مهندسی عمران شریف (تابستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۲-۳۳، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۳۵-۱۴۱، (یادداشت فنی)

Research Note

# ارائه‌ی مدل پیشنهادی برای برآورد هزینه‌ی ریسک در قراردادهای واگذاری امتیاز با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو

**سیامک گل‌نرگسی** (استادیار)
**علیرضا جاودانیان** * (دانشجوی کارشناسی ارشد)
**دانشکده‌ی عمران و محیط زیست، مؤسسه‌ی آموزش عالی خاوران**

پیشرفت زیرساخت، از جمله عناصر مهم توسعه‌ی اقتصادی درکشورهاست. در چند دهه‌ی اخیر، تأمین بودجه‌ی پروژه‌های زیرساختی از طریق قراردادهای واگذاری امتیاز انجام پذیرفته است. در قراردادهای واگذاری امتیاز، تأمین مالی پروژه توسط بخش خصوصی انجام می‌شود و بازگشت این سرمایه از طریق درآمدهای حاصل از دوره‌ی امتیاز به‌دست می‌آید. از مشخصه‌های پروژه‌های زیرساختی، زمان طولانی اجرا و حجم بالای سرمایه‌گذاری است. به همین دلیل، برآورد هزینه‌ی ریسک و تحلیل مالی، یکی از عوامل مؤثر در موفقیت پروژه‌هاست. در نوشتار حاضر، با استفاده از اطلاعات مطالعات امکان‌سنجی و تحلیل احتمال‌اندیشانه با روش مونت‌کارلو، روشی پیشنهادی برای برآورد هزینه‌ی ریسک ارائه شده است، که در آن اثر تورم و نرخ بهره‌ی وام در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، در ارزیابی مالی مناقصات مربوط به پروژه‌ها بسیار مؤثر بوده و با افزایش ثبات اقتصادی در طول دوره‌ی ساخت، احتمال شکست پروژه‌ها کاهش یافته است.

**واژگان کلیدی:** هزینه‌ی ریسک، تأمین مالی پروژه، قرارداد واگذاری امتیاز، شبیه‌سازی مونت‌کارلو.

golnargesi@profs.khi.ac.ir
alireza.javdanian@gmail.com

## ۱. مقدمه

یکی از دلایل جذب سرمایه‌ی بخش خصوصی از سوی دولت‌ها، جبران کمبود منابع مالی و بهره‌وری پایین بخش دولتی است. از جمله مزایای این حرکت دولت، به اتمام‌رسیدن پروژه‌های عظیم زیربنایی با هزینه و زمان کمتر اجراست. ولی در مقابل، یکی از خطرات موجود، پیچیدگی‌های روش اجرایی مذکور است، که ریسک‌های بسیاری را به بخش خصوصی تحمیل می‌کند و ممکن است موفقیت پروژه را با مخاطره مواجه سازد.

بدین منظور، مرحله‌ی آغازین پروژه، که به مطالعات امکان‌سنجی معروف است و بیشترین عدم قطعیت را دارد، باید به طورکامل انجام شود، زیرا ممکن است باعث انصراف بخش خصوصی از سرمایه‌گذاری شود.

در قراردادهای واگذاری امتیاز باید هر بخش ازکار به عاملی که بیشترین توانایی و علاقه‌مندی را دارد، سپرده شود؛ زیرا ریسک‌های مختلف پروژه نیز پراکنده می‌شود. لازم به ذکر است این حرکت به علت یک برآورد قابل اطمینان از آینده‌ی مالی و اقتصادی پروژه است، که اساس این نوع قراردادهاست. لذا همواره به‌عنوان یک محور اصلی، باید تعادلی میان سود مورد انتظار و ریسک‌های پروژه برقرار باشد.[۱]

در مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های زیربنایی از طریق قراردادهای واگذاری امتیاز، عدم قطعیت‌های بسیاری در ارتباط با پیش‌بینی آینده‌ی پروژه، که به ۳ عامل زمان، هزینه، و درآمد مربوط است، وجود دارد. داشتن یک تخمین صحیح از هزینه‌های ریسک پروژه می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌یی، عدم قطعیت‌های سرمایه‌گذاری را از دیدگاه بخش خصوصی کاهش دهد.[۲] در ارتباط با موضوع پژوهش حاضر، پژوهش‌هایی انجام پذیرفته است، که در ادامه به آنها اشاره شده است.

در سال ۲۰۱۱ با استفاده از روش آنالیز مونت‌کارلو به شبیه‌سازی زمان و هزینه‌ی پروژه پرداخته شده،[۳] و در سال ۲۰۱۵ نیز کاربرد روش مذکور در تحلیل خطر و مدیریت ریسک بررسی شده است.[۴] همچنین مطالعاتی (۲۰۱۴) در ارتباط با ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات ناشی از پروژه‌های برون‌سپاری،[۵] و نیز شناسایی ساختار سرمایه‌ی بهینه در پروژه‌های بزرگ (۲۰۱۶) صورت گرفته است،[۶] و در مطالعه‌ی اخیر نسبت سود وام‌دهنده و وام‌گیرنده از طریق تأثیر قدرت چانه‌زنی محاسبه شده است. همچنین در همان سال به آنالیز ریسک در قراردادهای BOT با استفاده از محاسبات نرم پرداخته شده است.[۷] در تهیه‌ی یک مدل تصادفی واگذاری حق امتیاز از طریق شبیه‌سازی مونت‌کارلو نیز نشان داده شده است که در دو پروژه با یک برآورد مالی یکسان، حق امتیاز هم می‌تواند با توجه به نگرش، داشتن ریسک سرمایه‌گذار، و بخش خصوصی متفاوت باشد.[۸] در یکی از آخرین پژوهش‌های

* نویسنده مسئول
*تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۷/۲۸، اصلاحیه ۱۳۹۵/۸/۱۸، پذیرش ۱۳۹۶/۱/۱۹.*

Archive of SID
www.SID.ir

انجام‌شده،[۹] در زمینه‌ی مذکور نیز به جداکردن ریسک پروژه‌ها از ارزش زمانی پول پرداخته شده و نزدیک‌ترین مطالعه‌ی انجام‌شده به پژوهش حاضر بوده است، با این تفاوت که در پژوهش حاضر، تأثیر ارزش پول در قالب اثر تورم و نرخ بهره‌ی وام در محاسبه‌ی هزینه‌ی ریسک بررسی شده است.

