ارایه الگویی جهت ارزیابی سطح عمل‌کرد سازمان مبتنی بر مهندسی رزیلینس و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)– مطالعه موردی در صنعت پتروشیمی

محسن امیدوار[۱] – عادل مظلومی[۲*] – ایرج محمدفام [۳] – عباس رحیمی فروشانی[۴] – فرشته نیرومند[۵]

amazlomi@tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

چکیده

مقدمه: مهندسی رزیلینس (RE) به عنوان نگرشی جدید در حوزه ایمنی، در صدد حفظ عمل‌کرد سیستم‌های اجتماعی-فنی در شرایط مختلف، با تکیه بر نقاط قوت به جای تاکید بر نقاط ضعف می‌باشد. هدف از این مطالعه، ارایه الگویی جدید جهت ارزیابی ایمنی بر مبنای مهندسی رزیلینس و با استفاده از روش FAHP می‌باشد.

روش کار: مطالعه حاضر از نوع تحلیلی بوده که در یک صنعت پتروشیمی انجام گردید. ابتدا شش مولفه به عنوان شاخص‌های RE مشخص شده و چارچوب ارزیابی تشکیل شد. سپس مولفه‌های RE تعیین شده، با استفاده از نظرات افراد صاحب نظر در قالب یک پانل تخصصی ارزیابی و اعتباربخشی شد. در مرحله بعد، یک شاخص تحت عنوان شاخص هشدار پیش نگر رزیلینس، طراحی شد. در انتها نیز با استفاده از بردار ارزیابی فازی، امتیاز شاخص رزیلینس کل فرآیند تعیین گردید.

یافته ها: نتایج ارزیابی نشان دادند که مولفه تعهد مدیریت حایز بیش‌ترین اهمیت و مولفه یادگیری دارای کم‌ترین اهمیت در تعیین سطح رزیلینس می‌باشند. هم‌چنین مولفه انعطاف پذیری (C3) در محدوده غیر قابل قبول نارنجی (OEWZ) واقع شده و سایر مولفه ها در محدوده قابل قبول (NEWZ) واقع شده‌اند. سطح رزیلینس کل فرآیند برابر سطح III (قابل قبول) برآورد گردید.

نتیجه گیری: تعهد مدیریت و آمادگی در برابر شرایط اضطراری دو مولفه اصلی در تعیین سطح رزیلینس بوده و می‌توانند بیش‌ترین سهم در باقی ماندن وضعیت سازمان در محدوده NEWZ را ایفا کنند.

کلمات کلیدی: *مهندسی رزیلینس، تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی، تئوری فازی، شاخص هشدار رزیلینس، ایمنی*

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۴- استاد، گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۵- کارشناس ارشد، محیط زیست، گرایش کنترل آلاینده ها، دانشگاه جامع علمی کاربردی، تهران، ایران

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر، پیشرفت تکنولوژی باعث افزایش پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های فرآیندی شده که این موضوع نیز به نوبه خودموجب بروز حوادث ناگوار و وخیم در سطوح بزرگ گردیده است. برای سالیان متمادی، خطای انسانی و نقص اجزای یک سیستم به عنوان علل اصلی حوادث شناخته می‌شدند، اما امروزه در بسیاری از مطالعات تاکید شده است که علل بروز حوادث را به خصوص در سیستم‌های پیچیده (موسوم به سیستم‌های اجتماعی-فنی) باید در عوامل سازمانی، تغییرات موجود در عمل‌کرد کارکردی و ترکیب مجموعه ای از رخدادهای غیر قابل انتظار جستجو نمود (۱).

Hollnagel و همکاران از پدیده فوق (ترکیب مجموعه ای از رخدادهای غیر قابل انتظار) تحت عنوان تشدید عمل‌کردی یاد نموده و یادآوری می‌کنند که در سیستم‌های اجتماعی-فنی، برآیند خروجی چند رویداد (هرچند کوچک) چیزی فراتر از مقادیر اولیه بوده و پیش بینی مقدار آن بر اساس روش‌های معمول ارزیابی ریسک امکان پذیر نیست (۲).

متاسفانه در اکثر صنایع با نگرش سنتی ایمنی، موضوعات ایمنی سازمانی و آنالیز حوادث بر پایه خطی بودن و قطعی بودن علل بروز حوادث در یک زنجیره که از خطای اپراتور ناشی می‌شود، بنا نهاده شده اند (۳)؛ این در حالی است که بر خلاف نگرش‌های سنتی (نیوتون-کارتزینی) که سیستم‌ها را به صورت استاتیک و مهارشدنی در نظر می‌گیرند، در نگرش‌های جدید به دلیل دو ویژگی اتصالات شدید بین اجزا و پیچیدگی فرآیند، بروز رخدادها در این سیستم‌ها غیر قابل ردیابی در نظر گرفته می‌شوند (۴). بنابراین روش‌های متداول (سنتی) ارزیابی ریسک، برای ارزیابی ریسک‌های موجود در سیستم‌های اجتماعی-فنی مناسب نمی‌باشند و به همین دلیل باید به دنبال روش‌ها و یا نگرش‌هایی بود که متناسب با ویژگی‌های این سیستم‌ها بوده و بتوانند جهت پیشگیری از وقوع رخدادهای فاجعه بار این سیستم‌ها به کار گرفته شوند.

اخیراً، ایده‌های جدید مانند مهندسی رزیلینس (RE) باعث تغییر نگرش در نحوه حفظ و ارتقاء ایمنی، در حوزه ایمنی سیستم‌های پیچیده شده است و پارادایم (الگوی) جدیدی برای تجزیه و تحلیل نقش مثبت افراد در تمام سطوح سازمانی، به‌جای تاکید بر خطای انسانی، معرفی شده است (۵).

رزیلینس در فرهنگ لغت به معنای قابلیت ارتجاع و انعطاف می‌باشد، اما در حوزه ایمنی سیستم، رزیلینس عبارت است از توانایی ذاتی یک سیستم جهت تنظیم عمل‌کرد خود قبل، در حین و بعد از بروز تغییرات و یا اختلالات موجود در سیستم، به نحوی که بتواند عمل‌کردهای مورد نیاز خود را هم در شرایط پیش بینی شده و هم غیر قابل انتظار حفظ نماید (۶-۱۰). Woods چهار مفهوم کاربردی از مهندسی رزیلینس به ترتیب تحت عنوان ۱- واکنش در برابر تروما (ضربه) و برگشت به حالت تعادل، ۲- مقاومت در برابر فشارهای وارده، ۳- رزیلینس در مقابل شکنندگی (قابلیت اتساع تدریجی در مقابل رخدادهای غیر قابل انتظار)، و ۴- معماری شبکه ای که بتواند توانایی تطبیق در برابر رخدادهای غیر منتظره آتی و تحولات تکاملی را افزایش دهد، تعریف شده است (۱۱).

