

ارزیابی ریسک پروژه های عمرانی با استفاده از FMEA و AHP (مطالعه موردی نصب سگمنت عرشه پل بزرگراه شهید صدر تهران)

1- مظاهر صابری ، کارشناس ارشد مدیریت HSE saberi.mazahre@gmail.com

2- محمدعلی پاشا زانوسی ، دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد مدیریت ساخت دانشگاه جامع امام حسین(ع) arash@pasha202552@yahoo.com

2- صفاخزائی ، دکترای عمران-سنگش از دور و استادیار دانشگاه جامع امام حسین(ع)

khazai@alumni.ut.ac.ir

چکیده :

علیرغم جایگاه مهم مدیریت ریسک بعنوان یکی از محدوده های مدیریت ، متأسفانه در کشور ما به این موضوع اهمیت کمی داده شده است و در کمتر پروژه ای ، دید صحیح و کاملی نسبت به عملیات مدیریت ریسک(مخاطرات) وجود دارد . بنابراین ایجاد فرهنگ نگاه علمی به مدیریت ریسک(مخاطرات)، معرفی علمی و جامع این فرآیند و در نهایت تطبیق فرآیند علمی با واقعیت های موجود در پروژه های عمرانی کشور ضرورت اساسی دارد . در این راستا و به منظور حفظ منابع(نیروی انسانی-سرمایه مالی) ، ابزارهای مختلفی می تواند مورد استفاده قرار گیرد که در بین آنها سیستم مدیریت ریسک بعنوان سیستمی کارا و اثربخش به شناسایی خطرات و شرایط بالقوه ایجاد حادثه پرداخته، آنها را ارزیابی کرده و پس از تحلیل به حذف یا کاهش ریسک ناشی از مخاطرات، قبل از منجر شدن خطر به حادثه می پردازد.

به همین لحاظ هدف اصلی تحقیق حاضر، ارائه مدل نظام مدیریت ریسک در مدیریت پروژه برای این مقصود است . در این روش با استفاده از روش ¹FMEA به بررسی و شناسایی مخاطرات پروژه پرداخته و در ادامه راهکارهای کنترلی ارایه می گردد . اما با توجه به کاستی های روش مذکور و لزوم اولویت بندی اقدامات کنترلی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ²AHP به اولویت بندی فعالیت های دارای ریسک بر اساس تبعات جسمی ، روانی ، اقتصادی و سیاسی - اجتماعی می پردازد. در این مطالعه ابتدا با تجزیه و تحلیل کاربرگ FMEA ، ریسک هایی که دارای ³RPN بالا هستند شناسایی شده و در نهایت شش فعالیتی که ممکن است منجر به واژگونی گنتری ، سقوط کرین ، واژگونی جرثقیل ، سقوط تجهیزات ، سقوط افراد و برق رفتگی در پروژه پل بزرگراه شهید صدر شوند بعنوان گزینه در سلسله مراتب AHP در سطح 2 قرار گرفته و وزن دهی و اولویت بندی می شوند . برای هر کدام از معیار ها چندین زیر معیار در نظر گرفته شده و وزن هر یک از آنها در گزینه ها اعمال می شود . در پایان پس از انجام روش AHP، فعالیت اتصال main truss به nose truss دارای بیشترین وزن و در نتیجه در اولویت اول برای اقدامات کنترلی قرار می گیرد . و امید است با انجام مطالعات دقیق و نهادینه کردن این روش با شرایط حاکم بر پروژه ها، بتوان در جهت پیاده سازی یک سیستم مدیریت ریسک کارا گامی موثر برداشت تا با شناسایی و رفع به موقع خطرات از بروز حوادثی که بار مالی و جانی زیادی را بر صنعت ساخت و ساز کشورمان تحمیل می نمایند، جلوگیری به عمل آید

واژه های کلیدی: ریسک ، ارزیابی ریسک ، تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن(FMEA) ، تحلیل سلسله مراتبی(AHP).

1-Failure Modes And Effects Analysis

2- Analytic Hierarchy Process

3- Risk Priority Number

1- مقدمه:

