تعیین حریم ایمن خطوط لوله انتقال گاز ترش به روش ارزیابی کمی ریسک

مجتبی باقری، ناصر بدری، داود رشتچیان*+
تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

هوشنگ اقبالیان
تهران، شرکت ملی گاز ایران، گروه تدوین استانداردهای ایمنی و بهداشت محیط زیست

چکیده: یکی از مهمترین روش‌های انتقال گاز، استفاده از خطوط لوله می‌باشد. با توجه به اینکه گاهی خطوط لوله انتقال گاز در اطراف مناطق مسکونی گسترش یافته‌اند و در صورت بروز نشتی یا پارگی در این خطوط، امکان ایجاد خسارت‌های جانی و مالی وجود دارد، ایمنی افراد ساکن در مناطق اطراف خطوط لوله انتقال از اهمیت زیادی برخوردار است و تأمین این ایمنی از مهمترین دغدغه‌های صنعت انتقال گاز است. در این مطالعه، چگونگی تعیین حریم ایمنی خطوط لوله انتقال گاز ترش، که با توجه به پخش احتمالی گاز سمی هیدروژن سولفید در محیط، نسبت به خطوط لوله گاز شیرین خطرناک‌تر است، مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تحلیل و تعمیم نتیجه‌های به دست آمده، یک خط لوله انتقال گاز ترش در استان بوشهر مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از نرم افزار PHAST RISK و با توجه به روش ارزیابی کمی ریسک، حریم این خط لوله، در چهار ضخامت گوناگون، تعیین و مشخص شد که تأثیر ۲ میلیمتر افزایش یا کاهش در ضخامت لوله در تعیین حریم ایمن، می‌تواند حدود ۶۰ متر و یا بیشتر باشد. این در حالی است که روش‌های گذشته تأثیر ضخامت لوله را لحاظ نمی‌کردند.

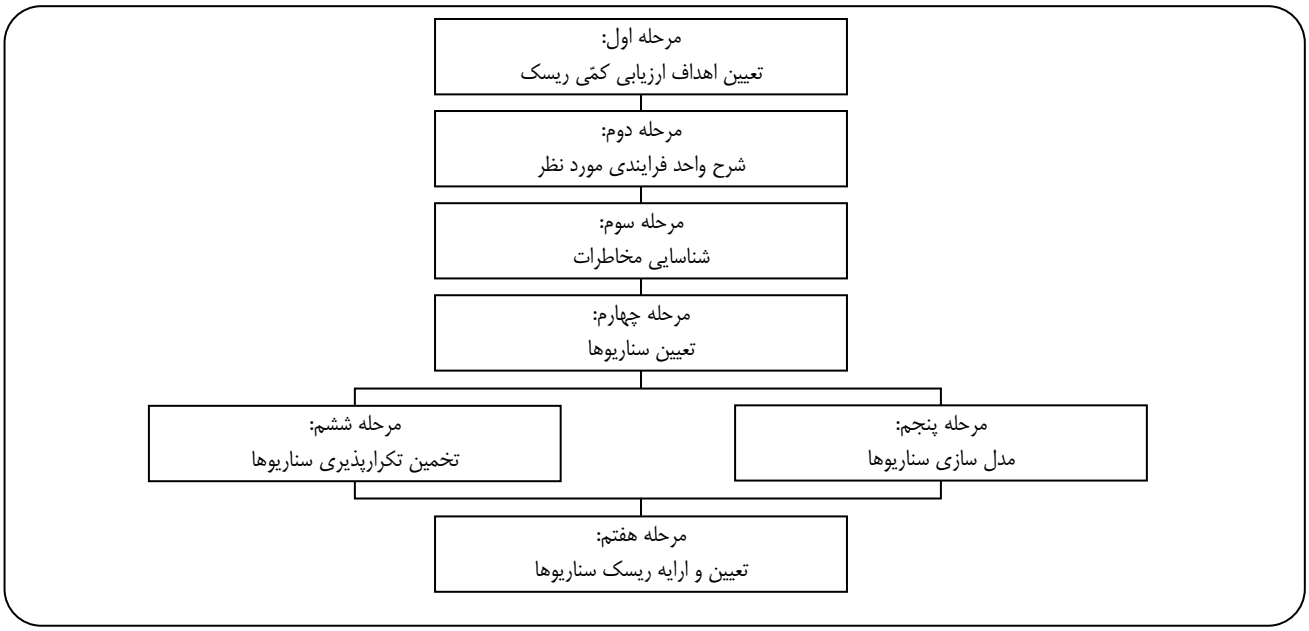
واژه‌های کلیدی: خط لوله ، گاز ترش ، حریم ایمن.

KEY WORDS: *Pipeline, Sour gas, Safe distance.*

مقدمه

امروزه استفاده از خطوط لوله انتقال به منظور انتقال حجم‌های بالای گاز در مسافت‌های طولانی به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. شاهد این ادعا نیز میلیون‌ها کیلومتر خط لوله‌ای است که در سراسر جهان موجود بوده و کماکان در حال گسترش است [۱]. پذیرش این گسترش بدون در نظر گرفتن تمهیدهای لازم به منظور تأمین حریم مناسب در مناطق اطراف این خطوط لوله قابل قبول نیست. این نکته برای خطوط لوله انتقال گاز ترش اهمیت بیشتری می‌یابد زیرا با توجه به امکان پخش گاز سمی هیدروژن سولفید در محیط و حمل آن توسط باد، این خطوط نسبت به خطوط لوله انتقال گاز شیرین که تنها مسئله انفجار و اثرهای تابش گرمایی آنها مطرح می‌باشد، خطرناک‌تر و مسلماً در شرایط یکسان (فشار، قطر و ضریب طراحی)، نیازمند ملاحظه‌های ایمنی بیشتری می‌باشند. همچنین استاندارد IGS-C-SF-015 که در شرکت ملی گاز ایران تدوین شده است، مربوط به حریم ایمن

*عهده دار مکاتبات
+E-mail: rashtchian@sharif.edu



شکل ۱ـ مرحله‌های ارزیابی کمّی ریسک.

خطوط لوله گاز شیرین بوده و در آن، پارامترهای قطر لوله، فشار و ضریب طراحی در حریم ایمن مؤثر است ولی در مطالعه‌ی حاضر که برای خطوط لوله گاز ترش صورت گرفته است، پارامتر غلظت گاز هیدروژن سولفید نیز در حریم ایمن مؤثر می‌باشد. با در نظر گرفتن مجموعه این عامل‌ها، یافتن روشی که محدوده این حریم را با دقت کافی تعیین کند همواره از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. روش‌های گوناگونی به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله آنها روش‌های تجربی [۲] و روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی حوادث [۳] است. اگر چه این روش‌ها در بسیاری از موارد پرکاربرد هستند، اما در نظر نگرفتن پارامتری به نام احتمال بروز حادثه‌ها در تعیین حریم، همواره از نقاط ضعف این‌گونه روش‌ها برشمرده می‌شود. در این بین ارزیابی کمّی ریسک روشی است که با توجه به مجموعه شرایط موجود و با لحاظ کردن احتمال وقوع حوادث می‌تواند تخمین مناسبی از فاصله ایمن را ارایه دهد. در این مقاله سعی شده است که با استفاده از قابلیت‌های روش ارزیابی ریسک اثر ضخامت لوله و عمق پوشش در تعیین حریم ایمن لحاظ شود.

معرفی روش ارزیابی ریسک [۴]

ریسک، نرخ آسیب‌های وارد شده در اثر رخداد حوادث به یک سامانه است که این سامانه بسته به نوع مطالعه می‌تواند انسان، تجهیزها، ساختمان‌ها و یا محیط زیست تعریف شود. در ارزیابی کمی ریسک حادثه‌ها، دو پارامتر نقش بیشتری ایفا می‌کنند پارامتر اول پیامد و پارامتر دوم تکرار پذیری حادثه است. پیامد به معنای میزان خسارت وارد شده به سامانه در اثر یک بار وقوع حادثه و تکرارپذیری به معنای تعداد دفعه‌هایی است که آن حادثه در یک بازه زمانی یک ساله اتفاق خواهد افتاد و به طور عموم هیچ کدام از این دو پارامتر به تنهایی برای ارزیابی خطرها کافی نیستند. بسیاری از حادثه‌ها را می‌توان در نظر گرفت که پیامد شدیدی داشته ولی در عمل تکرار پذیری آنها ناچیز باشد و برعکس برخی از آنها ممکن است به دفعات رخ بدهند 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 تکرار پذیری یک حادثه بوده و معیاری مناسب برای میزان مخاطره آمیز بودن یک حادثه است. تابعیت ریسک از تکرارپذیری و پیامد در بیشتر موارد پیچیده بوده و با توجه به روش‌هایی که برای ارزیابی ریسک به کار برده می‌شود ترکیب‌های گوناگونی از آنها ارایه می‌شود. اما در ساده ترین حالت، می‌توان ریسک را از حاصل‌ضرب مقدارهای کمی پیامد و تکرارپذیری محاسبه کرد. مرحله‌های ارزیابی کمی ریسک را می‌توان به‌طور خلاصه در هفت مرحله گوناگون (شکل ۱) تشریح کرد که به ترتیب عبارتند از:

مرحله اول : تعیین اهداف ارزیابی کمی ریسک

در این مرحله پس از تعیین اهداف، معیارهای اندازه‌گیری ریسک و چگونگی ارایه آن مشخص می‌شود. در ضمن، در این مرحله میزان و عمق مطالعه‌های که باید برای ارزیابی ریسک صورت بگیرد مشخص می‌شود که بستگی به اهمیت ارزیابی ریسک واحد فرایندی مورد نظر و منابع در دسترس دارد.

