

## ارزیابی ریسک واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی (عج) بندرعباس

### به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن

### در فرآیند تولید محصول (PFMEA)

سحر رضایان<sup>\*۱</sup>

[rezaian\\_s@yahoo.com](mailto:rezaian_s@yahoo.com)

سیدعلی جوزی<sup>۲</sup>

ساناز محمودی<sup>۳</sup>

نسرین مرادی مجد<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۰

#### چکیده

**زمینه و هدف:** در این مقاله شناسایی و تجزیه تحلیل ریسک در واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی بندرعباس به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در فرآیند تولید محصول به انجام رسید.

**روش بررسی:** پس از بررسی پیشینه و مروری بر ادبیات تحقیق جهت بررسی ریسک‌های محیط‌زیستی ناشی از این کارخانه، مصاحبه‌هایی با کارکنان کارخانه صورت گرفت و فهرستی از عوامل احتمالی مولد ریسک پس از تکمیل کاربرگ‌ها و بررسی مستندات سامانه مدیریت یکپارچه کارخانه موسوم به IMS مشخص گردید. با تکمیل پرسشنامه‌های بسته از ۵۰ پرسنل شاغل در محیط مهم‌ترین منابع مولد ریسک در واحد تحت بررسی تعیین شد. پس از شناسایی فعالیت‌ها و فرآیندهای مختلف کارخانه، عوامل بالقوه آسیب‌رسان شناسایی و باتوجه به احتمال وقوع و شدت اثر آن‌ها بر انسان، تجهیزات و سرمایه طبقه‌بندی شدند.

**یافته‌ها:** از مقایسه اعداد اولویت ریسک محاسبه شده در واحد تحت مطالعه کارخانه نتیجه شد که اولویت ریسک در فعالیت‌های عایق الکتریکی با نمره ۱۶۲ در رتبه اول و پس از آن فعالیت‌های بازکردن بیرینگ چرخ‌ها، بالابرهای مکانیکی، جرثقیل پنج تن و سیستم Earthing با نمرات ۱۴۴، ۱۴۰، ۱۴۰ و ۱۰۸ در رتبه‌های دوم تا پنجم قرار دارند. همچنین فعالیت‌های ریسک مربوط به ستون‌اندگیر و آچار با امتیاز ۱۴ کمترین عدد اولویت ریسک را دارا هستند.

**نتیجه‌گیری:** در نهایت نتایج این مطالعه نشان داد شرایط نسبتاً ایمن در واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی برقرار می‌باشد. **واژه‌های کلیدی:** واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم، ارزیابی ریسک، تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن، عدد اولویت ریسک.

۱- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، شاهرود، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

۲- استاد گروه محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، بندرعباس، ایران.

۴- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

## **Risk Assessment In Production and Revitalization Unit of Al-Mahdi Aluminum Factory in Bandar Abbas Using Process Failure Mode & Effect Analysis Method (PFMEA)**

**Sahar Rezaian** <sup>1\*</sup>

[rezaian\\_s@yahoo.com](mailto:rezaian_s@yahoo.com)

**S.Ali Jozi** <sup>2</sup>

**Sanaz Mahmmodi** <sup>3</sup>

**Nasrin Moradi Majd** <sup>4</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** In this paper, identification and risk analysis in the production and revitalization unit of Al-Mahdi aluminum factory Bandar Abbas has been accomplished by analyzing the failure modes and its effects on the production process of the product.

**Method:** After reviewing the background and reviewing the research literature for environmental risk assessment, the factory interviews were conducted with the factory staff and a list of possible risk factors was identified after completing the worksheets and examining the documentation of the integrated plant management system called IMS. By completing closed questionnaires, 50 employees in the field were identified as the most important risk-generating resources in the unit under study. After identification of various plant activities and processes, potential sources of damage were identified and classified according to the probability of occurrence and severity of their effects on human, equipment and energy.

**Results:** Comparison of the number of risk priority numbers calculated in the unit under study of the factory concluded that the priority of risk in electrical insulating activities with score of 162 in the first and then wheelbase opening activities, mechanical lifters, five tons cranes and Earthing system with scores 144, 140, 140 and 108 are second to fifth steps. Also, the risks associated with the endginner and wrench column are rated at 14 with the lowest risk perceptibility.

**Conclusion:** the results of this study showed that relatively safe conditions are in the production and revitalization unit of the Al -Mahdi aluminum factory.

**Keywords:** Production and Revitalization Unit of Aluminum Factory, Risk Evaluation, Failure Mode & Effect Analysis, Risk Priority Number.

---

1- Associate Professor Department of Environment, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran.\* ( *Corresponding Author*)

2- Professor Department of Environment, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

3- MSc Graduated of Environmental Management, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch, Bandar Abbas, Iran.

