

## ارزیابی ریسک و تعیین شاخص‌های عملکرد ایمنی در مرحله طراحی و ساخت پروژه آگلومراسیون، سال ۱۳۹۰

ناصر هاشمی نژاد<sup>۱</sup>، غلامحسین حلوانی<sup>۲</sup>، مجتبی مقدسی<sup>۳</sup>، فرزانه ذوالعلی<sup>۴</sup>، مهدیه شفیعی‌زاده بافقی<sup>۵\*</sup>

۱. عضو هیأت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان
۲. عضو هیأت علمی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد
۳. کارشناس بهداشت حرفه‌ای، واحد ایمنی، سنگ آهن مرکزی ایران، بافق
۴. عضو هیأت علمی گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان
۵. کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۶/۲۸

### چکیده

**مقدمه:** به منظور حفظ و صیانت نیروی انسانی نیاز است که سیستم مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست که متکی بر اصل "پیشگیری قبل از وقوع" می باشد، در پروژه‌ها اعمال شود. هدف از این تحقیق بررسی مغایرت‌های ایمنی و تعیین ارتباط ریسک ارزیابی شده با شاخص‌های حادثه می باشد.

**روش بررسی:** در یک پژوهش توصیفی-تحلیلی، بر روی ۳۰ شغل در پروژه ساخت کارخانه آگلومراسیون، پس از دسته‌بندی خطرات مشاغل در لیست مقدماتی خطر (PHL: Preliminary Hazard List)، شدت و احتمال ریسک تعیین و کد ارزیابی ریسک اولیه محاسبه شد. ریسک‌های قابل قبول از لیست مقدماتی خطر حذف و مابقی برای اقدامات اصلاحی وارد فرم PHA (Preliminary Hazard Analysis) گردید و سپس کد ارزیابی ریسک ثانویه تعیین شد. همچنین شاخص‌های عملکرد ایمنی سالیانه در این مشاغل محاسبه و در نهایت آنالیز آماری صورت گرفت.

**یافته‌ها:** در میان مشاغل مختلف، بالاترین ضریب تکرار حادثه و بیشترین میزان ریسک مربوط به شغل جوشکاری و بیشترین روز از دست رفته کاری مربوط به شغل نصاب اسکلت فلزی بود. ضریب همبستگی پیرسون ارتباط معکوس و کاملاً معناداری بین کدهای ارزیابی ریسک اولیه و شاخص‌های عملکرد ایمنی نشان داد. همچنین معادله رگرسیون خطی مشخص کرد که به ازای یک واحد افزایش ارزیابی ریسک اولیه، میزان ضرایب تکرار حادثه، شدت حادثه و شاخص تکرار- شدت به ترتیب ۱۴/۹، ۱۱۰/۳۷ و ۱/۲۴ کاهش می‌یابد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نرخ بالای بروز حوادث و وجود ریسک‌های غیر قابل قبول در این پروژه به نظر می‌رسد لازم است که هرچه سریعتر نسبت به بررسی دقیق مغایرت‌های ایمنی و رفع آن اقدام گردد.

**کلید واژه‌ها:** ارزیابی ریسک، Preliminary Hazard Analysis، شاخص حادثه، ایمنی کارگران

\* نویسنده مسئول: آدرس پستی: کرمان، ابتدای بزرگراه هفت باغ علوی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان، دانشکده بهداشت،

## مقدمه

لیست مقدماتی خطر یک روش مقدماتی شناسایی خطرات موجود یا بالقوه مرتبط با طراحی سیستم است که شناسایی خطرات با استفاده از آن می‌تواند از طریق روش‌های مختلف نظیر چک‌لیست‌ها، گزارش حوادث و رویدادها صورت گیرد (۱،۳).

در بررسی صورت گرفته در نیروگاه برق (Peaking power plant)، برای شناسایی هر چه بهتر خطرات از این لیست مقدماتی خطر استفاده و در نهایت ۱۷ خطر ثبت کردند (۱۱).

لیست مقدماتی خطر توسط تیم ایمنی سیستم متشکل از گروه مهندسان، کارشناسان ایمنی، کاربران نهایی (اپراتورها و مصرف‌کنندگان) و مدیریت پروژه آماده می‌شود. همچنین این گروه وضعیت ایمنی فعالیت‌های سیستم را در سه گروه دارای خطرات کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌نماید (۳).

در بررسی و آنالیز ریسک‌های موجود در یک مزرعه تولید لبنیات توسط Creaser در Wisconsin، بعد از شناسایی خطرات و تعیین شدت و احتمال خطرات موجود، با استفاده از روش PHA، خطرات به سه دسته ریسک بالا، متوسط و پایین تقسیم و اولویت‌بندی شد. خطرات با ریسک بالا شامل افزایش حوادث ناشی از لیز خوردن، سکندری خوردن و سقوط، عدم وجود حفاظ مکانیکی و ماشین‌آلات و همچنین غیرقابل رؤیت بودن گودال‌ها و مناطق پوشیده شده از بوته‌ها و گیاهان گزارش شد. نتیجه این مطالعه نشان داد که سیاست‌های ایمنی موجود در این مؤسسه مناسب می‌باشد و این امر باعث کاهش حوادث می‌شود (۱۲).

در پژوهش صورت گرفته توسط Reinach با موضوع ارزیابی ریسک مقایسه‌ای بین استفاده از لوکوموتیو کنترل از راه دور و عملیات سوزن‌بانی، ۱۹ سناریو ریسک محاسبه شد و نمره ریسک کلی لوکوموتیو کنترل از راه دور با نمره ریسک معیارهای موجود مقایسه شد و نتایج نشان داد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نمره

تکنیک آنالیز مقدماتی خطر برای اولین بار در اوایل دهه ۵۰ میلادی در ایالات متحده آمریکا برای آنالیز ایمنی موشک‌های با پیش‌برنده مایع به کار گرفته شد. پس از این کاربرد موفقیت‌آمیز، استفاده از این تکنیک در صنایع مختلف منجمله صنایع شیمیایی، هسته‌ای و غیره نیز گسترش یافت (۱).

تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر (PHA Preliminary Hazard Analysis) یک روش آنالیز نیمه کمی سیستم بوده (۱،۲) که برای ارزیابی و مستندسازی ریسک خطرات سیستم‌های جدید و یا تغییر یافته به کار می‌رود (۳). همچنین در سیستم‌های نسبتاً ساده و کوچک، این روش به عنوان یک روش جامع و کامل برای تجزیه و تحلیل خطرات کاربرد دارد (۲).

در تجزیه و تحلیل‌های دقیق و مفصل از قبیل FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) و FTA (Fault Tree Analysis)، این روش به عنوان گام مقدماتی و پیش‌نیاز برای تجزیه و تحلیل به کار می‌رود (۴).

در صورتی که خطرات و پیامدهای بالقوه خطر به درستی شناسایی گردد، تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر میزان ریسک نزدیک به ریسک واقعی را مشخص می‌کند (۵).

در پژوهش صورت گرفته توسط Nilsson، ارتباط میزان مرگ و میر و صدمات با آنالیز ریسک تغییر فرایند بررسی شده است و نتایج حاکی از آن بود که ریسک تلفات و صدمات در فعالیت کاری مربوط قابل قبول است و اجرای طرح توسعه و تغییر فرایند اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی ریسک جامعه ندارد (۶).

مطالعات متعددی صورت گرفته است که در آن از این روش برای ارزیابی ریسک سیستم‌های تغییر یافته استفاده شده است (۷-۱۰).

در بسیاری از منابع تهیه لیست مقدماتی خطر PHL (Preliminary Hazard List) مقدم بر PHA می‌باشد.

## روش بررسی

این مطالعه یک پژوهش توصیفی-تحلیلی است که بر روی ۳۰ شغل در پروژه ساخت کارخانه آگلومراسیون صورت گرفته است. متغیرهای مورد بررسی ساعات کاری سالانه، تعداد روزهای از دست رفته کاری، ضریب تکرار حادثه (AFR)، ضریب شدت حادثه (ASR)، ضریب تکرار-شدت حادثه (FSI)، کد ارزیابی ریسک اولیه RAC<sub>1</sub> (Risk Assessment Code) و کد ارزیابی ریسک ثانویه (RAC<sub>2</sub>) می‌باشند.

از آنجایی که این پروژه تحقیقاتی برای عملیات فاز طراحی، ساخت، تکمیل سازه کارخانه و مونتاژ انجام می‌گیرد، در میان روش‌های ارزیابی ریسک از روش PHA استفاده می‌شود (۱۵). به طور کلی اجرای PHA چهار مرحله اصلی دارد که شامل:

- ۱- پیش‌نیازهای PHA (تعیین تیم PHA، تعریف و تشریح سیستم مورد آنالیز، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سیستم‌های قبلی و مشابه)
- ۲- شناسایی خطرات
- ۳- برآورد پیامد و احتمال
- ۴- رده‌بندی ریسک و اقدامات پیگیری می‌باشد (۲).

ریسک و همچنین میانگین آن با معیارهای ایمنی وجود دارد (۱۳).

در این مطالعه برای پیش ارزیابی ریسک از اطلاعات شاخص حوادث استفاده شد. شاخص‌های حادثه مورد نظر ضریب تکرار حادثه (AFR Accident Frequency Rate)، ضریب شدت حادثه (ASR Accident Severity Rate) و شاخص شدت-تکرار (FSI Frequency Severity Indicator) بود.

داده‌ها و اطلاعات دقیق در مورد حوادث، مقیاسی را فراهم می‌کند تا بتوان اشتباهات گذشته که باعث وقوع خطا و نقص شده را سنجش نمود. همچنین به وسیله این داده‌ها می‌توان در دوره‌های زمانی مقایسه‌هایی را انجام داد و یا مقایسه‌هایی را بین یک سازمان و سازمان دیگر به مرحله اجرا در آورد (۱۴، ۳).

با استفاده از این شاخص‌ها و بررسی ارتباط بین آنها اعداد ریسک مشخص می‌شود که ارزیابی ریسک تا چه حد با ضرایب حادثه همخوانی دارد و یا به عبارتی تا چه میزان می‌توان به ارزیابی ریسک محقق اعتماد کرد.

هدف این مطالعه، شناسایی خطرات موجود، تعیین شاخص‌های حادثه و بررسی ارتباط عدد ریسک با شاخص‌های حادثه می‌باشد.

جدول ۱- احتمال وقوع خطر (۱۶)

| طبقه رویداد | احتمال وقوع          | توصیف  |
|-------------|----------------------|--|
| A           | مکرر یا قریب به یقین | وقوع مکرر آن در طول یک پروژه محتمل است. (بیشتر از یکبار در ماه)  |
| B           | محتمل                | وقوع چندین باره آن در طول پروژه محتمل است و به راحتی می‌تواند اتفاق بیفتد. (بیشتر از یکبار در سال)                                   |
| C           | ممکن                 | امکان وقوع آن در طول پروژه وجود دارد و می‌تواند منجر به واقعه شود و یا اینکه در جای دیگر اتفاق افتاده است. (در هر ۱ تا ۱۰ سال یکبار) |
| D           | بعید                 | وقوع آن غیر محتمل است و هنوز اتفاق نیفتاده است اما امکان اتفاق آن وجود دارد. (در هر ۱۰ تا ۱۰۰ سال یکبار)                             |
| E           | ناممکن               | بسیار غیرمحتمل، اما در شرایط بی‌نهایت و سخت قابل تصور است. (کمتر از یکبار در هر ۱۰۰ سال)   |

نیز مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله بعد، شدت ریسک یا نرخ وخامت (Severity) و پس از آن احتمال وقوع (Probability) با توجه به جداول استاندارد مربوطه مشخص شدند (جداول ۱ و ۲). این جداول ترجمه‌ای از استاندارد AS/NZS 4360: 2400 Risk Management می‌باشد که به طور مشترک توسط مؤسسه استانداردهای استرالیا و مؤسسه استانداردهای زلاندنو منتشر شده است و یک فرآیند هفت مرحله‌ای را برای مدیریت ریسک، شامل مدیریت منافع و خسارات بالقوه، ارائه می‌کند (۱۶).

