



Assess the Status of the Safety Management, Rescue, Emergency Response, and Industrial Firefighting System of the Olefin Unit at Bandar Imam Petrochemical Complex based on the Requirements of NFPA 30:2024 and NFPA 600:2020

Alireza Moaddab¹, Neda Orak^{*2} 

1. Department of Industrial Engineering, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

2. Department of Environment, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received: 2026/07/20

Accepted: 2026/09/22

Abstract

Background and Aim: The petrochemical industry is considered a high-risk industry due to the use of flammable materials and complex processes. This study aimed to assess the status of the safety, emergency response, rescue, and industrial firefighting management system at the Olefin Unit of Bandar Imam Petrochemical Complex based on the requirements of NFPA 30:2024 and NFPA 600:2020.

Methods: This applied, descriptive-analytical study collected data using a 30-item questionnaire covering four dimensions: “fixed fire-extinguishing equipment,” “personnel knowledge and preparedness,” “operational risk indicators,” and “emergency response preparedness and effectiveness.” The study population consisted of approximately 80 personnel, of whom 30 were purposively selected. Data were analyzed using descriptive statistics, a one-sample t-test, and gap analysis in SPSS. A score of 5 was considered the desired level of compliance.

Results: The mean scores for fixed fire-extinguishing equipment, personnel knowledge and preparedness, operational risk indicators, and emergency response preparedness and effectiveness were 3.12, 2.58, 3.04, and 3.05, respectively. All mean scores were significantly lower than the desired level of 5 ($P < 0.001$). The largest gap was observed in personnel knowledge and preparedness (-2.42), while the smallest gap was related to fixed fire protection equipment (-1.88). The corresponding compliance indices were 53.0%, 39.5%, 51.0%, and 51.25%, respectively.

Conclusion: The findings indicated that although the studied unit has basic safety infrastructure and capabilities, none of the assessed dimensions reached the desired level defined within the study framework.

Keywords: Bandar Imam Petrochemical Complex, Emergency response, Industrial firefighting, Safety management system

Please cite this article as:

Moaddab A., Orak N. Assess the Status of the Safety Management, Rescue, Emergency Response, and Industrial Firefighting System of the Olefin Unit at Bandar Imam Petrochemical Complex based on the Requirements of NFPA 30:2024 and NFPA 600:2020. *Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat*. 2026;14(1):16-30. <https://doi.org/10.22037/iipm.v14i1.52988>

*Corresponding Author: nedaorak@iau.ac.ir



ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد، نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین پتروشیمی

بندر امام در چارچوب الزامات استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020

علیرضا مودب^۱، ندا اورک^{۲*}

۱. گروه مهندسی صنایع، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

۲. گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: صنایع پتروشیمی به دلیل استفاده از مواد قابل اشتعال و فرآیندهای پیچیده، از صنایع پرخطر محسوب می‌شوند. این پژوهش با هدف ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد، نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین پتروشیمی بندر امام بر اساس الزامات استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 انجام شد. **روش کار:** پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-تحلیلی بود. داده‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ای ۳۰ گویه‌ای در چهار بعد «تجهیزات اطفای حریق ثابت»، «دانش و آمادگی پرسنل»، «شاخص‌های ریسک عملیاتی» و «آمادگی و کارایی واکنش اضطراری» جمع‌آوری شد. جامعه پژوهش حدود ۸۰ نفر بود که ۳۰ نفر به روش هدفمند انتخاب شدند. داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی، آزمون t تک‌نمونه‌ای و تحلیل شکاف در نرم‌افزار SPSS تحلیل شد و امتیاز ۵ به‌عنوان سطح مطلوب در نظر گرفته شد. **یافته‌ها:** میانگین امتیاز تجهیزات اطفای حریق ثابت، آمادگی و کارایی واکنش اضطراری، شاخص‌های ریسک عملیاتی و دانش و آمادگی پرسنل به ترتیب ۳/۱۲، ۳/۰۵، ۳/۰۴ و ۲/۵۸ بود که همگی به‌طور معناداری کمتر از سطح مطلوب ۵ بودند ($P < 0.001$). بیشترین شکاف مربوط به دانش و آمادگی پرسنل (۲/۴۲-) و کمترین شکاف مربوط به تجهیزات اطفای حریق ثابت (۱/۸۸-) بود. شاخص انطباق نیز به ترتیب ۵۳/۰۰، ۵۱/۲۵، ۵۱/۰۰ و ۳۹/۵۰ درصد به‌دست آمد. **نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان داد که اگرچه واحد مورد مطالعه از ظرفیت‌ها و زیرساخت‌های پایه ایمنی برخوردار است، اما در هیچ‌یک از ابعاد ارزیابی‌شده به سطح مطلوب تعریف‌شده در چارچوب ابزار پژوهش دست نیافته است.

واژگان کلیدی: امداد و نجات، آتش‌نشانی صنعتی، پتروشیمی بندر امام، سیستم مدیریت ایمنی

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

مودب ع، اورک ن. ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد، نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین پتروشیمی بندر امام در چارچوب الزامات استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020. ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها. ۱۴۰۵؛ ۱۴(۱): ۱۶-۳۰. <https://doi.org/10.22037/iipm.v14i1.52988>

*نویسنده مسئول مکاتبات: nedaorak@iau.ac.ir



مقدمه

صنایع پتروشیمی از مهم‌ترین بخش‌های صنعتی و اقتصادی هر کشور به شمار می‌روند و نقش اساسی در تأمین مواد اولیه صنایع پایین‌دستی، ایجاد ارزش افزوده، توسعه صادرات و رشد اقتصادی دارند (۱ و ۲). با وجود اهمیت راهبردی این صنعت، ماهیت فرآیندهای تولید، استفاده از حجم زیادی از مواد شیمیایی و هیدروکربنی قابل اشتعال، وجود تجهیزات تحت فشار، دما و فشار عملیاتی بالا و پیوستگی فرآیندهای تولید، موجب شده است که مجتمع‌های پتروشیمی در زمره صنایع با ریسک بالا قرار گیرند (۳). در چنین شرایطی، وقوع هرگونه نقص فنی، خطای انسانی یا ضعف مدیریتی می‌تواند به حوادثی مانند نشت مواد خطرناک، آتش‌سوزی، انفجار و انتشار آلاینده‌های شیمیایی منجر شود. این حوادث علاوه بر خسارات جانی و مالی، پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای به همراه دارند و در مواردی موجب توقف تولید، آسیب به تجهیزات و کاهش بهره‌وری سازمان می‌شوند. ازاین‌رو، توجه به مدیریت ایمنی و پیشگیری از حوادث به یکی از مهم‌ترین اولویت‌های صنایع پتروشیمی تبدیل شده است (۴ و ۵).

تجربه وقوع حوادث بزرگ صنعتی در جهان نشان داده است که بسیاری از این حوادث تنها ناشی از نقص تجهیزات نبوده، بلکه حاصل مجموعه‌ای از عوامل مدیریتی، فنی و انسانی هستند (۶). ضعف در شناسایی مخاطرات، ارزیابی نادرست ریسک، آموزش ناکافی کارکنان، عدم آمادگی مناسب برای مقابله با شرایط اضطراری، نقص در تجهیزات ایمنی و نبود هماهنگی میان تیم‌های عملیاتی از مهم‌ترین عواملی هستند که می‌توانند شدت و دامنه حوادث را افزایش دهند (۷ و ۸). به همین دلیل، امروزه مدیریت ایمنی تنها به نصب تجهیزات حفاظتی محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده شامل شناسایی و کنترل مخاطرات، مدیریت ریسک، آموزش کارکنان، پایش مستمر شرایط عملیاتی، نگهداری تجهیزات، تدوین برنامه‌های واکنش اضطراری و ارزیابی مستمر عملکرد سیستم را در بر می‌گیرد. اجرای صحیح این اقدامات می‌تواند احتمال وقوع حوادث را کاهش داده و در صورت بروز حادثه، از گسترش خسارات جلوگیری کند (۹). در میان واحدهای مختلف صنایع پتروشیمی، واحدهای تولید الفین از حساس‌ترین بخش‌های فرآیندی محسوب می‌شوند. در این واحدها حجم زیادی از مواد هیدروکربنی قابل اشتعال در شرایط دمایی و

فشاری بالا تولید، ذخیره و منتقل می‌شود و همین موضوع احتمال وقوع آتش‌سوزی، انفجار و حوادث دومینویی را افزایش می‌دهد (۱۰). علاوه بر این، پیوستگی فرآیندهای تولید در این واحدها سبب می‌شود که بروز حادثه در یک بخش بتواند سایر واحدهای عملیاتی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، برخورداری از یک سیستم جامع مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی که بتواند از مرحله پیشگیری تا کنترل و مدیریت شرایط اضطراری را پوشش دهد، برای این واحدها ضروری است (۱۱). چنین سیستمی علاوه بر برخورداری از تجهیزات مناسب، باید از نیروی انسانی آموزش‌دیده، برنامه‌های منظم آموزشی، تجهیزات استاندارد، سیستم‌های اعلام و اطفای حریق، برنامه‌های واکنش اضطراری و ساختار مدیریتی مناسب نیز برخوردار باشد (۱۲ و ۱۳).

