



ارزیابی پویشر ریسک به منظور شناسایی ریسک‌های در حال ظهور با استفاده از مدل آنالیز تشدید کارکرد: مطالعه‌ی موردی در یک واحد فرایندی

غلامعباس شیرالی^۱، وحید ابراهیمی پور^۲، لیلا محمد صلاحی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۶/۱۷

تاریخ ویرایش: ۹۲/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: امروزه، این موضوع مشخص شده است که سیستم‌های فنی-اجتماعی ماهیت دو بعدی نداشته و تعاملات بین اجزای این سیستم‌ها پیچیده و غیر خطی می‌باشد. در نتیجه، چون ریسک‌ها در این سیستم‌ها به عنوان ترکیبی غیرخطی از تغییرپذیری در عملکرد بروز می‌نمایند، بنابراین روش‌های سنتی ارزیابی ریسک قادر به شناسایی این ترکیبات غیرخطی نمی‌باشند. هدف مقاله حاضر شناسایی ریسک‌های در حال ظهور با استفاده از روش آنالیز تشدید کارکرد در یک واحد فرایندی می‌باشد.

روش بررسی: برای شناسایی ریسک‌های در حال ظهور، ابتدا وظایف مهم در یک واحد فرایندی که شامل ۲۵ وظیفه‌ی انسانی و ۴ وظیفه‌ی سازمانی بود شناسایی شد. سپس با استفاده از یک چک لیست تخصصی، پتانسیل تغییرپذیری (ریسک‌های در حال ظهور) بین وظایف مذکور تعیین گردید. بعد از آن با توجه به وابستگی‌ها/اتصالات ممکن بین وظایف مذکور و تأثیر آنها بر یکدیگر، پدیده‌ی تشدید در این وظایف بررسی شد. در نهایت نیز سازوکارها و موانعی نظیر فیزیکی، نمادی، کارکردی و غیره که برای میراکردن تغییرپذیری به کار می‌روند شناسایی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که احتمال تغییرپذیری (ریسک در حال ظهور) بالا در ۱۴ وظیفه‌ی انسانی محتمل می‌باشد، اما بررسی سناریوهای مختلف مشخص نمود که ۵ وظیفه‌ی انسانی حاوی ریسک‌های در شرف ظهور می‌باشند و نیاز به کنترل دارند. این ریسک‌ها خارج از محدوده‌ی نواقص و بد عمل کردن یک جزء قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این مطالعه و مطالعات انجام شده در جهان، این مدل برای درک حالت‌های غیر خطی و پویای ناشی از پدیده تشدید بین وظایف در سیستم‌های فنی-اجتماعی برای پیشگیری از حوادث، بسیار مفید و کاربردی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک، ریسک در شرف ظهور، مدل آنالیز تشدید کارکرد، تغییرپذیری

مقدمه

مشخص و دارای پیچیدگی کمی می‌باشد؛ ب نابراین در زمان تشریح سیستم، آن را استاتیک یا بدون تغییر در نظر می‌گیرند، در حالی که متأسفانه بسیاری از سیستم‌های امروزی، که در ایمنی صنعتی مورد مطالعه قرار می‌گیرند (مثل نیروگاه‌های برق، هوانوردی، صنایع شیمیایی و پتروشیمی، مراقبت‌های بهداشتی، حمل و نقل و غیره) مهار شدنی نیستند؛ یعنی این که اصول عملکرد آنها تنها تا حدی قابل شناسایی یا حتی در بعضی موارد غیر قابل شناسایی می‌باشد؛ بنابراین توصیف این سیستم‌ها، دارای پیچیدگی‌های خاص خود بوده و نیاز به دقت بسیار زیادی دارد به طوری که سیستم‌های سنتی ارزیابی ریسک به دلیل ماهیت

مبحث ایمنی در یک کارخانه شیمیایی اساساً، مبحثی حساس و بحرانی می‌باشد زیرا از دست رفتن کنترل فرایندها می‌تواند منجر به پیامدهای ناگواری در صنعت مذکور گردد که تنها به مرزهای آن صنعت ختم نخواهد شد. بنابراین، نیاز به یک سیستم ارزیابی ریسک برای: (الف) پیشگیری از حوادث از طریق پیش‌بینی، (ب) گذر از اختلالات از طریق برگشت‌پذیری و (ج) مدیریت آشفته‌گی‌ها از طریق تطابق، ضروری می‌باشد [۱، ۲]. اما روش‌های (کنونی) سنتی ارزیابی ریسک به دلیل این که سیستم‌ها را مهار شدنی (Tractable) فرض می‌نمایند؛ یعنی، از دیدگاه آن‌ها اصول کارکردی سیستم

۱- (نویسنده مسئول) استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز، ایران. shirali@ajums.ac.ir

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- کارشناس پخش فراوردهای نفتی اهواز، خرمکوشک اداره آموزش.

استاتیک خود قادر به شناسایی و تشریح همه‌ی جوانب سیستم‌های مذکور نمی‌باشند [۳].

۱. مقایسه‌ی روش‌های سنتی و نوین (سیستماتیک) ارزیابی ریسک: روش‌های سنتی در عمل، نظیر آنالیز ریسک و ارزیابی احتمال ایمنی (Probabilistic Safety Assessment)، قادر به ارائه‌ی بسیاری از راه حل‌های موردنیاز برای صنایع امروزی نمی‌باشند. برای این ادعا دلایل مختلفی وجود دارد، مهم‌ترین این دلایل، ریشه داشتن آنها در مدل‌های بسیار ساده‌ی حوادث به عنوان زنجیره دلیل-اثر می‌باشد. نتایج تحقیقات بر روی نقص‌ها در سیستم‌های پیچیده و عوامل تأثیرگذار سازمانی و انسانی بر روی ریسک نشان می‌دهد که ایمنی دارای خصوصیت تکوینی می‌باشد نه خصوصیت منتجه از یک سیستم، لذا نمی‌توان تنها از طریق ملاحظه اجزاء تشکیل دهنده سیستم آن را پیش‌بینی نمود. ایمنی نتیجه‌ی فعالیتی است که سیستم انجام می‌دهد، نه آن چیزی (تجهیزات و وسایل) که سیستم دارد؛ یعنی تلاش در فهم این نکته که چگونه یک سیستم می‌تواند به طور فعال اطمینان حاصل نماید که فرایندهای خود را تحت کنترل دارد. بر این اساس و برای نیل به این هدف سیستم‌ها به جای آن که قابل اطمینان^۱ باشند باید رزیلینت^۲ طراحی شوند. به عبارت دیگر، در طراحی سیستم‌ها تنها به قابلیت اطمینان آنها (کاهش احتمال نقص تا حد قابل قبول) توجه داشتن کافی نیست بلکه آنها باید رزیلینت بوده و قابلیت بازیابی تغییرات غیر عادی، آشفتگی‌ها و نابسامانی شرایط کاری مورد انتظار را داشته باشند [۴].