در این مطالعه ابتدا جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرایند صورت گرفت و پس از بررسی کلیه اطلاعات موجود، لیست مقدماتی خطر (PHL) تهیه شد. سپس با استفاده از چک‌لیست‌ها، توصیف و تشریح تجهیزات، بررسی سوابق مشاغل مشابه و مرور سایر گزارشات قبلی، خطرات شناسایی شده و وارد فرم PHL گردید. بعد از شناسایی خطرات بالقوه، اثرات احتمالی هر خطر از جمله آتش‌سوزی، مسمومیت، شکستگی و غیره که بر ایمنی افراد تأثیر می‌گذارند، ثبت و در مرحله بعد، شناسایی عامل به وجود آورنده خطر صورت گرفت. به منظور ارزیابی ریسک بهتر، فرایندهای کنترلی موجود در سایت

جدول ۲- شدت یا پیامد خطر (۱۶)

| طبقه | پیامد انسان   | محیط زیست  | سرمايه/توليد   |
|------|---|--|--|
| ۱    | مرگ و تلفات متعدد   | خسارت‌های شدید و غیر قابل جبران بر محیط زیست و نقض‌کننده‌ی قوانین زیست محیطی           | خسارت‌های مالی بیش از ۵۰۰ هزار دلار                    |
| ۲    | مرگ یا از کارافتادگی دائمی در افراد   | آسیب عمده زیست محیطی تأثیر اساسی و گسترده قابل توجهی بر قوانین زیست محیطی              | خسارت‌های مالی بیش از ۱۰۰ هزار و کمتر از ۵۰۰ هزار دلار |
| ۳    | از کارافتادگی دائمی جزئی، بیماری شغلی یا جراحتهای بزرگ مانند جراحتهایی که منجر به روزهای از دست رفته کاری زیاد می‌شود | آسیب جدی زیست محیطی: تأثیر گسترده و قابل توجه بر قوانین زیست محیطی                     | خسارت‌های مالی بیش از ۵۰ هزار و کمتر از ۱۰۰ هزار دلار  |
| ۴    | جراحی یا بیماری شغلی منجر به محدود کردن زمان یک روز کاری و یا از دست رفتن یک یا چند روز کاری                          | آسیب زیست محیطی مواد: تأثیر موضعی و قابل توجه بر روی قوانین زیست محیطی                 | خسارت‌های مالی بیش از ۵ هزار و کمتر از ۵۰ هزار دلار    |
| ۵    | جراحی یا بیماری شغلی خیلی جزئی که سبب از دست رفتن روز کاری نشود و با کمک‌های اولیه و اقدامات پزشکی اندک برطرف شود     | خسارت‌های اندک به محیط زیست: مداخله یا احتمال دخالت که سبب نقض قوانین زیست محیطی نشود. | خسارت‌های مالی کمتر از ۵ هزار دلار                     |

تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر (PHA)، لیست مقدماتی خطر (PHL) را بسط می‌دهد، که این امر به وسیله شناسایی خطرات اضافی دیگر، تجزیه و تحلیل خطرات شناخته شده، توصیه و پیشنهاد جهت کنترل خطرات و تعیین سطح ریسک بعد از اقدامات کنترلی انجام می‌شود(۳).

از حاصل ضرب دو عدد شدت (S) و احتمال (P)، کد ارزیابی ریسک به دست آمد که تحت عنوان (RAC) بیان شد(۱۷) و با توجه به عدد ریسک، اولویت‌بندی خطر صورت گرفت. اولین گام در راستای حذف خطرات، دسته‌بندی آنها به منظور شناسایی بهتر و در نتیجه انجام اقدام مناسب‌تر است(۱۸)(جدول ۳). تمام مراحل ذیل در فرم PHL یا لیست مقدماتی خطر وارد می‌شود. در واقع

جدول ۳- رتبه‌بندی خطر(۱۶)

| احتمال |        |        |        |        |   |
|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| E      | D      | C      | B      | A      |   |
| ۱۱ (M) | ۷ (M)  | ۴ (H)  | ۲ (H)  | ۱ (H)  | ۱ |
| ۱۶ (L) | ۱۲ (M) | ۸ (M)  | ۵ (H)  | ۳ (H)  | ۲ |
| ۲۰ (L) | ۱۷ (L) | ۱۳ (M) | ۹ (M)  | ۶ (H)  | ۳ |
| ۲۳ (L) | ۲۱ (L) | ۱۸ (L) | ۱۴ (M) | ۱۰ (M) | ۴ |
| ۲۵ (L) | ۲۴ (L) | ۲۲ (L) | ۱۹ (L) | ۱۵ (M) | ۵ |

L = Low, M = Moderate, H = High

هشداردهنده، دستورالعمل‌های ویژه و آموزش، وسایل حفاظت فردی.

با توجه به جدول ۳، باید توجه داشت هر چه که RAC کوچکتر باشد، ریسک بالاتر است و قاعدتاً مقادیر RAC ثانویه (بعد از اقدام اصلاحی) از مقادیر RAC اولیه بزرگتر خواهند بود.

بعد از ارزیابی ریسک، برای محاسبه شاخص‌های حادثه در یک سال گذشته در پروژه آگلومراسیون، ابتدا آمار و اطلاعات مربوط به حوادث به وقوع پیوسته در سال گذشته، تعداد روزهای از دست رفته کاری، نفر روز کاری و ساعت کاری (با استفاده از آمار کنترل پروژه) جمع‌آوری و ثبت گردید. سپس با توجه به اطلاعات به دست آمده شاخص‌های حادثه شامل ضریب تکرار حادثه (AFR)، ضریب شدت حادثه (ASR) و شاخص شدت-تکرار (FSI) با توجه به استاندارد OSHA (Occupational Safety & Health Administration) و فرمول‌هایی که در زیر ذکر شده، محاسبه گشت(۱۴).

