

## مدیریت ریسک محیط‌زیستی خط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی

### بندرعباس - سیرجان به روش پایبونی (Bow\_Tie)

نرگس قارون\*<sup>۱</sup>، سیدعلی جوزی<sup>۲</sup>

۱. کارشناس ارشد مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال sajozi@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۳/۳۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۲

#### چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی و مدیریت ریسک محیط‌زیستی خط لوله فرآورده‌های نفتی بندرعباس-سیرجان به طول تقریبی ۲۷۳ کیلومتر به انجام رسید. بدین منظور ابتدا ریسک محیط‌زیستی با روش سیستم شاخص‌گذاری ارزیابی شد. در این راستا شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک از طریق تحلیل دو شاخص مخاطرات کل و آثار و تعیین امتیاز ریسک بر اساس مدل ریسک نسبی روش شاخص‌گذاری صورت پذیرفت. سپس، امتیاز ریسک با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 در سه سطح ریسک زیاد (۰/۲۶-۰/۰۸)، متوسط (۰/۲۶-۰/۴۴) و کم (۰/۴۴-۰/۶۲) در طول مسیر خط لوله پهنه‌بندی شد. به منظور مدیریت ریسک محیط‌زیستی از روش پایبونی (Bow\_Tie) بهره گرفته شد. این روش قابلیت نمایش ارتباط تمامی مؤلفه‌های موجود در تحلیل عوامل بالقوه آسیب‌رسان با اقدامات کنترلی، فعالیت‌ها و وظایف بحرانی را دارد و روشن‌ترین تصویرسازی گرافیکی از مدیریت ریسک است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که ۷ درصد از مسیر خط لوله واجد پتانسیل ریسک زیاد (بازه امتیاز ریسک ۰/۰۸ تا ۰/۲۶) است. مؤثرترین عوامل در بروز ریسک نیز ویژگی‌های طراحی (پتانسیل جابه‌جایی خاک) و پتانسیل تخریب عوامل ثالث شناخته شد. برای کاهش و کنترل ریسک‌های شناسایی‌شده نیز راهکارهای مدیریتی در قالب مدل پایبونی ارائه شد. از جمله اقدامات پیشگیرانه و کنترلی پیشنهادشده می‌توان به ایجاد سیستم هشداردهنده، عکس‌العمل مناسب نسبت به تماس‌ها، استفاده از تجهیزات نگهدارنده، قطع سریع جریان داخل لوله، تخلیه فرآورده‌های داخل لوله، اطلاع‌رسانی سریع و احیا و بازسازی مناطق آسیب‌دیده اشاره کرد.

#### کلیدواژه

خط لوله بندرعباس-سیرجان، ریسک، سیستم شاخص‌گذاری، مدیریت ریسک محیط‌زیستی، مدل پایبونی.

#### ۱. سرآغاز

مجریان و تصمیم‌گیرندگان و به علت ارتباطات پیچیده‌ای که این برنامه‌ها با محیط‌زیست دارند، به عامل تخریب‌کننده محیط و مانعی بر سر راه توسعه انسانی بدل شده‌اند. مثال‌هایی از این قبیل را در همه کشورهای از جمله ایران می‌توان برشمرد (فردوسی، ۱۳۸۴).

مقایسه حوادث بزرگ در کشورهای مختلف صرف‌نظر از میزان توسعه‌یافتگی، مبین شباهت‌های زیاد آن‌ها با یکدیگر است. عواملی نظیر خطاهای انسانی، اعتماد بیش از اندازه به ایمن‌بودن تأسیسات، اشکالات در طراحی،

تلاش انسان برای توسعه و رفاه، در بستر محیط‌زیست و با بهره‌گیری از نهاده‌های آن انجام می‌شود و بهره‌دهی و پایداری این‌گونه فعالیت‌ها در گرو تناسب و هم‌سویی آن‌ها با اصول و محدودیت‌های حاکم بر محیط‌های طبیعی، اجتماعی و اقتصادی است. طرح‌ها و پروژه‌های عمرانی و برنامه‌های توسعه با هدف بهسازی و ارتقای کیفیت زیست انسان‌ها برنامه‌ریزی می‌شوند و به اجرا درمی‌آیند. اما در بسیاری موارد دیده شده که به سبب بی‌توجهی برنامه‌ریزان،

ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست، با عنوان ارزیابی و مدیریت ریسک تأکید شده است (محمدفام، ۱۳۸۹). مدیریت ریسک به منزله کاربرد سیستماتیک سیاست‌ها، رویه‌ها و شیوه‌ها برای شناسایی، آنالیز، ارزیابی، درمان و پایش ریسک‌ها تعریف شده است (key, 2003). هدف از مدیریت ریسک پروژه برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و کنترل فعالیت‌ها و فرایندهای پروژه است، به گونه‌ای که آثار فرصت‌ها بیشینه و آثار تهدیدها به حداقل برسد (آریش، ۱۳۸۸).

استقرار سیستم‌های مدیریت HSE در سازمان‌ها و صنایع بزرگ، به‌ویژه در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی بر اساس راهنمای تدوین‌شده در ایران و جهان در حال افزایش است. بررسی خطرهای ارزیابی ریسک HSE فازهای ساخت تا تولید پروژه‌های صنعت نفت و گاز عنوان مقاله‌ای است که عباسپور و همکارانش در سال ۱۳۸۸ منتشر کردند. در این مقاله سعی شده است ارزیابی ریسک مراحل مختلف اجرایی پروژه‌های صنعت نفت و گاز و تدوین سیستم HSE بررسی شود (عباسپور و همکاران، ۱۳۸۸). ارزیابی ریسک سایت‌های صنعتی منطقه عسلویه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی عنوان پژوهشی است که «جعفری و همکارانش» در سال ۱۳۸۸ انجام داده‌اند. در این پژوهش سعی شده است که با شناسایی خطرهای عمده در تعدادی از کاربری‌های منطقه و استفاده از روش محاسبه ریسک نیمه کمی و تعیین بازه‌های مناسب، رتبه‌بندی ریسک انجام شود. سپس، ریسک کلی که حاصل انباشت تمامی مخاطرات در هر کاربری است با اثر دادن وزن نسبی هر ریسک در عدد ریسک، تعیین می‌شود و نرم‌افزار GIS آن را شبیه‌سازی می‌کند (جعفری و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعه دیگری نیز با عنوان ارزیابی و مدیریت ریسک جامع خط لوله انتقال فرآورده و خوراک پتروشیمی در سال ۲۰۰۹ انجام شده که در آن با استفاده از مدل‌های شاخص‌گذاری و احتمالاتی یک الگوریتم توسعه داده شده

آماده‌نبودن در شرایط بحرانی و در کشورهای کمتر توسعه‌یافته رعایت‌نکردن موازین اصول HSE<sup>۱</sup> در انتقال فناوری از دلایل عمده بروز فجایع انسانی و زیست‌محیطی بوده‌اند. همه عوامل یادشده بالا در صنایع کشور ما نیز وجود دارند که سبب بروز حوادث بزرگی شده‌اند. در میان صنایع مختلف، صنایع فرایندی با توجه به ماهیت خطرناک مواد و عملیات آن همواره جزو صنایع پرخطر محسوب می‌شوند. در این بین خطوط لوله فرآورده‌های نفتی به علت انتقال حجم بالایی از فرآورده‌های نفتی که دارای ریسک بالایی از خطرهای ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی اند از اهمیت بسزایی برخوردارند (محمدفام، ۱۳۸۹). گستره بالای طول خطوط، گستردگی مناطق جغرافیایی که خطوط لوله از آن‌ها عبور می‌کنند، تنوع مواد منتقله، حساسیت‌های زیست‌محیطی محل‌های عبور، تراکم جمعیتی اطراف خطوط، فرسودگی قسمت‌های درخور توجه آن و ... باعث شده است که بروز حوادث مختلف در خطوط لوله انتقال با پیامدهای فاجعه‌باری همراه باشد. ترکیب لوله نفت در مسیر انتقال پل دختر به استان مرکزی، حوادث متعدد در مسیر خطوط لوله انتقال نفت سرکان-مالکوه، شکستگی خط لوله ۳۰ اینچ انتقال نفت خام مارون-اصفهان، پارگی خط لوله ۸ اینچ انتقال فرآورده نفتی علی‌آباد-گرگان و ... تنها نمونه‌ای از این نوع حوادث در ایران است (معمدزاده و همکاران، ۱۳۸۸). از حوادث شکست خط لوله در دیگر نقاط جهان نیز می‌توان به حادثه شکست خط لوله ۳۶ اینچ در نیوجرسی آمریکا، شکست خط لوله گاز در ونزولا، همچنین شکست‌های گزارش شده از کشورهای انگلستان، روسیه، کانادا، پاکستان و هند اشاره کرد (Dey, 2002).