مرحله دوم : شرح واحد فرایندی مورد نظر

در این مرحله تمام اطلاعات مربوط به واحد فرایندی مورد نظر که برای ارزیابی کمی ریسک مورد نیاز است جمع آوری می‌شود، این اطلاعات به طور کلی شامل مواردی مانند موقعیت جغرافیایی واحد، اطلاعات مربوط به محیطی که واحد در آن قرار گرفته، شرایط آب و هوایی، انواع نقشه‌های فرایندی، طرح جانمایی واحد، اسناد فنی، ویژگی‌های فیزیکی مواد موجود در فرایند و ... است.

مرحله سوم: شناسایی مخاطرات

این مرحله که به منظور شناسایی مخاطرات موجود در یک واحد فرایندی انجام می‌شود دارای اهمیت بسیار زیادی است زیرا هرگونه کوتاهی در این مرحله سبب شناسایی نشدن مجموعه‌ای از خطرهای محتمل و در نتیجه ارزیابی نشدن ریسک آنها می‌شود.

مرحله چهارم : تعیین سناریوها

سناریو، واقعه یا مجموعه‌ای از وقایع است که سبب ایجاد حادثه می‌شود این مرحله شامل شناسایی و استخراج تمام سناریوهای قابل اعتنا با توجه به نوع مطالعه‌های پیش رو می‌باشد. این دسته از سناریوها در بیشتر موارد به صورت مجموعه‌ای از نشتی‌ها با اندازه‌های متفاوت بر روی منبع ایجاد خطر در نظر گرفته می‌شوند.

مرحله پنجم : مدل سازی پیامد سناریوها

در این مرحله پیامدهای گوناگون به علت یک حادثه که می‌تواند سبب تلفات و یا صدمه‌های جسمی و مالی شود ارزیابی می‌شود، هر سناریو (ایجاد نشتی یا پارگی در یک لوله یا مخزن دارای ماده اشتعال پذیر یا سمی تحت فشار) می‌تواند دارای چندین پیامد مشخص (آثار ناشی از پخش مواد سمی، آتش و انفجار) باشد که این پیامدها از طریق مدل‌های ارایه شده برای رهایش و پخش مواد در محیط و مدل‌های آتش و انفجار تعیین می‌شوند، آثار ناشی از انتشار مواد سمی به صورت میزان غلظت مواد در نقاط گوناگون، آثار ناشی از آتش به صورت شدت تشعشع در نقاط گوناگون و آثار ناشی از انفجار به صورت موج انفجار در نقاط گوناگون تعیین می‌شود و در ادامه تاثیر این پیامدها بر روی جمعیت از طریق مدل‌های آسیب پذیری ارزیابی می‌شود.

مرحله ششم : تخمین تکرار پذیری سناریوها

تکرار پذیری سناریوها از دو راه معمول تعیین می‌شود که اولین آنها استفاده از سوابق سناریوهای همانند در زمان‌های گذشته بوده و روش دوم استفاده از تحلیل درخت خطا است.

مرحله هفتم : ترکیب پیامد و تکرار پذیری سناریوها به منظور ارزیابی ریسک

در این مرحله از ترکیب پیامد و تکرار پذیری سناریوها به منظور تعیین ریسک استفاده می‌شود، این ریسک ابتدا برای پیامدهای گوناگون ناشی از هر سناریو تعیین شده و سپس از طریق جمع زدن آنها یک ریسک کلی برای هر سناریو تعیین می‌شود. ریسک دارای انواع متفاوتی بوده و معیارهای اندازه‌گیری آن نیز متنوع می‌باشند.

تعیین حریم خط لوله انتقال گاز ترش از طریق روش ارزیابی ریسک

با توجه به توانایی‌های روش ارزیابی ریسک در لحاظ کردن طیف وسیعی از پارامترهای تاثیر گذار، به نظر می‌رسد این روش قابلیت‌های کافی برای تعیین حریم خطوط لوله گاز ترش را داشته باشد. بدین منظور پس از محاسبه آثار ناشی از حادثه‌های احتمالی و تکرارپذیری آنها می‌توان ریسک موجود را محاسبه کرد. در نهایت ریسک محاسبه شده در نقاط گوناگون با ریسک قابل قبول (ریسک معیار) مقایسه شده و حریم خط لوله تعیین می‌شود.

ارزیابی کمّی ریسک

معرفی خط لوله منتخب به منظور ارزیابی ریسک

طرح خط لوله پنجم سراسری برای انتقال گاز ترش حدود ۳۷۰۰ میلیون فوت مکعب در روز، از پالایشگاه عسلویه برای تزریق به میدان‌های نفتی آغاجاری در نظر گرفته شده است که دارای قطر ۵۶ اینچ، طول ۵۰۴ کیلومتر، ۱۷ ایستگاه شیر بین راهی و ۰/۳۸ درصد مولی هیدروژن سولفید است. بیشتر طول این خط لوله مطابق شکل ۲، در استان بوشهر قرار دارد [۵]. هیدروژن سولفید به عنوان سمی‌ترین ماده موجود در گاز ترش، در غلظت‌های بالای ۱۰۰ppm، بر روی انسان اثرهای نامطلوبی دارد [۶].

جدول ۱ـ خلاصه اطلاعات خط لوله انتقال گاز ترش عسلویه -آغاجاری.

پارامتر	محدوده
فشار عملیاتی مورد بررسی (بار)	۵۰
قطر لوله (اینچ)	۵۶
غلظت سولفید هیدروژن (درصد مولی)	۰/۳۸
دمای گاز داخل لوله (سلسیوس)	۵۵

شکل ۲ـ نمای کلی از محل عبور خط لوله‌ی عسلویه به آغاجاری.

پارامترهای مؤثر در تعیین حریم ایمن از خطوط لوله انتقال گاز ترش و مقدار آنها برای خط لوله گاز ترش عسلویه به آغاجاری در جدول ۱ آمده است. یکی از پارامترهای مهم در تعیین حریم ایمنی خطوط لوله، ضریب طراحی خط لوله می‌باشد که با توجه به تعداد ابنیه‌ی موجود در یک مستطیل به طول ۱ کیلومتر و عرض ۵۰۰ متر، که خط لوله از وسط آن می‌گذرد، تعیین می‌شود. اگر تعداد ابنیه کمتر از ۸ باشد، ضریب طراحی ۰/۷۲، اگر بین ۸ تا ۳۶ باشد، ضریب طراحی ۰/۶، برای تعداد ابنیه بالای ۳۶، ضریب طراحی ۰/۵ و برای منطقه‌ی شهری ضریب طراحی ۰/۴ به‌کار می‌رود [۷].

در این مقاله ضریب طراحی ۰.۷۲ در چند ضخامت گوناگون از لوله در نظر گرفته شده است.

شناسایی مخاطرات خط لوله انتقال گاز ترش

با توجه به خاصیت اشتعال‌زایی و سمیت گاز ترش موجود در خطوط لوله و فشار بالای عملیاتی، مخاطرات گوناگونی محتمل به نظر می‌رسند. از جمله‌ی این مخاطرات انتشار گاز سمی و یا بروز آتش‌سوزی و انفجار می‌باشد. هرچند ابعاد حوادثی مانند آتش سوزی و انفجار کمتر از حادثه ی نشت گاز سمی است، در این مقاله همه‌ی حوادث محتمل از جمله انفجار، آتش سوزی و پخش گاز سمی در نظر گرفته شده است.

تعیین سناریوهای ایجاد حادثه

به منظور تعیین دقیق ریسک ناشی از حوادث گوناگون در خط لوله انتقال گاز ترش نیاز به تعیین سناریوهای مناسب خطر می‌باشد. با توجه به روند رخداد حادثه در گذشته و بررسی‌های صورت گرفته توسط مراجع گوناگون سه دسته سناریو با اندازه نشتی‌های مشخص شده در جدول ۲ به عنوان سناریوهای اصلی مورد بررسی بیشتر قرار گرفتند [۸].

از این سناریوها به منظور ارزیابی پیامد و تعیین تکرارپذیری در محاسبه‌های مربوط به ارزیابی ریسک استفاده می‌شود. روند تعیین این سناریوها به‌گونه‌ای است که ضمن لحاظ شدن سناریوهای با پیامد بالا (سناریوی بزرگ)، سناریوهای با تکرارپذیری بالا (سناریوی کوچک) نیز در نظر گرفته شود.