### حدود ریسک

|   |                    |
|---|--------------------|
| L | ریسک قابل قبول     |
| M | ریسک متوسط (ALARP) |
| H | ریسک غیر قابل قبول |

بعد از تکمیل فرم PHL، خطرات جزئی یعنی آن دسته از خطرات که کد ارزیابی ریسک آن‌ها ۱۶ تا ۲۵ بودند، حذف و مابقی خطرات وارد فرم PHA شد. بعد از مشخص شدن اقدام اصلاحی، ارزیابی ریسک مجدد صورت گرفت و کد ارزیابی ریسک ثانویه (RAC2) تعیین شد. مداخله اقدامات اصلاحی با توجه به پتانسیل‌های علمی، تکنولوژیکی، تجهیزاتی و مقدرات مالی شرکت بر حسب اولویت و به ترتیب در حیطه‌های شش‌گانه زیر ارائه شد: طراحی ایمن دستگاه و ابزار، حذف یا محدود کردن خطر، حفاظ‌گذاری، نصب علائم

زوج، ضریب همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی به بررسی رابطه میان این متغیرها پرداخته شد.

### یافته‌ها

بعد از بررسی موارد مطالعه شده، توصیف کلی از متغیرهای مورد بررسی در مشاغل ۳۰ گانه مطابق با جدول ۴ صورت گرفت. در این پروژه میانگین و انحراف معیار تعداد حوادث ۱۰/۲۲±۵/۳۶ و تعداد روزهای از دست رفته کاری ۳۴/۴۶±۶۳/۰۲ روز می‌باشد. همچنین میانگین و انحراف معیار ضریب تکرار حادثه (AFR)، ضریب شدت حادثه (ASR) و ضریب تکرار- شدت حادثه (FSI) به ترتیب ۲۹/۶۶±۳۱/۹۷، ۱۸۵/۳۲±۲۱۳/۷۳ و ۲/۲±۲/۳ می‌باشد.

نتایج نشان داد که میانگین و انحراف معیار کد ارزیابی ریسک اولیه ۷/۹۳±۱/۵۳ و میانگین و انحراف معیار کد ارزیابی ریسک ثانویه ۱۳/۷۸±۱/۸۹ می‌باشد.

از آنجایی که ضریب AFR و ASR به تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده شاخص عملکرد ایمنی باشد، تلفیقی از این دو ضریب، تحت عنوان FSI در نظر گرفته می‌شود.

$$AFR = \frac{200000 \times \text{تعداد حوادث}}{\text{جمع کل ساعت مفید کارگران در یک سال}}$$

$$ASR = \frac{200000 \times \text{تعداد روزهای از دست رفته}}{\text{جمع کل ساعت مفید کارگران در یک سال}}$$

$$FSI = \sqrt{\frac{AFR \times ASR}{1000}}$$

در گام آخر، داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS ویرایش ۱۸ شد و با استفاده از آزمون‌های آماری از جمله t مستقل، t

جدول ۴- آمار توصیفی متغیرهای مورد بررسی در مشاغل ۳۰ گانه پروژه ساخت کارخانه آگلومراسیون در سال ۹۰

| متغیر                                     | Mean± SD         | Min  | Max    |
|---|------------------|------|--------|
| نفر-روز کاری                              | ۲۲۸۹/۴۳±۲۵۵۷/۳۹  | ۶۰   | ۱۰۰۰۹  |
| ساعت کاری                                 | ۲۲۸۹۴/۳۳±۲۵۵۷۳/۹ | ۶۰۰  | ۱۰۰۰۹۰ |
| روز از دست رفته کاری                      | ۳۴/۴۶±۶۳/۰۲      | ۰    | ۲۹۹    |
| حادثه                                     | ۵/۳۶±۱۰/۲۲       | ۰    | ۴۲     |
| AFR (ضریب تکرار حادثه)                    | ۲۹/۶۶±۳۱/۹۷      | ۰    | ۱۳۷/۵  |
| ASR (ضریب شدت حادثه)                      | ۱۸۵/۳۲±۲۱۳/۷۳    | ۰    | ۶۰۵/۳  |
| FSI (ضریب شدت-تکرار حادثه)                | ۲/۲±۲/۳          | ۰    | ۸/۲۰   |
| RAC <sub>1</sub> (کد ارزیابی ریسک اولیه)  | ۷/۹۳±۱/۵۳        | ۵/۳۷ | ۱۰/۴۷  |
| RAC <sub>2</sub> (کد ارزیابی ریسک ثانویه) | ۱۳/۷۸±۱/۸۹       | ۱۱/۴ | ۱۹/۱۱  |

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، شغل جوشکار از میان مشاغل بالاترین تعداد حادثه ناشی از کار، بیشترین ضریب AFR و FSI و کمترین RAC<sub>1</sub> را به خود اختصاص داده است. نصاب اسکلت فلزی بیشترین روز از دست رفته کاری را دارا می‌باشد و بعد از آن مشاغل جوشکار و آرماتوربند می‌باشد. مشاغل

در مشاغل مختلف میزان این متغیرها متفاوت بود. از بین ۳۰ شغل مورد بررسی در سال ۹۰، در ۲۳ شغل کارگران دچار حادثه شده بودند و در ۷ شغل متصدیان ایمنی، آتش‌نشانان، راننده آمبولانس، اپراتور لودر، تراکتور، میکسر و بیل زنجیری برای کارگران حادثه‌ای رخ نداده بود.

می‌باشند. همچنین بیشترین نفر روز کاری و ساعت کاری مربوط به شغل نصاب اسکلت فلزی و کمترین مربوط به اپراتور بیل زنجیری می‌باشد.

بررسی کد ارزیابی ریسک موجود ( $RAC_1$ ) در مشاغل مختلف نشان داد که بالاترین میزان ریسک به ترتیب مربوط به شغل جوشکار، نصاب اسکلت فلزی، برشکار و برقکار می‌باشد. همچنین مشاغل نقشه‌بردار و آتش‌نشان دارای بالاترین میزان  $RAC_1$  یا به عبارتی کمترین ریسک هستند. پس از ارزیابی ریسک مجدد و تعیین  $RAC$  ثانویه نشان داده شد که شغل‌های داربست‌بند و برشکار از بالاترین میزان ریسک برخوردار و کارگران رستوران (آشپزخانه) و خم‌کار و برشکار آرماتور دارای کمترین میزان ریسک هستند.

