هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

بررسی راه‌های فرار دستگاه‌های حفاری دریایی متحرک بر اساس ارزیابی پیامد حوادث محتمل فرایندی با استفاده از نرم‌افزار PHAST

زهرا سجودی[۱]، طیبه خسروی[۲] و مزدک خدادادی کریموند[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران، zahrasjdi@gmail.com.
۲- استاد راهنما، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران، Khosravi_t@yahoo.com.
۳- استاد مشاور، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران، Mazdak.Khodadadi@outlook.com.

چکیده

تجربه حوادث گوناگون در طول تاریخ ثابت کرده وقوع حوادث ناگوار در سکوهای حفاری دریایی به علت شرایط خاص عملیاتی و محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است. وقوع حوادث علاوه بر اینکه با از دست دادن دارایی از منابع ذخیره همراه بوده، منجر به پخش، گسترش، حریق و انفجار مواد در محیط اطراف محل حادثه خواهد شد. پژوهش حاضر بر اساس روش تحقیق توصیفی–تحلیلی به صورت مطالعه موردی بر روی سکوی حفاری دریایی سحر ۲ بوده و روش جمع‌آوری داده‌ها، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته است. در این پژوهش ابتدا با توجه به شرایط عملیاتی سکوی حفاری دریایی سحر ۲، سناریوهای محتمل و آسیب‌رسان به مسیرهای خروج اضطراری استخراج و سپس مدلسازی پیامد حوادث به وسیله نرم‌افزار PHAST انجام گردیده است. در نهایت میزان پیامد بدترین و محتمل‌ترین سناریوها بر روی سکوی حفاری دریایی سحر ۲ و راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) مورد بررسی و راهکارهایی جهت کنترل و کاهش پیامد وقوع حوادث ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: سکوی حفاری دریایی، راه‌های فرار، حریق، انفجار، پیامد، PHAST.

مقدمه

ایمنی از مهمترین مقوله‌های مورد بحث در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی است. نشت و برون‌ریزش مواد خطرناک در صنایع فرآیندی همواره یکی از عوامل تهدیدکننده برای سلامتی افراد و محیطزیست بوده است. از آنجا که ایمنی یک مجموعه در هم تنیده از باورها و رفتارهای افراد یک سازمان است لذا جهت رسیدن به فرآیند ایمنی، نخست باید زیرساخت‌های فرهنگی و اجتماعی در جامعه پیاده‌سازی شود و سپس به ایجاد و اصلاح زیرساخت‌های فنی و اجرایی در نهادها و سازمان‌های متولی این امر پرداخت [1]. تجربه حوادث گوناگون در طول تاریخ ثابت کرده وقوع حوادث ناگوار در سکوهای حفاری دریایی به علت شرایط خاص عملیاتی و محیطی از اهمیت بسیاری برخوردار است. وقوع حوادث علاوه بر اینکه با از دست دادن دارایی از منابع ذخیره همراه بوده، منجر به پخش و گسترش مواد در محیط اطراف محل حادثه می‌شود. مواد شیمیایی عمدتا دارای خصوصیات مخاطره‌آمیزی همچون سمیت و اشتعال‌پذیری هستند که با نشت آن‌ها در محیط آسیب به انسان‌ها، تجهیزات و محیطزیست وجود دارد. بر همین اساس پیش‌بینی رفتار سیال در هنگام رهایش و انتشار برای تخمین پیامدها و صدمات امری ضروری است. به دلیل پیچیدگی و متعدد بودن روابط مربوط به مدلسازی برای تخمین پیامدها در صنایع، از نرم‌افزارهایی که قادر به محاسبه پخش مواد هستند استفاده می‌گردد.

در این پژوهش نیز با استفاده از نرم‌افزار PHAST 7.2 به بررسی حوادث محتمل در سکوی حفاری فراساحل سحر ۲ و میزان

آسیب‌پذیری به راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) پرداخته خواهد شد.