4- PhD student of Agricultural Meteorology, Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

## زمینه و هدف

با پیشرفت فناوری و افزایش کاربرد ماشین‌آلات، روند تولید ریسک و احتمال بروز حوادث در محیط‌های صنعتی فزونی یافته است (۱). در گذشته پس از وقوع حوادث و بروز خسارات جبران‌ناپذیر اقدام به بررسی علل حوادث می‌شد و نقایص یک سیستم یا فرآیند تعیین می‌گردید اما امروزه به دلیل وجود انواع مختلف روش‌های ارزیابی ریسک، قبل از وقوع نیز می‌توان نقاط حادثه‌زا و بحرانی را مشخص کرد و نسبت به پیشگیری از وقوع حوادث و کنترل آن‌ها اقدام نمود (۲). ارزیابی ریسک یک روش سازمان‌یافته و سیستماتیک برای شناسایی خطرات و برآورد ریسک برای رتبه‌بندی تصمیمات، جهت کاهش ریسک به یک سطح قابل قبول است (۳). ارزیابی ریسک دارای متدهای مختلف با طیفی از روش‌های کیفی تا کمی قابل انجام است. در روند ارزیابی ریسک به سوی کمی کردن آن نتایج بهتری بدست می‌آید. با ارزیابی به روش‌های کمی می‌توان کانون‌ها و ریسک فاکتورهای موجود را شناسایی نمود و با اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و کنترلی نسبت به حذف یا کنترل آن‌ها اقدام کرد (۲). مدیریت ریسک موثر شامل چهار فرآیند شناسایی، ارزیابی، پاسخ و بررسی و نظارت بر ریسک می‌باشد. هدف از این فرآیندها به حداقل رساندن اثرات ریسک‌ها روی اهداف پروژه با حذف یا تسهیم آن‌ها است (۴). در این مقاله شناسایی و تجزیه تحلیل ریسک در واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی بندرعباس به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در فرآیند تولید محصول جهت حفظ سلامتی شاغلین و پیمانکاران در این کارخانه به انجام رسیده است. این روش به‌عنوان یک روش نظام‌مند دارای کاربردهای بسیاری می‌باشد. شاید تاکنون به دلیل الزام استفاده از این روش در استانداردهای مدیریت کیفیت صنایع خودروسازی، از جمله QS 9000، VDA 6.1 و ISO/TS 16949 استفاده از این شیوه بیشتر در این حوزه رایج بوده است (۳). تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن یک روش تحلیلی-کمی ارزیابی ریسک است که می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و همچنین

علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و امتیازدهی کند (۵). تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست به دلیل در نظر گرفتن احتمال شناسایی ریسک از دقت و درستی بیشتری نسبت به مدل سنتی ارزیابی ریسک برخوردار می‌باشد (۶). در زمینه ارزیابی ریسک، مطالعه‌های مختلفی در دنیا و ایران انجام شده است. مطالعه‌ای در زمینه تجزیه و تحلیل اثرات و حالت شکست محیط‌زیستی در کارخانه مهمات سازی ارتش رادفورد صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روش FMEA در این کارخانه براساس آماده‌سازی برای شناسایی اصولی، پیگیری و ارتباط ریسک‌های محیط‌زیستی در سطح فعالیت‌ها توسعه پیدا کرده است (۷). در ارزیابی ریسک بخش شیرین‌سازی واحد تصفیه گاز پالایش گاز، عدل و همکاران با کمک روش FMEA خطرات مهم فرآیند و نقص قطعه‌ها و اجزای مواد باقی مانده مهم بخش و وقوع نقص و تجزیه و تحلیل اثر آن را مورد شناسایی قرار دادند. در این تحقیق ۶۸ مورد خطر شناسایی و ریسک آنان برآورد شد. که در این میان بیش‌ترین ریسک محاسبه شده مربوط به کاهش میزان درجه حرارت گاز قبل از واحد تصفیه و نقص سیستم‌های خنک‌کننده دی اتانول آمین بوده است (۸). جوزی و همکاران (۱۳۹۳) به شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن پرداختند. این تحقیق در شهر اهواز انجام گرفته است. ابتدا، فرآیند انتقال برق و تجهیزات مورد استفاده در آن شناسایی و حالات خرابی و شکست تجهیزات که منجر به وقوع ریسک در منطقه می‌شود، تعیین گردید. در ادامه به کمک نرم افزار SPSS سطح ریسک محاسبه و موارد شناسایی شده براساس آن اولویت بندی و تجزیه و تحلیل شدند. بیشتر مقادیر RPN بدست آمده مربوط به ریسک‌های بهداشتی بوده و کلیه ریسک‌های این گروه در شرایط اضطراری قرار دارند (۹). میر محمدی و همکاران (۱۳۹۵) ارزیابی عوامل خطر را به روش FMEA در کارخانه تولید تجهیزات مدارس به انجام رساندند. در این تحقیق ۱۲ ایستگاه کاری همراه با ۵۵

روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات: این روش برای اولین بار در ارتش آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است (۳). استانداردهای نظامی Mil-p-1629 با عنوان (روش آنالیز عیب، تأثیرات مربوطه و میزان اهمیت آن) در نهم نوامبر ۱۹۴۹ انتشار یافت. در قالب این استاندارد خطاها یا اشکالات پیش‌آمده به لحاظ تأثیرگذاری آن‌ها در هدف غایبی و میزان ایمنی پرسنل/تجهیزات طبقه‌بندی می‌شوند. این روش دارای تنوع زیادی است که از جمله متداول‌ترین انواع آن می‌توان به تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن در مرحله طراحی (DFMEA)، تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن در عملکرد سیستم (SFMEA) و تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن در فرآیند تولید محصول (PFMEA) اشاره کرد. در تحقیق حاضر از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن در فرآیند تولید محصول بهره‌گیری شد. در این روش هیچ‌گونه اتکالی به نحوه طراحی محصول نمی‌شود و سه پیش‌فرض کلیدی در دستورکار قرار می‌گیرد: ۱- دستگاه، قالب و تجهیزات تولیدی مرتبط در هنگام تنظیم اولیه سالم بوده، محصول منطبق با روش استاندارد تولید می‌شود. ۲- اپراتور دستگاه از دانش و مهارت کافی برخوردار است. ۳- مواد اولیه استفاده شده از کیفیت لازم برخوردار است (۲ و ۳). مراحل مختلف اجرای این روش مطابق شکل ۱ است. در زمینه ارزیابی ریسک در واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی (عج) تا پیش از اجرای این تحقیق مطالعه‌ای به این روش به‌انجام نرسیده بود، لیکن مطالعات مشابهی به‌روش مورد استناد، در داخل کشور در قالب پروژه‌های تحقیقاتی در مراکزی همچون شرکت ملی نفت ایران، شرکت ملی سهامی پتروشیمی ایران و برخی دیگر از واحدهای صنعتی دولتی و وابسته به بخش خصوصی به انجام رسیده است. همچنین در قالب پایان‌نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی نیز مطالعاتی با تکیه بر روش مورد استفاده به انجام رسیده یا در حین انجام است. روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در فرآیند تولید محصول در فراسوی مرزهای کشور بالاخص در جوامع توسعه‌یافته از اواخر دهه ۱۹۹۰ به این سو مورد توجه بوده است.

