

## ارزیابی ریسک حریق و انفجار به روش شاخص حریق و انفجار DOW در مجتمع پتروشیمی کرمانشاه در سال ۱۳۹۳

### چکیده

**زمینه:** خطر آتش سوزی و انفجار به ترتیب اولین و دومین خطرات اصلی در صنایع فرایندی محسوب می‌شوند. این مطالعه به منظور تعیین شدت ریسک حریق و انفجار، شعاع در معرض خطر و برآورد محتمل‌ترین خسارت‌های ناشی از حریق و انفجار در ریفورمر اولیه انجام گردید.

**روش‌ها:** این مطالعه مقطعی در سال ۱۳۹۳ در مجتمع پتروشیمی اوره و آمونیاک کرمانشاه انجام گردید. در این تحقیق، از شاخص حریق و انفجار DOW جهت تعیین شدت ریسک حریق و انفجار و خسارت‌های محتمل ناشی از آن در ریفورمر اولیه استفاده شده است.

**یافته‌ها:** شاخص حریق و انفجار زیر واحد فرایندی مورد مطالعه، ۲۰۴/۳۳ محاسبه گردید که شدت ریسک معادل با آن شدید و غیر قابل پذیرش بود. شعاع خطر، درصد آسیب به تجهیزات در ناحیه تماس به ترتیب ۵۲/۳ متر و ۷۸ درصد تعیین گردید. ماکزیموم خسارت احتمالی پایه ۲۱۰۵۱۸۶۹ دلار، روزهای کاری از دست رفته کاری ۱۵۸/۵ روز و خسارت ناشی از تعطیلی کارخانه ۷۵۵۸۸۹۰۰ دلار برآورد گردید.

**نتیجه‌گیری:** واحد ریفورمر اولیه از نظر وضعیت ایمنی در حد مطلوب نمی‌باشد و در صورت وقوع پیامد انفجار، میزان خسارت وارده به واحد مذکور و سایر واحدهای مجاور جبران‌ناپذیر می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد که مطالعات بعدی در سایر واحدهای شرکت مجتمع پتروشیمی مورد مطالعه، انجام گردد.

**کلید واژه‌ها:** ارزیابی ریسک، شاخص حریق و انفجار DOW، پتروشیمی

الهام اسفندیاری<sup>۱\*</sup>، نبی اله منصوری<sup>۱</sup>  
مسعود قنبری<sup>۲</sup>

۱. گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

\* **عهده دار مکاتبات:** تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

Email: nmansourin@gmail.com

### مقدمه:

صنایع شیمیایی به ویژه صناعی که در آن مواد هیدروکربنی جابه‌جایی، انتقال، فرآوری و ذخیره می‌شوند از نظر خطر حریق و انفجار از اهمیت بسزایی برخوردارند. این صنایع اغلب با مواد شیمیایی پر خطر و واحدهای عملیاتی تحت دما و فشار بالا نظیر راکتورها و تانک‌های ذخیره سروکار دارند، بنابراین احتمال وقوع حوادثی از قبیل انفجار و آتش‌سوزی و نشت مواد سمی در آنها بسیار بالاست<sup>۱</sup>، لذا خطر آتش‌سوزی و انفجار به ترتیب اولین و دومین خطرات اصلی در این صنایع محسوب می‌شوند<sup>۲</sup>. در بین صنایع شیمیایی، صنایع نفت و پتروشیمی به علت قابلیت اشتعال و

واکنش‌پذیری مواد، بالا بودن دما و فشار عملیاتی، فراریت و قابلیت تبخیر مایعات و متعاقباً تشکیل ابری از بخارات قابل اشتعال و غیره از نظر خطر حریق و انفجار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

با توجه به توسعه صنایع پتروشیمی ایران در سال‌های اخیر، پیشگیری از خسارت‌های ناشی از حریق و انفجار ابعاد گسترده‌تری یافته است، لذا با بهره‌گیری از روش‌های ارزیابی ریسک حریق و انفجار، پتانسیل وقوع حریق و انفجار شناسایی و همچنین پیامدهای آن به منظور تدوین اولویت کنترلی برآورد می‌گردد. جهت بررسی و تجزیه و تحلیل خطرات حریق و انفجار در صنایع

شیمیایی، روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از تکنیک‌های جدیدی که در طی دو دهه اخیر به فراوانی توسعه داده شده و جزء تکنیک‌های کمی ارزیابی ریسک طبقه‌بندی شده، شاخص‌های خطر هستند و با استفاده از شاخص‌های خطر جهت برقراری ارتباط بین ایمنی و پارامترهای عملیاتی، می‌توان آنالیز فرایند را به راحتی انجام داد. در این روشها با استفاده از محاسبات و آنالیزهای مربوطه، مجموعه‌ای از پارامترهای تاثیرگذار بر روی ایمنی بصورت یک شاخص عددی بیان می‌شوند که این شاخص ملاک ارزیابی ریسک قرار می‌گیرد.<sup>۳</sup>

از مهمترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص خطر وزنی ایمنی (Safety Weighted Hazard Index=SWeHI)، شاخص حریق و انفجار و سمیت موند (Mond Fire, Explosion and Toxicity Index)، شاخص مواد زاید خطرناک (Hazardous Waste Index =HWI)، شاخص متوسط خسارت سالیانه (Instantaneous =IFAL)، شاخص ایمنی ذاتی (Fractional Annual Loss Index)، شاخص ایمنی ذاتی بر اساس منطق فازی (Inherent Safety Index =ISI)، شاخص ایمنی ذاتی بر اساس منطق فازی (Fuzzy Logic Inherent Safety Index=FLISI)، اشاره نمود<sup>۴،۵</sup>.