بیان مسئله

حوادث صنعتی مهمی که تنها در چند دهه اخیر رخ داده‌اند؛ نظیر حادثه سکوی نیمه‌شناور الکساندر کیلند که به‌عنوان شناوری برای پشتیبانی از عملیات سکوی فیلیپس پترولیوم در بخش نروژی دریای شمال بر اثر طوفان‌های شدید دچار حادثه گردید و از ۲۱۲ نفر مستقر بر روی سکو ۱۲۳ نفر جان باختند؛ و یا حادثه انفجار سکوی نفتی دیپ‌واترهوریزون شرکت نفت و گاز بریتانیا در خلیج مکزیک که موجب مرگ و جراحات بسیاری گردید [2] و به دلیل نشر مواد سمی درون آب‌های منطقه، تاثیرات مخربی روی محیط‌زیست آن منطقه برجای گذاشت؛ حادثه سکوی نفتی پایپرآلفا در دریای‌شمال نمونه دیگری از حوادث مرگبار دستگاه‌های دریایی است که به دلیل نقص در روند صدور پرمیت منجر به حوادث و آتش‌سوزی‌های گسترده گردید [3].

بررسی این حوادث کافیست تا به میزان اهمیت راه‌های فرار و تجهیزات امداد و نجات در سکوهای حفاری دریایی پی برد. راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) در کف سکو حفاری سحر ۲ به رنگ سبز امتداد یافته‌اند و باید توجه داشت که عاری از هرگونه آلودگی و مواد لغزنده در محیط بوده تا در هنگام وقوع شرایط اضطراری خود باعث مخاطره نباشد.

شکل ۱: مسیر خروج اضطراری در سکوی حفاری دریایی سحر ۲

روش پژوهش

در گام نخست با بررسی نقشه‌ها و جانمایی دستگاه‌ها و تجهیزات موجود در دستگاه حفاری دریایی متحرک شرکت حفاری شمال و با درنظر داشتن استاندارد توتال [4] تمامی سناریوهای محتمل ایجاد شرایط‌اضطراری بررسی خواهند شد و در گام‌های بعدی به کمک نرم‌افـزار شبیه‌سازی پیامد حوادث میزان آسیب‌پذیری بر راه‌های خروج اضطراری دستگاه حفاری دریایی متحرک شرکت مذکور و تحلیل تمامی نتایج حاصل انجام خواهند گرفت.

تحلیل داده‌ها

سکوی حفاری دریایی متحرک سحر ۲، یکی از جدیدترین سکوهای حفاری شرکت حفاری شمال می‌باشد. این سکو در سال ۱۳۹۲ در آب‌های خلیج فارس بهره‌برداری گردید. در حال حاضر فعالیت سحر ۲ در میدان نفتی ابوذر در فاصله تقریبی ۷۵ کیلومتری جزیره خارگ بوده و عمق حفاری این سکو به طول حدودی ۳۰ هزار فوت می‌رسد. موقعیت مکانی سکوی سحر ۲ بر اساس مختصات موجود و تصویر هوایی در وضعیت حاضر به شرح تصاویر ذیل می‌باشد.

شکل ۲: موقعیت سکوی حفاری دریایی سحر ۲

اطلاعات مربوط به مدلسازی دارایی‌های سکوی حفاری دریایی سحر ۲ براساس جدول ذیل می‌باشد:

جدول ۱: اطلاعات مخازن سوخت گازوییل سکوی حفاری دریایی سحر ۲

نام دارایی	حجم (m3)	فشار (atm)	دما (c)
NO.2 D.O.TK(P)	۲۱۱,۸	atm	AMB.
NO.1 D.O.TK(P)	۲۱۱,۸	atm	AMB.
D.O DAY TK	۲۴,۳	atm	AMB.
D.O SETT TK	۱۳,۳	atm	AMB.

از آنجایی که شرایط آب و هوایی نیز یکی از پارامترهای مهم در نرم‌افزار PHAST جهت مدلسازی بوده، شرایط جدول ذیل مربوط به داده‌های هواشناسی بر ساس میانگین ۱۰ ساله می‌باشد:

جدول ۲: داده‌های هواشناسی مربوط به سکوی حفاری دریایی سحر ۲

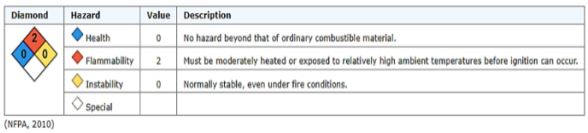
فصول	بیشینه دما (c)	کمینه دما (c)	رطوبت (٪)	سرعت باد (m/s)
زمستان	۲۴	۱۹	۷۰	۶
پاییز	۳۴	۳۲	۷۲	۴
تابستان	۴۹	۴۳	۶۸	۴
بهار	۳۰	۲۵	۶۰	۴,۵

