

## شناسایی و تحلیل ریسک‌های طراحی سازه‌های کابلی سریع الاحداث

### با روش مرتب‌کردن و نمره‌دهی

#### مقاله علمی - پژوهشی

محمدحسین تقوی پارسا\*، دانشکده عمران، دانشگاه جامع، تهران، ایران  
شایان حجت پناه، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه مهربرز، تهران، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [drmhparsa@gmail.com](mailto:drmhparsa@gmail.com)

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

صفحه ۳۰۷-۳۲۲

#### چکیده

مدیریت ریسک یکی از مهم‌ترین ابعاد پروژه است. مدیریت ریسک شامل بخش‌های مختلفی از جمله برنامه‌ریزی، شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک می‌شود. در پروژه‌های ساخت‌وساز با توجه به اینکه روند اجرای پروژه پیش از شروع مشخص است، ابتدا ریسک‌های پروژه شناسایی شده تا در صورت مواجهه با آن‌ها حین اجرا، اقدامات اصولی و کارآمدی صورت پذیرد. در پروژه‌های تحقیق و توسعه؛ مدیریت ریسک به‌منظور بهبود روند اجرای پروژه، مدیریت هزینه‌ها، افزایش سودمندی پروژه استفاده شده و به‌عنوان یک ابزار علمی و تأثیرگذار برای کاهش ریسک و زیان کارایی دارد. یکی از روش‌های متداول شناسایی ریسک استفاده از روش دلفی و نظرخواهی از خبرگان و تیم پروژه است. این پژوهش به شناسایی ریسک‌های فاز طراحی پروژه تحقیق و توسعه طراحی سازه کابلی سریع الاحداث می‌پردازد، برای این منظور ۳۱۳ ریسک شناسایی شده در هشت گروه ریسک‌های اجرایی کلی، سازه‌ای، مکانیکی، ژئوتکنیک و پی، الکترونیکی و متالوژی دسته‌بندی گردید. سپس سه طرح پیشنهادی با توجه به ارزیابی شدت اثر و احتمال ریسک‌ها توسعه داده شد و هشت طرح حاصل گردید. با توجه به نتایج حاصل از ریسک‌ها این هشت طرح با هشت معیار سریع الاحداث بودن، پرتابل بودن، نفر نصب بودن، سهولت طراحی، سهولت اجرا، سهولت تعمیر و نگهداری، سهولت حمل‌ونقل، هزینه ساخت به روش‌های نمره‌دهی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. این دو روش از قدیمی‌ترین روش‌های انتخاب چندمعیاره هستند. در روش نمره‌دهی رنج نمره در اختیار خبرگان است اما در روش مرتب‌کردن طرح‌ها به ترتیب قرار می‌گیرند. در نهایت طرح‌های برگزیده با توجه به پارامتر تأثیرگذار طول دهانه مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: مدیریت و شناسایی ریسک، ماتریس PI، روش نمره‌دهی، روش مرتب‌کردن، سازه کابلی سریع الاحداث

#### ۱- پیشینه تحقیق

تحقیق و توسعه در حمل و نقل بسیار موثر است، این پروژه‌ها با هدف افزایش دانش انسانی و فرهنگ اجتماعی و بهره‌گیری از این دانش در کاربردهای جدید صورت می‌گیرد (سرهادی و زمانی، ۱۳۹۶). در طرح‌های تحقیق و توسعه برای تحلیل ریسک‌های احتمالی اجرای مدیریت ریسک باعث می‌گردد تا اشتباهات به حداقل رسیده و از متحمل شدن ضررهای بالقوه

حمل‌ونقل یکی از زیرساخت‌های هر کشور است که به‌طور مستقیم با بخش‌های اقتصادی، صنعتی و اجتماعی در ارتباط است؛ همچنین مینا و لازمه سطوح مختلف دسترسی و انتقال مردم و کالا از یک مکان به مکان‌های دیگر است. سامانه حمل‌ونقل یکی از عوامل مهم بیان‌کننده میزان توسعه‌یافتگی یک کشور است (نادرنیا و شیرمحمدی، ۱۳۹۷). اجرا پروژه‌های

سطوح ریسک، ریسک‌های شاخص را شناسایی نموده و به ترتیب سطوح ریسک شروع به تعریف اقدامات کنترلی برای هر یک از سطوح ریسک نمود (Szymański, 2017). پس از کمی نمودن ریسک و یا ارزیابی ریسک، اهمیت سطوح ریسک برای کلیه ذینفعان قابل‌درک و تشخیص شده و ضرورت اقدامات کنترلی مشخص‌تر می‌گردد (Khodeir & Nabawy, 2019). در مدیریت ریسک سؤالاتی نظیر چگونگی شناسایی ریسک، نحوه درجه‌بندی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه، چگونگی در نظرگیری وابستگی عدم قطعیت‌ها به یکدیگر، چگونگی پاسخ به ریسک‌ها و مواردی از این قبیل مطرح می‌باشند که پاسخ به آن‌ها نیازمند تجزیه و تحلیل دقیق دارد (Wang et al, 2017). با شناخت عدم قطعیت‌ها و مدیریت آن‌ها، در درجه اول اقتصادی یا غیراقتصادی بودن پروژه مشخص می‌شود، در درجه دوم تهدیدها و فرصت‌های هر یک از عدم قطعیت‌ها استخراج می‌شود، در درجه سوم راهکارهای مناسب برای کنترل تهدیدها و افزایش فرصت‌ها شناسایی شده و بالاخره با انتخاب استراتژی مناسب (اجتناب یا بهره‌گیری، کاهش یا ارتقاء، انتقال یا مشارکت یا پذیرش، به ترتیب برای هر یک از تهدیدها یا فرصت‌ها) می‌توان گام بزرگی را در راستای نیل به اهداف پروژه برداشت (خواجه زاده و همکاران، ۱۳۹۹). مدیریت ریسک نقشی حیاتی در پروژه ساخت‌وساز ایفا می‌کند، برای کنترل تمامی ریسک‌های مربوط به ساخت‌وساز ابتدا باید ریسک‌ها شناسایی، ارزیابی و کنترل شود تا در نهایت راه‌حل مناسب ارائه شود. گاهی اوقات، خطرات در مناطق خاص ممکن است یکسان باشد، اما تأثیر و احتمال خطر ممکن است متفاوت باشد. سانتیل و همکاران نشان دادند که جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه، تحلیل و تفسیر با توجه به زمان و هزینه پروژه با ایجاد مدل ریسک و رسیدگی به ریسک‌ها به پروژه‌های ساخت‌وساز آتی کمک می‌کند تا پروژه را در هزینه و زمان برنامه‌ریزی شده تکمیل کنند (Senthil & Muthukannan, 2021). بینگ لو و همکاران یک روش جدید برای ارزیابی کمی ریسک ایمنی ساخت‌وساز در مرحله طراحی پیشنهاد می‌کنند. این روش از سه شاخص احتمال، پیامد و مواجهه تشکیل شده است. این شاخص‌ها با استفاده از داده‌های مربوط به آسیب‌های شغلی، فوتی و برنامه‌ریزی ساخت‌وساز خاص که دقیق و عینی هستند محاسبه می‌شوند (Ying Lu et al, 2021). پیامدهای نامطلوب ریسک‌های ثانویه در ساخت‌وساز پروژه به مراتب بیشتر از

در آینده جلوگیری گردد (Abd El-Karim et al, 2017). موارد عدم قطعیت بسیاری در پروژه‌ها ممکن است پیش آید. برخی از آن‌ها پتانسیل تأثیرگذاری بر اهداف را دارند و در حقیقت این تعامل بین اهداف پروژه و عدم قطعیت‌ها است که ریسک را به وجود می‌آورد. ریسک را می‌توان عدم قطعیتی تعریف کرد که در صورت وقوع، یک یا چند هدف از اهداف پروژه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (نبی گل و همکاران، ۱۳۹۸). مدیریت ریسک نه تنها در ابتدای پروژه که باید در طول عمر پروژه انجام شود. در هر مرحله از عمر پروژه باید ریسک‌های جدید را پس از شناسایی، ارزیابی و مدیریت کرد (شهریاری و همکاران، ۱۳۹۷). مدیریت ریسک اگر به موقع آغاز شود می‌تواند سودمند بوده و ابزار قدرتمندی برای شناسایی زود هنگام ضعف‌ها باشد و به تیم مدیریت کمک می‌کند که برنامه‌های عملیاتی را جهت اداره کردن ریسک‌ها سازمان‌دهی کرده و از تبدیل شدن آن‌ها به مسائل و مشکلات بزرگ در پروژه جلوگیری کند و به این ترتیب، پاسخ پیشگیرانه قبلی به جای اقدامات واکنشی به مشکلات در آینده، می‌تواند صرفه‌جویی هزینه‌ای و زمانی را به همراه داشته باشد (Dziadosz, 2015).