سیستم‌های مدیریت ایمنی باید هم پیش نگر و هم انفعالی باشند. در سیستم‌های مدیریت ایمنی (ریسک) متداول هر گونه تغییرات عمل‌کردی به

Archive of SID

www.SID.ir

عنوان تهدیدی که باید تحت کنترل درآید، در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است که تغییرات عمل‌کردی هم می‌توانند منجر به پیامدهای مثبت و هم منفی می‌گردند. محدود کردن تغییرات عمل‌کردی ممکن است منجر به نقص در ایمنی سیستم و اختلال در توانایی سازمان در رسیدن به نتایج مطلوب گردد (۱۲). بهترین روش در برخورد با تغییرات عمل‌کردی، کاهش توام تغییراتی است که منجر به پیامدهای منفی شده و تقویت تغییراتی که منجر به پیامدهای مثبت می‌شوند (۱۳).

با توجه به مطالب فوق، می‌توان مهندسی رزیلینس را افقی جدید در حوزه ایمنی سیستم‌های اجتماعی- فنی تلقی نمودکه با به کارگیری اصول آن می‌توان در جهت ارتقاء ایمنی در این‌گونه سیستم‌ها قدم برداشت. اخیرا تعدادی از مطالعات انجام شده RE را به عنوان مفهومی استراتژیک در جهت بهبود سیستم‌های پیچیده نظیر صنایع اتمی (۱۴)، سیستم‌های مراقبت بهداشتی و درمانی (۱۵)، صنایع هوانوردی (۱۶)، صنایع فرآیندی (۱۷, ۱۸)، مدیریت انطباق (۱۹) و صنایع پتروشیمی (۱۲, ۲۰) معرفی نموده اند. در همین راستا مطالعات مختلفی در جهت کمی سازی و اندازه گیری رزیلینس در فرآیندهای مختلف صورت گرفته است.

از جمله مطالعاتی که در حوزه RE صورت گرفته است می‌توان به مطالعات Dinh و همکاران که اصول و عوامل سهیم در رزیلینس فرآیندی را مورد بررسی قرار دادند، اشاره نمود (۲۱). از جمله نقاط قوت این مطالعه، ارایه شاخص‌های فنی مرتبط با رزیلینس فرآیندی می‌باشد، اما نحوه کمی سازی RE بر اساس عوامل ذکر شده تعیین نشده است. هم چنین deCarvalho و همکاران نیز در یک مطالعه از سیستم‌های رایانه ای به منظور پایش شاخص‌های رزیلینس در سازمان بهره گرفتند (۲۲). در مطالعه ای که توسطGrecco و همکاران انجام شده، از شاخص‌های رزیلینس به منظور پایش و مدیریت پیش‌گیرانه ایمنی در یک فرآیند تولید رادیوفارموکینتیک‌ها (مواد دارویی رادیولوژیک) استفاده شده است (۲۳). در این مطالعات نیز تنها مولفه‌های ارزیابی معرفی شده ولی روشی برای ارزیابی کمی مشخص نشده است. Francis و Bekera یک مدل ریاضی جهت اندازه گیری رزیلینس معرفی نمودند (۲۴). هر چند که آنها یک مدل کمی بر مبنای چهار متغیر ظرفیت انطباقی، ظرفیت جذب، قابلیت بازیابی و زمان بازیافت ارایه نمودند، لیکن مدل پیشنهادی، قادر به تعیین رزیلینس کل سیستم نمی‌باشد و رزیلینس در شرایط بحران را کمی سازی می‌نماید. درمطالعه ای که توسط شیرالی و همکاران صورت گرفته است، از مدل آنالیز تشدید کارکرد (FRAM)، به منظور ارزیابی پیش گستر ریسک‌های در حال ظهور در یک واحد فرآیندی استفاده گردید (۱۷). اگرچه مبنای روش FRAM، اصول مهندسی رزیلینس می‌باشد، ولی در این مطالعه مولفه‌های RE مشخص نشده اند. در تحقیق دیگری که توسط ارسی و همکاران در واحدهای عملیاتی شرکت ملی حفاری ایران صورت گرفت از یک پرسشنامه که روایی و پایایی آن تایید شده بود، جهت ارزیابی RE استفاده شد (۲۵). در این مطالعه نتایج ارزیابی واحدهای مختلف به صورت کیفی و بر مبنای نظرات افراد خبره ارایه شده است. اگر چه در این مطالعه اهمیت هر یک از معیارها تعیین شده اند، لیکن ارزیابی نهایی به صورت کیفی و بر اساس نتایج پرسشنامه صورت گرفته است.شیرالی و همکاران نیز با استفاده از روش PCA و NT یک شیوه جدید برای ارزیابی

Archive of SID

www.SID.ir

عوامل موثر بر RE ارایه دادند (۱۸). نتایج این مطالعه نشان داد که تعهد مدیریت بیش‌ترین تاثیر را بر سطح رزیلینس دارد. آزاده و زرین با استفاده از روش نقشه شناختی بر پایه عدد Z، از یک شیوه جدید برای ارزیابی تاثیر RE، بر عوامل ایمنی، بهداشتی، زیست محیطی و ارگونومیکی (HSEE) در یک صنعت پتروشیمی استفاده نمودند (۱۲). در تحقیق دیگری آزاده و همکاران، مفهوم جدیدی تحت عنوان IRE (مهندسی رزیلینس یکپارچه) را معرفی نموده و راندمان عمل‌کرد IRE را در مقایسه با ،RE با استفاده از نتایج به‌دست آمده از یک پرسشنامه در یک صنعت پتروشیمی با استفاده از روش DEA مورد بررسی قرار دادند (۲۶). از جمله نقاط قوت این مطالعه معرفی چهار مولفه خود-سازماندهی، افزونگی، تحمل شکست و کار گروهی به سایر مولفه‌های قبلی RE می‌باشد. در مطالعه دیگری آزاده و همکاران عوامل موثر بر مدیریت ایمنی را با استفاده از RE و روش تحلیل پوششی داده ها (DEA) در یک صنعت پتروشیمی مورد بررسی قرار دادند (۲۷). اگر چه در این مطالعه، بخش‌های مختلف صنعت مورد بررسی با توجه به مولفه‌های RE اولویت بندی شده اند، لیکن میزان اهمیت هر یک از مولفه ها تعیین نگردیده است.

همان‌گونه که اشاره شد مطالعات مختلفی سعی نموده اند تا سطح رزیلینس را در واحدهای مختلف یک فرآیند یا صنعت کمی سازی و مقایسه نمایند، لیکن در هیچ یک از مطالعات فوق، سطوح رزیلینس به صورت مرزبندی شده (قابل قبول، هشدار و غیرقابل قبول) مشخص نشده اند. لذا هدف اصلی این مطالعه، ارایه یک مدل بومی شده جهت تعیین سطوح قابل قبول رزیلینس یک فرآیند، بر اساس نظر متخصصین و مقایسه مولفه‌های رزیلینس با یک‌دیگر با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) می‌باشد.