از دیگر پارامترهای مهم و اثرگذار، شرایط جوی می‌باشد. پایداری جو نشان دهنده میزان اختلاط و اغتشاش لایه های جوی و معیاری از اختلاط مواد پخش شده در محیط در جهت عمود بر سطح زمین است. در جدول (۳) طبقه بندی آن ذکر شده است [5].

جدول ۳: معیارهای پایداری پاسکوییل

هوای کاملا ابری در هر زمان از شبانه روز	شب: درجه ابری بودن آسمان		روز: میزان تابش خورشید			سرعت باد (m/s)
	بین ۰٫۴ و ۰٫۸	کمتر از ۰٫۴	زیاد	متوسط	کم	
D	–	–	A	A-B	B	کمتر از ۲
D	F	E	A-B	B	C	۳-۲
D	E	D	B	B-C	C	۵-۳
D	D	D	C	C-D	D	۶-۵
D	D	D	C	D	D	بیشتر از ۶

بر اساس برگه اطلاعات شیمیایی مواد[1] سوخت گازوییل اثرات سمیت خاصی نداشته اما ماده‌ای اشتعال‌زا بوده و در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد در حضور منبع جرقه مشعل می‌شود. در پژوهش حاضر، جهت مدلسازی از دو شرایط آب‌وهوایی فصل سرد و گرم (تابستان و زمستان) به شرح جدول فوق جدول (۲) و بر اساس استاندارد توتال[2][6] از نشت به قطر ۲۵ و ۱۵۰ میلی‌متر و پارگی کامل استفاده گردیده‌است.

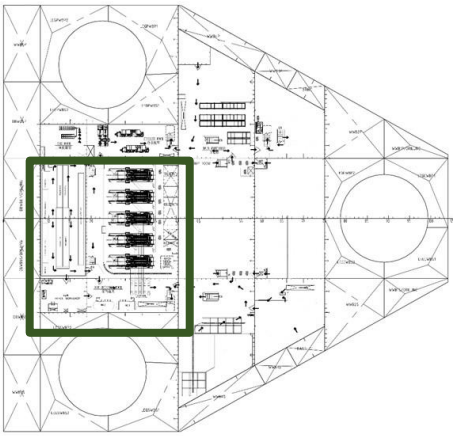


شکل ۳: اطلاعات مواد شیمیایی گازوییل

تشریح سناریوها

جهت مدلسازی برای مخازن گازوییل موجود در سکوی حفاری دریایی سحر ۲، سناریوها برای دو شرایط آب‌وهوایی تابستان/ زمستان و شرایط جوی متفاوت به شرح معیارهای پاسکوییل F، D و C متناسب با سرعت باد و شرایط آب‌وهوایی موجود در فصل زمستان و معیارهای B و C متناسب با سرعت باد و شرایط مورد بررسی در فصل تابستان درنظر گرفته شده‌است. طبق استاندارد توتال اشاره شده در بخش قبلی، فرضیات مدلسازی‌ها برای پارگی کامل مخزن، نشت به قطر ۱۵۰ میلیمتر و نشت به قطر ۲۵ میلیمتر برای تمامی شرایط آب‌وهوایی تعریف شده، انجام گرفته است.

مخازن سوخت واقع در پایین‌ترین طبقه سکو (واحد تعمیرات و ماشین‌آلات) و در کنار ژنراتورها بوده و بسیار نزدیک (در فاصله حدودی ۱۰ متری) به راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) که در شکل ذیل با نشانه‌های مشکی رنگ مشخص می‌باشند؛



شکل ۴: موقعیت مخازن سوخت در سکو حفاری دریایی سحر ۲

با توجه به بررسی‌های انجام شده، انتظار می‌رود بیشترین پیامد مخاطره‌آمیز مربوط به پارگی مخزن NO.2.D.O.TK(P) در شرایط آب و هوایی تابستان با پایداری جوی C باشد؛ اما باید در نظر داشت که با توجه به سوابق حوادث فرآیندی اکثرا حوادث با نشت و پخش جزئی آغاز و درصورت عدم پیشگیری از گسترش آن باعث پیامدهای شدید میگردند به همین علت پیامد حوادث بر روی راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) سکوی حفاری دریایی سحر ۲ در هر دو نوع سناریو بدترین حالت وقوع و سناریو محتمل ناشی از نشت به قطر ۲۵ میلیمتر از مخزن D.O Day.TK (به علت شارژ روزانه مخازن سوخت) در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار پایداری C در این پژوهش بررسی گردیدند.

