مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۵)
دوره‌ی ۱-۳۲، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۳۵-۴۶

Original Article

شناسایی، تحلیل کیفی و خوشه‌بندی ریسک‌های پروژه‌های خطوط هوایی برق براساس استاندارد PMBOK

زهره معظم جزی* **(کارشناس ارشد)**
مریم حامدی (استادیار)
غلامرضا اسماعیلیان (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور

پروژه‌های خطوط هوایی برق شرکت‌های برق منطقه‌یی از جمله پروژه‌های با حجم سرمایه‌گذاری بالا و دارای عواقب سنگین ناشی از شکست هستند. ممانعت از تأخیرات زیاد در اجرا و به‌تبع آن افزایش هزینه‌ها مستلزم اعمال مدیریت ریسک به‌نحو مطلوب است. از آنجا که در هیچ‌یک از شرکت‌های برق منطقه‌یی فعالیت پژوهشی خاصی در زمینه‌ی مدیریت ریسک این پروژه‌ها انجام نشده است، انجام این تحقیق توانسته روند جدیدی در این زمینه ایجاد کند. در ابتدا ریسک‌های پروژه‌های خطوط هوایی برق شناسایی، سپس تحلیل کیفی انعطاف‌پذیری با متدولوژی تدوین شده براساس استاندارد PMBOK انجام و اهمیت ریسک‌ها در حوزه‌های زمان، هزینه، کیفیت و حوزه‌های ترکیبی آنها تعیین شده است. در انتها ریسک‌های مهم شناخته شده با استفاده از امتیاز کسب شده در حوزه‌ی «زمان ـ هزینه ـ کیفیت» رتبه‌بندی و با داده‌کاوی برمبنای روش کلاسیک K-Means خوشه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که طبقه‌ی اجرا و مدیریتی پیمانکار بیشترین تعداد ریسک را دارد.

واژگان کلیدی: ریسک، مدیریت ریسک پروژه، راهنمای گستره‌ی دانش مدیریت پروژه (PMBOK)، تحلیل کیفی، خطوط هوایی برق.

moazamzohre@gmail.com
maryam.hamedi@es.isfpnu.ac.ir
gre@es.isfpnu.ac.ir

۱. مقدمه

ریسک یک اتفاق یا شرایط عدم یقین است که اگر اتفاق بیفتد تأثیر مثبت یا منفی بر اهداف پروژه دارد. ریسک پروژه شامل تهدیدهایی برای اهداف پروژه و هم فرصت‌هایی برای ارتقای این اهداف است.[۱] ریسک‌ها در هر کسب و کاری دخیل‌اند و نیز بسیاری از مسائل مدیریت پروژه محصول عدم قطعیت‌های مرتبط با ریسک‌هایند.[۲] اخیراً ریسک‌ها در پروژه‌ها از نظر تعداد و تأثیر بیشتر شده‌اند و سهام‌داران شرکت‌ها نیازمند مدیریت ریسک توسعه‌یافته برای محافظت از خود در برابر پیامدهای مالی یا حقوقی‌اند.[۳] مدیریت ریسک روشی نظام‌مند برای مدیریت نبود قطعیت‌ها ارائه می‌دهد، به‌نحوی که کاربرد آن شانس دست‌یابی به اهداف پروژه را افزایش می‌دهد.[۱] مطالعات متعدد درحوزه‌ی مدیریت ریسک.[۲-۵] دلالت بر این دارد که «مدیریت ریسک» فرایندی سیستماتیک در شناسایی، و تجزیه و تحلیل واکنش در برابر ریسک‌های پروژه، به‌منظور بیشینه‌سازی نتایج و وقایع مثبت، کاهش احتمال وقوع آثار یا پیامدهای ناگوار بر اهداف پروژه است. بدون شک مدیریت صحیح این ریسک‌ها پیش‌نیاز تسهیل شرایط بحران پروژه‌هاست، و ضرورت دست‌یابی به علوم وابسته و گسترش این علوم کاملاً آشکار است.[۶]

در صنعت برق به‌عنوان یکی از صنایع کلیدی انرژی، تأسیسات شبکه‌ی انتقال انرژی الکتریکی حلقه‌ی میانی زنجیره‌ی تولید، انتقال و توزیع برق است. به عبارت دیگر انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه‌ها از طریق پست‌های نیروگاهی تحویل خطوط انتقال و فوق توزیع می‌شود تا به مبادی شبکه‌های توزیع (مراکز مصرف) منتقل و از طریق شبکه‌های توزیع تحویل مصرف‌کنندگان نهایی شود. احداث و توسعه‌ی خطوط انتقال و فوق توزیع، و نیز پست‌های مربوطه به‌منظور پاسخ‌گویی به نیاز مصرف مشترکین برق، موجب افزایش پایداری و قابلیت اطمینان سیستم و اتصال و مبادله‌ی انرژی با کشورهای همسایه است.[۷] پروژه‌های خطوط هوایی برق (انتقال و فوق توزیع) تحت نظر شرکت‌های برق منطقه‌یی کل کشور با هدف برق‌رسانی به استان‌های مختلف به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز و رضایت‌مندی مشترکین دارای فازهای اصلی شامل فاز اقدامات اولیه، فاز طراحی و مهندسی، فاز تأمین تجهیزات، فاز اجرا و فاز اقدامات پایانی است، که در هر فاز ممکن است با ریسک‌های خاص و اثرگذاری مواجه شوند که بر اهداف

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۳/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۳/۱۲/۲، پذیرش ۱۳۹۳/۱۲/۲۰.

این پروژه‌ها تأثیرگذارند. این موضوع سبب شده تا در اغلب این پروژه‌ها شاهد وقایع و اتفاقاتی باشیم که هرکدام به‌نوبه‌ی خود در افزایش زمان، هزینه و کاهش کیفیت مؤثرند. تأخیرات زیاد در اجرای پروژه‌ها و افزایش هزینه‌های پروژه به‌تنهایی می‌تواند باعث تفکر بیشتر درخصوص این‌گونه مسائل شود. شاید اگر مدیریت ریسک به‌نحو مطلوبی در پروژه‌های خطوط اعمال شود، میزان موفقیت پروژه، حداقل از نقطه‌نظر زمان و هزینه بیشتر می‌شود. دلیل این امر اشراف بیشتر بر ریسک‌های پیش‌روی پروژه‌ها و اتخاذ تصمیم مناسب برای آنهاست. اما وجود آن عده از مدیران پروژه که هرکدام صرفاً براساس سلیقه و دانش خود رفتار می‌کنند، نمی‌تواند خروجی مناسبی در جهت مدیریت ریسک و حتی مدیریت پروژه ارائه دهد. ایجاد یک‌پارچگی مناسب در نحوه‌ی مدیریت ریسک این نوع پروژه‌ها که می‌تواند از طریق ایجاد ساختاری مناسب در دستگاه کارفرمایی محقق شود، تاحدودی مدیران پروژه‌ی این شرکت‌ها را در مدیریت ریسک راهنمایی و هدایت می‌کند.

با در نظرگرفتن مطالب یادشده، همچنین اهمیت استراتژیک این نوع پروژه‌ها برای کل کشور، نیاز به برنامه‌ریزی گسترده در اجرای آنها، تأخیرهای زمانی بسیار در اجرا، میزان بودجه‌ی تخصیص‌یافته به آنها نسبت به پروژه‌های دیگر، مشکلات کیفیتی و نیاز به تعداد زیاد نیروی انسانی متخصص در اجرا، ایجاد سیستمی علمی و استاندارد در جهت مدیریت ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق در راستای رسیدن آنها به اهداف‌شان ــ تکمیل پروژه‌ها در زمان مناسب و با هزینه‌ی مورد انتظار، و نیز با کیفیت قابل قبول ــ امری ضروری است. علی‌رغم فعالیت‌های مختلف در زمینه‌ی مدیریت ریسک و ارائه‌ی پژوهش‌های مختلف تحقیقاتی در زمینه‌ی طراحی سیستم مدیریت ریسک، در هیچ‌یک از شرکت‌های برق منطقه‌یی فعالیت پژوهشی خاصی در حوزه‌ی مدیریت ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق انجام نشده است؛ لذا در این تحقیق سعی بر آن است که در ابتدا ریسک‌های تأثیرگذار بر عوامل مهم پروژه‌های خطوط هوایی برق، مانند زمان، هزینه و کیفیت، بررسی و برای اولین بار شناسایی شود و سپس به تحلیل، رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌های خاص و اولویت‌دار پرداخته شود.

۲. متدولوژی تحقیق

تحقیق حاضر در سه مرحله انجام شده است: ۱. شناسایی ریسک‌های پروژه‌های خطوط هوایی برق؛ ۲. تحلیل کیفی ریسک‌های پروژه‌های خطوط هوایی برق؛ ۳. رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌های مهم.

