**مقاله پژوهشی**

**پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره پنجم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳(۱۹-۱)**

# شناسایی خطر و تجزیه و تحلیل ریسک با رویکرد مدیریت ایمنی فرآیند در مجتمع فولاد مبارکه (مطالعه موردی: واحد اکسیژن و هیدروژن)

**هانیه نیکومرام[۱]**

**حسین مدرسی‌فر [۲]**

**جواد کیانی [۳]**

**محمد ده‌بزرگی[٤]***

*Mohamad_792001@yahoo.com*

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۳۰** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۵**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** صنعت فولاد به دلیل ماهیت ذوب فلزات و حرارت بالا، گازها و مواد شیمیایی خطرناک یکی از پرمخاطره‌ترین صنایع فرآیندی به‌شمار می‌رود. پتانسیل بالای بروز رویدادهای فرآیندی با پیامدهایی نظیر آتش‌سوزی، انفجار و انتشار مواد سمی در صنعت مذکور بر اهمیت شناسایی مخاطرات به عنوان اولین مرحله در مدیریت ریسک‌های ایمنی فرآیند تاکید دارد. در پژوهش حاضر به منظور فراهم‌سازی زیرساخت‌های لازم شامل متدولوژی مدون اجرای مطالعات شناسایی خطر و تجزیه و تحلیل ریسک به عنوان یکی از مهم‌ترین الزامات مدیریت ایمنی فرآیند (PSM) و در راستای پیاده‌سازی سیستم مذکور در مجتمع فولاد مبارکه، روش اجرایی مربوطه تدوین و جهت اطمینان از عملیاتی بودن آن، مخاطرات و رویدادهای ایمنی فرآیند در یکی از پرمخاطره‌ترین واحدها (واحد اکسیژن و هیدروژن) با بهره‌گیری از روش اجرایی مذکور، شناسایی و تحلیل گردید.

**روش بررسی:** روش اجرایی شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند در انطباق با الزامات مدیریت ایمنی فرآیند راهنماهای مرجع PSM و سایر اسناد فنی مرتبط، مشتمل بر کاربرگ شناسایی مخاطرات (HAZID)، فهرست کلمات راهنما، سطوح احتمال وقوع و شدت پیامد، ماتریس ریسک، متدولوژی اجرا و غیره تدوین گردید. جهت انجام مطالعه HAZID در واحد اکسیژن و هیدروژن، کارگروهی شامل افراد متخصص و با تجربه در حوزه شغلی مربوطه تشکیل و پس از آماده‌سازی مقدمات لازم از قبیل بررسی

۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- مدیر بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، شرکت فولاد مبارکه، اصفهان، ایران.

۳- رئیس ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و آتش‌نشانی، شرکت فولاد مبارکه، اصفهان، ایران.

۴- همکار پژوهشی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

مستندات واحد، جلسات شناسایی مخاطرات طبق متدولوژی تنظیمی برگزار، کاربرگ‌های مربوطه به تفکیک Nodeهای مطالعاتی تکمیل و تحلیل و اقدامات اصلاحی مربوطه نیز پیشنهاد گردید.

**یافته‌ها:** از مجموع ۴۰ رویداد ایمنی فرآیند شناسایی شده در واحد اکسیژن و هیدروژن، ۵ درصد دارای سطح ریسک کم، ۶۵ درصد دارای ریسک متوسط، ۱۵ درصد دارای ریسک زیاد و ۱۵ درصد دارای ریسک حاد می‌باشند. بدین‌ترتیب، اکثر ریسک‌های ایمنی فرآیند شناسایی شده دارای سطح ریسک متوسط (قابل تحمل) بودند. رویدادهای فرآیندی عمده با سطوح ریسک زیاد (غیرقابل قبول) و حاد (غیرقابل تحمل) نیز ۳۰ درصد از کل رویدادها را تشکیل می‌دهند. پلنت‌های واحد اکسیژن بیشترین رویدادهای فرآیندی را از منظر تعداد به خود اختصاص داده و مخازن گاز و مایع دارای بالاترین سطح ریسک رویدادهای ایمنی فرآیند می‌باشند. در مجموع، ۱۲ رویداد فرآیندی عمده با سطوح ریسک زیاد و حاد شناسایی گردید.

**بحث و نتیجه‌گیری:** از دستاوردهای کلیدی پژوهش، تدوین روش اجرایی "شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند" در مجتمع فولاد مبارکه به منظور شناسایی و تجزیه و تحلیل رویدادهای ایمنی فرآیند و سایر ویژگی‌های مربوطه از قبیل علل و پیامدهای وقوع رویدادها، کنترل‌های پیشگیرانه و کاهشی، احتمال وقوع و شدت پیامدها، سطح ریسک و غیره می‌باشد. همچنین روش اجرایی مذکور موجبات ارائه متدولوژی منسجم ارزیابی ریسک‌های ایمنی فرآیند، فراهم‌سازی بستری مناسب جهت اتخاذ اقدامات اصلاحی ریسک‌های عمده، اجرای مطالعات تکمیلی و تدوین و پیاده‌سازی سایر سازوکارهای مورد نیاز برآورد الزامات PSM را تامین می‌نماید.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه و تحلیل ریسک، رویداد ایمنی فرآیند، شناسایی خطر، مدیریت ایمنی فرآیند.

*J. Sus. Dev. & Env., Vol 5, No.1, Spring 2024, pp.1-19*

# Hazard Identification and Risk Analysis in the Light of Process Safety Management in Mobarakeh Steel Company

## (Case study: Oxygen and Hydrogen Unit)

**Hanieh Nikoomaram[1]**
**Hossein Modaresifar[2]**
**Javad Kiani[3]**
**Mohammad Dehbozorgi[4] ***
*Mohamad_792001@yahoo.com*

Admission Date:October 17, 2023 Date Received: August 21, 2023

**Abstract**

**Background and Objective:** The steel industry is one of the most hazardous process industries due to the nature of metal melting and high heat, gases and hazardous chemicals. The high potential of process incidents with consequences such as fire, explosion and release of toxic substances in the mentioned industry emphasizes the importance of hazard identification as the first step in process safety risk management. In the present research, to provide the necessary infrastructure, including a written methodology for hazard identification and risk analysis studies as one of the most vital requirements of Process Safety Management (PSM) and in line with PSM implementation in Mobarakeh Steel Company, the relevant procedure was developed and to ensure its applicability, process safety hazards and their associated incidents in one of the most hazardous units (oxygen and hydrogen unit) were identified and analyzed using the aforementioned procedure.

**Material and Methodology:** The "hazard identification and process safety risk analysis" procedure was developed in accordance with the requirements of process safety management expatiated in PSM best practices and other relevant technical documents. The procedure includes hazard identification (HAZID) worksheet, guide words, levels of probability of occurrence and severity of consequences, risk matrix, implementation methodology, etc. In order to conduct the HAZID study in the oxygen and hydrogen unit, a team including experts and experienced engineers in their relevant job fields was formed, and after preparing the necessary arrangements such as reviewing the documents, HAZID meetings were held according to the developed methodology, the worksheets were completed and analyzed as per the study nodes and relevant corrective measures were also suggested.

**Findings:** From the total of 40 process safety incidents identified in the oxygen and hydrogen unit, 5% had a low-risk level, 65% had a medium-risk level, 15% had a high-risk level and 15% had an extreme-risk level. Therefore, the majority of the identified process safety risks had a medium (tolerable) risk

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Health, Safety and Environment Manager, Mobarakeh Steel Company, Esfahan, Iran.

3- Head of Safety, Occupational Health and Firefighting, Mobarakeh Steel Company, Esfahan, Iran.

4- Research Fellow, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)

level. Major Process Incidents (MPIs) with high (unacceptable) and extreme (intolerable) risk levels also constitute 30% of all incidents. The plants of the oxygen unit had the most process incidents in terms of the number, and gas and liquid tanks had the highest risk level of process safety incidents. In total, 12 MPIs with high and extreme risk levels were identified.

**Discussion and Conclusion:** One of the key achievements of the research is the development of the "hazard identification and process safety risk analysis" procedure in Mobarakeh Steel Company to identify and analyze the process safety incidents and other related characteristics such as the causes and consequences of incidents, prevention and mitigation controls, the probability of occurrence and severity of consequences, risk level, etc. Also, the aforesaid procedure would help deliver a coherent methodology for assessing process safety risks, provide a suitable platform for adopting corrective measures for major risks, conduct supplementary studies, and develop and implement other mechanisms required to meet PSM requirements.

