

## Prioritization of Critical Equipment in the Gas Compression Station Considering HSE Risk-Based Maintenance Planning

Hamidreza Ebtekar<sup>1</sup>  | Hanieh Nikoomaram<sup>2</sup>  | Seyed Mohammadreza Miri Lavasani<sup>3</sup> 

1. Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: [hani.nikoo@gmail.com](mailto:hani.nikoo@gmail.com)
3. Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

### Article Information:

#### Research Article

Received 16 Sep. 2022

Revised 12 Nov. 2022

Accepted 22 Nov. 2022

#### Keywords:

Gas Compression Station,  
Maintenance,  
TOPSIS,  
Critical Equipment,  
HSE.

### ABSTRACT

Natural gas is one of the valuable non-renewable resources in the country, which after sweetening and separation is transferred through pipelines for industrial and domestic use. Since the pressure of the transferred gas decreases due to various factors including friction, slope, etc., along the pipeline, Gas Compression stations are utilized. Operators of gas compression stations urgently need to prioritize the equipment to provide a repair and maintenance plan for the equipment and avoid spending huge inspection costs. In this study, an optimal model for examining and prioritizing critical equipment has been presented. In addition to being quantitative, it also includes more details based on the criteria of safety, health, and environment (HSE). Using the multi-criteria decision-making method, TOPSIS, which generally prioritizes the investigated objectives (equipment) in order of proximity to the ideal solution, it was shown that the turbine, compressor, and scrubbers are the most important (critical) equipment used in stations. Also, the obtained results were compared with the model provided by the gas transmission company, based on which the proposed model, due to its quantitative nature, its use of new decision-making methods, comprehensive details, and prioritization of the studied criteria is a more reliable model than the model of the gas transmission company.

**Cite this article:** Ebtekar, H., Nikoomaram, H., & Miri Lavasani, S. M. (2023). Prioritization of Critical Equipment in the Gas Compression Station Considering HSE Risk-Based Maintenance Planning. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 3 (11), 84-92. <http://doi.org/10.30494/JNDT.2022.362474.1102>

## اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی در ایستگاه تقویت فشار گاز با هدف برنامه‌ریزی تعمیرات و

## نگهداری مبتنی بر ریسک‌های HSE

حمیدرضا ابتکار<sup>۱</sup> | هانیه نیکومرام<sup>۲</sup> | سید محمدرضا میری لواسانی<sup>۳</sup>

۱. گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲. گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.  
رایانامه: hani.nikoo@gmail.com
۳. گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

## چکیده:

گاز طبیعی یکی از منابع تجدید ناپذیر ارزشمند در کشور است که پس از شیرین سازی و جداسازی از طریق خطوط لوله برای مصارف صنایع و خانگی انتقال پیدا می‌کند. از آنجایی که فشار گاز انتقال یافته، در اثر عوامل مختلف از جمله اصطکاک و شیب و غیره کاهش می‌یابد، در طول مسیر خط لوله از ایستگاه‌های تقویت فشار گاز استفاده می‌شود. بهره برداران ایستگاه‌های تقویت فشار گاز، به منظور ارائه برنامه تعمیرات و نگهداری از تجهیزات و جلوگیری از صرف هزینه‌های هنگفت بازرسی، نیاز مبرم به اولویت‌بندی تجهیزات دارند. در این مطالعه مدلی بهینه جهت بررسی و اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی ارائه شده است که علاوه بر کمی بودن، جزئیات بیشتری را نیز بر اساس معیارهای ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) شامل می‌شود. با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، تاپسیس (TOPSIS)، که به صورت کلی به ترتیب نزدیکی به راه حل ایده آل اهداف مورد بررسی (تجهیزات) را اولویت‌بندی می‌کند، نشان داده شد که توربین، کمپرسور و همچنین اسکرابرها مهم‌ترین (بحرانی‌ترین) تجهیزات مورد استفاده در ایستگاه تقویت فشار گاز می‌باشد. در ادامه نتایج بدست آمده با مدل ارزیابی شده توسط شرکت انتقال گاز مقایسه شد که بر اساس آن مدل پیشنهادی به دلیل کمی بودن، استفاده از روش‌های نوین تصمیم‌گیری و همچنین جزئیات کامل‌تر و اولویت‌بندی معیارهای مورد مطالعه، مدل قابل اطمینان‌تری نسبت به مدل شرکت انتقال گاز می‌باشد.