روش کار

مطالعه حاضر که از نوع تحلیلی-مقطعی می‌باشد، به منظور بررسی عمل‌کرد RE و اولویت بندی بخش‌های مختلف فرآیند با توجه به مولفه‌های RE، در یک صنعت پتروشیمی صورت گرفت. روش مورد استفاده جهت تعیین اهمیت معیارها روش AHP فازی می‌باشد. به منظور اعتبار بخشی روش مورد استفاده، از نظرات متخصصین در قالب یک پانل تخصصی استفاده شد. علاوه بر این، به منظور تعیین ناسازگاری داده‌های مورد بررسی، از شاخص ناسازگاری (C.R.) استفاده گردید. روش AHP یکی از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) می‌باشد که جهت آنالیز تصمیم‌گیری‌های پیچیده کاربرد دارد. این روش به منظور وزن دهی شاخص‌ها از شیوه مقایسه زوجی استفاده می‌کند (۲۸). ازآن‌جایی که روش AHP سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را بطور کامل ندارد، بهتر است از مجموعه‌های فازی که سازگاری بیش‌تری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد، استفاده شود (۲۹). در ادامه، مراحل مربوط به تعیین مولفه‌های RE و نحوه اعتباربخشی مولفه‌های شاخصRE با استفاده از روش AHP فازی، توضیح داده شده است:

تشکیل تیم تصمیم گیری

اولین مرحله در فرآیند ارزیابی سطح عمل‌کرد بر مبنای اصول RE، تشکیل یک تیم تصمیم گیری(DMG) متشکل از متخصصین فرآیندی، ایمنی و اپراتورها جهت تعیین اهمیت

Archive of SID

www.SID.ir

هر یک از شاخص‌ها و تعیین یک ساختار مبنا جهت رتبه بندی سطح رزیلینس در واحدهای مختلف می‌باشد. بدین منظور یک تیم ۱۰ نفره، شامل ۵ متخصص فرآیندی، ۳ متخصص HSE و ۲ اپراتور تشکیل گردید.

تعیین مولفه‌های رزیلینس و تشکیل ساختار سلسله مراتبی

با توجه به مطالعات کتابخانه ای که صورت گرفت، ۹ شاخص در مقالات مختلف برای ارزیابی رزیلینس مورد استفاده قرار گرفته بودند که مطابق با جدول (۱) فهرست‌بندی شدند. پس از مقایسه این شاخص‌ها و با توجه به میزان کاربرد این شاخص‌ها در مطالعات مختلف و با تایید پانل تخصصی، شش شاخص تعهد مدیریت، فرهنگ یادگیری، انعطاف پذیری، آگاهی، فرهنگ گزارش دهی و آمادگی در برابر شرایط اضطراری، به عنوان شاخص‌های اصلی تاثیر گذار بر سطح رزیلینس در این تحقیق انتخاب گردیدند. در نهایت، یک ساختار سلسله مراتبی شامل شاخص‌های رزیلینس و مولفه‌های ارزیابی به صورت زیر تدوین گردید (تصویر۱). زیر مولفه‌های مورد استفاده در تصویر (۱) بر اساس مطالعات کتابخانه ای و با توجه به نظرات متخصصین انتخاب گردیدند.

ایجاد ماتریس مقایسه زوجی

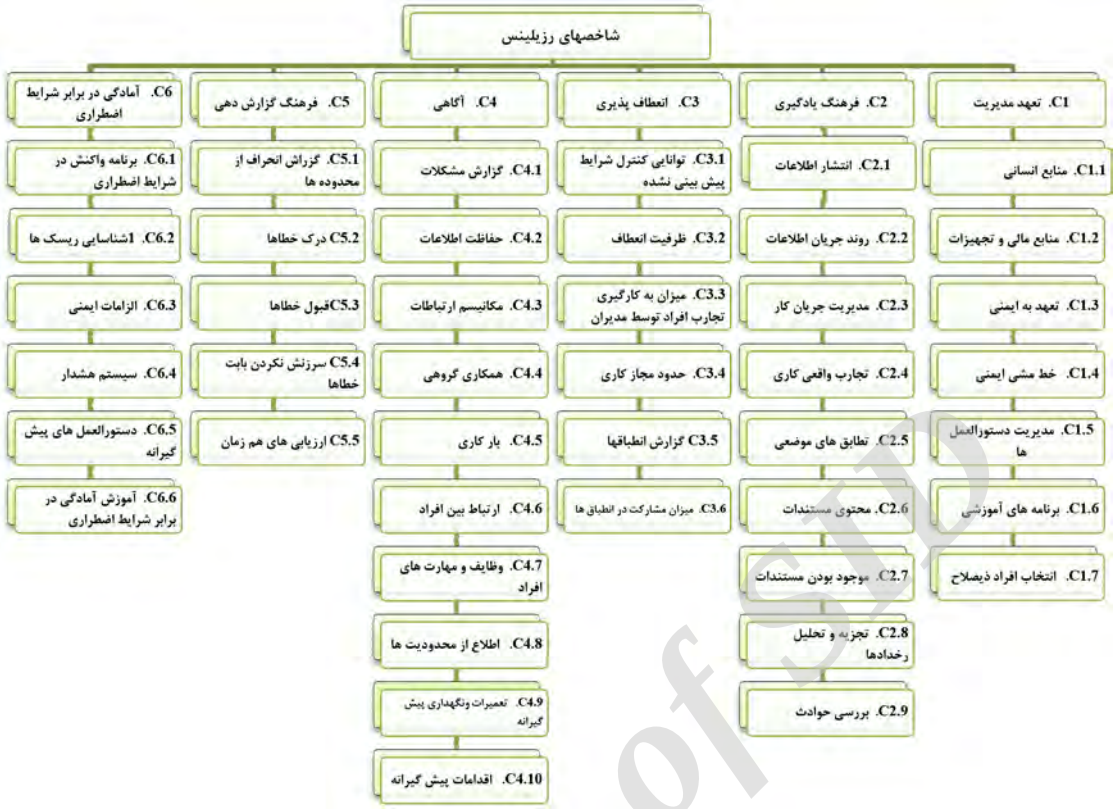
پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی، ازهر یک از اعضای پانل تخصصی خواسته شد تا نظرات

جدول ۱. مقایسه مولفه‌های مورد استفاده در مطالعات مختلف جهت ارزیابیRE

	قدرت تحمل نقص	افزونگی	کار گروهی	انعطاف پذیری	آمادگی	آگاهی	فرهنگ یادگیری	فرهنگ گزارش دهی	تعهد مدیریت
Carvalho و همکاران (30)		☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑
Dijkstra (16)							☑		☑
Akselsson و همکاران(31)	☑			☑	☑	☑	☑	☑	☑
Costella و همکاران (32)				☑		☑	☑	☑	☑
Gomesو همکاران (33)				☑	☑	☑	☑	☑	☑
Huber و همکاران (34)				☑	☑	☑	☑	☑	☑
Morel و همکاران (35)				☑	☑	☑	☑	☑	☑
Størsethو همکاران (36)		☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑
Herrera و همکاران (37)	☑			☑	☑	☑	☑	☑	☑
Saurin و Carim Junior (38)				☑	☑	☑	☑	☑	☑
Shirali و همکاران(39)				☑		☑	☑		☑
Ouedraogo و همکاران (40)							☑		☑
Azadeh و همکاران (41)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
AzadehAzadeh و همکاران (42)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Salzano و همکاران (43)				☑		☑			☑
Saurin و همکاران (44)				☑	☑	☑	☑	☑	☑
Azadeh و همکاران (45)		☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. شاخص‌های ارزیابی RE

خود را در مورد اهمیت هر یک از مولفه ها به صورت مقایسه زوجی بیان کنند. این افراد نظرات خود را در قالب اصطلاحات زبانی در ۹ سطح بیان نمودند (جدول ۲).