با بررسی مطالعات انجام‌شده در این زمینه می‌توان دریافت که در تمامی آن‌ها، فقط عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های پروژه بررسی شده و عاملی به نام هزینه‌ی ریسک محاسبه نشده است. هدف از پژوهش حاضر، ارائه‌ی یک عامل مالی به نام هزینه‌ی ریسک است، که با استفاده از جریان‌های نقدی تخمین‌زده‌شده‌ی پروژه از دیدگاه بخش خصوصی محاسبه می‌شود. عامل مذکور، به دلیل درنظرگرفتن تورم و ارزش زمانی پول می‌تواند از طریق بخش خصوصی به‌عنوان معیاری اساسی قبل از شرکت‌کردن در مناقصات مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲. هزینه‌ی کل ساخت

در پژوهش حاضر، جهت رسیدن به هدف نهایی که محاسبه‌ی هزینه‌ی ساخت و احتمال شکست پروژه است، از تعدادی فرض اولیه جهت پیش‌بینی آینده‌ی مالی پروژه به این شرح استفاده شده است:

۱. جریان‌های نقدی پروژه به‌صورت گسسته و در پایان دوره‌های مساوی سالانه پرداخت می‌شوند، در حالی که در واقعیت به‌صورت پیوسته در طول دوره‌ی ساخت مشروط بر برآورده‌شدن پیش‌فرض‌های مشخص در توافق‌های مالی پرداخت می‌شوند.

۲. نرخ‌های تورم و نرخ بهره‌ی وام نیز به‌صورت گسسته و سالانه بر جریان‌های نقدی پروژه اعمال می‌شوند. لازم به ذکر است تمامی نوشتارهای ارائه‌شده در این زمینه، دو فرض فوق را در ارزیابی مالی پروژه با دقت کافی دانسته‌اند.[۱۰]

۳. جریان‌های نقدی پروژه، براساس سال انجام مطالعات امکان‌سنجی، پیش‌بینی می‌شوند.

۴. در طول دوره‌ی ساخت هیچ بهره‌یی به بخش وام سرمایه پرداخت نمی‌شود، یعنی یک دوره‌ی تنفس برای وام برابر با دوره‌ی ساخت پروژه فرض و نرخ بهره نیز ثابت در نظر گرفته می‌شود.

۵. کل سرمایه‌ی موردنیاز برای ایجاد پروژه نیز از طریق آورده و وام تأمین می‌شود.

۶. تمام ویژگی‌های وام‌های پروژه مانند: دوره‌ی تنفس و بازپرداخت پروژه، به غیر از نرخ بهره و مقدار وام یکسان است.

۷. مالیات در نظر گرفته نشده است.

با توجه به فرضیات انجام‌شده، در ادامه به بحث در ارتباط با هزینه‌ی ساخت پروژه پرداخته شده است. می‌توان هزینه‌ی ساخت پروژه را از رابطه‌ی ۱ به‌دست آورد:[۱۱]

$$TCC = BC + EDC + IDC \qquad (۱)$$

که در آن، $BC$ هزینه‌ی پایه‌ی ساخت، $EDC$ هزینه‌ی تورم در دوره‌ی ساخت، و $IDC$ هزینه‌ی بهره‌ی وام در دوره‌ی ساخت هستند.

در ادامه، به معرفی و تفسیر هر یک از اجزاء اصلی هزینه‌ی کل ساخت پرداخته شده است. لازم به ذکر است که مبنای محاسبه‌ی هزینه‌ی کل ساخت، مقادیر هزینه‌هایی است که در مطالعات امکان‌سنجی پروژه به‌دست آمده است.

### الف) هزینه‌ی پایه‌ی ساخت

هزینه‌ی پایه‌ی ساخت عبارت است از برآورد انجام‌گرفته از هزینه‌ی کل ساخت پروژه براساس قیمت‌های بازار در سال پایه (رابطه‌ی ۲)، یعنی سالی که در آن مطالعات امکان‌سنجی انجام و هزینه‌ی پایه‌ی ساخت محاسبه می‌شود:

$$BC = \sum_{j=0}^{c-1} A_j \qquad (۲)$$

با توجه به رابطه‌ی ۲، $A_j$ جریان نقدی هزینه‌ی پایه‌ی سالانه در سال $j$اُم ساخت و $c$ تعداد سال‌های پیش‌بینی‌شده برای دوره‌ی ساخت هستند.

### ب) هزینه‌ی تورم ساخت

آشکار است که هزینه‌ی پایه‌ی ساخت عملاً برای ساخت پروژه کافی نیست. زیرا در اثر تورم، قیمت‌ها به‌طور مستمر افزایش می‌یابند. بنابراین برای داشتن تخمینی واقعی از هزینه‌ی موردنیاز برای ساخت پروژه، نیاز به پیش‌بینی نرخ تورم در دوره‌ی ساخت پروژه است. با داشتن طول دوره‌ی ساخت ($c$) و نرخ‌های تورم سالانه‌ی پیش‌بینی‌شده($\theta_K$)، هزینه‌ی تورم در دوره‌ی ساخت ($EDC$) با استفاده از کسر هزینه‌ی پایه‌ی ساخت ($BC$) از هزینه‌ی واقعی موردنیاز ساخت پروژه ($C$) قابل محاسبه است (رابطه‌ی ۳):

$$EDC = C - BC \qquad (۳)$$

### ج) هزینه‌ی بهره‌ی وام

آن بخش از سرمایه‌ی موردنیاز پروژه، که از طریق وام تأمین می‌شود، هزینه‌یی را به پروژه تحمیل می‌کند که ناشی از بهره‌ی وام‌های دریافتی است. معمولاً در پروژه‌های امتیازی یک سهم کمینه برای مشارکت صاحبان‌آورده توسط دولت میزبان و وام‌دهندگان در نظر گرفته می‌شود. علت این امر اطمینان از پذیرش ریسک طولانی‌مدت صاحبان‌آورده با به اشتراک‌گذاشتن سرمایه‌ی خودشان (آورده) در ایجاد پروژه است. می‌توان این هزینه را با استفاده از رابطه‌ی ۴ محاسبه کرد:

$$IDC = (1 - e) \times (FV - C) \qquad (۴)$$

که در آن، $e$ سهم آورده از هزینه‌های جاری سالیانه‌ی دوره‌ی ساخت و $FV$ ارزش آینده‌بخش وام هزینه‌های جاری سالیانه‌ی دوره‌ی ساخت در مقطع پایان دوره‌ی ساخت (پایان سال $c$) هستند.

