



کاربرد مدل STPA-BWM جهت ارزشیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز میدان نفتی آذر با تکیه بر قابلیت اطمینان

گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

بهاره لاله آهی زاده
حسن میهن پرست
سیمین دخت زینالی
فرهام امین شرعی*
مجید افشار

چکیده مبسوط

مقدمه: اهمیت نفت و گاز در جهان از زمان اکتشاف آن ها تاکنون هم از بعد تولید انرژی، هم از لحاظ تأمین مواد اولیه مورد نیاز برای تولید کالاهای صنعتی بر هیچ کس پوشیده نیست. با توجه به گستردگی خطوط در مناطق مختلف تأسیساتی و یا حتی مسکونی و همچنین پتانسیل بالای آسیب پذیری، ایمنی خطوط لوله از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

مواد و روش ها: در این پژوهش (مطالعه موردی شرکت راه اندازی و بهره برداری صنایع نفت - پروژه میدان نفتی آذر واقع در استان ایلام) به بررسی عامل های مربوط به آتش سوزی و انفجار در این خطوط براساس تجزیه و تحلیل فرآیند تئوری سیستم یکپارچه BWM-STPA پرداخته شده است.

نتایج و بحث: پس از تکمیل شدن پرسشنامه به معیارها (ایمنی، بازرسی فنی، پدافند غیر عامل، طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری) وزن داده شد که مشخص شد که سوال ۱۶ پرسشنامه مربوط به معیار بازرسی فنی دارای بیشترین وزن که میانگین آن ۴/۵۲ و سوال ۹ پرسشنامه مربوط به پدافند غیر عامل دارای کمترین وزن است که میانگین آن ۳/۰۵ می باشد. بهترین معیار بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیر عامل می باشد. روش STPA - BWM به طور موثر خطرات شناسایی شده را رتبه بندی می کند و نشان می دهد عامل بازرسی فنی شدیدترین خطر در خط لوله گاز است. به دنبال آن نشست در خط لوله گاز، انفجار و آتش سوزی اتفاق می افتد. کمی شدن خطرات با استفاده از روش BWM کمک شایانی در انجام اقدامات کنترلی برای اقدامات نا ایمن U3-U11-U15-U16-U17-U20 دارد، چون وزن بالاتری نسبت به بقیه دارند.

واژه های کلیدی: ارزشیابی -
خط لوله - قابلیت اطمینان -
ریسک - میدان نفتی آذر -
STPA-BWM

نتیجه گیری: در نتیجه ۷ اقدام کنترلی (CA) و ۲۰ اقدام کنترلی نا ایمن (UCA) و ۴ سناریو شناسایی تعریف شده است. ارزیابی خطر کمی و کیفی خط لوله گاز میدان نفتی آذر مبنایی برای افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان آن را فراهم می کند. در نتایج بدست آمده، پیشنهاد می شود که آموزش های مداوم برای کارکنان در زمینه ایمنی و رعایت دستورالعمل ها ارائه شود. سیستم های بازرسی و کنترل به طور منظم مورد بازبینی قرار گیرند. بر روی بهبود کیفیت مواد و تجهیزات استفاده شده در خطوط انتقال گاز تمرکز شود.

نویسنده مسئول: فرهام امین شرعی

نشانی: گروه، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

پست الکترونیکی: aminsharei.fa@gmail.com

تلفن: ۰۹۱۷۵۷۱۷۱۲۸

استناد: لاله آهی زاده بهاره، میهن پرست حسن، دخت زینالی سیمین، افشار مجید. کاربرد مدل STPA-BWM جهت ارزشیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز میدان نفتی آذر با تکیه بر قابلیت اطمینان. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ (۷): ۴۳-۲۹.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

با توجه به اینکه 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. ارزیابی ایمنی جامع یک سیستم خط انتقال گاز با استفاده از تجزیه و تحلیل فرآیند تئوری سیستم یکپارچه (BWM-STPA) یک روش کارآمد برای شناسایی و رفع خطرات احتمالی است. این روش ترکیبی از دو روش تفکیک و تحلیل هسته‌ای برای بهبود ایمنی سیستم است. در این روش، ابتدا با استفاده از تفکیک وزنی BWM، عوامل خطرناک و اهمیت آنها مشخص شده و وزن‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از روش تحلیل ریشه علت (STPA)، رویدادهای ایمنی مخاطرات محتمل که می‌توانند منجر به حوادث ناخواسته شوند شناسایی و تحلیل می‌شوند (چاکرون و همکاران ۲۰۱۴). پژوهش حاضر به منظور ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از تکنیک BWM-STPA برای خطوط انتقال نفت و گاز میدان نفتی آذر انجام شد. خطوط لوله و تجهیزات فرآیندی و مخازن فرآورده‌های نفتی به دلیل ذخیره‌سازی و انتقال حجم بالایی از فرآورده‌های نفتی که دارای ریسک بالایی از خطرات ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی‌اند از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشند بدیهی است که آتش‌سوزی، انفجار و وجود نشتی از این منابع از لحاظ زیست‌محیطی و ایمنی دارای حساسیت بالایی بوده و خطرات زیادی را برای مجموعه کارکنان شاغل در این سایت، محیط‌زیست، و مناطق مسکونی و روستاهای مسیر انتقال خطوط انتقال ایجاد می‌نماید. موارد ذکرشده به اندازه کافی بیانگر بحرانی بودن موضوع و نیاز به بکارگیری ایمنی پیشگیرانه در ارتباط با سیستم‌های موجود می‌باشد. همواره بیم آن می‌رود که حوادث و وقایع دردناک ناشی از کار، خسارات جبران‌ناپذیری به بار آورد. حوادث بر اثر فقدان نظم و انضباط در کار، نقص دستگاه‌ها، بی‌دقتی و سهل‌انگاری، عدم هماهنگی و سازش جسمی یا روانی کارگر با نوع کار، طرز کار خطرناک و امثال آن به‌وجود می‌آیند. واقعیت انکارناپذیر آن است که به‌رغم پیشرفت تکنیک و تکنولوژی، جلوگیری از حوادث به‌طور صددرصد و کامل اجتناب‌ناپذیر بوده و نمی‌توان حوادث را از صفحه زندگی بشر به طور کامل حذف کرد و باید در جهت کاهش آن‌ها تلاش کرد (کریمی و همکاران ۱۳۹۸). میدان نفتی آذر با بهره‌مندی از تأسیسات جانبی واحد فرآورش مرکزی (CPF) در آستانه دستیابی به ظرفیت تولید ۶۵ هزار بشکه نفت در روز است. طبیعتاً شناسایی

