ارزیابی ریسک در فرایند نشتی از خطوط لوله و تجهیزهای ذخیره‌سازی نفت و فراورده‌های نفتی

بهروز میرزایی *+، عزیز باباپور
گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

علیرضا دهقان بیدختی
گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

میثم پار
گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده: امروزه تأسیسات ذخیره‌سازی نفت و فراورده‌های نفتی به عنوان یکی از اقتصادی‌ترین فرایندهای ذخیره‌سازی در دنیا شناخته می‌شود. در این پژوهش، تأثیر پارامترهای گوناگون بر حادثه های احتمالی مخازن نفتی با استفاده از نرم‌افزار PHAST مدل‌سازی و ارزیابی شد. در شبیه‌سازی انجام شده، یک مخزن ذخیره تحت فشار نفت خام به همراه خط لوله ورودی به مخزن در نظر گرفته شده و احتمال نشتی از خط لوله مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه ها نشان داد که قطر حوضچه نفتی شبیه‌سازی شده در این کار بسته به شرایط آب و هوایی می‌تواند تا بیش از ۴۰ متر گسترش یابد و در اثر وزش باد و با فرض ایجاد آتش استخری در حوضچه نفتی، تابش گرمایی با شدت $4kW/m^2$ تا فاصله ۲۰ متر از حوضچه می‌تواند تأثیرگذار باشد. بر اساس نتیجه های به‌دست‌آمده، ناحیه‌های تحت تأثیر موج فشاری ایجادشده از انفجار و اشتعال ناگهانی نیز به‌طور متوسط به ترتیب ۲۷ و ۳۰ متر می‌باشد. نتیجه‌های شبیه‌سازی برای شرایط احتراق و تبخیر در غیاب آتش‌سوزی و انفجار نشان داد که شدت تبخیر در لحظه‌های اولیه بالا بوده و پس از گذشت حدود ۲۰۰۰ ثانیه به دلیل کم شدن میزان نفت در حوضچه، از شدت تبخیر کاسته شده و این پدیده منجر به کاهش شعاع حوضچه می‌شود. بالا رفتن دمای مخزن و همچنین میزان مواد نفتی تبخیر شده با گذشت زمان از مهم‌ترین مسئله‌ها در این بخش هستند که افزون بر سخت نمودن شرایط کنترلی سامانه، می‌تواند ایمنی و سلامتی محیط را با خطرهایی مواجه کند.

واژه‌های کلیدی: ذخیره‌سازی نفت، فراورده‌های نفتی، ارزیابی ریسک، حادثه، ایمنی، مدل‌سازی.

***KEYWORDS**: Oil storage, Oil products, Risk assessment, Incident, Safety, Modeling.*

* عهده‌دار مکاتبات
+ E-mail: mirzayib@uma.ac.ir

مقدمه

در چند دهه گذشته افزایش روزافزون مصرف انرژی، نوسان‌های شدید قیمت و بحران‌های گوناگون منطقه‌ای و بین‌المللی در کنار وابستگی شدید اقتصاد کشورها به انرژی، دولت‌ها را بر آن داشته است که در تدارک راهکارهایی برای کاهش اثرپذیری خود از این مسئله‌ها باشند. از آنجا که در حال حاضر یکی از منبع‌های اصلی و ارزان تأمین انرژی، استفاده از سوخت‌های فسیلی است، تأمین مطمئن و یکنواخت آن برای حفظ ثبات صنعت و اقتصاد یک کشور، امری ضروری است. از این‌رو وجود مخازن ذخیره‌ی نفت و گاز به صورت مطمئن، یکپارچه و به‌هم پیوسته از جمله ملزومات توسعه صنعت و اقتصاد در هر کشور می‌باشد [۱].

مخازن ذخیره‌سازی به‌صورت گسترده‌ای در بسیاری از صنایع به ویژه در صنایع پالایش، نفت و پتروشیمی به منظور نگهداری فراورده‌های گوناگون نفتی به کار می‌روند. تقسیم‌بندی جامع و یکسانی برای مخازن ذخیره وجود ندارد، ولی به‌طور کلی می‌توان مخازن ذخیره‌سازی را به دو دسته کلی مخازن روزمینی و مخازن زیرزمینی تقسیم‌بندی نمود. به صورت کلی در ذخیره‌سازی زیرزمینی مواد نفتی، دو رویکرد متداول دیده می‌شود، رویکرد اول استفاده از فضاهای موجود و رویکرد دوم ایجاد فضاهای نوین است. با توجه به مصرف بالای نفت و گاز در صنایع گوناگون، درنتیجه حجم ذخیره‌سازی نیز باید به گونه‌ای باشد که بتواند نوسان‌ها را دفع کرده و در موقع لزوم پاسخگوی نیازها باشد. روشن است که ایجاد فضای تازه زیرزمینی بسیار پرهزینه بوده و از سویی با توجه به اهمیت راهبردی این مخازن مسئله‌های امنیتی نیز باید در طراحی و ساخت آن‌ها مدنظر قرار گیرد. بنابراین رویکرد اول می‌تواند به عنوان یک راهکار اساسی، هم بار مالی ذخیره‌سازی را کاهش دهد و هم الزام‌های امنیتی و ایمنی مخزن را تأمین نماید. از مهم‌ترین فضاهای زیرزمینی موجود می‌توان به مخازن تخلیه شده و قدیمی نفت و گاز، مغارهای نمکی زیرزمینی و معادن سنگ زیرزمینی اشاره نمود [۲]. مخازن نیمه‌خالی نفت نیز می‌توانند برای ذخیره‌سازی مورد استفاده قرار گیرند. البته عملیات ذخیره‌سازی در این مخازن از پیچیدگی زیادی برخوردار است چرا که میزان برداشت از آن‌ها بسته به مقدار نفت باقی‌مانده در مخزن و روش عملیاتی مورد استفاده برای برداشت متفاوت می‌باشد. نکته مهم دیگر که برکیفیت نفت خام ذخیره‌سازی شده تأثیر می‌گذارد، گرانروی نفت خام باقی‌مانده در این نوع مخازن است [۳].

با این‌که برتری‌های استفاده از مخازن موجود زیرزمینی به ویژه از دیدگاه امنیتی و پدافند غیرعامل بر کسی پوشیده نیست و در برخی از کشورهای جهان از جمله ایران، از فضاها و مغارهای زیرزمینی برای ذخیره‌سازی فراورده‌های نفتی استفاده شده است، ولی بدون شک مخازن فلزی روزمینی مرسوم‌ترین روش به کار گرفته شده برای ذخیره‌سازی فراورده‌های نفتی می‌باشد. مخازن روزمینی انواع گوناگونی دارد و با فناوری‌ها و تجهیزهای ویژه‌ای ساخته می‌شوند. از لحاظ شکل، این مخازن می‌توانند در شکل‌های استوانه عمودی، استوانه افقی، سربسته یا سرباز، دارای سقف ثابت یا شناور، کروی یا به شکل مکعبی باشند. ولی شکل استوانه‌ای عمودی، متداول‌ترین نوع مخزن است. مخازن سرباز، به مخازنی گفته می‌شود که سقف ندارد و برای فراورده‌ها و مواد نفتی به کار نمی‌رود، ولی می‌توان از آن‌ها برای نگه‌داری آب خنک‌کننده واحد استفاده کرد. مخازن با سقف ثابت، به انواع سقف مخروطی و سقف گنبدی تقسیم‌بندی می‌شوند. این مخازن در انواع مخازن اتمسفریک، مخازن فشار پایین و مخازن فشار بالا وجود دارند [۴]. این مخازن دارای یک سقف ثابت هستند که حجم معینی از مایع در آن‌ها جای می‌گیرد. مخازن با سقف ثابت برای نگه‌داری دیزل، کروزن و باقی‌مانده نفت کوره استفاده می‌شوند[۵]. مخازن با سقف شناور نیز برای ذخیره مقدار زیاد فراورده‌های نفتی مانند نفتا، نفت خام یا میعانات گازی استفاده می‌شوند. برخلاف مخازن سقف ثابت، در مخازن با سقف شناور محفظه‌ای برای بخار وجود ندارد. بنابراین تبخیر سطحی مایع و در نتیجه اتلاف آن کاهش می‌یابد. به طور کلی طراحی و ساخت مخازن با سقف شناور نسبت به سقف ثابت پیچیده‌تر و پرهزینه است [۶].

