

ارزیابی حوادث، مبتنی بر شاخص های پایش عملکرد ایمنی، با استفاده از اوامیکس

مطالعه‌ی موردی: خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی

عزت‌اله اصغری زاده - دانشیار، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران.

احمد رضا قاسمی* - استادیار، گروه مدیریت، پردیس فارابی (قم)، دانشگاه تهران، ghasemiahmad@ut.ac.ir

محمدصادق بهروز - کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۹ | تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲

چکیده

اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد از مهم‌ترین اقدامات برای دستیابی به مدیریت کارا و اثربخش در فرایند ایمنی و همچنین رسیدن به بهبود مداوم تلقی می‌گردد که نتایج آن شرایط را برای هرگونه اقدام اصلاحی و ارائه‌ی راهکارهای پیشنهادی برای کاهش حوادث فراهم می‌کند. هدف از پژوهش حاضر تعیین شاخص‌های مورد نیاز برای پایش عملکرد ایمنی و ارزیابی شاخص‌ها با توجه به رویدادهای پایه و حوادثی است که در خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی به وقوع می‌پیوندد. برای این منظور شاخص‌های کمی و کیفی ارزیابی عملکرد شناسایی و با استفاده از نظر خبرگان وزن دهی شد. در گام بعد رویدادهای پایه و حوادث ناشی از آن با در نظر داشتن مطالعات قبلی استخراج شد و شاخص‌های کمی و کیفی تعیین شده، با توجه به این حوادث و همزمان با استفاده از ماتریس ارزیابی داده‌های تلفیقی، مورد سنجش قرار گرفت. نتایج پژوهش گویای آن است که حریق با پیشروی سریع بر اثر ترکیدگی، با امتیاز ۰/۱۲۷۹، از پیامدهایی است که دارای بیشترین اهمیت و نشت گاز بر اثر سوراخ‌شدگی، با امتیاز ۰/۰۷۴۳، دارای کمترین اهمیت است و برای سنجش این پیامدها شاخص شدت-تکرار، با ارزش وزنی ۰/۱۱۳۱، دارای بیشترین اولویت و شاخص مهارت، با ارزش وزنی ۰/۰۲۰۸، دارای کمترین اولویت است. بنابراین نتایج به دست آمده این فرصت را برای مدیران فراهم می‌کند تا بتوانند با استفاده از ارزیابی عملکرد ایمنی، بر اساس شاخص‌ها و رویدادها، بهترین تصمیم‌گیری‌ها را در ارائه و اجرای راهکارها و اقدامات پیشگیرانه داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد ایمنی، شاخص‌های کمی و کیفی، تصمیم‌گیری، اوامیکس، خطوط لوله‌ی انتقال گاز

Accident assessment based on controlled indicators of safety performance by EVAMIX

Case study: Gas pipelines

Ezzatolah Asgharizadeh¹, Ahmadrza Ghasemi^{2*}, Mohammadsadegh Behrouz³

Abstract

Measurement and assessment of the performance are considered as the top proprieties to acquire an efficient managerial strategy toward safety process, and also, to have continuous improvement. Furthermore, these indices help us to control the accident. In the system. The aim of this research is to determine the characteristics of a standard safety process with respect to the frequent accidents which may usually happen in the main natural gas pipelines. So quantity and quality indexes were selected and defined in order to assess the performance of the process. The experts' opinions were also used to weigh the current options by which the process should be run. In the next step, the corresponding accidents of the basic events in the process were carefully detected. Finally, to assess the validity of the observations, a mixed data Evaluation Matrix was applied (EVAMIX). The results clearly indicates that, the occurrence of bursting in the pipelines with score of 0.1279 is the most important accident. Moreover, the likelihood of gas leaking due to spring a leak in the pipes with score of 0.0743 should be considered very low. To assess the process, severity and frequency should be consider as the most important indexes with the weight of 0.1131, and the skill of the workers (0.0208) is the least one. The present study helps the mangers to have better opportunity to assess the process based on safety factors and indexes in order to make decision wisely.

Key words: Safety performance assessment, Quality and Quantity indexes, Decision making, EVAMIX, Gas pipelines.