شاخص‌های خطر در مقایسه با تکنیک‌های کلاسیک ارزیابی ریسک مانند FTA، FMEA، HAZOP و ... روش‌های نسبتاً ساده و کاملی برای برآورد ریسک کلی واحدهای فرایندی بوده و واحدهای فرایندی یک کارخانه را بر اساس سطح ریسک عمومی آنها، طبقه‌بندی می‌کنند. این شاخص‌ها به خطرات خاص موجود در فرایند اشاره نمی‌کنند، بلکه با استفاده از مقادیر عددی به شناسایی تجهیزات فرایندی با سطح ریسک بالا می‌پردازند. برای اجرای تکنیک‌های ارزیابی ریسک فوق‌الذکر منابع مالی زیاد، تخصص فنی با کیفیت عالی، زمان و اطلاعات دقیق و جزء به جزء فرایند نیاز است. همچنین استفاده از این تکنیک‌های کلاسیک در مراحل اولیه طراحی فرایند، هنگامیکه به راحتی

می‌توان تغییرات را برای ایمن کردن کارخانه انجام داد می‌تواند به دلیل نیاز به اطلاعات مفصل فرایند، مشکل باشد. علاوه بر مزایای ذکر شده از شاخص‌های خطر می‌توان برای ارزیابی ایمنی ذاتی فرایندهای صنعتی نیز استفاده کرد.<sup>۶</sup> علاوه بر شاخص‌های بالا که به آنها اشاره شد، شاخصی که اخیراً مطرح شده و مورد استفاده بسیاری از محققین و مسئولین صنایع شیمیایی قرار گرفته است و از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های ارزیابی ریسک حریق و انفجار در سراسر دنیا است، شاخص حریق و انفجار (DOW's Fire and Explosion Index) می‌باشد که برای اولین بار در سال ۱۹۶۴ میلادی توسط شرکت شیمیایی DOW ارائه شد. این شاخص می‌تواند کلیه پارامترهای ایمنی را در صنایع فرایندی تا حدود زیادی مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد<sup>۳،۵،۷،۸</sup>.

Etowa و همکاران در سال ۲۰۰۲ شاخص حریق و انفجار DOW را برای مخزن ذخیره متیل ایزوسیانات (حاوی ۴۱ تن متیل ایزوسیانات) فاجعه بوپال هند، ۲۳۸ محاسبه نمودند که بیانگر خطر فوق‌العاده زیاد و ریسک غیرقابل قبول است.<sup>۹</sup>

Gupta و همکاران در سال ۲۰۰۳، با هدف تعیین اثر تعدیلی فاکتور کنترل ضرر و زیان (Loss Control Credit Factor) در کاهش شاخص حریق و انفجار DOW مطالعه خود را در واحد راکتور تولید آمونیاک (Reactor Synthesis Ammonia) و با استفاده از راهنمای شاخص حریق و انفجار انجام دادند. شاخص حریق و انفجار عدد ۱۶۱/۷، با ریسک شدید و غیرقابل قبول محاسبه گردید.<sup>۱۰</sup>

Rigas و همکاران در یک کارخانه آفت کش به منظور بررسی خطر حریق و انفجار از شاخص حریق و انفجار استفاده کردند؛ که بخش بخش ذخیره و بارگیری کلورهای اسیدی به عنوان واحد دارای بالاترین خطر حریق و انفجار با عدد شاخص ۲۹۱ شناسایی شد.<sup>۱۱</sup>

توسط زارعی، تحقیقی جهت ارزیابی ریسک حریق و انفجار در واحد ایزوماکس پالایشگاه نفت تهران با روش شاخص حریق و انفجار DOW انجام گردید و اثر بخشی اقدامات کنترلی نیز مورد

سایر فاکتورهای آنالیز ریسک حریق و انفجار در شکل ۱ نشان داده شده است.

در پژوهش حاضر اطلاعات لازم به منظور محاسبه شاخص DOW، از نقشه‌های PFD و مستندات فرایندی، نمودارها و جداول ارائه شده براساس راهنمای شاخص DOW، پارامترهای عملیاتی، مصاحبه و مشاوره با تیم مطالعاتی و مسئولین مجتمع مورد بررسی بدست آمد. در ابتدا براساس درجه اشتعال پذیری و واکنش پذیری مواد و رجوع به جداول راهنمای شاخص DOW، فاکتور مواد که معیاری از نرخ ذاتی انرژی آزاد شده از حریق و انفجار ماده است، بدست آمد و با توجه به دمای عملیاتی در زیر واحد مورد بررسی، نقطه شعله زنی و نقطه خود به خود سوزی مواد، تصحیح گردید.