در این تحقیق، برای برنامه‌ی مدیریت ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق از فرایند مدیریت ریسک در استاندارد «مدیریت دانش فردی پروژه (PMBOK)[1]» استفاده شده است. دلایل این انتخاب، توجه یک‌پارچه به سایر فرایندهای مدیریت پروژه، تنوع در تکنیک‌ها و ابزارهای معرفی‌شده، و نیز ثبت در ردیف اسناد و مدارک سازمان جهانی استانداردسازی است؛ ویژگی‌هایی که دیگر مدل‌ها فاقد آنها هستند.

برای انجام مرحله‌ی اول تحقیق از روش کتابخانه‌یی (شامل کتب، پایان‌نامه‌ها، مجلات، مقالات و اینترنت) به‌منظور کسب آگاهی‌های اولیه‌ی مرتبط با موضوع مدیریت ریسک و پروژه‌های خطوط هوایی برق و از روش مصاحبه‌ی نیمه‌ساختاریافته با کارشناسان خبره، که یکی از منابع اصلی جمع‌آوری اطلاعات برای شناسایی ریسک است، استفاده شده است. به‌منظور شناسایی شفاف ریسک‌های این پروژه‌ها و این که مصاحبه‌ها با چارچوبی همراه باشند از ساختار شکست کار پروژه‌ها (WBS)[2] که با در نظرگرفتن نظرات خبرگان تدوین شده بود، نیز استفاده شده است. سپس فهرست ریسک‌های شناسایی شده براساس قلمرو تحقیق، درجه‌ی اهمیت و موضوعیت مورد بازنگری قرارگرفته و در صورت تشابه محتوا، سعی در تلفیق ریسک‌ها با یکدیگر شد.

در مرحله‌ی دوم (تحلیل کیفی)، فهرست ریسک‌های شناسایی شده جمع‌بندی و پرسش‌نامه‌ی مورد نظر به‌منظور شناسایی احتمال وقوع ریسک‌ها و شدت تأثیر آنها بر حوزه‌های زمان، هزینه و کیفیت طراحی شده است. به‌منظور اعتبارسنجی این پرسش‌نامه و نهایی‌سازی فهرست ریسک‌ها با کارشناسان از ارکان مختلف پروژه (کارفرما، مشاور، ناظر و پیمانکار) که اطلاعات جامع‌تری داشتند، مجدداً مصاحبه‌ی نیمه‌ساختاریافته انجام شده است. براساس اطلاعات استخراجی از توزیع پرسش‌نامه‌ها بین کل جامعه‌ی مورد مطالعه، تحلیل کیفی ریسک براساس متدولوژی تدوین شده صورت گرفته و ریسک‌های مهم از ریسک‌های دیگر تفکیک شده است.

در مرحله‌ی سوم تحقیق، ریسک‌های مهم تفکیک شده براساس امتیاز کسب شده در حوزه‌ی «هزینه ـ زمان ـ کیفیت» رتبه‌بندی و با استفاده از روش کلاسیک K-Means خوشه‌بندی شده است.

۳. مروری بر ادبیات تحقیق

۱.۳. ریسک و مدیریت ریسک پروژه

امروزه شناخته‌شده‌ترین مرجع جهانی مدیریت پروژه، مؤسسه‌ی مدیریت پروژه (PMI)[3] است. کتاب پیکره‌ی دانش مدیریت پروژه (PMBOK) تهیه‌شده توسط آن مؤسسه را می‌توان به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین کتاب‌های مرجع مدیریت پروژه در سطح جهان، و نیز مبنای مشترکی برای فرایندهای مدیریت پروژه دانست. از سوی دیگر جامعیت و تفصیل مطالب عنوان شده در این مرجع باعث غنای محتوایی آن شده و نوع و قالب فرایندهای به کار رفته، فهم آن را روان و کاربرد آن را آسان کرده است. یکپارچگی و دید ترکیبی همراه با سایر فرایندهای مدیریت پروژه در این راهنما، از آن ابزاری قوی در تمام فرایندهای مدیریت پروژه ساخته است.[8] ویرایش پنجم PMBOK ریسک پروژه را یک اتفاق یا شرایط عدم یقین می‌داند که اگر اتفاق بیفتد تأثیر مثبت یا منفی بر اهداف پروژه دارد. ریسک پروژه شامل تهدیدهایی برای اهداف پروژه و هم فرصت‌هایی برای ارتقای این اهداف است.[9]

مدیریت ریسک به‌عنوان یکی از فازهای مهم و اساسی فرایند مدیریت پروژه مطرح است. همه‌ی پروژه‌ها در معرض ریسک احتمالی‌اند. مدیریت ریسک پروژه عهده‌دار تشخیص و ارائه‌ی پاسخ مناسب به ریسک‌هایی است که بر پروژه تأثیرگذارند.[9و10] هر ریسک باید تشخیص داده شده و براساس احتمال وقوع و آثار بالقوه‌یی که بر پروژه دارد ارزیابی شود. ریسک‌ها به‌همراه راه‌های کاهش آنها، و منابعی که به این راه‌ها تخصیص می‌یابند و زمان خاص تصمیم‌گیری درباره‌ی آن، در دفتر ریسک مستند می‌شود.[11]

۲.۳. فرایند مدیریت ریسک پروژه

«مدیریت ریسک» فرایندی سیستماتیک در شناسایی، تجزیه و تحلیل، و واکنش در برابر ریسک‌های پروژه، به‌منظور بیشینه‌سازی نتایج و وقایع مثبت و کاهش احتمال

وقوع یا اثرات وقوع پیامدهای ناگوار بر اهداف پروژه است. هرچه عدم قطعیت‌های یک پروژه دقیق‌تر مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد، مدیریت آن آسان‌تر، کاراتر و البته عملی‌تر خواهد بود.[۱۲]

براساس مندرجات PMBOK مدیریت ریسک پروژه یکی از ده زمینه‌ی اصلی مدیریت پروژه تلقی می‌شود که به‌منظور هدایت سیستماتیک برای برنامه‌ریزی، شناسایی، تحلیل، پاسخ‌گویی، نظارت و کنترل ریسک‌ها به‌کار گرفته شده است.[۱۳]

۳.۳. روش‌های شناسایی ریسک

تکنیک‌های مختلفی برای شناسایی ریسک‌های پروژه وجود دارد. تنها یک راه حل به‌عنوان «بهترین روش» برای شناسایی وجود ندارد، بلکه ترکیبی مناسب از تکنیک‌های مختلف باید مورد استفاده قرارگیرد.[۱۴و۱۵] با بررسی‌های به‌عمل آمده در متون تحقیق، تکنیک‌ها و ابزارهای شناسایی ریسک عبارت‌اند از: چرخه‌های یادگیری[۴]، مرور و بازدیدهای مستندات[۵]، طوفان مغزی[۶]، تحلیل سیاهه[۷]، روش دلفی[۸]، مصاحبه[۹]، استفاده از پروژه‌های گذشته[۱۰]، ساختار شکست ریسک (RBS)[۱۱]، پرسش‌نامه‌ی مبتنی بر طبقه‌بندی[۱۲] (تاکسونومی).[۹]

با توجه به مرور متون تحقیقی و مطالعات انجام شده، ساختار شکست ریسک تعریفی شبیه ساختار شکست کار دارد. در حقیقت ساختار شکست ریسک یک طبقه‌بندی منبع‌گرا از ریسک‌های پروژه است و تمامی ریسک‌هایی را که پروژه با آن مواجه است تعیین و سازمان‌دهی می‌کند. با پایین رفتن در ساختار شکست، جزئیات مربوط به منابع تولید ریسک پروژه بیشتر می‌شود. در این روش ریسک‌های شناخته شده از سایر روش‌ها در ساختار شکست ریسک براساس منبع ایجاد آنها طبقه‌بندی می‌شود. این عمل منابع مهم وقوع ریسک در پروژه را آشکار می‌کند و نشان‌گر رابطه‌ی بین ریسک‌های پروژه است. روش شناسایی ریسک از طریق ساختار شکست ریسک، نه‌تنها ریسک‌های به دست آمده از سایر روش‌ها را نشان می‌دهد بلکه ساختار سلسله‌مراتبی از ریسک‌های بالقوه است که می‌تواند کمک ارزش‌مندی به تعیین ریسک‌های پیش‌روی پروژه‌ها باشد.[۱۴] در حقیقت از این ساختار می‌توان به‌عنوان چارچوبی برای تعیین فرایندهای مدیریت ریسک بهره جست. بیشترین موارد کاربرد و مزایای ساختار شکست ریسک عبارت است از: کمک به تعیین و شناسایی ریسک‌ها، ارزیابی ریسک، گزارش ریسک و دروس آموخته برای سایر پروژه‌ها.[۱۶]

۴.۳. تحلیل ریسک

بعد از شناسایی رویدادهای ریسک، مشخصه‌ها و ویژگی‌های ریسک‌ها باید مورد ارزیابی قرارگیرد، به‌نحوی که تعیین شود، آیا هر رویداد ریسک نیاز به تحلیل بیشتر دارد یا خیر؟ هر ریسک را می‌توان با استفاده از دو پارامتر «احتمال ریسک» و «تأثیر ریسک» اندازه‌گیری کرد. احتمال ریسک، شانس وقوع رویداد ریسک و تأثیر یا پیامد ریسک، نشان‌گر شدت اثر و نتیجه‌یی است که در اثر رخداد ریسک ایجاد می‌شود. برای اندازه‌گیری ریسک، لازم است هر دو پارامتر تعیین شود. «تجزیه و تحلیل کیفی ریسک» نیز فرایندی است که اثر و احتمال وقوع ریسک‌های شناسایی‌شده را ارزیابی می‌کند. در این فرایند ریسک‌ها براساس میزان اثرگذاری بر اهداف پروژه اولویت‌بندی می‌شوند.[۱۷]

در تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل ریسک‌ها براساس روش تحلیل کیفی موجود در استاندارد PMBOK صورت گرفته است.