## ۳. شبیه‌سازی به روش مونت‌کارلو

به‌طورکلی روش‌های برآورد هزینه را می‌توان به ۲ دسته‌ی روش‌های قطعی و احتمالی دسته‌بندی کرد.[۱۲و۱۳]

روش‌های قطعی، مانند برنامه‌ریزی خطی معمولاً به برآورد نقطه‌یی منجر می‌شوند و بر پایه‌ی داده‌های گذشته یا داده‌های تجربی هستند. در صورتی‌که متغیر نوسانات زیادی داشته باشد، یا مثلاً تغییرات زیاد در هزینه‌ها و نوسان زیاد در قیمت منابع رخ دهد، روش‌های قطعی دقت و کفایت لازم را ندارند و لزوم استفاده از روش‌های احتمالی مطرح می‌شود.



Archive of SID

www.SID.ir

روش‌های احتمالی، عموماً به ارائه‌ی یک بازه از متغیر منجر می‌شوند. برخی از روش‌های احتمالی را می‌توان در مراحل اولیه‌ی یک پروژه، که هنوز اطلاعات زیادی در دسترس نیست، برای برآورد هزینه‌ها مورد استفاده قرار داد، که شبیه‌سازی مونت‌کارلو یکی از آن روش‌هاست.[۱۴]

همچنین می‌توان روش‌های برآورد هزینه را بسته به کیفی یا کمّی بودن نیز دسته‌بندی کرد.[۱۵] روش‌های کیفی از داده‌های گذشته و داده‌های تجربی متخصصان استفاده می‌کنند و در صورتی که برای برآورد هزینه استفاده شوند، دو عیب عمده دارند: ۱. اندازه‌گیری میزان شباهت دو پروژه مشکل است. ۲. تغییرات محیط بیرونی را به‌صورت کیفی نمی‌توان به خوبی در جواب نهایی اعمال کرد.

در روش‌های کمّی علاوه بر استفاده از داده‌های گذشته و داده‌های تجربی متخصصان، به تحلیل پروژه پرداخته می‌شود و فرایندها، طرح‌ها، و ویژگی‌های خاص پروژه نیز مدنظر قرار می‌گیرد.روش‌های تحلیلی زیادی در گروه روش‌های کمّی جای می‌گیرند، که قادرند به خوبی هزینه‌های واقعی را برآورد کنند، ولی بیشتر آنها این عیب عمده را دارند که نیاز به داده‌هایی دارند که در مراحل اولیه‌ی پروژه در دسترس نیستند.[۱۶و۱۷]

روش برآورد هزینه‌ی احتمالی، از روش‌های مربوط به این دسته است، که فاقد عیب ذکرشده است. بر این اساس می‌توان گفت که روش‌های شبیه‌سازی بسیار منعطف‌تر از سایر روش‌های کمّی است.[۱۸]

شبیه‌سازی مونت‌کارلو یک روش کمّی و احتمالی برای برآورد یک متغیر تصادفی است، که در آن براساس توزیع آماری متغیری که قرار است برآورد شود، یک مدل ریاضی تهیه و سپس به دفعات زیاد اجرا می‌شود تا خروجی موردنظر حاصل شود.[۱۹]

روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با توجه به اینکه به یک برآورد فاصله‌یی منجر می‌شود و همچنین به دلیل اینکه به داده‌های زیادی نسبت به سایر روش‌ها احتیاج ندارد، بیش از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته و همچنین از آن برای به‌دست‌آوردن ریسک پروژه استفاده شده است.[۲۰و۲۱]

همان‌طورکه گفته شده است، در پژوهش حاضر برآورد هزینه‌ها در حالتی که عناصر هزینه مستقل از هم باشند، تشریح شده است. یعنی مؤلفه‌های تابع عملکرد (هزینه‌ی پایه‌ی ساخت، هزینه‌ی تورم، و هزینه‌ی بهره‌ی وام) مستقل از یکدیگر هستند.

در مبحث برآورد هزینه‌ی یک پروژه، کل هزینه‌ها به چند عنصر هزینه‌ی کوچک‌تر تقسیم شده و به کمک روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، مقدار هرکدام از عناصر برآورد شده و با تجمیع آنها مطابق رابطه‌ی ۵، برآوردی از کل هزینه به‌دست می‌آید:

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (۵)$$

برای اعمال روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو و با درنظرگرفتن رابطه‌ی ۵، نیاز به دو نوع ورودی احساس می‌شود. ورودی اول، توزیع آماری هرکدام از عناصر هزینه و ورودی دوم، میزان وابستگی میان عناصر هزینه است.

برای تعیین نوع هر دو داده‌ی ورودی، دو روش وجود دارد: روش اول، استفاده از داده‌های گذشته و دیگری، استفاده از نظرات کارشناسان در صورت موجودبودن داده‌های گذشته‌ی یک متغیر به راحتی می‌توان با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB، توزیع متغیر و مقدار پارامترهای آن را به‌دست آورد. در صورتی که داده‌های گذشته‌ی یک متغیر موجود نباشد، تعیین توزیع و پارامترهای آن بر مبنای قضاوت متخصصان انجام می‌شود. با بررسی پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان دریافت که توزیع لوگ نرمال برای داده‌های هزینه‌یی مقدم بر سایر توزیع‌هاست.[۲۲و۲۳]

در نوشتار حاضر، از قضاوت متخصصان در مورد توزیع نوع متغیرهای تصادفی استفاده شده و مطابق نظر آن‌ها توزیع لوگ نرمال، که مطابقت بیشتری با داده‌ها داشته است، مورد استفاده قرار گرفته است.

