تحلیل بازه‌های اطمینان: رویکردی ریسک- محور به منظور تعیین مقادیر کم‌ریسک عدم قطعیت‌ها برای پروپوزال مناقصه

ابوطالب گرئی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع – دانشگاه تهران
t_grei@yahoomail.com

چکیده

با پیچیده‌تر شدن پروژه‌ها، قرادادهای DBB جوابگوی نیازهای پروژه‌های جدید نبوده و نیاز به انواع جدیدی از قراردادها احساس شد. اما قراردادهای جدید نیز نیازهایی متفاوت با قراردادهای قدیمی دارند. این مقاله با به چالش کشیدن نحوه ارائه پروپوزال در قرادادهای طرح و ساخت توام، به دنبال راه حلی برای پیشنهاد منطقی‌تر عدم قطعیت‌های پروژه می‌باشد. صورت مساله با این مطلب شروع می‌شود که پیمانکار برای یک پروژه فرضی، با قرارداد طرح و ساخت توام، چه زمان و چه هزینه‌ای را باید پیشنهاد دهد. بخشی از پاسخ سوال، مساله کم ریسک‌ترین عدم قطعیت‌هاست که از خروجی شبیه سازی مونت کارلو و تحلیل آن منتج می‌شود. نتیجه این تحلیل، ارائه یکسری بازه با نام "بازه اطمینان" می‌باشد که راهنمای پیمانکاران در ارائه پروپوزال مناقصه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ریسک، عدم قطعیت، مونت کارلو، پروپوزال مناقصه، قرادادهای طرح و ساخت توأم

۱- مقدمه

در گذشته، پروژه‌های عمرانی به روش سه عاملی انجام می‌شد. در این روش ابتدا کارفرما نقشه‌های اجرایی، زمانبندی اجرا و هزینه پایه پروژه را توسط مشاور تهیه می‌کرد و با برگزاری مناقصه، کمترین هزینه پیشنهادی پیمانکاران برای طرح پیشنهادی در زمان تعیین شده را برنده مناقصه اعلام می‌نمود. مشکلات روش سه عاملی، تغییر نیازها و عوامل دیگری سبب پیدایش قراردادهایی شد که طرح و ساخت را به صورت توام به یک گروه واگذار می‌کند[۱]. در این روش‌ها، معیار کارفرما جهت انتخاب پیمانکار، طرح پیشنهادی پیمانکار خواهد بود که شامل طرح اولیه، هزینه و زمان اجرا می‌باشد (البته اختلاف‌های اندکی در قراردادهای طرح و ساخت توام در کشورهای مختلف دیده می‌شود)[۲].

یافتن مقادیر اطمینان برای هریک از عدم قطعیت‌های پروژه (زمان، هزینه، ...)برای کارفرمایان و پیمانکاران بسیار حائز اهمیت است. در هر پروژه‌ای ترکیبات مختلفی از عدم قطعیت‌ها ممکن است رخ بدهد که اثر بخشی و کارایی پروژه را تحت تاثیر شدید قرار می‌دهد[۳]. از نظر پیمانکاران، ارائه بازه‌های اطمینان که در برگیرنده کم ریسک‌ترین بازه‌ها برای هریک از عدم قطعیت‌های پروژه می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تعیین بازه‌های اطمینان به پیمانکاران در تهیه طرح پیشنهادی برای شرکت در مناقصه کمک بسیاری خواهد نمود، همچنین به کارفرمایان در تحصیل طرح‌های پیشنهادی خوب و منطقی و محتمل، کمک بسیاری خواهد نمود.

برای بیان اهمیت مسئله زمان در طرح پیشنهادی پیمانکار، پیمانکاری را در نظر بگیرید که برای پروژه فرضی A مختار است "زمان ۱۲ ماه و هزینه ۱۰M$" و یا "۱۴ ماه و ۸/۵M$" و یا "۱۰ ماه و ۱۲M$" را در مناقصه پیشنهاد بدهد. این پیمانکار، برای برنده شدن در مناقصه، در پیشنهاد زمان و هزینه در طرح پیشنهادی خود برای انجام پروژه، به دو عامل باید توجه داشته باشد[۴]:

۱- وضعیت بازار رقابتی

۲- کم ریسک ترین زمان و هزینه اجرای پروژه

مسئله بازار رقابتی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و نشان دهنده وضعیت پیمانکار در بین رقبای او در بازار مناقصه می‌باشد ولی در این مقاله این مبحث مورد بررسی قرار نخواهد گرفت. مسئله کم ریسک‌ترین زمان از آنجا قابل تامل است که علیرغم آنکه در مثال مذکور، سه جفتِ زمان و هزینه بر اساس روابط و نسبت‌های بین زمان و هزینه به‌دست آمده است ولی احتمال رسیدن به هر جفت با جفت دیگر متفاوت است. اگر از دیدگاه تئوری به مساله نگاه شود، ممکن است زمان ۶ ماه و ۲۰M$ هم (از لحاظ تئوری) صحیح باشد ولی رسیدن به این حدود در عمل آنچنان احتمال پایینی داشته باشد که علیرغم انجام هزینه‌های زیاد توسط پیمانکار جهت انجام پروژه در ۶ ماه، زمان پروژه قابل تحصیل نشود و به شکست پیمانکار در اجرای قرارداد بینجامد.

مسئله کم ریسک‌ترین زمان از آنجا مطرح می‌شود که پروپوزال ارائه شده، با توجه به تابع توزیع ریسک‌ها، امکان‌پذیر (feasible) باشد.