مدیریت ریسک پروژه عبارت است از کلیه فرایندهای مرتبط با شناسایی، تحلیل و پاسخگویی به هرگونه عدم اطمینان در پروژه (نظری و همکاران، ۱۳۸۷) و همچنین یکی از قسمت‌های محوری مدیریت استراتژیک هر سازمان به شمار می‌رود؛ که از طریق آن، سازمان‌ها می‌توانند به صورت روشمند خطرهای مرتبط با فعالیت‌هایشان را شناسایی کنند (نظری و جابری، ۱۳۹۴). مدیریت ریسک از فرآیند سه مرحله‌ای شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک و کاهش ریسک برای تعیین وجود و سطح ریسک استفاده می‌کند (Wang & Chou, 2003). شناسایی و ارزیابی ریسک بخش اصلی در مدیریت ریسک است؛ زیرا با شناسایی و رتبه‌بندی، برتری یک ریسک نسبت به سایر ریسک‌ها مشخص می‌گردد، در نتیجه عوامل اصلی درگیر در پروژه می‌توانند برنامه‌ریزی مناسبی برای تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسکی داشته باشند (آهنگری و همکاران، ۱۳۹۰). شناسایی ریسک‌های پروژه به‌تنهایی مؤثر نیست. زمانی ریسک‌های پروژه در تصمیم‌گیری مدیران خودنمایی می‌نمایند که ریسک‌ها پس از شناسایی به صورت کمی درآیند و ارزیابی شوند (خاتمی و همکاران، ۱۳۹۸) با ارزیابی شدن ریسک‌های پروژه می‌توان با طبقه‌بندی

شدند. ساختار نهایی مدل پیشنهادشده به صورت جداول معینی با امتیازدهی به هر پارامتر و در محدوده عددی ۰/۱ تا ۱۰۰ ارائه گردید. با کمک این سیستم می‌توان نسبت به انتخاب گزینه بهینه در جاده‌های دسترسی به معادن به صورت تحلیلی و مستدل اقدام نمود (ارشدنژاد، ۱۳۹۸). مخاطرات محیطی نتیجه عملکرد و بهره‌برداری نامطلوب انسان از محیط‌زیست است (یاوری، ۱۴۰۰). پل‌ها از دیرباز وسیله‌ای برای عبور و مرور از رودخانه‌ها و معبری برای ایجاد ارتباط بین بخش‌های مختلف زیستگاه‌های بشری بوده‌اند که نقش اصلی مراسلاتی و ارتباطی آن‌ها، مهم‌ترین بارزه و مشخصه قابل عنوان آن‌ها به شمار می‌رفته است. در واقع پل‌ها محورهای ارتباطی بین مکان‌های عبور ناپذیر و برای تسهیل دسترسی فیزیکی بین دو مکان زیستی بوده است. همچنین پل به‌عنوان بخشی از فضای شهری است که زندگی در آن جریان دارد و تنها یک وسیله ارتباط بین دو نقطه نیست؛ بلکه انعکاسی از معیارها، اندیشه‌ها، توانایی‌ها و بالاخره ذوق و نبوغ و خلاقیت و مهارت و شجاعت انسان‌ها و جوامع می‌باشد (صادقپور و تفرشی، ۱۴۰۰). پروژه احداث سازه کابلی سریع الاحداث نیز یکی از پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ای با هدف احداث سازه کابلی برای عبور بار و نیروی امدادی در شرایط بحران است، لذا، سرعت ساخت و نگر نصب بودن سازه از ویژگی‌های اصلی این پروژه می‌باشد. برای این منظور پس از بررسی طرح‌ها و نمونه‌های موردی موجود در جهان در نهایت سه تیب طرح در نظر گرفته شد. طرح اول پل کابلی، با توجه به وجود نمونه‌های مختلف از پل‌های کابلی چه در داخل کشور چه در خارج از کشور اولین ایده ساخت پل کابلی سریع الاحداث بود. طرح دوم روپوی، با توجه به کاربرد این نمونه سازه در معادن و سدها پس بررسی نمونه‌های داخلی و خارجی به‌عنوان طرح دوم در نظر گرفته شد. طرح سوم سازه تاشو، که در واقع خوش‌بینانه‌ترین و ایده‌آل‌ترین طرح برای این مسئله است که با آماده کردن طرح و دپو آن در انبار صرفاً در شرایط بحران سازه به محل انتقال داده شود و نصب گردد. این پژوهش به شناسایی و مدیریت ریسک‌های سازه‌های کابلی سریع‌الاحداث با دو روش مرتب‌سازی و نمره‌دهی می‌پردازد. این پژوهش بر روی ۸ طرح منحصربه‌فرد و نوآورانه انجام پذیرفت و تا به حال برای سازه‌های سریع‌الاحداث مطالعه ریسک انجام نشده بود.

ریسک‌های اولیه است. در زمینه فعلی مدیریت و کنترل ایمنی ساخت‌وساز، هیچ تحقیقی در مورد روش‌های کمی و استانداردهای درجه‌بندی ریسک ثانویه وجود ندارد. ژن تیان و همکاران با توجه به روش محاسبه توسعه‌یافته، ارزش ریسک‌های ثانویه پروژه ساخت‌وساز را به دست آوردند. این روش ارزیابی می‌تواند از تحلیل کمی ریسک ثانویه در ایمنی ساخت‌وساز پشتیبانی کند (Zhen Tian et al, 2022). صرفه‌جویی در هزینه‌ها برای مالک، پیمانکار و پیمانکار فرعی هر پروژه‌ای حیاتی است. ویوک و همکاران تحقیقاتی را برای شناسایی، تجزیه و تحلیل عوامل ریسک که بر بودجه صنعت ساخت‌وساز در هند تأثیر می‌گذارد، انجام دادند. ۴۲ متغیر ریسک رایج پس از مطالعه کامل ادبیات مرتبط مشخص شد و به چهار گروه دسته‌بندی شد. عوامل خطر با رتبه برتر که بیشترین تأثیر را بر بودجه پروژه دارند، نوسانات قیمت، کنترل کیفیت و تجربه مدیریت هستند (Vivek & Hanumantha, 2022). تصمیم‌گیری استفاده از منابع و امکانات و انتخاب شیوه و راهکار مناسب برای دستیابی به یک هدف معین است. عمل تصمیم‌گیری از مهم‌ترین بخش‌های کار مدیریت تلقی می‌گردد. اکثر تصمیم‌گیری‌های مدیران تحت تأثیر عوامل و معیارهای مختلف قرار دارد که این عوامل برخی مواقع با یکدیگر در تعارض هستند. لذا، مدیران سعی می‌کنند بین چندین گزینه موجود بهترین گزینه را انتخاب کنند.

تصمیم‌گیری در شرایط بحران حساسیت بیشتری دارد توکلی کاشانی و عزیزی بندرآبادی، (۱۳۹۷). گهرپور و آزموده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP به منظور اولویت بندی گزینه‌های حمل و نقل ترکیبی با مترو در ایستگاه چند وجهی صادقیه متروی تهران استفاده کردند. به همین منظور از نظرات ۲۵ تن از کارشناسان و متخصصان حوزه حمل و نقل برای ارزیابی ۳ گزینه موجود در ایستگاه یاد شده بر اساس ۳ معیار کلی و ۹ شاخص اولویت‌بندی کردند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، اولویت‌های گزینه‌های مورد بررسی به ترتیب عبارتند از اتوبوس، ون و تاکسی، دوچرخه و پیاده‌روی (گهرپور و آزموده، ۱۳۹۵). ارشدنژاد روش پیشنهادی SBMR را برای اولین بار و به‌منظور کمی‌سازی معیارهای تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه مسیر برای جاده‌های دسترسی به معادن ارائه کرد. در این مدل که بر اساس تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آمده ۱۸ پارامتر در سه دسته کلی با معیارهای فنی، اقتصادی و محیطی در نظر گرفته

## ۲- روش‌شناسی تحقیق

ضروری است شرکت‌کنندگان به‌گونه‌ای انتخاب شوند که با موضوعات موردبحث آشنا هستند. یک یادداشت‌کننده هم نکات مهم جلسات و ایده‌های مطرح‌شده را ثبت کرد. خروجی جلسات دسته‌بندی ریسک‌ها در ۶ دسته کلی ۱- ریسک‌های اجرایی کلی، ۲- ریسک‌های سازه‌ای، ۳- ریسک‌های مکانیکی، ۴- ریسک‌های پی، ۵- ریسک‌های الکترونیکی، ۶- ریسک‌های متالورژی شد. سپس هر کارگروه‌های ریسک‌های خود را جمع‌بندی کرد، در مجموع ۳۱۳ ریسک شامل ۳۰ ریسک اجرایی کلی، ۲۸ ریسک سازه‌ای، ۵۸ ریسک مکانیکی، ۹۹ ریسک پی، ۷۰ ریسک الکترونیکی، ۲۸ ریسک متالورژی لیست گردید. پس از شناسایی ۳۱۳ ریسک در اختیار مدیر پروژه قرار گرفت و با مصاحبه‌ای که انجام شد صحت ریسک‌های بررسی‌شده مورد تأیید قرار گرفت. سپس این لیست در اختیار تمام اعضای تیم پروژه و تعدادی از خبرگان قرار گرفت تا بر اساس طیف لیکرت ۱ تا ۵، احتمال و اثر هر ریسک مشخص گردد.