**Keywords:** Risk Analysis, Process Safety Incident, Hazard Identification, Process Safety Management.

**مقدمه**

ایمنی فرآیند[1]مبحثی نسبتاً نوین و در حال تکامل است که هدف آن پیشگیری از وقوع حوادث فرآیندی و کاهش پیامدهای مربوطه از قبیل آتش سوزی، انفجار، نشت مواد سمی و غیره در صنایع فرآیندی می‌باشد. به بیان دیگر، ایمنی فرآیند اصلی اساسی در تولید ایمن و پایدار صنایع مذکور محسوب شده و در حالی‌که به جنبه‌های مختلف علوم ایمنی مرتبط است، به طور ذاتی بیشتر بر شناسایی مخاطرات، ارزیابی و مدیریت ریسک‌های ایمنی فرآیند متمرکز می باشد (۱). وقوع حوادث متعدد فرآیندی از جمله انفجار در کارخانه تولید مواد شیمیایی فلیکسبورو[2](انگلستان) ناشی از انتشار هیدروکربن‌های قابل اشتعال در سال ۱۹۷۴، رهایش گاز سمی متیل‌ایزو سیانات در کارخانه‌ای در بوپال[3](هند) در سال ۱۹۸۴، آتش‌سوزی در کارخانه گاز طبیعی لانگفورد[4](استرالیا) در سال ۱۹۹۸، فاجعه سکوی نفتی دیپ‌واتر هرایزون[5](خلیج مکزیک) در سال ۲۰۱۰ و حادثه انفجار انبارهای بندر تیانجین[6](چین) در سال ۲۰۱۵ حاکی از ضرورت پیشگیری و کاهش وقوع حوادث عمده به عنوان یکی از اولویت‌های مدیریتی در صنایع فرآیندی است (۲، ۳ و ۴).

تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که تا اوت سال ۲۰۱۸، حداقل ۷۰۰۰ مقاله مرتبط با ایمنی فرآیند در سه پایگاه داده علمی پرکاربرد Scopus، Web of Science Core Collection (WoS) و Compendex منتشر شده است که این موضوع بیانگر توجه ویژه پژوهشگران به مسائل ایمنی فرآیند می‌باشد (۵). در سال‌های اخیر، علی‌رغم پیشرفت‌های چشم‌گیر در راستای ارتقاء سطح ایمنی صنایع فرآیندی، افزایش پیچیدگی فناوری‌های موجود و بروز مشکلات جدید ناشی از فناوری‌های نوظهور، همچنان بر اهمیت برآورد الزامات ایمنی فرآیند و پیش‌بینی سناریوهای وقوع حوادث احتمالی جهت پیشگیری و کنترل آنها تاکید دارد (۶). این مهم بیانگر اهمیت شناسایی مخاطرات[7]به عنوان اولین مرحله در مدیریت ریسک‌های ایمنی فرآیند می‌باشد (۷).

صنعت فولاد نیز از جمله صنایع فرآیندی است که سهم عمده‌ای در توسعه اقتصادی کشورها دارد. صنعت مذکور شامل فرآیندهای

1- Process Safety
2- Flixborough
3- Bhopal
4- Longford
5- Deepwater Horizon
6- Tianjin
7- Hazard Identification (HAZID)

مختلف شیمیایی، متالورژیکی، الکتریکی، مکانیکی، ساختمانی، معدنی، حمل‌ونقل، لجستیک و غیره بوده و از این رو دارای مخاطرات فرآیندی متعددی می‌باشد. بنابراین، اطمینان از ایمنی عملیات از طریق برنامه‌ریزی دقیق و همچنین ارائه راه‌حل‌های نوآورانه، ضروری بوده و این موضوع اتخاذ اقدامات ایمنی را در اولویت تصمیمات مدیریتی در صنعت فولاد قرار داده است. در حال حاضر، مفهوم تولید فولاد با کیفیت[1] به تدریج به سمت مفهوم تولید فولاد ایمن[2] تغییر یافته و این امر منجر به توسعه برنامه‌ها و شیوه‌های مدیریت ایمنی فرآیند و اجرای آنها توسط صنایع فولادی در سراسر جهان شده است (۸).

تاکنون مطالعات و اقدامات متعددی جهت جلوگیری از بروز حوادث احتمالی و ارتقاء ایمنی در فرآیندهای صنعت فولاد صورت گرفته است که همگی مؤید لزوم انجام ارزیابی ریسک به عنوان اصلی اساسی در راستای توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک و ابزاری به منظور برآورد و ارزشیابی پیامدهای مواجهه با عوامل مخاطره‌آمیز بوده و عمدتاً شامل شناسایی مخاطرات موجود در فرآیند، محاسبه سطح ریسک و ارائه اقدامات کنترلی مناسب جهت مدیریت مخاطرات می‌باشد (۹).

طی سال‌های متمادی چندین مؤسسه تحقیقاتی مختص به ایمنی فرآیند در سطح بین‌الملل تأسیس گردیده و همچنین متدولوژی‌های متنوعی جهت پیش‌بینی و بررسی علل وقوع حوادث فرآیندی و پیامدهای ناشی از آنها از طریق شناسایی مخاطرات، تجزیه و تحلیل ریسک‌ها، مدل‌سازی پیامدها و غیره توسعه داده شده است. نهادهای بین‌المللی از جمله انجمن مهندسین شیمی آمریکا[3]، انجمن تولیدکنندگان مواد شیمیایی کانادا[4]، فدراسیون مهندسی شیمی اروپا[5]، آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا[6] و اداره بهداشت و ایمنی بریتانیا[7] مفاهیم و الزامات کلیدی ایمنی فرآیند را ارائه نمودند (۵). در این راستا، کمیته ایمنی و بهداشت انجمن بین‌المللی تولیدکنندگان فولاد[8] راهنمای مدیریت ایمنی فرآیند[9] خود را مشتمل بر ۶ رکن و ۱۷ الزام جهت بهره‌برداری شرکت‌های عضو این انجمن به منظور پیاده‌سازی PSM و مدیریت ریسک‌های ایمنی فرآیند منتشر نموده است. براساس راهنمای مذکور، الزام شماره ۷ از مجموعه الزامات ۱۷گانه، "شناسایی خطر و تجزیه و تحلیل ریسک[10]" نام دارد که هدف اصلی آن شناسایی و درک مخاطرات و ریسک‌های ایمنی فرآیند به نحوی که به سازمان در تخصیص موثر منابع کمک نماید، می‌باشد. این مهم از طریق تدوین و پیاده‌سازی رویه‌های طرح‌ریزی و اجرای مطالعات شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌ها، تعیین و ثبت ریسک‌های عمده مربوط به ایمنی فرآیندها و فعالیت‌ها، تبیین معیارهای تحمل ریسک، اعمال اقدامات کنترلی ریسک‌ها و مستندسازی و به‌روزرسانی دوره‌ای گزارشات تجزیه و تحلیل ریسک حاصل می‌گردد (۱۰).

بنابراین در پژوهش حاضر و در راستای اهداف کلان استقرار PSM در مجتمع فولاد مبارکه و با توجه به اهمیت شناسایی و بررسی صحیح و دقیق مخاطرات به عنوان اولین گام در مدیریت ریسک‌های ایمنی فرآیند، ضمن تدوین روش اجرایی شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند در مجتمع، مخاطرات و رویدادهای ایمنی فرآیند و سایر ویژگی‌های مربوطه در یکی از پرمخاطره‌ترین واحدها (واحد اکسیژن و هیدروژن) با بهره‌گیری از روش اجرایی مذکور، شناسایی و تحلیل گردید.

واحد اکسیژن و هیدروژن مجتمع فولاد مبارکه مربوط به ناحیه انرژی و سیالات بوده و متشکل از پلنت‌های اکسیژن (A، B، C، D، E و F) و پلنت هیدروژن است. واحد اکسیژن شامل بخش‌های تولید هوای فشرده و گازهای صنعتی اکسیژن، ازت و آرگون می‌باشد. در صنعت فولاد از اکسیژن به منظور واکنش‌پذیری و

1-Quality Steel
2-Safe Steel
3-American Institute of Chemical Engineers (AIChE)
4-Canadian Chemical Producers' Association (CCPA)
5-European Federation of Chemical Engineering (EFCE)
6-United States Environmental Protection Agency (US EPA)
7-United Kingdom Health and Safety Executive (UK HSE)
8-Safety and Health Committee – World Steel Association
9-Process Safety Management (PSM)
10-Hazard Identification and Risk Analysis (HIRA)

غنی‌سازی هوا و افزایش درجه حرارت احتراق در کوره‌های بلند و کوره‌های گرمکن استفاده می‌شود. پلنت هیدروژن نیز، هیدروژن مورد نیاز فرآیند خالص‌سازی آرگون را تأمین می‌نماید که طی فرآیند ریفورمینگ[1]گاز متان تولید می‌شود. به‌طور کلی هیدروژن خالص آماده شده جهت مصارف مورد نیاز پلنت‌ها ارسال یا پس از عبور از کمپرسورها در پک‌های هیدروژن (سیلندرها) ذخیره‌سازی می‌گردد (۱۱).