مدل‌های نوین (سیستماتیک) به جای تفکیک سیستم به اجزاء ساختاری و بررسی ارتباط کارکردی بین آنها، بر روی خصوصیات برآمده^۳ از سیستم متمرکز می‌شوند. این مدل‌ها عواملی را که سعی در ترویج آنالیز خطی علیتی دارند حذف می‌نماید. در حقیقت، در مدل‌های

خطی، حوادث هنوز به یک دلیل اتفاق می‌افتند اما مدل‌های سیستماتیک علل متعددی را برای وقوع آن مد نظر می‌گیرند و پیامدهای مختلفی را برای آنها متصور می‌شوند به طوری که می‌توان به صورت موقتی یا علیتی آنها را مرتب نمود. همچنین، این مدل‌ها بر روی اثرات متقابل به عنوان بخشی از کل سیستم و نه به عنوان وقایع مجزا در یک زنجیره متوالی متمرکز می‌شوند. پیش‌بینی رفتارهای برآمده از کل سیستم به دلیل وقایع کوچک و اثرات متقابل بین وقایع کوچک که می‌تواند پیامدهای وسیعی را به دنبال داشته باشد، مشکل است.

مدل ارزیابی حادثه مبتنی بر تشدید کارکرد و مدل آنالیز تشدید عملکرد^۴ (FRAM) به منظور ارزیابی ریسک در سیستم‌های فنی-اجتماعی پیچیده و همسو با اصول حاکم بر مدل‌های سیستماتیک حادثه توسط هلنگل ابداع شد [۵]. تشدید کارکرد هسته‌ی اصلی این مدل را تشکیل می‌دهد. یک مثال معروف برای این پدیده که بیشتر افراد آن را تجربه نموده‌اند یا حداقل دیده‌اند، تاب بازی می‌باشد. کودکان خیلی سریع یاد می‌گیرند که با حرکت تاب به یک طرف و نگه داشتن آن در همان وضعیت، باعث جمع شدن انرژی در آن شده به طوری که به محض رها سازی آن، تاب مانند یک آونگ شروع به نوسان می‌نماید. با وارد نمودن انرژی از یک طرف یا جلوگیری از ورود آن، می‌توان دامنه‌ی نوسانات تاب را کم یا زیاد نمود. این پدیده تحت عنوان تشدید اتفاقی^۵ مطرح می‌شود. این پدیده که به طور مکرر در صوت نیز اتفاق می‌افتد، پدیده‌ای است که در آن یک ورودی غیر خطی به یک سیگنال نوسان کننده‌ی دوره‌ای اضافه می‌شود. در این حالت سیگنال و صدا به ترتیب خصوصیتی از سیستم و محیط می‌باشند. در مدل‌های سیستمیک حادثه توصیف بین سیستم (سیگنال ضعیف) و محیط (صدا) نسبی می‌باشد و هر بخشی از تغییرپذیری سیستم اصولاً می‌تواند سیگنالی در جهت کاهش صدا باشد. ولی صدا واقعاً اتفاقی نیست

^۱. Reliable

^۲. Resilient

^۳. Emergent

^۴. Functional Resonance Analysis (Accident) Method

^۵. Stochastic Resonance

و مدیریت ریسک می‌باشد. نقص در نتیجه عدم توانایی (دایم یا موقت) یا عدم توانایی کارکرد اجزاء یک سیستم (انسان یا تکنولوژی) به طور نرمال حادث می‌شود.

۲. سیستم‌های فنی-اجتماعی پیچیده نظیر نیروگاه‌های اتمی، پالایشگاه‌ها و غیره بر حسب ضرورت مبهم بوده و تنها تا اندازه‌ای قابل پیش‌بینی هستند. رویه‌ها و ابزارها برای رو به رو شدن با موقعیت‌های مختلف و اهداف متضاد احتمالی سازگار می‌شوند؛ از اینرو، تغییرپذیری عملکرد، عادی و ضروری می‌باشد. تغییرپذیری خصوصیتی است که بندرت در حدی است که منجر به یک حادثه گردد.

۳. تغییرپذیری اعمال متعدد ممکن است به اشکال مختلف و غیر قابل پیش‌بینی با همدیگر ترکیب شده و منجر به پیامدهای به اندازه‌ی کافی ناجور گردند. نقص و عملکرد عادی بنابراین پدیده‌های ظاهری هستند که تنها به وسیله نگاه کردن در عملکرد اجزاء سیستم نمی‌توان آنها را توضیح داد.

۴. تغییرپذیری بعضی از کارکردها ممکن است تشدید شده که پیامد آن ممکن است یک حادثه باشد. FRAM به عنوان یک مدل پویشگر و غیر خطی بر روی این تشدید کارکرد و غیر تصادفی بودن آنها تأکید دارد. بنابراین هدف این روش برای حمایت از تحلیل و پیش‌بینی تشدید کارکردها برای پیشگیری از حوادث می‌باشد.

این مقاله در نظر دارد تا با آنالیز کارکردهای فردی و سازمانی در یک واحد فرایندی، اقدام به شناسایی ریسک‌های در شرف ظهور در فعالیت‌های عادی سیستم نموده و برای کنترل این ریسک‌ها توصیه‌های کاربردی و مفیدی ارائه نماید.

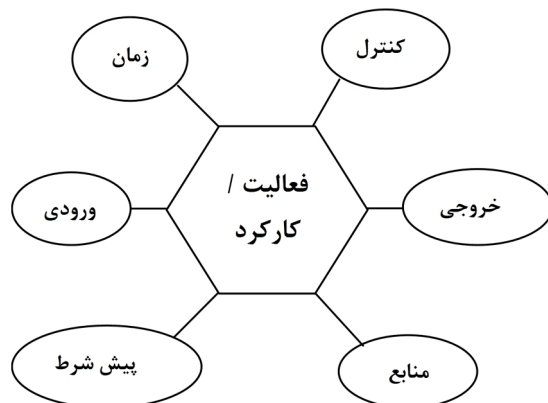
روش بررسی

همان گونه که قبلاً نیز ذکر شد بیشتر روش‌های آنالیز حادثه مبتنی بر این اصل می‌باشند که حوادث ترکیبی از یک سری وقایع یا شرایطی می‌باشند که در یک ترتیب خاص و تشخیص‌پذیر اتفاق می‌افتند. پیامد این تفکر این است که حوادث از طریق کشف و حذف

مگر تا اندازه‌ای که از طریق تغییرپذیری عملکرد سیستم تعیین می‌شود. چون تشدید ایجاد شده وابسته به منبع ناشناخته‌ای نیست بلکه پیامدی از اتصالات کارکردی^۶ در سیستم می‌باشد، پس بهتر است که به جای تشدید اتفاقی، تشدید کارکردی نامیده شود [۶، ۷]. مدل FRAM دارای یک دیدگاه سیستماتیک پیش‌گیری از حوادث از طریق بررسی تشدید کارکرد بین بخش‌های مختلف یک سیستم می‌باشد و در پی تغییرپذیری‌های بحرانی است که ممکن است به روش‌های نامطلوبی در یک سیستم تشدید شوند. بر این اساس، کارکرد ایمن سیستم باید در داخل یک آستانه‌ی معین که قابل کنترل است تعریف شود. در سیستم‌های باز که تغییرپذیری اجتناب ناپذیر می‌باشد، بعضی تشدیدها سودمند می‌باشند زیرا سیستم می‌تواند از آن درس گرفته و خود را با شرایط جدید تطبیق نماید. هر چند اگر بخش‌های کارکردی سیستم دارای درجه‌ای از تغییرپذیری باشند که همدیگر را تشدید کنند، پس فعالیت ممکن است از آستانه بگذرد و سیستم دچار نقص گردد. چنین تشدید عموماً نامطلوب می‌باشد. تشدید که FRAM درباره آن بحث می‌نماید، تغییرپذیری در عملکرد می‌باشد، بنابراین اگر تغییرپذیری بسیار بیشتر از ظرفیت سیستم (نزدیک مرزهای کنترل) باشد، سیستم قادر به مقابله با آن نخواهد بود. اگر ما این ایده را به تئوری حوادث نرمال مرتبط نموده و نحوی ارتباط آن را با تشدید کارکرد مشخص نماییم، ظاهراً رفتارهای نرمال سیستم ممکن است به طور کارکردی یکدیگر را تشدید نموده و باعث ایجاد تغییرپذیری زیاد شده به طوری که از توان سیستم خارج بوده و در نتیجه سیستم قادر به مقابله با آنها نمی‌باشد [۸]. با این توصیف مدل FRAM مبتنی بر چهار اصل اساسی به شرح زیر می‌باشد:

۱. موفقیت‌ها و شکست‌ها نتیجه‌ی تطابق بوده که سازمان‌ها، گروه‌ها و افراد برای مقابله با پیچیدگی انجام می‌دهند. موفقیت وابسته به قدرت پیش‌بینی، تشخیص

^۶ Functional Couplings



شکل ۱- تصویری از شش ضلعی مدل FRAM

سازمانی حاکم بر واحد از بررسی متون نیز استفاده گردید [۱۱]، بر این اساس وظایف سازمانی شناسایی شده عبارت بودند از: مدیریت نیروی انسانی، نظارت بر شرایط کاری، نظارت بر شایستگی‌ها و مهارت‌ها، نظارت بر دستورالعمل‌ها و نظارت بر کار گروهی. ولی از بررسی وظایف فنی به دلیل ثابت بودن یا تغییرات کم در حین فعالیت چشم پوشی شده است. بعد از شناسایی کارکردها/وظایف ضروری، مطابق چارت سازمانی و با همکاری و راهنمایی کارشناسان مجرب واحد اقدام به تعیین ورودی، خروجی، پیش شرط‌ها، منابع، زمان و کنترل در خصوص هر کارکرد/وظیفه گردید. هر کارکرد بوسیله ۶ پارامتر اساسی به شرح زیر توصیف می‌شود (شکل ۱):

- ورودی^{۱۳}، کاربردهای کارکرد یا تغییر شکل‌های آن
- خروجی^{۱۴}، نتیجه کارکرد
- پیش شرط‌ها^{۱۵}، شرایط لازم برای تکمیل یک کارکرد
- منابع^{۱۶}، نیازها یا مصارف کارکرد
- زمان^{۱۷}، که تغییرپذیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- کنترل^{۱۸}، که کارکرد را تنظیم یا نظارت می‌کند.

دلایل ممکن، قابل پیشگیری می‌باشند. ایمنی از طریق اصلاح توانایی سازمان برای پاسخ مناسب تضمین می‌شود، زیرا ریسک‌های خطرناک به دلیل نقص اجزاء (فنی، انسانی و سازمانی) و جست و جو برای احتمال این نواقص (درخت پیامد، PRA/HRA)^۷ پدیدار می‌شوند.

با این وجود، آنالیز وقایع ناگوار نشان داده است که ما قادر به ایجاد خروجی‌های سیستمی با مقداری انرژی، ارتباطات، تعاملات، جابجایی افراد و غیره نیستیم که در سیستم‌های خطی وجود دارند، بلکه ما واقعاً با سیستم‌های پیچیده سر و کار داریم و لذا نیازمند روش‌های جدید برای آنالیز سیستم‌های پیچیده هستیم [۹، ۱۰]. بر این اساس یکی از واحدهای فرایندی تحت عنوان کنترل^۸ (که شامل گاز مایع، کاهش گرانش، تقطیر در خلاء و اتمسفر) به جهت حساسیت، انتخاب و مدل مذکور در آن اجرا شد. نحوه جمع‌آوری داده‌ها در این مطالعه بر اساس روش مصاحبه (نیمه ساختار یافته)^۹ و مشاهده مستقیم بود که برای این منظور ۳ نفر از اپراتورهای با تجربه اتاق کنترل، اپراتور ارشد واحد و کنترل شیفت که هر کدام بیش از ۱۵ سال سابقه کاری داشتند، انتخاب شدند. مراحل اصلی اجرای مدل مذکور به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱- شناسایی وظایف ضروری سیستم (انسانی، سازمانی و تکنولوژیکی). مشاغل انسانی در این واحد مطابق با چارت سازمانی عبارت بودند از: اپراتور محوطه^{۱۰}، اپراتور داخل اتاق کنترل^{۱۱}، اپراتور ارشد^{۱۲} و کنترل شیفت^{۱۳}. در این پژوهش پس از شناسایی و تجزیه و تحلیل مشاغل، برای اپراتور محوطه و داخل اتاق کنترل هر کدام ۷، اپراتور ارشد ۶ و اپراتور شیفت ۵ وظیفه/کارکرد ضروری شناسایی گردید. همچنین برای تعیین وظایف سازمانی علاوه بر مطالعه روابط

13. Input

14. Output

15. Preconditions

16. Resource

17. Time

18. Control

7. Probabilistic Risk Assessment/ Human Reliability Assessment

8. Semi-structured

9. Outside operator

10. Boardman

11. Head operator

12. Shift control

باشد. این مورد عملکرد تکنولوژی و سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- تعداد اهداف و بر طرف نمودن تضادها، تعداد وظایف یک شخص باید مطابق با اصول و قواعدی باشند که باعث ایجاد تضاد نگردند. قوانین شفاف در خصوص رفع تضاد ممکن است به طور معنی‌داری باعث کاهش تغییرپذیری گردند. این مورد، عملکرد انسان و سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- زمان دسترسی (فشار ناشی از کمبود زمان). زمان قابل دسترسی برای انجام یک وظیفه ممکن است وابسته به تقارن بین وظیفه و پویایی فرآیند و اجرا باشد. فقدان زمان، حتی به طور ذهنی، احتمالاً باعث افزایش تغییرپذیری در عملکرد خواهد شد. این مورد عملکرد انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- ریتم سیرکادین^{۲۳}. خواه نا خواه یک فرد با زمان رایج تطابق می‌یابد (ریتم سیرکادین). فقدان خواب یا غیر همزمانی^{۲۴} می‌تواند به طور جدی عملکرد را تحت شعاع قرار دهد. این مورد هم مانند مورد فوق، عملکرد انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- کیفیت همکاری بین پرسنل^{۲۵}. کیفیت همکاری بین پرسنل، از جمله تداخل بین ساختار رسمی و غیر رسمی، سطح اعتماد و شرایط اجتماعی. این مورد شامل تأثیر مدیریت منابع انسانی بر روی افراد و همچنین اشتیاق افراد برای کارکردن می‌باشد. عملکرد انسان بوسیله این مورد تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

- کیفیت و حمایت سازمانی^{۲۶}. کیفیت نقش و مسئولیت اعضای تیم، فرهنگ ایمنی، سیستم‌های مدیریت ایمنی، آموزش‌ها و راهبردهایی برای فعالیت‌هایی که از خارج هماهنگ می‌شوند، نقش سازمان‌های خارجی و غیره. این مورد عملکرد سازمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد[۶].

پس از شناسایی وظایف مهم، از طریق یک چک

مرحله‌ی ۲- تعیین پتانسیل تغییرپذیری (وابسته به محیط) از طریق شرایط عمومی عملکرد^{۱۹} در بین وظایف. برای این منظور از چک لیست پیوست استفاده گردید که شامل یازده CPCs به شرح زیر می‌باشد:

- تغییرپذیری منابع. برای عملکرد پایدار، منابع لازم و ضروری بوده و فقدان آنها باعث افزایش تغییرپذیری می‌گردد. منابع اصولاً شامل افراد و مواد می‌باشند. این مورد، عملکرد انسان و تکنولوژی را شامل می‌شود.