۵.۳. رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک

مدیریت ریسک مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های مختلف است. خوشه‌بندی و رتبه‌بندی ریسک‌ها قسمت کلیدی این فرایند به شمار می‌روند. با انجام خوشه‌بندی نمونه‌های مشابه در یک حجم از ریسک مشخص شده و با رتبه‌بندی، برتری هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص می‌شود و درنتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی‌کند.[۱۸] در تحقیق حاضر ریسک‌های مهم به دست آمده از مرحله‌ی تحلیل ریسک براساس امتیازکسب شده‌ی ریسک در حوزه‌ی «زمان ـ هزینه ـ کیفیت»، رتبه‌بندی و با استفاده از روش کلاسیک K-Means خوشه‌بندی شدند.

۶.۳. خوشه‌بندی K-Means

ورودی مدل خوشه‌بندی ماتریسی از داده‌هاست که این داده‌ها می‌توانند کمّی (عددی)، کیفی یا ترکیبی از این دو باشند. داده‌های کمّی یا عددی معمولاً از مشاهدات فرایندهای فیزیکی به دست می‌آیند. هر مشاهده شامل n متغیر اندازه‌گیری شده است که در یک بردار n بعدی ـ X_k:

$$X_k = [X_{k1}, X_{k2}, ..., X_{kn}]^T, \qquad X_k \in R^n$$

قرار می‌گیرد. مجموعه‌یی از N مشاهده به‌صورت:

$$X = \{X_k | k = 1, 2, ..., N\}$$

نوشته می‌شود که بیان‌گر یک ماتریس $N \times n$ است:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & \dots & a_{Nn} \end{pmatrix} \qquad (1)$$

در تعاریف علم تشخیص الگو، به ردیف‌های ماتریس X الگوی اشیا و به ستون‌های این ماتریس ویژگی‌ها یا مشخصات گفته می‌شود. ماتریس X را ماتریس الگو یا به‌صورت ساده‌تر ماتریس داده نام‌گذاری کرده‌اند. خروجی مدل «خوشه‌بندی» تعدادی خوشه است؛ خوشه به گروهی از اشیاء اطلاق می‌شود که در مقایسه با مابقی اشیاء در گروه‌های دیگر، مشابهت بیشتری با یکدیگر دارند. داده‌ها می‌توانند خوشه‌هایی با اشکال هندسی، اندازه‌ها و چگالی‌های متفاوت ایجاد کنند.[۱۹] منظور از واژه‌ی مشابهت، میزان تشابه از لحاظ ریاضی است.

در واقع تشابه بین دو شیء میزان فاصله‌ی بین این دو شیء است. در بیشتر موارد مقدار فاصله‌ی اقلیدسی بین دو شیء به‌عنوان معیار مشابهت استفاده می‌شود.[۲۰]

تابع هدف روش K-Means برای خوشه‌بندی مجموعه‌ی اشیاء X به تعداد C خوشه، به‌صورت رابطه‌ی ۲ بیان می‌شود که در فرایند خوشه‌بندی این تابع هدف کمینه می‌شود:

$$J(X;V) = \sum_{i=1}^{C} \sum_{k \in i} ||X_k^{(i)} - V_i||^2 \qquad (2)$$

$X_k^{(i)}$ فاصله‌ی شیء kام از خوشه‌ی i از مبدأ مختصات است، و V_i فاصله‌ی مرکز خوشه‌ی i از مبدأ مختصات به شمار می‌رود. مرکز خوشه‌ها از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید.

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^{N_i} x_k}{N_i} x_k \in A_i \qquad (۳)$$

که در آن N_i تعداد اعضای مجموعه‌ی A_i، و A_i مجموعه‌ی اعضای خوشه‌ی iام است.

روند تغییرات مقادیر شاخص صحت‌سنجی خوشه‌بندی در برابر افزایش تعداد خوشه‌ها نشان می‌دهد که مقادیر تابع هدف ممکن است به مقدار کمینه‌ی سراسری خود همگرا شود یا خیر. چنانچه تغییر محسوسی در مقادیر شاخص صحت‌سنجی از یک تعداد خوشه به بعد رخ ندهد، این اطمینان حاصل می‌شود که تابع هدف خوشه‌بندی به مقدار حداقل سراسری نزدیک شده، و نتایج خوشه‌بندی قابل اعتماد است.[۲۱]

در این تحقیق برای تعیین تعداد بهینه‌ی خوشه‌ها از شاخص صحت‌سنجی دیویس ـ بولدین (DB) معادل Cluster Distance Performance در نرم‌افزار RapidMiner استفاده شده است. با فرض تفکیک n داده به g خوشه، مقدار کلی شاخص DB برای هربار خوشه‌بندی از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید. مقدار این شاخص برای دو خوشه‌ی i و k از رابطه‌ی ۵ و ۶ به دست می‌آید.

$$I_{\mathrm{DB}} = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} R_j \qquad (۴)$$

$$R_j = \max R_{jk} \qquad k = 1, 2, ..., g; \quad k \neq j \qquad (۵)$$

$$R_{jk} = \frac{\sigma_j + \sigma_k}{||\mu_j - \mu_k||}, \qquad j, k = 1, 2, ..., g; \quad k \neq j \qquad (۶)$$

در این رابطه‌ی μ_j برابر میانگین فواصل تمامی اشیاء واقع در خوشه‌ی j و σ_j میزان پراکندگی درونی خوشه‌ی j است که از رابطه‌ی ۷ قابل محاسبه است. مقدار R_{jk} زمانی کمینه می‌شود که فاصله‌ی بین دو خوشه از یکدیگر زیاد و پراکندگی درونی خوشه‌ها کمینه باشد:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n_j x_i \in C_j} ||x_i - \mu_j||^2} \qquad (۷)$$

C_j مجموعه داده‌های متعلق به خوشه‌ی j و n_j تعداد این داده‌هاست.

شاخص DB (دیویس ـ بولدین) برابر با میانگین مقادیر R_j تعریف می‌شود که R_j برابر حداکثر فاصله‌ی R_{jk} حاصل از مقایسه‌ی خوشه j با سایر خوشه‌هاست.[۲۲]

برای تعیین محدوده‌ی اجرای مدل در روش خوشه‌بندی، توصیه شده است مدل خوشه‌بندی را به تعداد m مرتبه (m خوشه)، طوری که $2 \leq m \leq \sqrt{N}$ و N برابر تعداد داده‌ها یا همان ردیف‌های ماتریس داده‌ها باشد، اجرا کرده و در هر بار ماتریس مقادیر عضویت و معیارهای صحت‌سنجی محاسبه شود. تعداد بهینه‌ی خوشه‌ها در نقطه‌یی است که شاخص DB کمینه شود یا اختلاف شیب بین خط قبل و بعد از آن تفاوت معناداری داشته باشد.[۲۳]

۴. مراحل انجام تحقیق

۱.۴. جامعه‌ی آماری و روش نمونه‌گیری

جامعه‌ی آماری خبرگان این تحقیق را کلیه‌ی مدیران ارشد، مدیران طرح‌های پروژه‌های خطوط هوایی برق، کارشناسان رده‌های مختلف در عوامل مختلف پروژه اعم از کارفرما، مشاور، نظارت و مدیریت طرح تشکیل می‌دهند. این افراد در حال حاضر در پروژه‌های خطوط کشور فعال، به موضوع مدیریت ریسک آشنا، علاقه‌مند به کارهای تحقیقاتی، دارای تخصص مرتبط با حوزه‌های قلمرو تحقیق و میزان سابقه کاری آنها در حوزه‌ی تخصصی خود بیشتر از پانزده سال و دارای حداقل مدرک تحصیلی لیسانس در حوزه‌ی تخصصی خود و نقش چشمگیری در دست‌یابی به اهداف پروژه دارند. در جدول ۱ نقش‌های جامعه‌ی آماری خبرگان و فراوانی آنها نشان داده شده است.