## ۴. روش پیشنهادی

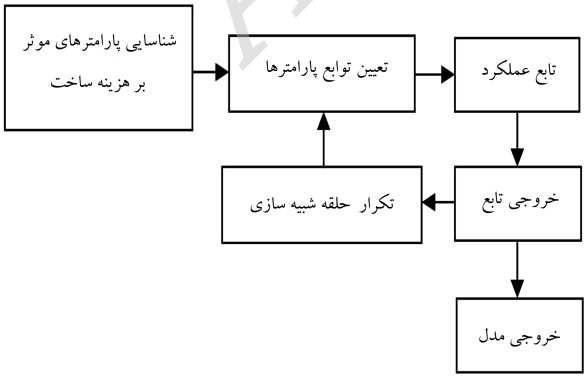
همان‌طورکه قبلاً بیان شده است، هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، به‌دست‌آوردن هزینه‌ی ریسک قراردادهای واگذاری امتیاز برای بخش خصوصی است، که می‌تواند به‌عنوان عاملی مؤثر در مناقصات مورد استفاده قرارگیرد. برای به‌دست‌آوردن هزینه‌ی ریسک، نیاز به محاسبه‌ی هزینه‌ی کل ساخت است، که در قسمت‌های قبل به طور کامل بیان شده است.

فرض اصلی این پژوهش، ثابت فرض‌کردن هزینه‌ی ساخت پروژه است. زیرا هزینه‌ی پایه‌ی ساخت پس از مطالعات امکان‌سنجی پروژه محاسبه می‌شود و تغییرات آن موردنظر قرار نمی‌گیرد. به‌عبارت دیگر، در تابع عملکردی مقدار آن ثابت در نظر گرفته می‌شود.

در این مرحله با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، تأثیر تغییر هزینه‌های تورم و بهره‌ی وام در هزینه‌ی کل ساخت مورد بررسی قرار می‌گیرد (به‌دست آوردن هزینه‌ی ریسک) و احتمال شکست محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، چند درصد احتمال وجود دارد که تأثیر تغییر هزینه‌ی تورم و بهره‌ی وام باعث شود که هزینه‌ی کل ساخت احتمالی بیشتر از مقدار اولیه‌ی محاسبه‌شده به‌دست آید.

نکته‌ی قابل توجه در این روش، دقت بالا به علت تعداد شبیه‌سازی‌های زیاد برای هر نمونه‌ی پروژه است. همچنین انتخاب دو نوع پروژه در دو شرایط متفاوت اقتصادی می‌تواند معیار مناسبی برای بررسی صحت نتایج باشد. روش‌های متفاوت زیادی برای شبیه‌سازی داده‌های آماری وجود دارد، که با توجه به نیاز به دقت بالا از روش مونت‌کارلو استفاده شده است. می‌توان به طور خلاصه، فرایند شبیه‌سازی را در شکل ۱ مشاهده کرد.

نکته‌ی قابل توجه در روش مونت‌کارلو، گسترش‌دادن این سیستم است. یعنی هزینه‌ی پایه‌ی ساخت را نیز می‌توان شبیه‌سازی کرد، بدین صورت که خود این تابع از مؤلفه‌های وابسته به هم تشکیل می‌شود، که می‌توان آنها را با استفاده از روش مونت‌کارلو مورد شبیه‌سازی قرار داد، تا میان بخش خصوصی و دولتی یک همکاری مؤثر بدون هیچ نگرانی از آینده ایجاد شود. می‌توان نوآوری صورت‌گرفته در این




**شکل ۱. فرایند شبیه‌سازی.**



Archive of SID
www.SID.ir

روش را بدین صورت بیان کرد که با توجه به شرایط مالی و عدم ثبات اقتصادی در کشور، این روش سبب آرامش خاطر بیشتر در تصمیم‌گیری مدیران شرکت‌های بخش خصوصی می‌شود. به عبارتی به‌دست‌آوردن احتمال شکست برآورد مالی اولیه از سوی سرمایه‌گذار، به‌عنوان ایده‌یی جدید در محاسبه‌ی عوامل مالی پروژه‌های بزرگ در نوشتار حاضر ارائه شده است. جهت بررسی میزان کارایی روش پیشنهادی، از ۲ مثال عددی در پژوهش حاضر استفاده شده است.

مثال اول، مربوط به یک پروژه‌ی نیروگاهی در ترکیه است،[۲۴] که در آن جهت ساده‌شدن محاسبات از این فرضیات استفاده شده است:

الف) نرخ‌های تورم پیش‌بینی‌شده‌ی سالانه ($\theta_K$) در همه‌ی سال‌های دوره‌ی ساخت یکسان و مقدار $g$، صفر در نظر گرفته شده است.

ب) از آوردن جزئیات محاسبه‌ی نرخ معادل بهره‌ی وام‌ها ($r_D$) صرف‌نظر شده است.

ج) درصد هزینه‌ی پایه‌ی سالانه‌ی ساخت ($A_j$) در طول دوره‌ی ساخت برابر فرض شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار MATLAB در جدول ۱ ارائه شده است.

مثال دوم، مربوط به پروژه‌ی قطار برقی مشهد ـ تهران است، که اطلاعات آن از شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران گرفته شده است. می‌توان نتایج نهایی را در جدول ۲ مشاهده کرد. جهت ساده‌شدن محاسبات، از تعدادی فرض استفاده شده است:

الف) نرخ‌های تورم پیش‌بینی‌شده‌ی سالانه ($\theta_K$) در همه‌ی سال‌های دوره‌ی ساخت یکسان نبوده و مقدار $g$، صفر در نظر گرفته شده است.