برشکار، نصاب اسکلت فلزی و برقکار پس از شغل جوشکار به ترتیب دارای بیشترین ضریب تکرار حادثه بودند و کمترین میزان این ضریب مربوط به هفت شغلی است که در آن حادثه رخ نداده است. همچنین این مشاغل بدون حادثه کمترین میزان ضریب شدت حادثه ( $ASR$ ) و ضریب شدت-تکرار حادثه ( $FSI$ ) را به خود اختصاص داده‌اند.

بیشترین میزان  $ASR$  به ترتیب مربوط به خم‌کار و برشکار آرماتور، نصاب اسکلت فلزی و برقکار می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که شغل جوشکار بیشترین میزان ضریب  $FSI$  را به خود اختصاص داده و بعد از این شغل، به ترتیب نصاب اسکلت فلزی، برشکار، برقکار و خم‌کار و برشکار آرماتور از ضریب  $FSI$  بالایی برخوردار

جدول ۵- جدول فراوانی متغیرهای موجود در پروژه آگلومراسیون در سال ۹۰

| شغل                     | نفر-روز کاری | تعداد حادثه | روز از دست رفته | AFR   | ASR   | FSI | $RAC_1$ | $RAC_1$ |
|-------------------------|--------------|-------------|-----------------|-------|-------|-----|---------|---------|
| جوشکار                  | ۶۱۰۹         | ۴۲          | ۱۵۰             | ۱۳۷/۵ | ۴۹۱/۱ | ۸/۲ | ۵/۳۷    | ۱۲/۶۲   |
| نصاب اسکلت فلزی         | ۱۰۰۰۹        | ۳۰          | ۲۹۹             | ۵۹/۹  | ۵۹۷/۵ | ۶   | ۵/۶     | ۱۲/۱۳   |
| برشکار                  | ۵۶۰۵         | ۲۹          | ۹۱              | ۱۰۳/۵ | ۳۲۴/۷ | ۵/۸ | ۶/۰۴    | ۱۱/۷۵   |
| برقکار                  | ۱۰۵۰         | ۳           | ۳۰              | ۵۷/۱  | ۵۷۱/۴ | ۵/۷ | ۶/۰۹    | ۱۳/۴۵   |
| خم‌کار و برشکار آرماتور | ۱۵۲۰         | ۴           | ۴۶              | ۵۲/۶  | ۶۰۵/۳ | ۵/۶ | ۶/۳۳    | ۱۸/۴۷   |
| رنگ و سندبلاست کار      | ۲۰۱۸         | ۴           | ۵۵              | ۳۹/۶  | ۵۴۵/۱ | ۴/۶ | ۶/۲۳    | ۱۲/۲۳   |
| آرماتوربند              | ۵۵۹۱         | ۱۳          | ۱۰۶             | ۴۶/۵  | ۳۷۹/۲ | ۴/۲ | ۶/۳۷    | ۱۴/۴۲   |
| پوشش کار                | ۱۸۹۵         | ۳           | ۴۷              | ۳۱/۷  | ۴۹۶   | ۴   | ۶/۹۶    | ۱۲/۵۸   |
| مونتازکار               | ۶۲۰۷         | ۱۱          | ۹۱              | ۳۵/۴  | ۲۹۳/۲ | ۳/۲ | ۷/۱۲    | ۱۳/۵۳   |

همچنین بررسی  $RAC_1$  در گروه شغلی ۱ و ۲ نشان داد که تفاوت بین این دو گروه معنادار نمی‌باشد ( $P=۰/۰۶$ ).

در مرحله بعد با استفاده از آزمون t زوج در دو گروه شغلی ۱ و ۲، کد ارزیابی ریسک قبل و بعد از اقدامات اصلاحی ( $RAC_1$  و  $RAC_2$ ) بررسی شده و نتایج نشان

بنابراین برای درک تفاوت بین مشاغل حادثه دیده (گروه ۱) با مشاغل بدون حادثه (گروه ۲) آزمون‌های آماری مورد نیاز صورت گرفت. لذا با استفاده از آزمون t مستقل مشخص شد که تفاوت معناداری از لحاظ نفر، روزکاری و ساعت کاری بین گروه ۱ و ۲ وجود دارد ( $P<۰/۰۰۱$ ) (جدول ۶).

شد که بین  $RAC_1$  و شاخص‌های عملکرد ایمنی ارتباط معکوس و کاملاً معناداری برقرار است ( $P < 0/001$ ). یعنی هرچه  $RAC_1$  افزایش یابد یا به عبارتی ریسک کاهش پیدا کند، شاخص‌های حادثه کمتر می‌شود و بالعکس. اقدام دیگری که صورت گرفت این بود که با استفاده از رگرسیون خطی میزان شاخص‌های حادثه با توجه به مقدار  $RAC_1$  (کاهش ریسک) پیش بینی شد. بر این اساس به ازای یک واحد افزایش  $RAC_1$ ، میزان AFR، ASR و FSI به ترتیب ۱۴/۹، ۱۱۰/۳۷ و ۱/۲۴ کاهش می‌یابد.

می‌دهد که در هر دو گروه شغلی (حادثه دیده و بدون حادثه) تفاوت معنادار می‌باشد ( $P < 0/001$ ).

همچنین در حالت کلی و بدون تفکیک مشاغل حادثه دیده و بدون حادثه با استفاده از آزمون t زوج، ارتباط بین  $RAC_1$  و  $RAC_2$  سنجیده و مشخص شد که تفاوت معناداری بین کد ارزیابی ریسک قبل و بعد از اقدام اصلاحی وجود دارد ( $P < 0/001$ ).