با توجه به مطالب یادشده رویکردهای نوین کنترل خطرهای به‌ویژه در قالب سیستم‌های مدیریتی نظیر ISO 14000، OHSAS 18000، HSE-MS و ... بر پیشگیری از حوادث، قبل از رخ دادن آن‌ها تأکید می‌کنند. برای مثال، به این موضوع به‌منزله یکی از عناصر اصلی سیستم مدیریت

رسیده، ارزیابی کمی ریسک به‌منزله یکی از گزینه‌های مدیریت ریسک در بهبود سطح ایمنی بررسی و بر ارزیابی کمی ریسک خطوط انتقال گاز طبیعی تأکید شده است. بر اساس نتایج این پژوهش روش پیشنهاد شده می‌تواند برای مدیریت ریسک در جریان برنامه‌ریزی و مراحل ساخت خط لوله جدید یا اصلاح و بهبود خط لوله دفن شده مفید باشد (Jo, 2005). در تحقیق دیگری که سرجیو کانتینی و همکارانش در ایتالیا انجام داده‌اند، استفاده از فناوری‌های اطلاعات مدرن و به‌ویژه سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدیریت و کنترل ریسک حوادث بزرگ و مهم مطرح و در نهایت در خصوص محدودیت‌های استفاده از این ابزارها و چشم‌انداز توسعه‌های آتی بحث شده است (Contini, et al, 2000). در چین نیز تحقیقی در زمینه آنالیز ریسک خطوط لوله انتقال گاز طبیعی در سال ۲۰۱۰ به انجام رسیده که در آن یک روش یکپارچه آنالیز کمی ریسک برای شبکه خطوط انتقال گاز طبیعی پیشنهاد شده است. این روش ترکیبی از ارزیابی احتمال حوادث و تجزیه و تحلیل سنجش و پیامد ریسک است (Han, 2010). در تحقیق دیگری یک مدل چندمعیاره برای ارزیابی ریسک در خطوط لوله گاز طبیعی و طبقه‌بندی مقاطع خط لوله نسبت به رده‌های ریسک پیشنهاد شده است. این مدل تلفیقی از تئوری مطلوبیت و روش ELECTRE TRI است (Brito, 2010).

به طور کلی برای آنالیز ریسک از روش‌های کیفی، نیمه‌کمی و کمی می‌توان استفاده کرد. روش‌های مطالعه عملیات و خطررها (HAZOP)، تحلیل مقدماتی خطر (PHA) و چه می‌شود، اگر؟ (What If) از جمله ابزارهای استفاده‌شده در آنالیز ریسک به‌شمار می‌روند (Dziubinski, et al., 2006). هر یک از روش‌ها برای آنالیز ریسک در صنایع فرایندی، خصوصیات متفاوتی دارند. بارزترین وجه تمایز این روش‌ها متفاوت بودن ورودی‌ها و در مقابل خروجی‌های متفاوت حاصل از به‌کارگیری روش است (Tixier, et al., 2002).

است. این الگوریتم امکان شناسایی بیشترین علل شکست خط لوله و به‌کارگیری اطلاعات حوادث گذشته را فراهم کرده است (Jabbari Gharabagh, et al., 2009). در سایر کشورها نیز مطالعات گوناگونی در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک صنایع فرایندی از جمله خطوط لوله انتقال شکل گرفته است. در امریکا «رستریو و همکارانش» طی پژوهشی به بررسی دلایل و پیامدهای حوادث ناشی از پخش مایعات خطرناک در خطوط لوله انتقال مایعات خطرناک پرداخته‌اند (Restrepo, et al, 2009). «کارل دانکلی» در مقاله‌ای با عنوان تکنیک‌های مدیریت ریسک به معرفی روش پایونی (Bow\_Tie) و مزایای استفاده از آن پرداخته است. در این مقاله از روش پایونی به‌منزله روشی که قابلیت تلفیق اطلاعات کمی و کیفی را به صورت توأم داراست، نام برده شده است (Dunckley, 2008). روش پایونی همچنین در مقاله ارائه‌شده «کاکشات» به‌مثابه ابزاری سودمند برای مدیریت ریسک معرفی شده است که ابزار آموزشی مفید برای آگاهی از خطرات فراهم می‌کند. مؤلف دیگرام پایونی را در مدیریت ریسک یک پایانه دریایی مواد شیمیایی جدید در ایسلند به کار برده است (Cockshott, 2005). «سلست جاسیتو» و «کریستینا سیلوا» نیز در مقاله خود در خصوص کاربرد رویکرد پایونی در ارزیابی نیمه کمی ریسک‌های حوادث شغلی بحث کرده‌اند. در این تحقیق آنالیز کیفی اولیه بر پایه تکنیک دیگرام پایونی بوده است. مؤلفان کارایی و سودمندی روش پیشنهادی را با به کار بردن و آزمایش آن در محیط کارخانه کشتی‌سازی بزرگ در پرتغال بررسی کرده‌اند (Jacinto, 2010). در تحقیق مختاری و همکارانش نیز که در انگلستان به انجام رسیده است، سیستم‌ها و اصول کلیدی مدیریت ریسک بررسی و برای شناسایی و ارزیابی ریسک در چارچوب مدیریت ریسک بنادر دریایی و پایانه‌های ساحلی، آنالیز ریسک بر پایه روش پایونی آزمایش و پیشنهاد شده است (Mokhtari, et al., 2010). در پژوهش دیگری که در کره جنوبی به انجام

می‌کند و به موازات جاده مذکور به سمت شمال استان پیش می‌رود. در نقشه ۱ موقعیت خط لوله و تأسیسات جانبی در طول مسیر نشان داده شده است.

هدف از احداث خط لوله مذکور انتقال روزانه ۳۰۰ هزار بشکه فرآورده از پالایشگاه‌های بندرعباس و هرمز به مرکز کشور است. عمر مفید طرح ۲۵ سال در نظر گرفته شده است. جنس لوله API-51-X52 و قطر آن ۲۶ اینچ است. این خط لوله در مسیر خود از دو تلمبه‌خانه قطب‌آباد و مهرآران به منظور ایجاد شرایط مناسب آیرودینامیک برای انتقال سیال درون خط لوله استفاده خواهد کرد و در طول مسیر حدود ۲۴ شیر بین راهی پیش‌بینی شده است. ایستگاه‌های شیر بین راهی در محل گسل‌ها و رودخانه‌های دائمی به صورت اتوماتیک خواهد بود و بقیه ایستگاه‌ها با سیستم دستی کنترل خواهند شد (مهندسان مشاور رویان، ۱۳۸۸).

## ۲. مواد و روش‌ها

در این تحقیق با در نظر داشتن محدوده مطالعاتی، ابتدا ویژگی‌های فنی پروژه و محیط‌زیست تحت تأثیر آن شناسایی شد.

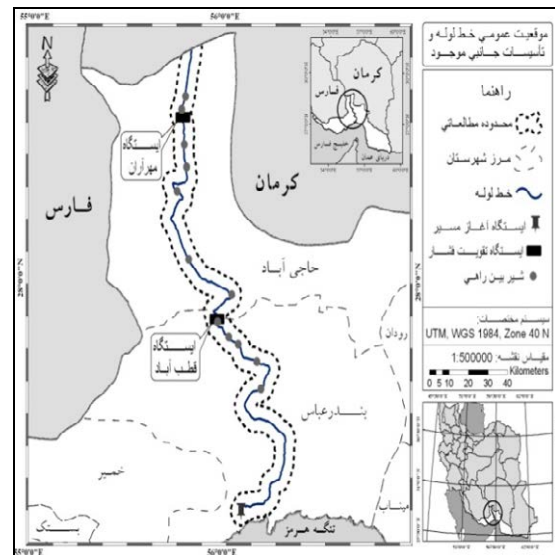
در این پژوهش معرفی و انتخاب معیارهای مؤثر با استفاده از روش دلفی انجام گرفت. این مهم از طریق طرح‌ریزی پرسش‌نامه انجام شد. جامعه آماری بر پایه رابطه «کوکران» ۳۰ نفر تعیین شد. این عدد با احتساب ضریب اطمینان ۹۰ و خطای ۳ درصد محاسبه شد.

$$n = \frac{t^2 s^2}{d^2} = \frac{(1.90)^2 (0.227)^2}{(0.03)^2} = 29.95 \quad (1) \text{ رابطه کوکران}$$

در رابطه فوق  $s^2$  واریانس،  $d$  خطای مطالعه برحسب درصد و  $t$  ضریب اطمینان است.

در این زمینه، تیم اجرایی با در نظر گرفتن مطالعات گذشته‌نگر، مشاهدات و اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در سطح حوزه مورد مطالعه کار تنظیم پرسش‌نامه‌ها را بر عهده گرفت. در تکمیل پرسش‌نامه‌ها گروهی از کارشناسان و متخصصان رشته‌های محیط‌زیست، زمین‌شناسی و

در این تحقیق که هدف از آن مدیریت ریسک محیط‌زیستی خط لوله انتقال فرآورده نفتی است، برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی (پیش‌نیاز مطالعات مدیریت ریسک) از روش کمی سیستم شاخص‌گذاری و به منظور مدیریت ریسک از روش پایبونی استفاده شد. روش شاخص‌گذاری آثار بهترین روش ارزیابی ریسک محیط‌زیستی خطوط لوله در صنایع وابسته به نفت معرفی شده است. در این تکنیک به شرایط مختلف در طول سیستم خط لوله که در ریسک پروژه سهیم‌اند، ارزش‌های عددی اختصاص داده می‌شود (Muhlbauer, 2004). مدیریت ریسک با تکنیک پایبونی نیز از مؤثرترین روش‌های گرافیکی است که طی آن ارتباط بین تمام عوامل مرتبط با فرایند خطر نشان داده می‌شود. همچنین ارتباط تمامی مؤلفه‌ها در تحلیل عوامل بالقوه آسیب‌رسان با اقدامات کنترلی، فعالیت‌ها و وظایف بحرانی به طور کامل بررسی می‌شود (Trbojevic, 2008).

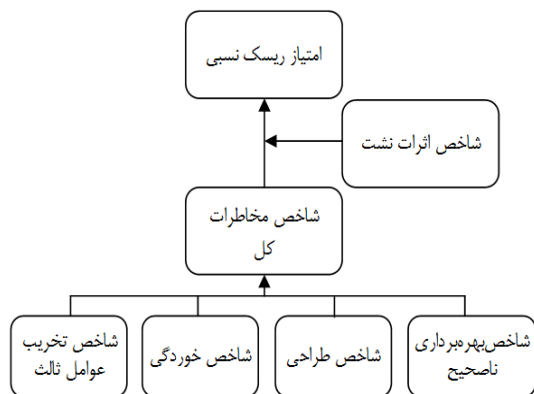


نقشه ۱. موقعیت عمومی خط لوله

خط لوله بندرعباس-سیرجان به طول تقریبی ۲۷۳ کیلومتر، قطعه اول خط لوله بندرعباس-سیرجان-رفسنجان است که در استان هرمزگان واقع شده است. بر اساس طراحی‌های شکل‌گرفته این خط لوله از مبدأ تلمبه‌خانه بندرعباس در استان هرمزگان حرکت و پس از تغییر مسیر به سمت شرق، جاده اصلی حاجی‌آباد-بندرعباس را قطع

Active bowtie اقدامات کنترل و پایش در جهت مدیریت ریسک محیط‌زیستی پیشنهاد شد.

