Archive of SID

ارزیابی شدت خطر خطوط لوله حاوی نفت خام (مطالعه موردی خط لوله آغاجاری تا اصفهان)

سیده سارا حیدری یزدی[۱]
زهرا بهرامیان[۲]

چکیده

هدف از انجام این مقاله ارزیابی ریسک خطوط لوله و بررسی آن با ریسک حمل جاده‌ای در یک کریدور مشخص است. برای رسیدن به این هدف در این مطالعه فقط از معیار جمعیت تحت تأثیر به‌عنوان عامل مؤثر در محاسبه ریسک استفاده‌شده است. همچنین مطالعات از سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ به‌طور خلاصه موردبررسی قرارگرفته‌اند. نتایج این مطالعه، ریسک حمل نفت خام توسط لوله و جاده را باهم مقایسه می‌کند و نشان می‌دهد در صورت وقوع حادثه در این ناحیه چه عواقبی را می‌تواند در پی داشته باشد. نتایج حاکی از برتری خط لوله انتقال نفت خام نسبت به حمل جاده‌ای، علی‌رغم در نظر گرفتن تأثیرات مخرب وقوع حادثه برای خط لوله در آینده، است.

کلید واژگان: ارزیابی ریسک، خطوط لوله، نفت خام، جمعیت تحت تاثیر

مقدمه:

دنیای امروز بر پایه انرژی است و یکی از راه‌های تأمین انرژی، سوخت‌ها به‌ویژه سوخت‌های فسیلی می‌باشد. در همه صنایع، مواد پتروشیمی ازجمله نفت خام کاربرد بسیار گسترده‌ای دارند. انتقال این مواد به‌عنوان یک بخش جدایی‌ناپذیر از فرآیند تأمین انرژی می‌باشد. با توجه به توسعه روزافزون ابعاد صنایع مختلف نیاز به انتقال این مواد بیش از پیش اهمیت می‌یابد. انتقال نفت خام توسط روش‌های مختلفی همچون جاده، ریل، لوله و کشتی صورت می‌پذیرد که در این مطالعه به بخش حمل و نقل لوله‌ای نفت خام پرداخته شده است. با آنکه خطوط لوله یکی از مطمئن‌ترین و به صرفه ترین راه‌های انتقال مواد نفتی می‌باشند ولی در صورت بروز حادثه‌ای می‌تواند اثرات مخرب زیست محیطی جبران ناپذیری بر جای بگذارد. این موضوع هنگامی اهمیت می‌یابد که این خطوط لوله از نزدیکی مناطق مسکونی یا منابع آبی عبور کنند. با وجود گسترش فنّاوری در صنعت لوله‌ای ولی همچنان شاهد حوادثی در این زمینه بوده‌ایم. آمار اداره ایمنی خطوط لوله ایالات متحده آمریکا حاکی از افزایش سالانه ۴ درصدی حوادث در طی سال‌های گذشته بوده است.

۱- . دانشجوی کارشناسی ارشد حمل و نقل ریلی، دانشگاه علم و صنعت، se_heidari@rail.iust.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، zbahramian@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

در سال ۲۰۱۰ در میشیگان آمریکا نشت لوله حامل نفت خام باعث تخلیه ۳۰-۵۰ نفر از ساکنین و مسمومیت ۱۴۰ نفر و نشت ۸۴۰ هزار گالن نفت خام به رودخانه شد که هزینه ۱٫۲ بیلیون دلاری بر جا گذاشت. تمامی ارقام تأکید کننده میزان اهمیت نحوه حمل مواد خطرناک و عوامل مؤثر بر آن است [۱]. در آمریکا حوادث لوله‌ای از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۴ شامل ۳۶۰ کشته و ۱۳۶۵ زخمی بوده و خسارت وارده به تجهیزات در طی این حوادث حدود ۶٫۵ میلیارد دلار بوده است [۲]. باید به این نکته توجه شود که ایران پنجمین تولید کننده نفت و فراورده‌های نفتی در جهان است و به عنوان کشوری که دارای همسایه‌های نفت‌خیز است می‌تواند ترانزیت کننده نفت و فراورده‌های شیمیایی باشد.

در ابتدا باید به مفهوم چند عبارت پرداخته شود. کالاهای خطرناک عبارت‌اند از مواد یا محصولاتی که موقع جابجایی، عملیات بارگیری یا تخلیه و نگهداری ممکن است باعث انفجار، آتش‌سوزی، خرابی تجهیزات فنی و سایر کالاها و نیز مرگ، مسمومیت، آسیب، سوختگی، تشعشع و یا بیماری انسان یا حیوان گردد [۳]. با توجه به تعریف ذکر شده نفت خام کالای خطرناک محسوب می‌گردد.

منظور از تصادف لوله‌ای در این مطالعه موارد زیر می‌باشد: طبق تعریف انجمن ایمنی خطوط لوله و کالاهای خطرناک آمریکا، تصادف یعنی نقص در سیستم خط لوله که باعث خروج مایعات خطرناک شود که باعث موارد زیر شود [۲]:

۱. انفجار یا آتش‌سوزی غیرعمدی توسط اپراتور

۲. نشت ۱۹ لیتر یا بیشتر از مایعات خطرناک یا دی‌اکسید کربن

۳. فوت افراد

۴. جرحی بستری در بیمارستان

۵. خسارت مالی تخمینی، شامل هزینه پاک‌سازی و ترمیم، ارزش محصول ازدست‌رفته، خسارت وارده مالی به اپراتور یا دیگران (بیش‌تر از ۵۰،۰۰۰ دلار)

مواردی که در خطوط لوله می‌توانند باعث بروز ریسك و خرابی شوند به‌طورکلی به دودسته کلی عوامل وابسته به زمان (مانند خوردگی، خستگی) و عوامل مستقل از زمان (مانند خرابکاری‌ها و زلزله) طبقه‌بندی می‌شوند [۴].