فاکتور خطرات عمومی (F1) با بررسی آیت‌هایی نظیر واکنش‌های شیمیایی (گرم‌مازا، گرماگیر)، فرایندهای محصور، انتقال و جابه جایی مواد، دسترسی، زه کشی و کنترل نشتی محاسبه گردید.

فاکتور خطرات عمومی (F2)، با بررسی آیت‌هایی نظیر مقدار مواد قابل اشتعال، خوردگی، وجود تجهیزات مشتعل، تجهیزات دوار و غیره محاسبه گردید.

ابزار گردآوری داده‌ها شامل سه پرسشنامه سنجش آگاهی، نگرش و رفتار، استفاده شد. به منظور سنجش آگاهی آزمودنی‌ها در دو بخش قبل و بعد از مداخله آموزشی از یک پرسشنامه آگاهی سنجی محقق ساخته استفاده گردید. این پرسشنامه که به صورت یک آزمون طراحی گردید. دارای ۲۰ سؤال است که با پاسخ‌های صحیح و غلط جواب داده می‌شود. به منظور تصحیح و تعیین میزان نمره اکتسابی هر آزمودنی در این بخش به سؤالاتی که پاسخ صحیح داده شده باشد، نمره ۱ و به سؤالاتی که غلط پاسخ داده شده باشند نمره صفر تعلق می‌گیرد. بدین صورت نمره هر آزمودنی در این بخش حداقل صفر و حداکثر ۲۰ خواهد بود. به منظور محاسبه هریک از فاکتورهای خطرات عمومی و خاص فرایند، برای آیت‌های ویژه‌ای که نقش مهمی در حوادث حریق

بررسی واقع شد. در این پژوهش، ۶ واحد از ۸ واحد مورد مطالعه، راکتور تبدیل کاتالیستی، ظروف جدا کننده در فشار بالا و پایین، انباره خوراک قسمت تقطیر، کوره واحد تقطیر و برج تقطیر دارای ریسک شدید و برج عریان کننده دارای ریسک زیاد و واحد کوره خوراک دارای ریسک متوسط بود<sup>۱۲</sup>.

توسط آقای فرشید مهرشاد، مطالعه‌ای جهت ارزیابی ریسک حریق و انفجار با استفاده از شاخص حریق انفجار DOW و بررسی اثربخشی راه حل‌های کنترلی در واحد شیرین سازی یکی از فازهای مستقر در پارس جنوبی به منظور بهینه سازی مدل‌های پیشین انجام پذیرفت. در این مطالعه واحد Feed - Gas K. O Drum با شاخص ۲۳۵/۶۲ و واحد Feed - Gas Filter coalescer با شاخص ۲۳۲/۱۵ به عنوان بحرانی‌ترین واحدهای فرایندی شناسایی شد<sup>۱۳</sup>.

محل اجرای این پژوهش، مجتمع پتروشیمی اوره و آمونیاک کرمانشاه بوده است. خوراک این مجتمع گاز متان و محصولات اصلی آن، آمونیاک گرم (خوراک واحد اوره) و اوره گرانول می‌باشد. واحدهای اصلی مجتمع شامل واحد آمونیاک، اوره و یوتیلیتی می‌باشد. آمونیاک توسط واکنش هیدروژن و نیتروژن در دما و فشار بالا و در حضور کاتالیست آهن به دست می‌آید. واکنش اصلی ریفرمینگ، تبدیل متان به هیدروژن و مونوکسید کربن است در اولین مراحل ریفرمینگ، هیدروکربن‌های سنگین‌تر به متان تبدیل می‌شوند.

با توجه به اهمیت بالای واحد ریفرمر اولیه در صنعت پتروشیمی، درجه اشتعال پذیری مواد موجود (متان و هیدروژن) در این واحد فرایندی و شرایط فرایندی (دمای عملیاتی بالا  $803^{\circ}\text{C}$ )، این مطالعه با هدف تعیین شدت ریسک حریق و انفجار در ریفرمر اولیه و برآورد محتمل‌ترین خسارت‌های ناشی از حریق و انفجار به روش شاخص حریق و انفجار DOW، انجام گردید.

### مواد و روش‌ها:

این مطالعه مقطعی در سال ۱۳۹۳ در مجتمع پتروشیمی اوره و آمونیاک کرمانشاه انجام گردید. مراحل تعیین شاخص DOW و

و رجوع به فرمول‌های راهنمای شاخص DOW، فاکتور آسیب یا درصد آسیب در ریفورمر اولیه محاسبه گردید.

به منظور برآورد خسارت‌های ناشی از حریق و انفجار در زیر واحد مورد بررسی، در ابتدا ارزش جایگزینی تجهیزات در ناحیه تماس، تعیین گردید. سپس از حاصل ضرب فاکتور آسیب در ارزش تجهیز در شعاع خطر، محتمل‌ترین خسارت پایه برآورد گردید. خسارت پایه، بدون در نظر گرفتن اقدام‌های ایمنی موجود، می‌باشد؛ لذا به منظور تعیین محتمل‌ترین خسارت واقعی، فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان (LCCF) محاسبه گردید. این فاکتور با در نظر گرفتن ویژگی‌های کنترل ضرر و زیان بدست آمد.