ارزیابی ریسک طرح‌ها و پروژه‌های خطوط انتقال نفت و گاز با استفاده از روش سیستم شاخص‌گذاری مبتنی بر تعیین دو شاخص مخاطرات کل و آثار است. ساختار کلی روش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار کلی روش سیستم شاخص‌گذاری

در شاخص مخاطرات کل کلیه عواملی که احتمال بروز حادثه یا خطر را افزایش می‌دهند، در چهار زیرشاخص تخریب عوامل ثالث، خوردگی، طراحی و بهره‌برداری ناصحیح (کارکرد اپراتور) طبقه‌بندی و بررسی می‌شوند.

در زیرشاخص تخریب عوامل ثالث تمامی فعالیت‌های مخرب یا احتمال وقوع خسارت در نتیجه عملکرد عوامل انسانی یا طبیعی و در زیرشاخص خوردگی مهم‌ترین فاکتورها و عوامل داخلی و خارجی که بر میزان خوردگی لوله‌ها مؤثرند، بررسی می‌شوند. در زیرشاخص طراحی رابطه بین اصول طراحی با شرایط واقعی سنجیده می‌شود. در زیرشاخص بهره‌برداری ناصحیح نیز خطرهای ناشی از عملکرد کارکنان پروژه در ۳ فاز طراحی، ساختمانی و بهره‌برداری بررسی می‌شوند. در این مدل هر کدام از زیرشاخص‌های مذکور با توجه به وضعیت موجود با نسبتی از ۱۰۰ ارزیابی و امتیازدهی می‌شوند. به طوری که کسب امتیاز بالا در هر یک از زیرشاخص‌های مورد ارزیابی نشان‌دهنده مطلوب بودن وضعیت خط لوله است (جباری قره‌باغ، ۱۳۸۸).

کلیه عواملی که در شدت یا ضعف وقوع ریسک

مهندسی سازه مشارکت داشتند. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌ها، اطلاعات پرسش‌نامه‌ها تجزیه و تحلیل شد. بدین منظور معیارهایی که بیش از ۵۰ درصد رأی موافق را کسب کرده بودند به‌مثابه معیارهای قبول‌شده شناخته شدند. در ادامه به منظور تعیین میزان پایداری نتایج ارائه‌شده، آنالیز تحلیل حساسیت انجام شد. با تشکیل ساختار سلسله مراتبی و تعیین معیارها و زیرمعیارها مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در این تحقیق تعیین شد. در مراحل تشکیل ساختار سلسله مراتبی، تعیین وزن معیارها و تجزیه و تحلیل ناسازگاری از روش بردار ویژه و گزینه پیش‌بینی‌شده در نرم‌افزار Expert Choice بهره گرفته شد. این ضریب باید کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، در غیر این صورت ماتریس ناسازگار شناخته می‌شود و باید مقایسه‌های زوجی تکرار شود. در این مطالعه نرخ ناسازگاری به‌دست‌آمده برابر صفر بود که نشان داد، ارزش قضاوت‌ها سازگار است. شکل ۱ فرایند نمره‌دهی و تعیین نرخ ناسازگاری در نرم‌افزار Expert Choice را نشان می‌دهد.

Climate			
Compare the relative importance with respect to: Natural Environment \ physical			
Soil factors			
	Climate	Soil factors	Physiograph
Climate		2.0	6.0
Soil factors			3.0
Physiography	Incon: 0.00		

شکل ۱. جدول مقایسه زوجی در نرم‌افزار EC

در ادامه از روش سیستم شاخص‌گذاری به منظور ارزیابی ریسک محیط‌زیستی و از نرم‌افزار Arc GIS (9.3) برای پهنه‌بندی ریسک در مسیر خط لوله استفاده شد. روش شاخص‌گذاری که Muhlbauer در سال ۲۰۰۴ پیشنهاد کرده است، متداول‌ترین و شناخته‌شده‌ترین روش ارزیابی ریسک مربوط به طرح‌ها و پروژه‌های خطوط انتقال نفت و گاز در سطح بین‌المللی به شمار می‌رود. در نهایت بر اساس روش پایپونی و با استفاده از نرم‌افزار



جدول ۱. فاکتورها، معیار امتیازدهی و نحوه توزیع امتیازات در شاخص مخاطرات کل و آثار

شاخص	زیرشاخص	فاکتورهای مورد بررسی	معیارهای امتیازدهی	بازه امتیازات	جمع
تخریب عوامل ثالث	تخریب عوامل ثالث	حداقل ارتفاع پوشش	ضخامت پوشش خاک روی خط لوله برحسب اینچ تقسیم بر ۳ و جنس پوشاننده (۲ اینچ بتون یا آسفالت معادل ۸ اینچ خاک)	۰-۲۰	۱۰۰
		سطح فعالیت منطقه	بررسی مجموعه عوامل مراکز جمعیتی، خطوط ارتباطی، پروژه‌های در حال احداث، فعالیت‌های حساس و خطرزا (خطوط لوله انتقال نفت و گاز و خطوط برق فشار قوی)، فعالیت‌های زراعی و خطوط انتقال آب و عوارض و عوامل طبیعی	۰-۲۰	
		حریم خط لوله	وضعیت حریم خط لوله و علائم به کار برده شده برای تشخیص موقعیت خط لوله	۰-۵	
		تأسیسات سطح‌الارضی	در صورت نبود این تأسیسات بالاترین امتیاز و در صورت وجود تأسیسات، بررسی نوع حفاظ تأسیسات سطح زمین (فنس کشی، دیوار بتنی، پوشش گیاهی و ...)	۰-۱۰	
		تواتر گشت‌زنی و بازرسی	تناوب بازدید (بازدید روزانه برابر با حداکثر امتیاز)	۰-۱۵	
		برنامه آموزش همگانی	نحوه ارائه آموزش (حضور، غیرحضور) و گروه تحت آموزش (پیمانکاران، ساکنان مجاور طرح و ...)	۰-۱۵	
		برنامه شناسایی موقعیت خط لوله (سیستم‌های هشداردهنده)	عوامل کارایی، ثبت کارایی و قابلیت اعتماد، اطلاع‌رسانی در سطح وسیع و شناخت جامعه نسبت به آن، رعایت استانداردهای مورد تأیید ULCCA <sup>۳</sup> و ULCCS <sup>۴</sup> ، واکنش مناسب به تماس‌ها، نقشه‌ها و مستندات	۰-۱۵	
خورندگی	خورندگی	خورندگی در اثر عوامل آب و هوایی	قرارگیری در معرض عوامل جوی، نوع شرایط جوی و عایق کاری در برابر شرایط جوی	۰-۱۰	۱۰۰
		خورندگی داخلی	خورندگی محصول و نحوه حفاظت داخلی لوله (مانیتورینگ داخلی لوله با پیگ هوشمند، تزریق مواد بازدارنده خورندگی به داخل لوله و استفاده از عایق مناسب برای حفاظت داخلی)	۰-۲۰	
		خورندگی زیرسطحی	حفاظت کاتدی، پوشش لوله و خورندگی خاک	۰-۷۰	
طراحی	طراحی	ضریب ایمنی لوله	نسبت ضخامت واقعی لوله به ضخامت محاسبه‌شده	۰-۲۵	۱۰۰
		ضریب ایمنی سیستم انتقال سیال	نسبت حداکثر فشار مجاز بهره‌بردار به فشار طراحی	۰-۲۵	
		فشار	میزان احتمال ایجاد فشار Surge	۰-۲۰	
		جابه‌جایی خاک و عوامل زمین ساخت	پتانسیل وقوع انواع شرایط جابه‌جایی خاک و عوامل زمین ساخت شامل نشست زمین، روانگرایی، لغزش و رانش و زلزله	۰-۳۰	
بهره‌برداری ناصحیح (کارکرد اپراتور)	بهره‌برداری ناصحیح (کارکرد اپراتور)	مرحله طراحی	شناسایی خطر، حداکثر فشار قابل تحمل، سیستم‌های ایمنی و کنترل	۰-۳۵	۱۰۰
		مرحله ساختمانی	بازرسی کیفی، بررسی اتصالات، استفاده از پوشش مناسب، مواد و تجهیزات مصرفی، حفاری و کارگذاری لوله و بررسی عایق لوله	۰-۲۵	
		مرحله بهره‌برداری	برنامه‌های ایمنی، سیستم SCADA <sup>۲</sup> و ارتباطات، برنامه‌های ایمنی، تعمیر و بازرسی، مستندسازی و بازرسی، آموزش و تجهیزات جلوگیری از خطاهای مکانیکی	۰-۴۰	
خطر محصول	خطر محصول	خطرهای حاد	قابلیت اشتعال، میزان فعالیت و سمیت	۰-۱۲	۲۲
		خطرهای مزمن	وضعیت و جایگاه سیال منتقله در گروه محصولات خطرناک CERCLA <sup>۵</sup>	۰-۱۰	
حساسیت پراکنش	حساسیت پراکنش	میزان نشت	نرخ نشت و جرم مولکولی محصول	۱-۶	۱۲
		پراکنش	تقسیم امتیاز فاکتور نشت به امتیاز تراکم جمعیت	۱-۶	
حساسیت اکولوژیک	حساسیت اکولوژیک	تراکم جمعیت	طبقات تراکم جمعیت از تفاضل حداکثر و حداقل عدد تراکم بخش بر ۴ به دست می‌آید (به ترتیب از کمترین به بیشترین تراکم، امتیاز ۱ تا ۴ تعلق می‌گیرد).	۱-۴	۱۶
		رودخانه‌های بااهمیت	بررسی فاصله و تقاطع خط لوله با رودخانه دائمی و آبراهه‌ها	۱-۴	
		مناطق چهارگانه تحت حمایت	بررسی فاصله خط لوله نسبت به مناطق چهارگانه (عبور از داخل منطقه امتیاز ۴ و بیشترین فاصله امتیاز ۱)	۱-۴	
		زیستگاه‌های ویژه	بررسی تپ و تراکم پوشش گیاهی	۱-۴	

