

# رویکرد اختیارات نامتعارف در تسهیم ریسک درآمد آزادراه‌های مشارکت

## عمومی - خصوصی

مقاله پژوهشی

آیدا رحیمی گلخندان\*، دانشجوی دکتری، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
محمود گلابچی، استاد، گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: aida.rahimi@ut.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۲/۲۷ - پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۵

صفحه ۱۷۶-۱۵۷

### چکیده

تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های راهسازی مشارکت عمومی-خصوصی مسأله‌ای چالشی است که تئوری اختیارات یکی از رویکردهای متداول حل آن محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، با چشم‌اندازی فراتر از اختیارات استاندارد رایج در مدلسازی راهکارهای این مسأله، پیشنهاد تعدادی از اختیارات نامتعارف کاربردی در طراحی مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد این پروژه‌ها و روش ارزیابی و مقایسه آن‌ها است. در این پژوهش، طی مجموعه مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته‌ای، نظرات خبرگان درباره بازتاب اختیارات نامتعارف پیشنهادی در تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی دریافت شد. سپس با تحلیل محتوای حاصل از مصاحبه‌ها، کاربرد این اختیارات در تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه روشن، و مکانیزم‌های پیشنهادی طراحی شد. پیش‌بینی درآمد‌های پروژه طی بهره‌برداری، طبق مدل حرکت براونی هندسی و ارزیابی مقدار پرداختی اختیارات حاضر در این مکانیزم‌ها، با شبیه‌سازی مونت کارلو انجام شد. نهایتاً، کاربرد مکانیزم‌های پیشنهادی در یک پروژه واقعی آزموده شد. نتایج این پژوهش به‌عنوان تمهیداتی نوین در تسهیم ریسک درآمد پروژه، از دولت و بخش خصوصی، به‌عنوان ذینفعان اصلی پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی در مسیر الف) طراحی مکانیزم‌های کارآمد و دقیق تسهیم ریسک درآمد، ب) شبیه‌سازی درآمد‌ها طی بهره‌برداری، پ) محاسبه پرداختی نهایی مکانیزم‌ها با الگوی اختیارات و ت) ارزیابی طیف ریسک ذینفعان با ترجیحات متنوع ریسک‌پذیری در مکانیزم‌های مختلف، پشتیبانی می‌کنند. این پژوهش نشان می‌دهد که اختیارات نامتعارف می‌توانند دقت، قابلیت و انعطاف مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی را بهبود ببخشند و دولت و بخش خصوصی را به وضعیت برد-برد، از مسیر مکانیزمی که انتظارات و استراتژی‌های هر دو طرف را برآورده می‌کند، هدایت کند.

واژه‌های کلیدی: اختیارات نامتعارف، پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی، تسهیم ریسک درآمد

### ۱-مقدمه

بهره‌برداری و یا قیمت خدمات پروژه باشد (یسکامب، ۲۰۰۲). وجه منفی این ریسک را می‌توان، با احتمال عدم‌دستیابی به درآمد کافی برای تأمین هزینه‌های بهره‌برداری و بازپرداخت وام‌ها، ضمن حفظ بازگشت سرمایه کافی برای سهامداران شرکت پروژه تعریف کرد. تخصیص و مدیریت ریسک درآمد موضوعی حیاتی در اجرای پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی است (لیو و دیگران، ۲۰۱۷)، چرا که یکی

پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی را می‌توان با هزینه‌های عظیم بازگشت‌ناپذیرشان، ساختارهای تأمین‌مالی بلندمدت بدون حق‌رجوع یا با حق‌رجوع محدود<sup>۱</sup> به شرکت مادر، همچنین با سطح بالای ریسک‌ها و عدم قطعیت‌هایشان، توصیف کرد (چن و دیگران، ۲۰۱۷). ریسک درآمد، که می‌تواند سودآوری این پروژه‌ها را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد، ریسک مالی شرکت پروژه است که منشاء آن می‌تواند در حجم

معامله کند. ارزش اختیار در این حالت معادل اختلاف بهای جاری و بهای مبنا خواهد بود (کراندول، ۲۰۰۸).

در سال‌های گذشته شاهد افزایش تحقیقات در زمینه کاربرد تئوری اختیارات در مدیریت ریسک درآمد پروژه‌های بزرگراهی مشارکت عمومی-خصوصی بوده‌ایم (بیوکیورون و گوندش، ۲۰۱۷)، (چن و دیگران، ۲۰۱۷)، (کرنارا، کاستنتینو و پالگریانو، ۲۰۱۴)، (چاپارا و کاکتو، ۲۰۱۳)، (کاکتو و چاپارا، ۲۰۱۳)، (آشوری و دیگران، ۲۰۱۲) (براندانو و دیگران، ۲۰۱۲)، (آبر و صغیر، ۲۰۱۱)، (شان، گاروین و کومار، ۲۰۱۰)، (براندانو و ساریوا، ۲۰۰۸)، (چاپارا، گاروین و سر، ۲۰۰۷)، (چیا و لیو، ۲۰۰۶)، (هوانگ و چو، ۲۰۰۶)، (ویسو، ۲۰۰۴)، (گاروین و چیا، ۲۰۰۴)، (رز، ۱۹۹۸). تسهیم ریسک درآمد پروژه در این تحقیقات، از هر دو منظر تسهیم ریسک منفی (کسری) و ریسک مثبت (سرریز) درآمد شرکت پروژه با دولت، به صورت مجموعه‌ای متوالی از اختیارات خرید و فروش اروپایی طی مدت امتیاز بهره‌برداری این پروژه‌ها و اغلب با الگوی اختیارات استاندارد مدلسازی شده‌اند. از سوی دیگر، نسل دوم اختیارات استاندارد، اختیارات نامتعارف هستند که ساختارهای پرداخت پیچیده‌تری نسبت به نسل اول خود دارند (ژانگ، ۱۹۹۵). از جمله اختیارات نامتعارف می‌توان از اختیارات آسیایی<sup>۱۰</sup>، بازگشتی<sup>۱۱</sup>، آستانه<sup>۱۲</sup>، برمودایی<sup>۱۳</sup>، استرالیایی<sup>۱۴</sup>، گزینشی<sup>۱۵</sup>، زوجی<sup>۱۶</sup>، ترکیبی<sup>۱۷</sup>، شکاف<sup>۱۸</sup> و رنگین‌کمانی<sup>۱۹</sup> نام برد (بریلی، مایرز، الن و موهانتی، ۲۰۱۲، ص. ۵۴۴) (چاپارا، گاروین و سر، ۲۰۰۷). ارزش این اختیارات، نه تنها به بهای جاری (واقعی) دارایی مربوط در زمان سررسید، بلکه به مسیر تغییرات بهای واقعی طی مدت قرارداد هم، بستگی دارد (راس، ۲۰۱۱).

می‌توان از ویژگی وابستگی به مسیر<sup>۲۰</sup> در اختیارات نامتعارف، با هدف بهبود دقت و تکمیل مکانیزم‌های تسهیم ریسک بهره برد، چرا که در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه، ذینفعان ممکن است، تنها درآمد پایان یک دوره (مثلاً یک سال) را، در تعیین «استحقاق شرکت پروژه به دریافت مبالغ جبرانی کسری درآمد» یا «استحقاق دولت به دریافت بخشی از سرریز درآمد پروژه» برای آن دوره کافی ندانند. می‌توان با الگوی اختیارات نامتعارف، در بررسی چگونگی تسهیم ریسک درآمد هر سال، علاوه بر درآمد آن سال، سوابق درآمدزایی پروژه طی بهره‌برداری را هم در نظر گرفت. در تحقیقات بررسی شده در زمینه تسهیم ریسک درآمد، از میان اختیارات نامتعارف، فقط

از معیارهای جذابیت این پروژه‌ها برای بخش خصوصی، چگونگی تسهیم این ریسک بین ذینفعان است و اگر سهم سرمایه‌گذاران بخش خصوصی بیشتر از گستره ریسک‌پذیری آن‌ها باشد، از ورود به پروژه صرف‌نظر خواهند کرد.

با هدف جذب منابع مالی برای پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی بزرگراهی، در شرایط عدم قطعیت درآمد و دوام مالی<sup>۲</sup> این پروژه‌ها، لیو و همکارانش (۲۰۱۷)، انواع مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد و حمایت مالی دولت را به «پرداخت در ازاء دسترسی»<sup>۳</sup>، «تضمین حداقل درآمد»<sup>۴</sup> و «قراردادهای مدت معطوف»<sup>۵</sup> دسته‌بندی کرده‌اند. ناتوانی دولت در ارزیابی این راهکارها و طراحی مکانیزمی کارآمد برای تسهیم ریسک درآمد، می‌تواند منجر به عدم پیش‌بینی حمایت‌های کافی از بخش خصوصی و یا پشتیبانی مالی بیش از حد لزوم در آینده شود. در تضمین حداقل درآمد، دولت سطوح معینی از درآمد را برای دوره‌های معین (مثلاً سالانه) طی بهره‌برداری تضمین می‌کند و هر بار که درآمد پروژه کمتر از این سطوح باشد، سرمایه‌گذار اختیار مطالبه کسری درآمد خود از دولت را خواهد داشت (کرنارا، کاستنتینو و پالگریانو، ۲۰۱۴). تضمین درآمد از ابتدای قرارداد پرداخت مشخصی به دولت تحمیل نمی‌کند و تعیین هزینه این مکانیزم حمایتی برای دولت، تنها با ارزیابی تعهدات احتمالی آینده‌اش طبق پیش‌بینی درآمدزایی پروژه طی بهره‌برداری امکان‌پذیر است. در مکانیزم‌های تضمین درآمد بزرگراه‌های عوارضی، برای تعیین مقدار پرداخت‌های احتمالی دولت طی بهره‌برداری، رویکرد محاسباتی رایج متکی به تئوری اختیارات مالی و تکنیک‌های ارزیابی آن بوده‌است (اروین، ۲۰۰۳).

در ادبیات مالی، اختیار خرید<sup>۶</sup>، توافق بر حق خرید و اختیار فروش<sup>۷</sup>، توافق بر حق فروش یک دارایی مبنا<sup>۸</sup> به قیمتی معین هستند. از نظر زمان مجاز استفاده از این حق، اختیارات به دو دسته الف) اروپایی که تنها در پایان عمر آن (سررسید)<sup>۹</sup> و ب) امریکایی که در هر زمانی قبل از سررسید امکان تحقق<sup>۱۰</sup> دارند، تقسیم می‌شوند (بریلی، مایرز، الن، ۲۰۱۳، ص. ۵۰۳) (راس، ۲۰۱۱، ص. ۷۷) (هال، ۲۰۰۳، ص. ۱۵۱). در زمان سررسید معین، در اختیارات خرید اروپایی، اگر بهای جاری<sup>۱۱</sup> بیشتر از بهای مبنا<sup>۱۲</sup> باشد، و در اختیارات فروش اروپایی اگر بهای جاری کمتر از بهای مبنا باشد، اختیاردار<sup>۱۳</sup> می‌تواند اختیار را محقق کند و متعهد اختیار<sup>۱۴</sup> باید دارایی را به بهای مبنا،

واقعی<sup>۲۷</sup> است که دارایی‌های غیرمالی یا واقعی<sup>۲۸</sup> را مدنظر قرار می‌دهند. بریلی، مایرز و الن (۲۰۱۳) نقش اختیارات واقعی در پروژه‌ها را، فراهم کردن انعطاف لازم برای تغییرات و اصلاحات در دوره عمر پروژه‌ها دانسته‌اند. در تسهیم ریسک درآمد پروژه‌ها نیز، ساختارهای تضمین درآمد و تسهیم سرریز درآمد نشان می‌دهند که تکنیک‌های تحلیل اختیارات، الگوهای مناسبی برای طراحی چنین مکانیزم‌هایی هستند (ویبوو، ۲۰۰۴).  
بر اساس فهرست هال (۲۰۰۳) و با نگاه به تناظر آن در تحقیقات موجود در زمینه تسهیم ریسک درآمد پروژه‌ها با الگوی اختیارات، برای تعیین ارزش اختیارات استاندارد پنج پارامتر اصلی لازم هستند (جدول ۱).