و ارزیابی مخاطرات فرآیندی این میدان نفتی می‌تواند کمک شایان‌توجهی در جهت ارزیابی مخاطرات نماید. روش مورد استفاده در این پژوهش استفاده از تکنیک BWM-STPA برای ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز خواهد بود لذا در این پژوهش قصد داریم تا به ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز بپردازیم. در مطالعه‌ای که توسط باقری و همکاران (۱۳۹۲) صورت گرفت 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. ام آرسو وینیسیوس پیرا مونیز و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی یک مطالعه موردی را شرح می‌دهند، از روش پاپیون برای ارائه تحلیلی از اثربخشی کنترل‌های موجود در خطوط لوله و ارائه درک بهتر استفاده شد، عمدتاً به اپراتورها و جامعه، به‌عنوان خطرات خط لوله و کنترل آن‌ها، با ارائه یک نمودار رابط مورد بررسی قرار گرفت. ادیب و همکاران (۲۰۱۸) مقاله‌ای درخصوص فاصله ایمنی اطراف خطوط لوله گاز با استفاده از عدد، مواد و روش‌ها انجام دادند. یو و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی بر اساس مدل ارزیابی ریسک مبتنی بر چارچوب ارزیابی کمی ریسک بر اساس AHP و دانش تخصصی انجام دادند. در نتیجه، یک مدل ارزیابی ریسک با فاصله زمانی برای فرآیند تعمیر و نگهداری خط لوله خشکی ایجاد کردند. سلیمان و همکاران (۲۰۱۹) مقاله‌ای را بیان کردند که در آن سیستم‌ها می‌توانند به افراد و سازمان‌های بیشتری آسیب بزنند. روش‌های تحلیل ریسک و خطر این مقاله مقایسه کیفی دو مورد را ارائه می‌کند روش‌های تحلیل خطر، تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA) و تئوری سیستم تجزیه و تحلیل فرآیند (STPA)، با استفاده از روش تحقیق مطالعه موردی. سلطانا و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای که به چاپ رساندند توضیح دادند که این مقاله برای ارزیابی امکان‌سنجی استفاده از STPA در کاربردهای صنعت فرآیند نوشته شده است. در تحقیقی که توسط بنهملاوی و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفت دو روش STPA و پاپیون، برای شناسایی خطر در حمل‌ونقل خط لوله، به‌طور دقیق‌تر یک خط لوله میعانات، در منطقه SKIKDA، استفاده شد. در تحقیقی که توسط احمد زاده یوسف (۱۳۹۹) صورت گرفته است که در زمینه محاسبات ابری، انتخاب بهترین ارائه‌دهنده خدمات ابری (CSP) برای مشتریان چالشی پیچیده است. یک رویکرد جدید MCDM پیشنهاد شده که بر اساس TOPSIS و BWM عمل می‌کند و با ترجیحات نسبی، موثرتر از روش‌های سنتی مانند AHP است. این رویکرد با استفاده از یک سناریو آزمایش شده و نشان داده

شبیه‌سازی نشت گاز در خطوط لوله بر اساس تئوری زنجیره مارکوف انجام دادند. نشت خطوط لوله گاز می‌تواند منجر به آتش‌سوزی، انفجارها و مسمومیت گازی شود که منجر به آسیب‌ها و خسارات مالی می‌شود. پارسا راد و همکاران (۲۰۲۴) مطالعه‌ای انجام دادند که از یکی از موضوعات مهم در پروژه‌ها و سازمان‌ها در حوزه پایین‌دستی نفت، گاز و پتروشیمی‌ها بود، هدف این مقاله بررسی و بهبود انتخاب تأمین‌کننده بود. برای این منظور، مجموعه فازی تئوری و اعداد خاکستری در نظر گرفته شد. ابتدا معیارها با قضاوت کارشناسی تعیین شد. سپس، روش فازی بهترین - بدترین (FBWM) برای رتبه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. کاروان و نادو (۲۰۲۴) روش پیشنهادی از رویکرد تحلیل فرآیند نظریه‌ای سیستم (STPA) برای شناسایی فعال خطرات استفاده کردند، در حالی که از قدرت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای محاسبه دقیق و بهینه‌سازی ریسک‌ها، از جمله خطرات مربوط به خطاهای انسانی استفاده می‌شود.

با توجه به اینکه افزایش ایمنی در محیط کار و پیرامون آن تأثیر بسزایی بر روی سلامت انسان، تجهیزات و محیط‌زیست داشته و می‌تواند از نظر روحی و روانی تأثیر مثبتی بر روی افراد داشته باشد، لذا در این پژوهش به ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از تکنیک BWM-STPA پرداخته شده است. با توجه به اینکه قبلاً در زمینه ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز میدان نفتی آذر با استفاده از تکنیک BWM-STPA تحقیقی صورت نگرفته است و در این زمینه خلاء پژوهشی وجود دارد نتایج این پژوهش می‌تواند این خلاء پژوهشی را برطرف نماید.

هدف از این پژوهش ارزیابی ایمنی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از تکنیک BWM-STPA می‌باشد. روش STPA-BWM می‌تواند خطرات را به صورت کمی و کیفی تجزیه و تحلیل کند و مبنای قابل اعتمادی برای پیشگیری از حوادث را فراهم کند.

که عملکرد بهتری از AHP دارد. دویدی و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای تحت عنوان "ارزیابی عملکرد یک شرکت بیمه با استفاده از مدل کارت امتیازی متوازن - بهترین بدترین روش (BWM) انجام دادند. شهبازخان و همکاران (۲۰۲۲) در یک تحقیق در مورد موانع فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین مواد غذایی با استفاده از ارزیابی ریسک BWM کار کرده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که موانع فناوری و سازمانی مهم‌ترین موانع برای پیاده‌سازی بلاک‌چین هستند. لی آوهو و لیو سی (۲۰۲۲) پژوهشی با عنوان روش تحلیل آسیب‌پذیری بر اساس ارزیابی ریسک برای قابلیت‌های انتقال گاز شبکه‌های خط لوله گاز طبیعی انجام دادند که ریسک-آسیب‌پذیری اجزای حیاتی یک شبکه خط لوله را از سه منظر شناسایی می‌کند: وضعیت عملیاتی خط لوله، عملکرد انتقال و ویژگی‌های شبکه، فرمول ارزش اهمیت هر جزء ایجاد شد. سپس شاخص‌های ریسک مؤلفه ایجاد شد و مقادیر ریسک مؤلفه محاسبه شد. ادیان و سکروسیداس (۲۰۲۲) تحقیقی انجام دادند که هدف از آن مطالعه شناسایی و اولویت‌بندی حریق و انفجار می‌باشد. خطرات در بخش میانی صنعت نفت و گاز بالا است و برای این منظور علل شایع آتش‌سوزی و انفجار برای انجام اقدامات پیشگیرانه یا راهبردهای کاهش ارزیابی شدند. برای اولویت‌بندی عوامل خطر آتش‌سوزی و انفجار در بخش میانی صنعت نفت و گاز، یک چارچوب ارزیابی ریسک جدید که شامل بهترین و بدترین روش (BWM) و مقایسه منطقه تقریبی مرزی چند اسنادی فازی تصویری (PFMABAC) روش مبتنی بر تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA) پیشنهاد شد. رائی حق و همکاران (۲۰۲۳) پژوهشی را تحت عنوان به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی در ارزیابی ریسک خطوط لوله گاز ترش انجام دادند، در این مقاله، از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت و ارائه‌ی مدلی جهت ارزیابی ریسک خطوط لوله استفاده شده است. فنگ و همکاران (۲۰۲۴) مطالعه‌ای را در مورد ارزیابی خطر و