## ۳- شناسایی ریسک

با توجه به‌صورت مسئله که احداث سازه کابلی سریع‌الاحداث برای دهانه ۱۵۰ متر بود سه تیپ سازه کابلی شامل پل کابلی، روپوی و سازه کابلی تاشو در نظر گرفته شد. سپس با برگزاری جلسات و نظرسنجی تیم پروژه با تأیید مدیر پروژه ریسک‌ها در ۶ دسته کلی قرار گرفت، که شرح ریسک و کد ریسک‌ها در جداول زیر آمده است.

جدول ۱. ریسک‌های کلی

شرح ریسک				دسته‌بندی ریسک
عدم نیروی متخصص (GR1)	شرایط محیطی (GR2)	شرایط مالی (GR3)	شرایط جنگی (GR4)	دسترسی به جبهه مخالف
نقص فنی (GR5)	مقید شدن کابل در جبهه مخالف (GR6)	عدم طراحی صحیح PLT (GR7)		
عدم امکان خرید تجهیزات (GR8)	عدم نگهداری تجهیزات (GR9)	کیفیت ناکافی کابل (GR10)		
صعوبت مسیر (GR11)	آسیب‌دیدگی نفر (GR12)			
باران (GR13)	برف (GR14)	رطوبت (GR15)	سختی شرایط برای نفرات (GR16)	تغییرات آب‌وهوا
طوفان شن (GR17)	صاعقه (GR18)	شهاب‌سنگ (GR19)		نیرو انسانی
دانش ناکافی (GR20)	انگیزه (GR21)	سقوط و آسیب‌دیدگی (GR22)		
مرگ‌ومیر (GR23)	برق‌گرفتگی (GR24)	ترس (GR25)		شرایط محیط کار
تأمین آذوقه (GR26)	فضا برای اسکان (GR27)	سرویس بهداشتی (GR28)		
لباس و تجهیزات (GR29)	امنیت و آسایش (GR30)			

جدول ۲. ریسک پی

شرح ریسک	دسته بندی ریسک
تغییر در جنس خاک و پارامترهای مؤثر در عمق خاک (FR1)	ریسک‌های محیطی برای پی
انواع لایه‌ها خاک و موقعیت آن‌ها (FR2)	
عدم اطمینان از تپ خاک (FR3)	
تراکم خاک و وزن مخصوص آن (FR4)	
اندازه دانه‌ها و دانه‌بندی خاک (FR5)	
خاک‌های رسوبی (FR6)	
خاک محل دفع زباله و نخاله (FR7)	
خاک‌برگ‌ها و خاک دستی (FR8)	
خاک رَمبنده (فروریزی) (FR9)	
خاک توری (FR10)	
خاک‌های نشست پذیر (FR11)	ریسک‌های مطالعاتی پی
تغییر تراز آب (FR20)	
خاک‌های مستعد روانگرایی (FR12)	
خاک‌ها مستعد جاری شدن (زمین لغزش) (FR13)	
وجود آب (FR18)	
سنگ‌ها و جهت دسته‌دوزه‌ها (FR14)	
عدم دسترسی درست به پارامترهای مقاومتی (FR15)	
نوع سنگ و لایه‌بندی و تغییرات در عمق (FR16)	
هوازدگی سنگ‌ها (FR17)	
عدم وجود آب (FR19)	
عدم اطمینان در موارد ذکر شده در (ریسک محیطی-خاک، سنگ و آب) (FR21)	ریسک‌های طراحی پی
درجه اشباع (FR23)	
تغییر موارد زیر در طی زمان احداث، بهره‌برداری و در عمق لایه‌بندی خاک و سنگ (FR22)	
رطوبت (FR24)	
درجه اصطکاک (FR25)	
چسبندگی (FR26)	
نسبت پواسون (FR27)	
مدول الاستیسیته (FR28)	
تراکم و درصد تراکم (FR29)	
روانگرایی/تشدید/ریزش و... (FR30)	
مطالعات در محل (درجا) (FR31)	ریسک‌های اجرایی پی
عدم اطمینان در موارد ذکر شده در (ریسک محیطی-خاک، سنگ و آب) (FR33)	
تغییرات دمایی (FR34)	
اختلاف تراز ارتفاعی در دو جبهه (FR35)	
تغییرات آب‌وهوایی (FR36)	
عدم کفایت مقاومت در برابر نیروی بالا زدگی (uplift) (FR37)	
عدم کفایت مقاومت در برابر نیروی مقاوم در برابر نیروی واژگونی (FR38)	
عدم کفایت مقاومت در برابر نیروی برشی (FR39)	
عدم کفایت مقاومت در برابر لغزش (FR41)	
عدم کفایت مقاومت در برابر پیچش (FR42)	
عدم کفایت تدابیر اندیشیده شده جهت کنترل کشش کابل (FR43)	ریسک‌های اجرایی پی
عدم کفایت ابعاد پی (FR45)	
عدم در نظرگیری و یا خطا در محاسبه بار زلزله و باد و برف (FR44)	
عدم کفایت فاصله بین پی‌ها (FR46)	
عدم کفایت در برابر نشست (FR47)	
عدم کفایت مقطع اصلی پی در برابر نیروی پانچ ستون (FR48)	
عدم کفایت اتصالات (FR49)	
ضریب اطمینان طراحی (FR50)	
عدم کفایت فاصله بین گروه شمع و داخل گروه شمع (FR52)	
عدم کفایت طول و ضخامت شمع (FR53)	
عدم کفایت طول و ضخامت شمع (FR53)	ریسک‌های اجرایی پی
کمانش شمع (FR54)	
عدم در نظرگیری برخی الزامات و پارامترها در طراحی (FR55)	
خطا در محاسبات (FR58)	
پایین بودن ضریب اطمینان طراحی (FR56)	
در نظر گرفتن روابط اشتباه (FR57)	
فرضیات حل اشتباه (FR59)	
آسیب دیدن شمع در هنگام نصب (FR60)	
طول نامناسب شمع (FR61)	
اجرا شمع در سنگ‌ها (FR62)	
نفوذ شمع در داخل خاک‌ها و غرق شدن شمع (شمع کوبشی) (FR63)	ریسک‌های اجرایی پی
آب شستگی خاک زیر پی (FR66)	
کوبش یا پیچ کردن بیش از حد شمع و آسیب دیدن شمع (FR64)	
نصب در مناطق با تراز بالای آب (FR65)	
عدم رسیدن به عمق مدفون مناسب (FR67)	
ارتفاع خاک‌برداری نامناسب (FR68)	
غرق شدن پی سطحی در خاک‌های خیلی سست (FR69)	
وزن سنگین پی سطحی مشکل در نصب و جابجایی (FR70)	
آسیب دیدن اتصالات در زمان نصب (FR71)	
عدم کفایت در اتصالات پیچی (تعداد/قطر پیچ) و سوراخ‌کاری (FR73)	
تورم خاک بعد از خاک‌برداری (FR75)	ریسک‌های بهره‌برداری پی
افزایش نشست الاستیک در خاک ماسه‌ای و رسی (FR74)	
خرابی وینچ/ماشین‌آلات (FR76)	
گسیختگی برشی موضعی (FR77)	
گسیختگی برشی کلی (FR78)	
گسیختگی برشی سوراخ کننده (FR79)	
بالا بودن نیروهای وارده به پی (FR80)	
نشست حاصل از بار وارده (FR81)	
حاصل از افزایش بار و لنگر (FR84)	
تورم زیر پی سطحی (کاهش باربری) (FR82)	
حاصل از نشست و تورم بیش از حد (FR83)	
خرابی وینچ (FR85)	ریسک‌های بهره‌برداری پی
پارگی و یا عدم اتصال مناسب کابل (FR86)	
تغییرات دما (انقباض و انبساط) (FR87)	
حاصل از روانگرایی (FR88)	
بار دینامیکی (تشدید /کاهش تنش مؤثر/نشست /روانگرایی) (FR89)	
بار زلزله و باد (FR90)	
نیروی ضربه به پی (FR91)	
کاهش ضریب اصطکاک (FR92)	
افزایش بار جانبی (FR93)	
خوردگی شمع (FR96)	
کاهش وزن مخصوص، کاهش اصطکاک، کاهش چسبندگی و ... (FR94)	
خوردگی پی سطحی (FR95)	ریسک‌های بهره‌برداری پی
ریزش شیروانی (FR97)	
لغزش شیروانی (FR98)	
جاری شدن شیروانی (FR99)	