## اطلاعات مقاله:

## مقاله پژوهشی

## تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۶/۲۵

## تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۸/۳۱

## تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۹/۰۱

## کلیدواژه‌گان:

ایستگاه تقویت فشار گاز،  
تعمیرات و نگهداری،  
تاپسیس (TOPSIS)،  
تجهیزات بحرانی،  
HSE.

استناد: ابتکار، حمیدرضا؛ نیکومرام، هانیه؛ و میری لواسانی، سید محمدرضا (۱۴۰۱). اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی در ایستگاه تقویت فشار گاز با هدف برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری مبتنی بر ریسک‌های HSE. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۳ (۱۱)، ۸۴-۹۲.  
<http://doi.org/10.30494/JNDT.2022.362474.1102>

## ۱- مقدمه

مصرف انرژی یکی از مهمترین شاخص‌های نشان دهنده توسعه در کشورها و سطح استاندارد زندگی در جوامع است. افزایش جمعیت، صنعتی شدن و توسعه فناوری به صورت مستقیم باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود و این روند رو به رشد مصرف انرژی پیامدهای زیست محیطی جبران ناپذیری را در پی خواهد داشت. در حالی که کشور ایران یکی از بزرگترین تولیدکنندگان گاز طبیعی در جهان است، ولی از مصرف بی اندازه این ماده ارزشمند رنج می‌برد و در مواقعی مصرف بیرویه گاز طبیعی باعث قطع گاز در برخی از مناطق کشور می‌شود [۱]. گاز طبیعی هنگامی که از میدان‌های گازی استخراج و در پالایشگاه‌های مخصوص پالایش می‌شود، توسط خط لوله انتقال گاز به شهرها و مراکز صنعتی منتقل می‌شود. لازمه این که گاز با فشاری قابل قبول درون خطوط لوله حرکت کند و دبی آن ثابت بماند این است که درجه حرارت گاز از حد معینی کمتر نشود. از طرفی با توجه به طولانی بودن مسیر گاز هم زمان با حرکت سیال و با افزایش افت فشار ناشی از اصطکاک و افت فشارهای ناشی از اتصالات، اختلاف ارتفاع جغرافیایی، طراحی خطوط لوله، میزان مارپیچ بودن آن و انشعابات مصرفی، دائما از فشار سیال کاسته و متعاقبا دمای آن کاهش می‌یابد و باعث ایجاد پدیده یخ زدگی در فصول سرد سال در مناطق سردخیز می‌گردد. بنابراین باید به طریقی در فواصل مشخص در مسیر حرکت خط لوله، فشار و دمای آن افزایش داده شود. وظیفه یک ایستگاه تقویت فشار گاز همچنان که از نامش پیداست این است که طی فرآیندی فشار گاز ورودی به خود را افزایش دهد و افت فشارهای ایجاد شده در طول مسیر را جبران کند تا دمای گاز عبوری کاهش پیدا نکند به همین دلیل در مسیر خط لوله گاز، بسته به شرایط جغرافیایی منطقه در فواصلی در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر، ایستگاه‌های تقویت فشار گاز طراحی و نصب می‌شوند [۲].

در ایران طی سال‌های گذشته، بیشترین تمرکز روی توسعه خطوط لوله بوده است؛ اما اکنون که شبکه بزرگی از خطوط لوله در سطح کشور را در اختیار داریم، با در نظر گرفتن این نکته که گاز سیالی تراکم پذیر است و می‌توان