مدیریت ریسک به استفاده مؤثر از سیاست‌ها، منابع، مقررات و آیین‌نامه‌ها در جهت ارزیابی و کنترل ریسک‌های موجود، اطلاق می‌گردد [۵]. کارایی این فرآیند منجر به کاهش مخاطراتی می‌شود که عواقب آن می‌تواند گریبان گیر مردم و کارکنان خطوط انتقال و محیط‌زیست گردد. مطابق با تعریف ذکرشده، ارزیابی ریسک یکی از عناصر اصلی در فرآیند کلی مدیریت ریسک مطرح است. این عنصر اصلی بر پایه تعریف ریسک بنا نهاده شده است. ریسک را می‌توان احتمال رخداد حادثه در شدت پیامد ناشی از آن تعریف نمود. در مورد خطوط لوله نیز مانند تمامی صنایع دیگر می‌توان دو مدل ارزیابی ریسک کیفی و کمی مورد استفاده قرار داد. البته بهره‌گیری از این

www.SID.ir

Archive of SID

مدل بستگی بسیاری به نوع اطلاعاتی دارد که از خط لوله در دست می‌باشد. درنهایت بعد از ارزیابی ریسک خطوط لوله می‌توان تصمیمات مناسبی در راستای پیشگیری از حوادث لوله‌ای و مسائل مرتبط با نگهداری و تعمیرات آن گرفت. این تصمیمات تنها در مقام پیشگیری از حوادث کاربرد ندارد بلکه می‌تواند به منظور طراحی و انتخاب مسیر خطوط لوله و یا رتبه بندی خطوط لوله ارزیابی پتانسیل اقدامات کاهش ریسک به کار رود.

در این مطالعه با استفاده از فرآیند ارزیابی ریسک خط لوله انتقال نفت خام از آغاجاری تا اصفهان و با بهره‌گیری از نرم‌افزار PHAST، سعی بر محاسبه میزان ریسک حاصل از حمل این مواد توسط خط لوله و مقایسه آن با ریسک حمل جاده‌ای آن‌ها، می‌باشد. در واقع این مقایسه، می‌تواند با معرفی روش ایمن‌تر حمل، به کاهش مخاطرات انتقال این مواد کمک نماید. در ادامه به معرفی کامل فرآیند ارزیابی کمی ریسک پرداخته خواهد شد. سپس با معرفی کامل خط لوله انتقال نفت خام آغاجاری - اصفهان و تبیین کامل ویژگی‌های آن، خطرات احتمالی که می‌تواند نشت، انفجار و آتش‌سوزی در این منطقه به دنبال داشته باشد، ارائه می‌گردد. در بخش بعدی با ارائه نتایج محاسبه و ارزیابی ریسک حمل نفت خام توسط خطوط لوله و جاده، روش حمل ایمن و قابل‌اطمینان با توجه به نتایج معرفی می‌گردد.

مرور ادبیات علمی

به دلیل اهمیت و شدت سوانح خطوط لوله، مطالعات گسترده‌ای درزمینه ریسک و ارزیابی‌های آن، ایمنی و نحوه مقابله با عواقب حوادث لوله‌ای صورت گرفته است. علیرغم این موضوع، همواره حوزه‌هایی وجود دارد که دور از ذهن محققین و کارشناسان قرارگرفته است. در ادامه به مرور مختصری بر مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در این زمینه خواهیم پرداخت.

هنسل وود و فلیپس در سال ۲۰۰۵ در مقاله‌ای به اندازه‌گیری ریسک مرتبط با مایعات تحت فشار بالا پرداختند. در این مقاله از ۴ معیار نرخ خرابی، عواقب در سناریوهای مختلف، ریسک جغرافیایی و ریسک اجتماعی، برای هر ۱۰۰ متر از خط لوله بهره‌گیری کردند. لازم به ذکر است آن‌ها از داده‌های سازمان انرژی آلبرتا، انجمن خط لوله بریتانیا و داده‌های تصادفات انجمن خط لوله گاز اروپا استفاده کردند. آن‌ها همچنین در بخش ایمنی خطوط لوله، به اندازه‌گیری احتمال اشتعال و انفجار پرداختند. سپس با ترکیب و تجمیع نرخ خرابی با احتمال‌های مرتبط با سناریوهای مختلف (شامل آتش‌سوزی، انفجار و پارگی خط لوله)، درخت رخداد را توسط ۳ عنصر زمان (شب یا روز)، اشتعال و قدرت انفجار، بررسی نمودند. نویسندگان برای مدل‌سازی از نرم‌افزار PHAST برای حوادث شامل آتش‌سوزی و انفجار و با هدف اندازه‌گیری جمعیت آسیب‌پذیر در هر هکتار استفاده کردند [۶]. در سال ۱۹۸۱ توماس در مقاله‌ای یک مدل تجربی برای محاسبه نرخ نقص در لوله‌ها ارائه کرد. این رویکرد متکی بر تخمین فراوانی نقص‌های نشت و سپس پیش‌بینی نرخ پارگی بود. فرکانس نقص‌ها، از داده‌های حوادث لوله‌های گاز اروپا و خطوط لوله بریتیش محاسبه گردیده است [۷]. در سال ۲۰۰۵ یانگ و اهن از ارزیابی کمی ریسک برای لوله‌های انتقالی گاز طبیعی استفاده نمودند. پارامترهای طول تلفات و طول تلفات تجمعی در