خطوط لوله مورد بررسی مدفون بوده و دارای ایستگاه‌های شیر بین راهی می‌باشند تا در صورت نشتی در لوله، شیرهای دو طرف نشتی بسته شوند و تنها آن حجم از گاز که در لوله بین دو شیر قرار دارد در محیط پخش شود. در این مقاله طول ۳۲ کیلومتر از لوله به عنوان طولی از لوله که بین دو شیر قرار دارد و حجم گاز محبوس در آن که در محیط پخش می‌شود مورد بررسی قرار گرفت. شش حالت برای نشت در نظر گرفته شد که جزییات آن در جدول ۳ آمده است. انتخاب این اندازه نشتی‌ها و زاویه گاز خروجی با توجه به اطلاعات آماری ثبت شده در مورد نشتی‌های اتفاق افتاده در گذشته می‌باشد [۸]. زاویه‌های خروج گوناگون و برخورد جریان گاز با توده خاک به منظور لحاظ کردن تاثیر مدفون بودن خط لوله است.

ارزیابی پیامد سناریوها

منظور از ارزیابی پیامد سناریوها در این قسمت، مدل‌سازی تخلیه برای تعیین شدت جریان جرمی گاز خروجی و سپس مدل‌سازی انتشار گاز خارج شده در فضای اطراف خط لوله می‌شود. در ادامه، با توجه به اندازه‌ی وسیعتر حادثه پخش گاز سمی نسبت به انفجار و آتش سوزی، این حادثه توضیح داده می‌شود و غلظت گاز سمی در مناطق اطراف از طریق مدل‌های موسوم به مدل‌های آسیب‌پذیری به احتمال تلفات در آن نقاط تبدیل می‌شود (شکل ۳).

جدول ۲ـ سناریوهای منتخب در خط لوله انتقال گاز ترش.

سناریو	اندازه سوراخ
سناریوی کوچک	۲۰ میلیمتر
سناریوی متوسط	۷۵ میلیمتر
سناریوی بزرگ	قطر لوله

جدول ۳ـ سناریوهای منتخب در خط لوله انتقال گاز ترش و زاویه خروج آنها.

شماره سناریو	اندازه سناریو	حالت نشتی
۱	سوراخ کوچک	سوراخ کوچک – خروج افقی با برخورد با مانع
۲	سوراخ کوچک	سوراخ کوچک – خروج با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق
۳	سوراخ متوسط	سوراخ متوسط – خروج افقی با برخورد با مانع
۴	سوراخ متوسط	سوراخ متوسط – خروج با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق
۵	سوراخ بزرگ	سوراخ بزرگ – خروج افقی با برخورد با مانع
۶	سوراخ بزرگ	سوراخ بزرگ – خروج با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق

بیشتر حوادث خطرناکی که در صنعت رخ می‌دهند اغلب از طریق خروج یک ماده سمی یا قابل‌اشتعال از یک نشتی یا پارگی ایجاد شده در مخزن، خط لوله و یا اتصال‌های آنها ایجاد می‌شوند. برای مدل‌سازی تخلیه مواد در این گونه حادثه‌ها عامل-های گوناگونی مانند نوع تخلیه (دایمی یا ناگهانی)، اندازه نشتی ایجاد شده، ترکیب درصد مواد موجود در منبع و شرایط فرایندی ماده تخلیه شده (دما، فشار و فاز) تأثیر دارند. عامل‌های زیادی نظیر شرایط تخلیه (شدت جریان جرمی و فاز تخلیه)، شرایط آب و هوایی (دما، پایداری جو، سرعت باد و رطوبت)، ارتفاع و برای تخلیه مواد وجود دارند که بر انتشار مواد در محیط مؤثر هستند. این مرحله به صورت مستقل می‌تواند برای بررسی حادثه ناشی از انتشار گاز سمی مورد استفاده قرار بگیرد [۹].

آثار ناشی از انتشار گاز سمی که می‌تواند سبب ایجاد تلفات جانی شود (هم بحث سمیت آن و هم مباحث انفجار و آتش‌سوزی) از طریق مدل‌های تجربی ارایه شده برای تخلیه و انتشار مواد در محیط تعیین می‌شوند و در نهایت پیامدهای ناشی از این تاثیرها بر روی جمعیت از طریق مدل‌های آسیب‌پذیری ارزیابی می‌شود.

به منظور تشریح مدل‌های آسیب‌پذیری توجه به این نکته نیاز است که در هنگام انتشار گاز سمی چندین عامل در ایجاد آسیب به انسان نقش دارد. به ترکیب این عامل‌های تأثیر گذار که به طور معمول در یک قالب ریاضی مشخص ارایه می‌شود در اصطلاح دوز اطلاق می‌شود و چگونگی تعیین این قالب ریاضی مشخص به‌گونه‌ای است که طیف‌های متفاوت از عامل‌های تأثیر گذار در صورتی که دوز یکسانی را ارایه دهند سبب ایجاد پیامد همانندی می‌شوند. دوز می‌تواند ترکیبی از غلظت گاز سمی منتشر شده و مدت زمان اعمال آن باشد که با توجه به ابعاد وسیعتر حادثه نشت گاز سمی نسبت به انفجار و آتش سوزی تنها دوز مربوط به سمیت توضیح داده می‌شود هرچند حوادث انفجار و آتش سوزی نیز در شبیه سازی اعمال می‌شوند.

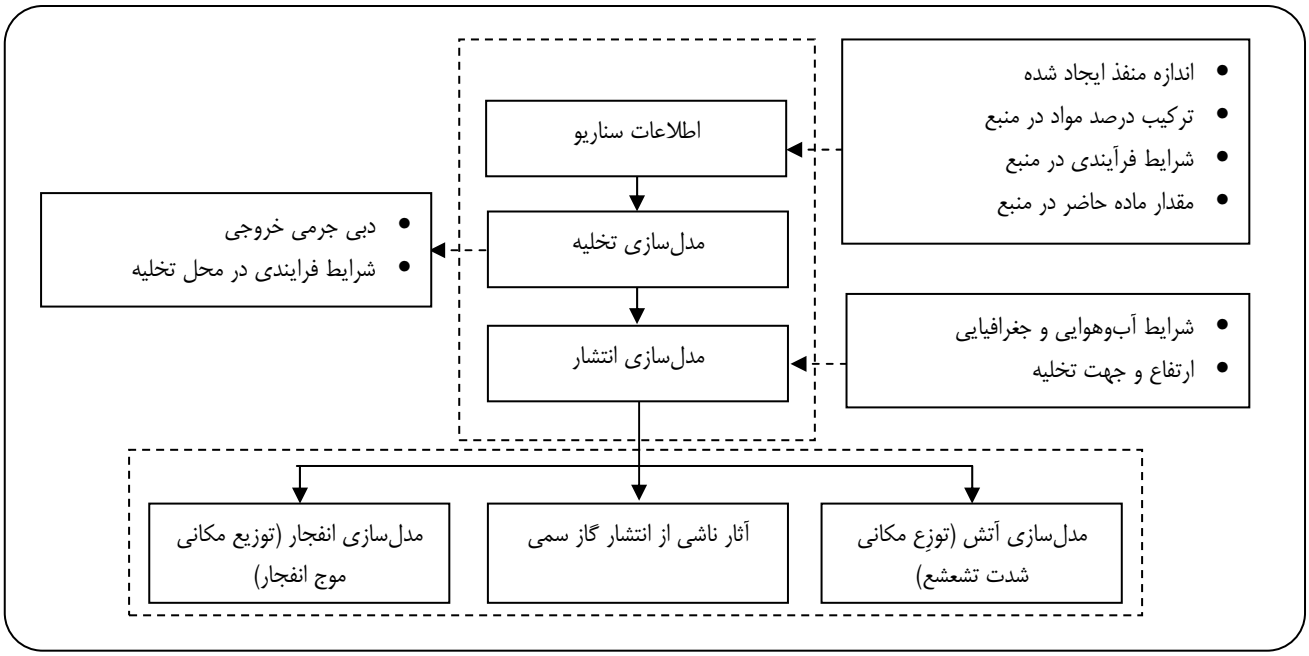
با توجه به این توضیحات، دوز، متغیری است که با در نظر گرفتن میزان انتشار گاز سمی و مدت زمان اعمال آن به صورت زیر تعریف می‌شود [۹].

$$Dose = C^n.t \qquad (۱)$$

در این معادله، Dose، مقدار دوز، n مقدار ثابت (وابسته به نوع ماده)، C غلظت گاز سمی در نقاط گوناگون پس از انتشار و t، زمان حضور ماده سمی است.

جدول ۴ـ شرایط آب و هوایی مورد استفاده در مدل‌سازی‌ها.

کلاس پایداری جو	سرعت باد (متر بر ثانیه)	دمای هوا (سلسیوس)	درصد رطوبت نسبی
F	۲	۱۶/۷	۸۴/۴
D	۵	۳۳/۴	۴۵/۷
C	۱۰	۳۳/۴	۴۵/۷



شکل ۳ـ مرحله‌ها و جزییات مربوط به ارزیابی پیامد سناریوها.

