

## Assessment of Potential Risk by the Failure Mode and Effects Analysis in an Air Conditioning Equipment Manufacturing Company

Yari S\*

### Abstract

**Background & Objective:** Failure is inevitable in the daily activities and machinery in industrial operations, the causes of which should be properly evaluated and analyzed. Failure mode and effects analysis (FMEA) is a potent and effective method for identifying and eliminating potential failure, as well as the difficulties and failures in systems, design, processes, and services. The present study aimed to assess the potential risk in an air conditioning equipment manufacturing company using the FMEA.

**Materials and Methods:** In this descriptive cross-sectional study, all activities and machinery in different units of the air conditioning equipment manufacturing company were analyzed by census evaluation and FMEA risk assessment. Cutoff point was determined at 70%, and the risks were categorized into three levels of acceptable (L), medium (M), and unacceptable (H); based on the classification of the organization and control ability. Data analysis was performed in Microsoft Excel 2010.

**Results:** Among 1,453 identified risks, 237 risks (16.3%) were in the H category with the ratio of 1/6, 473 risks (32.6%) were in the L category with the ratio of 1/3, and 743 risks (51.1%) were in the M category with the ratio of 1/2. Moreover, 44 unacceptable risks (H) (3%) were in the Likert classification developed by the researcher in accordance with the organization, which were considered acceptable in the FMEA classification. These risks could be considered the margins of control measures.

**Conclusion:** According to the FMEA classification, the ratio of H risks to the total risks is 1/10, while it was obtained at 1/6 in the present study. On the other hand, high number of the identified risks does not necessarily indicate the manufacturing units to be of high risk.

**Keywords:** FMEA; Risk Assessment; Risk

### How to cite this article:

Yari S. Assessment of Potential Risk by the Failure Mode and Effects Analysis in an Air Conditioning Equipment Manufacturing Company. J Saf Promot Inj Prev. 2017; 5(2):89-96.

1. Students Research Committee, Department and Faculty of Health, Shahid beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

\*Corresponding Author: smaedy@gmail.com

ارزیابی مخاطرات بالقوه به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها در یک شرکت تولید تجهیزات  
تهویه مطبوع

سعید یاری\*

کمیته پژوهشی دانشجویان، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

## چکیده

**سابقه و هدف:** هر فعالیت و ماشینی در عملیات صنعتی به‌طور روزانه تن به حالاتی از شکست می‌دهد که می‌بایست مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن، روشی قدرتمند و مؤثر جهت شناسایی و حذف شکست بالقوه، مشکلات و خطاها از سیستم، طراحی، فرآیند و خدمات است. هدف از این مطالعه نیز ارزیابی مخاطرات بالقوه ایمنی و بهداشت به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها در یک شرکت تولید تجهیزات تهویه مطبوع می‌باشد.

**روش بررسی:** در این مطالعه توصیفی-مقطعی کلیه فعالیت‌ها و ماشین‌آلات واحدهای مختلف یک شرکت تولیدی تجهیزات تهویه مطبوع با استفاده از سرشماری و به روش ارزیابی ریسک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. Cut of point ریسک‌ها ۷۰٪ بود و همچنین ریسک‌ها با توجه به گروه‌بندی سازمان بر اساس توانایی کنترل در سه سطح قابل قبول (L)، متوسط (M) و غیرقابل قبول (H) گروه‌بندی شدند و در نهایت داده‌ها به کمک نرم‌افزار Microsoft Excel (۲۰۱۰) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** از تعداد ۱۴۵۳ ریسک شناسایی شده ۲۳۷ ریسک (۱۶/۳٪) با نسبت ۱/۶ در اولویت H، ۴۷۳ ریسک (۳۲/۶٪) با نسبت ۱/۳ در اولویت L و ۷۴۳ ریسک (۵۱/۱٪) با نسبت ۱/۲ در اولویت M قرار گرفتند. تعداد ۴۴ ریسک غیرقابل قبول (H) (۳٪) در گروه‌بندی لیگرتی که توسط محقق با توجه به نظر سازمان تدوین شده است قرار دارد که در گروه‌بندی FMEA در گروه قابل قبول قرار دارند که می‌توان این ریسک‌ها را حاشیه اقدامات کنترلی قلمداد کرد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس گروه‌بندی FMEA نسبت ریسک‌های H به کل ریسک‌ها ۱/۱۰ می‌باشد در صورتی که این نسبت در گروه‌بندی محقق ۱/۶ است. از طرفی تعداد زیاد ریسک‌های شناسایی شده در واحدها دلیل بر پرخطر بودن آن واحد نمی‌باشد.