مواد و روش‌ها

روش STPA¹ یک روش تحلیلی است. این روش توسط دکتر وستن سپرون مطرح و در اواخر دهه ۱۹۹۰ به عنوان یک روش نوین برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و خطرناک معرفی کرد. استفاده از STPA در تحلیل ایمنی سیستم‌ها و فرآیندها، می‌تواند

به تشخیص و پیشگیری از وقوع حوادث و خطرات مربوط به عملکرد سیستم کمک کند. STPA از الگوریتم‌های نوین و شیوه‌های مدل‌سازی پیچیده برای تحلیل ریشه حوادث استفاده می‌کند. مراحل اصلی روش STPA عبارتند از:

¹ System-Theoretic Process Analysis

۱- تعریف سیستم: در این مرحله، سیستم تعریف می‌شود و اجزای آن، فرآیندها و تعاملات بین اجزای سیستم شناسایی می‌شوند.

۲- تعیین مدل هدف: تعریف موضوعی که قرار است تجزیه و تحلیل شود و به‌عنوان هدف اصلی STPA تعیین می‌شود.

۳- تعیین مرزها و حدود: شناسایی و نظارت بر حدود و مرزهای سیستم برای جلوگیری از وقوع خطرات و خطاها انجام می‌شود.

۴- تشخیص حالات خطرزا: با استفاده از روش STPA، حالاتی که ممکن است به وقوع خطرات و خطاها منجر شوند شناسایی می‌شوند.

۵- تعیین علایم حالات خطرزا: در این مرحله، علایم و نشانه‌هایی که به‌وجود آمدن حالات خطرزا را نشان دهند شناسایی و توصیف می‌شوند.

۶- تشخیص کنش‌ها و تعداد اعمال: به داده‌های ورودی و اعمالی که ممکن است حالت خطرآفرین را ایجاد کنند توجه شده و آن‌ها شناسایی می‌شود.

۷- ارزیابی و تحلیل: در این مرحله، ارتباط بین حالت‌های خطرزا و علامت‌های آن‌ها با کنش‌ها بررسی شده و ارتباطات غیرمستقیم نیز مورد تحلیل قرار گرفته تا بشود از وقوع خطرات جلوگیری کرد.

۸- طراحی و اجرای تدابیر محافظتی: پس از شناسایی و تحلیل خطرات و خطاها، اقدامات محافظتی و اصلاحی طراحی و اجرا می‌شود تا سیستم را برای جلوگیری از وقوع خطرات بهبود بخشد (ویلونوس و همکاران ۲۰۰۸). روش بهترین - بدترین (BWM) بر اساس تکنیک‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تصمیم‌گیری چندشاخصه (MCDM) استوار است و برای اولین بار در دهه ۱۹۸۰ میلادی معرفی شد. (دنگ و همکاران ۲۰۰۶).

روش (Best Worst Method) BWM یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌ها در مسائل

تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در روش BWM، ابتدا یک مجموعه از معیارها یا ویژگی‌ها انتخاب می‌شوند که بیانگر اهمیت یا وزن هر کدام از این معیارها در تصمیم‌گیری است. سپس برای هر معیار، شرکت‌کنندگان باید یک گزینه به عنوان بهترین و دیگر گزینه‌ها را به عنوان بدترین انتخاب کنند، که به این دلیل این روش به Best Worst Method شهرت دارد. براساس انتخاب‌های شرکت‌کنندگان، وزن هر معیار بر اساس اهمیت آن‌ها در تصمیم‌گیری محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از این وزن‌ها، گزینه‌ها بر اساس معیارها و اهمیت‌هایشان رتبه‌بندی می‌شوند. این روش شامل ۶ گام می‌باشد که در ادامه توضیح داده شده است. در این مطالعه، BWM با STPA ترکیب شده است. BWM برای تجزیه و تحلیل کمی سلسله مراتبی خطرات سیستماتیک و مخاطرات فرعی شناسایی شده توسط STPA استفاده می‌شود. STPA-BWM بهبود یافته را می‌توان برای ارزیابی کیفی و کمی ایمنی سیستم استفاده کرد و درک شهودی بیشتری از خطرات درون سیستم را تسهیل می‌کند. معرفی پروژه مورد مطالعه: میدان نفتی آذر یکی از میدان‌های نفتی کشور ایران می‌باشد. این میدان نفتی واقع در استان ایلام می‌باشد. میزان نفت قابل استحصال از این میدان ۴۰۰ میلیون بشکه نفت برآورد می‌شود. همچنین میزان گاز تولیدی حدود ۷۸ میلیون فوت مکعب در روز می‌باشد.

تأسیسات فرآورش مرکزی^۱ (CPF): در سایت CPF روی نفت خام نمک‌زدایی صورت و سپس در واحد مذکور نفت شیرین‌سازی، H_2S که یک گاز ترش سمی است و مقدار این گاز در این میدان بسیار بالاست جدا شده و محصولات نهایی تولید می‌شود. اکثر چاه‌ها در اطراف مخزن نفتی قرار دارند.

¹ Central Processing Facility



شکل ۱- تأسیسات مرکزی فرآورش (CPF)

می‌شود. در مسیر این خط لوله تعداد ۱۶ ایستگاه LBV نیز استقرار یافته است. در این پژوهش که از روش STPA استفاده شده است گام‌های زیر مورد بررسی و اجرا قرار گرفت:

گام اول: در این پژوهش از روش STPA استفاده شده است که در گام نخست سیستم خطوط انتقال گاز با U که نماد شناسایی اقدامات ناایمن از جمله وجود خطاهای انسانی، شرایط عملیات نامناسب، خرابی تجهیزات و غیره) در جدول مشخص و برای هر یک از آن‌ها وزن‌دهی شده است. در این شناسایی اقدامات ناایمن تعداد ۲۰ مورد که با حرف U مشخص شد. جدول ۱ هدف از تجزیه و تحلیل را نشان می‌دهد.