جدول ۱. پارامترهای تعیین ارزش اختیارات

ردیف	عنوان پارامتر	معادل پارامتر در مسأله تسهیم ریسک درآمد
۱	بهای جاری Current Price	مقدار واقعی درآمد سالانه
۲	بهای مبنا Strike Price	درآمد مبنای سالانه
۳	زمان سررسید Maturity	بازه‌های گسسته (مثلاً یک‌ساله) طی بهره‌برداری برای اختیاراتی متوالی
۴	پراکندگی قیمت Volatility	پراکندگی درآمد
۵	نرخ تنزیل بدون ریسک Risk free interest rate	نرخ تنزیل بدون ریسک

ارزش اختیارات مالی استاندارد در زمان سررسید آن‌ها، از تفاضل بهای واقعی دارایی (بهای جاری) و بهای مبنای آن به‌دست می‌آید و در اختیارات خرید (فروش) اگر بهای جاری از بهای مبنا کمتر (بیشتر) باشد مقدار پرداختی یا ارزش اختیار صفر خواهد شد (رابطه ۱) (راس، ۲۰۱۱) (نوین و همکارانش، ۲۰۱۷) (بیوکیورن و گوندش، ۲۰۱۷).

$$P = \max[\omega(0, K - S_T)] \quad (۱)$$

K: بهای مبنا  
S<sub>T</sub>: بهای جاری در سررسید

ω: مولفه تعیین جهت اختیار

(در اختیار فروش ۱ و در اختیار خرید -۱)

اختیارات شکاف و آستانه توسط نوین و همکارانش (۲۰۱۷) و اختیارات برموردایی و استرالیایی توسط چایارا، گاروین و وسر (۲۰۱۷) و چایارا و کاکپو (۲۰۱۳) به‌کار رفته‌اند.

در راستای ارتقای مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی، هدف این پژوهش نخست پیشنهاد رویکردهای جدیدی فراتر از اختیارات استاندارد رایج در تحقیقات گذشته مبتنی بر اختیارات نامتعارف شکاف، آسیایی، بازگشتی و پارسی، در تسهیم ریسک درآمد این پروژه‌ها است. در ادامه آن، هدف ارائه فرایند ارزیابی کمی و مقایسه ارزش سناریوهای تسهیم ریسک متفاوت مبتنی بر این اختیارات، با روش شبیه‌سازی مونت کارلو است. آشنایی با اختیارات نامتعارف کاربردی در تسهیم ریسک درآمد پروژه و یافتن مسیر ارزیابی منافع ذینفعان در هر یک از این مکانیزم‌های مبتنی بر اختیارات ارزشمند است؛ چرا که بدون چنین رویکردی ممکن است به‌دلیل گنگی موضوع اختیارات و به ویژه اختیارات نامتعارف، متولیان و سرمایه‌گذاران پروژه‌ها به‌سادگی از مکانیزم‌هایی که با نیازمندی‌ها و شرایط خود و پروژه‌شان سازگارتر باشد، چشم‌پوشی کنند. مهم‌تر اینکه، اگر تلاشی برای کمی کردن میزان ریسک ذینفعان و مقایسه آن، در مکانیزم‌های فعلی رایج و انواع مکانیزم‌های مبتنی بر اختیارات نشود، ممکن است دولت حمایت غیرضروری بیشتری به بخش خصوصی اعطا کند، یا به درستی مکانیزم تسهیم ریسک درآمد خود اطمینان کافی نداشته باشد. بخش خصوصی نیز ممکن است از ارزش واقعی مکانیزم حمایتی که برای مواجهه با ریسک درآمد دریافت می‌کند، مطمئن نباشد. بدون روشی کارآمد برای ارزیابی مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی و شاخص‌های ملموسی برای نزدیک کردن انتظارات ذینفعان در راستای توافق بر مکانیزم مطلوب، حتی امکان صرفنظر طرفین، عدم شکل‌گیری یک پروژه زیرساختی ضروری و روی دادن وضعیت باخت-باخت وجود دارد.

## ۲-پیشینه تحقیق

تئوری اختیارات دو شاخه پژوهشی اصلی را در بر می‌گیرد. مسیر پژوهشی اول، در زمینه اختیارات مالی<sup>۲۶</sup> است که دارایی‌های قابل مبادله در بازارهای مالی مثل اوراق و سهام بورس را مدنظر قرار می‌دهند، و مسیر دوم، در زمینه اختیارات

بهای جاری دارایی در سررسید، بلکه مسیری که بهای دارایی طی آن، از ابتدای قرارداد به بهای جاری در سررسید انجامیده است، هم اهمیت داشته باشد (نوبن و همکارانش، ۲۰۱۷). با توجه به قابلیت اختیارات نامتعارف در بهبود ساختارهای تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مشارکت عمومی - خصوصی، این پژوهش به بررسی کاربرد اختیارات استاندارد، در کنار اختیارات نامتعارف شکاف، آسیایی، بازگشتی و پارسی (جدول ۲) در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد می‌پردازد.

اختیارات نامتعارف هر یک، حداقل یک جنبه متمایز با اختیارات استاندارد دارند که با کمک آن بخشی از محدودیت‌های اختیارات استاندارد را پشت سر می‌گذارند (ژانگ، ۱۹۹۵) و از این رو، ابزارهای دقیق‌تر، منعطف‌تر و ساختاریافته‌تری بشمار می‌آیند. به همین دلیل، پرداختی هریک از اختیارات نامتعارف، علاوه بر پنج پارامتر جدول ۱، به یک یا چند پارامتر دیگر هم بستگی دارد. ویژگی وابستگی به مسیر در این اختیارات، موجب می‌شود که در تعیین پرداختی، نه تنها

جدول ۲. تعریف اختیارات نامتعارف پیشنهادی در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد

عنوان	تعریف	پارامترهای ساختاری بیشتر
شکاف (Gap)	پرداختی این اختیارات، اختلاف بین مقدار بهای جاری دارایی و مقدار مشخص دیگری، متفاوت با بهای مبنا است (ژانگ، ۱۹۹۵) مقدار پرداختی منوط به وقوع رویداد شکاف است که در اختیارات فروش (خرید) تغییری نزولی (صعودی) به مقدار معین ظرف مدت معین در بهای جاری است (تانکوف، ۲۰۱۰)	شاخص تعیین کننده مقدار شکاف
آسیایی (Asian)	مقدار پرداختی این اختیارات در زمان تحقق، وابسته به اختلاف بین بهای مبنای دارایی و میانگین بهای دارایی از زمان عقد قرارداد تا زمان تحقق است. (راس، ۲۰۱۱) (ژانگ، ۱۹۹۵).	مجموعه‌ای از بهای دارایی از ابتدای قرارداد تا سررسید
بازگشتی (Look-back)	مقدار پرداختی اختیار فروش (خرید) بازگشتی، از تفاضل کمترین (بیشترین) بها در گذشته به عنوان بهای مبنا، با بهای واقعی در زمان تحقق به دست می‌آید (راس، ۲۰۱۱).	بیشترین یا کمترین بهای دارایی از ابتدای قرارداد تا سررسید
پارسی (Parisian)	در اختیارات آستانه، فعال یا خاموش شدن اختیار می‌تواند طبق قرارداد، با وقوع رویداد عبور متغیری معلوم از آستانه یا باقی ماندن آن در مرز آستانه تعریف شود. به این ترتیب به موجب شرایطی معین، اختیاری که در زمان قرارداد وجود نداشت فعال، یا اختیاری که در قرارداد منظور شده بود غیرفعال می‌شود (نوبن و همکارانش، ۲۰۱۷) (هانگ، لی و لی، ۲۰۱۵). اختیارات پارسی، نوع خاصی از اختیارات آستانه هستند که در آن‌ها طبق شرایط قرارداد، وقتی متغیری معلوم به‌طور مداوم و به مدت از پیش معینی که «مدت سیر» <sup>۲۹</sup> نامیده می‌شود بالاتر یا پایین‌تر از سطح شاخص آستانه بماند، اختیار فعال یا خاموش می‌شود (چزنی، ژانبلانش پیکو و یور، ۱۹۹۷) (داسیوس و وو، ۲۰۱۰).	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> متغیر آستانه</li> <li><input type="checkbox"/> شاخص آستانه</li> <li><input type="checkbox"/> مدت سیر</li> </ul>

این فرایند برای نشان دادن پویایی متغیرهایی که طی زمان تکامل تصادفی دارند استفاده می‌شود و در پروژه‌های زیرساخت می‌توان جریان نقدی حاصل از پروژه یا متغیرهای دخیل در ایجاد آن مثل هزینه‌ها و درآمدها را، به‌عنوان متغیر پایه  $X$ ، در این فرایند تصادفی در نظر گرفت. در رابطه ۲،  $\mu$  مؤلفه رانش<sup>۳۳</sup> است که میانگین نرخ رشد متغیر اصلی  $X$  طی زمان و پارامتر شیب در نمودار مقدار متغیر  $X$  نسبت به زمان می‌باشد.  $\sigma$  نیز مؤلفه پراکندگی<sup>۳۴</sup> و حاکی از نوسانات کوتاه‌مدت مقدار در حال رشد متغیر اصلی  $X$  است، که حول شیب افزایشی آن اتفاق می‌افتد و در نهایت  $\epsilon$ ، متغیری تصادفی با توزیع نرمال استاندارد است ( $\epsilon \sim N(0,1)$ ). (گاروین و چیا، ۲۰۰۴) (دیکسیت و پیندیک، ۱۹۹۴)، (هال، ۲۰۰۳). گاروین و چیا (۲۰۰۴)، روش‌های تعیین پرداختی اختیارات را به دو گرایش کلی زمان-پیوسته<sup>۳۵</sup> و زمان-گسسته<sup>۳۶</sup> تفکیک کرده‌اند. در

در جدول ۲، ستون پارامترهای ساختاری بیشتری که، این اختیارات نامتعارف علاوه بر پارامترهای اختیارات استاندارد (جدول ۱) برای تعیین پرداختی لازم دارند، تمایز ساختار پرداختی آن‌ها را با اختیارات استاندارد نشان می‌دهد.

در ارزیابی اختیارات، ابتدا یک یا چند متغیر با فرایندهای تصادفی نشان داده می‌شوند. فرایند تصادفی وینر (براونی)<sup>۳۰</sup> مبنای مدل‌های ارزیابی اختیارات شمرده می‌شود و طبق تئوری اختیارات می‌توان آن را، به گروه وسیع‌تری از فرایندهای تصادفی زمان پیوسته به نام فرایندهای ایتو<sup>۳۱</sup> تعمیم داد. در موضوعات مالی شکل مطلوب و مهم فرایند ایتو، «حرکت براونی هندسی»<sup>۳۲</sup> مطابق رابطه ۲ است.

$$dx = \mu x dt + \sigma x \epsilon \sqrt{dt} \quad (2)$$

دیفرانسیل، به دلیل پیچیدگی‌های ناشی از تعدد اختیارات متوالی در عمر بهره‌برداری یک پروژه آزادراهی و مفروضات متعدد لازم، چندان مورد علاقه محققان این حوزه پژوهشی نبوده است (شان، گاروین و کومار، ۲۰۱۰) و (هوانگ و چو، ۲۰۰۶) و از بین رویکردهای محاسباتی زمان-پیوسته، عموماً شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است (نونین، ۲۰۱۷)، (بیوکورون و گوندش، ۲۰۱۷)، (کربنارا، کاستانتینو و پالزینو، ۲۰۱۴)، (چایارا و کاکو، ۲۰۱۳)، (کاکو و چایارا، ۲۰۱۳)، (براندائو، باستین-پیتو، گومس و لابس، ۲۰۱۲)، (براندائو و ساریوا، ۲۰۰۸)، (چایارا، گاروین و وسر، ۲۰۰۷)، (چیا و لیو، ۲۰۰۶)، (ویوو، ۲۰۰۴). همچنین، به دلیل پیچیدگی تعریف رویکردهای زمان-گسسته و شبکه‌ای در تعیین مقدار پرداختی اختیارات مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های بزرگراهی، تحقیقات کمی این روش‌ها را به کار گرفته‌اند. (چن و دیگران، ۲۰۱۷)، (آشوری و دیگران، ۲۰۱۲) و (آیر و صغیر، ۲۰۱۱). در پیشینه این پژوهش، تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های بزرگراهی مشارکت عمومی-خصوصی با الگوی اختیارات، به دو شکل مکانیزم‌های یک‌سویه یا دوسویه، به صورت مجموعه‌ای متوالی از اختیارات استاندارد خرید و فروش اروپایی طی مدت امتیاز بهره‌برداری این پروژه‌ها مدلسازی شده‌اند. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که تعدادی از تحقیقات، تنها بر مفهوم تسهیم یک‌سویه ریسک منفی درآمد و تضمین درآمد شرکت پروژه، طبق اختیار فروش استاندارد تمرکز کرده‌اند، در حالی که در برخی تحقیقات هم مکانیزم‌های دوسویه تسهیم ریسک را پیشنهاد کرده‌اند که در آن‌ها علاوه بر ریسک منفی درآمد، مدلسازی تسهیم ریسک مثبت نیز با هدف ارائه کل یا بخشی از سرریز درآمد شرکت پروژه به دولت، با الگوی اختیارات خرید استاندارد انجام شده است.