شاغل ارزیابی شده و حالات شکست، اثرات شکست و علل شکست خطاها محاسبه شده‌اند. سپس عدد اولویت‌بندی ریسک هر ایستگاه کاری محاسبه و سطوح بحران آن تعیین شده است. در اثر اقدامات کنترلی نشان داده شد که با وجود شدت اثر بالا، سطح بحران متوسط می‌باشد (۱۰).

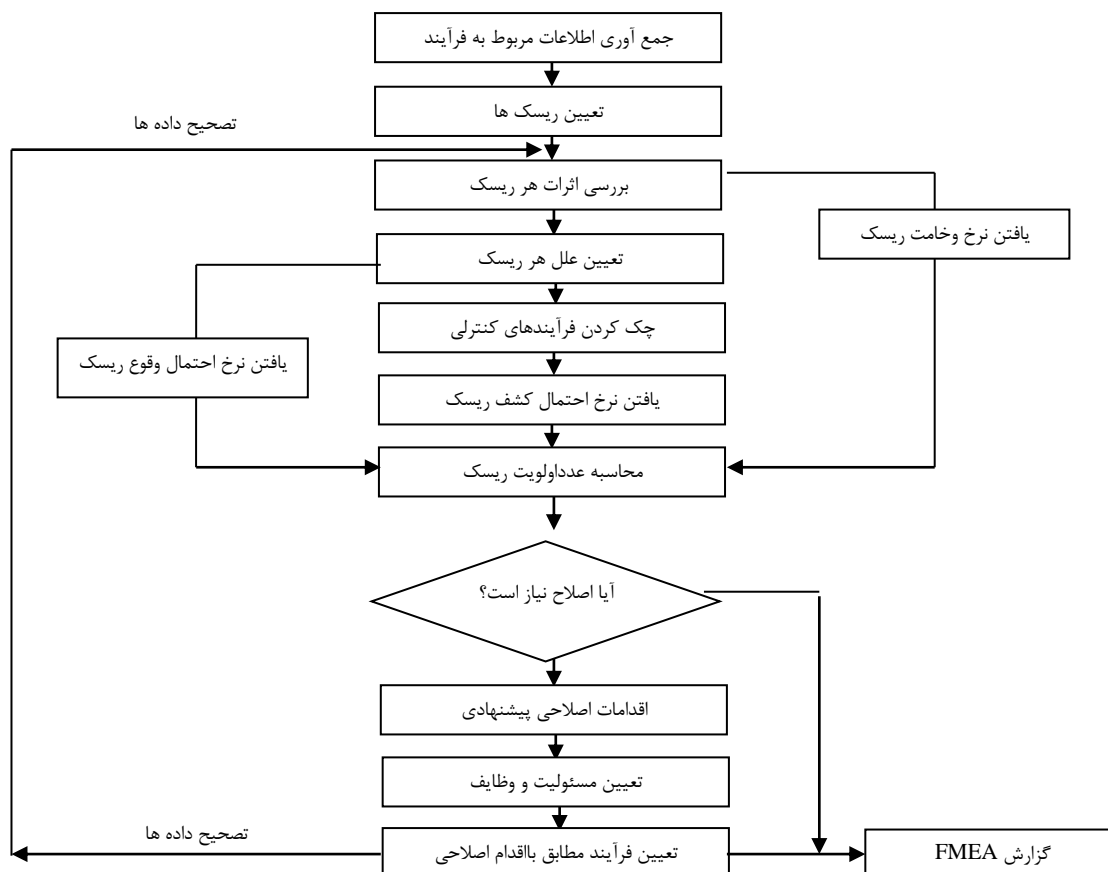
### روش بررسی

روش خبرگان: در این مطالعه پس از بررسی پیشینه و مروری بر ادبیات تحقیق جهت بررسی ریسک‌های محیط‌زیستی ناشی از این کارخانه، مصاحبه‌هایی با کارکنان کارخانه صورت گرفت و فهرستی از عوامل احتمالی مولد ریسک پس از تکمیل کاربرگ‌ها و بررسی مستندات سامانه مدیریت یکپارچه کارخانه موسوم به IMS مشخص گردید. همچنین با تکمیل پرسشنامه‌های بسته از پرسنل شاغل در محیط مهم‌ترین منابع مولد ریسک در واحد تحت بررسی تکمیل شد. جامعه آماری در این پژوهش کارشناسان و مدیران کارخانه بودند. با توجه به تعداد زیاد افراد برای تعیین تعداد نمونه لازم از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. به این منظور ابتدا تعداد پرسشنامه به‌عنوان پیش‌آزمون تکمیل گردید. سپس با احتساب ضریب اطمینان ۹۰ و خطای ۳ درصد، تعداد نمونه‌های لازم با استفاده از رابطه "کوکران" به‌صورت زیر محاسبه شد (۱۱):

$$n = \frac{t^2 s^2}{s^2} = \frac{(90)^2 (0/231)^2}{0/03} = 48/0249 \approx 49 \quad (1)$$

که در این رابطه: واریانس =  $s^2$ ، خطای مطالعه برحسب درصد =  $d$  و ضریب اطمینان =  $t$  می‌باشد.