پس از مقایسه زوجی بین مولفه ها، یک ماتریس $\tilde{X}$ مطابق ساختار زیر ساخته شد.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 & \tilde{x}_1 & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_2 & \tilde{x}_2 & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_n \end{bmatrix} \quad (۱)$$

محاسبه اوزان

در این مطالعه ازروش میانگین هندسی برای تعیین وزن مولفه‌های رزیلینس استفاده گردید (رابطه ۲) (۴۶).

$$f_i(y) = \left[\prod_{j=1}^{n}(\beta_{ij} - \alpha_{ij})y + \alpha_{ij}\right]^{1/n} \quad (۲)$$

و $g_i(y) = \left[\prod_{j=1}^{n}(\gamma_{ij} - \delta_{ij})y + \delta_{ij}\right]^{1/n}$ for $0 \le y \le 1$

هم چنین از روابط ۳-۶ جهت تعیین بردار وزن استفاده شد. بر اساس ماتریس مقایسه زوجی $\tilde{X}$ مقادیر مجموع هر یک از مولفه ها به صورت زیر محاسبه گردید (۴۷).

$$\alpha_j = \left[\prod_{j=1}^{n} l_{ij}\right]^{1/n} ; \ \beta_j = \left[\prod_{j=1}^{n} m_{ij}\right]^{1/n} ; \quad (۳)$$

$$\gamma_j = \left[\prod_{j=1}^{n} n_{ij}\right]^{1/n} ; \ \delta_j = \left[\prod_{j=1}^{n} s_{ij}\right]^{1/n}$$

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. متغیرهای زبانی و اعداد ذوزنقه ای مورد استفاده جهت مقایسه مولفه‌های رزیلینس

متغیر زبانی	اعداد فازی ذوزنقه ای(TPFN)			
EI (اهمیت یکسان)	1	1	1	1
EIWI (برتری یکسان تا ضعیف)	1	1.5	2.5	3
WI (برتری ضعیف)	2	2.5	3.5	4
WIEI (برتری ضعیف تا متوسط)	3	3.5	4.5	5
ESI (برتری متوسط)	4	4.5	5.5	6
EIVSI (برتری متوسط تا شدید)	5	5.5	6.5	7
VSI (برتری شدید)	6	6.5	7.5	8
VSIAI (برتری شدید تا مطلق)	7	7.5	8.5	9
AI (برتری مطلق)	8	8.5	9	9

$$\alpha = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \;;\; \beta = \sum_{j=1}^{n} \beta_j \;;\; \gamma = \sum_{j=1}^{n} \gamma_j \;;\; \delta = \sum_{j=1}^{n} \delta_j \quad (۴)$$

سپس وزن هر یک از مولفه ها به صورت زیر محاسبه شد (رابطه ۵)

$$\tilde{w}_j = \left(\alpha_j \delta^{-1}, \beta_j \gamma^{-1}, \gamma_j \beta^{-1}, \delta_j \alpha^{-1}\right) j \in \{1,2,\dots,n\} \quad (۵)$$

در نهایت بردار وزن فازی به صورت زیر تشکیل گردید (رابطه۶).

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1 \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (۶)$$

ارزیابی مولفه ها و زیر مولفه‌های رزیلینس

پس از تعیین چارچوب ارزیابی، هر یک از متخصصین تیم ارزیابی نظرات خود را در مورد وضعیت رزیلینس فرآیند با توجه به زیرشاخص‌های رزیلینس در قالب متغیرهای زبانی در ۵ سطح شامل خیلی ضعیف (VP) ، ضعیف (P)، متوسط (M)، خوب(G) و خیلی خوب (VG) بیان نمودند (جدول۳).

تعیین سطوح ارزیابی

به منظور تعیین وضعیت رزیلینس کل فرآیند، یک سیستم امتیاز بندی سطوح رزیلینس

جدول ۳. متغیرهای زبانی و اعداد ذوزنقه ای مورد استفاده جهت ارزیابی مولفه‌های رزیلینس

متغیر زبانی	اعداد فازی ذوزنقه ای(TPFN)
خیلی ضعیف(VP)	(0, 1, 2, 3)
ضعیف(P)	(1, 2, 3, 4)
متوسط(M)	(3, 4, 5, 6)
خوب(G)	(5, 6, 7, 8)
خیلی خوب(VG)	(7, 8, 9, 10)

با تایید متخصصین طراحی و ایجاد شد (جدول۴). هدف از طراحی این سیستم، تعیین سطح رزیلینس و ایجاد یک ساختار جهت هشدار به مدیریت ارشد در مورد خروج سیستم از محدوده‌های ایمن می‌باشد.

محاسبه بردار ارزیابی فازی

بر اساس وزن‌های محاسبه شده $\tilde{w}_j$ و ماتریس ارزیابی فازی $\tilde{f}$، می‌توان بردار ارزیابی فازی $\tilde{Z}$ را به صورت زیر تشکیل داد (رابطه ۷).

$$\tilde{Z} = \begin{Bmatrix} (\tilde{w}_1 \otimes \tilde{f}_1) \oplus (\tilde{w}_2 \otimes \tilde{f}_2) \oplus (\tilde{w}_3 \otimes \tilde{f}_3) \oplus \\ \dots \oplus (\tilde{w}_n \otimes \tilde{f}_j) \oslash \tilde{w}_1 \oplus \tilde{w}_2 \oplus \tilde{w}_3 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_j \end{Bmatrix} \quad (۷)$$

به منظور محاسبه بردار ارزیابی فازی نتایج ارزیابی نهایی رزیلینس، بردار ارزیابی فازی یک عامل مشخص به عنوان ماتریس ارزیابی فازی در نظر گرفته شد و سپس نتایج ارزیابی نهایی رزیلینس از طریق رابطه (۷) به‌دست آمد.

امتیاز بندی رزیلینس در بخش‌های مختلف فرآیند

سطح رزیلینس در بخش‌های مختلف فرآیند را می‌توان بر اساس مقادیر بردار ارزیابی فازی امتیاز دهی نمود. در این مطالعه از یک سیستم رتبه بندی مطابق جدول (۴) استفاده شده است. زمانی که سطح رزیلینس برابر با I و یا II است، این بدان معناست که عملکرد رزیلینس در

Archive of SID

www.SID.ir

فرآیند ضعیف بوده و باید احتیاطات پیش‌گیرانه و اقدامات منطقی به کار گرفته شوند تا سطح رزیلینس سیستم را بهبود بخشند. هم چنین جهت هشدار دادن در مورد خروج سیستم از محدوده‌های ایمن عمل‌کردی، یک سیستم هشدار زودرس نیز طراحی گردید. سطح بندی سیستم هشدار زودرس نیز در جدول (۴) نشان داده شده است. بنابراین با توجه به مقدار بردار ارزیابی فازی می‌توان سطح رزیلینس و سطح هشدار زودرس را تعیین نمود. بدین ترتیب یک شاخص جامع رزیلینس و ۶ شاخص فرعی نیز طراحی شدند.

یافته ها

پس از بررسی مولفه‌های رزیلینس توسط تیم متخصصین، نتایج مقایسات در مورد اهمیت ۶ مولفه اصلی رزیلینس به صورت متغیرهای فازی تعیین شدند.