پایونی طی چندین مرحله شکل می‌گیرد. مرحله اول در این روش تعیین و شناسایی خطری است که با آن مواجه‌ایم. خطر عبارت است از وضعیت فیزیکی، شرایط یا ویژگی‌های مواد که به طور بالقوه می‌توانند موجب آسیب‌هایی از قبیل بیماری، جراحت یا مرگ افراد، خسارت به اموال و سرمایه‌گذاری، خسارات محیط‌زیستی، وقوع در کسب و کار و از دست رفتن اعتبار شوند. مراحل بعدی این روش به ترتیب عبارت‌اند از:

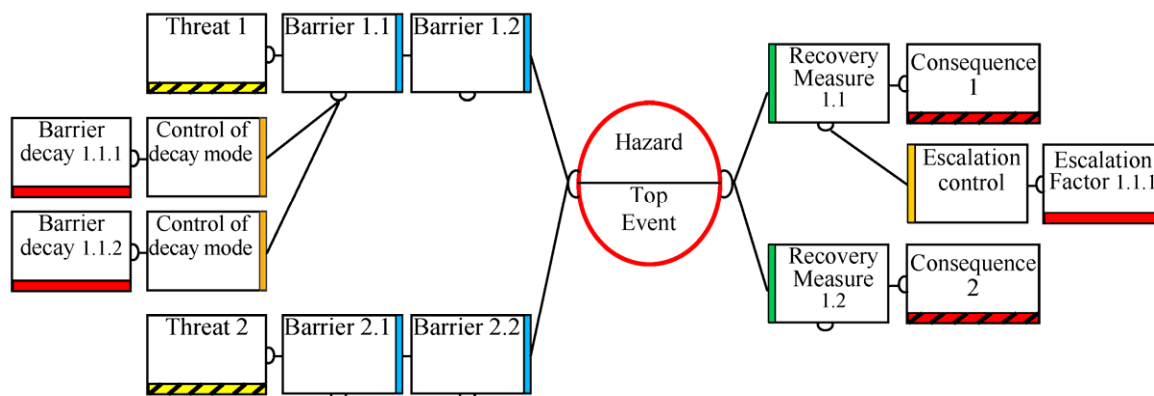
- تعیین رویدادی که به بروز ریسک منجر می‌شود؛
- شناسایی عوامل و فعالیت‌هایی که به صورت بالقوه توان ایجاد تهدید برای محیط تحت اثر را دارند؛
- شناسایی پیامدهای احتمالی ناشی از وقوع رویداد اصلی؛
- بررسی و شناسایی عوامل مؤثر در پیشگیری و کاهش احتمال بروز ریسک ناشی از اثر هر یک از عوامل تهدیدکننده؛
- ارائه راهکارهای اثربخش برای کنترل و کاهش شدت پیامدهای حاصل از وقوع نشت؛
- شناسایی عوامل مؤثر در از دست رفتن اثربخشی کنترل‌های (موانع) در نظر گرفته شده برای هر یک از عوامل تهدیدکننده و پیامدهای حاصل از نشت و
- تعیین اقدامات و راهکارهای لازم برای کنترل عوامل شکست موانع.

نمودار پایونی به‌مثابه ابزاری جذاب برای شناسایی ریسک و تجزیه و تحلیل کیفی ایجاد شده است که نه تنها مسیرهای احتمالی میان مخاطرات و حوادث (رویداد اصلی مهم) را به تصویر می‌کشد، بلکه تمایز میان موانع پیشگیرانه و کاهنده اثر را به وضوح آشکار می‌کند. ویژگی دوم آن کمک به اولویت‌بخشی اقدامات ایمنی است که ارزش بسیاری برای حمایت از تصمیم‌گیری دارد. تمام علل و پیامدهای یک حادثه به وضوح در نمودار به تصویر کشیده می‌شود. علاوه بر این به نظر می‌رسد برای نشان‌دادن تأثیر سیستم‌های ایمنی (و موانع) در توالی سناریوهای حادثه بسیار مفید است.

با این روش می‌توان یک ارزیابی از عملکرد موانع (برای مثال زمان پاسخ، کارایی و سطح اطمینان) به دست آورد. از ویژگی‌های مهم و مفید آنالیز موانع این است که به شناسایی موانع از دست‌رفته یا بد طراحی شده کمک می‌کند که مسئله کلیدی در مدیریت است ( Jacinto, 2010).

با توجه به قابلیت‌ها و مزایای استفاده از روش پایونی در مطالعات مدیریت ریسک، در انجام مدیریت ریسک محیط‌زیستی پروژه مورد مطالعه از روش پایونی و برای ایجاد نمودار پایونی نیز از نرم‌افزار Active Bow Tie استفاده شده است.

مدیریت ریسک محیط‌زیستی با استفاده از روش



شکل ۳. ساختار و اجزای مدل پایونی



نشانه‌هاست. استفاده از نشانه‌ها در طول مسیر خط لوله در کاهش خطر پارگی خط لوله (تقریباً ۱۱ درصد) و نشست‌های کوچک (تا حدود ۲۵ درصد) مؤثر است (Bajcar, et al., 2008). برنامه کنترل و پایش آثار را در این پروژه، که بخشی از برنامه زیست‌محیطی پروژه مورد مطالعه و شامل برنامه مشاهده، اندازه‌گیری و ثبت متغیرهای محیط‌زیستی و پارامترها در دوره‌های زمانی مختلف است، ۵ نفر از کارشناسان ارشد محیط‌زیست پروژه (۲ نفر با مدرک دکترای تخصصی، ۳ نفر با مدرک کارشناسی ارشد با سابقه حداقل ۱۵ سال فعالیت) تدوین کرده‌اند. همچنین یکی از بخش‌های برنامه مدیریت زیست‌محیطی پروژه مورد مطالعه به تدوین برنامه آموزش اختصاص یافته است. بازرسی و نظارت بر نحوه اجرای پروژه و رعایت اقدامات موردنیاز حفاظت از محیط‌زیست را نیز پیمانکاران به شکل ماهیانه و تصادفی در طول مسیر خط لوله و نظارت بر اجرای دقیق کلیه روش‌های تقلیل آثار سوء و برنامه مدیریت زیست‌محیطی پروژه مطابق با گزارش ارزیابی آثار زیست‌محیطی پروژه و اجرای کلیه دستورالعمل‌های ایمنی و بهداشت محیط کار به صورت دوره‌ای و متناسب با نوع فعالیت در طول مسیر احداث خط لوله انجام خواهند داد. اقدامات نظارت و بازرسی در فاز بهره‌برداری نیز شامل نظارت بر اجرای مناسب برنامه‌های مدیریت مواد زائد به صورت ماهیانه و بازرسی و نظارت بر تعمیر و نگهداری مناسب تأسیسات و تجهیزات مرتبط با جنبه‌های زیست‌محیطی و بهداشتی به صورت دوره‌ای و متناسب با شرایط و مشخصات تجهیزات است. در حدود ۶/۴۴ درصد از مسیر خط لوله از اراضی کشاورزی عبور می‌کند، اما هیچ‌گونه پروژه توسعه منابع آبی یا شبکه آبیاری در دست مطالعه، اجرا یا بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی وجود ندارد. این منطقه از نظر خطر لرزه‌ای از محدوده‌های با خطر متوسط، بالا و خیلی بالا عبور می‌کند و گسل حاشیه کوهستان زاگرس، گسل زاگرس مرتفع (حاجی‌آباد) و گسل اصلی زاگرس، گسل‌های مهم منطقه‌اند که

در این مدل خطر و رویداد اصلی در مرکز نمودار و در نماد دایره‌شکل نمایش داده می‌شود. در سمت چپ نمودار تهدیدات و موانع آن‌ها و در سمت راست نیز پیامدهای احتمالی و اقدامات کنترلی آن‌ها در قالب مستطیل‌هایی با نوارهای رنگی افقی و عمودی نشان داده می‌شوند. برای هر چه بهتر نمایان کردن تمایز میان اجزای مختلف مدل، می‌توان برای هر یک از اجزا رنگ خاصی تعریف کرد و به کار برد. ساختار و اجزای مدل پایونی در شکل ۳ نشان داده شده است (Trbojevic, 2008).

