

## Comparison of failure mode and effect analysis and functional resonance in press shop

**R. Gholamnia<sup>1</sup>, AH. Matin<sup>1</sup>, S. Atari<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Health Sciences, School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Corresponding Address: Reza Gholamnia, School of Health, Safety and Environment Next to Sahel Park, Noor Blvd., Hakimiyeh, Tehran Pars, Tehran, Iran

Tel: +98-21-77309961, Email: Gholamnia@sbmu.ac.ir

Received: 25 Sep 2017; Accepted: 21 Jan 2018

### \*Abstract

**Background:** Machines, especially pressing machines, have a huge contribution to the incidence of occupational accidents and their costs.

**Objective:** The purpose of this descriptive-analytical study was to evaluate the risk of pressing operations. For this purpose, two traditional and new methods of risk assessment were used.

**Methods:** This study was carried out in a press workshop of one of the automobile production factories in 2017. Risk assessment was performed in two ways: Failure modes (FM) and effects analyzes (EA) and functional resonance analysis method (FRAM) based on extended resilience engineering. After identifying the six aspects of the operation of pressing, their variability and exacerbation were determined.

**Findings:** From 72 potential breakdowns, twenty mode in one of the risk factors of the risk priority number (severity, probability and detection rates) were equal or greater than five, and other failure modes identified were normal and not require new corrective actions. Fifteen functions were also identified for press operations, which seven operations including planning, mapping, raw material supply, forklift lifting, stamping, census, and delivery of preformed parts were resonating.

**Conclusion:** Considering the focus of the method of FM and EA on technical issues and the visibility of this method, as well as the overall and organizational view, the FRAM, the simultaneous use of these two methods, significantly contributes to improving the safety of the system makes.

**Keywords:** Risk assessment, Safety, Failure modes, Effect analyzes

**Citation:** Gholamnia R, Matin AH, Atari S. Comparison of failure mode and effect analysis and functional resonance in press shop. J Qazvin Univ Med Sci 2018; 22(1): 42-51.

## مقایسه روش‌های تجزیه و تحلیل حالت‌های شکست و تحلیل تشدید کارکردی در ارزیابی ریسک عملیات پرس کاری

دکتر رضا غلام‌نیا<sup>۱</sup>، امیرحسین متین<sup>۱</sup>، صابر عطاری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم بهداشتی دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

آدرس نویسنده مسؤول: تهران، حکیمیه تهران پارس، بلوار نور، جنب پارک ساحل، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، تلفن ۶۵-۹۹۶۱۰۹۹۶۱-۷۷۳-۰۲۱  
تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱

### \*چکیده

**زمینه:** ماشین‌آلات به‌خصوص ماشین پرس سهم بزرگی در بروز حوادث شغلی و هزینه‌های مربوط به آن‌ها دارند.  
**هدف:** این مطالعه به‌منظور ارزیابی خطر عملیات پرس کاری با استفاده از دو روش سنتی و جدید ارزیابی خطر عملیات پرس کاری انجام شد.  
**مواد و روش‌ها:** این مطالعه توصیفی-تحلیلی در سالن پرس یکی از کارخانجات تولید خودرو در سال ۱۳۹۶ انجام شد. ارزیابی ریسک به دو روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن و روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی که براساس مهندسی تاب‌آوری توسعه یافته، انجام شد. پس از شناسایی و تعیین شش جنبه کارکردهای عملیات پرس کاری، تغییرپذیری و تشدید آن‌ها تعیین گردید که منجر به ارائه راهکارهای میراکننده شد.  
**یافته‌ها:** از بین ۷۲ حالت شکست بالقوه، بیست حالت در یکی از عوامل خطرزای عدد اولویت ریسک (شدت، احتمال وقوع و نرخ کشف) امتیازی برابر یا بیش‌تر از پنج داشتند و سایر حالات شکست شناسایی شده در سطح عادی بودند و نیازی به اقدامات اصلاحی جدید نداشتند. همچنین پانزده کارکرد برای عملیات پرس کاری شناسایی شد که از این بین هفت کارکرد (برنامه‌ریزی، نقشه‌کشی، تهیه اوراق خام، راه‌اندازی لیفتراک، راه‌اندازی ماشین پرس، آمارگیری و تحویل قطعات پرس کاری شده) دارای حالت تشدیدشوندگی بودند.  
**نتیجه‌گیری:** با توجه به تمرکز روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن بر مسایل فنی و دید جزئی‌نگر این روش و همچنین دید کلی‌نگر و سازمانی روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی استفاده همزمان این دو روش کمک قابل توجهی به بهبود وضعیت ایمنی سیستم می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** ارزیابی ریسک، ایمنی، حالات شکست، اثرات تحلیل

