

تخصیص کمی ریسک در پروژه‌های BOT در راهسازی

علمی - پژوهشی

مریم راجعیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
نسیم نهاوندی*، استاد، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: n_nahavandi@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

صفحه ۲۱۲-۱۹۷

چکیده

امروزه روش ساخت، بهره‌برداری و واگذاری از روش‌های پذیرفته‌شده و تأثیرگذار جهت سرمایه‌گذاری ساخت سریع پروژه‌های زیربنایی موردنیاز کشورها می‌باشد. در این میان ریسک‌های متعددی ممکن است قراردادهای ساخت، بهره‌برداری و واگذاری را تحت تأثیر قرار دهد. از جمله موضوع تخصیص ریسک میان دو بخش خصوصی و عمومی. در این مقاله با نشان دادن جایگاه فرآیند تسهیم ریسک در شکل‌گیری پروژه‌های ساخت، بهره‌برداری و واگذاری، چهارچوبی راهنما برای چگونگی تخصیص ریسک در بین عوامل پروژه ارائه می‌شود. از این رو باید پیش از آغاز پروژه و عقد قرارداد، هر یک از ریسک‌های پروژه براساس معیارهای مناسب تعیین شود. در این مقاله دو بخش تخصیص کیفی و کمی ریسک ارائه شده است. در ابتدا برای شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه آزاد راه تهران- رشت با استفاده از ۳۰ پرسشنامه اقدام سپس به تخصیص و تسهیم کیفی ریسک پرداختیم، مدل کیفی ارائه‌شده با استفاده از مدل بیزین با دقت ۹۳.۵۶٪ و ۹۸.۳۱٪ میزان ریسک‌های درست تخصیصی برای کارفرما و پیمانکار ارزیابی شد. در بخش کمی با استفاده از نظریه بازی‌ها کمینه مجموع هزینه‌های کارفرما و پیمانکار در تخصیص ریسک ۳۵٪ ریسک به کارفرما و ۶۵٪ ریسک به پیمانکار اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: روش بیزین، تخصیص ریسک، روش BOT، نظریه بازی‌ها

۱- مقدمه

سرمایه‌های بخش خصوصی در راه‌اندازی و اداره پروژه‌های زیرساخت استفاده می‌شود. نبود فناوری پیشرفته، بودجه عمومی ناکافی و فشار بدهی‌های خارجی از جمله محدودیت‌های انجام پروژه‌ها برای دولت‌هاست. یکی از متداول‌ترین و موفقیت‌آمیزترین روش‌ها برای غلبه بر این محدودیت‌ها به اشتراک‌گذاری بخش‌های خصوصی داخلی یا خارجی برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیربنایی و خدمات عمومی است. روش BOT یک وسیله مناسب برای توسعه زیربنای با سرمایه بخش خصوصی است. در این روش بخش خصوصی وظیفه طراحی، ساخت، بهره‌برداری و تأمین مالی پروژه را بر عهده می‌گیرد. در مقابل دولت به او

در حال حاضر Build-Operate-Transfer را به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر جهت مشارکت بخش غیردولتی در توسعه پروژه‌های زیربنایی در بسیاری از کشورهای جهان می‌شناسند. امروزه در اقتصاد بین‌الملل خصوصی‌سازی به‌منظور تحت پوشش قرار دادن سیاست‌های مختلفی که اهداف مشترکی را از جمله کاهش نفوذ دولت‌ها در اقتصاد ملی، تحکیم نقش اقتصاد و بازار به دنبال دارد، استفاده می‌شود. بسیاری نیز آن را به‌عنوان راه‌حل مؤثری در جهت بهبود راندمان کاری و بهره‌وری فعالیت‌های اقتصادی می‌دانند. استفاده از مکانیزم مجموعه قراردادهای BOT یکی از ابداعات مهم کشورهای درحال توسعه برای افزایش رشد اقتصادی بالا برای بهره‌گیری از

اثرات زیان‌بار اقتصادی ناشی از عدم پیشرفت مناسب پروژه‌ها (از نظر زمانی هزینه‌ای و کیفیتی) و یا حتی شکست در پروژه‌ها به دلیل عدم شناسایی ریسک‌ها و یا تخصیص ناعادلانه ریسک. بی‌ام باک ریسک پروژه را به صورت زیر تعریف می‌کند: "یک اتفاق غیرمنتظره با شرایطی که در صورت وقوع، تأثیرات منفی یا مثبت بر روی اهداف پروژه می‌گذارند". این تعریف نقطه شروع مهمی برای درک ریسک پروژه‌ها است (Project Management Institute, 2004).

ریسک پروژه ناشی از موقعیت غیرقابل اطمینان است. شرایط غیرمطمئن ناشی از تلاش ما در جهت پیش‌بینی آینده بر اساس تخمین‌ها، فرضیات و دانش اندک ماست. هرچند که ریسک حاصل از تهدیدات و مشکلات غیرقابل انتظار، باعث توقف و صدمه می‌شوند؛ اما تمرکز مدیریت ریسک بر جنبه مثبت اتفاقات و فرصتهاست؛ بنابراین دانستن اینکه چه اتفاقی ممکن است تأثیر مثبت بر روی پروژه داشته باشد بسیار حائز اهمیت است (Bing et al., 2007).

هدف از این مقاله توسعه مفاهیم ریسک در پروژه‌های BOT و ارائه مدل تخصیص و تسهیم ریسک در پروژه‌ها می‌باشد.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به مطالعات صورت گرفته، مقالات را می‌توان به دودسته کلی کیفی و کمی تقسیم‌بندی کرد: در مدل کیفی با در نظر گرفتن تخصیص ریسک تورم، پیامدهای ناشی از ریسک تورم که شامل افزایش هزینه‌ی ماشین‌آلات، نیروی انسانی و مصالح هست مورد توجه قرار می‌گیرد. در مدل‌سازی کمی فرآیند تخصیص ریسک، روابط ریاضی موجود بین متغیرهای مختلف کیفی توسعه داده شده در مرحله شناسایی عوامل موثر و تأثیرپذیر از ریسک، تعیین شده و با شبیه‌سازی مدل، رفتار مدل به صورت کمی تعیین گردیده و درصد بهینه‌ی تخصیص ریسک مشخص می‌گردد. در جدول ۱ مطالعات برحسب روش انجام کار و نتیجه‌گیری خلاصه شده‌اند.

امتیاز بهره‌برداری را برای مدت معینی از پروژه می‌دهد تا بخش خصوصی با برداشت از درآمد پروژه (مانند عوارض راه، فروش برق نیروگاه و...) سرمایه‌ها و وام‌های گرفته شده را بازپرداخت کند، سود احتمالی را برداشت کرده و پس از منقضی شدن مدت امتیاز، تأسیسات را به دولت واگذار نماید (خزائی و همکاران، ۱۳۸۴). پروژه‌های ناموفق BOT به ما هشدار می‌دهند که این سیستم یک تجارت همیشه موفق نیست. سرمایه‌گذار BOT برای آن‌که در توسعه یک پروژه زیربنایی دچار زیان نشود، باید تمامی این ریسک‌ها را به نحو مناسب مدیریت کند. در فرآیند مدیریت ریسک برای این‌گونه پروژه‌ها پس از مرحله شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها، ریسک‌های شناسایی شده باید به عوامل پروژه تخصیص یابند. تخصیص ریسک عامل حیاتی برنامه‌ریزی برای موفقیت پروژه است. با تخصیص مناسب ریسک‌ها است که عوامل پروژه می‌توانند احتمال موفقیت پروژه را به بیشترین حد برسانند. به همین علت تشریح و شفاف‌سازی فرآیند تسهیم ریسک و قبل از آن تحلیل و مدل کردن ریسک را مرکز ثقل اجرای موفق یک پروژه BOT دانسته‌اند (محمدیگی، ۱۳۹۰).