واژگان کلیدی: FMEA، ارزیابی ریسک، ریسک

## مقدمه

شکست بالقوه شناسایی وضعیت فیزیکی است که نشان‌دهنده قریب‌الوقوع بودن یک شکست کاربردی می‌باشد (۲). زمانی که یک شکست رخ می‌دهد لازم است که تجزیه و تحلیل شکست صورت پذیرد (۶). حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA<sup>۱</sup>) روش تجزیه و تحلیل انفرادی زیرسیستم هر سیستم با انجام شناسایی آثار حالات شکست مختلف هر قسمت به همراه علل و عواقب آن برای خود قسمت و کل سیستم می‌باشد (۱، ۷). FMEA یک رویکرد تجزیه و تحلیل استقرایی و محافظ قابلیت اطمینان سیستم است (۱) و جهت بهبود ایمنی و کیفیت در سازمان اجرا می‌شود (۸). FMEA

یک سیستم ترکیب پیچیده‌ای از اجزاء و زیر اجزاء است که رابطه فنی و منظمی در تعاملات متقابل آن‌ها اعمال می‌شود (۱). هر سیستمی در عملیات صنعتی به‌طور روزانه تن به حالاتی از شکست می‌دهد. این حالات شکست شکلی از پایان توانایی یک جزء از یک قسمت، جزء، وسیله، زیرسیستم، واحد عملکردی یا سیستمی که به‌طور انفرادی عمل می‌کند، می‌باشند (۱-۵). به‌طور مختصر دو نوع شکست شامل شکست عملکردی و شکست بالقوه وجود دارد. شکست عملکردی ناتوانی یک جزء دارای یک عملکرد استاندارد ویژه است و درعین حال

روش‌ها در متون مختلف برای غلبه بر کاستی‌ها و بهبود اثربخشی FMEA معمول را ارائه می‌کنند (۹). پس از محاسبه RPN هر شکست، مدیر می‌تواند RPN ها را از بزرگ‌تر به کوچک‌تر گروه‌بندی کند و به شکست با RPN بالاتر می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین ریسک توجه بیشتری شود (۲۲). هدف از این مطالعه ارزیابی مخاطرات بالقوه ایمنی و بهداشت به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها در یک شرکت تولید تجهیزات تهویه مطبوع می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه توصیفی-مقطعی کلیه فعالیت‌ها و ماشین‌آلات واحدهای مختلف یک شرکت تولیدی تجهیزات تهویه مطبوع با استفاده از روش سرشماری بر اساس رابطه (۱) و با توجه به

(۱)

$$S = \sum_{i=0}^N N$$

S = حجم نمونه

N = جامعه

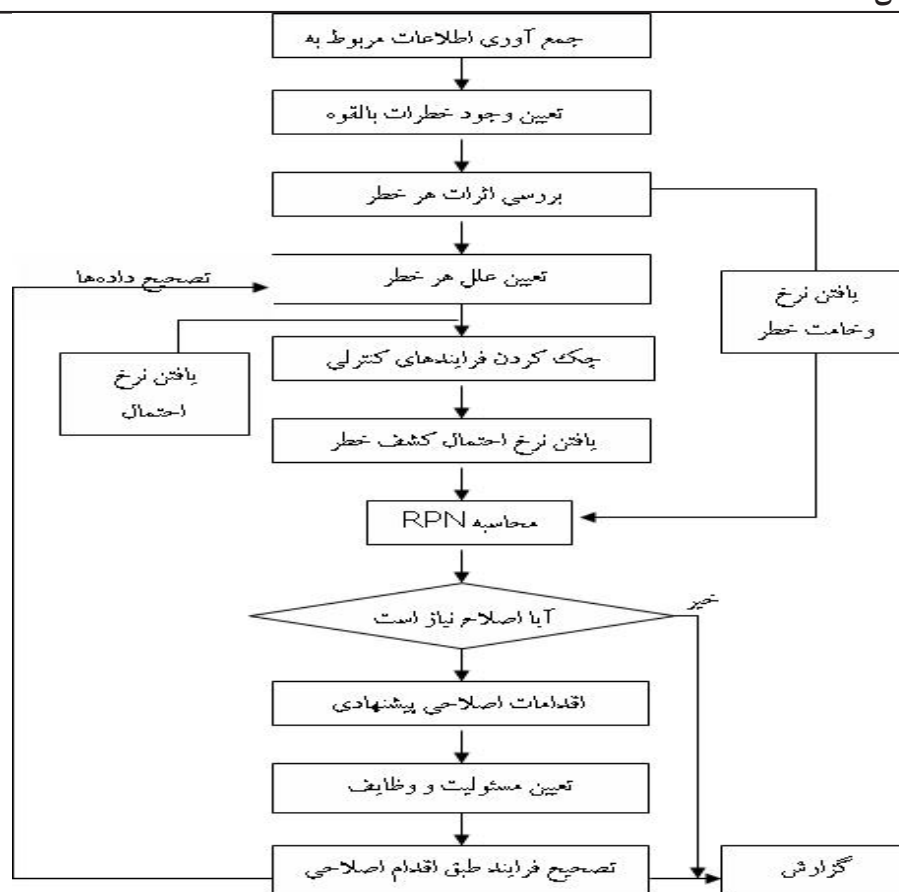
الگوریتم روش ارزیابی ریسک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن‌ها (FMEA) در شکل-۱ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای انجام این مطالعه ابتدا از کل کارخانه بازدید اولیه‌ای به عمل آمد و نحوه فعالیت‌ها و فرایندها موجود در هر واحد به‌دقت مورد بررسی قرار گرفت و تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد، انسانی و... موجود که به‌عنوان تهدیدی برای ایمنی بود و همچنین حالات هر خطر نیز تجزیه و تحلیل شد؛ و مشخص گردید که در صنعت مورد نظر تعداد ۱۸ واحد شامل واحد فن سازی و کلاف فن، کوئل سازی، جوشکاری، چیلر سازی، پرس، هوا شوی خانگی، نقاشی، هواساز، مونتاژ فن کوئل، نجاری، تراشکاری، قالب‌سازی، هوا شوی صنعتی، سند بلاست، برش پروفیل، برق، انبار ۱ و انبار ۲ وجود دارد؛ و مشخص شد که در اکثر واحدها تقریباً فعالیت‌های مشابه و زیادی وجود دارد که خطرات مربوط به هر کدام به‌صورت بالقوه می‌تواند به محیط، تجهیزات، مواد، انسان و... آسیب‌رسان باشد.