نتایج

مطابق نتایج بدست آمده به شرح جدول (۴)، تشعشع حرارتی ۳٫۲ (کیلو وات بر متر مربع) برای آتش استخری در بدترین سناریو موجود (پارگی کامل مخزن) و نشت به قطر ۱۵۰ میلیمتر، بسیار شدید بوده و از محدوده سکو فراتر خواهد رفت اما در سناریو مربوط به نشت ۲۵ میلیمتر از مخزن، اثر آتش فورانی، تشعشع‌های حرارتی آتش ناگهانی و آتش استخری به شرح شکل‌های ذیل توانایی آسیب به راه‌های فرار موجود در این واحد را خواهند داشت. قابل ذکر است در سناریوهای مورد بررسی، راه فرار (مسیر خروج اضطراری) در محدوده آتش[3] قرار می‌گیرد و در اثر عدم و یا تاخیر در اطفای حریق و خنک‌کاری محیط پس از گذشت ۲۰ ثانیه سوختگی درجه ۲ برای پرسنل و در صورت تداوم زمانی

[1] Material Safety Data Sheet (MSDS)

[2] Total 253

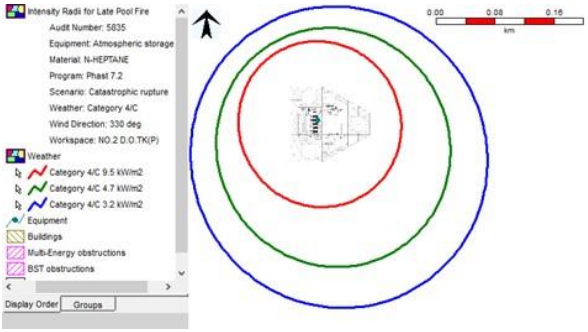
[3] Fire Zone

حریق بیش از ۱ ساعت، تشعشع حرارتی ناشی از حریق توانایی آسیب به سازه سکو را خواهد داشت.

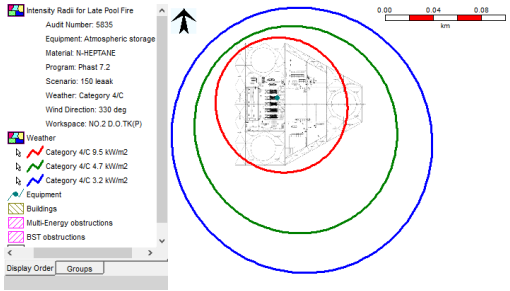
جدول ۴: نتایج سناریوهای بررسی شده

سناریو	مخزن	شرایط آب و هوایی		تشعشع آتش استخری ۳,۲ (Kw/m2)	تشعشع آتش ناگهانی ۳,۲ (Kw/m2)	تشعشع آتش فورانی (LFL)
		فصل	معیار پاسکوییل			
پارگی کامل مخزن	NO.2.D.O.TK(P)	تابستان	C	۲۶۱ m	-	-
نشت با قطر ۱۵۰ میلیمتر		تابستان	C	۵۵ m	۴۰ m	-
نشت با قطر ۲۵ میلیمتر		تابستان	B	۴۹ m	۸ m	۱۵ m
نشت با قطر ۲۵ میلیمتر	D.O Day. TK	تابستان	C	۴۹ m	۸ m	۱۶ m

