مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۲(۷۴-۵۹)

شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل علل ریشه ای حوادث ساختمانی با استفاده از تکنیک تلفیقیBow-tie_FMEA (مطالعه موردی: شرکت ابنیه فنی تهران)

علیرضا مرادی [۱]

فاطمه رضویان [۲*]

Razavian.env@gmail.com

بهناز مرادی غیاث آبادی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۱**

زمینه و هدف: صنعت ساختمان سازی یکی از پرمخاطره ترین صنایع شناخته شده است که به دلیل پیچیدگی ماهیت کار و شرایط ناایمن محیط کار، نرخ وقوع حوادث قابل توجه بالا می باشد. مطالعه حاضر شناسایی مخاطرات و تجزیه و تحلیل علل ریشه ای حوادث ساختمانی با استفاده از تکنیک تلفیقیBow-tie_FMEA

روش بررسی :در این پژوهش مخاطرات موجود در پروژه های ساختمانی شرکت ابنیه فنی تهران تحت عنوان خانه شهر و هلال با استفاده از چک لیست شناسایی شده و سپس با استفاده از تکنیک ارزیابی ریسکFMEA مورد ارزیابی قرار گرفت . همچنین از تکنیک نقاط بحرانی جهت شناسایی و تعیین ریسک های بحرانی در پروژه های ساختمانی مذکور استفاده شده و در آخرین مرحله هر یک از ریسک های بحرانی با استفاده از نرم افزار Bowtie Pro 3.3 به صورت دیاگرام های پاپیونی مدلسازی شدند.

یافته ها : نتایج مطالعات نشان دادند که پروژه ساختمانی خانه شهر از مجموع ۱۴ ریسک ارزیابی شده دارای ۷ ریسک بحرانی و پروژه ساختمانی هلال از مجموع ۱۵ ریسک ارزیابی شده دارای ۸ ریسک بحرانی می باشند که هر یک از آن ها مدلسازی شدند. همچنین ریسک واژگونی جرثقیل موبایل در پروژه ساختمانی خانه شهر و برخورد بار و سازه های فلزی-بتنی به تجهیزات، نفرات و کابل های برق فشار قوی در پروژه ساختمانی هلال به ترتیب با اعداد ۴۲۰ و ۴۹۰ از شاخص ترین ریسک های بحرانی بودند.

بحث و نتیجه گیری : می توان نتیجه گرفت که امکان اســتفاده تلفیقی تکنیک های ارزیابی ریســک و تکنیک های مدل ســازی حوادث وجود دا شته و می توان از Bow-tie نسبت به تعیین علل وقوع حوادث و پیامدهای احتمالی آن در صنعت عمران بهره برد. م شخص شد فاکتورهای شدت، احتمال و قابلیت کشف و در نهایت اعداد اولویت ریسک در پروژه ساختمانی هلال نسبت به پروژه ساختمانی خانه

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات).

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران.

شهر بالاتر فلذا مخاطرات شناسایی شده ،خسارات و زیان های شناسایی شده، احتمال بروز حوادث و شبه حوادث در پروژه ساختمانی هلال نسبت به پروژه ساختمانی خانه شهر بیشتر است از دیدگاه فاکتور قابلیت کشف نیز، پروژه ساختمانی خانه شهر قابلیت شناسایی و کشف بهتری از مخاطرات و شرایط بالقوه خطر با استفاده از بازرسی ها و بازدیدهای روزانه و دوره ای دارد که احتمال بروز حوادث و شبه حوادث را به مراتب کاهش می دهد.

واژه‌های کلیدی: شناسایی مخاطرات، ارزیابی ریسک، ریسک بحرانی، شبه حوادث، اقدامات کنترلی و اصلاحی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 8, November, 2023

Identification of hazards and analysis of the root causes of construction accidents using the Bow-tie_FMEA Compound Technique (Case Study: Tehran Technical Building Company)

Alireza Moradi [1]
Fatemeh Razavian [2*]
Razavian.env@gmail.com
Behnaz Moradighiasabadi [3]

Admission Date: January 1, 2020 Date Received: January 20, 2019

Abstract

Background and Objective: Construction industry is known as one of most dangerous industries which incidents occurrence rate is high because of work nature complexity and also unsafe workplaces. Therefor construction jobs are categorized in most dangerous and most full of incident jobs in world.

Material and Methodology: In this article technical buildings company of Tehran construction projects known as Khaneh-Shahr and Helal existing hazards have been recognized using checklist and then evaluated and assessed using FMEA risk assessment method. Additionally, critical points technique in order to identify and determine construction projects critical risks has been used and also modeled in the form of bowtie using Bowtie Pro 3.3 software in last phase.

Findings: Results have shown that Khaneh-Shahr construction project has 7 critical risks from totally 14 assessed risks and also Helal construction project have 8 critical risks from totally 15 assessed risks which have been modeled separately. Furthur mobile crane reversal risk in Khaneh-Shahr construction project and metal-concrete structures crash with equipment, workers and high voltage electricity cables in Helal construction project with RPNs of 420 and 490 respectively, considered as most significant critical risks.

Discussion and Conclusion: It could be concluded there is posiibility to use risk assessment and incident modeling techniques in combined and analizing incident root causes and probable consequences in construction industries using Bowtie analysis method besides.

Keywords: Hazards idntification, Risk assessment, Critical risk, Pseudo-events, Controlling and Corrective Actions.

1- Master of Science in Health, Safety and Environment, Wesst Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Department of environment, Wesst Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)

3- Department of environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran.