### \*مقدمه:

شرایطی که منجر به موفقیت عملکرد سازمانی و یا عملکرد ناموفق می‌شوند در نتیجه اثر متقابل عوامل فنی و اجتماعی به‌وجود می‌آیند. این اثر متقابل می‌تواند در هر دو گونه روابط علت- معلول خطی و غیرخطی وجود داشته باشد.<sup>(۱)</sup>

علی‌رغم توسعه، پیچیده‌تر و درهم تنیده‌تر شدن سیستم‌های فنی- اجتماعی روش‌های بررسی حادثه به تناسب توسعه و تغییر نیافته‌اند. هدف هر مدلی، قابل فهم کردن رویداد و در نتیجه توانایی در تجزیه و تحلیل آن است. مدل‌های سنتی ریسک فرض بر این دارند که

اساس فرایند ایمنی سیستم‌های پیچیده فنی- اجتماعی عبارت است از کسب اطمینان از این که شغل یا وظیفه در ایمن‌ترین شکل خود و بدون وجود ریسک منجر به صدمات انجام پذیرد. این فرایند آینده‌نگر در محیط‌های کاری یعنی جایی که افراد، روش‌های عملیاتی، تجهیزات، مواد و محیط به‌صورت عوامل مکمل هم می‌توانند ایمنی را تحت تأثیر قرار دهند انجام می‌گیرد. هر کدام از فاکتورهای ذکر شده ممکن است در طول انجام وظیفه منشأ درجه‌ای از ریسک برای افراد، تجهیزات، محیط زیست و یا اعتبار سازمان باشند. لذا

رویدادها را می‌توان به یکی از اشکال زنجیره یا توالی علت- معلول یا تصاعد ساده و یا ترکیب این دو نمایش داد.<sup>(۲)</sup>

دیدگاه غالب بر این باور است که امکان شرح سیستم در جزئیات برای انجام ارزیابی ریسک کافی است. به عبارت دیگر سیستم را تحت کنترل و قابل مهار می‌داند، در حالی که سیستم‌های فنی- اجتماعی عموماً غیرقابل کنترلند لذا این مدل‌ها کارایی نخواهند داشت، در نتیجه به یک دیدگاه جدید و کارا که بتواند همه عوامل تأثیرگذار بر ریسک را تحت کنترل در آورد، نیاز است.<sup>(۳)</sup> یکی از مفاهیم جدید در حوزه ایمنی، مهندسی تاب‌آوری است. مهندسی تاب‌آوری بر این نکته تأکید دارد که ایمنی از ویژگی‌هایی است که سیستم انجام می‌دهد نه ویژگی‌هایی که دارای آن است. وضعیت مربوط به ناآگاهی می‌تواند با تمرکز بر آن‌چه در حال رخ دادن است، کاهش یابد. برای درک آن‌چه در حال رخ دادن است نیاز به مجموعه‌ای از مفاهیم، واژگان شناسی و مجموعه‌ای از روش‌ها جهت ممکن کردن تشریح چگونگی انجام کار و مقایسه آن با تصور انجام کار است. ویژگی‌های گفته شده در روشی به نام روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی موجود است.<sup>(۴)</sup> مسأله مهم در مدل‌سازی حوادث با استفاده از زنجیره وقایع، در نظر نگرفتن کافی تعاملات بین اجزاست. این تعاملات ممکن است موجب تشدید پیامدهای سیستمی شوند.<sup>(۵)</sup>

تجزیه و تحلیل تغییرات سیستم‌های فنی- اجتماعی مؤید پیچیدگی‌ها و ویژگی‌های این سیستم‌ها از جمله: ادغام سیستم‌های تکنولوژیکی، رابط انسان و سیستم‌های سازمانی فشرده است. استفاده از روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی با زمینه تحلیل خطر سیستم، ابزار مناسبی جهت شناسایی خطر و مجموعه خطرات بالقوه در اتصالات کاربردی بین زیر سیستم‌ها و سیستم‌های خارج از مرز سیستم تحت مطالعه و در ارتباط با خطرات نهفته طراحی کارکردی است. روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی قابلیت استفاده به‌عنوان ابزار مناسب مدل‌سازی

و تجزیه و تحلیل رفتار سیستم پیچیده و غیرخطی را دارد.<sup>(۶)</sup>

روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی، تشدید کارکردها را پوشش و همچنین واکنش‌های پویای مابین کارکردهای سیستم‌های اجتماعی- فنی را نمایش می‌دهد. روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی بر پایه مهندسی تاب‌آوری شکل گرفته و هدف آن تهیه شبکه کیفی مناسب برای درک شرایطی است که علی‌رغم مواجهه ریسک‌های پیش‌بینی نشده وقوع فرایند می‌تواند به درستی پایان پذیرد.<sup>(۷)</sup>