تأسیسات مرکزی فرآورش (CPF) درواقع کارخانه اصلی ورود، شیرین‌سازی، ذخیره و ارسال نفت خام و گازی است که از چاه به این مرکز فرستاده می‌شود. لذا برای عملی شدن این فرآیند نفت خام از واحدهای مختلفی عبور کرده تا به محصول نهایی و Spec مورد نظر برسد. (CPF Operation Manual 2016) چاه‌های مورد بهره‌برداری در میدان نفتی آذر ۱۸ حلقه چاه تولیدی است که ۶۵ هزار بشکه نفت را برای ارسال تحویل می‌دهد. نفت تولیدی با ۱۳۰ کیلومتر خط ۱۶ اینچ به دهلران انتقال داده شده و از آنجا با ۶۵ کیلومتر مسیر خط نفت شیرین به واحد چشمة خوش برای صادرات تحویل داده می‌شود. همچنین گاز تولیدی نیز با ۱۲۹ کیلومتر خط ۱۶ اینچ به NGL₃₁₀₀ دهلران انتقال داده

جدول ۱- هدف از تجزیه و تحلیل

ردیف	هدف از تجزیه و تحلیل
۱	کاهش مرگ و میر تجمعی
۲	کاهش آتش سوزی و انفجار
۳	کاهش رابی تجهیزات تجهیزات
۴	کاهش ریسک فردی و اجتماعی
۵	کاهش صدمات محیطی

که در جدول ۲ نشان داده شده است. که از قبیل رعایت فاصله مناسب میان لوله‌های انتقال گاز تا مناطق مسکونی، نصب آلام و علائم هشداردهنده حساس به نشستی گاز، آموزش کارکنان و غیره می‌باشد. جدول ۲ اقدامات کنترلی (CA) را نشان می‌دهد.

گام دوم: همانطور که در این پژوهش مشخص شده است اقدامات کنترلی در راستای بهبود، کاهش و حذف خطر در سیستم انتقال خط لوله گاز وجود دارد که این عوامل موجب کاهش خطر در این سیستم می‌شود. اقدامات کنترلی با نماد CA مشخص شده است

جدول ۲- اقدامات کنترلی (CA)

ردیف	اقدامات کنترلی (CA)
۱	رعایت فاصله مناسب میان لوله‌های انتقال گاز تا مناطق مسکونی (مقررات حریم خطوط لوله شرکت ملی گاز ایران)
۲	نصب آلارم و علائم هشداردهنده حساس به نشتی گاز (سیستم نشت‌یاب)
۳	برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای
۴	به حداقل رساندن تعداد اتصالات و استفاده از تجهیزات استاندارد
۵	آموزش کارکنان
۶	استفاده از تجهیزات کنترلی و شیرهای ایمنی مناسب
۷	قطع کامل منابع جرقه و انجام کارهای گرم بر روی خطوط

گام سوم: در این بخش شناسایی اقدامات نا ایمن پس از اقدامات کنترلی ذکر شده است که جهت شناسایی شرایط و وجود خطاها در تجهیزات و عملیات مشخص و با نماد U ثبت شده است.

جدول ۳- شناسایی اقدامات نا ایمن^۱ (UCAS)

ردیف	شناسایی اقدامات نا ایمن (UCAS)
۱	وجود خطاهای انسانی
۲	عدم قطع کامل منابع جرقه و انجام کارهای گرم بر روی خطوط
۳	خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات (خوردگی محیطی لوله، خوردگی ناشی از محیط اسیدی)
۴	برخورد فیزیکی و سخت با خطوط لوله
۵	نشت از ولوها (شیرها) و فلنج‌ها
۶	شرایط عملیات نامناسب (دما، فشار و غیره)
۷	خرابی تجهیزات
۸	انجام عملیات‌های نادرست
۹	عوامل طبیعی (سیل، زلزله، طوفان و غیره)
۱۰	انجام اقدامات خرابکارانه
۱۱	عایق نامناسب خطوط انتقال در برابر عوامل محیطی
۱۲	نداشتن سیستم تعمیر و نگهداری خطوط و ایستگاه‌های فشار
۱۳	عدم اطلاع‌رسانی شرکت‌ها و پیمانکاران اجرایی در فعالیت نزدیک به خطوط انتقال
۱۴	در اختیار قرار ندادن مستندات مربوط به مسیر انتقال خطوط و مشخص کردن مسیر به سایر ارگان‌ها و شرکت‌های اجرایی
۱۵	کیفیت نامناسب متریال به کار رفته در خطوط و تجهیزات
۱۶	جوشکاری نامناسب محل اتصالات خطوط لوله و تایید نشدن تست‌های RT-PT, MT
۱۷	انجام ندادن آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله بعد از اتمام عملیات لوله‌گذاری و قبل از بهره‌برداری
۱۸	رعایت فاصله نامناسب بین خطوط انتقال لوله‌های گاز تا مناطق مسکونی، تأسیسات، ابنیه، راه‌ها و راه‌آهن، مجاورت خطوط لوله نفت و آب، معادن و غیره
۱۹	شیرهای کنترلی و ایمنی غیر استاندارد و کالیبره نشده
۲۰	عملیات پیک‌رانی نادرست

¹ unsafe control action

آن ۴ مورد می‌باشد (جدول ۴). با توجه به ارزیابی ریسک‌های انجام شده در پروژه و نیز کارگروه تشکیل شده از اساتید و دانشجویان رشته دکتری HSE و متخصصین این پروژه کلیه سناریوها و عوامل خطر به‌طور جامع شناسایی شدند.

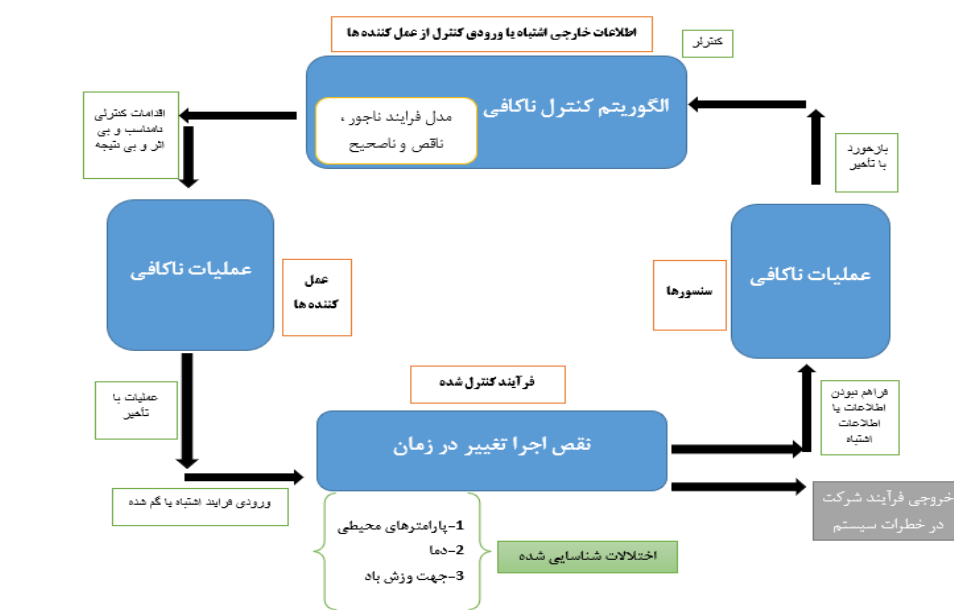
گام چهارم: در گام نهایی این پژوهش توضیحاتی جهت سناریو، الزامات ضرر و حوادث ناگوار می‌باشد. هدف از این گام اطلاعاتی درخصوص صدمات و آسیب‌هایی که به اموال، تجهیزات و انسان می‌رسند بحث و بررسی شده است که با نماد M مشخص و تعداد