به‌منظور فراهم آوردن اطلاعات جهت تصمیم‌گیری در مدیریت ریسک اولین بار توسط سازمان ملی فضانوردی آمریکا (NASA<sup>۲</sup>) در سال ۱۹۶۰ جهت مشخص کردن الزامات قابلیت اعتماد پیشنهاد شد (۹). FMEA به‌طور وسیعی به‌عنوان ابزار ارزیابی ریسک برای تعیین، شناسایی و محدود کردن مشکلات یا شکست‌های بالقوه در تولیدات، فرآیندها، طراحی‌ها و خدمات استفاده شده است (۱۰-۱۳)؛ و به‌عنوان یک ابزار تجزیه و تحلیل ایمنی و قابلیت اطمینان در صنایع مختلفی به‌ویژه هوافضا، خودروسازی، هسته‌ای و بهداشت و درمان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۴-۱۷). پیاده‌سازی یک FMEA موفقیت‌آمیز به تیم تولید برای شناسایی حالات بالقوه شکست بر اساس تجربه گذشته خود با فرایندها یا تولیدات مشابه کمک می‌کند؛ بنابراین روش مذکور تیم تولید را قادر می‌سازد تا شکست‌های سیستم را با حداقل تلاش و هزینه کاهش داده یا از بین ببرد (۱۳). به‌تازگی تعدادی از FMEA های ارتقاء یافته با استفاده از مدل‌های محاسبات نرم‌افزاری ارائه شده است (۱۸). FMEA به‌طور گسترده‌ای توسط متخصصان، مورد استفاده قرار گرفته و به روشی استاندارد در صنایع آمریکا، اروپا و ژاپن تبدیل شده است (۱۷). گیار دینا و مورال از FMECA<sup>۳</sup> به‌عنوان یک ابزار برای توسعه معیار ویژه برای قابلیت اعتماد و مدیریت اطلاعات ریسک استفاده کرد (۱۹). کینگ لیان در مطالعه‌ای مشخص می‌کند که FMEA روش مناسبی برای حل مشکلات احتمالی در تحقیقات ارزیابی قابلیت اطمینان است (۲۰). در مطالعه‌ای که کولی انجام داد روش FMEA اهمیت فعالیت‌های تعمیر و نگهداری را برای تشخیص زودهنگام برخی از حالات شکست پنهان نشان داد و بیان می‌کند که FMEA در صورتی قادر به کاهش مشکلات سیستم است که به‌سرعت مورد استفاده قرار گیرد (۱). ماسینی در مطالعه خود FMEA را یک ابزار ساده و عملی جهت تجزیه و تحلیل سیستماتیک ریسک در پرتودرمانی معرفی می‌کند (۲۱). یانگ در مطالعه‌ای FMEA را یک فعالیت تیمی با ارزش می‌داند که می‌تواند در ایجاد یا بازسازی یک برنامه تضمین کیفیت باهدف بهبود ایمنی، کیفیت و بهره‌وری کمک‌کننده باشد (۶). به‌طور کلی حساسیت یا ارزیابی ریسک در FMEA به‌واسطه‌ی عدد اولویت ریسک (RPN<sup>۴</sup>) از هر حالت شکست که از ضرب نمرات فاکتورهای ریسک شامل احتمال وقوع، شدت و احتمال کشف به دست می‌آید (۹). در گذشته روش عدد اولویت ریسک مرسوم نقص‌های زیادی را نقد و اختلافات مدل اولویت ریسک را در متون جهت ارتقاء عملکرد FMEA پیشنهاد می‌کرد (۱۱). با این حال در واقع در بسیاری از موارد روش RPN مرسوم برخی نقاط ضعف مهمی را در مورد منطقی رویکرد نشان می‌دهد؛ بنابراین طیف گسترده‌ای از

۲. National Aeronautics and Space Administration

۳. Failure mode, effects and criticality analysis

۴. Risk Priority Number



شکل ۱. الگوریتم روش ارزیابی ریسک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن‌ها (FMEA)

که دارای حداقل یک فاکتور ۱۰ بودند اقدام اصلاحی در نظر گرفته شد. همچنین عدد اولویت ریسک به دست آمده بر اساس جدول ۱- در سه گروه قابل قبول (L)، متوسط (M) و غیرقابل قبول یا بحرانی (H) قرار می‌گیرد. این اولویت بندی بر اساس قوانین و مقررات سازمان و میزان توانایی آن در تأمین هزینه‌های مورد نیاز مطالعه تعیین شده است. همچنین در این مطالعه ریسک‌های با شدت پیامد زیاد و احتمال وقوع کم که در گروه L یا M قرار گرفته بودند نیز به صورت ویژه بررسی شدند.