1 Assoc. Prof., Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

2 Assist. Prof., Faculty of Management, Farabi College of Qom, University of Tehran, Tehran, Iran; ghasemiahmad@ut.ac.ir

3 M.Sc. Graduated in Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

۵۷

شماره پنجم

بهار و تابستان
۱۳۹۳

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی

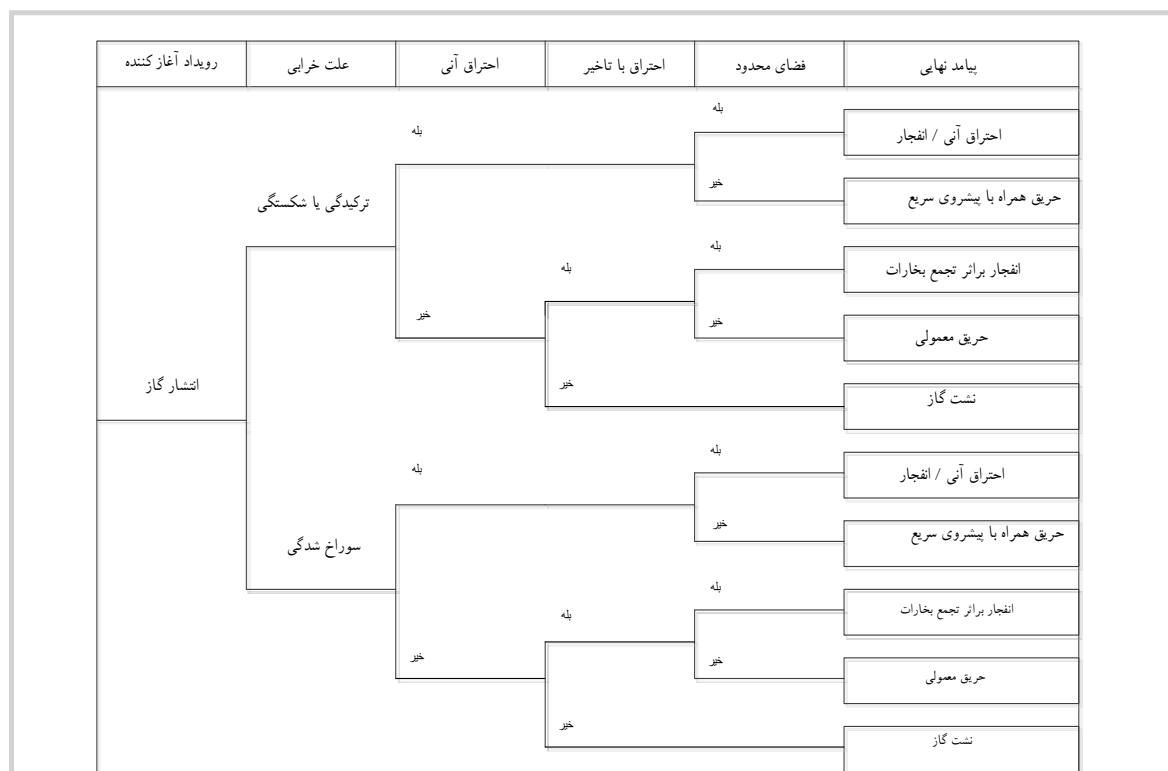


ارزیابی حوادث، مبتنی بر شاخص های پایش عملکرد ایمنی
با استفاده از اوامیکس

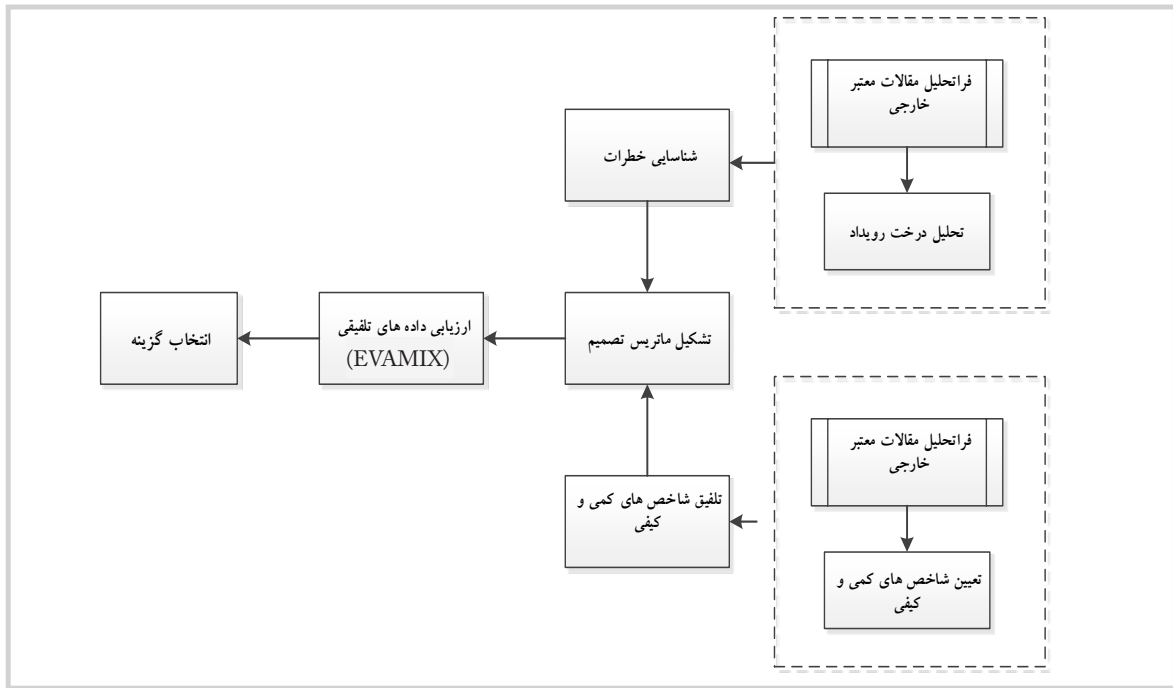
مقدمه

امروزه ایمنی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به امری مهم تبدیل شده است که تأثیر بسزایی در بهره‌وری دارد. گزارش‌های سازمان بین‌المللی کار^۱ گویای آن است که سالانه نزدیک به چهار درصد از تولید ناخالص کشورهای صرف هزینه‌های مشهود و نامشهود ناشی از بروز حوادث حرفه‌ای و بهداشتی می‌شود. بنابراین بهبود مداوم در عملکرد ایمنی از اهداف کشورها و سازمان‌های موفق است. از آنجا که در هر برنامه‌ی بهبود تعیین و اندازه‌گیری شاخص‌ها برای ارزیابی عملکرد و مشخص کردن جایگاه سازمان در هر دوره‌ی زمانی امری اجتناب‌ناپذیر است، در مورد مسئله‌ی ایمنی نیز سنجش عملکرد سازمان‌ها در خصوص شناسایی عوامل آسیب‌رسان و مهار حوادث امری ضروری است [۱]. از طرف دیگر اهمیت گسترش فعالیت‌های ایمنی بر کسی پوشیده نیست و بی‌تردید همگان لزوم به‌کارگیری و گسترش راهکارهای ایمنی را در صنایع مختلف پذیرا هستند. اما اقدامات ایمنی بدون ارزیابی شاخص‌های ایمنی در محیط و اجتماع بی‌معنا خواهد بود [۲]. بر همین مبنا ارزیابی عملکرد در حوزه‌ی ایمنی از ابزارهایی است که نتایج آن می‌تواند معیاری برای سنجش میزان تأثیر برنامه‌های ایمنی پیاده شده در صنایع مختلف باشد. آنچه که در پیاده‌سازی برنامه‌های ارزیابی عملکرد مهم و ضروری است، شاخص‌هایی است که بر اساس آن‌ها ارزیابی‌ها صورت می‌گیرد که این شاخص‌ها می‌توانند به صورت کمی و یا کیفی باشند. اولویت‌بندی این شاخص‌ها نیز از مباحثی است که می‌تواند همواره مورد نظر ارزیابان و ممیزان برنامه‌های ایمنی قرار گیرد.