- آموزش و تجربه. سطح کیفی آموزش به همراه تجربه عملیاتی نشان از آمادگی خوب افراد برای مقابله با شرایط مختلف و چگونگی عملکرد، متغیر خواهد بود. این مورد، عملکرد انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- کیفیت ارتباطات. کارایی ارتباطات بر حسب مناسبیت^{۲۰} و کفایت^{۲۱} یک مورد مهم دیگر می‌باشد. این مورد اشاره به جنبه‌های تکنولوژیکی (تجهیزات، پهنای باند) و جنبه‌های انسانی و اجتماعی دارد.

- تعامل انسان-ماشین^{۲۲}، حمایت عملیاتی. این مورد در کل اشاره به تعامل انسان ماشین از جمله مداخله در طراحی و اشکال مختلفی از حمایت عملیاتی دارد. تعامل انسان ماشین دارای یک اثر معنی‌داری بر روی تغییرپذیری عملکرد می‌باشد. این مورد عملکرد تکنولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- دسترسی به دستورالعمل‌ها و روش‌ها. تغییرپذیری دستورالعمل‌ها و برنامه‌ها (دستورالعمل‌های عملیاتی و اضطراری)، الگوهای رایج پاسخ و تغییرپذیری عملکرد و غیره را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این مورد باعث تقویت اثر آموزش و تجربه می‌گردد. این مورد عملکرد انسانی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- شرایط کاری. طبیعت شرایط کار فیزیکی نظیر روشنایی محیط، درخشندگی زیاد روی سطوح، صدا، دما، ایجاد وقفه در کار و غیره را شامل می‌شود. دامن‌ه‌ی شرایط کاری ممکن است از سودمند تا زیان‌آور متغیر

²³. Rhythm Circadian

²⁴. Asynchronism

²⁵. Crew Collaboration Quality

²⁶. Quality and Support of Organization

¹⁹. Common Performance Conditions (CPCs)

²⁰. Timeliness

²¹. Adequacy

²². Human-machine interaction

یافته‌ها

نتایج تجزیه و تحلیل کارکردهای فردی و سازمانی در اشکال ۲ تا ۵ ارائه شده است. در اشکال زیر مشاغلی که دارای تغییرپذیری زیاد و در نتیجه احتمال ایجاد پدیده تشدید در آنها زیاد می‌باشد به صورت نشان داده شده‌اند. همچنین در راهنمای سمت راست این اشکال، موانع موجود که باعث می‌راکردن تغییرپذیری‌های مذکور می‌گردند، آورده شده است.

نتایج حاصل از بررسی وظایف افراد نشان داد که در فعالیت‌های اپراتور محوطه بیشترین تغییرپذیری (یا به عبارتی ریسک) مربوط به این وظایف می‌باشد: نظارت بر پرمیت‌ها (۷ مورد ناکافی و ۲ مورد غیر قابل پیش‌بینی)، تعویض پمپ‌ها (۸ مورد ناکافی و ۲ مورد غیر قابل پیش‌بینی) و بازرسی (۸ مورد ناکافی و ۱ مورد غیر قابل پیش‌بینی) می‌باشد.

در بررسی فعالیت‌های اپراتور داخل اتاق کنترل نیز مشخص شد که بیشترین تغییرپذیری مربوط است به: پایش داده‌های سایت، ثبت اطلاعات، تنظیم وسایل کنترل و اعلام خرابی تجهیزات (هر کدام با ۷ مورد ناکافی و ۲ مورد غیر قابل پیش‌بینی).

نتایج حاصل از آنالیز فعالیت‌های اپراتور ارشد مشخص نمود که بیشترین تغییرپذیری در فعالیت‌های هماهنگی و صدور پرمیت (هر کدام با ۷ مورد ناکافی و ۲ مورد غیر قابل پیش‌بینی) و کمک به اپراتور داخل اتاق کنترل (با ۶ مورد ناکافی و ۲ مورد غیر قابل پیش‌بینی) می‌باشد.

و نهایتاً در بررسی نتایج حاصل از آنالیز وظایف اپراتور شیفت مشخص شد که بیشترین تغییرپذیری مربوط به وظایف صدور پرمیت (با ۷ مورد ناکافی و ۳ مورد غیر قابل پیش‌بینی)، آموزش (با ۶ مورد ناکافی و ۲ مورد غیر قابل پیش‌بینی) و گزارش شرایط غیر عادی (با ۷ مورد ناکافی و ۳ مورد غیر قابل پیش‌بینی) می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

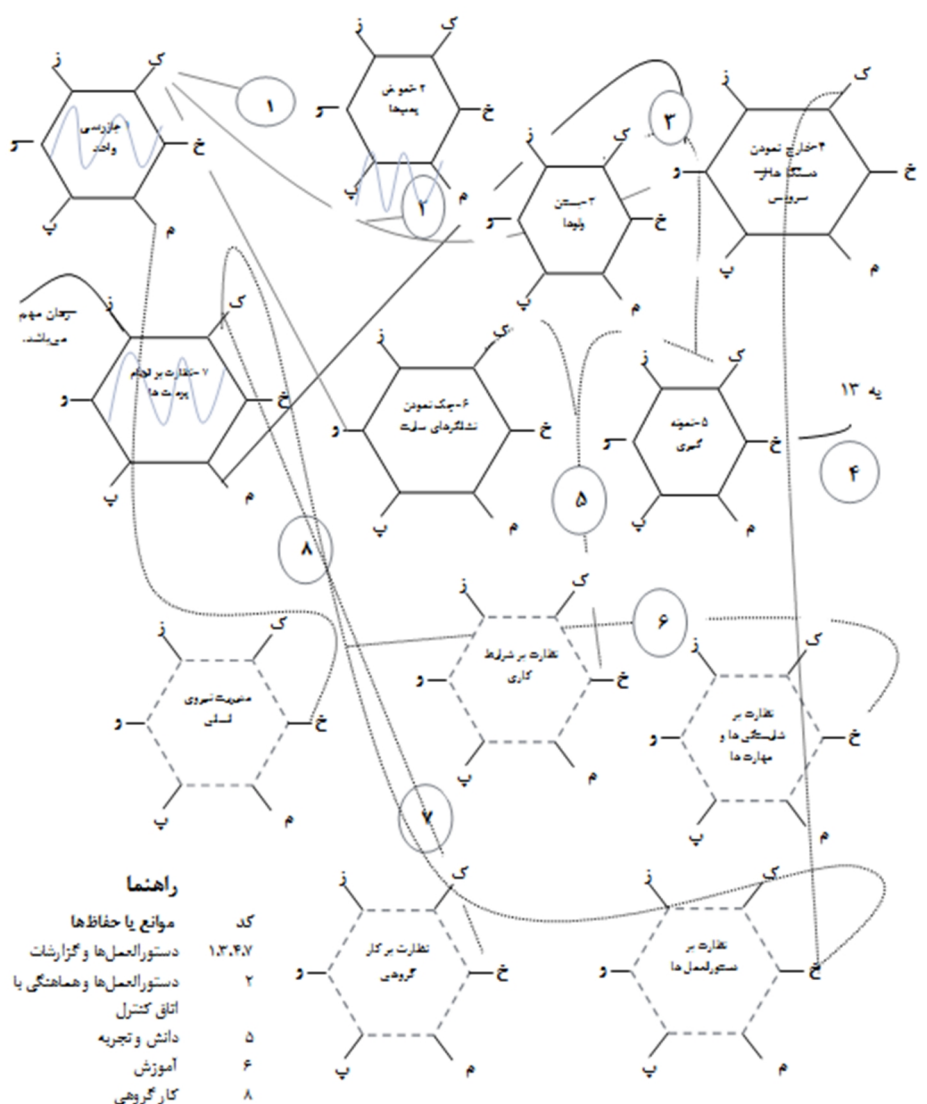
هدف از این پژوهش که در یکی از واحدهای فرایندی انجام شد، شناسایی ریسک‌های در حال ظهور با استفاده

