Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

دوماهنامه سلامت کار ایران دوره ۱۵، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷

تدوین و رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی عملکرد ایمنی با استفاده از شبکه بیزی و تحلیل سلسله مراتبی: مطالعه موردی فعالیت کار در ارتفاع فاز ساخت پالایشگاه‌های نفت و گاز

محسن فلاحتی[۱]، علی کریمی*[۲]، مجتبی ذکایی[۳]، علی دهقانی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۰۵ تاریخ ویرایش: ۹۶/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۳

چکیده

زمینه و هدف: اندازه‌گیری عملکرد ایمنی و بهداشت، با هدف تهیه اطلاعات لازم در رابطه با میزان پیشرفت و شرایط کنونی استراتژی‌ها، فرآیندها و فعالیت‌هایی سازمان تدوین می‌شود. هدف از این مطالعه ارائه یک مدل جدید تدوین شاخص‌های ارزیابی عملکرد ایمنی با استفاده از مدل ارزیابی ریسک احتمالاتی و به‌کارگیری نظرات خبرگان می‌باشد.

روش بررسی: این مطالعه توصیفی-تحلیلی در ۳ مرحله شامل: شناسایی و دسته‌بندی عملیات فاز ساخت پروژه و مخاطرات مربوط به آن، تشکیل شبکه علی حوادث رخ‌داده در فاز ساخت پالایشگاه نفت و گاز با استفاده از شبکه بیزی و انتخاب شاخص‌های عملکرد کلیدی با استفاده از روش AHP انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج آنالیز آماری حوادث ثبت شده نشان داد که ۲۱ درصد نرخ فراوانی حوادث مربوط به سقوط از ارتفاع می‌باشد. از بین کلیه فعالیت‌های فاز ساخت‌وساز با استفاده از آنالیز WBS پروژه، ۲۷ فعالیت دارای مخاطره کار در ارتفاع شناسایی شد، با تشکیل شبکه علی حوادث سقوط از ارتفاع، ۱۸ شاخص ارزیابی عملکرد فعال استخراج گردید و با استفاده از معیارهای SMART و احتمال وقوع علل به دست آمده از شبکه بیزی حوادث ۵ شاخص عملکرد کلیدی فعال انتخاب گردید.

نتیجه‌گیری: تعیین شاخص‌های عملکرد ایمنی پیشرو تحت تأثیر فاکتورهای مختلف سازمانی، مدیریتی، عملیاتی و غیره می‌باشد. با پیشرفت عملیات پروژه، ماهیت و سطح ریسک عملیات پروژه‌های عمرانی در حال تغییر می‌باشد. بنابراین شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد ایمنی در این پروژه‌ها باید حساس به تغییرات سریع باشد. بنابراین شاخص‌های فعال که دارای دوره اندازه‌گیری کوتاه‌مدت می‌باشند جهت اندازه‌گیری سطح عملکرد ایمنی عملیات ساخت‌وساز دارای اثربخشی بیشتر می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: شاخص ارزیابی عملکرد، فاز ساخت پالایشگاه ، شبکه بیزی، ایمنی، تحلیل سلسله مراتبی.

مقدمه

شاخص‌ها و مقوله ارزیابی عملکرد در تمامی جنبه-های زندگی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. این شاخص‌ها هستند که واکنش مناسب را در مورد آنچه در حال اتفاق است ایجاد می‌کند بنابراین ما می‌توانیم اقدام لازم را به‌عنوان پاسخی در راستای تغییر و بهبود آن انجام دهیم [۱]. درگذشته عملکرد ایمنی صنایع با استفاده از شاخص‌های تعیین شده اداره ایمنی و بهداشت آمریکا (OSHA) (Occupational Safety and Health Administration) از قبیل نرخ آسیب‌های قابل ثبت (RIR) (Recordable Injure Rate)، نرخ روزهای ازدست‌رفته (LWD) (Loss Day Work)، نرخ شکایات کارگران و غیره اندازه‌گیری می‌شد [۲]. این اطلاعات با هدف مقایسه وضعیت ایمنی پیمانکاران و صنایع و همچنین رتبه‌بندی آن‌ها انجام می‌گرفت. شاخص‌های تعریف شده توسط OSHA می‌تواند وضعیت بهبود عملکرد ایمنی را نشان دهد اما اینکه چگونه وضعیت ایمنی یک صنعت بهبود یا کاهش یافته است را مشخص نمی‌کند[۲]. شاخص‌های RIR، LWD، نرخ بیماری‌ها و ... میزان عملکرد ایمنی را بعد وقوع زیان و آسیب‌های رخ‌داده‌اندازه‌گیری می‌کنند که تحت عنوان شاخص‌های Lagging تعریف می‌شوند[۳]. این شاخص‌ها اطلاعات لازم برای پیشگیری از حوادث مجدد فراهم

۱- استادیار دانشکده علوم پزشکی ساوه، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت دانشکده علوم پزشکی ساوه، ساوه، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. a_karimi@sina.tums.ac.ir

۳- استادیار دانشکده علوم پزشکی ساوه، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت دانشکده علوم پزشکی ساوه، ساوه، ایران.

۴- فوق لیسانس بهداشت حرفه ای دبیرخانه شورای عالی مناطق آزاد و وِیژه اقتصادی

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

نمی‌کند[۴]. به‌طورکلی شاخص‌های عملکرد، سنجه-هایی می‌باشند که چگونگی یک یا چند بعد از عملکرد سازمان را نشان می‌دهند[۵]. هدف اصلی از اندازه‌گیری عملکرد ایمنی و بهداشت، تهیه اطلاعات لازم در رابطه با میزان پیشرفت و شرایط کنونی استراتژی‌ها، فرآیندها و فعالیت‌هایی می‌باشد که یک سازمان به‌منظور کنترل خطرات بهداشتی و ایمنی انجام می‌دهد [۶]. شاخص‌های عملکرد ایمنی به دودسته اصلی شاخص پیشرو[1] و شاخص پسین[2] تقسیم‌بندی می‌شود. شاخص‌های پیشرو اقدامات سازمان در خصوص پیش‌بینی و پیشگیری از وقوع حوادث، قبل از وقوع آن‌ها را نشان می‌دهند درحالی‌که شاخص‌های پسین عملکرد سازمان بعد از وقوع رویداد به‌منظور کاهش عوارض و عواقب آن را نشان می‌دهند[۷].

شروع تحقیقات ایمنی در زمینه شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد ایمنی و بهداشت حدوداً از سال ۱۹۹۸ کلید خورد. مطالعات سال‌های اخیر بیشتر بر روی تفاوت بین شاخص‌های پیشرو و گذشته‌نگر تمرکز دارد که امروزه واژه‌های indicator، KPI[3] به‌طورمعمول بکار گرفته می‌شود [۸] صنایع هسته‌ای به‌عنوان پیشگامان اصلی در توسعه شاخص‌های خطر شناخته می‌شوند و به دنبال آن صنایع فرآیند شیمیایی و صنایع نفتی در این حوزه فعالیت نموده‌اند[۹]. مطالعات محدودی در تدوین شاخص‌های پیشرو ارزیابی عملکرد ایمنی در حوزه نفت و گاز انجام گرفته است، انجمن تولیدکنندگان نفت و گاز(OGP)[4]، مرکز ایمنی فرآیند شیمیایی(CCPS)[5] و انستیتوی نفت آمریکا(API)[6] مهم‌ترین سازمان‌های فعال در حوزه تدوین شاخص‌های عملکرد ایمنی پیشرو در صنایع نفت و گاز می‌باشند[۱۰-۱۳]. گزارش عملکرد ایمنی مربوط به این مراکز بیشتر در سطح مدیریت بوده و به عناصر مدیریتی از قبیل مدیریت تغییرات، آموزش، مدیریت ریسک و روش‌های اجرایی تعمیرات و نگهداری می‌پردازد. مطالعات دیگری به‌صورت موردی در حوزه متدولوژی تدوین شاخص‌های عملکرد پیشرو ایمنی در سازمان‌های مختلف انجام گرفته است. Cambon و همکاران (۲۰۰۵) شاخص‌های پیشرو را به دودسته ساختاری و عملیاتی تقسیم‌بندی نمودند[۱۴].