مقدمه

مطالعه موردی پژوهش شامل یک ساختمان ۲۱ طبقه (پروژه ساختمانی هلال) با کاربری اداری واقع در خیابان استاد نجات الهی و یک ساختمان ۴ طبقه (پروژه خانه شهر) با کاربری فرهنگی-تفریحی در ضلع شمالی میدان امام خمینی می باشد که توسط گروه اجرایی شرکت ابنیه فنی تهران در حال اجرا می باشد. تجهیزات عمرانی مورد استفاده در پروژه های ساختمانی شامل ۲ عدد تاورکرین۱۰ تنی برای پروژه خانه شهر و یک تاورکرین ۱۲ تنی برای پروژه هلال،۱ عدد جرثقیل موبایل ۲۵ تنی برای پروژه خانه شهر و ۱ عدد بابکت و ۱ عدد تراکتور برای هر پروژه می باشد.صنایع ساختمان سازی یکی از بزرگترین صنایع در جهان را شامل می شوند که به طور تقریبی بیش از ۱۲ درصد از کل نیروی کار جهان را به خود اختصاص می دهد(۱). ساختمان سازی یکی از پرمخاطره ترین صنایع شناخته شده است که به دلیل پیچیدگی ماهیت کار و شرایط ناایمن محیط کار، نرخ وقوع حوادث قابل توجه می باشد (۲). از این رو مشاغل ساختمانی در گروه پرمخاطره ترین و پرحادثه ترین مشاغل دنیا طبقه بندی می شوند (۳ و ۴)که این امر به دلیل وجود عملیاتی مانند گودبرداری و حفاری، پی سازی، تخریب، کار در ارتفاع و ... در کلیه پروژه های ساختمانی می باشد(۵). مطابق با آمار سال ۱۳۹۵ سقوط از ارتفاع شایع ترین حادثه منجر به مرگ در کارگاه های ساختمانی در ایران می باشد که هر ساله جان کارگران زیادی را می گیرد. در این مدت استان تهران با ۳۰۳ فوتی بیشترین آمار تلفات حوادث کار را در بین کلیه استان های ایران داشته است و پس از آن استان فارس با ۹۷ و خراسان رضوی با ۹۲ فوتی بالاترین آمار را در این بخش به خود اختصاص داده اند. استان های کهگیلویه و بویراحمد و خراسان جنوبی هر کدام با ۹، خراسان شمالی و ایلام هر کدام با ۱۰ و زنجان و چهارمحال و بختیاری هر کدام با ۱۲ فوتی کمترین آمار تلفات حوادث کار را داشته اند. بر این اساس استان تهران با اختلاف زیادی با بحران وقوع حوادث منجر به مرگ در کارگاه های ساختمانی رو به رو است (۶). این امر ضرورت و اهمیت شناسایی مخاطرات، ارزیابی ریسک و تجزیه و تحلیل و بررسی علل به وجود آورنده حوادث را بیش از پیش آشکار می سازد. از این رو کارشناسان در تلاش اند تا فاکتورهای مهم و علل وقوع حوادث ساختمانی را شناسایی کنند(۷).

یکی از مهم ترین و پرکاربردترین رویکردهای تجزیه و تحلیل حوادث که جهت درک و تشریح علل پایه حوادث مطرح شده است، تجزیه و تحلیل علل ریشه ای می باشد (۸). تعیین مهم ترین علل ریشه ای حوادث از اصلی ترین چالش های فرآیند تجزیه و تحلیل حوادث به شمار می رود (۹). به طور کلی می توان علل بروز حوادث در پروژه های ساختمانی را ناشی از سه عامل اصلی دانست که شامل فعالیت ها، محیط و انسان است. جهت تجزیه و تحلیل ریشه ای حوادث در صنعت ساختمان تئوری های مختلفی به کار رفته است که از جمله آن می توان به تئوری معروف دومینو[1]نیز اشاره نمود که توسط هنریش در سال ۱۹۵۹ میلادی مطرح و معرفی شد. طبق این نظریه علل ریشه ای وقوع حوادث ناشی از سه فاکتور اصلی اعمال ناایمن، شرایط ناایمن و تجهیزات ناایمن می باشد که همگی آن ها قابل کنترل هستند. این تئوری حوادث را مانند بازی دومینو در نظر می گیرد که حوادث به صورت سلسله وار اتفاق می افتند و علل ریشه ای همواره در اولین زنجیره حوادث قرار می گیرند(۱۰). همچنین در مدلی به نام استخوان ماهی علل ریشه ای حوادث به ۶ دسته تقسیم بندی می شوند که فرآیند وقوع حادثه بر اساس علل ریشه ای را به صورت استخوان یک ماهی ترسیم می نماید. این ۶ علت عبارتند از: مدیریت، تجهیزات، نیروی انسانی، محیط، روش و مواد. در این تئوری مباحث مدیریتی، روش های انجام کار و مواد مورد استفاده در فرآیندهای کاری علاوه بر عوامل مشترک در تئوری های قبلی، مد نظر قرار گرفته اند (۱۱). تئوری دیگری که در این زمینه مطرح شده است علل وقوع حوادث را به کوه یخ بزرگی تشبیه می کند که قسمت بیرون از آب، علل مستقیم و بخش اعظم آن که در زیر آب قرار دارد، علل و عوامل غیر مستقیم به وجود آورنده آن می باشند. این امر اهمیت تجزیه

1- Domino Heinrich

و تحلیل علل ریشه ای وقوع حوادث و ارزیابی ریسک های حاصل از آن را در صنایع و به ویژه در صنعت ساخت و ساز، به روشنی نشان می دهد(۱۲). لذا جهت شناسایی مخاطرات محیط کار، تعیین علل ریشه ای پدید آورنده حوادث، پیامدهای ناشی از حوادث، کاهش چشمگیر نرخ وقوع حوادث و شبه حوادث، تعیین راهکارهای اصلاحی و کنترلی جهت جلوگیری از وقوع حوادث درپروژه های ساختمانی،تدوین استراتژی ها، سیاست ها و خط مشی های پیشگیرانه جهت کاهش نرخ وقوع حوادث وحفظ و صیانت از نیروی انسانی در برابر حوادث شغلی و جراحات در پروژه‌های ساختمانی مبادرت به انجام این تحقیق نمودیم.