لیست (شرایط عمومی عملکرد)^{۲۷} اقدام به بررسی تغییرپذیری بین وظایف/عملکردها گردید. دامنه تغییرات شرایط عملکرد عمومی با سه گزینه 'کافی'، 'ناکافی' و 'غیر قابل پیش‌بینی' مشخص می‌شود [برای اطلاعات بیشتر به مرجع [۱۲] مراجعه شود] و هرچه تعداد گزینه‌های ناکافی و غیر قابل پیش‌بینی در بررسی یک وظیفه بیشتر باشد، بیانگر تغییرپذیری بیشتر در آن کارکرد و در نتیجه ریسک بالاتری خواهد بود.

مرحله ۳- در این مرحله نحوه تعامل وظایف مذکور با همدیگر و با وظایف سازمانی بررسی می‌گردد تا مشخص شود که آیا بین وظایف مختلف امکان وابستگی / پیوستگی وجود دارد و این پدیده می‌تواند باعث تقویت یا تضعیف عملکرد ناشی از آنها شود. برای مثال، خروجی یک وظیفه ممکن است یک ورودی برای وظیفه‌ی دیگر یا ایجاد یک منبع، تکمیل یک پیش شرط، یا تقویت یک کنترل یا محدودیت زمانی باشد. برای مثال، در صورتی که خروجی یک وظیفه به طور غیر قابل پیش‌بینی تغییر نماید، وظیفه‌ی دیگر ممکن است از طریق این خروجی به عنوان یک منبع تحت تأثیر قرار گیرد که وابسته به شرایط عملکرد عمومی سیستم بوده و به عنوان نتیجه‌ای از تغییرپذیری فرایند انجام می‌شود. بسیاری از وقایع همزمان که باعث گسترش تغییرپذیری می‌شوند ممکن است اثر تشدید داشته باشند؛ تغییرپذیری اضافه شده به عنوان یک علامت، ریسک بالا یا آسیب‌پذیری مطرح می‌شود.

مرحله ۴- در این مرحله تمام موانع موجود در سیستم که باعث پیشگیری از یک واقعه‌ی ناخواسته یا حفاظت در مقابل پیامدهای یک واقعه‌ی ناخواسته می‌گردند، باید شناسایی شوند. بنابراین هدف حفاظ مطابق دیدگاه سنتی مهار تغییرپذیری می‌باشد، اما هدف FRAM تعیین مفید یا مضر بودن تغییرپذیری از تغییرپذیری ناخواسته می‌باشد، در نتیجه مهار تغییرپذیری مفید از طریق کاربرد مانع را غیر مطلوب می‌داند [۸].

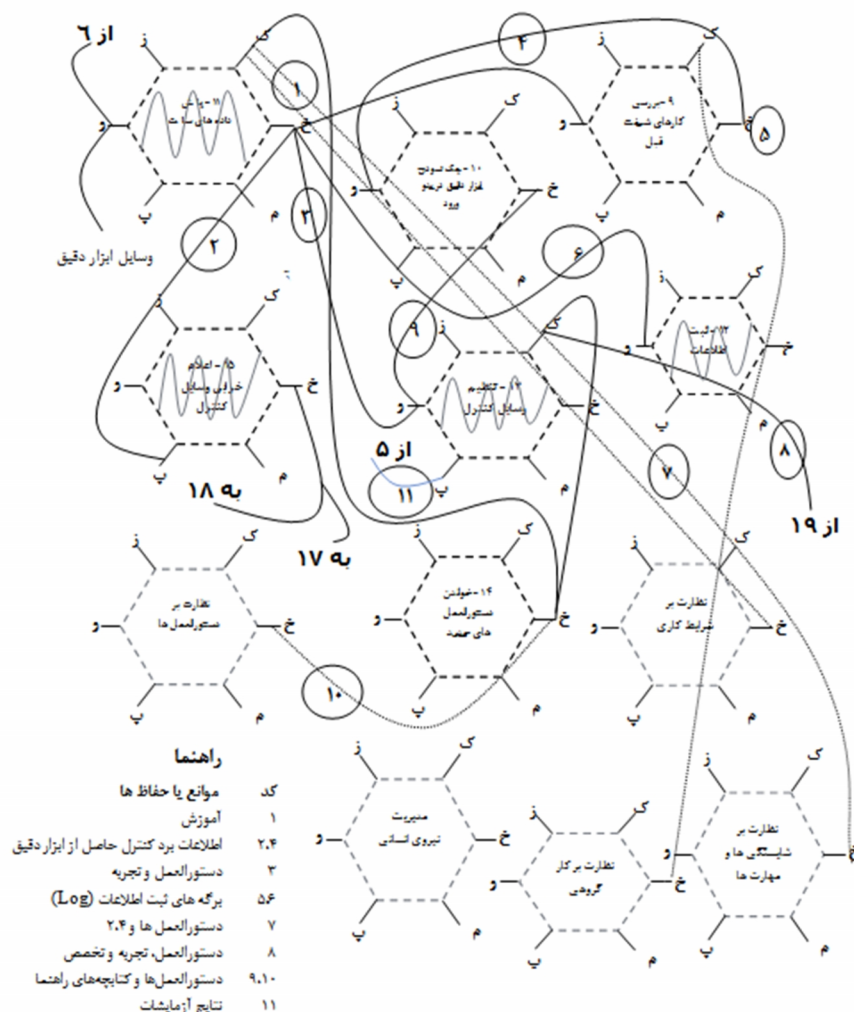
²⁷. Common Performance Conditions (CPC)



شکل ۲- آنالیز وظایف اپراتور محوطه مطابق مدل FRAM

عنوان یک علامت تعدیل کننده ضعیف دیده شود که به طور نرمال غیر قابل کشف می‌باشد؛ یعنی این تغییرپذیری در محدوده‌ی تحمل سیستم قرار خواهد گرفت. با این توصیف، به دام انداختن پویایی سیستم از طریق مدل‌سازی وابستگی‌های غیر خطی و تغییرپذیری عملکرد در سیستم‌های پیچیده (نظیر پالایشگاه) یکی از ضروریات روش‌های ارزیابی نوین ریسک، نظیر FRAM می‌باشد. با این توصیف، در نتیجه‌ی واکاوی نتایج حاصل از

از مدل آنالیز تشدید کارکرد بود، زیرا امروزه مشخص شده است که سیستم‌های پیچیده نظیر سیستم‌های فنی- اجتماعی دارای تعدادی زیر سیستم بوده که این زیر سیستم‌ها نیز شامل کارکردهای متعددی هستند. اگر چه سعی می‌شود که اجزای سیستم انسانی (فردی، سازمانی) و تکنولوژیکی قابل اطمینان و قابل پیش‌بینی طراحی شوند، اما عملکرد آنها معمولاً دارای درجه‌ای از تغییرپذیری خواهد بود. اگر یک جزء یا زیر سیستم به تنهایی ملاحظه شود، تغییرپذیری عملکرد می‌تواند به