**روش بررسی**

اجرای پژوهش حاضر در پنج گام صورت پذیرفت. در گام اول، روش اجرایی "شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند" در مجتمع فولاد مبارکه تدوین گردید. این مهم به منظور تشریح متدولوژی شناسایی مخاطرات ایمنی فرآیند[2] مرتبط با فرآیندها، فعالیت‌ها، سیستم‌ها، تجهیزات، خدمات و محصولات مجتمع فولاد مبارکه و تجزیه و تحلیل ریسک‌های مربوطه و اولویت‌بندی آنها جهت تبیین و اجرای اقدامات اصلاحی مورد نیاز و کاهش سطح ریسک‌ها به پایین‌ترین حد ممکن، معقول و عملیاتی[3]در شرایط نرمال، غیرنرمال و اضطراری برای کلیه افراد، دارایی‌ها، محیط‌زیست، استمرار تولید و اعتبار سازمان انجام پذیرفت.

به منظور تدوین روش اجرایی مذکور، ساختار و محتوای الزام HIRA در راهنماهای مرجع مدیریت ایمنی فرآیند شامل راهنمای مدیریت ایمنی فرآیند انجمن بین‌المللی تولیدکنندگان فولاد[4](۱۰) و راهنمای ایمنی فرآیند مبتنی بر ریسک مرکز ایمنی فرآیند شیمیایی آمریکا[5](۱۲) مطالعه و بررسی گردید. بر همین اساس روش اجرایی مذکور مشتمل بر هدف، دامنه کاربرد، مسئولیت‌ها، تعاریف و مفاهیم، مراجع و مآخذ، روش‌های متداول در مطالعات ریسک‌های ایمنی فرآیند، ساختار تیم HAZID، اسناد و اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مطالعات HAZID، متدولوژی اجرا، کاربرگ HAZID (جدول ۱)، فهرست کلمات راهنما[6] (جدول ۲)، ماتریس ریسک شامل توصیف سطوح احتمال وقوع (P)، شدت پیامد (S) و پذیرش ریسک (R) (جداول ۳ الی ۶) در انطباق با الزامات مدیریت ایمنی فرآیند و با استناد به مراجع معتبر موجود در این حوزه تدوین شد.

**جدول ۱- کاربرگ شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند در مجتمع فولاد مبارکه**

Table 1. Process Safety Hazards Identification and Risks Analysis Worksheet in Mobarakeh Steel Company

| کد شناسایی مخاطره | مخاطره | رویداد ایمنی فرآیند | علل | پیامدها | کنترل‌های پیشگیرانه | کنترل‌های کاهشی | سطح ریسک | | | اقدامات اصلاحی پیشنهادی | موعد زمانی انجام و خاتمه اقدام | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | P | S | R | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

1-Reforming
2-Process Safety Hazards
3-As Low As Reasonably Practicable (ALARP)
4-World Steel Safety Guidance Note – Process Safety Management (WS PSM)
5-Center for Chemical Process Safety – Risk Based Process Safety (CCPS RBPS)
6-Guidewords

**جدول ۲- خلاصه راهنمای شناسائی و طبقه‌بندی مخاطرات ایمنی فرآیند**

Table 2. Process Safety HAZID Guidewords

| Hazard | ID | Category |
|---|---|---|
| Chemical | CH-F | Flammables |
| | CH-T | Toxics |
| | CH-E | Explosives |
| | CH-C | Corrosives |
| | CH-O | Oxidizers |
| | CH-R | Radioactives |
| Physical | PH-HF | Hot Fluids |
| | PH-CF | Cold Fluids |
| | PH-P | Pressure |
| | PH-OF | Open Flame |
| | PH-E | Electricity |
| Natural | NH | Environmental |
| Man-made | MH | Security |

**جدول ۳- توصیف سطوح احتمال وقوع**

Table 3. Description of the Probability of Occurrence Levels

| نماد | احتمال وقوع |
|---|---|
| P5 (Almost Certain) | وقوع رویداد حداقل یک مورد در هر سال |
| P4 (Likely) | وقوع رویداد حداقل یک مورد در هر ۳ سال |
| P3 (Possible) | وقوع رویداد حداقل یک مورد در هر ۵ سال |
| P2 (Unlikely) | وقوع رویداد صرفا یک مورد تاکنون در سازمان و یا صنایع فولاد داخل / خارج از کشور |
| P1 (Rare) | عدم وقوع رویداد در سازمان و یا صنایع فولاد داخل / خارج از کشور |

**جدول ۴- توصیف سطوح شدت پیامدها**

Table 4. Description of the Severity of Consequences Levels

| نماد | شدت پیامد | | | |
|---|---|---|---|---|
| | (افراد) | (اموال و تجهیزات) | (محیط‌زیست) | (استمرار تولید) |
| S5 (Critical) | مرگ و میر (یک نفر یا بیشتر) | خسارت مالی بیشتر از ۱۰ میلیون دلار | تاثیرات کلان ملی و بین‌المللی | توقف طولانی فرآیند تولید (بیش از ۱ ماه) |
| S4 (Major) | نقص عضو / از کارافتادگی دائم | خسارت مالی ۵ تا ۱۰ میلیون دلار | تاثیرات مهم ملی و استانی | توقف نسبتاً طولانی فرآیند تولید (۲ هفته تا ۱ ماه) |
| S3 (Moderate) | نقص عضو / از کارافتادگی موقت | خسارت مالی ۱ تا ۵ میلیون دلار | تاثیرات قابل ملاحظه در سطح منطقه | توقف نسبتاً کوتاه فرآیند تولید |

| نماد | شدت پیامد | | | |
|---|---|---|---|---|
| | (افراد) | (اموال و تجهیزات) | (محیط‌زیست) | (استمرار تولید) |
| | | | | (۲۴ ساعت تا ۲ هفته) |
| S2 (Minor) | آسیب و جراحت منجر به غیبت بیش از ۱ روز کاری | خسارت مالی ۵۰۰ هزار تا ۱ میلیون دلار | تاثیرات محدود در سطح سازمان | توقف کوتاه فرآیند تولید (۸ تا ۲۴ ساعت) |
| S1 (Low) | آسیب و جراحت منجر به غیبت کمتر از ۱ روز کاری | خسارت مالی تا ۵۰۰ هزار دلار | تاثیرات ناچیز در سطح واحد | توقف فرآیند تولید حداکثر برای یک شیف کاری (تا ۸ ساعت) |

**جدول ۵- ماتریس ریسک (ایمنی فرآیند)**

Table 5. Risk Matrix (Process Safety)

| Severity / Probability | Low (S1) | Minor (S2) | Moderate (S3) | Major (S4) | Critical (S5) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Almost Certain (P5)** | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| **Likely (P4)** | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| **Possible (P3)** | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| **Unlikely (P2)** | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| **Rare (P1)** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

**جدول ۶- سطوح پذیرش ریسک**

Table 6. Risk Acceptance Levels

| میزان ریسک | سطح ریسک | |
|---|---|---|
| 15-25 | حاد | Extreme (E) |
| 8-14 | زیاد | High (H) |
| 3-7 | متوسط | Medium (M) |
| 1-2 | کم | Low (L) |

در گام دوم اجرای پژوهش و جهت انجام مطالعه HAZID در واحد منتخب پروژه (واحد اکسیژن و هیدروژن)، کارگروهی متشکل از افراد متخصص و با تجربه در حوزه شغلی مربوطه و با هدف برگزاری هرچه اثربخش‌تر جلسات HAZID، استفاده مطلوب از ظرفیت‌ها، توانمندی‌ها و منابع موجود و اتخاذ تصمیمات مقتضی و پیگیری‌های متعاقب تشکیل گردید (جدول ۷). همانطور که پیشتر در بخش زمینه و هدف نیز ذکر گردید، واحد اکسیژن و هیدروژن عمدتا به دلیل وجود مخاطرات ایمنی فرآیند از قبیل گازها و مایعات قابل اشتعال / انفجار (اکسیژن، هیدروژن، متان و غیره) و گازها و مایعات فروسرد (ازت، آرگون و غیره) و احتمال رهایش / نشت آنها از تجهیزات فرآیندی (خطوط انتقال، مخازن، کمپرسورها و غیره) به دلایل گوناگون و بروز پیامدهای ناگوار نظیر آتش‌سوزی، انفجار و یخزدگی و در نتیجه مرگ‌ومیر، آسیب به افراد، دارائی‌ها و محیط‌زیست و تداخل در فرآیند تولید یکی از پرمخاطره‌ترین واحدهای صنعت فولاد به‌شمار می‌رود.