پژوهش حاضر با تمرکز بر خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی جنوب شهر اصفهان صورت پذیرفته است. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه‌ی ارزیابی عملکرد ایمنی^۲ خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی نشان می‌دهد که تاکنون روش‌ها و راهکارهای متعدد و متنوعی ارائه گردیده است. در بیشتر این موارد شاخص‌های کمی عملکرد ایمنی در مورد خطرهای شناخته شده مورد بررسی قرار گرفته و ارزش‌گذاری و اولویت‌بندی شده است؛ حال آنکه در بسیاری از موارد، ارزیابی‌هایی که به صورت کیفی صورت می‌گیرد، می‌تواند نتایجی را در بر داشته باشد که تحلیل توأمان آن‌ها با تحلیل‌های کمی صورت گرفته، کارایی و اثربخشی بیشتری را به دنبال خواهد داشت و سبب بهبود و تکامل برنامه‌های ارزیابی عملکرد خواهد شد. همچنین رتبه‌بندی شاخص‌های کمی و کیفی ارزیابی عملکرد ایمنی، با توجه به خطرهای شناسایی شده در صنعت خط لوله‌ی گاز طبیعی به طور همزمان، توسعه‌ی برنامه‌های ارزیابی عملکرد ایمنی را منجر می‌گردد. گاز طبیعی امروزه یکی از مهم‌ترین منابع انرژی در جهان است و استفاده از آن نیز پیوسته در حال افزایش است [۳] و در نتیجه انتقال گاز طبیعی از مسائل بسیار مهم در این مورد است. شبکه‌ی توزیع گاز از اجزا و قسمت‌های مختلفی مانند خطوط لوله، ایستگاه‌های تقلیل فشار، ایستگاه‌های حفاظت از زنگ، ایستگاه‌های تست، شیرها و حوضچه‌ها، پمپ‌های گاز، علمک‌ها و رگلاتورها تشکیل شده است. در بسیاری از کشورها بین موضوعات کلان اقتصادی و صنعت گاز و فرایندهای آن رابطه‌ی مستقیم وجود دارد که روش‌های انتقال یکی از مهم‌ترین فرایندهاست؛ بنابراین ایجاد شرایط پایدار و ایمن در چگونگی عملکرد انتقال گاز طبیعی اهمیت پیدا می‌کند. بر



تصویر ۱: درخت رویداد مربوط به نشست گاز طبیعی از لوله‌ی انتقال [۳]



تصویر ۲: خلاصه‌ی مراحل پژوهش

تصمیم‌گیری، با توجه به خطرهای مشخص شده، از روش ماتریس ارزیابی داده‌های تلفیقی^۵ استفاده شده است. در این ماتریس شاخص‌ها در ستون‌ها و خطرها در سطرها جای گرفته‌اند. استفاده از این روش امکان مقایسه، ارزیابی و رتبه‌بندی شاخص‌های کمی و کیفی را به صورت همزمان فراهم می‌کند و از آنجایی که در این پژوهش نیز شاخص‌های استخراج شده در دو دسته‌ی کمی و کیفی قرار گرفته‌اند، مؤلفان استفاده از این روش را بر سایر شیوه‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه^۶ ترجیح داده‌اند. پس از انجام دادن عملیات ریاضی مربوط گزینه‌های مورد نظر رتبه‌بندی گردید و امکان تصمیم‌گیری مناسب برای تصمیم‌گیرندگان فراهم شد. تصویر ۲ مراحل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد [۶].