پس از مشخص شدن اطلاعاتی همچون نام واحد، نام قسمت، فعالیت یا تجهیزات، اثرات و علل هر خطر تعیین گردید. نرخ وخامت (Severity) و نرخ احتمال (Occurrence) هر خطر نیز بر اساس شاخص‌های کمی که برحسب مقیاس ۱ تا ۱۰ تعیین گردید (۲۳). احتمال کشف (Detection) نیز توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است که با بررسی فرایندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار برحسب مقیاسی بین ۱ تا ۱۰ تعیین گردید و در نهایت با توجه به رابطه (۲) عدد اولویت ریسک (RPN) به کمک این سه فاکتور تعیین شد (۱، ۶، ۸-۱۳، ۱۷، ۲۰، ۲۴، ۲۵).

$$S \times O \times D = RPN \quad \text{رابطه (۲)}$$

عدد ریسک عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ بود که بر اساس نظر سیستم سطح اطمینان ۷۰٪ در نظر گرفته شد (۲۳)؛ بنابراین با توجه به رابطه زیر داریم:

$$1000 \times 70\% = 700 \rightarrow 1000 - 700 = 300$$

پس خطراتی که RPN بالای ۳۰۰ داشتند و همچنین برای خطراتی

جدول ۱. گروه بندی عدد اولویت ریسک (RPN)

تعریف	محدوده RPN	طبقه بندی ریسک
ریسک‌هایی که وجود آن‌ها مجاز تلقی شده و وجود کنترل‌های جاری اطمینان لازم را جهت جلوگیری از وقوع حوادث و بیماری‌ها می‌دهد.	$RPN \geq 1/3 \geq 333$	قابل قبول
ریسک‌هایی که تحت کنترل بوده ولی نیازمند تجدیدنظر هستند و می‌توان در آینده آن‌ها را بهبود داد و به سطح قابل قبول رساند ولی در حال حاضر اولویت ندارند- اقدامات ایمنی باید مورد بررسی قرار گیرد.	$RPN \geq 3/6 \geq 333/666$	متوسط
ریسک‌هایی که بایستی به‌طور کامل حذف‌شده یا سطح آن‌ها کاهش یابد، کنترل‌های جاری کافی نبوده، نیاز به اختصاص منابع کافی برای کاهش ریسک بوده و اقدامات ایمنی ضروری است.	$RPN \geq 6 \geq 666/1000$	غیر قابل قبول (بحرانی)

ایمنی ارائه شد. با توجه به جدول ۲- که نمونه‌ای از کاربرد تکمیل شده به روش FMEA می‌باشد، کارخانه مورد نظر ارزیابی ریسک شد. با توجه به این کاربرد، نرخ وخامت خطر بر اساس اثرات شکست، نرخ احتمال وقوع بر اساس علل یا مکانیسم بالقوه شکست و نرخ احتمال کشف نیز بر اساس کنترل‌های موجود در فرآیند برآورد گردید.

داده‌ها پس از گردآوری وارد نرم‌افزار Microsoft Office Excel ۲۰۱۰ شده و سپس با استفاده از روش آمار توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند؛ و در نهایت اقدامات کنترلی نیز بر اساس حذف علل ریشه‌ای خطر، کاهش وخامت اثر خطا، افزایش احتمال کشف خطر در فرایند و افزایش رضایت کاری کارکنان از وضعیت

جدول ۲. نمونه کاربرد تکمیل شده FMEA

نتایج اقدامات	RPN	D	O	S	عدد اولویت ریسک (RPN)	نرخ احتمال کشف خطر (D)	کنترل‌های موجود در فرآیند پیشگیری کشف	نرخ احتمال وقوع (O)	علل / مکانیسم بالقوه شکست	نرخ وقوع (S)	اثرات شکست	حالات بالقوه شکست	عملکرد
- نصب حفاظ فتوالکتریک - آموزش افراد رعایت پاکیزگی در کارگاه - بازرسی منظم و دوره‌ای	۵۴	۳	۳	۶	۲۹۴	۷	- اتاقت برای دستگاه - بازرسی ناکافی - آسیب دیدگی اتاقت باز بودن درب اتاقت	۶	- باز بودن درب اتاقت اکسپندر - کار کردن افراد بدون صلاحیت با دستگاه - بازرسی ناکافی - جانمایی نامناسب تجهیزات	۷	- برخورد با تجهیزات - برخورد با افراد	چرخش و حرکت بازویی دستگاه و انتقال لوله‌های مسی و کوئل‌ها	اکسپندر خودکار