**جدول ۷- تیم HAZID واحد اکسیژن و هیدروژن مجتمع فولاد مبارکه**

Table 7. MSC's Oxygen and Hydrogen Unit HAZID Team

| ردیف | واحد | سمت شغلی |
|---|---|---|
| ۱ | بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست | مدیر بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست |
| ۲ | | رئیس ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و آتش‌نشانی |
| ۳ | | سرپرست ایمنی فنی و بازرسی |
| ۴ | | کارشناس ایمنی و آتش‌نشانی |
| ۵ | | کارشناس ایمنی |
| ۶ | | کارشناس ایمنی |
| ۷ | اکسیژن و هیدروژن | رئیس واحد اکسیژن و هیدروژن |
| ۸ | | کارشناس تولید واحد |
| ۹ | | شیفت فورمن واحد |
| ۱۰ | | مشاور ایمنی ناحیه ENF |
| ۱۱ | | تکنسین ایمنی ناحیه ENF |
| ۱۲ | | کارشناس تعمیرات برق |
| ۱۳ | | کارشناس اتوماسیون و ابزار دقیق |
| ۱۴ | | تکنسین تولید |

در گام سوم، به منظور آماده‌سازی اجرای مطالعه HAZID در واحد اکسیژن و هیدروژن، اسناد و اطلاعاتی مشتمل بر شرح فرآیند[1](شامل مفاهیم فرآیند تفکیک هوا)، نقشه‌های PFD[2] و P&ID[3]، گردشکار آمادگی‌های اضطراری ناحیه انرژی و سیالات، پیش‌نویس گردشکار آمادگی واکنش در شرایط اضطراری واحد اکسیژن و هیدروژن، ایمنی تخصصی واحد اکسیژن، فهرست نقاط حادثه‌خیز و مواد خطرناک واحد اکسیژن و هیدروژن، گزارش مطالعات شناسایی، کنترل و کاهش مخاطرات فرآیندی و مشکلات عملیاتی با تکنیک HAZOP در واحد اکسیژن (پلنت هیدروژن) و گزارش مدل‌سازی پیامد در واحد اکسیژن فولاد مبارکه، سبا و طرح‌های توسعه جدید مطالعه و بررسی گردید. سپس به منظور افزایش دقت و سهولت فرآیند شناسایی مخاطرات و براساس نتایج بررسی اسناد مذکور و همچنین شباهت نسبی ماهیت و نوع فرآیندها / فعالیت‌ها، تجهیزات و یا مواد موجود در واحد اکسیژن و هیدروژن، Nodeهای (گره‌های) مطالعاتی به شرح جدول ۸ تفکیک گردید.

1- Process Description
2- Process Flow Diagram
3- Piping & Instrumentation Diagram

**جدول ۸- Nodeهای مطالعاتی واحد اکسیژن و هیدروژن**

Table 8. HAZID Nodes in Oxygen and Hydrogen Unit

| شماره | عنوان |
|---|---|
| Node 1 | پلنت‌های واحد اکسیژن (A، B، C، D، E وF) |
| Node 2 | مخازن (گاز و مایع) |
| Node 3 | پلنت هیدروژن و کپسول پرکنی |
| Node 4 | کمپرسورها |
| Node 5 | تاسیسات یوتیلیتی |

در گام چهارم، جلسات مطالعه HAZID طی دو روز در محل واحد اکسیژن و هیدروژن مجتمع فولاد مبارکه و با حضور تیم HAZID مجتمع و مجری و همکاران طرح پژوهشی از واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی برگزار گردید. در روند برگزاری کارگاه ابتدا اهداف مورد نظر از اجرای مطالعه و همچنین فرآیند کار توسط دبیر جلسه مطرح، سپس شرح مختصری از فعالیت‌ها و فرآیندهای واحد توسط کارشناسان مربوطه ارائه، در ادامه کاربرگ‌های HAZID (جدول ۱) به تفکیک Nodeهای مطالعاتی (جدول ۸) از طریق فرآیند طوفان فکری و بحث و تبادل نظر اعضای تیم HAZID تکمیل و نتایج توسط منشی جلسه ثبت گردید. بدین‌ترتیب، کلیه مخاطرات بالقوه ایمنی فرآیند به تفکیک هر Node و با توجه به کلمات راهنما (جدول ۲) شناسایی شد. سپس با توجه به مخاطره فرآیندی شناسایی شده، رویداد ایمنی فرآیند ناشی از شکست در مهار / کنترل مواد و یا انرژی در قالب LOPC[1] تعیین گردید. پس از شناسایی مخاطره و رویداد فرآیندی مربوطه، علل بروز شرایط مخاطره‌آمیز و وقوع رویداد ایمنی فرآیند و پیامدهای ناشی از وقوع آن در قالب پیامدهای اولیه ناشی از LOPC (نظیر آتش‌سوزی، انفجار، یخ‌زدگی و غیره) و پیامدهای ثانویه (متعاقب) در چهار گروه سلامت و ایمنی افراد، اموال و تجهیزات، محیط‌زیست و استمرار تولید شناسایی گردید. سپس کنترل‌های پیشگیرانه و کاهشی موجود شامل سیستم‌ها، تجهیزات، اقدامات، فعالیت‌ها و تمهیداتی که از وقوع رویداد ایمنی فرآیند (از طریق تمرکز بر حذف علل وقوع) پیشگیری می‌نمایند و یا بر کنترل و کاهش شدت پیامدهای ناشی از وقوع رویداد متمرکز می‌باشند، تعیین شدند. شناسایی موانع کنترلی در برآورد احتمال وقوع و شدت پیامدهای رویدادها حائز اهمیت می‌باشد. میزان احتمال وقوع رویداد فرآیندی با استفاده از سطوح احتمال تعریف شده در جدول ۳ و میزان شدت پیامدها نیز با توجه به سطوح مشخص شده در جدول ۴ تعیین و سپس عدد و سطوح پذیرش ریسک براساس ماتریس ریسک (جداول ۵ و ۶) برآورد گردید. شایان ذکر است با توجه به اینکه رویدادهای فرآیندی ممکن است پیامدهایی با شدت‌های متفاوت در چهار گروه سلامت و ایمنی افراد، اموال و تجهیزات، محیط‌زیست و استمرار تولید به همراه داشته باشند، در تعیین میزان شدت پیامد براساس رویکرد سخت‌گیرانه در مدیریت ریسک، بدترین حالت ممکن[2](شدیدترین پیامد محتمل، معقول و منطقی) مد نظر قرار گرفت.

مقادیر و سطوح پذیرش ریسک‌ها، کدگذاری، رنگ‌بندی و نحوه مدیریت آنها بدین شرح می‌باشد: ریسک کم با نماد (L) و رنگ سبز در ماتریس بیانگر ریسک قابل قبول[3]است که مستلزم اقدام کنترلی بیشتر نبوده و صرفا نیازمند پایش مستمر کنترل‌های موجود به منظور اطمینان از عدم تجاوز ریسک از سطح فعلی می‌باشد. ریسک متوسط با نماد (M) و رنگ زرد در ماتریس بیانگر ریسک قابل تحمل[4]می‌باشد؛ بدین معنی که ریسک تا حد