در سال‌های اخیر استفاده از استانداردهای بین‌المللی به عنوان ابزاری برای ارتقای سطح ایمنی در صنایع مختلف مورد توجه قرار گرفته است. استانداردهای انجمن ملی حفاظت در برابر آتش (NFPA) از معتبرترین مراجع بین‌المللی در حوزه ایمنی و حفاظت در برابر حریق هستند که الزامات جامعی برای طراحی، استقرار، نگهداری و ارزیابی سیستم‌های ایمنی ارائه می‌کنند (۱۴). استاندارد NFPA 30 بر الزامات مربوط به نگهداری، انتقال، ذخیره‌سازی و کنترل مایعات قابل اشتعال و قابل احتراق تمرکز دارد و راهکارهایی برای کاهش خطرات ناشی از این مواد ارائه می‌دهد. همچنین استاندارد NFPA 600 الزامات مربوط به سازماندهی آتش‌نشانی صنعتی، آموزش کارکنان، تجهیزات مورد نیاز، نحوه انجام عملیات اطفای حریق، آمادگی واکنش اضطراری و ارزیابی عملکرد تیم‌های آتش‌نشانی را تشریح می‌کند (۱۵). استفاده از این استانداردها موجب می‌شود سازمان‌ها بتوانند میزان انطباق سیستم‌های ایمنی خود را با معیارهای بین‌المللی ارزیابی کرده و برنامه‌های اصلاحی لازم را تدوین کنند (۱۶ و ۱۷).

یکی از مهم‌ترین ابزارهای ارزیابی سیستم‌های مدیریت ایمنی، تحلیل شکاف است. در این روش، وضعیت موجود سازمان با وضعیت مطلوب مبتنی بر استانداردهای مرجع مقایسه می‌شود تا میزان فاصله میان شرایط فعلی و الزامات استاندارد مشخص شود (۲۰-۱۸). تحلیل شکاف علاوه بر شناسایی نقاط ضعف، امکان اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی را نیز فراهم می‌کند و مدیران را در تخصیص منابع، بهبود تجهیزات، ارتقای آموزش کارکنان و تقویت برنامه‌های مدیریت ریسک

تحلیل شکاف، فاصله ارزیابی شده هر یک از این ابعاد با سطح مطلوب تعیین شده در ابزار پژوهش مشخص شد. با توجه به ماهیت پرسشنامه‌ای مطالعه، نتایج بیانگر ارزیابی افراد مورد مطالعه از وضعیت موجود بر اساس گویه‌های مبتنی بر الزامات NFPA است و جایگزین ممیزی فنی مستقیم و جامع الزامات استانداردهای مذکور نمی‌شود. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش بتواند ضمن شناسایی حوزه‌های قابل بهبود، مبنایی برای برنامه‌ریزی مدیران و مسئولان HSE در راستای ارتقای سطح ایمنی، افزایش آمادگی در شرایط اضطراری، کاهش ریسک‌های عملیاتی و بهبود عملکرد سیستم مدیریت ایمنی در واحدهای پتروشیمی مشابه فراهم سازد.

روش کار

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش اجرا، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مطالعه میدانی است که با ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین مجتمع پتروشیمی بندر امام بر اساس الزامات NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 و بر اساس گویه‌های طراحی شده در ابزار پژوهش انجام شد. در مرحله نخست، الزامات و محورهای مرتبط با موضوع پژوهش از استانداردهای مذکور و منابع علمی مرتبط با ایمنی فرایندی، آتش‌نشانی صنعتی و مدیریت شرایط اضطراری استخراج شدند. سپس الزامات استخراج شده بر اساس محتوای موضوعی و قابلیت ارزیابی در محیط مورد مطالعه دسته‌بندی و به شاخص‌های قابل سنجش تبدیل شدند. به منظور عملیاتی‌سازی الزامات استانداردها، شاخص‌های استخراج شده در چهار بعد اصلی شامل «تجهیزات اطفای حریق ثابت»، «دانش و آمادگی پرسنل»، «شاخص‌های ریسک عملیاتی» و «آمادگی و کارایی واکنش اضطراری» طبقه‌بندی شدند. در این فرایند، محورهای مرتبط با حفاظت و اطفای حریق، سیستم‌های کشف و اعلام، بازرسی و نگهداری، تحلیل خطرات حریق و انفجار، کنترل منابع اشتعال و برنامه‌ریزی شرایط اضطراری از NFPA 30 و NFPA 600 مرتبط با سازماندهی و مدیریت، روش‌های عملیاتی استاندارد، مدیریت حادثه، مدیریت ریسک، آموزش، مانورها، ثبت سوابق آموزشی، آمادگی جسمانی و تجهیزات از NFPA 600 به عنوان مبنای تدوین شاخص‌های ارزیابی در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد، شاخص‌های استخراج شده بر اساس قابلیت سنجش و ارزیابی در محیط مورد مطالعه به گویه‌های

یاری می‌دهد. استفاده از این روش به ویژه در صنایع پرخطر مانند پتروشیمی، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش احتمال وقوع حوادث و افزایش آمادگی سازمان برای مقابله با شرایط اضطراری داشته باشد (۲۱ و ۲۲).

با وجود استقرار سیستم‌های مدیریت ایمنی در بسیاری از مجتمع‌های پتروشیمی کشور، بررسی میزان انطباق این سیستم‌ها با نسخه‌های جدید استانداردهای بین‌المللی به صورت جامع و نظام‌مند کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از موارد، ارزیابی‌ها تنها به بررسی تجهیزات محدود شده و ابعاد مهمی مانند دانش و آمادگی کارکنان، مدیریت ریسک، کارایی واکنش اضطراری و میزان هماهنگی میان بخش‌های مختلف کمتر بررسی شده‌اند (۲۳). این در حالی است که عملکرد مطلوب سیستم مدیریت ایمنی زمانی حاصل می‌شود که تمامی اجزای آن به صورت هماهنگ و یکپارچه عمل کنند. بنابراین، شناسایی نقاط ضعف و تعیین میزان فاصله از الزامات استانداردها می‌تواند گام مهمی در برنامه‌ریزی برای ارتقای سطح ایمنی و کاهش ریسک‌های عملیاتی باشد (۲۴-۲۶).

واحد الفین مجتمع پتروشیمی بندر امام به دلیل حجم بالای مواد قابل اشتعال، پیچیدگی فرآیندهای تولید و اهمیت راهبردی آن، یکی از واحدهایی است که نیازمند ارزیابی مستمر سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی است. با این حال، تاکنون مطالعه جامعی که میزان ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین مجتمع پتروشیمی بندر امام بر اساس استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 بررسی کرده و فاصله وضعیت موجود با وضعیت مطلوب را مشخص کند، انجام نشده است. از این رو، انجام چنین مطالعه‌ای می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره نقاط قوت، نقاط ضعف و اولویت‌های اصلاحی سیستم مدیریت ایمنی این واحد فراهم کند.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین مجتمع پتروشیمی بندر امام بر اساس الزامات NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 و بر اساس گویه‌های طراحی شده در ابزار پژوهش انجام شد. در این پژوهش، چهار بعد اصلی شامل تجهیزات اطفای حریق، دانش و آمادگی پرسنل، شاخص‌های ریسک عملیاتی و واکنش اضطراری مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از آزمون‌های آماری و

پرسشنامه تبدیل شدند. ابزار نهایی شامل ۳۰ گویه بود که در چهار بعد پژوهش توزیع شد؛ به‌طوری‌که گویه‌های ۱ تا ۸ مربوط به «تجهیزات اطفای حریق ثابت»، گویه‌های ۹ تا ۱۶ مربوط به «دانش و آمادگی پرسنل»، گویه‌های ۱۷ تا ۲۲ مربوط به «شاخص‌های ریسک عملیاتی» و گویه‌های ۲۳ تا ۳۰ مربوط به «آمادگی و کارایی واکنش اضطراری» بودند. به‌منظور مستندسازی فرایند تدوین ابزار و افزایش قابلیت ردیابی محتوایی، ارتباط گویه‌های پرسشنامه با محورهای موضوعی و الزامات مرتبط در استانداردهای مورد مطالعه در قالب ماتریس ردیابی ارائه شد. این ماتریس، مسیر تبدیل الزامات استانداردها به شاخص‌های قابل سنجش و سپس گویه‌های پرسشنامه را مستند می‌کند. جامعه آماری پژوهش شامل کلیه کارشناسان، تکنسین‌ها، سرپرستان و مدیران مرتبط با حوزه‌های ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی در مجتمع پتروشیمی بندر امام، به‌ویژه واحد الفین، بود که حجم آن حدود ۸۰ نفر برآورد شد. با توجه به ماهیت تخصصی جامعه مورد مطالعه و هدفمند بودن نمونه‌گیری، حجم نمونه بر اساس فرمول‌های نمونه‌گیری احتمالی تعیین نشد. تعداد ۳۰ نفر با توجه به محدود بودن جامعه افراد واجد شرایط، ضرورت انتخاب افراد دارای تجربه و آگاهی مرتبط با موضوع پژوهش و امکان دسترسی عملی به مشارکت‌کنندگان واجد شرایط تعیین شد. همچنین، داشتن حداقل پنج سال سابقه کاری مرتبط به‌عنوان یکی از معیارهای ورود به مطالعه در نظر گرفته شد تا پاسخ‌دهندگان از تجربه کافی در زمینه ایمنی، امداد، نجات و آتش‌نشانی صنعتی برخوردار باشند. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه ارزیابی وضعیت مبتنی بر الزامات استانداردهای NFPA بود. پرسشنامه در دو بخش تنظیم شد؛ بخش نخست شامل اطلاعات جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان و بخش دوم شامل ۳۰ گویه ارزیابی میزان انطباق بود. گویه‌های بخش ارزیابی در چهار بعد «تجهیزات اطفای حریق ثابت» (۸ گویه)، «دانش و آمادگی پرسنل» (۸ گویه)، «شاخص‌های ریسک عملیاتی» (۶ گویه) و «آمادگی و کارایی واکنش اضطراری» (۸ گویه) تنظیم شدند. گویه‌های ارزیابی بر اساس طیف پنج‌درجه‌ای لیکرت از ۱ تا ۵ امتیازدهی شدند؛ به‌گونه‌ای که امتیاز ۱ نشان‌دهنده «عدم انطباق»، امتیاز ۲ نشان‌دهنده «انطباق بسیار کم»، امتیاز ۳ نشان‌دهنده «انطباق متوسط»، امتیاز ۴ نشان‌دهنده «انطباق زیاد» و امتیاز ۵ نشان‌دهنده «انطباق کامل» با الزام مورد ارزیابی بود. بنابراین،

امتیاز ۵ به‌عنوان سطح مطلوب در نظر گرفته شد و تمامی مقایسه‌های آماری و محاسبات میزان انطباق بر اساس این مقدار انجام گرفت. به‌منظور بررسی روایی محتوایی پرسشنامه، نسخه اولیه ابزار در اختیار ۱۵ نفر از خبرگان دارای تخصص و تجربه مرتبط با حوزه‌های HSE، ایمنی صنعتی، آتش‌نشانی صنعتی و مدیریت شرایط اضطراری قرار گرفت. خبرگان، گویه‌های پرسشنامه را از نظر ارتباط و تناسب محتوایی با ابعاد مورد بررسی، وضوح و شفافیت عبارات و پوشش مناسب مؤلفه‌های مرتبط ارزیابی کردند. بر اساس نظرات و پیشنهادهای ارائه‌شده توسط خبرگان، اصلاحات لازم در محتوای گویه‌ها انجام شد و نسخه نهایی پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور بررسی پایایی ابزار، ضریب آلفای کرونباخ برای گویه‌های پرسشنامه محاسبه شد که مقدار ۰/۸۹۲ به‌دست‌آمده نشان‌دهنده پایایی قابل قبول ابزار و همسانی درونی مناسب گویه‌ها بود.