بدین‌منظور پرسشنامه‌ای، مرکب از ۴۳ سوال تنظیم و بین ۵۰ نفر توزیع و تکمیل شد. تعدادی از پرسشنامه‌ها پس از مطالعه و بررسی دقیق به‌دلیل مخدوش بودن حذف شد و در نهایت تعداد ۴۵ عدد پرسشنامه جهت تحلیل نهائی نتایج مورد استفاده قرار گرفت. براساس یافته‌ها، کارشناسایی و طبقه‌بندی واحدهای بالقوه آسیب‌رسان کارخانه انجام و ارزیابی ریسک در پرحادثه‌ترین واحد کارخانه (واحد تولید و احیاء) صورت پذیرفت. با توجه به شرایط کارخانه و پیشینه این دست مطالعات از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن به‌منظور ارزیابی استفاده شد.



شکل ۱- مراحل مختلف اجرای ارزیابی ریسک به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در فرآیند تولید محصول (PFMEA)

Figure 1- Different steps to implement risk assessment by analyzing the failure modes and its effects in the production process (PFMEA)

• مشخصات ویژه و اختصاصی تجهیزات که بعضاً توسط تیم مطالعاتی یا کارفرما (کارخانه آلومینیوم المهدی) تدوین یا تولید گردید.

با توجه به مطالعات انجام شده در واحد تولید و احیاء که از این پس واحد تحت مطالعه نامیده می‌شود، تمام تجهیزات خطرآفرین شناسایی شد و در جدول مشخصات ریسک و محاسبه عدد اولویت ریسک در واحد تولید و احیای کارخانه تنظیم گردید. نحوه تکمیل فرم‌های یادشده به شرح ذیل انجام پذیرفت: ابتدا وظایف و فعالیت هر کدام از تجهیزات شرح داده شد. پس از آن، خطرات مرتبط با هر یک از تجهیزات مشخص گردید. در ادامه تمام عوامل موثر در ایجاد خطرات شناسایی شده، اثرات جانی و مالی ناشی از وقوع خطرات بر پرسنل و دستگاه‌ها تعیین و کنترل‌هایی که در جهت شناسایی و پیشگیری این حالات در واحد در حال اجراست مشخص گردید.

در این تحقیق اطلاعات پایه مورد نیاز شامل:

- نقشه سیستم‌ها
- نقشه فرآیند و تجهیزات
- دیگرام‌های جریان فرآیند
- دستورالعمل‌های عملیاتی
- جانمایی تجهیزات
- گزارشات آنالیز خطر یا سایر گزارشات ایمنی
- نتیجه‌ی تحقیقات، حوادث و رویدادهای رخ داده در سیستم
- اصول، مقررات و قوانین داخلی کارخانه و قوانین و استانداردهای ملی و بین‌المللی مرتبط
- چارت‌های سازمانی و شرح وظایف افراد
- پارامترهای عملیاتی موجود در سیستم

گام هفتم: محاسبه RPN برای هر حالت شکست  
 گام هشتم: تعیین حد اطمینان و سطح ریسک  
 گام نهم: ارائه اقدام کنترلی جهت حذف یا کاهش حالت شکست بالقوه دارای خطرپذیری بالا  
 گام دهم: محاسبه مجدد RPN ناشی از حذف و یا کاهش حالت شکست (ارزیابی ثانویه ریسک)  
 در نهایت باتوجه به اطلاعات بدست آمده امتیازدهی براساس فاکتورهای ذیل صورت پذیرفت: تعیین شدت ریسک (S)، تعیین احتمال وقوع ریسک (O) و یافتن نرخ احتمال کشف ریسک (D). معیارهایی که جهت امتیازدهی S، O و D مورد استفاده قرار گرفت در جداول (۲ و ۳) ارائه شده است (۵ و ۳).

در مرحله بعد پس از تعیین مهم‌ترین ریسک‌ها، مدل تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن اجرا و در هر معیار اولویت‌بندی ریسک‌ها با این روش مشخص گردید. مرحله‌های ده‌گانه انجام این فرآیند در ادامه ذکر شده است:  
 گام اول: شناخت تجهیزات، عملکرد آن‌ها و فرآیند کارخانه  
 گام دوم: ایجاد طوفان فکری برای شناسایی حالت شکست بالقوه  
 گام سوم: نوشتن اثر بالقوه حالت شکست  
 گام چهارم: تعیین درجه شدت برای هر اثر  
 گام پنجم: تعیین درجه وقوع برای هر حالت شکست  
 گام ششم: تعیین درجه گستره آلودگی یا امکان بازیافت

#### جدول ۱-رتبه بندی شدت اثرات (S) قابل پیش بینی

Table 1 - Ranking predictable impact severity (S)

