تعیین اولویت اورهال مخازن با ترکیب روش ارزیابی ریسک کمی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

جواد کمالی*+
واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست مپنا میدکو، تهران، ایران

شهرام محمودی هریس
واحد مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست گروه مپنا، تهران، ایران

محمدرضا امیدخواه
گروه مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

طه حسین حجازی
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد دانشگاهی گرمسار، تهران، ایران

چکیده : یکی از مهمترین تجهیزات واحدهای فرآیندی، مخازن ذخیره سازی مواد هستند. ذخیره صنایع پتروشیمی و صنایع فرآیندی اغلب با تداوم، درجه حرارت بالا، فشار بالا، جرم گرفتگی و خوردگی همراه است. لذا بهتر است این تجهیزات را از تهدیدات دور نگه داشت. در برخی تجهیزات، تعمیرات اساسی (Overhaul) تحت تاثیر پارامترهای مختلفی قرار گرفته و رونده پیچیده‌ای می گیرد. در یک مجموعه فرآیندی هر واحد برای تعمیرات اساسی یک اولویتی را در نظر دارد. برای هر واحد برخی آیتم‌ها نقش پر رنگ‌تری در ریسک سازمان دارند. در صورت بروز حوادث ممکن است که توقف‌های کوتاه مدت و میان مدت در فرآیند ایجاد شود که علاوه بر ضرر عدم تولید، باعث نارضایتی ذینفعان و لطمه به شهرت سازمانی شود. در این بررسی با در نظر گرفتن ریسک پروفایل سازمان و توجه به اهمیت لطمه‌ی احتمالی حوادث به شهرت سازمان، یک مدل تلفیقی برای تعیین اولویت تعمیرات اساسی تجهیزات ارائه گردید. در این مدل همه خبرگان منتخب علمی از طرف واحدها برای تعیین مولفه و وزن اهمیت هرکدام معرفی شدند. سپس نظر همه واحدها دریافت، کمی سازی و وزن دهی شد. پتانسیل ریسک جمعی، پتانسیل ریسک فردی، تاریخ آخرین تعمیرات اساسی، درجه خوردگی و تعداد مخازن جانبی در خطر پارامترهای حیاتی برای واحدها تعیین شد تا به یک فصل مشترک دست یابیم. برای احتساب ریسک های فردی و جمعی از تکنیک کمی سازی ریسک (QRA) با کمک نرم افزار SAFTI و برای وزن دهی و اولویت بخشی از دو تکنیک تصمیم گیری چند معیاره، یکی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)و دیگری تکنیک ویکور (VIKOR) استفاده شد. در نهایت خروجی مدل که تجمیع همه نظرات کمی بود به ما اولویتی را در تصمیم گیری ارائه داد که همه واحد ها به یک همبستگی و اجماع نظر در این خصوص رسیدند.

واژه‌های کلیدی: تصمیم گیری چند معیاره، پروفایل ریسک، تعمیرات اساسی، ارزیابی کمی ریسک

***KEYWORDS**: MCDM, Risk Profile, Overhaul, Quantitative risk assessment*

* عهده‌دار مکاتبات
+E- mail: h.soltani@maragheh.ac.ir

مقدمه

تلفات و جراحات انسانی بُعد غیر قابل جبرانی از یک حادثه هستند که هر ساله علاوه بر غرامت‌های شدید، تاثیر منفی بسزایی بر روحیه افرادِ شاهد حادثه و خانواده حادثه دیده دارند. حوادث باعث وقفه کاری و زمان از دست رفته شدیدی می‌شوند و هزینه‌های غیر مستقیم زیادی را به صنایع وارد می‌آورند. در صنایع فرآیندی که از طریق فرآیندهای فیزیکی یا شیمیایی یا راه‌های دیگر مواد خام به محصولات بینابینی یا نهایی تبدیل می‌شود مواد در شرایط محیطی و عملیاتی حساسی قرار دارند. وقوع حوادث در این صنایع می‌تواند خسارت‌های شدیدی را منجر گردد [۱]. برای پیشگیری از این مسئله شناسایی و ارزیابی ریسک‌های سازمان بسیار موثر است. در هر سازمان پروفایلی از ریسک وجود دارد که فصل مشترک بین اشتهای ریسک سازمان، ظرفیت ریسک و تحمل ریسک آن سازمان است. فصل مشترک ریسک سازمان جایی است که همپوشانی موارد ذکر شده قرار دارد. چنانچه محیط و تجهیزات بررسی و ارزیابی نشده باشد، طبیعتاً اقدام کنترلی و پیشگیرانه مناسب با آن نیز از نظر پنهان می‌ماند. برای یک سازمان نقطه‌های اشتراکی مناسبی وجود دارد تا همه واحدهای سازمان به اتفاق آن را بپذیرند. هیچ واحد از سازمانی وجود ندارد که خدشه دار شدن شهرت سازمان را بپذیرد. شهرت یا اعتبار سازمان ارتباط مستقیم با برآورده شدن خواسته‌های ذینفعان آن سازمان دارد. شهرت هم می تواند منفی و هم می تواند مثبت باشد. رشد یک سازمان وابسته به شهرت مطلوب آن است. از طرفی بروز یک فاجعه یا حادثه می‌تواند علاوه بر صدمات مالی و انسانی منجر به اعتبار منفی سازمان گردد. ذینعان سازمان شامل سهامداران، کارمندان، تامین کنندگان، مشتریان و... همگی در صورت بروز حوادث بصورت مستقیم یا غیر مستقیم متاثر خواهند شد؛ از این رو اهمیت شناسایی، ارزیابی و کمی سازی ریسک‌های سازمان اهمیت بسیار زیادی برای مقابله با ایجاد اعتبار منفی برای سازمان دارد [۲]. در ارزیابی ریسک حوادث دو پارامتر نقش عمده ای ایفا می‌کنند. پارامتر اول تکرارپذیری آن حادثه و پارامتر دوم شدت پیامدهایی است که آن حادثه بر جای می‌گذارد. بسیاری از حوادث را می‌توان در نظر گرفت که پیامد شدیدی داشته باشند ولی در عمل احتمال رویداد آنها ناچیز باشد و بلعکس برخی از حوادث ممکن است به کرات رخ دهند ولی پیامد قابل توجهی نداشته باشند. به همین دلیل تعیین معیاری که هردو عامل را درخود داشته باشد در بررسی خطرات بسیار ضروری است [۳].

تراکم بالای تجهیزات تحت فشار و قابل اشتعال در صنعت نفت و پتروشیمی باعث می‌شود تا حساسیت در طراحی، ساخت، نصب، بهره‌برداری و تعمیرات بالا رود. از بین همه تجهیزات فرآیندی، مخازن بعلت انباشت حجم زیادی از مواد شیمیایی، خطر بالقوه بالایی دارند [۴]، از این رو در این بررسی به تعیین اولویت تعمیرات اساسی مخازن یک پالایشگاه نفت پرداخته می شود.

با توجه به شدت گرفتن مباحث مربوط به تصمیم‌گیری‌های چند معیاره (MCDM[۱]) و از طرفی دیگر، گرایش روز افزون به سمت علوم میان رشته‌ای و استفاده از نظریات گروه‌ها و تخصص‌های مختلف در حل مسائل پیچیده، لزوم توجه به تکنیک‌های تحلیل تصمیم‌گیری و بهره‌گیری از آنها در حل مسائل پیچیده موجود بر کسی پوشیده نیست. روش AHP فازی تکنیکی است از تصمیم‌گیری چند معیاره که برای وزن دهی به معیارها برای تعیین اهمیت نسبی در این بررسی انتخاب شده است. از مزایای فرایند تحلیل سلسله مراتبی، سازگاری آن با فرآیند ذهنی است. تصمیم‌گیری، عمل انتخاب راهبرد یا فعالیتی است که به نظر تصمیم گیرنده بهترین راه حل می‌باشد. معمولا انتخاب، مجموعه‌ای از راهبردها یا فعالیت‌ها برای تصمیم‌گیری مطرح می‌باشد که برای انجام موفقیت آمیز فرآیند حل مسئله، لازم است تصمیم گیرنده موارد متعددی را در نظر بگیرد [۵]. امروزه استفاده از منطق عددی فازی بسیار قابل پذیرش تر از منطق صفر و یک مطلق است. در تئوری خاکستری (فازی) سفید یا سیاه مطلق، رنگ باخته و ما با یک طیف متنوع روبرو هستیم و این پذیرفتنی است. کاربرد متغییرهای زبانی در این منطق یکی دیگر از نقاط قوت آن است. بنابراین در این بررسی پس از بهره‌گیری از تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی از تکنیک Vikor برای رتبه بندی خطرسازی نهایی مخازن استفاده شد. این تکنیک برای بهینه سازی چند معیاره سیستم‌های پیچیده، توسعه یافته است.