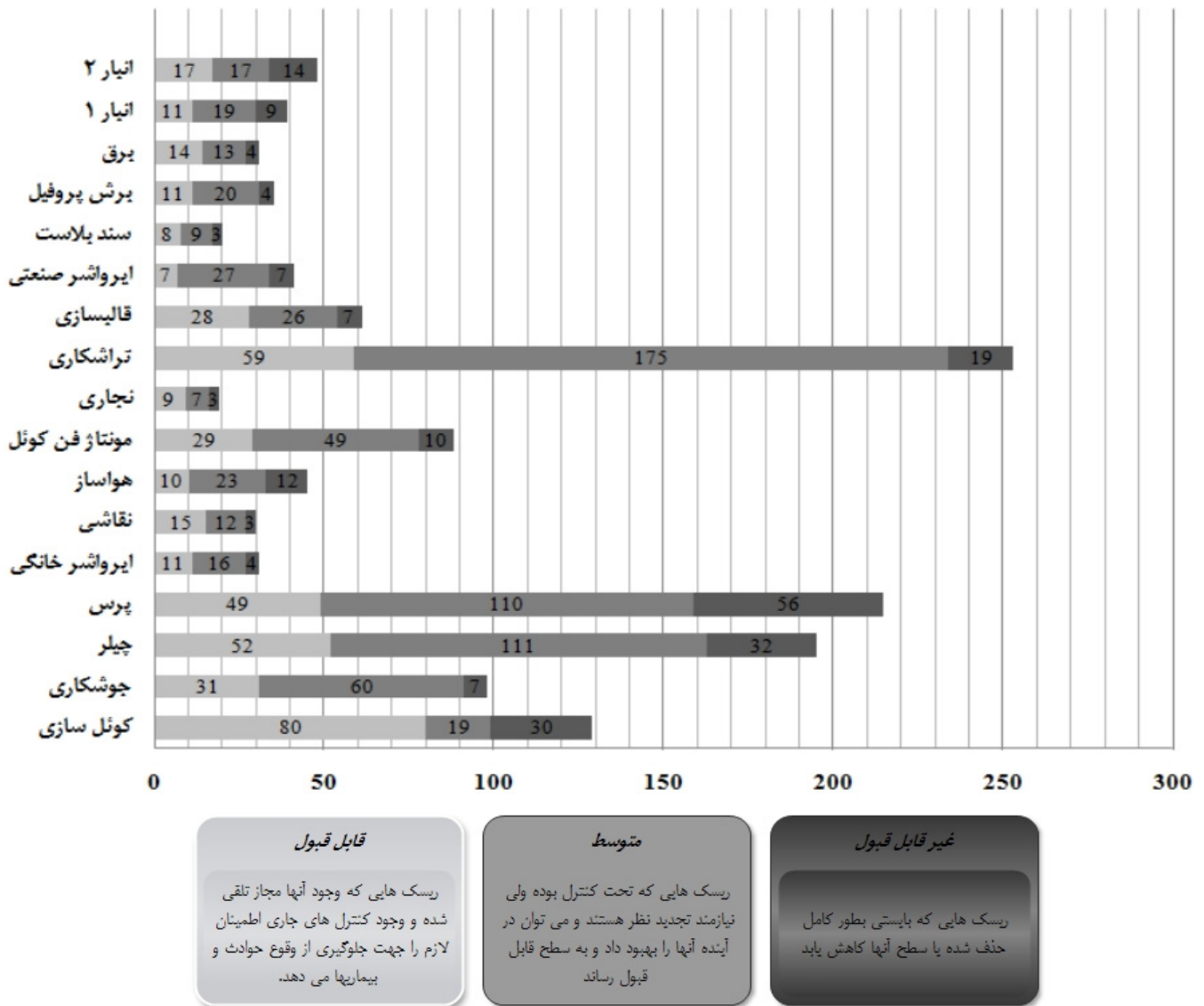
(۴/۲٪)، انبار شماره دو ۴۸ (۳/۳٪)، هواساز ۴۵ (۳/۱٪)، هوا شوی صنعتی ۴۱ (۲/۸٪)، انبار یک ۳۹ (۲/۷٪)، برش پروفیل ۳۵ (۲/۴٪)، هوا شوی خانگی ۳۱ (۲/۱٪)، برق ۳۱ (۲/۱٪)، نقاشی ۳۰ (۲٪)، سند بلاست ۲۰ (۱/۴٪) و نجاری ۱۹ (۱/۳٪) می‌باشد؛ بنابراین بیشترین ریسک را واحد تراشکاری و کمترین آن را واحد نجاری دارا بود. در نمودار مذکور همچنین فراوانی ریسک‌های قابل قبول، غیر قابل قبول و متوسط نیز برحسب تعداد نشان داده شده است و از این نظر بیشترین ریسک‌های غیر قابل قبول (H) را واحد پرس (۵۶)

یافته‌ها

با ارزیابی ریسک انجام شده تعداد ۱۴۵۳ ریسک در صنعت مورد نظر یافت شد که جزئیات آن در نمودار ۱- نشان داده شده و با توجه به آن فراوانی ریسک‌ها به ترتیب (بدون در نظر گرفتن سطح ریسک) در واحد تراشکاری ۲۵۳ (۱۷/۴٪)، پرس ۲۱۵ (۱۴/۸٪)، چیلر ۱۹۵ (۱۳/۴٪)، کوئل سازی ۱۲۹ (۸/۹٪)، جوشکاری ۹۸ (۶/۷٪)، مونتاژ فن کوئل ۸۸ (۶٪)، فن سازی و کلاف فن ۷۵ (۵/۲٪)، قالب سازی ۶۱

نجاری و نقاشی (۳ ریسک) و ریسک‌های متوسط (M) را واحد نجاری (۷ ریسک) و ریسک‌های قابل قبول (L) را واحد هوا شوی صنعتی (۷ ریسک) دارا بود.