**جدول ۱. هزینه‌ی کل ساخت ($TCC$) پروژه‌ی نیروگاهی.**

| دوره‌ی ساخت | درصد هزینه‌ی پایه‌ی سالانه‌ی ساخت ($A_j$) | هزینه‌ی پایه‌ی سالانه‌ی ساخت ($A_j$) | هزینه: تورم ($EDC$) | هزینه: بهره‌ی وام ($IDC$) | هزینه: کل ساخت ($TCC$) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | ۲۵ | ۳۳/۱۴ | ۰ | ۵/۳۸۳ | |
| ۱ | ۲۵ | ۳۳/۱۴ | ۱/۴۹۵ | ۸/۷۹۳ | ۱۶۶/۱۳۵ |
| ۲ | ۲۵ | ۳۳/۱۴ | ۳/۳۲۸ | ۶/۳۳۵ | هزار |
| ۳ | ۲۵ | ۳۳/۱۴ | ۵/۹۵ | ۳/۱۴۳ | دلار |
| جمع کل | ۱۰۰ | ۱۳۲/۵۶۵ | ۹/۹۱۸ | ۲۳/۶۵۲ | |

**جدول ۲. هزینه‌ی کل ساخت ($TCC$) پروژه‌ی قطار برقی.**

| دوره‌ی ساخت | درصد هزینه‌ی پایه‌ی سالانه‌ی ساخت ($A_j$) | هزینه‌ی پایه‌ی سالانه‌ی ساخت ($A_j$) | هزینه: تورم ($EDC$) | هزینه: بهره‌ی وام ($IDC$) | هزینه: کل ساخت ($TCC$) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰ | ۰/۴۲۱ | |
| ۱ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۴۶۱ | ۰/۵۸۷ | |
| ۲ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۵۲۸ | ۰/۴۴۵ | |
| ۳ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۲۳۶ | ۰/۳۹۱ | ۲۴/۹۵ |
| ۴ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۱۷۲ | ۰/۳۴۵ | میلیارد |
| ۵ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۱۴۵ | ۰/۳۷۴ | دلار |
| ۶ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۱۳۳ | ۰/۳۱۵ | |
| ۷ | ۱۲/۵ | ۲/۵ | ۰/۱۱۱ | ۰/۳۰۴ | |
| جمع کل | ۱۰۰ | ۲۰ | ۱/۷۶۸ | ۳/۱۸۲ | |

ب) درصد هزینه‌ی پایه‌ی سالانه‌ی ساخت ($A_j$) در طول دوره‌ی ساخت برابر فرض شده است.

به دلیل اینکه داده‌های گذشته‌ی متغیرهای تورم و بهره‌ی وام برای هر دو مثال در دسترس نیست، نمی‌توان با استفاده از نمودار هیستوگرام آن‌ها، نوع توزیع متغیر تصادفی را مشخص کرد. به عبارتی استفاده از نمودار هیستوگرام در این موارد، خطا دارد.

همان‌طور که گفته شده است، توزیع لوگ نرمال برای داده‌های هزینه‌یی از سایر توزیع‌ها برازش بیشتری دارد. بدین ترتیب نوع متغیرهای تورم و بهره‌ی وام لوگ نرمال در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به در اختیار بودن اطلاعات متغیرهای تورم و بهره‌ی وام در طول ساخت دو پروژه‌ی نمونه در سال‌های متفاوت، میانگین، و انحراف‌معیار با استفاده از رابطه‌ی پایه و بدون نیاز به نوع تابع و ضریب پراکندگی این دو متغیر در جدول‌های ۳ و ۴ محاسبه شده است.

با توجه به اینکه نوع متغیرهای موجود، لوگ نرمال است؛ برای تولید متغیرهای تصادفی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، نیاز به میانگین و انحراف معیار خاص متغیرهای مذکور مطابق جدول‌های ۵ و ۶ است.

برای تولید متغیرهای تصادفی لوگ نرمال باید این مراحل را دنبال کرد. به عبارت دیگر، برای هر کدام از متغیرهای هزینه‌ی تورم و بهره‌ی وام دو پروژه‌ی در نظر گرفته شده، شبیه‌سازی انجام می‌شود.

۱. باید به تعداد لازم، $U_i$ (اعداد تصادفی بین ۰ و ۱) تولید شود. بدین منظور، هر چه داده‌ها در روش شبیه‌سازی بیشتر باشد، دقت نتایج بیشتر می‌شود. در این شبیه‌سازی ۹۹۹ عدد تصادفی تولید شده است.

۲. تولید $Z_i$ (متغیر تصادفی استاندارد) به تعداد $U_i$ انجام می‌شود.

۳. متغیرهای تصادفی مطابق رابطه‌ی ۶ تولید می‌شوند:

$$x_i = e^{\left(\mu_{\ln(x)} + z_i \sigma_{\ln(x)}\right)} \qquad (۶)$$

**جدول ۳. مشخصات هزینه‌ی تورم.**

| نام پروژه | داده‌ها | میانگین | انحراف معیار | ضریب پراکندگی |
|---|---|---|---|---|
| نیروگاه | ۱/۴۹۵, ۰, ۵/۰۹۵, ۳/۳۲۸ | ۲/۴۷۹۵ | ۲/۲۱۱ | ۰/۸۹۱ |
| قطار مشهد ـ تهران | ۰/۱۱۱, ۰/۱۴۵, ۰/۱۳۳, ۰/۲۳۶, ۰/۱۷۲, ۰, ۰/۴۶۱, ۰/۵۲۸ | ۰/۲۲۱ | ۰/۱۸۰۵ | ۰/۸۱۶ |

**جدول ۴. مشخصات هزینه‌ی بهره‌ی وام.**

| نام پروژه | داده‌ها | میانگین | انحراف معیار | ضریب پراکندگی |
|---|---|---|---|---|
| نیروگاه | ۸/۷۹۳, ۵/۳۸۳, ۳/۱۴۱, ۶/۳۳۵ | ۵/۹۱۳ | ۲/۳۴۰ | ۰/۳۹۵ |
| قطار مشهد ـ تهران | ۰/۳۱۵, ۰/۳۰۴, ۰/۳۴۵, ۰/۳۷۴, ۰/۴۴۵, ۰/۳۹۱, ۰/۴۲۱, ۰/۵۸۷ | ۰/۳۹۷ | ۰/۰۹۰۵ | ۰/۲۲۸ |