روش‌های زمان-پیوسته، حل مسأله تعیین ارزش اختیار و مقدار متغیر اصلی  $X$  طبق رابطه ۲، مستلزم مشتق‌گیری از یک معادله دیفرانسیل جزئی است که با تعیین مجموعه‌ای از شرایط مرزی برای اختیار، محاسبه می‌شود. معادله بلک-شولز در حل اختیارات اروپایی مثال خوبی از این مدل‌هاست. فرایند عددی مشهور دیگر، تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو است که بر اساس فرایند تصادفی خود هزاران مسیر نمونه را برای متغیر اصلی طبق فرایند وینر و حرکت براونی هندسی شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های ارزیابی اختیارات زمان-گسسته از جمله مدل‌های دو جمله‌ای، سه جمله‌ای و شبکه‌ای نیز، با هدف ارائه تخمینی از مدل‌های زمان-پیوسته در مرزها ارائه شده‌اند. هر دو رویکرد مفروضات مشابهی دارند و به حل مفهومی واحد، از دو منظر ریاضی متفاوت می‌پردازند (مان، ۲۰۰۲، ص. ۱۳۹) (گاروین و چیا، ۲۰۰۴). در سال‌های اخیر شاهد افزایش تعداد تحقیقات مرتبط با تعیین ارزش مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد با کمک اختیارات، به طور خاص در پروژه‌های بزرگراهی مشارکت عمومی-خصوصی بوده‌ایم. در این تحقیقات، «درآمدهای پروژه» یا ترافیک عبوری بزرگراه که متغیر اصلی مؤثر در درآمد است، به عنوان «دارایی مبنا» در نظر گرفته شده‌اند. از این رو همواره درآمد یا ترافیک «پیش‌بینی شده» و «واقعی»، به ترتیب به عنوان پارامترهای «بهای مبنا» و «بهای جاری» تعریف شده‌اند. متناظر با پیشینه نظری، انواع روش‌های ارزیابی اختیارات برای ارزیابی مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه استفاده شده‌اند و انتخاب تکنیک مناسب ارزیابی، بستگی به ساختار مکانیزم‌ها و اطلاعات در دسترس درباره پارامترهای تعیین پرداختی آن‌ها دارد. (آیر و صغیر، ۲۰۱۱) در این راستا، رویکردهای محاسباتی زمان-پیوسته متکی بر معادلات

جدول ۳. انواع ساختارهای تسهیم ریسک درآمد پروژه با الگوی اختیارات در پیشینه این پژوهش

نوع ساختار	اجزای ساختار	جهت	متعهد اختیار	اختیاردار	منابع
یک سویه	تضمین درآمد شرکت پروژه (اختیار فروش استاندارد)	پوشش ریسک منفی درآمد	دولت	شرکت پروژه	(کربنارا، کاستانتینو و پالزینو، ۲۰۱۴)، (چایارا، گاروین و وسر، ۲۰۰۷)، (هوانگ و چو، ۲۰۰۶)، (ویوو، ۲۰۰۴)
دو سویه	تضمین درآمد شرکت پروژه (اختیار فروش استاندارد)	پوشش ریسک منفی درآمد	دولت	شرکت پروژه	(نونین، ۲۰۱۷)، (بیوکورون و گوندش، ۲۰۱۷)، (چن و دیگران، ۲۰۱۷)، (چایارا و کاکو، ۲۰۱۳)، (کاکو و چایارا، ۲۰۱۳)، (آشوری و دیگران، ۲۰۱۲) (براندائو و دیگران، ۲۰۱۲)، (آیر و صغیر، ۲۰۱۱)، (شان، گاروین و کومار، ۲۰۱۰)، (براندائو و ساریوا، ۲۰۰۸)، (چیا و لیو، ۲۰۰۶)
	تسهیم سرریز درآمد شرکت پروژه با دولت (اختیار خرید استاندارد)	پوشش ریسک منفی درآمد	شرکت پروژه	دولت	

(۲۰۰۷) به وارد کردن مفاهیم وابستگی به مسیر و الگوهای نامتعارف اختیارات شکاف، آستانه، برمودایی و استرالیایی در این موضوع پرداخته‌اند. از این رو در پیشینه این پژوهش، پرداختی مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد با الگوی اختیارات، غالباً از تفاضل «درآمد واقعی» پروژه با «درآمد مینا» در هر سال (رابطه ۳) یا بخشی از آن (رابطه ۴) حاصل می‌شود. نقطه ضعف این رویکرد نگاه صلب تحقیقات گذشته به پارامترهای دو سوی این تفاضل است، زیرا:

الف) در پارامتر درآمد واقعی، صرفاً ملاک قراردادن کسری یا سرریز درآمد واقعی یک سال، در تعیین استحقاق شرکت پروژه به دریافت مبالغ جبرانی کسری درآمد، و یا استحقاق دولت به سهم شدن در مازاد درآمد شرکت پروژه در آن سال، واقع‌گرایانه نیست. ویژگی وابستگی به مسیر در اختیارات نامتعارف، با لحاظ سوابق درآمدزایی پروژه طی بهره‌برداری به‌جای تکیه بر درآمد نهایی هر سال در تعیین پرداختی، امکان ارتقاء ساختارهای تسهیم ریسک درآمد پروژه را فراهم می‌کند. با این هدف، در این پژوهش به‌کارگیری اختیارات آسیایی و پارسی در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه پیشنهاد می‌شود.

ب) در پارامتر درآمد مینا، اتکا به درآمدهای پیش‌بینی شده در زمان قرارداد پروژه برای مدت طولانی امتیاز بهره‌برداری یک پروژه مشارکت عمومی-خصوصی می‌تواند پیامدهای ناخوشایندی برای طرفین داشته‌باشد. اگر در زمان قرارداد برآورد درآمدهای مینا برای سالیان طولانی بهره‌برداری توأم با خطاهای بزرگ باشد، در حالت پیش‌بینی خوشبینانه درآمدها، سالانه درآمدهای بسیار کمتری نسبت به درآمدهای مینا حاصل خواهد شد، که به‌موجب مکانیزم تسهیم ریسک منفی درآمد باعث «تحمیل تعهدات سنگین جبران کسری درآمد به دولت» می‌شود. از سوی دیگر، در حالت پیش‌بینی بدبینانه، حین بهره‌برداری همواره درآمدهای بسیار بیشتری نسبت به درآمدهای مینا در قرارداد حاصل خواهد شد که به‌موجب مکانیزم تسهیم ریسک مثبت درآمد، باعث «تخصیص مبالغ هنگفت مازاد درآمد شرکت پروژه، به دولت» و عدم‌انتفاع شرکت پروژه می‌شود. این دو ریسک، که به موجب مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد ایجاد می‌شوند، طبق پیکره دانش مدیریت پروژه<sup>۳۸</sup> (۲۰۱۷)، که ریسک‌های ثانویه را ناشی از اقدامات پاسخ به ریسک در پروژه تعریف می‌کند، ریسک‌های ثانویه برای ذینفعان قلمداد می‌شوند. منشاء یکسان

با مشاهده پژوهش‌های گذشته، طبق الگوی محاسبه ارزش اختیارات مالی استاندارد برای حل مسأله تسهیم ریسک درآمد، پرداختی سالانه دولت در تضمین درآمد شرکت پروژه، و پرداختی سالانه شرکت پروژه در تسهیم سرریز درآمد با دولت، با تعیین اختلاف بین درآمدهای سالانه مینا و درآمدهای واقعی تعیین می‌شود. به این ترتیب می‌توان رابطه ۱ را به شکل رابطه ۳ بازنویسی کرد. این الگوی کلاسیک که مبنای تعیین پرداختی مکانیزم‌های تسهیم ریسک با الگوی اختیارات است، به‌ویژه در ساختار تسهیم ریسک یک‌سویه، می‌تواند موجب ایجاد تعهدات سنگینی فراتر از مرزهای ریسک‌پذیری متعهد اختیار (تعهدات دولت به جبران کسری درآمد شرکت پروژه و یا تعهدات شرکت پروژه به اعطای سرریز درآمدش به دولت) شود. از این رو در تعدادی از تحقیقات گذشته، تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های بزرگراهی مبتنی بر اختیارات استاندارد، با ساختارهای سقف‌دار مدلسازی و برای پرداخت‌های متعهد اختیار (دولت در تضمین درآمد و شرکت پروژه در تسهیم سرریز درآمد) سقف سالانه (رابطه ۴) یا تجمعی در نظر گرفت شده‌است (نوین و همکارانش، ۲۰۱۷) (بیوکیورن و گوندش، ۲۰۱۷) (آیر و صغیر، ۲۰۱۱) (براندائو و ساریوا، ۲۰۰۸) (چیا و لیو، ۲۰۰۶).

اختیارات سقف‌دار<sup>۳۷</sup>، نوعی اختیار استاندارد با سقف پرداخت معین هستند که جذابیت آن‌ها حاصل سقف تعهد قابل تنظیمشان است (دنگ و پنگ، ۲۰۱۴).

$$P_y = \max [\omega (0, K_y - R_y)] \quad (3)$$

$$P_y = \min\{C_y, \max[\omega(0, K_y - R_y)]\} \quad (4)$$

$y$ : شماره سال مورد نظر

$K_y$ : درآمد مینا برای سال  $y$ ام بهره‌برداری

$R_y$ : درآمد واقعی در سال  $y$ ام بهره‌برداری

$P_y$ : مبالغ قابل پرداخت از سوی متعهد اختیار در سال  $y$ ام بهره‌برداری

$C_y$ : سقف تعهد پرداخت برای سال  $y$ ام بهره‌برداری

$\omega$ : مولفه جهت مکانیزم تسهیم ریسک که مقدار آن در تضمین درآمد، ۱ و در تسهیم سرریز درآمد -۱ است

با وجود ویژگی‌های متمایز اختیارات نامتعارف، الگوی غالب تحقیقات گذشته در زمینه کاربرد اختیارات در تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه، مبتنی بر اختیارات استاندارد، بوده‌است و از این میان، تنها نوین و همکارانش (۲۰۱۷)، چایارا و کاکيو (۲۰۱۳) و چایارا، گاروین و وسر

ریسک درآمد پروژه، از خبرگان پرسش شد. جامعه ۲۱ نفری خبرگان حاضر در مصاحبه‌ها، از مدیران ارشد و میانی وزارت راه و شهرسازی، شرکت ساخت و توسعه زیر بناهای حمل و نقل کشور و شرکت‌های پروژه<sup>۳۹</sup> آزادراه‌های مشارکت عمومی-خصوصی با حداقل ۱۰ سال سابقه کاری در پروژه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. مشارکت در مباحث طرح شده در مصاحبه‌ها مستلزم دانش، تجربه و خبرگی لازم در حوزه تأمین مالی این پروژه‌ها بود که به طور ضمنی و آشکار در لایه‌های استراتژیک و راهبردی سازمان‌ها جریان دارد، از این رو ویژگی مشترک این خبرگان، جایگاه آن‌ها در سطوح راهبردی سازمان‌ها بوده است. در پایان این مجموعه مصاحبه‌ها، تحلیل محتوای نوشتاری حاصل از منابع علمی پیشین و اطلاعات حاصل از مصاحبه‌ها، در سه مرحله با رویکرد کرسول (۲۰۱۴، ص. ۲۴۶-۲۵۰) انجام شد. در مرحله اول، صرفاً یک برداشت کلی<sup>۴۰</sup> نسبت به نقش و کارکرد هر اختیار و وجه تمایز و پارامترهای افزوده آن به دست آمد. در مرحله دوم، محتوای حاصل از منابع مطالعه شده درباره اختیارات، در کنار نظرات گردآوری شده از خبرگان مرور شد و بخش‌های<sup>۴۱</sup> مهم از متون منابع و مستندات مصاحبه‌ها، مانند عباراتی درباره شروط اعمال اختیار (تحقق پرداختی در مکانیزم تسهیم ریسک درآمد) و چگونگی محاسبه پرداختی، تقسیم‌بندی<sup>۴۲</sup> شد. سپس در این بخش‌ها، اجزای کلیدی مانند پارامترهای دخیل در شروط اعمال اختیار و روابط محاسبه پرداختی به عنوان تم‌های<sup>۴۳</sup> کلیدی کدگذاری شدند. فرایند مرور چندین باره کدگذاری، یکپارچه‌سازی کدهای همسان و کاهش کدهای تکراری، تا مقطع اشباع داده‌ها که کدهای جدیدی پدیدار نمی‌شد و دسته‌بندی بهتری برای تم‌های کدگذاری شده در مقوله‌ها، به ذهن نمی‌رسید، تکرار شد. نهایتاً کدهای اطلاعات در ۳ مقوله<sup>۴۴</sup> اصلی و ۱۰ تم کلیدی جمع‌بندی شدند (جدول ۴).