حجم عظیم سرمایه درگیر در طرح‌های زیربنایی، زمان نسبتاً طولانی اجرای پروژه‌ها، مشکلات متعدد مدیریت این پروژه‌ها از جمله اتمام پروژه‌ها با هزینه بالاتر از هزینه‌های مصوب و در زمانی طولانی‌تر، توجه بیشتر مسئولین اجرایی و انجام پژوهش‌های بنیادین و کاربردی در حوزه مفاهیم مدیریت پروژه به خصوص مدیریت ریسک پروژه را آشکار می‌کند. پیچیدگی خاص و منحصر به فرد پروژه‌های به روش Public Private Partnership بیانگر این واقعیت است که رویکردهای سنتی مدیریت پروژه نمی‌تواند پاسخگویی مسائل و مشکلات مدیریتی این‌گونه پروژه‌ها باشد (Hwang et al., 2013). به طور خلاصه لزوم توجه به استفاده از مدیریت ریسک در پروژه‌های که به روش BOT انجام می‌شود عبارت است از:

بزرگ بودن پروژه‌های زیربنایی از جنبه‌های حجم عملیات اجرایی و ظرفیت پروژه
نیاز به سرمایه‌گذاری گسترده در پروژه‌های زیربنایی و محدودیت منابع مالی دولتی و داخلی

تأثیر گسترده‌ی منابع انسانی تجهیزات و ماشین‌آلات در این پروژه‌ها در دوره زمانی طولانی پروژه‌ها (دوره‌ی اجرا و بهره‌برداری)

جدول ۱. خلاصه مطالعات انجام شده براساس روش کار و اهداف

مطالعه	هدف	روش	نتیجه‌گیری
مدا (۲۰۰۷)	فرآیند تخصیص ریسک را در پروژه‌های زیربنایی حمل‌ونقل بین بخش دولتی - خصوصی مدل‌سازی می‌کند.	استفاده از فرآیند چانه‌زنی در نظریه بازی‌های فضای مذاکره را برای تخصیص کمی ریسک به‌خوبی مدل‌سازی می‌کند.	<ul style="list-style-type: none"> • هریک از طرفین قرارداد باید یک سطحی از ضمانت رازمانی که حادثه‌ای در زمینه ی ریسک مربوط به آن رخ داد ارائه دهد. • در این مورد حداقل تضمین‌ها ارزش بالاتری از کمبودهای مالی مربوط به ریسک پوشش داده‌شده توسط آن تضمین رادارند. (Medda, 2007).
بینگ و همکاران (۲۰۰۷)	تحلیل ریسک‌های حیاتی و شناسایی آن‌ها برای پروژه‌های ساخت‌وساز در انگلستان	به‌منظور شناسایی ریسک‌های حیاتی برای پروژه پرسشنامه‌ای طراحی و از کارشناسان بخش مشارکت‌های خصوصی-عمومی سؤالاتی پرسیده شد تحلیل‌های با استفاده از تحلیل عاملی روش‌های آماری به دست آمدند.	<ul style="list-style-type: none"> • ۱۸ ریسک حیاتی بالقوه برای پروژه‌های ساخت‌وساز مشارکتی شناسایی شدند (Bing et al., 2007). • نتایج تحلیل عاملی گروه‌های مختلف را برای ۱۸ عامل معرفی می‌کنند: <ul style="list-style-type: none"> -تهیه مؤثر -قابلیت اجرای پروژه -ضمانت دولت -شرایط مطلوب اقتصادی -بازار مالی
سیلوا و همکاران (۲۰۱۴)	ارائه یک فرآیند مدل تخصیص ریسک در پروژه‌های ساخت‌وساز	مطالعات موردی	<ul style="list-style-type: none"> • یکی از مهم‌ترین معیارها حفظ هزینه‌های کلی مدیریت ریسک در حداقل سطح برای طرفین قرارداد است. • تعیین نتایج کیفی و کمی حاصل از تخصیص ریسک (Silva et al., 2014)
یان و همکاران (۲۰۱۲)	رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در مشارکت خصوصی عمومی (ppp)	استفاده از روش تاپسیس	حذف پروژه‌هایی که تأثیر کم‌تری بر روند اجرای پروژه دارند با استفاده از روش‌های حذفی و نهایتاً ۱۳ ریسک باقیمانده بین طرفین تقسیم شد (Yun-na et al., 2012).
ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۴)	تخصیص ریسک با استفاده از تحلیل شبکه‌ای	استفاده از تحلیل شبکه‌ای	مصاحبه و تهیه پرسشنامه از کارشناسان پروژه استفاده کردند. با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای به شناسایی و تخصیص ریسک از این طریق پرداختند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ۱۲ ریسک به واگذارکننده، ۱۲ ریسک به پیمانکار و ۹ ریسک بین هر دو تقسیم می‌شود (Valipour et al., 2014)

مطالعه	هدف	روش	نتیجه‌گیری
گوپتا و همکاران (۲۰۱۳)	شناسایی ریسک‌ها و محاسبه‌ی تجمعی اثرات ریسک	تحقیق میدانی با استفاده از پرسشنامه و ادبیات موضوع	<p>-خطرات بالای پروژه‌های PPP طولانی بودن پروژه هست.</p> <p>-ریسک‌های تأثیرگذار به روند پروژه ریسک‌های قانونی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی هست.</p> <p>-نمودار کارهای انجام‌شده در کشورهای مختلف</p> <p>-ارایه عوامل حیاطی ریسک</p> <p>-دسته‌بندی متدولوژی استفاده شده در مقاله (Gupta et al., 2013).</p>
خانزادی و همکاران (۱۳۸۹)	تخصیص بهینه کمی ریسک با استفاده از رویکرد پویایی سیستم	مدل‌سازی به‌وسیله روش‌های دینامیک با استفاده از حلقه‌های علت و معلول	<p>شناخت تمامی عوامل اثرگذار و مهم در فرآیند تخصیص کمی ریسک (خانزادی و همکاران، ۱۳۸۹).</p>

۳-روش تحقیق

از آنجا که روش پیمایشی قوی‌ترین ابزار در بررسی توزیع ویژگی‌های یک جامعه آماری است و با توجه به اینکه مخاطب پژوهش حاضر خبرگان احداث پروژه‌های راه‌سازی به روش BOT هستند، رجوع به جامعه آماری و جمع‌آوری آرای خبرگان که عبارت است از مجموعه کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران راه‌ساز که از این روش اطلاع دارند و در این حوزه فعالیت کرده‌اند؛ و گرفتن نقطه نظرات آن‌ها در زمینه تحلیل ریسک ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به این معیارها روش پیمایشی به‌عنوان بهترین روش برای پاسخ‌گویی به نیاز تحقیق انتخاب می‌شود.