شاخص‌های ارزیابی عملکرد ایمنی

شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد ایمنی، با استفاده از روش‌های مختلف و با توجه به نوع صنعت مورد نظر، برای انجام دادن آنالیزهای ایمنی و ارزیابی ریسک، قابلیت شناسایی و به‌کارگیری دارند. عوامل بسیاری در شناسایی خطرها و ریسک فاکتورها در مورد خطوط لوله‌ی انتقال گاز وجود دارند. این موارد را نیز می‌توان بر اساس شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد ایمنی طبقه‌بندی کرد. شاخص‌های کمی مطرح در حوزه‌ی پیش‌عملکرد ایمنی، بر مبنای فراتحلیل صورت گرفته، ضریب تکرار حادثه، ضریب شدت حادثه، شاخص شدت-تکرار، متوسط هزینه‌ی هر آسیب، ضریب T ایمن و میزان شیوع حادثه است و هر یک از این‌ها با توجه به استانداردها، پس از محاسبه، قابلیت تفسیر خواهند داشت [۷]. همچنین شاخص‌های کیفی مؤثر در ارزیابی عملکرد ایمنی بدین ترتیب تعیین گردیده است: دانش ایمنی کارکنان، مهارت کارکنان، انگیزه، فرهنگ ایمنی در کارکنان، میزان مشارکت

همین اساس می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف مدیریت و ارزیابی ریسک^۳ به شناسایی خطرها و ریسک‌های موجود پرداخت و عملکرد ایمنی را مورد سنجش قرار داد.

حوادث در خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی بر اساس دو رویداد پایه اتفاق می‌افتد: شکستگی و سوراخ شدن لوله. در مورد خطوط لوله این نکته حائز اهمیت است که طول خطوط تحت ارزیابی منطبق بر طول خطوطی باشد که معیار خطر برای آن‌ها مصداق دارد؛ زیرا دفعات رخداد حوادث و شدت آن‌ها مستقیماً با طول خط لوله ارتباط دارد. بر اساس مطالعات انجام شده عواملی مانند قابلیت احتراق، قابلیت انتشار سریع و مستعد بودن برای انفجار، همگی مواردی هستند که شرایط مستعد خطر شناخته شده‌اند و رویداد اصلی آن‌ها نشت گاز طبیعی از لوله است [۴، ۵]. تجزیه و تحلیل‌های ایمنی ریگاس و اسکالونس در سال ۲۰۰۶ در نهایت منجر گردید تا به وسیله‌ی تحلیل درخت رویداد^۴ ده پیامد اصلی ناشی از انتشار گاز طبیعی تعیین گردد و مورد بررسی قرار گیرد (تصویر ۱). در پژوهش حاضر این ده گزینه در ماتریس تصمیم‌گیری مد نظر قرار گرفته است که با توجه به آن‌ها شاخص‌های کمی و کیفی ارزیابی ریسک ارزش‌گذاری خواهد شد.

روش تحقیق و ابزارها

از آنجایی که این پژوهش به دنبال توسعه و بهبود یک فرایند است، از نظر هدف در ردیف پژوهش‌های توسعه‌ای و از نظر ماهیت، توصیفی است که در آن مطالعه‌ی موردی مد نظر قرار گرفته است. پس از شناسایی خطر خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی، با استفاده از ابزار فراتحلیل مقالات معتبر خارجی و پس از تعیین شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد ایمنی، هر یک از شاخص‌های مشخص شده با استفاده از روش‌های وزن‌دهی ارزش‌گذاری شدند. برای

جدول ۱: معرفی شاخص‌ها [۸، ۷، ۴]

شاخص	کیفی										کمی					
	زمان آموزش کارکنان جدید	تأثیرها محیطی نامناسب	آسیب‌های اجتماعی	صدمه به اعتبار سازمان	روحیه‌ی قبل و بعد حادثه	میزان مشارکت	فرهنگ ایمنی	انگیزه	مهارت	دانش ایمنی کارکنان	میزان شیوع حادثه	ضریب [۱] ایمن	متوسط هزینه‌ی هر آسیب	شاخص شدت - تکرار	ضریب شدت حادثه	ضریب تکرار حادثه
نماد	C16	C15	C14	C13	C12	C11	C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
ماهیت	منفی	منفی	منفی	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	منفی	منفی	منفی	منفی

جدول ۲: معرفی گزینه‌ها [۱۰، ۹]

گزینه	انفجار بر اثر ترکیب بخارهای ناشی از ترکیب	حریق معمولی بر اثر ترکیب	نشت گاز بر اثر ترکیب
نماد	S1	S2	S3
گزینه	انفجار بر اثر ترکیب بخارهای ناشی از سوراخ‌شدگی	حریق با پیشروی سریع بر اثر سوراخ‌شدگی	انفجار بر اثر تجمع بخارهای ناشی از سوراخ‌شدگی
نماد	S6	S7	S8
گزینه	انفجار بر اثر ترکیب بخارهای ناشی از سوراخ‌شدگی	حریق با پیشروی سریع بر اثر سوراخ‌شدگی	نشت گاز بر اثر سوراخ‌شدگی
نماد	S9	S10	S5

گام ۱: تفکیک شاخص‌های کمی و کیفی

$$\alpha_{ij} = f(e_{ji}, e_{ji}', \pi_{oj}) \quad (V_j \in O)$$

$$a_{ij} = g(e_{ji}, e_{ji}', \pi_{cj}) \quad (V_j \in C)$$

e_{ji} ، e_{ji}' بیان‌کننده‌ی ارزش شاخص i و i' نشان‌دهنده‌ی گزینه‌ی j و π_{oj} و π_{cj} وزن اختصاص داده شده به شاخص‌های کیفی و کمی هستند. تابع f و g مربوط به شاخص‌های کیفی و کمی است. برای وزن‌دهی شاخص‌ها می‌توان از روش آنتروپی شانون استفاده کرد.