DANIEL در سال ۲۰۱۵ با تکیه بر مؤلفه‌های سیستم مدیریت ILO-OHS-2001 ۱۰۹ شاخص عملکرد عملیاتی پیشرو جهت اندازه‌گیری عملکرد سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت پیشنهاد داد[۱۵]. Jimmie Hinze و همکاران در سال ۲۰۱۳ شاخص‌های عملکرد ایمنی پیشرو در صنایع ساخت‌وساز را به دودسته passive و active دسته‌بندی نمودند. شاخص‌های Passive شاخص‌هایی هستند که بازه زمانی اندازه‌گیری آن طولانی می‌باشد درحالی‌که شاخص‌های active را می‌توان در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت اندازه‌گیری نمود[۲]. در بسیاری از فعالیت‌ها از قبیل عملیات ساخت‌وساز به علت تغییرات سریع در ماهیت فعالیت‌ها و به دنبال آن تغییر در سطح ریسک ایمنی عملیات، ضروری است در حوزه عملکرد ایمنی شاخص‌های پاسخگوتر و حساس‌تر نسبت به تغییرات سطح ایمنی عملیات تدوین گردد. بنابراین طبق تعریف Jimmie Hinze شاخص‌های عملکرد فعال به‌عنوان سنجه‌های اندازه‌گیری عملکرد ایمنی در عملیات ساخت‌وساز می‌تواند اثربخش باشد.

میزان مرگ‌ومیر مربوط به حوادث بخش ساخت‌وساز می‌تواند ۱۰ الی ۲۰ برابر بیشتر از میانگین مرگ‌ومیر در سایر صنایع باشد[۱۶]. طبق گزارش شاخص‌های عملکرد ایمنی انجمن تولیدکنندگان نفت و گاز (OGP) ۱۲/۹ درصد از مجموع روزهای ازدست‌رفته کاری مربوط به حوادث فاز ساخت‌وساز صنایع نفت و گاز می‌باشد[۱۷]. سه علت ریشه‌ای اصلی حوادث ساخت‌وساز شامل عدم شناسایی شرایط ناایمن قبل از شروع فعالیت، ادامه دادن کار در شرایط ناایمن و انجام اعمال ناایمن بدون در نظر گرفتن شرایط محیط کار

[1] Leading Indicator
[2] Lagging Indicator
[3] Key Performance Indicator
[4] International Association of Oil & Gas Producers
[5] Center for Chemical Process Safety
[6] American Petroleum Institute

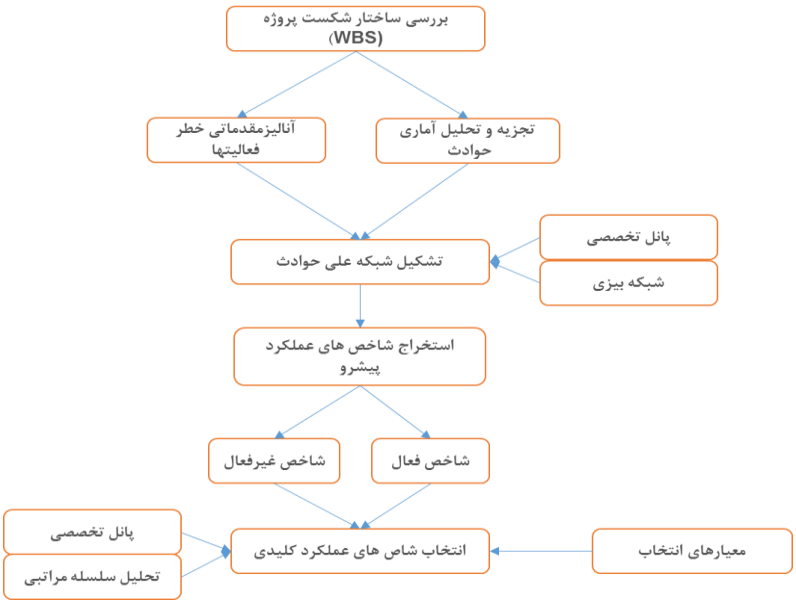
Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

می‌باشد که علت ایجاد شرایط ناایمن می‌تواند نقص‌های مدیریتی، اعمال ناایمن کارگران و ماهیت کار فعالیت‌های ساخت‌وساز باشد[۱۸]. مطالعه R.A. Haslam و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد فاکتورهای کلیدی وقوع حوادث در صنایع ساخت‌وساز شامل مشکلات کارگران یا تیم کاری، مسائل محیط کار، تجهیزات و متریال معیوب، کمبود تجهیزات (از قبیل وسایل حفاظت فردی) و نقص در مدیریت ریسک می‌باشد[۱۹]. طبق نتایج تحقیقات گذشته ریسک سقوط از ارتفاع جزء مهم‌ترین ریسک‌ها شناخته شده است [۲۰، ۲۱]. به‌عنوان مثال در سال ۲۰۰۶ بنتلی و همکاران به بررسی عوامل ریسک سقوط از نردبان، داربست و سقف پرداختند و عنوان کردند که سرخوردن، سکندری خوردن و سقوط به‌ویژه سقوط از ارتفاع از مهم‌ترین علت‌های آسیب در صنایع ساخت‌وساز نیوزیلند می‌باشد [۲۲] و در سال ۲۰۰۸ زنگ و همکاران به برخی از حوادث ازجمله سقوط از ارتفاع و ضربه ناشی از سقوط مواد به‌عنوان رایج‌ترین علت حوادث منجر به صدمات در چین اشاره کردند [۲۳]. همچنین طبق مطالعات انجام شده در دفتر آمار کار آمریکا در سال ۲۰۱۰، سقوط، یک‌سوم از تمام تلفات کارگران ساخت‌وساز را تشکیل می‌دهد [۲۴]. نتایج تحقیقات پیشین Sou-Sen Leu و همکاران (۲۰۱۳) وTung-Tsan Chen نیز بر حوادث سقوط از ارتفاع به‌عنوان مهم‌ترین حادثه در صنعت ساخت‌وساز تأکید دارد[۲۵، ۲۶].

نتایج مطالعات مذکور نشان می‌دهد که عملیات و فعالیت‌های کار در ارتفاع صنایع ساخت‌وساز دارای ریسک بالا می‌باشد بنابراین ضروری است شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد ایمنی در این حوزه توانایی تشخیص و اعلام به‌موقع مغایرت‌های ایمنی را داشته باشند. ازاین‌رو در مطالعه حاضر سعی بر این شد که مدلی جهت تدوین شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم مدیریت ایمنی تدوین گردد که شاخص‌های عملکرد فعال منتج شده از آن بتواند وضعیت ایمنی را در همه سطوح عملیات کار در ارتفاع فاز ساخت پالایشگاه نفت و گاز را تعیین نماید.