در واحدهای صنعتی امروزی به دلیل شرایط عملیاتی حاد، پتانسیل حادثه‌های چشمگیری وجود دارد. حادثه های صنعتی مهمی که تنها در چند دهه اخیر رخ داده‌اند، نظیر انفجار در کارخانه تولید مواد اولیه نایلون شرکت نایپرو[۱] در فلیکس بارو اسکاتلند در سال ۱۹۷۴ میلادی، فاجعه پخش ماده به شدت سمّی MIC از کارخانه تولید سموم دفع آفات نباتی شرکت یونیون کاربید[۲] در بوپال هند در سال ۱۹۸۵ میلادی، فاجعه بزرگ نیروگاه اتمی چرنوبیل در اوکراین در سال ۱۹۸۶ میلادی، حادثه پرتلفات سکوی نفتی پایپرآلفا[۳] در سال ۱۹۸۸ میلادی و انفجار در مجتمع پتروشیمی تولوز فرانسه در سال ۲۰۰۱ میلادی، با عواقبی تکان‌دهنده و گاه در ابعاد قاره‌ای یا جهانی و خسارت‌های سنگین جانی، مالی و زیست‌محیطی نمونه‌هایی از این حادثه‌ها هستند. مروری بر این

(۱) Nypro
(۲) Union Carbide
(۳) Piper Alpha

حادثه‌ها، نشان می‌دهد که هر چند احتمال بروز حادثه و خسارت‌های ناشی از آن در همه جا یکسان نیست، ولی به کشور خاص، صنعت خاص و زمان خاص نیز محدود نمی‌شود و شکل یکسانی نیز ندارد، چنان‌که در نمونه‌های بالا طیفی از کشورها، صنایع و مقاطع زمانی متفاوت دیده می‌شود و تنوع حادثه ها نیز زیاد است. از سوی دیگر حتی وجود فناوری پیشرفته، جلوگیری از حادثه را تضمین نمی‌کند و همواره پتانسیل خطر وجود دارد. شاهد این ادعا، حادثه‌های بسیاربزرگ در کشورهای صنعتی پیشرو جهان در سال‌های گذشته است که نمونه‌هایی از آن آورده شد. افزون براین، بررسی دقیق حادثه‌های معروف ثابت می‌کند که بخش زیادی از آن‌ها نه تنها قابل پیشگیری بلکه قابل پیش‌بینی بوده‌اند [۷].

مدل‌سازی پیامدهای رهایش و نشر مواد توسط برخی از پژوهشگران مانند *لیپس*[۱] (۱۹۸۶-۱۹۹۶)، *مارشال*[۲] (۱۹۸۶)، *فتناکیس*[۳] (۱۹۹۳) و *مک لنبورگ*[۴] (۱۹۸۵) صورت گرفته است. همه مدل‌های ارایه شده از عدم قطعیت برخوردار می‌باشند. عدم قطعیت مدل‌های بالا به علت نبود اطمینان از چگونگی بروز واقعه، اندازه روزنه‌های، نبود آگاهی کافی از مشخصات فیزیکی مواد و نبود آشنایی با چگونگی رفتار سیال پس از انتشار به دست می‌آید.

هنک و *همکاران*، دقت نتیجه های نرم‌افزار PHAST را در برابر داده‌های آزمایشگاهی بررسی کرده‌اند که نتیجه‌های پژوهش نشان داد نرخ جریان به‌وسیله نرم‌افزار PHAST بطور دقیق قابل پیش‌بینی است و همچنین به‌وسیله مدل پراندگی PHAST (UDM)[۵] غلظت‌ها را می‌توان با دقت خوب محاسبه نمود [۸]. به‌منظور مدیریت بهینه‌ی خطر در مخازن صنعتی، *دان* و *همکاران* با استفاده از سه نوع مدل انفجار TNT (Equivalency model, PHAST and CFD-Based FLACS[۶])[۷]، خطرهای مربوط به جایگزینی مواد شیمیایی را در این مخازن به‌صورت کمی مورد مطالعه قرار دادند [۹].

پاندیا و *همکاران*، تجزیه و تحلیل پارامتری حساسیت مدل‌سازی پراکندگی اتمسفری PHAST را برای آزادسازی اتفاقی گاز سمّی انجام دادند. آن‌ها آزمایش حساسیت دامنه فوریه، روش تجزیه و تحلیل جهانی، را برای محاسبه‌ی شاخص‌های حساسیت کلی و مرتبه اول انتخاب کردند. این مطالعات شناسایی پارامترهایی که بیش‌ترین تأثیر بر روی غلظت‌ها را در مکان‌های نزدیک، دور و فاصله‌هایی که در مسیر باد بیش‌ترین غلظت دیده می‌شود، ممکن می‌سازد [۱۰].

گانسی و *همکاران*، آزادسازی غیرمترقبه و پراکنده شدن هیدروژن را به‌منظور تعیین مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشگاهی برای تأیید اعتبار مدل‌های شبیه‌سازی مورد مطالعه قرار دادند [۱۱]. *پانتیگیا* و *همکاران*، مدل CFD را به‌منظور شبیه‌سازی نتیجه های گزارش حادثه بزرگ که انتشار LPG[۸] در یک منطقه شهری متراکم (شهر ویارجیو ایتالیا) که تأثیر زیاد موانع در پراکندگی LPG را به‌عنوان یک تأثیر نشان می‌دهد، اعمال کردند [۱۲].

با وجود پژوهش‌های گوناگون، هنوز خلا اساسی در ارزیابی ریسک در خطوط لوله و تجهیزهای مخازن فراورده‌های نفتی وجود دارد. با وجود همه این پژوهش‌ها، بررسی ابعاد زیست‌محیطی این کار به طور کامل و دقیق انجام نشده و خطرها و پیامدهای ناشی از آن، امری است که نیاز به توجه ویژه دارد. در این کار تأثیر پارامترهای گوناگون بر حادثه‌های احتمالی مخازن نفتی با استفاده از نرم‌افزار PHAST مدل‌سازی و ارزیابی شده است. با استفاده از نتیجه های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها می‌توان فاصله‌های ایمن برای جای‌گذاری مخازن بارگیری روزمینی احتمالی و نیز مکان‌های مناسب جانمایی تأسیسات حیاتی و مراکز اداری احتمالی را به منظور در امان بودن از نتیجه‌های حادثه‌ها در نظر گرفت.