www.SID.ir

Archive of SID

این مطالعه معرفی شدند که از طریق ArcGIS استخراج گردیده‌اند. محققین از نرم‌افزار PIPIN برای پیش‌بینی نرخ نقص به وجود آمده توسط عامل خارجی استفاده کردند. در این مطالعه از داده‌های حوادث لوله‌ای اروپا و خطوط لوله بریتیش استفاده‌شده است. آن‌ها ریسک را معیاری از مرگ انسان‌ها تحت دو شرط زیر بیان نمودند: احتمال رخ دادن نقص در لوله‌ها و شدت تلفات رخ‌داده در اثر این نقص‌ها. آن‌ها در مطالعه خود از ریسک فردی و اجتماعی در مدل استفاده نمودند. برای بحث و نشان دادن نتایج، این مدل بر روی یک خط لوله گاز طبیعی با قطر ۱۰۰۰ میلی‌متر در عمق ۱۳۰ سانتی‌متری در یک منطقه شهری پیاده و ریسک فردی در ۵۰ متری خطوط لوله محاسبه‌شده است. در انتها آن‌ها ادعا کردند که پروسه آنالیز کمی ریسک و ریسک فردی و اجتماعی به‌سادگی با استفاده از شاخص‌های تلفات و تلفات تجمعی برای لوله‌های انتقال گاز طبیعی محاسبه می‌گردد [۸]. در سال ۲۰۰۷ جباری در مقاله‌ای ۶۰ خط لوله انتقالی (حاوی کلر، آمونیاک، بوتادین، گازترش و...) از ماهشهر را مورد ارزیابی قرارداد. در ابتدا شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند و سپس خطرناک‌ترین خط لوله با توجه به نزدیک بودن به محل سکونت افراد ساکن در این منطقه انتخاب شد. بعدازآن با استفاده از داده‌های هواشناسی از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۰۵ و داده‌های آماری موجود از طریق نرم‌افزار ALOHA، جمعیت تحت تأثیر را محاسبه نمود. جباری برای محاسبه ریسک از شاخص مواجهه شیمیایی استفاده کرد و نتایج نمایانگر این بود که خط لوله بوتادین بیشترین مقدار ریسک را دارا می‌باشد [۹]. در همان سال (۲۰۰۷) میراج و همکارانش مدلی کاربردی برای ارزیابی ریسک خطوط لوله نفت و گاز ارائه کردند. آن‌ها در این مقاله ابتدا فاکتورهای مؤثر در ریسک خطوط لوله را انتخاب کردند و سپس میزان نشتی در بدترین سناریو را در نظر گرفتند. ریسک کمی خطوط لوله را محاسبه کرده و در انتها یک برنامه نگهداری و تعمیرات برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم ارائه کردند. در این مطالعه ریسک را حاصل‌ضربی از احتمال حادثه درشدت پیامد ناشی از آن تعریف کردند و مطالعه موردی آن‌ها در یک خط لوله تزریقی گاز در منطقه خارک انجام گرفت [۵].

در سال ۲۰۰۸ یانگ و کرول در مطالعه‌ای به آنالیز ریسک خطوط لوله حامل گاز طبیعی با فشار زیاد پرداختند. آن‌ها بر روی یک روش محاسبه ریسک فردی خطوط لوله حامل گاز طبیعی تمرکز کردند و آنان ریسک را مجموع احتمال یک حادثه در عواقب ناشی از هر سناریو در نظر گرفتند. در ضمن آن‌ها برای محاسبه ریسک فردی از مجموع احتمال مرگ‌آور بودن حادثه در هر مکان برای همه سناریوهای قابل‌قبول استفاده نمودند. در این مطالعه برای محاسبه ریسک فردی از طول مرگ‌آور و نرخ نقص استفاده‌شده است. سپس این مدل بر روی‌داده‌های خطوط لوله بریتیش و خطوط لوله اروپای غربی پیاده‌سازی شد و در انتها به این نتیجه رسیدند که درصورتی‌که گاز طبیعی به‌طور اتفاقی آزاد شود، شعاع خطر تحت تأثیر این لوله‌ها در خطوط با فشار کم، برای مردم و تجهیزات زیر ۲۰ متر است و برای خطوط لوله با فشار زیاد این رقم به ۳۰۰ متر می‌رسد [۱۰]. در سال ۲۰۱۱ زینالی و همکاران به بررسی نتایج اثرات حوادث زنجیره‌ای در افزایش ریسک ناشی از انفجار خطوط لوله نفت و گاز پرداختند. در این مقاله از نرم‌افزار PHAST برای مدل‌سازی استفاده‌شده است. مطالعه موردی آنان خط لوله عبوری از مسیر شهری و محدوده رودخانه بوده است که ۸۰۰ هزار بشکه نفت و ۱۷۰ میلیون فوت مکعب