### ۳. نتایج

در این مطالعه، ریسک محیط‌زیستی پروژه خط لوله انتقال فرآورده ۲۶ اینچ بندرعباس-سیرجان از طریق تجزیه و تحلیل دو شاخص مخاطرات کل و آثار و هر یک از زیربخش‌های آن‌ها ارزیابی شد و نتیجه اجمالی آن به شرح زیر است:

شناسایی مخاطرات احتمالی در بخش شاخص مخاطرات کل حاکی از آن است که خط لوله مورد مطالعه در تمامی طول مسیر خود همواره در زیر خاک دفن شده است. عمق حفر کانال در تمامی طول مسیر یکسان نیست و بین ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر (۳۶-۴۸ اینچ) است و در محل تقاطع‌ها افزایش می‌یابد. همچنین از تکنیک‌های ویژه شامل استفاده از کانال مجهز به غلاف بتنی در تقاطع با انواع آبراهه، کانال مجهز به غلاف فلزی در تقاطع با خطوط راه‌آهن و استفاده از دال بتنی و کانال مجهز به غلاف فلزی در تقاطع با جاده‌های اصلی بهره‌گرفته می‌شود. با توجه به قطر خط لوله، عرض حریم عملیات ساختمانی ۲۳ متر در نظر گرفته شده است و با نشانه‌هایی در طول مسیر مشخص می‌شود. تأسیسات سطح‌الارضی در مسیر خط لوله نیز شامل ایستگاه‌های تقویت فشار قطب‌آباد و مهرآران و ایستگاه‌های شیر بین‌راهی است که راهکار در نظر گرفته شده برای حفاظت از آن‌ها فنس‌کشی و استفاده از علائم و

اغلب لرزه‌خیزند. از نظر لغزش و روانگرایی نیز حساسیت منطقه کم برآورد شده است. این خط لوله به موازات خط لوله نفت و گاز حرکت کرده است و در چندین نقطه با آن‌ها تقاطع دارد. همچنین به موازات این خط لوله دکل‌های برق نیز مشاهده می‌شود و در چند نقطه با آن‌ها تقاطع می‌یابد. بررسی انجام‌گرفته در حریم ۲ کیلومتری خط لوله نشان می‌دهد که در محدوده تحت بررسی به‌رغم نبود مرکز شهری، تعداد ۱۰ روستا در فاصله‌ای نزدیک‌تر از ۲۵۰ متر نسبت به خط لوله قرار دارند و خط لوله با خطوط ارتباطی نظیر راه‌آهن بندر شهید رجایی، جاده‌های آسفالت‌ه فین، حاجی‌آباد- بندرعباس، جاده آسفالت‌ه مهرآران و جاده آسفالت‌ه سیرجان- حاجی تقاطع خواهد داشت که به منظور تأمین و رعایت شاخصه‌های فنی و ایمنی در محل این تقاطع‌ها از دال بتنی و کانال مجهز به غلاف فلزی استفاده خواهد شد. در این پروژه خط لوله در تمامی طول مسیر همواره در زیر خاک با پتانسیل متوسط خوردگی دفن خواهد شد و در معرض عوامل جوی قرار نمی‌گیرد، اما در نقاط تقاطع با جاده‌ها، راه‌آهن و آبراهه‌ها به منظور حفاظت خط لوله از آسیب‌های احتمالی از غلاف‌های فلزی و بتنی استفاده می‌شود. این امر موجب می‌شود هوا در حد فاصل لوله انتقال فرآورده و غلاف وجود داشته باشد و سبب بروز خوردگی اتمسفری در نقاطی از خط لوله شود که پوشش محافظ صدمه‌دیده باشد. پوشش تعیین‌شده برای لوله دارای کیفیت بالا و مناسب برای محیط‌زیست منطقه است و عایق‌کاری تمامی لوله‌ها قبل از کارگذاری لوله‌ها در کانال و در کارخانه شکل می‌گیرد. در فاز بهره‌برداری نیز فرآورده نفتی داخل لوله فی‌نفسه فاقد خصوصیات خوردگی است و فقط در شرایط خاص و در صورت ورود ناخالصی‌ها امکان بروز خوردگی فراهم می‌شود. بدین منظور برای حفاظت از تأسیسات در مقابل ذرات جامد در ایستگاه‌های تقویت فشار در مسیر خط لوله، در مسیر جریان سیال صافی‌هایی در نظر گرفته می‌شود. همچنین به منظور تمیزکردن خط لوله در تمامی طول آن، در ابتدای خط لوله

تأسیسات مربوط به ارسال توپیک نصب و از توپیک‌های هوشمند نیز به منظور اعلان نشت و نقص و برطرف‌کردن نواقص احتمالی استفاده می‌شود. همچنین حفاظت کاتدیک در طول خط لوله با روش آندهای فداشونده شکل می‌گیرد و ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک در فواصل ۴۰ کیلومتری در طول مسیر خط لوله قرار دارند و تمامی معیارهای عمومی سیستم حفاظت کاتدی رعایت خواهد شد. در این پروژه به‌رغم به‌کارگیری تجهیزات ایمنی مانند شیرهای کنترل فشار، راهبری و کنترل کلیه عملیات به وسیله سیستم کنترل در تلمبه‌خانه‌ها، ممکن است در موارد غیر قابل پیش‌بینی مانند موارد حاد ناشی از بروز آتش‌سوزی یا قطع جریان انتقال فرآورده به دلایلی از جمله قرارگیری شیرهای قطع اتوماتیک در محل تقاطع خط لوله با گسل‌ها و آبراهه‌ها، سیستم نیاز به خواباندن داشته باشد. در نتیجه احتمال ایجاد فشار سرچ در موارد خاص وجود دارد. با توجه به طول زیاد مسیر خط لوله و عبور آن از مناطق مختلف با خصوصیات فیزیکی (زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و هیدرولوژی) متفاوت، پتانسیل جابه‌جایی خاک در طول مسیر متفاوت و بین کم و متوسط متغیر است. نتایج بررسی زیر شاخص بهره‌برداری ناصحیح (کارکرد اپراتور) در مراحل مختلف طراحی، ساخت و بهره‌برداری نشان می‌دهد که به کنترل‌های لازم در تمامی مراحل توجه شده است، به گونه‌ای که حداکثر فشار قابل تحمل بالاتر از فشار طراحی در نظر گرفته شده است. همچنین در کل طول مسیر خط لوله و در جوار لوله‌ها فیبر نوری به کار گرفته خواهد شد تا از خطرهای احتمالی به‌ویژه در خصوص نشت از لوله‌ها در طول مسیر خط لوله اطلاعات کافی کسب شود. چندین شیر قطع بین راهی نیز به منظور جلوگیری از نشت‌های احتمالی در طول مسیر خط لوله پیش‌بینی شده است. همچنین به منظور کاهش هر چه بیشتر پتانسیل ریسک ناشی از بهره‌برداری ناصحیح برنامه جامع ایمنی، برنامه کنترل و پایش زیست‌محیطی و نظارت و بازرسی پروژه و برنامه آموزش‌های زیست‌محیطی در سطوح مختلف،

برخوردار نیست. خط لوله در طول مسیر خود ۱۰ عدد از جریانات سطحی فصلی (با عرض کمتر از ۵۰ متر) را قطع می‌کند و چندین بار با رودخانه دائمی گنج تقاطع دارد. با توجه به ویژگی‌ها و حساسیت اکولوژیکی منطقه تحت اثر، امتیاز شاخص آثار از ضرب امتیازات ۴ عامل اصلی خطر محصول، میزان نشت در محیط، پراکنش یا محدوده نسبی نشت و حساسیت اکولوژیک (محیط پذیرنده) به دست آمد. در جدول ۳ امتیازات فاکتورهای شاخص آثار ارائه شده است.

امتیاز نهایی ریسک که بر اساس مدل ریسک نسبی مالباثر حاصل تقسیم امتیاز شاخص مخاطرات کل بر امتیاز شاخص آثار است، در طول مسیر خط لوله متغیر و در بازه ۰/۰۸-۰/۶۲ قرار دارد. بر اساس معیار امتیازدهی در این روش، امتیاز بیشتر بیانگر ریسک کمتر است. امتیاز ریسک به دست آمده در طول مسیر خط لوله در سه سطح ریسک زیاد، متوسط و کم با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 طبقه‌بندی و مکان‌دار شد. به گونه‌ای که بازه امتیاز ۰/۲۶ تا ۰/۰۸ طبقه ریسک زیاد، بازه امتیاز ۰/۲۶ تا ۰/۴۴ طبقه ریسک متوسط و بازه امتیاز ۰/۴۴ تا ۰/۶۲ طبقه ریسک کم است.

در نقشه ۲ امتیاز و سطح ریسک در پهنه‌های مختلف مسیر نشان داده شده است.

هدف مدیریت ریسک، ایجاد چارچوب نظام‌مند و مستمر به منظور شناسایی، ارزیابی، حذف، کنترل، پیشگیری، کاهش و ابلاغ ریسک‌هاست. بنابراین در فرایند مدیریت ریسک، تصمیمات بر اساس مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی ریسک و سطوح ریسک تعیین شده اتخاذ می‌شود (نوری و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین در این تحقیق نیز با بهره‌گیری از نتایج ارزیابی ریسک و استفاده از قابلیت‌های روش پایبونی به مدیریت ریسک‌های محیط‌زیستی پروژه مورد مطالعه پرداخته شد.

خطر شناسایی شده در این مطالعه، بهره‌برداری از خط لوله انتقال فرآورده بندرعباس-سیرجان و رویداد اصلی نیز با توجه به اینکه شدیدترین ریسک زیست‌محیطی خطوط

برنامه‌های جلب مشارکت همگانی در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ امتیازات هر یک از زیرشاخص‌ها در بخش شاخص مخاطرات کل ارائه شده است.

در این مطالعه تحلیل شاخص آثار از طریق آنالیز زیرشاخص‌های خطر محصول، حساسیت پراکنش و اکولوژیک به انجام رسید. بررسی خطرهای فرآورده منتقله با استفاده از ویژگی‌های شیمیایی برشمرده شده برای این مواد در برنامه بین‌المللی ایمنی شیمیایی (IPCS)<sup>۱۰</sup> صورت گرفت (ILO, 2011). با توجه به اینکه در پروژه مورد مطالعه بر اساس نیاز و درخواست، در زمان‌های مختلف فرآورده‌ای خاص (نفت سفید، گازوئیل یا بنزین) منتقل خواهد شد، در نتیجه خطر محصول بر اساس نوع محصول داخل لوله متغیر خواهد بود و برای محاسبه امتیاز خطر محصول از میانگین امتیازات به دست آمده بهره گرفته شده است. همچنین به منظور بررسی و تعیین میزان تراکم جمعیت با توجه به متغیر بودن ویژگی‌های جمعیتی و تراکم جمعیت در طول مسیر اقدام به قطعه‌بندی خط لوله بر اساس شیرهای قطع بین‌راهی در طول مسیر خط لوله شد. بر این اساس خط لوله به ۱۲ قطعه تقسیم و تراکم جمعیت در هر یک از قطعات و در حریم ۲ کیلومتری هر قطعه از خط لوله محاسبه شد. نتیجه بررسی تراکم جمعیت در طول مسیر خط لوله نشان می‌دهد که بیشترین بخش خط لوله از مناطقی با تراکم پایین جمعیت عبور می‌کند و تنها حدود ٪ از مسیر در منطقه‌ای با تراکم بالای جمعیت واقع شده است.

نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه تحت اثر در طول مسیر خط لوله نشان می‌دهد که منطقه حفاظت‌شده گنو و شکارممنوع گلزار و نیزار در محدوده مطالعاتی قرار دارند، به نحوی که خط لوله به طول ۲۰۰ متر در جوار خطوط لوله نفت و گاز از حاشیه داخلی منطقه حفاظت‌شده گنو عبور خواهد کرد.

نزدیک‌ترین فاصله خط لوله به منطقه شکارممنوع گلزار و نیزار نیز ۳۵۰ متر است. پوشش گیاهی غالب منطقه مطالعاتی به شکل فرماسیون بوته‌زار است و از حساسیت

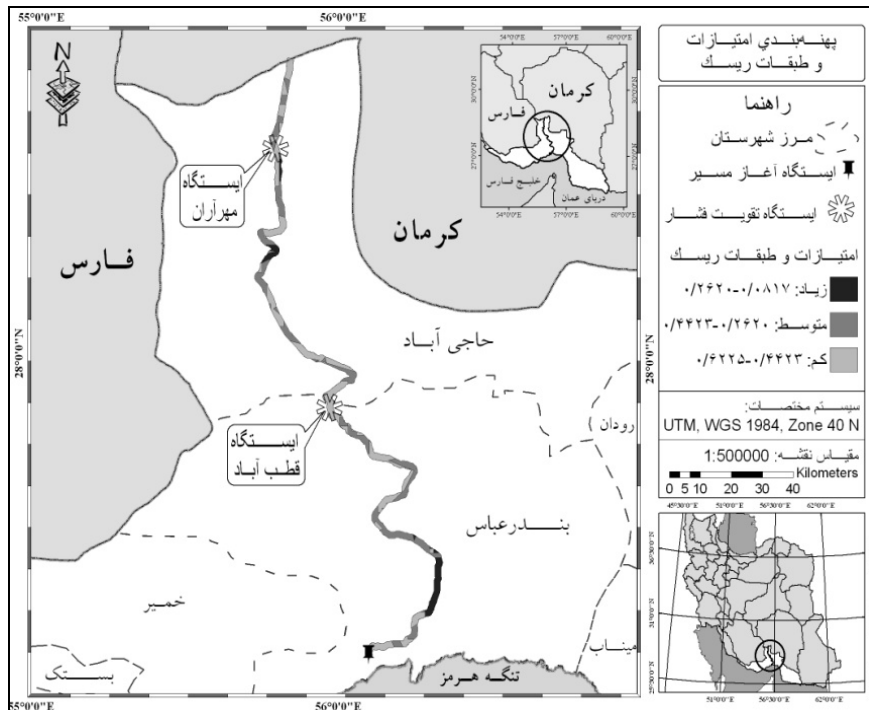
جدول ۲. امتیازات زیرشاخص‌ها در بخش شاخص مخاطرات کل

جمع	امتیاز طرح	حداکثر امتیاز فاکتور	فاکتورهای مورد بررسی	زیرشاخص						
۵۰	۲۰	۲۰	حداقل ارتفاع پوشش	تخریب عوامل ثالث						
			۷		۳	مراکز جمعیتی	سطح فعالیت منطقه			
						۱		خطوط ارتباطی		
								۲	پروژه‌های در حال احداث	
						۰		خط انتقال گاز	فعالیت‌های حساس و خطرزا	
								۰		خط لوله نفت
								۰		خط برق فشار قوی
						۱		۳	فعالیت‌های زراعی و خطوط انتقال آب	
			۱		۳	عوارض و عوامل طبیعی				
			۳		۵	حریم خط لوله				
			۳		۱۰	تأسیسات سطح‌الارضی				
			۴		۱۵	تواتر گشت‌زنی و بازرسی				
			۶		۱۵	برنامه آموزش همگانی				
			۷		۱۵	برنامه شناسایی موقعیت خط لوله				
۷۹	۶	۵	قرارگیری در معرض عوامل جوی (غلاف‌ها)	خورندگی در اثر عوامل آب و هوایی						
			۲		نوع شرایط جوی (عدم در معرض قرارگیری)					
			۳		عایق کاری در برابر شرایط جوی (تناسب و شرایط)					
	۱۳	۱۰	خورندگی محصول	خورندگی داخلی						
			۶		حفاظت داخلی					
	۶۰	۲۵	حفاظت کاندی	خورندگی لوله						
			۲۵		پوشش لوله					
			۱۰		خورندگی خاک					
	۴۰-۳۰	۲	۲۵	ضریب ایمنی لوله	طراحی					
۵				ضریب ایمنی سیستم انتقال سیال						
۱۰				فشار						
۱۳-۲۳				جابه‌جایی خاک و عوامل زمین‌ساخت						
۸۸	۲۹	۵	شناسایی خطر محصول	مرحله طراحی						
			۱۰		حداکثر فشار قابل تحمل					
					۱۱	سیستم‌های ایمنی				
					۳	کنترل				
	۲۲	۱۲	بازرسی کیفی	مرحله ساختمانی						
			۳		بررسی اتصالات					
					۲	استفاده از پوشش مناسب				
			۱		مواد و تجهیزات مصرفی					
			۴		حفاری و کارگذاری لوله					
			۲		بررسی عایق لوله					
	۳۷	۴	برنامه‌های ایمنی	مرحله بهره‌برداری						
			۳		سیستم SCADA و ارتباطات					
			۸		برنامه‌های ایمنی، تعمیر و بازسازی، مستندسازی و بازرسی					
			۱۰		تجهیزات جلوگیری از خطاهای مکانیکی					
			۱۲		برنامه‌های آموزشی					

بهره برداری ناصحیح (کارکرد اپراتور)

جدول ۳. امتیازات زیرشاخص‌ها در بخش شاخص آثار

شاخص		زیرشاخص		فاکتورهای مورد بررسی		حداکثر امتیاز فاکتور		امتیاز طرح	
خطر محصول	حاد	قابلیت اشتعال	۴	۳	۳	۱۳	۷	۳	۶
		میزان فعالیت	۴	۳	۳				
		سمیت	۴	۱	۱				
	میزان نشت	۱۰	۶	۴	۱۶ و ۴	۴	۴		
	پراکنش	۶	۴	۱ و ۴	۴ و ۱	۴	۱ و ۴	۴	
	تراکم جمعیت	۴	۴	۱ و ۴	۴ و ۱	۴	۱ و ۴	۴	
رودخانه‌های بااهمیت	۴	۴	۱-۴	۴-۱	۴	۱-۴	۴		
مناطق چهارگانه تحت حمایت	۴	۴	۱-۴	۴-۱	۴	۱-۴	۴		
زیستگاه‌های ویژه	۴	۴	۱-۳	۳-۱	۴	۱-۳	۳-۱	۴	
حاصل ضرب امتیازات خطر محصول، حساسیت پراکنش و حساسیت اکولوژیک		۳۱۶-۳۱۲۰							



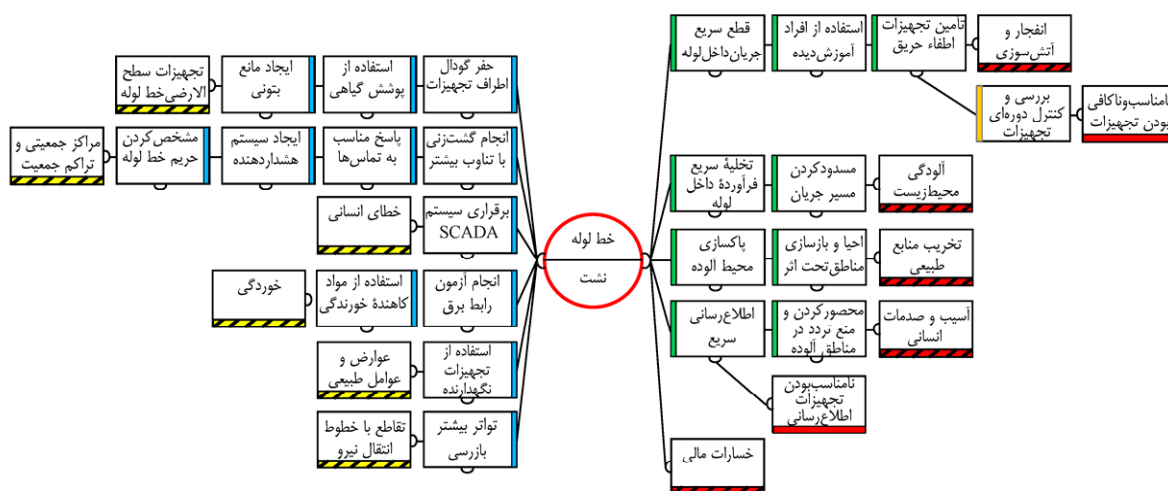
نقشه ۲. پهنه‌بندی امتیازات و طبقات ریسک

وقوع نشت وجود دارد. پیامدهای حاصل از نشت به ویژگی‌های ماده انتقال‌شده و نوع و میزان نشت بستگی خواهد داشت. نشتی‌ها ممکن است به صورت ناگهانی و بزرگ، در اثر شکست خط لوله (برای مثال در اثر برخورد تجهیزات کشاورزی و نظایر آن با خط لوله) یا به صورت نشتی‌های کوچک و تدریجی، در اثر به وجود آمدن سوراخ و شکاف در لوله حامل فرآورده (برای مثال سوراخ‌ها و شکاف‌هایی که در اثر فرسودگی و خوردگی در لوله ایجاد

لوله ناشی از نشت احتمالی مواد از داخل لوله به محیط اطراف است، نشت فرآورده در نظر گرفته شده است. عوامل تهدیدکننده شناسایی شده در این مطالعه عبارت‌اند از: تجهیزات سطح‌الارضی خط لوله، مراکز جمعیتی و تراکم جمعیت، خطای انسانی، خوردگی، عوارض و عوامل طبیعی، مجاورت و تقاطع با خطوط انتقال نیرو. به‌رغم تمام پیشگیری‌ها و پیش‌بینی‌هایی که برای جلوگیری از بروز نشت در سیستم مشخص و اعمال می‌شود، همواره احتمال

تهدیدکننده پروژه و راهکارهای پیشنهادی برای کنترل و کاهش پیامدهای حاصل از وقوع نشت از مدل پایونی بهره گرفته شده است.

