

ارایه الگویی جهت ارزیابی سطح عمل کرد 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^۲ - عباس رحیمی فروشانی^۴ - فرشته نیرومند^۵

amazlomi@tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۸

چکیده

مقدمه: مهندسی رزیلینس (RE) به عنوان نگرشی جدید در حوزه ایمنی، در صدد حفظ عمل کرد 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.

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

نتیجه‌گیری: 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 آلاینده‌ها، دانشگاه جامع علمی کاربردی، تهران، ایران

مقدمه

در سال‌های اخیر، پیشرفت تکنولوژی باعث افزایش پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های فرآیندی شده که این موضوع نیز به نوبه خود موجب بروز حوادث ناگوار و وخیم در سطوح بزرگ گردیده است. برای سالیان متممادی، 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 رخدادهای 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

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 رزلیانس را افقی جدید در حوزه ایمنی سیستم‌های اجتماعی- فنی تلقی نمود که با به کارگیری اصول آن می‌توان در جهت ارتقاء ایمنی در این‌گونه سیستم‌ها قدم برداشت. اخیراً 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 نموده‌اند. در همین راستا مطالعات مختلفی در جهت کمی‌سازی و اندازه‌گیری رزلیانس 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 رزلیانس فرآیندی را مورد بررسی قرار دادند، اشاره نمود (۲۱). از جمله نقاط قوت این مطالعه، ارایه شاخص‌های فنی مرتبط با رزلیانس فرآیندی می‌باشد، اما نحوه کمی‌سازی RE بر اساس عوامل ذکر شده تعیین نشده است. هم‌چنین deCarvalho و همکاران نیز در یک مطالعه از سیستم‌های رایانه‌ای به منظور

پایش شاخص‌های رزلیانس در سازمان بهره‌گرفتند (۲۲). در مطالعه‌ای که توسط Grecco و همکاران انجام شده، از شاخص‌های رزلیانس 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 اندازه‌گیری رزلیانس 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 رزلیانس کل سیستم نمی‌باشد و رزلیانس در شرایط بحران را کمی‌سازی نمی‌نماید. در مطالعه‌ای که توسط شیرالی و همکاران صورت گرفته است، از مدل آنالیز تشدید کارکرد (FRAM)، به منظور ارزیابی پیش‌گستر ریسک‌های در حال ظهور در یک واحد فرآیندی استفاده گردید (۱۷). اگرچه مبنای روش FRAM، اصول مهندسی رزلیانس می‌باشد، ولی در این مطالعه مولفه‌های RE مشخص نشده‌اند. 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 شده‌اند، 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

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 تصمیم‌گیری 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). از آنجایی 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 شاخص RE با استفاده از روش AHP فازی، توضیح داده شده است:

تشکیل تیم تصمیم‌گیری

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

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 داده‌ها (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 شده‌اند، لیکن میزان اهمیت هر یک از مولفه‌ها تعیین نگردیده است.

همان‌گونه که اشاره شد مطالعات مختلفی سعی نموده‌اند تا سطح رزیلینس را در واحدهای مختلف یک فرآیند یا صنعت کمی‌سازی و مقایسه نمایند، لیکن در هیچ یک از مطالعات فوق، سطوح رزیلینس به صورت مرزبندی شده (قابل قبول، هشدار و غیرقابل قبول) مشخص نشده‌اند. 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

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 رزلیانس در این تحقیق انتخاب گردیدند. در نهایت، یک ساختار سلسله مراتبی شامل شاخص‌های رزلیانس و مولفه‌های ارزیابی به صورت زیر تدوین گردید (تصویر ۱). 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، از هر یک از اعضای پانل تخصصی خواسته شد تا نظرات