www.SID.ir

Archive of SID

گاز شیرین را در روز از خود عبور می‌دهد. نویسندگان در این مطالعه همچنین نتیجه گرفتند که به دنبال وقوع پارگی در خطوط لوله گاز و به دنبال انفجار ابر گاز انتشاریافته، تمام لوله‌های مجاور که خاک آن‌ها کنار زده‌شده با احتمال بالایی دچار آسیب می‌شوند [۱۱]. در همان سال کاشی و همکاران از آنالیز کمی ریسک برای بررسی ریسک خطوط لوله استفاده کردند. در این مطالعه میزان حجم نشت در اثر پارگی خطوط لوله با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و Global Mapper محاسبه‌شده است. جهت سنجش صحت مدل پیشنهادی در این مطالعه از داده‌های خطوط لوله اروپا استفاده و سپس با استفاده از ارزیابی کمی ریسک توسط PHAST به بررسی سطح ریسک ناشی از شکست خطوط لوله و نشت بنزین و شناسایی نقاط پرخطر پرداخته شده است. در نهایت نتیجه گرفته شد که قسمتی از خط لوله که از وسط شهر عبور می‌کند، ریسک بالاتری دارد و باید اقدامات جدی‌تری برای کاهش ریسک آن صورت گیرد [۱۲]. در سال ۲۰۱۲، ژیایان و ژیافی در زمینه ریسک فجایع طبیعی منطقه‌ای فعالیت نمودند. آن‌ها اجزا ریسک فجایع طبیعی را دسته‌بندی و مدل ریسک را به سه بخش تحلیل خطر، ارزیابی آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک تقسیم نمودند. در ارزیابی آسیب‌پذیری، هر دو فاکتور موجودات زنده و محیط‌زیست موردتوجه قرارگرفته و درواقع عواقب رخداد بلایای طبیعی را تعیین می‌کنند [۱۳]. یک سال بعد لی ما و همکاران یک روش برای ارزیابی کمی ریسک برای شبکه گاز شهری بر اساس اختلاف بخش‌های شبکه لوله‌ای (GDPS) ارائه نمودند. همچنین در این مقاله مدل شبکه لوله گاز شهری، طول منطقه تلفات خط لوله، آنالیز احتمال رخداد سانحه و عواقب سانحه انفجار گازها بررسی گردیده است. خروجی روش کمی پیشنهادی، محاسبه ریسک خط لوله و درنتیجه ارائه محدوده‌ایمن خط لوله است. برای بررسی و اندازه‌گیری عواقب سانحه که بیشتر مرتبط با انفجار و آتش‌سوزی می‌باشد تا خاصیت سمی بودن متان، از مدل انتشار گاوسی استفاده‌شده است [۱۴]. در سال ۲۰۰۵ یوهوا و داتاو در مقاله‌ای به محاسبه احتمال خرابی لوله‌های انتقال نفت و گاز توسط الگوریتم درخت خطای فازی پرداختند. آن‌ها نقص لوله‌ها را به دو دسته نشت و پارگی تقسیم‌بندی کردند. روش پیشنهادی در این مطالعه، خطاهای آنالیز درخت خطا را از طریق فازی در نظر گرفتن نرخ خطای رخدادهای اساسی، کاهش داد [۱۵]. در سال ۲۰۰۶ دزیوبین و همکارانش یک متدلوژی ارزیابی ریسک برای خطر مرتبط با حمل‌ونقل مواد خطرناک در خطوط لوله بلند ارائه دادند. متدولوژی ارائه‌شده متشکل از آنالیزها و محاسبات بکار رفته برای اندازه‌گیری علت‌های اصلی خرابی لوله‌ها و عواقب احتمال آن‌ها با در نظر گرفتن ریسک فردی و اجتماعی بود. در این مقاله از ترکیب ارزیابی ریسک کمی و کیفی با استفاده از پایگاه داده جهانی تصادفات بهره‌گیری شده است. همچنین برای محاسبه ریسک فردی و اجتماعی نرم‌افزار SAFETI و برای محاسبه عواقب انتشار کالاهای خطرناک، نرم‌افزار PHAST به کاربرده شده است. نویسندگان به‌عنوان مهم‌ترین دستاوردی اظهار داشته‌اند که ارزیابی خطرات زیست‌محیطی برای خطوط لوله بلند، با توجه به موقعیت‌های جغرافیایی مختلف در هر مکان، نیازمند رویکرد جداگانه در هر مطالعه می‌باشد [۱۶]. بریتو و آلمدیا در سال ۲۰۰۹ یک مدل تصمیم‌گیری برای ارزیابی ریسک و رتبه‌بندی یک بخش از خط لوله گاز طبیعی ازلحاظ ریسک ارائه نمودند که در این روند از ارزیابی ریسک چندگانه استفاده گردیده است. نویسندگان علت استفاده از تئوری ارزیابی چندگانه

www.SID.ir

Archive of SID

ریسک را این موضوع مطرح نمودند که برخلاف پایه اصلی ریسک که احتمال و جمعیت تحت تأثیر حادثه را در نظر می‌گیرد، جنبه‌های دیگری ازجمله خطرات محیط‌زیستی و تهدیدات مالی شدید، در سوانح خطوط لوله مطرح هستند [۱۷]. در سال ۲۰۱۱ هان و ونگ روش‌های ارزیابی کمی و کیفی ریسک را برای شبکه لوله گاز طبیعی شهری موردبررسی قراردادند. درروش کیفی از سیستم شاخص بندی و درروش کمی از روش‌های ارزیابی احتمالی، آنالیز عواقب و ارزیابی ریسک استفاده‌شده است. آن‌ها این مقایسه را روی دو شبکه شهری شامل ۹۵ خط لوله و ۵۴۲۱ خط لوله انجام دادند. روش کیفی علت‌های نقص بیشتر و روش کمی جزئیات بیشتر را در محاسبه عواقب در نظر می‌گیرد. درعین‌حال روش کمی به داده‌های بیشتری نیازمند است. نتایج روش کمی دقیق هستند اما نیازمند زمان زیادی برای محاسبه می‌باشند. ارزیابی این دو روش در هر دو شبکه موردمطالعه، نتایج یکسانی به دنبال داشته است. درمجموع انتخاب روش ارزیابی بستگی زیادی به داده‌های در دسترس دارد [۱۸].

مفاهیم ریسک

ریسک در حمل مواد خطرناک عاملی است که آن را از دیگر حوزه‌های حمل‌ونقل مجزا می‌کند. ریسک درواقع با محاسبه احتمال و شدت آسیب حوادث مرتبط با مواد خطرناک به دست می‌آید. این آسیب می‌تواند به افراد، تجهیزات و یا محیط‌زیست وارد گردد. ارزیابی ریسک به دو صورت کیفی و کمی صورت می‌گیرد. ارزیابی کمی ریسک، یک ارزیابی عددی است که با استفاده از داده‌ها نتایجی کمی ارائه می‌کند؛ اما زمانی که اطلاعاتی دقیق و قابل‌اعتماد در دست نباشد، برای شناسایی حوادث محتمل و بسیار آسیب‌زا از ارزیابی کیفی ریسک استفاده می‌شود.

شاخص ریسک معمولاً ترکیبی از دو پارامتر احتمال وقوع حادثه و شدت سانحه می‌باشد. تفاوت این‌گونه مدل‌ها در نحوه ترکیب این پارامترها و داده‌ای موردنیاز و روش‌های به دست آوردن آن‌ها می‌باشد. در حالت کلی ریسک به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{ij} = P_{ij}\, C_{ij}$$

که در آن P احتمال وقوع حادثه و C شدت حادثه می‌باشد [۱۹].