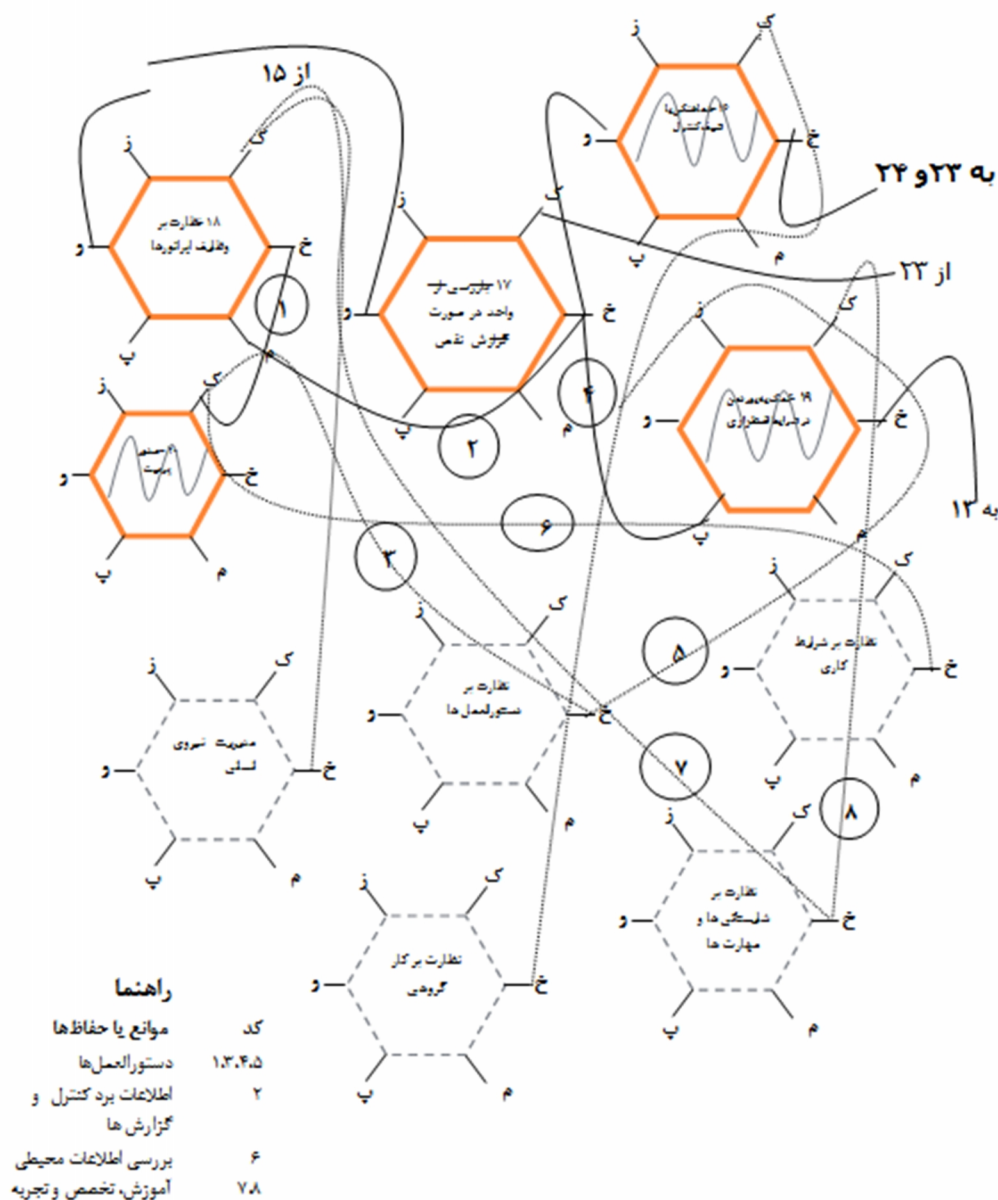


شکل ۳- آنالیز وظایف اپراتور داخل مطابق مدل FRAM

یا کمبود در کیفیت ارتباطات، شرایط بد کاری، تعداد اهداف و تضاد بین آنها، استرس و ریتم سیرکادین اشاره نمود؛ زیرا کیفیت ارتباط باعث اثر بر روی کارکردهای انسان و سازمان؛ شرایط کاری بر روی کارکردهای انسان و تکنولوژی؛ تعداد اهداف و تضاد بین آنها بر روی کارکردهای انسان و سازمان؛ استرس و ریتم سیرکادین نیز باعث اثر بر روی کارکردهای انسان می گردند و باعث ایجاد تغییرپذیری و بروز ریسک در وظیفه می شوند.

همچنین موانع و حفاظهایی که برای میرا کردن این تغییرپذیری ها (شکل ۲) در سیستم موجود می باشد بیشتر

کارکردهای اپراتور محوطه مشخص گردید که فعالیت هایی مثل بازرسی واحد، تعویض پمپ ها، نظارت بر انجام پرمیت ها از تغییرپذیری بالایی برخوردار می باشند، به عبارت دیگر ریسک های در شرف ظهور در این فعالیت ها نهفته می باشند. اما بررسی سناریوهای مختلف و همچنین نحوه تعامل بین وظایف مختلف این اپراتور مشخص شد که 'بازرسی از واحد' در مقایسه با دو کارکرد دیگر از درجه اهمیت بیشتری برخوردار می باشد زیرا تبعات آن می تواند فعالیت های دیگر را نیز تحت تأثیر خود قرار دهد. از جمله علل این تغییرپذیری (ریسک در شرف ظهور) می توان به عواملی نظیر: نقص



شکل ۴- آنالیز وظایف اپراتور ارشد مطابق مدل FRAM

حفاظ‌های کارکردی^{۳۰} نظیر آموزش نحوه‌ی انجام کار^{۳۱}، دستورالعمل‌های مناسب و به روز و غیره (برای اطلاعات بیشتر به مرجع ۸ مراجعه شود) استفاده شود. در تحلیل نتایج حاصل از آنالیز وظایف اپراتور اتاق