جدول ۳. ریسک‌های الکترونیکی

شرح ریسک		دسته‌بندی ریسک	
عدم وجود شبکه برق پایدار (ER2)	فقدان فضای مناسب برای نصب دیزل (ER1)	ریسک‌ها محیطی برای تجهیزات الکترونیکی	
عدم وجود نیروی متخصص (ER3)	عدم وجود امکان تهیه قطعه جایگزین (ER5)		
اخلال در قطعات الکترونیکی در اثر بارش باران (ER6)	اخلال در قطعات الکترونیکی در اثر دما هوا (ER7)		
اخلال در قطعات الکترونیکی در اثر رطوبت هوا (ER8)	اخلال در قطعات الکترونیکی در اثر سیل (ER9)		
عدم در نظرگیری برخی الزامات و پارامترها در طراحی (ER11)	در نظر گرفتن روابط اشتباه (ER13)		ریسک‌های طراحی تجهیزات الکترونیکی
پایین بودن ضریب اطمینان طراحی (ER12)	فرضیات حل اشتباه (ER15)		
تکنولوژی پایین و عدم پاسخگویی تکنولوژی فعلی (ER14)	طراحی اشتباه منطق کار (ER16)		
طراحی اشتباه مدارات کنترلی (ER17)	انتخاب اشتباه سخت‌افزار (ER18)	ریسک‌های اجرای تجهیزات الکترونیکی	
عدم عملکرد مناسب سیستم ترمز (ER19)	قفل شدن موتور زیر بار (ER20)		سوختن درایو (ER21)
سوختن موتور (ER23)	پاره شدن کابل‌ها (ER24)		گیرکردن پولی‌ها (ER25)
خرابی پی (ER27)	عدم حفاظت درایو از نظر مکانیکی و الکتریکی (ER39)		خرابی در کابین (ER26)
ضعف فنی در پیاده‌سازی (ER29)	زمان‌بر بودن پروسه نصب (ER30)		سرقت وسایل یا گم شدن (ER31)
خطرات جانی برای افراد (ER34)	عدم وجود متخصص و تکنیسین در محل برای راه‌اندازی (ER33)		نصب اشتباه (ER32)
اتصال اشتباه کابل‌های اصلی (ER35)	عدم دقت در ضد آب ساختن تابلو برق (ER36)		اتصالات غیر ایمن تابلو برق (ER37)
تخریب تجهیزات در اثر نصب اشتباه (ER28)	خرابی روغن دیزل (ER41)		جایابی اشتباه تجهیزات در تابلو برق (ER38)
قفل شدن موتور زیر بار (ER40)	ضربه‌های فیزیکی (ER42)		کوچک بودن موتور به خاطر افزایش شیب (ER43)
افزایش مصرف توان به خاطر اضافه شدن بار موتور (ER45)	کوچک بودن موتور به خاطر افزایش بار مکانیکی و وزن (ER44)		عدم توانایی در حمل و نقل دیزل و نصب آن (ER47)
افزایش مصرف توان به خاطر مصرف‌کننده‌های جانبی که به دیزل وصل شده (ER46)	استفاده نادرست (ER49)	تمام شدن سوخت دیزل (ER48)	
خرابکاری‌های عامدانه (ER50)	فشردن اشتباه شستی‌ها (ER51)	عدم وجود متخصص و تکنیسین در محل برای تعمیر (ER52)	
انفجار قطعات الکترونیکی (ER53)	خطرات الکترونیکی جانی برای افراد (ER54)	غیرقابل تعمیر بودن برخی قطعات الکترونیکی (ER55)	
عدم وجود قطعه جایگزین (ER56)	کمیاب بودن قطعات و تجهیزات (ER57)	زمان‌بر بودن تعمیر (ER58)	
گم شدن نقشه‌های فنی (ER59)	قطعی کابل دیزل (ER60)	قطعی کابل موتور (ER61)	
عدم عملکرد سنسور اول (ER62)	عدم عملکرد هم‌زمان هر دو سنسور (ER63)	خرابی دیزل قبل از حرکت (ER64)	
خرابی دیزل حین حرکت (ER65)	خرابی موتور قبل از حرکت (ER66)	خرابی موتور حین حرکت (ER67)	
خرابی تجهیزات داخلی تابلو برق و سیستم‌های کنترل و فرمان قبل از حرکت (ER68)	خرابی تجهیزات داخلی تابلو برق و سیستم‌های کنترل و فرمان حین حرکت (ER69)	عمل نکردن ترمز مکانیکی (ER70)	

جدول ۴. ریسک‌های متالوژی

شرح ریسک	دسته بندی ریسک
عدم انتشار اطلاعات ساخت آلیاژ به دلیل حساسیت کاربرد در موارد مشابه (MTR1)	ریسک‌های مطالعات متالوژی
عدم توانایی ساخت آلیاژ مورد نظر (MTR2)   تجهیزات آزمایشگاهی ناکافی برای انجام تست‌های متالورژیکی (MTR4)	
کاربرد گسترده سازه (امدادسانی و شرایط جنگی) و عدم تمرکز بر روی خواص مشخص (MTR3)	
تشخیص دقیق جنس کابل، اتصالات، لولاهای، پولی‌ها و ... (MTR5)   در نظر گرفتن شرایط اقتصادی (MTR10)	ریسک‌های طراحی متالوژی
تشخیص دقیق جنس بدنه اصلی سازه (MTR6)   اعمال ضریب اطمینان نامناسب در نیروهای وارده به سازه (MTR9)	
در نظر گرفتن شرایط سخت‌گیرانه محیطی و طراحی که به اعمال وزن بسیار زیاد به سازه منجر شود (MTR7)	
عدم محاسبه درست نیروهای وارده به سازه (MTR8)	ریسک‌های اجرایی متالوژی
توانایی ساخت آلیاژ (MTR11)   خطا در تهیه آلیاژ (MTR12)   ناهمگنی در ساخت آلیاژ (MTR13)	
کیفیت نامناسب مواد خام اولیه (MTR14)   توانایی فرم دهی آلیاژ بدون تغییر خواص (MTR16)	
کیفیت نامناسب آلیاژ خریداری شده (در صورت به صرفه بودن خرید به جای ساخت) (MTR15)	
نیاز به کوره یا تجهیزات مورد نیاز برای ساخت، فرم دهی و عملیات مربوط به ساخت آلیاژ (MTR18)	
توانایی اعمال عملیات حرارتی مطلوب (MTR17)   اعمال بار بیش از اندازه محاسبه شده بر سازه (MTR19)	
توانایی تعمیر و بازسازی سازه (در صورت تخریب آن) (MTR20)   تأثیر خستگی بر اثر استفاده مکرر (MTR23)	
سایش اجزا روی هم حین باز و بسته شدن سازه (MTR21)   شرایط نگهداری نامناسب (MTR22)	
انجام آزمایش‌ها دوره‌ای به منظور اطمینان از صحت عملکرد (MTR24)	
مقاومت به رطوبت (MTR25)   مقاومت به حرارت (MTR26)   مقاومت به سایش (MTR28)	ریسک‌های محیطی متالوژی
مقاومت به ضربه (در صورت تیراندازی یا انفجار) (MTR27)	