1- Loss of Primary Containment
2- Worst-Case Scenario
3- Acceptable
4- Tolerable

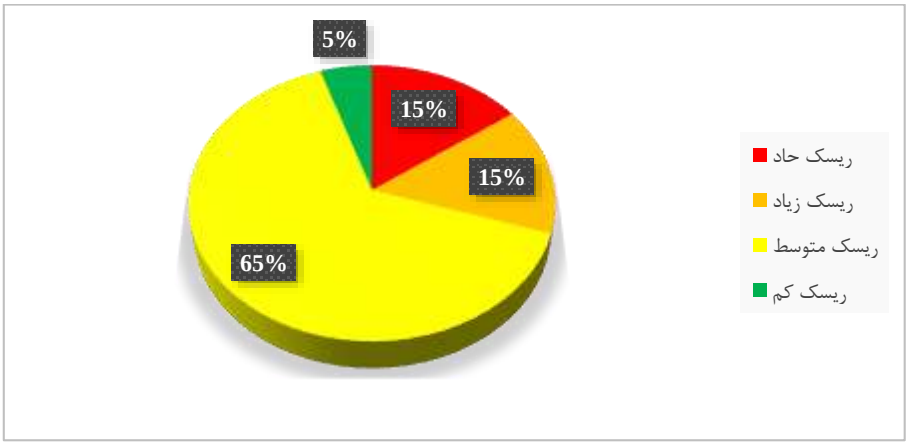
ممکن، معقول و عملیاتی[1] کاهش یافته است. در این خصوص ضروری است ضمن پایش مستمر ریسک، با اتخاذ تمهیدات فنی - مهندسی - مدیریتی از عملکرد اثربخش کنترل‌های پیشگیرانه و کاهشی اطمینان حاصل گردد. ریسک زیاد با نماد (H) و رنگ نارنجی در ماتریس بیانگر ریسک غیرقابل قبول[2] است و تصمیم‌گیری در خصوص آن نیازمند انجام مطالعات و ارزیابی کمی ریسک به منظور برآورد دقیق میزان احتمال وقوع و شدت پیامد آن و همچنین تجزیه و تحلیل کمی کفایت و اثربخشی کنترل‌های موجود جهت اتخاذ اقدامات مقتضی می‌باشد. براساس نتایج مطالعات مذکور، اعمال اقدامات اصلاحی جهت مدیریت این ریسک‌ها و کاهش سطح آنها حداقل به محدوده ALARP از اولویت ویژه برخودار است. ریسک حاد با نماد (E) و رنگ قرمز در ماتریس بیانگر ریسک غیرقابل تحمل[3] است که مستلزم توقف فعالیت / فرآیند مربوطه و انجام اقدامات فوری جهت کنترل و کاهش سطح ریسک می‌باشد.

در گام پنجم، نتایج حاصل از مطالعه HAZID جمع‌بندی و تجزیه و تحلیل و رویدادهای فرآیندی عمده[4] (با سطوح ریسک زیاد و حاد) واحد اکسیژن و هیدروژن شناسایی گردید. سپس، مدل پاپیونی برای رویدادهای مذکور اجرا و دیاگرام‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار BowTieXP 11.0.5 رسم گردید. دیاگرام‌های مدل پاپیونی نمایش گرافیکی از مخاطره فرآیندی شناسایی شده و رویداد فرآیندی مربوطه، علل وقوع رویداد و پیامدهای ناشی از آن و کنترل‌های پیشگیرانه و کاهشی موجود را ارائه می‌نمایند.

## یافته‌ها

براساس نتایج مطالعه HAZID (نمودار ۱ و جدول ۹)، جمعاً ۴۰ رویداد ایمنی فرآیند در واحد اکسیژن و هیدروژن مشتمل بر ۲ رویداد (۵ درصد) با سطح ریسک کم، ۲۶ رویداد (۶۵ درصد) با ریسک متوسط، ۶ رویداد (۱۵درصد) با ریسک زیاد و ۶ رویداد (۱۵ درصد) با ریسک حاد شناسایی گردید. بدین‌ترتیب اکثر ریسک‌های ایمنی فرآیند شناسایی شده دارای سطح ریسک متوسط (قابل تحمل) می‌باشند. رویدادهای فرآیندی عمده با سطوح ریسک زیاد (غیرقابل قبول) و حاد (غیرقابل تحمل) نیز ۳۰ درصد از کل رویدادهای شناسایی شده در واحد را تشکیل می‌دهند.

در جدول ۱۰ نیز رویدادهای ایمنی فرآیند دارای بالاترین عدد ریسک (سه اولویت اول) به تفکیک هر Node ارائه شده است.




**نمودار ۱- درصد فراوانی رویدادهای ایمنی فرآیند واحد اکسیژن و هیدروژن به تفکیک سطح ریسک**

Figure 1. Frequency of Process Safety Incidents in Oxygen and Hydrogen Unit in terms of Risk Level

1- As Low As Reasonably Practicable (ALARP)
2- Unacceptable
3- Intolerable
4- Major Process Incident (MPI)

**جدول ۹- جمع‌بندی نتایج کاربرگ‌های تکمیلی مطالعه HAZID واحد اکسیژن و هیدروژن**

Table 9. Summary of the Results of HAZID Study in Oxygen and Hydrogen Unit

| Node | | تعداد رویدادهای ایمنی فرآیند شناسایی شده | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره | عنوان | ریسک کم (L) | ریسک متوسط (M) | ریسک زیاد (H) | ریسک حاد (E) | مجموع |
| Node 1 | پلنت‌های واحد اکسیژن (A، B، C، D، E و F) | ۱ | ۱۰ | ۱ | ۱ | ۱۳ |
| Node 2 | مخازن (گاز و مایع) | - | ۳ | ۴ | ۲ | ۹ |
| Node 3 | پلنت هیدروژن و کپسول پرکنی | - | ۶ | ۱ | ۱ | ۸ |
| Node 4 | کمپرسورها | ۱ | ۳ | - | ۱ | ۵ |
| Node 5 | تاسیسات یوتیلیتی | - | ۴ | - | ۱ | ۵ |
| مجموع | | ۲ | ۲۶ | ۶ | ۶ | ۴۰ |

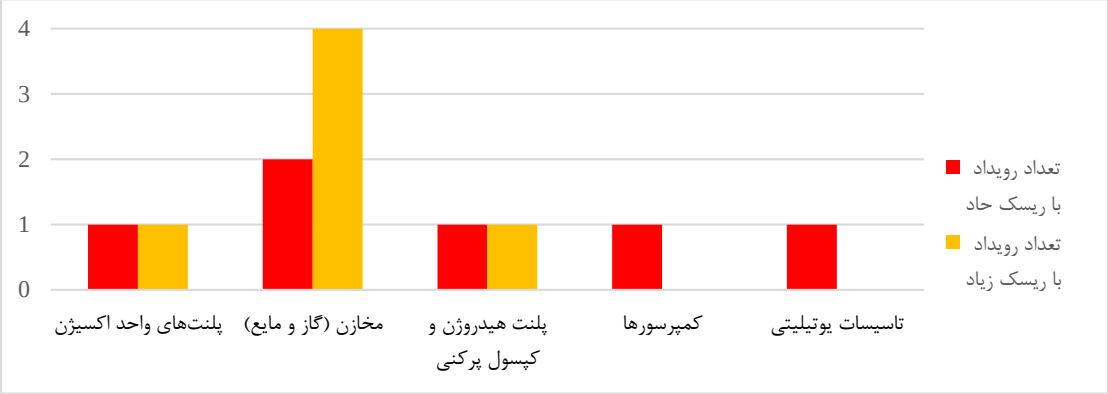
**جدول ۱۰- رویدادهای ایمنی فرآیند دارای بالاترین عدد ریسک (سه اولویت اول) به تفکیک Nodeهای مطالعاتی**

Table 10. Process Safety Incidents with the Highest Risk Numbers (Top Three Priorities) as per Study Nodes

| شماره Node | عنوان Node | توصیف رویداد ایمنی فرآیند | عدد ریسک | سطح ریسک |
|---|---|---|---|---|
| Node 1 | پلنت‌های واحد اکسیژن (A، B، C، D، E و F) | نشت اکسیژن مایع از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی کلدباکس در پلنت‌های A و B | ۲۰ | حاد (E) |
| | | نشت هوای فشرده از خطوط انتقال | ۱۰ | زیاد (H) |
| | | نشت گاز ازت از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی کلدباکس | ۶ | متوسط (M) |
| | | نشت ازت مایع از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی کلدباکس | ۶ | متوسط (M) |
| | | نشت ازت ویست از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی کلدباکس | ۶ | متوسط (M) |
| | | نشت آرگون مایع از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی کلدباکس پلنت‌های C، D، E و F | ۶ | متوسط (M) |
| | | نشت هوای سرد فرآیند از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی | ۶ | متوسط (M) |
| Node 2 | مخازن (گاز و مایع) | نشت اکسیژن مایع از مخازن و اتصالات | ۲۰ | حاد (E) |
| | | نشت ازت مایع از مخازن و اتصالات | ۱۵ | حاد (E) |
| | | نشت مایع فروسرد از اواپراتور به لوله‌ها و اتصالات پائین‌دستی | ۱۰ | زیاد (H) |
| | | نشت آرگون مایع از مخازن و اتصالات | ۱۰ | زیاد (H) |
| | | نشت اکسیژن مایع از محل بارگیری و تانکر حمل و نقل | ۱۰ | زیاد (H) |
| | | نشت آرگون و ازت مایع از محل بارگیری و تانکر حمل و نقل | ۱۰ | زیاد (H) |