در یکی از انواع ترکیب پارامترهای محاسبه ریسک، مدل‌هایی در ارزیابی‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند که تنها شاخص شدت حادثه را به‌عنوان خروجی در فرآیند ارزیابی ریسک ارائه می‌کنند [۲۰-۲۳]. در این مطالعه به دلیل اهمیت این عامل، از جمعیت تحت تأثیر برای تبیین شدت حادثه استفاده گردیده است.

ارزیابی کمی ریسک

ارزیابی کمی ریسک یک رویکرد سیستماتیک به‌منظور تخمین احتمال و عواقب رویدادهای خطرناک است

www.SID.ir

Archive of SID

و مقدار عددی ریسک مرتبط با افراد، محیط‌زیست در اختیار قرار می‌دهد. لازمه این فرآیند در دست داشتن داده‌های قابل‌اطمینان از حوزه موردبررسی است. در واقع فرآیند ارزیابی کمی ریسک به دنبال اهدافی مهم به شرح زیر می‌باشد [۲۴]:

- توسعه یک متدولوژی پویا برای ارزیابی قابل پیش بینی از ریسک‌های آتی
- تخمین ریسک جمعی
- ارزیابی محدوده معیارهای کاهش ریسک
- اولویت بندی سرمایه‌گذاری‌های ایمنی

ارزیابی ریسک انتقال نفت خام در خط لوله مارون - اصفهان

در تصمیمات مهم حوزه ایمنی و انتقال مواد خطرناک، همواره خلأ وجود داده‌های قابل اعتماد احساس می‌گردد. در ارزیابی‌های ریسک دو پارامتر دخیل هستند که فراوانی حوادث از طریق داده‌های تاریخی برآورد می‌شود. از طرفی برای محاسبه فاکتورهای مؤثر در شدت سانحه، داده‌های به‌دست‌آمده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌گردد. با در نظرگرفتن خط لوله انتقال نفت مارون - اصفهان و اطلاعات موجود و آگاهی از اهمیت و ریسک بالای خطرات احتمالی این منطقه، سعی بر مقایسه راه‌های انتقال نفت در این منطقه شده است. در ادامه به شناخت این خط لوله و مشخصات آن و همچنین دلیل انتخاب آن به‌عنوان یک منطقه حائز اهمیت، خواهیم پرداخت.

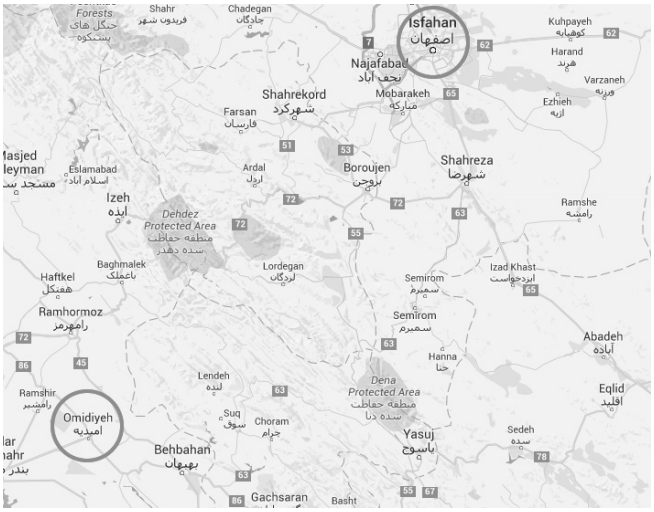
شناسایی خط لوله مارون - اصفهان

خط لوله‌ای که در این مطالعه موردنظر است، خط لوله مارون - اصفهان است که این تحقیق به‌طور خاص قسمت میدان نفتی آغاجاری و اصفهان را به دلیل اهمیت و ویژگی‌های منحصر به فرد این منطقه موردبررسی قرار می‌دهد. میدان نفتی آغاجاری در ۹۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز قرار دارد. به‌منظور انتقال حجم بالایی از محصولات، خط لوله آغاجاری اصفهان مورداستفاده قرار می‌گیرد که این خط لوله درواقع بخشی از خط لوله‌ای به نام مارون - اصفهان است. خط لوله مارون- اصفهان، یکی از شاهرگ‌های اصلی انتقال نفت خام از میدان‌های جنوب کشور ازجمله اهواز و آغاجاری است تا خوراک پالایشگاه اصفهان و بخشی از خوراک پالایشگاه تهران را تأمین کند. خط لوله مارون- اصفهان دومین خط لوله‌ای است که در مسیرهای سخت گذر و دشوار دنیا ساخته‌شده است. مقام اول از آن خط لوله‌ای در آلاسکا است و مسیر کوهستانی و پرنشیب و فراز خط لوله مارون-اصفهان، دومین رتبه را در بین خطوط لوله دنیا دارد. مسیری که از میدان‌های نفتی جنوب در اهواز شروع می‌شود و پس از گذر از ارتفاعات زاگرس به دشت اصفهان می‌رسد. این خط لوله ۴۳۵ کیلومتر طول دارد و روزانه حدود ۵۵۰ هزار بشکه نفت خام را منتقل می‌کند و مدیریت آن به عهده شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت

www.SID.ir

Archive of SID

اصفهان است. این شرکت با خطوط لوله ۳۶ و ۳۰ و ۳۲ اینچ انتقال فرآورده‌های نفتی را در این خط لوله به عهده دارد. ایستگاه‌های انتقال نفت خطوط لوله مارون- اصفهان در استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری و دو ایستگاه آخر در استان اصفهان قرار دارد [۲۵]. شکل ۱ مختصات جغرافیایی این خط لوله را مشخص می‌کند.