در ادامه مقدار دوز محاسبه شده از طریق معادله Probit به احتمال تلفات تبدیل می‌شود. این روابط در قالب کلی معادله زیر ارایه می‌شوند [۹].

$$Y = K_1 + K_2.\ln(V) \qquad (۲)$$

در این معادله Y مقدار Probit، K_1 و K_2 مقدارهای ثابت (وابسته به نوع حادثه و نوع ماده ایجاد کننده حادثه) بوده که با توجه به اطلاعات حادثه‌ها و یا آزمایش بر روی حیوان‌ها تعیین می‌شوند. در ادامه از معادله (۳) به منظور تبدیل مقدار Probit (Y) به احتمال ایجاد خسارات (p) استفاده می‌شود [۴].

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{Y-S} e^{-\left(\frac{x^2}{2}\right)}dx \qquad (۳)$$

با توجه به این اطلاعات و ترکیب آنها با شرایط آب و هوایی موجود در منطقه که در مدل‌سازی انتشار مؤثر می‌باشد می‌توان این مدل‌سازی‌ها را برای سناریوهای مورد بررسی انجام داد. با توجه به بررسی‌های انجام شده سه دسته شرایط آب و هوایی گوناگون برای منطقه در دست بررسی انتخاب شده است که جزییات آنها در جدول ۴ آورده شده است.

هیدروژن سولفید در غلظت‌های گوناگون اثرهای متفاوتی بر انسان دارد که این اثرها در جدول ۵ آمده است [۶].

با استفاده از نرم افزار PHAST RISK، نمودارهای احتمال تلفات برای سناریوها و شرایط آب و هوایی گوناگون تهیه شد که در ادامه آمده است.

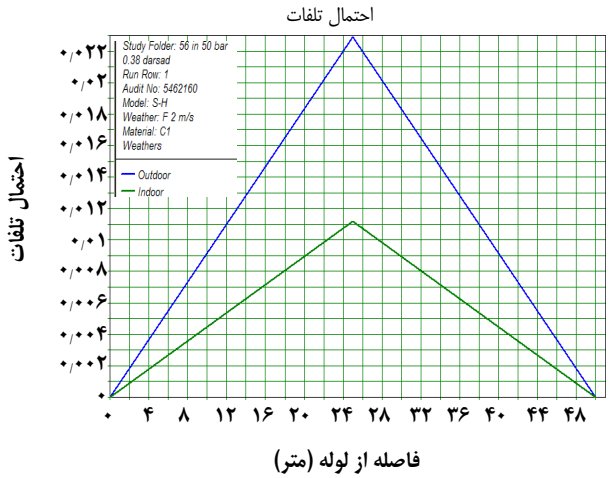
حالت سوراخ کوچک

خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق

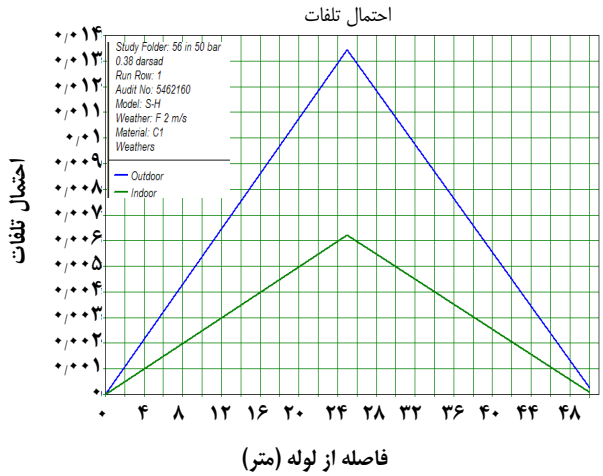
در این حالت، نرم افزار نموداری ارایه نمی‌دهد که با توجه به اینکه غلظت بر روی سطح زمین مد نظر می‌باشد و در حالت

جدول ۵ ـ اثرهای غلظت‌های گوناگون سولفید هیدروژن بر انسان.

غلظت (ppm)	اثر بر انسان
۰/۱۳	دارای کمترین بوی قابل درک
۴/۶	دارای بوی ملایم و به راحتی قابل درک
۱۰	شروع سوزش چشم
۲۷	بوی قوی و نامطلوب
۱۰۰	سرفه و سوزش چشم، از بین رفتن حس بویایی بعد از ۲ تا ۵ دقیقه
۲۰۰–۳۰۰	التهاب چشم و مشکل‌های تنفسی
۵۰۰–۷۰۰	از بین رفتن هوشیاری، احتمال مرگ بعد از سی دقیقه تا یک ساعت
۷۰۰–۱۰۰۰	بیهوشی سریع، قطع تنفس و مرگ
۱۰۰۰–۲۰۰۰	بیهوشی فوری، مرگ در زمان کم، مرگ حتی اگر فرد فورا به هوای تازه برسد



شکل ۴ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ کوچک در رده‌ی پایداری F.



شکل ۵ ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ کوچک در رده‌ی پایداری D.

خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه و حالت سوراخ کوچک غلظت‌ها بر روی سطح زمین ناچیز می‌باشد، منطقی است.

خروج گاز به صورت افقی

حالت پایداری F

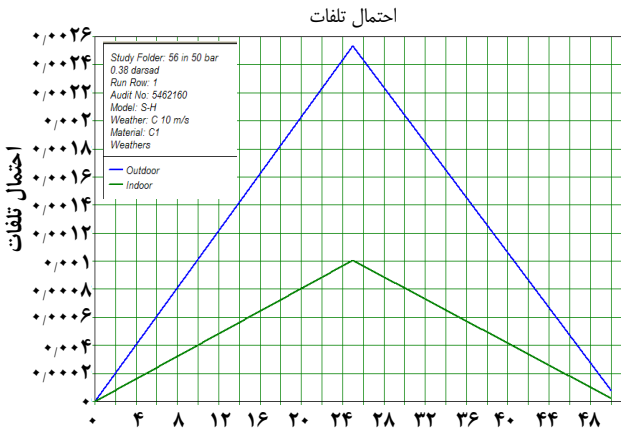
شکل ۴ برای این مورد حاصل می‌شود. که بیشترین احتمال تلفات برابر با ۲/۳ درصد و در فاصله‌ی ۲۵ متری از خط لوله می‌باشد. شکل‌های ۴ تا ۱۳، نمودار احتمال تلفات را بر حسب فاصله از خط لوله نشان می‌دهند.

حالت پایداری D

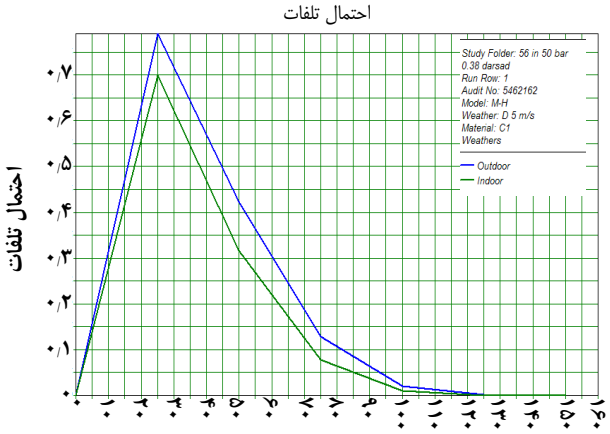
شکل ۵ برای این مورد حاصل می‌شود. که بیشترین احتمال تلفات برابر با ۱/۳۵ درصد و در فاصله‌ی ۲۵ متری از خط لوله می‌باشد

حالت پایداری C

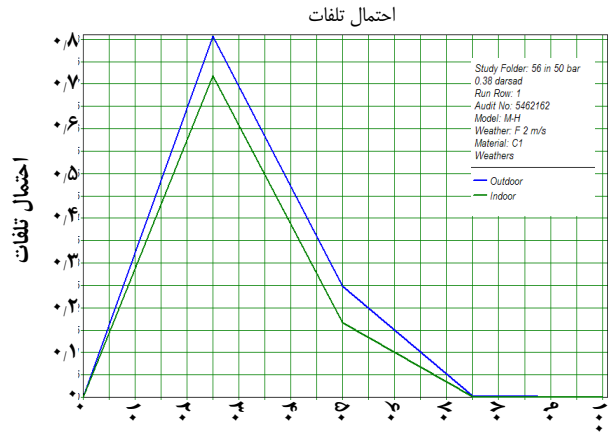
نمودار زیر برای این مورد به دست می‌آید. که بیشترین احتمال تلفات برابر با ۰/۲۵ درصد و در فاصله‌ی ۲۵ متری از خط لوله می‌باشد



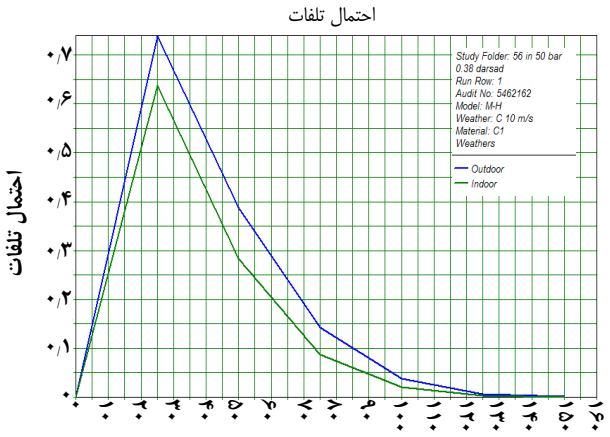
شکل ۶ ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ کوچک در رده‌ی پایداری C.