جدول ۴- سناریوہا، الزامات ضرر و حوادث ناگوار

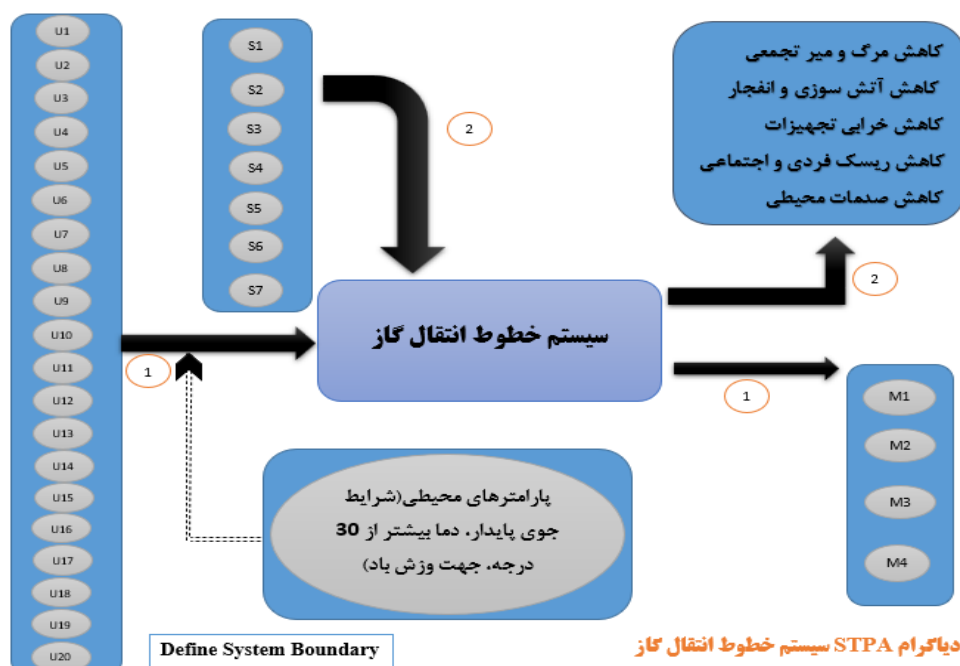
ردیف	سناریوها، الزامات ضرر و حوادث ناگوار
۱	افزایش مرگومیر تجمعی
۲	صدمات انسانی
۳	آسیب به اموال و آسیب به تجهیزات
۴	صدمات زیست محیطی

STPA سیستم خطوط انتقال گاز طراحی شد (شکل ۱).

در مرحله ی بعد با توجه به اطلاعات به دست آمده دیاگرام های



شکل ۱- دیاگرام STPA سیستم خطوط انتقال گاز



شکل ۲- دیاگرام STPA سیستم خطوط انتقال گاز

نتایج و بحث

میزان دارای اهمیت می‌باشد (برخورد فیزیکی و سخت تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد) نشت از ولوها (شیرها) و فلنچ‌ها تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- فشار بالا در خطوط و تجهیزات تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- انجام عملیات‌های نادرست تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد) بازرسی فنی (فرسایش و خوردگی تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- عدم عایق مناسب خطوط انتقال در برابر عوامل محیطی تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- کیفیت متریال بکار رفته در خطوط و تجهیزات (از لحاظ تطابق کلاس لوله با جنس مواد که از داخل لوله عبور می‌کند) تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- جوشکاری محل اتصالات خطوط لوله و تایید تست‌های RT, PT, MT تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله بعد از اتمام عملیات لوله‌گذاری و قبل از بهره‌برداری تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد. عملیات‌های پیک‌رانی تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد) پدافند

در این پژوهش از پرسشنامه با ۲۰ سوال استفاده گردید که هدف از تهیه آن اهمیت موضوع خطوط انتقال گاز و عامل‌های مربوط به آتش‌سوزی و انفجار در این خطوط می‌باشد. جامعه آماری مورد بررسی کلیه دانشجویان مقطع دکتری تخصصی HSE^۱ و اساتید این رشته در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران به تعداد ۲۰ نفر می‌باشد. پس از تکمیل شدن پرسشنامه توسط جامعه مورد نظر، پرسشنامه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و به معیارها (ایمنی، بازرسی فنی، پدافند غیرعامل، طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری (PM)^۲) وزن داده شد که مشخص شد که سوال ۱۶ پرسشنامه مربوط به معیار بازرسی فنی دارای بیش‌ترین وزن که میانگین آن ۴/۵۲ و سوال ۹ پرسشنامه مربوط به پدافند غیرعامل دارای کم‌ترین وزن است که میانگین آن ۳/۰۵ می‌باشد. پس از مشخص شدن بهترین و بدترین معیار مقادیر ترجیحات مقایسات زوجی در جدول همراه با مقدار عددی ثبت گردید. بهترین معیار در این بررسی بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیرعامل می‌باشد. معیارها و گویه‌های مرتبط عبارتند از: ایمنی (نقش شیرهای کنترلی و ایمنی تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد- خطاهای انسانی تا چه میزان در آتش‌سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می‌باشد. انجام کار گرم بر روی خطوط گاز در ایجاد آتش‌سوزی و انفجار تا چه

^۱Health Safety Environment

^۲Preventive Maintenance

در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد- خرابی تجهیزات تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد). برای کمی سازی معیارها و خطرات از روش BWM استفاده شده است. برای انجام روش BWM باید ۶ گام طی شود.

گام اول: تعیین تمام معیارهای تصمیم گیری است و در این تحقیق ۵ معیار مورد بررسی قرار گرفت که عبارتند از: معیار اول (ایمنی)، معیار دوم (طراحی و ساخت)، معیار سوم (بازرسی فنی)، معیار چهارم (تعمیر و نگهداری) و معیار پنجم (پدافند غیرعامل). بهترین معیار در این بررسی بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیرعامل می باشد.

گام دوم: تعیین بهترین معیار یا B و بدترین معیار یا W است، در این پژوهش بهترین معیار در این بررسی بازرسی فنی و بدترین معیار پدافند غیرعامل می باشد. بقیه معیارها بر اساس مقیاس ساعتی ۱ تا ۹ است که در جدول ۵ قابل مشاهده است.