حجم آن را با افزایش فشار کاهش داد، در شرایط استاندارد حجم بیشتری را می‌توان انتقال داد که متعاقبا برای افزایش ظرفیت انتقال، نصب و راه اندازی ایستگاه‌های تقویت فشار، اقتصادی‌تر است. پس از راه اندازی، تعمیر و نگهداری از آن بسیار حائز اهمیت است چرا که بدون این عملیات، سیستم مذکور پس از مدتی دچار از کار افتادگی می‌شود و موجب ایجاد اختلال در سیستم انتقال گاز سراسری می‌شود. از کار افتادگی و همچنین تاخیر بوجود آمده در انتقال به موقع گاز طبیعی باعث تحمیل هزینه‌های هنگفتی برای کشور خواهد شد که با برنامه‌ی بدون تعمیر و نگهداری می‌توان از ایجاد چنین هزینه‌هایی جلوگیری بعمل آورد. علاوه بر موارد ذکر شده، در صورت خرابی قطعات ایستگاه، وقوع حادثه و در نتیجه پیامدهای مالی، انسانی، زیست محیطی و حتی باعث از بین رفتن وجهه اجتماعی شرکت بهره‌بردار نیز خواهد شد. در صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی به دلیل وجود حجم زیاد مواد مشتعل شونده در شرایط عملیاتی حساس (دما و فشار بالا) توجه زیادی به ایمنی، در دسترس بودن، قابلیت اطمینان و نگهداری تجهیزات می‌شود. هزینه سالانه در دسترس نبودن تجهیزات در صنعت بسیار زیاد است، اگرچه بسیاری از صاحبان کارخانه‌ها با پرداختن به این چالش، دسترسی به امکانات عملیاتی خود را بهبود بخشیده‌اند [۸]. این نکته قابل توجه است که نشت و تخلیه هیدروکربنها، آتش‌سوزی و انفجار از جمله وقایع غیرمنتظره و نامطلوب حاصل از خرابی و فرسودگی تجهیزات در صنعت نفت و گاز است [۶]. عملکرد فنی نا مناسب معمولاً به دلیل ارزیابی و کنترل ناکافی یکپارچگی دارایی‌ها ایجاد می‌شود، که منجر به عدم توانایی در کنترل میزان آسیب و در نهایت آزاد شدن مواد خطرناک از مخازن تحت فشار می‌شود [۳]. از آنجا که یک تاسیسات از هزاران جزء جداگانه تشکیل شده است، ممکن است هزینه‌های مربوط به بازرسی و نگهداری بسیار زیاد باشد. یک برنامه کارآمد مدیریت یکپارچگی دارایی (AIM) در نظر دارد حداکثر در دسترس بودن منابع را با حداقل هزینه بدون به خطر انداختن استانداردهای ایمنی یا قانونی را به حداکثر برساند. یکی از راه‌های توسعه چنین برنامه‌ای استفاده از مفاهیم "مدیریت ریسک" است [۴]. در مورد ماشین آلات دوار مانند کمپرسور، پمپ و توربین که به قلب تپنده صنایع فرایندی

در ابتدا لیست کلی تجهیزات (جدول ۱) با توجه به نقشه کلی ایستگاه، گردآوری و به بخش‌های ذیل تقسیم بندی گردید:

- ۱- ورودی ایستگاه
- ۲- اسکرابر (فیلتراسیون)
- ۳- توربوکمپرسور
- ۴- خنک کننده ها
- ۵- خروجی ایستگاه

از میان تجهیزات مشخص شده در جدول شماره ۱، تعداد محدودی (به جهت گستردگی اقلام) با استفاده از روشی که در ادامه اشاره خواهد شد به عنوان تجهیزات بحرانی انتخاب شدند. پس از جمع آوری اطلاعات مربوط به تجهیزات با در نظر گرفتن دسته بندی فوق الذکر، برای اولویت بندی تجهیزات بحرانی می‌بایست فاکتورهایی در نظر گرفته شود. معیارهای استفاده شده در این مطالعه مشخصا موضوعات ایمنی، بهداشت، محیط زیست و همچنین دارایی می‌باشد. ایمنی و سلامت کارکنان بخش جدایی ناپذیر در پیامدهای حوادث کارگاهی می‌باشد به همین دلیل این دو معیار با یکدیگر ادغام شده‌اند.

جدول ۱- تجهیزات ایستگاه تقویت فشار گاز

ردیف	ناحیه	تجهیزات	
		نوع تجهیز	قطر خارجی
۱	هدر ورودی ایستگاه	سه راهی Guide Bar	48"
۲		شیر LBV	48"
۳		شیر قطع اضطراری	48"
۴		مفصل عایقی	48"
۵		لوله	48"
۶	هدر ورودی اسکرابر	سه راهی نابرابر	48" x 30"
۷		شیر تویی (فلنجی)	30"
۸		شیر تویی (فلنجی)	30"
۹		لوله	30"
۱۰	اسکرابر	-	-
۱۱	هدر خروجی اسکرابر	شیر تویی (فلنجی)	30"
۱۲		لوله	30"
۱۳		سه راهی نا برابر	30" x 48"
۱۴		لوله	48"
۱۵	هدر ورودی توربو	سه راهی برابر	48"
۱۶		لوله	48"
۱۷	کمپرسور	سه راهی نا برابر	48" x 30"
۱۸		لوله	30"
۱۹		شیر قطع اضطراری	30"

می‌باشند، به دلیل وجود قطعات متحرک در آن‌ها باید بازرسی، نگهداری و تعمیرات صحیحی منطبق با پیشنهاد سازنده انجام گیرد تا علاوه بر تداوم تولید، ایمنی فرایند و قابلیت اطمینان سیستم نیز حفظ گردد [۵].