پژوهش های ILO¹ (سایت سازمان بین المللی کار) در مورد حوادث و بیماری های شایع در بین کارگران بخش ساخت و ساز حاکی از آن است که ، سالانه حداقل 05 هزار حادثه منجر به فوت در صنعت ساخت و ساز در کشورهای جهان روی می دهد،(هر 15 دقیقه یک حادثه منجر به فوت) به عبارتی حدود 11 درصد حوادث مرگبار در بخش اجرای پروژه های عمرانی- صنعتی رخ می دهد. آمار های منتشر شده نشان می دهند در طی 181 حادثه اتفاق افتاده مربوط به کار با جرثقیل در سال 2555 تعداد 01 نفر کشته، 112 حادثه در سال 11،2551 نفر کشته و در 101 مورد حادثه در سال 32،2552 نفر کشته در پی داشته است.(www.craneaccident.com). همچنین طبق آمار منتشر شده توسط NIOSH² که در آن تعداد حوادث مرتبط با جرثقیل های متحرک را در صنایع مختلف طی سال های 1332 تا 2552 مورد بررسی قرار داده است از مجموع 231 حادثه شناخته شده تعداد 102 مورد آن مربوط به صنعت ساخت و ساز می باشد. از طرفی با پیشرفت و توسعه روزافزون صنعت ، امکانات و تجهیزات بیشتری برای صنعت ساخت و ساز و کارهای عمرانی ، ابداع و ساخته شده است که در نتیجه این امکانات و تجهیزات جدید و پیشرفته ، امکان اجرای پروژه های بزرگ و پیچیده تر عمرانی فراهم شده است . وموفقیت شرکت های درگیر در پروژه های عمرانی به شکل قابل ملاحظه ای وابسته به مدیریت ریسک های ناشی از منابع مختلف است.(اطمینان مقدم-1281) لذا پیشگیری از حوادث با شدت زیاد و کاهش پیامدهای ناگوار حوادث احتمالی ، به یکی از چالش های مدیران پروژه تبدیل شده است. این امر نیاز به یک متولوژی علمی و کاربردی ، جهت مدیریت نمودن ریسک های پروژه های عمرانی می باشد تا از آسیب های احتمالی منابع (انسانی - سرمایه مالی) و تاخیرات ناشی از حوادث پروژه پیشگیری نمایند. روش های متعددی برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات در محیط کار وجود دارد که روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) یکی از روش های معتبر برای شناسایی و ارزیابی ریسک است. FMEA یک تکنیک مهم برای شناسایی ، حذف یا کاهش شانس ظهور خطرات شناخته شده یا بالقوه است که برای افزایش ایمنی ، قابلیت اطمینان و دوام تجهیزات و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات ماشین آلات در طول دوره عمرشان کاربرد دارد.

2- مدیریت ریسک:

احتمال بروز پیامدهای ناشی از یک خطر را ریسک می گویند.(ایمنی کاربردی و شاخص های عملکرد در صنعت .حبیبی) اندازه ریسک از حاصل ضرب احتمال بروز خطر در شدت زیان ناشی از آن محاسبه می گردد. ریسک رویدادی است که می تواند در آینده رخ دهد یا ندهد.و اگر رخ دهد می تواند حداقل بر روی یکی از اهداف پروژه مثل: زمان، هزینه، و کیفیت نیز تاثیر منفی بگذارد. لازم به ذکر است وقایع آینده عمدتاً غیر قابل پیش بینی و عدم قطعیت قاعده عام است³(PMBOK-2000). مدیریت ریسک فرایندی است جهت حذف یا کنترل ریسک برای جلوگیری از وقوع آن و همچنین اولویت بندی ریسک ها جهت اختصاص منابع مالی برای جبران خسارت های ناشی از آن پس از رخ دادن حادثه می باشد.

1-International Labour Office

2-National Institute for Occupational Safety and Health

3-Project Management Body of Knowledge

به دنبال مطالعات انجام شده و بررسی انواع روش های ارزیابی ریسک ، یکی از بهترین روش های ارزیابی ریسک در پروژه های عمرانی تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) می باشد . FMEA یک تکنیک مهم برای شناسایی ، حذف یا کاهش احتمال ظهور خطرات شناخته شده یا بالقوه است که برای افزایش ایمنی ، قابلیت اطمینان و دوام تجهیزات و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات ماشین آلات در طول دوره عمرشان کاربرد دارد . در روش FMEA ، الویت بندی خطرات بالقوه با توجه به سه فاکتور احتمال وقوع^۱ (P) ، شدت پیامد^۲ (S) و احتمال کشف^۳ (D) انجام می گیرد . در نهایت حاصل ضرب 3 پارامتر مذکور ، درجه ریسک (RPN^۴) نامیده می شود. لذا این عدد بدست آمده در محاسبه میزان RPN ، تاثیر تمامی فاکتورهای سه گانه یکسان فرض می شود . و در جهت الویت بندی ریسک ها ، دقت مناسب را ندارد. مثلا نرخ RPN برای هر یک حالت خطر با مقدار 4 برای هریک از شاخص ها ، برابر 44 است که در مقایسه با حالت دیگر با مقادیر شاخص 2 و 01 و 0 و RPN برابر 21 ، عدد ریسک بزرگتری است . اما در حالت دوم ، با اینکه عدد ریسک کمتری نسبت به اولی دارد ، با توجه به شدت اثر بالای آن ، برای سیستم بحرانی تر است. به عبارتی اهمیت سه فاکتور یکسان فرض می شود. از جهتی ترکیب بی شماری از مقادیر مختلف ضرب S, D و P وجود دارد ، و تمایزی بین ترکیب های مختلف قائل نمی شود. لذا در نظر گرفتن یک تابع توزیع احتمالی برای حالات خطر مختلف که همزمان اتفاق می افتد در رویکرد FMEA دشوار است .

لذا به منظور رفع نواقص فوق و دقت بیشتر در الویت بندی ریسک ها از روش AHP بعنوان گزینه تکمیلی استفاده نمود. روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با در نظر گرفتن اثر همزمان کلیه معیارهای دخیل و مقایسه امتیازات آنها، به اولویت بندی گزینه ها پرداخته و با استفاده از روابط مربوط گزینه مطلوب را تعیین می کند. و می توان اقدامات کنترلی مضاعفی را برای ریسک های دارای حساسیت بالا هستند، اتخاذ نمود . این روش به ما این اجازه را می دهند که بین RPN اهمیت نسبی برقرار کنیم و تصمیم گیری مناسبی را داشته باشیم. این تصمیم گیری در سه حالت زیرمورد بررسی قرار می گیرد.