روش بررسی

این مطالعه، توصیفی-تحلیلی می‌باشد که در فاز ساخت پالایشگاه‌های نفت و گاز انجام گرفت. مدل تدوین شاخص‌های عملکرد پیشرو ایمنی با هدف تعیین



شکل ۱- فرآیند تدوین و انتخاب شاخص های پیشرو عملکرد کلیدی

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

و انتخاب شاخص‌های عملکرد کلیدی در مرحله اول طبق شکل ۲ تعیین شد. مدل مذکور بر اساس تعیین شاخص‌های عملکرد فعال و غیرفعال تدوین گردید که در این مدل شاخص‌های فعال عملکرد ایمنی شامل شاخص‌هایی از نوع اقدامات کنترلی پیشگیرانه می‌باشد. این شاخص‌ها بر اساس Work breakdown structure پروژه و مخاطرات مربوطه و نتایج آنالیز حوادث مهم رخداده در پروژه‌های ساخت‌وساز تعیین می‌گردد. در این مدل از شبکه بیزی و پانل تخصصی جهت تشکیل شبکه علی حوادث استفاده گردید. متدولوژی این تحقیق شامل ۵ مرحله بشرح ذیل می‌باشد.

مرحله اول: شناسایی و دسته‌بندی عملیات فاز ساخت و مخاطرات مربوط به آن

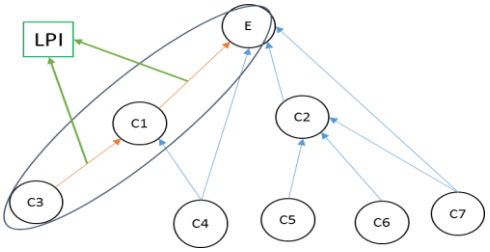
در مرحله اول جهت تدوین شاخص‌های فعال طبق تعریف هینز[۲]، فرآیندهای عملیاتی ساخت با مطالعه WBS پروژه ساخت پالایشگاه مشخص گردید. ساختار شکست کار را می‌توان بدین ترتیب تعریف کرد: یک ساختار شبکه‌ای یا درختی به صورت گرافیکی است برای نشان دادن روش تولید محصول یا خدمت شامل، بخش‌های سخت‌افزار، نرم‌افزار، خدمات و سایر وظایفی که یک سازمان یا شرکت انجام می‌دهد مانند کارهایی که باید انجام شود تا یک محصول یا خدمت مشخص تولید و یا ارایه شود. تدوین ساختار شکست کار به‌عنوان یک نظام کاری، برای اطمینان از مشارکت‌کنندگان در اجرای پروژه، اعم از کارفرما، پیمانکاران/فروشندگان است که همگی بدانند چه عملیاتی برای تکمیل پروژه مورد نیاز است. استفاده از ساختار شکست کار به‌عنوان یک شالوده اطلاعاتی، برقراری ارتباط صحیح درباره پروژه را برای گروه‌های کاری و سازمان‌های حکومتی ناظر بر پروژه و سایر فرایندهای قانونی، از طریق کاربرد یک مبنای مشترک، تسهیل می‌کند. در این مرحله ابتدا فعالیت‌های اصلی فاز ساخت با مطالعه WBS پروژه مشخص گردید. در ادامه، شناسایی مخاطرات ایمنی عملیات اصلی ساخت شناسایی شده با استفاده از تکنیک PHA انجام گرفت. تکنیک آنالیز مقدماتی خطر معمولاً اولین تلاش جهت شناسایی و دسته‌بندی خطرات سیستم یا عملیات می‌باشد. روش PHA با استفاده از تکنیک‌های ایمنی سیستم از قبیل FMEA، ETBA، HAZOP و ... توسعه داده می‌شود[۲۷]. در این مطالعه مخاطرات فاز ساخت با استفاده از PHA شناسایی و دسته‌بندی گردید.

مرحله دوم: تشکیل شبکه علی حوادث رخداده در فاز ساخت پالایشگاه نفت و گاز با استفاده از شبکه بیزی

در مرحله دوم ابتدا حوادث ثبت شده در ۵ پروژه ساخت پالایشگاه با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 مورد آنالیز قرار گرفت و حوادث مهم بر اساس پارامترهای فراوانی وقوع و شدت پیامد حادثه انتخاب گردید. با توجه به این‌که تعیین شبکه علی حوادث و ارزیابی احتمال نقص یکی از فاکتورهای مهم ارزیابی ریسک و تعیین شاخص‌های عملکرد ایمنی می‌باشد، نحوه روابط بین علل وقوع حادثه و احتمال وقوع این علل با استفاده ازنظر ۱۴ کارشناس خبره به دست آمد. ابزار مورد استفاده برای تعیین روابط علی و محاسبه احتمال حوادث مهم در این مطالعه شبکه بیزی بود. روش بیزین یک تکنیک مناسب برای جمع‌آوری داده‌های پراکنده از منابع اطلاعاتی مختلف و یک چهارچوب مناسب در حوزه احتمالات ذهنی برای تصمیم‌گیری تحت عدم قطعیت می‌باشد[۲۸]. شبکه بیزی یک مدل گرافیکی احتمالات می‌باشد که مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی و وابستگی شرطی بین آن‌ها را با استفاده از گراف‌های غیر مدور یک‌سو نشان می‌دهد. یک شبکه یک توصیف کامل از قلمرو را ارائه می‌دهد. هر عنصر توزیع احتمال توأم کامل با استفاده از اطلاعات درون شبکه قابل‌محاسبه است. یک عنصر در توزیع را می‌توان به‌صورت عطف مقداردهی متغیر مانند $P(X_1 = x_1, \ldots, X_n = x_n)$ در نظر گرفت. با توجه به اطلاعات شبکه مقدار یک عنصر طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$P(x_1, \ldots, x_n) = \prod_{i=1}^{n} P(x_i \mid parents(X_i)) \quad (۱)$$

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020



شکل ۲- نحوه استخراج شاخص عملکرد پیشرو ایمنی

شکل ۲ شبکه علی مربوط به رویداد E و نحوه تدوین شاخص‌های عملکرد فعال با استفاده از شبکه بیزی را در این مطالعه نشان می‌دهد.

طبق شکل ۲ یکی از مسیرهای علی رویدادE شامل C_2،C_3 می‌باشد، محاسبه احتمال وقوع رویداد E بر اساس نوع روابط بین گره‌ها می‌باشد. احتمال وقوع رویداد E در مسیر مشخص شده C_1 و C_3 با توجه به قانون زنجیره‌ای (Chain rule) در احتمالات، طبق معادله شماره ۲ محاسبه می‌شود.

$$P(C3,C1,E) = P(E|C1,C3) \times P(C1|C3) \times P(C3)$$

شبکه بیزی وقتی دقیقاً برابر توزیع توأم است که برای هر متغیر X_i در شبکه، معادله شماره ۳ برقرار باشد.

(۳)
$$P(X_i \mid X_{i-1},\ldots,X_1) = P(X_i \mid Parents(X_i))$$

با این فرض که $Parents(X_i) \subseteq \{X_1,\ldots,X_{i-1}\}$ باشد. شبکه علی ایجاد شده دارای دو ویژگی ساختاری و یادگیری می‌باشد، با به‌کارگیری مدل ساختاری شبکه شاخص‌های عملکرد ایمنی با رویکرد پیشگیرانه در مسیر علی رویداد تعیین می‌گردد، LPI[7] های استخراج شده وضعیت اقدامات پیشگیرانه مورد نیاز جهت کاهش احتمال وقوع مسیرعلی موردنظر را نشان می‌دهد. احتمال وقوع رویداد هر مسیر علی به‌عنوان یکی از معیارهای انتخاب شاخص عملکرد کلیدی بکار گرفته می‌شود. با بهره‌گیری از این مدل در این مطالعه شاخص‌های عملکرد فعال ایمنی با استفاده از مفهوم شبکه بیزی تدوین گردید.