قبل از اجرای روند داده کاوی بر اساس متدهای تصمیم‌گیری چند معیاره، برای مدل‌سازی و ارزیابی ریسک طبق روش ارزیابی ریسک کمی (QRA[۲]) به برآورد ریسک مخازن با کمک از نرم افزارهای PHAST و SAFETI می‌پردازیم. روش ارزیابی ریسک کمی برای صنایع شیمیایی و فرآیندی توسط شرکت Det Norske Verities و انستیتو مهندسی شیمی آمریکا پیشنهاد گردیده است. برای ارزیابی و محاسبه ریسک در این روش از نمودارهای ریسک فردی و جمعی منحنی F-N استفاده می شود.

در میان حوادث پالایشگاهی، حادثه انفجار بخار منبسط شده مایع در حال جوش حاصل از نشت پروپان در پالایشگاه نفت فیزین (feyzin) ۱۸ کشته، ۸۱ مصدوم و ۸۷ میلیون دلار خسارت به بار آورد. پالایشگاه نفت اراک نیز شاهد حادثه ای بود که به علت نشتی بر روی Kero-Reboiler در زمان جوشکاری و منجر به انفجار و آتش سوزی شد و متاسفانه ۹ نفر جان خود را از دست دادند؛

(۱) Multi-Criteria Decision Making

(۲) Quantitative Risk Assessment

جدول ۱ - نمونه حوادث فرآیندی رخ داده سال ۲۰۱۷ در ایران

تلفات انسانی	محل وقوع حادثه	نوع حادثه
-	پتروشیمی تندگویان در ماهشهر	آتش سوزی
-	واحد تقطیر پالایشگاه آبادان	آتش سوزی
یک نفر کشته	پتروشیمی بندر امام در ماهشهر	آتش سوزی
مصدوم ۹	پتروشیمی بوعلی در ماهشهر / نوبت دوم نشت مواد شیمیایی	انفجار و آتش سوزی
-	خط لوله اتیلن غرب	آتش سوزی
یک نفر کشته	خط لوله میعانات گازی در مارون	انفجار و آتش سوزی
-	مخزن ذخیره سازی پتروشیمی بیستون در کرمانشاه	آتش سوزی
-	آتش سوزی اتاق کنترل پایانه پتروشیمی پارس	آتش سوزی
یک نفر کشته و سه نفر مصدوم	خط لوله ۴۲ اینچ گاز گناوه	انفجار و آتش‌سوزی
-	واحد تقطیر پالایشگاه آبادان	آتش سوزی
یک نفر کشته	پتروشیمی بندر امام در ماهشهر	آتش سوزی

در حادثه دیگری در پالایشگاه نفت آبادان نشت گاز و انفجار در سال ۱۳۹۰ یک نفر کشته و ۱۰ مصدوم بر جای گذاشت [۶]. در جدول ۱ حوادث صنایع فرآیندی ایران در سال ۲۰۱۷ را نشان می‌دهد.

بخش نظری

گام‌های بررسی و ارزیابی کمی ریسک (QRA)

تعیین اهداف ارزیابی کمی

در این مرحله با تعریف اهداف، معیارهای اندازه‌گیری ریسک و نحوه ارائه‌ی آن مشخص می شود. میزان و عمق مطالعاتی که باید برای ارزیابی ریسک صورت بگیرد، در این مرحله مشخص می شود. که این مساله نیز بستگی به اهمیت ارزیابی ریسک واحد فرایندی مورد نظر و منابع مورد دسترس دارد .در این مرحله یک سری نیازهای مطالعاتی خاص، نظیر مطالعات مربوط به تاثیر حوادث زنجیره‌ای انجام می‌شود.

شرح واحد فرآیندی

در این مرحله تمام اطلاعات مربوط به واحد فرآیندی مورد نظر که برای ارزیابی کمی ریسک مورد نیاز است جمع آوری می‌گردد، که بصورت کامل در کلیات این بررسی آمده است.

شناسایی مخاطرات

با توجه به پیشرفت روز به روز صنایع و حجم فعالیت‌های مربوط به آن، خطرات موجود هم گسترش می‌یابد. روش‌های متفاوتی برای کشف خطرهای واحد های فرآیندی وجود دارد. بسیاری از این روش بسیار وقت‌گیر و زمان بر هستند. اغلب پیچیدگی این روش‌های شناسایی آن چنان زیاد است که برای شناسایی خطرهای گسترده یک پالایشگاه و یا پتروشیمی به یک تیم کاری مجرب و ماه‌ها فرصت مطالعه نیاز است. در این مرحله فقط مخاطراتی که از دیدگاه فرآیندی حائز اهمیت است و در مطالعات ارزیابی کمی فرآیندی مورد بررسی قرار می‌گیرند، شناسایی می‌شوند.

تعیین سناریوهای احتمالی

شناسایی تمام سناریوهای ممکن براساس اهمیت عامل بوجود آورنده آن سناریو اهمیت زیادی در مدل‌سازی پیامد آن دارد و از آن جا که تعیین نکردن هرسناریو محتمل سبب ارزیابی نشدن پیامدهای آن و کاهش دقت ریسک ارزیابی شده می‌شود لذا این مرحله از اهمیت زیادی برخوردار است. سناریوها، وقایعی هستند که می توانند منجر به مخاطرات فرآیندی چون آتش، انفجار یا رهایش مواد شوند. سناریوها می‌توانند ایجاد نشتی یا پارگی در یک لوله یا مخزن حاوی ماده اشتعال پذیر یا سمی در مخزنی تحت فشار و یا اتمسفریک باشند.

تحلیل سناریوها

از تمامی سناریوهای تعیین شده، آن دسته از سناریوها که محتمل‌تر بوده و به نوعی سایر سناریوها را تحت پوشش خود قرار می‌دهند، انتخاب می شوند. در واقع هدف این مرحله کاهش تعداد سناریوها به حدی می باشد که مطالعات مربوط به آن‌ها قابل مدیریت و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد [۶].

تعیین شدت پیامد سناریوها

مدل‌سازی پیامدهای احتمالی در صنعت می‌تواند کمک شایانی به اقدامات پیشگیرانه داشته باشد [۷]. در این مرحله پیامدهای گوناگون ناشی از یک حادثه که می تواند سبب تلفات و یا صدمات جسمی و یا صدمات مالی شود توسط نرم افزار موجود مدل‌سازی و ارزیابی می گردد [۸]. در مدل‌سازی پروبیت‌های مختلفی از انتشار مواد، انفجار، آتش فورانی، آتش ناگهانی، آتش استخری، دامنه و شعاع تاثیر و سایر خطرات احتمالی شبیه سازی می شود.