شکل ۸ ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ متوسط در رده‌ی پایداری D.



شکل ۷ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ متوسط در رده‌ی پایداری F.



شکل ۹ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ متوسط در رده‌ی پایداری C.

حالت سوراخ متوسط

خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق

در این حالت نیز، نرم افزار نموداری ارایه نمی‌دهد زیرا در حالت خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه و حالت سوراخ متوسط، غلظت‌ها بر روی سطح زمین ناچیز می‌باشد.

خروج گاز به صورت افقی

حالت پایداری F

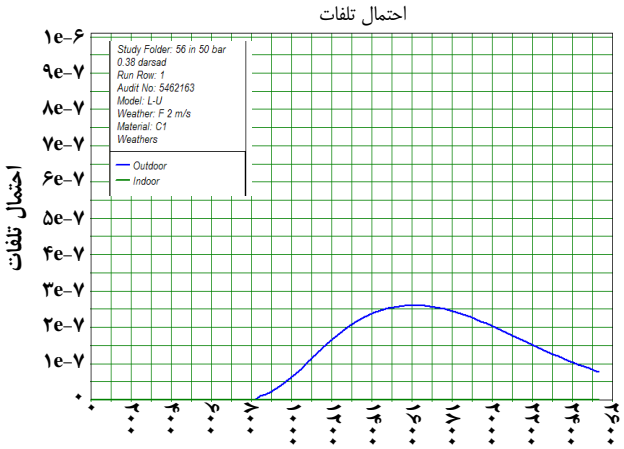
شکل ۷ برای این مورد حاصل می‌شود. که بیشترین احتمال تلفات برابر با ۸۲ درصد و در فاصله‌ی ۲۵ متری از خط لوله می‌باشد.

حالت پایداری D

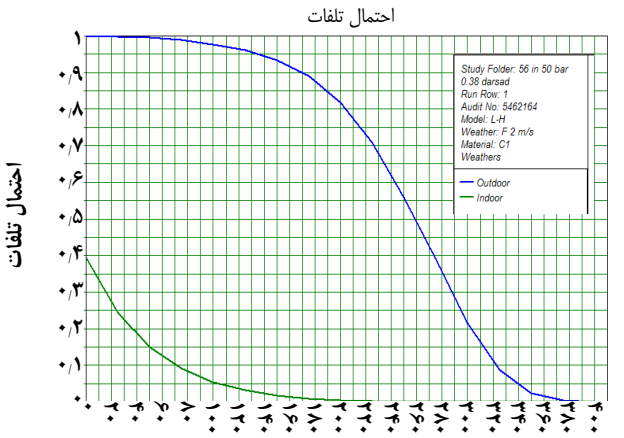
شکل ۸ برای این مورد حاصل می‌شود. که بیشترین احتمال تلفات برابر با ۷۸ درصد و در فاصله‌ی ۲۵ متری از خط لوله می‌باشد.

حالت پایداری C

شکل ۹ برای این مورد به دست می‌آید. که بیشترین احتمال تلفات برابر با ۷۵ درصد و در فاصله‌ی ۲۵ متری از خط لوله می‌باشد.



شکل ۱۰ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق و سوراخ بزرگ در رده‌ی پایداری F.



شکل ۱۱ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ بزرگ در رده‌ی پایداری F.

حالت سوراخ بزرگ

خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق

حالت پایداری F

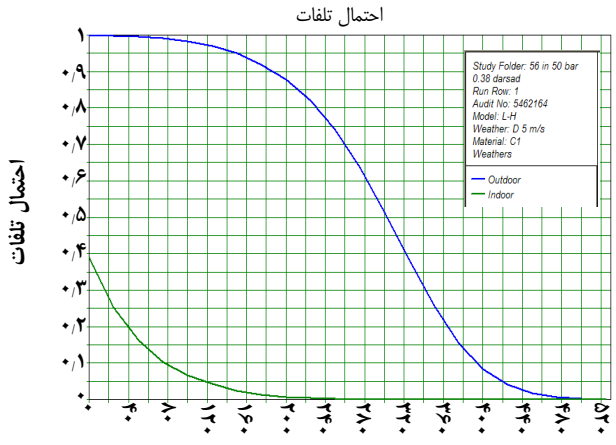
شکل ۱۰برای این مورد به دست می‌آید. که اعداد احتمال بسیار کوچک می‌باشند. همچنین در دو حالت سناریوی کوچک و متوسط نیز، نرم افزار نموداری ارایه نمی‌دهد.

خروج گاز به صورت افقی

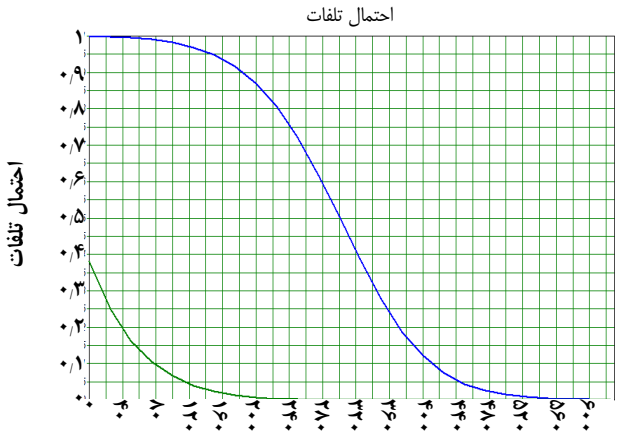
حالت پایداری F

حالت پایداری D

حالت پایداری C



شکل ۱۲ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ بزرگ در رده‌ی پایداری D.



شکل ۱۳ـ احتمال تلفات بر حسب فاصله از خط لوله برای حالت خروج گاز به صورت افقی با برخورد به مانع و سوراخ بزرگ در رده‌ی پایداری F.

تخمین تکرارپذیری سناریوها

سابقه حادثه‌های موجود در یک واحد و واحدهای همانند می‌تواند منبع اطلاع‌هایی بسیار مفیدی در محاسبه تکرارپذیری یک حادثه باشد. در این روش همه حادثه‌های اتفاق افتاده در یک واحد و واحدهای همانند جمع‌آوری شده و با تقسیم تعداد هر حادثه مشخص مثل پارگی یک لوله بر بازه زمانی که این حوادث در آن رخ داده‌اند میزان تکرارپذیری آن حادثه محاسبه می‌شود. روشن است هر چه تعداد واحدهای مورد بررسی بیشتر باشد عددهای به دست آمده قابل اعتمادتر و به واقعیت نزدیک‌ترند. نکته قابل گفتن اینکه حادثه‌های رخ داده در یک واحد می‌تواند دلیل‌های گوناگونی

جدول ۶ ـ تکرارپذیری نشتی‌های گوناگون در خطوط لوله.

محدوده اندازه نشتی‌ها	تکرارپذیری (1/km.yr)	تکرارپذیری (1/km.yr)
صفر تا ۶ میلیمتر	۰/۱۶۲	۰/۲۳۴
۶ تا ۲۰ میلیمتر	۰/۰۴۱	
۲۰ تا ۴۰ میلیمتر	۰/۰۳۱	
۴۰ تا ۱۱۰ میلیمتر	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱
۱۱۰ میلیمتر تا پارگی	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶
پارگی[×] و بالاتر	۰/۰۱۱	

داشته باشد. به عنوان مثال پارگی یک لوله می‌تواند به دلیل خوردگی، افزایش بیش از حد فشار در آن، برخورد اجسام خارجی با آن و یا حتی زلزله اتفاق بیفتد. این تنوع در علت وقوع حادثه‌های فیزیکی از عامل‌های مفید بودن استفاده از سوابق موجود است که باعث می‌شود عددهای مورد استفاده محافظه‌کارانه‌تر شود. مراجع گوناگونی میزان تکرارپذیری نشتی‌ها را در لوله‌ها بیان نموده‌اند. یکی از مهم‌ترین و مفیدترین مراجع برای محاسبه‌های وقوع حادثه‌ها، مجموعه‌ای می‌باشد که توسط سازمان UKOPA جمع‌آوری شده است در این مرجع، براساس پایگاه‌های اطلاع‌هایی که بر اساس نشتی‌های اتفاق افتاده در خطوط لوله (بین سال‌های ۱۹۶۲ تا ۲۰۰۴ میلادی) پایه‌گذاری شده است، جدول‌هایی برای محاسبه میزان تکرارپذیری (جدول ۶) نشتی از انواع تجهیزهای ارایه شده است که در ارزیابی ریسک بسیار مفید می‌باشند [۸].