- انتخاب بهترین گزینه ها از میان گزینه های ممکن.
- رتبه بندی گزینه ها به ترتیب ارجحیت آنها
- دسته بندی گزینه ها در طبقات از پیش تعیین شده بر اساس مقایسه آنها با مراجع و استانداردهای موجود .

حسن بزرگ FMEA این است که بدون آنکه نیاز به محاسبات پیچیده آماری یا ریاضی داشته باشد ، نتایج بسیار سودمندی به بار می آورد. این روش یک ابزار نظام یافته برپایه کار گروهی است که در شناسایی ، ارزیابی ، کشف و حذف یا کنترل حالت شکست در یک سیستم بکار گرفته می شود . و یک تکنیک مهندسی ، تحلیلی و متکی بر قانون (پیشگیری قبل از وقوع) است که می کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود و پیامدهای ناشی از حوادث احتمالی در محدودهای پروژه را شناسایی و امتیازدهی کند

¹-Probability

²- Severity

³- Detection

4- Risk Priority Number

علاوه بر این، هر زمان که قرار است تغییرات بنیادی در طراحی ها و یافرايند های پروژه (یا مونتاژ) انجام گیرد براحتی قابل انجام است. لذا همواره ابزاری پویاست که در چرخه بهبود مستمر به کار میرود. زمانهای شروع FMEA عبارتند از: هنگام طراحی، زمان تغییرات، مونتاژ تجهیزات یا قطعات، فرآیند یا شرایط کاری جدید، برنامه های بهبود مستمر

2- فرایند کار:

برای انجام تجزیه و تحلیل عوامل شکست در سیستم، طرح و فرآیند تامین دو شرط لازم می باشد.

- تعیین فرمی که برای انجام این تجزیه و تحلیل استفاده می شود.
- تعیین دستور العمل، که در ارزیابی شدت، رویداد و شناسایی مورد استفاده قرار می گیرد.

الف-تهیه فرم:

فرمی که برای انجام تجزیه و تحلیل عوامل شکست نشان داده شده است. (جدول شماره ۱) تقریباً با کمی تغییرات در سطح همه سازمان ها مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول شماره ۰ ارزیابی ریسک FMEA

ردیف	فعالیت	خطر بالقوه	اثرات بالقوه خطر	علل بالقوه	احتمال وقوع	احتمال کشف	شدت	RPN	نوع ریسک	اقدام پیشنهادی لازم	احتمال وقوع جدید	احتمال کشف جدید	شدت حادثه جدید	RPN جدید	نوع ریسک
عملیات															

ب- تشکیل تیم:

اساس و مبنای فرآیند FMEA بر گروه استوار است. هدف از تشکیل گروه FMEA کسب تجربه و نظریات گوناگون و ارائه آن در قالب پروژه می باشد. همه اعضا، گروه باید شناخت یکسانی از طراحی ها و فرآیندهای پروژه داشته باشند لذا نیاز به یک نقشه مهندسی از پروژه و یا نمودار جریان گردش امور دارند. چنانچه " نقشه مهندسی" و یا نمودار جریان گردش در دسترس نباشد، افراد گروه باید از کل فرآیند آگاهی کامل داشته باشند. در اجرای FMEA مختص به پروژه، افراد گروه باید فعالیت های آن را ببینند. آنگاه در جلسه طوفان ذهنی در مورد الگوی شکست بالقوه ای که فرآیند ها و یا کیفیت کار، را تهدید می کند برگزار کنند.

با تهیه فهرست الگوهای شکست بالقوه بر روی فرم جمع آوری اطلاعات، آثار بالقوه آن را در صورت بروز شناسایی می کنند. ممکن است برخی از الگوهای شکست فقط یک اثر و برخی دیگر آثار مختلفی دارند از آنجا که این اطلاعات درجه خطر پذیری هر شکست را شناسایی می کند، این مرحله باید به دقت کامل انجام پذیرد. در این مرحله بهتر است به فرآیند به صورت شرطی (اگر - آنگاه) نگاه کرد. یعنی اگر شکست بوجود آید، آنگاه اثرات آن چیست؟

ج- تعیین نرخ وخامت:

ارزیابی شدت هر اثر می‌بایستی بر اساس آگاهی و خبرگی افراد گروه انجام شود، چرا که ممکن است هیچ یک از افراد، برای ارزیابی شدت اثر، تجربه ای از گذشته نداشته باشند. از آنجا که هر شکست آثار مختلفی دارد، می‌بایست اثر شکست را درجه بندی کرد، نه شکست را (جدول شماره 2). اگر برای هر الگوی شکست بالقوه چندین اثر وجود دارد، هر اثر باید دارای درجه شدت خودش باشد. شدت یا وخامت خطر فقط در مورد "اثر" آن در نظر گرفته می‌شود، کاهش در وخامت خطر فقط از طریق اعمال تغییرات در فرایندها و نحوه انجام فعالیت‌ها امکان پذیر است. برای وخامت خطرها، شاخص‌های کمی وجود دارد که بر حسب مقیاس 0 تا 01 بیان می‌گردد.