در مرحله سوم تحلیل محتوا، مقوله‌ها و تم‌های اصلی، جایگاه آن‌ها در ساختار تسهیم ریسک درآمد، سطح جزئی‌نگری و روابط آن‌ها با هم، تحلیل شد و ساختارهای تسهیم ریسک درآمد برای پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی با الگوی اختیارات نامتعارف مورد نظر طراحی شد. جدول ۵ به مزیت هر یک از مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی بر مکانیزم‌های مبتنی بر اختیارات استاندارد و جدول ۶ به معرفی دقیق ساختار این مکانیزم‌های پیشنهادی می‌پردازند. در روابط تعیین پرداختی مکانیزم‌ها در جدول ۶، مؤلفه (۵)، با هدف پرهیز از بازنویسی روابط مشابه

این دو ریسک، خطا در برآورد درآمد مینا در قرارداد است. باید در نظر داشت که با اختیارات سقف‌دار، محدود کردن حداکثر تعهدات در مکانیزم‌های تسهیم ریسک امکان‌پذیر است، ولی تعیین مقدار مشخصی به عنوان سقف تعهدات در زمان قرارداد پروژه‌ها برای کل مدت امتیاز بهره‌برداری، خود می‌تواند توأم با خطا باشد. اگر تاثیر خطاهای بزرگ احتمالی در برآورد درآمد مینا در قرارداد را بر تعیین میزان پرداختی مکانیزم‌های تسهیم ریسک حذف کنیم، می‌توانیم ریسک‌های ثانویه فوق را کاهش دهیم. با هدف کاهش تاثیر این خطا و ریسک‌های ثانویه ناشی از آن، این پژوهش با پیشنهاد استفاده از اختیارات نامتعارف بازگشتی و شکاف، امکان ارتقاء مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه با الگوی اختیارات را فراهم می‌کند.

با جمع‌بندی پیشینه این پژوهش می‌توان دریافت که وجه تمایز آن با تحقیقات گذشته، فراتر رفتن از چارچوب یک‌سویه و دوسویه اختیارات استاندارد خرید و فروش، و در نظر گرفتن تعدادی از اختیارات نامتعارف کاربردی با هدف ارتقاء مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه است. بعلاوه، فرایند این پژوهش بر بستر آزادراه‌های مشارکت عمومی-خصوصی ایرانی، نگاهی منحصربه‌فرد به این فضای تحقیقاتی ارائه خواهد کرد.

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

#### ۳-۱- تعیین بازتاب اختیارات نامتعارف پیشنهادی در

#### موضوع تسهیم ریسک درآمد پروژه‌ها

مسیر این پژوهش در تکمیل جزئیات مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی با الگوی اختیارات نامتعارف، را می‌توان در الف) بررسی مبانی تئوری اختیارات و رویکردهای تسهیم ریسک درآمد، ب) کسب نظرات خبرگان در مورد کاربرد این اختیارات در پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی، پ) یک فرایند چند مرحله‌ای تحلیل محتوا برای طراحی مکانیزم‌های تسهیم ریسک پیشنهادی و ت) پیاده‌سازی این مکانیزم‌ها در یک پروژه واقعی، خلاصه کرد.

ابتدا طبق مفاهیم گردآوری شده از منابع علمی درباره هر یک از این اختیارات، بازتاب کاربرد آن‌ها در موضوع تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه، با جمع‌بندی آراء خبرگان صنعت راهسازی انجام شد. در این مرحله بر پایه تکنیک مصاحبه نیمه‌ساختاریافته، ضمن توصیف الف) وجه تمایز و پارامتر ساختاری افزوده هر یک از اختیارات پیشنهادی و ب) پیشنهاد کاربردهای بالقوه این پارامتر در موضوع تسهیم

توابع تعیین پرداختی آن‌ها به‌عنوان توابع میانی محاسبات شبیه‌سازی برای ارزیابی و مقایسه این مکانیزم‌ها ارائه شدند. با توجه به انعطاف اختیارات نامتعارف، این الگوها طبق ترجیحات ذینفعان هر پروژه آزادراهی، با تغییر پارامترهای آن‌ها به صورت مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد مطلوب ذینفعان قابل بازنویسی هستند.

برای تضمین درآمد و تسهیم سرریز درآمد، وارد شده‌است. با قراردادن مقدار ۱ به جای این مؤلفه، به رابطه پرداختی مکانیزم تضمین درآمد و با قراردادن مقدار ۱- به جای این مؤلفه، به رابطه پرداختی مکانیزم تسهیم سرریز درآمد می‌رسیم. به این ترتیب در این بخش، کارکرد اختیارات نامتعارف پیشنهادی در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه و

جدول ۴. مقوله‌ها و تم‌های حاصل از بازتاب اختیارات مورد مطالعه در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد

اختیارات مرتبط	تم	کد	مقوله		کد مقوله
			جزئی	کلی	
الف	درآمدهای واقعی سالانه	۱	بهای جاری	پارامترهای	
	برآیند درآمدهای واقعی سالانه تا سال مورد بررسی	۲		شروط تحقق	
	سوابق درآمدزایی واقعی در سال‌های معین بهره‌برداری	۳		اختیار و	
	درآمد مینا در قرارداد	۴	محاسبه مقدار		
	سوابق درآمدزایی واقعی در سال‌های معین بهره‌برداری	۵	مبنا	پرداختی	
ب	صرفاً وجود اختلاف بین پارامترهای شرط پرداخت مکانیزم تسهیم ریسک	۶	ساختار شرط تحقق اختیار		
	وجود حداقلی از اختلاف بین پارامترهای شرط پرداخت مکانیزم تسهیم ریسک	۷			
	حفظ حداقلی از اختلاف بین پارامترهای شرط پرداخت مکانیزم تسهیم ریسک برای تعداد دوره‌های معین طی بهره‌برداری	۸			
پ	مکانیزم سقف تعهد پرداخت ندارد	۹	سقف تعهدات		
	مکانیزم سقف تعهد پرداخت دارد	۱۰			

جدول ۵. تمایز مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی نسبت به مکانیزم‌های مبتنی بر اختیارات استاندارد

اختیار حاضر در مکانیزم	جنبه متمایز مکانیزم‌های تضمین درآمد (تسهیم سرریز درآمد) پیشنهادی
شکاف	تعادل تسهیم ریسک طبق ترجیحات ریسک‌پذیری ذینفعان تنظیم و با توجه به پوشش بخشی از ریسک مثبت و منفی درآمد شرکت پروژه و نه کل آن، انگیزه این ذینفع در رشد درآمدزایی طی بهره‌برداری حفظ می‌شود. <input type="checkbox"/> متعهد کردن دولت به جبران بخشی از کسری درآمد و نه کل آن <input type="checkbox"/> سهم کردن دولت در بخشی از سرریز درآمد و نه کل آن (نویسن و همکارانش، ۲۰۱۷).
آسیابی پاریسی	با توجه به امکان افت و خیز درآمدها نسبت به درآمد مینای قرارداد در سال‌های مختلف بهره‌برداری، بررسی شرایط دقیق‌تری در سوابق درآمدزایی پروژه و سنجش استحقاق واقعی شرکت پروژه (دولت) به دریافت مبالغ جبرانی کسری درآمد (مبالغ سرریز درآمد)
بازگشتی	کاهش ریسک‌های ثانویه معرفی‌شده در انتهای پیشینه پژوهش در تضمین درآمد (تسهیم سرریز درآمد)، سقف پرداخت دولت (شرکت پروژه) به جای پیش‌بینی اولیه درآمدزایی در قرارداد، مبتنی بر ظرفیت واقعی درآمدزایی پروژه و معادل مقدار پرداختی اختیار بازگشتی خواهد بود.



جدول ۶. مکانیزم‌های پیشنهادی تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی PPP با الگوی اختیارات نامتعارف

۱	<p><b>مکانیزم مبتنی بر اختیار شکاف</b></p> <p>در این مکانیزم تضمین درآمد (تسهیم سرریز درآمد)، رویداد شکاف، افت (خیز) درآمد نسبت به بخشی (مضربی) از درآمد مینا در قرارداد تعریف می‌شود و پرداختی مکانیزم، معادل تفاضل بخشی (مضربی) از درآمد مینای قراردادی هر سال با درآمد واقعی آن سال خواهد بود (روابط ۵ و ۶).</p> $K'_y = a \cdot K_y \quad (5)$ $P_y = \max[\omega(0, K'_y - R_y)] \quad (6)$
۲	<p><b>مکانیزم مبتنی بر اختیار آسیایی</b></p> <p>برای تعیین وضعیت موجود درآمد هر سال، میانگین درآمد پروژه از ابتدای بهره‌برداری تا پایان آن سال را محاسبه می‌کنیم و پرداختی را از تعیین اختلاف آن با درآمد مینای آن سال به دست می‌آوریم (روابط ۷ و ۸).</p> <p>الف) انتظار می‌رود درآمد هر سال با نرخ رشدی نسبت به سال گذشته، افزایش یابد. این نرخ رشد درآمد در قرارداد با پیش‌بینی رشد ترافیک و مبلغ عوارض طبق داده‌های سایر آزادراه‌ها و شرایط پروژه برآورد می‌شود. برای میانگین‌گیری، باید تجمیع درآمدهای گذشته، با هدف همگن شدن درآمد هر سال با درآمد سال سررسید، پس از اعمال ضریب رشد درآمد هر سال نسبت به سال سررسید، انجام شود.</p> <p>ب) مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد، با مجموعه‌ای از اختیارات اروپایی متوالی تعریف می‌شوند و در محاسبه جریان‌ات نقدی درآمدزایی در سوابق بهره‌برداری، باید مبالغ پرداختی مکانیزم تسهیم ریسک درآمد در سال‌های قبل را هم در نظر داشت.</p> $R'_y = \frac{1}{y} \left\{ \sum_{i=1}^{y-1} [(R_i + \omega \cdot P_i) \times (1 + g)^{y-i}] + R_y \right\} \quad (7)$ $P_y = \max\{\omega[0, K_y - R'_y]\} \quad (8)$
۳	<p><b>مکانیزم مبتنی بر اختیار بازگشتی</b></p> <p>در تضمین درآمد (تسهیم سرریز درآمد)، اگر هر سال، درآمد واقعی از درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای آن سال کمتر (بیشتر) باشد، کسری (سرریز) درآمد واقعی سالانه نسبت به درآمد مینا در قرارداد، به شرکت پروژه (دولت) پرداخت خواهد شد، ولی مقدار پرداخت محدود به سقفی معادل کسری (سرریز) درآمد واقعی سالانه تا بیشترین (کمترین) درآمد ایجاد شده در پروژه از ابتدای بهره‌برداری تا آن سال خواهد بود. مثل مکانیزم قبل، باید به اعمال نرخ رشد درآمد قرارداد با هدف همگن شدن درآمد سال‌های گذشته با درآمد سال سررسید توجه داشت (روابط ۹ تا ۱۱).</p> $RB_i = R_i(1 + g)^{y-i} \quad (9)$ $K''_y = \omega \max_{i=1, \dots, y-1} (\omega \cdot RB_i) \quad (10)$ $P_y = \min\{\max[\omega(0, K_y - R_y)], \max[\omega(0, K''_y - R_y)]\} \quad (11)$
۴	<p><b>مکانیزم مبتنی بر اختیار پارسی</b></p> <p>در این مکانیزم مبتنی بر اختیارات پارسی، «درآمدهای سالانه» به عنوان متغیر آستانه، «تعداد معین سال‌های متوالی قبل سررسید» به عنوان مدت سیر و «درآمد مینای قراردادی سال‌های متوالی موردنظر» به عنوان شاخص آستانه تعیین می‌شوند.</p> <p>مکانیزم تضمین درآمد (تسهیم سرریز درآمد)، هر ساله وقتی درآمدها به تعداد سال‌های معین متوالی پایین‌تر (بالا‌تر) از درآمد مینای قراردادی آن سال‌ها باشد، فعال می‌شود. با فعال شدن مکانیزم، مقدار کسری (سرریز) درآمد آن سال نسبت به درآمد مینای قراردادی به شرکت پروژه (دولت) پرداخت می‌شود. تعیین مقدار پارامتر مدت سیر را باید به ترجیحات ذینفعان در مورد شرایط استحقاق شرکت پروژه (دولت) به دریافت مبالغ کسری درآمد (سرریز درآمد) واگذار کرد.</p> <p>مثل مکانیزم مبتنی بر اختیارات آسیایی، باید مبالغ پرداختی مکانیزم تسهیم ریسک درآمد سال‌های قبل را هم در محاسبه جریان‌ات نقدی درآمدزایی سوابق بهره‌برداری در نظر داشت. (روابط ۱۲ و ۱۳)</p> $B_y = \prod_{i=v-ET}^{y-1} \max\{\omega \cdot [0, K_i - (R_i + \omega \cdot P_i)]\} \quad (12)$ $P_y = \begin{cases} \max[\omega \cdot (0, K_y - R_y)] & , if B_y \neq 0 \\ 0 & , if B_y = 0 \end{cases} \quad (13)$ <p>دامنه فعالیت مکانیزم : دامنه خاموشی مکانیزم :</p>