با در نظر گرفتن پیچیدگی و کمیت تجهیزات موجود در یک مرکز تولید و فرآوری، انجام بازرسی جامع بر روی کلیه تجهیزات مقرون به صرفه نیست [۲]، به همین جهت اولویت بندی تجهیزات و همچنین محاسبه ریسک تجهیزات بسیار حائز اهمیت است. اولویت‌بندی تجهیزات صنعتی که بر مبنای ریسک است، افزایش ایمنی، استمرار تولید و کاهش هزینه‌های بازرسی را در پی خواهد داشت [۹].

## ۲- روش انجام کار

ایستگاه تقویت فشار گاز مورد بررسی وظیفه انتقال گاز به شمال و شرق کشور را دارا می‌باشد که از این حیث از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این ایستگاه در سال ۱۳۹۱ تنها با یک توربو کمپرسور ۲۵ مگاواتی شروع به کار کرد که سپس با توجه به ظرفیت‌های موجود، تعداد این کمپرسورها به عدد ۳ رسیده است که ترکیب فعالیت ایستگاه ۱+۲ می‌باشد.

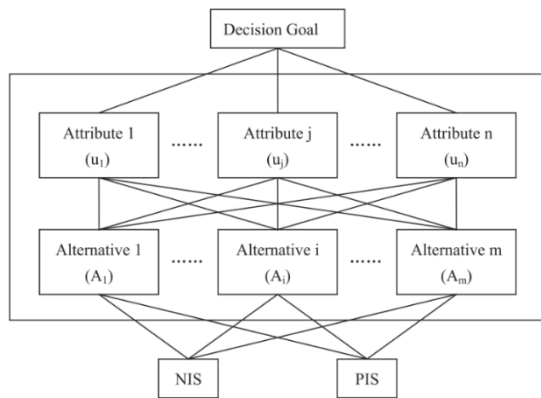
### ۲-۱ تعیین و اولویت بندی تجهیزات بحرانی

این اولویت بندی با توجه به نظرات کارشناسان واجد شرایط، استاندارد های مربوطه و همچنین اطلاعات بدست آمده از مطالعات HAZID و HAZOP مربوطه، با تعریف چند فاکتور در روش مورد نظر از جمله ایمنی، سلامت کارکنان و حفظ محیط زیست، و همچنین با وزن دهی به هر کدام از فاکتور ها انجام می‌گیرد. برای رتبه بندی تجهیزات از روش تاپسیس استفاده شده که یکی از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره و کاربردی است که برای حل مسائل ماتریس تصمیم برای انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای تعیین شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش به هر گزینه براساس هر معیار امتیازی داده می‌شود و با محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی به رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد.

### ۲-۲ منطقه‌بندی ایستگاه

تجهیزات بحرانی در این مطالعه به تجهیزاتی گفته می‌شود که در صورت خرابی، خسارات جبران ناپذیر جانی، مالی و محیط زیستی بجا بگذارند. برای رسیدن به این امر

اختصاص داده شود. فلسفه کلی روش مورد استفاده این است که با استفاده از گزینه‌های موجود، دو گزینه فرضی تعریف می‌شود که یکی از این گزینه‌ها مجموعه‌ای است از بهترین مقادیر مشاهده شده در ماتریس تصمیم‌گیری. این گزینه را اصطلاحاً ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) نامیده می‌شود. ضمن اینکه یک گزینه فرضی دیگر تعریف می‌شود که شامل بدترین حالت‌های ممکن باشد که این گزینه ایده‌آل منفی نام دارد. معیارها می‌تواند دارای ماهیت مثبت یا منفی باشند، همچنین واحد اندازه‌گیری آنها نیز می‌تواند متفاوت باشد. معیار محاسبه امتیازات در روش تاپسیس این است که گزینه‌ها تا حد امکان به گزینه ایده‌آل مثبت نزدیک و از گزینه ایده‌آل منفی دور باشد. بر این اساس یک نمره برای هر گزینه محاسبه می‌شود و گزینه‌ها مطابق این نمرات رتبه بندی می‌شوند.