گام ۲: بی‌مقیاس‌سازی داده‌ها به روش فازی:

شاخص‌های دارای ماهیت مثبت و سودمند

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j}$$

شاخص‌های دارای ماهیت منفی و غیر سودمند

$$r_{ij} = \frac{\max x_j - x_{ij}}{\max x_j - \min x_j}$$

در فعالیت‌های ایمنی، روحیه‌ی کارکنان قبل و بعد از حوادث، صدمه به اعتبار سازمان پس از حادثه، آسیب‌های اجتماعی پس از حادثه، تأثیرهای محیطی و اتلاف زمان آموزش کارکنان جدید [۸، ۴] (جدول ۱). هر یک از شاخص‌های تعیین‌شده، با استفاده از نظام ترجیحات لیکرت و براساس نظرهای خبرگان، نمره‌دهی و ارزش‌گذاری شده است و نتایج به دست آمده، براساس شاخص‌های کمی و کیفی، به‌طور هم‌زمان و با استفاده از ماتریس ارزیابی تحلیل می‌گردد.

خطرهای شناسایی‌شده براساس تحلیل درخت رویداد، که به‌منزله‌ی گزینه‌های ماتریس در نظر گرفته شده‌اند، در جدول ۲ ارائه گردیده است.

روش اوامیکس

این روش را اولین بار هنک وود^۶ در سال ۱۹۸۳ ارائه کرد و ماتارازو و مارتل^۸ آن را گسترش دادند [۱۱، ۱۲]. در این روش ماتریس ارزیابی شامل تلفیقی از داده‌های کمی و کیفی است و شاخص‌های کمی و کیفی به صورت مجزا و هم‌زمان بررسی می‌شوند. با استفاده از اوامیکس فهرست کاملی از ارزیابی شاخص‌ها به وجود می‌آید که براساس آن می‌توان تصمیم‌گیری کرد. این روش شامل مراحل زیر است [۱۳، ۱۴، ۱۵]:

جدول ۳: ماتریس ارزیابی داده‌های تلفیقی

		شاخص (C _i)															
		کمی								کیفی							
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
گزینه (S _i)	S ₁	۲/۴۷۵۴	۷/۲۱۸۴۰	۵/۸۲۷۳	۸/۹۵۸۸	۲/۴۴۹۴	۶/۳۴۵۴	۵/۷۸۹۸	۵/۷۸۹۸	۳/۴۷۸۲	۵/۷۸۹۸	۶/۲۳۵۸	۶/۲۰۵۴	۵/۳۴۱۲	۵/۶۷۳۸	۵/۱۰۵۸	۵/۳۶۵۰
	S ₂	۲/۲۵۸۶	۶/۸۰۶۳	۵/۷۸۹۸	۷/۴۲۹۰	۵/۴۰۲۱	۲/۵۲۰۹	۵/۸۵۸۴	۵/۵۰۱۵	۴/۱۰۲۳	۶/۱۲۳۱	۵/۸۱۳۵	۶/۲۶۶۳	۵/۷۵۲۶	۵/۳۰۴۵	۵/۶۶۶۶	۵/۲۲۳۴
	S ₃	۲/۱۰۷۴	۶/۶۵۶۱	۴/۸۴۹۹	۷/۱۳۳۸	۵/۹۴۹۵	۲/۲۵۸۶	۶/۵۱۷۵	۴/۶۵۷۱	۴/۹۵۹۳	۵/۴۶۱۸	۴/۹۳۹۱	۵/۱۸۷۵	۵/۱۸۵۶	۵/۳۷۸۲	۴/۶۵۷۱	۴/۶۵۷۱
	S ₄	۲/۴۲۰۸	۶/۶۶۹۸	۴/۸۳۰۱	۶/۶۶۶۶	۵/۷۶۸۸	۲/۴۲۰۸	۵/۸۱۸۲	۴/۳۷۳۴	۴/۰۸۵۶	۶/۱۸۷۸	۵/۰۵۰۵	۵/۷۵۲۶	۵/۵۶۲۳	۴/۶۳۸۲	۵/۰۳۰۰	۴/۸۳۰۱
	S ₅	۲/۷۰۱۹	۶/۷۵۹۵	۴/۴۷۲۱	۷/۱۴۵۱	۵/۵۶۲۳	۱/۸۸۸۱	۵/۸۴۲۰	۳/۸۹۸۰	۴/۷۱۲۳	۶/۰۱۲۵	۵/۵۲۴۰	۵/۶۴۸۷	۴/۷۴۲۸	۴/۲۵۸۲	۵/۶۲۵۷	۴/۸۴۹۹
	S ₆	۲/۸۹۵۸	۶/۳۵۰۵	۶/۱۵۳۰	۷/۲۷۱۱	۵/۸۵۸۴	۴/۹۳۹۱	۵/۴۶۱۸	۴/۰۸۵۶	۵/۴۷۷۲	۵/۲۸۱۱	۷/۱۷۴۶	۵/۴۶۱۸	۵/۹۴۹۵	۶/۰۵۸۹	۶/۲۳۵۸	۶/۲۳۵۸
	S ₇	۴/۳۷۳۴	۶/۸۶۴۵	۵/۸۵۸۴	۷/۷۵۲۴	۵/۳۷۸۲	۳/۷۶۷۴	۴/۷۶۶۰	۴/۲۸۲۲	۴/۴۲۵۲	۵/۸۴۲۰	۵/۹۲۵۲	۶/۰۴۱۹	۶/۸۵۰۴	۶/۶۵۶۱	۶/۳۱۹۶	۵/۱۸۷۵
	S ₈	۴/۱۲۸۹	۸/۰۵۶۶	۶/۱۵۳۰	۸/۱۶۴۹	۴/۰۳۷۸	۲/۰۲۳۶	۳/۰۴۷۶	۴/۲۰۴۸	۳/۹۲۳۲	۴/۸۴۹۹	۵/۹۴۹۵	۵/۵۲۴۰	۴/۵۰۶۶	۴/۶۹۳۱	۵/۵۱۲۶	۴/۹۹۵۴
	S ₉	۲/۱۶۸۸	۸/۲۷۴۶	۵/۵۳۹۶	۷/۹۶۲۲	۳/۲۱۱۳	۲/۴۴۹۴	۵/۲۳۸۱	۵/۳۴۱۲	۳/۲۳۲۱	۳/۷۱۲۷	۶/۹۲۲۹	۵/۷۰۱۳	۵/۵۲۴۰	۳/۴۶۶۱	۶/۳۴۵۷	۳/۹۶۹۷
	S ₁₀	۱/۵۷۸۴	۸/۲۶۱۶	۴/۴۵۳۹	۸/۴۸۵۲	۲/۶۳۶۰	۱/۷۸۲۶	۴/۳۲۷۶	۴/۶۳۰۹	۳/۴۳۷۵	۳/۹۲۳۲	۸/۵۱۲۴	۵/۸۴۲۰	۴/۶۵۷۱	۳/۸۸۲۱	۷/۰۳۰۵	۳/۸۷۷۳