در گام بعدی برای تعیین ارتباط بین کدهای ارزیابی ریسک اولیه ( $RAC_1$ ) و شاخص‌های عملکرد ایمنی (AFR، ASR و FSI) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون همانطور که در جدول ۷ بیان شده است مشخص

جدول ۶- جدول بررسی متغیرهای نفر- روز کاری، ساعت کاری و  $RAC_1$  بین دو گروه شغلی ۱ (حادثه دیده) و گروه ۲ (بدون

حادثه)

| متغیر        | گروه شغلی | Mean± (SD)        | P-value     |
|--------------|-----------|-------------------|-------------|
| نفر-روز کاری | گروه ۱    | ۲۹۰۳ (۲۶۲۹/۲۷)    | $P < 0/001$ |
|              | گروه ۲    | ۲۷۳/۴۲ (۲۸۰/۱۵)   |             |
| ساعت کاری    | گروه ۱    | ۲۹۰۳۰ (۲۶۲۹۲/۷۲)  | $P < 0/001$ |
|              | گروه ۲    | ۲۷۳۴/۲۸ (۲۸۰۱/۵۱) |             |
| $RAC_1$      | گروه ۱    | ۷/۶۴ (۱/۵۷)       | $P = 0/06$  |
|              | گروه ۲    | ۸/۸۷ (۰/۹۷)       |             |

جدول ۷- جدول بررسی ارتباط بین کد ارزیابی ریسک اولیه ( $RAC_1$ ) و شاخص‌های حادثه (شاخص عملکرد ایمنی)

| شاخص‌های حادثه | ضریب همبستگی پیرسون | P-value     |
|----------------|---------------------|-------------|
| AFR            | - ۰/۷۱              | $P < 0/001$ |
| ASR            | - ۰/۷۹              | $P < 0/001$ |
| FSI            | - ۰/۸۲              | $P < 0/001$ |

## بحث

هر ساله فعالیت‌های ساختمانی در میان سایر فعالیت‌ها درصد بالایی از حوادث را به خود اختصاص می‌دهند. به صورتی که در مطالعات صورت گرفته در استان یزد نشان داده شده است که اکثر حوادث مربوط به صنایع ساختمانی است (۲۰، ۲۱).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، بالاترین تعداد حادثه ناشی از کار یا به عبارتی بیشترین ضریب فراوانی حادثه

(AFR) و ضریب شدت- تکرار حادثه (FSI) و کمترین  $RAC_1$  (بالاترین ریسک) مربوط به جوشکاران می‌باشد که با نتایج Bylund که حرفه جوشکاری را از پرخطرترین مشاغل در بخش سازمانی و از مشاغلی که نیاز به توجه کافی دارد معرفی نموده، مطابقت دارد (۲۲). در بررسی صورت گرفته در رفسنجان اکثریت افراد آسیب‌دیده در بخش جوشکاری ساختمان مشغول به کار

هر ساله فعالیت‌های ساختمانی در میان سایر فعالیت‌ها درصد بالایی از حوادث را به خود اختصاص می‌دهند. به صورتی که در مطالعات صورت گرفته در استان یزد نشان داده شده است که اکثر حوادث مربوط به صنایع ساختمانی است (۲۰، ۲۱).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، بالاترین تعداد حادثه ناشی از کار یا به عبارتی بیشترین ضریب فراوانی حادثه



که می‌توان در شرایط فعلی انجام داد، باید صورت بگیرد. مسئولین باید اقدام عملی برای کاهش این ریسک‌ها انجام دهند مگر آنکه ثابت شود این کار از نظر عقلانی عملی نیست. البته باید دقت داشت که پذیرش یا عدم پذیرش ریسک در هر محیط به عواملی چون محیطی که ریسک در آن وجود دارد، ماهیت سیستم از نظر میزان ضرورت و مزایای فعالیت، درک ماهیت ریسک از سوی افراد حاضر در آن و هزینه‌های کاهش ریسک بستگی دارد (۲۷).

ارزیابی ریسک صورت گرفته توسط Giunta در شرکت آب سیدنی با استفاده از روش PHA انجام شد و همه خطرات را تا پایین‌ترین حدی که به طور معقول عملی است (ALARP)، کاهش دادند (۸).

اغلب حوادث در اثر عدم توجه کافی به خطراتی که در ناحیه ALARP (ناحیه نارنجی) قرار می‌گیرند، ایجاد می‌شود. لذا اکیداً توصیه می‌شود ریسک‌هایی که در این ناحیه قرار دارند نیز همانند ریسک‌های بالا، با حساسیت مورد توجه قرار گیرند (۲۸).

تفاوت معناداری بین کد ارزیابی ریسک قبل و بعد از اقدام اصلاحی وجود دارد و این امر نشان‌دهنده اثر بخش بودن اقدامات می‌باشد. در پژوهش صورت گرفته توسط توفیقی و همکاران بیان شده است که با کاهش ریسک یک خطا امکان دارد عدد ریسک خطای دیگری تغییر نماید. لذا بازبینی اعداد اولویت ریسک بعد از اجرای اقدامات اصلاحی، هم به منظور پایش میزان اثربخشی اقدامات و هم به منظور تعیین تغییرات ایجاد شده در شاخص‌های سایر خطاها که در ارتباط با خطای بهبود یافته هستند، ضروری است (۲۹).

در ۲۳ آوریل سال ۲۰۰۴، انفجار و آتش‌سوزی در تأسیسات واحد تولید PVC شرکت پلاستیک Formosa در آمریکا رخ داد. بعد از ریشه‌یابی علل حادثه، مشخص گردید که ارزیابی ریسک در این شرکت صورت گرفته ولی پیشنهادات و اقدامات کنترلی اجرا نشده بود (۳۰). بنابراین باید توجه داشت که شرط کاهش حادثه توجه به آنالیز صورت گرفته و انجام پیشنهادات می‌باشد.

بودند (۲۳). این نتایج با نتایج حاصله از پژوهش Vatani-shoaa که در کرمان انجام شده است تا حدی همخوانی دارد (۲۴).