روش بررسی

این تحقیق در سال ۱۳۹۶ با هدف حفظ و صیانت از نیروی انسانی در برابر حوادث شغلی، کاهش جراحات، شناسایی مخاطرات محیط کار، تعیین علل ریشه ای پدید آورنده حوادث، تعیین پیامدهای ناشی از حوادث و در نهایت کاهش چشمگیر نرخ وقوع حوادث و شبه حوادث در پروژه های ساختمانی انجام شد. این پژوهش از نوع تحلیلی-توصیفی بوده که جهت ارزیابی ریسک مربوط به مخاطرات از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن، (FMEA) استفاده و جهت تعیین ریسک-های بارز از مدل نقاط بحرانی و در آخرین مرحله جهت تجزیه و تحلیل علل وقوع حوادث ساختمانی و برآورد پیامدهای احتمالی آن، از مدل پاپیونی (Bow-tie) استفاده شده است . توسط نرم افزار Bowtie Pro 3.3 دیاگرام های پاپیونی مرتبط با هر یک از ریسک های بحرانی رسم شده اند. FMEAیک روش نسبتا وقت گیر بوده و نیازمند حجم بالایی از اطلاعات دقیق در مورد سیستم یا فرآیند مورد مطالعه می باشد (۱۳-۱۵). قابل ذکر است که تکنیکFMEAکاربردهای موفقیت آمیزی در مطالعات و پژوهش های گوناگون داشته است که از آن جمله می توان به گیماراس و لاپا (۱۶)، پانگ و همکاران(۱۷)، گارگاما و چاتورودی (۱۸)، چنک و همکاران(۱۹) و کیک و کلیک(۲۰) اشاره نمود که در پژوهش های خود از این تکنیک استفاده کرده اند. تکنیک ارزیابی ریسکFMEAهمانند یک فرآیند مطالعاتی و پژوهشی شامل مراحل و گام هایی است که می بایست از ابتدا تا انتها یک به یک توسط فرد ارزیابی کننده به همراه سایر اعضای کمیته حفاظت فنی ارزیابی ریسک انجام شوند. جدول ۱ بخش های مختلف مجموعه چک لیست های ایمنی عملیات ساختمانی را نشان می دهد.

جدول ۱- بخش های مختلف چک لیست ایمنی عملیات

Table 1. Different parts of the operating safety checklist

ردیف	نام بخش	تعداد آیتم ها
۱	نکات کلی	۲۰
۲	ایمنی جرثقیل	۲۵
۳	ایمنی در انبار مصالح	۱۴
۴	ایمنی نرده های حفاظتی موقت	۲
۵	ایمنی پاخورهای چوبی، راهروهای سرپوشیده موقت، سرپوش حفاظتی، پوشش موقت فضای باز و سقف موقت	۱۰
۶	توری های ایمنی	۴
۷	ایمنی حصار حفاظتی موقت	۵
۸	ایمنی در عملیات جوشکاری	۱۳
۹	ایمنی سیلندرهای گاز تحت فشار	۱۳
۱۰	ایمنی در اجرای سازه های بتنی	۱۳
۱۱	ایمنی در برپا کردن اسکلت فلزی	۲۰

مراحل اصلی انجام کار

۱-تکمیل اطلاعات و مشخصات عمومی ارزیابی ریسک.۲-تعیین عملکرد/ وظیفه، ۳-تعیین مخاطرات بالقوه.۴-پیش بینی پیامدها،۵--شناسایی علل بروز خطا .۶-کنترل های جاری ،۷-تعیین شدت خطر، ۸-تعیین احتمال خطر. ۹-تعیین قابلیت کشف خطر، ۱۰-عدد اولویت ریسک (RPN). این نمره حاصل ضرب سه عدد وخامت (S)، احتمال وقوع (O)و احتمال کشف (D) است. معادله ۱ نحوه محاسبه عدد اولویت ریسک در روش FMEAرا بیان می کند که به طور معمول آنرا عدد اولویت ریسک می نامند و بین ۱ و ۱۰۰۰ خواهد بود، ۱۱-اقدامات پیشنهادی، ۱۲-نتیجه گیری ، ۱۳-تعیین سطح ریسک.

جدول۲- احتمال وقوع خطر

Table 2. Likely risk

رتبه	نرخ های احتمالی خطر	احتمال رخداد خطر
۱۰	۱ در ۲ یا بیش از آن	بسیار زیاد – خطر تقریبا اجتناب ناپذیر است.
۹	۱ در ۳	
۸	۱ در ۸	زیاد-خطر های تکراری
۷	۱ در ۲۰	
۶	۱ در ۸۰	متوسط-خطرهای موردی
۵	۱ در ۴۰۰	
۴	۱ در ۲۰۰۰	
۳	۱ در ۱۵۰۰۰	خطرهای نسبتا نادر
۲	۱ در ۱۵۰۰۰۰۰	
۱	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰	خطر نامحتمل است.

جدول۳- احتمال کشف خطر (توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد)(۱۳)

Table 3. Chance of risk detection

رتبه	قابلیت کشف	احتمال کشف خطر
۱۰	مطلقا هیچ	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست.
۹	خیلی ناچیز	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل های موجود خطر ردیابی و اشکار شود.
۸	ناچیز	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۷	خیلی کم	احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۶	کم	احتمال کمی دارد که با کنترل های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۵	متوسط	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۴	نسبتا زیاد	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۳	زیاد	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۲	خیلی زیاد	احتمال خیلی زیاد وجود دارد.
۱	تقریبا حتمی	تقریباً بطور حتم با کنترل های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می شود.

جدول۴- سطوح بحرانی

Table 4. Critical levels

سطح بحرانی	شرح
سطح ۱	سطح عادی که در آن هر سه فاکتور عدد RPN دارای عددی کمتر از ۶ می باشند و یا این که عدد RPN پایین است و نیاز به اقدامات پیشگیرانه احساس نمی شود.
سطح ۲	سطح نیمه بحرانی که در آن حداکثر یک فاکتور از سه فاکتور عدد RPN دارای مقادیری بالاتر از ۶ است ولی عدد RPN پایین است. در این صورت ارایه اقدامات پیشگیرانه ضروری است.
سطح ۳	سطح بحرانی که در آن حداقل دو فاکتور از سه فاکتور عددRPNدارای مقادیر بالاتر از ۶ باشند و عدد RPN نیز بالا می باشد. مسلم است که این سطح نیاز به اقدامات پیشگیرانه فوری دارد.

با توجه به سطوح بحرانی تعریف شده، نموداری ترسیم می شود و هر یک اعداد اولویت ریسک (RPN) به دست آمده بر روی نمودار به صورت نقاطی مشخص می گردد و به این صورت که اگر نقاط در سطوح یک و دو بحرانی قرار گیرند، ریسک قابل چشم پوشی است.