یکی از روش‌های سنتی شناسایی مخاطره و اثر کارکردها، تحلیل حالات شکست و اثر آن است. مهم‌ترین اهداف کاربرد روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن، شناسایی حالت‌های شکست بالقوه در اجزای سیستم و تعیین علل ارزیابی اثرات آن‌ها بر روی عملکرد سیستم و در نهایت تعیین راه‌هایی است که بتوان شانس وقوع و پیامدها را کاهش و قابلیت تشخیص حالات شکست را افزایش داد.<sup>(۸)</sup> در روش سنتی، حالات شکست و تحلیل اثرات آن از عدد اولویت ریسک برای محاسبه ریسک حالات مختلف شکست سیستم استفاده می‌شود. عدد اولویت ریسک حاصل ضرب سه ریسک فاکتور؛ احتمال وقوع، شدت پیامد و نرخ کشف است.<sup>(۹)</sup>

در عوض، روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی به‌عنوان یک روش مبانی نظری مشخصی دارد و آموزش و استفاده از آن پیچیده نیست؛ هر چند از آنجا که یک شرح خطی ساده ارائه نمی‌دهد می‌تواند بسیار زمان‌بر باشد.<sup>(۱۰)</sup> روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی به ارزیاب اجازه می‌دهد که تجزیه و تحلیل فرایند یا سیستم را به صورتی انجام دهد که شرح روشنی از کارکردها و روابط متقابل آن‌ها داشته باشد.<sup>(۱۱)</sup> این روش پتانسیل زیادی برای مدل‌سازی و تحلیل رفتار سیستم‌های پیچیده و غیرخطی دارد که این پتانسیل از شناسایی و ارزیابی حالات کارکردی و تغییرپذیری عملکرد و علی‌الخصوص تشریح تأثیر عوامل سازمانی، اجتماعی و انسانی بر

کارکردهای سیستم نشأت می‌گیرد. (۶) در تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی سیستم به کارکردهایی که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر خروجی فعالیت اثر می‌گذارند تقسیم می‌شود. (۱۲)

در هزینه‌های فزاینده مربوط به حوادث و بیماری‌های شغلی، ماشین‌آلات به‌خصوص ماشین پرس سهم بزرگی دارد. بنابراین برای پیشگیری از صرف هزینه‌های مادی و غیرمادی به‌خصوص مشکلات روانی ناشی از قطع عضو در حادثه دیدگان لازم است؛ فعالیت پرس کاری به‌عنوان عاملی مهم در شکل‌گیری این مشکلات به روشی علمی و مدون به لحاظ ایمنی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. هدف از انجام این مطالعه، تجزیه و تحلیل علمی و مدون ایمنی عملیات خطرناک پرس کاری است که متأسفانه کم‌تر مورد توجه کارشناسان و محققین حوزه ایمنی صنعتی قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی و روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن ارزیابی ریسک عملیات پرس کاری انجام پذیرفت و نتایج به‌دست آمده از دو روش مورد مقایسه قرار گرفت.

### \* مواد و روش‌ها:

مطالعه حاضر توصیفی-تحلیلی است که به روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن (Failure mode and effect analysis, FMEA) و روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی (Functional resonance analysis method, FRAM)، ایمنی پرس‌های مستقر در سالن پرس کاری یکی از کارخانجات خودروسازی تهران در سال ۱۳۹۶ را مورد بررسی قرار داد.

از روش FMEA برای شناسایی و ارزیابی مخاطره استفاده گردید. در این روش از مؤلفه‌های احتمال وقوع، شدت پیامد و میزان کشف به‌عنوان معیارهای قضاوت برای سنجش سطح ریسک استفاده شد. لازم به ذکر است در این مطالعه از روش اجرایی شناسایی و ارزیابی ریسک

مصوب محل انجام طرح برای رسیدن به سطح ریسک استفاده گردید. در مرحله اول با استفاده از روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن، فعالیت‌های اصلی سیستم و نقص‌های احتمالی آن‌ها شناسایی گردید.