ریسک، ریسک‌های متوسط (M) را واحد تراشکاری (۱۷۵ ریسک) و ریسک‌های قابل قبول (L) را واحد کوئل سازی (۸۰ ریسک) دارا بود و کمترین ریسک‌های غیر قابل قبول (H) را واحدهای سند بلاست،



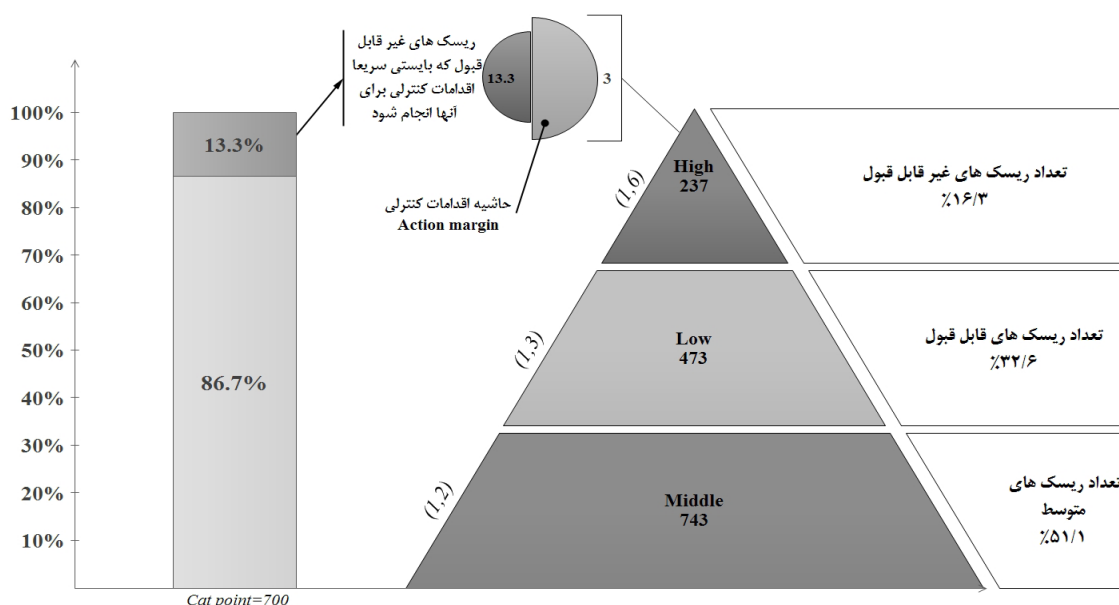
نمودار ۲. فراوانی ریسک‌های شناسایی شده در واحدهای مختلف

همچنین فراوانی ریسک‌های مذکور با توجه به  $Cat\ point = 700$  که بر اساس فرمول روش FMEA و توانایی سازمان کنترل نمودن ریسک‌ها می‌باشد تعداد ۱۹۳ ریسک (۱۳/۳٪) در گروه غیر قابل قبول دارند و تعداد ۱۲۶۰ ریسک (۸۶/۷٪) در گروه قابل قبول قرار گرفتند و با دقت در شکل زیر مشخص می‌شود که تعداد ۴۴ ریسک غیر قابل قبول (۳٪) در گروه بندی لیکرتی که توسط محقق با توجه به نظر سازمان تدوین شده است قرار دارد که در گروه بندی FMEA در گروه قابل قبول قرار دارند که می‌توان این ریسک‌ها را حاشیه اقدامات کنترلی (Action Margin) قلمداد کرد و آن را چنین تعریف کرد

میزان فراوانی ریسک‌های شناسایی شده در اولویت‌های مختلف در شکل ۲- برحسب تعداد نشان داده شده است که با توجه هرم ریسک از ۱۴۵۳ ریسک شناسایی شده ۲۳۷ ریسک (۱۶/۳٪) با نسبت در ۱/۶ اولویت H قرار داشتند یعنی به ازای هر ۶ ریسک شناسایی شده یک ریسک در گروه H قرار می‌گیرد، تعداد ۴۷۳ ریسک (۳۲/۶٪) با نسبت ۱/۳ در اولویت L قرار گرفتند یعنی به ازای هر ۳ ریسک شناسایی شده یک ریسک در گروه قابل قبول قرار می‌گیرد و تعداد ۷۴۳ ریسک (۵۱/۱٪) با نسبت ۱/۲ در اولویت M قرار داشتند یعنی به ازای هر ۲ ریسک یک ریسک در گروه متوسط قرار می‌گرفت.

این ریسک‌ها دارای نرخ وخامت خطر حداکثر در گروه L و تعداد ۱۰ ریسک دیگر دارای نرخ احتمال وقوع حداکثر در گروه M قرار می‌گرفتند. از طرفی تعداد ۶۲۲ ریسک (۴۲/۸٪) از ریسک‌ها دارای کنترل (بدون در نظر گرفتن نرخ احتمال کشف خطر) و تعداد ۸۳۱ ریسک (۵۷/۲٪) بدون اقدامات کنترلی بودند. به‌طور میانگین عدد نرخ وخامت خطر ۶/۷۲، نرخ احتمال وقوع خطر ۷/۱۷ و نرخ احتمال کشف خطر ۸/۹۶ بود بنابراین نرخ احتمال کشف خطر بیشترین تأثیر را بر عدد اولویت ریسک (RPN) دارا بود.