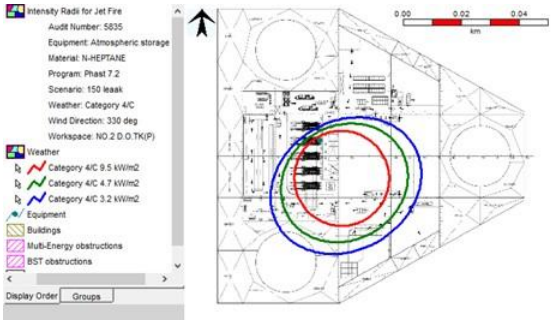
توجه: منحنی‌های سبز رنگ و آبی رنگ در شکل‌های ذیل مربوط به تشعشع‌های حرارتی ۴,۷ و ۹,۵ (کیلووات بر متر مربع) می‌باشد که به علت بررسی پیامد حوادث با بیشترین اثرگذاری از نتایج این تشعشع‌ها در پژوهش حاضر صرف نظر شده‌است و تنها تشعشع حرارتی ۳,۲ (kw/m2) بررسی گردیده است.



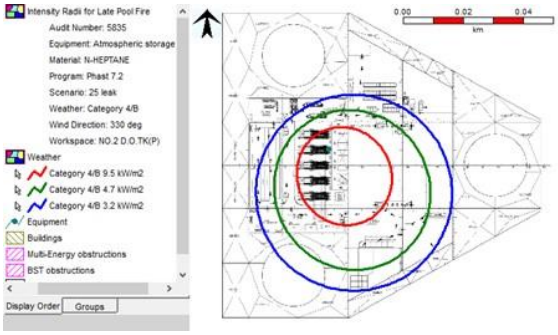
شکل ۵: پیامد تشعشع آتش استخری در بدترین سناریو مربوط به مخزن (P) NO.2.D.O.TK (پارگی کامل در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی C)



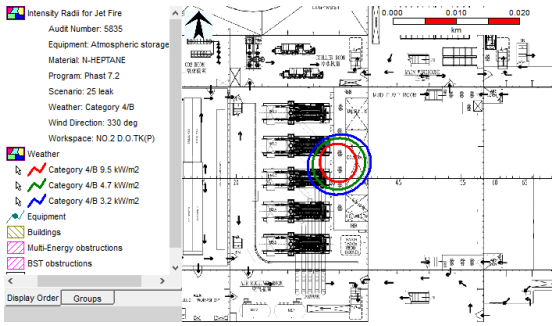
شکل ۶: پیامد تشعشع آتش استخری در بدترین سناریو مربوط به مخزن (P) NO.2.D.O.TK (نشت به قطر ۱۵۰ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی C)



شکل ۷: پیامد تشعشع آتش ناگهانی در بدترین سناریو مربوط به مخزن (P) NO.2.D.O.TK (نشت به قطر ۱۵۰ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی C)

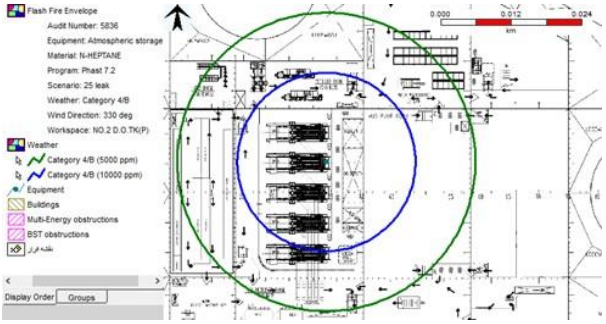


شکل ۸: پیامد تشعشع آتش استخری در بدترین سناریو مربوط به مخزن (P) NO.2.D.O.TK (نشت به قطر ۲۵ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی B)



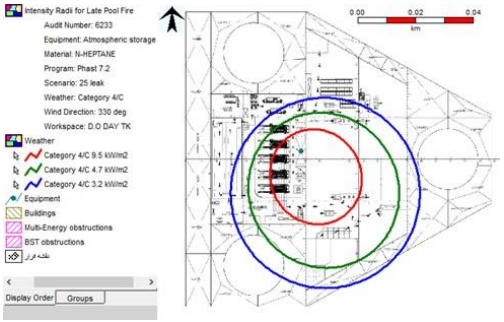
شکل ۹: پیامد تشعشع آتش ناگهانی در بدترین سناریو مربوط به مخزن (P) NO.2.D.O.TK (نشت به قطر ۲۵ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی B)

توجه: منحنی سبز رنگ در شکل ذیل مربوط به غلظت ۰,۵ (LFL) می‌باشد که به علت بررسی پیامد حوادث با بیشترین اثرگذاری از نتایج آن در پژوهش حاضر صرف نظر شده‌است و تنها اثرگذاری مربوط به (LFL) بررسی گردیده است.