تعیین تکرارپذیری سناریوها

تکرار پذیری سناریوها از دو راه معمول تعیین می شود که اولین آن‌ها استفاده از داده‌های مربوط به تکرار شدن سناریوها در زمان‌های گذشته بوده و روش دوم استفاده از تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت رویداد است. در این مطالعه از شیوه آمار و سوابق گذشته که مربوط به منابع معتبر می باشد استفاده می‌شود. زمانی که برای رویداد مورد بررسی گستردگی کار بالاست یا دسترسی کافی به همه اطلاعات وجود ندارد، برآورد تکرارپذیری به کمک بانک داده‌های جهانی و سوابق تجربی منبع اطلاعاتی بسیار مفیدی است. همه رویدادهای اتفاق افتاده در یک واحد و واحدهای مشابه جمع‌آوری شده و با تقسیم تعداد نقایص یا حوادث (پارگی یک لوله) بر بازه زمانی رخداد آنها، میزان تکرارپذیری برآورد می‌گردد. بدیهی است هرچه تعداد واحدهای مورد بررسی بیشتر باشد اعداد به دست آمده قابل اعتماد تر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهند بود. در روشی مانند واکاوی درخت خطا، برآورد تکرار پذیری خطای ابعاد نشتی در نظر گرفته نمی‌شود و تکرارپذیری نشتی‌های مختلف یکسان محاسبه می‌شود به همین دلیل استفاده از داده‌های تجربی به واقعیت بسیار نزدیک‌تر است. در بررسی پیش رو از منابع اطلاعاتی داده های تکرارپذیری حوادث استفاده شده است اما به جهت اطمینان از این اعداد یکی از این موارد را با واکاوی درخت خطا (FTA[۱]) به آزمایش می‌گذاریم، هر چند این داده‌ها از پایگاه های معتبری استخراج شده‌اند [۹].

محاسبه ریسک سناریوها

در این مرحله از ترکیب تکرارپذیری و پیامد سناریوها به منظور تعیین ریسک استفاده می‌شود. این ریسک ابتدا برای پیامدهای مختلف ناشی از هر سناریو تعیین شده و سپس از طریق جمع زدن آن‌ها یک ریسک کلی برای هر سناریو تعیین می‌شود.

در این مطالعه جهت تعیین نرخ تکرارپذیری از شیوه آمار و سوابق گذشته که مربوط به منابع معتبر می‌باشد استفاده شده است. جدول ۲ نرخ نقص‌های مربوط به مخازن را توسط OGP[۲] تهیه شده، نشان می‌دهد.

محاسبه ریسک فردی

ریسک فردی (Individual Risk) در هر نقطه جغرافیایی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$IR_{x,y} = \Sigma_{i=1}^{n} \ IR_{x,y,i} \qquad (۱)$$

$IR_{x,y}$: ریسک فردی نهایی در نقطه‌ای به موقعیت جغرافیایی y.x، (احتمال کشته شدن یک نفر در سال)

جدول ۲ - نرخ نقص ترکیدن فاجعه بار مربوط به مخازن [۱۰]

نوع مخزن	نوع تخلیه	تکرارپذیری (سال / نقص)
Fix-Roof	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۳×۱۰^{-۶}
Float-Roof	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۳×۱۰^{-۶}
Double-Roof	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۳×۱۰^{-۶}
Spherical	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۶×۱۰^{-۶}
Bullet	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۴×۱۰^{-۵}
Dome-Roof	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۳×۱۰^{-۶}

$IR_{x,y,i}$: ریسک فردی نهایی در نقطه‌ای به موقعیت جغرافیایی y,x و ناشی از پیامد نهایی i، (احتمال کشته شدن یک نفر در سال)

n : تعداد پیامدهای نهایی ناشی از هر حادثه.

برای محاسبه ریسک فردی در نقطه‌ای به موقعیت جغرافیایی x و y و ناشی از پیامد نهایی i از رابطه زیر استفاده شده است.

$$IR_{x,y,i} = f_i p_{f,i} \qquad (۲)$$

F_i: میزان تکرارپذیری پیامد نهای i ناشی از یک حادثه (1/yr).

$P_{f,I}$: احتمال مرگبار بودن پیامد نهایی i ناشی از یک حادثه در موقعیت جغرافیایی x و y.

برای محاسبه میزان تکرارپذیری پیامد نهایی i ناشی از یک حادثه از رابطه روبرو استفاده می‌شود.

$$f_i = F_I p_{o,i} p_{oc,i} \qquad (۳)$$

Fi : میزان تکرار حادثه I که سبب پیامدهای مختلف می‌شود (1/yr).

$P_{o,I}$: احتمال اینکه یکی از پیامدهای حادثه I که دارای i پیامد نهایی می‌باشد، اتفاق بیافتد.

محاسبه ریسک جمعی

ریسک جمعی (Social Risk) نشان‌دهنده تعداد افرادی است که ممکن است تحت تاثیر یک رویداد خطرناک قرار گیرند. ریسک جمعی بیان کننده تعداد تلفات ایجاد شده در واحد سال بوده و تابعی از توزیع جمعیت در منطقه تحت بررسی می‌باشد. برای ارائه ریسک جمعی از منحنی های (F-N[۳]) استفاده شده است، در این منحنی‌ها مجموع تکرارپذیری پیامدهای ناشی از حادثه بر حسب تعداد تلفات ناشی از حادثه به صورت لگاریتمی رسم شده است.

تعداد تلفات ناشی از هر پیامد نهایی از طریق رابطه زیر تعیین شده است.

$$N_i = \Sigma_{x,y} p_{x,y} p_{f,i} \qquad (۴)$$

(۱) Fault tree analysis
(۲) Oil & Gas Producers
(۳) Frequency- Number

Ni : تعداد تلفات ناشی از پیامد نهایی i.

Px,y : جمعیت حاضر در نقطه‌ای به موقعیت جغرافیایی (x,y).

Pf,i : احتمال مرگبار بودن پیامد نهایی i ناشی از یک حادثه در موقعیت جغرافیایی (x,y).

در ادامه با توجه به رابطه فوق تعداد تلفات ناشی از تمام پیامدهای نهایی تعیین شده که نتیجه آن به دست آوردن جدولی شامل میزان تکرارپذیری و تلفات ناشی از تمام پیامدهای نهایی می‌باشد. پس از تهیه این جدول، داده‌های موجود در آن در رابطه نشان داده شده در زیر که مربوط به میزان تکرار پذیری تجمعی می‌باشد قرار داده شده و در این حالت از نتایج حاصله برای رسم منحنی F-N استفاده شده است.

$$F_N = \sum_i Fi \;\; ; \; N_i > N \qquad (۵)$$

F_N : مجموع تکرار پذیری تمام پیامدهای نهایی

Fi : تکرار پذیری مربوط به پیامد نهایی i.

Ni : تعداد تلفات ناشی از پامد نهایی i.

منحنی حاصل شده را می توان با منحنی (F-N) دیگری که مربوط به معیارها و استانداردهای هر کشوری در زمینه ایمنی است مقایسه کرد. منحنی (F-N) که هر کشور برای صنایع خود ارائه می‌دهد از سه بخش تشکیل شده است، که بخش پایین نمودار[۱] نشان دهنده ریسک قابل قبول حادثه مذکور می باشد. بخش بالای این نمودار منطقه ریسک بالا می باشد و به منزله اعلام خطر در مورد حادثه بوده، به‌طوریکه برای کاهش ریسک آن چه از طریق کاهش احتمال رخ دادن و یا کاهش پیامدهای آن، اقداماتی را انجام داد. قسمت وسط نمودار که ALARP[۲] نامیده می‌شود، حالت گذار بین بخش ریسک بالا و پایین است و نشان دهنده حداکثر ریسک قابل قبول است. این منطقه به منزله هشداری است که اعلام می کند حادثه مذکور در حال نزدیک شدن به منطقه ریسک بالا است. متاسفانه در کشور ما معیاری برای ارزیابی ریسک پیامدهای محتمل در واحدهای فرآیندی وجود ندارد و بر عکس کشورهای پیشرفته که به ارزیابی ریسک به عنوان یکی از مراحل مقدماتی در ساخت واحدهای فرآیندی می‌نگرند، بحث ارزیابی ریسک هنوز جایگاه خود را نیافته است و از این رو به عنوان کشوری که در زمینه ایمنی یک کشور نوپاست، مجبور به پذیریش یک سری از ریسک‌های ممکن در واحدهای فرآیندی می‌باشد.