۴-نحوه گردآوری داده‌ها

پس از شناسایی خبرگان و صاحب‌نظران در این حوزه و مشخص نمودن آدرس آن‌ها، با مراجعه حضوری درخواست ملاقات با مدیران شرکت و یا مدیران پروژه جهت همکاری و پاسخ به پرسشنامه‌ها، پرسشنامه‌ها توزیع شدند و ضمن تشریح مسئله و نحوه پر کردن پرسشنامه‌ها به انجام مصاحبه به آن‌ها پرداخته شد. اکثر پرسشنامه‌ها از طریق مراجعه حضوری به بخش‌های مرتبط جمع‌آوری شده است. از طریق شرکت

هدف از این مقاله شناسایی ریسک‌های مربوط به پروژه‌های راه‌سازی و تسهیم کیفی و کمی ریسک بین کارفرما و پیمانکار می‌باشد. در این تحقیق از هر دو ابزار پرسش‌نامه و مصاحبه به‌طور هم‌زمان جهت اندازه‌گیری و شناسایی اثرات و شدت ریسک‌ها استفاده شده است. استفاده از پرسشنامه برای ارزیابی کیفی و کمی ریسک‌ها و همچنین استفاده از مدل‌های فازی و بی‌زین به‌منظور تخصیص ریسک و نیز درصد تغییرات صورت گرفته بر روی زمان پروژه موردنظر این مقاله تعیین شده است. سوالاتی که به دنبال یافتن پاسخ مناسب برای آن هستیم این است که:

مبانی اجرای پروژه‌ها به روش BOT و محدوده‌ی آن به چه صورت است؟

فرآیند مدیریت ریسک شامل چه مراحل‌ی بوده و چگونه انجام می‌شود؟

چگونه تخصیص مناسب ریسک می‌تواند مدیریت ریسک مناسب و بهتری برای قراردادهای BOT ایجاد کند؟

کدام یک از مدل‌های موجود برای تخصیص، بهتر می‌تواند تخصیص کمی ریسک‌های شناسایی شده را توصیف کند؟

چگونه مدل‌های مورد استفاده برای تخصیص می‌تواند هزینه‌ی پروژه‌ها را کاهش دهد؟

به روزرسانی نمود.

$$P(X|Y) = \frac{P(X)P(Y|X)}{P(Y)} \quad (2)$$

که در آن $P(X|Y)$ برابر احتمال پسین یا احتمال رخداد گرهی پرس وجوی X با فرض داشتن مشاهده Y می باشد. $P(X)$ برابر احتمال پیشین بوده و $P(Y|X)$ نیز برابر احتمال مشاهده Y با داشتن یک رخداد مشخص X می باشد. همچنین عبارت است از احتمال غیرشرطی رخداد Y .

ساخت و توسعه آزادراه‌ها سه عدد پاسخ و از طریق دفاتر راهسازی مناطق مختلف کشور که زیرمجموعه شرکت ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل کشور هستند، پنج عدد پاسخ و در مجموع از کارفرمایان بخش راهسازی ۸ عدد پاسخ دریافت شد. از مجریان پروژه‌های آزادراهی شرکت ساخت و توسعه آزادراه‌ها نیز چهار عدد پاسخ دریافت شد. سه عدد پاسخ مهندسین مشاور و ۱۳ عدد پاسخ از پیمانکاران که تجربه حضور و یا سرمایه‌گذاری در این نوع پروژه‌ها را داشته‌اند دریافت شد؛ و در نهایت ۳۰ پرسشنامه دریافت شده آنالیز و تحلیل نتایج انجام گرفت. همچنین لازم به ذکر است که در اثنای پیمایش برخی شرکت‌ها با درخواست حضور محقق در مرحله پاسخ به پرسش‌نامه، اقدام به پاسخ‌گویی به پرسش‌نامه به روش مصاحبه کرده و محقق را از نظرات کارشناسی و تجربیات خود بهره‌مند کرده‌اند؛ بنابراین در عمده مراحل تحقیق از تکنیک مصاحبه در کنار پرسش‌نامه استفاده شده است.

شبکه‌های بیزی

یک شبکه‌ی بیزی یک گراف بدون دور جهت‌دار می‌باشد که هر گره موجود در آن بیان‌گر یک متغیر تصادفی بوده و یال‌های آن وابستگی‌های شرطی میان گره‌ها را نمایش می‌دهند. در شبکه‌های بیزی هر گره دارای یک توزیع احتمالی شرطی بوده که تأثیرات والدین آن را بر روی گره موردنظر کمی‌سازی می‌کند. با فرض اینکه $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ متغیرهای تصادفی متناظر با گره‌های یک شبکه بیزی باشند، می‌توان توزیع احتمال توأم مربوط به این متغیرهای تصادفی را به صورت حاصل ضرب احتمالات شرطی و با کمک قانون زنجیری احتمال به صورت رابطه ۱ تعریف نمود.

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i | Pa(x_i)) \quad (1)$$

منظور از $Pa(x_i)$ مقادیر مربوط به والدین گره x_i در شبکه بیزی می‌باشد. در شبکه‌های بیزی، زمانی که اطلاعات جدیدی در دسترس قرار می‌گیرد، می‌توان باورهای احتمالی مربوط به متغیرهای تصادفی را با استفاده از قضیه‌ی بیز

کاربرد مدل چانه‌زنی برای تخصیص کمی

ریسک

اگر حداکثر و حداقل پیامدها برای بازیکن اول به ترتیب M_1 و m_1 و برای بازیکن دوم M_2 و m_2 فرض شود و از آنجاکه در طول فرآیند چانه‌زنی هر بازیکن نسبت به مقادیر حداکثر و حداقل پیامدهای بازیکن دیگر آگاه است، بنابراین هر بازیکن می‌داند اگر پیشنهاد او منصفانه نباشد، بازیکن دیگر آن را رد کرده و چانه‌زنی به مرحله بعد منتقل می‌شود. پیامد اعدادی هستند که نتیجه ترکیب استراتژی‌های بازیکنان را نشان می‌دهد. این اعداد می‌تواند نماینده سود، درآمد، مطلوبیت یا هزینه باشد. در این تحقیق هزینه‌های ناشی از ریسک تورم به‌عنوان پیامدهای کارفرما و پیمانکار در نظر گرفته می‌شود. بازیکن اول باید پیشنهادی بین ارزش فعلی حداکثر و حداقل آنچه بازیکن دوم در مرحله دوم می‌تواند به دست آورد، به طرف دیگر ارائه کند. این مقادیر به ترتیب برابرند با $PV_{M_2} = \delta_2 M_2$ و $PV_{m_2} = \delta_2 m_2$. اندیس δ_i عامل تنزیل نامیده می‌شود که برای تبدیل ارزش مرحله

با حل معادلات ۵ و ۶، حداکثر و حداقل پیامدها برای بازیکن اول، با مساوی قرار دادن طرفین معادلات به دست می‌آید که برابر است با:

$$M_1 = m_1 = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} \quad (۹)$$

و برای بازیکن دوم هم به همین ترتیب داریم:

$$M_2 = m_2 = 1 - \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2} = \frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \quad (۱۰)$$

که نتایج بالا همان تعادل مربوط به قضیه اریل رابینشتین است.