شدت اثر	رتبه
خطرناک - بدون هشدار	۱۰
خطرناک - با هشدار	۹
خیلی زیاد	۸
زیاد	۷
متوسط	۶
کم	۵
خیلی کم	۴
اثرات جزئی	۳
خیلی جزئی	۲
هیچ	۱

#### جدول ۲-رتبه بندی احتمال وقوع ریسک (O)

Table 2- Ranking prediction risk (O)

رتبه بندی	احتمال رخداد ریسک
۱۰	بسیار بالا: خطر تقریباً اجتناب ناپذیر است
۹	بسیار بالا: خطر تقریباً اجتناب ناپذیر است
۸	بالا: خطرهای تکراری
۷	بالا: خطرهای تکراری
۶	متوسط: خطرهای موردی
۵	متوسط: خطرهای موردی
۴	متوسط: خطرهای موردی
۳	پایین: خطرهای نسبتاً نادر
۲	پایین: خطرهای نسبتاً نادر
۱	بعید: خطر غیرمحمول است

## جدول ۳- نرخ احتمال کشف (D)

Table 3- Rate discovery (D)

رتبه بندی	معیار : احتمال کشف ریسک
۱۰	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست.
۹	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۸	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۷	احتمال خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۶	احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۵	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۴	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۳	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۲	احتمال خیلی زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۱	تقریباً به طور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.

تولید و احیا و نیز تمامی سامانه‌ها، قطعات بوجود آورنده تجهیزات و اثرات ناشی از حالات شکست در این دسته تعریف و تجزیه و تحلیل گردید (منظور از حالات شکست تجهیزات، خرابی‌های محتمل برای دستگاه‌ها و تجهیزات مختلف است).

ب - نیروی انسانی: بررسی خطاها و اشتباهات انسانی و اثراتی که این خطاها در واحد باعث می‌گردند، در این گروه بررسی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در جدول ۴ مشخصات ریسک، کنترل‌های جاری در جهت پیشگیری یا شناسایی حالات شکست، محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) و اطلاعات مربوط به هر دستگاه در واحد صنعتی تحت بررسی ارائه شده است:

به‌منظور تعیین شاخص‌های ایمنی پیامدهای ناشی از ریسک در جدول، با در نظر گرفتن شدت حوادث در ضریب تکرار حوادث مرتبط، عدد اولویت ریسک طبق فرمول محاسبه شد. در این رابطه S به مثابه شدت ریسک، O احتمال وقوع ریسک و D نرخ احتمال کشف هر ریسک می‌باشد (۴ و ۶).

$$RPN = D \times O \times S \quad (2)$$

## یافته‌ها

در واحد تولید و احیای مجتمع آلومینیوم المهدی کار پیاده‌سازی تکنیک مورد استفاده و تفکیک مواردی که باعث خلق ریسک در واحد مذکور گردیده در قالب دو دسته ذیل انجام گرفت:

الف - تجهیزات: حالات شکست کلیه تجهیزات موجود در واحد

جدول ۴- ارزیابی ریسک و عدد اولویت ریسک در واحد تولید و احیای کارخانه المهدی (عج) بندرعباس

Table 4 - Risk assessment and risk priority number in Bandar Abbas Almahdi (AS) factory production and pevitalization unit

RPN	D	O	S	کنترل‌های جاری در جهت پیشگیری یا شناسایی حالت شکست	اثرات ناشی از وقوع حالت شکست	علل موثر در ایجاد حالت شکست	حالت شکست	وظایف/فعالیت‌ها	تجهیزات
۲۸	۲	۲	۷	بازدید، بررسی و چک کردن سیستم هیدرولیک، بازدید از پین چک هیدرولیکی	جانی - ضربه زدن به اپراتور دیگرها در هنگام عملیات مالی - ضربه خوردن به ستون و باگت شاول	اعمال فشار بیش از اندازه توسط نیروی هیدرولیکی	بریدن دسته چک هیدرولیکی	برداشتن آندهای رها شده داخل دیگ	ستون شاول
۲۴	۱	۴	۶	بازدید و بررسی از لیمیت سوئیچ (حد سنج) و خصوصاً کنتاکتور قدرت	جانی - صدمه دیدن اپراتور و اطرافیان مالی - آسیب دیدن ستون بالابر	در اثر قطع نکردن کنتاکتور قدرت	پاره شدن سیم بوکسل	جابجایی اپراتور	بالابر
۱۴۰	۴	۵	۷	بازدید و بررسی حدهای بالا و پایین ۵ تن و بازدید از سیم بوکسل	جانی - آسیب دیدن اپراتور اطراف دیگ مالی - ایجاد خسارت هوک ۵ تن و سیم بوکسل	در اثر بلند کردن بار بیش از اندازه یا عمل نکردن لیمیت سوئیچ‌ها	پاره شدن سیم بوکسل	زاویه دادن به کروسبیل و بلند کردن بارهای زیر ۵ تن	جرثقیل ۵ تن
۱۴۰	۲	۷	۱۰	بازدید و بررسی شیلنگ‌ها و سیستم هیدرولیک و تست فشار	جانی - سقوط پرسنل مالی - خسارت دستگاه	فشار بیش از اندازه سیستم هیدرولیک	پاره شدن شیلنگ‌های هیدرولیک	بالا بردن پرسنل	بالا برهای مکانیکی
۶۰	۳	۲	۱۰	سنجش گشتاور پیچ‌ها	جانی - افتادن کمپرسور مالی - خسارت به دیگ‌ها و کمپرسور	ارتعاشات مکانیکی	بریدن پیچ‌های پایه کمپرسور	تولید هوای فشرده	کمپرسور
۱۴	۲	۱	۷	بازدید و بررسی و چک کردن سیستم هیدرولیک	جانی - ضربه زدن به اپراتور دیگرها مالی - ضربه خوردن به ستون	اعمال فشار بیش از اندازه توسط نیروی هیدرولیکی	بریدن دسته چک هیدرولیکی	باز و بسته کردن پیچ کلمپ	ستون آندگیر و آچار