Archive of SID

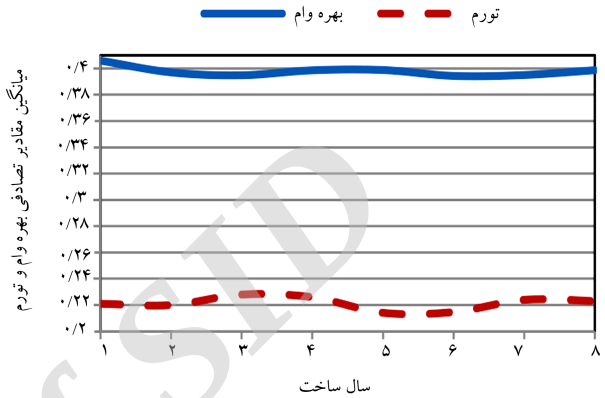
www.SID.ir

جدول ۵. مشخصات متغیر تصادفی لوگ نرمال هزینه‌ی تورم.

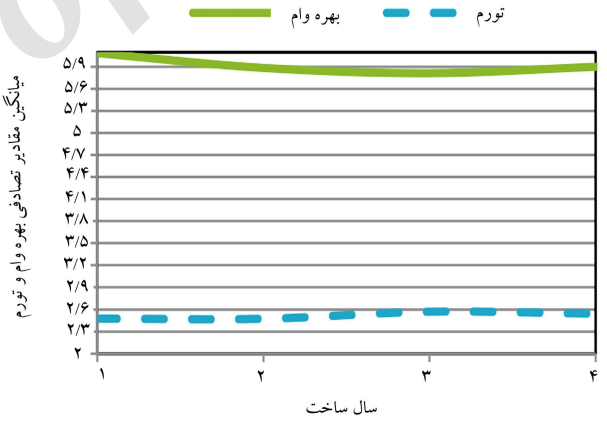
| پروژه‌ی نیروگاهی | | پروژه‌ی قطار مشهد ـ تهران | |
|---|---|---|---|
| میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار |
| ۰٫۶۱۶ | ۰٫۷۶۳ | −۱٫۷۶۴ | ۰٫۷۱۴ |

جدول ۶. مشخصات متغیر تصادفی لوگ نرمال هزینه‌ی بهره‌ی وام.

| پروژه‌ی نیروگاهی | | پروژه‌ی قطار مشهد ـ تهران | |
|---|---|---|---|
| میانگین | انحراف معیار | میانگین | انحراف معیار |
| ۱٫۷۰۵ | ۰٫۳۷۹ | −۰٫۹۴۹ | ۰٫۲۴۴ |




شکل ۲. میانگین مقادیر تصادفی بهره‌ی وام و تورم پروژه‌ی خط قطار مشهد ـ تهران.



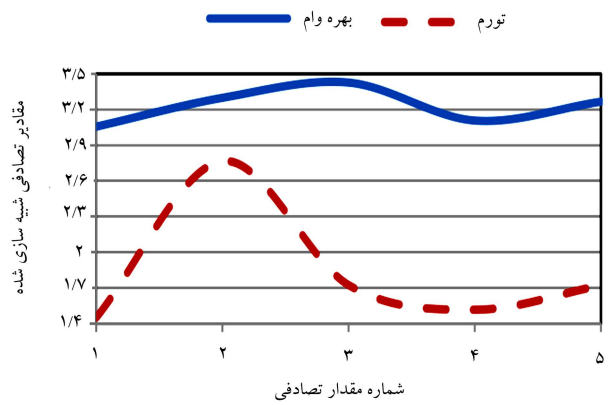

شکل ۳. میانگین مقادیر تصادفی بهره‌ی وام و تورم پروژه‌ی نیروگاه ترکیه.

قابل ذکر است که متغیرهای تصادفی تولیدشده برای توابع هزینه‌ی تورم و بهره‌ی وام برای مدت ۱ سال است. به عبارتی، برای پروژه‌ی نیروگاه در کشور ترکیه ۳۹۹۶ و برای پروژه‌ی خط قطار مشهد ـ تهران ۷۹۹۲ عدد شبیه‌سازی انجام شده است.

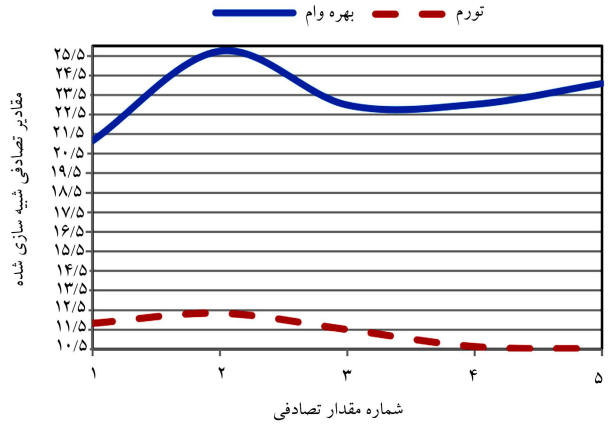
در شکل‌های ۲ و ۳، میانگین داده‌های تورم و بهره‌ی وام هر سال از دوره‌ی ساخت دو پروژه‌ی نمونه نمایش داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳، خط کامل نمایش‌دهنده‌ی بهره‌ی وام و خط‌چین، نمایش‌دهنده‌ی تورم در پروژه است. محور عمودی نمودار، میانگین مقادیر تصادفی و محور افقی سال ساخت را نمایش می‌دهد. همان طورکه مشخص است، با توجه به دقت بالای شبیه‌سازی، تغییرات مقادیر تصادفی سالیانه خیلی اندک است.

به علت اینکه زمان ساخت دو پروژه‌ی نمونه بیشتر از ۱ سال است، برای




شکل ۴. پنج نمونه از مقادیر تصادفی جمع‌شده از دوره‌ی ساخت بهره‌ی وام و تورم پروژه‌ی خط قطار مشهد ـ تهران.