در اجرای پژوهش، مشارکت افراد به‌صورت داوطلبانه انجام شد و پیش از تکمیل پرسشنامه، هدف پژوهش و نحوه استفاده از اطلاعات برای مشارکت‌کنندگان توضیح داده شد. اطلاعات گردآوری‌شده صرفاً برای اهداف پژوهشی مورد استفاده قرار گرفت و محرمانگی پاسخ‌ها و عدم درج مشخصات فردی پاسخ‌دهندگان در گزارش نتایج رعایت شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها کدگذاری و با استفاده از شاخص‌های آمار توصیفی شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، کمترین و بیشترین مقدار تحلیل شدند. به‌منظور بررسی میزان فاصله وضعیت موجود از سطح مطلوب، میانگین هر یک از چهار بعد پژوهش با مقدار مطلوب ۵ مقایسه شد و از آزمون t تک‌نمونه‌ای برای بررسی معناداری اختلاف میانگین مشاهده‌شده با مقدار مطلوب استفاده شد. انتخاب مقدار آزمون ۵ بر این اساس بود که در مقیاس پنج‌درجه‌ای مورد استفاده، امتیاز ۵ نشان‌دهنده انطباق کامل با الزام مورد ارزیابی و بیانگر سطح مطلوب بود. با این حال، مقدار ۵ صرفاً به‌عنوان یک مقدار مرجع نظری و مبتنی بر ساختار ابزار برای مقایسه آماری در نظر گرفته شد و معناداری آزمون t به‌تنهایی به‌عنوان شاخص وضعیت نامطلوب یا عدم انطباق با استانداردهای NFPA تفسیر نشد. تفسیر وضعیت موجود عمدتاً بر اساس میانگین‌های مشاهده‌شده، میزان شکاف تا سطح مطلوب و شاخص درصدی حاصل از ابزار پژوهش انجام گرفت. با توجه به اینکه مقیاس مورد استفاده از ۱ (کمترین سطح انطباق) تا ۵

ضعف و حوزه‌های دارای نیاز به بهبود در سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین شناسایی و تفسیر شد. تمامی تحلیل‌های نهایی بر اساس داده‌های حاصل از پرسشنامه ارزیابی وضعیت مبتنی بر الزامات استانداردهای NFPA انجام گرفت.

به‌منظور مستندسازی فرایند تدوین ابزار و افزایش قابلیت ردیابی محتوایی گویه‌ها، ارتباط هر یک از ۳۰ گویه پرسشنامه با محورهای موضوعی و الزامات مرتبط در استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 در قالب ماتریس ردیابی ارائه شد. در این ماتریس، الزامات استانداردها پس از بررسی و دسته‌بندی موضوعی، به شاخص‌های قابل سنجش تبدیل و سپس در قالب گویه‌های پرسشنامه عملیاتی شدند. بنابراین، ماتریس ارائه‌شده بیانگر مبنای استاندارد و محور محتوایی هر گویه است و مسیر تبدیل الزامات استانداردها به ابعاد، شاخص‌ها و گویه‌های ارزیابی را مستند می‌کند.

گویه‌های پرسشنامه بر اساس مرور محتوایی الزامات و محورهای مرتبط در استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 و با توجه به قابلیت کاربرد آنها در محیط مورد مطالعه تدوین شدند. در جدول حاضر، برای هر گویه، استاندارد مبنا و موضوع یا الزام محتوایی مرتبط با آن ارائه شده است. این جدول با هدف شفاف‌سازی مبنای محتوایی تدوین گویه‌ها و افزایش قابلیت ردیابی ابزار ارائه شده است.

(انطباق کامل در چارچوب ابزار پژوهش) تعریف شده بود، به‌منظور تبدیل میانگین امتیازات به یک شاخص نرمال‌شده در دامنه صفر تا صد، از رابطه ۱ استفاده شد.

$$\text{رابطه ۱} \quad ((\bar{X} - 1) / 4) \times 100 = \text{شاخص انطباق برآوردشده} (\%)$$

که در آن، $\bar{X}$ میانگین مشاهده شده امتیاز گویه‌های مربوط به هر بعد است. در این تبدیل، امتیاز ۱ معادل صفر درصد و امتیاز ۵ معادل ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. این شاخص صرفاً برای توصیف و مقایسه وضعیت ابعاد مختلف در چارچوب ابزار پژوهش محاسبه شده و به معنای درصد رسمی انطباق یا نتیجه ممیزی فنی سیستم با الزامات استانداردهای NFPA نیست. همچنین، شکاف وضعیت موجود نسبت به سطح مطلوب از طریق اختلاف میانگین وضعیت موجود و مقدار مطلوب ۵ محاسبه شد (رابطه ۲).

$$\text{رابطه ۲} \quad ۵ - \text{میانگین وضعیت موجود} = \text{شکاف}$$

مقادیر منفی شکاف نشان‌دهنده فاصله وضعیت موجود از سطح مطلوب بود. در نهایت، با استفاده از تحلیل شکاف و تحلیل انطباق تطبیقی، میزان فاصله وضعیت موجود از سطح مطلوب، نقاط قوت و

جدول ۱. ماتریس ردیابی محتوایی گویه‌های پرسشنامه با محورهای مرتبط استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020

شماره	گویه	بعد	استاندارد	فصل	بخش مرتبط	مبنای محتوایی تدوین گویه
۱	کفایت تجهیزات ثابت اطفای حریق متناسب با خطرات	تجهیزات اطفای	NFPA30:2024	۶	6.7 Fire Protection and Fire Suppression Systems	کفایت و تناسب سامانه‌های حفاظت و اطفای حریق با نوع متناسب با خطرات
۲	وجود سیستم‌های کشف و اعلام حریق	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.6 Detection and Alarm Systems and Procedures	تأمین و دسترسی‌پذیری سامانه‌های کشف، اعلام و اطلاع‌رسانی حریق
۳	آمادگی عملیاتی سیستم‌های اطفای حریق	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.7 Fire Protection and Fire Suppression Systems	قابلیت بهره‌برداری و آمادگی عملیاتی تجهیزات و سامانه‌های حفاظت در برابر حریق
۴	بازرسی و نگهداری دوره ای تجهیزات	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.10 Inspection and Maintenance	انجام بازرسی‌ها، آزمون‌های دوره‌ای و نگهداری مناسب تجهیزات حفاظت در برابر حریق
۵	دسترسی مناسب به تجهیزات اطفای	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.7 Fire Protection and Fire Suppression Systems	دسترسی مناسب و بدون مانع به تجهیزات و سامانه‌های اطفای حریق در شرایط اضطراری
۶	تناسب تجهیزات با نوع خطر	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.4 Hazards Analysis 6.7 Fire Protection and Fire Suppression Systems	انتخاب و به‌کارگیری تجهیزات حفاظت در برابر حریق متناسب با ماهیت مواد و خطرات موجود
۷	آزمون و پایش عملکرد تجهیزات	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.10 Inspection and Maintenance	آزمون، کنترل و پایش منظم عملکرد تجهیزات و سامانه‌های حفاظت در برابر حریق
۸	ثبت و رفع نقص تجهیزات	تجهیزات اطفای	NFPA30: 2024	۶	6.10 Inspection and Maintenance	شناسایی، ثبت، پیگیری و رفع نواقص شناسایی‌شده در تجهیزات حفاظت حریق
۹	آموزش کارکنان برای وظایف اضطراری	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.6 Training and Education	آموزش کارکنان برای ایفای وظایف و مسئولیت‌های تعیین‌شده در شرایط اضطراری و حریق

جدول ۱. ماتریس ردیابی محتوایی گویه‌های پرسشنامه با محورهای مرتبط استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020