جدول ۵. ریسک‌های سازه‌ای

شرح ریسک	دسته بندی ریسک
انتخاب نادرست پارامترهای لرزه‌ای پیش از اجرا (SR1)   عدم تطابق فرضیات با شرایط واقعی ساختمانگاه حین اجرا (SR4)	ریسک‌های مطالعاتی سازه
انتخاب نادرست مشخصات هندسی و مکانیکی مصالح پیش از اجرا (SR2)	
عدم وجود علم کافی و صحیح راجع به سازه‌های کابلی پیش از اجرا (SR3)	
عدم دانش کافی نسبت به طراحی پل (SR5)   عدم دانش کافی نسبت به طراحی اتصالات پل (SR6)	ریسک‌های طراحی سازه
نادیده گرفتن تغییر شکل‌ها و کرنش‌های بزرگ بر میزان سختی اعضا و در نهایت تلاش‌های داخلی (SR7)	
بروز رفتار غیرخطی هندسی و مصالح پیش‌بینی نشده (SR8)   اختلاف طراحی و اجرا حین اجرا پروژه (SR9)	
مشکلات ناشی از حمل و نقل (SR10)   ناموجود بودن قطعات طراحی شده (SR11)   محدودیت بودجه (SR12)	ریسک‌های اجرای سازه
بروز خطاهای انسانی در نصب سازه (SR13)   نیاز به ماشین‌آلات برای نصب سازه (SR14)	
عدم تطابق نقشه‌های اجرایی با اجرا (SR15)   عدم مقید شدن کابل در جبهه مخالف (SR16)	
عدم توانایی اجرا در زمان پیش‌بینی شده (SR17)   عدم هماهنگی قطعات در نصب (SR18)	
عدم تناسب وزن و ابعاد سازه با خودرو حامل (SR19)   خرابی خودرو حامل قطعات سازه‌ای (SR20)	ریسک‌های بهره‌برداری سازه
نقص فنی در تجهیزات جانبی (SR21)   تجاوز بار وارده از بار طرح (۵ تن) (SR22)   تخریب جزئی عرشه (SR26)	
عبور حامل با سرعتی بیش از سرعت طرح (SR23)   عدم تطابق طرح هندسی راه و خودروی حامل (SR28)	
خوردگی، پوسیدگی، خستگی و فرسایش اعضای پل کابلی تحت اثر بارهای متناوب و تغییرات تنش‌ها (SR24)	
برهم خوردن تعادل ماشین عبوری از روی پل (لغزش) خطای راننده (SR25)	

جدول ۶. ریسک‌های مکانیکی

شرح ریسک		دسته‌بندی ریسک
کافی نبودن نیروی محرکه (MR1)	سرعت پایین حرکت کابین (MR2)	ریسک‌های اجرایی
عدم کفایت گریپ (MR4)	وزن زیاد کابین (MR5)	
عدم کفایت سیستم ترمز (MR7)	عدم کفایت انتقال نیرو توسط پولی (MR8)	
واژگونی محموله بر اثر شیب مسیر (MR9)	عدم کفایت نوع کابل (MR11)	
عدم کفایت رگلاژ کابل (MR13)	عدم کفایت مقاومت کششی کابل (MR14)	
عدم کفایت قطر پولی (MR16)	عدم کفایت جنس پولی (MR17)	
عدم کفایت عمر خستگی پولی (MR19)	عدم کفایت حد استحکام اتصالات (MR20)	
عدم کفایت عمر خستگی اتصالات (MR21)	تعداد اجزای زیاد و پیچیده (MR22)	
ابعاد بزرگ سیستم محرکه (MR23)	عدم کفایت برای اختلاف ارتفاع بین دو ایستگاه (MR24)	
اختلال در عدم کارکرد وینچ‌های محرک (MR27)	عدم کفایت در مقابل گشتاور خمشی (MR28)	
تنظیم نیروی کششی وینچ (MR29)	عدم کفایت درام وینچ (MR30)	
عدم کفایت نیروی محرکه وینچ (MR32)	اختلال در عدم کارکرد وینچ‌های محرک (MR33)	
عدم کفایت سیستم ترمز (MR34)	مشکل در کنترل سرعت (MR35)	
انحراف ساخت نسبت به طراحی (MR37)	آسیب به تجهیزات حین حمل (MR38)	
مونتاز نادرست گریپ (MR40)	اعمال بار بیش از حد طراحی به اجزا هنگام نصب (MR41)	
خطا در نصب و رگلاژ نادرست کابل (MR42)	مونتاز نادرست توسط اپراتور (MR44)	
اعمال بار بیش از حد طراحی به اجزا هنگام بهره‌برداری (Over load) (MR46)	پیچیدگی مونتاز قطعات (MR43)	
عدم اجرای استانداردها و الزامات (MR45)	بار ضربه‌ای (ریزش کوه، سقوط درخت و ...) (MR49)	
خوردگی شیمیایی (MR48)	روانکاری (MR50)	
عدم در نظرگیری استانداردها طراحی (MR52)	عدم در نظرگیری الزامات طراحی (MR53)	
عدم در نظرگیری پارامترها طراحی (MR54)	نامناسب بودن مقدار ضریب اطمینان طراحی (MR55)	
در نظر گرفتن روابط نادرست (MR56)	خطا در محاسبات (MR57)	
	فرضیات حل نادرست (MR58)	

۴- ارزیابی و محاسبه ریسک

مجموعه‌ای از اعضای تیم پروژه و خبرگان که در رابطه با طرح اطلاعات داشتند با توجه به دسترس بودن افراد انتخاب شد. در این پژوهش هدف نظرسنجی خبرگان بود و آمارگیری نبود. لذا با توجه به حساسیت پروژه و محرمانه بودن اکثر اطلاعات، پرسشنامه‌ها در اختیار ۲۰ نفر قرار داده شد. برای هر طرح احتمال و تأثیر از طیف لیکرت استفاده شد. برای هر طرح میانگین حاصل ضرب احتمال و تأثیر (PI) محاسبه شد، نتایج به‌دست‌آمده برای هر طرح به شرح زیر است:

جدول ۷. تعیین مقدار عددی برای احتمال وقوع و میزان تأثیر

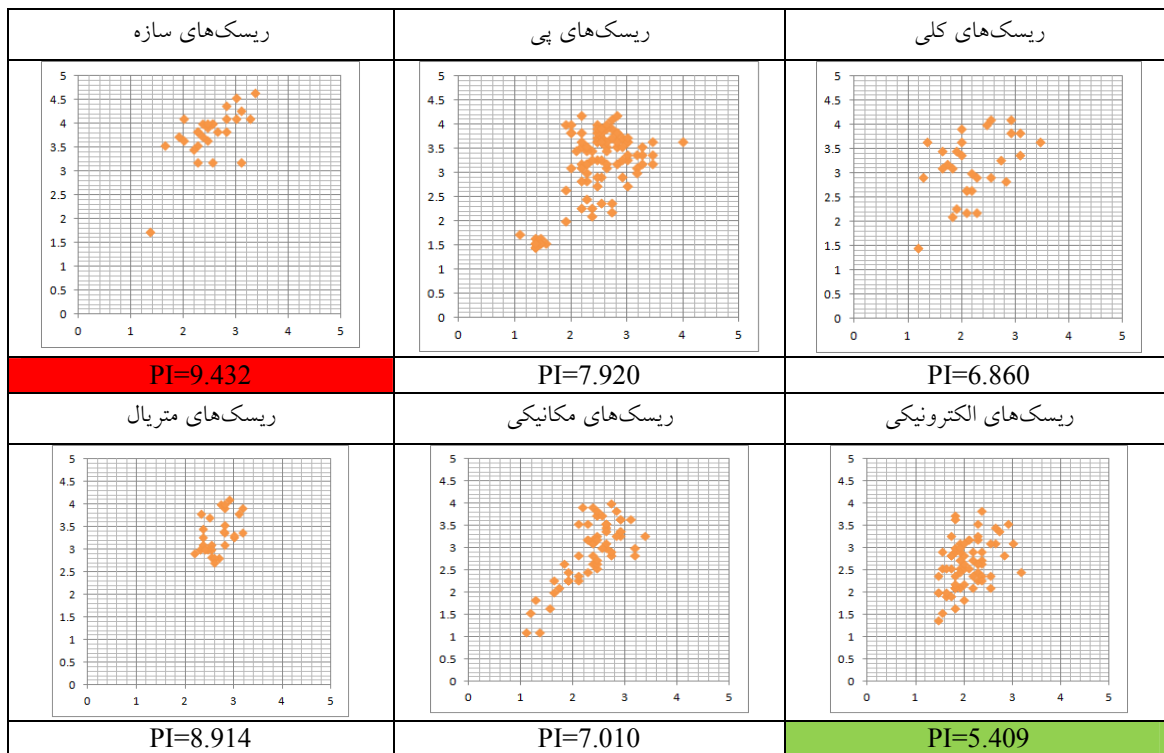
خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	احتمال وقوع / میزان تأثیر
۱	۲	۳	۴	۵	مقدار عددی

ریسک‌های سازه	ریسک‌های پی	ریسک‌های کلی
<b>PI=9.364</b>	<b>PI=7.511</b>	<b>PI=7.435</b>
ریسک‌های متریال	ریسک‌های مکانیکی	ریسک‌های الکترونیکی
<b>PI=7.274</b>	<b>PI=5.673</b>	<b>PI=4.695</b>

تصویر ۱. ریسک‌های پل کابلی

ریسک‌های سازه	ریسک‌های پی	ریسک‌های کلی
<b>PI=8.576</b>	<b>PI=7.458</b>	<b>PI=7.678</b>
ریسک‌های متریال	ریسک‌های مکانیکی	ریسک‌های الکترونیکی
<b>PI=7.522</b>	<b>PI=7.249</b>	<b>PI=7.366</b>