برای رتبه‌بندی شدت خطر براساس نظر گروه کارشناسان ایمنی از مقیاسی ۱۰ رتبه‌ای که در آن رتبه ۱ به معنای حادثه بدون اثر سوء و رتبه ۱۰ به معنای فوت یکی از کارکنان در اثر بروز حادثه است، استفاده گردید. برای رتبه‌بندی احتمال وقوع نیز از مقیاسی ده رتبه‌ای که در آن رتبه ۱ به معنای احتمال وقوع نامحتمل و بعید (۱ در ۱۰ میلیون) و رتبه ۱۰ به معنای احتمال وقوع بسیار زیاد و خطر تقریباً اجتناب‌ناپذیر (۱ در ۱۰) است استفاده شد. برای رتبه‌بندی احتمال کشف نیز از مقیاس ده رتبه‌ای استفاده شد که در آن رتبه ۱ به معنای ردیابی و آشکار شدن خطر بالقوه با کنترل‌های موجود و رتبه ۱۰ به معنای عدم وجود کنترل و امکان کشف خطر است. در این روش اجرایی، برای ریسک‌هایی که عدد اولویت‌بندی ریسک آن بالای ۷۰ بود یا این که یکی از مؤلفه‌های ارزیابی، بالای ۵ بود به‌عنوان ریسک غیرقابل پذیرش در نظر گرفته شد.

گام بعدی تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی بود که به روش FRAM انجام گرفت. مراحل زیر برای ایجاد ساختار FRAM و تحلیل تشدید کارکردی مورد استفاده قرار گرفت:

- ۱- تعیین هدف تجزیه و تحلیل
  - ۲- شناسایی و تشریح کارکردهای سیستم
  - ۳- ارزیابی و اندازه‌گیری جداگانه تغییرپذیری بالقوه هر یک از کارکردها
  - ۴- شناسایی کارکردهای تشدیدشونده عملیات با استفاده ساختار روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی
  - ۵- شناسایی راهکارهای میراکننده اثر تشدید
- مطابق با مراحل انجام کار FRAM، بعد از شناسایی و ارزیابی ریسک و درک کارکردهای مهم، اثر تشدید کارکردها مطابق با روش FRAM شناسایی شد. همچنین

از نرم افزار نمایش گر گرافیکی مدل تحلیل تشدید کارکردی (FRAM model visualizer) برای ایجاد ساختار FRAM، نمایش گرافیکی و تحلیل تشدید کارکردی استفاده شد.

### ★ یافته ها:

یافته ها نشان داد شش گروه عمده کاری در سالن پرس مشغول به کار هستند که عبارتند از: پرس کاران، رانندگان لیفتراک، کارکنان واحد برنامه ریزی، کارشناسان واحد مهندسی پرس، کارکنان واحد تعمیر و نگهداری و بازرسان واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست. پس از انجام ارزیابی به روش حالات خطر و تحلیل اثرات آن، بیست حالت شکست بحرانی شناسایی شد که گروه های شغلی پرس کاری، تعمیر و نگهداری و رانندگی لیفتراک به ترتیب با سیزده، پنج و دو حالت شکست بحرانی بیشترین فراوانی را از این حیث داشتند. برخی از این حالات شکست در جدول ۱ آورده شده است. پس از ارزیابی به روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی در

مجموع ۱۵ کارکرد شناسایی شد. لازم به یادآوری است کارکرد به معنای فعالیتی است که برای پایداری یا فراهم شدن شرایط کارکرد دیگر مهم یا ضروری است. کارکردهای شناسایی شده عبارتند از:

- ۱- برنامه ریزی ۲- آموزش ۳- آمارگیری ۴- تعویض قالب ۵- راه اندازی لیفتراک ۶- راه اندازی ماشین پرس ۷- تخلیه ضایعات ۸- تهیه اوراق خام ۹- پرس کاری ۱۰- نگه داری دوره ای ۱۱- نقشه کشی ۱۲- تعمیر ماشین آلات ۱۳- کنترل کیفیت ۱۴- حمل و نقل ۱۵- تحویل قطعات آماده.

پس از تعیین کارکردهای عملیات پرس کاری شش متغیر تشریحی هر کدام تعریف شد. از بین این پانزده کارکرد، هفت کارکرد دارای حالت تشدید بودند. از آنجا که خروجی دو کارکرد تشدید تحویل قطعات پرس کاری شده و آمارگیری در خارج از محیط تجزیه و تحلیل یعنی سالن پرس قرار داشتند، قابل بررسی بیش تر نبودند. پنج کارکرد تشدید دیگر در جدول شماره ۲ نمایش داده شده اند.