لازم به ذکر است که کلیه روابط و متغیرهای مورد نیاز در نرم افزار PHAST تعریف شده و با تعیین مقادیر مربوط به مشخصات هر سناریو، نرم افزار مقادیر ریسک فردی و جمعی را برای تک تک پیامدهای حاصل و مجموع آنها همراه با نمودارهای متنوع ارائه می‌دهد.

تصمیم گیری چند معیاره برای اولویت بندی نهایی (MCDM)

انتخاب تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ویکور برای بدست آمدن یک رتبه بندی قابل قبول بسیار عملکرد خوبی دارد [۱۱]. لذا در این بررسی از این دو تکنیک برای تصمیم گیری استفاده شده است.

تعیین معیارها

برای این بررسی معیار های زیر برای قیاس مخازن با یکدیگر انتخاب شدند:

۱ . پتانسیل ریسک جمعی

۲ . پتانسیل ریسک فردی

۳ . تعداد مخازن در خطر (تحت الشعاع)

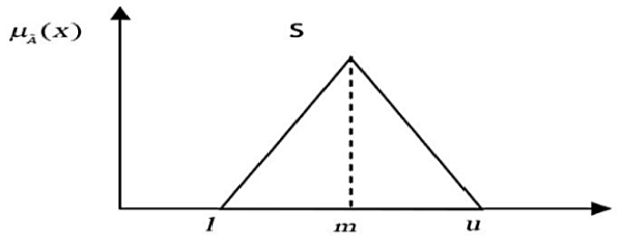
۴ . تاریخ تعمیرات اساسی

۵ . سطح خوردگی مخزن

میزان اهمیت معیار ها با تبدیل معیار های زبانی به اعداد کمی فازی توسط خبرگان تعیین شد. در مورد سطح خوردگی از مقیاس لیکرت برای درجه بندی گویه‌ها استفاده گردید. خبرگان انتخاب شده شامل: مدیر واحد خوردگی، مدیر واحد مخازن، مدیر ایمنی و بهداشت، مدیر واحد پژوهش، مدیر واحد مهندسی و مدیر نگهداری و تعمیرات بودند.

منطق فازی

منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور *عسکر لطفی زاده* ارائه شد. اعداد فازی که یکی از ابزارهای تئوری فازی برای نشان دادن عدم قطعیت است، با تابع عضویت $\mu_M(x)$ نشان داده می‌شود. اعداد فازی بصورت مثلثی و ذوزنقه‌ای با تابع عضویت خاص خود برای نمایش یک مفهوم فازی بکار می‌روند. در این بررسی به منظور فازی کردن، عدد فازی با تابع عضویت مثلثی به شکل زیر و بصورت s=(l,m,u) نشان داده می‌شود [۱۲].



$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ 1 & x = m \\ \dfrac{u-x}{u-m} & m < x < u \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \qquad (۶)$$

(۱) Low Risk region

(۲) As low as reasonably practicable

برای نشان دادن متغیرهای زبانی از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است که همراه با مقادیر زبانی متناظر با آن در جدول آمده است. در این بررسی وزن معیارها به کمک پرسشنامه تعیین و با اعداد قطعی ارزش‌گذاری می شود [۱۳].

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (FAHP)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی، اولین بار توسط *توماس ال ساعتی* در سال۱۹۸۰ مطرح شد که این تکنیک براساس مقایسه زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف به مدیران را می‌دهد. این روش که اغلب برای مقایسه بین معیارها و گزینه ها از اعداد در بازه عددی ۱ تا ۹ استفاده می کند به دلیل نظیر کردن این اعداد به صورت گسسته، مفاهیم قیاس شده بسیار به مقایسه ذهنی وابسته می‌باشد برای کاهش این تاثیر ، این مقایسات با مفاهیم فازی بیان شده که بیشتر قادر به نمایش مفاهیم به طور مستقیم و به دور از تصورات ذهنی باشند.

مقایسات زوجی بطور خلاصه دارای مراحل زیر است:

۱. ساخت سلسله مراتب روابط هدف، معیارها، زیرمعیارها وگزینه‌ها
۲. وزن دهی یا ارائه ماتریس مقایسه وزنی
۳. استخراج اولویت‌ها و وزن‌ها از ماتریس‌های مقایسه زوجی
۴. محاسبه وزن نهایی

واژه AHP مخفف عبارت Analytical Hierarchy process به معنی فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. انتخاب معیارها یا criterions بخش اول واکاوی AHP است. این تکنیکی مناسب برای سازماندهی و تحلیل تصمیم گیری های پیچیده است

یکی از معتبرترین روش‌های تعیین نرخ ناسازگاری استفاده از تعیین ناسازگاری ماتریس فازی مثلثی به روش *گاگوس* و *بوچر* است لذا در این بررسی از روش یاد شده بهره برداری شد. مقایس لیکرت یکی از رایج ترین مقیاس‌های اندازه‌گیری در تحقیقاتی است که براساس پرسشنامه انجام می‌شود و توسط لیکرت ابداع شده است. در این مقیاس یا طیف محقق با توجه به موضوع تحقیق خود، تعدادی گویه را در اختیار شرکت کنندگان قرار می‌دهد تا براساس گویه‌ها و پاسخ های چندگانه، میزان گرایش خود را مشخص کنند [۱۴]. در این بررسی از مقیاس لیکرت در پرسشنامه های خبرگان علمی استفاده شد.

مراحل انجام روش FAHP

گام اول: رسم نمودار فرایند تحلیل سلسله مراتبی
گام دوم: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسات زوجی
گام سوم: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکاربردن اعداد فازی
ماتریس مقایسه، درحالت کلی بصورت زیر نمایش داده می شود:

جدول ۳ - اعداد فازی تعریف شده در فرایند تحلیل سلسله مراتبی

عدد فازی متناظر	مقادیر زبانی	عدد فازی مثلثی متناظر با متغییر
۹	اهمیت مطلق دارد	(7,9,9)
۸	اهمیت خیلی خیلی قوی دارد	(6,8,9)
۷	اهمیت خیلی قوی دارد	(5,7,9)
۶	اهمیت قوی دارد	(4,6,8)
۵	نسبتاً مهم تر است	(3,5,7)
۴	کمی مهم تر است	(2,4,6)
۳	خیلی کم مهم تر است	(1,3,5)
۲	خیلی خیلی کم مهم تر است	(1,2,4)
۱	اهمیت کاملا یکسان دارد	(1,1,1)

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} ۱ & \tilde{a}_{۱۲} & \dots & \tilde{a}_{۱n} \\ \tilde{a}_{۲۱} & ۱ & \dots & \tilde{a}_{۲n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n۱} & \tilde{a}_{n۲} & \dots & ۱ \end{bmatrix} \quad (۷)$$

این ماتریس حاوی اعداد فازی تعیین شده و یا معکوس فازی بصورت زیر است:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i \neq j \end{cases} \quad (۸)$$

گام چهارم: محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی، به صورت زیر و با تابعیت از قانون ضرب، جمع و تقسیم فازی بدست می‌آید و خود نیز یک عدد فازی است.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (۹)$$

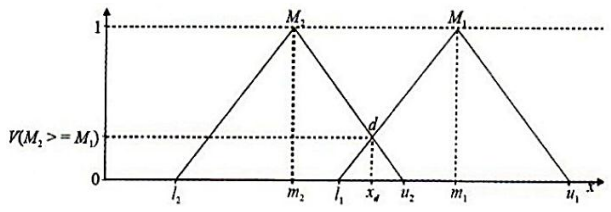
در این رابطه i بیانگر شماره سطر و j نشان دهنده شماره ستون می‌باشد.