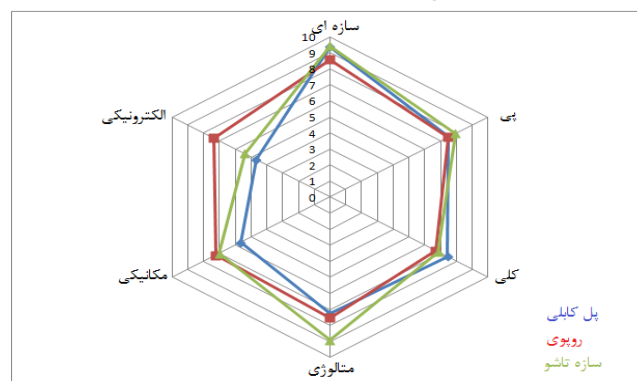
تصویر ۲. ریسک‌های روپوی



تصویر ۳. ریسک‌های سازه تاشو

در نهایت سازه تاشو با بیشترین پیچیدگی بیشترین ریسک را نیز دارد. پل کابلی با توجه به اینکه قسمت الکترونیکی چندانی ندارد کمترین ریسک را دارد، سازه تاشو دوم است چراکه تمام قطعات از پیش آماده شده و به صورت کامل به محل پروژه آورده و اجرا می‌شود اما روپوی که نیاز به اجرای قطعات در محل را دارد بیشترین ریسک را نیز دارد. پل کابلی کمترین ریسک مکانیکی را دارد، سپس سازه تاشو و روپوی دوم و سوم هستند. کمترین ریسک متالورژی را پل کابلی و سپس روپوی دارد و به علت پیچیدگی زیاد سازه تاشو و استفاده از آلیاژهای سبک نوین بیشترین ریسک متالورژی را نیز دارد.

کمترین ریسک کلی را سازه تاشو دارد، بعد از آن پل کابلی است که با توجه به نمونه‌های موردی زیاد از این نوع سازه و تجربیات پروژه‌های قبلی تا حدی ریسک‌ها کاهش یافته است. در نهایت بیشترین ریسک را روپوی دارد چراکه تعداد قطعات زیادی دارد و متصل کردن آن‌ها در محل پروژه ریسک را افزایش می‌دهد. کمترین ریسک پی را روپوی دارد، چراکه فقط پایه‌ها نیاز به پی دارد، بعد از آن نیز سازه کابلی است و در نهایت با توجه به پیچیده بودن سازه تاشو بیشترین ریسک را نیز در بخش پی دارد. به لحاظ سازه‌ای کمترین ریسک را روپوی دارد چراکه فقط نیاز است کابل‌ها مهار شود، بعد از آن پل کابلی است که اضافه شدن عرشه به سازه ریسک را نیاز افزایش می‌دهد



تصویر ۴. مقایسه ریسک‌ها

## معرفی طرح‌ها

ریسک ۸ پارامتر برای انتخاب و رتبه‌بندی طرح‌ها در نظر گرفته شد.

با بررسی ریسک‌ها مشخص شد سازه تاشو بیشترین ریسک‌های متالوژی، سازه‌ای و پی را دارد که با توجه به پیچیدگی و نوین بودن طرح قابل پیش‌بینی بود. روپوی بیشترین ریسک الکترونیکی و مکانیکی را داشت که مهم‌ترین قسمت این طرح بخش طراحی مکانیکی و الکترونیکی آن است و طراحی سازه راحتی دارد. پل کابلی نیز بیشترین ریسک کلی را داشت که با توجه به صعوبت اجرایی و ساکن و ثابت بودن طرح درست است. درنهایت با بررسی نتایج حاصل از مطالعات ریسک و شناخت بهتر و بیشتر ۳ طرح کلی به‌منظور کاهش خطرات و بهبود طرح‌ها، اصلاح و بازطراحی گردید. طرح ۱ همان تله‌کابین است، طرح ۲ و ۳ برگرفته از تله‌کابین است که با توجه به ریسک‌های الکترونیکی تعداد و محل قرارگیری موتورها تغییر کرده. طرح ۴ و ۵ برگرفته از پل خضر است که در ۸ سال دفاع مقدس طراحی و اجرا شده بود. طرح ۶ پل کابلی است و طرح ۷ با توجه به ریسک‌های پی تغییراتی در پی داده شد. درنهایت طرح ۸ هم سازه تاشو یا همان پنتوگراف در نظر گرفته شد. سپس با توجه به نتایج حاصل از مطالعات

## وزن‌دهی معیارها

در گام اول افراد بر اساس سابقه کاری، میزان تحصیلات و رشته تحصیلی وزن‌دهی شدند حداکثر وزن ۲ و حداقل وزن ۰/۷ لحاظ گردید، به‌این‌ترتیب در ادامه تمام روش‌ها هم با وزن‌دهی افراد و هم در حالتی که افراد هم‌وزن باشند محاسبه گردید. جدول زیر نشان‌دهنده طریقه وزن‌دهی افراد هستند. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات ریسک برای رتبه‌بندی طرح‌ها ۸ پارامتر سریع الاحداث بودن، پرتابل بودن، نفر نصب بودن، سهولت طراحی، سهولت اجرا، سهولت تعمیر و نگهداری، سهولت حمل‌ونقل، هزینه ساخت در نظر گرفته شد، در حالتی که همه پارامترهای ذکرشده هم‌وزن باشند وزن هر معیار ۰/۱۲۵ می‌باشد؛ اما به ۴ روش دیگر وزن معیارها محاسبه شد. نتایج حاصل به شرح زیر است.

جدول ۸. ضریب پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه

رشته	ضریب	مقطع تحصیلی	ضریب	سابقه	ضریب
عمران سازه	۰/۹	دانشجوی ارشد	۰/۲	زیر ۲ سال	۰/۲
مدیریت پروژه	۰/۸				
ژئوتکنیک	۰/۷	ارشد	۰/۳	۲ تا ۵ سال	۰/۴
مکانیک	۰/۶				
معماری	۰/۵	دانشجوی دکتری	۰/۴	بالای ۵ سال	۰/۶
متالوژی	۰/۴				
الکترونیک	۰/۳	دکتری	۰/۵		

جدول ۹. وزن معیارها

هم‌وزن	صفر و یک	نسبی	صفر و یک وزنی	نسبی وزنی
۰/۱۲۵	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۰
۰/۱۲۵	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۱
۰/۱۲۵	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۰
۰/۱۲۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۶
۰/۱۲۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۰
۰/۱۲۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۷
۰/۱۲۵	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶
۰/۱۲۵	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۰

## روش نمره دهی

در این روش جدول ۸ در ۸ برای ۸ طرح و ۸ معیار آماده شد و در اختیار تیم پروژه و خبرگان قرار داده شد و از آن‌ها خواسته شد به هر طرح برای هر معیار عددی از ۱ تا ۲۰ بدهند، در این حالت نظردهندگان می‌توانستند برای یک معیار به دو طرح امتیاز یکسانی دهند و همچنین سقف و کف نمره

نیز در اختیار آن‌ها بود و محدودیتی نداشت. امتیاز هر طرح با در نظر گرفتن وزن افراد و وزن معیارها محاسبه شد، در نهایت نمرات نرمالایز گردید و مراحل و نتیجه نهایی در جدول زیر نشان داده شده است:

مرحله اول: نمره دهی به هر طرح بر اساس هر معیار (نمرات از ۱ تا ۲۰ به دلخواه خبرگان)

مرحله دوم: محاسبه میانگین وزنی و بدون وزن نمره هر طرح برای هر معیار برای  $n$  نفر خبرگان

مرحله سوم: محاسبه نمره هر نهایی طرح به ۱۰ روش بر اساس ۸ معیار با توجه به ضریب معیارها در جدول ۱۲

مرحله چهارم: نرمالایز کرده نمرات حاصل

مرحله پنجم: در نتیجه در تمام ۱۰ حالت محاسبه شده با این روش طرح ۵، طرح ۷ و طرح ۸ بهترین طرح‌ها بودند.