که سازمان این ریسک‌ها را می‌تواند در حاشیه کنترل ریسک‌ها قرار دهد؛ یعنی می‌تواند به‌دلخواه آن‌ها را کنترل کند. در واقع این حاشیه فاصله بین حد پایین گروه H در گروه‌بندی محقق (۶۶۶/۶) و Cat point برآورد شده توسط روش FMEA (۷۰۰) می‌باشد. به‌طور کلی ۱۳ ریسک (۰/۸۹٪) دارای نرخ احتمال وقوع یا نرخ وخامت خطر حداکثر (۱۰) می‌باشند که در حالت معمول در گروه غیرقابل قبول (با توجه به گروه‌بندی FMEA) قرار نمی‌گرفتند اما با توجه به‌قاعده در گروه ریسک‌های غیرقابل قبول لحاظ گردیدند. تعداد ۳ ریسک از



شکل ۳. فراوانی ریسک‌های شناسایی‌شده در گروه‌های مختلف

اثر بخشی این روش را با مثال‌هایی عددی اثبات کرد (۱۷). هزبوالاه نیز در مطالعه‌ای روش تجزیه و تحلیل اثرات حالات شکست و وضعیت بحرانی (FMECA) را روشی مناسب برای گروه‌بندی و اولویت‌بندی شکست‌های سیستماتیک و در نتیجه کمک به تیم مهندسی جهت انجام پروژه بهبود بر اساس مشکل واقعی می‌داند (۲). پس با توجه به مطالعات گذشته نیز می‌توان نتیجه گرفت که گروه‌بندی ریسک‌ها با توجه به دستورالعمل روش FMEA<sup>۵</sup> صحیح می‌باشد و از طرفی گروه‌بندی بر اساس قوانین و مقررات سازمان<sup>۶</sup> ارزیابی‌شونده و میزان توانایی آن در تأمین هزینه‌های مورد نیاز نیز گروه‌بندی کاربردی و صحیحی است؛ بنابراین اختلاف این دو نوع گروه‌بندی که پیشتر Action margin نام گرفت می‌تواند سه حالت را به وجود آورد.

- اگر System Method > FMEA Method نشان‌دهنده توانایی بیشتر از ۳۰٪ سازمان در راستای حذف ریسک‌های اولویت‌بندی شده می‌باشد.

۵. FMEA Method  
۶. System Method

## بحث

با انجام این مطالعه که در یک صنعت تولید تجهیزات تهویه مطبوع انجام شد، مشخص شد که بر اساس گروه‌بندی FMEA نسبت ریسک‌های H به کل ریسک‌ها ۱/۱۰ می‌باشد در صورتی که این نسبت در گروه‌بندی محقق ۱/۶ است. اختلاف بین این دو نوع گروه‌بندی را می‌توان حاشیه اقدامات کنترلی (Action Margin) قلمداد کرد از طرفی لیبو روش FMEA را یک روش به رسمیت شناخته‌شده خوب و یک تکنیک مهندسی استاندارد جهت شناسایی، رتبه‌بندی و کاهش شکست‌های بالقوه در محصولات و فرآیندها معرفی می‌کند (۱۰). لیبو در مطالعه‌ای دیگر مسیریایی را برای تحقیقات آینده جهت رفع بیشتر نقص‌های شناخته‌شده مرتبط با FMEA سنتی را بیان می‌کند (۱۱). همچنین لیبو از روش FMEA به‌عنوان یک ابزار مهم تجزیه و تحلیل ایمنی و قابلیت اطمینان یاد می‌کند (۱۲، ۲۴). همچنین ژیاو در مطالعه‌ای باهدف تجزیه و تحلیل حالات شکست مضاعف و ارزیابی عدد اولویت ریسک وزن یافته در روش FMEA،

این که واحد تراشکاری از نظر تعداد ریسک‌ها بیشترین مقدار ریسک را دارد از نظر تعداد ریسک‌های H در رده چهارم قرار دارد.

### نتیجه‌گیری

هر چه قدر توانایی سازمان در حذف ریسک‌ها بیشتر باشد در مراحل بعدی ارزیابی ریسک، ریسک‌های با RPN پایین‌تر در اولویت خواهند بود و وضعیت ایمنی سازمان بهبود سریع‌تری خواهد داشت، در نتیجه وضعیت مطلوب‌تر و حوادث کمتر خواهد شد. از طرفی تعداد زیاد ریسک‌های شناسایی‌شده در واحدها دلیل بر پرخطر بودن آن واحد نمی‌باشد.

با این وجود پیشنهاد می‌شود که در این راستا تحقیقات بیشتر و عمیق‌تری صورت پذیرد.

### تشکر و قدردانی

تیم تحقیق نهایت تشکر را از مدیریت شرکت تهویه و تمامی پرسنل مستقر در واحد بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست دارد. همچنین تشکر و قدردانی ویژه‌ای می‌شود از آقای حسین قهری کارشناس ایمنی مستقر در این شرکت.