گام پنجم: محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر

در حالت کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، آنگاه درجه بزرگی M_1 نسبت به M_2 بصورت زیر خواهد بود:

$$V(M_۲ \geq M_۱) = hgt(M_۱ \cap M_۲) = \mu_{M_۱}(d) =$$

$$\begin{cases} ۱ & \text{if } m_۲ \geq m_۱ \\ ۰ & \text{if } l_۱ \geq u_۲ \\ \frac{l_۱ - u_۲}{(m_۲ - u_۲) - (m_۱ - l_۱)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۱۰)$$



هرگاه میزان برتری یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر مطرح باشد از رابطه زیر بهره می‌بریم:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

گام ششم: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$d'(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) k = 1,2,\dots,n, k \neq i \quad (12)$$

و بنابراین بردار وزن نرمالیزه به صورت زیر است:

$$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)\right)^T A_i (i = 1,2,\dots,n) \quad (13)$$

گام هفتم: محاسبه وزن نهایی

برای محاسبه وزن نهایی ، بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمال سازی می کنیم

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)\right)^T \quad (14)$$

تشکیل ماتریس تصمیم و رتبه بندی با تکنیک VIKOR

اگر یک مسأله تصمیم گیری چند معیاره دارای n معیار و m گزینه باشد آنگاه برای انتخاب ترتیب اهمیت گزینه‌ها به‌صورت زیر عمل می‌کنیم [۱۵]:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

با توجه به گزینه‌ها و معیارها ایت ماتریس را تشکیل می‌دهیم، این ماتریس درحالت عمومی فرم زیر را دارد:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

که در آن عملکرد گزینه i نسبت به معیار j نشان داده می‌شود.

گام دوم: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می‌شود که معیارها با ابعاد مختلف به معیارهای بی بعد مبدل گردد و ماتریس جدید F تشکیل شود:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

هر درایه از ماتریس تصمیم، به روش زیر نرمال می شود:

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad (17)$$

گام سوم: تعیین بردار وزن معیارها

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (18)$$

گام چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار

بهترین f_i^+ مقدار برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$f_j^+ = \text{Max } f_{ij}$$

$$f_j^+ = \text{Min } f_{ij} \quad (19)$$

بدترین f_i^- مقدار برای معیارهای مثبت و منفی به ترتیب با روابط زیر بدست می‌آیند:

$$f_j^- = \text{Max } f_{ij}$$

$$f_j^- = \text{Min } f_{ij} \quad (20)$$

در این موارد بهترین مقدار معیار و بدترین مقدار معیار از بین تمام گزینه‌ها است.

گام پنجم: محاسبه مقدار سودمندی (S) و مقدار تأسف (R)

این دو مقدار از روابط ۳–۳۷ و ۳–۳۸ بدست می‌آیند.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad (21)$$

$$R_i = \text{Max}\left\{w_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-}\right\} \quad (22)$$

که w_j مقدار وزن مورد نظر برای معیار j می‌باشد.

در روش برنامه‌ریزی توافقی اگر پارامتر P مساوی یک باشد، همان مقدار S_i بدست می‌آید و اگر این پارامتر مساوی بی‌نهایت باشد آنگاه، همان مقدار R_i بدست می‌آید:

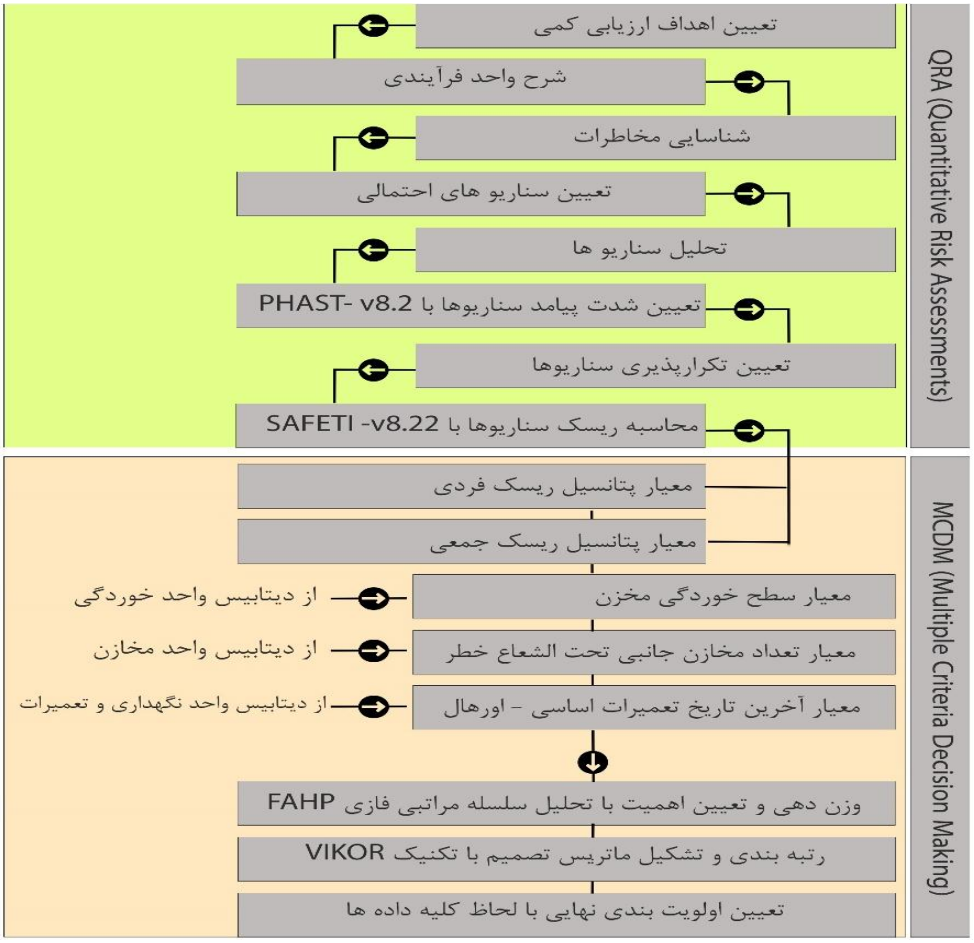
$$L(A_i) = \sum_{j=}^{n} w_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} = S_i \quad (23)$$

$$L_\infty(A_i) = \text{Max}\left[w_j \cdot \left(\frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-}\right)\right] = R_i \quad (24)$$

گام ششم: محاسبه شاخص ویکور (Q)

این مقدار با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^-}{S^+ - S^-}\right] + (1 - v)\left[\frac{R_i - R^-}{R^+ - R^-}\right] \quad (25)$$



شکل ۱ – خلاصه شماتیک گام به گام بررسی

$$S^- = \mathrm{Min}_i \;\; S^+ = \mathrm{Max}\, S_i \;\; R^- = \mathrm{Min}\, R_i \;\; R^+ = \mathrm{Max}\, R_i \qquad (۲۶)$$

در این رابطه کسر موجود در براکت اول بیانگر فاصله از حل ایده آل و براکت دوم فاصله از حل ضد ایده آل است و پارامتر مد نظر با توجه به میزان توافق گروه است که تعیین می شود.

گام هفتم: مرتب کردن گزینه ها بر اساس مقادیر R، S و Q

گزینه ای در این مرحله در صدر قرار می‌گیرد که در هر سه گروه بعنوان گزینه برتری شناخته شده باشد.

شرط اول: اگر گزینه A_1 و A_2 به ترتیب اولین و دومین گزینه برتر در گروه و n بیانگر تعداد گزینه‌ها باشد، رابطه زیر برقرار است

$$\mathrm{Q(A_2)} - \mathrm{Q(A_1)} \geq \frac{1}{\mathrm{n-1}} \qquad (۲۷)$$

شرط دوم: گزینه A_1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود. زمانی که شرط اول برقرار نباشد مجموعه‌ای از گزینه‌ها به‌عنوان گزینه‌های برتر انتخاب می‌شود. بیشترین مقدار m از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{Q(A_m)} - \mathrm{Q(A_1)} < \frac{1}{\mathrm{n-1}} \qquad (۲۸)$$

زمانی که شرط دوم برقرار نباشد دو گزینه A_1 و A_2 به عنوان گزینه های برتر انتخاب می‌شود.