شکل ۱ - نقشه محل میدان نفتی امیدیه تا پالایشگاه اصفهان

دلایل اهمیت و انتخاب این خط لوله

مهم‌ترین مشکل این خط لوله، رانش پذیر بودن کوهستانی است که لوله‌ها از آن عبور می‌کند. این مشکل بعد از ساخت سد کارون ۳ شدت گرفته و تکانه‌های زمین با آبگیری سد افزایش یافته است. (بهروز نوع خواه مدیر شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت منطقه اصفهان) همچنین این خط لوله در طول مسیر خود دارای ۵۶ نقطه تقاطع با جاده می‌باشد که علیرغم انجام اقدامات ایمنی، می‌تواند در صورت بروز سانحه افراد زیادی را درگیر کند. از سوی دیگر، این خط لوله در مجاورت چندین رودخانه و سد کارون ۳ قرار دارد که این اهمیت موضوع را چندین برابر می‌نماید. در کنار اهمیت و بزرگی ساخت این خط لوله ۴۳۵ کیلومتری، فرسودگی آن با توجه به قدمت زیاد می‌تواند یکی دیگر از عوامل تشدیدکننده حوادث احتمالی باشد. لازم به ذکر است که تاکنون بارها به دلایل مذکور این خط لوله دچار سانحه شده است و علاوه بر خسارات مالی، جان بسیاری از افراد ساکن در حوالی خط لوله را گرفته است. به همین دلیل، نیاز به بررسی این خط لوله از دیدگاه ایمنی بسیار احساس می‌شود؛ بنابراین در این مطالعه این منطقه مهم، به‌منظور ارزیابی کمی ریسک انتخاب‌شده است.

پیاده‌سازی و ارزیابی ریسک

همان‌طور که اشاره شد، لازمه استفاده از ارزیابی کمی ریسک، در اختیار داشتن اطلاعات و داده‌های قابل

www.SID.ir

Archive of SID

اطمینان است. در این مطالعه برای به دست آوردن میزان ریسک خط لوله و مقایسه آن با روش حمل جاده‌ای حمل نفت خام میان میدان نفتی آغاجاری و پالایشگاه اصفهان، از دو نرم‌افزار PHAST و ArcGis استفاده شده است. برای بهره‌گیری از این دو نرم‌افزار اطلاعات ورودی مربوط به خصوصیات خط لوله و منطقه مورد مطالعه، در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

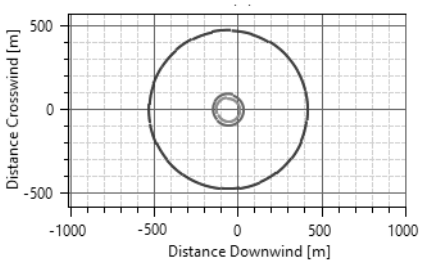
جدول ۱ - اطلاعات مربوط به خط لوله مارون-اصفهان [۲۵]

پارامتر	مقدار
حجم نفت خام انتقالی	۵۵۰ هزار بشکه در روز
طول خط لوله	۴۳۵ کیلومتر
قطر لوله	۳۰ اینچ
دمای ماده درون لوله	۳۰ درجه سلسیوس
فشار درون خط لوله	۵۱٫۷ بار

جدول ۲ - اطلاعات منطقه‌ای مارون- اصفهان [۲۶]

پارامتر	مقدار
میانگین دمای منطقه (۶ ماهه اول سال)	۳۲ درجه سلسیوس
متوسط سرعت باد	۳ متر بر ثانیه
رطوبت	۴۵ درصد

پس از واردکردن اطلاعات بالا به نرم‌افزار PHAST "بدترین سناریو ممکن" برای انفجار در اثر شکستگی خط لوله محاسبه شد و نتایج آن در شکل ۲ نمایش داده‌شده است.



شکل ۲ - شعاع خطر در بدترین سناریو انفجار

شکل ۲ سه شعاع خطر با سه محدوده مشخص را نشان می‌دهد؛ که شعاع کوچک‌تر نشان‌دهنده محدوده‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

است که ۹۹٪ از افراد حاضر در این محل به‌طور حتم جان خود را از دست می‌دهند که نرم‌افزار عدد ۶۷ متر را در این سناریو مشخص کرده است و در محدوده دوم یا شعاع میانی ۷۰٪ از افراد ساکن در این منطقه جان خود را از دست می‌دهند که شعاع آن ۸۰ متر اندازه‌گیری شده و بزرگترین دایره به شعاع ۴۸۲ متر نشان‌دهنده محدوده‌ای است که ۳۰٪ افراد حاضر در این محدوده جان خود را از دست می‌دهند. پس از محاسبه شعاع تحت تأثیر سناریو انفجار خط لوله توسط خروجی‌های نرم‌افزار PHAST، آن را به‌عنوان ورودی نرم‌افزار ArcGis در نظر می‌گیریم تا جمعیت تحت تأثیر در هر شعاع محاسبه شود. این جمعیت با استفاده از لایه‌های جمعیتی منطقه مورد بررسی در نرم‌افزار مذکور محاسبه می‌گردد. مسیر لوله‌ای در نرم‌افزار ArcGis در شکل زیر نشان داده‌شده است. با توجه به نبود داده‌های اطلاعات جغرافیایی خطوط لوله، این داده‌ها از محل حوادث لوله‌ای اخیر و محل‌های انجام تعمیرات و نگهداری خطوط لوله شبیه‌سازی شده است.

خروجی‌های نرم‌افزار ArcGis که شامل جمعیت تحت تأثیر در هر محدوده است، در جدول ۳ نشان داده‌شده است.

جدول ۳ - جمعیت تحت تأثیر سناریو لوله‌ای محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار ArcGis

محدوده	جمعیت تحت تأثیر
۱	۰
۲	۰
۳	۱۹۷۸

طبق آنچه در بالا گفته شد، برای محاسبه جمعیت تحت تأثیر نهایی باید عدد به‌دست‌آمده در محدوده سوم را در ۳۰٪ ضرب کرد که حاصل این ضرب عدد ۵۹۳ نفر می‌باشد.