جدول ۱۰. نتایج حاصل از روش نمره دهی

افراد هم وزن				افراد وزن دار				
حالت هم وزن	مضرب و یک	نسبی	مضرب و یک وزنی	نسبی وزنی	حالت هم وزن	مضرب و یک وزنی	نسبی وزنی	
طرح ۱	۰/۱۰۵	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳	۰/۱۰۳	۰/۱۰۴	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲
طرح ۲	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
طرح ۳	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۹
طرح ۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۵	۰/۱۲۴	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۱۲۳	۰/۱۲۲
طرح ۵	۰/۱۴۱	۰/۱۴۰	۰/۱۴۰	۰/۱۴۰	۰/۱۴۱	۰/۱۴۰	۰/۱۴۱	۰/۱۴۰
طرح ۶	۰/۱۲۲	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۱۷	۰/۱۲۴	۰/۱۲۰	۰/۱۱۹	۰/۱۲۰
طرح ۷	۰/۱۳۹	۰/۱۳۸	۰/۱۳۸	۰/۱۳۸	۰/۱۳۸	۰/۱۳۷	۰/۱۳۷	۰/۱۳۷
طرح ۸	۰/۱۲۵	۰/۱۳۴	۰/۱۳۲	۰/۱۳۴	۰/۱۲۵	۰/۱۳۵	۰/۱۳۳	۰/۱۳۴

## روش مرتب کردن

در این روش نیز جدول ۸ در ۸ برای ۸ طرح و ۸ معیار آماده شد و در اختیار تیم پروژه و خبرگان قرار داده شد و از آن‌ها خواسته شد طرح‌ها را بر اساس هر معیار مرتب کنند، برای هر معیار بهترین طرح عدد ۸ و ضعیف‌ترین طرح عدد ۱ در نظر گرفته شد، در این حالت محدودیت هم لحاظ گردید که به دو طرح امتیاز یکسان داده نشود. به این ترتیب نتایج زیر پس نرمالایز کردن حاصل گردید.

مرحله اول: نمره دهی به هر طرح بر اساس هر معیار (نمرات از ۱ تا ۸ به ترتیب و بدون تکرار)

مرحله دوم: محاسبه میانگین وزنی و بدون وزن نمره هر طرح برای هر معیار برای  $n$  نفر خبرگان

مرحله سوم: محاسبه نمره هر نهایی طرح به ۱۰ روش بر اساس ۸ معیار با توجه به ضریب معیارها در جدول ۱۲

مرحله چهارم: نرمالایز کرده نمرات حاصل

مرحله پنجم: در نهایت در تمام حالات محاسبه شده با این روش به ترتیب طرح ۵، طرح ۷ و طرح ۸ بهترین طرح‌ها بودند.

جدول ۱۱. نتایج حاصل از روش مرتب کردن

افراد وزن دار					افراد هم وزن					
وزنی نسبی	صفر و یک وزنی	وزنی نسبی	وزنی صفر و یک	حالت هم وزن	وزنی نسبی	صفر و یک وزنی	نسبی	صفر و یک	حالت هم وزن	
۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۷۳	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۰/۰۷۳	طرح ۱
۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	طرح ۲
۰/۱۰۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰۶	۰/۱۰۵	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	طرح ۳
۰/۱۲۸	۰/۱۲۹	۰/۱۲۹	۰/۱۲۸	۰/۱۲۹	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	طرح ۴
۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۹	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۹	۰/۱۷۹	۰/۱۷۹	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	طرح ۵
۰/۱۱۵	۰/۱۱۴	۰/۱۱۶	۰/۱۱۵	۰/۱۲۳	۰/۱۰۹	۰/۱۰۷	۰/۱۱۰	۰/۱۰۸	۰/۱۱۹	طرح ۶
۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۱	۰/۱۵۰	۰/۱۵۰	طرح ۷
۰/۱۴۲	۰/۱۴۴	۰/۱۴۰	۰/۱۴۳	۰/۱۲۹	۰/۱۴۴	۰/۱۴۵	۰/۱۴۱	۰/۱۴۴	۰/۱۳۰	طرح ۸

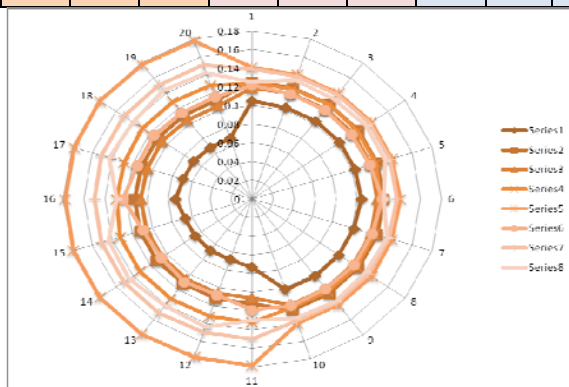
### بحث و بررسی نتایج

که نتیجه آن برای پل کابلی و روپوی و سازه تاشو در جدول زیر آمده است. بر اساس بیشترین ریسک‌ها به ۸ دسته تفکیک شد که عبارت‌اند از: سریع الاحداث بودن، پرتابل بودن، نفر نصب بودن، سهولت طراحی، سهولت اجرا، سهولت تعمیر و نگهداری، سهولت حمل و نقل، هزینه ساخت پس از مقایسه طرح‌ها با روش‌های نمره‌دهی و مرتب کردن و نرمالیزه کردن تمام روش‌ها در نهایت برای هر طرح ۲۰ نمره نرمالیزه شده ثبت گردید، که نمرات در جدول زیر ثبت گردید.

موارد عدم قطعیت بسیاری در پروژه‌ها ممکن است، پیش آید. برخی از آن‌ها پتانسیل تأثیرگذاری بر اهداف را دارند و در حقیقت این تعامل بین اهداف پروژه و عدم قطعیت‌ها است که ریسک را به وجود می‌آورد. همیشه ریسک باید مربوط به هدفی باشد و آن را تحت تأثیر قرار دهد. فعالیت‌های مدیریت پروژه از مراحل اولیه چرخه عمر پروژه با عدم قطعیت همراه است که شامل تصمیم در مورد آنچه باید انجام شود و چگونگی انجام آن می‌باشد. با شناسایی تمام ریسک‌های پروژه در فاز مطالعاتی و طراحی در مجموع ۳۱۳ ریسک تعیین گردید

جدول ۱۲. محاسبه کلی ریسک‌های سه طرح

سازه تاشو			روپوی			پل کابلی		
PI	I	P	PI	I	P	PI	I	P
۷/۲۶	۳/۰۹	۲/۳۵	۷/۵۳	۳/۲۴	۲/۳۲	۶/۶۰	۳/۰۰	۲/۲۰



تصویر ۵. نمره مقایسه طرح‌ها به ۲۰ حالت

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله شناسایی و تحلیل ریسک‌های طراحی سازه‌های کابلی سریع الاحداث با روش‌های نمره‌دهی و مرتب کردن بررسی شد، مهم‌ترین نتایج حاصل عنوان می‌گردد، پس از بررسی ۳ طرح سازه کابلی شامل پل کابلی، روپوی یا تله‌کابین و همچنین سازه تاشو یا پنتوگراف، ریسک‌ها در ۶ دسته ریسک‌های اجرایی کلی، سازه‌ای، مکانیکی، پی، الکترونیکی، متالورژی دسته‌بندی گردید و ۳۱۳ ریسک شناسایی شد. همه عدم قطعیت‌های ایجادشده در ابتدای طرح منجر به ریسک نخواهند شد و با تکوین طرح و مشخص شدن نقاط ضعف و قوت طرح‌ها و شرایط محیطی پروژه بسیاری از عدم قطعیت‌ها به قطعیت تبدیل خواهند شد، اما عواملی که باعث خواهند شد عدم قطعیت‌های مطرح‌شده به ریسک منتج شوند در واقع اهداف پروژه در غالب زمان، هزینه، کیفیت و محدوده پروژه خواهد بود. با توجه به اهداف پروژه تحقیق و توسعه‌ای احداث سازه سریع الاحداث کابلی برای شرایط بحرانی، طرح‌ها با هشت معیار سریع الاحداث بودن، پرتابل بودن، نفر نصب بودن، سهولت طراحی، سهولت اجرا، سهولت تعمیر و نگهداری، سهولت حمل‌ونقل، هزینه ساخت با دو روش نمره‌دهی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- رنج PI برای تمام طرح‌ها در یک رنج است و بسیار نزدیک به هم است، با توجه به اینکه هر سه طرح این پژوهش در این مقاله شناسایی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- رنج PI برای تمام طرح‌ها در یک رنج است و بسیار نزدیک به هم است، با توجه به اینکه هر سه طرح این پژوهش در این مقاله شناسایی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- رنج PI برای تمام طرح‌ها در یک رنج است و بسیار نزدیک به هم است، با توجه به اینکه هر سه طرح این پژوهش در این مقاله شناسایی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- رنج PI برای تمام طرح‌ها در یک رنج است و بسیار نزدیک به هم است، با توجه به اینکه هر سه طرح این پژوهش در این مقاله شناسایی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

## ۶- مراجع

- آهنگری، ک. و گلستانی، فر. م. و عباس‌زاده، م. (۱۳۹۰)، "ملاحظات تصمیم‌گیری در انتخاب روش‌های پایدارسازی شیروانی مخازن سدها"، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود.

- ارشدنژاد، ش. (۱۳۹۸)، "الگوریتم سلسله مراتبی SBMR برای انتخاب بهترین راه دسترسی به معادن"، جاده، ۲۷(۹۸)، ص. ۱۶۶-۱۵۷.