روش کار

مدل‌سازی پیامد

در واحدهای صنعتی امروزی به دلیل شرایط عملیاتی حاد، پتانسیل حادثه های چشمگیری وجود دارد. برای مشخص شدن ریسک حادثه‌های محتمل افزون بر محاسبه احتمال رخداد آن‌ها، نیاز به بررسی شدت تأثیر و عواقب احتمالی آن‌ها نیز هست. به بیان دیگر میزان خسارات و پیامدهای ناشی از حادثه‌ها به عنوان معیاری از حاد بودن آن‌ها شناخته شده و در مدیریت ریسک مبنای قضاوت قرار می‌گیرند. حادثه‌های واحدهای فرایندی همواره با یک واقعه آغاز می‌شوند. چنین حادثه‌هایی می‌توانند شامل ترکیدن و یا شکستن خطوط لوله، ایجاد سوراخ در مخازن ذخیره و یا وقوع واکنش‌های غیرقابل کنترل باشد. این حادثه‌ها افزون بر این‌که با از دست رفتن مواد از منبع ذخیره همراه است، منجر به پخش و گسترش مواد در محیط اطراف محل حادثه می‌شوند. این مواد بیش‌تر دارای ویژگی‌های مخاطره‌آمیزی مانند سمیت و یا اشتعال‌پذیری می‌باشند که با انتشار آن‌ها احتمال بروز حادثه‌های ثانویه‌ای مانند آتش‌سوزی، مسمومیت و انفجار وجود دارد. بنابراین پیش‌بینی

(۱) Lees
(۲) Marshall
(۳) Fthenakis
(۴) Mecklenburg
(۵) Unified dispersion model
(۶) Computational fluid dynamics
(۷) Flame acceleration simulator
(۸) Liquid petroleum gas

رفتار سیال پس از رهایش و انتشار به منظور تخمین پیامدها و صدمه‌های احتمالی امری ضروری است. مدل‌سازی پیامد در حقیقت شامل پیش‌بینی اثرها و عواقب ناشی از رهایش و پخش یک ماده در محیط به وسیله مدل‌های ریاضی است. با استفاده از روش‌های مدل‌سازی ریاضی، می‌توان اثرهای حادثه ها را به صورت آسیب به سرمایه، تجهیزها و اثرهی بد بر سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست ارزیابی کرد. پیامدهای اصلی رهایش مواد قابل اشتعال و سمّی در محیط، آتش‌سوزی، انفجار و نشر مواد سمّی می‌باشد. مهمترین تأثیرهای ناشی از پیامدهای بالا، افزایش فشار در اثر انفجار و مسمومیت یا خفگی در اثر گازهای منتشر شده خواهند بود. مهم‌ترین کاربرد مدل‌سازی پیامد در واحدهای صنعتی، تعیین محدوده اثرگذاری حادثه ها بر تجهیزهای فرایندی و افراد (پرسنل شاغل در واحد صنعتی موردنظر و افراد مستقر در بیرون واحد) می‌باشد. برای انجام ارزیابی پیامد روش‌های بسیاری وجود دارد، که ساختار و خروجی‌های به‌تقریب همانندی دارند. ولی در جزئیات و تقسیم‌بندی مرحله‌ها، تفاوت‌هایی در آن‌ها وجود دارد. مدل‌سازی پیامد شامل مدل‌سازی رهایش مواد در محیط و به دنبال آن مدل‌سازی پیامدهای ناشی از سمّیت، اشتعال یا انفجار این مواد می‌باشد. امروزه این کار به دلیل پیچیدگی معادله‌ها و زمان‌بر بودن حل آن‌ها، توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری انجام می‌گیرد. در این میان، تعدادی از نرم‌افزارهای ارایه شده تنها قادر به شبیه‌سازی پخش مواد هستند و پیامدهای آتش و انفجار را شبیه‌سازی نمی‌کنند. نرم‌افزار PHAST یکی از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهای موجود است. این نرم‌افزار یکی از چندین فراورده‌ای است که توسط شرکت نرم‌افزاری DNV، از پیشگامان ارزیابی مخاطرات و حادثه‌های صنعتی، تهیه شده است. در نتیجه این نرم‌افزار به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری شرکت‌ها و دولت‌ها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده است. نرم‌افزار PHAST به صورت گسترده‌ای مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. افزون‌بر آن، نتیجه های به‌دست‌آمده از مطالعه جداگانه مدل جامع پیامد (UDM) که توسط DNV ارایه شده است، بیانگر آن است که هم نظریه و هم توانایی این مدل در پیش‌بینی حادثه‌ها بسیار کارا است.

شایان ذکر است که نرم‌افزار PHAST با بسیاری از قانون‌ها و مقررات بین‌المللی از جمله Seveso، RMP[1] و COMAH[2] همخوانی دارد [۱۴، ۱۳]. در ادامه ارزیابی ریسک فرایند ذخیره‌سازی نفت خام با استفاده از این نرم‌افزار انجام شده و نتیجه های به‌دست‌آمده ارایه خواهند شد.

انتخاب سناریو و مدل

در این قسمت مطالعه‌های ارزیابی ریسک فرایند با استفاده از نرم‌افزار PHAST انجام شده است. در شبیه‌سازی انجام شده یک مخزن ذخیره تحت فشار نفت خام، به همراه خط لوله ورودی به مخزن در نظر گرفته شده و احتمال نشتی از خط لوله و یا تجهیزهای سر چاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در این شبیه‌سازی، سناریوهای بسیاری برای سه شرایط آب و هوایی گوناگون به ابررسی شده است.

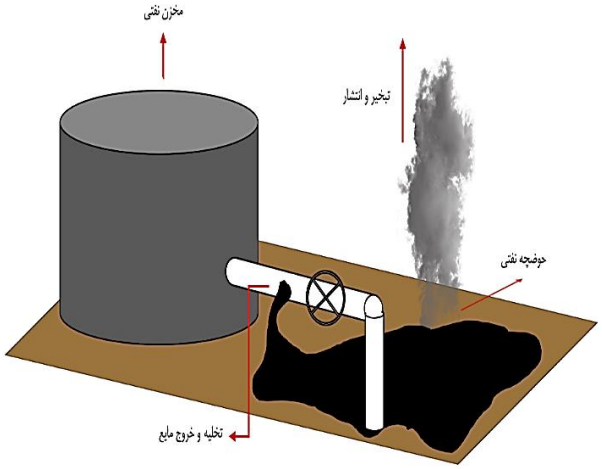
قطر لوله ورودی و خروجی به مخزن ۶۳ سانتیمتر، حجم مخزن ۳۸ مترمکعب و قطر شیر خروجی ۱۰ سانتیمتر و در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از کف مخزن قرار دارد. طول لوله انتقال از مخزن ۱۰۰ متر می‌باشد. فشار داخلی مخزن ۳ بار و فشار بیرونی یک اتمسفر لحاظ شده است. در طی انجام ارزیابی ریسک به روش یاد شده و تعیین سناریو، چندین انحراف مانند نشتی لوله‌ها و تجهیزها، شکاف لوله‌ها، نقص در سقف تانک و ... مطرح است که با توجه به آمار موجود بیش‌ترین عامل اصلی بروز سانحه، مربوط به نشتی است. متوسط سرعت باد در بازه ۶ تا ۱۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است که شرایط آب و هوایی در سه قسمت ۱) بهار و پاییز ۲) تابستان و ۳) زمستان لحاظ شده است.