جدول ۶. مکانیزم‌های پیشنهادی تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی PPP با الگوی اختیارات نامتعارف

$K_y$ : درآمد پیش‌بینی‌شده در قرارداد برای سال $\lambda$ ام بهره‌برداری	$R_y$ : درآمد واقعی در سال $\lambda$ ام بهره‌برداری
$K'_y$ : درآمد مبنای شکاف در سال $\lambda$ ام بهره‌برداری	$P_y$ : مبالغ قابل پرداخت از سوی متعهد اختیار در سال $\lambda$ ام بهره‌برداری
$a$ : نسبت درآمد مبنای شکاف به درآمد پیش‌بینی‌شده در قرارداد	$\omega$ : پارامتر نشانگر جهت ریسک تسهیم شده در مکانیزم
$R_i$ : درآمد واقعی در سال $\lambda$ ام بهره‌برداری	$P_i$ : مبالغ پرداخت‌شده از سوی متعهد اختیار در سال $\lambda$ ام بهره‌برداری
$i$ : شماره سال‌های سپری‌شده در سوابق بهره‌برداری	$R'_y$ : برآیند درآمدزایی واقعی پروژه تا سال $\lambda$ ام بهره‌برداری
$g$ : نرخ رشد درآمد طبق قرارداد	$K''_y$ : درآمد مبنای بازگشتی در سال $\lambda$ ام بهره‌برداری
$RB_i$ : درآمد سال $\lambda$ ام بهره‌برداری که با اعمال نرخ رشد درآمد در قرارداد، با درآمد سال‌های دیگر همگن و قیاس‌پذیر شده‌است.	$B_y$ : متغیر آستانه برای سال $\lambda$ ام بهره‌برداری
$ET$ : مدت سیر تعیین شده در مکانیزم	

۲-۳- جزئیات محاسباتی ارزیابی اختیارات نامتعارف

کاربردی در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد

در ارزیابی اختیارات با مدل‌های زمان‌پیوسته، لازم است که ارزش دارایی مینا و به طور خاص در اختیارات طبیعی، مقدار متغیر مبنای دارای عدم قطعیت، به صورت فرایندی تصادفی نشان داده شود. متغیر غیرقطعی در این پژوهش درآمد ناخالص سالیانه طی بهره‌برداری است. در تحقیقات گذشته به کرات برای مدل‌سازی درآمد یا اجزای آن از فرایند تصادفی حرکت براونی هندسی استفاده شده است (نوین و همکارانش، ۲۰۱۷)، (بیوکیورون و گوندش، ۲۰۱۷)، (کربنارا، کاستانتینو و پالزینو، ۲۰۱۴)، (چاپارا و کاکتو، ۲۰۱۳)، (براندائو و دیگران، ۲۰۱۲)، (آیر و صغیر، ۲۰۱۱)، (براندائو و سارایوا، ۲۰۰۸)، (چاپارا، گاروین و وسر، ۲۰۰۷)، (هوانگ و چو، ۲۰۰۶)، (ویوو، ۲۰۰۴)، (گاروین و چیا، ۲۰۰۴)، (رز، ۱۹۹۸). بر این اساس، در پژوهش حاضر، مدل‌سازی عدم قطعیت درآمد ناخالص سالانه در دوران بهره‌برداری پیش رو، طبق یک حرکت براونی هندسی از بازنویسی رابطه ۲ به شکل رابطه ۱۴ انجام می‌شود.

$$dR = \mu_R R dt + \sigma_R R \varepsilon \sqrt{dt} \quad (14)$$

فرض این مدل، غیرمنفی بودن درآمد ناخالص سالانه و ثابت بودن مؤلفه‌های رانش و پراکندگی درآمد طی بهره‌برداری است و در آن  $dR$  تغییرات افزایشی درآمد،  $\mu$  پارامتر رانش یا نرخ رشد درآمد،  $\sigma$  پارامتر پراکندگی درآمد و مؤلفه  $\varepsilon$  متغیری تصادفی با توزیع نرمال استاندارد  $\varepsilon \sim N(0,1)$  می‌باشد. برای شبیه‌سازی مدل درآمد طی بهره‌برداری، باید این فرایند تکاملی تصادفی پیوسته درآمد (رابطه ۱۴) را، به صورت درآمدهای گسسته هر سال از پروژه، تابعی از درآمد سال قبل از خود، مدل‌سازی کرد. ولی در فرایندهای ایتو از جمله حرکت براونی هندسی به دلیل پیچیدگی، قواعد محاسباتی معمول کاربرد چندانی ندارند، و در محاسبات این فرایندها، اصل ایتو که

تئوری بنیادین محاسبات تصادفی شمرده می‌شود، نقش کلیدی دارد. طبق اصل ایتو و با فرض  $f(R) = \ln(R)$  در رابطه ۱۴، می‌توان به رابطه ۱۵ رسید که بیان ریاضی فرایند تکاملی درآمد در دوره‌های زمانی گسسته است و در آن تغییرات لگاریتم درآمد توزیع توزیع نرمالی با میانگین  $(\mu - \sigma^2/2)t$  و واریانس  $\sigma^2 t$  خواهد داشت. چنان‌که حال بیان می‌کند، برای تعیین مقدار متغیر مینا، رابطه ۱۴ فقط در شرایط حدی وقتی  $\Delta t$  به صفر میل می‌کند درست است، در حالی که رابطه ۱۵ برای هر مقداری از  $\Delta t$  از جمله بازه‌های سالانه مدنظر این پژوهش مصداق خواهد داشت (هال، ۲۰۰۳، ص. ۲۱۷-۲۲۸ و ۴۱۱) (اروین، ۲۰۰۳).

$$R_{y+1} = R_y \cdot e^{\left[ \left( \mu_R - \frac{\sigma_R^2}{2} \right) \Delta t + \sigma_R \varepsilon \sqrt{\Delta t} \right]} \quad (15)$$

رابطه ۱۵، نشان می‌دهد که با داشتن پیش‌بینی درآمد اولیه، نرخ سالانه رشد درآمد و پراکندگی درآمد که طبق دوره بهره‌برداری ثابت فرض می‌کنیم، می‌توان کل فرایند تصادفی درآمدزایی پروژه طی بهره‌برداری را نشان داد. به این ترتیب، فرایند ارزیابی و مقایسه مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی با الگوی اختیارات در این پژوهش، از طریق بکارگیری مقادیر تصادفی  $\varepsilon$  در مدل حرکت براونی هندسی مطابق رابطه ۱۵ و پیش‌بینی مسیرهای نمونه درآمد پروژه با گام زمانی سالانه طی بهره‌برداری تعریف می‌شود. همچنین طبق مبانی ارزیابی اختیارات، با شبیه‌سازی مونت‌کارلو مقدار توابع تعیین پرداختی سالانه مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی قابل محاسبه و نهایتاً ارزش تجمعی این مکانیزم‌ها با الگوی اختیارات اروپایی متوالی با سرسیدهای منظم سالانه طی بهره‌برداری، قابل تعیین است. می‌توان جزئیات روش به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو در محاسبه ارزش اختیارات را در (هال، ۲۰۰۳) (مان، ۲۰۰۲) بررسی کرد.

پژوهش با مکانیزم جاری مدت منقطع، از شاخص «نرخ بازگشت داخلی»<sup>۴۶</sup> برای انعکاس منافع شرکت پروژه استفاده شده است. این شاخص در مقایسه سناریوهای دارای مدت زمانی متفاوت کارکرد صحیحی دارد. به این ترتیب پارامتر گویای ریسک درآمد شرکت پروژه در هر مکانیزم تسهیم ریسک، اختلاف «نرخ بازگشت داخلی نسبت به نرخ بازگشت داخلی مبنای شرکت پروژه در قرارداد» خواهد بود.

### ۳-۳- بررسی اختیارات پیشنهادی در ساختار تسهیم

#### ریسک یک پروژه واقعی

پس از پیشنهاد چندین اختیار نامتعارف کاربردی در تسهیم ریسک درآمد پروژههای مشارکت عمومی-خصوصی آزادراهی، و پیشنهاد تکنیکهای ارزیابی و مقایسه آنها؛ این مکانیزمها و روشها در یک پروژه واقعی آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی کشور بر طبق ترجیحات ذینفعان پیاده سازی شد (جدول ۷).

در نهایت به عنوان شاخص نهایی مقایسه مطلوبیت مکانیزمهای تسهیم ریسک درآمد نسبت به هم، بر طبق جریان نقدی شبیه سازی شده حاصل از اعمال هر مکانیزم در پروژه، مقدار پارامترهای نشان دهنده ریسک درآمد طرفین با حضور هر یک از مکانیزمها، محاسبه می شود:

الف) دولت: شاخص «ارزش خالص فعلی»<sup>۴۵</sup> جریان نقدی حاصل از مقادیر پرداختی و یا دریافتی دولت به موجب هر مکانیزم طی بهره برداری، گویای ریسک دولت خواهد بود.

ب) شرکت پروژه: برای انعکاس منافع و ریسکهای شرکت پروژه نیز، «ارزش خالص فعلی جریان نقدی پروژه با لحاظ هر مکانیزم تا پایان امتیاز بهره برداری» از نتایج شبیه سازی قابل استخراج است ولی این شاخص ماهیتاً برای مقایسه ارزش سناریوهایی که مدت متفاوت دارند گمراه کننده است. با توجه به اینکه مکانیزم تسهیم ریسک درآمد کنونی پروژههای مورد مطالعه طبق قوانین جاری، مکانیزم مدت منقطع است که باعث تغییر مدت امتیاز بهره برداری بر اساس شرایط واقعی درآمدزایی پروژه می شود، برای فراهم کردن امکان مقایسه مکانیزمهای تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی این

جدول ۷. تعریف مکانیزمهای تسهیم ریسک درآمد بررسی شده در پروژه نمونه

تعریف مکانیزم	نوع مکانیزم
مکانیزم تسهیم ریسک پیش بینی شده در قرارداد این پروژه و همچنین طبق ماده ۴۹ آئین نامه اجرایی قانون احداث پروژههای عمرانی بخش راه و ترابری از طریق مشارکت بانکها و سایر منابع مالی و پولی کشور مصوب ۱۳۹۴/۰۱/۱۶ هیئت وزیران <sup>۴۷</sup> ، مکانیزم مدت منقطع است که به موجب آن دوره امتیاز بهره برداری پروژه با توجه به چگونگی بازگشت سود و سرمایه شرکت پروژه متغیر است و تا زمان بازگشت کامل سود و سرمایه شرکت پروژه بر اساس نرخ سود مشارکت معین در قرارداد، امکان کوتاه شدن یا تمدید دارد.	مدت منقطع
طبق تبصره الحاقی مصوب ۱۳۷۹/۱۲/۱۰ مجلس شورای اسلامی به قانون احداث پروژههای عمرانی بخش راه و ترابری از طریق مشارکت بانکها و سایر منابع مالی و پولی کشور، اگر طی بهره برداری، نسبت درآمد سالانه حاصله به درآمد سالانه پیش بینی شده <sup>۴۸</sup> کمتر از ۸۵ درصد باشد، مابه تفاوت تا ۸۵ درصد و حداکثر تا ۲۵ درصد درآمد مورد انتظار از محل درآمد حاصله از آزادراهها به سرمایه گذار پرداخت می شود. این مکانیزم دقیقاً بر مبنای متن قانون طراحی شده ولی تاکنون مقدار پرداختی آن با رویکرد اختیارات ارزیابی نشده است. (روابط ۴ تا ۶)	مبتنی بر اختیارات فروش شکاف و سقف دار
در این مکانیزم، اگر برآیند درآمد سالانه از ابتدای بهره برداری تا سررسید، از درآمد پیش بینی شده در قرارداد کمتر باشد، کسری این دو مقدار به شرکت پروژه پرداخت می شود. (روابط ۷ و ۸)	مبتنی بر اختیارات آسیایی
در این مکانیزم، اگر هر سال درآمد واقعی از درآمد پیش بینی شده در قرارداد برای آن سال کمتر باشد، مبلغ جبرانی به مقدار کسری درآمد واقعی سالانه تا درآمد پیش بینی شده در قرارداد به شرکت پروژه پرداخت خواهد شد؛ در عین حال سقف پرداخت محدود به کسری درآمد واقعی سالانه تا بیشترین درآمد ایجاد شده در پروژه از ابتدای بهره برداری تا سررسید، با لحاظ ضریب رشد درآمد طبق قرارداد خواهد بود. (روابط ۹ تا ۱۱)	مبتنی بر اختیارات بازگشتی و سقف دار
در این مکانیزم، اگر درآمد واقعی بعلاوه پرداختی حاصل مکانیزم تسهیم ریسک، برای دو سال پیاپی پیش از سررسید، از درآمد پیش بینی شده در قرارداد، برای آن سالها پایین تر باشد، اختیار شرکت پروژه برای درخواست جبران کسری درآمد در سررسید فعال می شود و به موجب آن کسری درآمد واقعی سالانه در سررسید نسبت به درآمد پیش بینی شده در قرارداد برای آن سال به شرکت پروژه پرداخت می شود. (روابط ۱۲ و ۱۳)	مبتنی بر اختیارات پارسی

شود، طبق شرایط مکانیزم مربوط فوراً در پایان آن سال پرداخت می‌شود. هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، سالانه ۳۰ درصد از درآمد ناخالص در نظر گرفته شده‌اند. م در ادامه مکانیزم‌های بالقوه تسهیم ریسک درآمد مبتنی بر اختیارات پیشنهادی و ترجیحات ذینفعان در این پروژه را معرفی (جدول ۷ و ۸) و سپس با هم مقایسه خواهیم کرد. جدول ۸ به معرفی پارامترهای ساختاری این مکانیزم‌ها در الگوی اختیارات پیشنهادی می‌پردازد.