بررسی ریسک حمل جاده‌ای نفت خام بین آغاجاری و اصفهان:

در این مطالعه به‌منظور آشکارسازی هر چه بیشتر ریسک به‌دست‌آمده در خط لوله مارون - اصفهان، اقدام به محاسبه جمعیت تحت تأثیر در صورت بروز سانحه در حمل جاده‌ای نفت خام شده است. اگرچه انتقال مواد نفتی به وسیله خط لوله، ارزان‌ترین و مطمئن‌ترین نوع است. به‌طوری‌که هزینه انتقال هر تن مواد نفتی در یک کیلومتر تنها ۴۲ ریال است که این هزینه حدود یک‌پنجم هزینه انتقال به‌وسیله تانکرهای نفت‌کش است، ضمن این‌که حمل مواد نفتی با تانکر خطرهای زیادی هم دارد، اما در مقابل هزینه ساخت خطوط لوله بسیار بالاست. چنان‌که قیمت ساخت هر اینچ خط لوله از زمان مشاوره، طراحی و اجرا ۱۵ تا ۲۵ هزار دلار است [۲۷]. با در نظر گرفتن تمامی موارد بالا، ریسک حمل این مواد از دو مسیر مجزا و موجود بین میدان نفتی آغاجاری و پالایشگاه اصفهان محاسبه‌شده است. در واقع سناریو اول مربوط به مسیر اول با طول ۵۳۰ کیلومتر می‌باشد و

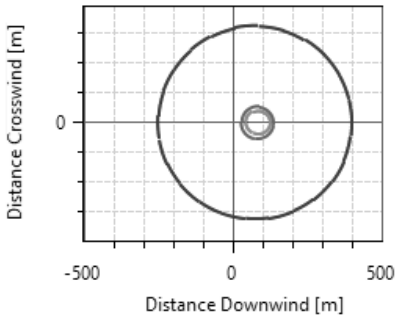
www.SID.ir

Archive of SID

از شهرهای باغملک، ایذه و بروجن به سمت اصفهان حرکت می‌کند و سناریو دوم مربوط به مسیر دوم و با گذر از شهرهای بهبهان، یاسوج و شهرضا به طول ۶۰۰ کیلومتر است. شکل ۳ موقعیت جغرافیایی این دو مسیر را مشخص می‌سازد. سناریوهای تعریف‌شده در این بخش بر اساس مسیرهای ممکن برای عبور جاده‌ای بین دو منطقه اصفهان و آغاجاری می‌باشد. در هر دو سناریو در نظر گرفته شده جاده‌ای فقط یک نفت کش با ظرفیت ۲۸۲ گالن نفت خام در نظر گرفته شده است.

شکل ۳ – مسیر سناریوهای حمل نفت خام از طریق جاده

نتایج محاسبه شعاع خطر به‌طور مشابه خط لوله در بدترین سناریو انفجار هر دو مسیر به‌طور مجزا توسط نرم‌افزار PHAST در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴ – شعاع خطر در بدترین سناریو انفجار حمل جاده‌ای نفت خام

محدوده‌های اول، دوم و سوم (به ترتیب دایره کوچکتر، دایره میانی و دایره بزرگتر) نمایش داده‌شده در شکل ۴ به ترتیب اعداد ۳۳، ۴۴ و ۳۳۰ متر می‌باشند. این اعداد به‌عنوان شعاع‌های خطر به نرم‌افزار ArcGis وارد شدند که نتایج هر دو سناریو در جدول ۴ و ۵ نشان داده‌شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ - جمعیت تحت تأثیر سناریو اول جاده‌ای محاسبه شده توسط نرم‌افزار ArcGis

محدوده	جمعیت تحت تأثیر
۱	۱۱۰۰
۲	۰
۳	۰

جدول ۵ - جمعیت تحت تأثیر سناریو دوم جاده‌ای محاسبه شده توسط نرم‌افزار ArcGis

محدوده	جمعیت تحت تأثیر
۱	۱۳۱۷
۲	۰
۳	۰

طبق روند بخش قبل عدد به‌دست‌آمده در محدوده سوم در هر دو سناریو به ۳۰٪ ضرب می‌شوند تا جمعیت تحت تأثیر نهایی به دست بیاید که این رقم برای سناریو اول جاده‌ای ۳۳۰ نفر و برای سناریو دوم جاده‌ای ۳۹۵ نفر است. باید در نظر گرفت این اعداد برای فقط یکبار حمل با نفت کش محاسبه شده است. یک بار حمل لوله‌ای معادل جابجایی ۱۹۵۰ نفت کش است، پس اعداد بالا باید در ۱۹۵۰ ضرب شوند تا قابل مقایسه با حمل لوله‌ای باشند. در نهایت جمعیت تحت تاثیر برای سناریو اول و دوم جاده‌ای به ترتیب، ۶۴۳۶۱۵ و ۷۷۰۳۹۰ نفر است.

نتایج و بحث

اعداد به‌دست‌آمده برای هر دو روش لوله‌ای و جاده‌ای با توجه به حجم قابل حمل در هر مسیر محاسبه شده‌اند و برای مقایسه صحیح این اعداد باید جمعیت به‌دست‌آمده در هر سناریو تقسیم بر حجم حمل شده در آن سناریو شود تا بتوان این اعداد را با هم مقایسه کرد. با توجه به مطالب ذکرشده اعداد نشان‌گر ایمن بودن حمل لوله‌ای نسبت به حمل جاده‌ای (علی‌رغم هزینه بالای احداث خطوط لوله‌ای) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده در مورد ریسک خط لوله مارون - اصفهان و جمعیت تحت تأثیر در صورت انفجار خط لوله، اگرچه انتقال نفت خام توسط خط لوله نسبت به حمل جاده‌ای عقلانی به نظر می‌رسد، اما موضوعاتی چون قدمت، فرسودگی، شرایط جوی و منطقه‌ای، نقض حریم‌های ایمن خط لوله توسط مناطق مسکونی، تلاقی‌های متعدد با جاده و نقاط مشترک با رودخانه‌ها در طول مسیر باعث می‌گردد نگرانی‌ها در مورد این خط

www.SID.ir

Archive of SID

لوله و خطراتی که در آینده ممکن است به وقوع بپیوندد، تشدید گردد.