براساس شبیه‌سازی انجام شده، نفت خام پخش شده در محیط اطراف پس از نشت از تجهیزهای سر چاهی مطابق شکل ۱ حوضچه‌ای در اطراف محل نشت تشکیل می‌دهد. بر این اساس بسته به شرایط آب و هوایی گوناگون و این‌که در کدام منطقه جغرافیایی قرار گرفته باشد شعاع حوضچه‌ی نفت خام تشکیل شده، متفاوت خواهد بود. کلاس پایداری نشان دهنده درجه آشفتگی اتمسفری است و با شاخص A (ناپایدارترین) تا G (پایدارترین) حالت نشان داده می‌شود. هر چه ناپایداری بیش‌تر شود، گسترش ماده خطرناک ابعاد بیش‌تری پیدا می‌کند. مطالعه پایداری روش‌های گوناگونی وجود دارد که در این مطالعه با توجه به اطلاعات قابل دسترس از روش گیفورد استفاده شد. کلاس F و D بیانگر دو وضعیت آب و هوایی غالب بر منطقه در نظرگرفته شد.

در شکل ۱ شمایی از پخش، گسترش و تشکیل یک حوضچه نفتی نشان داده شده است. قطر این حوضچه بسته به شرایط آب و هوایی می‌تواند تا چندین متر گسترش یابد. بازه گسترش حوضچه از عامل‌های مهم در ارزیابی ریسک به‌حساب می‌آید. چون از جمله هدف‌های ارزیابی ریسک، محاسبه ارزش دلیل‌های آغازکننده، احتمال پیامدها و نیز تعیین سناریوهای آغازکننده و ادامه‌دهنده تا پیامدها شده است. درنتیجه قطر حوضچه نفتی از عامل‌های مهم هر نوع پیامد احتمالی می‌باشد [۱۷– ۱۵].

(۱) Risk management plan

(۲) Control of major accident hazards

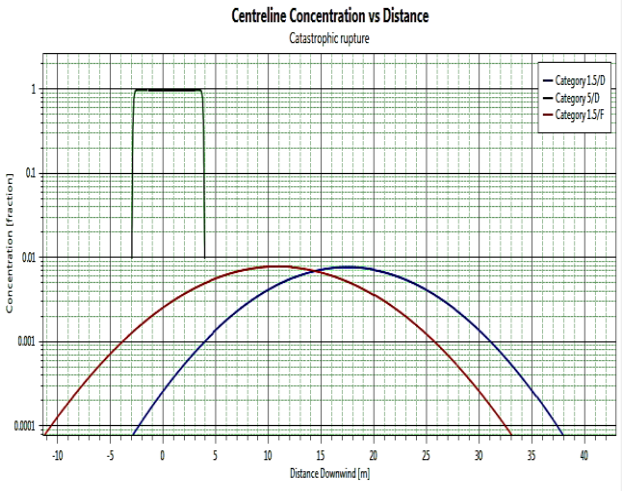


شکل ۱- مرحله‌های پخش و گسترش مایع در محیط

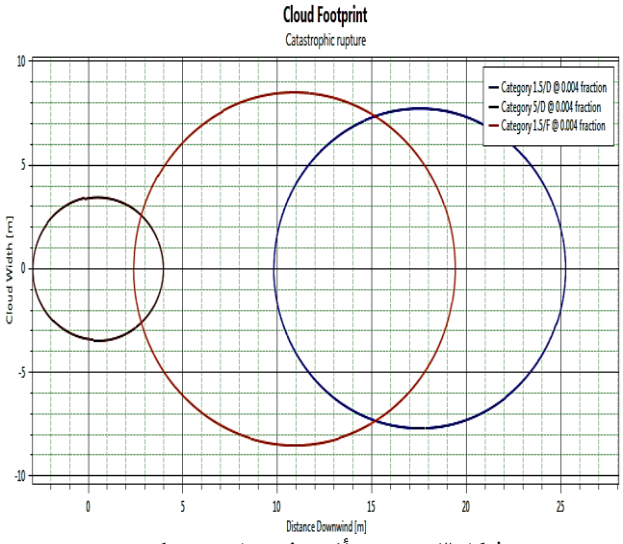
در مرحله اول شبیه‌سازی، سناریوها یا حادثه های که عواقب آن‌ها مورد توجه است، انتخاب می‌شوند. سناریو، حادثه یا ترکیبی از حادثه‌ها است که وقوع آن منجر به تولید مخاطرات فرایندی چون آتش، انفجار یا رهایی مواد سمّی می‌شود. کلیدی‌ترین مرحله در ارزیابی پیامد، همین گام نخست است. چرا که برگزیدن سناریوهای قابل اعتنا از بین تعداد بسیاری گزینه، باعث کاهش زمان و حجم محاسبه‌ها می‌شود. مقصود از سناریوی قابل اعتنا، حادثه یا ترکیبی از حادثه‌ها است که نخست محتمل باشد، یعنی حادثه ها نادر بررسی نمی‌شود، دوم عواقب حادثه مورد نظر باید دارای شدت و تأثیرکافی باشد. تعیین اعتبار سناریوها به‌طورمعمول به صورت کیفی و بنا بر تجربه، دانش و سابقه حادثه‌های همانند در گذشته، صورت می‌گیرد. برخی حادثه‌ها مانند نشت ماده شیمیایی از درزگیرها محتمل هستند ولی چون حجم ماده رها شده در این حالت کم است، نمی‌توان آن را به عنوان یک سناریو، قابل اعتنا قلمداد کرد [۱۸].

نتیجه‌ها و بحث

همان‌گونه که گفته شد مخازن ذخیره‌سازی از مهم‌ترین قسمت‌ها در صنایع فرایندی بوده که در آن‌ها نفت، گاز، فراورده‌های پتروشیمی و طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی نگهداری می‌شود. این مخازن در پالایشگاه‌ها حجم زیادی از مواد شیمیایی قابل اشتعال و خطرناک را دربرمی‌گیرند که همین امر باعث ایجاد پتانسیل خطرهای بسیاری در آن‌ها می‌شود. بروز حادثه در این مخازن ممکن است باعث تحمیل خسارت‌های مالی، جانی و همچنین وقفه‌های طولانی مدت در تولید صنایع مرتبط شود. فعالیت‌های صنعتی، بخشی از تلاش انسان برای رسیدن به رفاه و آسایش بیش‌تر است، ولی در این فعالیت‌ها مخاطرات مربوط به آن‌ها نیز در حال گسترش می‌باشد. شناسایی دقیق خطرها



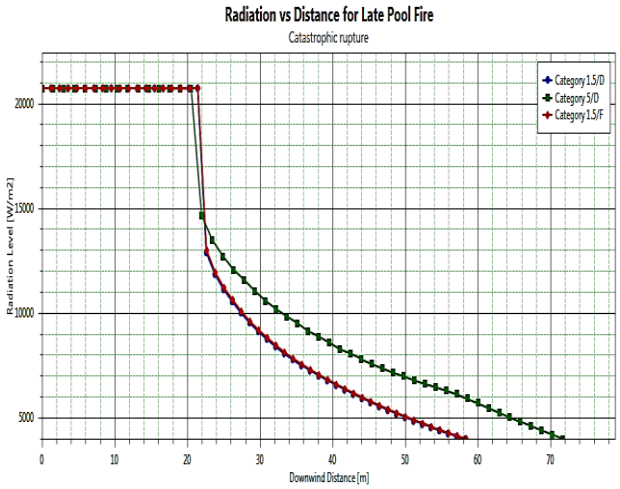
شکل ۲- تغییر غلظت نفت خام نشت کرده



شکل ۳- حوضه تأثیر نفت خام نشت کرده

در صنایع نفت و گاز و ارزیابی و مدیریت ریسک با هدف کاهش شدت و تکرار حادثه‌ها پیش از وقوع آن‌ها و کمینه کردن صدمه به انسان و اموال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود قطر حوضچه نفتی شبیه‌سازی شده در این کار بسته به شرایط آب و هوایی می‌تواند تا ۴۰ متر و یا بیش‌تر نیز گسترش یابد. این بازه ۴۰ متری می‌تواند در ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار بگیرد.