جدول ۱- نمونه برگه کار روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن

ردیف	عملکرد/ فعالیت	نحوه شکست	مخاطره	اثرات بالقوه شکست	علل شکست	کنترل موجود	شدت	احتمال وقوع	نرخ کشف	عدد اولویت ریسک	اقدام اصلاحی
۱	حمل پالت	برخورد	برخورد با شاخک یا اجزای لیفتراک	مرگ و میر افراد	عدم توجه به جلو و عقب، نقاط کور در تقاطع ها	آموزش رانندگان لیفتراک - دستورالعمل ایمنی	۱۰	۲	۱۰	۲۰۰	نصب آینه های محدب در تقاطع ها، نصب هشداردهنده عقب
۲	حمل پالت	افتادن بار/ پالت	محکم نبودن پالت و سقوط پالت	از کار افتادگی دائم، قطع عضو، شکستگی	تخلیه پالت بیش از ظرفیت دستگاه و محکم نبودن بار	دستورالعمل ایمنی - نظارت ایمنی	۸	۳	۷	۱۶۸	نصب سیستم هشداردهنده اضافه بار و بستن بار/ پالت
۳	پرس کاری	دید ناکافی	عدم دید کافی	عوارض چشمی، از کار افتادگی، شکستگی و قطع عضو	کمبود روشنایی عمومی یا موضعی	روشنایی عمومی	۸	۷	۵	۲۸۰	نصب روشنایی موضعی بر روی ماشین پرس
۴	تعویض قالب	سقوط اقلام	سقوط اقلام روی افراد	از کار افتادگی دائم، قطع عضو	سقوط اسلاید پرس	فعال سازی اینترلاک برقی، ستون محافظ برای ماشین فاقد اینترلاک	۸	۲	۴	۶۴	رعایت دستورالعمل تعویض قالب

## جدول ۲- کارکردهای تشدیدشونده سالن پرس

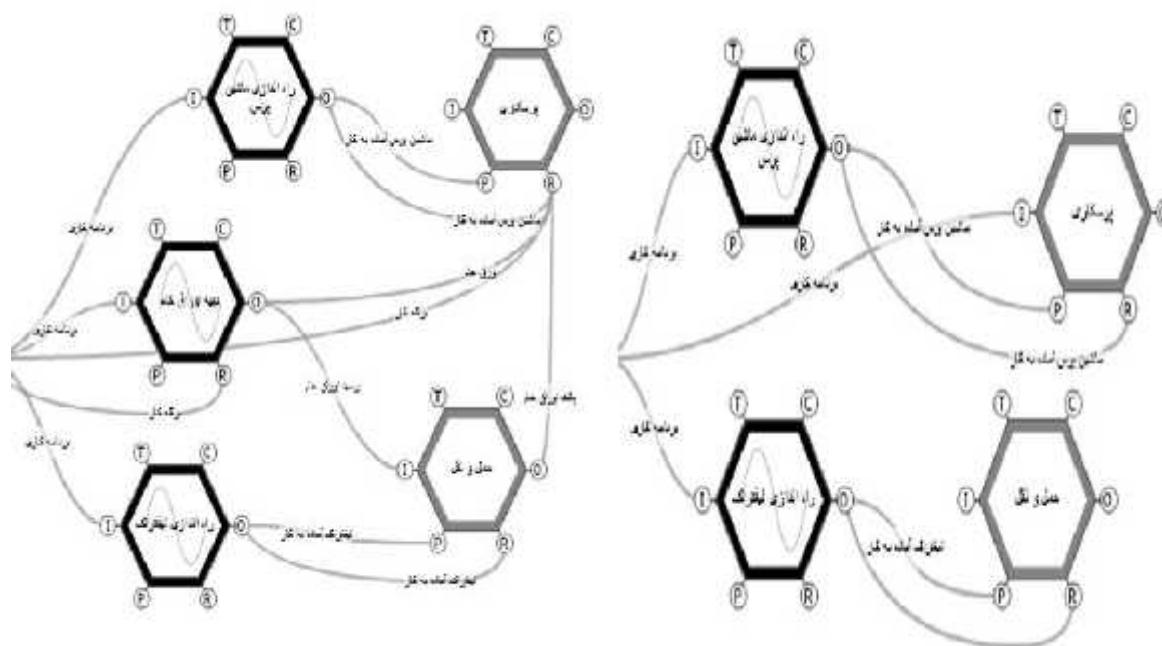
کارکرد	برنامه‌ریزی	نقشه‌کشی	راه‌اندازی ماشین پرس	راه‌اندازی لیفتراک	تهیه اوراق خام
ورودی (و)	نیاز به برنامه‌ریزی	تعداد کمی از قطعات نیاز به نقشه‌کشی دارند که براساس برگه کار مشخص می‌شوند	برگه کار	برگه کار	برنامه کاری
خروجی (خ)	برنامه کاری، برنامه آموزشی، برگه کار و برنامه تعمیر و نگهداری	نقشه قطعات	آماده شدن ماشین پرس، شناسایی اشکال ماشین یا قالب	لیفتراک آماده	برگه تحویل اوراق خام
پیش شرط (پ)	اطلاعات تولید کارخانه، اطلاعاتی درباره سطح آموزش و تجربه کارکنان و شرایط ماشین‌آلات	-	-	-	موجودی انبار مرکزی اوراق خام فلزی
منابع (م)	نیروی انسانی	نیروی انسانی و ابزار نقشه‌کشی	نیروی انسانی، ماشین پرس و انرژی برق	نیروی انسانی، لیفتراک و سوخت	نیروی انسانی واجد شرایط و برگه کار
زمان (ز)	برنامه‌ریزی در واحد پرس فعالیت مستمر است	متغیر و وابسته به نوع نقشه	زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در ابتدای هر شیفت	زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در ابتدای هر شیفت	بلافاصله پس از دریافت برگه کار در حدود نیم ساعت
کنترل (ک)	صلاحیت (آموزش و تجربه)	صلاحیت (آموزش و تجربه) افراد	صلاحیت (آموزش و تجربه) افراد، دستورالعمل ایمنی کار کیفیت راه‌اندازی	صلاحیت (آموزش و تجربه) افراد و همچنین دستورالعمل ایمنی کار	صلاحیت (آموزش و تجربه) افراد