مرحله سوم: انتخاب شاخص‌های عملکرد کلیدی

برای ایجاد یک روش اثربخش اندازه‌گیری عملکرد OHS MS، ضروری است تعداد شاخص‌ها به تعداد کمتر یا مهم‌ترین KPI ها کاهش یابد. این بدین معنی است که در بین شاخص‌های موجود بهترین و مهم‌ترین شاخص‌ها بر اساس معیارهای مدنظر انتخاب گردد.

شکل ۳ الگوی انتخاب شاخص‌های کلیدی عملکرد در این تحقیق را نشان می‌دهد. در متون علمی ممکن است الزامات مختلفی برای انتخاب شاخص خوب یافت شود[۲۴]. اما یکی از معروف‌ترین مجموعه معیارها برای انتخاب شاخص در حوزه عملکرد مدیریت، تحت عنوان مخفف SMART (ویژه بودن[8]، قابل‌اندازه‌گیری[9]، قابل دستیابی[10]، مرتبط[11] و مقید به زمان[12]) می‌باشد. مراجع مربوط به این معیارها توسط Rockwell (1959)، Kjellen (2009) و Carlucci (2010) ارائه شده است [۲۹-۳۱].

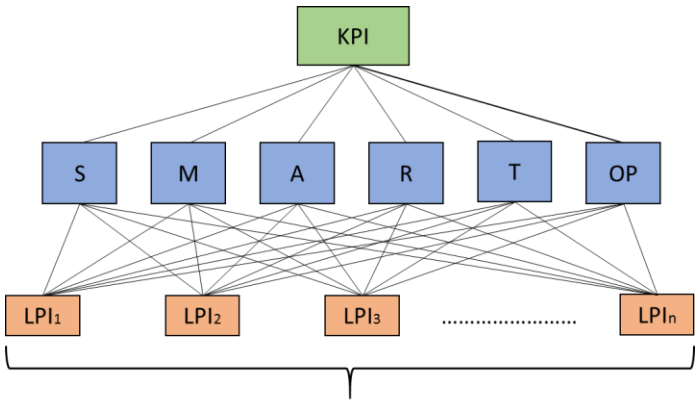
در این مرحله شاخص‌های عملکرد کلیدی از بین مجموع شاخص‌های استخراج شده با استفاده از روش AHP انتخاب گردید. تمامی شاخص‌ها به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه گردید و ارجحیت هرکدام نسبت به دیگری به صورت یک عدد بین ۱به ۹ (کمترین ارجحیت) و ۹ (بیشترین ارجحیت) مشخص شد.

مقایسه‌های زوجی بر اساس معیارهای SMART و احتمال وقوع علل کسب شده در شبکه بیزی حوادث بر اساس نظر کارشناسان خبره انجام گرفت. برای این منظور جداول مقایسه‌های زوجی در قالب یک پرسشنامه تهیه گردید. مقایسه زوجی طبق ماتریس

[7] Leading performance indicator

[8] Specific
[9] Measurable
[10] Accessible
[11] Relatable
[12] Time bound

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020



شکل ۳- الگوی انتخاب شاخص های کلیدی عملکرد

مربع ذیل محاسبه شد:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{=}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \frac{1}{\tilde{a}_{12}} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\tilde{a}_{1n}} & \frac{1}{\tilde{a}_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

در این مرحله برای وزن دهی شاخص‌ها ۱۴ نفر از کارشناسان خبره ایمنی شاغل در صنعت ساخت‌وساز پالایشگاه‌های نفت و گاز بر اساس تخصص و تجربه انتخاب شدند. بعد از به دست آوردن ماتریس مقایسات زوجی فازی برای هر خبره، این نتایج را با استفاده از روش میانگین هندسی با یکدیگر ادغام و ماتریس مقایسات زوجی ادغام شده از طریق فرمول ذیل محاسبه می‌شود.

$$\left(\prod_{i=1}^{n} a_i\right)^{1/n} = \sqrt[n]{a_1.a_2 \ldots . a_n}\tilde{a}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}^1 \times \tilde{a}_{ij}^2 \times \ldots \times \tilde{a}_{ij}^m)^{\frac{1}{m}}$$

وزن حاصل از میانگین هندسی، وزن نهایی عناصر است اما این وزن نرمال نیست، اگر میانگین هندسی مربوط به مقایسه زوجی هر عنصر با π_i نشان داده شود، آنگاه وزن نرمال عناصر هر ستون از معادله ذیل به دست می‌آید.

$$W_i = \frac{\pi_i}{\sum_{i=1}^{n} \pi_i}$$

با توجه به پیچیدگی نسبتاً پایین، در دسترس بودن نرم‌افزارهای حمایتی و امکان بکارگیری این روش در حل مشکلات تصمیم‌گیری در بخش‌های بی‌شمار اقتصادی، علمی و فناوری، روش AHP به‌طور گسترده‌ای در متون علمی استفاده شده و کاربردهای منتشر شده است [۳۲، ۳۳]. در این مطالعه تشکیل شبکه علی حوادث و محاسبه احتمال وقوع رویدادها با استفاده نرم‌افزار GeNIe 2 و مقایسه زوجی شاخص‌های عملکرد و تعیین بردار وزنی شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice11 با توجه به در

جدول ۱- تعیین ارجحیت AHP در مقایسه‌های زوجی

ترجیحات	مقدار عددی
کاملا مهم‌تر	۹
مهم‌تر	۷
مهم	۵
کمی مهم‌تر	۳
یکسان	۱

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

دسترس بودن و کاربری آسان استفاده شد.

یافته‌ها

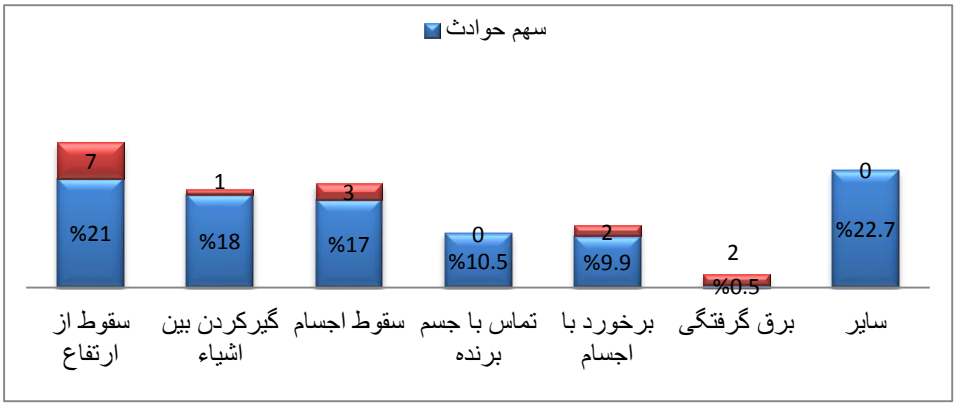
با توجه به اینکه هدف اصلی این مطالعه تدوین، اعتباربخشی و رتبه‌بندی شاخص‌های فعال ارزیابی عملکرد ایمنی از طریق ارزیابی ریسک‌های ایمنی در فاز ساخت با استفاده از تکنیک‌های یکپارچه Bayesian Network بود، بر این اساس مراحل و فعالیت‌های عملیاتی فاز اجرا تعیین گردید. جدول ۱ فعالیت‌های فاز ساخت و نصب را نشان می‌دهد.

در این مرحله مطابق جدول ۱، ۲۷ فعالیت مربوط به فاز ساخت و نصب پالایشگاه که دارای خطر کار در ارتفاع بودند مشخص گردید. در مرحله بعد جهت تدوین شاخص‌های عملکرد فعال فعالیت‌های پروژه ساخت و نصب پالایشگاه و حوادث مهم رخداده بر اساس معیارهای فراوانی و شدت پیامد حادثه مشخص شد. در این مرحله ۲۷۴۴ حادثه ثبت شده در ۵ پروژه ساخت پالایشگاه مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۱ آمده است.