شکل ۴ مدل پایونی ترسیم شده برای مدیریت ریسک محیط زیستی خط لوله انتقال فرآورده بندرعباس-سیرجان را نشان می دهد.



شکل ۴. مدل پایونی مدیریت ریسک محیط زیستی خط لوله انتقال فرآورده بندرعباس-سیرجان

مناسب نسبت به تماس ها، ایجاد سیستم هشدار دهنده استاندارد در طول مسیر، مشخص کردن حریم و موقعیت خط لوله با علائم و نوار هشدار دهنده، برقراری سیستم SCADA، کنترل خوردگی لوله ها با استفاده از مواد کاهنده و جلوگیری کننده از خوردگی و انجام آزمون رابطه برق، استفاده از تجهیزات نگهدارنده در مناطق با پتانسیل بالای جابه جایی خاک و بازرسی سیستم حفاظت کاتدی به منظور کسب اطمینان از صحت عملکرد آن به خصوص در نقاط تقاطع خط لوله با خطوط انتقال برق فشار قوی.

اقدامات پیشگیرانه پیشنهاد شده برای هر یک از تهدیدات در سمت چپ مدل پایونی، به شکل مستطیل هایی با نوار آبی در بین تهدید مربوطه و رویداد اصلی مشخص شده اند. سمت راست نمودار نیز شامل پیامدهای احتمالی حاصل از بروز نشت فرآورده است که در مستطیل هایی با هاشور قرمز و مشکی نشان داده شده اند.

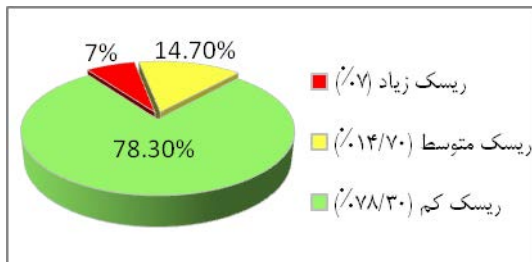
می شوند) رخ دهند. پیامدهای مهمی که از نشت فرآورده های نفتی در تحقیق حاضر متصور است عبارت اند از: انفجار و آتش سوزی، آلودگی محیط زیست، خسارات مالی، صدمات و آسیب های انسانی و تخریب منابع طبیعی. به منظور معرفی عوامل مؤثر پیشنهادی برای پیشگیری و کاهش احتمال بروز ریسک ناشی از اثر هر یک از عوامل

در این مدل خطر و رویداد اصلی بهره برداری از خط لوله و نشت فرآورده در مرکز نمودار و در قالب یک دایره نشان داده شده است. سمت چپ نمودار شامل عوامل و فعالیت هایی است که به منزله تهدید در طرح شناسایی شده اند و در صورت وقوع به بروز رویداد اصلی (نشت فرآورده) منجر می شوند. تهدیدها در نمودار به صورت مستطیل هایی با هاشور زرد و مشکی مشخص شده اند.

از جمله اقدامات مؤثر در این تحقیق که برای جلوگیری از وقوع هر یک از تهدیدها پیشنهاد شده اند عبارت اند از: حفاظت از تأسیسات سطح الارضی خط لوله از طریق ایجاد مانع بتنی، پوشش گیاهی و حفر گودال در اطراف تأسیسات، گشت زنی و بازرسی با تناوب بیشتر به ویژه در نقاط با تراکم بالای جمعیت که پتانسیل تخریب ناشی از فعالیت ها، مداخلات شخص ثالث و پتانسیل آسیب پذیری جوامع انسانی بیشتر است، عکس العمل

و کاربردی در ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال نفت و گاز است، و برای انجام مدیریت ریسک محیط‌زیستی از روش پایبونی استفاده شد.

یافته‌های پژوهش در خصوص شناسایی و ارزیابی ریسک محیط‌زیستی نشان داد که دو زیرشاخص پتانسیل تخریب عوامل ثالث و طراحی (سطح بالای فعالیت در منطقه، پتانسیل بالای جابه‌جایی خاک و ...) بیشترین سهم را در بروز ریسک پروژه دارند. امتیاز نهایی ریسک این پروژه نیز در بازه ۰/۰۸ تا ۰/۶۲ قرار دارد که به منظور سهولت مدیریت ریسک، در ۳ سطح ریسک کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد. همچنین بر اساس پهنه‌بندی طبقات امتیاز ریسک مشخص شد که ۷٪ از مسیر خط لوله واجد پتانسیل ریسک زیاد است. در نمودار ۱ سهم سطوح مختلف ریسک در طول مسیر خط لوله بر حسب درصد نشان داده شده است.



نمودار ۱. سهم سطوح مختلف ریسک در طول مسیر خط لوله بر حسب درصد

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر مطالعات مشابه انجام شده در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک طرح‌ها و پروژه‌های خطوط انتقال نفت و گاز، تشابه و تفاوت‌هایی در نتایج تحقیق حاضر با سایر مطالعات مشابه را نمایان می‌کند. از دلایل اختلاف در نتایج می‌توان به متفاوت بودن روش‌های مطالعاتی و بهره‌گیری از روش‌های متنوع کمی و کیفی در مطالعات گوناگون، متفاوت بودن ماهیت سیال منتقله، همچنین متفاوت بودن ویژگی‌های محیطی محدوده‌های مطالعاتی اشاره کرد.

نتیجه تحقیق در زمینه شناسایی عوامل مؤثر در بروز ریسک پروژه نشان داد، دو زیرشاخص تخریب عوامل ثالث و طراحی سهم عمده‌ای در پتانسیل ریسک پروژه

میان پیامدها و رویداد اصلی نیز مستطیل‌هایی با نوار سبز که شامل اقدامات بازیابی و اصلاحی پس از وقوع رویداد اصلی اند قرار دارند. قطع سریع جریان داخل لوله، استفاده از افراد آموزش دیده و مجهز به تجهیزات ایمنی در اطفای حریق، پیش‌بینی و فراهم کردن تجهیزات مناسب برای اطفای حریق، مسدود کردن مسیر جریان فرآورده، تخلیه سریع فرآورده داخل لوله، احیا و بازسازی مناطق آسیب دیده، پاکسازی محیط آلوده، محصور کردن و منع آمد و شد در مناطق آلوده تا رفع آلودگی و خطر و اطلاع‌رسانی سریع به جوامع انسانی در منطقه تحت اثر اقدامات پیشنهاد شده به منظور کاهش شدت آثار بروز ریسک‌اند که در این مدل اقدامات بازیابی نامیده شده‌اند. نامناسب و ناکافی بودن تجهیزات اطفای حریق و نامناسب بودن تجهیزات اطلاع‌رسانی نیز باعث ناکارآمدی اقدامات بازیابی مربوطه می‌شوند که در این مدل در قالب مستطیل‌هایی با نوار قرمز مشخص و با خط مورب به اقدام بازیابی مربوطه متصل شده‌اند. اقدام مؤثر پیشنهادی برای جلوگیری از بروز شرایط نامناسب و ناکافی بودن تجهیزات اطفای حریق نیز در مقابل عامل شکست با نوار نارنجی نمایش داده شده و عبارت از بررسی و کنترل دوره‌ای تجهیزات موجود است.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از مدل پایبونی می‌توان به اهداف مدیریت ریسک از جمله اعمال مدیریت به صورت پیش از وقوع به جای مدیریت پس از وقوع، تعیین کفایت کنترل‌های موجود یا طرح‌ریزی شده برای پیشگیری از بروز حادثه، تعیین کفایت کنترل‌های موجود یا طرح‌ریزی شده برای حوادث پس از وقوع حادثه و سهولت تصمیم‌گیری در مورد لزوم و عملی بودن رویه‌های اجرایی و ارتباط آن‌ها با ریسک‌های موجود دست یافت.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک محیط‌زیستی خط لوله انتقال فرآورده‌های بندرعباس- سیرجان از روش سیستم شاخص‌گذاری، که روشی جامع

میزان ریسک در مقاطع مختلف مسیر بهره گرفته شد. شباهت میان دو تحقیق نیز بررسی عوامل فنی و محیطی مشابه برای شناسایی عوامل مولد ریسک و توجه به ابعاد محیط‌زیستی حوادث خطوط لوله است. همچنین در هر دو تحقیق به منظور اولویت‌بندی مقاطع مختلف خط لوله، از نظر انجام عملیات پایش و اقدامات کاهش‌دهنده ریسک، میزان ریسک در سه سطح ریسک کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شده است که این امر تأییدکننده اهمیت و سودمندی این اقدام برای مدیریت ریسک است.