۱۶۲	۳	۶	۹	تست عایق ها از لحاظ مقاومت و عدم شکسته شدن آنها	<b>جانی</b> - خطر برق گرفتگی <b>مالی</b> - سوختن برده های الکترونیکی و سیستم های PLC	تنش های برشی و لهیدگی ناشی از نیروهای برشی و ارتعاشات مکانیکی	شکسته شدن عایق	جلوگیری از حرکت جریان برق	عایق های الکتریکی
۶۰	۳	۲	۱۰	بازدید و بازرسی از موارد فوق	سقوط هوک ( قلاب جرثقیل ) و پاشش مواد مذاب با دمای ۷۰۰ درجه و سوختگی	بازدید نکردن از میزان ترک پیچ ها، رگلاژ نکردن ترمزها و بازدید از لنت های آن، عدم روانکاری سیم بوکسل	پاره شدن سیم بوکسل، عمل نکردن ترمز، بریدن درام	بلند کردن تا ظرفیت ۳۰ تن	جرثقیل ۳۰ تن
۱۴۴	۳	۸	۶	مهار مناسب پولی کش و چرخ	<b>جانی</b> - سقوط <b>مالی</b> - صدمه دیدن بیرینگ و چرخ	ضربه خوردن بیرینگ و ارتعاشات مکانیکی که باعث شکسته شدن آن می شود	شکسته شدن بیرینگ در اثر تنش های مکانیکی	انتقال و توزیع نیروهای ناشی از وزن کرین به چرخ	باز کردن بیرینگ چرخها
۱۰۸	۲	۶	۹	تست سیستم ارتینگ از لحاظ سالم بودن کابل ها و کل سیستم	<b>جانی</b> - تجمع جریان الکتریسیته به صورت خازنی در کرین و برق گرفتگی <b>مالی</b> - صدمه دیدن کابل ها و برده های الکترونیکی	تعمیراتی که باعث پاره شدن کابل ها می شود	پاره شدن کابل ها، نیستن غلتک Earthing	انتقال جریان الکتریسیته به سطح زمین به صورت خازنی	Earthing
۷۰	۲	۵	۷	بازدید و بررسی و چک کردن سیستم هیدرولیک	<b>جانی</b> - ضربه زدن به اپراتور دیگر ها در هنگام عملیات <b>مالی</b> - ضربه خوردن به ستون	اعمال فشار بیش از اندازه توسط نیروی هیدرولیکی	بریدن دسته جک هیدرولیکی	شکستن قشر محکم اطراف آند جهت تعویض	ستون بریکر

شکسته شدن عایق ها و برق گرفتگی می گردد. در باز کردن بیرینگ چرخ ها علت اساسی ایجاد حالات شکست ارتعاشات مکانیکی، ضربه خوردن بیرینگ و در نتیجه شکسته شدن آن و جلوگیری از انتقال و توزیع نیروهای ناشی از وزن کرین به چرخ می شود. در مورد بالابرها مکانیکی فشار بیش از اندازه سیستم هیدرولیک باعث پاره شدن شیلنگ های هیدرولیک

چنان که در جدول (۴) ملاحظه می شود فعالیت های عایق الکتریکی، باز کردن بیرینگ چرخ ها، بالابرها مکانیکی، جرثقیل پنج تن و سیستم Earthing بانمرات ۱۶۲، ۱۴۴، ۱۴۰، ۱۴۰ و ۱۰۸ واجد بیشترین نمرات اولویت ریسک می باشد. علت وقوع چنین پیامدهایی در عایق الکتریکی ناشی از ارتعاشات مکانیکی و نیروهای برشی است که باعث لهیدگی و

در این تحقیق به ضرورت مدیریت اولویت‌های ریسک متوسط و حتی کم، به ویژه ریسک‌های کوچک (با عدد اولویت ریسک کم) و همچنین شبه حوادث که معمولاً از سوی سازمان کم‌اثر و قابل اغماض پنداشته می‌شوند ولی در صورت نادیده انگاشته شدن می‌توانند منجر به وقوع حوادث مخرب و بعضاً غیرقابل بازگشت بر کل سازمان شوند، پرداخته شد. مقایسه اعداد اولویت ریسک مربوط به تجهیزات واحد تولید و احیاء نشان می‌دهد که کمترین عدد اولویت ریسک مربوط به ستون آندگیر و آچار با امتیاز ۱۴ می‌باشد.