نمودار ۱ نشان می‌دهد حوادث سقوط از ارتفاع (۲۱٪)، گیرکردن بین اشیاء (۱۸٪) و سقوط اجسام (۱۷٪) به ترتیب بیشترین سهم از حوادث ثبت شده را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین حوادث سقوط از ارتفاع [۷]، سقوط اشیاء [۳] و برق‌گرفتگی [۲] به ترتیب دارای بیشترین فراوانی مرگ‌ومیر ثبت شده می‌باشد. بر اساس نتایج این مرحله و بررسی WBS فاز ساخت و نصب پالایشگاه حادثه سقوط از ارتفاع انتخاب و شبکه علی حادثه بر اساس نظر خبرگان تشکیل گردید که شکل ۴ شبکه علی حادثه سقوط از ارتفاع را نشان می‌دهد. پس از تشکیل ساختار شبکه بیزی حادثه

جدول ۱- فعالیت های اجرایی زیر فاز ساخت و نصب پالایشگاه

ردیف	فعالیت	ردیف	فعالیت	ردیف	فعالیت
۱	خاکبرداری	۱۰	جوش مخزن	۱۹	حمل اسکلت فلزی
۲	قالب بندی	۱۱	هیدرو تست مخزن	۲۰	نصب تجهیزات
۳	آرماتور بندی	۱۲	رنگ مخزن	۲۱	کابل کشی برق
۴	حفاری	۱۳	جوش لوله AG	۲۲	کابل کشی ابزار دقیق
۵	بتن رگلاژ	۱۴	فیتاپ لوله AG	۲۳	نصب سویچ
۶	بتن ریزی اصلی	۱۵	جوش لوله UG	۲۴	نصب ترانسفورماتور
۷	بتن ریزی غیر اصلی	۱۶	فیتاپ لوله UG	۲۵	تولید ستون پایپرک پیش ساخته
۸	بکفیل	۱۷	هیدرو تست AG	۲۶	تولید تیر پایپرک پیش ساخته
۹	فیتاپ مخزن	۱۸	نصب اسکلت فلزی	۲۷	داربست بندی



نمودار ۱- سهم فراوانی حوادث ثبت شده و میزان مرگ و میر ناشی از حوادث

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

جدول ۲- نرخ احتمال وقوع و کدهای اختصاص یافته به رویدادهای میانی و پایه حادثه سقوط از ارتفاع

رویداد اصلی	رویداد میانی	رویداد های میانی	کد اختصاص یافته	رویدادهای پایه	کد اختصاص یافته	نرخ احتمال وقوع
سقوط از ارتفاع	سقوط از داربست (X)	سقوط از لبه داربست	(X_1)	از دست رفتن تعادل فرد به دلایل خستگی یا گرمازدگی و..	$X_{1.1}$	0.0165
				عدم مدیریت و نظارت کافی پیمانکار و ناظر	$X_{1.2}$	0.0469
				عدم وجود هندریل و میدریل	$X_{1.3}$	0.0469
		شکستن تخته داربست	(X_2)	بالا بودن وزن افراد و مصالح بر روی تخته	$X_{2.1}$	0.0165
				فاصله زیاد ساپورت های زیر تخته از همدیگر	$X_{2.2}$	0.0469
				ترک خوردگی و پوسیدگی تخته	$X_{2.3}$	0.0469
		سقوط از منافذ موجود روی داربست	(X_3)	عدم رعایت دستورالعمل داربست بندی و نصب صحیح داربست	$X_{3.1}$	0.0165
				عدم وجود نرده ها و حصارهای هشداردهنده حفاظتی	$X_{3.2}$	0.0469
		شکستن یا بازشدن داربست	(X_4)	وزن بیش ازحد مصالح	$X_{4.1}$	۰.0005
				شل بستن بولت بست	$X_{4.2}$	0.0469
				ترک خوردگی بست	$X_{4.3}$	0.0050
		ریزش ساختار داربست	(X_5)	شکستن لوله داربست	$X_{5.1}$	0.01650
				فرورفتگی زمین داربست	$X_{5.2}$	0.01650
				شکسته یا باز شدن بست داربست	$X_{5.3}$	0.0165
				شرایط جوی مثل وزش باد،بارندگی، طوفان ورعد وبرق	$X_{5.4}$	0.0050
				ضعف مدیریت HSE	$X_{5.5}$	0.0165
	سقوط از اسکلت فلزی (Y)	سقوط فرد از اسکلت فلزی	(Y_1)	عدم استفاده از سکوی ایمن	$Y_{1.1}$	0.0469
				عدم تعادل فرد در ارتفاع به دلایل خستگی یا گرمازدگی	$Y_{1.2}$	0.0165
				به کارگیری افراد کم تجربه و آموزش ندیده	$Y_{1.3}$	0.0165
				عدم مدیریت و نظارت کافی پیمانکار و ناظر	$Y_{1.4}$	0.0469
		سقوط سبد حمل نفر هنگام جابجایی	(Y_2)	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی ضد سقوط(کمربند ایمنی، طناب نجات، هارنس و..)	$Y_{2.1}$	0.0165
				مهارنکردن مناسب سبد حمل نفر به هوک جرثقیل	$Y_{2.2}$	0.0469
	سقوط به داخل کانال حفاری (Z)	عدم شناسایی و علامت گذاری مناطق حفاری شده	(Z_1)	عدم نصب نوارخطر و موانع در اطراف مناطق حفاری شده	$Z_{1.1}$	0.0469
				عدم مدیریت و نظارت کافی (پیمانکار و ناظر) در اجرایی اصولی گودبرداری	$Z_{1.2}$	0.0469
		عدم نصب پل و راه پله ایمن جهت عبور افراد	(Z_2)	عدم تعهد مدیریت نسبت به الزامات HSE	$Z_{2.1}$	0.0469
				ضعف مدیریت HSE	$Z_{2.2}$	0.0469

سقوط از ارتفاع، میزان احتمال وقوع رویدادهای پایه با استفاده از روش AHP فازی با بهره‌گیری ازنظر خبرگان تعیین گردید جدول ۲ میزان احتمال وقوع رویدادهای پایه و کد اختصاص یافته به رویدادهای میانی و اصلی را نشان می‌دهد و جدول ۳ میزان احتمال وقوع رویدادهای میانی و اصلی حاصل از محاسبه نوع روابط شبکه بیزی را نشان می‌دهد که میزان احتمال وقوع رویداد اصلی ۴۱٪ به دست آمده است.

با بررسی و مطالعه علل شناسایی شده و نحوه روابط بین علل وقوع حادثه سقوط از ارتفاع شاخص‌های فعال مربوط به حوزه ایمنی کار در ارتفاع شناسایی شد. جدول ۴ شاخص‌های فعال مربوط به ایمنی کار در ارتفاع را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۴ تعداد ۱۸ شاخص فعال ارزیابی عملکرد ایمنی در حوزه پیشگیری از وقوع حادثه سقوط از ارتفاع تعیین گردید که به ترتیب ۹، ۷ و ۲ شاخص مربوط به فعالیت‌های داربست بندی، نصب اسکلت فلزی و حفاری می‌باشد.