برای هر یک از ویژگی‌های کنترلی مورد بررسی یک محدوده عددی توسط راهنمای DOW، ارائه شده است که با توجه به درجه حفاظتی ویژگی کنترلی، فاکتور اعتبار خاصی از این محدوده عددی انتخاب گردید.

و انفجار دارند، توسط راهنمای شاخص حریق و انفجار DOW، یک محدوده عددی ارائه شده است که به این اعداد فاکتور جریمه یا پناستی Penalty گویند.

پس از بررسی شرایط فرایند و در نظر گرفتن شاخص‌های تأثیرگذار بر خطر (انرژی و مقدار مواد، دما و فشار، نقطه شعله زنی و غیره)، جریمه ویژه‌ای از این محدوده عددی انتخاب شد. چنانچه شرایط خطرناک یا نواقص موجود در تجهیزات و فرایند تأثیر فزاینده‌ای بر شدت و احتمال حوادث داشته باشند، به تناسب آن میزان جریمه نیز افزایش خواهد یافت<sup>۳</sup>.

از حاصل جمع جریمه بدست آمده در آیت‌های مورد بررسی، فاکتور خطرات عمومی (F1) و خاص (F2) محاسبه گردید. از حاصل ضرب (F1) در (F2) در زیر واحد فرایندی مورد بررسی، فاکتور خطرات واحد فرایندی (F3) تعیین گردید. با در نظر گرفتن فاکتور مواد (MF) و فاکتور خطرات واحد فرایندی (F3)



شکل ۱. مراحل تعیین شاخص و خسارت‌های ناشی از حریق و انفجار<sup>۳</sup>

بودند. فاکتور مواد (MF)، فاکتور خطرات عمومی (F1)، فاکتور خطرات خاص (F2)، فاکتور خطرات واحد فرایندی (F3) و شعاع و مساحت در معرض خطر در ریفورمر اولیه به ترتیب ۲۱، ۱/۹، ۵/۱۲، ۹/۷۳، ۵۲/۳ متر و ۸۵۹۶/۵ مترمربع تعیین گردید (جدول ۱).

به منظور تعیین فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان (C) در ریفورمر اولیه، ویژگی‌های کنترلی در ۳ بخش کنترل فرایند (C1)، جداسازی مواد (C2) و حفاظت از حریق (C3) مورد بررسی قرار گرفت.

از حاصل ضرب ۳ فاکتور فوق، فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان در ریفورمر اولیه  $C=0/57$  تعیین گردید. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است ویژگی‌های کنترلی فرایند ( $C1=0/71$ ) نسبت به ویژگی‌های کنترلی جداسازی مواد ( $C2=0/92$ ) و حفاظت از حریق ( $C3=0/88$ )، تأثیر بیشتری بر کاهش خسارت‌های ناشی از حریق و انفجار داشته‌اند.

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، با توجه به ارزش جایگزینی تجهیزات در ناحیه تماس ۲۶،۹۸۹،۵۷۶ و فاکتور آسیب ۰/۷۸، محتمل‌ترین خسارت پایه ناشی از حریق و انفجار ۲۱،۰۵۱،۸۶۹ دلار برآورد گردید. در ادامه با در نظر گرفتن فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان ( $C=0/57$ ) در زیر واحد فرایندی مورد بررسی، محتمل‌ترین خسارت واقعی ۱۱،۹۹۹،۵۶۵ دلار تعیین گردید. همچنین روزهای کاری از دست رفته معادل ۱۵۸/۵ روز و خسارت ناشی از تعلیق تولید ۷۵،۸۸۹،۸۰۰ دلار محاسبه گردید.

### بحث:

در این مطالعه، شاخص حریق و انفجار ریفورمر اولیه مقدار ۲۰۴/۳۳ محاسبه گردید. براساس راهنمای شاخص حریق و انفجار شدت ریسک حریق و انفجار معادل با این عدد در گروه با درجه ریسک شدید و ریسک آن غیرقابل پذیرش می‌باشد. براساس جدول ۱، مقدار مواد قابل اشتعال موجود و بحرانی بودن شرایط فرایندی (دما و فشار عملیاتی) به عنوان عوامل اصلی در خطر حریق و انفجار ریفورمر اولیه شناسایی شدند. در مطالعه

برای مثال چنانچه برای تشخیص گازهای قابل اشتعال نشت کرده در واحد، شناساگر گازی نصب شده فقط آلامر بدهند، فاکتور اعتبار این ویژگی ۰/۹۸ است. اما در صورتی که علاوه بر آلامر، سیستم حفاظتی را فعال کنند فاکتور اعتبار ۰/۹۴ است. چنانچه ویژگی کنترلی مورد نظر موجود نباشد، فاکتور اعتبار ۱ در نظر گرفته می‌شود. فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان، از حاصل ضرب عامل اعتبار هر یک از ویژگی‌های کنترلی در یکدیگر، تعیین گردید<sup>۱۴</sup>. در ادامه با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر هزینه‌های وقفه در تولید (مثل: موازی یا سری بودن خط تولید، تحریم اقتصادی، وابستگی صنایع پایین دستی به محصولات کارخانه و ...) و با استفاده از معادلات ارائه شده براساس راهنمای شاخص (DOW) محدوده بیشتر از ۷۰٪ احتمال تعداد روزهای از دست رفته کاری برآورد گردید. همچنین براساس تعداد روزهای از دست رفته کاری و درآمد ماهیانه کارخانه، خسارت ناشی از تعطیلی کارخانه محاسبه گردید.