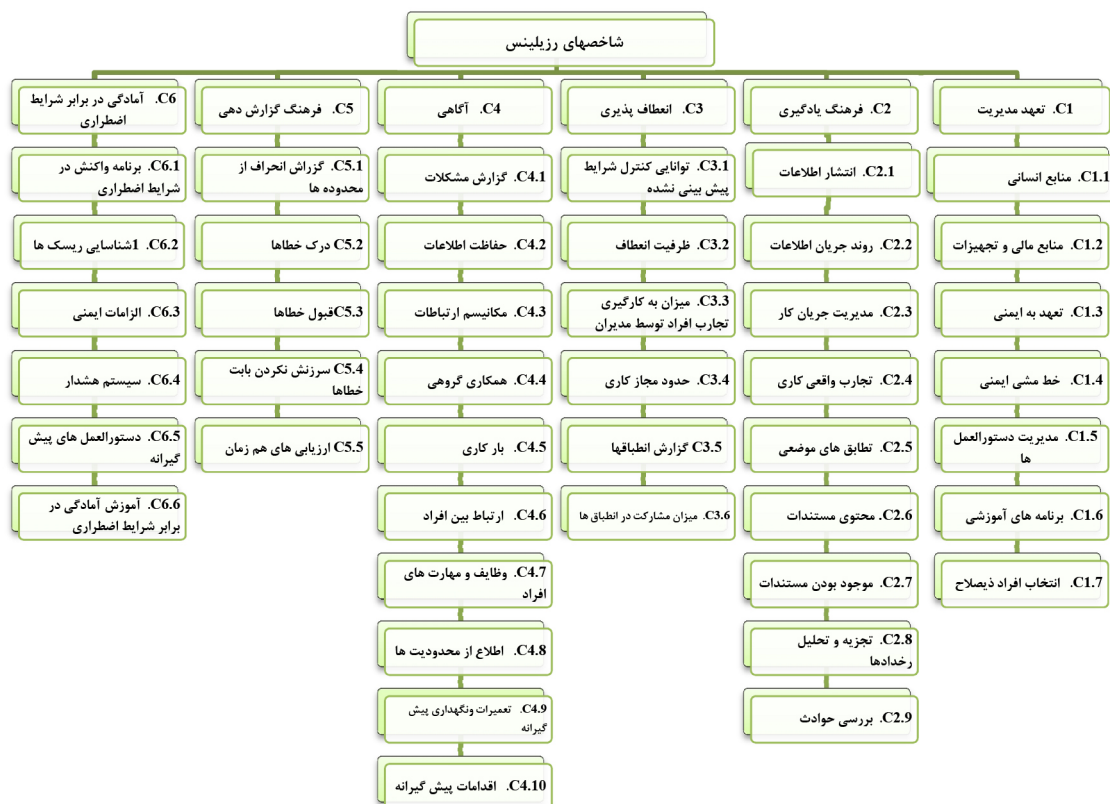
هر یک از شاخص‌ها و تعیین یک ساختار مبنا جهت رتبه بندی سطح رزلیانس در واحدهای مختلف می‌باشد. بدین منظور یک تیم ۱۰ نفره، شامل ۵ متخصص فرآیندی، ۳ متخصص HSE و ۲ اپراتور تشکیل گردید.

تعیین مولفه‌های رزلیانس و تشکیل ساختار سلسله مراتبی

با توجه به مطالعات کتابخانه ای که صورت گرفت، ۹ شاخص در مقالات مختلف برای ارزیابی رزلیانس 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

جدول ۱. مقایسه مولفه‌های مورد استفاده در مطالعات مختلف جهت ارزیابی RE

قدرت تحمل نقص	افزونی	کار گروهی	انعطاف پذیری	آمادگی	آگاهی	فرهنگ یادگیری	فرهنگ گزارش دهی	تعهد مدیریت
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
						<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



شکل ۱. شاخص‌های ارزیابی RE

$$f_i(y) = \left[\prod_{j=1}^n (\beta_{ij} - \alpha_{ij})y + \alpha_{ij} \right]^{1/n} \quad (2)$$

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

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

$$\alpha_j = \left[\prod_{i=1}^n l_{ij} \right]^{1/n}; \quad \beta_j = \left[\prod_{i=1}^n m_{ij} \right]^{1/n}; \quad (3)$$

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

خود را در مورد اهمیت هر یک از مولفه‌ها 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 مولفه‌ها، یک ماتریس \bar{X} مطابق ساختار زیر ساخته شد.

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \dots & \bar{X}_{1n} \\ \bar{X}_{21} & \bar{X}_{22} & \dots & \bar{X}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{X}_{n1} & \bar{X}_{n2} & \dots & \bar{X}_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

محاسبه اوزان

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

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

متغیر زبانی	اعداد فازی دوزنقه 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
VSAI (برتری شدید تا مطلق)	7	7.5	8.5	9
AI (برتری مطلق)	8	8.5	9	9

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

متغیر زبانی	اعداد فازی دوزنقه 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 (جدول ۴). 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).

$$\tilde{z} = \left\{ (\tilde{w}_1 \otimes \tilde{f}_1) \oplus (\tilde{w}_2 \otimes \tilde{f}_2) \oplus (\tilde{w}_3 \otimes \tilde{f}_3) \oplus \dots \oplus (\tilde{w}_n \otimes \tilde{f}_n) \right\} \quad (7)$$

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) به دست 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

$$\alpha = \sum_{j=1}^n \alpha_j ; \beta = \sum_{j=1}^n \beta_j ; \gamma = \sum_{j=1}^n \gamma_j ; \delta = \sum_{j=1}^n \delta_j \quad (4)$$

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

$$\tilde{w}_j = (\alpha_j \delta^{-1}, \beta_j \gamma^{-1}, \gamma_j \beta^{-1}, \delta_j \alpha^{-1})_j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

در نهایت بردار وزن فازی به صورت زیر تشکیل گردید (رابطه ۶).

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1 \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (6)$$

ارزیابی مولفه‌ها 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 (جدول ۳).