علاوه بر اینکه در این مطالعه اثراتی که ممکن است سوانح این خط لوله بر روی محیط زیست استراتژیک این منطقه با منابع آبی و زمین‌های کشاورزی فراوان، داشته باشد موردبررسی قرار نگرفته است و شاید با در نظر گرفتن این شرایط استفاده از این خط لوله در راستای منافع استان‌های مرکز و جنوب کشور قرار نمی‌گرفت. با این وجود، انجام اقدامات فوریتی در زمینه تعمیر و بهسازی، تعویض و نوسازی، تخلیه حریم ایمن خط لوله و تجهیز ایستگاه‌های مختلف بین مسیر می‌تواند در تقلیل عواقب سوانح مورد انتظار در آینده مؤثر باشد.

تشکر و قدردانی

از استاد گرانقدرم، دکتر باقری که در راستای انجام این مقاله از هیچ کمکی دریغ نکردند و همسر مهربانم که در نگارش این مقاله یاری فرمودند، کمال تشکر را دارم.

منابع

[1] Mendelssohn, I.A., et al., The effect of a Louisiana crude oil discharge from a pipeline break on the vegetation of a southeast Louisiana brackish marsh. Oil and chemical pollution, 1990. 7(1): p. 1-15.

[2] PHMSA, Pipeline Serious Incident 20 Year Trend. 2015.

[۳] معاونت بهره برداری و سیر و حرکت، "حمل و نقل کالاهای خطرناک". انتشارات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۳

[4] Muhlbauer, W.K., Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources. 2004: Gulf Professional Publishing.

[۵] فرشته میراج، مریم سادات فاطمی، محمود والی نژاد. "ارائه یک مدل کاربردی جهت ارزیابی ریسک خطوط لوله نفت و گاز"، سومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، ۱۳۸۸، دانشگاه صنعتی شریف.

[6] Henselwood, F. and G. Phillips, A matrix-based risk assessment approach for addressing linear hazards such as pipelines. Journal of loss prevention in the process industries, 2006. 19(5): p. 433-441.

[7] Thomas, H., Pipe and vessel failure probability. Reliability Engineering, 1981. 2(2): p. 83-124.

[8] Jo, Y.-D. and B.J. Ahn, Analysis of hazard areas associated with high-pressure natural-gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2002. 15(3): p. 179-188.

[۹] موسی جباری قره باغ. "ارزیابی و مدیریت ریسک خطوط لوله حمل و نقل محصولات نفت، گاز و پتروشیمی". اولین کنفرانس حمل و نقل مواد خطرناک و اثرات زیست محیطی آن، سال ۱۳۸۷، تهران، دانشگاه تهران.

[10] Jo, Y.-D. and D.A. Crowl, Individual risk analysis of high-pressure natural gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2008. 21(6): p. 589-595.

[۱۱] نسیم زینالی، امیر راد، حمید کارشکی، اسلام کاشی، "بررسی افزایش ریسک ناشی از حوادث زنجیره‌ای در کریدور خطوط لوله"، سومین کنفرانس لوله و خطوط انتقال نفت و گاز. سال ۲۰۱۱، مرکز همایش‌های بین‌المللی رازی، تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۲] اسلام کاشی، طاهره نور محمدی، جواد قاسمی،"ارزیابی کمی ریسک در یک خط لوله بنزین نمونه"، چهارمین همایش ملی مهندسی ایمنی و مهندسی HSE. سال ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی شریف.

[13] Du, X. and X. Lin, Conceptual model on regional natural disaster risk assessment. Procedia engineering, 2012. 45: p. 96-100.

[14] Ma, L., et al., A novel method of quantitative risk assessment based on grid difference of pipeline sections. Safety science, 2013. 59: p. 219-226.

[15] Yuhua, D. and Y. Datao, Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. Journal of loss prevention in the process industries, 2005. 18(2): p. 83-88.

[16] Dziubi ski, M., M. Fr tczak, and A. Markowski, Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006. 19(5): p. 399-408.

[17] Brito, A.J. and A.T. de Almeida, Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. Reliability Engineering & System Safety, 2009. 94(2): p. 187-198.

[18] Han, Z. and W. Weng, Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. Journal of Hazardous Materials, 2011. 189(1): p. 509-518.

[19] Erkut, E. and V. Verter, Modeling of transport risk for hazardous materials. Operations research, 1998. 46(5): p. 625-642.

[20] Verma, M. and V. Verter, Railroad transportation of dangerous goods: Population exposure to airborne toxins. Computers & operations research, 2007. 34(5): p. 1287-1303.

[21] Verma, M., Railroad transportation of dangerous goods: A conditional exposure approach to minimize transport risk. Transportation research part C: emerging technologies, 2011. 19(5): p. 790-802.

[22] Verma, M., V. Verter, and M. Gendreau, A tactical planning model for railroad transportation of dangerous goods. Transportation Science, 2011. 45(2): p. 163-174.

[23] Aguilar Serrano, J., X. Liu, and M.R. Saat. Methodology to Evaluate the Consequences of Hazardous Material Releases from Multiple Tank Cars Involved in Train Accidents. in Transportation Research Board 93rd Annual Meeting. 2014.

[24] Cox, R., Use of quantitative risk-assessment in plant design. Applied Energy, 1992. 42(1): p. 33-62.

[۲۵] مشعل، "مارون-اصفهان دومین خط لوله جهان"، نشریه کارکنان صنعت نفت، سال ۲۰۱۲

[۲۶] سازمان هواشناسی کشور، وزارت راه و شهرسازی.

[۲۷] تین نیوز،"هزینه ساخت یک کیلومتر راه اصلی، راه‌آهن و آزادراه در کشور" سال ۲۰۱۴

www.SID.ir