تجزیه و تحلیل علل ریشه ای حوادث و برآورد پیامدهای احتمالی

یکی از روش های جدید و مفید در حوزه مدیریت ریسک، تکنیک پاپیونی (Bow-tie)می باشد که ایده و مفهوم اولیه آن در دانشگاه کوئینزلند استرالیا و توسط هازن در سال ۱۹۷۹ مطرح و ارائه شد و بی شک شرکت چند ملیتی رویال داچ شل اولین شرکتی است که به طور کامل این روش را در تمامی ساختارهای خود استقرار و توسعه داده است و پس از آن این روش در سراسر جهان به طور گسترده پیشرفت و بسط پیدا کرد.تکنیکBow-tie یا گره پاپیونی یک روش احتمالاتی یکپارچه در مدیریت ریسک است که با یافتن علل بنیادین یا ریشه ای بروز یک حادثه و روابط منطقی حاکم بر آن ها، به تجزیه و تحلیل پیامدهای آن و ارزیابی احتمالات و مسیر رخداد سناریوهای مختلف جهت جلوگیری، کنترل و کاهش رویدادهای ناخواسته می پردازد[۲۱]. نمایش گرافیکی این روش با ترکیب تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA)و درخت رویداد (ETA) شکل می گیرد که به ترتیب در سمت چپ و راست گره پاپیون قرار می گیرند. در این متد با ایجاد دیاگرام پاپیونی برای یک فرآیند خاص مستندسازی لازم صورت می گیرد.

یافته ها

در این پژوهش پس از شناسایی مخاطرات موجود و ارزیابی ریسک آن ها در دو پروژه ساختمانی خانه شهر و هلال، ریسک های بحرانی که در سطح ۳ قرار گرفتند، ابتدا شناسایی و سپس اولویت بندی شدند. بر اساس اولویت صورت گرفته، تجزیه و تحلیل علل ریشه ای وقوع حوادث و برآورد پیامدهای احتمالی با توجه به شناسایی و تعیین ریسک های بحرانی که خود منجر به وقوع حوادث اصلی (Top Event)می شوند، توسط نرم افزار Bowtie Pro 3.3 مدلسازی شد و سپس دیاگرام آن ها رسم گردید.

با توجه به چک لیست های تکمیل شده توسط بازرسین ایمنی فنی و بهداشت حرفه ای در ۲ پروژه ساختمانی خانه شهر و هلال در اولین گام از فرآیند تجزیه و تحلیل علل ریشه ای حوادث رایج در صنعت ساختمان سازی، تعداد مغایرت های موجود شناسایی شدند که نشانگر شرایط و اعمال ناایمن و شرایط غیربهداشتی می باشند. از این رو نتایج مقایسه وضعیت مخاطرات بالقوه شناسایی شده به تفکیک بخش های مختلف چک لیست در این دو پروژه ساختمانی مشابه در جدول ۵ شرح داده شده اند. با توجه به مقایسه صورت گرفته در جدول۵ می توان به وضوح اظهار داشت که مخاطرات بالقوه شناسایی شده در پروژه ساختمانی هلال به مراتب بیشتر از پروژه خانه شهر می باشد و این پروژه پتانسیل بیشتری نسبت به وقوع حوادث رایج در صنعت ساختمان سازی دارد. این امر بیشتر در فاکتورهایی نظیر ایمنی در انبار مصالح، پاخورهای چوبی،

راهروهای سرپو شیده موقت، سرپوش حفاظتی، پو شش موقت فضـــای باز و ســـقف موقت و ایمنی در عملیات جوشـــکاری با اکسیژن مشهود می باشد.

جدول ۵- وضعیت موجود پروژه های ساختمانی خانه شهر و هلال از دیدگاه تعداد مخاطرات ساختمانی در سال ۱۳۹۶

Table 5. The current status of construction projects of the city house and the Helal terms of the number of construction hazards in 1396

پروژه ساختمانی خانه شهر			**پروژه ساختمانی هلال**		
ایمنی عمومی در تجهیزات و ماشین آلات عمرانی			**ایمنی عمومی در تجهیزات و ماشین آلات عمرانی**		
نکات کلی	تایید	عدم تایید	نکات کلی	تایید	عدم تایید
	۱۴	۶		۱۴	۶
ایمنی جرثقیل	تایید	عدم تایید	ایمنی جرثقیل	تایید	عدم تایید
	۲۰	۵		۱۹	۶
ایمنی در انبار مصالح			**ایمنی در انبار مصالح**		
ایمنی در انبار مصالح	تایید	عدم تایید	ایمنی در انبار مصالح	تایید	عدم تایید
	۱۱	۳		۸	۶
ایمنی نرده های حفاظتی موقت			**ایمنی نرده های حفاظتی موقت**		
ایمنی نرده های حفاظتی موقت	تایید	عدم تایید	ایمنی نرده های حفاظتی موقت	تایید	عدم تایید
	۱	۱		۱	۱
پاخورهای چوبی، راهروهای سرپوشیده موقت، سرپوش حفاظتی، پوشش موقت فضای باز و سقف موقت			**پاخورهای چوبی، راهروهای سرپوشیده موقت، سرپوش حفاظتی، پوشش موقت فضای باز و سقف موقت**		
پاخورهای چوبی، راهروهای سرپوشیده موقت، سرپوش حفاظتی، پوشش موقت فضای باز و سقف موقت	تایید	عدم تایید	پاخورهای چوبی، راهروهای سرپوشیده موقت، سرپوش حفاظتی، پوشش موقت فضای باز و سقف موقت	تایید	عدم تایید
	۸	۲		۵	۵
توری های ایمنی	تایید	عدم تایید	توری های ایمنی	تایید	عدم تایید
	۳	۱		۲	۲
حصار حفاظتی موقت	تایید	عدم تایید	حصار حفاظتی موقت	تایید	عدم تایید
	۳	۲		۳	۲
ایمنی در عملیات جوشکاری			**ایمنی در عملیات جوشکاری**		
ایمنی در عملیات جوشکاری	تایید	عدم تایید	ایمنی در عملیات جوشکاری	تایید	عدم تایید
	۱۲	۱		۸	۵
ایمنی سیلندرهای گاز تحت فشار			**ایمنی سیلندرهای گاز تحت فشار**		
ایمنی سیلندرهای گاز تحت فشار	تایید	عدم تایید	ایمنی سیلندرهای گاز تحت فشار	تایید	عدم تایید
	۹	۴		۸	۵

ایمنی در اجرای سازه های بتنی			ایمنی در اجرای سازه های بتنی		
ایمنی در اجرای سازه های بتنی	تایید	عدم تایید	ایمنی در اجرای سازه های بتنی	تایید	عدم تایید
	۱۲	۱		۱۱	۲
مجموع تعداد مغایرت ها و عدم مغایرت ها			مجموع تعداد مغایرت ها و عدم مغایرت ها		
تعداد کل	تایید	عدم تایید	تعداد کل	تایید	عدم تایید
	۹۳	۲۶		۷۹	۴۰