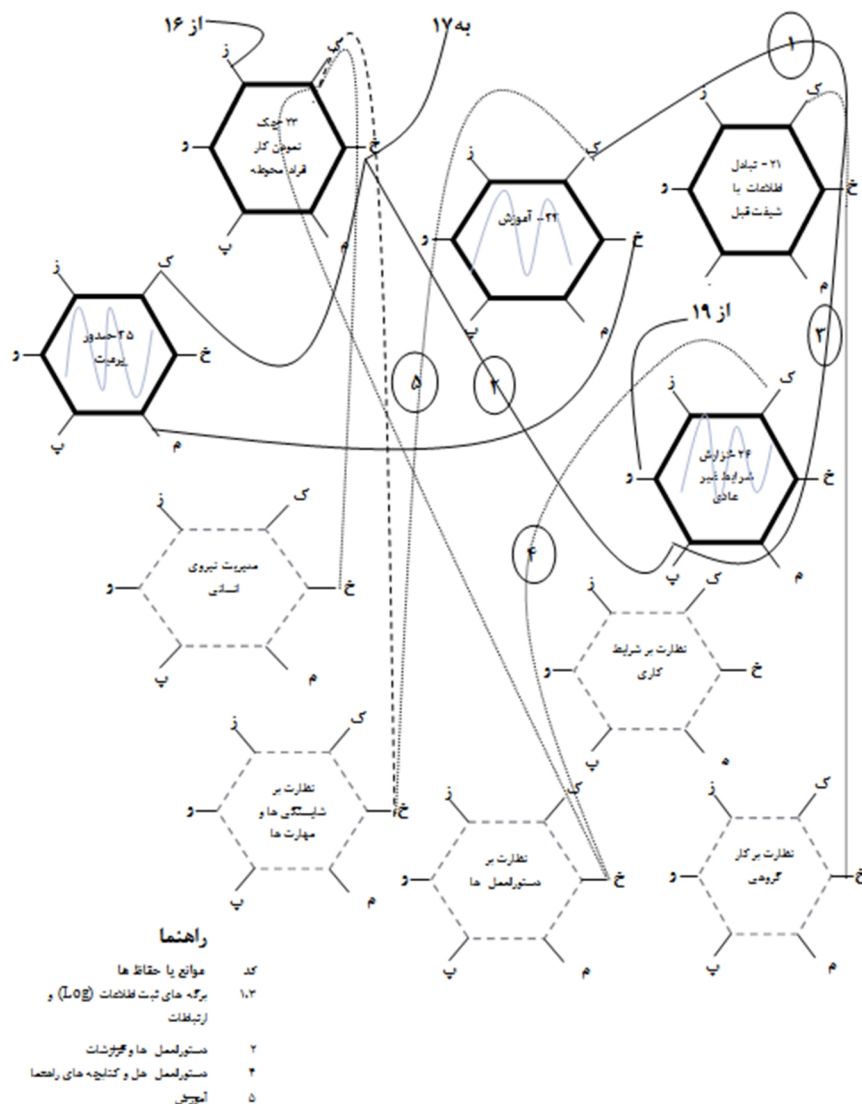
از نوع غیر مادی^{۲۸} می‌باشند که کارایی و ارزیابی پایینی داشته و قابلیت استفاده^{۲۹} از آنها هم مبهم می‌باشد؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد که برای اصلاح این نقص از

²⁸. Incorporeal

²⁹. Availability: منظور اینست که آیا یک حفاظ می‌تواند در زمانی که نیاز است وظیفه خود را به انجام رساند.

³⁰. Functional Barrier

³¹. Instructions



شکل ۵- آنالیز وظایف شیفت کنترل مطابق مدل FRAM

ارتباطات بر روی عملکرد انسان و سازمان؛ استرس، ریتم سیرکادین و تعامل انسان-ماشین و حمایت مؤثر بر روی عملکرد انسان؛ شرایط کاری بر روی عملکرد انسان و تکنولوژی تأثیر گذاشته و باعث ایجاد این تغییرپذیری یا ریسک در شرف ظهور در وظایف ذکر شده‌ی اپراتور اتاق کنترل می‌گردند.

البته در بررسی سناریوهای مختلف مشخص شد که دو وظیفه‌ی 'پایش داده‌های سایت' و 'تنظیم وسایل

کنترل می‌توان گفت که در این قسمت هم چهار وظیفه؛ یعنی پایش داده‌های سایت، ثبت اطلاعات، تنظیم وسایل کنترل و اعلام خرابی تجهیزات از تغییرپذیری بالایی برخوردار می‌باشند که علل آن نیز شامل نقص یا کمبود در این موارد می‌باشد: تعداد اهداف و تضاد بین آنها، استرس و ریتم سیرکادین، شرایط کاری، تعامل انسان-ماشین و حمایت مؤثر و کیفیت ارتباطات؛ به طوری که تعداد اهداف و تضاد بین آنها و کیفیت

و نهایتاً در بررسی و تحلیل وظایف مربوط به اپراتور شیفت مشخص شد که سه وظیفه 'آموزش'، 'صدور پرمیت' و 'گزارش شرایط غیر عادی' دارای تغییرپذیری بیشتر و در نتیجه ریسک‌های در شرف ظهور بیشتری می‌باشند، اما با توجه به تأثیرات این وظایف بر کارکردهای دیگر و تأثیر کارکردهای سازمانی بر این وظایف، می‌توان این استنباط را نمود که گزارش شرایط غیر عادی از درجه اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. از جمله علل تغییرپذیری مذکور نیز می‌توان به نقص یا کمبود در؛ دسترسی به منابع، کیفیت ارتباطات، تعامل انسان-ماشین و حمایت مؤثر، شرایط کاری و تعداد اهداف و تضاد بین آنها اشاره نمود. لذا، دسترسی به منابع و شرایط کاری بر روی عملکرد انسان و تکنولوژی؛ کیفیت ارتباطات و تعامل انسان-ماشین و حمایت مؤثر بر روی عملکرد انسان و تعداد اهداف و تضاد بین آنها بر روی عملکرد انسان و سازمان تأثیر دارند. این تأثیرات باعث بروز تغییرپذیری در وظایف این فرد شده و احتمال ریسک‌های در شرف وقوع را بالا می‌برد.

حفاظت‌های موجود در این بخش نیز از نوع غیر مادی می‌باشند که همان گونه که قبلاً نیز ذکر گردید دارای کارایی پایینی می‌باشند.

اما در خصوص مقایسه‌ی نتایج این مطالعه با مطالعات دیگر باید گفت که: تاکنون مطالعه‌ای به این سبک و سیاق در داخل کشور انجام نشد، اما در جهان مطالعاتی انجام گردید که تعداد آنها هم بسیار اندک می‌باشد؛ دلیل آن نیز این است که همان گونه که قبلاً ذکر شد مهندسی رزلیانس و روش‌های آنالیز ریسک (سیستماتیک) منطبق بر آن، چندی سالی است که وارد عرصه‌ی علوم مهندسی شده است. با این حال مطالعاتی که توسط هلنگل در سال ۲۰۰۵، ولتجر و همکاران در سال ۲۰۰۸، دی کاروالو و همکاران در سال ۲۰۱۱، بلمونته و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۱۳] انجام داده‌اند همگی به ضعف روش‌های سنتی از جمله استاتیک بودن (تبعیت از فرض‌های از قبل تدوین شده)، خطی بودن و غیره در شناسایی ریسک‌های در شرف ظهور سیستم‌های فنی-اجتماعی و توانایی این روش در

کنترل، از درجه‌ی اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند. یکی از دلایل این امر نیز این است که این وظایف می‌توانند عملکرد وظایف دیگر را نیز تحت شعاع قرار دهند.

حفاظت‌هایی که برای میرا کردن تغییرپذیری موجود در وظایف اپراتور اتاق کنترل استفاده می‌شوند (شکل ۳ را ببینید) نیز از نوع نمادی^{۳۲} و غیر مادی می‌باشند که خود نیز دارای نواقصی مثل به روز نبودن، در دسترس نبودن، دارای ابهام، وابسته بودن به انسان و غیره می‌باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که این حفاظها توسط یک تیم تخصصی مورد بازبینی قرار گیرند.