| شماره Node | عنوان Node | توصیف رویداد ایمنی فرآیند | عدد ریسک | سطح ریسک |
|---|---|---|---|---|
| Node 3 | پلنت هیدروژن و کپسول پرکنی | نشت کم‌فشار گاز هیدروژن از پلنت، ریفورمر، کمپرسور، اتصالات و ... | ۱۵ | حاد (E) |
| | | نشت و تجمع گاز متان در ریفورمر در زمان راه‌اندازی | ۱۰ | زیاد (H) |
| | | نشت پرفشار گاز هیدروژن از پلنت، ریفورمر، کمپرسور، اتصالات، مخازن داخلی هیدروژن، خطوط انتقال به پک‌ها و ... | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت پرفشار گاز HNX از پلنت، اتصالات، مخازن داخلی و ... | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت گاز آرگون / ازت از واحد کپسول پرکنی | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت گاز اکسیژن از واحد کپسول پرکنی | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت گاز هیدروژن از واحد کپسول پرکنی | ۵ | متوسط (M) |
| Node 4 | کمپرسورها | نشت گاز اکسیژن از کمپرسورها و اتصالات مربوطه در پلنت‌های A، B، C و D | ۲۰ | حاد (E) |
| | | نشت هوای فشرده از کمپرسورها و اتصالات مربوطه | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت هوای فرآیند از کمپرسورها و اتصالات مربوطه | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت گاز ازت از کمپرسورها و اتصالات مربوطه | ۴ | متوسط (M) |
| Node 5 | تاسیسات یوتیلیتی | نشت بخار اشباع از بویلرها | ۱۵ | حاد (E) |
| | | نشت و تجمع گاز متان در محفظه احتراق بویلرها | ۶ | متوسط (M) |
| | | نشت بخار اشباع از خطوط انتقال | ۵ | متوسط (M) |
| | | نشت آب صنعتی / در گردش از خطوط انتقال | ۵ | متوسط (M) |

بررسی نتایج به تفکیک Nodeها نشان داد Node شماره ۱ (پلنت‌های A، B، C، D، E و F واحد اکسیژن) با ۱۳ رویداد بیشترین رویدادهای فرآیندی را از منظر تعداد به خود اختصاص می‌دهد که این امر قاعدتا به دلیل تعداد و تنوع بیشتر فرآیندها، مواد و تجهیزات موجود در این Node نسبت به سایر Nodeها می‌باشد. Node شماره ۲ (مخازن گاز و مایع) با ۴ رویداد دارای سطح ریسک زیاد و ۲ رویداد با ریسک حاد، پرمخاطره‌ترین Node از منظر سطح ریسک رویدادهای ایمنی فرآیند است. به بیان دیگر، ۵۰ درصد رویدادهای فرآیندی عمده (۶ رویداد از مجموع ۱۲ رویداد عمده شناسایی شده) متعلق به مخازن گاز و مایع واحد می‌باشد. از طرفی دیگر، Nodeهای شماره ۴ و ۵ (کمپرسورها و تاسیسات یوتیلیتی) هر یک فقط با ۱ ریسک حاد، کمترین تعداد رویدادهای فرآیندی عمده را دارا می‌باشند. شایان ذکر است در مجموع، ۱۲ رویداد فرآیندی عمده (دارای سطوح ریسک زیاد و حاد) به شرح نمودار ۲ و جدول ۱۱ شناسایی شدند. دیاگرام مدل پاپیونی برای رویداد فرآیندی عمده شماره ۱، به عنوان نمونه‌ای از دیاگرام‌های ترسیمی در شکل ۱ نمایش داده شده است.




**نمودار ۲- تعداد رویدادهای فرآیندی عمده به تفکیک Nodeهای واحد اکسیژن و هیدروژن**

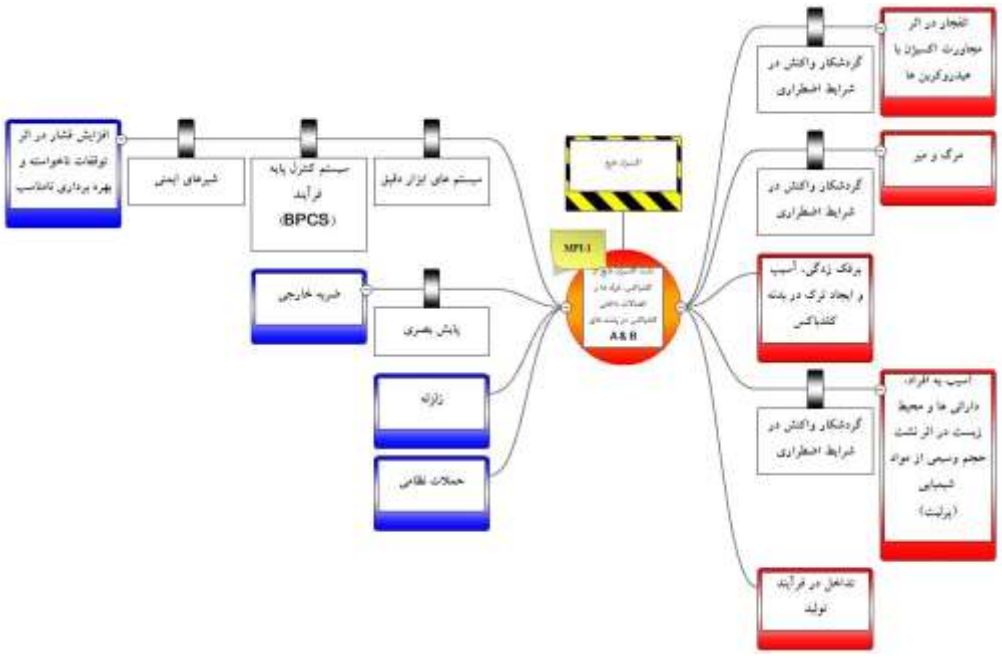
Figure 2. Number of Major Process Incidents in terms of Oxygen and Hydrogen Unit HAZID Nodes

**جدول ۱۱- رویدادهای فرآیندی عمده واحد اکسیژن و هیدروژن**

Table 11. Major Process Incidents in Oxygen and Hydrogen Unit

| شماره Node | عنوان Node | مخاطره | توصیف رویداد فرآیندی عمده | سطح ریسک و تعداد رویدادهای فرآیندی عمده | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ریسک زیاد (H) | ریسک حاد (E) | مجموع |
| Node 1 | پلنت‌های واحد اکسیژن (A، B، C، D، E و F) | اکسیژن (مایع) | ۱- نشت اکسیژن مایع از کلدباکس، لوله‌ها و اتصالات داخلی کلدباکس در پلنت‌های A و B | | ✓ | ۲ |
| | | هوای فشرده | ۲- نشت هوای فشرده از خطوط انتقال | ✓ | | |
| Node 2 | مخازن (گاز و مایع) | اکسیژن (مایع) | ۳- نشت اکسیژن مایع از مخازن و اتصالات | | ✓ | ۶ |
| | | ازت (مایع) | ۴- نشت ازت مایع از مخازن و اتصالات | | ✓ | |
| | | اکسیژن، آرگون و ازت (مایع) | ۵- نشت مایع فروسرد از اواپراتور به لوله‌ها و اتصالات پائین‌دستی | ✓ | | |
| | | آرگون (مایع) | ۶- نشت آرگون مایع از مخازن و اتصالات | ✓ | | |
| | | اکسیژن (مایع) | ۷- نشت اکسیژن مایع از محل بارگیری و تانکر حمل و نقل | ✓ | | |
| | | آرگون و ازت (مایع) | ۸- نشت آرگون و ازت مایع از محل بارگیری و تانکر حمل و نقل | ✓ | | |
| Node 3 | پلنت هیدروژن و کپسول پرکنی | گاز هیدروژن | ۹- نشت کم‌فشار گاز هیدروژن از پلنت، ریفورمر، کمپرسور، اتصالات و ... | | ✓ | ۲ |

| شماره Node | عنوان Node | مخاطره | توصیف رویداد فرآیندی عمده | سطح ریسک و تعداد رویدادهای فرآیندی عمده | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ریسک زیاد (H) | ریسک حاد (E) | مجموع |
| | | گاز متان | ۱۰- نشت و تجمع گاز متان در ریفورمر در زمان راه‌اندازی | ✓ | | |
| Node 4 | کمپرسورها | گاز اکسیژن | ۱۱- نشت گاز اکسیژن از کمپرسورها و اتصالات مربوطه در پلنت‌های A، B، C و D | | ✓ | ۱ |
| Node 5 | تاسیسات یوتیلیتی | بخار اشباع | ۱۲- نشت بخار اشباع از بویلرها | | ✓ | ۱ |
| مجموع | | | | ۶ | ۶ | ۱۲ |