α⁻ و a⁻

• ایدئال‌های منفی

گام ۳: مقایسه‌ی زوجی گزینه‌ها و محاسبه‌ی اختلاف شاخص‌ها با توجه به نوع شاخص

در صورت استفاده از روش‌های مجموع تفاضلی رابطه‌های

بالا به صورت زیر در می‌آید.

$$\delta_{ii'} = \alpha_{ii'} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{i'=1}^m |\alpha_{ii'}| \right)^{-1}$$

$$d_{ii'} = a_{ii'} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{i'=1}^m |a_{ii'}| \right)^{-1}$$

گام ۵: محاسبه‌ی امتیازات برتری (D_{ii'})

$$D_{ii'} = \pi_0 \delta_{ii'} + \pi_c d_{ii'}$$

$$\pi_0 = \sum_{j \in O} \pi_j, \quad \pi_c = \sum_{j \in C} \pi_j$$

$$D_{ii'} + D_{i'i} = 1$$

مجموع اوزان شاخص‌های کیفی π₀

مجموع اوزان شاخص‌های کمی π_c

امتیاز برتری نهایی گزینه‌ی i نسبت به i' به (D_{ii'})

$$\alpha_{ii'} = \left[\sum_{j \in O} \{ \pi_j \operatorname{sgn}(e_{ij} - e_{i'j}) \}^c \right]^{1/c}$$

ارزیابی شاخص‌های کیفی:

$$\operatorname{sgn}(e_{ij} - e_{i'j}) = \begin{cases} 1 & \text{if } e_{ij} > e_{i'j} \\ 0 & \text{if } e_{ij} = e_{i'j} \\ -1 & \text{if } e_{ij} < e_{i'j} \end{cases}$$

ارزیابی شاخص‌های کمی:

$$a_{ii'} = \left[\sum_{j \in C} \{ \pi_j (e_{ij} - e_{i'j}) \}^c \right]^{1/c}$$

C = {1, 2, 3, ...} یک پارامتر اختیاری است و مقدار آن

اعداد فرد است.

گام ۴: محاسبه‌ی امتیازات استاندارد شده برای

شاخص‌های کمی و کیفی (δ_{ii'} و d_{ii'})

$$\delta_{ii'} = \frac{\alpha_{ii'} - \alpha^-}{\alpha^+ - \alpha^-}$$

$$d_{ii'} = \frac{a_{ii'} - a^-}{a^+ - a^-}$$

• ایدئال‌های مثبت

α⁺ و a⁺

جدول ۴: اوزان شاخص‌ها

Wi	وزن	Wi	وزن
W1	۰/۰۵۳۱	W9	۰/۰۸۱۷
W2	۰/۰۸۱۷	W10	۰/۰۵۶۱
W3	۰/۱۱۳۱	W11	۰/۰۹۳۴
W4	۰/۰۷۱۷	W12	۰/۰۵۸۸
W5	۰/۰۷۱۲	W13	۰/۰۴۱۴
W6	۰/۰۴۱۳	W14	۰/۰۵۶۲
W7	۰/۰۳۹	W15	۰/۰۵۲۱
W8	۰/۰۲۰۸	W16	۰/۰۶۷۷