بخارهای نفت خام در جهت وزش باد مطابق شکل ۳ در محیط اطراف پخش می‌شود. در حقیقت این ناحیه‌ها، بازه‌هایی با غلظت ۰/۰۰۴ بخار نفتی در محیط را نشان می‌دهد که در سه ناحیه گوناگون قابل ارزیابی هستند.

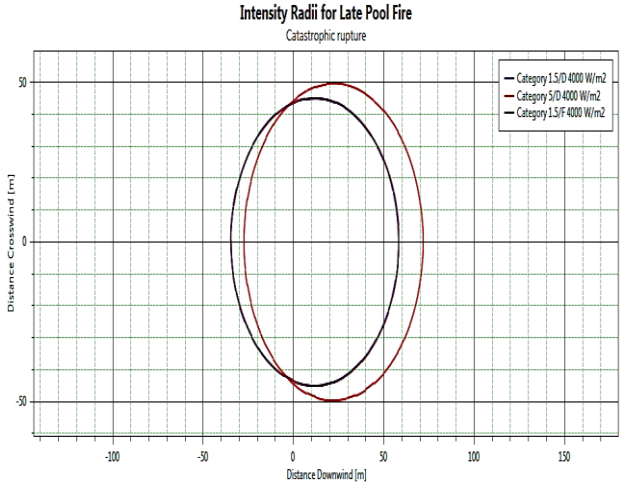


شکل ۴- تغییر میزان تابش گرمایی در محیط اطراف

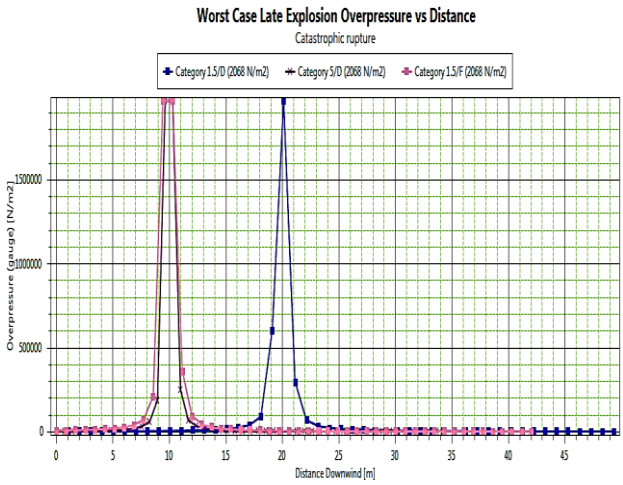
اگر در اثر عامل‌های محیطی حوضچه‌های تشکیل شده دچار آتش‌سوزی شوند و آتش پدید آمده از نوع استخری فرض شود، آتش استخری شکل گرفته تابش‌ها را در محیط اطراف منتشر خواهد کرد. تغییر میزان تابش گرمایی در محیط بر حسب فاصله از سر چاه (منبع نشتی) مطابق شکل ۴ خواهد بود. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که تا فاصله ۲۰ متری تابش گرمایی شدت یکسانی داشته و پس از آن از تأثیر شدت تابش گرمایی به شدت کاسته می‌شود.

همچنین براساس شکل ۴ میزان تابش منتشر شده در محیط اطراف بسیار بالا است و این امر کنترل آتش را با مشکل روبرو خواهد کرد. افزون بر این تجهیزهای نصب شده در سر چاه و خطوط لوله تأمین‌کننده‌ی نفت خام نیز باید طوری طراحی شده و احداث شوند که در برابر این میزان تابش گرمایی از خود مقاومت کافی نشان دهند. در غیر این‌صورت ممکن است هریک از این تجهیزها با مشکل روبرو شده و از منظر اقتصادی خسارت جبران ناپذیری به بار آورند. افزون‌بر این آسیب دیدن این تجهیزها و یا خطوط لوله می‌تواند نشتی نفت خام را تشدید کرده و بر شدت حادثه بیفزاید. بنابراین کنترل شرایط عملیاتی بسیار تعیین‌کننده است. برای بررسی دقیق‌تر موضوع، در شکل ۵ ناحیه‌هایی که تحت تأثیر تابش به میزان ۴ کیلووات بر مترمربع قرار خواهند گرفت مشخص شده‌اند، که بازه عملیاتی این میزان شدت تابش را در ناحیه‌های گوناگون نشان می‌دهد. در نتیجه کنترل و مدیریت این میزان تابش ضروری بنظر می‌رسد.

اگر حوضچه و ابر بخارهای شکل گرفته دچار انفجار شوند، در بدترین شرایط موج‌های فشاری ناشی از انفجار به صورت شکل ۶ درمی‌آید که می‌تواند تأثیر مستقیم بر انسان، تجهیزهای و محیط پیرامونی داشته باشد.



شکل ۵- ناحیه های تحت تأثیر تابش گرمایی

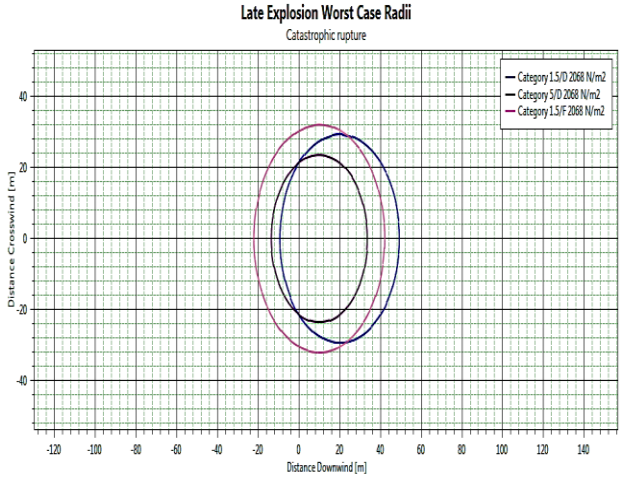


شکل ۶- ناحیه‌های تحت تأثیر موج فشاری ناشی از انفجار

در شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش، برای جلوگیری از افزایش فشار مخزن و ممانعت از انفجار، از کنترل‌هایی مانند شیر کنترل فشار متناسب با استاندارد مخازن تحت فشار (ASME)، ترموستات متناسب با نوع مخزن و شرایط آب و هوایی، متناسب کردن شیر انسداد با ظرفیت مخزن، قرار دادن سطح‌سنج و شیرهای ایمنی/ اطمینان مناسب، کنترلر خودکار از راه دور کمپرسور، صفحه پاره‌شونده در ورودی شیر ایمنی، شیر ایمنی تخلیه و لوله‌های تخلیه استفاده شده است.