با توجه به این که حجم جامعه محدود و معین است، و نیز از آنجا که تحقیق فعلی اولین تجربه در زمینه‌ی مدیریت ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق است و کسب اطلاعات دقیق‌تر و بیشتر در این زمینه، به‌ویژه مراحل ابتدایی فرایند مدیریت ریسک، به مراحل بعدی این فرایند و همچنین انجام تحقیقات بعدی مرتبط با آن کمک می‌کرد، برای نمونه‌گیری از سرشماری کامل و از نظرات تمامی خبرگان به‌منظور دریافت داده‌های تحقیق استفاده شد.

۲.۴. مطالعه‌ی موردی

در این تحقیق به مطالعه‌ی موردی در پروژه‌های خطوط هوایی انتقال و فوق توزیع برق در شرکت برق منطقه‌یی اصفهان پرداخته شده است. از عمده‌ترین دلایل این انتخاب می‌توان اشاره کرد به:[۲۴]

- اهمیت صنعتی استان اصفهان و وجود بخش بزرگی از تأسیسات زیربنایی در این استان؛
- وجود نیروگاه‌های بزرگ و هزاران کیلومتر خطوط انتقال برق با وجود مراکز بسیار بزرگ و کلان صنعتی در این استان به‌ویژه در سال‌های اخیر، و تبدیل این شهر به قطب اصلی انرژی هسته‌یی؛
- تحت پوشش قرارگرفتن ۱۱٫۷ درصد تولید و ۱۱ درصد مصرف برق کل کشور، ۱۰۰ درصد خانوارهای شهری و ۹۹٫۹۹ درصد خانوارهای روستایی در این استان.

۳.۴. شناسایی ریسک

برای شناسایی ریسک‌ها از مصاحبه‌ی نیمه‌ساختاریافته با کارشناسان از ارکان مختلف پروژه (کارفرما، مشاور، ناظر و پیمانکار) که اطلاعات جامع‌تری داشتند استفاده شد.

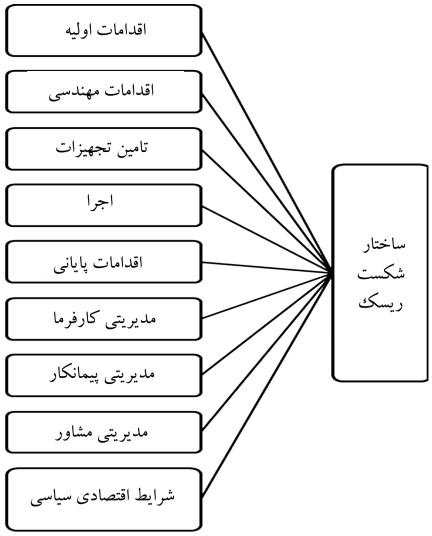
جدول ۱. نقش‌های جامعه‌ی آماری خبرگان.

نقش‌ها	فراوانی	درصد فراوانی
مجریان	۲	۸٫۳۳
کارشناسان مهندسی طرح‌ها	۳	۱۲٫۵
ناظران عالیه ساختمانی و الکتریکی	۴	۱۶٫۶۷
سرناظران ساختمانی و الکتریکی	۹	۳۷٫۵
ناظران مقیم ساختمانی و الکتریکی خبره	۶	۲۵
جمع	۲۴	۱۰۰

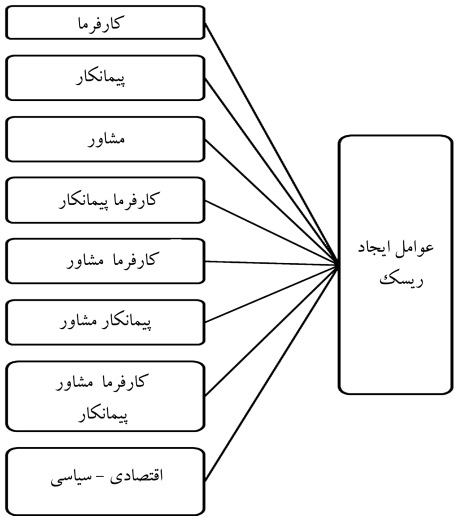
برای این که مصاحبه‌ها با چارچوبی توأم باشند و برای سهولت در شناسایی ریسک‌ها از ساختار شکست کار پروژه‌ها که با در نظرگرفتن نظرات خبرگان تدوین شده بود، استفاده شد. با توجه به تنوع و تعداد زیاد ریسک‌هایی که پروژه‌های خطوط هوایی برق را تحت تأثیر قرار می‌دهند، عملاً مدیریت ریسک بدون شناسایی و تهیه‌ی ساختار شکست ریسک امکان‌پذیر نیست. به‌همین دلیل این ساختار به‌عنوان ابزاری مؤثر و قوی برای شناسایی هدف‌دار و طبقه‌بندی شده‌ی ریسک با در نظرگرفتن نظرات خبرگان و ساختار شکست کار پروژه‌ها تدوین شد. ساختار تهیه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

پس از مصاحبه، فهرست ریسک‌های شناسایی شده براساس قلمرو تحقیق، درجه اهمیت و موضوعیت مورد بازنگری قرار گرفته و درصورت تشابه محتوا، ریسک‌ها با یکدیگر تلفیق شد. در فهرست ریسک‌های شناسایی شده ۳۸۵ ریسک ثبت شده است.

عوامل ایجاد ریسک‌های شناسایی شده در یکی از هشت عامل نشان داده شده در شکل ۲ قرار می‌گیرند.



شکل ۱. ساختار شکست ریسک.



شکل ۲. عوامل ایجاد ریسک.

۴.۴. تحلیل ریسک

پس از مرحله‌ی شناسایی ریسک، با توجه به تعدد ریسک‌های شناسایی شده و لزوم صرف وقت و هزینه‌ی بسیار برای بررسی تمام آنها، با تمرکز بر مهم‌ترین ریسک‌ها نسبت به تحلیل ریسک اقدام شد تا ریسک‌های شناسایی شده اولویت‌بندی شود. در این مرحله ابتدا پرسش‌نامه‌ی اول طراحی شد. به‌منظور اعتبارسنجی این پرسش‌نامه و نهایی‌سازی فهرست ریسک‌ها با کارشناسانِ رده‌های مختلف پروژه (کارفرما، مشاور، ناظر و پیمانکار) که اطلاعات جامع‌تری داشتند، مصاحبه‌ی نیمه‌ساختاریافته انجام گرفت و پس از اطمینان از روایی و پایایی پرسش‌نامه، توزیع پرسش‌نامه انجام شد. سپس براساس نتایج حاصل از پرسش‌نامه‌ها و متدولوژی تحلیل ریسک تدوین‌شده، ارزیابی ریسک‌ها انجام شد. نهایتاً از ۳۸۵ ریسک شناسایی شده در مرحله‌ی شناسایی، ۸۴ ریسک مهم تفکیک شد. در ادامه‌ی این نوشتار مراحل تحلیل شرح داده شده است.

۱.۴.۴. ارزیابی پرسش‌نامه‌یی

هر ریسک دو ویژگی اصلی دارد که برای ارزیابی می‌توان آنها را مورد بررسی قرار داد: ۱. تأثیرگذاری هر ریسک بر اهداف پروژه؛ ۲. بررسی عدم قطعیت و احتمالی بودن رویداد. بزرگی و اهمیت هر ریسک کاملاً وابسته به دو عامل یاد شده است و برای اندازه‌گیری آن باید این دو عامل را شناخت و مورد بررسی قرار داد.[۱۲]

پرسش‌نامه‌ی شماره ۱ که فرمت خام آن در جدول ۲ نشان داده شده است، برای شناسایی احتمال وقوع ریسک‌ها و شدت اثر آنها بر حوزه‌های زمان، هزینه و کیفیت تنظیم شد. برای احتمال وقوع، اثرات ریسک‌ها در سه حوزه‌ی زمان، هزینه و کیفیت براساس استاندارد PMBOK از مقیاس فاصله‌یی با پنج گزینه (بسیار کم=۱، کم=۲، متوسط=۳، زیاد=۴، بسیار زیاد=۵) استفاده شد (جدول ۳). بدین‌ترتیب پاسخ‌دهنده با پرکردن محل مورد نظر در پرسش‌نامه، به‌سهولت می‌تواند میزان احتمال وقوع و اثرات ریسک‌ها را بر هر یک از اهداف پروژه تعیین کند.

«پایایی» ابزار دقیقی است برای اندازه‌گیری اعتمادپذیری، ثبات یا تکرارپذیری نتایج آزمون.[۱۸] منظور از پایایی آن است که اگر مقوله‌ی مورد سنجش با همان ابزار و با شرایط مشابه، بار دیگر اندازه‌گیری شود نتایج به دست آمده تا حدی مشابه، دقیق و قابل اعتماد باشد.[۲۵] پایایی پرسش‌نامه‌ی مورد نظر با کمک روش آلفای کرونباخ[۱۳] توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه شد و مقدار ۰/۸۵۲ به دست آمد، که به‌علت بالاتر بودن از ۰/۸ می‌توان پایایی آن را نیز قابل قبول تلقی کرد.