شماره	گویه	بعد	استاندارد	فصل	بخش مرتبط	مبنای محتوایی تدوین گویه
۱۰	آگاهی از وظایف هنگام حریق	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.9 Responsibilities in the Facility Brigade Organization	آگاهی کارکنان از نقش، وظایف و مسئولیت‌های خود در هنگام وقوع حریق
۱۱	تناسب آموزش با خطرات و وظایف	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.6 Training and Education	تناسب محتوای آموزش‌های ایمنی و آتش‌نشانی با وظایف شغلی و خطرات محیط کار
۱۲	مشارکت در مانورها	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.7 Drills	مشارکت کارکنان در تمرین‌ها و مانورهای مرتبط با شرایط اضطراری و ارزیابی آمادگی آنان
۱۳	ثبت سوابق آموزش و مانورها	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.8 Training and Drill Records	ثبت و نگهداری سوابق آموزش‌ها، تمرین‌ها و مانورهای انجام‌شده
۱۴	رعایت روش‌های عملیاتی استاندارد	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.3 Standard Operating Procedures (SOP)	آشنایی و تبعیت کارکنان از روش‌های عملیاتی و دستورالعمل‌های مرتبط با عملیات آتش‌نشانی و اضطراری
۱۵	آمادگی جسمانی و شغلی	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.10 Medical and Job-Related Physical Requirements	برخوردار بودن نیروهای عملیاتی از آمادگی جسمانی و شرایط لازم برای انجام وظایف محوله
۱۶	بازنگری برنامه آموزش و آمادگی	دانش و آمادگی	NFPA600:2020	۴	4.6 Training and Education	بازبینی و به‌روزرسانی برنامه‌های آموزش، آمادگی و تمرین بر اساس نیازها و نتایج ارزیابی‌ها
۱۷	شناسایی خطرات حریق و انفجار	ریسک عملیاتی	NFPA30:2024	۶	6.4 Hazards Analysis	شناسایی خطرات مرتبط با حریق و انفجار ناشی از مواد و فرایندهای موجود
۱۸	استفاده از تحلیل خطر در تصمیم‌گیری	ریسک عملیاتی	NFPA30: 2024	۶	6.4 Hazards Analysis	استفاده از نتایج شناسایی و ارزیابی خطر در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با حفاظت و ایمنی
۱۹	شناسایی و کنترل منابع اشتعال	ریسک عملیاتی	NFPA30: 2024	۶	6.5 Control of Ignition Sources	شناسایی منابع بالقوه اشتعال و اجرای اقدامات کنترلی برای کاهش احتمال حریق
۲۰	اجرای اقدامات متناسب با سطح ریسک	ریسک عملیاتی	NFPA30:2024/ NFPA600:2020	۶	6.3 Management of Fire and Explosion Hazards 6.4 Hazards Analysis	انتخاب و اجرای اقدامات پیشگیرانه و کنترلی متناسب با سطح خطر و ریسک شناسایی‌شده
۲۱	ارزیابی خطرات ناشی از تغییرات عملیاتی	ریسک عملیاتی	NFPA30: 2024	۶	6.4 Hazards Analysis	شناسایی و ارزیابی پیامدهای ایمنی و حریق ناشی از تغییر در شرایط یا عملیات واحد
۲۲	استفاده از نتایج ارزیابی ریسک	ریسک عملیاتی	NFPA600:2020	۴	4.5 Risk Management Policy	به‌کارگیری نتایج ارزیابی خطر در برنامه‌ریزی، اقدامات پیشگیرانه و آمادگی عملیاتی
۲۳	وجود برنامه واکنش اضطراری	واکنش اضطراری	NFPA30: 2024	۶	6.9 Emergency Planning and Training	وجود برنامه مشخص و مدون برای واکنش به حوادث و شرایط اضطراری مرتبط با حریق
۲۴	تعیین وظایف و مسئولیت‌ها	واکنش اضطراری	NFPA30:2024/ NFPA600:2020	۴	6.9 Organization and Administration 4.9 Responsibilities	تعیین روشن نقش‌ها، وظایف و مسئولیت‌های افراد و تیم‌های درگیر در واکنش اضطراری
۲۵	اعلام حریق و اطلاع‌رسانی اضطراری	واکنش اضطراری	NFPA30: 2024	۶	6.6 Detection and Alarm Systems and Procedures	وجود سازوکار مناسب برای اعلام حریق، اطلاع‌رسانی و انتقال پیام‌های اضطراری
۲۶	اجرای مانورهای اضطراری	واکنش اضطراری	NFPA30:2024/ NFPA600:2020	۴	4.7 Drills	اجرای تمرین‌ها و مانورهای اضطراری برای سنجش و ارتقای آمادگی واکنش
۲۷	هماهنگی کارکنان و تیم آتش‌نشانی	واکنش اضطراری	NFPA600:2020	۴	4.2 Organization Administration 4.9 Responsibilities	هماهنگی و همکاری میان کارکنان، تیم آتش‌نشانی و سایر عوامل درگیر در عملیات اضطراری
۲۸	مدیریت و فرماندهی حادثه	واکنش اضطراری	NFPA600:2020	۴	4.4 Incident Management System (IMS)	وجود ساختار مشخص برای فرماندهی، مدیریت و هماهنگی عملیات هنگام وقوع حادثه
۲۹	ارزیابی عملکرد پس از مانور یا حادثه	واکنش اضطراری	NFPA600:2020	۴	4.7 Drills 4.8 Training and Drill Records	ارزیابی عملکرد پس از مانورها یا حوادث و استفاده از نتایج برای شناسایی نقاط ضعف و بهبود آمادگی
۳۰	تناسب نیروی انسانی و تجهیزات واکنش	واکنش اضطراری	NFPA600:2020	۴	4.2 Organization Administration 4.11 Facility Fire Brigade Equipment	تناسب تعداد و توانمندی نیروی انسانی و تجهیزات موجود با وظایف و نیازهای واکنش اضطراری

یافته‌ها

بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان نشان داد که از مجموع ۳۰ نفر شرکت‌کننده، بیشترین فراوانی مربوط به گروه سنی ۳۱ تا ۳۵ سال با ۹ نفر (۳۰ درصد) بود. همچنین گروه‌های سنی ۳۶ تا ۴۰ سال و بیش از ۴۰ سال هر کدام با ۸ نفر (۲۶/۷ درصد) در رتبه بعدی قرار داشتند و ۵ نفر (۱۶/۷ درصد) نیز در گروه سنی ۲۵ تا ۳۰ سال قرار گرفتند. به‌طور کلی، ۴۶/۷ درصد از پاسخ‌دهندگان کمتر از ۳۵ سال و ۵۳/۳ درصد بیش از ۳۵ سال سن داشتند که نشان‌دهنده ترکیب متعادلی از نیروهای جوان و افراد با تجربه در نمونه مورد مطالعه است. از نظر سطح تحصیلات، بیشترین فراوانی مربوط به افراد دارای مدرک کارشناسی با ۱۷ نفر (۵۶/۷ درصد) بود. همچنین ۹ نفر (۳۰ درصد) دارای مدرک کارشناسی ارشد، ۳ نفر (۱۰ درصد) دارای مدرک کاردانی و تنها ۱ نفر (۳/۳ درصد) دارای مدرک دکتری بودند. در مجموع، بیش از ۹۰ درصد پاسخ‌دهندگان دارای تحصیلات دانشگاهی در سطح کارشناسی و بالاتر بودند که بیانگر برخورداری نمونه از سطح علمی مناسب است. در مجموع، ترکیب سنی و سطح تحصیلات پاسخ‌دهندگان نشان می‌دهد که نمونه پژوهش از تنوع و تعادل مناسبی برخوردار است. حضور ۵۳/۳ درصد افراد بالای ۳۵ سال در کنار ۴۶/۷ درصد افراد جوان‌تر و همچنین برخورداری ۸۶/۷ درصد از پاسخ‌دهندگان از مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد، بیانگر آن است که شرکت‌کنندگان از تجربه و دانش تخصصی کافی برخوردار بوده و می‌توانند دیدگاه‌های قابل اعتماد و معتبری در زمینه موضوع پژوهش ارائه دهند. برای انتخاب نوع آزمون‌های آماری (پارامتری یا غیرپارامتری)، ابتدا فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها بررسی شد. جدول ۲ نتایج آزمون نرمال بودن (K-S) را نشان داده است.

جدول ۲. نتایج آزمون نرمال بودن (K-S)

متغیرها	آماره آزمون	سطح معناداری (sig)	وضعیت
تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30)	۰/۰۷۲	۰/۱۸۰	نرمال
دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600)	۰/۰۶۵	۰/۲	نرمال
شاخص‌های ریسک عملیاتی	۰/۰۸۱	۰/۰۹۵	نرمال
واکنش اضطراری	۰/۰۵۹	۰/۲	نرمال

به‌منظور تعیین نوع آزمون‌های آماری مناسب (پارامتری یا ناپارامتری)، نرمال بودن توزیع داده‌های مربوط به متغیرهای پژوهش با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفت.

در این آزمون، اگر مقدار سطح معناداری (Sig) بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها رد نمی‌شود و می‌توان از آزمون‌های پارامتری استفاده کرد.

برای متغیر تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30) مقدار آماره آزمون ۰/۰۷۲ و سطح معناداری ۰/۱۸۰ به دست آمده است. از آنجا که مقدار Sig بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، توزیع این متغیر نرمال در نظر گرفته می‌شود. در متغیر دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600) مقدار آماره آزمون ۰/۰۶۵ و سطح معناداری ۰/۲ گزارش شده است که نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع داده‌ها در این بعد نیز می‌باشد. برای شاخص‌های ریسک عملیاتی مقدار آماره ۰/۰۸۱ و سطح معناداری ۰/۰۹۵ به دست آمده است. با توجه به اینکه سطح معناداری همچنان بیشتر از ۰/۰۵ است، فرض نرمال بودن در این متغیر نیز تأیید می‌شود. در متغیر واکنش اضطراری نیز مقدار آماره آزمون ۰/۰۵۹ و سطح معناداری ۰/۲ گزارش شده که نشان‌دهنده توزیع نرمال داده‌ها در این شاخص است. شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متغیرهای چهارگانه بر اساس طیف لیکرت (۱ تا ۵) محاسبه شده است. جدول ۲ میانگین و انحراف معیار متغیرها را نشان داده است. به‌منظور توصیف وضعیت متغیرهای اصلی پژوهش، از شاخص‌های آماری شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، کمترین و بیشترین مقدار استفاده شد. نتایج جدول ۳ این تحلیل تصویری کلی از وضعیت موجود سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی در واحد الفین پتروشیمی بندرامام ارائه می‌دهد.