### References

1. Colli A. Failure mode and effect analysis for photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;50:804-9.
2. Hasbullah NH, Ahmad R. Failure analysis of tyre production process using FMECA method. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*. 2015.
3. Yari S. Inherent safety design in compose of urban gas station. *Safety Promotion and Injury Prevention*. 2015;3(2):135-40.
4. Normohammadi M, Kakooei H, Omid L, Yari S, Alimi R. Risk Assessment of Exposure to Silica Dusts in Building Demolition Sites. *Safety and Health at Work*. 2016. 30; 7(3):251-5.[Pub Med]
5. Yari S, Fallah AA, Varmazyar S. Assessment of Semi-Quantitative Health Risks of Exposure to Harmful Chemical Agents in the Context of Carcinogenesis in the Latex Glove Manufacturing Industry. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP*. 2015;17(S3); 205-11.[Pub Med]

- اگر  $\text{System Method} < \text{FMEA Method}$  نشان‌دهنده توانایی کمتر از ۳۰٪ سازمان در راستای حذف ریسک‌های اولویت‌بندی شده می‌باشد.

- اگر  $\text{System Method} = \text{FMEA Method}$  نشان‌دهنده توانایی ۳۰٪ سازمان در راستای حذف ریسک‌های اولویت‌بندی شده می‌باشد. در این حالت  $\text{Action Margin}$  صفر است.

بزدادگ در مطالعه‌ای معتقد است که تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها به‌طور کلی نیازمند مقابله با عدم قطعیت قابل توجهی در ارتباط با فرایند ارزیابی ریسک در یک گروه از کارشناسان است (۸). جیانگ در مطالعه‌ای از روش FMEA جهت تجزیه و تحلیل حالات شکست در آزمایشگاه شیمی بالینی استفاده کرد (۲۶). تعداد ریسک‌های زیاد در واحدهای تراشکاری، پرس، چیلر سازی و کوئل‌سازی به علت وسعت زیاد واحد نسبت به دیگر واحدها، فعالیت‌های زیاد انجام‌شده در واحدها، کار با دستگاه‌ها و تجهیزات پرمخاطره و وجود تعداد کارگرهای بیشتر نسبت به سایر واحدها می‌باشد بنابراین تعداد زیاد ریسک‌های شناسایی‌شده در واحدها دلیل بر پرخطر بودن آن واحد نمی‌باشد به‌طور مثال با توجه به

6. Younge KC, Wang Y, Thompson J, Giovinazzo J, Finlay M, Sankrecha R. Practical Implementation of Failure Mode and Effects Analysis for Safety and Efficiency in Stereotactic Radiosurgery. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. 2015;91(5):1003-8.[Pub Med]
7. Shafiee M, Dinmohammadi F. An FMEA-based risk assessment approach for wind turbine systems: a comparative study of onshore and offshore. *Energies*. 2014;7(2):619-42.
8. Bozdog E, Asan U, Soyer A, Serdarasan S. Risk prioritization in Failure Mode and Effects Analysis using interval type-2 fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*. 2015;42(8):4000-15.
9. Liu HC, You JX, You XY, Shan MM. A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method. *Applied Soft Computing*. 2015;28:579-88.
10. Liu HC, You JX, Fan XJ, Lin QL. Failure mode and



- effects analysis using D numbers and grey relational projection method. *Expert Systems with Applications*. 2014;41(10):4670-9.
11. Liu HC, Liu L, Liu N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*. 2013;40(2):828-38.
12. Liu HC, Liu L, Bian QH, Lin QL, Dong N, Xu PC. Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications*. 2011;38(4):4403-15.
13. Jong CH, Tay KM, Lim CP. Application of the fuzzy failure mode and effect analysis methodology to edible bird nest processing. *Computers and electronics in agriculture*. 2013;96:90-108.
14. Song W, Ming X, Wu Z, Zhu B. A rough TOPSIS approach for failure mode and effects analysis in uncertain environments. *Quality and Reliability Engineering International*. 2014;30(4):473-86.
15. Liu HC, Fan XJ, Li P, Chen YZ. Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2014;34:168-77.
16. Su X, Deng Y, Mahadevan S, Bao Q. An improved method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft engine rotor blades. *Engineering Failure Analysis*. 2012;26:164-74.
17. Xiao N, Huang HZ, Li Y, He L, Jin T. Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis*. 2011;18(4):1162-70.
18. Liu J, Martinez L, Wang H, Rodriguez RM, Novozhilov V. Computing with words in risk assessment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 2010;3(4):396-419.
19. Giardina M, Morale M. Safety study of an LNG regasification plant using an FMECA and HAZOP integrated methodology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015;35:35-45.
20. Lin QL, Wang DJ, Lin WG, Liu HC. Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory. *Safety science*. 2014;62:248-56.
21. Masini L, Donis L, Loi G, Mones E, Molina E, Bolchini C, et al. Application of failure mode and effects analysis to intracranial stereotactic radiation surgery by linear accelerator. *Practical radiation oncology*. 2014;4(6):392-7. [Pub Med]
22. Chen PS, Wu MT. A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: A case study. *Computers & Industrial Engineering*. 2013;66(4):634-42.
23. Jafari MJ, Gharari NA, Sheikhi HR. The reliability of a tunnel boring machine. *International journal of occupational hygiene*. 2009;1(1):20-5.
24. Liu HC, Liu L, Liu N, Mao LX. Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 2012;39(17):12926-34.
25. Liao CJ, Ho CC. Risk management for outsourcing biomedical waste disposal—Using the failure mode and effects analysis. *Waste management*. 2014;34(7):1324-9. [Pub Med]
26. Jiang Y, Jiang H, Ding S, Liu Q. Application of failure mode and effects analysis in a clinical chemistry laboratory. *Clinica Chimica Acta*. 2015;448:80-5. [Pub MED]