غیرعامل (عوامل طبیعی (سیل، زلزله، طوفان و غیره) تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد- اقدامات خرابکارانه تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد) طراحی و ساخت (حریم خطوط انتقال گاز در مجاورت خطوط توزیع و انتقال نیرو، مقررات حریم خطوط انتقال گاز در موازات راهها و راه آهن، مقررات حریم خطوط انتقال گاز در مجاورت خطوط لوله نفت و آب، معادن و غیره تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد- در اختیار قرار دادن مستندات مربوط به مسیر انتقال خطوط و مشخص کردن مسیر به سایر ارگانها و شرکت های اجرایی تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد- مشارکت در اطلاع رسانی شرکتها و پیمانکاران اجرایی در فعالیت نزدیک به خطوط انتقال تا چه میزان در آتش سوزی و انفجار خطوط گاز دارای اهمیت می باشد) تعمیر و نگهداری (نقص در سیستم تعمیر و نگهداری خطوط و ایستگاه های فشار تا چه میزان گام سوم: تعیین درجه اهمیت یا میزان برتری معیار B نسبت به

جدول ۵- تعیین درجه اهمیت یا میزان برتری معیار B نسبت به بقیه معیارها

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

با توجه به جدول مقایسات زوجی بردار BO مقایسه بهترین معیار با بقیه معیارها و بردار OW مقایسه معیارهای دیگر با بدترین معیار در جدول ۶ و ۷ انجام شده است.

$$A_B = \{\alpha_{B1}, \alpha_{B2}, \dots, \alpha_{Bn}\} \quad (۱)$$

α_{B2} : مقایسه درجه اهمیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار ۲

α_{Bn} : مقایسه درجه اهمیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار n

A_B : ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها

α_{B1} : مقایسه درجه اهمیت بهترین معیار (B) نسبت به معیار ۱

جدول ۶ - مقایسه بهترین معیار با سایر معیارها

بردار BO	ایمنی	طراحی و ساخت	بازرسی فنی	تعمیر و نگهداری	پدافند غیرعامل
بازرسی فنی	۲	۴	۱	۶	۸

گام چهارم تعیین درجه اهمیت یا میزان برتری سایر معیارها نسبت به معیار W بر مبنای مقیاس ساعتی ۱ تا ۹ است. که در رابطه ۲ نمایش داده شده است.

$$A_w = \{\alpha_{1w}, \alpha_{2w}, \dots, \alpha_{nw}\} \quad (2)$$

A_w : ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار α_{2w} : مقایسه درجه اهمیت معیار ۲ نسبت به بدترین معیار (W)

α_{1w} : مقایسه درجه اهمیت معیار ۱ نسبت به بدترین معیار (W) α_{nw} : مقایسه درجه اهمیت معیار n نسبت به بدترین معیار (W)

جدول ۷ - مقایسه سایر معیارها نسبت به بدترین معیار

پدافند غیر عامل	بردار OW
۷	ایمنی
۵	طراحی و ساخت
۸	بازرسی فنی
۴	تعمیر و نگهداری
۱	پدافند غیر عامل

گام پنجم مجاسبه بردار وزن‌های بهینه برای معیارها بر مبنای مدل OR است. با انجام مراحل قبل به مرحله وزن‌دهی می‌رسیم با استفاده از رابطه ۳ انجام شده و در جدول ۸ آورده شده است.

$$\begin{aligned} s. t. \\ |w_B - \alpha_{Bj}w_j| &\leq \xi L, \text{ for all } j \\ |w_j - \alpha_{jw}w_w| &\leq \xi L, \text{ for all } j \\ \sum_j w_j &= 1 \\ w_j &\geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (3)$$

w_B : وزن بهترین معیار α_{jw} : ارجحیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار

α_{Bj} : ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها w_w : وزن بدترین معیار

w_j : وزن سایر معیارها

جدول ۸ - وزن معیارها

ایمنی	طراحی و ساخت	بازرسی فنی	تعمیر و نگهداری	پدافند غیرعامل	وزن ها
۰/۲۷۲	۰/۱۳۶	۰/۴۵۴	۰/۰۹۰	۰/۰۴۵	

گام ششم محاسبه نرخ ناسازگاری بر مبنای ξ^* محاسبه شده در گام پنجم است. در انتها به دست آوردن نسبت سازگاری با استفاده از ξ^* و شاخص سازگاری و رابطه ۴ در جدول های ۹ و ۱۰ انجام شده است.

$$Consistency Ratio = \frac{\xi^*}{Consistency Index} \quad (4)$$

جدول ۹ - شاخص سازگاری روش BWM

ABW	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

جدول ۱۰ - شاخص سازگاری معیارها

ABW	۲	۳	۴	۵
شاخص سازگاری	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۳

در مرحله آخر UCA^۱ های مرتبط با هر معیار در جدول ۱۱ نشان داده شده است، ترجیحا رفتارهای کنترل ناایمن با وزن بیش تر را باید برای مهار انتخاب کرد.

جدول ۱۱ - اقدامات نا ایمن مرتبط با هر معیار

وزن معیارها	UCAS	معیار
۰/۴۵۴	U3-U11-U15-U16-U17-U20	بازرسی فنی
۰/۲۷۲	U19-U1-U2-U4-U5-U6-U8	ایمنی
۰/۱۳۶	U14-U18-U13	طراحی و ساخت
۰/۰۹۰	U12-U7	تعمیر و نگهداری
۰/۰۴۵	U9-U10	پدافند غیرعامل

نتیجه گیری و پیشنهادها

و اتصالات (خورندگی محیطی لوله، خوردگی ناشی از محیط اسیدی)، عایق نامناسب خطوط انتقال در برابر عوامل محیطی، کیفیت نامناسب مواد به کار رفته در خطوط و تجهیزات، جوشکاری نامناسب محل اتصالات خطوط لوله و تأیید نشدن تست های RT-PT, MT، انجام ندادن آزمایشات هیدرواستاتیک خطوط لوله بعد از اتمام عملیات لوله گذاری و قبل از بهره برداری و عملیات پیک رانی نادرست شناسایی شد و سناریوی ایجاد

تمرکز این تحقیق تحلیل مسائل ایمنی در خط لوله گاز میدان نفتی آذر با استفاده از روش STPA-BWM است، که خطرات و محدودیت های ایمنی در آن را شناسایی می کند. روش BWM با STPA برای تعیین کمیت خطرات شناسایی شده ادغام شد. نتایج نشان داد که بازرسی فنی بسیار مهم است، مهم ترین محدودیت ایمنی در کار، کنترل بازرسی فنی بود که از طریق آن رفتارهای کنترل ناایمن شناسایی گردید و شامل خوردگی، فرسودگی لوله ها