جدول شماره 2 شدت اثر

	Severity of Effect شدت اثر	Rating
Extreme	خطرناک بدون هشدار، تخریب کامل، مرگ بیش از یک نفر، خسارت مالی بیش از 500 میلیون تومان.	10
	خطرناک با هشدار، تخریب کامل، مرگ یک نفر، خسارت مالی 100-500 میلیون تومان	9
High	قطع عضو بدن و یا اختلال عمده به فعالیت پروژه، از دست دادن 100٪ یکی از فرایندهای کار و از دست دادن زمان زیاد (میزان خسارت مالی 50-100 میلیون تومان).	8
	کاهش عملکرد ماشین آلات بطوریکه نیاز به تعمیر و بازسازی اساسی داشته باشد و یا مزاح ساختن شده، مجدد برپا شود از دست دادن زمان قابل توجه (خسارت مالی 10-50 میلیون).	7
Moderate	آسیب انسانی متوسط (شکستگی و یا جراحت متوسط، استراحت پزشکی 30-60 روز) آسیب به پروژه متوسط از دست دادن عملکرد عملکرد ثانویه نیاز به تعمیر و یا جزیی متغیر (خسارت مالی 5-10 میلیون تومان)	6
	اختلال جزئی به پروژه تعمیر تجهیزات آسیب دیده (خسارت مالی 1-5 میلیون تومان) و آسیب انسانی با استراحت پزشکی 30-10 روز.	5
	نقص جزئی، (خسارت 0/5-1 میلیون تومان) و استراحت پزشکی 5-10 روز.	4
Low	اثرات جزئی به بدن با استراحت پزشکی کمتر از 5 روز و میزان خسارت مالی 100-500 هزار تومان	3
	اثرات خیلی جزئی (در حد مراجعه به اورژانس و بدون استراحت پزشکی) و خسارت مالی کمتر از 10 هزار تومان	2
None	بدون اثر	1

د-احتمال وقوع:

مشخص می‌کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. تنها با از بین بردن یا کاهش علل یا مکانیزم هر خطر است که می‌توان به کاهش عدد رخداد امیدوار بود. احتمال رخداد بر مبنای 0 تا 01 سنجیده می‌شود (جدول شماره 3). بررسی سوابق و مدارک گذشته بسیار مفید است. بررسی فرایندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آنها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید است. زمانیکه داده‌های واقعی در مورد یک شکست وجود ندارد، افراد گروه می‌بایست بالاترین درجه وقوع شکست را در نظر بگیرند. البته اگر افراد گروه دلیل ایجاد شکست را بدانند، سنجش درجه وقوع شکست بهتر صورت خواهد گرفت.

جدول شماره 3 احتمال شکست

	احتمال رخداد	نرخ خطر	Rating
Very High	خطر تقریباً اجتناب ناپذیر است	2 در 1	10
		3 در 1	9
High	فرایندهای مشابه با تجربه خطرات وجود دارد و تکراری است.	8 در 1	8
		20 در 1	7
Moderate	فرایندها با کنترل نیز گاه به گاه تکراری است. (در گذشته تجربه شده است) خطرات از طرف همسایگان و یا شرایط کنترلی.	80 در 1	6
		400 در 1	5
		2000 در 1	4
	فرایند قابلیت کنترلی دارند.	15/000 در 1	3
Low	خطر بعید است.	150/000 در 1	2
Remote	خطر خیلی بعید است	15000/000 در 1	1

ه- نرخ احتمال کشف خطر:

احتمال کشف، توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است. بررسی فرایندهای کنترلی، استاندارد ها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آنها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید است. توجه به این نکته لازم است که اگر کنترل های جاری موجود نباشد، احتمال کشف بسیار کم است. بنابراین درجه کشف، بسیار بالا و در حد 9 یا 01 خواهد بود (جدول شماره 4). در نتیجه، بهتر است در ابتدا فهرستی از کنترل های جاری برای تمامی

آثار آن

سپس

را تعیین

شماره 4

شکست

	احتمال کشف و شناسایی خطر و اقدام کنترلی	Rating
Very Low	بدون کنترل شناخته شده (خطر قابل تشخیص نیست)	10
Low	احتمال ناچیزی وجود دارد که با کنترل های موجود خطر آشکار گردد.	9
		8
Moderate	کنترلها ممکن است وجود یک خطر را کشف کند.	7
		6
		5
High	فرصت مناسب برای تشخیص خطر وجود دارد.	4
		3
Very High	احتمال خیلی زیاد وجود دارد خطر تشخیص داده شود و یا بطور حتم با کنترل های موجود خطر ردیابی و آشکار می شود	2
		1

شکست ها و

تهیه و

درجه کشف

کنیم.