پروژه مورد بررسی، که اکنون در مرحله بهره‌برداری است، آزادراهی به طول ۱۰۴ کیلومتر است که طی مدت ۸ سال با هزینه ساخت ۱۴۲،۹۰۰ میلیون ریال با مشارکت ۷۰ درصدی بخش خصوصی در تأمین هزینه‌های ساخت احداث شد. در قرارداد مشارکت عمومی-خصوصی این پروژه مدت امتیاز بهره‌برداری شرکت پروژه ۲۵ سال در نظر گرفته شده بود. فرض شده است که در تمام سناریوهای تسهیم ریسک که برای این پروژه معرفی خواهد شد، اگر جبران کسری درآمد درخواست

جدول ۸ پارامترهای ساختاری مکانیزم‌های تسهیم ریسک مبتنی بر اختیارات

عنوان	شرح	مکانیزم
<b>اختیارات فروش شکاف و سقف‌دار – Gap &amp; Capped Put Options</b>		
بهای مبنا	درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	مکانیزم دو
بهای جاری	درآمد سالانه در پایان هر سال از بهره‌برداری	
نسبت درآمد مبنا شکاف به درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد	۸۵ درصد درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	
سقف پرداخت	۶۰ درصد درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد	
مقدار پرداختی	کسری درآمد واقعی سالانه تا ۸۵ درصد درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد	
مسیر بررسی	نقطه‌ای: پایان هر سال	
<b>اختیار فروش آسیایی – Asian Put Option</b>		
بهای مبنا	درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	مکانیزم چهار
بهای جاری	برآیند درآمد سالانه از ابتدای پروژه تا سررسید حاصل میانگین درآمد سالانه از ابتدای پروژه تا سررسید (با لحاظ الف) ضریب رشد درآمد طبق قرارداد و ب) پرداختی‌های مکانیزم تسهیم ریسک در سال‌های گذشته	
مقدار پرداختی	کسری برآیند درآمد سالانه از ابتدای پروژه تا سررسید نسبت به درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	
مسیر بررسی	از ابتدای بهره‌برداری تا سررسید	
<b>اختیارات فروش بازگشتی و سقف‌دار – Look-back &amp; Capped Put Options</b>		
بهای مبنا	درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	مکانیزم هفت
بهای جاری	درآمد سالانه در پایان هر سال از بهره‌برداری	
سقف پرداخت	کسری درآمد واقعی سالانه در پایان هر سال از بهره‌برداری نسبت به بیشترین درآمد ایجاد شده در پروژه از ابتدای بهره‌برداری تا سررسید (با لحاظ ضریب رشد درآمد طبق قرارداد)	
مقدار پرداختی	مقدار حداقلی از مجموعه مقادیر الف) کسری درآمد واقعی سالانه تا درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد و ب) کسری درآمد واقعی سالانه تا بیشترین درآمد ایجاد شده در پروژه از ابتدای بهره‌برداری تا سررسید (با لحاظ ضریب رشد درآمد طبق قرارداد)	
مسیر بررسی	از ابتدای بهره‌برداری تا سررسید	
<b>اختیار فروش پارسیسی – Parisian Put Option</b>		
بهای مبنا	درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	مکانیزم هشتم
بهای جاری	درآمد واقعی سالانه برای هر سال از بهره‌برداری	
شاخص آستانه	درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای هر سال از بهره‌برداری	
متغیر آستانه	درآمد واقعی سالانه برای هر سال از بهره‌برداری	
مدت سیر	سه سال پیاپی تا سررسید	
مقدار پرداختی	کسری درآمد واقعی سالانه در سررسید تا درآمد پیش‌بینی شده در قرارداد برای آن سال	
مسیر بررسی	سررسید و دو سال پیش از آن	

پرداختی مبتنی بر اختیارات حاضر در سناریوهای تسهیم ریسک، جهت محاسبه پرداختی و پارامترهای ریسک ذینفعان محاسبه شدند.<sup>۹</sup>

#### ۴- یافته‌های پژوهش

یافته‌های این پژوهش علاوه بر مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پیشنهادی مبتنی بر اختیارات نامتعرف (جدول ۶) برای پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی و فرایند ارزیابی و مقایسه این مکانیزم‌ها، که در روش‌شناسی پژوهش تشریح شد؛ پیاده‌سازی این مکانیزم‌ها برای یک پروژه واقعی طبق ترجیحات ذینفعان است.

#### ۴-۱- نتایج

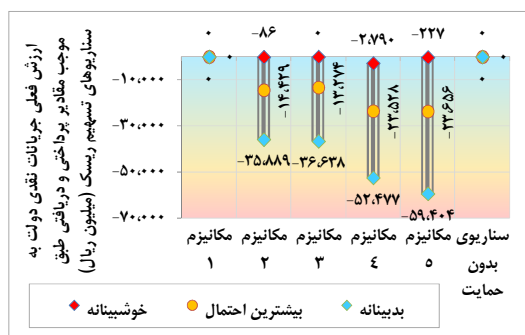
چنان‌که در روش‌شناسی پژوهش نیز اشاره شد شاخص منافع دولت، «ارزش خالص فعلی» مقادیر پرداختی دولت به موجب سناریوهای مختلف تسهیم ریسک، و ریسک دولت، مقدار افت مقادیر خروجی شبیه‌سازی شده برای این پارامتر نسبت به صفر است. شاخص منافع شرکت پروژه نیز پارامتر «نرخ بازگشت داخلی» و ریسک این ذینفع، «اختلاف نرخ بازگشت داخلی شرکت پروژه با نرخ بازگشت داخلی مبنای» در نظر گرفته شده است. به دلیل ماهیت شاخص ریسک شرکت پروژه و کوچک‌مقیاس بودن مقادیر حاصل از شبیه‌سازی برای آن، با هدف سهولت هم‌سنجی خروجی ریسک شرکت پروژه در مکانیزم‌های مختلف تسهیم ریسک، مقادیر آن با مقیاس ۱۰۰۰ برابر بزرگنمایی می‌شود. مقادیر هر یک از این دو شاخص با سطح اطمینان ۹۰ درصد در طیف خوشبینانه، بیشترین احتمال و بدبینانه در جدول ۹ ارائه شده‌اند.

به دلیل اولویت‌های دولت، هدف از مکانیزم تسهیم ریسک این پروژه، صرفاً رویکرد حمایت از شرکت پروژه در مواجهه با ریسک منفی درآمد (تضمین درآمد) پروژه بوده است. از این رو، در ساختار اختیارات معرفی شده برای این پروژه، اختیاردار، شرکت پروژه و متعهد اختیار، دولت و دارایی مبنای با توجه به روال حسابرسی سالانه آزادراه‌ها، درآمدهای سالانه پروژه است و اختیارات برای سال‌های متوالی بهره‌برداری به شکل مجموعه‌ای از اختیارات اروپایی متوالی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در تحلیل پروژه نمونه، ابتدا ماتریس درآمدهای این پروژه بر اساس حرکت براونی هندسی و با شبیه‌سازی مونت کارلو با ۱۰۰۰۰ تکرار<sup>۹</sup> ساخته شد. انتظار می‌رود متغیر دارای ریسک درآمد، سالانه با نرخ ثابتی رشد و مطابق حرکت براونی هندسی به بیان ریاضی رابطه ۱۵ افزایش یابد. مؤلفه رانش در این رابطه را در صورت دسترسی می‌توان از داده‌های تاریخی استخراج کرد. همچنین می‌توان به داده‌های امکانسنجی مالی پروژه که از سوی وام‌دهندگان مرجع سنجش سطح درآمدزایی پروژه است و یا پیش‌بینی‌های درآمد پیوست قرارداد استناد کرد. برای نمونه موردی این پژوهش، طبق رشد درآمد سالانه پیش‌بینی شده در قرارداد مشارکت، مؤلفه رانش معادل ۰/۲۷ می‌باشد. برای برآورد مؤلفه پراکندگی درآمد، مان (۲۰۰۲، ص. ۱۹۷-۲۰۲)، چندین روش پیشنهاد می‌کند. در این نمونه موردی، پراکندگی طبق روش بازگشت جریان‌ات نقدی لگاریتمی<sup>۱۰</sup> مان (۲۰۰۲، ص. ۱۹۷-۱۹۸) و اطلاعات درآمدهای ۲۴ ساله ۱۹ پروژه آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی، معادل ۰/۱۴ برآورد شده است. در گذر زمان و با روشن شدن مقدار درآمدهای بهره‌برداری در سال‌های آینده، می‌توان این برآورد را هر ساله محاسبه و دقیق‌تر کرد. نرخ تنزیل بدون ریسک بر مبنای نرخ سود مصوب بانک مرکزی برای سپرده‌های بلندمدت بانکی تعیین شد. بر اساس این مفروضات و سایر ترجیحات ذینفعان، خروجی‌های شبیه‌سازی برای توابع

جدول ۹. نتایج تحلیل ریسک درآمد در مکانیزم‌های موردبررسی

شماره مکانیزم	طیف ریسک شرکت پروژه $\times 10^3$		طیف ریسک دولت (میلیون ریال)	
	بیشترین احتمال	خوشبینانه	بیشترین احتمال	خوشبینانه
مکانیزم ۱	۲/۱	۸/۰	۰	۰
مکانیزم ۲	-۹/۵	۳۸/۲	-۱۴،۴۲۹	-۳۵،۸۸۹
مکانیزم ۳	-۱۰/۸	۳۷/۰	۰	-۳۶،۶۳۸
مکانیزم ۴	-۲/۲	۳۸/۰	-۲،۷۹۰	-۵۲،۴۷۷
مکانیزم ۵	۰/۴	۳۷/۲	-۲۲۷	-۵۹،۴۰۴
سناریوی بدون حمایت	-۲۸/۷	۳۱/۳	۰	۰

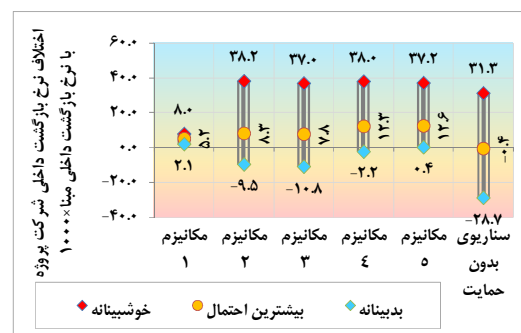
دولت محدودتر است، مکانیزم یک (مدت منعطف) می‌باشد. در این مکانیزم دولت هیچ مبلغی به شرکت پروژه پرداخت نخواهد کرد. این رویکرد گرچه در پایان بهره‌برداری، سودآوری شرکت پروژه را تضمین می‌کند، ولی بر خلاف مکانیزم‌های دو تا پنج به دلیل عدم تزریق کسری نقدینگی برای سال‌های افت درآمدزایی نسبت به پیش‌بینی‌ها، ریسک پایداری مالی شرکت پروژه را برای تامین کامل هزینه‌ها و بازپرداخت بدهی‌ها در آن سال‌ها پوشش نمی‌دهد و از این رو ممکن است مطلوب شرکت پروژه نباشد. بین سایر رویکردها مکانیزم سه (آسیایی) که با بیشترین احتمال، تعهدات کمتری برای دولت در پی دارد، مطلوب دولت خنثی به ریسک، خواهد بود. ولی برای دولت ریسک‌گریز، مکانیزم دو که در حالت بدبینانه کمترین تعهدات را برایش به دنبال خواهد داشت مطلوبیت دارد.