برای بررسی دقیق‌تر شدت انفجار، ناحیه های تحت تأثیر موج فشاری با قدرت ۲۰۶۸ پاسکال در شرایط گوناگون آب و هوایی به‌صورت شعاعی مطابق شکل ۷ مشخص شده‌اند. موج انفجار ایجاد شده به‌صورت کروی در اطراف کانون انفجار از نوع دتونیشن[۱] می‌باشد که تا فاصله‌ای

(۱) Detonation



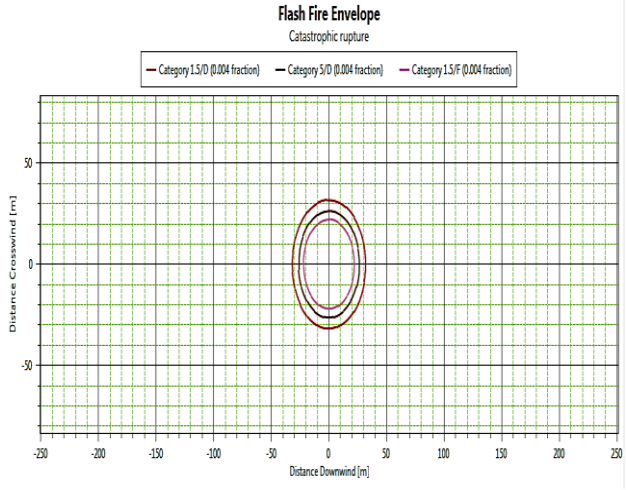
شکل ۷- محدوده شعاعی ناحیه های تحت تأثیر موج فشاری

از کانون (در محدوده ۲۵ تا ۳۰ متر) انفجار مقدار ثابتی دارد و پس از آن با تغییر مومنتوم ایجاد شده، به شدت کاهش می‌یابد تا به بازه فشار اتمسفری و فاز دوم توسعه موج انفجار برسد. بعضی مواقع، تنها یک انفجار سبب انفجارهای بعدی و در پی آن افزایش و شدت موج انفجارهای بعدی می‌شود.

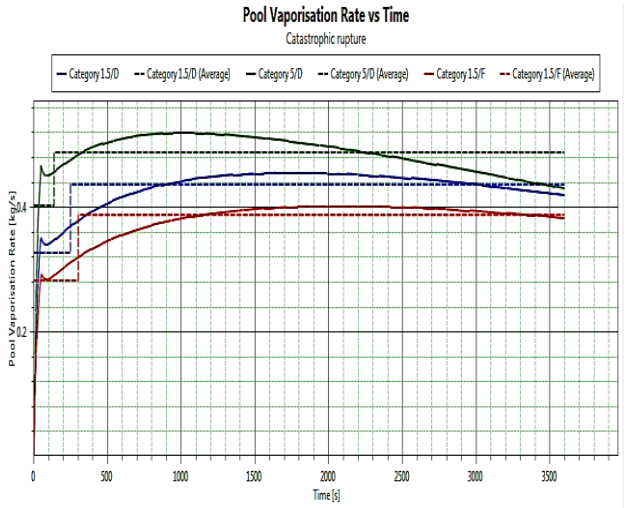
با آتش گرفتن ناگهانی حوضچه، ناحیه های که شعله آتش آن را تحت تأثیر مستقیم قرار می‌دهد مطابق شکل ۸ خواهد بود. این منحنی‌ها در سه بازه آسیب‌پذیری جزیی، متوسط و آسیب جدی و مرگ به ترتیب با تابش‌ها ۴، ۵/۳۷ و ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع می‌باشند که محدوده آتش کروی ۲۵ متر با میزان تابش ۴ کیلووات بر مترمربع، بازه ۳۰ متر با میزان تابش ۵/۳۷کیلووات بر متر مربع و بازه ۳۲ متر با میزان تابش ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع را تشکیل می‌دهد. از آنجا که شدت آسیب‌پذیری وسیله‌ها و تجهیزهای موجود در قسمت مخازن متفاوت می‌باشد بنابراین اثرهای این تابش‌ها، متفاوت خواهد بود.

در صورتی‌که شرایط به گونه‌ای بود که هیچ انفجار و یا آتش‌سوزی در حوضچه رخ نمی‌داد و تنها پدیده غالب، سوختن و تبخیر محتویات حوضچه در نظر گرفته می‌شد، تغییرات نرخ تبخیر با زمان به صورت شکل ۹ بود. نتیجه‌ها نشان داد که در لحظه‌های اولیه تا حدود ۳۰۰ ثانیه شدت تبخیر زیاد بوده و بعد از حدود ۲۰۰۰ ثانیه این شدت زیاد تغییر نمی‌کند.

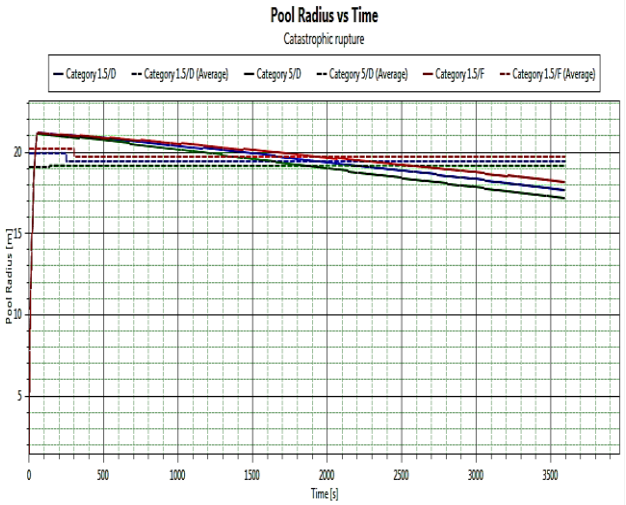
با این فرضیات شعاع حوضچه با گذشت زمان کاهش پیدا خواهد کرد، چرا که مقداری از نفت خام در اثر تبخیر وارد هوای اطراف می‌شود. تغییر شعاع حوضچه در اثر تبخیر نیز مطابق شکل ۱۰خواهد بود که این تغییرها در دو ناحیه زیر ۲۰۰۰ ثانیه و بالای ۲۰۰۰ ثانیه قابل بحث می‌باشد.



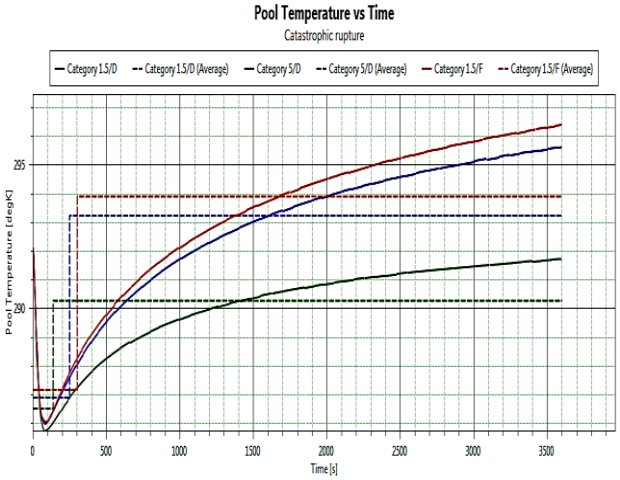
شکل ۸- ناحیه های تحت تأثیر شعله ناشی از اشتعال ناگهانی حوضچه