با توجه به مستقل بودن متغیرهای احتمال و اثر در مورد هر ریسک می‌توان از مفهوم امید ریاضی $\sum p(x) * I(x)$ استفاده کرد، به این معنا که ابتدا PI از منظر هر پاسخ‌دهنده محاسبه شده و در نهایت میانگین PIها محاسبه شود. در ادامه نتایج عددی ریسک‌ها آمده است. در جدول ۲ نتایج عددی ریسک‌ها نشان داده شده است، اثر ریسک‌ها بر هر یک از اهداف زمانی، کیفیتی و هزینه‌ای محاسبه و با استفاده از فرمول ترکیب وزنی ریسک‌ها حاصل ضرب احتمال در اثر کلی محاسبه شده است.

بعد به زمان حال استفاده شده و $\delta_i = \frac{1}{1+r_i}$ که r_i نرخ بهره و یا ترجیح زمانی برای بازیکن i بوده و $0 \leq \delta_i \leq 1$ می‌باشد. در این حالت حداکثر و حداقل پیامد بازیکن اول برابر است با:

$$M_1 \leq 1 - \delta_2 m_2 \quad (۳)$$

$$m_1 \geq 1 - \delta_2 M_2 \quad (۴)$$

اگر بازیکن دوم پیشنهاد بازیکن اول را رد کند، پیشنهاد جدیدی ارائه می‌کند. در این مرحله بازیکن دوم نسبت به حداکثر و حداقل آنچه بازیکن اول در مرحله سوم می‌تواند به دست آورد آگاه است؛ بنابراین پیشنهاد معقول بازیکن دوم به بازیکن اول باید بین مقادیر $PV_{M_1} = \delta_1 M_1$ و $PV_{m_1} = \delta_1 m_1$ باشد. در این حالت حداکثر و حداقل پیامد بازیکن دوم برابر است با:

$$M_2 \leq 1 - \delta_1 m_1 \quad (۵)$$

$$m_2 \geq 1 - \delta_1 M_1 \quad (۶)$$

با ضرب $-\delta_2$ به معادلات ۳ و ۴ مقایسه آن‌ها با معادلات ۱ و ۲ خواهیم داشت:

$$M_1 \leq 1 - \delta_2 m_2 \leq 1 - \delta_2 + \delta_1 \delta_2 M_1 \quad (۷)$$

$$m_1 \geq 1 - \delta_2 M_2 \geq 1 - \delta_2 + \delta_1 \delta_2 m_1 \quad (۸)$$

جدول ۲. مقادیر شدت ریسک به تفکیک ریسک‌ها

جمع وزنی		احتمال	ریسک‌ها
شدت ریسک	ترکیب وزنی اثرات		
۲/۰۰۶	۴/۰۶۲	۰/۵	ریسک حمایت سیاسی
۰/۷۵۴	۳/۷۷	۰/۲	خاتمه قرارداد توسط دولت و لغو امتیاز
۱/۵۲۸۵	۵/۰۹۵	۰/۳	قطع پرداخت‌ها توسط دولت
۰/۷۹۹۲	۲/۶۶۴	۰/۳	تأمین تسهیلات زیربنایی
۱/۳۳۹۲	۴/۴۶۴	۰/۳	فورس‌ماژورهای سیاسی
۰/۳۷۹۴	۱/۸۹۷	۰/۲	ریسک خرید اجباری سهام شرکت در پروژه
۰/۷۵۸۸	۳/۷۹۴	۰/۲	ریسک ملی کردن
۱/۸۳۰۶	۳/۰۵۱	۰/۶	دخالت دولت در مراحل اجرا و بهره‌برداری
۱/۱۳۱	۳/۷۷	۰/۳	فساد نظام دولتی
۱/۸۴۴	۳/۶۸۸	۰/۵	ریسک عدم تبدیل ارز
۱/۴۸۹۵	۲/۹۷۹	۰/۵	ریسک نوسان نرخ ارز
۱/۳۱۱	۴/۳۷	۰/۳	ریسک‌های مالیاتی
۱/۹۰۵	۳/۱۷۵	۰/۶	نرخ تورم
۱/۶۵۴	۴/۱۳۵	۰/۴	محدودیت‌های صادرات و واردات
۱/۲۰۳۲	۳/۰۰۸	۰/۴	تغییر عوارض و حقوق گمرکی
۱/۵۶۷	۳/۱۳۴	۰/۵	نرخ بهره
۱/۶۹۵	۳/۳۹۱	۰/۵	تغییر در قوانین و مقررات
۱/۶۲۲۵	۳/۲۴۵	۰/۵	اجرای قانون
۱/۱۷۳۶	۲/۹۳۴	۰/۴	ابهام در توافقنامه امتیاز و قراردادها
۰/۸۷۷۸	۲/۹۲۶	۰/۳	تغییرات در قراردادها یا مصوبات
۱/۶۰۰۵	۳/۲۰۱	۰/۵	محدودیت‌ها و مجوزهای زیست‌محیطی
۰/۶۲۰۱	۲/۰۶	۰/۳	تأثیرات فرهنگی و اجتماعی
۲/۰۸۴۵	۴/۱۶۹	۰/۵	بلایای طبیعی
۱/۶۸۳	۲/۸۰۵	۰/۶	ریسک‌های شرکت در مناقصه
۲/۴۷۶۸	۴/۱۲۸	۰/۶	تأخیر در آماده‌سازی پروژه
۲/۰۰۴۵	۴/۰۰۹	۰/۵	تملك مسیر و آزادسازی مسیر
۱/۳۸۲	۲/۷۶۴	۰/۵	گرفتن مجوزها و کوتاهی دولت در تجدید آن‌ها
۲/۱۷۲۸	۳/۱۰۴	۰/۷	افزایش هزینه‌های تأمین مالی
۲/۹۶۶۴	۴/۹۴۴	۰/۶	ریسک بدهی و تعهدات مالی
۲/۷۰۷۸	۴/۵۱۳	۰/۶	ریسک تأمین مالی
۲/۵۴۱	۴/۲۳۵	۰/۶	تأخیر در تخصیص بودجه دولتی پروژه

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیستم، دوره اول، شماره ۷۴، بهار ۱۴۰۲