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار متغیرها

متغیرها	میانگین	میانه	انحراف کمترین	بیشترین
تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30)	۳/۱۲	۳/۰۰	۰/۶۸	۴/۵۰
واکنش اضطراری	۳/۰۵	۳/۰۰	۰/۵۹	۴/۲۰
شاخص‌های ریسک عملیاتی	۳/۰۴	۳/۵۰	۰/۷۹	۴/۸۰
دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600)	۲/۵۸	۳/۰۰	۰/۷۴	۴/۰۰

بر اساس نتایج جدول ۳، میانگین متغیرهای مورد بررسی در دامنه ۲/۵۸ تا ۳/۱۲ قرار دارد که بیانگر تفاوت نسبی در وضعیت مؤلفه‌های مختلف ایمنی و مدیریت شرایط اضطراری در واحد مورد مطالعه است. در میان متغیرهای بررسی‌شده، تجهیزات اطفای حریق بر اساس الزامات NFPA 30 با میانگین ۳/۱۲ و انحراف معیار ۰/۶۸ بالاترین میانگین را به خود اختصاص داده است. میانه این متغیر نیز ۳/۰۰

جدول نشان می‌دهد که در کنار میانگین بالاتر تجهیزات اطفای حریق و واکنش اضطراری نسبت به دو بعد دیگر، تقویت آموزش، دانش تخصصی و آمادگی کارکنان می‌تواند یکی از مهم‌ترین زمینه‌های قابل بهبود در راستای ارتقای سطح انطباق سیستم مدیریت ایمنی با الزامات NFPA 30 و NFPA 600 باشد. پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، به‌منظور بررسی فاصله میانگین وضعیت ارزیابی‌شده در چهار بعد پژوهش با سطح مطلوب تعیین‌شده در ابزار پژوهش (امتیاز ۵)، از آزمون t تک‌نمونه‌ای استفاده شد. نتایج حاصل در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: نتایج آزمون t برای متغیرهای تحقیق

متغیرها	مقدار آزمون میانگین اختلاف (مطلوب)	آماره t معناداری
تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30)	۵/۰۰	۳/۱۲ - ۱/۸۸ - ۱۵/۱۴ - ۰/۰۰۱
واکنش اضطراری	۵/۰۰	۳/۰۵ - ۱/۹۵ - ۱۸/۱۰ - ۰/۰۰۱
شاخص‌های ریسک عملیاتی	۵/۰۰	۳/۰۴ - ۱/۹۶ - ۱۳/۵۹ - ۰/۰۰۱
دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600)	۵/۰۰	۲/۵۸ - ۲/۴۲ - ۱۷/۹۱ - ۰/۰۰۱

بر اساس جدول ۴ و بر اساس نتایج آزمون t تک‌نمونه‌ای، میانگین هر چهار بعد با مقدار مرجع ۵ تفاوت آماری معناداری داشت ($P < 0.001$). با توجه به اینکه مقدار ۵ در این پژوهش به‌عنوان سطح مطلوب و مرجع نظری ابزار تعریف شده بود، این معناداری صرفاً بیانگر وجود فاصله آماری میان میانگین مشاهده‌شده و مقدار مرجع است و به‌تنهایی بیانگر عدم انطباق رسمی با الزامات NFPA نیست. از نظر عملی، میزان این فاصله بر اساس مقدار شکاف و میانگین هر بعد تفسیر شد. در تمامی موارد، اختلاف میانگین منفی است که نشان می‌دهد میانگین وضعیت موجود پایین‌تر از سطح مطلوب قرار دارد.

در این میان، تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30) دارای میانگین ۳/۱۲ بوده و با اختلاف ۱/۸۸- نسبت به مقدار مطلوب، آماره t برابر با ۱۵/۱۴- را نشان داده است. همچنین، دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600) با میانگین ۲/۵۸ بیشترین فاصله را از سطح مطلوب داشته و اختلاف میانگین آن ۲/۴۲- و آماره t برابر با ۱۷/۹۱- گزارش شده است. این نتیجه بیانگر ضعف نسبی بیشتر در زمینه دانش و آمادگی کارکنان به دلیل میانگین پایین‌تر و شکاف بیشتر می‌باشد. در مورد واکنش اضطراری میانگین ۳/۰۵ بوده و اختلاف آن با سطح مطلوب ۱/۹۵- است؛ آماره t این متغیر نیز ۱۸/۱۰- گزارش شده است.

گزارش شده و دامنه مقادیر مشاهده‌شده از ۱/۵۰ تا ۴/۵۰ بوده است. نزدیکی میانگین و میانه نشان می‌دهد که توزیع نمرات این مؤلفه تا حد زیادی حول مقدار مرکزی متمرکز بوده است. همچنین، انحراف معیار ۰/۶۸ نشان‌دهنده پراکندگی نسبتاً محدود پاسخ‌ها در مقایسه با سایر مؤلفه‌هاست. در رتبه بعد، واکنش اضطراری با میانگین ۳/۰۵ و میانه ۳/۰۰ قرار دارد. انحراف معیار این متغیر برابر با ۰/۵۹ بوده که کمترین میزان پراکندگی در میان چهار متغیر مورد بررسی را نشان می‌دهد. دامنه نمرات واکنش اضطراری نیز از ۱/۸۰ تا ۴/۲۰ متغیر بوده است. پایین بودن انحراف معیار در این مؤلفه نشان می‌دهد که پاسخ‌های افراد مورد مطالعه نسبت به سایر متغیرها همگن‌تر بوده و ارزیابی آنان از وضعیت واکنش اضطراری به یکدیگر نزدیک‌تر است. شاخص‌های ریسک عملیاتی دارای میانگین ۳/۰۴ و میانه ۳/۵۰ هستند. انحراف معیار ۰/۷۹ برای این متغیر، بیشترین میزان پراکندگی را در میان متغیرهای جدول نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص در دامنه ۲/۰۰ تا ۴/۸۰ قرار گرفته است. تفاوت میان میانگین (۳/۰۴) و میانه (۳/۵۰) نیز نشان می‌دهد که توزیع پاسخ‌ها در این متغیر نسبت به سایر مؤلفه‌ها از تقارن کمتری برخوردار بوده و برخی مقادیر پایین‌تر بر میانگین اثر گذاشته‌اند.

در مقابل، دانش و آمادگی پرسنل بر اساس الزامات NFPA 600 با میانگین ۲/۵۸ و میانه ۳/۰۰ پایین‌ترین میانگین را در بین متغیرهای مورد بررسی دارد. انحراف معیار این متغیر ۰/۷۴ بوده و دامنه نمرات آن از ۱/۲۰ تا ۴/۰۰ گزارش شده است. پایین‌تر بودن میانگین این مؤلفه در مقایسه با سایر متغیرها می‌تواند نشان‌دهنده وجود ضعف نسبی در سطح دانش، آموزش و آمادگی کارکنان برای مواجهه با شرایط اضطراری و حریق باشد. همچنین، فاصله میان میانگین و میانه در این متغیر نشان می‌دهد که بخشی از پاسخ‌ها در سطوح پایین‌تر قرار داشته‌اند.

در مجموع، مقایسه میانگین چهار متغیر نشان می‌دهد که تجهیزات اطفای حریق (۳/۱۲)، واکنش اضطراری (۳/۰۵) و شاخص‌های ریسک عملیاتی (۳/۰۴) از وضعیت نسبتاً مشابهی برخوردارند، در حالی که دانش و آمادگی پرسنل (۲/۵۸) در پایین‌ترین سطح قرار گرفته است. از نظر پراکندگی نیز، واکنش اضطراری با انحراف معیار ۰/۵۹ دارای همگن‌ترین پاسخ‌ها و شاخص‌های ریسک عملیاتی با انحراف معیار ۰/۷۹ دارای بیشترین پراکندگی پاسخ‌هاست. بنابراین، نتایج توصیفی

نشان داد که در هر چهار بعد مورد بررسی، سطحی از وضعیت مطلوب در چارچوب ابزار پژوهش وجود داشت، اما هیچ‌یک از ابعاد به سطح مطلوب تعیین‌شده، یعنی امتیاز ۵، دست نیافتند. در میان ابعاد بررسی‌شده، تجهیزات ثابت اطفای حریق با میانگین ۱۲/۳ بالاترین امتیاز را داشت، پس از آن آمادگی و کارایی واکنش اضطراری با میانگین ۰۵/۳ و شاخص‌های ریسک عملیاتی با میانگین ۰۴/۳ قرار گرفتند و دانش و آمادگی پرسنل با میانگین ۵۸/۲ پایین‌ترین امتیاز را به خود اختصاص داد. این الگو نشان می‌دهد که در کنار وجود ظرفیت‌ها و سازوکارهای پایه ایمنی در واحد مورد مطالعه، برخی مؤلفه‌های انسانی، عملیاتی و مدیریتی همچنان نیازمند تقویت هستند. همچنین، نتایج حاضر را نباید صرفاً به کمبود تجهیزات یا ضعف یک بخش خاص نسبت داد؛ زیرا وضعیت سیستم ایمنی حاصل تعامل میان تجهیزات، نیروی انسانی، مدیریت ریسک و ظرفیت واکنش اضطراری است. لازم به تأکید است که یافته‌های این پژوهش بر اساس پاسخ افراد دارای تجربه مرتبط به گویه‌های پرسشنامه به دست آمده‌اند و بیانگر ارزیابی پاسخ‌دهندگان از وضعیت موجود بر اساس الزامات و محورهای استخراج‌شده از استانداردهای NFPA هستند. بنابراین، نتایج حاصل معادل ممیزی فنی مستقیم یا تأیید رسمی انطباق واحد با تمامی الزامات قابل اعمال NFPA نیستند. در این چارچوب، تحلیل شکاف و شاخص‌های انطباق برآوردشده عمدتاً برای توصیف وضعیت موجود، مقایسه نسبی ابعاد و شناسایی حوزه‌های دارای فاصله از سطح مطلوب تعریف‌شده در ابزار پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در میان چهار بعد مورد بررسی، شاخص‌های ریسک عملیاتی با میانگین ۰۴/۳ و شاخص انطباق برآوردشده ۵۱ درصد، سومین جایگاه را از نظر امتیاز به خود اختصاص دادند. بنابراین، نمی‌توان این بعد را در مقایسه با سایر ابعاد، مناسب‌ترین وضعیت دانست؛ بلکه تجهیزات ثابت اطفای حریق با میانگین ۱۲/۳ بالاترین و دانش و آمادگی پرسنل با میانگین ۵۸/۲ پایین‌ترین امتیاز را داشتند. وضعیت ریسک عملیاتی می‌تواند تا حدی با ماهیت فرایندی مجتمع‌های پتروشیمی ارتباط داشته باشد؛ زیرا شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک و کنترل مخاطرات در چنین محیط‌هایی بخش مهمی از فعالیتهای روزمره HSE محسوب می‌شود. با این حال، فاصله این بعد از سطح مطلوب نشان می‌دهد که وجود فرایندهای رسمی شناسایی خطر و ارزیابی ریسک لزوماً به معنای استفاده کامل و مستمر از نتایج آنها در