۲.۴.۴. تحلیل کیفی

برای اولویت‌بندی ریسک‌ها در این تحقیق از تحلیل کیفی استفاده شده است. علی‌رغم این که برای ثبت و انجام تحلیل ریسک‌ها معمولاً از نرم‌افزار تحلیل ریسک پریماورا استفاده می‌شود. با توجه به محدودیت‌های این نرم‌افزار در تعیین حالت‌های مختلف شناسایی ریسک‌های مهم در حوزه‌های مختلف هزینه، زمان و کیفیت، و نیز ترکیب این حوزه‌ها که برای مشخص‌کردن امتیاز و اهمیت ریسک در هر حوزه نیاز به ایجاد بانک اطلاعاتی مجزایی دارد، در این تحقیق به‌دلیل ایجاد این انعطاف‌پذیری، تحلیل کیفی در نرم‌افزار اکسل صورت پذیرفته است. به این ترتیب انعطاف‌پذیری بالایی ایجاد شده و شدت اثر ریسک‌ها یا امتیاز هر ریسک در حوزه‌های زمان، هزینه، کیفیت، زمان هزینه، زمان کیفیت، هزینه‌ی کیفیت، زمان ـ هزینه ـ کیفیت، یا هریک از ۷ حالت قبلی مشخص شده است.

پس از اخذ نظرات خبرگان، از نظر آنها در احتمال وقوع و اثرات ریسک با استفاده از طیف لیکرت پرسش‌نامه‌یی با گزینه‌های خیلی‌کم=۱، کم=۲، متوسط=۳، زیاد=۴، خیلی زیاد=۵ میانگین‌گیری شده است. امتیازات و اهمیت ریسک‌ها در

جدول ۲. پرسش‌نامه‌ی ۱.

شرح ریسک	نوع ریسک		احتمال وقوع ریسک					تأثیر بر روی زمان					تأثیر بر روی هزینه					تأثیر بر روی کیفیت				
	فرصت	تهدید	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

جدول ۳. احتمال و تأثیر ریسک بر اهداف پروژه.

رتبه‌بندی		احتمال قوع	میزان تأثیر بر اهداف پروژه		
			زمان	هزینه	کیفیت
بسیارکم	۱	کمتر از ده درصد	کمتر از پنج درصد	کمتر از پنج درصد	کاهش نامحسوس کیفیت
کم	۲	ده درصد تا بیست و پنج درصد	پنج درصد تا بیست درصد	پنج درصد تا بیست و پنج درصد	کاهش کیفیت کم
متوسط	۳	بیست و پنج درصد تا چهل درصد	بیست درصد تا سی و پنج درصد	بیست و پنج درصد تا چهل درصد	کاهش کیفیت نیاز به تأیید کارفرما دارد
زیاد	۴	چهل درصد تا پنجاه و پنج درصد	سی و پنج درصد تا پنجاه درصد	چهل درصد تا پنجاه و پنج درصد	سطح کیفیت غیرقابل قبول کارفرما
بسیار زیاد	۵	پنجاه و پنج درصد به بالا	۵۰ درصد به بالا	پنجاه و پنج درصد به بالا	سطح کیفیت غیرقابل استفاده

جدول ۴. ماتریس امتیازدهی PMBOK.[۱]

احتمال وقوع	شدت اثر				
	بسیارکم (VL)	کم (L)	متوسط (M)	زیاد (H)	بسیار زیاد (VH)
بسیار زیاد (VH)	۶**	۱۲**	۱۸**	۳۶*	۷۲*
زیاد (H)	۴***	۷**	۱۴**	۲۸*	۵۶*
متوسط (M)	۳***	۵***	۱۰**	۲۰**	۴۰*
کم (L)	۲***	۳***	۶**	۱۲**	۲۴*
بسیارکم (VL)	۱***	۱***	۲***	۴***	۸**

حوزه‌های زمان، هزینه، کیفیت و حوزه‌های ترکیبی زمان ـ هزینه، زمان ـ کیفیت، هزینه ـ کیفیت و زمان ـ هزینه ـ کیفیت براساس ماتریس امتیازدهی در جدول ۴ نشان داده شده است. امتیازات این ماتریس براساس مقادیر امتیازدهی ریسک PMBOK تعریف شده است. سلول‌های ماتریس امتیازدهی ریسک به سه دسته تقسیم شدند و سلول‌های با امتیاز ریسک بیش از ۲۳ با علامت *، سلول‌های با امتیاز ریسک بین ۵ تا ۲۳ با علامت **، و سلول‌های با امتیاز ریسک کم‌تر از ۵ با علامت *** نشان داده شده است و بر این اساس با توجه به امتیاز اهمیت ریسک در یکی از حالت‌های مهم، متوسط و کم‌اهمیت، ریسک‌ها با سه علامت *، ** و *** مشخص شده‌اند.[۲۶]

نهایتاً ۸۴ ریسک مهم از بین ۳۸۵ ریسک تعیین شد که نتایج کیفی آن در جدول ۴، به‌همراه طبقه‌بندی براساس ساختار شکست ریسک نشان داده شده است.

چنان که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، ستون آخر این جدول تحت عنوان «اهمیت ریسک» از بین ۳۸۵ ریسک که به‌علت کمبود جا نشان داده نشده، علامت * است. چنان که گفته شد علامت * نشان‌گر اهمیت ریسک و تأثیر بیشتر آن بر اهداف پروژه است. معیار اهمیت ما در مهم بودن این ریسک‌ها در حالت سخت‌گیرانه بدین صورت بوده که اگر ریسکی حتی در یکی از حالت‌های هفت‌گانه‌ی مذکور با استفاده از ماتریس امتیازدهی PMBOK مهم شد، این ریسک در دسته‌ی ریسک‌های مهم تلقی شود. در ستون «امتیاز ریسک»، امتیازی که ریسک در حوزه‌ی «زمان ـ هزینه ـ کیفیت» و با استفاده از ماتریس امتیازدهی PMBOK کسب کرده نشان داده شده است.

۵.۴. رتبه‌بندی ریسک‌های مهم

برای رتبه‌بندی ریسک‌های مهم استخراجی از مرحله تحلیل کیفی، از امتیاز کسب شده ریسک در حوزه «زمان هزینه کیفیت»، استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است.

۶.۴. خوشه‌بندی ریسک‌های مهم

برای انجام خوشه‌بندی کلاسیک K-Means، از نرم‌افزار RapidMiner استفاده شده است. ورودی مدل خوشه‌بندی ماتریسی از داده‌هاست که در واقع همان اهمیت به دست آمده در حوزه‌های تعریف شده برای هر ریسک در جدول ۵ است. براساس توصیه‌ی ذکر شده در قسمت ۶.۳. مدل خوشه‌بندی به تعداد m مرتبه ($2 \leq m \leq \sqrt{N}$، که در آن N تعداد داده‌ها یا همان ردیف‌های ماتریس داده‌ها، و در اینجا برابر ۸۴ است) یعنی به تعداد ۲ تا ۹ خوشه انجام شده و برای هر بار اجرای این الگوریتم، مقدار شاخص صحت‌سنجی DB محاسبه شده است. در تعداد ۷ خوشه مقدار شاخص DB به حداقل مقدار خود یعنی ۰٫۸۵۲- دست یافته است. نتایج خوشه‌بندی در جدول ۷ نشان‌گر آن است که ریسک‌ها با خصوصیات تقریبا مشابه از لحاظ معیارهای زمان، هزینه، کیفیت، و معیارهای ترکیبی زمان ـ هزینه، زمان ـ کیفیت، هزینه ـ کیفیت و زمان ـ هزینه ـ کیفیت در یک خوشه قرار دارند.

۵. نتیجه‌گیری

مدیریت ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق در راستای تحقق اهداف‌شان که همانا تکمیل پروژه‌ها در زمان مناسب، با هزینه‌ی مورد انتظار و با کیفیت قابل قبول است، امری ضروری است. همچنین علی‌رغم فعالیت‌های مختلف در زمینه‌ی مدیریت ریسک و ارائه‌ی پژوهش‌های مختلف در زمینه‌ی طراحی سیستم مدیریت ریسک،

جدول ۵. ریسک‌های مهم پروژه‌های خطوط هوایی برق.