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

جدول ۳- نرخ احتمال وقوع و کدهای اختصاص یافته به رویدادهای اصلی و میانی سقوط از ارتفاع

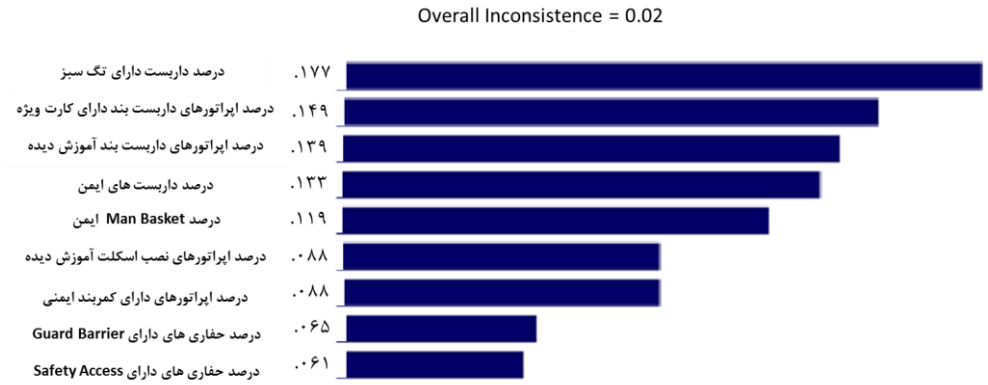
ردیف	کدهای اختصاص یافته	نرخ احتمال وقوع BN	کدهای اختصاص یافته	نرخ احتمال وقوع BN	نرخ احتمال وقوع رویداد اصلی
					۰/۴۱۳۱
۱	X1	۰/۰۶۲۶	X	۰/۲۹۹۱	
۲	X2	۰/۱۱۱۱			
۳	X3	۰/۰۶۲۶			
۴	X4	۰/۰۷۲۰			
۵	X5	۰/۱۲۱۶			
۶	Y1	۰/۰۶۳۳	Y	۰/۱۲۲۱	
۷	Y2	۰/۰۶۲۶			
۸	Z1	۰/۰۶۲۶	Z	۰/۰۶۲۶	
۹	Z2	۰/۰۰۰۷			

جدول ۴- شاخص های فعال مربوط به حوادث سقوط از ارتفاع

رویداد اصلی	رویداد های اصلی	رویدادهای میانی	میزان احتمال رویدادها	اقدامات کنترلی	شاخص های اندازه گیری عملکرد فعال
سقوط از ارتفاع	سقوط از داربست	سقوط از لبه داربست شکستن تخته داربست سقوط از منافذ موجود روی داربست شکستن یا بازشدن داربست ریزش ساختار داربست	۰/۲۹۹۰۲	- بازرسی و نظارت - آموزش - نرده های حفاظتی - بازرسی و نظارت - آموزش - نوار خطر منافذ - آموزش - بازرسی و نظارت - روش های اجرایی ایمنی داربست بندی - روش های اجرایی ایمنی کار در ارتفاع - آموزش	a. درصد اپراتورهای داربست بند که آموزش لازم دیده اند. b. درصد عملیات کار در ارتفاع دارای پرمیت c. میزان نفرساعت آموزش کار در ارتفاع d. وجود دستورالعمل ایمنی کار در ارتفاع e. وجود دستورالعمل ایمنی داربست بندی f. درصد پلاتفورم های دارای نرده حفاظتی g. درصد اپراتورهای دارای کارت ویژه داربست بندی h. درصد داربست های ایمن i. درصد داربست های دارای تگ سبز
	سقوط از اسکلت فلزی	سقوط فرد از اسکلت فلزی سقوط سبد حمل نفر هنگام جابجایی	۰/۱۲۲۰۹	- اجرای سیستم مجوز کار - آموزش - سبد حمل نفر و جرثقیل ایمن	j. درصد سبدهای حمل نفر ایمن طبق دستورالعمل k. درصد نصاب های اسکلت فلزی آموزش دیده l. در صد نصابان دارای کمربند ایمنی m. درصد نصب های دارای پرمیت n. درصد جرثقیل های دارای گواهی بازرسی فنی o. درصد جرثقیل های دارای ریگر p. درصد ایستگاه های کاری نصب دارای پلاتفورم
	سقوط به داخل کانال حفاری	عدم شناسایی و علامت گذاری مناطق حفاری شده عدم نصب پل و راه پله ایمن جهت عبور افراد	۰/۰۶۲۶۶	- نوار خطر و علائم ایمنی - نرده های حفاظتی - راه پله ها و راه دسترسی ایمن	q. درصد حفاری هایی که دارای نوار خطر و گارد در اطراف هستند r. درصد حفاری های دارای راه دسترسی ایمن به داخل

پس از تعیین شاخص‌های پیشرو عملیاتی فعال با استفاده از آنالیز علل حوادث و نتایج PHA، جهت اولویت‌بندی و انتخاب شاخص‌های عملکرد کلیدی با استفاده از روش AHP بر اساس معیارهای SMART

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020



نمودار ۲- نمودار وزن دهی شاخص های عملکرد فعال مربوط به حادثه سقوط از ارتفاع

و احتمال وقوع رویدادهای اصلی و میانی مقایسه زوجی بین شاخص‌ها انجام گرفت. شکل ۴ نمودار وزنی شاخص‌های عملکرد فعال استخراج شده از شبکه علی حادثه سقوط از ارتفاع را نشان می‌دهد.

نمودار ۲ نشان می‌دهد شاخص‌های درصد داربست‌های دارای تگ ایمنی، درصد اپراتورهای دارای کارت ویژه داربست بندی، درصد اپراتورهای داربست بند آموزش‌دیده، درصد داربست‌های ایمن و درصد سبد حمل نفر ایمن به ترتیب با کسب نمره وزنی ۰/۱۷۷، ۰/۱۴۹، ۰/۱۳۹، ۰/۱۳۳ و ۰/۱۱۹ دارای بیشترین وزن بوده و به‌عنوان شاخص‌های عملکرد کلیدی فعال انتخاب گردید.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام مطالعه حاضر ارائه مدلی جهت تعیین شاخص‌های عملکرد ایمنی فعال در سیستم مدیریت ایمنی حوزه کار در ارتفاع پروژه‌های ساخت‌وساز پالایشگاه‌های نفت و گاز می‌باشد. بدین منظور با بررسی مطالعات قبلی مدل موردنظر تدوین شد و اولویت‌بندی شاخص‌های عملکرد ایمنی فعال در پروژه‌های ساخت‌وساز بر اساس این مدل انجام گرفت. در این مطالعه ۱۸ شاخص عملکرد ایمنی از نوع شاخص‌های فعال و غیرفعال تعیین گردید که بر اساس فعالیت کار در ارتفاع عملیات حوزه ساخت‌وساز پالایشگاه‌های نفت و گاز می‌باشد. در مطالعات قبلی مانند مطالعه Podgorski(۲۰۱۵) شاخص‌های پیشرو عملکرد ایمنی بر اساس مؤلفه‌های سیستم مدیریت ILO-OHS-2001 انجام و شاخص‌های کلیدی با هدف استفاده در کلیه صنایع تدوین شده بود که فقط به شاخص‌های عملکرد پیشرو عملیاتی پرداخته است[۱۵]. یکی از اهداف اصلی تدوین شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد ایمنی در پروژه‌های عمرانی رتبه‌بندی و مقایسه عملکرد ایمنی پیمانکاران حاضر در پروژه می‌باشد بنابراین ضروری است کلیه جنبه‌های عملکردی سیستم مدیریت ایمنی در نظر گرفته شود تا بتوان قضاوت درستی از وضعیت موجود داشت. شاخص‌های عملکرد ارائه شده در مطالعه Podgorski(۲۰۱۵) نمی‌تواند کلیه جنبه‌ها را تحت پوشش قرار دهد. مدل ارائه شده در مطالعه حاضر شاخص‌ها را طبق تعریف Hinze و همکاران(۲۰۱۳) به دو نوع فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌کند[۲]. برای تدوین شاخص‌های عملکرد فعال می‌بایست فعالیت‌ها و عملیات فاز ساخت پالایشگاه و حوادث مهم رخداده در این نوع پروژه‌ها به‌خوبی شناسایی می‌شد که بر اساس آنالیز آماری حوادث رخداده در ۵ پروژه طبق شکل ۴ سقوط از ارتفاع مهم‌ترین حادثه از لحاظ شدت و فراوانی شناخته شد که با نتایج تحقیقات پیشین (مانند Sou-Sen Leu و همکاران (۲۰۱۳) و Tung-Tsan Chen همخوانی دارد [۲۶،۲۵]. با توجه به آمار حوادث در صنایع ساخت‌وساز و ماهیت سریع تغییرات شرایط