در این بررسی برای تحلیل داده‌ها در نرم افزار از درجه ویکور V:0.5 و شاخص صعودی رتبه بندی بهره برداری شد. چون همه معیارها یک مفهوم منفی از سطح ایمنی بود لذا همه را هم جهت (مثبت) فرض نموده و گزینه‌هایِ با امتیاز بالاتر، بدترین گزینه‌ها توصیف شده است. به عبارتی دیگر مخزنی که در همه موارد امتیاز بالاتری را کسب کند، در سطح خطر بالاتری از سایر مخازن خواهد بود.

خلاصه گام به گام مدل و تعیین اولویت بندی نهایی

خلاصه‌ای شماتیک از تکنیک تلفیقی مورد بررسی در شکل زیر آورده شده است. بصورت کلی دو بخش ارزیابی کمی ریسک و سپس تصمیم‌گیری چند معیاره را شامل می‌شود. خروجی‌های مدل ترتیبی ارائه می‌دهد که در آن بالاترین امتیاز در ویکور، خطرناک‌ترین تجهیز فرآیندی ماست.

جدول ۴ – تشکیل ماتریس فازی مثلثی و وزن نرمال شده هر معیار

ماتریس معیارها	پتانسیل ریسک جمعی	پتانسیل ریسک فردی	تاریخ تعمیرات اساسی	سطح خوردگی	تعداد مخازن در خطر جانبی	مجموع سطرها
پتانسیل ریسک جمعی	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۶، ۴، ۲)	(۲۱، ۱۳، ۶)
پتانسیل ریسک فردی	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۶، ۴، ۲)	(۱۷، ۱۰/۵، ۵/۲۵)
تاریخ تعمیرات اساسی	(۱، ۰/۳۳۳۳، ۰/۲)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۸، ۴/۸۳۳، ۳/۴۵)
سطح خوردگی	(۱، ۰/۳۳، ۰/۲)	(۱، ۰/۳۳، ۰/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲، ۱)	(۸، ۴/۶۶۶، ۳/۴)
تعداد مخازن در خطر جانبی	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۶۷)	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۶۷)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۱، ۱)	(۴، ۲/۵، ۱/۸۳۳)

Si	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
(۰/۱۰۳۴۵، ۰/۳۶۶۲، ۱/۰۵۳۵۱)	۱	۰/۳۰۴۴۱۳
(۰/۰۹۰۵۲، ۰/۲۹۵۷۷، ۰/۸۵۲۸۴)	۰/۹۱۴۱	۰/۲۷۸۲۶۴
(۰/۰۵۹۴۸، ۰/۱۳۶۱۵، ۰/۴۰۱۳۴)	۰/۵۶۴۲۵۲	۰/۱۷۱۷۶۶
(۰/۰۵۸۶۲، ۰/۱۳۱۴۶، ۰/۴۰۱۳۴)	۰/۵۵۹۲۷۹	۰/۱۷۰۲۵۲
(۰/۰۳۱۶۱، ۰/۰۷۰۴۲، ۰/۲۰۰۶۷)	۰/۲۴۷۳۸۴	۰/۰۷۵۳۰۷

جدول ۵ - برآورد نرخ ناسازگاری

$CI_۲ = \frac{۵.۱۱۳ - ۵}{۵ - ۱} = ۰.۰۲۸$	$CI_۱ = \frac{۵.۰۷۴ - ۵}{۵ - ۱} = ۰.۰۱۸$
$CR۲ = \frac{۰.۰۲۸}{۱.۱۲} = ۰.۰۲۵$	$CR۱ = \frac{۰.۰۱۸۵}{۱.۱۲} = ۰.۰۱۶$
۰.۱ > ۰.۰۲۵ و ۰.۰۱۶	

جدول ۶ – رتبه بندی خطر مخازن با امتیاز ویکور

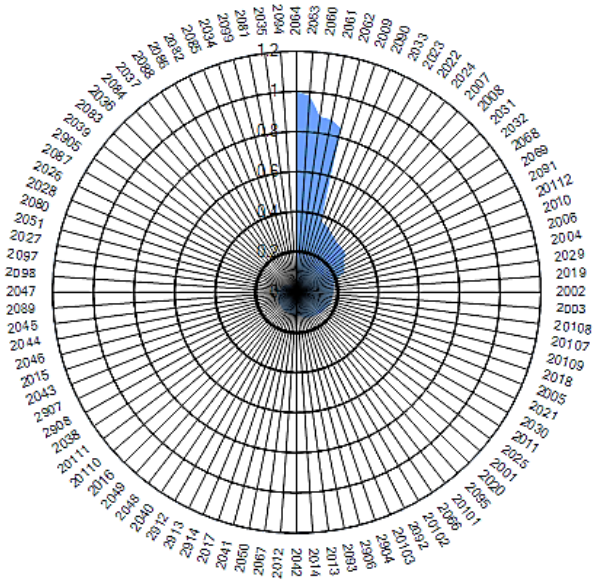
امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر	امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر	امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر
۰/۱۰۱۶۲	۲۹۰۸	۶۵	۰/۱۶۴۵۳۲	۲۰۳۰	۳۳	۱	۲۰۶۴	۱
۰/۱۰۱۶۲	۲۹۰۷	۶۶	۰/۱۶۱۷۱۶	۲۰۱۱	۳۴	۰/۹۸۲۶۸۸	۲۰۶۳	۲
۰/۱۰۰۶۴۵	۲۰۴۳	۶۷	۰/۱۵۸۵۹۶	۲۰۲۵	۳۵	۰/۸۸۳۶۵۳	۲۰۶۰	۳
۰/۰۹۶۰۸۴	۲۰۱۵	۶۸	۰/۱۵۸۲۸۶	۲۰۰۱	۳۶	۰/۸۷۸۰۵۳	۲۰۶۱	۴
۰/۰۹۵۵۱۶	۲۰۴۶	۶۹	۰/۱۵۱۲۷۷	۲۰۲۰	۳۷	۰/۸۴۶۲۱۷	۲۰۶۲	۵
۰/۰۹۰۰۶۵	۲۰۴۴	۷۰	۰/۱۵۰۳۷۳	۲۰۹۵	۳۸	۰/۳۷۶۳۶۴	۲۰۰۹	۶
۰/۰۸۸۷۸۳	۲۰۴۵	۷۱	۰/۱۴۶۸۱۴	۲۰۱۰۱	۳۹	۰/۳۶۴۶۷۲	۲۰۹۰	۷
۰/۰۸۷۸۰۸	۲۰۸۹	۷۲	۰/۱۴۵۰۱۴	۲۰۶۶	۴۰	۰/۳۵۹۰۸۳	۲۰۳۳	۸
۰/۰۸۷۱۸	۲۰۴۷	۷۳	۰/۱۴۲۴۴۶	۲۰۱۰۲	۴۱	۰/۳۳۸۲۴	۲۰۲۳	۹
۰/۰۸۵۱۲	۲۰۹۸	۷۴	۰/۱۳۹۴۷۸	۲۰۹۲	۴۲	۰/۳۳۰۲۷۱	۲۰۲۲	۱۰
۰/۰۸۵۱۲	۲۰۹۷	۷۵	۰/۱۳۸۰۶۸	۲۰۱۰۳	۴۳	۰/۳۲۰۷۳۴	۲۰۲۴	۱۱
۰/۰۷۸۳۴۴	۲۰۲۷	۷۶	۰/۱۳۶۴۷۹	۲۹۰۴	۴۴	۰/۳۱۶۵۶۹	۲۰۰۷	۱۲
۰۰۷۸۰۱۳/	۲۰۵۱	۷۷	۰/۱۳۶۴۷۹	۲۹۰۶	۴۵	۰/۳۱۵۱۴۳	۲۰۰۸	۱۳
۰/۰۷۷۳۷۶	۲۰۸۰	۷۸	۰/۱۲۲۰۴۸	۲۰۹۳	۴۶	۰/۳۱۱۸۳۳	۲۰۳۱	۱۴
۰/۰۷۴۴۸۶	۲۰۲۸	۷۹	۰/۱۱۸۷۲۵	۲۰۱۳	۴۷	۰/۳۰۲۸۵۶	۲۰۳۲	۱۵
۰/۰۷۱۶۱۲	۲۰۲۶	۸۰	۰/۱۱۷۸۸۴	۲۰۱۴	۴۸	۰/۲۷۶۳۳۷	۲۰۶۸	۱۶
۰/۰۶۹۷۹۹	۲۰۸۷	۸۱	۰/۱۱۵۷۱۳	۲۰۴۲	۴۹	۰/۲۷۵۶۹۵	۲۰۶۹	۱۷
۰/۰۶۶۲۶۸	۲۹۰۵	۸۲	۰/۱۱۵۱۹۸	۲۰۱۲	۵۰	۰/۲۶۱۰۷۹	۲۰۹۱	۱۸
۰/۰۵۶۲۱۲	۲۰۳۹	۸۳	۰/۱۱۳۹۱۶	۲۰۶۷	۵۱	۰/۲۵۵۷۰۹	۲۰۱۱۲	۱۹
۰/۰۵۲۸۰۷	۲۰۸۳	۸۴	۰/۱۱۲۷۵۵	۲۰۵۰	۵۲	۰/۲۰۹۷۷۴	۲۰۱۰	۲۰
۰/۰۵۱۲۳۱	۲۰۳۶	۸۵	۰/۱۱۱۳۵۵	۲۰۴۱	۵۳	۰/۱۹۲۵۷۷	۲۰۰۶	۲۱