**شکل ۱- دیاگرام مدل پاپیونی رویداد فرآیندی عمده شماره ۱ واحد اکسیژن و هیدروژن**

Diagram 1. Bow-Tie Diagram for Major Process Incident No. 1 in Oxygen and Hydrogen Unit

## بحث و نتیجه‌گیری

از دستاوردهای کلیدی پژوهش حاضر، تدوین روش اجرایی "شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند" در مجتمع فولاد مبارکه با استناد به راهنماهای مرجع PSM شامل راهنمای مدیریت ایمنی فرآیند انجمن بین‌المللی تولیدکنندگان فولاد و راهنمای ایمنی فرآیند مبتنی بر ریسک مرکز ایمنی فرآیند شیمیایی آمریکا و سایر اسناد فنی معتبر موجود در این حوزه می‌باشد. این مهم به منظور فراهم‌سازی زیرساخت‌های لازم شامل متدولوژی مدون اجرای مطالعات شناسایی خطر و تجزیه و تحلیل ریسک در واحدهای عملیاتی مجتمع به عنوان یکی از مهم‌ترین الزامات

مدیریت ایمنی فرآیند و در راستای پیاده‌سازی PSM انجام پذیرفت. جهت اطمینان از عملیاتی بودن روش اجرایی تدوینی، مخاطرات و رویدادهای ایمنی فرآیند و سایر ویژگی‌های مربوطه در یکی از پرمخاطره‌ترین واحدهای مجتمع (واحد اکسیژن و هیدروژن) با بهره‌گیری از روش اجرایی مذکور، شناسایی و تحلیل گردید.

نتایج مطالعه شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند در واحد اکسیژن و هیدروژن نشان داد جمعا ۴۰ رویداد ایمنی فرآیند در واحد مذکور مشتمل بر ۲ رویداد (۵ در صد) با سطح ریسک کم، ۲۶ رویداد (۶۵ در صد) با ریسک متوسط، ۶ رویداد (۱۵درصد) با ریسک زیاد و ۶ رویداد (۱۵ در صد) با ریسک حاد شناسایی گردید. در مجموع، ۱۲ رویداد فرآیندی عمده (با سطوح ریسک زیاد و حاد) در واحد اکسیژن و هیدروژن تعیین شد.

بررسی پژوهش‌های پیشین در داخل و خارج کشور نشان می‌دهد اکثر مطالعات شناسایی و تجزیه و تحلیل مخاطرات در صنایع فولادی به شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک‌های ایمنی شغلی، بهداشت حرفه‌ای و محیط‌زیستی پرداخته (۳۳-۱۳) و تحقیقات بسیار معدودی در زمینه شناسایی مخاطرات ایمنی فرآیند و تجزیه و تحلیل ریسک‌های مربوطه صورت گرفته است.

Vivek و همکاران در پژوهشی با استفاده از روش ارزیابی و کنترل ریسک محل کار[1] به شناسایی و تجزیه و تحلیل مخاطرات ایمنی شغلی و ارائه اقدامات کنترلی لازم در ناحیه نورد سرد کارخانه تولید فولاد پرداختند. ریسک‌های مرتبط با مخاطرات شناسایی شده براساس دو فاکتور احتمال وقوع و شدت پیامد و با استفاده از ماتریس ریسک نیمه کمی محاسبه و بدین ترتیب مخاطرات عمده و اقدامات کنترلی آنها براساس رتبه ریسک تعیین گردید. نتایج نشان داد ریسک مخاطرات عمده با سطوح متوسط و بالاتر، در صورت اعمال اقدامات کنترلی به سطوح پایین‌تر کاهش می‌یابند (۳۴). در پژوهش حاضر نیز از متدولوژی نسبتاً مشابهی بهره گرفته شد؛ با این تفاوت که رویکرد به طور خاص بر شناسایی مخاطرات ایمنی فرآیند، تجزیه و تحلیل ریسک‌های مربوطه و تعیین رویدادهای فرآیندی عمده واحد اکسیژن و هیدروژن ناحیه انرژی و سیالات متمرکز بوده و سازوکار مشخصی نیز جهت برآورد سطح ریسک‌های ایمنی فرآیند تبیین شد.

Nitin و همکاران در مطالعه‌ای مروری به ارزیابی ریسک و اقدامات کنترلی مرتبط با مخاطرات شیمیایی در صنعت فولاد پرداخته و روش‌های شناسایی و ارزیابی مخاطرات شیمیایی و مکان‌های پرمخاطره در صنعت مذکور را بررسی نمودند. نتایج نشان داد شناسایی مخاطرات شیمیایی در صنعت فولاد نقش حیاتی در پیشگیری از انفجار، آتش‌سوزی و انتشار گازهای سمی دارد (۳۵). پژوهش حاضر ضمن ارائه روش اجرایی شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی فرآیند، علاوه بر مخاطرات شیمیایی، امکان بررسی کلیه مخاطرات ایمنی فرآیند را با بهره‌گیری از فهرست کلمات راهنمای تنظیمی، فراهم می‌نماید. بدین‌ترتیب، از طریق شناسایی و تجزیه و تحلیل رویدادهای ایمنی فرآیند و ویژگی‌های مربوطه (از قبیل علل و پیامدهای وقوع، کنترل‌های پیشگیرانه و کاهشی، احتمال وقوع و شدت پیامدها، سطح ریسک و غیره)، بستری مناسب جهت ارائه اقدامات اصلاحی کنترل و کاهش ریسک‌های عمده و همچنین اجرای مطالعات تکمیلی و تدوین و پیاده‌سازی سایر سازوکارهای مورد نیاز برآورد الزامات مدیریت ایمنی فرآیند فراهم می‌گردد.

در پایان، به منظور کنترل و کاهش ریسک‌های ایمنی فرآیند واحد اکسیژن و هیدروژن، پنج اقدام اصلاحی به شرح ذیل پیشنهاد گردید:

- بررسی نصب جاذب ورودی و آنالیزور فیلتراسیون در کلدباکس‌های پلنت‌های A و B واحد اکسیژن.
- بررسی نصب ترنسمیتر کنترل فشار بین دو جداره مخازن (گاز و مایع).
- بررسی تدوین گردشکار گواهی تایید کیفی سلامت سیلندرهای تحت فشار پلنت هیدروژن و کپسول پرکنی.

1-Workplace Risk Assessment and Control (WRAC)

- بررسی نصب و راه‌اندازی آنالیزور سنجش درصد اکسیژن محفظه ازت کمپرسورها.
- بررسی میزان آلایندگی آب در گردش جهت برآورد دقیق آسیب‌های محیط‌زیستی مربوطه در تاسیسات یوتیلیتی.

**تشکر و قدردانی**

مقاله حاضر مستخرج از بخشی از طرح پژوهشی مربوط به دستور کار شماره ۱ قرارداد شماره ۴۸۵۳۴۳۸۹ فی‌مابین شرکت فولاد مبارکه و واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان مراتب سپاس خود را از کلیه همکاران طرح مذکور به ویژه مدیران و کارشناسان محترم واحدهای HSE، اکسیژن و هیدروژن و تحقیق و توسعه مجتمع فولاد مبارکه اعلام می‌دارند.