۲/۰۶۲۵	۴/۱۲۵	۰/۵	ریسک مدیریت منابع مالی
۱/۳۳۶	۳/۳۴	۰/۴	عدم رعایت استانداردهای طراحی
۱/۱۵۱۶	۲/۸۹۷	۰/۴	پیچیدگی پروژه از لحاظ طراحی
۱/۸۰۱۵	۳/۶۰۳	۰/۵	کافی نبودن مدارک و نقشه‌ها
۱/۳۲۹۲	۳/۳۲۳	۰/۴	عدم تجربه و مهارت کارکنان متخصص
۱/۵۵۱	۳/۱۰۲	۰/۵	تغییر مشخصات طرح
۲/۹۷۱۵	۴/۲۴۵	۰/۷	ریسک تأخیر
۰/۹۲۱۶	۲/۳۰۴	۰/۴	ریسک شرایط محیطی و محل اجرای پروژه
۲/۰۴۲	۴/۰۸۴	۰/۵	قصور و عدم صلاحیت پیمانکار
۱/۱۹۶۴	۲/۹۹۱	۰/۴	محدودیت‌ها و آسیب‌های زیست‌محیطی
۱/۲۴۰۸	۳/۱۰۲	۰/۴	ریسک دوباره‌کاری‌ها
۱/۵۹	۳/۱۸	۰/۵	منابع تجهیزاتی و مصالح
۱/۹۸۸۴	۴/۹۷۱	۰/۴	عدم تکمیل پروژه
۱/۲۰۱۲	۳/۰۰۳	۰/۴	ریسک‌های فنی، تکنولوژی و پیچیدگی اجرای پروژه
۱/۲۴۹۶	۳/۱۲۴	۰/۴	عدم رسیدن به استانداردهای اجرایی و کیفیت پروژه
۳/۷۳۳۳	۵/۳۳۹	۰/۷	افزایش هزینه از مقدار پیش‌بینی
۱/۱۶۹۲	۲/۹۲۳	۰/۴	خاتمه قرارداد توسط شرکت پروژه
۱/۱۸۵۲	۲/۹۶۳	۰/۴	قصور شرکت بهره‌بردار
۱/۰۹۴۸	۲/۷۳۷	۰/۴	آسیب دیدن تسهیلات پروژه
۱/۲۹۵۲	۳/۲۳۸	۰/۴	ریسک انتقال تکنولوژی و واگذاری
۱/۱۲۴	۲/۸۱	۰/۴	ریسک کیفیت و بهره‌وری پایین بناها
۱/۶۷۸۵	۳/۳۵۷	۰/۵	ریسک قیمت یا نرخ عوارض
۱/۷۵۷	۳/۵۱۴	۰/۵	درآمد ناکافی از سایر بهره‌بردارها
۱/۷۵	۳/۵	۰/۵	ریسک تقاضا و حجم ترافیک
۰/۵۳۲۸	۲/۶۶۴	۰/۲	ریسک نیروی انسانی
۱/۷۷۸۵	۳/۵۵۷	۰/۵	تخصیص نامناسب منابع
۲/۱۶۱	۴/۳۲۲	۰/۵	عدم کاربرد تکنیک‌ها و فنون مدیریت پروژه
۱/۸۴۱۵	۳/۶۸۳	۰/۵	تعریف نادرست از اهداف و نیازهای پروژه

تخصیص کیفی ریسک و تسهیم ریسک به پیمانکار و کارفرما

از تعداد ۳ مورد به کارفرما، تعداد ۴ مورد به پیمانکار و تعداد ۲ مورد بین کارفرما و پیمانکار به صورت مشترک تخصیص داده شده است. بررسی پیمایش میدانی در حوزه تخصیص ریسک‌ها در زیر آرایه گردیده است.

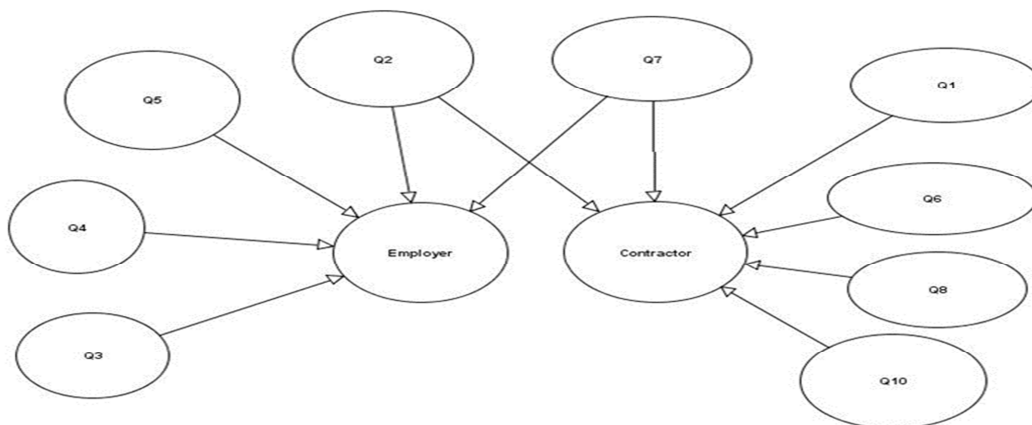
در این بخش از ۱۰ نفر خبره در حوزه پروژه‌های راه‌سازی، خواسته شده است که به منظور تخصیص بهینه ریسک‌ها مسئولیت هر ریسک را به یکی از طرفین قرارداد یعنی کارفرما یا پیمانکار و یا مشترکاً بین آن‌ها واگذار نمایند. طبق این پیمایش از ۱۰ ریسک برتر شناسایی شده نتایج حاصل

جدول ۳. ده ریسک مهم شناسایی شده از نظر شدت ریسک

شدت ریسک	ریسک‌ها
۳/۷۳۷۳	افزایش هزینه از مقدار پیش‌بینی
۲/۹۷۱۵	ریسک تأخیر
۲/۹۶۶۴	ریسک بدهی و تعهدات مالی
۲/۷۰۷۸	ریسک تأمین مالی
۲/۵۴۱	تأخیر در تخصیص بودجه دولتی
۲/۴۷۶۸	تأخیر در آماده‌سازی پروژه
۲/۱۷۲۸	افزایش هزینه‌های تأمین مالی
۲/۱۶۱	عدم کاربرد تکنیک‌ها و فنون مدیریت پروژه
۲/۰۸۴۵	بلایای طبیعی
۲/۰۴۲	قصور و عدم صلاحیت پیمانکار

به کارفرما تخصیص پیدا کرده است، همچنین ریسک قصور و عدم صلاحیت پیمانکار نیز کاملاً به پیمانکار تخصیص پیدا کرده است. ریسک‌های تأخیر در تحویل پروژه و افزایش هزینه‌های تأمین مالی با بیشترین درصد بین پیمانکار و کارفرما تسهیم می‌شود. در ادامه با استفاده از روش بیزین به تخصیص ریسک‌ها به کارفرما یا پیمانکار و همچنین اعتبار سنجی ریسک‌های تخصیص داده‌شده از سوی خبرگان پرداخته می‌شود.

بنابراین، اثر ریسک به ترکیب وزنی اثرات هزینه و زمان و کیفیت محاسبه و نهایتاً ارزش ریسک محاسبه گردید. در جدول ۳ ده ریسک برتر از نظر مقدار شدت ریسک معرفی می‌شوند. آنچه از جدول ۳ مشخص است ریسک‌های مالی در پروژه‌های راه‌سازی از درجه اهمیت بالاتری برخوردار هستند به طوری که ریسک افزایش هزینه از مقدار پیش‌بینی، ریسک بدهی و تعهدات مالی و ریسک تأمین مالی به ترتیب جزو برترین ریسک‌ها شناسایی شدند. همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است ریسک‌های بدهی و تعهدات مالی و تأمین مالی کاملاً