شکل ۹- تغییر نرخ تبخیر حوضچه با زمان



شکل ۱۰- تغییر شعاع حوضچه



شکل ۱۱- تغییر دمای حوضچه

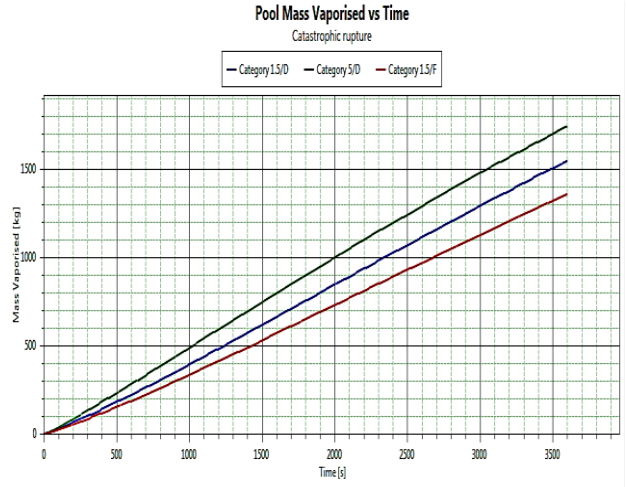
از پارامترهای دیگر تأثیرگذار، دمای مخزن می‌باشد که دمای محتویات حوضچه مطابق شکل ۱۱ تغییر خواهد کرد. تغییردما تا ۳۰۰ ثانیه ممکن است روند خاصی نداشته باشد ولی پس از این مدت، سیر افزایشی دمای مخزن وجود دارد که این مساله می‌تواند شرایط کنترلی سامانه را با گذشت زمان سخت‌تر کند.

از مسئله‌های بعدی ناشی از تبخیر، تغییر میزان محتویات بخار شده از سطح حوضچه با زمان هست که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مطابق این شکل، روند افزایشی در میزان تبخیر با گذشت زمان وجود دارد. این مساله زمانی بیش‌تر مدنظر هست که محتویات مخزن مواد سمی بوده و می‌تواند بر سلامت کارکنان در آن منطقه تأثیر شگرفی بگذارد.

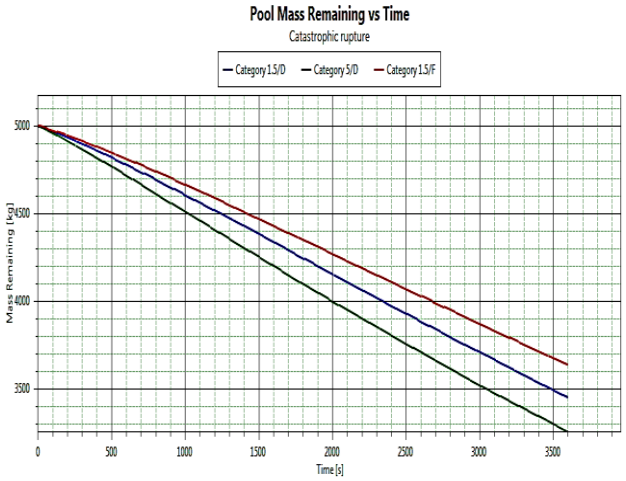
میزان جرم باقیمانده در حوضچه نیز با توجه به نمودار تقریبی رسم شده در شکل ۱۳ تغییر می‌کند. از آنجایی که هدف اصلی از مخازن، نگهداری مواد نفتی هست بنابراین این مقدارها در ارزیابی سامانه از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

بعد از مدل‌سازی، می‌توان ابعاد موج انفجار را بر روی سازه‌ها و تجهیزهای مجاور بررسی نمود. میزان فشار موج انفجار و مدت زمان اثر آن ممکن است سبب پاره شدن پرده گوش، مرگ بر اثر خونریزی درونی شش‌ها و پرتاب افراد شود.

در ارزیابی ریسک حادثه ها، دو پارامتر نقش مهمی بازی می‌کنند: پارامتر اول احتمال وقوع حادثه و پارامتر دوم پیامد آن حادثه است. پیامد به معنای میزان خسارت‌های وارد شده به سامانه در اثر وقوع حادثه و احتمال به معنای تعداد دفعاتی است که آن حادثه در یک بازه زمانی مشخص اتفاق خواهد افتاد و به طور عموم هیچ کدام از این دو پارامتر



شکل ۱۲- تغییر میزان جرم تبخیر شده



شکل ۱۳- تغییر میزان جرم باقیمانده

به تنهایی برای ارزیابی خطرها کافی نیستند. بسیاری از حادثه‌ها را می‌توان در نظر گرفت که پیامد شدیدی داشته باشند. ولی در عمل احتمال وقوع آن‌ها ناچیز باشد و بر عکس برخی از آن‌ها ممکن است به دفعات رخ دهند ولی پیامد چشمگیری نداشته باشند. به همین دلیل تعیین معیاری که هر دو عامل را در نظر بگیرد در بررسی خطرها بسیار مفید می‌باشد. ریسک معیاری است که ترکیبی از پیامد و احتمال وقوع یک حادثه بوده و معیاری مناسب برای تعیین میزان مخاطره آمیز بودن یک حادثه به دست می‌دهد.

با استفاده از نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این مدل‌سازی و ارزیابی ریسک می‌توان به درستی دلیل‌های ایجاد و آسیب ریسک‌های گوناگون برای انسان و تجهیزهای مجاور را مشخص و بر اساس آن‌ها اقدام‌های کنترلی پیشگیرانه را اجرا و با طراحی و جانمایی مناسب، حریم ایمنی محل اسکان کارکنان، تجهیزها و وسیله‌های

مجاور را تعیین نمود. از جمله پیشنهادهای اصلاحی برای کاهش وقوع و اثرات ریسک می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تقویت کنترل‌های مهندسی و تجهیزهای ایمن‌سازی

۲- استفاده از حسگرهای گرمایی، دودی و شعله‌ای در قسمت مخازن تا در صورت افزایش دما یا بروز حادثه پرسنل را مطلع سازد.

۳- استفاده از سامانه‌های خودکار حساس نسبت به لرزش‌های بالا در خطوط لوله تا در صورت زلزله جریان به صورت خودکار قطع شود.

۴- طراحی دیواره‌های بتنی با مقاومت بالای ۷ ریشتر برای باندوال‌های مخزن که می‌تواند از ورود فراورده در محیط در صورت شکستن مخزن جلوگیری کند.

۵- سامانه صوتی و دیداری باید به گونه‌ای طراحی شود که توجه پرسنل تأسیسات و پرسنل بخش عملیات را به خود جلب کند.

۶- تعمیر سطح سنج و دماسنج سامانه

۷- نصب سامانه‌ای در کف مخازن تا نشت احتمالی را به شبکه ایجاد شده در درون سایت هدایت کند و از به هدر رفتن منابع و نفوذ فراورده به زمین نیز جلوگیری شود.

۸- انجام آزمون‌های هیدروستاتیک برای اطمینان از انجام درست جوشکاری و رفع عیب، نگهداری و بازرسی‌های دوره‌ای از تأسیسات و اتصالات، آب‌بند نمودن اتصالات و رفع نشتی‌ها

۹- استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب و مطابق با استاندارد مانند دستکش، ماسک‌های مناسب و غیره

نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک مخزن ذخیره تحت فشار نفت خام، به همراه خط لوله ورودی به مخزن با احتمال نشتی از خط لوله به کمک نرم‌افزار PHAST شبیه‌سازی شد. نتیجه های کلی به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی را می‌توان بر اساس سناریوهای گوناگون به صورت زیر عنوان نمود:

۱- نفت خام پخش شده در محیط اطراف پس از نشت از مخزن، حوضچه‌ای در اطراف محل نشت تشکیل می‌دهد. شعاع حوضچه و گسترش آن به شرایط آب و هوایی وابسته است.