وزن هر یک از مولفه‌های رزیلینس که با استفاده از روابط (۳-۶) محاسبه گردید، در جدول (۵) نشان داده شده است. در جدول (۵) ردیف

جدول ۴. سیستم ارزیابی سطح رزیلینس

اعداد فازی ذوزنقه ای(TPFN)	توصیف	سطح هشدار زودرس رزیلینس	سطح رزیلینس
$(0, 1, 2, 3) \leq Z < (1, 2, 3, 4)$	محدوده قرمز - هشدار زودرس (REWZ)	II	I
$(1, 2, 3, 4) \leq Z < (3, 4, 5, 6)$	محدوده نارنجی - هشدار زودرس (OEWZ)	I	II
$(3, 4, 5, 6) \leq Z < (5, 6, 7, 8)$	محدوده فاقد هشدار زودرس (NEWZ)	-	III
$(5, 6, 7, 8) \leq Z < (7, 8, 9, 10)$		-	IV

جدول ۵. مقادیر فازی، غیرفازی و نرمال شده اوزان هر یک از زیرمولفه‌های رزیلینس

مولفه	وزن غیرفازی	وزن نرمال	اولویت
C1	0.855	0.384	1
C1.1	0.341	0.162	3
C1.2	0.506	0.24	2
C1.3	0.268	0.127	4
C1.4	0.073	0.035	6
C1.5	0.128	0.061	5
C1.6	0.752	0.356	1
C1.7	0.042	0.02	7
C2	0.138	0.062	6
C2.1	0.258	0.05	7
C2.2	0.139	0.027	8
C2.3	0.753	0.146	4
C2.4	0.314	0.061	6
C2.5	0.894	0.173	3
C2.6	1.147	0.223	2
C2.7	0.375	0.073	5
C2.8	1.196	0.232	1
C2.9	0.078	0.015	9
C3	0.139	0.063	5
C3.1	0.862	0.284	2
C3.2	0.16	0.053	5
C3.3	0.068	0.022	6
C3.4	0.208	0.068	4
C3.5	0.497	0.164	3
C3.6	1.244	0.409	1
C4	0.282	0.127	3
C4.1	0.597	0.338	1
C4.2	0.397	0.225	2
C4.3	0.058	0.033	9
C4.4	0.026	0.015	10
C4.5	0.083	0.047	7
C4.6	0.119	0.067	4
C4.7	0.078	0.044	8
C4.8	0.206	0.117	3
C4.9	0.093	0.053	6
C4.10	0.11	0.062	5
C5	0.185	0.083	4
C5.1	0.656	0.284	2
C5.2	0.156	0.068	4
C5.3	0.236	0.102	3
C5.4	0.053	0.023	5
C5.5	1.206	0.523	1
C6	0.625	0.281	2
C6.1	0.099	0.042	5
C6.2	0.78	0.331	2
C6.3	0.22	0.093	4
C6.4	0.263	0.112	3
C6.5	0.924	0.392	1
C6.6	0.069	0.029	6

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. نتایج ارزیابی شاخص‌های رزیلینس در صنعت پتروشیمی

مولفه	FEW غیر فازی شده	محدوده FEW حد پایین	محدوده FEW حد بالا	RG	REWG
C1	5.1	M	G	III	NEWZ
C1.1	6.9	G	VG	IV	NEWZ
C1.2	6.1	M	G	III	NEWZ
C1.3	3.9	P	M	II	OEWZ
C1.4	4.6	M	G	III	NEWZ
C1.5	5.1	M	G	III	NEWZ
C1.6	3.9	P	M	II	OEWZ
C1.7	6.5	G	VG	IV	NEWZ
C2	4.5	M	G	III	NEWZ
C2.1	3.3	P	M	II	OEWZ
C2.2	3.1	P	M	II	OEWZ
C2.3	3.8	P	M	II	OEWZ
C2.4	4.9	M	G	III	NEWZ
C2.5	4.8	M	G	III	NEWZ
C2.6	4.4	P	M	II	OEWZ
C2.7	3.7	P	M	II	OEWZ
C2.8	6.1	M	G	III	NEWZ
C2.9	4	P	M	II	OEWZ
C3	3.1	P	M	II	OEWZ
C3.1	3.9	P	M	II	OEWZ
C3.2	3.7	P	M	II	OEWZ
C3.3	3.6	P	M	II	OEWZ
C3.4	3.2	P	M	II	OEWZ
C3.5	2.7	P	M	II	OEWZ
C3.6	2.5	P	M	II	OEWZ
C4	5	M	G	III	NEWZ
C4.1	3.7	P	M	II	OEWZ
C4.2	6.9	G	VG	IV	NEWZ
C4.3	3.9	P	M	II	OEWZ
C4.4	5.1	M	G	III	NEWZ
C4.5	4.1	P	M	II	OEWZ
C4.6	4.1	P	M	II	OEWZ
C4.7	5.2	M	G	III	NEWZ
C4.8	5.9	M	G	III	NEWZ
C4.9	6.3	M	G	III	NEWZ
C4.10	4.5	M	M	III	NEWZ
C5	5.6	M	G	III	NEWZ
C5.1	3.7	P	M	II	OEWZ
C5.2	5.9	M	G	III	NEWZ
C5.3	6.3	M	G	III	NEWZ
C5.4	4.3	P	M	II	OEWZ
C5.5	6.7	G	VG	IV	NEWZ
C6	5.2	M	G	III	NEWZ
C6.1	6.9	G	VG	IV	NEWZ
C6.2	5.7	M	G	III	NEWZ
C6.3	6.9	G	VG	IV	NEWZ
C6.4	6.3	M	G	III	NEWZ
C6.5	5.3	M	G	III	NEWZ
C6.6	5.5	M	G	III	NEWZ
پتروشیمی	5.15	M	G	III	NEWZ

دوم و سوم به ترتیب نشان دهنده مقادیر وزن‌های غیرفازی شده و وزن‌های نرمال (نهایی) هر یک از مولفه ها و زیر مولفه‌های رزیلینس می‌باشند. مقادیر غیرفازی شده ارزیابی مولفه‌های رزیلینس حاصل از نظرات تیم ارزیابی نیز در جدول (۶) نشان داده شده است.ردیف اول جدول (۶) مقادیر بردار ارزیابی (FEW) غیرفازی شده را نشان می‌دهد که مبنای تعیین وضعیت فرآیند در هر یک از مولفه‌های رزیلینس می‌باشد. هم‌چنین ردیف دوم جدول نشان دهنده حدود بالا و پایین هر یک از مولفه‌های ارزیابی شده می‌باشد. به عنوان مثال مولفه تعهد مدیریت (C1) پتروشیمی بین متوسط (M) و خوب (G) ارزیابی گردید در حالی که مولفه "توانایی کنترل شرایط پیش بینی نشده" (C3.1) بین ضعیف (P) و متوسط (M) ارزیابی شد. هم چنین ردیف‌های سوم و چهارم جدول (۶) به ترتیب شاخص سطح رزیلینس (RG) و شاخص هشدار زودرس رزیلینس (REWG) را نشان می‌دهند.