بررسی دقیق نتایج حاصل از تعاملات فردی و سازمانی (شکل ۴) مربوط به اپراتور ارشد هم نشان داد که وظایف 'همه‌نگی با شیفت کنترل'، 'کمک به اپراتور داخل اتاق کنترل در شرایط اضطراری' و 'صدور پرمیت' دارای تغییرپذیری بیشتر و در نتیجه ریسک‌های در شرف ظهور بالاتری در عملکرد نرمال خود نسبت به وظایف دیگر می‌باشند، اما با توجه به تعاملات بین فعالیت‌های مختلف و تأثیر آنها بر یکدیگر، کمک به اپراتور داخل اتاق کنترل در شرایط اضطراری از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد و در نتیجه نیاز به توجه بیشتری هم دارد. علت این تغییرپذیری‌ها نیز ناشی از نقص در عواملی چون؛ دسترسی به منابع، کیفیت ارتباطات، تعامل-انسان ماشین و حمایت مؤثر، شرایط کاری، تعداد اهداف و تضاد بین آنها، استرس و ریتم سیرکادین می‌باشد. در نتیجه، دسترسی به منابع و شرایط کاری بر روی عملکرد انسان و تکنولوژی؛ کیفیت ارتباطات، استرس، ریتم سیرکادین و تعامل انسان-ماشین و حمایت مؤثر بر روی عملکرد انسان و تعداد اهداف و تضاد بین آنها بر روی عملکرد انسان و سازمان تأثیر گذاشته و باعث ایجاد ریسک‌های در شرف ظهور در وظایف مذکور می‌گردد.

حفاظت‌هایی که در این بخش استفاده می‌شود نیز وضعیتی مانند حالت فوق دارند.

³². Symbolic

measuring and maintaining safety complex organizations research proposal to Raddningsverket. 2005.

5. Hollnagel E. Functional Resonance Accident Model, Method and examples. Cognitive Systems Engineering Laboratory. University of Linköping, Sweden. 2005.

6. Hollnagel E, Woods D, and Leveson N. Resilience engineering: Concepts and precepts 2006: Ashgate Pub Co.

7. Stephens R.J. Managing the Margin: A Cognitive Systems Engineering Analysis of Emergency Department Patient Boarding. PhD Dissertation, School of The Ohio State University. 2010.

8. Woltjer R. Functional modeling for risk assessment of automation in a changing air traffic management environment. Paper presented at the 4th International Conference Working on Safety, Crete, Greece, 2008.

9. de Carvalho P.V.R. The use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) in a mid-air collision to understand some characteristics of the air traffic management system resilience. Reliability Engineering & System Safety, 2011. 96(11): p. 1482-1498.

10. Hollnagel E. Barriers and accident prevention 2004: Ashgate Pub Ltd.

11. Macchi L, Hollnagel E, et al. Resilience Engineering Approach to Safety Assessment: An Application of FRAM for the MSAW system. Paper presented at Eurocontrol Safety R&D seminar, Germany, 2009.

12. Hollnagel E. Cognitive reliability and error analysis method: CREAM 1998: Elsevier Oxford.

13. Belmonte F, et al. Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: An application to railway trafficsupervision. Reliability Engineering & System Safety, 2011. 96(2): p. 237-249.

شناسایی پویشگر ریسک با توجه به ویژگی‌های گفته شده در بالا معتقد می‌باشند.

در نهایت هم به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که این مدل برای ارزیابی ریسک و بررسی حوادث، روشی بسیار مفید و کاربردی می‌باشد، زیرا با توجه به ماهیت پویشگر خود به صورت غیرخطی و نه تنها با تکیه بر زنجیره‌ی دلیل-اثر (مبنای روش‌های ارزیابی سنتی) اقدام به بررسی و آنالیز حوادث و ریسک موجود در فعالیت‌های روزانه‌ی اپراتورها نموده و ریسک‌های در شرف بروز را قبل از هر گونه انحراف و تبدیل شدن به حادثه شناسایی می‌نماید. به عبارت دیگر، با در نظر گرفتن عوامل انسانی، سازمانی و تکنولوژیکی و تعامل بین آنها (اشکال ۵-۲)، قادر به شناسایی ریسک‌های در شرف ظهور می‌باشد. بنابراین این مدل متناسب با سیستم‌های فنی-اجتماعی با پیچیدگی و ریسک بالا می‌باشد. اما از معایب این روش می‌توان به پیچیدگی و طاقت فرسا بودنش اشاره نمود. به عبارت دیگر این روش نیاز به تخصص و دقت بالایی برای آنالیز وظایف دارد.

تقدیر و تشکر

از همکاری و مساعدت مدیریت و پرسنل واحد مذکور برای انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Shirali G.A, et al. Challenges in building resilience engineering (RE) and adaptive capacity: A field study in a chemical plant. Process Safety and Environmental Protection, doi:10.1016/j.psep.2011.08.003, 2011.
2. Tazi D, and Amalberti R. Resilience of maintenance organization in a refining plant. proceedings of the second resilience engineering symposium, Ecole des mines de Paris, France, 2006.
3. Hollnagel E. Why do we need resilience engineering? <http://erik.hollnagel.googlepages.com/whatisresilienceengineering%3F>. 2007.
4. Dekker S, Hollnagel E, and Woods D. Resilience Engineering: New directions for



پیوست- چک لیست تعیین اثر شرایط عملکرد عمومی بر روی کارکردها/ وظایف				نوع کارکرد/ وظیفه:	
واحد:				تعیین نرخ گروه‌ها	
مواردی که تحت تأثیر قرار می‌گیرند				کافی	
سازمان	تکنولوژی	انسان	غیر قابل پیش‌بینی	ناکافی	جمع
دسترسی به منابع (تجهیزات، امکانات و..)					
آموزش و تجربه (شایستگی)					
کیفیت ارتباطات					
تعامل انسان- ماشین و حمایت مؤثر					
دسترسی به دستورالعمل ها و روش ها					
شرایط کاری					
تعداد اهداف و رفع تضاد بین آنها					
زمان قابل دسترسی، محدودیت زمانی					
استرس، ریتم سیرک‌آدین					
کیفیت همکاری بین افراد					
حمایت سازمانی					

Proactive risk assessment to identify emergent risks using functional resonance analysis method (fram): a case study in an oil process unit

G.A. Shirali¹, V. Ebrahipour², L. Mohammmd Salahi³

Received: 2013/01/15

Revised: 2013/05/25

Accepted: 2014/09/08

Abstract

Background and aims: Today, it was revealed that Socio-technical systems did not have a bimodal nature and interactions in these systems are complex and non-linear. Consequently, since risks can be emerged as non-linear combinations of performance variability, so traditional methods of risk assessment are not able to capture these combinations. The present paper is aimed at identifying the emergent risks by means of the Functional Resonance Analysis Method in a process unit of an oil refinery.

Methods: To identify the emergent risks in the functions, first the essential system functions including twenty five functions of human and four functions of organization were identified in an oil process unit. Then, potential variability (emergent risks) was characterized among the mentioned functions using a technical checklist. After then, resonance phenomenon was evaluated among the functions with regard to possible dependencies/couplings among functions and their effect on each other. Finally, mechanisms and barriers such as physical, symbolic, functional, etc., which were utilized to damp the variability, were identified.

Results: The results showed that the possibility of the high variability in fourteen human functions is likely, but the analysis of different scenarios revealed that five human functions contain the emergent risks, and should be controlled. These risks go beyond component failures and malfunctions.

Conclusion: with regard to the results of this research and the conducted researches in the world, this model is so applicable to understand dynamics and nonlinearity of functional resonance in socio-technical systems in order to avoid accidents.

Keywords: Risk assessment, emergent risk, FRAM, variability.

1. (**Corresponding author**) Assistant Professor, Occupational Safety and Health Eng, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. shirali@ajums.ac.ir

2. Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Tehran University, Tehran, Iran.

3. Expert, NIOPDC Training Center of NIOPDC, Ahvaz, Iran.