با توجه به اینکه در این مقاله سه نوع سوراخ با اندازه‌های کوچک (۲۰ میلیمتر)، متوسط (۷۵ میلیمتر) و بزرگ (قطر لوله) در نظر گرفته شده است، لازم است محدوده‌های موجود در این جدول بر اساس این سه نوع سوراخ تنظیم شوند. برای این‌کار محدوده‌ی صفر تا ۴۰ میلیمتر را به عنوان سوراخ کوچک (۲۰ میلیمتر)، محدوده‌ی ۴۰ تا ۱۱۰ میلیمتر را به عنوان سوراخ متوسط (۷۵ میلیمتر) و از ۱۱۰ میلیمتر به بالا را به عنوان سوراخ بزرگ در نظر گرفته می‌شود که جزییات آن در جدول ۶ آورده شده است. تکرارپذیری حادثه‌ها در جدول ۶ برای ۱۰۰۰ کیلومتر از لوله می‌باشد ولی با توجه به اینکه طول ۳۲ کیلومتر از لوله در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است باید این تکرارپذیری‌ها برای ۳۲ کیلومتر تنظیم شوند که نتیجه در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷ـ تکرارپذیری برای ۳۲ کیلومتراز لوله.

اندازه سوراخ	تکرار پذیری (1/yr)
۲۰ میلیمتر	۰/۰۰۷۵۳۱۷۳
۷۵ میلیمتر	۰/۰۰۰۳۵۴۰۵
قطر لوله	۰/۰۰۰۵۱۵

در صورتی که برای خروج افقی به همراه برخورد با مانع با احتمال ۰/۷۵ و برای خروج گاز با زاویه ۴۵ برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته شود اطلاعات جدول ۸ معرف تکرارپذیری تمام سناریوهای از پیش تعیین شده است.

یکی از پارامترهایی که در تعیین حریم باید مورد توجه قرار گیرد، ضخامت لوله می‌باشد. همان‌گونه که مشخص است، ریسک از ترکیب احتمال وقوع حادثه و پیامد ناشی از حادثه، تشکیل می‌شود. پارامتر ضخامت لوله مربوط به بخش احتمال حادثه می‌باشد و در پیامد ناشی از حادثه نقشی ندارد. در این مطالعه، چهار ضخامت گوناگون برای لوله در نظر گرفته شده است. هر چه ضخامت لوله بیشتر می‌شود، درنتیجه باید حریم ایمن کمتر شود. به همین دلیل برای کاهش ریسک، لوله با ضخامت بیشتر انتخاب می‌کنند. عمق پوشش نیز می‌تواند در تعیین حریم ایمن مؤثر باشد. مطابق شکل‌های ۱۴ و ۱۵، با افزایش ضخامت لوله و عمق پوشش خاک، ضریبی که باید در تکرارپذیری ضرب شود، کاهش می‌یابد [۱۰]. عمق پوشش در مورد خط لوله عسلویه– آغاجاری حدود ۱/۲۵ متر است که ضریب کاهش برای این اندازه عمق با توجه به شکل۱۴ برابر ۰/۹ می‌باشد.

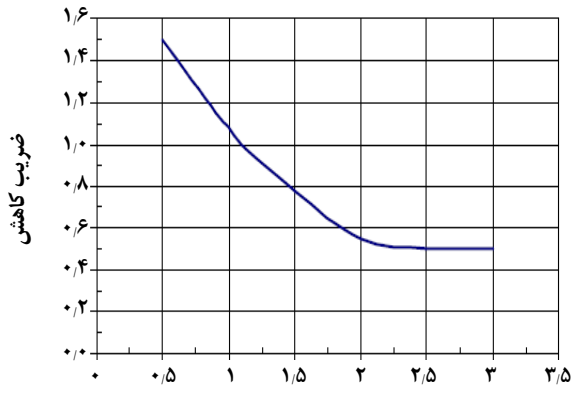
مقدارهای ضریب‌های کاهش برای چهار ضخامت گوناگون، با توجه به شکل ۱۵ در جدول ۹ آمده است.

جدول ۸ ـ تکرارپذیری سناریوهای تعریف شده.

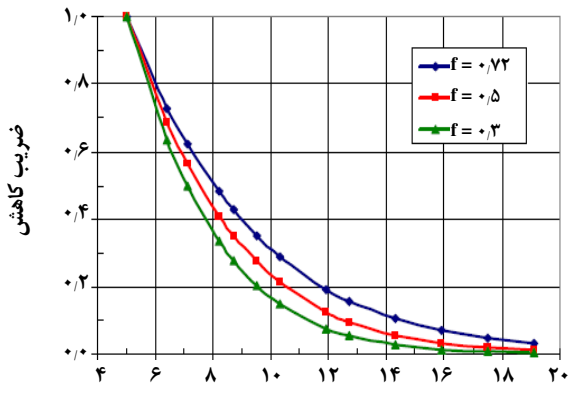
اندازه سوراخ	تکرار پذیری (1/yr) خروج گاز با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق	تکرار پذیری (1/yr) خروج گاز به صورت افقی با برخورد با مانع
کوچک	۰/۰۰۱۸۸۲۹	۰/۰۰۵۶۴۸۸
متوسط	۰/۰۰۰۰۸۸۵۱	۰/۰۰۰۲۶۵۵۳
بزرگ	۰/۰۰۰۱۲۸۷۵	۰/۰۰۰۳۸۶۲۵

جدول ۹ـ ضریب‌های کاهش مربوط به ضخامت لوله.

ضخامت (میلیمتر)	۶	۸	۱۰	۱۲
ضریب کاهش	۰/۸	۰/۵	۰/۳	۰/۱۹



شکل ۱۴ـ ضریب‌های کاهش بر اساس عمق پوشش.



شکل ۱۵ـ ضریب‌های کاهش بر اساس ضخامت لوله.

با در نظر گرفتن این مطالب، مقدارهای درج شده در جدول ۱۰ تکرارپذیری مربوط به همه سناریوها را در تمام شرایط را نمایش می‌دهد.

با توجه به جدول ۱۰، مقدارهای تکرارپذیری کل برای هر خط لوله، به صورت جدول ۱۱ به دست می‌آید.

در ادامه، روش تحلیل درخت رویداد به منظور محاسبه احتمال پیامدهای متنوعی که در صورت وقوع یک واقعه ابتدایی ممکن است رخ دهد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در درخت رویداد با شروع از یک واقعه آغازکننده سعی در پیش بینی توالی وقایع می‌شود تا حالت‌های ممکن ایمن یا آسیب‌رسان کشف شود. یک نمونه درخت رویداد در شکل ۱۶ نشان داده شده است. در این درخت رویداد فرض شده که واقعه آغازکننده نشتی یک گاز در یک لوله انتقال گاز است. با فرض اتفاق افتادن این حادثه اولین پرسشی که مطرح می‌شود این است که آیا گاز بی‌درنگ پس از خروج در معرض منبعی که پتانسیل ایجاد جرقه دارد قرار می‌گیرد یا خیر. در صورت مثبت بودن پاسخ این پرسش، پیامد نهایی آتش فورانی خواهد بود. که در شاخه بالایی شکل ۱۶ نمایش داده شده است. در صورت منفی بودن پاسخ این پرسش ، در مرحله بعدی احتمال ایجاد جرقه با تأخیر مطرح می‌شود. در صورت وجود احتمال جرقه با تأخیر، پیامد نهایی انفجار گازهای پخش شده در محیط و یا ایجاد آتش ناگهانی است. در صورت عدم وقوع جرقه نیز انتشار گاز سمی به دست می‌آید.

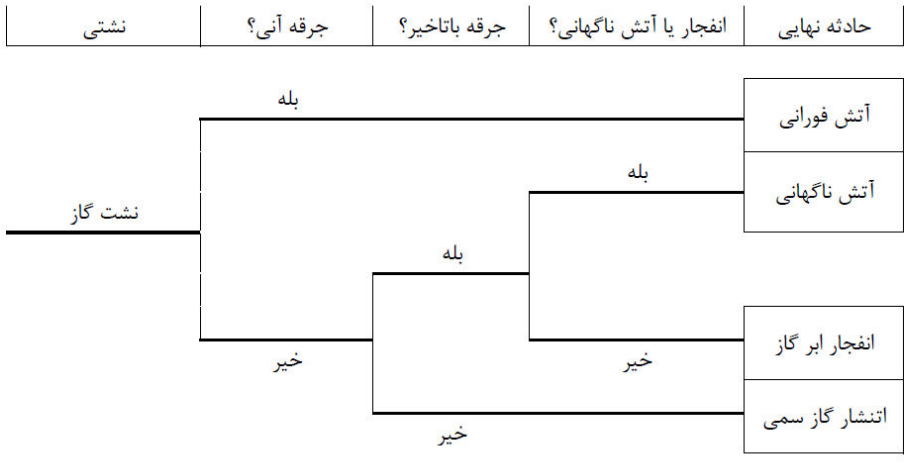
پس از تحلیل منطقی وقایع در درخت رویداد امکان محاسبه‌های عددی احتمال وجود خواهد داشت. در محاسبه‌های درخت رویداد ابتدا در اولین شاخه، احتمال مربوط به حادثه ابتدایی نوشته می‌شود. سپس احتمال شاخه بعدی با ضرب احتمال همان شاخه در این عدد به‌دست می‌آید و به همین ترتیب احتمال شاخه‌های بعدی

جدول ۱۰ـ تکرارپذیری کلی بر اساس اندازه سوراخ و حالت خروجی گاز از لوله.