کد ریسک	شرح ریسک	احتمال وقوع	اهمیت ریسک						امتیاز ریسک	اهمیت زمان هزینه کیفیت	اهمیت ریسک
			زمانی	هزینه	کیفیت	زمان هزینه	زمان کیفیت	هزینه کیفیت			
	اقدامات اولیه										
$R54$	وجود مشکلات مالی در پروژه	H	*	*	*	*	*	*	۵۶	*	*
	اقدامات مهندسی										
$R31$	عدم انتخاب نوع سیم‌هادی با توجه به معیارهای فنی	L	*	*	**	*	*	*	۲۴	*	*
$R32$	عدم انتخاب نوع سیم‌هادی با توجه به محدودیت‌های کارفرما	L	*	*	**	*	*	*	۲۴	*	*
$R33$	عدم انتخاب نوع سیم محافظ با توجه به معیارهای فنی	L	*	*	**	*	*	*	۲۴	*	*
$R34$	عدم انتخاب نوع سیم محافظ با توجه به محدودیت‌های کارفرما	L	*	*	**	*	*	*	۲۴	*	*
$R35$	عدم انتخاب نوع مقره با توجه به معیارهای فنی	L	*	*	**	*	*	*	۲۴	*	*
$R36$	عدم انتخاب نوع مقره با توجه به محدودیت‌های کارفرما	L	*	*	**	*	**	**	۱۲	**	*
$R37$	عدم انتخاب نوع برج با توجه به معیارهای فنی	L	**	*	**	**	**	*	۱۲	**	*
$R38$	عدم انتخاب نوع برج با توجه به محدودیت‌های کارفرما	L	**	*	**	**	**	*	۱۲	**	*
$R39$	عدم محاسبه نیروهای روی فونداسیون	L	*	*	*	*	*	*	۲۴	*	*
	تأمین تجهیزات										
$R40$	عدم انجام آزمون‌های نمونه‌یی تجهیزات براساس استانداردهای مربوطه	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R77$	عدم تطابق مواد اولیه با مشخصات فنی مواد مورد نیاز	M	**	***	*	**	**	**	۱۰	**	*
$R78$	عدم تطابق قطعات ساخته شده با مشخصات فنی قطعات	M	**	***	*	**	*	**	۲۰	**	*
$R79$	تأخیر در تحویل استاب برج‌ها	L	*	***	***	**	**	***	۳	***	*
$R80$	تأخیر در تحویل قطعات برج به‌صورت کامل	M	*	***	***	**	**	***	۵	***	*
$R81$	کیفیت نامناسب قطعات عایق مقره خصوصاً در مقره‌های سیلیکون‌دار	H	***	***	*	***	**	**	۷	**	*
$R82$	کیفیت نامناسب اتصال بین قطعه فلزی و عایق مقره	M	***	***	*	***	**	**	۱۰	**	*
	اجرا										
$R3$	عدم رعایت موارد ایمنی در نصب برج‌ها	VH	*	*	**	*	*	*	۳۶	*	*
$R4$	عدم رعایت موارد ایمنی در سیم‌کشی	VH	*	*	*	*	*	*	۷۲	*	*
$R5$	کشش نامناسب سیم‌های هادی و محافظ و عدم رعایت فلش سیم‌ها طبق جدول‌مشاور	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R6$	اجرا نکردن درست اتصالات فیبر نوری	H	*	*	*	*	*	*	۵۶	*	*
$R8$	رعایت نکردن جدول نصب دمپرها	M	**	**	*	**	*	*	۲۰	**	*
$R17$	خطای بیش از حد مجاز در تعیین محل برج‌ها	M	*	*	**	*	*	*	۴۰	*	*
$R18$	ترسینگ نامناسب چاله‌ها	M	*	*	**	*	*	*	۴۰	*	*
$R19$	آرماتوربندی نامناسب فونداسیون	M	*	**	*	*	*	*	۴۰	*	*
$R20$	عدم محافظت از بتن پس از اجرای آن	H	*	*	*	*	*	*	۵۶	*	*
$R21$	ایزولاسیون نادرست فونداسیون	M	**	*	**	*	**	*	۲۰	**	*
$R22$	استاب ستینگ نامناسب برج‌ها	M	*	*	**	*	*	*	۴۰	*	*
$R23$	عدم حفاظت از چاله‌های حفاری شده در مقابل سیلاب	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R29$	عدم بررسی موقعیت ترمینال تاور با توجه به گنتری	H	*	*	**	**	**	**	۱۴	**	*
$R47$	عدم رعایت موارد ایمنی در کارگاه توسط پرسنل	VH	**	*	**	*	**	*	۳۶	*	*
$R48$	عدم به‌کارگیری برنامه‌های HSE در کارگاه	VH	*	*	**	*	*	*	۳۶	*	*
$R51$	واگذاری کار به پیمانکار دسته ۱ یا ۲ توسط پیمانکار اصلی	VH	*	*	*	*	*	*	۳۶	*	*
$R52$	عدم تهیه جزئیات ایمنی در تجهیز کارگاه	H	*	**	***	**	**	**	۷	**	*
$R76$	طولانی شدن عملیات اجرایی و بالطبع افزایش مدت و هزینه‌های نظارت	H	*	**	***	*	**	**	۱۴	**	*
$R83$	عدم دقت کافی در آچارکشی برج	H	***	***	*	***	**	**	۷	**	*
$R84$	عدم استفاده از روش صحیح سیم‌کشی	H	***	**	*	**	**	*	۱۴	**	*

ادامه جدول ۵.

کد ریسک	شرح ریسک	احتمال وقوع	اهمیت ریسک						امتیاز ریسک	اهمیت زمان هزینه کیفیت	اهمیت ریسک
			زمانی	هزینه	کیفیت	زمان هزینه	زمان کیفیت	هزینه کیفیت			
	اقدامات پایانی										
$R1$	عدم رعایت ایمنی در خاموشی‌ها	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R2$	عدم توجه به تست‌های OPGW	H	**	**	*	**	*	*	۱۴	**	*
$R49$	عدم بازرسی کامل خط در دوران تضمین	H	*	**	**	**	*	**	۱۴	**	*
$R61$	اصرار کارفرما به برقراری پروژه درمناسبت‌های خاص	M	*	**	*	*	*	*	۴۰	*	*
	اقتصادی - سیاسی										
$R63$	تغییرات ناگهانی نرخ فلزات و ارز	VH	*	*	**	*	**	**	۱۸	**	*
	مدیریتی کارفرما										
$R10$	عدم تناسب بودجه تخصیص یافته به پروژه	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R11$	عدم رعایت برنامه زمانی مناسب برای مطالعات طراحی و خدمات مهندسی	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R12$	طراحی اقتصادی بجای طراحی فنی و اقتصادی	M	**	*	**	**	**	**	۲۰	**	*
$R25$	عدم تأمین اعتبار از سوی کارفرما	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R27$	طولانی شدن مراحل اداری، تشریفات مناقصه و عقد قرارداد	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R30$	عدم دریافت اطلاعات از کارفرما شامل (سطح ولتاژ، سطح اتصال کوتاه، حداکثر توان، نقاط ابتدا و انتهای خط)	L	*	**	**	*	**	**	۱۲	**	*
$R41$	عدم پرداخت به موقع پیش پرداخت خرید تجهیزات جهت تأمین مواد اولیه	M	*	*	**	*	**	**	۲۰	**	*
$R44$	عدم حضور به موقع کارشناسان حقوقی در رفع معارضین	H	*	*	**	*	**	**	۱۴	**	*
$R55$	عدم حمایت کافی کارفرما از مشاور (طبق قرارداد)	M	*	*	**	*	**	**	۲۰	**	*
$R58$	وجود تنش‌های روانی بین کارفرما، مشاور و پیمانکار	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R62$	عدم کارایی برنامه زمانبندی و عدم رعایت ترتیب اجرای عملیات	M	*	**	**	*	**	**	۲۰	**	*
$R69$	طولانی بودن زمان مبادله قرارداد	H	*	**	**	*	**	**	۱۴	**	*
$R73$	طولانی شدن کار در روش فراخوان برای تهیه لیست کوتاه	VH	*	**	**	**	**	**	۱۲	**	*
$R74$	ارزیابی نامناسب پیمانکاران	M	**	**	*	**	**	**	۲۰	**	*
$R75$	تأخیر در زمان تنظیم اسناد قرارداد	L	*	**	***	**	**	**	۶	**	*
	مدیریتی پیمانکار										
$R7$	عدم برنامه‌ریزی صحیح پیمانکار در خصوص سیم و تجهیزات مصرفی به‌منظور کاهش مقادیر ضایعات	VH	**	*	**	*	**	*	۳۶	*	*
$R16$	واگذاری عملیات اجرایی به گروه‌های ضعیف و کم تجربه از طرف پیمانکار اصلی	H	*	*	*	*	*	*	۵۶	*	*
$R24$	انبارداری نامناسب پیمانکار و عدم ثبت دقیق موجودی و مصرفی پروژه	VH	*	*	**	*	*	*	۳۶	*	*
$R43$	عدم انجام مراحل اجرایی براساس برنامه زمانبندی	H	*	**	**	*	**	**	۱۴	**	*
$R45$	عدم وجود برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت در کارگاه‌ها	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R46$	عدم تزریق به موقع نقدینگی به کارگاه از سوی پیمانکار	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R50$	تغییر در سیستم مدیریتی پیمانکار پس از برگزاری مناقصه	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R53$	کمبود نیروی فنی مناسب در کارگاه	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R56$	عدم وجود بیمه مناسب در کارگاه (تجهیزات و نفرات)	L	**	*	***	*	**	**	۱۲	**	*
$R57$	استفاده از پرسنل غیر مجاز و اتباع خارجی در کارگاه	H	**	**	*	**	*	*	۱۴	**	**
$R59$	نارضایتی و انگیزه پایین کارگران در کارگاه	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R60$	عدم هماهنگی بین پیمانکاران دسته ۱ و ۲	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R65$	عدم ارائه‌ی گزارشات کنترل پیشرفت پروژه توسط پیمانکار	VH	*	*	*	*	*	*	۳۶	*	*
$R66$	تعویض مکرر نفرات اجرائی درپروژه	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R67$	عدم به‌کارگیری سرپرست کارگاه ذی‌صلاح درپروژه	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R68$	پاسخ‌گو نبودن پیمانکار در قبال عملکرد ضعیف در پروژه	VH	*	*	*	*	*	*	۳۶	*	*
$R70$	نداشتن دفتر فنی مناسب در سیکل پیمانکار	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R71$	عدم مدیریت هزینه از طرف پیمانکار	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*
$R72$	عدم تقسیم وظایف صحیح درسیکل پیمانکار	H	*	*	**	*	*	*	۲۸	*	*

ادامه جدول ۵.