در این مقاله شناسایی و تحلیل ریسک‌های طراحی سازه‌های کابلی سریع الاحداث با روش‌های نمره‌دهی و مرتب کردن بررسی شد، مهم‌ترین نتایج حاصل عنوان می‌گردد، پس از بررسی ۳ طرح سازه کابلی شامل پل کابلی، روپوی یا تله‌کابین و همچنین سازه تاشو یا پنتوگراف، ریسک‌ها در ۶ دسته ریسک‌های اجرایی کلی، سازه‌ای، مکانیکی، پی، الکترونیکی، متالورژی دسته‌بندی گردید و ۳۱۳ ریسک شناسایی شد. همه عدم قطعیت‌های ایجادشده در ابتدای طرح منجر به ریسک نخواهند شد و با تکوین طرح و مشخص شدن نقاط ضعف و قوت طرح‌ها و شرایط محیطی پروژه بسیاری از عدم قطعیت‌ها به قطعیت تبدیل خواهند شد، اما عواملی که باعث خواهند شد عدم قطعیت‌های مطرح‌شده به ریسک منتج شوند در واقع اهداف پروژه در غالب زمان، هزینه، کیفیت و محدوده پروژه خواهد بود. با توجه به اهداف پروژه تحقیق و توسعه‌ای احداث سازه سریع الاحداث کابلی برای شرایط بحرانی، طرح‌ها با هشت معیار سریع الاحداث بودن، پرتابل بودن، نفر نصب بودن، سهولت طراحی، سهولت اجرا، سهولت تعمیر و نگهداری، سهولت حمل‌ونقل، هزینه ساخت با دو روش نمره‌دهی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- رنج PI برای تمام طرح‌ها در یک رنج است و بسیار نزدیک به هم است، با توجه به اینکه هر سه طرح این پژوهش در این مقاله شناسایی و مرتب‌کردن مقایسه گردید. باید در نظر داشت مدیریت ریسک در طول پروژه انجام گیرد و ملاک انتخاب بهترین طرح نیست اما در پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در طرح گردد، در واقع راهکارهایی در طراحی برای کاهش ریسک لحاظ گردد که باعث بهبود و تکمیل طرح شود. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- نظری، ا. و فرصت کار، ا. و کیافر، ب.، (۱۳۸۷)، "مدیریت ریسک در پروژه‌ها، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهوری".
- یاوری، ن.، (۱۴۰۰)، "مدیریت ریسک و تحلیل خطر بزرگراه شهید خرازی (همت تا کرج) با تاکید بر ژئومورفولوژی"، جاده.
- A. Dziadosz, M. Rejment, (2015), "Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods", *Procedia Engineering*, 122, pp. 258-265.
- Attada Vivek, C.H. Hanumantha Rao, (2022), "Identification and analysing of risk factors affecting cost of construction projects", *materials today proceedings*, January.
- L. M. Khodeir, M. Nabawy, (2019), "Identifying key risks in infrastructure projects – Case study of Cairo Festival City project in Egypt", *Ain Shams Engineering Journal*.
- M. S. B. Abd El-Karim, O. A. M. El Nawawy, A. M. Abdel-Alim, (2017), "Identification and assessment of risk factors affecting construction projects", *HBRC Journal*, 13(2), pp.202-216.
- M. Wang, H. Chou, (2003), "Risk allocation and risk handling of highway projects in Taiwan", *J Manage Eng ASCE*. 19, pp. 60-68.
- P. Szymański, (2017), "Risk management in construction projects", *Procedia Engineering*, 208, pp. 174-182.
- Senthil J, M Muthukannan, (2021), "Predication of construction risk management in modified historical simulation statistical methods", *Ecological Informatics*, Vol. 66, December.
- T. Wang, S. Wang, L. Zhang, Z. Huang, Y. Li, (2016), "A major infrastructure risk-assessment framework: Application to a cross-sea route project in China", *International Journal of Project Management*, 34(7), pp.1403-1415.
- Ying Lu, Peizhen Gong, Yuchun Tang, Shuqi Sun, Qiming Li., (2021), "BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects", *Automation in Construction*, Vol. 124, April.
- Zhen Tian, Qianqian Chen, Taihui Zhang, (2022), "A method for assessing the crossed risk of construction safety", *Safety Science*, Vol. 146, February.
- خاکی، غ.ر.، (۱۳۷۸)، "روش تحقیق با رویکردی به پایان نامه نویسی، تهران: مرکز تحقیقات علمی کشور با همکاری کانون فرهنگی انتشارات درایت".
- خاکی، غ.ر.، (۱۳۷۹)، "روش تحقیق در مدیریت، تهران: دانشگاه آزاداسلامی، مرکز انتشارات علمی بازتاب.
- خواججه‌زاده، ح. و امامی‌نمینی، زه و حجت پناه، ش.، (۱۳۹۹)، "شناسایی و تحلیل ریسک پروژه استارت آپی تأسیس کارخانه تولید کاغذ از گلبرگ زعفران"، اولین همایش ملی تحقیقات میان رشته‌ای در علوم مهندسی و مدیریت، تهران.
- سرهادی، م. و زمانی، ا.، (۱۳۹۶)، "مدیریت پروژه‌های تحقیق و توسعه"، انتشارات مرکز تحقیقات و توسعه سازمان اتکا.
- شهریاری، س. و معهود، م. و حجت‌پناه، ش. محسنی، م.، (۱۳۹۷)، "تجزیه و تحلیل ریسک‌های تاثیرگذار در انتخاب پیمانکار با استفاده از روش یکپارچه AHP\_DEA مطالعه موردی بزرگراه طبقاتی صدر شهر تهران"، پنجمین کنفرانس ملی دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.
- صادقپور، ا.ج.، تفرشی، ف.، (۱۴۰۰)، "ارزیابی انواع مکانیزم‌های تغییر شکل در ساختمان پل‌های متحرک"، جاده، ۲۹(۱۰۹)، ص.۳۴-۱۹.
- گهرپور، ع.ا. و آزموده، ح.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل ترکیبی مترو با سایر شیوه‌های حمل و نقل به روش AHP (مطالعه موردی: ایستگاه صادقیه متروی تهران)"، جاده، ۲۴(۸۶)، ص.۱۰-۱.
- نادرنیا، ح. و شیرمحمدی، ح.، (۱۳۹۷)، "ارایه مدل بهینه حمل و نقل مسافران شهری با رویکرد ریسک"، جاده، ۲۶(۹۷)، ص.۶۳-۵۵.
- نبی‌گل، ع. و حجت‌پناه، ش. و معهود، م. و ظهراپی علی آبادی، خ.، (۱۳۹۸)، "بررسی تاثیر مدیریت ریسک در احداث ساختمانهای اداری با رویکرد استاندارد) PMBOK مطالعه موردی: ساختمان جدید سرپرستی شعب بانک صنعت و معدن"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و مهندسی.
- نظری، ا. و جابری، م.، (۱۳۹۴)، "شناسایی ریسک پروژه‌ها با رویکرد طراحی ساختار شکست ریسک، مطالعه موردی: سازمان صنعتی پروژه محور، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید.

# Identification and Analysis of Design Risks of Fast Cable Construction Structures by Sorting and Scoring Method

*Mohammad Hossein Taghavi Parsa, Department of Civil Engineering, IHU, Tehran, Iran.*

*Shayan Hojatpanah, M.Sc., Grad., Mehr Alborz University (MAU), Tehran, Iran.*

*E-mail: drmhparsa@gmail.com*

Received: February 2023- Accepted: April 2023

## **ABSTRACT**

Risk management is one of the most important aspects of the project. Risk management includes various areas such as planning, identifying, evaluating and controlling risk. In construction projects, due to the fact that the process of project implementation is known before the start, first the project risks are identified so that in case of encountering them during implementation, principled and efficient measures are taken. In research and development projects; Risk management is used to improve project implementation process, cost management, increase project profitability and is effective as a scientific and effective tool to reduce risk and loss. One of the most common methods of risk identification is to use the Delphi method and consult experts and the project team. This study identifies the risks of the design phase of the research and development project of rapid cable structure design, for this purpose 313 risks identified in eight groups of general executive risks: structural, mechanical, geotechnical and foundation, electronic and metallurgical Were categorized, then three proposed designs were developed according to the evaluation of the severity of the effect and the probability of risks, and eight designs were obtained. According to the results obtained from the risks, these eight designs with eight criteria of fast construction, portability, installation, ease of design, ease of execution, ease of maintenance, ease of transportation, construction cost by scoring methods and Sorting was compared. These two methods are among the oldest methods of multi-criteria selection. In the scoring method, the score is at the disposal of experts, but in the method of sorting designs, they are placed in order. Finally, the selected designs were determined according to the effective parameter of span length.

**Keywords:** Risk Management and Identification, PI Matrix, Scoring Method, Sorting Method, Fast Construction Cable Structure