تعیین سطوح ارزیابی

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

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) ردیف (۵) نشان داده شده است. در جدول (۵) ردیف

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

جدول ۴. سیستم ارزیابی سطح رزیلینس

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

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

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

جدول ۶. نتایج ارزیابی شاخص‌های رزلیانس در صنعت پتروشیمی

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

(C3.1) بین ضعیف (P) و متوسط (M) ارزیابی شد. هم چنین ردیف‌های سوم و چهارم جدول (۶) به ترتیب شاخص سطح رزلیانس (RG) و شاخص هشدار زودرس رزلیانس (REWG) را نشان می‌دهند.

بحث

همان‌گونه که قبلاً بیان شد، هدف از این مطالعه ارایه الگویی جهت ارزیابی سطح عملکرد سازمان بر مبنای مهندسی رزلیانس، 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

دوم و سوم به ترتیب نشان دهنده مقادیر وزن‌های غیرفازی شده و وزن‌های نرمال (نهایی) هر یک از مولفه‌ها و زیر مولفه‌های رزلیانس می‌باشند. مقادیر غیرفازی شده ارزیابی مولفه‌های رزلیانس 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 رزلیانس 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"

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 ($W=0/384$) و به عبارتی دیگر بیش‌ترین نقش را در تعیین سطح رزیلینس دارا می‌باشد. هم‌چنین مولفه‌های آمادگی در برابر شرایط اضطراری ($W=0/282$) و آگاهی ($W=0/127$)، 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 مولفه‌ها نیز مشاهده می‌شود که به ترتیب C1.6 (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 C6.6 (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 پایین‌ترین سطح رزیلینس و عدد ۱۰ بالاترین مقدار می‌باشد. از سوی دیگر ردیف آخر جدول (۶) سطح رزیلینس 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. هم‌چنین 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 یادآوری 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 مولفه‌ها 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 اطلاع‌رسانی نگردد. این در

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 اکثراً 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 مولفه‌ها، نیز نتایج ارزیابی نشان دادند که کلیه زیر مولفه‌های عامل انعطاف‌پذیری (C3) و هم چنین چندین زیر مولفه از سایر مولفه‌های اصلی به جز مولفه آمادگی (C6) نیز در محدوده OEZW واقع شده‌اند، هر چند که خود مولفه اصلی در محدوده قابل قبول قرار دارد. این بدان معناست که غیر از مولفه اصلی، باید زیر مولفه‌ها 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 مولفه‌ها در محدوده OEZW قرار 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 مولفه‌ای 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 مولفه‌ها 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 مولفه‌ها را مورد پایش قرار داده و می‌تواند به محض فراتر رفتن از محدوده‌های قابل قبول، هشدار لازم را به مدیریت اعلام نماید. این در حالی است که در سایر مطالعات صورت گرفته، میزان اهمیت هر یک از مولفه‌ها یا تعیین نشده‌اند و یا در صورت تعیین، یک عدد واحد و محدوده‌های مجاز آن را به عنوان مبنای ارزیابی ارایه نکرده‌اند.

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 کارایی روش‌های ذهنی (مانند AHP) را افزایش داد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از روش تلفیقی ارزیابی ذهنی-عینی جهت ارزیابی رزلیانس استفاده شود.

نتیجه گیری

با توجه به جدید بودن مبحث مهندسی رزلیانس، 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 کرده‌اند، لیکن در هیچ یک از این روش‌ها سطح قابل قبول رزلیانس در فرآیند مورد بررسی مشخص نشده است. این مطالعه با هدف کمی سازی و تعیین سطح قابل قبول رزلیانس، ابتدا یک سیستم ارزیابی مبتنی بر ۶ شاخص پذیرفته شده رزلیانس سازمانی ایجاد نموده و سپس با استفاده از روش AHP فازی و تعیین شاخص هشدار زودرس رزلیانس، به اندازه

در جهت تقویت این عامل به کار گرفته شود. در کل می‌توان نتیجه‌گیری نمود که شاخص پیشنهاد شده در این مقاله، سهم کلیه مولفه‌ها و زیر مولفه‌های رزیلیانس در تعیین سطح RE را مد نظر قرار داده و به صورت پویا وضعیت رزیلیانس سیستم را مورد پایش قرار می‌دهد و در صورت تغییر در مقدار هر یک از مولفه‌ها و زیر مولفه‌ها، تاثیر آن را در رزیلیانس کل سیستم منعکس می‌کند.

تشریح و قدردانی

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

REFERENCES

- 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.
- Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. Resilience engineering: Concepts and precepts. UK: Ashgate; 2007.
- 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.
- Dekker S, Hollnagel E, Woods D, Cook R. Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems. 2008.
- 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.
- Haimes YY. On the Complex Definition of Risk: A Systems-Based Approach. Risk Analysis. 2009;29(12):1647-54.
- 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.
- Hollnagel E. The requisite variety of risk assessment. Catching up with nature. ESREL 2011. p. 18-22.

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 hand-over. *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.

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 units of 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, China 2009.
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*

- 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, Dolatkah 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 Environ Protection*. 2014;92:766–78.
 43. Salzano E, Di Nardob M, Gallob M, Oropallob E, Santillo 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 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;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-

- 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, Moham-madfam 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.

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