گام ۶: محاسبه‌ی امتیاز ارزیابی گزینه

$$S_i = \left[\sum_{jr} \frac{D_{ijr}}{D_{1jr}} \right]^{-1}$$

تحلیل و بررسی یافته‌ها

برای ارزیابی مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند شاخصه از جامعه‌ی خبرگان صنعت ایمنی استفاده گردید. از آنجایی که در غالب مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، برای تعیین راهبرد و اندازه‌ی نمونه‌ی آماری، از رویکرد نمونه‌ی در دسترس استفاده شده است، بدین منظور داده‌هایی که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است برگرفته از نظر ۳۰ نفر از خبرگان صنعت ایمنی است که شامل کارشناسان و متخصصان ایمنی در زمینه‌ی صنعت مورد مطالعه است. شاخص‌های کمی و کیفی بر اساس نظام ترجیحات لیکرت و پس از امتیازدهی خبرگان با استفاده از میانگین هندسی ماتریس ارزیابی داده‌های تلفیقی تشکیل می‌گردد. در این ماتریس گزینه‌ها حوادث و رویدادهایی است که با استفاده از تحلیل درخت رویداد (بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته‌ی قبلی) تعیین گردیده است (جدول ۳). در مرحله‌ی بعد، برای محاسبه‌ی اوزان شاخص‌ها، ماتریس به روش فازی بی‌مقیاس سازی شده و در نهایت وزن شاخص‌ها با استفاده از روش آنتروپی محاسبه گردید (جدول ۴). پس از محاسبه‌ی اوزان، با استفاده از روابط ریاضی حاکم بر روش ماتریس ارزیابی داده‌های تلفیقی، ۹۰ مقایسه‌ی زوجی برای شاخص‌های کمی و ۹۰ مقایسه‌ی زوجی برای شاخص‌های کیفی صورت پذیرفت که در نهایت از ۱۸۰ نسبت به دست آمده، برای محاسبه‌ی امتیاز برتری (D_{ijr}) ، ۹۰ معادله شکل می‌گیرد. در این مرحله با استفاده از رابطه‌ی $\sum S_i = 1$ و با استفاده از نرم‌افزار R امتیاز گزینه‌ها محاسبه گردیده است (جدول ۵).

در روش ماتریس ارزیابی داده‌های تلفیقی گزینه‌ای که بیشترین امتیاز را داراست، دارای اولویت بیشتری است؛ بنابراین رتبه‌بندی گزینه‌ها به صورت زیر خواهد بود.

$$S_2 > S_3 > S_4 > S_5 > S_9 > S_6 > S_8 > S_7 > S_1 > S_{10}$$

با توجه به نتایج، حریق‌های با پیشروی سریع بر اثر ترکیب‌گی دارای امتیاز ۰/۱۲۷۹ و نشت گاز بر اثر سوراخ‌شدگی دارای امتیاز ۰/۰۷۴۳ است که به ترتیب بیشترین و کمترین اولویت‌ها را در بر می‌گیرند.

روش اوامیکس از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. از آنجایی که این روش‌ها مبتنی بر مباحث پژوهش‌های عملیاتی نرم^۹ است، قابلیت اثبات ریاضی ندارد؛ بنابراین در ادامه برای حصول اطمینان از صحت رتبه‌بندی انجام شده از روش تاپسیس^{۱۰} استفاده شد. گفتنی است این روش از جمله پرترفدارترین روش‌های مورد استفاده در این عرصه است. نتایج رتبه‌بندی با این شیوه با بهره‌گیری از نرم‌افزار تاپسیس با استفاده از اوزان شمارش شده و ماتریس تصمیم جدول ۳ بررسی شد. گفتنی است نرم‌افزار تاپسیس از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی جبرانی محسوب می‌شود که منطق پنهان آن فاصله گرفتن از ایدئال منفی و نزدیکی به ایدئال مثبت است. رتبه‌بندی جدید به شرح زیر ارائه شده است.

$S_2 > S_5 > S_4 > S_3 > S_9 > S_8 > S_6 > S_1 > S_{10}$
همچنین برای ارزیابی همگرایی رتبه‌بندی از ضریب همبستگی ناپارامتری اسپیرمن بهره‌گیری شد. با توجه به سطح معناداری ۰/۰۰۲ و ضریب همبستگی ۰/۷۸۱ وجود همبستگی مثبت و معنادار میان دو روش مورد تأیید قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

مدیریت ایمنی نقشی بی‌مانند در ارتقای عملکرد و رقابت‌پذیری صنایع پرخطر ایفا می‌کند. صنعت گاز نیز به واسطه‌ی مواجهه با حوادث متعدد حرفه‌ای از این قاعده جدا نیست. در پژوهش حاضر تلاش شد تا شاخص‌های کمی و کیفی عملکرد ایمنی در خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی معرفی شود و همچنین به صورت همزمان مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد که بدین منظور رویکردهای کمی مورد نظر پژوهشگران قرار گرفته است. پس از مرور پیشینه‌ی این موضوع ۱۶ شاخص و ۱۰ گزینه شناسایی شد. بر این اساس، پس از محاسبه‌ی اوزان، روشن شد که شاخص‌های «شدت-تکرار» دارای بیشترین اهمیت و «مهارت»، از نظر اهمیت، دارای پایین‌ترین رتبه است. همچنین رتبه‌بندی حاصل از روش اوامیکس نشانگر آن است که «حریق با پیشروی سریع بر اثر ترکیب‌گی» و «نشت گاز بر اثر سوراخ‌شدگی» به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان اهمیت در ارزیابی ریسک صنعت گاز است.

جدول ۵: امتیاز گزینه‌ها

گزینه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
امتیاز	۰/۰۸۵۴	۰/۱۲۷۹	۰/۱۲۰۳	۰/۱۱۴۵	۰/۱۱۰۳	۰/۰۹۲۵	۰/۰۸۹۷	۰/۰۸۶۸	۰/۰۹۴۶	۰/۰۷۴۳

Climate to Safety performance, knowledge and Motivation. *Journal of occupational Health and psychology*.vol.5 no 3, 347 - 358.