شکل ۵. پنج نمونه از مقادیر تصادفی جمع‌شده از دوره‌ی ساخت بهره‌ی وام و تورم پروژه‌ی خط نیروگاه ترکیه.

محاسبه‌ی مقدار هزینه‌ی تورم و بهره‌ی وام برای هر پروژه، باید متغیرهای تولیدشده برای هر سال از زمان ساخت پروژه‌ی موردنظر به طور تصادفی با یکدیگر جمع شوند.

بنابراین در پایان با جمع‌کردن متغیرهای تولیدشده‌ی هر سال، تعداد ۹۹۹ عدد شبیه‌سازی‌شده از متغیرهای هزینه‌ی تورم و بهره‌ی وام برای هر پروژه‌ی نمونه ایجاد می‌شود. شکل‌های ۴ و ۵، پنج نمونه از مقادیر تصادفی جمع‌شده از دوره‌ی ساخت ۲ پروژه‌ی نمونه نمایش داده شده است.

مطابق شکل‌های ۴ و ۵، خط کامل نمایش‌دهنده‌ی بهره‌ی وام و خط‌چین نمایش‌دهنده‌ی تورم در پروژه است. محور عمودی نمودار، میانگین مقادیر تصادفی جمع‌شده‌ی طول دوره‌ی ساخت پروژه و محور افقی، شماره‌ی نمونه‌ی تصادفی را نمایش می‌دهد.

در حال حاضر به تعداد موردنظر از متغیرهای تصادفی هزینه‌ی تورم و بهره‌ی وام برای هر دو پروژه‌ی نمونه تولید شده است. در این مرحله با استفاده از تابع عملکرد، هزینه‌ی کل ساخت تولید می‌شود. چون تعداد شبیه‌سازی‌های خیلی زیاد است، ۵ نمونه از آنها در جدول ۷ نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۷ می‌توان دریافت که به دلیل دقت بالای شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، میانگین تمام داده‌های تصادفی دو پروژه به مقدار هزینه‌ی کل ساخت پروژه $(TCC)$ که قبل از ساخت برآورد شده است، نزدیک است. در این مرحله با استفاده از تابع هزینه‌ی ریسک (رابطه‌ی ۷)، می‌توان احتمال شکست در هر پروژه



Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷. نمونه‌یی از مقادیر تابع عملکرد تصادفی در هر پروژه.

| پروژه‌ی قطار مشهد ـ تهران | پروژه نیروگاه ترکیه |
|---|---|
| تابع عملکرد $(TCC)$ | تابع عملکرد $(TCC)$ |
| ۱۶۵٫۵۴۲۲ | ۲۴٫۵۰۷۸ |
| ۱۶۱٫۸۶۶۸ | ۲۶٫۰۶۳۲ |
| ۱۸۰٫۸۴۱۸ | ۲۵٫۱۵۰۰ |
| ۱۵۹٫۰۵۴۲ | ۲۴٫۶۲۳۳ |
| ۱۷۰٫۱۷۹۱ | ۲۴٫۹۸۶۸ |
| میانگین تمام داده‌های تصادفی | |
| ۱۶۶٫۳۱۴ | ۲۴٫۹۵۹۳ |

را تعیین کرد:

$$R = A - B \qquad (۷)$$

که در آن، $R$ هزینه‌ی ریسک؛ $A$ هزینه‌ی برآوردشده‌ی قبل از ساخت؛ $B$ متغیرهای شبیه‌سازی تولید شده است.

احتمال شکست در هر دو مثال عددی با تولید ۹۹۹ متغیر تصادفی از هزینه‌ی کل ساخت محاسبه شده است، که می‌توان برای پروژه‌های نیروگاه ترکیه و قطار مشهد ـ تهران به ترتیب در روابط ۸ و ۹ مشاهده کرد:

$$\bar{P} = \frac{\text{all } R < ۰}{n} = \frac{۴۷۴}{۹۹۹} = ۰٫۴۷۴ \times ۱۰۰ = ٪۴۷٫۴ \qquad (۸)$$

$$\bar{P} = \frac{\text{all } R < ۰}{n} = \frac{۵۲۴}{۹۹۹} = ۰٫۵۲۴ \times ۱۰۰ = ٪۵۲٫۴ \qquad (۹)$$

همان طور که ملاحظه می‌شود احتمال شکست پروژه‌ی نیروگاهی ترکیه ٪۴۷٫۴۴ محاسبه شده است، یعنی ٪۴۷٫۴۴ احتمال وجود دارد که هزینه‌ی ریسک منفی و هزینه‌ی کل ساخت بیشتر از برآورد اولیه شود. این در حالی است که به علت عدم ثبات تورم در ایران در طول دوره‌ی ساخت، احتمال شکست پروژه‌ی قطار مشهد ـ تهران ٪۵۲٫۴ است. به عبارتی، با مقایسه‌ی نتایج دو مثال عددی می‌توان دریافت که با ثبات اقتصادی بالاتر در طول دوره‌ی ساخت، پروژه با احتمال شکست کمتری روبه‌رو است.

## ۵. نتیجه‌گیری

برآورد هزینه‌ی ریسک و تحلیل مالی، یکی از عوامل مؤثر در موفقیت پروژه‌های واگذاری امتیاز است. بیشتر سرمایه‌گذاری در این‌گونه پروژه‌ها از خارج کشوری که میزبان پروژه است، انجام می‌شود. بنابراین هزینه‌ی ریسک به معنی اختلاف هزینه‌یی است که میان مبلغ تمام‌شده‌ی پروژه با مبلغ اولیه‌ی پیشنهادی شکل می‌گیرد. این هزینه‌ی ریسک می‌تواند مثبت یا کمتر از مبلغ اولیه‌ی پیشنهادی یا منفی به معنای هزینه‌ی اضافه بر مبلغ اولیه باشد. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات پیشین در این زمینه، فقط بیان‌گر تعریفی کلی از ریسک‌های موجود در قراردادهای امتیازی بوده و به‌صورت کمّی به اثرگذاری آنها در ورود بخش خصوصی به پروژه‌های زیربنایی اشاره نشده است.