یکی از ریسک‌های شناسایی شده در جوشکاری و برشکاری، آسیب‌های چشمی به دلیل عدم استفاده از عینک ایمنی و وسایل حفاظتی سالم می‌باشد. Ostadi در مطالعه‌ای با موضوع بررسی شیوع و علل حوادث چشمی ناشی از کار در کارگاه‌های صنعتی مشهد به این نتیجه رسید که عدم استفاده از عینک‌های ایمنی از بیش‌ترین علل وقوع این حوادث می‌باشد (۲۵).

با تعیین ارتباط بین کدهای ارزیابی ریسک اولیه ( $RAC_1$ ) و شاخص‌های عملکرد ایمنی (ASR, AFR) و مشخص گردید که بین  $RAC_1$  و شاخص‌های عملکرد ایمنی ارتباط معکوس و کاملاً معناداری برقرار است. یعنی هر چه  $RAC_1$  افزایش یابد یا به عبارتی ریسک کاهش پیدا کند، مقادیر شاخص‌های حادثه کمتر می‌شود و بالعکس. بنابراین با توجه به ارتباط اعداد ریسک و شاخص‌های حادثه، اهمیت ارزیابی ریسک و افزایش ایمنی در کاهش شاخص حوادث معلوم می‌شود. در مطالعه صورت گرفته توسط Adel و Tajik اهمیت بازرسی ایمنی در پیشگیری از حوادث احتمالی و شناسایی کانون‌های خطر نشان داده شده است (۲۶).

نتایج برگه کار PHA بیانگر آن است که ۳۸٪ مشاغل که در رأس آنها مشاغل جوشکار، نصاب اسکلت فلزی، برقکار و برشکار می‌باشد، در محدوده ریسک بالا (ناحیه قرمز) واقع شده‌اند و مطابق با معیار ریسک استاندارد AS/NZS 4360: 2004 غیرقابل قبول تلقی می‌شوند. لذا انجام اقدام اصلاحی برای این مشاغل در اولویت قرار دارد. مابقی مشاغل (۵۵٪) در ناحیه (ALARP: As Reasonably Possible) (پایین‌ترین حدی که به طور معقول عملی است) قرار دارند. در بررسی انجام شده توسط Zaranejad و همکاران ۳۲٪ از خطرات موجود نیز در این ناحیه قرار داشتند. کاربرد اصل ALARP بدین معنی است که بهترین و عملی‌ترین کاری

حادثه‌دیده مراجعه شود و این امور باعث شد تا مدت زمان زیادی صرف شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود از نرم‌افزار جامع ثبت حوادث و سیستم یکپارچه اداری در پروژه‌ها استفاده گردد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نرخ بالای بروز حوادث و وجود ریسک‌های غیر قابل قبول در پروژه آگلومراسیون لازم است که متصدیان ایمنی و سرپرستان هر چه سریعتر نسبت به بررسی دقیق مغایرت‌های ایمنی و رفع آن اقدام نمایند و با توجه به اقدامات اصلاحی پیشنهادی، در جهت کاهش میزان حوادث و کنترل خطر در شرکت گام بردارند. همچنین به منظور کاهش ریسک نواقص شناسایی شده، پیاده‌سازی یک برنامه پیشگیرانه در صنعت ضروری است. برنامه‌ریزی ایمنی از مهمترین عوامل پیشگیری از وقوع حادثه در محیط کاری می‌باشد. زیرا این برنامه می‌تواند ضمن تعیین شرح وظایف افراد، سطح مسئولیت‌پذیری افراد، اعم از مدیران ارشد، سرپرستان، ناظران و پیمان‌کاران را در قبال مسایل ایمنی ارتقا دهد. بدین منظور بایستی تمام مشاغل، تجهیزات، ماشین‌آلات و رفتار پرسنل موجود در پروژه با استفاده از روش‌های ارزیابی نوین تحت بررسی قرار گیرند و همچنین پس از ایجاد هر تغییر در فرایند کاری، RAC جدید تعیین شود تا در صورت نیاز، اقدامات کنترلی برای آن انجام بگیرد.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی و تشکر خود را از واحد پژوهش سنگ آهن مرکزی ایران اعلام می‌دارند. لازم به ذکر است این مقاله منتج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمان می‌باشد.

معادله رگرسیون خطی نشان داد که به ازای یک واحد افزایش  $RAC_1$ ، میزان شاخص‌های حادثه کاهش می‌یابد. به عبارتی زمانی که محیط کاری ایمن داشته باشیم و اعمال و شرایط نایمن کاهش پیدا کنند، بالتبع تعداد حوادث و تعداد روزهای از دست رفته کاری کمتری خواهیم داشت. در بررسی صورت گرفته توسط Mohammadfam ارتباط توأم اعمال نایمن و حوادث از طریق آزمون رگرسیون لجستیک سنجیده و نتایج نشان داده شد که افزایش یک درصدی میزان اعمال نایمن باعث ۳ برابر شدن میزان حوادث خواهد شد (۳۱).

نتایج نشان داد که تفاوت معناداری از لحاظ نفر-روزکاری و ساعت کاری بین گروه حادثه‌دیده و بدون حادثه وجود دارد که شاید به این دلیل است که در گروه شغلی بدون حادثه به خاطر تعداد کم نفر-روز کاری و ساعت کاری، حادثه رخ نداده است. این احتمال وجود دارد که در صورت افزایش ساعت و نفر-روز کاری این مشاغل نیز دچار حادثه می‌شدند. در بررسی صورت گرفته توسط انجمن ملی تولیدکنندگان نفت و گاز در سال ۲۰۱۱، به دنبال کاهش ۵٪ ساعت کاری میزان وقایع منجر به مرگ و میر ۹٪ و میزان صدمات کلی ۴٪، کاهش پیدا کرد (۳۲). همچنین نتایج نشان می‌دهد که ساعت کار بیش از حد مجاز در بروز حادثه کار در این افراد تأثیر دارد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۳۳).