ادامه جدول ۶

امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر	امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر	امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر
۰/۰۵۰۸۸۳	۲۰۸۴	۸۶	۰/۱۱۱۱۷۸	۲۰۱۷	۵۴	۰/۱۸۸۹۳۴	۲۰۰۴	۲۲
۰/۰۴۶۱۰۱	۲۰۳۷	۸۷	۰/۱۱۰۰۶۹	۲۹۱۴	۵۵	۰/۱۸۷۰۴۳	۲۰۲۹	۲۳
۰/۰۳۸۳۴۸	۲۰۸۸	۸۸	۰/۱۱۰۰۶۹	۲۹۱۳	۵۶	۰/۱۸۱۷۶۸	۲۰۱۹	۲۴
۰/۰۳۷۷۳۹	۲۰۸۶	۸۹	۰/۱۱۰۰۶۹	۲۹۱۲	۵۷	۰/۱۸۰۹۸۹	۲۰۰۲	۲۵
۰/۰۳۶۹۸	۲۰۸۲	۹۰	۰/۱۰۹۴۳۱	۲۰۴۰	۵۸	۰/۱۸۰۱۷۶	۲۰۰۳	۲۶
۰/۰۳۶۷۷۷	۲۰۸۵	۹۱	۰/۱۰۸۵۸۷	۲۰۴۸	۵۹	۰/۱۷۷۰۷۶	۲۰۱۰۸	۲۷
۰/۰۳۲۲۱	۲۰۳۴	۹۲	۰/۱۰۸۵۸۷	۲۰۴۹	۶۰	۰/۱۷۷۰۷۶	۲۰۱۰۷	۲۸
۰/۰۳۲۰۵	۲۰۹۹	۹۳	۰/۱۰۴۷۴	۲۰۱۶	۶۱	۰/۱۷۷۰۷۶	۲۰۱۰۹	۲۹
۰/۰۳۱۸۵۱	۲۰۸۱	۹۴	۰/۱۰۳۴۱۲	۲۰۱۱۰	۶۲	۰/۱۷۶۹۵۹	۲۰۱۸	۳۰
۰/۰۲۹۶۴۵	۲۰۳۵	۹۵	۰/۱۰۳۴۱۲	۲۰۱۱۱	۶۳	۰/۱۷۴۸۵۸	۲۰۰۵	۳۱
۱/۸۹E-۰۵	۲۰۹۴	۹۶	۰/۱۰۲۶۱۹	۲۰۳۸	۶۴	۰/۱۶۷۶۶۵	۲۰۲۱	۳۲

جدول ۷ – تحلیل مرتبه خطر مخازن پرخطر

تحلیل مرتبه خطر	امتیاز ویکور	نام مخزن	مرتبه خطر
پتانسیل بالای ریسک جمعی و فردی (گاز تحت فشار–LPG) – تعداد مخازن کناری درخطر با احتمال حریق یا انفجار آن، زیاد است – از تاریخ تعمیرات اساسی آن ۱۰۷ ماه گذشته است و نیاز به بازرسی و بازبینی مجدد دارد	۱	۲۰۶۴	۱
پتانسیل بالای ریسک جمعی و فردی (گاز تحت فشار–LPG) – تعداد مخازن کناری درخطر با احتمال حریق یا انفجار آن، زیاد است – از تاریخ تعمیرات اساسی آن ۵۳ ماه گذشته است و نیاز به بازرسی و بازبینی مجدد دارد	۰/۹۸۲۶۸۸	۲۰۶۳	۲
پتانسیل بالای ریسک جمعی و فردی (گاز تحت فشار–LPG) – تعداد مخازن کناری درخطر با احتمال حریق یا انفجار آن، زیاد است – از تاریخ تعمیرات اساسی آن ۷۲ ماه گذشته است و نیاز به بازرسی و بازبینی مجدد دارد	۰/۸۸۳۶۵۳	۲۰۶۰	۳
پتانسیل بالای ریسک جمعی و فردی (گاز تحت فشار–LPG) – تعداد مخازن کناری درخطر با احتمال حریق یا انفجار آن، زیاد است – از تاریخ تعمیرات اساسی آن ۶۵ ماه گذشته است و نیاز به بازرسی و بازبینی مجدد دارد	۰/۸۷۸۰۵۳	۲۰۶۱	۴
پتانسیل بالای ریسک جمعی و فردی (گاز تحت فشار–LPG) – تعداد مخازن کناری درخطر با احتمال حریق یا انفجار آن، زیاد است	۰/۸۴۶۲۱۷	۲۰۶۲	۵
سطح خوردگی بالا– از تاریخ تعمیرات اساسی آن ۱۰۵ ماه گذشته است و نیاز به بازرسی و بازبینی مجدد دارد– پتانسیل ریسک فردی بالایی دارد	۰/۳۷۶۳۶۴	۲۰۰۹	۶
در سطح ۵ خوردگی قرار دارد – پتانسیل ریسک فردی آن بالاست – ۱۰۵ ماه از تاریخ تعمیرات اساسی آن گذشته است	۰/۳۶۴۶۷۲	۲۰۹۰	۷
در سطح ۵ خوردگی قرار دارد و داری ترک های ریز سطحی – ریسک فردی و جمعی بالایی دارد	۰/۳۵۹۰۸۳	۲۰۳۳	۸
در سطح ۵ خوردگی قرار دارد – پتانسیل ریسک آن بالاست – ۵۴ ماه از تاریخ تعمیرات اساسی آن گذشته است	۰/۳۳۸۲۴	۲۰۲۳	۹
پتانسیل ریسک جمعی و فردی آن زیاد است – و قرار گیری در نزدیکی اتاق کنترل – تاریخ تعمیرات اساسی آن گذشته است – در سطح ۳ خوردگی قرار دارد	۰/۳۳۰۲۷۱	۲۰۲۲	۱۰
در سطح ۵ خوردگی قرار دارد – پتانسیل ریسک فردی و جمعی آن بعلت نزدیکی به اتاق کنترل و تردد، بالاست	۰/۳۲۰۷۳۴	۲۰۲۴	۱۱
در سطح ۵ خوردگی قرار دارد – تعداد مخازن در خطر کناری آن و پتانسیل ریسک فردی آن بالاست	۰/۳۱۶۵۶۹	۲۰۰۷	۱۲
در سطح ۵ خوردگی قرار دارد – تعداد مخازن در خطر کناری آن و پتانسیل ریسک فردی آن بالاست	۰/۳۱۵۱۴۳	۲۰۰۸	۱۳
در سطح ۳ خوردگی قرار دارد – ریسک فردی و جمعی بالایی دارد – ۱۹ ماه از تاریخ تعمیرات اساسی آن گذشته است	۰/۳۱۱۸۳۳	۲۰۳۱	۱۴
در سطح ۳ خوردگی قرار دارد – ریسک فردی و جمعی بالایی دارد	۰/۳۰۲۸۵۶	۲۰۳۲	۱۵
پتانسیل ریسک فردی و جمعی بالایی دارد – در سطح ۳ خوردگی قرار دارد – ۲۸ ماه از تاریخ تعمیرات اساسی آن گذشته است و قابلیت خطر آفرینی را دارد	۰/۲۷۶۳۳۷	۲۰۶۸	۱۶
پتانسیل ریسک فردی و جمعی بالایی دارد – در سطح ۳ خوردگی قرار دارد – ۲۶ ماه از تاریخ تعمیرات اساسی آن گذشته است و قابلیت خطر آفرینی را دارد	۰/۲۷۵۶۹۵	۲۰۶۹	۱۷
در سطح ۳ خوردگی قرار دارد – تعداد مخازن در خطر کناری آن و پتانسیل ریسک فردی آن بالاست	۰/۲۶۱۰۷۹	۲۰۹۱	۱۸