5. J,A. de Almeida, A.T. Mota, C.(2010).A multi-criteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research* 200, 812 – 821.
6. Figuereria, J., Greco, S., Ehrogott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/ London.
7. حبیبی، احسان اله؛ علیزاده، مجید (۱۳۸۳) ایمنی کاربردی و شاخص‌های عملکرد در صنعت. *نشرین آوران*، سال دوم، شماره ۱، ۲۰۱۵ - ۲۱۵.
8. یعقوبی، زهرا؛ متولی، کوروش (۱۳۹۱). ارزیابی عملکرد ایمنی پیمانکاران بر اساس آنالیز پوششی داده‌ها (DEA). *نشریه‌ی صنعت مقاوم‌سازی و بهسازی*. شماره ۲، ۶۶ - ۷۰.
9. Birto, A.J.de Almeida, A.T.(2009).Multi- Attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. *Reliability Engineering and system safety*, 94, 187 - 189.
10. Han, Z.Y., Weng, W.G. (2009). An overview of quantitative risk analysis method for natural gas pipelines. *Journal of China Safety Science Journal*, 19, 154 - 164.
11. H., voogd.(1982). Multi criteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data. *Environment and Planning B*, 9, 221 – 236.
12. Marte, J., Matarazzo, B. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis.
13. Q.Z.Yang, B.H. Chunag, B. Song (2009). A Matrix Evaluation Model for Sustainability An Assessment of Manufacturing Technologies. *world Academy of science, Engineering and Technology*, 56.
14. De Montis, Andrea, D. (2007). Criteria for Quality Assessment of MCDA Method.
15. Droste. B. Franke, Omman. I. (2005). Assessing the Quality of Different MCDA Methods.
16. اصغری‌زاده، عزت‌اله؛ قاسمی، احمدرضا؛ جعفرزاده، محمدتقی؛ بهروز، محمدصادق (۱۳۹۲). گزینش سیستم مطلوب ایمنی با رویکرد ANP و DEMATEL. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، شماره ۷، ۹۵ - ۱۱۷.

گفتنی است که، بر اساس بررسی‌های تطبیقی انجام شده، شاخصه‌ی پژوهش صورت گرفته، در مقایسه با موارد مشابه، بررسی همزمان شاخص‌های کمی و کیفی پایش عملکرد ایمنی و رتبه‌بندی آن‌هاست و از این منظر توسعه و ارتقای فرایند ارزیابی عملکرد ایمنی را می‌توان دستاورد به‌کارگیری روش ارائه شده در پژوهش دانست که از نظر هدف توسعه‌ای بودن آن را سبب می‌گردد. این مطالعه به صورت موردی و درباره‌ی خط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی منطقه‌ی جنوب شهر اصفهان صورت گرفته است. از آنجایی که پژوهش در دامنه‌ی جغرافیایی محدودی انجام پذیرفته است، در تعمیم‌پذیری نتایج به دیگر نقاط باید احتیاط کرد. بی‌شک ویژگی‌های جنس و مکانیک خاک، همچنین عوامل اقلیمی (درجه حرارت، رطوبت، فشار، عمق) در افزایش ریسک حوادث دخیل است.

اولویت‌بندی شاخص‌های کمی و کیفی به صورت همزمان، با در نظر گرفتن خطرهای اصلی در خطوط لوله‌ی انتقال گاز طبیعی، این امکان را برای متخصصان و کارشناسان فراهم می‌کند تا بتوانند برای مقابله و مهار و پیشگیری از حوادث تصمیم‌های مناسب بگیرند و راهکارهای صحیح به اجرا درآورند. آنچنان که پیش‌تر نیز اشاره شد، روش اوامیکس از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. از آنجایی که این روش‌ها مبتنی بر مباحث پژوهش‌های عملیاتی نرم است، قابلیت اثبات ریاضی ندارد و مبتنی بر تبیین شیوه‌های فراابتکاری^{۱۱} است، ارزیابی نتایج حاصل در هاله‌ای از ابهام قرار می‌گیرد. از این رو، در پاره‌ای از موارد، پژوهشگران استفاده از رویکردهای چندگانه و یا رجوع به افراد خبره را برای ارزیابی نتایج حاصل توصیه می‌کنند.

پی‌نوشت

1. ILO
2. safety performance assessment
3. Risk Assessment
4. Event Tree Analysis
5. Evaluation Matrix (EVAMIX)
6. MADM
7. Henk Voogd
8. Matarazzo & Martel
9. Soft OR
10. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
11. Meta heuristic

منابع

1. شیرویه‌زاد، هادی؛ زندیه، سهیل (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد فرایندهای ایمنی پالایشگاه‌های گاز با استفاده از AHP /DEA. *سومین همایش ملی تحلیل پوششی داده‌ها، تهران، ایران*.
2. قندهاری، محمدتقی؛ مؤمنی، منصور؛ فیلی، حمیدرضا (۱۳۸۹). *بررسی و محاسبه‌ی احتمال وقوع سناریوهای حوادث در شبکه‌ی توزیع گاز طبیعی به وسیله‌ی تحلیل درخت رویداد (ETA)*.
3. Sklavounos, s., Rigas, F. (2006). Estimation of safety distances in the vicinity of fuel gas pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19, 3 - 24.
4. Griffin, Mark A. Neal, Andrew (2000). Perception of Safety at work: A frame work for Linking Safety