## \*بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش برای اولین بار از روش و تحلیل تشدید کارکردی در عملیات پرس کاری استفاده شد. در بررسی ارزیابی ریسک با رویکرد حالات شکست برای فعالیت‌های پرس کاری مشخص گردید رانندگی با لیفتراک شامل دو سطح ریسک غیرقابل قبول (سقوط پالت و برخورد لیفتراک با افراد) و پرس کاری با دوازده سطح ریسک غیرقابل قبول (تماس با لبه‌های تیز، عدم دید کافی، برق گرفتگی، سقوط افراد، گیر کردن، سقوط اقالام، مواجهه با سر و صدا، خستگی و فشار بیش از حد، پرتاب اجسام، سکندری و لیز خوردن) و برای فعالیت تعمیر و نگهداری پرس نیز سقوط اجسام، برخورد اجسام، انفجار سیلندر گاز به‌عنوان سطح ریسک غیرقابل قبول شناسایی شدند. پس از بررسی جداگانه کارکردهای تشدیدشونده شش مسیر که ممکن است در آن‌ها تشدید چند کارکرد با تأثیر بر یکدیگر موجب گسترده شدن تشدید در سطح سیستم شوند شناسایی شدند. شکل ۱ نمایان‌گر دو مسیری است که بیش‌ترین احتمال گسترش

تشدید در سیستم را دارند.

گام آخر روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی هدف‌گذاری برای کاهش تغییرپذیری آن‌ها و تهیه راهنمایی برای شناسایی اقدامات مناسب می‌راکنندگی است.<sup>(۱۱)</sup> کاهش تغییرپذیری می‌تواند از راه‌های مختلفی اعمال شود، مسلماً بهترین راه کاهش در منبع تغییرپذیری است. از مجموع کارکردهای تشدیدشونده دو مورد، یعنی برنامه‌ریزی و تهیه اوراق خام مربوط به واحد برنامه‌ریزی هستند. هر دو مورد به لحاظ دقت، دقیق ولی ممکن است خروجی آن‌ها بسیار دیر در دسترس قرار گیرند. پس از بررسی‌ها مشخص شد، علت تأخیر در به دست آمدن خروجی‌ها کمبود نفرات واحد برنامه‌ریزی است. از طرفی کارکرد تهیه اوراق خام به سبب این‌که نیاز به هماهنگی با سالن انبار دارد و این هماهنگی‌ها به‌صورت سنتی (حضور و یا تلفنی) انجام می‌پذیرد زمان پایان کارکرد طولانی و باعث تشدید کارکرد می‌شود.



شکل ۱- مسیرهای بحرانی سالن پرس

برای راه‌اندازی ماشین پرس تنها ۵ دقیقه و لیفتراک ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. تعلل در شروع کار موجب از دست رفتن این زمان کوتاه و تأخیر بسیار در به دست آمدن خروجی می‌شود. برای حذف تشدید این کارکردها نیاز به تغییر جو سازمانی و آموزش به کارکنان جهت شروع به موقع وظایف لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن به‌عنوان روشی سنتی و مرسوم در بین متخصصین حوزه ایمنی به لحاظ نظری بر شناسایی و تحلیل حالات شکست تمرکز دارد. هر چند در برخی مواقع انسان نیز در معادلات مربوط به این روش نقش کم‌رنگی دارد ولی توجه اصلی این روش بر روی مسایل تکنولوژیک است و مسایل سازمانی به هیچ‌عنوان در این روش مطرح نیست. در واقعیت تبدیل حالت ریسک به واقعه می‌تواند به کاهش یا افزایش احتمال وقوع سایر ریسک‌ها منتج شود.<sup>(۴)</sup> روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن اطلاعاتی در مورد تأثیر ریسک‌ها بر یکدیگر در اختیار نمی‌گذارد. این در حالی