### یافته‌ها:

مواد تشکیل دهنده ریفورمر اولیه عبارتند از: متان، هیدروژن، نیتروژن، آرگون، دی اکسید کربن، اتان، پروپان، ایزوبوتان، نرمال بوتان، ایزو پنتان، نرمال پنتان، هگزان. در حدود ۸۵٪ وزنی از این اجزاء را متان تشکیل می‌دهد و تعیین کننده فاکتور مواد در ریفورمر اولیه می‌باشد. با توجه به درجه اشتعال ( $N_F=4$ ) و درجه واکنش پذیری ( $N_R=0$ ) گاز متان ( $CH_4$ ) و براساس جدول راهنمای تعیین فاکتور مواد در شاخص حریق و انفجار DOW، فاکتور مواد عدد ۲۱ محاسبه گردید. ریفورمر اولیه با شاخص حریق و انفجار ۲۰۴/۳۳ و ریسک شدید و غیر قابل پذیرش در مجتمع مورد بررسی شناسایی گردید.

در ریفورمر اولیه، آیت‌های واکنش‌های شیمیایی (گرم‌زا و گرماگیر)، دسترسی، درجه سمیت مواد، فشارتخلیه، مقدار مواد قابل اشتعال، نشی جزئی، استفاده از تجهیزات مشتعل و تجهیزات دوار از عوامل اصلی خطر حریق و انفجار شناسایی شدند. از طرفی تعدادی از آیت‌ها نظیر انتقال یا جا به جایی مواد، فرایندهای محصور، زه کشی و کنترل نشی، خوردگی و فرسایش و سیستم تبادل گرمایی روغن داغ فاقد فاکتور جریمه

مورد بررسی در مقایسه با موادی نظیر فلورین و نیتروگلسیرین (MF=۴) و استیلن و هیدرازین (MF=۲۹) و همچنین در مقایسه با موادی نظیر کلر، دی اکسیدسولفور (MF=۱) جزء مواد با پتانسیل انرژی ذاتی متوسط رتبه بندی می شوند<sup>۳</sup>.

حاضر، مواد شیمیایی کارخانه دارای قابلیت اشتعال پذیری بالا اما فاقد خاصیت واکنش پذیری بودند. اهمیت خاصیت واکنش-پذیری در افزایش انرژی پتانسیل ذاتی مواد، از خاصیت اشتعال-پذیری بیشتر است. به طور کلی مواد شیمیایی مجتمع پتروشیمی

جدول ۱. فرم شاخص حریق و انفجار در ریفورمر اولیه

شرایط عملیاتی: نرمال	مواد واحد فرایندی: متان، هیدروژن، نیتروژن، آرگون، دی اکسید کربن، اتان، پروپان، ایزو بوتان، ...	ماده اصلی جهت تعیین فاکتور مواد: متان (CH4)
فاکتور مواد: ۲۱	دمای عملیاتی: ۸۰۳°C	فاکتور مواد تصحیح شده: ۲۱
۱- خطرات عمومی فرایند		
فاکتور پایه	حدود فاکتور جریمه	فاکتور جریمه انتخاب شده
A. واکنش شیمیایی گرما زا	۰/۳۰ - ۱/۲۵	۰/۵
B. فرایندهای گرماگیر	۰/۲۰ - ۰/۴۰	۰/۲
C. انتقال، جابجایی و انبار کردن مواد	۰/۲۵ - ۱/۰۵	۰
D. واحدهای فرایندی محصور شده یا داخلی	۰/۲۵ - ۰/۹۰	۰
E. دسترسی	۰/۲۰ - ۰/۳۵	۰/۲
F. زه کشی و کنترل نشستی	۰/۲۵ - ۰/۵۰	۰
فاکتور خطرات عمومی فرایند (F1)		۱/۹
۲- خطرات خاص فرایند		
فاکتور پایه	حدود فاکتور جریمه	فاکتور جریمه انتخاب شده
A. مواد سمی	۰/۲ - ۰/۸	۰/۲
B. فشار کمتر از اتمسفر (< 500mmHg)	۰/۵	۰
C. فشار تخلیه فشار عملیاتی ۵۳۱psig	۰/۱۶ - ۱/۵	۰/۸۱۶
D. کم دمایی	۰/۲۰ - ۰/۳۰	۰
E مقدار مواد قابل اشتعال $10^3 \times 111/356$ پوند گرما واکنش: $51/6 \times 10^3$ BTU/Lb		۱/۵
F. خوردگی و فرسایش	۰/۱۰ - ۰/۷۵	۰
G. نشستی	۰/۱۰ - ۱/۵۰	۰/۱
H. استفاده از تجهیزات مشتعل	۰/۱ - ۱/۰	۱
I. سیستم تبادل گرمایی سیال داغ	۰/۱۵ - ۱/۱۵	۰
J. تجهیزات دوار	۰/۵۰	۰/۵
فاکتور خطرات خاص فرایند (F2)		
فاکتور خطرات واحد فرایند $F3 = F1 \times F2$	$F1 * F2 = F3$	۹/۷۳
شاخص حریق و انفجار DOW	$F3 \times MF = F \& E I$	۲۰۴/۳۳
شعاع در معرض خطر	$R(m) = F \& E I \times 0.256$	۵۲/۳
مساحت در معرض خطر (m <sup>2</sup> )		۸۵۹۶/۵