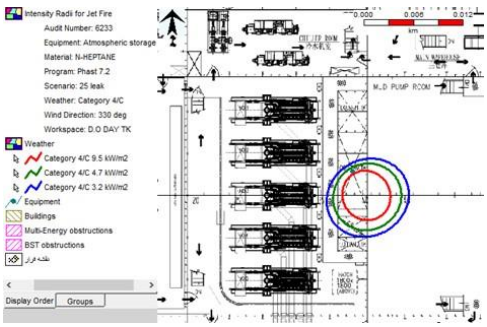


شکل ۱۰: پیامد تشعشع آتش فورانی در بدترین سناریو مربوط به مخزن NO.2.D.O.TK (P) (نشت به قطر ۲۵ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی B)

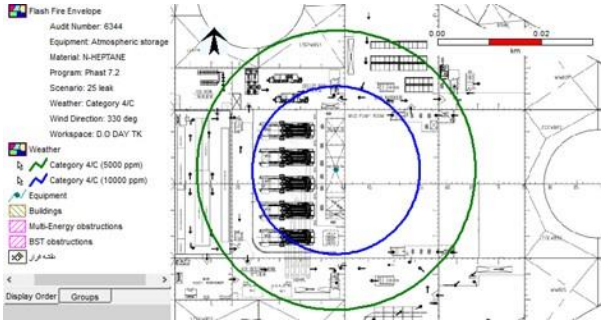
با توجه به آن که مخازن سوخت گازوییل در سکوی حفاری دریایی سحر ۲ به صورت روزانه شارژ می‌شوند؛ سناریوهای مربوط به مخزن D.O. Day TK (P) به خصوص در نشت ۲۵ میلیمتر نیز محتمل بوده و پیامد حوادث آن بر روی راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) به شرح شکل‌های ذیل بررسی گردیده شده است.



شکل ۱۱: پیامد تشعشع آتش استخری مربوط به مخزن D.O. Day TK (نشت به قطر ۲۵ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی C)



شکل ۱۲: پیامد تشعشع آتش ناگهانی مربوط به مخزن D.O. Day TK (نشت به قطر ۲۵ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی C)



شکل ۱۳: پیامد تشعشع آتش فورانی مربوط به مخزن D.O. Day TK (نشت به قطر ۲۵ میلیمتر در شرایط آب و هوایی تابستان با معیار جوی C)

همانطور که از نتایج پیامدهای بالا مشخص می‌باشد در تمامی سناریوهای حریق و انفجار، راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) در محدوده تحت تاثیر تشعشع حرارتی قرار داشته و احتمال آسیب شدید نیز به‌طور متقابل بر آنها وجود خواهد داشت؛ قابل ذکر است، تنها در سناریوهای مربوط به آتش ناگهانی راه‌های فرار در محدوده آسیب‌گذار تشعشع حرارتی قرار نخواهند گرفت اما در هنگام وقوع آن‌ها نیز باید تدابیر ایمنی رعایت گردد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به آنکه در خصوص میزان اهمیت مقوله ایمنی در صنایع مختلف به خصوص صنعت نفت و گاز و بررسی حوادث فرآیندی در سکوهای حفاری دریایی (فراساحل) بحث گردید؛ به ضرورت توجه به بررسی میزان آسیب‌پذیری راه‌های فرار و نجات افراد پی برده شد و موضوع پژوهش حاضر نیز به همین علت مورد مطالعه قرار گرفت.