بحث

همان‌گونه که قبلا بیان شد، هدف از این مطالعه ارایه الگویی جهت ارزیابی سطح عمل‌کرد سازمان بر مبنای مهندسی رزیلینس، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) می‌باشد. بدین منظور و جهت نشان دادن کاربردی بودن روش، یک مطالعه موردی از روش یاد شده در صنعت پتروشیمی صورت گرفت. یکی از نقاط

Archive of SID

www.SID.ir

قوت مطالعه حاضر، استفاده از سیستم رتبه بندی بخشهای مختلف یک فرآیند و یا فرآیندهای مختلف و ارزیابی سطوح مختلف رزیلینس در این فرآیندها می‌باشد. این در حالی است که هیچ یک از مطالعات پیشین، سطح هشدار را برای رزیلینس تعیین ننموده اند. هم چنین الگوی پیشنهادی یک الگوی بومی شده می‌باشد که با توجه به نظر متخصصین فرآیندی اعتبار بخشی گردید.

همان‌گونه که از جدول(۵) مشاهده می‌شود، در بین مولفه‌های اصلی رزیلینس شامل C1 (تعهد مدیریت)، C2(فرهنگ یادگیری)، C3 (انعطاف پذیری)، C4 (آگاهی)، C5 (فرهنگ گزارش دهی) و C6 (آمادگی در برابر شرایط اضطراری)، تعهد مدیریت بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده (W=۰/۳۸۴) و به عبارتی دیگر بیش‌ترین نقش را در تعیین سطح رزیلینس دارا می‌باشد. هم‌چنین مولفه‌های آمادگی در برابر شرایط اضطراری (W=۰/۲۸۲) و آگاهی (W=۰/۱۲۷)، به ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند. نتایج مندرج در بخش تعیین اوزان با نتایج حاصل از سایر مطالعات (۱۲, ۲۵) سازگاری دارد. این موضوع نشان دهنده این است که جهت بهبود سطح رزیلیس باید بیش‌ترین تلاش در جهت تغییر تفکر مدیریت ارشد، به منظور بها دادن به موضوعات ایمنی و پذیرش آن به عنوان یک ارزش در سازمان، به کار گرفته شود (۴۸). از سوی دیگر در مورد زیر مولفه ها نیز مشاهده می‌شود که به ترتیبC1.6 (برنامه‌های آموزشی)، C2.8 (تجزیه و تحلیل رخدادها)، C3.6 (میزان مشارکت در انطباقها)، گزارش مشکلات(C5.5، C4.1) (ارزیابی‌های هم‌زمان) و C6.5 (دستورالعمل‌های پیش‌گیرانه) بیش‌ترین اهمیت وزیر مولفه‌های C1.7 (انتخاب افراد ذیصلاح)، C2.9 (بررسی حوادث)، C3.3(میزان به کارگیری تجارب افراد توسط مدیران)، (C4.4) همکاری گروهی، C5.4 (سرزنش نکردن بابت خطاها) و C۶,۶ (آموزش آمادگی در برابر شرایط اضطراری) به ترتیب دارای کم‌ترین اهمیت بودند.

همان‌گونه که از جدول (۴) مشخص است، بردار دارای ارزیابی فازی (FEW) عددی بین ۰ تا ۱۰ می‌باشد که عدد صفر نشان دهنده پایین ترین سطح رزیلینس و عدد ۱۰ بالاترین مقدار می‌باشد. از سوی دیگر ردیف آخر جدول (۶) سطح رزیلنس کل فرآیند را برابر با ۵,۱۵۱ نشان می‌دهد که این بدان معناست که وضعیت فرآیند در حال حاضر بین محدوده متوسط و خوب واقع شده است. هم چنین سطح کیفی رزیلینس برابر با III بوده و شاخص هشدار زودرس برابر با NEWZ می‌باشد که نشان می‌دهد که نیازی به نگرانی در مورد رزیلینس کل فرآیند نمی‌باشد. البته در مورد امتیاز رزیلینس فرآیند باید یاداوری شود که هر چند فقط مولفه انعطاف پذیری (C3) در محدوده غیر قابل قبول نارنجی(OEWZ) واقع شده و باید بیش‌ترین نیرو در جهت تقویت این عامل به کار گرفته شود، لیکن مولفه‌های دیگر نیز در مجاورت مرزهای غیرقابل قبول واقع شده اند و لذا این مولفه ها نیز باید به دقت مورد پایش قرار گیرند(جدول ۷). دلیل قرار گرفتن مولفه انعطاف پذیری در محدوده OEWZ این است که همکاری تیمی بین افراد جهت معرفی شرایط انطباق به یک‌دیگر در فرآیند ضعیف می‌باشد. هم‌چنین نحوه اطلاع‌رسانی سازمان در مورد مباحث ایمنی ضعیف بوده و این باعث می‌شود تا شرایط مثبت انطباق در سازمان به نحو صحیح و به موقع اطلاع رسانی نگردد. این در

Archive of SID

www.SID.ir

حالی است که فرهنگ صحیح اطلاع رسانی یکی از پارامترهای مهم در RE می‌باشد (۳۳, ۳۴, ۴۹). یکی از مسایل مهم در بحث آموزش ایمنی، تعریف سرفصل آموزشی تخصصی جداگانه برای هر گروه از کارکنان با توجه به نوع شغل، سطح سواد و ... می‌باشد. این در حالی است که دوره‌های برگزار شده در فرآیند مورد بررسی اکثرا عمومی بوده و یا در صورت داشتن عنوان تخصصی، باز هم برای گروه‌های مختلف به صورت یکسان برگزار می‌شود که این باعث می‌شود از راندمان این دوره‌ها کاسته شود (۲۴).

در بخش زیر مولفه ها، نیز نتایج ارزیابی نشان دادند که کلیه زیر مولفه‌های عامل انعطاف‌پذیری (C3) و هم چنین چندین زیر مولفه از سایر مولفه‌های اصلی به‌جز مولفه آمادگی (C6) نیز در محدوده OEWZ واقع شده اند، هر چند که خود مولفه اصلی در محدوده قابل قبول قرار دارد. این بدان معناست که غیر از مولفه اصلی، باید زیر مولفه ها را نیز به دقت مورد پایش قرار داد تا در صورت فرا رفتن از محدوده‌های قابل قبول سازمان آنها را به زیر حدود مجاز عودت داد. دلیل اینکه هر چند برخی از زیر مولفه ها در محدوده OEWZقرار دارند (زیر مولفه‌های مربوط به C1، C2، C4 و C5) ولی مولفه اصلی مربوط به آنها در محدوده قابل قبول (NEWZ) قرار دارد این است که وزن‌های مربوط به زیر مولفه‌های مختلف با هم متفاوت بوده و ممکن است مولفه ای که بیش‌ترین وزن را دارد هنوز در محدوده غیر قابل قبول واقع نشده است، هر چند که اندکی دقت نشان می‌دهد که مولفه‌های اصلی مربوط به این زیر مولفه ها در مجاورت محدوده‌های غیر قابل قبول قرار دارند.

با توجه به توضیحات فوق می‌توان نتیجه گرفت که مهم‌ترین مزیت الگوی پیشنهادی این است که کلیه مولفه‌های اصلی و زیر مولفه ها را مورد پایش قرار داده و می‌تواند به محض فراتر رفتن از محدوده‌های قابل قبول، هشدار لازم را به مدیریت اعلام نماید. این درحالی است که در سایر مطالعات صورت گرفته، میزان اهمیت هر یک از مولفه ها یا تعیین نشده اند و یا در صورت تعیین، یک عدد واحد و محدوده‌های مجاز آن را به عنوان مبنای ارزیابی ارایه نکرده اند.