شکل ۱. شبکه بیزین برای تحلیل ریسک پروژه‌های راه‌سازی

جدول ۴. تخصیص ریسک به کارفرما و پیمانکار یا هر دو توسط خبرگان

ردیف	ریسک برتر شناسایی شده	تخصیص ریسک بر اساس نظر خبرگان		
		تخصیص نهایی به	مشترکا	به پیمانکار
۱	افزایش هزینه از مقدار پیش‌بینی شده	پیمانکار	٪۱۰	٪۶۵
۲	ریسک تأخیر	مشترکا	٪۷۰	٪۲۰
۳	ریسک بدهی و تعهدات مالی	کارفرما	۰	٪۱۰۰
۴	ریسک تأمین مالی	کارفرما	۰	٪۱۰۰
۵	تأخیر در تخصیص بودجه دولتی	کارفرما	٪۲۰	٪۶۰
۶	تأخیر در آماده‌سازی پروژه	پیمانکار	٪۱۵	٪۶۰
۷	افزایش هزینه‌های تأمین مالی	مشترکا	٪۵۶	٪۲۰
۸	عدم کاربرد تکنیک‌ها و فنون مدیریت پروژه	پیمانکار	٪۱۷	٪۷۳
۹	بلاای طبیعی	-	۰	۰
۱۰	قصور و عدم صلاحیت پیمانکار	پیمانکار	۰	٪۱۰۰

استفاده از شبکه بیز برای ارزیابی تحلیل کیفی ریسک

برای ساخت یک شبکه بیز ابتدا باید عوامل تأثیرگذار که همان گره‌های شبکه هستند تعیین گردند و بعد از مشخص شدن رابطه بین گره‌ها شبکه ساخته می‌شود.

در این تحقیق ده ریسک برتر را به‌عنوان گره‌های ریشه در نظر گرفته و دو گره کارفرما و پیمانکار را به‌عنوان گره‌های غیر ریشه‌ای در نظر گرفته‌ایم. برای احتمالات از احتمالی که در جدول ۲ به دست آورده‌ایم استفاده کرده‌ایم. حال پس از طراحی شبکه، نوبت جدول احتمال برای هر متغیر می‌رسد. در حقیقت هر گره یک متغیر محسوب می‌شود. در این تحقیق اول احتمالات گره‌های شبکه که با استفاده از دانش کارشناسان این واحد تعیین شده است. در مدل مذکور برای هر گره دو حالت به نام‌های صحیح (True) یا احتمال وقوع، غلط (False) یا احتمال عدم وقوع در نظر گرفته شده است. برای نمونه احتمالات گره‌های ریشه‌ای و گره غیر ریشه‌ای در زیر

نشان داده شده است. جدول ۵ مقادیر احتمالات گره‌های ریشه‌ای و جدول ۶ مقادیر گره غیر ریشه‌ای Employer را نشان می‌دهد. پس از ساخت شبکه و تعیین احتمالات اولیه و شرطی مدل در نرم‌افزار متلب اجرا شده است. نتیجه نهایی مدل در شکل ۲ نمایش داده شده است. مقادیر احتمالات اولیه بر روی گره‌های ریشه‌ای نمایش داده شده است. برای گره غیر ریشه‌ای نیز با توجه به احتمالات شرطی داده شده، مقدار ریسک هر گره در حالات مختلف نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل بالا پیداست میزان ریسک‌های درست تخصیصی به کارفرما (۹۳،۵۶٪) و برای پیمانکار این دقت برابر (۹۸،۳۱٪) است. در ادامه ریسک‌های اثرگذار بر روی هزینه پروژه‌ها را از میان ده ریسک برتر شناسایی و به‌صورت کمی تخصیص داده می‌شود.

جدول ۵. جدول احتمالات برای گره ریشه

False	0.3
True	0.7

جدول ۶. یکی از جداول احتمال شرطی مربوط به گره غیر ریشه employer

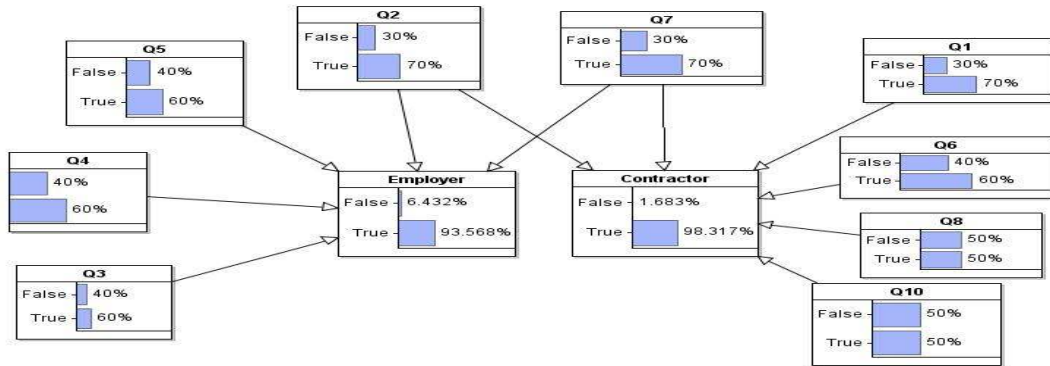
Q3	False							
Q4	False							
Q5	False				True			
Q2	False		True		False		True	
Q7	False	True	False	True	False	True	False	True
False	1.0	0.76	0.9	0.66	0.4	0.16	0.3	0.06
True	0.0	0.24	0.1	0.34	0.6	0.84	0.7	0.94

مدل پیشنهادی برای تخصیص کمی ریسک به پیمانکار و کارفرما

در این تحقیق مدل پیشنهادی برای تخصیص کمی ریسک تورم در پروژه ساخت ۱۵ کیلومتر از آزادراه تهران رشت استفاده شده است. برای تخصیص کمی ریسک با استفاده از مدل پیشنهادی، می‌بایست ابتدا هزینه‌های کارفرما و پیمانکار در درصدهای مختلف تخصیص ریسک تعیین گردد. برای این منظور با استفاده از نظر خبرگان نمودار ۱ تهیه شد. در این جدول هزینه‌های کارفرما و پیمانکار در درصدهای تخصیص ریسک مختلف به کارفرما به دست آمده است.

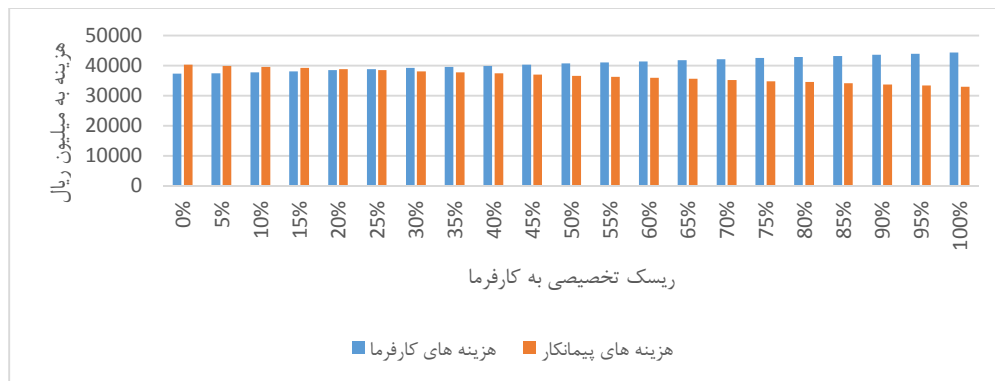
تخصیص کمی ریسک با استفاده از نظریه بازی‌ها و تسهیم ریسک به پیمانکار و کارفرما

در این تحقیق هزینه‌های ناشی از ریسک تورم به‌عنوان پیامدهای کارفرما و پیمانکار در نظر گرفته می‌شود. بازیکن اول باید پیشنهادی بین ارزش فعلی حداکثر و حداقل آنچه بازیکن دوم در مرحله دوم می‌تواند به دست آورد، به‌طرف دیگر ارایه کند.