برای حذف تشدید در این کارکردها در وهله اول باید نسبت به افزایش کارکنان ذیصلاح در واحد برنامه‌ریزی اقدام و در مرحله بعدی برای ارتباط سیستماتیک واحدهای برنامه‌ریزی بخش‌های مختلف کارخانه تمهیداتی اندیشیده شود. در بین کارکردهای واحد مهندسی پرس کارکرد نقشه‌کشی به‌صورت موردی انجام می‌پذیرد و جزء کارکردهای روزانه و معمول این واحد به‌حساب نمی‌آید. از طرفی این واحد هم از کمبود نفرات ذیصلاح رنج می‌برد. بنابراین انجام این کارکرد بعضاً دچار تأخیر می‌شود. برای حذف تشدید این کارکرد نیز باید نسبت به استخدام نفرات جدید یا مستقل کردن واحد نقشه‌کشی و کنترل کیفیت اقدام کرد.

پس از مشاهده رفتار کارکنان در ابتدای هر شیفت برای تعیین علل تأخیر در دسترس قرار گرفتن خروجی کارکردهای راه‌اندازی ماشین پرس و لیفتراک، مشخص شد؛ گاهی اوقات افراد دیر بر سر کار حاضر می‌شوند و بخشی از زمان را از دست می‌دهند. با توجه به این‌که

چند از کمبود تفاسیر کمی رنج می‌برد.<sup>(۷)</sup> تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی به‌جای بیان احتمالات شکست با تشریح واضح کارکردهای سیستم و مطالعه تعاملات این کارکردها تحلیلی منسجم از سیستم را ارائه می‌کند.<sup>(۱۶)</sup> تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی قادر به شناسایی مخاطرات شغلی با منشأ کارکردهای سیستمی است در حالی که قادر به شناسایی مخاطرات خاص همانند روش‌های سنتی نیست.<sup>(۱۷)</sup> ترکیب روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن با روش‌های دیگر می‌تواند منجر به ظهور راه‌های جدید و مؤثری در تجزیه و تحلیل در سیستم‌های فنی - اجتماعی شود.<sup>(۱۸)</sup> کاربرد ترکیبی دو روش ارزیابی ریسک؛ روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی و روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن به سبب این که هر دو دیدگاه جزئی‌نگر (مسایل مربوط به فرایندهای فیزیکی) و کلی‌نگر (مسایل مربوط به مشکلاتی که تغییرپذیری کارکردهای مرتبط برای هم ایجاد می‌کنند) را پوشش می‌دهد و نتایج کیفی و نیمه کمی در اختیار ارزیاب قرار می‌دهد رویکردی جامع‌تر و درک روشن‌تری از سیستم وقایع و حوادث جاری آن فراهم می‌آورد.

#### \* سپاس‌گزاری:

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی صنعتی دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی شهید بهشتی است که با کُد IR.SBMU.RETECH 1396.199 در معاونت پژوهشی این دانشگاه ثبت شده است. بدینوسیله از همکاری مهندس باقرزاده و مهندس رضایی که در تکمیل این مطالعه ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

#### \* مراجع:

1. Cooper R, Foster M. Sociotechnical systems. *Am Psychol* 1971; 26(5): 467-74. doi: 10.1037/h0031539.

است که روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی روشی پویاگر است که به‌صورت غیرخطی و نه تنها با تکیه بر زنجیره علت- معلول (مبنای ارزیابی سنتی) اقدام به بررسی و آنالیز ریسک موجود در فعالیت‌های روزانه می‌کند<sup>(۱۳)</sup> در نتیجه استفاده از روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی مشخص می‌شود که تشدید فعالیت‌های مختلف با تأثیر بر یکدیگر موجب گسترش تشدید کارکردی می‌گردند که نتیجه آن بروز حادثه است.<sup>(۱۴)</sup> در روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی، سیستم‌ها به‌وسیله کارکردهایی که نقاط مشترک آن‌ها موجب نیل به اهداف سیستم می‌شود تعریف می‌شوند؛ تأثیر بین سیستم‌ها به واسطه روابط بین کارکردها بیان می‌شود برای مثال؛ بین خروجی و منابع، خروجی و کنترل، خروجی و ورودی؛ روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی چگونگی گسترش تغییرپذیری یک کارکرد بر ابعاد کارکرد دیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد.<sup>(۱۵)</sup> تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی به ارزیاب اجازه می‌دهد که تجزیه و تحلیل فرایند یا سیستم را به صورتی انجام دهد که شرح روشنی از کارکردها و روابط متقابل آن‌ها در یک رویکرد نظام‌مند به‌دست آید.<sup>(۱۱)</sup>