یک منبع انرژی قوی یا به واسطه محصور شدن در یک محفظه گرم، به خودی خود قادر به انفجار یا تجزیه انفجاری است. مقدار شاخص حریق و انفجار واحد Feed – Gas K. O Drum در مطالعه آقای فرشید مهرشاد در سال ۹۱ تحت عنوان ارزیابی ریسک حریق و انفجار با استفاده از شاخص حریق انفجار DOW و بررسی اثربخشی راه حل های کنترلی انجام پذیرفت، ۲۳۵/۶۲ محاسبه شد که از مطالعه حاضر بیشتر است<sup>۱۳</sup>.

مقدار شاخص حریق و انفجار در مخزن متیل ایزوسیانات در فاجعه بوپال هند که باعث مرگ بیش از ۲۰۰۰ نفر شده بود، ۲۳۸ محاسبه شد<sup>۹</sup> که از مطالعه حاضر بیشتر است. متیل ایزوسیانات با فاکتور مواد ۲۹ (NR=۳، NF=۳) نسبت به گاز متان با فاکتور مواد ۰ (NR=۴، NF=۰) مخاطره آمیزتر است. متیل ایزوسیانات در دما و فشار بالا به شوکهای حرارتی یا مکانیکی حساس و در حضور

جدول ۲. فرم فاکتور اعتبار کنترل ضرر وزیان در ریفورمر اولیه

فاکتور اعتبار شده	فاکتور اعتبار	ویژگی کنترلی	فاکتور اعتبار شده	فاکتور اعتبار	ویژگی کنترلی	فاکتور کنترلی
۱	۰/۹۴ - ۰/۹۶	گاز خنثی	۱	۰/۹۸	برق اضطراری	فاکتور کنترلی فرایند (C1)
۰/۹۴	۰/۹۱ - ۰/۹۹	روش هاودستورالعمل های عملیاتی	۱	۰/۹۷ - ۰/۹۹	سیستم سرد کننده	
۰/۹۱	۰/۹۱ - ۰/۹۸	بازنگری و واکنش پذیری مواد	۱	۰/۸۴ - ۰/۹۸	کنترل انفجار	
۰/۹۴	۰/۹۱ - ۰/۹۸	سایر آنالیزهای خطر فرایند	۰/۹۶	۰/۹۶ - ۰/۹۹	سیستم توقف اضطراری	
			۰/۹۳	۰/۹۳ - ۰/۹۹	کنترل کامپیوتری	
C1=۰/۷۱						
۱	-۰/۹۷ ۰/۹۱	زه کشی	۰/۹۸	-۰/۹۸ ۰/۹۶	شیرهای کنترل از راه دور	فاکتور جداسازی مواد (C2)
۰/۹۸	۰/۹۸	قفل خودکار	۰/۹۶	-۰/۹۸ ۰/۹۶	تخلیه سریع / تلبار کردن و بیرون ریختن	
C2=۰/۹۲						
۱	۰/۹۷ - ۰/۹۸	پرده های آب (بخار)	۱	۰/۹۴ - ۰/۹۸	کاشف های حریق	فاکتور حفاظت از حریق (C3)
۱	۰/۹۲ - ۰/۹۷	فوم	۱	۰/۹۵ - ۰/۹۸	سازه های فولادی	
۰/۹۸	۰/۹۵ - ۰/۹۸	مونیتور / اطفاء حریق دستی	۰/۹۴	۰/۹۴ - ۰/۹۷	تأمین آب حریق	
۰/۹۶	۰/۹۴ - ۰/۹۸	حفاظت کابل	۱	۰/۹۱	سیستم های خاص حفاظتی	
C3=۰/۸۸						
C= C1 × C2 × C3 = ۰/۵۷						

است. اما از آنجائیکه زیر واحد فرایندی مورد بررسی به یک سری از اقدام‌های کنترلی مجهز می‌باشد؛ لذا خسارت واقعی کمتر از خسارت پایه گردیده است.

پس از در نظر گرفتن فاکتور کنترل ضرر و زیان  $C3 = 0/57$   
 $C = C1 \times C2 \times C3$ ، محتمل‌ترین خسارت واقعی ۱۱،۹۹۹،۵۶۵ دلار محاسبه گردید.