**References**

1. *Yang, Y., Chen, G., Reniers, G., Goerlandt, F., 2020. A Bibliometric Analysis of Process Safety Research in China: Understanding Safety Research Progress as a Basis for Making China's Chemical Industry More Sustainable.* Journal of Cleaner Production, Vol. 263, pp. 121433.
2. *Seligmann, B. J., Németh, E., Hangos, K. M., Cameron, I. T., 2012. A Blended Hazard Identification Methodology to Support Process Diagnosis.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 25, No. 4, pp. 746-759.
3. *Smith, P., Kincannon, H., Lehnert, R., Wang, Q., D. Larrañaga, M., 2013. Human Error Analysis of the Macondo Well Blowout.* Process Safety Progress, Vol. 32, No. 2, pp. 217-221.
4. *Swuste, P., Van Gulijk, C., Groeneweg, J., Zwaard, W., Lemkowitz, S., Guldenmund, F., 2020. From Clapham Junction to Macondo, Deepwater Horizon: Risk and Safety Management in High-Tech-High-Hazard Sectors: A Review of English and Dutch Literature: 1988–2010.* Safety science, Vol. 121, pp. 249-282.
5. *Amin, M. T., Khan, F., Amyotte, P., 2019. A Bibliometric Review of Process Safety and Risk Analysis.* Process Safety and Environmental Protection, Vol. 126, pp. 366-381.
6. *Shen, R., Jiao, Z., Parker, T., Sun, Y., Wang, Q., 2020. Recent Application of Computational Fluid Dynamics (CFD) in Process Safety and Loss Prevention: A review*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 67, pp. 104252.
7. *Aziz, A., Ahmed, S., Khan, F. I., 2019. An Ontology-based Methodology for Hazard Identification and Causation Analysis.* Process Safety and Environmental Protection, Vol. 123, pp. 87-98.
8. *Satish, R., Murugabhoopathy, K., Rajendhiran, N., Vijayan, V., 2020. Technology Strategy for Improved Safety Management in Steel Industry.* Materials today: proceedings, Vol. 33, pp. 2660-2664.
9. *Beljikangarlou, M., Naebi Taheri, M., Dehdashti, A., Fatemi, F., Besharat Zadeh, A., 2021. Risk Assessment of Occupational Safety and Health Hazards Using Job Safety Analysis: A Case Study of Steel Industry.* Journal of Preventive Medicine, Vol. 8, No. 4, pp. 25-35. *(In Persian)*
10. *Worldsteel Association, Safety and Health Committee. Safety Guidance Note Process Safety Management. 2019; Rev 2.0.*
11. *Fardafshari, M., Soltani, M. E., 2013. Argon Purification Process by*

*Hydrogen. The First National Hydrogen Conference. Shahin Shahr & Meymeh, Iran. (In Persian)*

12. *US Center for Chemical Process Safety (CCPS), 2007. Guidelines for Risk Based Process Safety.* John Wiley & Sons.
13. *Ehrampoush, M. H., Halvani, G. H., Ghaneian, M. T., Dehghani, A., Shafie, M., Hesami Arani, M., 2017. Equipment´s Environmental Risks Identification in the Hot-rolling Kavir Steel Industry Using What If and Risks Assessment Using William Fine Methods.* Occupational Medicine Quarterly Journal, Vol. 9, No. 1, pp. 84-95.
14. *Soltani, Z., Ayoubi, Sh., Khademi, H., 2017. Variability of Some Heavy Metal Concentration in Various Physical Fractions of Soil Surface of Foolad-e-Mobarakeh Steel Company, Isfahan.* Journal of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 6, No.4.
15. *Mojapelo, J., Mafini, C., Dhurup, M., 2016. Employee Perceptions of Occupational Health and Safety Standards in the Steel Industry.* International Journal of social sciences and humanity studies, Vol. 8, No.2, pp. 106-121.
16. *Dehghani, Z., Tajik, R., Zarea, R., 2020. The Relationship Between Occupational Stress and Job-Related Risks in the Steel Industry.* Journal of Arak University of Medical Sciences (JAMS). Vol. 23, No.1, pp.60-71.
17. *Beljikangarlou, M., Naebi Taheri, M., Dehdashti, A., Fatemi, F., Zadeh, A., Abbas, B., 2020. Risk Assessment of Occupational Safety and Health Using the MIL-STD Standard: A Case Study of Steel Industry.* Journal of Preventive Medicine. Vol. 8, No.1, pp. 25-35.
18. *Ghiami, M., Vaziri M.H., Gholamnia, R., Saeedi, R., Motalebi, M., 2020. Investigating the Relationship between Risk Perception, Resources and Rate of Job Stress with Occupational Accidents in a Steel Industry.* Iran Occupational Health, Vol. 17, pp.1109-1121. *(In Persian)*
19. *Nikpishe Kohjhari, F., Morovati, M., Sadeghinia, M., Amanat Yazdi, L., 2020. Assessment and Management of Environmental Risks of Steel Industries by EFMEA Method (Case Study: Ardakan Steel and Melting factory).* Journal of Environmental Health Engineering. Vol. 7, PP. 76-88. *(In Persian)*
20. *Sanjari, S., Rezaian, S., Jozi, S. A., 2017. Environmental Risk Assessment of Sponge Iron Production Unit in Khorasan Steel Company Using Comparative Methods ETBA and JSA.* Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 19, No. 5, pp. 93-102. *(In Persian)*
21. *Zahmatkesh, F., Sadr, M. K., Cheraghi, M., 2022. Environmental Risk Assessment of Steel Plant Using ANP and TOPSIS Methods (Case study: Hamadan Wian Steel Plant).* Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 24, No.3, pp. 157-169. *(In Persian)*
22. *Nezamodini, Z., Jafari, B., Sari, H., Jazayeri, S. A., 2020. Hazard Identification and Risk Assessment Using Hazard Analysis Method in Facilities Zone of a Steel Industry in Khuzestan, Iran.* Journal of health research in community, Vol. 6, No. 3, pp. 33-42. *(In Persian)*
23. *Afshari, D., Nourollahi-Darabad, M., Shirali, G. A., 2021. Applicability of WBGT Index in Determining the*

*Allowable Working Time in Hot Climate Conditions.* Journal of Health and Safety at Work, Vol. 11, No. 4, pp. 614-626. *(In Persian)*

24. *Halvani, G., Ehrampoush, M. H., Ghaneian, M. T., Dehghani, A., Hesami Arani, M., 2017. Applying Job Hazard Analysis and William Fine Methods on Risks Identification and Assessment of Jobs in Hot Rolling Steel, Iran.* Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, Vol. 26, No. 145, pp. 293-303. *(In Persian)*
25. *Rangkooy, H. A., Rashnoudi, P., Amiri, A., Shabgard, Z., 2021. The Effect of Noise on Hearing Loss and Blood Pressure of Workers in a Steel Industry in the Southwest of Iran.* Occupational Hygiene and Health Promotion, Vol. 5, No. 4, pp. 386-399. *(In Persian)*
26. *Moradi, A., Nadershahi, M., 2019. A Fuzzy Multi-Criteria Risk Assessment Based on Decision Matrix Technique: A Case Study in One of the Steel Industries.* Journal of Occupational Hygiene Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 9-18. *(In Persian)*
27. *Conejo, A. N., Birat, J. P., Dutta, A., 2020. A review of the Current Environmental Challenges of the Steel Industry and Its value Chain.* Journal of environmental management, Vol. 259, pp. 109782.
28. *Krishnamurthy, M., Ramalingam, P., Perumal, K., Kamalakannan, L.P., Chinnadurai, J., Shanmugam, R., Srinivasan, K., Venugopal, V., 2017. Occupational Heat Stress Impacts on Health and Productivity in a Steel Industry in Southern India.* Safety and health at work, Vol. 8, No.1, pp.99-104.
29. *Sun, W., Xu, X., Lv, Z., Mao, H., Wu, J., 2019. Environmental Impact Assessment of Wastewater Discharge with Multi-pollutants from Iron and Steel Industry.* Journal of environmental management, Vol. 245, pp. 210-215.
30. *Jia, J., Cheng, S., Yao, S., Xu, T., Zhang, T., Ma, Y., Wang, H., Duan, W., 2018. Emission Characteristics and Chemical Components of Size-segregated Particulate Matter in Iron and Steel Industry.* Atmospheric Environment, Vol. 182, pp. 115-127.
31. *Behbahani, S., Dashti, S., 2018. Risk Assessment in Energy Trace and Barrier Analysis using TOPSIS in Steelmaking plant of Iran National Steel Industrial Group.* Journal of Occupational Hygiene Engineering, Vol, 5. No.3, pp. 25- 34.
32. *Dewi, D., Bastori, I., Yuliyanto, A. T., Stankevica, K., Soetrisnanto, A., 2020. Manufacturing Risk Identification in the Steel Industry.* E3S Web of Conferences, 190(2):00006.
33. *Kukhar, V., Yelistratova, N., Burko, V., Nizhelska, Y., Aksionova, O., 2018. Estimation of Occupational safety Risks at Energetic Sector of Iron and Steel Works.* International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, No. 2.23, pp. 216-220.
34. *Vivek, S., Karthikeyan, N., Balan, A. V., 2015. Risk Assessment and Control Measures for Cold Rolling Mill in Steel Industry.* International Journal of Mechanical Engineering and Research, Vol. 5, No. 1, pp. 63-71.
35. *Nitin, G., Raghu, K. M., Karthick, M., 2015. Risk Assessment and Control Measures for Chemical Hazards in Stainless Steel Industry-A Review.* International Journal of Mechanical Engineering and Research, Vol. 5, No.1, pp. 71-76.