در این مطالعه نتیجه مدیریت ریسک نیز که شامل شناسایی و معرفی کلیه راهکارها و اقدامات مؤثر در کاهش احتمال بروز ریسک و آثار پس از وقوع آن می‌شود، به تفکیک و با توجه به عامل تهدیدکننده و نوع پیامد احتمالی در قالب مدل پایبونی ارائه شد. مشخص کردن تمایز میان موانع پیشگیرانه و واکنشی برای حذف یا کاهش آثار بروز ریسک یک حادثه خاص و قابلیت‌های روش پایبونی در ساده‌سازی تعیین و تشخیص عوامل علت و معلولی، همچنین خلاصه‌سازی و تبدیل مقدار زیادی از داده‌های کمی به تعداد نسبتاً کمی از سناریوهای رایج از ویژگی‌های مفید این روش است که در تحقیقات جاسینتو ( Jacinto, 2010) و مختاری (Mokhtari, et al., 2010) به آن‌ها اشاره و تأیید شده است. در نتیجه می‌توان رویکرد پایبونی را شیوه‌ای مؤثر برای ارائه و ابلاغ ریسک پروژه و مدیریت آن دانست که برای تمامی سطوح مسئولان و کارکنان پروژه قابل درک است.

#### یادداشت

- 1- Health Safety and Environment
- 2- Geographical Information System
- 3- Utility Location and Coordination Council of America
- 4- Local Utility Location and Coordinating Councils
- 5- Supervisory Control and Data Acquisition
- 6- Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act
- 7- Relative Risk Score
- 8- Index sum
- 9- Leak Impact Factor
- 10- International Programme on Chemical Safety

دارند که مشابه نتیجه سایر مطالعات انجام‌شده در خصوص ارزیابی و مدیریت ریسک خطوط لوله انتقال نفت و گاز از جمله تحقیق جباری قره‌باغ ( Jabbari Gharabagh, et al., 2009) است که با استفاده از روش سیستم شاخص‌گذاری به انجام رسیده است. حاصل تحقیق یانگ دو جو (Jo, 2005) نیز سهم و نقش زیاد پتانسیل تخریب عوامل ثالث در بروز ریسک پروژه‌های خطوط لوله را نشان می‌دهد و تأییدکننده نتایج این تحقیق است.

از دیگر نتایج این تحقیق نقشه‌سازی و اختصاص ارزش عددی به سلول‌های رستری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 به منظور مقایسه میزان ریسک در بخش‌های مختلف خط است. این یافته نیز هم‌سو با نتایج مطالعه جعفری و همکارانش (۱۳۸۸) است که معتقدند مسئولان مدیریتی می‌توانند با توجه به نقشه‌های رتبه‌بندی ریسک و استفاده از نقشه‌های هم‌مقیاس با نقشه‌های رتبه‌بندی ریسک به مدیریت و اولویت‌بندی اقدامات کنترلی و اصلاحی بپردازند. نقشه‌سازی و پهنه‌بندی ریسک، تفاوت و مزیت این تحقیق بر تحقیق جباری قره‌باغ به شمار می‌آید، که به‌رغم به کارگیری روش یکسان (سیستم شاخص‌گذاری) در ارزیابی ریسک، نقشه‌سازی و مکان‌دارکردن ریسک پروژه، که نقش بسزایی در ابلاغ و مدیریت ریسک دارد، در نتیجه کار ایشان صورت نگرفته است.

تحقیق حاضر با تحقیق بریتو ( Brito, 2010) نیز تشابه و تفاوت‌هایی دارد. تفاوت به سبب اختلاف در روش انتخابی برای مطالعه عوامل مؤثر در بروز ریسک در مقاطع مختلف خط لوله است. بریتو در تحقیق خود برای بررسی میزان ریسک در بخش‌های مختلف مسیر، خط لوله را با توجه به عوامل فنی مختلف از جمله فشار، ویژگی‌های خاک، درجه دخالت‌های شخص ثالث و ... به ۱۲ بخش مختلف تقسیم و عوامل مؤثر در بروز ریسک را در هر مقطع از خط لوله به طور جداگانه بررسی کرده است. در حالی که در این تحقیق از نقشه‌سازی و روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی به منظور مشخص کردن



## منابع

- آریش، ا.، اکبرپور شیرازی، م.، سیداصفهان‌ی، م. ۱۳۸۸. «ارائه مدل تصمیم‌یار مبتنی بر مورد در برنامه‌ریزی پاسخ‌های ریسک»، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۰، شماره ۳.
- جباری قره‌باغ، م. و همکاران. ۱۳۸۸. «ارزیابی و مدیریت ریسک خطوط لوله ارتباطی پتروشیمی»، نشریه مهندسی صنایع دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره ۴۳، شماره ۱، ص ۱۳-۲۳.
- جعفری، ح.، نژادی، ا.، عبیری جهرمی، ا. ۱۳۸۸. «ارزیابی ریسک سایت‌های صنعتی منطقه عسلویه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی»، مجله محیط‌شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۴۹.
- عباسپور، م. و همکاران. ۱۳۸۸. «بررسی خطرها و ارزیابی ریسک HSE فازهای ساخت تا تولید پروژه‌های صنعت نفت و گاز (مطالعه موردی شرکت پتروپارس)»، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره یازدهم، شماره ۳.
- فردوسی، س.، قدوسی، ف. ۱۳۸۴. «ارزیابی آثار زیست‌محیطی «تجارب، تنگناها و روند آینده». انتشارات دایره سبز.
- محمدفام، ا.، کیانفر، ع. ۱۳۸۹. «کاربرد تکنیک مطالعه عملیات و خطر (HAZOP) در ارزیابی خطرات ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی (مطالعه موردی: انبار نفت شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی)»، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره دوازدهم، شماره ۱.
- معمدزاده، م.، محمدفام، ا.، حمیدی، ی. ۱۳۸۸. «ارزیابی ریسک بهداشت، ایمنی و زیست‌محیطی با روش شاخص‌گذاری: مطالعه موردی خط لوله نفت کرمانشاه-سندج». فصلنامه سلامت کار ایران، دوره ششم، شماره ۳.
- مهندسان مشاور رویان. ۱۳۸۸. گزارش ارزیابی آثار زیست‌محیطی خط لوله ۲۶ انتقال فرآورده بندرعباس-سیرجان-رفسنجان.
- نوری، ج.، عباسپور، م.، ترابی‌فرد، م. ۱۳۸۹. «ارزیابی و مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی یک واحد آموزشی با استفاده از روش FMEA». علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره دوازدهم، شماره ۳.
- Bajcar, T., et al. 2008. *Quantification of impact of line markers on risk on transmission pipelines with natural gas*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 21:613-619.
- Brito, A.J., et al. 2010. *A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory*, European Journal of Operational Research, 200: 812-821.
- Cockshott, J.E. 2005. *Probability Bow-Ties a transparent risk management tool*, Process Safety and Environmental protection, 83(B4): 307-316.
- Contini, S., et al. 2000. *The use of geographic information systems in major accident risk assessment and management*, Journal of Hazardous Materials, 78: 223-245.
- Dey, P.K. 2002. *An integrated assessment model for cross-country pipelines*, Environmental Impact Assessment Review, 22: 703-721.
- Dunckley, C. 2008. *Risk management techniques*, ALARM South East. (Available online at [www.alarm-uk.org](http://www.alarm-uk.org)).
- Dziubinski, M., M., Fraczak, A.S., Markowski. 2006. *Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines*, Journal of Loss Prevention in the process industries, 19: 399-408.
- Han, Z.Y., W.G., Weng. 2010. *an integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network*, Journal of Loss Prevention in the process industries, 23: 428-436.
- ILO. 2011. *International Chemical Safety Cards (ICSC)*. (Available online at [www.ilo.org/dyn/icsc](http://www.ilo.org/dyn/icsc)).
- Jabbari Gharabagh, M., et al. 2009. *Comprehensive risk assessment and management of petrochemical feed and product transportation pipelines*, Journal of Loss Prevention in the process industries, 22: 533-539.
- Jacinto, C., C., Silva. 2010. *A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation*, Safety Science, 48: 973-979.
- Jo, Y.D., B.J., Ahn. 2005. *A method of quantitative risk assessment for transmission pipeline carrying natural gas*, Journal of Hazardous Materials, A123: 1-12.

- Keey, R.B. 2003. *An Australasian view*, Trans IChemE, 81(B): 31-35.
- Lahr, J., L., Kooistra. 2010. *Environmental risk mapping of pollutants: State of the art and communication aspects*. Science of the Total Environment, 408: 3899-3907.
- Markowski, A.S., A., Kot ynia. 2010. "Bow-tie" model in Layer of Protection Analysis, Process Safety and Environment Protection.
- Mokhtari, K., et al. 2010. *Application of a generic bow-tie based risk analysis framework on risk management of sea ports and offshore terminals*, Journal of Hazardous Materials, doi:10.1016/j.jhazmat.2011.05.035.
- Muhlbauer, W.K. 2004. *Pipeline Risk Management Manual*, ideas, techniques and resources, Gulf professional publishing, united state of America, Third Ed.
- Restrepo, C.E., J.S., Sim onoff, R., Zimmerman. 2009. *Causes, cost consequences, and risk implications of accidents in US hazardous liquid pipeline infrastructure*, International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2: 38-50.
- Tixier, J., et al. 2002. *Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants*, Journal of Loss Prevention in Process Industries, 15 PP. 291-303.
- Trbojevic, V.M., 2008. *Optimizing hazard management by workforce engagement and supervision*, Risk support limited for the Health and Safety Executive. (Available online at [www.risk-support.co.uk](http://www.risk-support.co.uk)).
- Ying, X., et al. 2007. *Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality- A case study of Hunan Province, China*, Ecological Modelling, 209: 97-109.