در دومین مرحله از فرآیند پیش رو، هر یک از مخاطرات شناسایی شده در هر یک از پروژه های ساختمانی خانه شهر و هلال، با استفاده از تکنیک FMEAمورد ارزیابی و ارزشیابی قرار گرفتند. در این ارزیابی ابتدا عملیات مهم و سپس وظایف مهم که در هر عملیات ساختمانی انجام می گیرد، شناسایی و در ارزیابی ریسک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. هر یک از مخاطرات شناسایی شده با استفاده از چک لیست ها، به عنوان یک ریسک برای عملیات و وظایف کاری مرتبط در نظر گرفته شدند که در ستون مخاطرات بالقوه در کاربرگ ارزیابی ریسک قرار گرفتند. همچنین علل بروز خطا برای هر ریسک با مراجعه به مستندات موجود در شرکت مانند مجموعه چک لیست های تکمیل شده، سوابق حوادث، شبه حوادث و بیماری های شغلی در پروژه های سابق و همچنین مصاحبه با شاهدین حاضر در حوادث و شبه حوادث و با کمک تکنیک طوفان ذهنی در طی جلسات ارزیابی ریسک تعیین شدند. تعیین فاکتورهای شدت، احتمال و قابلیت کشف خطر بر اساس نظر جمعی اعضای تیم ارزیابی ریسک برای هر یک از مخاطرات تعیین شدند. نتایج به دست آمده از اعداد اولویت ریسک (RPN) هر یک از مخاطرات بالقوه و همچنین به کارگیری تکنیک نقاط بحرانی در تعیین سطوح بحرانی یا به عبارتی دیگر ریسک های بحرانی در پروژه در جهت تعیین اولویت بندی ریسک های پروژه از دیدگاه ایمنی و بهداشت کار استفاده شدند. بر این اساس ریسک های بحرانی با اولویت بالا با استفاده از تکنیک Bow-tieو به صورت نرم افزاری در قالب دیاگرام های پاپیونی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و به نوعی مدل سازی شدند. در این خصوص همچنین اقدامات پیشنهادی با توجه به پیشنهادهای و دیدگاه های متفاوت اعضای تیم ارزیابی ریسک جهت حذف و کاهش هر یک از آن ها در کاربرگ ارزیابی ریسک قید شدند. این دو ریسک بحرانی یا ریسک سطح ۳ به ترتیب واژگونی جرثقیل موبایل و برخورد تجهیزات بتونی-فلزی به سایر تجهیزات، نفرات و کابل برق فشار قوی می باشند که در حقیقت دارای بالاترین میزان RPNاز بین سایر ریسک ها بودند. جداول۶ و ۷ به ترتیب از بحرانی ترین ریسک های ارزیابی شده در پروژه های ساختمانی خانه شهر و هلال می باشند که با استفاده از تکنیک FMEAمورد ارزیابی قرار گرفتند. کلیه مخاطرات شناسایی شده در این ۲ پروژه مشابه به این ترتیب در کاربرگ ارزیابی ریسک و توسط اعضای تیم ارزیابی ریسک در هر پروژه مورد ارزیابی و ارزشیابی قرار گرفتند و برای هر یک از مخاطرات اعداد RPNمتفاوتی به دست آمد. در جدول ۸ و ۹ کلیه ریسک های ارزیابی شده بر اساس میزان اعداد RPNبدست آمده و به تفکیک هر پروژه رتبه بندی شده اند و همچنین در جدول ۹ سطوح بحرانی آن ها با استفاده از تکنیک قضاوت ریسک نقاط بحرانی مشخص شده اند.بر اساس نتایج حاصل از جدول ۸واژگونی جرثقیل موبایل هنگام حمل و جابجایی مصالح ساختمانی، سقوط مصالح و تجهیزات ساختمانی از ارتفاع، انفجار کپسول اکسیژن در جوشکاری و برشکاری گرم از مهم ترین ریسک های پروژه ساختمانی خانه شهر در سال ۱۳۹۶ به حساب می آیند. همچنین برخورد بوم های تاورکرین به یکدیگر نیز در این پروژه به دلیل استفاده همزمان از دو دستگاه تاورکرین ۱۲ تنی از جمله ریسک های قابل توجه به شمار می رود. به همین ترتیب جدول ۹ اولویت بندی ریسک های ارزیابی شده در پروژه ساختمانی هلال را نشان می دهد که در آن اولویت بندی ریسک به گونه ای دیگری شکل گرفته است. برخورد بار و سازه های بتونی-فلزی به تجهیزات، نفرات و کابل های فشار قوی، سقوط سازه های فلزی از ارتفاع، انفجار کپسول اکسیژن در حین

جوشکاری، سقوط مصالح از ارتفاع و پس از آن سقوط نفر از ارتفاع از بارزترین ریسک های ارزیابی شده در این پروژه به حساب می آیند.

جدول ۶- کاربرگ ارزیابی ریسک FMEA در ارتباط با عملیات حمل و نقل بار و تجهیزات فلزی-بتنی با استفاده از جرثقیل موبایل در پروژه ساختمانی خانه شهر

Table 6. FMEA Risk Assessment Worksheet for Freight Transportation and Steel-Concrete Equipment Using Mobile Cranes in a Home Construction Project

شرح فعالیت/ فرآیند	مخاطرات بالقوه	پیامدها	علل بروز خطا	کنترل های موجود	S	O	D	RPN	اقدامات پیشنهادی	نتیجه گیری
حمل و نقل بار و تجهیزات فلزی-بتنی با استفاده از جرثقیل موبایل	بار و زنجه بزرگ فلزی-بتنی معلق در ارتفاع	واژگونی جرثقیل موبایل، خسارات بالا به جرثقیل بار و تجهیزات فلزی- بتنی، مرگ، نقص عضو، جراحات شدید برای راننده جرثقیل و کارگران	عدم رعایت اصول حرکت بار، عدم تجربه کم راننده موبایل و سایر متعلقات آن توسط بازرسین ایمنی، نظارت بر عکان استقرار جرثقیل قبل از شروع عملیات، حمل و نقل هوایی بار و تجهیزات فلزی-بتنی	بازرسی روزانه و مستمر از جرثقیل موبایل و سایر متعلقات آن توسط بازرسین ایمنی، نظارت بر عکان استقرار جرثقیل قبل از شروع عملیات، حمل و نقل هوایی بار و تجهیزات فلزی-بتنی	۱۰	۷	۶	۴۲۰	نظارت دقیق تر بر مکان استقرار جرثقیل موبایل قبل از شروع بکار کردن، تهیه تخته های چوبی ضخیم و سالم جهت استفاده در زیر پایه های جک در زمین های سست، هموار کردن قسمت های ناهموار زمین، شناسایی نقاط نشت روغن در جک ها و دستور توقف کار، استخدام رانندگان باتجربه و با مهارت بالا در پروژه های حساس، دستور توقف کار هنگام نامساعد شدن شرایط جوی	نظارت ها و بازرسی های دقیق و مدون به همراه تهیه پالت های چوبی ضخیم، سالم و استاندارد، مسطح سازی زمین و محل های استقرار جرثقیل و سختگیری در جلب رانندگان جرثقیل در پروژه در دستور کار قرار گرفتند.