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی روش TOPSIS [۱۷]

برای رسیدن به این هدف به شرح ذیل عمل شد:

### ۲-۳-۱ تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

نخستین گام در این تکنیک تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم‌گیری یک ماتریس برای ارزیابی تعدادی گزینه براساس تعدادی معیار است، یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه براساس تعدادی معیار امتیازدهی شده است. به همین منظور با توجه به نظرات کارشناسان و همچنین دستورالعمل شرکت انتقال گاز ایران برای رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی، ماتریسی تهیه گردید که معیارهای آن همانطور که در بالا نیز اشاره شد، به سه بخش ایمنی و سلامت کارکنان، محیط زیست و دارایی طبقه بندی شده است که در جدول شماره ۳ آمده است [۱۸]. با توجه به جدول شماره ۲ در مقابل هر معیار، نسبت به تجهیز

۲۰	صافی	30"
۲۱	کاهش دهنده	30" x 24"
۲۲	توربین	-
۲۳	کمپرسور	-
۲۴	افزایش دهنده	24" x 30"
۲۵	شیر قطع اضطراری	30"
۲۶	لوله	30"
۲۷	سه راهی نا برابر	30" x 40"
۲۸	سه راهی برابر	40"
۲۹	لوله	40"
۳۰	سه راهی نا برابر	40" x 30"
۳۱	لوله	30"
۳۲	شیر توپی (فلنجی)	30"
۳۳	۸ بانک	-
۳۴	شیر توپی (فلنجی)	30"
۳۵	لوله	30"
۳۶	سه راهی نا برابر	30" x 40"
۳۷	لوله	40"
۳۸	شیر یکطرفه	40"
۳۹	مفصل عایقی	40"
۴۰	افزایش دهنده	40" x 48"
۴۱	لوله	48"
۴۲	سه راهی Guide Bar	48"

### ۲-۳ روش تاپسیس

واژه TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) به معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل است. این روش یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چند معیاره است. منطق زیربنایی این روش، راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی را تعریف می‌کند. راه حل ایده‌آل مثبت راه حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می‌دهد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت و در عین حال دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی دارد [۱۷]. تاپسیس یکی از شناخته شده ترین روش‌های کلاسیک تصمیم‌گیری چند معیاره، در ابتدا توسط هوانگ و یون [۱۵] در سال ۱۹۸۱ و توسط چن و هوانگ در سال ۱۹۹۲ توسعه بیشتری پیدا کرد [۱۶]. در این روش تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند و یا اینکه به هر یک از آنها یک نمره کارایی

و ماتریس تهیه شده، با مشورت کارشناسان اعدادی به جهت وزن دهی با توجه به موضوع هر ستون مشخص گردید و همانطور که در ماتریس تصمیم‌گیری مشخص می‌باشد، امتیاز دهی بر اساس مطالعات گذشته و همچنین استانداردهای مربوطه از ۲۵ نمره در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ - ماتریس تصمیم‌گیری [۱۰] و [۱۱]

احتمال زیاد $X \geq 10^{-1}$	محتمل $10^{-2} \leq X < 10^{-1}$	احتمال بسیار اندک $10^{-3} \leq X < 10^{-2}$	غیر محتمل $10^{-4} \leq X < 10^{-3}$	کاملاً غیر محتمل $X < 10^{-4}$	
5	4	3	2	1	
25	20	15	10	5	بحرانی 5
20	16	12	8	4	فاجعه آمیز 4
15	12	9	6	3	آسیب عمده 3
10	8	6	4	2	آسیب 2
5	4	3	2	1	آسیب جزئی 1

جدول ۳ - ماتریس تصمیم‌گیری [۱۰] و [۱۱]

### ۲-۳-۲ تشکیل ماتریس تصمیم نرمال

نرمال سازی یا بی مقیاس سازی دومین گام در حل تمامی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر ماتریس تصمیم است. در تکنیک تاپسیس نرمال سازی به روش برداری صورت می‌گیرد [۱۲].

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

### ۲-۳-۳ تشکیل ماتریس تصمیم نرمال موزون

در گام سوم ماتریس تصمیم نرمال ایجاد شده، موزون شد. برای این منظور وزن هر معیار در تمامی درایه‌های زیر همان معیار ضرب می‌شود. لازم به ذکر است که وزن معیارها نیز از قبل مشخص شده بود [۱۲].

### ۲-۳-۴ محاسبه ایده آل‌های مثبت و منفی

محاسبه ایده آل‌های مثبت (Positive Ideal Point, PIS) و ایده آل‌های منفی (Negative Ideal Point, NIS) گام بعدی است. در این گام برای هر شاخص یک ایده آل مثبت و یک ایده آل منفی محاسبه گردید [۱۷].

• برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده آل مثبت

بزرگترین مقدار آن معیار است.

- برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده آل منفی کوچکترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده آل مثبت کوچکترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده آل منفی بزرگترین مقدار آن معیار است.

فاصله از ایده آل‌های مثبت و منفی و محاسبه راه‌حل ایده آل

در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده آل محاسبه می‌شود. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده آل مثبت و منفی با فرمول زیر محاسبه گردید.