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

عملیاتی در این حوزه کاری، شاخص‌های اندازه‌گیری عملکرد پیشرو باید بتواند تغییرات سریع سطح ایمنی فعالیت‌ها را تشخیص دهد. در این مطالعه بر اساس تعاریف Hinze شاخص‌های فعال به‌عنوان بخشی از شاخص‌های عملکرد پیشرو از مدل ارائه شده بر اساس عملیات شناسایی شده حاصل از انجام PHA و بررسی WBS پروژه، طبق جدول ۱ تدوین گردید. در مطالعه HINZE و همکاران شاخص‌های عملکرد فعال از نوع شاخص‌های عملکرد عملیاتی می‌باشد که در دوره زمانی کوتاه‌مدت قابل‌اندازه‌گیری می‌باشد. Abdelhamid TS و همکاران(۲۰۰۰) عدم شناسایی شرایط ناایمن را یکی از علل ریشه‌ای حوادث پروژه‌های ساخت‌وساز اعلام کردند، بنابراین شاخص‌های عملکرد فعال بایستی بتواند وضعیت ایمنی عملیات ساخت‌وساز را در دوره‌های کوتاه‌مدت اندازه‌گیری نماید[۱۸]. جهت غلبه بر محدودیت شاخص‌های فعال تعریف شده در مطالعه HINZE، شاخص‌های فعال در مطالعه حاضر با هدف تشخیص شرایط ناایمن تدوین گردید. بنابراین جهت تدوین و انتخاب دقیق شاخص‌های فعال شناسایی و آنالیز علل حوادث مهم رخداده و تعیین مسیر علی حوادث می‌تواند به‌طور مؤثر تأثیرگذار باشد.

نقطه قوت این مطالعه این است که جهت تعیین مسیر علی حوادث از شبکه بیزی استفاده شد برتری شبکه بیزی در ارزیابی ریسک و تعیین مسیر علی حوادث این است که می‌توان متغیرها را وابسته در نظر گرفت به این خاطر تعیین روابط بین سطوح مختلف علل وقوع حادثه راحت‌تر بوده و محاسبه نرخ احتمال وقوع حوادث از صحت بالاتری برخوردار می‌باشد. تعیین شبکه علی حوادث به‌طور صحیح و جامع مهم‌ترین فاکتور در جهت شناسایی شاخص‌های عملکرد ایمنی فعال می‌باشد. استفاده از روش مناسب تجزیه و تحلیل حوادث می‌تواند اعتبار شاخص‌های عملکرد را بالا ببرد؛ بنابراین با توجه به قابلیت یادگیری و مدل کردن ساختار روابط علی روش شبکه بیزی مسیر تعیین شاخص‌های عملکرد پیشرو فعال دارای صحت بیشتری می‌باشد مطالعات خاکزاد و همکاران بر صحت و قابلیت بیشتر شبکه بیزی نسبت به روش‌های دیگر تأکید دارد [۳۵، ۳۶]. در مطالعه حاضر شبکه بیزی با دو رویکرد مورد استفاده قرار گرفت، رویکرد اول استخراج شاخص‌های عملکرد فعال از شبکه علی ترسیم شده حوادث با استفاده از قابلیت ساختاری و گرافیکی این روش و رویکرد دوم انتخاب شاخص‌های کلیدی فعال بر اساس میزان احتمال وقوع محاسبه شده رخدادها در مسیرهای علی مختلف رویداد اصلی به‌عنوان یکی از معیارهای انتخاب شاخص در روش AHP. جهت انتخاب شاخص‌های عملکرد کلیدی فعال علاوه بر معیارهای SMART، اهمیت شاخص به‌عنوان یک اقدام کنترلی تعریف شده جهت پیشگیری از وقوع رخداد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. Herra در سال ۲۰۱۳ شاخص‌های عملکرد ایمنی فعال[۱۳]را به‌عنوان اقدامات کنترلی پیشگیرانه تعریف نمود[۳۴،۳۷]. بر اساس این تعریف شاخص‌های عملکرد فعال استخراج شده در مسیرعلی رخدادها طبق شکل ۳ ، بر اساس میزان احتمال وقوع رخداد دارای اهمیت متفاوتی هستند، شاخص‌های استخراج شده از مسیرهای علی با احتمال وقوع زیاد طبق معیار احتمال وقوع در روش AHP دارای وزن و اهمیت بیشتری می‌باشند. بنابراین در انتخاب شاخص‌های کلیدی فعال علاوه بر معیار SMART، معیار احتمال وقوع رخداد نیز به‌عنوان یکی از معیارهای انتخاب شاخص‌های کلید فعال در نظر گرفته شد.

Cambon J و همکاران (۲۰۰۶) تفاوت بین شاخص‌های ساختاری و عملیاتی سیستم مدیریت ایمنی را توصیف نمودند، به دنبال آن Hinze و همکاران (۲۰۱۳) ویژگی‌های شاخص عملکرد فعال و غیرفعال در صنعت ساخت‌وساز تعیین شد اما شاخص‌های عملکرد به‌طور جامع تعیین نشد. در مطالعه Podgorski(۲۰۱۵) شاخص‌های منتخب در چارچوب سیستم ILO-0HS-2001 تدوین گردید که شاخص‌های عملیاتی فعال جهت اندازه‌گیری سطح ایمنی در عملیات دارای ریسک

[13] Proactive safety performance indicators

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

بالا تعیین نشده بود. در مطالعه حاضر شاخص‌های عملکرد تدوین شده بر اساس چالش‌های مطالعات قبلی تدوین گردید. یکی از محدودیت‌های اصلی این مطالعه و مطالعات قبلی عدم اجرای اعتبارسنجی شاخص‌های عملکرد پیشرو تعیین شده است. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی به ارائه الگوی مناسب برای اعتبارسنجی شاخص‌های عملکرد تدوین شده توجه گردد.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد تعیین شاخص‌های عملکرد ایمنی پیشرو علاوه بر مؤلفه‌های سیستم مدیریت ایمنی باید بر اساس نوع عملیات و خطرات شناسایی شده محیط کار باشد. شاخص‌های عملکرد پیشرو ایمنی منتج از مؤلفه‌های سیستم مدیریت ایمنی استقرار یافته در یک سازمان اکثراً غیرفعال بوده و نمی‌تواند تغییرات وضعیت سطح ایمنی محیط کار را در زمان کم نشان دهد. با توجه به این‌که عملیات ساخت‌وساز ماهیتاً دارای ریسک بالا بوده و تغییرات سطح ایمنی به‌طور سریع اتفاق می‌افتد بنابراین ضروری است شاخص‌های عملکرد پیشرو فعال (عملیاتی) به‌عنوان مکمل شاخص‌های غیرفعال نیز تعیین گردد. با توجه به متغیرهای فراوان تأثیرگذار در وقوع حوادث مهم صنایع ساخت‌وساز تعیین روابط علی بین این متغیرها پیچیده می‌باشد لذا به‌کارگیری روش‌های دارای قابلیت اطمینان بالا مانند شبکه بیزی، اعتبار شاخص‌های عملکرد پیشرو فعال منتجِ از شبکه علی حوادث را افزایش می‌دهد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بدین‌وسیله از تمام کسانی که در راستای اجرای این پژوهش همکاری کردند و همچنین از حمایت‌های گروه آموزشی رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی تهران کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

منابع

1.Franceschini F, Galetto M, Maisano D. Management by measurement: Designing key indicators and performance measurement systems: Springer Science & Business Media; 2007.