برای شاخص‌های ریسک عملیاتی، میانگین برابر با ۰۴/۳، اختلاف میانگین ۱/۹۶- و آماره t برابر با ۱۳/۵۹- به دست آمده است. در مجموع، اگرچه میانگین تجهیزات اطفای حریق (۳/۱۲) در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها بالاتر است، اما همچنان ۱/۸۸ واحد پایین‌تر از سطح مطلوب قرار دارد. از سوی دیگر، دانش و آمادگی پرسنل با میانگین ۲/۵۸ و اختلاف ۲/۴۲- نامطلوب‌ترین وضعیت را نشان می‌دهد. بنابراین، نتایج آزمون t حاکی از آن است که هر چهار مؤلفه از سطح مطلوب ۵ فاصله معناداری دارند و ارتقای دانش و آمادگی پرسنل، تجهیزات اطفای حریق، مدیریت ریسک‌های عملیاتی و توان واکنش اضطراری برای نزدیک شدن به سطح مطلوب ضروری است.

جدول ۵. تحلیل شکاف وضعیت موجود و مطلوب

متغیرها	وضع موجود	وضع مطلوب	شکاف	شاخص انطباق برآورد شده
تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30)	۳/۱۲	۵/۰۰	-۱/۸۸	۵۳/۰۰
واکنش اضطراری	۳/۰۵	۵/۰۰	-۱/۹۵	۵۱/۲۵
شاخص‌های ریسک عملیاتی	۳/۰۴	۵/۰۰	-۱/۹۶	۵۱/۰۰
دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600)	۲/۵۸	۵/۰۰	-۲/۴۲	۳۹/۵۰

بر اساس نتایج جدول ۵، بیشترین میزان انطباق مربوط به تجهیزات اطفای حریق (NFPA 30) با ۵۳/۰۰ درصد است که شکاف آن با وضعیت مطلوب ۱/۸۸- گزارش شده است. پس از آن، واکنش اضطراری با ۵۱/۲۵ درصد و شاخص‌های ریسک عملیاتی با ۵۱/۰۰ درصد قرار دارند. کمترین میزان انطباق مربوط به دانش و آمادگی پرسنل (NFPA 600) با ۳۹/۵۰ درصد و بیشترین شکاف (۲/۴۲) است. در مجموع، هیچ‌یک از مؤلفه‌ها به سطح مطلوب ۵ نرسیده‌اند و میزان انطباق کلی نشان‌دهنده وجود شکاف قابل توجه میان وضعیت موجود و الزامات مطلوب است؛ به‌ویژه در حوزه دانش و آمادگی پرسنل که نیازمند توجه و بهبود بیشتری است.

بحث

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین مجتمع پتروشیمی بندر امام در چارچوب الزامات NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 و بر اساس گویه‌های طراحی‌شده در ابزار پژوهش انجام شد. الگوی کلی یافته‌ها

مشاهده‌شده در بعد تجهیزات لزوماً به معنای نبود یا کمبود فیزیکی تجهیزات نیست؛ بلکه می‌تواند با نحوه مدیریت چرخه عمر تجهیزات، نگهداری، آزمون و اطمینان از آمادگی عملیاتی آنها نیز مرتبط باشد. تفاوت دو مطالعه در این است که پژوهش آیوموه و اونگوا (۱) از رویکرد مرور نظام‌مند استفاده کردند و به دنبال شناسایی چالش‌های کلان مدیریت یکپارچگی دارایی‌ها بودند، در حالی که پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های یک واحد صنعتی، وضعیت تجهیزات اطفای حریق را در قالب شاخص‌های حاصل از ابزار پژوهش بررسی کرده است. بنابراین، پژوهش حاضر شواهد موردی و کمی برای اهمیت موضوعی فراهم می‌کند که در مطالعه مروری مذکور در سطح مفهومی مطرح شده است.

در مقابل، مهم‌ترین فاصله از سطح مطلوب در پژوهش حاضر مربوط به بعد دانش و آمادگی پرسنل بود. میانگین ۵۸/۲ و شاخص انطباق برآوردشده ۵/۳۹ درصد برای این بعد نشان می‌دهد که در مقایسه با سایر ابعاد، این حوزه نیازمند توجه بیشتری است. این یافته می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که توسعه زیرساخت‌های فنی الزاماً همگام با توسعه شایستگی‌های انسانی پیش نرفته است. در صنایع پرخطر، کارکنان باید علاوه بر آشنایی نظری با الزامات ایمنی، توانایی تشخیص شرایط غیرعادی، اجرای روش‌های عملیاتی، استفاده از تجهیزات، برقراری ارتباط و تصمیم‌گیری در شرایط اضطراری را نیز داشته باشند. از این رو، اثربخشی آموزش را نمی‌توان تنها بر اساس برگزاری دوره‌های آموزشی سنجید و لازم است آموزش با تمرین عملی، مانور، ارزیابی شایستگی و بازخورد پس از تمرین همراه باشد. این یافته را می‌توان در کنار نتایج سفیتری و همکاران (۲۵) تفسیر کرد. آنان مدیریت واکنش اضطراری را با استفاده از الزامات NFPA 1600 بررسی کردند و بر نقش سازماندهی، آموزش، ارتباطات، رویه‌ها و آمادگی تیم واکنش اضطراری تأکید داشتند. مطالعه آنان میزان انطباق بالاتری نسبت به پژوهش حاضر گزارش کرد؛ با این حال، مقایسه مستقیم این درصدها باید با احتیاط انجام شود. تفاوت در استاندارد مورد استفاده، نوع سازمان، دامنه شاخص‌ها، جامعه آماری و روش ارزیابی می‌تواند به اختلاف نتایج منجر شود. در پژوهش سفیتری و همکاران تمرکز اصلی بر مدیریت واکنش اضطراری بود، در حالی که در پژوهش حاضر دانش و آمادگی پرسنل تنها یکی از چهار بعد ارزیابی محسوب می‌شود و در کنار تجهیزات، ریسک عملیاتی و واکنش اضطراری بررسی شده است.

تصمیم‌گیری‌های عملیاتی نیست. در محیط‌های فرایندی، تغییر مواد، تجهیزات، شرایط بهره‌برداری و سناریوهای اضطراری می‌تواند سطح ریسک را تغییر دهد؛ بنابراین، اثربخشی مدیریت ریسک به به‌روزرسانی ارزیابی‌ها و انتقال نتایج آنها به برنامه‌های عملیاتی وابسته است. این یافته با مطالعه لی و همکاران (۲۶) همخوانی مفهومی دارد. آنان در بررسی مدیریت اضطراری حریق در تأسیسات پتروشیمی، یک چارچوب چندمرحله‌ای مبتنی بر پیش‌بینی ریسک، پایش، هشدار، تصمیم‌گیری و واکنش اضطراری ارائه کردند و بر ارتباط میان ارزیابی خطر و اقدامات پاسخ تأکید داشتند (۲۶). وجه اشتراک دو مطالعه در این است که مدیریت ریسک زمانی می‌تواند به ارتقای ایمنی منجر شود که نتایج آن به تصمیم‌گیری و آمادگی اضطراری منتقل شود. با این حال، تفاوت مهمی وجود دارد: مطالعه لی و همکاران (۲۶) عمدتاً بر توسعه یک نظام مدیریت و پیش‌بینی ریسک تمرکز داشت، در حالی که پژوهش حاضر وضعیت موجود یک واحد صنعتی را در چارچوب الزامات NFPA و بر اساس داده‌های حاصل از پرسشنامه پژوهش بررسی کرده است. بنابراین، یافته حاضر را می‌توان مکمل مطالعات مدل‌محور دانست؛ زیرا نشان می‌دهد وجود سازوکارهای مدیریت ریسک، در چارچوب ارزیابی انجام‌شده، الزاماً به معنای دستیابی به سطح مطلوب تعریف‌شده در ابزار پژوهش نیست.