این روش تفسیر متفاوتی از سایر روش‌های ارزیابی ریسک ارائه می‌دهد که در آن مشخص می‌شود تغییرپذیری معمول و تشدید کارکردی چگونه می‌تواند منجر به وقوع حوادث شود. روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی با تشریح وابستگی‌های غیرخطی شرایط کار، تغییرپذیری و تشدید کارکردها به ارزیاب اجازه می‌دهد که وقایع چگونه و چه زمانی رخ می‌دهند. واقعیت مهم این است که انسان نقش اساسی در هر سیستمی دارد، روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی هم توجه به واکنش‌های بین تکنولوژی، سازمان و انسان دارد.<sup>(۷)</sup> روش تجزیه و تحلیل تشدید کارکردی براساس مهندسی تاب‌آوری شکل گرفته و شبکه کیفی خوبی برای درک شرایطی که سیستم می‌تواند به مسیر صحیح خود علی‌رغم مواجهه با ریسک‌های پیش‌بینی نشده ادامه دهد، فراهم می‌کند. هر



2. Benner L. Accident investigations: Multi linear events sequencing methods. *J Safety Res* 1975; 7(2): 67-73.
3. Hollnagel E. An application of the functional resonance analysis method (FRAM) to risk assessment of organizational change. Available at: [Strålsäkerhetsmyndigheten.se](http://Strålsäkerhetsmyndigheten.se), Updated in: 2013.
4. Hollnagel E. FRAM, the functional resonance analysis method: modelling complex socio-technical systems. 1st ed Farnham (UK): Ashgate Publishing, Ltd.; 2012. 22-3
5. Bjerga T, Aven T, Zio E. Uncertainty treatment in risk analysis of complex systems: the cases of STAMP and FRAM. *Reliab Eng Syst Safe* 2016; 156: 203-9. doi: 10.1016/j.res.2016.08.004.
6. Frost B, Mo JP. System hazard analysis of a complex socio-technical system: the functional resonance analysis method in hazard identification In *Proceeding of Australian System Safety Conference, Melbourne Australia* 2014; 28-30.
7. Toroody AB, Abaei MM, Gholamnia R. Conceptual compression discussion on a multi-linear (FTA) and systematic (FRAM) method in an offshore operation's accident modeling. *Int J Occup Saf Ergon* 2016; 22(4): 532-40. doi: 10.1080/10803548.2016.1157399.
8. Stamatis DH. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution 2nd ed. Milwaukee (WI) ASQ Quality Press; 2003. 17-18
9. Liu H-C, Liu L, Liu N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: a literature review. *Expert Syst Appl* 2013; 40(2): 828-38. doi: 10.1016/j.eswa.2012.08.010.
10. Hollnagel E, Pruchnicki S, Woltjer R, Etcher S, editors. Analysis of comair flight 5191 with the functional resonance accident model. In *8th International Symposium of the Australian Aviation Psychology Association* 2008 Apr; 8.
11. Patriarca R, Di Gravio G, Costantino F, Tronci M. The Functional Resonance Analysis Method for a systemic risk based environmental auditing in a sinter plant: a semi-quantitative approach. *Environ Impact Asses* 2017; 63: 72-86 doi: 10.1016/j.eiar.2016.12.002.
12. Albery S, Borys D, Tepe S. Advantages for risk assessment: Evaluating learnings from question sets inspired by the FRAM and the risk matrix in a manufacturing environment. *Safety Sci* 2016; 89: 180-9. doi: 10.1016/j.ssci.2016.06.005.
13. Shirali GA, Ebrahimipour 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 Occup Health* 2013; 10(6): 33-46.
14. Amorim AG, Pereira CM. Improvisation at workplace and accident causation-an exploratory study. *Procedia Manuf* 2015; 3: 1804-11. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.219
15. Woltjer R. Resilience assessment based on models of functional resonance. *Proceedings of the 3rd Symposium on Resilience Engineering*; 2008; 9.
16. Patriarca R, Di Gravio G, Costantino F. A Monte Carlo evolution of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to assess performance variability in complex systems. *Saf Sci* 2017; 91: 49-60. doi: 10.1016/j.ssci.2016.07.016.
17. Rosa LV, Haddad AN, de Carvalho PVR. Assessing risk in sustainable construction

using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM). *Cognition, Technology & Work* 2015; 17(4): 559-73.

18. Sujan MA, Felici M. Combining failure mode and functional resonance analyses in healthcare settings. *Computer Safety, Reliability, and Security* 2012: 364-75. doi: 10.1007/978-3-642-33678-2\_31.