2.Hinze J, Thurman S, Wehle A. Leading indicators of construction safety performance. Safe Sci. 2013;51(1):23-8.

3.Toellner J. Improving safety & health performance: identifying & measuring leading indicators. Profession Safe. 2001;46(9):42.

4.Grabowski M, Ayyalasomayajula P, Merrick J, Mccafferty D. Accident precursors and safety nets: leading indicators of tanker operations safety. Maritime Polic Manag. 2007;34(5):405-25.

5.Rad Parviz P. from performance measurement to performance management. 2003. Performance management international Conference, Tehran.

6.Redinger CF, Levine SP. Development and evaluation of the Michigan Occupational Health and Safety Management System Assessment Instrument: a universal OHSMS performance measurement tool. Am Indust Hyg Assoc. 1998;59(8):572-81.

7.Øien K, Utne IB, Herrera IA. Building safety indicators: Part 1–theoretical foundation. Safe Sci. 2011;49(2):148-61.

8.Tarrants WE. The measurement of safety performance: University of Michigan-Dearborn; 1980.

9.Kjellén U. Prevention of accidents through experience feedback: CRC Press; 2000.

10.Swuste P, Theunissen J, Schmitz P, Reniers G, Blokland P. Process safety indicators, a review of literature. J Loss Prev Proces Indust. 2016;40:162-73.

11.Wilkinson P. Progress on Process Safety Indicators–Necessary but Not Sufficient?: Discuss. Pap., US Chem. Saf. Hazard Investig. Board, Noetic Risk Sol., Washington, DC; 2012.

12.Landucci G, Tugnoli A, Cozzani V. Inherent safety key performance indicators for hydrogen storage systems. J Hazard Mat. 2008;159(2):554-66.

13.Frank W. Process safety culture in the CCPS risk based process safety model. Proces Safe Prog. 2007;26(3):203-8.

14.Cambon J, Guarnieri F, Groeneweg J. Towards a new tool for measuring Safety Management Systems performance. Learning from Diversity: Model-Based Evaluation of Opportunities for Process (Re)-Design and Increasing Company Resilience. 2006:53.

15.Podgórski D. Measuring operational performance of OSH management system–A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. Safe Sci. 2015;73:146-66.

16.Hamid ARA, Majid MZA, Singh B. Causes of accidents at construction sites. Mala J Civil Engin. 2008;20(2):242-59.

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

17.OGP. Safety performance indicators-2015 data. 2015 June 2016. Report No: 2015s.

18.Abdelhamid TS, Everett JG. Identifying root causes of construction accidents. J Construc Engin Manag. 2000;126(1):52-60.

19.Haslam RA, Hide SA, Gibb AG, Gyi DE, Pavitt T, Atkinson S, et al. Contributing factors in construction accidents. Appl Ergonom. 2005;36(4):401-15.

20.Martin JE, Rivas T, Matías J, Taboada J, Argüelles A. A Bayesian network analysis of workplace accidents caused by falls from a height. Safe Sci. 2009;47(2):206-14.

21.Mohajeri M, Amiri M. Ranking Main Causes of Falling from Height Hazard in High-Rise Construction Projects. Iran Occup Health. 2014;11(5):53-64.

22.Bentley TA, Hide S, Tappin D, Moore D, Legg S, Ashby L, et al. Investigating risk factors for slips, trips and falls in New Zealand residential construction using incident-centred and incident-independent methods. Ergonomics. 2006;49(1):62-77.

23.Zeng S, Tam VW, Tam CM. Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China. Safe Sci. 2008;46(8):1155-68.

24.Harris P. Bureau of Labor Statistics. Nonfatal occupational injuries involving the eyes, 2002. Accessed November 3, 2006.

25.Leu SS, Chang CM. Bayesian-network-based safety risk assessment for steel construction projects. Accid Analy Prev. 2013;54:122-33.

26.Chen TT, Leu SS. Fall risk assessment of cantilever bridge projects using Bayesian network. Safe Sci. 2014;70:161-71.

27.Roland HE, Moriarty B. Preliminary hazard analysis. System Safety Engineering and Management, Second Edition. 2009:206-12.

28.Korb KB, Nicholson AE. Bayesian artificial intelligence: CRC press; 2010.

29.Hale A. Why safety performance indicators? Safe Sci. 2009;47(4):479-80.

30.Kjellén U. The safety measurement problem revisited. Safe Sci. 2009;47(4):486-9.

31.Rockwell T. Safety performance measurement. Journal of Industrial Engineering. 1959;10(1).

32.Carlucci D. Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model. Measur Bus Excell. 2010;14(2):66-76.

33.Vaidya OS, Kumar S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. Eur J Operat Res. 2006;169(1):1-29.

34.Subramanian N, Ramanathan R. A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. Int J Prod Econom. 2012;138(2):215-41.

35.Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches. Reliab Engin Sys Safe. 2011;96(8):925-32.

36.Khakzad N, Khan F, Amyotte P .Dynamic safety analysis of process systems by mapping bow-tie into Bayesian network. Proces Safe EnviroProtec. 2013;91(1):46-53.

37.Herrera IA. Proactive safety performance indicators. 2012.

Downloaded from ioh.iums.ac.ir at 0:36 IRST on Saturday February 15th 2020

Development and ranking of safety performance indicators using bayesian network and analysis hierarchical process: Case of work at height of the oil and gas refinery construction phase

Mohsen Falahati[1], Ali Karimi*[2], Mojtaba Zakaei[3], Ali Dehghani[4]

Received: 2017/06/26 Revised: 2018/01/11 Accepted: 2018/02/22

Abstract

Background and aims: The safety and health performance measurement, designed to provide the necessary information on the concern to progress and the current state of the organization's strategies, processes and activities. The purpose of this study is to present a new model for the development of safety performance indicators using the probability risk assessment model and applying experts' opinions.

Methods: This descriptive-analytic study was carried out in 3 steps: categorize of the construction face activities and its related hazards identification; formation of the accident causal network occurred in the oil and gas refinery construction phase using the Bayesian network and the selection of key performance indicators using AHP method.

Results: The statistical analysis of the recorded accidents showed that 21% of the incidence rate is related to the falling. Among all the construction phase activities, using the WBS analysis of the project, 27 activities with work at height risk of were identified. 18 active performance indicators were extracted the accident causal network that using SMART criteria and occurrence probability rate Calculated from the Bayesian network was selected as 5 active key performance indicators.

Conclusion: Determining the leading performance indicators is influenced by various organizational, managerial, operational and other factors. As the project progresses, the nature and level of risk of the operation of construction projects is changing. Therefore, indicators of safety performance measurements in these projects should be sensitive to rapid changes. For this reason, active indicators with a short-term measurement period are more effective in measuring the safety performance of construction operations.

Keywords: Bayesian network, Refinery construction phase, Safety, Key performance indicators.

1. Assisstant professor saveh universty, of medical scences, Social Determinats of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.
2. (Corresponding author) Associate professor Associate Professor of Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. a_karimi@sina.tums.ac.ir
3. Assisstant professor saveh universty, of medical scences, Social Determinats of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.
4. Occupational health Anzali Trade-Industrial Freezone Organization