^۱unsafe control action

حوادث، تجزیه و تحلیل و بررسی رفتارهای کنترل نایمن انجام گرفت. در نهایت، نتایج کمی از BWM برای توسعه یک استراتژی کنترل ریسک برای خط لوله گاز، روش‌شناسی حوادث احتمالی را شناسایی کرد که ناشی از خرابی اجزای سیستم و فعل و انفعالات نایمن اجزا بود که به وضوح خطرات حوادث را مشخص می‌کند. کمی شدن خطرات با استفاده از روش BWM کمک شایانی برای انجام اقدامات کنترلی جهت اقدامات نایمن U3-U11-U15-U16-U17-U20 دارد، چون وزن بالاتری نسبت به بقیه دارند و باید برای مهار آن‌ها اقدامات کنترلی را نسبت به بقیه بیشتر مورد توجه قرار داد. با این حال، هنوز محدودیت‌هایی برای این مطالعه وجود دارد. تجزیه و تحلیل با استفاده از STPA-BWM نیاز به بررسی بیشتر دارد. رایی حق و همکاران (۲۰۲۳) از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت و ارائه مدلی جهت ارزیابی ریسک خطوط لوله با استفاده از روش مالبایر و نرم‌افزار متلب انجام دادند، نتایج نشان داد که روش پیشنهادی، نتایج دقیق‌تر و صحیح‌تری را نسبت به روش‌های سنتی ارائه می‌دهد. در مقاله حاضر از روش BWM و STPA استفاده شده است که روش STPA بر خلاف روش‌های سنتی دید جامع‌نگر دارد و استفاده از آن به همراه BWM باعث می‌شود ارزیابی خطوط لوله گاز هم به‌صورت کمی و هم کیفی مورد بررسی قرار گیرد. احمدزاده و همکاران (۲۰۲۰) ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی احداث خط لوله گاز را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تلفیقی (VIKOR و ENVID) برای تخمین میزان ریسک‌های پروژه استفاده کردند و در مطالعه حاضر علاوه بر استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی خطرات از روش جامع‌نگر STPA استفاده شده است. سان‌هی و همکاران (۲۰۲۳) ارزیابی ریسک کار گرم خطوط لوله نفت و گاز بر اساس AHP-FCE را انجام دادند، ابتدا عوامل خطر با استناد به تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی^۱ (JSA) تعیین شده و سپس از کارشناسان دعوت شد تا پرسشنامه‌ای را برای جمع‌آوری نظرات خود پر کنند. با توجه به نتایج پرسشنامه، برای محاسبه ضرایب وزنی شاخص‌های ارزیابی از AHP و برای ارزیابی سطح ریسک کار داغ از FCE استفاده کردند و ریسک را فقط به‌صورت کمی مورد بررسی قرار دادند ولی در پژوهش حاضر ریسک خط لوله به‌صورت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفته است. یوجی‌دو و همکاران (۲۰۲۳) روش ارزیابی ریسک شبکه‌های خطوط لوله

گاز بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ضریب تغییرات بهبود یافته را مورد بررسی قرار دادند، در این کار، بر اساس داده‌های شبکه‌های خطوط لوله گاز و اطراف آن، روش سنتی ارزیابی ریسک برای شبکه‌های خطوط لوله گاز از نظر سیستم شاخص و تعیین معیارهای وزن‌دهی و امتیازدهی با استفاده از روش‌های آماری بهبود یافت، در نهایت، یک روش ارزیابی یکپارچه خطی برای محاسبه مقادیر ریسک نسبی مقاطع لوله برای دستیابی به رتبه‌بندی و طبقه‌بندی ریسک استفاده شد. استفاده از روش STPA در این پژوهش نشان داد که این متد به‌دلیل دیدگاه سیستماتیک و جامع‌نگر خود، می‌تواند به شناسایی و کاهش ریسک‌های موجود در خطوط انتقال گاز کمک شایانی کند. این روش به ما این امکان را می‌دهد تا تعاملات پیچیده بین انسان، ماشین و تکنولوژی را بهتر درک کنیم. این رویکرد نه تنها خطرات را شناسایی، بلکه راهکارهای مؤثری برای کاهش و مدیریت آن‌ها ارائه می‌دهد. نتایج کمی BWM همراه با نتایج تحلیلی STPA می‌تواند خطر استراتژی‌های کنترل برای تصمیم‌گیرندگان را ایجاد کند. شناسایی ۲۰ اقدام نایمن و ۷ اقدام کنترلی، نشان‌دهنده ضرورت پایش و بهبود مداوم در فرآیندهای عملیاتی است که عدم توجه به این عوامل می‌تواند منجر به حوادث جدی از جمله آتش‌سوزی و انفجار شود. رعایت استانداردهای ایمنی و انجام بازرسی‌های منظم می‌تواند به کاهش حوادث و خطرات کمک کند. نصب آلارم‌های حساس به نشت گاز و برقراری سیستم‌های بازرسی منظم می‌تواند به شناسایی و رفع مشکلات قبل از بروز حوادث کمک کند. آموزش مداوم کارکنان در زمینه ایمنی و رعایت دستورالعمل‌ها از دیگر عوامل کلیدی در این راستا هستند. نتایج حاصل از پرسشنامه نشان‌دهنده اهمیت بالای عوامل انسانی و تجهیزات در ایجاد حوادث است. به ویژه، خطاهای انسانی و عدم رعایت استانداردهای بازرسی فنی از مهم‌ترین عوامل شناسایی شده‌اند. سیستم‌های بازرسی و کنترل به‌طور منظم مورد بازرسی قرار گیرند. بر روی بهبود کیفیت مواد و تجهیزات استفاده شده در خطوط انتقال گاز تمرکز شود. در نهایت، با توجه به پتانسیل‌های موجود در میدان نفتی آذر و اهمیت آن در تأمین انرژی کشور، توجه به مدیریت ریسک و ایمنی در این حوزه ضروری است. این موضوع نه تنها به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه به کاهش خطرات زیست‌محیطی و اجتماعی نیز منجر خواهد شد. ایجاد برنامه‌های آموزشی منظم، برگزاری

^۱ Job safety analysis

تجهیزات و فناوری‌های جدید، به‌کارگیری تجهیزات مدرن و فناوری‌های جدید که می‌توانند به کاهش خطرات و افزایش ایمنی کمک کنند. در نهایت، توجه به مدیریت ریسک و ایمنی در میدان نفتی آذر و دیگر میادین نفتی کشور، با توجه به وابستگی روزافزون اقتصاد ایران به منابع نفت و گاز، اتخاذ راهکارهای مؤثر در این زمینه ضروری است.

کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای کارکنان به منظور افزایش آگاهی نسبت به خطرات و روش‌های ایمنی. بهبود سیستم‌های بازرسی و نظارت، توسعه و به‌روزرسانی سیستم‌های بازرسی به‌منظور شناسایی و رفع مشکلات پیش از بروز این حوادث شامل استفاده از فناوری‌های نوین مانند حسگرها و سیستم‌های هوشمند برای نظارت بر وضعیت خطوط انتقال است. سرمایه‌گذاری در