بعد تجهیزات ثابت اطفای حریق با میانگین ۱۲/۳ و شاخص انطباق برآوردشده ۵۳ درصد، بالاترین امتیاز را در میان ابعاد مورد بررسی به خود اختصاص داد. این وضعیت می‌تواند تا حدی ناشی از آن باشد که تجهیزات حفاظت در برابر حریق در صنایع پتروشیمی معمولاً از طریق الزامات فنی، برنامه‌های نگهداری و الزامات HSE تحت کنترل قرار دارند و توجه به این تجهیزات از اولویت‌های مهم واحدهای فرایندی است. با این حال، فاصله موجود از سطح مطلوب نشان می‌دهد که وجود تجهیزات به‌تنهایی برای تضمین آمادگی سیستم کافی نیست و کفایت تجهیزات متناسب با سناریوهای خطر، قابلیت اطمینان، دسترسی، آزمون عملکرد، بازرسی و رفع نواقص نیز باید به‌طور مستمر مورد توجه قرار گیرد. این یافته با نتایج آیوموه و اونگوا (۱) قابل مقایسه است. آنان در یک مرور نظام‌مند درباره پایداری مدیریت یکپارچگی دارایی‌ها و مدیریت ایمنی فرایندی در تأسیسات پتروشیمی، بر ضرورت یکپارچگی مدیریت تجهیزات و فرایندهای ایمنی تأکید کردند (۱). مقایسه این نتیجه با پژوهش حاضر نشان می‌دهد که فاصله

بنابراین، تفاوت نتایج الزاماً نشان‌دهنده عملکرد ضعیف‌تر یک سازمان نسبت به سازمان دیگر نیست، بلکه می‌تواند ناشی از تفاوت چارچوب سنجش باشد. وجه مشترک دو مطالعه آن است که آموزش، سازماندهی و آمادگی عملیاتی کارکنان از عناصر مهم در اثربخشی واکنش اضطراری محسوب می‌شوند.

در بعد واکنش اضطراری نیز وضعیت موجود از سطح مطلوب فاصله داشت. این بعد با میانگین $0.5/3$ و شاخص انطباق برآوردشده $25/51$ درصد، پس از تجهیزات ثابت اطفای حریق در رتبه دوم قرار گرفت. این یافته می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که وجود برنامه رسمی واکنش اضطراری به‌تنهایی تضمین‌کننده آمادگی واقعی سازمان نیست. اثربخشی واکنش اضطراری به عواملی مانند وضوح نقش‌ها و مسئولیت‌ها، سرعت اعلام حادثه، ارتباطات، هماهنگی میان واحدها، فرماندهی حادثه، کفایت نیروی انسانی و تجهیزات و یادگیری از مانورها و حوادث وابسته است. از این منظر، فاصله مشاهده‌شده در این بعد می‌تواند تا حدی ناشی از فاصله میان «وجود برنامه» و «توانایی اجرای مؤثر برنامه در شرایط واقعی» باشد. این موضوع با مطالعه پارک و پارک (۲) نیز قابل تفسیر است. آنان با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها برای ارزیابی عملکرد سیستم مدیریت ایمنی در صنایع پتروشیمی نشان دادند که عملکرد ایمنی حاصل اثرگذاری متقابل مؤلفه‌های مختلف سیستم است و نمی‌توان عملکرد کلی را صرفاً با بررسی یک مؤلفه منفرد توضیح داد (۲). این نتیجه با الگوی پژوهش حاضر همخوانی دارد؛ زیرا چهار بعد بررسی‌شده اگرچه به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری شده‌اند، در عمل به یکدیگر وابسته‌اند. برای مثال، تجهیزات مناسب بدون کارکنان آموزش‌دیده ممکن است در شرایط اضطراری کارایی مورد انتظار را نداشته باشند و آموزش کارکنان نیز بدون تجهیزات قابل اتکا و برنامه واکنش اضطراری کارآمد نمی‌تواند به آمادگی مطلوب منجر شود. تفاوت روش‌شناختی دو مطالعه در این است که پارک و پارک (۲) روابط متقابل مؤلفه‌ها را از طریق مدل‌سازی سیستم بررسی کردند، در حالی که پژوهش حاضر وضعیت هر بعد را در یک محیط واقعی و بر اساس داده‌های پرسشنامه بررسی کرده است. از این رو، یافته‌های پژوهش حاضر بیشتر برای شناسایی حوزه‌های دارای شکاف و تعیین اولویت‌های اصلاحی کاربرد دارد.

میان ارزیابی ریسک و واکنش اضطراری تأکید کرده‌اند؛ آیوموه و اونگوا (۱) ضرورت یکپارچگی مدیریت تجهیزات و ایمنی فرایندی را برجسته کرده‌اند؛ سفیتری و همکاران (۲۵) نقش آموزش، سازماندهی و آمادگی در واکنش اضطراری را نشان داده‌اند؛ و پارک و پارک (۲) بر تعامل و وابستگی متقابل مؤلفه‌های سیستم مدیریت ایمنی تأکید کرده‌اند. پژوهش حاضر این مؤلفه‌ها را در قالب یک چارچوب واحد و در یک واحد پتروشیمی بررسی کرده است. بنابراین، مهم‌ترین وجه تمایز پژوهش حاضر، توجه هم‌زمان به ابعاد فنی، انسانی، مدیریت ریسک و واکنش اضطراری در ارزیابی وضعیت سیستم و شناسایی فاصله آن از سطح مطلوب تعریف‌شده در ابزار پژوهش است. از منظر مدیریتی، یافته‌ها نشان می‌دهند که بهبود وضعیت ایمنی واحد مورد مطالعه نباید صرفاً بر افزایش تعداد تجهیزات یا تدوین دستورالعمل‌های جدید متمرکز شود. با توجه به پایین‌تر بودن امتیاز بعد دانش و آمادگی پرسنل نسبت به سایر ابعاد، یکی از اولویت‌های اصلی می‌تواند تقویت شایستگی و آمادگی کارکنان از طریق آموزش‌های مستمر، بازآموزی، مانورهای مبتنی بر سناریوهای واقعی و ارزیابی عملکرد باشد. در مرحله بعد، لازم است

نتایج ارزیابی ریسک به‌صورت مستمر در برنامه‌ریزی عملیاتی و طراحی سناریوهای اضطراری مورد استفاده قرار گیرد. هم‌زمان، قابلیت اطمینان تجهیزات اطفای حریق از طریق بازرسی، آزمون عملکرد، نگهداری پیشگیرانه و رفع سریع نواقص حفظ شود. همچنین، مانورها نباید صرفاً به‌عنوان یک فعالیت آموزشی تلقی شوند، بلکه نتایج آن‌ها می‌تواند برای شناسایی شکاف‌ها، اصلاح برنامه‌های واکنش اضطراری و ارتقای آمادگی سازمان مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر، در تفسیر نتایج آزمون t و تحلیل شکاف باید احتیاط کرد. معنادار بودن اختلاف میانگین ابعاد با مقدار مطلوب ۵ نشان‌دهنده وجود فاصله آماری بین وضعیت مشاهده‌شده و سطح مطلوب تعریف‌شده در ابزار است؛ اما این نتیجه به‌تنهایی بیانگر وجود رابطه علی میان عوامل مختلف یا اثبات ناکارآمدی کامل سیستم ایمنی نیست. از آنجا که مقدار ۵ حد بالای مقیاس و معیار نظری مطلوب در ابزار پژوهش بوده است، معناداری آزمون t عمدتاً بیانگر فاصله آماری میان میانگین مشاهده‌شده و این معیار است و نباید به‌تنهایی به‌عنوان شاخص شدت ضعف سیستم تفسیر شود. از این رو، در تفسیر کاربردی یافته‌ها، میانگین‌ها، اندازه شکاف و شاخص انطباق برآوردشده اهمیت بیشتری

استفاده می‌تواند پس از اعتبارسنجی و متناسب‌سازی با شرایط هر واحد، در مطالعات آینده برای مقایسه وضعیت ایمنی و آمادگی اضطراری سایر تأسیسات فرایندی مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی وضعیت سیستم مدیریت ایمنی، امداد و نجات و آتش‌نشانی صنعتی واحد الفین پتروشیمی بندر امام بر اساس الزامات استانداردهای NFPA 30:2024 و NFPA 600:2020 انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که وضعیت موجود در هر چهار بعد مورد بررسی، یعنی تجهیزات اطفای حریق ثابت، دانش و آمادگی پرسنل، شاخص‌های ریسک عملیاتی و آمادگی و کارایی واکنش اضطراری، پایین‌تر از سطح مطلوب تعیین‌شده قرار دارد. در میان ابعاد مورد بررسی، تجهیزات اطفای حریق ثابت بالاترین میانگین و پس از آن آمادگی و کارایی واکنش اضطراری و شاخص‌های ریسک عملیاتی قرار داشتند، در حالی که دانش و آمادگی پرسنل پایین‌ترین میانگین و بیشترین فاصله از سطح مطلوب را نشان داد. همچنین، نتایج بیانگر آن بود که دستیابی به سطح مطلوب ایمنی صرفاً از طریق توسعه تجهیزات امکان‌پذیر نیست و تقویت هم‌زمان مؤلفه‌های انسانی، مدیریت ریسک و ظرفیت واکنش اضطراری ضرورت دارد. بر اساس نتایج، مهم‌ترین اولویت اصلاحی واحد مورد مطالعه، ارتقای شایستگی و آمادگی نیروی انسانی از طریق آموزش‌های تخصصی و مستمر، بازآموزی، برگزاری مانورهای مبتنی بر سناریوهای واقعی و ارزیابی منظم عملکرد کارکنان است. در کنار آن، به‌روزرسانی ارزیابی‌های ریسک، استفاده مؤثر از نتایج تحلیل خطر در تصمیم‌گیری‌های عملیاتی، نگهداری و آزمون دوره‌ای تجهیزات اطفای حریق و تقویت هماهنگی و فرماندهی در شرایط اضطراری می‌تواند به کاهش شکاف موجود کمک کند. از این منظر، بهبود ایمنی باید به‌صورت یک رویکرد یکپارچه دنبال شود که در آن تجهیزات، نیروی انسانی، مدیریت ریسک و واکنش اضطراری به‌عنوان اجزای مرتبط یک سیستم واحد در نظر گرفته شوند. با توجه به اینکه داده‌های پژوهش بر اساس پاسخ‌های پرسشنامه‌ای افراد مورد مطالعه جمع‌آوری شده است، یافته‌های حاضر باید به‌عنوان ارزیابی وضعیت موجود در چارچوب ابزار پژوهش تفسیر شوند و نه به‌عنوان نتیجه یک ممیزی فنی جامع یا تأیید رسمی انطباق با تمامی الزامات استانداردهای NFPA. برای

دارند. همچنین، شاخص انطباق برآوردشده در این پژوهش صرفاً یک شاخص کمی برای مقایسه وضعیت موجود با سطح مطلوب در چارچوب ابزار پژوهش است و نباید به‌عنوان گواهی رسمی انطباق یا عدم انطباق کامل با استانداردهای NFPA تفسیر شود. ارزیابی رسمی انطباق با استانداردها مستلزم بررسی فنی و ممیزی جامع تمامی الزامات قابل اعمال است.