جدول ۷-کاربرگ ارزیابی ریسک FMEA در ارتباط با عملیات حمل و نقل بار و تجهیزات فلزی-بتنی با استفاده از تاورکرین در پروژه ساختمانی هلال

Table 7. FMEA Risk Assessment Worksheet on Freight Transportation and Steel-Concrete Equipment Using a Tower Crane in a Helal Construction Project

شرح فعالیت/ فرآیند	حمل و نقل بار و تجهیزات فلزی-بتنی با استفاده از تاورکرین
مخاطرات بالقوه	حرکت و جابجایی عمودی و افقی بار و تجهیزات فلزی-بتنی معلق در ارتفاع
پیامدها	برخورد بار به تجهیزات، اسکلت ساختمان و نفرات در ارتفاع، برخورد به خطوط انتقال برق ولتاژ بالا، مرگ، نقص عضو، شکستگی ها و ضربدیدگی های عمیق برای کارگران
علل بروز خطا	حواس پرتی راننده تاورکرین، عدم مهارت و تجربه کافی در حمل و نقل با تاورکرین، نامساعد بودن شرایط جوی و وزش بادهای شدید
کنترل های موجود	نظارت مستقیم و مستمر حین حمل و نقل بار، مصالح و سازه های فلزی-بتنی توسط بازرسین ایمنی و کارشناسان عمران
S	۱۰
O	۷
D	۷
RPN	۴۹۰
اقدامات پیشنهادی	دستور توقف کار هنگام نامساعد شدن شرایط جوی، برگزاری دوره های آموزشی اصول ایمنی در حمل و نقل هوایی بار و مصالح ساختمانی با تاورکرین، استخدام متصدیان باتجربه و مهارت جهت کار با تاورکرین، رعایت حریم خطوط برق فشار قوی
نتیجه گیری	نظارت ها و پایش های مستقیم و شرایط استخدامی جدی تر از سوی کادر ایمنی و همچنین برگزاری دوره های آموزش ایمنی تاورکرین در دستور کار خواهند گرفت.

جدول ۸- رتبه بندی ریسک های ارزیابی شده در پروژه ساختمانی خانه شهر

Table 8. Ranking the Risks Estimated in the City Home Construction Project

ردیف	عنوان ریسک	RPN
۱	واژگونی جرثقیل موبایل	۴۲۰
۲	سقوط مصالح ساختمانی از ارتفاع	۴۲۰
۳	انفجار کپسول اکسیژن در جوشکاری	۴۲۰
۴	انفجار کپسول اکسیژن در برشکاری گرم	۴۲۰
۵	برخورد بوم تاورکرین ها به یکدیگر	۳۵۰
۶	سقوط بار از ارتفاع در حین حرکت توسط تاورکرین	۲۹۴
۷	سقوط کارگر از ارتفاع	۲۸۰
۸	سقوط بار پس از مهارسازی توسط تاورکرین	۲۵۰
۹	سقوط تجهیزات انبار به پایین	۲۴۰

۱۰	سقوط کیسه های سیمان و گچ به پایین	۲۱۰
۱۱	مواجهه تنفسی با فیوم جوشکاری در فضای بسته	۱۰۸
۱۲	پوسچرهای نامطلوب، تکراری و مداوم در حین جوشکاری	۱۰۵
۱۳	مواجهه چشمی تشعشعات ماوراء بنفش جوشکاری	۷۰
۱۴	برخورد پوستی جرقه های جوشکاری	۴۰

جدول ۹- رتبه بندی ریسک های ارزیابی شده در پروژه ساختمانی هلال

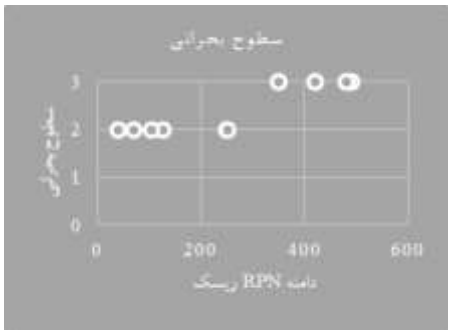
Table 9. Risk Estimation Assessed in the Helal Construction Project

ردیف	عنوان ریسک	RPN
۱	برخورد بار و سازه های فلزی-بتنی به تجهیزات، نفرات و کابل های برق فشار قوی	۴۹۰
۲	سقوط سازه های فلزی از ارتفاع	۴۸۰
۳	انفجار کپسول اکسیژن در عملیات برشکاری گرم	۴۸۰
۴	سقوط مصالح ساختمانی از ارتفاع	۴۲۰
۵	انفجار کپسول اکسیژن در حین عملیات جوشکاری	۳۵۰
۶	سقوط کارگر از ارتفاع (عملیات نصب و مونتاژ اسکلت فلزی)	۳۵۰
۷	سقوط کارگر از ارتفاع (عملیات آرماتوربندی، قالب بندی و بتن ریزی)	۳۵۰
۸	سقوط بار از ارتفاع توسط تاورکرین	۳۵۰
۹	سقوط تجهیزات انبار به پایین	۲۸۸
۱۰	سقوط کیسه های سیمان و گچ به پایین	۲۵۲
۱۱	انفجار کپسول های اکسیژن و استیلن در انبار مصالح	۲۵۰
۱۲	مواجهه تنفسی با فیوم جوشکاری	۱۲۶
۱۳	پوسچرهای نامطلوب در حین عملیات جوشکاری	۱۰۵
۱۴	مواجهه چشمی با تشعشعات ماوراء بنفش	۷۰
۱۵	برخورد پوستی با جرقه های جوشکاری	۴۰