جدول

احتمال

و- محاسبه RPN :

عدد اولویت ریسک حاصل ضرب سه عدد " وخامت (S) رخداد (O) و احتمال کشف (D) " است. (بلبل امیری-0311)

$$RPN = Severity \times occurrence \times Detection$$

عدد اولویت ریسک عددی بین 0 و 0111 خواهد بود. در این مرحله خطرات را براساس عدد اولویت ریسک رتبه بندی می گردد و براساس نظر سیستم FMEA یک حد RPN در نظر گرفته می شود (برای سطح اطمینان 91٪). سپس خطراتی که RPN بالای 251 دارند و در واقع نیاز به اصلاح دارند (البته برای خطراتی که دارای حداقل یک عدد 01 هستند نیز باید اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود). بعد از انجام اقدامات اصلاحی دوباره باید عدد RPN محاسبه گردد. در محاسبه عدد PRN باید توجه داشت که تعیین اعداد نرخ رخداد، وخامت و کشف می بایست براساس نوع فعالیت تعیین و تثبیت شود عمدتاً برای خطراتی که نرخ وخامت و رخداد بالای 7 دارند می بایست اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود پس از اجرای FMEA حدود 51٪ کاهش در مجموع RPN ها ایجاد می شود. این عدد همواره ثابت نیست و مقدار آن به گروه FMEA و نوع فعالیت های سازمان بستگی دارد. هر پروژه باید از حد و مرز خطرپذیری خود آگاه باشد. البته میزان خطرپذیری به سیاست های مدیر هر پروژه و حدود جدی بودن شکست بستگی دارد. تصمیم گیری اصلی در مورد کاهش هر چه بیشتر RPN ها بر عهده مدیر است. در شرایطی که اولویت بندی واحد های تصمیم گیری بر اساس اهمیت نسبی آن ها با توجه به مجموعه معیار های متعددی مد نظر باشد، استفاده از فنون تصمیم گیری گروهی و چند معیاره (نظیر AHP) ابزاری مناسب جهت رتبه بندی و اتخاذ تصمیمات منطقی به شمار می رود.

ز- تحلیل سلسله مراتبی (AHP):

این تکنیک یک ابزار قوی برای تحلیل مسائل مهم و پیچیده است. وازیک ساختار و فرآیند سلسله مراتبی درچندین سطح تشکیل شده است. همچنین یک روش ساده محاسباتی بر پایه عملیات اصلی روی ماتریس می باشد که با ایجاد سلسله مراتب مناسب و پردازش گام به گام و ساخت ماتریس های تطبیقی در سطوح مختلف سلسله مراتب ، مقادیر ویژه آن را محاسبه کرده و در بردار ضرایب وزن نهایی ، اهمیت نسبی هر گزینه با توجه به هدف راس سلسله مراتب تعیین می کند. ضمناً " به عنوان تصمیم گیری چند منظوره برای وضعیت های که سنجه های چند گانه و متضادی دارند .

این فرآیند روشی منعطف، قوی و ساده است که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد است و انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه کرده، کاربرد دارد (ژو¹-2119). لذا فرایند این روش عبارتند از:

الف - مدل سازی (ساختن سلسله مراتبی): سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می باشد که در راس آن هدف کلی مساله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. هر چند یک قاعده ثابت و قطعی برای رسم سلسله مراتبی وجود ندارند. سلسله مراتبی ممکن است به یکی از صورت‌های زیر باشد:

- هدف - معیارها - زیر معیارها - گزینه‌ها
- هدف - معیارها - عوامل - زیر عوامل - گزینه‌ها

در این مرحله مساله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم‌گیری که با هم در ارتباط هستند، در آورده می‌شود. عناصر تصمیم شامل شاخص‌های تصمیم‌گیری، و گزینه‌های تصمیم می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرآیند تصمیم‌گیری است. سطح دوم نشان دهنده شاخص‌های عمده و اساسی (که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود) می‌باشد. سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند.

ب- قضاوت مقایسات زوجی: در این مرحله می‌بایست مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. ج (تعیین وزن عناصر تصمیم نسبت به هم: قدم بعدی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسات زوجی است.

د) محاسبه وزن نهایی: به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هر عنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب کرد تا وزن نهایی آن بدست آید. با انجام این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی بدست می‌آید.

ه) سازگاری در قضاوت‌ها: تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی بدست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد.

3- محدوده مطالعاتی و روش کار:

پروژه پل بزرگراه شهید صدرتهران به عنوان نخستین پل تک پایه به صورت طرح سازگار با محیط شهری، طراحی و در حال ساخت است. که شامل احداث یک پل اصلی به عرض ۲۲/۷ متر و طول ۰۰ کیلومتر (با احتساب رمپ‌های دسترسی) می‌باشد. این پروژه با استفاده از دانش و فناوری جدید، قطعات پس کشیده بتنی و بهره

گیری از قطعات پیش ساخته در اجرای عرشه پل ساخته شده است. و یکی از پروژه های منحصربه فرد و ریسک پذیر است که با تکنولوژی نصب از بالا به وسیله دستگاههای عظیم گنتری و به صورت دهانه به دهانه، برای اولین بار در کشور انجام گردید.

لذا با مخاطراتی که توسط تجهیزات، بخصوص گنتری، کارگران و شهروندان را بطور مستمر تهدید می کرد، مواجه بود. و همچنین پیامد های وقوع هر حادثه، اثرات روانی بر ذی نفعان و جامعه داشت، و همچنین با توجه به فاکتور های زمان و سرعت در احداث پروژه، مدیریت پروژه را بر آن داشت تا هنگام طراحی و موقع اجراء، ضرورت رعایت کلیه استانداردها و ضوابط ایمنی، زیست محیطی، سلامتی کارکنان و شهروندان را پیش بینی کند. برای این منظور ضمن تبیین استراتژی لازم، اقدام به ارزیابی ریسک به روش FMEA و به منظور رفع نواقص آن و دقت بیشتر در الویت بندی ریسک ها از روش AHP بعنوان گزینه تکمیلی استفاده گردید.