گام نهایی محاسبه راه‌حل ایده آل است. در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده آل حساب می‌شود. برای محاسبه از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (2)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (3)$$

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (4)$$

مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد راه کار به جواب ایده آل نزدیکتر است و راه کار بهتری می‌باشد. در این روش پیشنهاد می‌شود که بالاترین رتبه بندی باید تا حد امکان به ارزش ایده آل اقلام نزدیک باشد و به طور همزمان تا حد امکان از ارزش ایده آل منفی اقلام فاصله داشته باشد [۱۴].

### ۳- نتیجه گیری

از آنجایی که در این مطالعه، هدف رتبه بندی تجهیزات بحرانی می‌باشد، تجهیزاتی که به یک نزدیکتر هستند به این معنی می‌باشد که بحرانی هستند و از دید HSE بسیار حائز می‌باشند. رتبه بندی تجهیزات و بحرانی‌ترین آن‌ها در جدول شماره ۴ ارائه شده‌اند.



جدول ۴ - رتبه بندی تجهیزات بحرانی

رتبه بندی	تجهیزات		ناحیه
	قطر خارجی	نوع تجهیز	
3	-	-	اسکراپر
12	30"	شیر توپی (فلنجی)	هدر خروجی اسکراپر
9	30"	شیر قطع اضطراری	هدر ورودی توربو کمپرسور
5	30"	صافی	
6	30" x 24"	کاهش دهنده	
1	-	-	توربین
2	-	-	کمپرسور
7	24" x 30"	افزایش دهنده	هدر خروجی کپرسور
4	30"	شیر قطع اضطراری	
10	30"	لوله	
11	30" x 40"	سه راهی نا برابر	
8	-	۸ بانک	خنک کننده ها

گردید. روش پیشنهادی مورد تایید واحد تعمیرات و نگهداری شرکت مذکور واقع گردید اما به دلیل محدودیت‌های موجود در ایستگاه مورد مطالعه (ایستگاه‌های تقویت فشار در حال انتقال به بخش خصوصی می‌باشند) استقرار مدل به صورت آزمایشی امکان پذیر نگردید.

همانطور که در شکل شماره ۲ مشخص است در مدل شرکت انتقال گاز اکثر شاخص‌های HSE لحاظ شده و همچنین وزن دهی معیارها نیز صورت پذیرفته است که شباهت‌های مدل شرکت انتقال گاز با مدل پیشنهادی این مطالعه، معیار های انتخاب شده می باشد. تفاوت های دو مدل در ذیل بصورت موردی اشاره شده است:

۱- در مدل پیشنهادی هر ۴ شاخص (ایمنی، سلامت، محیط زیست و دارایی) بر اساس ارجحیت نسبت به یکدیگر مقایسه شده‌اند و بر همین پایه هر معیار با سایر معیارها نسبت بندی و وزن دهی شده است اما در مدل شرکت انتقال به ترتیب سلامتی و ایمنی، محیط زیستی و دارایی حائز اهمیت می‌باشند و همچنین این مدل بسیار وابسته به نظرات افراد می‌باشد که امکان اشتباه و یا انحراف افزایش پیدا می‌کند.

۲- رتبه بندی انجام گرفته در مدل شرکت انتقال بصورت کیفی و همچنین بدون در نظر گرفتن جزئیات می‌باشد. باید توجه داشت که محاسبه آسیب های وارده نیازمند بررسی دقیق تر و همچنین آمارهای کمی می‌باشد.