بر اساس جداول ۸و ۹ و با بهره گیری از تکنیک قضاوت ریسک نقاط بحرانی، ریسک های بحرانی هر یک از پروژه ها با استفاده از نمودار نقطه ای ۱ و ۲ به نمایش درآمدند و تراکم نقاط در سطوح ۲ و ۳ نشان از میزان بحرانی بودن ریسک های پروژه از دیدگاه ایمنی و بهداشت شغلی می باشد. مشخص است که هر چقدر تراکم نقاط در سطح ۳ بیشتر باشد، پروژه یاد شده از ریسک های بحرانی بیشتری دارد و در صورت ایجاد تراکم در سطوح ۲ و ۱، ریسک های موجود در پروژه در وضعیت غیربحرانی یا نیمه بحرانی قرار دارند. لازم به ذکر است ستون افقی نمودار دامنه RPNریسک (۱۰۰۰-۱) و ستون عمودی نماینده ۳ سطح بحرانی می باشد. جهت ترسیم نقاط ابتدا سطح آن ها با توجه به راهنمای جدول ۸ شناخته می شوند و سپس بر اساس میزان عدد RPNدر جدول مشخص می گردند.

نمودار ۱- وضعیت ریسک های ارزیابی شده در پروژه ساختمانی خانه شهر

Diagram 1. Status of Risks Assessed in the Townhouse Construction Project



نمودار ۲- وضعیت ریسک های ارزیابی شده در پروژه ساختمانی هلال

Diagram 2. The Status of Risks Assessed in the Helal Construction Project

با توجه به نمودارهای نقطه ای ۱ و ۲، تراکم نقاط بحرانی در سطوح ۳ و ۲ به طور تقریبی با یکدیگر برابر هستند؛ اما پروژه ساختمانی هلال از وضعیت بحرانی تری از دیدگاه ریسک های بحرانی برخوردار است که متعقبا نیازمند اقدامات کنترلی و پیشگیرانه بیشتری می باشد. در سومین گام از فرآیند شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات و تجزیه و تحلیل علل ریشه ای وقوع حوادث رایج در پروژه های ساختمانی، ریسک های بحرانی هر یک از پروژه های ساختمانی خانه شهر و هلال با استفاده از نرم افزار Bowtie Pro 3.3 دیاگرام پاپیونی آن ها رسم شد که در سمت چپ نمودار تهدیدات یا علل ریشه ای وقوع حادثه اصلی (Top Event) و همچنین عوامل کنترل کننده آن ها و در سمت راست پیامدهای احتمالی و عوامل پیشگیرانه آن ها به ترتیب شناسایی و برآورد شدند. با توجه به دیاگرام های رسم شده برای هر یک از ریسک های بحرانی شاخص، مهم ترین علل ریشه ای در جداول ۱۰ و ۱۱ قید شده اند که در واقع نوع علل وقوع یا نقص های موجود مشخص می گردند. لازم به ذکر است در تعیین علل ریشه ای، از تکنیک ارزیابی ریسک FMEAو در کنار آن برگزاری جلسات طوفان ذهنی در بین اعضای تیم ارزیابی ریسک، مراجعه به مستندات و مدارک و سوابق حوادث و شبه حوادث مشابه و مصاحبه با شاهدان حوادث و شبه حوادث استفاده شد.

جدول ۱۰- علل ریشه ای وقوع حادثه واژگونی جرثقیل (پروژه خانه شهر)

Table 10. The root causes of a crash reversal incident (city house project)

ردیف	علل ریشه ای وقوع حادثه	نوع نقص
۱	حواس پرتی راننده تاورکرین	محیطی
۲	مهارت و تجربه کم تاورکرین	سیستماتیک
۳	نامساعد بودن شرایط جوی	نظارتی

جدول ۱۱- علل ریشه ای وقوع حادثه واژگونی جرثقیل(پروژه هلال)

Table 11. The root causes of the crash reversal incident (Helal project)

ردیف	علل ریشه ای وقوع حادثه	نوع نقص
۱	عدم رعایت اصول چارت بار	نظارتی
۲	مهارت و تجربه کم راننده جرثقیل موبایل	سیستماتیک
۳	سست بودن زمین	فنی
۴	عدم استفاده از پوشش های ضخیم چوبی	فنی
۵	نشت روغن های جک	فنی
۶	قرارگیری نامناسب جرثقیل	فنی
۷	نامساعد بودن شرایط جوی	نظارتی

علل ریشه ای و نوع آن ها با توجه به تکنیک Bow-tie برای هر یک از ریسک های بحرانی در پروژه های ساختمانی خانه شهر و هلال شناسایی و تعیین شدند که این امر می تواند در تعیین اقدامات اصلاحی و کنترلی جهت اتخاذ رویکردها و استراتژی های پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است بر اساس نوع نقایص تعیین شده می توان نوع اقدامات اصلاحی و کنترلی جهت حذف یا پیشگیری علل وقوع حوادث و کاهش پیامدهای احتمالی تعیین نمود که می تواند از نوع مهندسی، مدیریتی یا تلفیقی از آن ها باشد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر گویای آن است که می توان **از** تکنیک ارزیابی ریسک FMEAو مدل سازی علل وقوع و پیامدهای حادثه Bow-tie و تکنیک نقاط بحرانی در تعیین ریسک های قابل توجه و رایج در صنعت ساختمان سازی استفاده و ریسک های بحرانی را بر اساس فاکتورهای اساسی ارزیابی ریسک، شناسایی نمود. به طوری که شناسایی ریسک های بحرانی از بین سایر ریسک های ارزیابی شده می تواند ورودی مناسبی جهت تجزیه و تحلیل علل و پیامدهای وقوع حادثه در تکنیکBow-tieباشد .با توجه به مقایسه انجام شده می توان نتیجه گرفت که در اکثر ریسک های ارزیابی شده در زمینه های مشترک، فاکتورهای شدت، احتمال و قابلیت کشف و در نهایت اعداد اولویت ریسک در پروژه ساختمانی هلال نسبت به پروژه ساختمانی خانه شهر به مراتب بالاتر می باشد. بر این اساس مخاطرات شناسایی شده در پروژه ساختمانی هلال از ریسک های بیشتر و خسارات و زیان های بیشتری نسبت به پروژه ساختمانی خانه شهر دارد. بر اساس فاکتور احتمال نیز می توان چنین استنباط نمود که بروز حوادث و شبه حوادث در پروژه ساختمانی هلال احتمال بیشتری نسبت به پروژه ساختمانی خانه شهر دارد و این نشان از میزان کنترل ها و اصلاحات موجود در پروژه و همچنین عملکرد سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت کار در نظارت، بازرسی و پایش عملیات و وظایف کاری در پروژه خانه شهر می باشد. از دیدگاه فاکتور قابلیت کشف نیز، پروژه ساختمانی خانه شهر قابلیت شناسایی و کشف بهتری از مخاطرات و شرایط بالقوه خطر با استفاده از بازرسی ها و بازدیدهای روزانه و دوره ای دارد که احتمال بروز حوادث و شبه حوادث را به مراتب کاهش می دهد. در آخرین مقایسه نیز می توان به تعداد ریسک های بحرانی شناسایی شده در هر پروژه ساختمانی اشاره نمود که در پروژه ساختمانی هلال از مجموع ۱۵ ریسک ارزیابی شده دارای۷ ریسک نیمه بحرانی (یک فاکتور بیش از مقدار ۶ و RPN بین ۲۵۰-۳۰۰) و ۸ ریسک بحرانی (حداقل دو فاکتور بیش از مقدار ۶و RPN بالای ۳۰۰) و پروژه ساختمانی خانه شهر از مجموع ۱۴ ریسک ارزیابی شده دارای ۷ ریسک بحرانی و ۸ ریسک نیمه بحرانی است.