ریسک‌ک	شرح ریسک	احتمال وقوع	اهمیت ریسک						امتیاز ریسک	اهمیت زمان هزینه کیفیت	اهمیت ریسک
			زمانی	هزینه	کیفیت	زمان هزینه	زمان کیفیت	هزینه کیفیت			
	مدیریتی مشاور										
$R۹$	عدم حضور دائمی مسئول ایمنی در کارگاه	VH	*	*	*	*	*	*	۳۶	*	*
$R۱۳$	استفاده از دستگاه نظارت کم تجربه	H	*	*	*	*	*	*	۵۶	*	*
$R۱۴$	تنظیم اسناد مناقصه بدون رعایت کلیه موارد قانونی و بدلیل درخواست کارفرما برای حذف و اضافه بخش‌هایی از اسناد	VH	*	*	*	*	*	*	۷۲	*	*
$R۱۵$	تداخل وظایف کارفرما و دستگاه نظارت در هنگام کار	H	*	*	*	*	*	*	۵۶	*	*
$R۲۶$	کامل نبودن شرح خدمات پیمانکاران	H	*	**	**	*	*	**	۱۴	**	*
$R۲۸$	نبود افراد مجرب و متخصص نزد مشاور	M	*	*	**	*	*	*	۴۰	*	*
$R۴۲$	عدم رعایت دستورالعمل‌های دستگاه نظارت در ساخت	H	*	*	*	*	*	*	۲۸	*	*
$R۶۴$	عدم رعایت استانداردهای فنی در زمان اجرا	M	**	**	*	**	*	*	۲۰	**	*

در هیچ‌یک از شرکت‌های برق منطقه‌یی فعالیت پژوهشی خاصی در زمینه‌ی مدیریت ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق انجام نشده بود. لذا انجام این پژوهش روند جدیدی در این زمینه ایجاد کرد. دستاوردهای این تحقیق خلاصه‌وار عبارت است از:

- مطالعه پیرامون مدل‌های مدیریت ریسک و فرایندها و ویژگی‌های آن؛
- طراحی ساختار شکست ریسک پروژه‌های خطوط هوایی برق؛
- دسته‌بندی عوامل ریسک‌ها برای انجام سریع‌تر برنامه‌ی پاسخ‌گویی به آنها؛
- شناسایی ریسک‌های خطوط هوایی برق در سطح انتقال و فوق توزیع؛
- تحلیل کیفی انعطاف‌پذیر در حوزه‌های زمان، هزینه، کیفیت و حوزه‌های ترکیبی آنها و تفکیک ریسک‌های مهم از بقیه‌ی ریسک‌ها؛
- رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌های مهم.

نتایج حاصل از تحلیل کیفی، خوشه‌بندی به شرح زیر است:

الف) **تعداد ریسک‌های مهم در حوزه‌های مختلف:** با توجه به حوزه‌های تعریف شده‌ی زمان، هزینه، کیفیت، زمان ـ هزینه، زمان ـ کیفیت، هزینه ـ کیفیت، زمان ـ هزینه ـ کیفیت، تعداد ریسک‌های مهم در حوزه‌های مذکور در جدول ۸ خلاصه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ریسک متعلق به حوزه‌ی زمان و زمان ـ هزینه است.

ب) **تعداد ریسک‌های مهم در ساختار شکست ریسک:** با توجه به ساختار شکست ریسک تعریف شده، فراوانی ریسک‌های مهم به‌همراه درصد فراوانی آنها در جدول ۹ خلاصه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تعداد ریسک مربوط به طبقه‌ی مدیریتی پیمانکار و اجرا در ساختار شکست ریسک است.

ج) **تحلیل خوشه‌ها:** در جدول ۱۰، تعداد ریسک‌ها در قالب ساختار شکست ریسک به تفکیک هر خوشه مشخص شده است. خوشه‌ی ۳ و ۴ که بیشترین تعداد ریسک از بین خوشه‌ها را شامل می‌شوند، در طبقه‌ی مدیریتی پیمانکار و اجرا بیشترین تعداد ریسک را دارند؛ با تعیین علت و عامل ریسک‌های طبقه‌های مذکور و برنامه‌ریزی برای پاسخ‌گویی به این ریسک‌ها و انتخاب استراتژی مناسب می‌توان تعداد آنها را کاهش داد.

۱.۵. پیشنهادهای تحقیق

از آنجا که ماهیت‌های پروژه‌ها در شرکت‌های برق منطقه‌یی سراسر کشور یکسان است، مراحل شناسایی، تحلیل، رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌های مهم این تحقیق برای شرکت برق منطقه‌یی اصفهان به شرکت‌های برق منطقه‌یی سراسر کشور ــ که در مواردی همچون موقعیت جغرافیایی، سیستم‌های اجرایی، پیمانکاران، مشاوران، شرایط منطقه‌یی و محیطی متفاوت‌اند ــ قابل تعمیم است. تفاوت‌های مذکور فقط به ایجاد تغییراتی در ریسک‌های مهم معرفی شده می‌انجامد. تحقیقات دیگری که در ادامه‌ی مسیر قابل انجام است عبارت‌اند از:

- استفاده از ساختار مدل پیشنهادی برای پروژه‌های تونل به‌روش N.A.T.M، CUT & COVER و T.B.M؛
- استفاده از ساختار مدل پیشنهادی برای پروژه‌های فیبرنوری؛
- با برقراری یک سیستم مدیریت دانش، این تجارب را می‌توان برای استفاده به سایر پروژه‌ها انتقال داد.

جدول ۶. رتبه‌بندی ریسک‌های مهم.

کد ریسک	امتیاز ریسک	رتبه	کد ریسک	امتیاز ریسک	رتبه
$R۴$	۷۲	۱	$R۷۲$	۲۸	۵
$R۱۴$	۷۲	۱	$R۳۱$	۲۴	۶
$R۶$	۵۶	۲	$R۳۲$	۲۴	۶
$R۱۳$	۵۶	۲	$R۳۳$	۲۴	۶
$R۱۵$	۵۶	۲	$R۳۴$	۲۴	۶
$R۱۶$	۵۶	۲	$R۳۵$	۲۴	۶
$R۲۰$	۵۶	۲	$R۷$	۳۶	۴
$R۵۴$	۵۶	۲	$R۴۷$	۳۶	۴
$R۹$	۳۶	۴	$R۸$	۲۰	۷
$R۵۱$	۳۶	۴	$R۲۱$	۲۰	۷
$R۶۵$	۳۶	۴	$R۴۱$	۲۰	۷
$R۶۸$	۳۶	۴	$R۵۵$	۲۰	۷
$R۱$	۲۸	۵	$R۶۴$	۲۰	۷
$R۵$	۲۸	۵	$R۶۳$	۱۸	۸
$R۱۰$	۲۸	۵	$R۲$	۱۴	۹
$R۲۵$	۲۸	۵	$R۲۶$	۱۴	۹
$R۴۰$	۲۸	۵	$R۴۳$	۱۴	۹
$R۴۲$	۲۸	۵	$R۴۴$	۱۴	۹
$R۵۳$	۲۸	۵	$R۵۷$	۱۴	۹
$R۵۸$	۲۸	۵	$R۶۹$	۱۴	۹
$R۵۹$	۲۸	۵	$R۳۶$	۱۲	۱۰
$R۶۰$	۲۸	۵	$R۱۲$	۲۰	۶
$R۶۶$	۲۸	۵	$R۶۲$	۲۰	۷
$R۶۷$	۲۸	۵	$R۷۸$	۲۰	۷
$R۳۹$	۲۴	۶	$R۲۹$	۱۴	۷
$R۱۷$	۴۰	۳	$R۴۹$	۱۴	۷
$R۱۸$	۴۰	۳	$R۷۶$	۱۴	۱۰
$R۱۹$	۴۰	۳	$R۸۴$	۱۴	۱۰
$R۲۲$	۴۰	۳	$R۳۰$	۱۲	۱۰
$R۲۸$	۴۰	۳	$R۳۷$	۱۲	۱۰
$R۶۱$	۴۰	۳	$R۳۸$	۱۲	۱۰
$R۳$	۳۶	۴	$R۵۶$	۱۲	۱۰
$R۲۴$	۳۶	۴	$R۷۴$	۲۰	۷
$R۴۸$	۳۶	۴	$R۷۳$	۱۲	۱۰
$R۱۱$	۲۸	۵	$R۷۸$	۱۰	۱۱
$R۲۳$	۲۸	۵	$R۸۲$	۱۰	۱۱
$R۲۷$	۲۸	۵	$R۵۲$	۷	۱۲
$R۴۵$	۲۸	۵	$R۸۱$	۷	۱۲
$R۴۶$	۲۸	۵	$R۸۳$	۷	۱۲
$R۵۰$	۲۸	۵	$R۷۵$	۶	۱۳
$R۷۰$	۲۸	۵	$R۸۰$	۵	۱۴
$R۷۱$	۲۸	۵	$R۷۹$	۳	۱۵

جدول ۷. خوشه‌بندی ریسک‌های مهم.