همان‌طور که پیش‌تر تاکید گردید در این تحقیق اعداد نزدیک به اولویت بالا نیز به عنوان اولویت‌های متوسط جهت کنترل بیشتر اثرات سوء مورد توجه قرار گرفتند. در نهایت در خصوص ریسک‌های با احتمال رخداد بالا که دارای عدد اولویت پایین بودند به عنوان اولویت‌های پایین توجه گردید. براساس اعداد اولویت ریسک بدست آمده (جدول ۴) ریسک‌هایی که می‌بایست مورد توجه بیشتری قرار گرفته و اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه بر روی آن‌ها متمرکز گردند در جداول ذیل متذکر شده است. در جدول ۵ تجهیزات با عدد اولویت ریسک RPN بالاتر از ۱۰۰ و در جدول (۶) تجهیزات با اولویت ریسک RPN پایین‌تر از ۱۰۰ به مثابه اولویت‌های رسیدگی کم ذکر شده است. بسیاری از این تجهیزات هرچند از نظر مقداری عدد اولویت ریسک محاسبه شده کمی دارند لیکن به دلیل شدت یا احتمال وقوع بالا ضرورتاً ملزم به مراقبه توصیه شده‌اند.

می‌شود که موجب تخلیه سریع جک و افتادن به سمت پایین می‌گردد. در جرثقیل پنج تن بلند کردن بار بیش از اندازه یا عمل نکردن لیمیت سوئیچ‌ها باعث پاره‌شدن سیم بوکسل می‌گردد. در سیستم Earthing در صورت بی‌احتیاطی پرسنل تعمیرات و پاره‌شدن کابل‌ها امکان برق‌گرفتگی پرسنل شاغل در این سامانه محتمل است. در مورد تمامی تجهیزات مهم‌ترین عامل در وقوع ریسک‌ها بی‌توجهی پرسنل و عدم پایش مستمر می‌باشد. علت بالابودن عدد اولویت ریسک در تجهیزات تحت بررسی به تفکیک عبارتند از: در مورد عایق الکتریکی، جرثقیل پنج تن، بازکردن بیرینگ چرخ‌ها و سیستم Earthing بالا بودن شدت اثر آن‌ها از نظر زیان‌های مالی و خسارت‌های نسبتاً شدید به دستگاه‌ها و اختلال در فرایند تولید و همچنین آسیب‌های جسمی به پرسنل مربوط می‌باشد. در همین حال در بالا بر مکانیکی باتوجه به بالابودن میزان شدت اثر، احتمال وقوع بالا و در نتیجه عدد اولویت ریسک زیاد، شایسته است به منظور پیش‌گیری از وقوع ریسک و پیش‌بینی تمهیدات لازم، توجه خاص به آن معطوف شود. از اینرو به منظور کاهش ریسک‌های موجود، مدیریت مناسب بر روی افراد و تجهیزات می‌باید به گونه‌ای اعمال گردد که اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه مناسب برای هر فعالیت به درستی تعریف و اجرا شود. این اقدامات می‌باید براساس رتبه‌بندی اولویت‌های ریسک بالاتر، جهت آنالیز و تخصیص منابع (با هدف بهبود) تعیین شود.

#### جدول ۵- تجهیزات با عدد اولویت ریسک بالاتر از ۱۰۰ در واحد تحت بررسی

Table 5 - equipments with a priority number of risk above 100 in the unit under review

RPN	واحد	تجهیز
۱۶۲	احیاء	عایق‌های الکتریکی
۱۴۴	احیاء	بازکردن بیرینگ چرخ‌ها
۱۴۰	احیاء	بالا برهای مکانیکی
۱۴۰	احیاء	جرثقیل ۵ تن
۱۰۸	احیاء	سیستم ارتینگ

جدول ۶- تجهیزات با عدد اولویت ریسک پایین تر از ۱۰۰ در واحد تحت بررسی

Table 6- Equipments with a priority number of risk below 100 in the unit under review

RPN	واحد	تجهیز
۷۰	احیاء	ستون بریکر
۶۰	احیاء	جرثقیل ۳۰ تن
۶۰	احیاء	کمپرسور
۲۸	احیاء	ستون شاول
۲۴	احیاء	بالابر
۱۴	احیاء	ستون آندگیر و آچار

### بحث و نتیجه گیری

بود. عایق‌های الکتریکی بیشترین عدد اولویت ریسک مربوط به بخش احیاء را به خود اختصاص می‌دهد از اینرو می‌باید از شیلدهای حرارتی مقاوم جهت ایجاد حائل بین حرارت کابل‌ها استفاده شود، از دمپرهاى ضدارتعاش در مسیر عبور سینی‌های کابل استفاده گردد و تست منظم عایق‌ها از نظر مقاومت و عدم شکسته شدن آنها به انجام رسد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد شرایط نسبتاً ایمن در واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی برقرار می‌باشد. در طی زمان انجام این تحقیق در واحد تولید و احیای کارخانه کاهش نسبی حوادث ناشی از کار را داشته است.

در مقایسه با سایر پژوهش‌ها عدل و همکاران (۱۳۹۰) نیز به این نکته اشاره می‌کنند که مدیریت ریسک باید توسط تیمی متشکل از افراد، با تخصص‌های مختلف انجام شود. این نکته در جریان تحقیق مزبور بسیار قابل لمس بود و در جهت رفع این مشکل از مشاوره مهندسين شیمی، مکانیک و الکترونیک که در بهره‌برداری از کارخانه مورد مطالعه تجربه زیادی داشتند استفاده گردید. جوزی و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند ارزیابی ریسک زیست محیطی، یک ابزار مهم در مدیریت محیط زیست به منظور کاهش مخاطرات پروژه‌ها و دستیابی به توسعه پایدار به شمار می‌رود. تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن بعنوان یک ابزار به منظور شناسایی است. میر محمدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز بیان کردند که بیشترین فراوانی حوادث،

