

**Background and aims:** Fire and explosion hazards are the first and second of major hazards in process industries, respectively. This study has been done to determine fire and explosion risk severity, radius of exposure and estimating of most probable loss.

**Methods:** In this quantitative study process unit has been selected with affecting parameters on fire and explosion risk. Then, it was analyzed by DOW's fire and explosion index (F&EI). Technical data were obtained from process documents and reports, fire and explosion guideline. After calculating of DOW's index, radius of exposure determined and finally most probable loss was estimated.

**Results:** The results showed an F&EI value of 226 for this process unit. The F&EI was extremely high and unacceptable. Risk severity was categorized in sever class. Radius of exposure and damage factor were calculated 57 meters and 83%, respectively. As well as most probable loss was estimated about 6.7 million dollars.

**Conclusion:** F&EI is a proper technique for risk assessment and loss estimation of fire and explosion in process industries. Also, It is an important index for detecting high risk and low risk areas in an industry. At this technique, all of factors affecting on fire and explosion risk was showed as index that is a base for judgement risk class. Finally, estimated losses could be used as a base of fire and explosion insurance.

### Keywords

Fire and Explosion Index, process unit, risk, loss

- 
1. (Corresponding author) School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences. saeidahmad@gmail.com
  2. School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences.
  3. Researcher