از جمله محدودیت‌های مطالعه فوق، ارزیابی میزان اهمیت شاخص‌ها تنها بر اساس نظرات متخصصین (ارزیابی ذهنی) می‌باشد. این در حالی است که با استفاده از روش‌های عینی (نظیر آنتروپی شانون) می‌توان میزان تاثیر کارآیی روش‌های ذهنی (مانند AHP) را افزایش داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از روش تلفیقی ارزیابی ذهنی- عینی جهت ارزیابی رزیلینس استفاده شود.

نتیجه گیری

با توجه به جدید بودن مبحث مهندسی رزیلینس، باید روش‌های کمی سازی این نگرش نیز به تبع آن گسترش پیدا کنند. هر چند که در سال‌های اخیر چندین روش به منظور ارزیابی عملکرد RE گسترش پیدا کرده اند، لیکن در هیچ یک از این روش‌ها سطح قابل قبول رزیلینس در فرآیند مورد بررسی مشخص نشده است. این مطالعه با هدف کمی سازی و تعیین سطح قابل قبول رزیلینس، ابتدا یک سیستم ارزیابی مبتنی بر ۶ شاخص پذیرفته شده رزیلینس سازمانی ایجاد نموده و سپس با استفاده از روش AHP فازی و تعیین شاخص هشدار زودرس رزیلینس، به اندازه

Archive of SID

www.SID.ir

گیری سطح رزیلینس یک فرآیند و مقایسه با مقادیر قابل قبول اقدام نموده و در نهایت شاخص‌های ضعیف رزیلینس فرآیندی را معرفی نموده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از روش پیشنهاد شده، تعهد مدیریت و آمادگی در برابر شرایط اضطراری دو مولفه اصلی در تعیین سطح رزیلینس بوده و می‌توانند بیش‌ترین سهم را در باقی ماندن وضعیت سازمان در محدوده NEWZ ایفا کنند. هم چنین سطح رزیلنس کل فرآیند برابر با ۵،۱۵۱ برآورد گردید که این عدد نشان می‌دهد وضعیت فرآیند در حال حاضر بین محدوده متوسط و خوب واقع شده است، هر چند برخی از مولفه ها نظیر مولفه انعطاف پذیری (C3) در محدوده غیر قابل قبول نارنجی(OEWZ) واقع شده و باید بیش‌ترین نیرو در جهت تقویت این عامل به کار گرفته شود. در کل می‌توان نتیجه گیری نمود که شاخص پیشنهاد شده در این مقاله، سهم کلیه مولفه ها و زیر مولفه‌های رزیلینس در تعیین سطح RE را مد نظر قرار داده و به صورت پویا وضعیت رزیلینس سیستم را مورد پایش قرار می‌دهد و در صورت تغییر در مقدار هر یک از مولفه ها و زیر مولفه ها، تاثیر آن را در رزیلینس کل سیستم منعکس می‌کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت ملی گاز ایران به خاطر حمایت مالی در انجام این مطالعه و هم چنین دانشگاه علوم پزشکی تهران کمال تشکر و قدردانی را دارند.

REFERENCES

1. Luigi Macchi, Erik Hollnagel, Jörg Leonhard. Resilience Engineering Approach to Safety Assessment: An Application of FRAM for the MSAW system EUROCONTROL Safety R&D Seminar; France 2009.
2. Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. Resilience engineering: Concepts and precepts. UK: Ashgate; 2007.
3. Abech MP, Berg GA, Delis MG, Guimaraes LBM, Woods DD, editors. Analyzing Resilience of an Oil Distribution Plant. Systems and Information Engineering Design Symposium, 2006 IEEE; 2006 28-28 April 2006.
4. Dekker S, Hollnagel E, Woods D, Cook R. Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems. 2008.
5. Huber S, van Wijgerden I, de Witt A, Dekker SWA. Learning from organizational incidents: Resilience engineering for high-risk process environments. Process Safety Progress. 2009;28(1):90-5.
6. Haimes YY. On the Complex Definition of Risk: A Systems-Based Approach. Risk Analysis. 2009;29(12):1647-54.
7. Hollnagel E. Prologue: The Scope of Resilience engineering In: Hollnagel E, Pariès J, Woods DD, Wreathall J, editors. Resilience Engineering in Practice. england: ashgate; 2011. p. 363.
8. Hollnagel E. The requisite variety of risk assessment. Catching up with nature. ESREL 20112011. p. 18-22.

Archive of SID

www.SID.ir

9. Steen R, Aven T. A risk perspective suitable for resilience engineering. Safety Science 2011;49:292–7.
10. Wreathall J. Properties of resilient organizations: an initial view. In: Hollnagel E, Woods D, Leveson N, editors. Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Aldershot, UK: Ashgate 2006
11. Woods DD. Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. Reliability Engineering & System Safety. 2015;141:5-9.
12. Azadeh A, Zarrin M. Evaluating the Impacts of Resilience Engineering on Health, Safety, Environment, and Ergonomics Factors by Z-Number Cognitive Map in a Large Petrochemical Plant. Safety and Health at Work. 2015.
13. Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. Resilience engineering: Concepts and precepts. Surrey (UK): Ashgate; 2007.
14. Carvalho PVR, dos Santos IL, Gomes JO, Borges MRS. Micro incident analysis framework to assess safety and resilience in the operation of safe critical systems: A case study in a nuclear power plant. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008;21(3):277-86.
15. Jeffcott SA, Ibrahim JE, Cameron PA. Resilience in healthcare and clinical handover. Quality & safety in health care. 2009;18(4):256-60.
16. Dijkstra A, editor Resilience engineering and safety management systems in aviation. Second Symposium of the Resilience Engineering Network; 2007; Paris: L'Ecole de Mines de
17. Shirali GA, Ebrahipour V, Mohammad salahi L. Proactive Risk Assessment to Identify Emergent Risks using Functional Resonance Analysis Method (FRAM): A Case Study in an Oil Process Unit. Iran Occupational Health Journal. 2013;10(6):33-46.
18. Shirali GA, Mohammadfam I, Ebrahimipour V. A new method for quantitative assessment of resilience engineering by PCA and NT approach: A case study in a process industry. Reliability Engineering & System Safety. 2013;119:88-94.
19. Park J, Seager TP, Rao PS, Convertino M, Linkov I. Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems. Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis. 2013;33(3):356-67.
20. Vugrin ED, Warren DE, Ehlen MA. A resilience assessment framework for infrastructure and economic systems: Quantitative and qualitative resilience analysis of petrochemical supply chains to a hurricane. Process Safety Progress. 2011;30(3):280-90.
21. Dinh LTT, Pasman H, Gao X, Mannan MS. Resilience engineering of industrial processes: Principles and contributing factors. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2012;25(2):233-41.