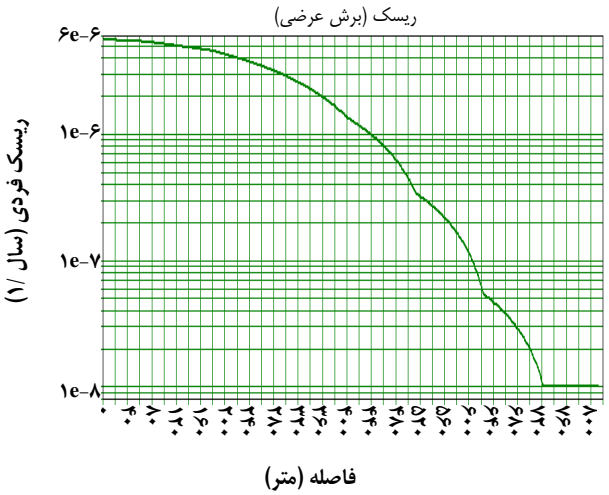
اندازه سوراخ	ضخامت لوله	ضریب کاهش برای ضخامت لوله	ضریب کاهش برای عمق پوشش	تکرارپذیری؛ افقی با برخورد با مانع	تکرارپذیری؛ ۴۵ درجه نسبت به افق
کوچک	۶	۰/۸	۰/۹	۰/۰۰۴۰۶۷۱۳	۰/۰۰۱۳۵۵۶۸
	۸	۰/۵	۰/۹	۰/۰۰۲۵۴۲	۰/۰۰۰۸۴۷۳
	۱۰	۰/۳	۰/۹	۰/۰۰۱۵۲۵۲	۰/۰۰۰۵۰۸۳۹
	۱۲	۰/۱۹	۰/۹	۰/۰۰۰۹۶۶	۰/۰۰۰۳۲۱۹
متوسط	۶	۰/۸	۰/۹	۰/۰۰۰۱۹۱۱۸	۰/۰۰۰۰۶۳۷۲۷
	۸	۰/۵	۰/۹	۰/۰۰۰۱۱۹۴۸	۰/۰۰۰۰۳۹۸۳
	۱۰	۰/۳	۰/۹	۰/۰۰۰۰۷۱۶۹	۰/۰۰۰۰۲۳۸۹
	۱۲	۰/۱۹	۰/۹	۰/۰۰۰۰۴۵۴۱	۰/۰۰۰۰۱۵۱۳
بزرگ	۶	۰/۸	۰/۹	۰/۰۰۰۲۷۸۱	۰/۰۰۰۰۹۲۷
	۸	۰/۵	۰/۹	۰/۰۰۰۱۷۳۸۱	۰/۰۰۰۰۵۷۹۳
	۱۰	۰/۳	۰/۹	۰/۰۰۰۱۰۴۲۸	۰/۰۰۰۰۳۴۷۶
	۱۲	۰/۱۹	۰/۹	۰/۰۰۰۰۶۶۰۴	۰/۰۰۰۰۲۲۰۱

جدول ۱۱ـ تکرارپذیری کل برای هر خط لوله.

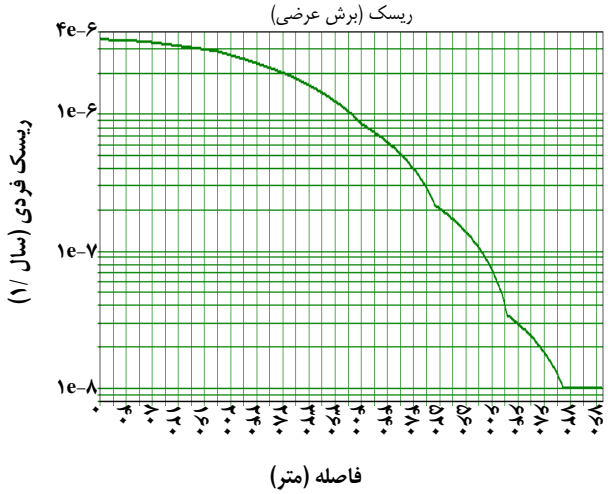
ضخامت لوله (میلیمتر)	تکرارپذیری کل (سال/۱)
۶	۰/۰۰۶۰۴۹
۸	۰/۰۰۳۷۸
۱۰	۰/۰۰۲۲۶۸
۱۲	۰/۰۰۱۴۳۶



شکل ۱۶ ـ درخت رویداد مربوط به رهایش گاز.



شکل ۱۷ـ نمودار ریسک فردی بر حسب فاصله از لوله برای ضخامت ۶ میلیمتر.



شکل ۱۸ـ نمودار ریسک فردی بر حسب فاصله از لوله برای ضخامت ۸ میلیمتر.

از ضرب احتمال آن در عدد به‌دست آمده از شاخه قبلی محاسبه می‌شود. در هر بخش از درخت رویداد که یک شاخه به دوشاخه تقسیم می‌شود، مجموع احتمالات دو شاخه برابر با یک است که یعنی وقایع مکمل هم هستند.

ارزیابی ریسک

بعد از ارزیابی پیامد سناریوها و تخمین تکرارپذیری آنها، نوبت به ارزیابی ریسک می‌رسد. همان‌گونه که می‌دانیم، ریسک، تابعی از تکرارپذیری و پیامد ناشی از سناریوها می‌باشد. در این مرحله، تکرارپذیری سناریوها و پیامد ناشی از آنها با هم ترکیب شده تا ریسک به دست آمده از آنها تعیین شود. نرم افزار PHAST RISK، با ترکیب تکرارپذیری و پیامد، ریسک را در فاصله‌های گوناگون از خط لوله به‌دست می‌دهد که در این مقاله، برای اعداد ریسک $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۷}$ فاصله‌های تعیین شدند.

خط لوله با ضخامت ۶ میلیمتر

در این خط لوله، عدد تکرارپذیری کل برابر با ۰/۰۰۶۰۴۹ می‌باشد. با وارد کردن این عدد در نرم افزار PHAST RISK و اجرای برنامه، شکل ۱۷ که با عنوان برش عرضی ریسک[۱] شناخته شده است، به دست می‌آید. این نمودارها، چگونگی کاهش ریسک را با فاصله از محل نشتی نشان می‌دهند.

در این نمودار، همان‌گونه که مشخص می‌باشد، محور عمودی ریسک فردی و محور افقی فاصله از محل نشتی را نشان می‌دهد.

برای ریسک $۱۰^{-۶}$، فاصله‌ی ایمن از لوله برابر با ۴۴۰ متر و برای ریسک $۱۰^{-۷}$، این فاصله برابر با ۶۰۵ متر می‌باشد.

خط لوله با ضخامت ۸ میلیمتر

در این خط لوله، عدد تکرارپذیری کل برابر با ۰/۰۰۳۷۸ می‌باشد. با وارد کردن این عدد در نرم افزار PHAST RISK و اجرای برنامه، نمودار برش عرضی ریسک شکل ۱۸ به دست می‌آید.

در این نمودار، برای ریسک $۱۰^{-۶}$، فاصله‌ی ایمن از لوله برابر با ۳۸۰ متر و برای ریسک $۱۰^{-۷}$، این فاصله برابر با ۵۸۰ متر می‌باشد.

خط لوله با ضخامت ۱۰ میلیمتر

در این خط لوله، عدد تکرارپذیری کل برابر با ۰/۰۰۲۲۶۸ می‌باشد. با وارد کردن این عدد در نرم افزار PHAST RISK و اجرای برنامه، نمودار برش عرضی ریسک شکل ۱۹ به دست می‌آید.

در این نمودار، برای ریسک $۱۰^{-۶}$، فاصله‌ی ایمن از لوله برابر با ۳۲۰ متر و برای ریسک $۱۰^{-۷}$، این فاصله برابر با ۵۴۰ متر می‌باشد.

خط لوله با ضخامت ۱۲ میلیمتر

در این خط لوله، عدد تکرارپذیری کل برابر با ۰/۰۰۱۴۳۶ می‌باشد. با وارد کردن این عدد در نرم افزار PHAST RISK و اجرای برنامه، نمودار برش عرضی ریسک شکل ۲۰ به دست می‌آید.