شکل ۲ - نمودار راداری مقایسه میزان مرتبه خطر مخازن

نتیجه‌ها و بحث

از میان مخازن موجود در پالایشگاه ، مخزن‌های ۲۰۶۴، ۲۰۶۳، ۲۰۶۰، ۲۰۶۱ و ۲۰۶۲ که همگی در سرویس گاز مایع (LPG) قرار دارند به ترتیب بالاترین پتانسیل خطرآفرینی را به خود اختصاص داده‌اند. مخزن ۲۰۰۹ بعلت سطح خوردگی بالا، تاریخ مدید گذشتن از تعمیرات اساسی مخزن و پتانسیل ریسک فردی بالا احتمال خطرآفرینی را دارد. مخزن ۲۰۹۰ نیز به علت گذشتن از تاریخ تعمیرات اساسی و سطح خوردگی، پتانسیل ریسک بالایی دارد. مخزن شماره ۲۰۳۳ در سطح ۵ خوردگی قرار دارد و داری ترک‌های ریز سطحی است. ریسک فردی و جمعی این مخزن غیر قابل قبول است. مخزن شماره ۲۰۲۳ در جایگاه بعدی مرتبه خطر قرار دارد، از تاریخ تعمیرات اساسی این مخزن ۵۴ ماه گذشته و سطح خوردگی بالایی دارد. مخزن شماره ۲۰۲۲ پس از مخازن یاد شده بالاترین پتانسیل مرتبه خطر را بین سایر مخازن دارد. این مخزن بعلت گذشتن از تاریخ تعمیرات اساسی آن و قرارگیری در نزدیکی اتاق کنترل شماره یک (واحد حذف هیدروژن سولفید) و همچنین سطح ۳ خوردگی، به این میزان از سطح ریسک رسیده است. مخازن شماره ۲۰۴۸ و ۲۰۶۷ نیز بعلت سطح خوردگی بالا و ترک‌های ریز بدنه در اولویت‌های بعدی قرار دارند. البته به گفته مراجع ذی صلاح پالایشگاه مخزن شماره ۲۰۶۷ در حال حاضر از سرویس خارج گردیده است. مخازن ۲۰۲۳، ۲۰۲۴، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ بعلت پتانسیل ریسک فردی و سطح خوردگی بالا در مرتبه‌ای نسبی از خطر قرار دارند. مرتبه خطر به دست آمده از مدل پیشنهادی، توانست همه واحدها را به یک اجماع نظر قابل پذیرشی برساند که با این اولویت تعمیرات اساسی مخازن را آغاز کنند و برای سایر تجهیزات نیز از این روش استفاده کنند.

در مورد ماتریس اول میزان نرخ ناسازگاری ۰/۰۱۶ و در مورد ماتریس دوم میزان نرخ ناسازگاری ۰/۰۲۵ بدست آمده است که هر دو این مقادیر از ۰/۱ کمتر هستند. در نتیجه ماتریس وزن دهی به روش مقایسات زوجی معیارها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، از سازگاری خوبی برخوردار بوده و داده‌های آن قابل استناد و بهره برداری در گام بعدی است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

مراجع

[۱] جهانگیری، مهدی؛ نوروزی، محمدامین؛ ساربان زاده، کیوان؛ "مدیریت و ارزیابی ریسک ". جلد دوم، تهران؛ نشر فن آوران، ۱۲-۱۸ (۱۳۹۵).

[2] The National Examination Board in Occupational Safety and Health(Nebosh) guidelines, Quick Refrence Guide to Risk Profiling, Uk , (2023).

[۳] محمدمرادی، اصغر؛ اخترکاوان، مهدی؛ "روش‌شناسی مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره"، *نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر*، **۲**: ۱۱۳-۱۲۵ (۱۳۸۸).

[۴] کاظمی، بابک؛ "ایمنی و بهداشت کار "، تهران: نشر برآیند پویش، ۱۱ (۱۳۸۹).

[۵] قاضی حسینی، سید مهرداد؛ طبرسا، نسیم؛ "ارزیابی و رتبه‌بندی صنایع معدنی با بکارگیری AHP فازی و تکنیک VIKOR"، کنفرانس ملی کارآفرینی و مدیریت کسب و کارهای دانش بنیان؛ مازندران، (۱۳۹۱).

[۶] عبدالحمیدزاده، بهمن؛ بدری، ناصر؛ "ارزیابی کمی و کیفی ریسک در صنایع فرایندی"، انتشارات اندیشه سرا، **۶** (۱۳۹۲)

[۷] کمالی، جواد؛ امیدخواه نسرین، محمدرضا؛ حجازی، طه حسین؛ "مدل‌سازی پیامد و ارزیابی ریسک مخازن کروی LPG پالایشگاه نفت اصفهان" ، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **۴۱(۳)**: ۳۰۵ تا ۳۱۱ (۱۴۰۱)

[۸] کمالی، جواد؛ محمدی، هادی؛ " مدل‌سازی و آنالیز پیامد مخزن آمونیاک مجتمع پتروشیمی کرمانشاه با استفاده از نرم افزار Phast" ، ششمین کنفرانس ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE دانشگاه صنعتی شریف، تهران، **۶**: ۱۱۵۱ (۱۳۹۳).

[۹] جعفری، محمدجواد؛ زارعی، اسماعیل؛ دُرمحمدی، علی؛ "ارایه روشی برای مدل‌سازی پیامد و ارزیابی کمی ریسک حریق و انفجار در صنایع فرایندی مطالعه موردی: فرایند تولید هیدروژن"، *فصلنامه علمی بهداشت و ایمنی کار*، **۳(۱)**: ۵۵ – ۶۸ (۱۳۹۲).

[10] OGP, "Risk Assessment Data Directory-Storage Incident Frequencies - Report No. 434 – 3," pg.31 . International Association of Oil & Gas Producers, (2022).

[11] Malakar S., Rai A.K., "Estimating Seismic Vulnerability in West Bengal by AHP-WSM and AHP-VIKOR" , Natural Hazards Research, (2023)

[12] Lopez L.M., Ishizaka A., Qin J., Alvarez-Carrillo P.A., "Multi-Criteria Decision-Making Sorting Methods", 1st Edition , academic press (elsevier science), (2023)

[13] Ertugrul I., Karakasoglu N., "Fuzzy TOPSIS Method for Academic Member Selection in Engineering Faculty," *Innovations in Elearning, Instruction Technology Assessment, and Engineering*, **2**: 151-156, (2007).

[۱۴] حبیبی، آرش؛ آفریدی، صنم؛ "تصمیم‌گیری چندشاخصه"، تهران؛ انتشارات نارون ،ص.۲۲–۱۴۰ (۱۴۰۱)

[۱۵] بزرگ حداد، امید؛ دلپسند، محمد؛ تصمیم‌گیری چند معیاره، تهران؛ انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، (۱۴۰۱)