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به این نکته اشاره کرد که به دلیل ماهیت پروژه ساخت و نصب، تعداد نیروهای پیمانکاری در ماه‌های مختلف سال متفاوت بود و برای مشخص نمودن نفر-روز کاری، اطلاعات لازم باید از فرم‌های کنترل پروژه استخراج می‌شد. همچنین اطلاعات مربوط به حادثه به دلیل عدم آموزش پرسنل تکمیل‌کننده دارای نقاط ابهام زیادی بود. بنابراین برای دسترسی به داده‌های دقیق نیاز بود به بهداری، سطوح بالاتر درمانی و در بعضی مواقع به کارگر

## منابع

1. Mohammadfam I. Safety Analysis Techniques. Hamadan: Fanavran publications. 2005: chapter 5.[persian]
2. Rausand M. Preliminary Hazard Analysis. 2005: 3-7.
3. Halvani G. and M. Zare, Safety System & Risk Management. 1th ed. Tehran: Sobhan publications. 2009: 64-75.[persian]
4. Sundararajan C. Safety-Reliability-Risk Assessment: Preliminary Hazard Analysis. 2008: 2-3.
5. Mohr R. Preliminary Hazard Analysis. Menomonie: Jacobs Sverdrup. 2002: 74.
6. Nilsson K. Preliminary Hazard Analysis of the Natural Gas Delivery Pipeline between Young and Bomen in NSW. Planager Risk management Consulting. 2009: 45.
7. Giunta AD. Riverstone STP Preliminary Hazard Analysis. Sydney Water Corporation: Australia. 2008: 2.
8. Giunta AD. Quakers Hill RWP Preliminary Hazard Analysis. Sydney Water Corporation: Australia. 2008: 2-4.
9. Pinnacle Risk Management, Hazard Audit Report for Terminals Pty Ltd, at 45 Friendship Road, Port Botany. 2011: 7-23.
10. Shewring D. Preliminary Hazard Analysis Groundwater Treatment Plant Orica Australia PtyLtd Botany Industrial Park. 2004: 1-3.
11. International Power URS, Enviromental Assessment, Hernos Creek Peaking Power Plant: 1-12.
12. Creaser JW, Brayon B, Preliminary Hazard Analysis of XYZ Dairy. American Psychological Association, 6th edition, 2010: 2.
13. Reinach S, Fadden S, Gamst F, Sarah A, Simon B. A Comparative Risk Assessment of Remote Control Locomotive Operations versus Conventional Yard Switching Operations National Technical Information Service, Springfield, VA 22161, 2006: 29-32.
14. Halvani G, Mirmohammadi SJ. Safety in Industry. Tehran: Sobhan publications. 2007: 94-100.[persian]
15. Marvin R. Preliminary Hazard Analysis. Department of Production and Quality Engineering Norwegian University of Science and Technology. 2005: 2-10.
16. Newcastle Coal Infrastructure Group Coal Export Terminal ,Preliminary Hazard Analysis. 2006: 3-4.
17. Bagheri Z. Preliminary Hazard Analysis in one of Latex Industrial, in 1th International Congress on Safety Engineer & HSE Management. Tehran. 2006: 1-2.[persian]
18. Sadeghi N, Arab M. Risk assessment by PHA method in transport part of Sangan mine. 1 th international conference on industry safety occupational health & environment in organization: Isfahan. 2008: 2-3.[persian]
19. Amirnejad R, Jafari S. Safety in Cranes, Hoists & Lifting Equipment. Tehran: FadakIssatis. 2008: 281.[persian]
20. Halvani GhH, Fallah H, Barkhordari A, Khoshk Daman R, Behjati M, Koochi F. et al. A Survey of causes of occupational accidents at working place under protection of Yazd Social Security Organization in 2005. Iran Occupational Health 2010. 7(3): 22-29.[persian]
21. Mehrparvar A, Mirmohammadi SJ, Ghovve MA, Hajian H, Dehghan M, Nabi Meybodi R, Nabi Meybodi N. Epidemiologic study of occupational accidents recorded in Yazd province in the years 2007-2008.tkj, 2012. 3(3): 54-62.[persian]
22. Bylund P.O, Bjornstig Ulf. Occupational injuries and their long term consequences among mechanics and construction metal workers.Safety science, 1998.28(1): 49-58.
23. Vazirinejad R, Esmaili A, Kazemi M. Survey of Construction Events in Rafsanjan City. J Rafsanjan Med Sci; 2006. 4(5): 326-31.[persian]

24. Vatani-shoaa J, Salasi M, Bahrampour A, et al. An Epidemiological Study of Accidents among Construction Workers in Kerman. *Knowledge & Health Journal*, 2011.5(4): 32-36. [persian]
25. Ostadi Moghadam H, Yekta A.A, Heravian J, Fahoul M.J, Afsharnia M. et al. Prevalence and etiology of occupational eye accidents in Mashhad industrials. *Journal of Rehabilitation*; 2004. 5(19): 53-7.[persian]
26. Tajik R, Adle J. Evaluation of safety audit in accident prevention. *journal of ILAM university of medical sciences*; 2001.[persian]
27. Nezhad A.Z, Mortazavi S.B, Mahabadi H A, Khavanin, A. Identification and Safety Assessment of the Hazardous Zones(Unwanted Energy Flows) in an Construction Project at the National Petrochemical Company by Application of ET and BA Method. *Journal of Applied Sciences*; 2007. 7(19): 2769-75.[persian]
28. Fullman J.B. *Construction safety, security, and loss prevention*. 1984: Wiley
29. Tofighi Sh, Maleki MR, Khoshgham M, Attar jannesari F. Applying the proactive Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology for improving the triage process in an emergency department. *SJFM*, 2009. 15(3): 161-70.[persian]
30. CSB: Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2004.
31. Mohammadfam I, Fatemi F. The relationship between unsafe behaviors and occupational accidents in an automobile manufacturing company. *Iran Occupational Health Journal*, 2008. 5(3-4): 44-51.[persian]
32. International Association of Oil & Gas Producers, *Safety Performance Indicator - 2010 data*. May 2011
33. Rezvani S.F, Saberi M. The study of occupational accidents frequency referred to Clinical Examination Unit of Tehran and Shahr-e-Ray Legal Medicine Centers during 2006/11/22 to 2007/11/21. *Scientific Journal of Forensic Medicine*, 2009. 14(4): 230-34.[persian]