در روش پیشنهادی تابعی با نام هزینه‌ی ریسک تعریف می‌شود، که با کسر هزینه‌ی برآوردشده‌ی قبل از ساخت از مقادیر شبیه‌سازی‌شده‌ی هر پروژه شکل گرفته است. با استفاده از تابع مذکور می‌توان احتمال شکست را برای هر پروژه تعیین کرد. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر برای درک بهتر مفهوم احتمال شکست، از دو مثال عددی جهت انجام مقایسه‌ی بهتر استفاده شده است. نتایج متنوعی از پژوهش حاضر حاصل شده است، که می‌توان در ادامه به آن‌ها اشاره کرد:

۱. محاسبه‌ی هزینه‌ی ریسک به‌صورت یک عامل مالی و تعیین احتمال شکست برآورد اولیه توسط سرمایه‌گذاران با کمترین هزینه و بیشترین دقت.

۲. ارزیابی مالی و اقتصادی پروژه‌های امتیازی پس از انجام مطالعات امکان‌سنجی، در حین انجام مناقصه و مذاکرات قراردادی پس از آن.

۳. کاهش قابل ملاحظه‌ی عدم قطعیت‌های سرمایه‌گذاری بخش خصوصی با انجام یک تخمین صحیح از هزینه‌ی کل پروژه و جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در پروژه‌های زیربنایی کشور.

## منابع (References)


1. Kang, C.-C., and Feng, C.-M. "Risk measurement and risk identification for BOT projects", *Mathematical and Computer Modelling*, **49**(9-10), pp. 845-910 (2009).
2. *Public Private Partnership*, Wikipedia (31 May 2010).
3. Shahbaznian, M. and Taleghani, S.A. "Monte carlo simulation time and project cost analysis", *in 6th National Congress of Civil Engineering*, Semnan (2011).
4. Nabil, M.S., Nayebi, M.H., Torkaman, M. and Mir Moezi, S.A.V. "Monte Carlo simulation methods and its application in risk analysis and risk management", *National Conference on Civil and Environmental Engineering*, Ghazvin (2015).
5. Hasanzade, A., Nilipor Tabatabayi, S.A. and Shekarchi Zade, A.R. "Evaluate and prioritize risks of outsourcing projects in the section of implementation of networks and branches of Esfahan province gas company", *Journal of Social Issues & Humanities*, **2**(7), pp. 284-291 (July 2014).
6. Chen, B. and Liou, F.M. "Optimal capital structure of power plant projects with various bargaining powers in project negotiations", *Journal of Energy Engineering*, **143**(2), (April 2017).
7. Shahrara, N., Çelik, T. and Gandomi, A. "Risk analysis of BOT contracts using soft computing", *Journal of Civil Engineering and Management*, **23**, pp.232-240 (2016).
8. Zhu, Y., Xu, F. and Hu, H. "A stochastic concession model for infrastructure projects under build-operate-




Archive of SID

www.SID.ir

transfer schemes", *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, **21**(3), pp. 320-327 (June 2016).

9. Espinoza, R. "Separating project risk from the time value of money: A step toward integration of risk management and valuation of infrastructure investments", *International Journal of Project Management*, **32**(6), pp. 1056-1072 (2013).
10. Peter Owles, P.B. "Public private partnerships and New Zealand land transport projects", from Conferenz (31 May 2010). http://www.conferenz.co.nz/whitepapers/public-private-partnerships-and-new-zealand-land-transport-projects
11. Zhang, X. "Financial viability analysis and capital structure optimization in privatized public infrastructure projects", *J. of Const. Eng. and Manag.*, **133**(6), pp. 656-668 (2005).
12. Chou J.S. "Cost simulation in an item-based project involving construction engineering and management", *Int. J. Project Management*, **29**(6), pp. 706-717 (2011).
13. Yang I.T. "Simulation– based estimation for correlated cost elements", *Int. J. Project Management*, **23**(4), pp. 275-282 (2005).
14. Nowak, A.S. and Collins, K.R., *Reliability of Structures?*, 2ed edition, CRC Press (2000).
15. Niazi, A., Dai, J.S., Balabani, S. and Senevirante, L. "Product cost estimation: Technique classification and methodology review", *J. Manufacturing Science and Engineering*, **128**(2), pp. 563-575 (2006).
16. Rahnamay Roodposhti, F. "Modern paterns for economic evaluetion of capital projects", *Peresented for Business & Economics Society International (B&ESI) Conference*, Greece (2010).
17. Fallahnezhad, M.S., Rasti, B. and Abooie, M.H. "Improving the performance of Bayesian estimation methods in estimations of shift point and computations of shift point and comparison with MLE approach", *International Journal of Engineering*, **27**(6), pp. 921-932 (2013).
18. Diekmann, J.E. "Probabilistic estimating: Mathematics and applications", *J. Construction Engineering and Management ASCE*, **109**(3), pp. 297-308 (1983).
19. Zio, E., *The Monte Carlo Simulation Method for System Relibility and Risk Analysis*, Springer Series in Reliability Engineering (2013).
20. Yang, I.-T. "Distribution-free Monte Carlo simulation: Premise and refinement", *Journal of Construction Engineering Management*, **134**(5), pp. 352-360 (2008).
21. Chou, J.-S., Yang, I.-T. and Chong, W.K. "Probabilistic simulation for developing likelihood distribution of engineering project cost", *Automation in Construction*, **18**(5), pp. 570-577 (2009).
22. Rubinstein, R.Y. and Kroese, D.P., *Simulation and The Monte Carlo Method*, 2ed edition, New York, 372 p. (2007).
23. Fishman, G.S., *Monte Carlo: Cocepts, Algorithms and Applications*, Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, New York (1995).
24. Bakatjan, S., Arikan, M. and Tiong, R.L.K. "Optimal capital structure model for BOT power projects in Turkey", *ASCE, J. of Const. Eng. & Manag.*, **129**(1), pp. 89-97 (2003).

Archive of SID



www.SID.ir