۲- با در نظر گرفتن سناریوی آتش‌سوزی حوضچه در اثر عامل‌های محیطی و پدید آمدن آتش استخری، تابش ها گرمایی به شدت محیط اطراف را فرامی‌گیرد و کنترل آتش را با مشکل مواجه می‌کند. بنابراین تجهیزهای نصب شده و خطوط لوله تأمین‌کننده‌ی نفت خام باید طوری طراحی شده و احداث شوند که در برابر این میزان تابش گرمایی از خود مقاومت کافی نشان دهند.

۳- اگر حوضچه و ابر بخار شکل گرفته در اطراف آن دچار انفجار شوند، موج‌های فشاری ناشی از انفجار می‌تواند تأثیر مستقیم بر انسان، تجهیزهای و محیط پیرامونی داشته باشد که لازم است از تجهیزهای کنترلی برای جلوگیری از انفجار استفاده شود.

۴- با فرض سناریوی اشتعال ناگهانی حوضچه، ناحیه‌های گسترده‌ای از محیط اطراف تحت تأثیر مستقیم شعله آتش قرار می‌گیرد که شدت آسیب‌پذیری وسیله‌ها و تجهیزهای موجود را افزایش می‌دهد.

۵- با در نظر گرفتن سناریوی احتراق و تبخیر در غیاب آتش‌سوزی و انفجار، نتیجه‌ها نشان داد که شدت تبخیر در لحظه‌های اولیه بالا بوده و سپس به دلیل کم شدن میزان نفت در حوضچه، از شدت تبخیر کاسته شده و این پدیده منجر به کاهش شعاع حوضچه می‌شود. از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در زمان تبخیر می‌توان به بالا رفتن دمای مخزن و همچنین انتشار بخارات مواد سمّی نفتی در محیط اشاره نمود.

۶- با استفاده از نتیجه های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی می‌توان ناحیه‌ها و فاصله‌های ایمن برای جای‌گذاری مخازن بارگیری روزمینی و نیز مکان‌های مناسب برای جانمایی تأسیسات حیاتی و مراکز اداری احتمالی را به منظور در امان بودن از پیامدهای حادثه‌ها انتخاب کرد.

قدردانی

این مقاله، نتیجه‌های به‌دست‌آمده از طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۲۴۵، مورخه ۱۳۹۶/۰۲/۲۷ در دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد، بنابراین بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی تقدیر و تشکر می‌شود.

تاریخ دریافت : ۱۳۹۸/۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش : ۱۳۹۸/۶/۲۵

مراجع

[1] Al Hagrey S.A., 2D Optimized Electrode Arrays for Borehole Resistivity Tomography and CO_2 Sequestration Modelling, *Pure Appl. Geophys*, **169**: 1283-1292, (2012).

[2] Asnaashari A., Brossier R., Garambois S., Audebert F., Thore P., Virieux J., Time-Lapse Seismic Imaging Using Regularized Full-Waveform Inversion with a Prior Model: Which Strategy?, *Geophys Prospect*, **63**: 78-98, DOI: 10.1111/1365-2478.12176, (2015).

[3] Bachu S., Bennion B., Effects of in Situ Conditions on Relative Permeability Characteristics of CO_2-Brine Systems, *Environ Geol*, **54**: 1707-1722, DOI: 10.1007/s00254-007-0946-9, (2008).

[4] Kuan, Yeng S., "Design, Construction and Operation of the Floating Roof Tank", Thesis of Bachelor of Engineering, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, (2009).

[۵] دلبری، هنگامه؛ توکلی، امید، "رویکردهای فناوری، مدیریتی و کاربردی در ذخیره‌سازی نفت و فراورده‌های نفتی"، *اولین همایش ذخیره‌سای زیرزمینی نفت و گاز*، ۱۳۹۳.

[6] Naithani A.K., Underground Rock Caverns for Strategic Crude Oil Storage in India – Nature of Studies, Design and Construction, *Current Science*, **103**: 490-496, (2012).

[7] Rosenfeld A.B., Gordon D.L., Guerin-McManus M., "Reinventing the Well Approaches to Minimizing the Environmental and Social Impact of Oil Development in the Tropics", Conservation International. (1997).

[8] Witlox H.W.M., Harper M., Oke A., Stene J., "PHAST Validation of Discharge and Atmospheric Dispersion for Pressurised Carbon Dioxide Releases", Loss Prevention in the Process Industries, 1-13, (2013).

[9] Dan S., Park K., Kim T., Shin D., Explosion Simulations for the Quantitative Risk Analysis of New Energy Filling Stations, *Korean Institute of Gas*, 15: 60-67, (2011).

[10] Pandya N. ,Marsden E. ,Floquet P., Gabas N., "Toxic Release Dispersion Modelling with PHAST :Parametric Sensitivity Analysis", *ICISAP - 3rd International Conference on Safety & Environment in Process Industry, Rome, Italy*, (2008).

[11] Ganci F. ,Carpignano A. ,Mattei N. ,Carcassi M.N., Hydrogen Release and Atmospheric Dispersion: Experimental Studies and Comparison with Parametric Simulations, *Hydrogen Energy*, **36**: 2445-2454, (2011).

[12] Pontiggia M., Landucci G., Busini V., Derudi M., Alba M., Scaioni M., Bonvicini S., Cozzani V., Rota R., CFD Model Simulation of LPG Dispersion in Urban Areas, *Atmospheric Environment*, **45**: 3913-3923. (2011).

[۱۳] هاشمی، اعظم السادات؛ کرباسی، عبدالرضا؛ عتابی، فریده؛ "ارائه الگوی ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه‌های اکتشاف و استخراج نفت و گاز بر محیط‌های دریایی"، *پنجمین همایش ملی انرژی*، (۱۳۸۴).

[۱۴] امامی نیری، محمد؛ مدل‌سازی فیزیک سنگی در مخازن ماسه سنگی ـ مروری بر مدل‌های نظری و یک مثال کاربردی، *نشریه ژئومکانیک نفت*، (۲) **۱**: ۷۴ تا ۸۵، (۱۳۹۳).

[۱۵] صفرزاده، محمد امین؛ مطهری، مهدیا؛ بهینه‌سازی همزمان ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز و ازدیاد برداشت نفت در فرایند تزریق گاز کربن دی اکسید با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، (۳)**۳۷**: ۸۵ تا ۹۷ (۱۳۹۳).

[۱۶] زرگری مرندی، سمیرا؛ وفایی سفتی، محسن؛ باغبان صالحی، مهسا؛ موسوی اقدم، عاطفه؛ دادوند کوهی، احمد؛ کنترل تولید شن: کاربرد هیدروژل‌ها، روشی نوین در مخازن نفتی، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، (۱)**۳۶**: ۲۱۵ تا ۲۲۷ (۱۳۹۶).

[۱۷] باقری، مجتبی؛ بدری، ناصر؛ رشتچیان، داود؛ اقبالیان، هوشنگ؛ تعیین حریم ایمن خطوط لوله انتقال گاز ترش به روش ارزیابی کمی ریسک، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، (۲)**۳۲**: ۵۷ تا ۷۱ (۱۳۹۲).

[18] Canter L.W., "Environmental Impact Assessment", McGraw-Hill International Edition, 2nd ed. (1996).