شکل ۲. طیف ریسک دولت سطح اطمینان ۹۰ درصد

مکانیزم‌های مندرج در جدول ۹ همگی ریسک درآمد شرکت پروژه را کاهش می‌دهند ولی چنان‌که در شکل ۲ می‌بینیم، بجز مکانیزم مدت منعطف، هیچ‌یک برای دولت بی‌هزینه نیستند. برای یافتن یک مکانیزم مطلوب تسهیم ریسک، علاوه بر ترجیحات طرفین که در طراحی مکانیزم‌ها منظور می‌شود، باید دید در مقایسه با ارزش فعلی پرداختی دولت یا مقدار معینی ریسک منفی که دولت تعهد می‌کند، کدام‌یک از مکانیزم‌ها در کاهش ریسک شرکت پروژه و جذب سرمایه‌گذار بخش خصوصی مؤثرتر هستند. از بررسی مقدار ریسکی که هر یک از طرفین در هر مکانیزم با بیشترین احتمال با آن مواجهند می‌توان نمودار نگاشت دوجانبه ریسک را مطابق شکل ۳، ترسیم کرد. مطابق این نمودار بیشترین پوشش ریسک درآمد برای شرکت پروژه از مکانیزم‌های چهار و پنج حاصل می‌شود و از سوی دیگر، در این دو مکانیزم دولت با

طبق نتایج حاصل می‌توان طیف ریسک شرکت پروژه را در شکل ۱ مشاهده کرد. طبق این نمودار، پریسک‌ترین حالت‌ها برای شرکت پروژه بعد از سناریوی بدون حمایت، مکانیزم‌های دو و سه هستند، که طبق آن‌ها طیف ریسک مثبت و منفی درآمد برای شرکت پروژه گسترده‌تر است. مطابق این نمودار مکانیزم پنج (مبتنی بر اختیار پارسی) که نتایج پارامتر بیشترین احتمال آن، بهتر از سایر مکانیزم‌هاست، مطلوب یک شرکت پروژه با ترجیحات خنثی به ریسک است. ولی از آن‌جا که تصمیمی که بیشترین پیامد مثبت را در پی دارد مطلوب ذینفعان ریسک‌پذیر است، مکانیزم دو برای شرکت پروژه ریسک‌پذیر مطلوب‌تر خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه تصمیمی با کمترین پیامد منفی مطلوب ذینفعان ریسک‌گریز است، مکانیزم یک (مدت منعطف) که مکانیزم قانونی جاری در پروژه‌هاست برای شرکت پروژه ریسک‌گریز، مطلوب‌تر خواهد بود. البته باید توجه داشت که مکانیزم مدت منعطف، گرچه بخشی ریسک سودآوری پروژه را برای شرکت پروژه پوشش می‌دهد، ولی بر خلاف مکانیزم‌های تضمین درآمد دو تا پنج، ریسک پایداری مالی پروژه را اصلاً پوشش نمی‌دهد. (لیو و دیگران، ۲۰۱۷)



شکل ۱. طیف ریسک شرکت پروژه سطح اطمینان ۹۰ درصد

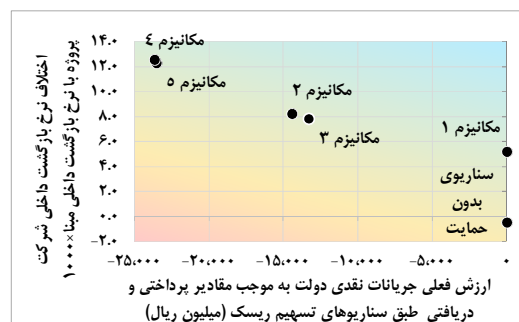
طبق نتایج حاصل می‌توان طیف ریسک دولت را در شکل ۲ مشاهده کرد. مفهوم ریسک مثبت دولت در این پروژه نمونه به دلیل ساختار یک‌سویه مکانیزم‌های تسهیم ریسک معنا ندارد. طبق این نمودار، پریسک‌ترین مکانیزم با گسترده‌ترین طیف ریسک برای دولت، مکانیزم پنج (مبتنی بر اختیارات پارسی) می‌باشد. از سوی دیگر، فارغ از سناریوی بدون حمایت دولت که کل ریسک درآمد را بر دوش شرکت پروژه می‌گذارد، کم‌ریسک‌ترین مکانیزم برای دولت، که طبق آن طیف ریسک

به این ترتیب، با در اختیار داشتن مکانیزم‌های منعطف مبتنی بر اختیارات تسهیم ریسک درآمد و طیف ریسک ذینفعان حاصل از آن‌ها، علاوه بر امکان مقایسه دویودی مطلوبیت مکانیزم‌ها، حین بررسی و مذاکره بر مکانیزم‌های تسهیم ریسک، می‌توان با تغییر پارامترهای ساختاری هر مکانیزم، به تعریف مکانیزم‌های مطلوب‌تری از منظر هر دو طرف رسید.

#### ۴-۲- اعتبار نتایج

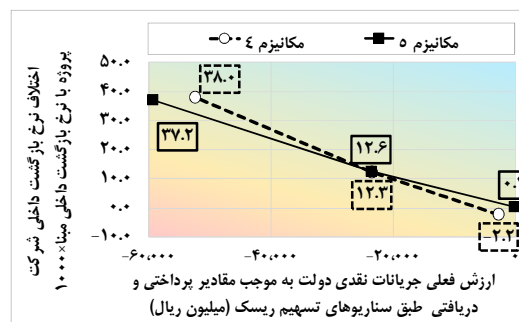
برای کسب اطمینان از اعتبار نتایج حاصل از تحلیل اختیارات، مان (۲۰۰۲، ص. ۲۲۰-۲۲۲)، یک روش بررسی کلی و چندین روش بررسی دقیق پیشنهاد کرده‌است. طبق روش بررسی کلی، اگر مقادیر حاصل از پرداختی اختیارات خارج از دامنه صفر و بهای مبنا قرار گیرد، نتایج توأم با خطا بوده‌است. به این ترتیب با داشتن ارزش خالص فعلی درآمدهای سالانه مبنا طبق قرارداد معادل ۲۳۸،۶۷۸ میلیون ریال، و طبق جدول ۹ از قرار گرفتن مقادیر حاصل از پرداختی تمام مکانیزم‌های تسهیم ریسک در دامنه [۰، ۲۳۸،۶۷۸] میلیون ریال در بررسی کلی، خطایی در تحلیل مکانیزم‌های تسهیم ریسک مبتنی بر اختیارات مشاهده نمی‌شود. این نگاه کلی گرچه خطاهای فاحش در تحلیل را روشن می‌کند ولی تکیه بر آن به تنهایی نمی‌تواند گویای اعتبار نتایج تحلیل باشد. بر اساس رویکردهای «ثبات نرخ بازگشت داخلی متوالی» و «ثبات ارزش خالص فعلی متوالی»<sup>۹۲</sup> می‌توان با دقت بالایی از اعتبار نتایج تحلیل اختیارات مطمئن شد مان (۲۰۰۲). طبق این روش اگر جریان نقدی هر سال را از کل جریانانات نقدی دوران بهره‌برداری حذف کنیم، نرخ بازگشت داخلی و ارزش خالص فعلی جریانانات نقدی باقیمانده، باید با نرخ بازگشت داخلی و ارزش خالص فعلی کل دوران بهره‌برداری مشابه باشند. به عبارتی نمودارهای نرخ بازگشت داخلی متوالی و ارزش خالص فعلی متوالی در نتایج معتبر، نمودارهایی هموار و بدون نوسان و افت و خیزهای چشمگیر خواهند بود. با این رویکرد، برای تمام مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد مبتنی بر اختیارات که در پروژه نمونه پیاده‌سازی شده‌اند، نمودارهای عاری از نوسانات نرخ بازگشت داخلی متوالی شرکت پروژه و ارزش خالص فعلی متوالی پرداخت‌های دولت که با حذف جریانانات نقدی یک‌به‌یک سال‌های بهره‌برداری ترسیم شده‌اند، ثبات دو شاخص فوق را به خوبی

بیشترین ریسک پرداخت مبالغ جبران کسری درآمد مواجه است. اگر دولت پذیرای این سطح از تعهدات باشد، برای انتخاب مکانیزم مطلوب می‌توان مقدار پوشش ریسک قابل ارائه به شرکت پروژه را در این دو مکانیزم مقایسه و برتری مکانیزم پنج بر چهار را مشاهده کرد.



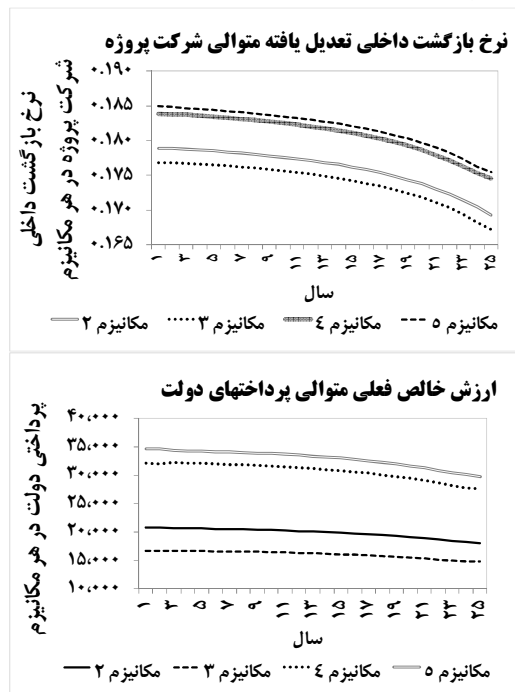
شکل ۳. نگاهت محتمل‌ترین مقدار ریسک شرکت پروژه و دولت برای تمام مکانیزم‌ها

نگاه دقیق‌تر به این مقایسه‌ها با توجه به ذائقه ریسک‌پذیری ذینفعان، و با رجوع به نمودارهای طیف ریسک دویودی مکانیزم‌ها و به طور خاص برای این دو مکانیزم از مشاهده شکل ۴ امکان‌پذیر است. طبق این نمودار برای دولت با ترجیحات ریسک‌گریز مکانیزم ۴ مطلوب‌تر و با ترجیحات خنثی به ریسک هر دو مکانیزم مطلوبیت یکسان دارند. ولی برای شرکت پروژه ریسک‌گریز و خنثی به ریسک، مکانیزم ۵، به دلیل بالاتر بودن مقادیر بیشترین احتمال و بدبینانه این مکانیزم مطلوبیت بیشتری دارد. از سوی دیگر برای شرکت پروژه با ترجیحات ریسک‌پذیر، مکانیزم ۴ به دلیل بالاتر بودن مقدار خوشبینانه ریسک آن مطلوب‌تر خواهد بود.



شکل ۴. نگاهت طیف ریسک شرکت پروژه و دولت با سطح اطمینان ۹۰ درصد در مکانیزم‌های ۴ و ۵

نشان می‌دهند و گویای اعتبار نتایج تحلیل اختیارات در این مکانیزم‌ها هستند (شکل ۵).