شکل ۲. شبکه بیزین مربوط به اعتبار سنجی تخصیص‌های صورت گرفته از سوی خبرگان

نمودار ۱. هزینه‌های کارفرما و پیمانکار در درصدهای مختلف تخصیص ریسک (میلیون تومان)



تفاوت میزان سود پیمانکار در شرایط تخصیص ریسک ۱۰٪ و ریسک پیشنهادی ۶۵٪ برابر است با $C_c = C_{c_{100\%}} - C_{c_{65\%}} = 40280 - 37722 = 2558$. با فرض نرخ بهره $r_c = 15\%$, $r_o = 5\%$ به ترتیب برای پیمانکار و کارفرما، عامل تنزیل

$$\delta_c = \frac{1}{1+r_c} = \frac{1}{1+0.15} = 0.87$$

و $\delta_o = \frac{1}{1+r_o} = \frac{1}{1+0.20} = 0.95$ به دست می‌آید.

$$S_o = \frac{(1-\delta_c)}{(1-\delta_o\delta_c)} \times C_c = \frac{(1-0.87)}{(1-0.87*0.95)} \times 2558 = 1942$$

$$S_c = \frac{\delta_c(1-\delta_o)}{(1-\delta_o\delta_c)} \times C_s = \frac{0.87(1-0.95)}{(1-0.87*0.95)} \times 2558 = 616$$

S_o و S_c به ترتیب سهم کارفرما و پیمانکار از میزان سود پیمانکار است. پس از پایان چانه‌زنی، هزینه کارفرما در تخصیص ریسک ۳۵٪ برابر است با:

$$C_o = C_{o_{35\%}} + S_o = 39548 - 1942 = 37606$$

$$C_c = C_{c_{65\%}} + S_c = 37722 + 616 = 38338$$

با توجه به هزینه جدید می‌توان جداول ۹ و ۱۰ را تشکیل داد. هزینه‌های کارفرما و پیمانکار در تخصیص ریسک به روش‌های پویایی سیستم و نظریه بازی‌ها به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. با مشاهده این جداول دیده می‌شود که هزینه‌های کارفرما و پیمانکار در روش نظریه بازی‌های پیشنهادی در مقایسه با حالتی که تنها کارفرما را در نظر گرفتیم، کاهش یافته است.

جدول ۹. مقایسه هزینه کارفرما در دو روش مختلف

تخصیص ریسک

روش تخصیص کمی ریسک	ریسک تخصیصی به کارفرما (%)	هزینه کارفرما (میلیون ریال)
در نظر گرفتن تنها کارفرما	۰	۳۷۶۲۰
روش نظریه بازی‌ها	۳۵	۲۷۶۰۶

همان‌طور که از نمودار ۱ پیداست هزینه‌های کارفرما در درصدهای تخصیص ریسک بالا به کارفرما، به دلیل پذیرش اکثریت مسئولیت ناشی از ریسک افزایش هزینه‌ها از مقدار پیش‌بینی شده افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشخص است در درصد ریسک صفر درصد به کارفرما، حداقل هزینه برای کارفرما اتفاق افتاده است. بنابراین با در نظر گرفتن داده‌های ۱۵ کیلومتر از آزادراه تهران رشت مینیمم مجموع هزینه‌های کارفرما و پیمانکار با در نظر داشتن ریسک موردنظر در تخصیص ۳۵٪ ریسک به کارفرما و ۶۵٪ ریسک به پیمانکار اتفاق می‌افتد که برابر با ۷۷۲۷۰ میلیون ریال است.

در جدول ۷ در دو حالت تخصیص ریسک هزینه‌های پیمانکار بیان شده است.

جدول ۷. مقایسه هزینه پیمانکار در دو رویکرد تخصیص ریسک

ریسک تخصیصی به پیمانکار (%)	هزینه پیمانکار (میلیون ریال)
۶۵٪	۳۷۷۲۲
۱۰۰٪	۴۰۲۸۰

در صورت توافق طرفین بر تقسیم عادلانه سود حاصل از توافق جدید هم کارفرما و هم پیمانکار تمایل به انعقاد قرارداد با شرایط تخصیص ریسک جدید را خواهند داشت. کاهش مجموع هزینه‌ها عوامل، به معنای افزایش توأمان منافع کارفرما و پیمانکار نیست. در این خصوص پیمانکار در صورت تخصیص ریسک قبلی (صفر درصد به کارفرما و ۱۰۰ درصد به پیمانکار) را نادیده می‌گیرند که از کاهش هزینه‌هایشان در درصد تخصیص جدید (۳۵٪ کارفرما و ۶۵٪ پیمانکار) اطمینان داشته باشند. از طرف دیگر با توجه به جدول بالا در تخصیص جدید، هزینه پیمانکار کاهش پیدا می‌کند. برای هزینه‌های کارفرما در دو رویکرد ریسک جدول ۸ را می‌توان تشکیل داد، با توجه به جدول فوق، در ریسک ۳۵٪ هزینه‌های کارفرما افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۸. مقایسه هزینه کارفرما در دو رویکرد تخصیص ریسک

ریسک تخصیصی به کارفرما (%)	هزینه کارفرما (میلیون ریال)
۳۵٪	۳۹۵۴۸
۰٪	۳۷۳۲۰

جدول ۱۰. مقایسه هزینه پیمانکار در دو روش مختلف

تخصیص ریسک

روش تخصیص	ریسک تخصیصی به پیمانکار (%)	هزینه پیمانکار (میلیون ریال)
کمی ریسک	۱۰۰	۴۰۲۸۰
در نظر گرفتن تنها کارفرما	۶۵	۳۸۳۳۸

رو آوردن به دعاوی و نیز طراحی محافظه کارانه، بخشی از هزینه‌های خود را جبران نماید.