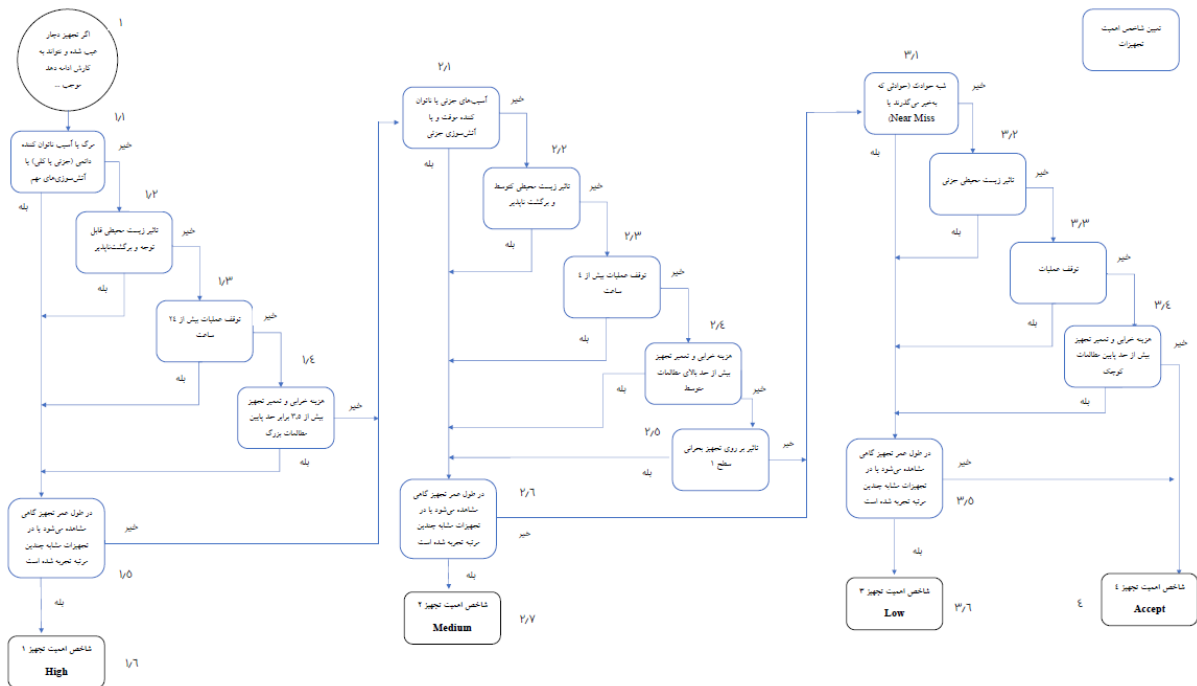
۳- بازرسی‌های انجام پذیرفته در شرکت گاز به دلیل کیفی بودن مدل این شرکت (عدم اطمینان به نتایج آن) به صورت کامل در سطح ایستگاه انجام می پذیرفت که بسیار پر هزینه می باشد اما با ارائه مدل کمی و استفاده از داده های بروز و همچنین قابل اطمینان، تجهیزات بحرانی شناسایی گردید و متعاقبا بازرسی از تجهیزات کمتری به عمل خواهد آمد.

۴- مدل موجود با توجه به بررسی‌ها انجام پذیرفته، منبع مشخصی ندارد و صرفا بر مبنای نظر کارشناسان گردآوری شده است و همچنین در ضرر و زیان‌های مالی از حدهای معین قراردادی شرکت‌های دولتی استفاده می‌کند که در شرایط فعلی این ارقام بسیار ناچیز بوده و همچنین شاخص اهمیت تجهیز تنها به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شود که بسیار کلی می‌باشد.

همانطور که در جدول شماره ۴ مشخص است است، توربین، کمپرسور و اسکراپر سه تجهیز بسیار بحرانی برای ایستگاه تقویت فشار گاز می‌باشند و برای ادامه فعالیت ایستگاه، سلامت این سه تجهیز بسیار حیاتی است.

### ۳-۱ مقایسه با مدل انتخاب تجهیزات بحرانی شرکت انتقال گاز

مدل انتخاب تجهیزات بحرانی شرکت انتقال گاز به صورت کلی با رویکرد کیفی انجام می پذیرد و این روش در صورت تغییر کارشناسان مربوطه، ممکن است دستخوش تغییرات اساسی گردد، از طرفی اولویت این مدل بدون هیچ مقایسه ای ایمنی تجهیزات و سلامت کارکنان می‌باشد و اثرات زیست محیطی و هزینه‌های تحمیلی در رتبه های بعدی قرار می‌گیرند. مدل پیشنهادی حال حاضر علاوه بر کمی سازی، به دلیل کاهش وابستگی به تجربیات کارشناسان، از قابلیت اطمینان به مراتب بالاتری نیز برخوردار می‌باشد و همچنین معیار های انتخاب تجهیزات بحرانی را نیز با روش تاپسیس، وزن دهی کرده و با یکدیگر مقایسه می‌کند. شرکت انتقال گاز مدل ذکر شده را صرفا جهت تعمیرات و نگهداری استفاده می‌نمود و بازرسی بصورت کلی انجام می‌پذیرفت، به همین جهت به منظور تسهیل در روند بازرسی و کاهش هزینه‌های این شرکت، مدل پیشنهادی با رویکرد بازرسی و تعمیرات و نگهداری هدف مطالعه و ارائه



شکل ۲) مدل انتخابی تجهیزات بحرانی شرکت انتقال گاز

کارکنان ایستگاه تقویت فشار پارچین، در جهت پیشبرد این پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۶- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷- منابع