هدف از انجام این تحقیق شناسایی جنبه‌ها و پیامدهای متاثر از فعالیت واحد تولید و احیای کارخانه آلومینیوم المهدی بندرعباس به منظور شناسایی خطرات، ارزیابی و تعیین عدد اولویت ریسک تجهیزات آن بوده که ضمن بررسی جامع، دقیق و ریشه‌ای انواع حوادث، وضعیت ایمنی کارخانه را نیز ارزیابی کند. بدین منظور با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در فرآیند تولید محصول (PFMEA) چارچوب مورد نظر پیشنهاد گردید. تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست به عنوان یکی از مفیدترین ابزارهای ارزیابی ریسک برای کاهش پتانسیل شکست در سیستم، فرآیندها، طرح‌ها و خدمات است و در گستره وسیعی از صنایع مورد استفاده قرار گرفته است. جهت محاسبه عدد اولویت ریسک ۱۰۰ به عنوان عدد شاخص (مینا) در نظر گرفته شد. بدین ترتیب تجهیزات با اولویت ریسک پایین‌تر از ۱۰۰ به اصلاح و پایش نیازی نداشته یا در زمان حاضردر اولویت بالا قرار نگرفتند. در همین حال تجهیزات با اولویت ریسک بالاتر از ۱۰۰ می‌باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن تحت اقدامات اصلاحی قرار گرفته و طبق اقدامات پایش مستمر نسبت به اصلاح فرآیندها، تجهیز یا تعمیر آن‌ها اقدام نمود. فعالیت‌های عایق الکتریکی، بازکردن بیرینگ چرخ‌ها، بالابرهاى مکانیکی، جرثقیل پنج تن و سیستم Earthing طبق نتایج حاصله بالاترین اولویت و ستون آندگیر و آچار با امتیاز ۱۴ کمترین اولویت و نمره ریسک را دارا

- AHP, International Journal of Project Management, 26(4): 408-419.
- ۵- ربانی، م. ۱۳۸۰. تکنیک های ارزیابی ریسک، نشرهنگام.
- 6- Zeng, S.X., Tam, C.M., Tam, V.W.Y. 2010. Integrating Safety, Environmental and Quality Risks for Project Management Using a FMEA, Economics of engineering decisions, 21(1): 44-52.
- 7- Jennings, B. 2008. Radford army ammunition plant's environmental failure mode and effects analysis (EFMEA) process has been developed to provide for the systematic identification, Tracking and communication of environmental risks at the task level.
- ۸- عدل، ج.؛ قهرمانی، ا. و نسل سراجی، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی ریسک در بخش شیرین سازی واحد تصفیه گاز پالایش گاز، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشت، سال سوم، شماره ۴.
- ۹- جوزی، س. ع.؛ جعفر زاده حقیقی فرد، ن. ا. و افضلی بهبهانی، ن. ۱۳۹۳. شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA)، مجله سلامت و محیط، فصلنامه ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره هفتم، شماره اول، صص ۶۴-۵۵.
- ۱۰- میر محمدی، س. ت.؛ ناصری پویا، ز. و حسینعلی پور، س. ز. ۱۳۹۵. ارزیابی عوامل خطر به روش FMEA در کارخانه تولید تجهیزات مدارس، مجله تحقیقات سلامت در جامعه، ۲(۲) ۱۹-۹.
- 11- Asafou-Ajaee, J. 2002. Environmental economy for non-economists, Mc GRAWHILL, p 127.
- در صنایع دیده می شود. با شناسایی ریسک فاکتورهای ایجادکننده حوادث ناشی از کار، می توان از وقوع آن پیشگیری کرد. هدف از انجام مطالعه حاضر نیز، ارزیابی ریسک فاکتورهای بروز حوادث و اولویت بندی بحران خطرات شناسایی شده برای پیشگیری از وقوع آن برای شاغلین بوده و این نتیجه به دست آمد که FMEA یک تکنیک ارزیابی سازمان یافته برای شناسایی خطرات بالقوه، برآورد سطوح ریسک و آرایه روش های مدیریت ریسک، برای کاهش اثر می باشد و این روش یک روش کیفی برای ارزیابی است و هدفش فراهم کردن ابزاری برای سهولت در کارهای تولیدی می باشد. Jennings (۲۰۰۸) به این نتیجه رسید که با استفاده از روش FMEA، ریسک های محیط زیستی در فعالیت های این کارخانه شناسایی و قابل پیگیری هستند. در این پژوهش نیز با استفاده از روش FMEA ریسک ها شناسایی و سپس اولویت بندی گردید. همچنین با شناسایی این ریسک ها و رتبه آنها حوادث فردی کارخانه به میزان قابل توجهی کاهش یافت. لذا این مدل (با در نظر گرفتن وضعیت موجود ایمنی) می تواند به متخصصین ایمنی صنایع جهت شناسایی ریسک ها، شناسایی علل ریشه ای ریسک ها و ارائه ابزارهای دقیق کنترل ریسک ها کمک نماید.
- منابع**
- ۱- اللهیاری، ت. ۱۳۸۴. آنالیز خطرو ارزیابی ریسک در فرآیندهای شیمیایی، موسسه انتشاراتی فن آوران اندیشه پروژه.
- ۲- قراچورلو، ن. ۱۳۸۴. ارزیابی و مدیریت ریسک، انتشارات علوم و فنون جهاد دانشگاهی استان آذربایجان شرقی.
- ۳- رضایی، ک. ۱۳۸۴. FMEA تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن، ناشر شرکت مشارکتی آر- و- توف ایران با همکاری نشر آتنا.
- 4- Zayed, T., Amer, M., Pan, J. 2008. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using