شکل ۵. نمودارهای ثابت نرخ بازگشت داخلی متوالی و ارزش خالص فعلی متوالی

### ۵- نتیجه گیری

نقش ویژگی‌های منحصر بفرد اختیارات نامتعارف را، در صحنه بهبود دقت و مطلوبیت یک مکانیزم تسهیم ریسک درآمد سازگار با ترجیحات ذینفعان پروژه نمی‌توان نادیده گرفت. تمایز اختیارات نامتعارف در ساختار تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های مورد مطالعه را، می‌توان در تعیین چگونگی تسهیم این ریسک با توجه به سوابق درآمدزایی پروژه طی سالیان بهره‌برداری، به جای اتکا به درآمدهای یک سال خلاصه کرد. با هدف بهبود دقت و مطلوبیت مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌ها، در این پژوهش استفاده از اختیارات نامتعارف آسیایی، بازگشتی، شکاف و پارسی را پیشنهاد کرده و به چگونگی بازتاب ویژگی‌های متمایز این ابزارهای مالی بر مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی کشور پرداخته‌است. با تکیه بر پیشینه تئوری اختیارات و کاربردهای آن، تکنیک مورد نظر این پژوهش در پیش‌بینی درآمدها در عمر بهره‌برداری یک آزادراه، حرکت براونی هندسی است که مدل احتمالی پرفرمدار شبیه‌سازی درآمدها در تحقیقات گذشته بر تسهیم ریسک درآمد آزادراه‌ها با الگوی اختیارات بوده‌است. همچنین شالوده ارزیابی توابع پرداختی

اختیارات حاضر در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد در این پژوهش، شبیه‌سازی مونت کارلو است که در ارزیابی اختیارات نامتعارف همواره پیش‌تاز سایر روش‌های ارزیابی بوده‌است. این تکنیک‌های محاسباتی، در تحلیل پروژه نمونه این پژوهش هم، انعطاف و کاربرد روان خود را به خوبی نشان داده‌اند. طبعاً بسیار محتمل است که ذینفعان پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی آزادراهی که در فضای مدیریت راهبردی پروژه‌ها مسؤول مذاکره بر سر ساختار تأمین مالی و تسهیم ریسک درآمد پروژه‌ها هستند، با ادبیات مدیریت مالی در حوزه اختیارات ناآشنا باشند. با تکیه بر فرایند صریح و شفاف ارزیابی و مقایسه مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد مبتنی بر اختیارات در این پژوهش، ذینفعان پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی آزادراهی می‌توانند بدون نیاز به ورود به مبانی دانش در حیطه تئوری اختیارات، از انعطافی که این ابزارها به ساختار تسهیم ریسک درآمد پروژه‌ها می‌بخشند، بهره‌مند شوند. به این ترتیب، متدولوژی این پژوهش برای ذینفعان پروژه‌های آزادراهی مشارکت عمومی-خصوصی در الف) شناخت اختیارات کاربردی پیشنهادی، ب) شبیه‌سازی درآمدهای آینده و پ) ارزیابی طیف ریسک طرفین در مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد حاصل از اختیارات مفید خواهد بود. به عنوان خروجی کاربردی شبیه‌سازی برای ارزیابی و مقایسه مکانیزم‌های تسهیم ریسک درآمد، در اختیار داشتن طیفی از مقادیر ریسک دولت و شرکت پروژه (خوشبینانه، بیشترین احتمال و بدبینانه) ارزشمندتر از مقادیر واحد ریسک حاصل از هر مکانیزم برای طرفین خواهد بود. چنان که در تحلیل و مقایسه نتایج پارامترهای ریسک طرفین در مکانیزم‌های مختلف حاضر در پروژه نمونه این پژوهش نیز مشخص است، برای ذینفعان با ترجیحات متنوع ریسک‌پذیری، بررسی طیف ریسک کاربردی‌تر خواهد بود. البته باید در نظر داشت که چنین طیفی، تنها پیامد دست‌یافتنی یک مکانیزم تسهیم ریسک برای ذینفعان نیست و به پشتوانه انعطاف حاصل از اختیارات نامتعارف، در صورت مطلوب نبودن نتایج، مسیر تعدیل پارامترهای افزوده اختیارات حاضر در مکانیزم تسهیم ریسک درآمد به هدف نزدیک‌تر شدن به سطح ریسک دلخواه طرفین همواره باز است. با توجه به قلمرو رو به گسترش اختیارات نامتعارف، و امکان بازنمایی کاربرد اختیارات بیشتر در طراحی گوشه‌های مختلف یک مکانیزم تسهیم ریسک درآمد، چشم‌انداز روشنی برای بهبود و تکمیل این مکانیزم‌ها در پروژه‌های مورد مطالعه و دیگر پروژه‌های مشارکت عمومی-خصوصی در سایر صنایع پیش‌بینی می‌شود.



## ۶- پی‌نوشت‌ها

## ۷- مراجع

- Ashuri, B., Kashani, H., Molenaar, K. R., Lee, S & Lu, J., (2012), "Risk-Neutral Pricing Approach for Evaluating BOT Highway Projects with Government Minimum Revenue Guarantee Options", *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(4), pp.545-557.
- Brandao, L. E & Saraiva, E., (2008), "The option value of government guarantees in infrastructure projects", *Construction Management and Economics*, 26(11), pp.1171-1180.
- Brandão, L. E., Bastian-Pinto, C., Gomes, L. L. & Labes, M., (2012), "Government Supports in Public-Private Partnership Contracts: Metro Line 4 of the São Paulo Subway System", *Journal of Infrastructure Systems*, 18(3), pp.218-225.
- Brealey, R. A., Myers, S. C., Allen, F & Mohanty, P., (2012), "Principles of Corporate Finance", Tata McGraw-Hill Education.
- Buyukyoran, F & Gundes, S., (2017), "Optimized real options-based approach for government guarantees in PPP toll road projects", *Construction Management and Economics*, 26(4), pp.203-216.
- Carbonara, N., Costantino, N & Pellegrino, R., (2014), "Revenue guarantee in public private partnerships: a fair risk allocation model", *Construction Management and Economics*, 32(4), pp.403-415.
- Cheah, C. Y & Liu, J., (2006), "Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation", *Construction management and economics*, 24(5), pp.545-554.
- Chen, Q., Shen, G., Xue, F & Xia, a. B. (2017), "Real Options Model of Toll-Adjustment Mechanism in Concession Contracts of Toll Road Projects. *Journal of Management in Engineering*, 34(1), 04017040.
1. Limited Recourse or Non-Recourse
  2. Financial Viability
  3. Availability Payments (APs)
  4. Minimum Revenue Guarantees (MRGs)
  5. Flexible-Term Contracts
  6. Call Option
  7. Putl Option
  8. Underlying Asset
  9. Maturity
  10. Exercise
  11. Current Price
  12. Strike Price
  13. Option Holder
  14. Option Writer
  15. Asian Option
  16. Look-back Option
  17. Barrier Option
  18. Bermudan Option
  19. Australian Option
  20. Chooser Option
  21. Binary Option
  22. Compound Option
  23. Gap Option
  24. Rainbow Option
  25. Path Dependency
  26. Financial Options
  27. Real Options
  28. Real Assets
  29. Excursion Time
  30. Wiener (Brownian) Stochastic Process
  31. Ito Processes
  32. Geometric Brownian Motion
  33. Drift
  34. Volatility
  35. Continuous-Time Models
  36. Discrete-Time Models
  37. Capped Options
  38. Project Management Body of Knowledge (PMBOK)
  39. Special Purpose Vehicles (SPVs)
  40. Obtain a General Sense
  41. Organizing
  42. Segments
  43. Theme
  44. Category
  45. Net Present Value (NPV)
  46. Internal Rate of Return (IRR)
۴۷. وزارت راه و شهرسازی، وزارت امور اقتصاد و دارایی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
۴۸. در گزارش هزینه-درآمد منضم به قرارداد
۴۹. در مایکروسافت اکسل با افزونه کریستال‌بال Oracle Crystal Ball
۵۰. Logarithmic Cash Flow Returns Approach
۵۱. در نرم‌افزار متلب Matlab
۵۲. SMIRR & SNPV Consistency Methods

- Huang, Y. L. & Chou, S.P., (2006), "Valuation of the minimum revenue guarantee and the option to abandon in BOT infrastructure projects", *Construction Management and Economics*, 24(4), pp.379-389.
- Hull, J., (2003), "Options, Futures and Other Derivatives", 5th Edition. Pearson Education India.
- Irwin, T., (2003), "Public Money for Private Infrastructure: Deciding When to Offer Guarantees", Output-Based Subsidies, and Other Fiscal Support. The World Bank Paper, No. 10.
- Iyer, K. & Sagheer, M., (2011), "A real options based traffic risk mitigation model for build-operate-transfer highway projects in India", *Construction Management and Economics*, 29(8), pp.771-779.
- Kokkaewa, N. & Chiara, N., (2013), "A modeling government revenue guarantees in privately built transportation projects: a risk-adjusted approach. *Transport*, 28(2), pp.186-192.
- Liu, T., Bennon, M., Garvin, M. J. and Wang, S., (2017), "Sharing the Big Risk: Assessment Framework for Revenue Risk Sharing Mechanisms in Transportation Public-Private Partnerships", *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(12), pp.1-12.
- Mun, J., (2002), "Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions", Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nguyen, D. A., Garvin, M. J., Ford, D. N., Kumar, R & Taylor, J. E., (2017), "Improving Public-Private Partnership Contracts through Risk Characterization, Contract Mechanisms, and Flexibility", (Doctoral dissertation, Blacksburg: Virginia Tech). Available from VTechWorks Library. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10919/78275>.
- Chesney, M., Jeanblanc-Picqué, M & Yor, M., (1997), "Brownian Excursions and Parisian Barrier Options", *Advances in Applied Probability*, 29(1), pp.165-184.
- Chiara, N. & Kokkaew, N., (2013), "Alternative to Government Revenue Guarantees: Dynamic Revenue Insurance Contracts", *Journal of Infrastructure Systems*, 19(3), pp.287-296.
- Chiara, N., Garvin, M. J. & Vecer, J., (2007), "Valuing simple multiple-exercise real options in infrastructure projects", *Journal of infrastructure systems*, 13(2), pp.97-104.
- Creswell, J. W., (2017), "Research design, Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches, California: Sage publications.
- Crundwell, F. K., (2008), "Finance for engineers: evaluation and funding of capital projects, London: Springer Science & Business Media.
- Dassios, A. & Wu., S., (2010), "Perturbed Brownian Motion and its Application to Parisian Option Pricing", *Finance and Stochastics*, 14(3), pp.473-494.
- Deng, D. & Peng, C., (2014), "New Methods with Capped Options for Pricing American Options", *Journal of Applied Mathematics*, (2014), pp.1-20.
- Dixit, A. K & Pindyck, R. S., (1994), "Investment under Uncertainty Princeton: Princeton University press".
- Garvin, M. J & Cheah, C. Y., (2004), "Valuation techniques for infrastructure investment decisions", *Construction Management and Economics*, 22(4), pp.373-383.
- Hong, Y., Lee, S. & Li, T., (2015), "Numerical method of pricing discretely monitored Barrier option", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 278, pp.149-161.

- Tankov, P., (2010), "Pricing and hedging gap risk", *Journal of Computational Finance*, 13(3), pp.33-59.
- Wibowo, A., (2004), "Valuing guarantees in a BOT infrastructure project .*Engineering, Construction and Architectural Management*, 6(11), pp.395-403.
- Yescombe, E. R., (2002), "Principles of project finance", San Diego: Elsevier.
- Zhang, P. G., (1995), "An introduction to exotic options, *European Financial Management*", 1(1), pp.95-87.
- Project Management Institute, (2017), "A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)", Newtown Square, Pa: Project Management Institute.
- Rose, S., (1998), "Valuation of interacting real options in a tollroad infrastructure project . *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 38(3), pp.711-723.
- Ross, S. M., (2011), "An Elementary Introduction to Mathematical Finance", New York: Cambridge University Press.
- Shan, L., Garvin, M. J. & Kumar, R., (2010), "Collar options to manage revenue risks in real toll public-private partnership transportation projects", *Construction Management and Economics*, 28(10), pp.1057-1069.

# **An Exotic Options-Based Approach for Revenue Risk Sharing of PPP Highway Projects**

*Aida Rahimi Golkhandan, Ph.D. Candidate, Department of Project and Construction Management, School of Architecture, University of Tehran, Iran.*

*Mahmoud Golabchi, Professor, Department of Project and Construction Management, School of Architecture, University of Tehran, Iran.*

*E-mail: aida.rahimi@ut.ac.ir*

Received: June 2020-Accepted: November 2020

## **ABSTRACT**

Revenue risk sharing is a challenging issue in PPP highway projects that can be addressed by the options theory. The objective of this study is going beyond the common standard options by suggesting a set of exotic options suitable in modeling the revenue risk sharing mechanisms of PPP highway projects, and proposing evaluation and comparison techniques of these mechanisms. First, a series of semi-structured interviews are conducted to collect the experts' judgments on the implication of each exotic option for the revenue risk sharing mechanisms of PPP highway projects. Then, through a content analysis of the interviews, the applications of these exotic options in the context of highway projects are identified and their risk sharing mechanisms are designed. The Geometric Brownian Motion and the Monte Carlo simulation are employed for forecasting the revenues and payment valuation of the options during the operation of highway projects. The application of the proposed mechanisms is tested in a real BOT highway project. The developed mechanisms and their quantitative evaluation techniques demonstrate their efficacy in supporting both public and private stakeholders of PPP highway projects in revenue risk sharing by (a) designing revenue risk sharing mechanisms, (b) simulating future revenues, (c) calculating the ultimate payment of options-based revenue risk sharing mechanisms, and (d) evaluating the risk spectrums of stakeholders with diverse risk appetite tendencies. Lastly, this study represents how exotic options can enhance the capability, flexibility, and precision, of revenue risk sharing mechanisms of PPP highway projects which can guide both parties to a win-win situation through a revenue risk sharing structure that considers their requirements and strategies.

**Keywords:** Exotic Options, PPP Highway Projects, Revenue Risk Sharing