References

1. Vatani Shoja, Javad, Saleti, Mahmood, Bahrampour, Abbas, Raei, Mehdi, Asadi, Mohammadi, Jafari Nadoushan,

Reza, Khajeh, Hasan, Kamkar, Shahab, "Epidemiological Investigation of Accidents in Kerman Industrial Construction Workers" Journal of Knowledge and Health Volume 5, Issue 4, Pages 32-36, Shahrood University of Medical Sciences & Health Services, 2010. (In Persian)

2. Jafari, Mohammad Jawad, Ghorari, Mehdi, Kalantari, Saba, Omidi, Leila, Ghafari, Mohtasham, Asadi ... Freddie, Gholamreza, "Assessment of Safety Impact Assessment on Safety Improvement at Workshops of a Building Company", Journal Improvement of Safety and Prevention of Injuries, Volume 2, Issue 4, pp. 257-264, 1393. (In Persian)
3. Sadeghi, Nasrin, Ghaderi, Fatemeh, "Safety of Building Workshops, Strengths, Existing Challenges and Necessities", Journal of Safety, Health, and Environment, Journal of Safety, Vol. 12, No. 53, 1394. (In Persian)
4. Building Magazine No. 61, Pages 1-132, 1395. (In Persian)
5. Salimi, Farshad, Salimi, Mitra, Danesh Kazemi, Niko, "Evaluation of the Impact of Phase 2 Architectural Plans on Decommissioning of Construction Projects", Third Annual Conference on Architectural, Urban and Urban Research, 1396. (In Persian)
6. Sultanzadeh, Ahmad, Mohammadfam, Iraj, Mahmoudi, Shahram, Alizadeh Sevari, Behrouz, Mohammadi Arati, Alireza, "The causal analysis and prediction of the intensity of industrial accidents in the construction industry using artificial neural network," Volume 4, No. 3, pp. 185-192, 1395. (In Persian)
7. Omidvari, Manouchehr, Rasouli Garmaroudi, Masoud, "Human error in work-related accidents in power industry using FTA integration and ultra-innovative algorithms", Journal of Health and Safety, Vol. 5, No. 3, Pages 1 - 12, 1394. (In Persian)
8. Nematollahi, Javad, Nasrabadi, Mahnaz, Ghiwi Qi, Saeed, "Analysis and Analysis of Ammunition Disorders in Work with Press Machines Using the Ishikawa and SCAT Combined Technique in a Car Company", Labor Health and Safety Journal, Volume 5, Number 4, Pages 23 - 36, 1394. (In Persian)
9. Farahi, Farhad, "Risk Assessment by Bow-tie Method", Faculty of Environment, Islamic Azad University, Zahedan Science Research Center, 2014. (In Persian)
10. Heirani, Parisa, Baqaee, Ali, "Risk Assessment of Oil and Gas Transmission Pipelines Based on Fuzzy Bow-Tet Method", Journal of Health and Safety, Vol. 6, No. 1, pp. 70-59, 1395. (In Persian)
11. Hola, B. & Szostak, M., *Analysis of the development of accident situations in the construction industry*, Journal of Procedia Engineering; 2014, 91, 429 – 434.
12. Yu, T. SI., Cheng, F. F. K., Tse, S. L. A., Wong T.W. *Assessing the provision of occupational health services in the construction industry in Hong Kong*. Journal of Occupational Medicine; 2002, 52 (7): 375 – 82.
13. Ebrahimzadeh, M., Halvati, G. H., Mortazavi, M., Soltani gerdfaramarzi, R., *Assess the potential risks of shiraz refinery with failure modes and effects analysis (FMEA)*, Journal of

Occupational Medicine Specialist; 2011, 3: 16- 23. (In Persian)

14. Rezaee, K., *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)*. 2nd ed. Tehran: Iran's Cooperating Company with Atena Publication; 2005. (In Persian)
15. Gharachourloo, N., *Risk Assessment and Management*. Tabriz: Jahad Daneshgahi of Eastern Azerbaijan; 2005, (in Persian).
16. Stamatis, D. H., *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, New York: ASQC Press; 1995.
17. Waterland, L. R., Venkatesh, S., Unnasch, S., *Safety and Performance Assessment of Ethanol/diesel Blends (e-diesel)*, National Renewable Energy Laboratory, US; 2003.
18. Gargama, H., Chaturvedi, S. K., *Criticality Assessment Models for Failur Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic*, IEEE Transactions on Reliability; 2011, 60: 102–110.
19. Cheng, Y., Hu, G., Wu, G.W., *Development of a Risk-based Maintenance Strategy Using FMEA for a Continuous Catalytic Reforming Plant*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries; 2012, 25: 958-965.
20. Cicek, K., Celik, M., Application of Failure Modes and Effects Analysis to Main Engine Crankcase Explosion Failure On-board Ship, Safety Science; 2013, 51: 6–10.
21. Duijm, N. J., *Safety-barrier diagrams as a safety management tool*. Reliability Engineering and System Safety. 2009; 94(2):332-341.