References

1. Adibi O, Najafpour N, Farhanieh B, Afshin H. Determination of safety distance around gas pipelines using numerical methods. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*. 2018 ;3:12(2):120-4. doi: scholar.waset.org/1307-6892/10008545.
2. Ahmadzade SH, Robati M, Nikoomaram H. Environmental Risk Assessment for Gas Pipeline Construction Using the Multi-Index Compilation Decision Method (Case study: Gachsaran to Bidboland). *Environmental science and technology*. 2020; 22;59-74.doi : 10.22034/jest.2021.38743.4416. [In Persian.]
3. Bagheri M, Badri N, Rashtchian D, Iqbalian H. Determining the safety of sour gas transmission pipelines by the method of quantitative risk assessment. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2013; 32(2): 57-71. https://www.nsmsi.ir/article_6714.html. [In Persian.]
4. Dwivedi R, Prasad K, Mandal N, Singh S, Vardhan M, Pamucar D. Performance evaluation of an insurance company using an integrated Balanced Scorecard (BSC) and Best-Worst Method (BWM). *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2021 ;13;4(1):33-50.doi: 10.31181/dmame2104033d.
5. Feng Y, Gao J, Yin X, Chen J, Wu X. Risk assessment and simulation of gas pipeline leakage based on Markov chain theory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2024 ;10:105370.doi:10.1016/j.jlp.2024.105370.
6. Karami J, Karimi S. HSE Hazard Analysis in Iran Yasa Rubber Industry Using the Approach HEMP& BOW-TIE. *ohhp* 2019; 3
- (1):51-62. Doi: 10.18502/ohhp.v3i1.964.[In Persian.]
7. Karevan A, Nadeau S. A comprehensive STPA-PSO framework for quantifying smart glasses risks in manufacturing. *Heliyon*. 2024 ; 15;10(9).doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e30162.
8. Khan S, Kaushik MK, Kumar 14.R, Khan W. Investigating the barriers of blockchain technology integrated food supply chain: a BWM approach. *Benchmarking: An International Journal*. 2023 ;21;30(3):713-35.. doi: 10.1108/BIJ-08-2021-0489.
9. Muniz MV, Lima GB, Caiado RG, Quelhas OL. Bow tie to improve risk management of natural gas pipelines. *Process safety progress*. 2018;37(2):169-75.. doi: 10.1002/prs.11901.
10. Nezir A, Sukran S, Ceyda S. A new risk assessment framework for safety in oil and gas industry: Application of FMEA and BWM based picture fuzzy MABAC. *Journal of Petroleum Science and Engineering*.2022;219.doi : <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111059>.
11. Leveson N. *Engineering a Safer World Systems Thinking Applied to Safety*. 9780262533690. The MIT Press;2016.
12. Parsa Rad A, Khalilzadeh M, Banihashemi SA, Božanić D, Milić A, Čirović G. Supplier Selection in Downstream Oil and Gas and Petrochemicals with the Fuzzy BWM and Gray COCOSO Methods Considering Sustainability Criteria and Uncertainty Conditions. *Sustainability*. 2024;16(2):880. doi: 10.3390/su16020880.
13. RaeHaq, Behbahani Nia, Al Agha, and Mina Makki. Applying fuzzy inference in the evaluation system of sour gas pipelines. *Occupational health and safety*.2023; 13(2):

- 345-367.doi:
20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8.
14. San He , Huilan Xu, Jianxiong Zhang, Peiqiang Xue. Risk assessment of oil and gas pipelines hot work based on AHP-FCE. *Petroleum*.2023;1:94-100. Doi :
<https://doi.org/10.1016/j.petlm.2022.03.006>.
 15. Sulaman SM, Beer A, Felderer M, Höst M. Comparison of the FMEA and STPA safety analysis methods—a case study. *Software quality journal*. 2019 ; 15;27:349-87.. doi: 10.1007/s10664-005-1290-x
 16. Sultana S, Okoh P, Haugen S, Vinnem JE. Hazard analysis: Application of STPA to ship-to-ship transfer of LNG. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019;60:241-52. doi: 10.1016/j.jlp.2019.04.005.
 17. Wafia B, Mounira R, , Yiliu L, Mohammed Salah M. Comparative Study of STPA and Bowtie Methods: Case of Hazard Identification for Pipeline Transportation. *ASM International*. 2020;20:2003-2016. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11668-020-01010-9>.
 18. Wang W, Zhang Y, Li Y, Hu Q, Liu C, Liu C. Vulnerability analysis method based on risk assessment for gas transmission capabilities of natural gas pipeline networks. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022 ;218:108150.. doi: 10.1016/j.jlp.2024.105370.
 19. Wallenius J, Dyer J, Fishburn P, Steuer R, Zionts S, Deb K. Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. *Management Sciences*.2008;doi: DOI:10.1287/MNSC.1070.0838.
 20. Youssef, A. E. An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM. *IEEE Access*.2020; 8:71851-71865. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2987111.
 21. Yuji DU, Ming FU, Weike DUANMU, Longfei HOU, Jing LI. Risk assessment method of gas pipeline networks based on fuzzy analytic hierarchy process and improved coefficient of variation. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*. 2023;63:6.941-950.doi : 10.16511/j.cnki.qhdxxb.2023.22.010.
 22. Yu X, Liang W, Zhang L, Reniers G, Lu L. Risk assessment of the maintenance process for onshore oil and gas transmission pipelines under uncertainty. *Reliability engineering & system safety*. 2018 ; 1;177:50-67.. doi: 10.1016/j.jlp.2024.105370.



Application of STPA-BWM model to evaluate the safety of Azar oil field gas transmission pipelines based on reliability

Bahareh Lellahizadeh

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Hassan Mihanparast

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Simin Dokht Zinali

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Farham aminsharei*

Department of Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Majid Afshar

Department of Safety, Health and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Received: 12 Nov 2024**Accepted:** 19 Dec 2024**Keywords:** Evaluation - pipeline - reliability - risk - Azar oil field - STPA - BWM

Introduction: The importance of oil and gas in the world since their discovery until now both in terms of energy production and in terms of providing the raw materials needed for the production of industrial goods, is not hidden from anyone. Due to the spread of lines in various institutional or even residential areas as well as the high potential of vulnerability the safety of pipelines is of particular importance.

Materials and Methods: In this research (a case study of the oil industry startup and operation company - Azar oil field project located in Ilam province) the factors related to fire and explosion in these lines have been investigated based on the analysis of the BWM-STPA integrated system theory process.

Results and Discussion: After completing the questionnaire, weight was given to the criteria (safety, technical inspection, non-operating protection, design, construction, and maintenance) and it was found that question 16 of the questionnaire related to the technical inspection criteria has the highest weight, the average of which is 4.52 and Question 9 of the questionnaire related to non-agent defense has the lowest weight, the average of which is 3.05. The best criterion is technical inspection and the worst criterion is non-functional defense. The BWM-STPA method effectively ranks the identified risks and indicates that the technical inspection factor is the most severe risk in the gas pipeline. This is followed by a leak in the gas pipeline an explosion and a fire. Risk quantification using the BWM method is helpful in carrying out control measures for unsafe measures U3-U11-U15-U16-U17-U20, because they have a higher weight than the others.

Conclusion: As a result 7 control actions (CA) and 20 unsafe control actions (UCA) and 4 identification scenarios have been defined. Quantitative and qualitative risk assessment of Azar oil field gas pipeline provides a basis for increasing its safety and reliability. In the obtained results, it is suggested to provide continuous training for employees in the field of safety and compliance with instructions. Inspection and control systems are reviewed regularly. Focus on improving the quality of materials and equipment used in gas transmission lines.

Corresponding author: Farham aminsharei**Address:** Department of Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran**Tel:** +989396017761**Email:** aminsharei.fa@gmail.com**Citation:** Lellahizadeh B, Mihanparast H, Dokht Zinali S, Aminsharei F, Afshar M. Application of STPA-BWM model to evaluate the safety of Azar oil field gas transmission pipelines based on reliability. 2024; 2(7): 29-43

© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.