مطابق تحلیل‌های صورت گرفته، بیشترین پیامد اثرگذار مربوط به مخزن NO.2. DO. Tank به حجم ۲۱۱ متر مکعب بوده و راه‌های فرار (مسیرهای خروج اضطراری) در طبقه زیرین سکوی حفاری دریایی سحر ۲ را کاملا در محدوده آتش[1](تشعشع حرارتی ۹,۵ کیلووات بر متر مربع) قرار داده و میزان اثرگذاری آن به حدی است که به طبقات بالایی سکو نیز آسیب وارد خواهد نمود؛ همچنین سناریو محتمل نشت به قطر ۲۵ میلیمتر از مخزن DO. Day Tank دارای بیشترین احتمال وقوع و آسیب‌گذار به راه‌های فرار واقع در واحد ماشین‌آلات[2](طبقه زیرین سکو) بوده و پیامدهای ناشی از تشعشع حرارتی آتش استخری (مخزن DO. Day Tank) تا شعاع ۴۹ متری، تشعشع آتش ناگهانی تا شعاع ۸ متری و اثر آتش فورانی تا شعاع ۱۶ متری پیش‌روی خواهد کرد.

پیامد ناشی از این تشعشع حرارتی (۳,۲ کیلووات بر متر مربع)، سوختگی درجه ۲ برای پرسنل پس از گذشت ۲۰ ثانیه خواهد داشت؛ همچنین در صورت تداوم زمانی حریق بیش از ۱ ساعت، تشعشع حرارتی ناشی از حریق باعث آسیب به سازه سکو را خواهد شد.

[1] Fire Zone

[2] Machinery

پیشنهادات و راهکارها

قابل ذکر است در هنگام احتراق مخازن گازوییل بررسی شده، با توجه به آنکه تشعشع حرارتی توانایی آسیب شدید به پرسنل را دارد؛ توصیه می‌گردد، برای پرسنل استفاده از لباس‌های عایق حرارتی در هنگام وقوع شرایط اضطراری درنظر گرفته شود. همچنین با توجه به آنکه مخازن سوخت گازوییل به صورت مایع بوده، به‌منظور کاهش پیامدها می‌توان برای مخازن سوخت موجود در سکوی حفاری دریایی سحر ۲ دایک یا محدوده حفاظت در برابر برون ریزش ماده در نظر گرفت.

یکی از برنامه‌ها و اقدامات کنترلی که در هنگام شرایط اضطراری باید به آن توجه داشت تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری و آمادگی تیم عملیاتی می‌باشد؛ لذا برگزاری مانورهای عملیاتی جهت آموزش و به‌روز بودن پرسنل در این شرایط یکی از موارد اثرگذار بر روی کاهش پیامدها می‌باشد؛ که این موضوع بخوبی در سکوی حفاری دریایی سحر ۲ رعایت گردیده است. لازم به ذکر است جهت به‌روز بودن نسبت به شرایط سکو، بازبینی‌ها، کنترل‌های ادواری و آمادگی تیم ایمنی و آتش نشانی نیز در مدت زمان معلوم صورت پذیرد.

مراجع

[۱] ب .خوش منش زاده خشکناب ,ب .مرادی غیاث آبادی ,م .بدری , "شناسایی شاخص های ایمنی و امنیت و محیط زیست و بهداشت شغلی در صنایع پتروشیمی مناطق بندری) (OHSAS) مطالعه موردی: پتروشیمی رازی بندر عباس ۱۴۰۰".

[2] R. O. king, "Deepwater Horizon Oil Spill Disaster: Risk, Recovery, and Insurance Implications," Congressional Research Service.

[3] H. l. Cullen, "The public injury into the Piper Alpha disaster," London, 1990, vol. 1.

[۴] ح .ا .ز .ف .م .م .ل .س .گ .چی" ,ارزیابی احتمال موفقیت طرح فرار، تخلیه و نجات در شرایط اضطراری در دستگاه های حفاری متحرک فراساحلی با استفاده از روش ",ETA ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز, ۱۲۶.Vol , pp.۷۰-۶۴,۱۳۹۴.

[۵] ه .میرزاخانی ,و .زراوشانی and ,س .احمدی" ,بررسی تأثیر تغییرات جوی بر مدل‌سازی پیامد ریسک حریق و انفجار در یک ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری (CGS) عنوان کوتاه :تاثیرتغییرات جوی بر مدل‌سازی پیامد ریسک حریق و انفجار ",فصلنامه بهداشت در عرصه , vol. 8, no. 2, pp. 44-56, 10/16 2020. Doi: 10.22037/jhf.v8i2.30676

[6] GS EP SAF 253 (Impacted area, restricted area and fire zones). Total, 2012.