Archive of SID

www.SID.ir

22. de Carvalho PV, de Souza AP, Gomes JO. A computerized system to monitor resilience indicators in organizations. Work. 2012;41 Suppl 1:2803-9.
23. Grecco CHS, Vidal MCR, Santos IJAL, Carvalho PVR. A method to assess safety and resilience in radiopharmaceuticals production process. Work. 2012;41(Supplement 1):5839-43.
24. Francis R, Bekera B. A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. Reliability Engineering & System Safety. 2014;121:90-103.
25. Arassi M, Mohammadfam I, Shirali G, Moghimbeigi A. Quantitative Assessment of Resilience in the operatives unitsof National Iranian Drilling Company (regional study: Khuzestan). Journal of Health and Safety at Work. 2015;4(4):21-8.
26. Azadeh A, Salehi V, Ashjari B, Saberi M. Performance evaluation of integrated resilience engineering factors by data envelopment analysis: The case of a petrochemical plant. Process Safety and Environmental Protection. 2014;92(3):231-41.
27. Azadeh A, Motevali Haghighi S, Salehi V. Identification of managerial shaping factors in a petrochemical plant by resilience engineering and data envelopment analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015;36:158-66.
28. Saaty T. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Science. 2008;1: 83–98.
29. Tavana M, Zareinejad M, Di Caprio D, Kaviani MA. An integrated intuitionistic fuzzy AHP and SWOT method for outsourcing reverse logistics. Applied Soft Computing. 2016;40:544-57.
30. Carvalho PV, dos Santos IL, Gomes JO, Borges MR. Micro incident analysis framework to assess safety and resilience in the operation of safe critical systems: a case study in a nuclear power plant. Journal of Loss Prevention in Process Industries. 2008;21(3): 277–86.
31. Akselsson R, Koornneef F, Stewart S, Ward M. Resilience safety culture in Aviation Organisations. 17th world congress on ergonomics; Beijing, China2009.
32. Costella M, Saurin T, Macedo d, Guimarães L. A method for assessing health and safety management systems from the resilience engineering perspective. Safety Science. 2009;47:1056–67.
33. Gomes JO, Woods DD, Carvalho PV, Huber GJ, Borges MR. Resilience and brittleness in the offshore helicopter transportation system: the identification of constraints and sacrifice decisions in pilots' work. Reliability Engineering and System Safety. 2009;94(2):311–9.
34. Huber GJ, Gomes JO, de Carvalho PVR. A program to support the construction and evaluation of resilience indicators. Work J

Archive of SID
www.SID.ir

Prev Assess Rehabil 2012;41:2810–6.

35. Morel G, Amalberti R, Chauvin C. How good micro/macro ergonomics may improve resilience, but not necessarily safety. Safety Science 2009;47(2):285–94.
36. Størseth F, Tinmannsvik R, K Ø. Building safety by resilient organization - a case specific approach. ESREL2009. p.:7–10.
37. Herrera IA, Hollnagel E, Ha brekke S. Proposing safety performance indicators for helicopter offshore on the Norwegian Continental Shelf. 10th conference on probabilistic safety assessment and management Seattle, USA: PSAM 10; 2011.
38. Saurin TA, Carim Ju´nior GC. Evaluation and improvement of a method for assessing HSMS from the resilience engineering perspective: a case study of an electricity distributor. Safety Science. 2011;49(2):355–68.
39. Shirali Gh.A, Mohammadfam I, Ebrahimipour V. A new method for quantitative assessment of resilience engineering by PCA and NT approach: A case study in a process industry. Reliability Engineering and System Safety 2013;119:88–94.
40. Ouedraogo KA, Enjalbert S, Vanderhaegen F. How to learn from the resilience of Humane-Machine Systems? Eng Appl Artif Intel 2013;26:24-34.
41. Azadeh A, Salehi V, Arvan M, Dolatkhah M. Assessment of resilience engineering factors in high-risk environments by fuzzy cognitive maps: a petrochemical plant. . Safety Science 2014;68:99–107.
42. Azadeh A, Salehi V. Modeling and optimizing efficiency gap between managers and operators in integrated resilient systems: the case of a petrochemical plant. Process Safety and Environal Protection. 2014;92:766–78.
43. Salzano E, Di Nardob M, Gallob M, Oropallob E, Santillob LC. The application of System Dynamics to industrial plants in the perspective of Process Resilience Engineering. Chemical Engineering. 2014;36:457-62.
44. Saurin TA, Wachs P, Righi AW, Henriqson E. The design of scenario-based training from the resilience engineering perspective: A study with grid electricians. Accident Analysis and Prevention. 2014;68:30-41.
45. Azadeh A, Zarrin M. Evaluating the Impacts of Resilien ce Engineer ing on He alth, Safety, Environment, and Ergonomics Factors by Z-Number Cognitive Map in a Large Petrochemical Plant Safety and Health at Work. 2015;xxx: 1-12.
46. Buckley JJ. Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy Sets and Systems. 1985;17(3):233-47.
47. Ebrahimia A, Alimohammadloua M, Mohammadib S. Identification and prioritization of effective factors in assessment and ranking of contractors using fuzzy multi-criteria techniques. Decision Science Letters 2016;5: 95–108.
48. Costella MF, Saurin TA, de Macedo Guima-

Archive of SID

www.SID.ir

rães LB. A method for assessing health and safety management systems from the resilience engineering perspective. Safety Science. 2009;47(8):1056-67.

49. Shirali GHA, Motamedzade M, Mohammadfam I, Ebrahimipour V, Moghimbeigi A. Challenges in building resilience engineering (RE) and adaptive capacity: A field study in a chemical plant. Process Safety and Environmental Protection. 2012;90(2):83-90.

Archive of SID

www.SID.ir

Development of a framework for assessing organizational performance based on resilience engineering and using fuzzy AHP method- a case study of petrochemical plant

Mohsen Omidvar [1], Adel Mazlomi [2]*, Iraj MohammadFam [3], Abbas Rahimi Foroushani [4], Fereshteh Nirumand [5]

[1] M.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[2] Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[3] Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan , Iran

[4] Professor, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[5] Department of Pollution Control, School of Environmental Engineering, Ghalat Ghaem branch, Applied Sciences and Technology University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Resilience engineering (RE), as a new approach in the system safety domain, is intended to preserve the performance of socio-technical systems in various conditions; and accentuates the positive activities instead of the failure modes. The aim of this study was to develop a new framework for safety assessment on the basis of RE, using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) method.

Material and Method: Current study is an analytical cross-sectional survey performed in a petrochemical industry. Initially, six RE indicators were selected, including top management commitment, just culture, learning culture, awareness, flexibility and emergency preparedness and accordingly an assessment framework was established. Then, the selected RE indicators were evaluated and validated by experts in a specialized panel. Following, an indicator was proposed named “resilience early warning indicator”. Finally, the RE indicator score of the total process was determined using the fuzzy evaluating vector.

Result: Findings revealed that top management commitment and learning indicators have the most and the least effects on the RE level of the process, respectively. Besides, the flexibility (C3) indicator was located in orange early warning zone (OEWZ) while other indicators were positioned in the no early warning zone (NEWZ). Furthermore, the overall resilience level of the process was evaluated as level III (NEWZ).

Conclusion: Management commitment and emergency preparedness are two main indicators of RE and can carry out the most important effect for remaining the RE in the NEWZ level.

Key words: *AHP, Fuzzy Theory, Resilience Engineering (RE), Resilience Warning Indicator, Safety*

* Corresponding Author Email: *amazlomi@tums.ac.ir*

Archive of SID

www.SID.ir