خوشه	تعداد اعضا	کد اعضا
۱	۴	$R۸۱, R۸۲, R۸۳, R۸۴$
۲	۷	$R۲, R۲۶, R۴۳, R۴۹, R۵۷, R۶۹, R۷۷$
۳	۲۱	$R۴, R۶, R۱۳, R۱۴, R۱۵, R۱۶, R۱۷,$ $R۱۸, R۱۹, R۲۰, R۲۲, R۲۵, R۲۸, R۳۱,$ $R۳۲, R۳۳, R۳۴, R۳۵, R۳۹, R۵۴, R۶۱$
۴	۳۵	$R۱, R۳, R۹, R۱۰, R۱۱, R۱۲, R۲۱,$ $R۲۳, R۲۴, R۲۷, R۳۰, R۳۶, R۳۷, R۳۸,$ $R۴۰, R۴۱, R۴۲, R۴۵, R۴۶, R۴۸, R۵۰,$ $R۵۱, R۵۳, R۵۵, R۵۸, R۵۹, R۶۰, R۶۲,$ $R۶۵, R۶۶, R۶۷, R۶۸, R۷۰, R۷۱, R۷۲$
۵	۵	$R۵, R۸, R۶۴, R۷۴, R۷۸$
۶	۶	$R۵۲, R۷۳, R۷۵, R۷۶, R۷۹, R۸۰$
۷	۶	$R۷, R۲۹, R۴۴, R۴۷, R۵۶, R۶۳$

جدول ۸. تعداد ریسک‌های مهم در حوزه‌های تعریف شده.

حوزه	تعداد
ریسک زمان	۶۵
ریسک هزینه	۵۹
ریسک کیفیت	۳۸
ریسک زمان هزینه	۶۵
ریسک زمان کیفیت	۵۷
ریسک هزینه کیفیت	۵۸
ریسک زمان هزینه کیفیت	۵۰

جدول ۹. فراوانی ریسک‌های مهم در قالب ساختار شکست ریسک.

ساختار شکست ریسک	فراوانی	درصد فراوانی
اقدامات اولیه	۱	۱/۲
اقدامات مهندسی	۹	۱۱
تأمین تجهیزات	۷	۸/۳
اجرا	۲۰	۲۴
اقدامات پایانی	۴	۴/۸
اقتصادی ـ سیاسی	۱	۱/۲
مدیریتی کارفرما	۱۵	۱۸
مدیریتی پیمانکار	۱۹	۲۳
مدیریتی مشاور	۸	۹/۵
جمع	۸۴	۱۰۰

جدول ۱۰. تعداد ریسک‌های مهم هر خوشه در قالب ساختار شکست ریسک.

خوشه	تعداد ریسک	ساختار شکست ریسک							
		اقدامات اولیه	اقدامات مهندسی	تأمین تجهیزات	اجرا	اقدامات پایانی	اقتصادی ـ سیاسی	مدیریتی پیمانکار	مدیریتی کارفرما	مدیریتی مشاور
۱	۴			۲	۲					
۲	۷			۱		۲		۲	۱	۱
۳	۲۱	۱	۶		۷	۱		۱	۱	۴
۴	۳۵		۳	۱	۵	۱		۱۴	۹	۲
۵	۵			۱	۲				۱	۱
۶	۶			۲	۲				۲	
۷	۶				۲		۱	۲	۱	

پانوشت‌ها

1. project management body of knowledge (PMBOK)
2. work breakdown structure (WBS)
3. project management institute (PMI)
4. learning cycles
5. documentation review
6. brainstorming
7. checklist analysis
8. Delphi technique
9. interviewing
10. past projects
11. risk breakdown structure (RBS)
12. taxonomy-based questionnaire
13. Cronbach's alpha

منابع (References)

1. PMI, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Fifth Edition, Project Management Institute (2013).
2. Fang, C. and Marle, F. "A simulation-based risk network model for decision support in project risk management", *Decision Support Systems Decision Support Systems*, **52**(3), pp. 635-644 (2012).
3. Subramanyan, H., Sawant, P.H. and Bhatt, V. "Construction project risk assessment: Development of model based on investigation for opinion of construction project experts from India", *Journal of Construction Engineering and Management*, **138**(3), pp. 409-42 (2012).
4. Kutsch, E. and Hall, M. "Deliberate ignorance in project risk management", *International Journal of Project Management*, **28**(3), pp. 245-255 (2010).
5. Krane, H.P., Olsson, N.O.E. and Rolstadas, A. "How project manager-project owner Interaction can work with in and influence project risk management", *Project Management Journal*, **43**(2), pp. 54-67 (2012).
6. Cooper, D., Stephen, G., Geoffrey, R. and Phil, W., *Managing Risk in Large Project and Complex Procurements, England*, John Wiley & Sons ltd (2005).
7. Tavanir Company, *Power Transmission and Sub Transmission Networks*, http://www2.tavanir.org.ir/info/stat85/sanatfhtml/Transmission.htm, (2013). (In Persian)
8. Nazari A., Forsat Kar, A. and Kiafar, B., *Risk Management in Project*, Department of Engineering Management and Planning Organization, Tehran, (2008). (In Persian)
9. Marchewka, J.T., *Information Technology Project Management*, Wiley, 3th Ed (2009).
10. Abdolahi, A., *Achieving Quality Through Teamwork*, Risk Management, Outlook, Fall (2006).
11. Cooper, D., Grey, S., Raymond G. and Walker, P., *Managing Risk in Large Projects and complex Procurements*, John Wiley & Sons, Ltd., England (2005).
12. Daryaei, H. "Assess and manag the risks associated with pre-construction projects", *9th International Project Management Conference,* Tehran (2013). (In Persian)
13. Patrick, X.W.Z., Guomin, Zh. and Jiayuan W. "Understanding the key risks in construction projects in China", *Elsevier Ltd and International Journal of Project Management (IPMA)*, **25**(6), pp. 601-614 (2007).
14. Kasap, D. and Kaymak, M., *Risk Identication Step of the Project Risk Management*, Management of Engineering and Technology, Portland International Center, pp. 2116-2120 (2007).
15. Nielsen, E., *Risk Identication*, Retrieved (February 2007), URL:http://www.anticlue.net/archives/000816.htm (2007).
16. Hillson, D., Grimaldi, S. and Rafele, C. "Managing project risks using a cross risk breakdown matrix", *Risk Management,* **8**(1), pp. 61-76 (2006).
17. Ammar, A., Berman, K. and Sataporn, A. s. "A review of techniques for risk management in projects", *Benchmarking: An International Journal PMBOK*, **14**, pp. 22-36 (2007).
18. Momeni, M. and Ghayoumi, A., *Statistical Analysis Using SPSS*, 3th Ed, Ketab-e-No Pub. Co., Tehran, In Persian (2011).
19. Han, J. and Kamber, M., *Data Mining: Concepts and Techniques*, Elsevier Inc, San Francisco (2006).
20. Van der Heijden, F., Duin, R.P.W., de Ridder, D. and Tax, D.M.J., *Classification, Parameter Estimation and State Estimation*, John wiley & sons Ltd, England (2004).

21. Theodoridis, S. and Koutroumbas, K., *Pattern Recognition*, Elsevier Press, USA (2003).

22. Davies, D.L. and Bouldin, D.W. "A cluster separation measure", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **1**(4), pp. 224-227 (1979).

23. Kim, D.W., Lee, K.H. and Lee, D. "On cluster validity index for estimation of the optimal number of fuzzy clusters", *Pattern Recognition,* **37**(4), pp. 2009-2025 (2004).

24. Tavanir Company, *The Detailed Statistics of Iran Electric Power Industry in 2012*, Tehran (2012). (In Persian)

25. Sarmad, Z., Bazargan, H.A. and Hejazi, E., *Research Methods in the Behavioral Sciences*, Agah Pub. (2012). (In Persian)

26. Roozbehi, S. Jada, K.H., *Project Risk Management with PertMaster*, Kian Rayane Sabz publishing Organization Firth Edition Tehran In Persian (2008).