برآورد محتمل‌ترین روزهای از دست رفته کاری که یک مرحله ضروری در بررسی خسارت‌های ناشی از تعطیلی کارخانه است. خسارت‌های تعطیلی کارخانه، اغلب اوقات مساوی یا بیش تر از خسارت‌های ناشی از تخریب تجهیزات می‌باشند. طبق راهنمای شاخص حریق و انفجار DOW، بین محتمل‌ترین خسارت واقعی و روزهای کاری از دست رفته، همبستگی وجود دارد. با توجه به سری بودن خط تولید مجتمع پتروشیمی کرمانشاه که در صورت نقص در یک بخش، سایر بخش‌ها نیز متوقف می‌شوند، همچنین در حال توسعه بودن کشور ایران و بحث تحریم اقتصادی و وابستگی صنایع پایین دستی به محصولات کارخانه، از محدوده بالا (احتمال بیشتر از ۷۰٪) جهت برآورد روزهای از دست رفته کاری استفاده شده است. همچنین خسارت ناشی از وقفه تولید در اثر حریق و انفجار در زیر واحد مورد بررسی، ۷۵۸۸۹۸۰۰ دلار برآورد گردید.

Suardin و همکاران، به منظور انتخاب بهینه پارامترهای فشار و مقدار مواد در رسیدن به طراحی بهینه ایمن بر روی برج تقطیر و راکتور تبدیل کاتالستی، از شاخص حریق و انفجار استفاده نمودند. در این مطالعه کاهش فشار و مقدار مواد، باعث کاهش شاخص حریق و انفجار DOW گردید. در این مطالعه ریسک حریق و انفجار به عنوان تابعی از فشار و مقدار مواد خطرناک بررسی شد. مطالعه حاضر اهمیت مقدار مواد و شرایط فرایندی در مقدار شاخص حریق و انفجار را نشان می‌دهد که با نتایج حاصل از مطالعات Surdin، Etowa و Hendershot هم‌خوانی دارد (۶۹،۱۵).

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، مهمترین اقدامات کنترلی به منظور کاهش ریسک حریق و انفجار عبارتند از سیستم توقف اضطراری، کنترل کامپیوتری، روش‌ها و دستورالعمل‌های عملیاتی موجود، شیرهای کنترل از راه دور، قفل خودکار، تأمین آب آتش‌نشانی با فشار و مقدار مناسب و حفاظت از کابل‌ها از طریق کانال زیرزمینی، می‌باشد.

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، با در نظر گرفتن ارزش جایگزینی تجهیزات ناحیه تماس و فاکتور آسیب در ریفورمر اولیه، محتمل‌ترین خسارت پایه ۲۱،۰۵۱،۸۶۹ دلار برآورد گردید. با افزایش درصد آسیب و ارزش جایگزینی تجهیزات ناحیه تماس، محتمل‌ترین خسارت پایه نیز افزایش یافته

جدول ۳. فرم خلاصه تجزیه و تحلیل ریسک زیر واحدی فرآیندی ریفورمر اولیه

۱. شاخص حریق و انفجار (F & EI)	۲۰۴/۳۳	
۲. شعاع تماس (متر)	۵۲/۳m	
۳. ناحیه تماس (متر مربع)	۸۵۹۶/۵m <sup>2</sup>	
۴. ارزش تجهیزات ناحیه تماس \$		۲۶۹۸۹۵۷۶ \$
۵. فاکتور آسیب	۰/۷۸	
۶. محتمل‌ترین خسارت پایه \$ (حاصلضرب ردیف ۴ و ۵)		۲۱۰۵۱۸۶۹ \$
۷. فاکتور اعتبار کنترل ضرر و زیان	۰/۵۷	
۸. محتمل‌ترین خسارت واقعی \$ (حاصلضرب ردیف ۶ و ۷)		۱۱۹۹۹۵۶۵ \$
۹. محتمل‌ترین روزهای از دست رفته	۱۵۸/۵day	
۱۰. خسارت تعلیق تولید \$		۷۵۸۸۹۸۰۰ \$



**نتیجه گیری:**

نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد، واحد ریفورمر اولیه از نظر وضعیت ایمنی در حد مطلوب نمی‌باشد و در صورت وقوع پیامد انفجار، میزان خسارات وارده به واحد مذکور و سایر واحدهای مجاور جبران ناپذیر می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد که مطالعات بعدی در سایر واحدهای شرکت مجتمع پتروشیمی مورد مطالعه از جمله واحد اوره، یوتیلیتی و... انجام گردد. از جمله نقاط قوت مطالعه این است که تاکنون مطالعه‌ای در استان کرمانشاه و صنعت پتروشیمی در این خصوص انجام نشده است و زیر واحد منتخب در زمره زیرواحدهای با ریسک بالا از نظر حریق و انفجار با توجه به شرایط فرایندی موجود شناسایی شده است. با توجه به

فنی و تخصصی بودن و طبقه بندی اطلاعات در آرشیو مجتمع پتروشیمی، دسترسی به اطلاعات مذکور تا حدودی مشکل و همکاری پرسنل محدود بوده است که به عنوان محدودیت‌های مطالعه حاضر در نظر گرفته شده است.