تخصیص ریسک در پروژه‌ها که طی اسناد و مدارک منضم به قرارداد انجام می‌شود، معمولاً بدون توجه به شرایط حاکم بر پروژه و نیز شرایط عوامل قراردادی درگیر در پروژه انجام می‌شود. به‌طور مرسوم کارفرمایان به دنبال تخصیص یک‌جانبه ریسک و واگذاری اکثر مسئولیت ناشی از ریسک‌ها به پیمانکار می‌باشند. در تخصیص یک‌جانبه ریسک که یک عامل سعی در انتقال مسئولیت تمام ریسک‌ها به سایر عوامل دارد، اثرات نامطلوبی بر منافع هر دو عامل انتقال‌دهنده و انتقال‌گیرنده ریسک داشته و پذیرنده ریسک را بر آن خواهد داشت تا با استفاده از به‌کارگیری برخی سیاست‌های تدافعی نظیر کاهش کیفیت، رو آوردن به دعاوی و نیز طراحی محافظه کارانه، بخشی از هزینه‌های خود را جبران نماید. در این پژوهش پس از پیمایش میدانی و جمع‌آوری پرسشنامه‌های توزیع شده به آزمون‌هایی درخصوص میزان دقت و صحت و پایایی پاسخ‌ها پرداختیم به کمک انجام آزمون نیکویی برازش داده‌ها، پس از انجام این آزمون سطح معنی‌داری هر یک از ریسک‌ها کمتر از ۰,۰۵ می‌باشد، میزان پایایی پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق با توجه به اینکه سؤالات به‌صورت چندگزینه‌ای می‌باشند از ضریب آلفای کرون باخ استفاده شده است. با توجه به این نوع از کاربرد ضریب آلفای کرون باخ نگاشته شده است. بررسی برخی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش نگرش نشان می‌دهد که این ضریب به‌منظور ساخت ابزار قابل‌اعتماد مورد استفاده بسیاری از پژوهشگران در حوزه‌های مختلف بوده است. در این پژوهش یک عدد واحد که از ترکیب وزنی سه اثر هزینه و زمان و کیفیت به‌دست آمده است محاسبه و برای یافتن شدت ریسک‌های موردنظر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق می‌توان هر یک از اثرات را به‌صورت تکی برای محاسبه‌ی شدت ریسک در نظر گرفت. تخصیص کمی صورت گرفته در این پژوهش از میان ده ریسک برتر تنها بر روی عامل افزایش هزینه‌ها از مقدار پیش‌بینی شده از دسته‌ی ریسک‌های مالی می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد تحقیقی در جهت تخصیص کمی ریسک

مقایسه نتایج تخصیص کمی و کیفی

در این بخش از ۱۰ نفر خبره در حوزه پروژه‌های راه‌سازی، خواسته شده است که به‌منظور تخصیص بهینه ریسک‌ها مسئولیت هر ریسک را به یکی از طرفین قرارداد یعنی کارفرما یا پیمانکار و یا مشترکاً بین آن‌ها واگذار نمایند. طبق این پیمایش از ۱۰ ریسک برتر شناسایی شده تعداد ۳ مورد به کارفرما، تعداد ۴ مورد به پیمانکار و تعداد ۲ مورد بین کارفرما و پیمانکار به‌صورت مشترک تخصیص داده شده است. با توجه به جداول می‌توان دریافت که مینیمم هزینه برای پیمانکار در ریسک ۶۵٪ اتفاق می‌افتد که این نتیجه سازگار با نتیجه حاصل از جدول مربوط به نظر خبرگان درباره افزایش هزینه از مقدار پیش‌بینی شده است.

۵- نتیجه‌گیری

تخصیص ریسک در پروژه‌ها که طی اسناد و مدارک منضم به قرارداد انجام می‌شود، معمولاً بدون توجه به شرایط حاکم بر پروژه و نیز شرایط عوامل قراردادی درگیر در پروژه انجام می‌شود. به‌طور مرسوم کارفرمایان به دنبال تخصیص یک‌جانبه ریسک و واگذاری اکثر مسئولیت ناشی از ریسک‌ها به پیمانکار می‌باشند. در تخصیص یک‌جانبه ریسک که یک عامل سعی در انتقال مسئولیت تمام ریسک‌ها به سایر عوامل دارد، اثرات نامطلوبی بر منافع هر دو عامل انتقال‌دهنده و انتقال‌گیرنده ریسک داشته و پذیرنده ریسک را بر آن خواهد داشت تا با استفاده از به‌کارگیری برخی سیاست‌های تدافعی نظیر کاهش کیفیت،

- Bing, L., Akintoye, A. and Hardcastle, C., (2007), "The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK", *International Journal of Project Management* 23 (2), pp. 25-35.

-Gupta, A., Trivedi, M., Kansal, R. and Scholar, P., (2013), "Risk variation assessment of indian road ppp projects", *International Journal of Science, Environment*, 5(2), pp. 1017-1026.

-Medda, F., (2007), "A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships", *International Journal of Project Management*, 25(3), pp.213-218.

-Project Management Institute, (2004), "PMBOK Guide, A guide to the project management body of knowledge", four compus boulevard USS, pp. 19073-3299.

-Silva, L. H., & Crispim, J. A., (2014). The project risk management process, a preliminary study. *Procedia technology*, 16, 943-949.

-Valipour, A., Sarvari, H., Yahaya, N., Norhazilan, M. N., and Khoshnava, S. M. (2014). Analytic Network Process Approach to Risk Allocation of EPC Projects Case Study: Gas Refinery EPC Projects in Iran. In *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications Ltd. Vol. 567, pp. 654-659.

- Yun-na, W., Xin-liang, H., Ling-shuang, X. and Ze-zhong, L., (2012), "Research on Risk Allocation of Public-private Partnership Projects Based on Rough Set Theory", *Communications in Information Science and Management Engineering*, 2(7).

در صورت در دسترس بودن داده‌ها برای ریسک‌های بیشتری انجام گردد. پس از شناسایی ریسک‌ها در ادامه این پژوهش به دلیل تأثیرپذیری ریسک‌ها از عوامل داخلی و خارجی می‌توان با استفاده از روشی مناسب مانند روش پویایی سیستم ابتدا با در نظرگیری کلیه عوامل و فاکتورهای اثرگذار میزان تغییرپذیری زمان پروژه و هزینه پروژه و کیفیت پروژه را محاسبه و مدل‌سازی کرد.

۶- مراجع

- خانزادی، م. نصیرزاده، ف. و رضایی، م.، (۱۳۸۹)، "تخصیص بهینه کمی ریسک با استفاده از رویکرد پویایی سیستم"، ششمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، تهران، گروه پژوهشی آریانا.

- خزائنی، گ و احمدی، ل.، (۱۳۸۴)، "مدیریت ریسک در پروژه‌های کلان با رویکرد BOT"، دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، تهران، گروه پژوهشی آریانا.

- محمد بیگی، س.، (۱۳۹۰)، "تخصیص بهینه ریسک در پروژه‌های BOT با رویکرد PMBOK"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

Quantitative Risk Allocation of BOT Projects in Road Construction

*Maryam Rajeyian, M. Sc., Grad., Industrial and Systems Engineering Faculty,
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

*Nasim Nahavandi, Professor, Industrial and Systems Engineering Faculty,
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

Email: n_nahavandi@modares.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: February 2023

ABSTRACT

Today, the method of Build, Operation and Transfer (BOT) of accepted and effective methods for investing in the construction of fast infrastructure projects is required by countries. However, several risks may affect the BOT contracts. One of the most significant topics in study of BOT is process of its allocation to public and private sections. In this paper, by presenting the position of the risk-sharing process in the formation of BOT projects, a framework is developed for how to allocate risk among the project's agents. Therefore, before starting a project and contracting, each of the project risks must be determined according to the appropriate criteria. Study continues by studying risk's allocation in two quantitative and qualitative levels. Qualitative model uses Bayesian model to allocate risk for employer and contractor in 93.56% and 98.31% levels of significance. In order to identify the risks in the high way project of Tehran-Rasht, 30 questionnaires are run and then qualitative assigning and sharing the risk is done. In quantitative model, game theory is used to allocate minimum of total cost while 35% of risk assigned to employer and 65% to contractor.

Keywords: BOT, Risk Allocation, Game Theory, Bayesian Method