از آنجا که این فرآیند برای اولین بار در کشورمان اجرایی می شد و قبل از انجام آن هیچگونه اطلاعاتی در اختیار نبود لذا با بررسی اطلاعات مربوط به نحوه مونتاژ و عملیات اجرایی شرکت های پیمانکار و نیز مشاهده میدانی تمامی مراحل شامل: مونتاژ، لانچینگ و لیفت به جمع آوری داده ها و اطلاعات پرداخته شد. بعد از بدست آوردن شناخت کافی و جمع آوری اطلاعات با تشکیل دادن جلساتی و بررسی جز به جز فرآیند فعالیت هایی که احتمال شکست در آن ها وجود داشت شناسایی شد. فرم برگه کار ارزیابی ریسک ها و اقدامات اصلاحی، به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) در پروژه پل بزرگراه شهید شهید صدر اجرایی گردید (جدول شماره 5). و بنا به استراتژی تعریف شده تعیین سطح ریسکهای این پروژه عبارتند از:

- ریسک < 011 Low Risk
- 011 > 251 ریسک Medium Risk
- ریسک > 251 High Risk

جدول شماره 5 نمونه ارزیابی ریسک یک از فعالیت های پروژه پل بزرگراه شهید صدر

فعاليتها	خطرات ات بالقوه	اثرات بالقوه	علل وقوع	احتمال رويج	احتمال كنش	شدن يابد	RPN	نوع ريسي	اقدام اصلاحي	احتمال رويج	احتمال كنش	شدن يابد	RPN	نوع ريسي
ليفتيگ سگمنت	افتادن قطعات	صدمات جاني و مالي	عدم استفاده از كابل ها و شكل هاي متناسب با بار وارده ، عدم تخليه محوطه ليفتيگ .	7	6	9	378	ب	استفاده از كابل و شكل متناسب با وزن بار ، تخليه حریم ليفتيگ از تفرات و تجهيزات	4	5	6	120	متوسط

این مطالعه ابتدا به بررسی و مطالعه میدانی فرآیند کار و نحوه انجام فرآیند نصب سگمنت که به دوتی نوع طره متعادل و روش نصب با دستگاه گنتری کرین انجام گردید. در این تحقیق ریسک های تهدید کننده ایمنی و بهداشت به روش FMEA مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفت و با توجه به حاصل ضرب سه معیار شدت (S) پیامد احتمال کشف (D) و احتمال وقوع (O)، برای هر ریسک RPN بدست می آید و در مجموع 009 عدد ریسک

شناسایی و تجزیه و تحلیل شده و RPN آنها محاسبه گردید. با توجه به اینکه امکان مقایسه دقیق بین RPN009 وجود ندارد، پس از بررسی فعالیت های 009 گانه مذکور در کاربرگ FMEA به این نتیجه رسیدیم که فعالیت هایی که دارای RPN بالا (بالای 251) هستند عمدتاً جزو شش دسته زیر هستند

- واژگونی جرثقیل
- واژگونی گنتری
- برق گرفتگی
- سقوط افراد
- سقوط اشیاء تجهیزات
- سقوط کرین

و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP به اولویت بندی 4 دسته فوق پرداختیم. در این روش بارسم نمودار سلسله مراتبی هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها را مشخص کرده و با رسم ماتریس مقایسات زوجی به بررسی درجه اهمیت هر یک از گزینه ها انجام گردید.

4- معیارها:

این قسمت از اهمیت بسزایی برخوردار بوده زیرا این شاخص ها مبنای انجام مقایسات زوجی قرارگرفت. از اینرو نظرات کارشناسان را در انتخاب این معیارها مدنظر قرار داده و با استفاده از تکنیک طوفان ذهنی معیارها به 4 دسته ذیل تقسیم بندی گردیدند (جدول شماره 4):

جدول شماره 4

ردیف	معیارها	زیرمعیارها
1	آسیب های جسمی	سطحی ناتوان کننده مرگ و میر
2	آسیب های روانی	افزایش استرس کاهش ضایت شغلی
3	هزینه ها	درمانی تعمیرات هدر رفت زمان نیروهای جایگزین دیه نیروی جایگزین بیمه
4	آسیب های اجتماعی	اختلال در تردد کاهش اعتبار کاهش رفاه عمومی

5- نتایج:

14 مورد ریسک های کار بادستگاه گنتری در این پروژه شناسایی گردید. و در شش گروه تقسیم بندی قرارگرفت (جدول شماره 7).

- فعالیت های دارای خطر سقوط افراد از ارتفاع
- فعالیت های دارای خطر سقوط ابزار و تجهیزات از ارتفاع
- فعالیت های دارای خطر واژگونی جرثقیل
- فعالیت های دارای خطر برق گرفتگی و آسیب های محیطی
- فعالیت های دارای خطر سقوط کرین
- فعالیت های دارای خطر واژگونی کل سازه گنتری کرین

نکته: با توجه به اینکه حادثه سقوط گنتری تبعات همه جانبه ای دارد و طیف وسیعی از جامعه و ساختمان ، افراد ، تجهیزات ، خودرو ها و ... را در بر می گیرد لذا ریسک سقوط گنتری کرین را نمی توان با سایر ریسک ها مقایسه کرد و بدیهی است که برای این ریسک ها می بایست بیشترین اقدامات کنترلی را در نظر گرفت.