- [1] Mohammadi M., Biareh S.M. and Kosari M. Performance modeling of three-axis gas turbines driving the compressor of gas compression stations from the point of view of exergy, Journal of Modeling in Engineering, 17, 56, 33-50, 2019. (in Persian)
- [2] Parsa H., Ziaee Shahraki A. And Montazerin N. Modeling the performance of the gas compression station at the design point and outside the design point, Amir Kabir Mechanical Engineering Journal, 49, 113-126, 2017. (in Persian)
- [3] Rachman A., Ratnayake R.M., Chandima, Machine Learning Approach for Risk-Based Inspection Screening Assessment. Reliability Engineering and System Safety, 185, 518 – 532, 2019.
- [4] Singh M, Pokhrel M, A Fuzzy logic-possibilistic methodology for risk-based inspection (RBI) planning of oil and gas piping subjected to

#### ۴- جمع بندی

انتخاب تجهیزات بحرانی با روش TOPSIS، به دلیل انتخاب معیارهای جامع در نظر گرفته شده بر اساس ایمنی و بهداشت کارکنان و همچنین محدودیت‌های محیط‌زیستی، کاملاً قابل اطمینان بوده و به فراخور مطالعه، به راحتی قابل بهره‌برداری خواهد بود و در نهایت مدل پیشنهادی به مراتب قابل اطمینان‌تر از مدل مورد استفاده کنونی شرکت انتقال گاز ارزیابی شد. با توجه به رتبه بندی صورت گرفته بحرانی‌ترین تجهیزات ایستگاه بررسی شده به ترتیب ذیل می‌باشد:

۱. توربین
۲. کمپرسور
۳. اسکرابر
۴. شیر قطع اضطراری (هدر خروجی توربو کمپرسور)
۵. صافی (هدر ورودی توربو کمپرسور)

#### ۵- قدردانی و تشکر

بدین وسیله از حمایت‌های شرکت انتقال گاز ایران، به خصوص واحد تعمیرات و نگهداری، بازرسی و همچنین



- decision making: Methods and applications, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [17] Yue Z.L., An extended TOPSIS for determining weights of decision makers with interval numbers, Knowl-Based. Syst. ۲۴, ۱۴۶ – ۱۵۳, 2011.
- [18] Mateo J.R.S.C., Multi criteria analysis in the renewable energy industry, Springer, New York, 2012.
- microbiologically influenced corrosion (MIC). International Journal of Pressure Vessels and Piping, 159, 45 – 54, 2017.
- [5] Kamali M., Amin Dost A. Development of risk-based maintenance and repair periodic inspection model in two gas transmission operations area, National Conference of Applied Researches in Industrial Engineering and Management, Tehran, 976-988, 2019. (in Persian)
- [6] Javid, Y, A bi-objective mathematical model to determine risk-based inspection programs. Process Safety and Environmental Protection, 146, 893-904, 2021.
- [7] Nureize A., Watada J. A fuzzy regression approach to a hierarchical evaluation model for oil palm fruit grading, Fuzzy Optim Decis Making, 9, 105 – 122, 2010.
- [8] Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO 14224), ISO (the International Organization for Standardization), Third Edition, 2016.
- [9] Ghaffari Mehrjerdi A., Moslaipour M., Mashreghi A., Ghasemi P. and Aghli S., Risk management of Fahraj Yazd gas pressure reduction station using the risk-based inspection program. National conference of management research. 2th, 2017. (in Persian)
- [10] Risk based inspection of offshore topsides static mechanical equipment (DNV-RP-G101), DNV (Det Norske Veritas), 2010.
- [11] Rausand M., Risk Assessment Theory, Methods, and Applications, A John Wiley & Sons, Inc. 1 – 649, 2011.
- [12] Rajabi M., Kurd Sh., Hashemi A. and Salehi R. Screening of sand containment methods for one of the wells in southwest Iran using TOPSIS algorithm, Petroleum Research, 133, 105-117, 2020. (in Persian)
- [13] Wang Z., Gao J-Min., Wang R-Xi., Chen K., Gao Z-Yong., Jiang Y. Failure mode and effects analysis using Dempster-Shafer Theory and TOPSIS method: Application to the gas insulated metal enclosed transmission line (GIL), Applied Soft Computing Journal, 70, 633 – 647, 2018.
- [14] Wang P., Zhu Z., Wang Y., A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA methods based on experimental design, Information Sciences, 345, 27 – 45, 2016.
- [15] Hwang C.L., Yoon K., Multiple attribute decision making: Methods and applications, Springer, New York, 1981.
- [16] Chen S.J., Hwang C.L., Fuzzy multiple attribute