محدودیت‌های پژوهش

این مطالعه با محدودیت‌هایی همراه بود که در تفسیر یافته‌ها باید مورد توجه قرار گیرند. نخست، پژوهش در یک واحد صنعتی مشخص و با حجم نمونه ۳۰ نفر انجام شد؛ بنابراین، نتایج آن مستقیماً قابل تعمیم به سایر واحدهای پتروشیمی، پالایشگاه‌ها یا صنایع فرایندی نیست. تفاوت در نوع فرایند، سطح فناوری، ساختار سازمانی، نظام HSE، تجربه کارکنان و امکانات آتش‌نشانی می‌تواند وضعیت انطباق را در سایر تأسیسات تغییر دهد.

دوم، داده‌های اصلی پژوهش بر اساس پاسخ افراد دارای تجربه مرتبط جمع‌آوری شد؛ بنابراین، احتمال تأثیر ادراک فردی، تفاوت تجربه و سوگیری پاسخ وجود دارد. استفاده از مقیاس لیکرت امکان تبدیل ارزیابی‌های کیفی و تخصصی به داده‌های کمی را فراهم کرد، اما نمی‌تواند تمام پیچیدگی فنی الزامات NFPA را منعکس کند. از این رو، درصد‌های انطباق باید به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی وضعیت موجود در چارچوب این مطالعه تفسیر شوند.

سوم، پژوهش در یک مقطع زمانی انجام شد و تغییرات احتمالی در وضعیت تجهیزات، آموزش کارکنان، سازماندهی و برنامه‌های واکنش اضطراری در دوره‌های زمانی مختلف بررسی نشد. همچنین، نتایج حاصل از پرسشنامه جایگزین یک ممیزی فنی کامل از تجهیزات و فرایندهای عملیاتی نیست. بنابراین، برای ارزیابی دقیق‌تر انطباق با الزامات NFPA، انجام مطالعات طولی و ترکیب ارزیابی پرسشنامه‌ای با ممیزی فنی، بررسی اسناد و مشاهده عملکرد واقعی در مانورها می‌تواند در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد.

در نهایت، با توجه به ماهیت موردی پژوهش، یافته‌ها باید عمدتاً به‌عنوان مبنایی برای شناسایی اولویت‌های اصلاحی در واحد الفین پتروشیمی بندر امام تفسیر شوند و از تعمیم مستقیم آنها به سایر مجتمع‌های پتروشیمی پرهیز شود. با این حال، چارچوب ارزیابی مورد

استفاده از هوش مصنوعی

بدین وسیله اعلام می‌شود در تدوین مقاله از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

نقش نویسندگان

ایده و طراحی مطالعه: علیرضا مودب؛ جمع‌آوری داده‌ها: علیرضا مودب، ندا اورک؛ تحلیل و تفسیر داده‌ها: علیرضا مودب؛ نگارش پیش‌نویس مقاله: علیرضا مودب؛ بازبینی انتقادی مقاله از نظر محتوای علمی: ندا اورک؛ تجزیه و تحلیل آماری: علیرضا مودب؛ نظارت بر مطالعه: ندا اورک.

تعیین انطباق فنی کامل، ترکیب ارزیابی پرسشنامه‌ای با بررسی اسناد، مشاهده مستقیم، ارزیابی تجهیزات و ممیزی فنی الزامات قابل اعمال استانداردها ضروری است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچگونه تضاد یا تعارض منافع ندارند.

منابع مالی

بدین وسیله اعلام می‌شود مقاله تحت حمایت مالی هیچ سازمانی نبوده است.

References

1. Ayomoh M, Ongwae B. A systematic review of asset integrity and process safety management sustainability for onshore petrochemical installations. Sustainability. 2025;17(1):286. <https://doi.org/10.3390/su17010286>
2. Park Y, Park DJ. System dynamics approach for assessing the performance of safety management systems in petrochemical plants. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2024;90:105324. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105324>
3. Alqarfi AM, Alabdullah H, Mrugalska B, Karwowski W. A systematic review of safety culture dimensions and measurement tools in the petrochemical industry using the PRISMA protocol. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2026;1-16. <https://doi.org/10.1080/10803548.2026.2668276>
4. Schneider D, Reich J, Adler R, Liggesmeyer P. Dynamic Risk Management in Cyber Physical Systems. In: Fränzle M, Niehaus J, Westphal B, editors. Engineering Safe and Trustworthy Cyber Physical Systems. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer; 2026;15471:127-146. https://doi.org/10.1007/978-3-031-97537-0_8
5. Yuan S, Reniers G, Yang M. Dynamic and integrated safety and security barrier management: A new framework to manage major event risks in chemical plants. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2025;96:105632. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105632>
6. Yuan S, Reniers G, Yang M. Integrated management of safety and security barriers in chemical plants to cope with emerging cyber-physical attack risks under uncertainties. Reliability Engineering & System Safety. 2024;250:110320. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110320>
7. Liaw HJ, Liu CC, Wan JF, Tzou TL. Process safety management lessons learned from a fire and explosion accident caused by a liquefied petroleum gas leak in an aromatics reforming unit in Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2023;83:105058. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105058>
8. Ye J, Jiang W, Yang X, Hong B. Emergency materials response framework for petrochemical enterprises based on multi-objective optimization. Energy. 2023;269:126670. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126670>
9. Chen CC, Li CY, Marquez JAD, Wang Q. Lessons from an explosion accident in Linyuan Petrochemical Park of Taiwan: From the perspectives of process safety management. Process Safety Progress. 2024;43(4):732-743. <https://doi.org/10.1002/prs.12650>
10. Jia Q, Fu G, Xie X, Hu S, Wu Y, Li J. LPG leakage and explosion accident analysis based on a new SAA method. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2021;71:104467. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104467>
11. Zhou J, Reniers G. Petri net simulation of multi-department emergency response to avert domino effects in chemical industry accidents. Process Safety and Environmental Protection. 2021;146:916-926. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.004>
12. Weng R. Risk-based emergency management for production safety accidents in petrochemical enterprises. International Journal of Energy. 2025;8(2):17-20. <https://doi.org/10.54097/xppx8c24>
13. Chakr N, Sav A. The role of personal protective equipment (PPE) in reducing firefighter exposure to chemical hazards: A systematic review. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2024;21(11):831-841. <https://doi.org/10.1080/15459624.2024.2400237>
14. National Fire Protection Association. NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code. 2024 Edition. Quincy, MA: National Fire Protection Association; 2024.
15. National Fire Protection Association. NFPA 600: Standard on Facility Fire Brigades. 2020 Edition. Quincy, MA: National Fire Protection Association; 2020.
16. Simonović P, Golubović T, Božović M. Firefighter exposure to airborne benzene: A systematic review of measured levels, toxicological significance, methodological challenges, and research gaps.

- International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2026;273:114762.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2026.114762>
17. Qin B, Wang C, Xia D, Li J, Liu C, Shen J, Yang J, Chen Z. Dynamic assessment of reconnaissance requirements for fire response in large-scale hazardous chemical logistics warehouses. *Fire*. 2026;9(2):72.
<https://doi.org/10.3390/fire9020072>
 18. Khakzad N, Amyotte P. Optimal evacuation of process plants in case of tank fires. *Chemical Engineering Transactions*. 2023;104:13-18.
<https://doi.org/10.3303/CET23104003>
 19. Jiang X, Zhang T, Fan Y. Evaluation method for fire emergency rescue capability of petrochemical enterprises based on multivariate data coupling. In: Al-Turjman F, editor. *Smart Infrastructures in the IoT Era. Sustainable Civil Infrastructures*. Cham: Springer; 2025. p. 779-793.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-72509-8_65
 20. Kang Y, Xia X, Wu Z, Cheng Z. Visualization of integrated failure consequences of hazardous chemical leakage and explosion. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2024;92:105464.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105464>
 21. Jiang W, Ma S, Zhang Z, Xu Y. Study on key causal factors and pathways of fire and explosion accidents in hazardous chemical storage tank area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2025;97:105704.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105704>
 22. Zhao J, Tian J, Meng F, Zhang M, Wu Q. Safety assessment method for storage tank farm based on the combination of structure entropy weight method and cloud model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2022;75:104709.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104709>
 23. Ansaldi SM, Agnello P, Pirone A, Vallerotonda MR. Near Miss Archive: A Challenge to Share Knowledge among Inspectors and Improve Seveso Inspections. *Sustainability*. 2021;13(15):8456.
<https://doi.org/10.3390/su13158456>
 24. Shao X, Feng J, Wang J, Wang Y. Research on emergency evacuation behavior rules of pedestrians under fire and explosion accidents in chemical parks considering social relationships. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2024;87:105244.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105244>
 25. Safitri M, Amiruddin J, Ladesi VK. Evaluation of emergency response management at PT XYZ. *Fire Society Journal*. 2025;1(2):33-41.
 26. Liu X, Zhang Q, Xu X. Petrochemical plant multi-objective and multi-stage fire emergency management technology system based on the fire risk prediction. *Procedia Engineering*. 2013;62:1104-1111.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.167>