سطح هر ریسک و فروانی 14 مورد ریسک های کار بادرستگاه گنتری درجدول شماره یک مشخص گردید.

جدول شماره 7

ردیف	ریسک	سطح ریسک	فراوانی
1	واژگونی گنتری	ریسک بالا	13
2	سقوط کرین	ریسک بالا	6
3	سقوط تجهیزات	ریسک بالا	23
		ریسک متوسط	2
4	سقوط افراد از ارتفاع	ریسک بالا	16
5	برق گرفتگی	ریسک بالا	6
		ریسک متوسط	2
6	برخورد با کابل	ریسک بالا	2
		ریسک متوسط	8
7	واژگونی جرثقیل	ریسک بالا	8
مجموع ریسک شناسایی شده			86

در ادامه با رسم سلسله مراتب **AHP** و تدوین پرسش نامه های ماتریسی مربوط به مقایسه های زوجی بین گزینه ها، معیار ها و زیر معیار ها که در اختیار تیم ارزیابی ریسک قرار گرفت داده ها جمع آوری شد و به منظور افزایش دقت، سرعت و نیز راحتی کار فرآیند **AHP** از نرم افزار **Expert Choice 11** استفاده شد. این نرم افزار برای اجرای تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل مراحل تصمیم گیری چند معیاره تولید شده است در اصل در این نرم افزار مقایسات زوجی مربوط وارد می شود و می توان وزن معیارها و یا وزن کلی گزینه ها را در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دست آورد. پس از مشخص نمودن وزن هر گزینه، طبقه بندی فعالیت ها از لحاظ اقدامات کنترلی و بر اساس اولویت هر ریسک عبارتند از:

خروجی مقایسه گزینه ها بر اساس معیار ها و زیر معیار با هدف اولویت بندی ریسک وزن نهایی هر ریسک را با درجه ناسازگاری **104** در جدول شماره **1** نشان می دهد. و همچنین وزن نهایی و اولویت هر ریسک در نمودار شماره **0** نمایش داده شده است.

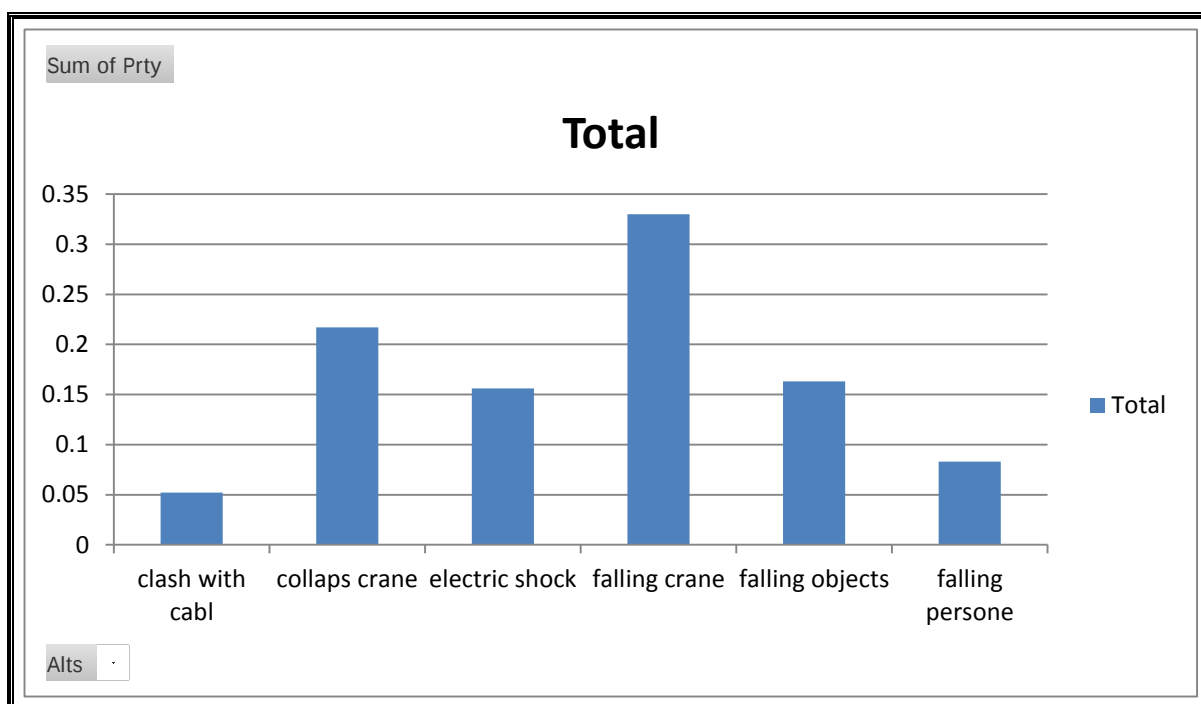
لازم به ذکر است از آنجا که ریسک واژگونی گنتری دارای بالاترین شدت پیامد بر اساس معیار های انتخاب شده بود لذا در نرم افزار وارد نشد و اولویت اول ریسک را در بحث اقدامات کنترلی به خود اختصاص داد.