**تقدیر و تشکر:**

بدینوسیله از ریاست و مسئولین محترم مجتمع پتروشیمی اوره و آمونیاک کرمانشاه که در انجام این تحقیق مساعدت‌های لازم را مبذول داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمائیم. همچنین از ریاست و مسئولین محترم امور ایمنی، بهداشت و محیط زیست شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

**References:**

1. Less, F. P." Loss Prevention in the Process Industries": Hazard Identification, Assessment and Control, Butterworth-Heinemann.1992.
2. Lees, F. P."Loss prevention in the process industries, Appendix;1996 1: 36.
3. AICHE. Dow's chemical Exposure Index Guide , 1th ed , new York. 1994.
4. Khan, F. I. and S. Abbasi. "Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences", Journal of loss prevention in the process industries. (1999);12(5): 361-378.
5. Suardin J, M. S. Mannan, et al. "The integration of Dow's fire and explosion index (F&EI) into process design and optimization to achieve inherently safer design", Journal of loss prevention in the process industries. 2007;20(1): 79-90.
6. Suardin, J. A." The integration of Dow's Fire and explosion Index into process design and optimization to achieve an inherently safer design", Texas A&M University.2005 Agu.
7. Jensen, N. and S. B. Jørgensen. "Taking credit for loss control measures in the plant with the likely loss fire and explosion index (LL-F&EI)", Process Safety and Environmental Protection.(2007) ;85(1): 51-58.
8. Scheffler, N. E. "Improved fire and explosion index hazard classification", Process Safety Progress. 1994;13(4): 214-218.
9. Etowa, C., P. Amyotte, et al. "Quantification of inherent safety aspects of the Dow indices", Journal of loss prevention in the process industries. 2002;15(6): 477-487.
10. Gupta, J. P. Khemani,G , Mannan,S.M . "Calculation of Fire and Explosion Index (F&EI) value for the Dow Guide taking credit for the loss control measures", Journal of loss prevention in the process industries.2003; 16(4): 235-241.
11. Rigas,F, Konstaninidon,M, Centola,p, Reggio, G.T. Safety Analysis and Risk assessment in a new Pesticide Protection Line.J Loss Prevention.2003;16:103-109.
12. Zarei, M." Isomax Unit of Tehran refinery Fire and Explosion risk assessment using Fire and Explosion indices Dow(DOW) and to evaluation the effectiveness of control Solution". Master Thesis Occupational Health. Faculty of Public Health. Shahid Beheshti University of Medical Sciences.2008.
13. Mehrshad, F. "New approach in assessing the risk of fire and explosion using Dow's Fire and Explosion Index and evaluate the effectiveness of control solutions In one phase gas sweetening unit based in South Paris In order to optimize the previous models" . Thesis Master of Environmental Management. Faculty of Environment. Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran.2012.
14. American Institute of Chemical Engineers. Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide. AIChE.7<sup>th</sup>end.newyork.1998:1-64
15. Hendershot, D. C. "Process minimization: making plants safer", Chemical engineering progress.2000; 96(1): 35-40.

## Evaluation of fire and explosion risk by Dow's fire and explosion index in Kermanshah Petrochemical, 2014

Elham Esfandiari<sup>1\*</sup>, Nabilah Mansouri<sup>1</sup>, Masoud Ghanbari<sup>2</sup>

1. Department of Environmental Management, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran.

2. Department of occupational Health, Faculty of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

\*Corresponding Author:  
Tehran, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran

Email: nmansourin@gmail.com

### Abstract

**Introduction:** Risk of Fire and Explosion Hazards are considered as the first and second major hazard in the process industries. Present study was conducted to determine the risk of Fire and Explosion, radius of exposure and to estimate most probable fire and explosion damages in Primary reformer Unit.

**Methods:** This cross sectional study was done in urea and ammonia Kermanshah Petrochemical complex in 2014. DOW's Fire and Explosion Index was used to determine fire and explosion risk and probable property damage by primary reformer.

**Results:** DOW's Fire and Explosion Index was estimated 204. 33 for subunit of the under study process that severity of risk was evaluated unacceptable. In addition, radius of exposure and damage factor were calculated equal to 52.3 and 83%, respectively. Actual Maximum Property Damage (MPPD) of about \$ 11,999,565, Maximum Probable Days Outage (MPDO) of about 158.5 days and business interruption loss was estimated about \$ 75,889,800.

**Conclusion:** The subunit of Primary Reformer of the status safety in the desirable outcomes might not have fitted in case of an explosion, the extent of the damages to the adjacent units and other units fitted irreparable. Therefore, the proposal that subsequent studies in other units of the petrochemical complex, the company is doing.

**Key words:** Risk Assessment, DOW's Fire and Explosion Index, petrochemical process industry

### How to cite this article

Esfandiari E, Mansouri N, Ghanbari M. Evaluation of fire and explosion risk by Dow's fire and explosion index in Kermanshah Petrochemical, 2014 . J Clin Res Paramed Sci 2016; 5(3):267-76.