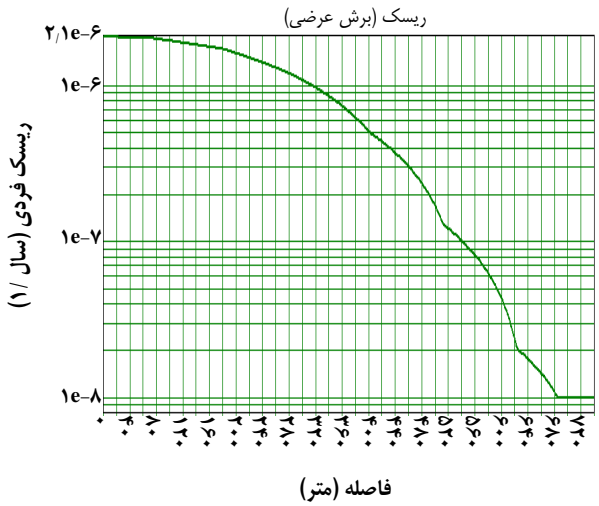
در این نمودار، برای ریسک $۱۰^{-۶}$، فاصله‌ی ایمن از لوله برابر با ۲۱۰ متر و برای ریسک $۱۰^{-۷}$، این فاصله برابر با ۵۰۴ متر می‌باشد. جدول‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب برای ریسک معیار $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۷}$ به‌دست می‌آیند.

جدول ۱۲ـ حریم ایمن برای ریسک فردی 10^{-6}.

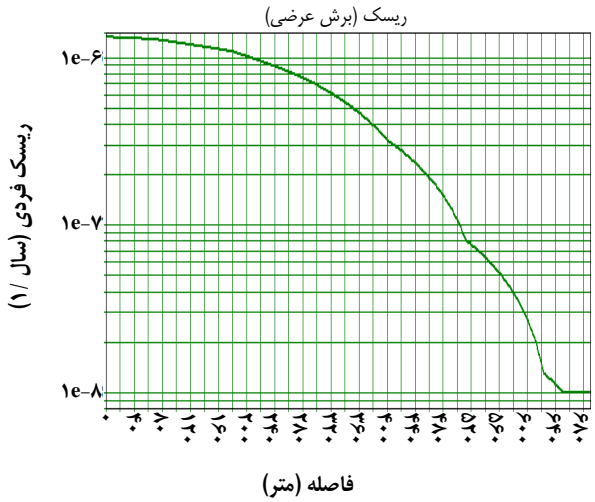
ضخامت لوله (میلیمتر)	حریم ایمن (متر)
۶	۴۴۰
۸	۳۸۰
۱۰	۳۲۰
۱۲	۲۱۰

جدول ۱۳ـ حریم ایمن برای ریسک فردی 10^{-7}.

ضخامت لوله (میلیمتر)	حریم ایمن (متر)
۶	۶۰۵
۸	۵۸۰
۱۰	۵۴۰
۱۲	۵۰۴



شکل ۱۹ـ نمودار ریسک فردی بر حسب فاصله از لوله برای ضخامت ۱۰ میلیمتر.



شکل ۲۰ـ نمودار ریسک فردی بر حسب فاصله از لوله برای ضخامت ۱۲ میلیمتر.

نتیجه‌ها و بحث

همان‌گونه که در بخش ارزیابی پیامد سناریوها مشخص شد، احتمال تلفات در اندازه‌ی سوراخ یکسان، در حالت پایداری F بیشتر از حالت پایداری D و در این حالت نیز، احتمال تلفات بیش از حالت پایداری C می‌باشد که با توجه به ویژگی‌های این رده‌های پایداری جوی، امری محتمل بود. همان‌گونه که گفته شد، برای ریسک معیار 10^{-6}، یک خط لوله با ضخامت ۶ میلیمتر حریم ایمنی برابر با ۴۴۰ متر خواهد داشت در صورتی که برای همین ریسک معیار، خط لوله با ضخامت ۸ میلیمتر دارای حریم ایمن برابر با ۳۸۰ متر می‌باشد که تفاوت در فواصل برابر با ۶۰ متر است. همچنین برای این ریسک معیار خط لوله با ضخامت ۱۰ میلیمتر، حریمی به اندازه‌ی ۳۲۰ متر دارد که تفاوت فاصله‌ی این مورد با حالت خط لوله با ضخامت ۸ میلیمتر، برابر با ۶۰ متر است. خط لوله با ضخامت ۱۲ میلیمتر دارای حریم ایمن ۲۱۰ متر بوده که تفاوت فاصله‌ی ایمن آن با حالت خط لوله با ضخامت ۱۰ میلیمتر برابر با ۱۱۰ متر است. پس در مورد ریسک معیار 10^{-6}، متوسط اختلاف‌ها در حریم ایمن به تقریب برابر با ۷۵ متر می‌باشد. اما در مورد ریسک معیار 10^{-7}، تفاوت در فاصله‌های ایمن کمتر است به عنوان مثال، برای خط لوله با ضخامت ۶ میلیمتر حریم ایمن برابر با ۶۰۵ متر بوده در حالی که برای خط لوله با ضخامت ۸ میلیمتر، حریم برابر با ۵۸۰ متر، برای خط لوله با ضخامت ۱۰ میلیمتر، حریم برابر با ۵۴۰ متر و برای خط لوله با ضخامت ۱۲ میلیمتر، حریم ایمن برابر با ۵۰۴ متر می‌باشد که متوسط اختلاف‌ها حدود ۳۵ متر است. پس می‌توان گفت، طبیعت نمودار برش ریسک عرضی به گونه‌ای است که هرچه ریسک معیار انتخاب شده بزرگتر باشد، پارامتر ضخامت خط لوله، دارای تأثیرهای بیشتری خواهد بود همان‌گونه که پیشتر گفته شد، مقدارهای حریم ایمن در مورد خطوط لوله گاز ترش، بیشتر از خطوط لوله گاز شیرین می‌باشد و مقدارهای حریم ایمن گفته شده گویای این مطلب است. در ضمن این مقدارهای حریم برای ضخامت‌های کم (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر)

به‌دست آمده است و در عمل ضخامت‌های استفاده شده برای خطوط لوله در مواردی بیشتر از این مقدارهای بوده و حریم ایمن کمتر از این اعداد می‌باشد. در ضمن ریسک معیار در کشورهای گوناگون، متفاوت است و به طور معمول ریسک معیار 10^{-7} در نظر گرفته می‌شود و می‌توان گفت در نهایت حریم ایمن خط لوله طبق جدول ۱۳ بر اساس ضخامت‌های گوناگون مشخص می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ضخامت لوله در تعیین حریم ایمن در نظر گرفته شد و مشخص شد که تاثیر ۲ میلیمتر افزایش یا کاهش در ضخامت لوله در تعیین حریم ایمن، می‌تواند حدود ۶۰ متر و یا بیشتر باشد. پس، با توجه به مسایل اقتصادی مربوط به مساحت زمین مورد استفاده برای عبور خط لوله، باید این پارامتر در مسایل ایمنی خط لوله در نظر گرفته شود.

قدردانی

این مطالعه با حمایت مالی شرکت ملی گاز ایران انجام گرفته است. نویسندگان از مدیریت پژوهش و فناوری این شرکت بخاطر حمایت همه جانبه در روند پیشرفت این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

نمادها

غلظت	C
توان غلظت	n
زمان	t
متغیر پروبیت	Y
ثوابت معادله‌ی پروبیت	K_1 و K_2
دوز سمیت	V
احتمال تلفات	P

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۶

مراجع

[1] Hopkins P., Fletcher R., Palmer-Jones R., "A Method for the Monitoring and Management of Pipeline Risk – A Simple Pipeline Risk Audit (SPRA)", Andrew Palmer and Associates, UK, (1999).

[2] "Steel Pipeline for High Pressure Gas Transmission", The Institution of Gas Engineering, London, IGE/TD/1 Edition 3, (1993).

[3] Jo Y.D., Ahn B.J., Analysis of Hazard Areas Associated with High-Pressure Natural-Gas Pipelines, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **15**, p. 179 (2002).

[4] Joaquim Casal, "Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants", Industrial Safety Series, Elsevier, UK, **8** (2008).

[۵] رفیعی، احمد؛ وطنی، علی؛ "حریم ایمن خط لوله انتقال گاز ترش عسلویه ـ آغاجاری" دومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE دانشکده مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف ۱۶–۱۴ اسفند (۱۳۸۶).

[6] American National Standards Institute Standard: "Z37.2-1972. Acceptable Concentrations of Hydrogen Sulfide", John Wiley, New York (1998).

[۷] دستورالعمل ارزیابی اثرهای محیط زیستی خطوط لوله انتقال نفت و گاز، معاونت امور مهندسی و ساخت داخل، (۱۳۸۶).

[8] Ukopa Pipeline Fault Database, "4th Report of the UKOPA Fault Database Management Group, Advantica Report Reference: R 8099 (2005).

[9] Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases", CCPS, Effect Models, American Institute of Chemical Engineers (1999).

[10] Hopkins ph., Goodfellow G., Ellis R., Haswell J., Jackson N., "Pipeline Risk Assessment: New Guidelines", Penspen Integrity Virtual Library, (2009).