جدول شماره **1** وزن نهایی ریسک ها

ردیف	گزینه ها	وزن کلی
1	سقوط کرین	0/327
2	واژگونی جرثقیل	0/217
3	سقوط تجهیزات از ارتفاع	0/162
4	برق گرفتگی	0/156
5	سقوط افراد	0/083
6	برخورد کابل	0/053

عدم ناسازگاری کلی: 0/06

نمودار شماره **0** وزن نهایی و اولویت هر ریسک



فعالیت هایی که در پروژه بزرگراه شهید صدر مورد ارزیابی ریسک به روشهای FMEA و AHP قرار گرفت ، به ترتیب زیر در اولویت اقدامات کنترلی قرار می گیرند :

➤ فعالیت های دارای ریسک واژگونی گنتری عبارتند از :

• حرکت گنتری به سمت جلو	• مونتاژ گنتری
• لیفتینگ سگمنت	• اتصال main truss به nose truss
• نصب عرشه	• مونتاژ main truss
• لایچینگ گنتری و نصب بستر گنتری	• لایچینگ گنتری

➤ فعالیت های دارای ریسک سقوط کرین عبارتند از:

• مونتاژ main truss
• انتقال crane به روی main truss
• حرکت جرثقیل گنتری بر روی دماغه عقب

➤ فعالیت های دارای ریسک واژگونی جرثقیل عبارتند از:

• اتصال nose truss به main truss	• مونتاژ گنتری
• مونتاژ پایه اصلی گنتری بر روی پد استال	• مونتاژ و جانمایی rear support روی پد استال
• انتقال crane به روی main truss	• لایچینگ main truss و جابجایی آن به روی rear support

➤ فعالیت های دارای ریسک سقوط تجهیزات از ارتفاع عبارتند از:

• کار کردن داخل بسکت	• مونتاژ پایه اصلی گنتری بر روی پد استال
• نصب قطعه دو سگمنت	• لیفتینگ سگمنت
• مونتاژ گنتری	• عملیات لیفتینگ (جانمایی suspension روی سگمنت ها)
• مونتاژ قطعات lower و فیکس کردن قطعات کنار هم	• انتقال سگمنت ها از هوک کرین به روی پی تی بار (دیویداگ های معلق روی گنتری)
• مونتاژ قطعات upper و فیکس کردن قطعات کنار هم	• جابجایی Front و Rear Support از روی سرستون به سرستون عقبی یا جلویی
• مونتاژ اریب ها (diagonal)	• بیرون آوردن پلایت های زیر سگمنت از روی سرستون
• به هم بستن قطعات rear support و فیکس کردن آن	• آماده سازی جهت انتقال front support
• اتصال main truss به nose truss	

➤ فعالیت های دارای ریسک برق گرفتگی عبارتند از:

• کار کردن بر روی گنتری	• توزیع جریان الکتریکی
• نصب تجهیزات الکتریکی در محلهای Oudeyas	• جابجایی Front و Rear Support از روی سرستون به سرستون عقبی یا جلویی
• کاربرد روی LV	

➤ فعالیت های دارای ریسک سقوط افراد از ارتفاع عبارتند از:

• جایگذاری جک دیویداگ	• دسترسی به سکوی کار
• کار کردن داخل بسکت	• دسترسی به ارتفاعات ساختار گنتری
• صعود افراد به روی عرشه با استفاده از راه پله	• عملیات لیفتینگ (جانمایی suspension روی سگمنت ها)
• صعود افراد به روی عرشه با استفاده از بسکت و جرثقیل	• انتقال سگمنت ها از هوک کرین به روی پی تی بار (دیویداگ های معلق روی گنتری)
• کار کردن بر روی عرشه	• ایجاد فاصله جهت leveling قبل از رها سازی سگمنت از کرین
• مونتاژ قطعات upper و فیکس کردن قطعات کنار هم	• بیرون آوردن پلایت های زیر سگمنت از روی سرستون
• به هم بستن قطعات rear support و فیکس	• سوخت رسانی به ژنراتور های مستقر بر روی

گنتری	کردن آن
جفت‌پایه‌ای Front support از بالا رفتن با پولات ها	نصل ال nose truss main truss به

➤ فعالیت های دارای ریسک برخورد با کابل عبارتند از:
رد کردن کابل ها بوسیله pusher ، بریدن کابل ها و کابل کشی

5- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق یک رویکرد جدید برای بدست آوردن اولویت ریسک ها با استفاده از مقایسه زوجی و دخیل کردن معیاره و زیر معیار های متعددی و با بهره گیری از روش **AHP** بدست آمده است . با توجه به نواقص و کاستی های موجود در روش **FMEA** ، مانند عدم قطعیت ، سلیقه ای بودن ، عدم لحاظ کردن گزینه های متعدد در تصمیم گیری ، عدم تمایز بین ریسک های دارای **RPN** بالا و ... با استفاده از این روش این نواقص تا حدودی بر طرف شده است .

مراجع:

- 1- سایت سازمان بین المللی کار
- 2- www.craneaccident.com
- 3- NIOSH
- 4- اطمینان مقدم-1384
- 5- بلبلی امیری-1388
- 6- ایمنی کاربردی و شاخص های عملکرد در صنعت .حبیبی
- 7- تدوین سیستم مدیریت HSE ، مبتنی بر استاندارد PMBOK در صنعت ساخت و ساز (پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مدیریت HSE مظاهری صابری)
- 8- National Institute for Occupational Safety and Health
- 9- Project Management Body of Knowledge (PMBOK-2000)