کم‌ریسک‌ترین مقادیر برای هر عدم قطعیت پروژه – به‌صورت مجرد و صرفنظر از مقادیر سایر عدم قطعیت‌ها – مقادیری است که بر اساس تابع توزیع آن عدم قطعیت، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشد که مترادف با یافتن محتمل‌ترین مقادیر برای آن عدم قطعیت می‌باشد[۵]. محتمل‌ترین مقادیر برای هر متغیر آماری نیز بازه‌ای با مرکزیت مُد در تابع توزیع فراوانی آن می‌باشد.

چنان‌که بیان شد محتمل‌ترین (کم ریسک‌ترین) مقادیر برای هر عدم قطعیت، صرفنظر از مقادیر سایر عدم قطعیت‌ها، بازه‌ای با مرکزیت مُد در تابع توزیع فراوانی آن می‌باشد. اما در یک پروژه که با چندین عدم قطعیت مواجه هستیم، باید به مقادیر بهینهٔ محتمل برای تمام عدم قطعیت‌ها به‌طور همزمان دست یابیم که با توجه به رابطه و تعامل عدم قطعیت‌ها با یکدیگر، این مقادیر الزاما معادل بیشترین فراوانی هریک از آنها در تابع توزیعشان نمی‌باشد، بلکه مقادیری از هر عدم قطعیت می‌باشد که سبب تولید بیشترین فراوانی در تابع مطلوبیت پروژه شده است.

تابع مطلوبیت پروژه نیز نمونه‌ای از متغیرهای آماری است که محتمل‌ترین مقادیر آن، بازه‌ای با مرکزیت مُد در تابع توزیع آن می‌باشد. نمودار توزیع فراوانی تابع مطلوبیت پروژه یا Risk Profile – خروجی شبیه سازی مونت کارلو – همان تابع توزیع فراوانی مطلوبیت پروژه می‌باشد. البته محدوده بیشترین فراوانی را خود پیمانکار تشخیص می‌دهد که این مطلب بر اساس تعداد اجراهای شبیه سازی و نیز آستانه ریسک پذیری و تلورانس دقتِ‌کاریِ پیمانکار، بر اساس ضریبی از انحراف معیار در طرفین مُد تعریف شود.

نتیجه آنچه شرح آن خواهد رفت، یک محدوده از هر متغیر (ریسک) می‌باشد که به پیمانکار، محدوده ای از محتمل‌ترین (کم ریسک‌ترین) زمان و هزینه اجرای پروژه و نیز سایر متغیرها (ریسک‌ها) را با نام بازه‌های اطمینان ارائه می‌دهد. ارائه بازه‌های عدم قطعیت (زمان، هزینه، ...) می‌توانند برای تهیه پروپوزال از طرف پیمانکار از یک سو و انتخاب پیمانکار و نظارت بر آن از طرف کارفرما مدنظر قرار گیرد.

لازم به ذکر است که در روش کلاسیک مونت کارلو، هر اجرای شبیه سازی، یک بردار از متغیرها را شامل می‌شود که در آن ارتباط متغیرها دیده نمی‌شود. به‌عبارتی یکی از بردارهای تابع مطلوبیت (یکی از اجراهای شبیه سازی) می‌تواند شامل کمترین هزینه، کمترین زمان، بیشترین سود، کمترین نیروی انسانی و ... باشد که در عمل قابل رخداد نمی‌باشد. در این مقاله ابتدا با تغییری در الگوریتم شبیه سازی مونت کارلو، این مشکل به نحوی اصلاح می‌شود که تمام بردارهای تابع مطلوبیت به واقعیت نزدیک باشد و بتوان تمام اجراها را واقعی قلمداد کرد.

۲- ساختار مقاله

در این مقاله، ابتدا روش شبیه سازی مونت کارلوی هوشمند شده تشریح می‌شود و سپس از خروجی نمودار تابع مطلوبیت، محدوده‌ای که محتمل‌ترین محدوده تابع مطلوبیت است، معرفی می‌شود. سپس بردارهایی از مطلوبیت که این بازه را تشکیل داده‌اند، تعیین می‌شوند و آن بردارها در فضای n بُعدی (n= تعداد درایه‌های بردار مطلوبیت یا تعداد عدم قطعیت‌ها) به صورت نقطه نمایش داده می‌شوند.

در این حالت، در بخش‌هایی از فضای n بُعدی، کلونی نقاط تشکیل می‌شود. محدوده این کلونیِ نقاط، روی محورهای فضای n بُعدی که هرکدام معرف یک عدم قطعیت (ریسک) هستند، تصویر می‌شود. بازه‌ای که به‌دست می‌آید، به عنوان بازه اطمینان یعنی محتمل‌ترین یا به عبارتی کم ریسک‌ترین بازه آن عدم قطعیت معرفی می‌شود.

۲-۱- روش شبیه سازی مونت کارلو

در این مقاله، فرض بر این است که خواننده، با روش کلاسیک مونت کارلو آشنا می‌باشد[۴] و لذا به توضیح آن پرداخته نمی‌شود. ولی نکته مهم این روش که قبل از استفاده از آن لازم به توضیح و اصلاح است، اینست که این روش، حالات رخداد غیر ممکنی از تابع مطلوبیت را نیز ایجاد می‌کند. برای رفع این مشکل، روش هوشمند شبیه‌سازی مونت‌کارلو(روش ابداعی مؤلفان مقاله حاضر) به همراه الگوریتم مربوطه به شرح زیر پیشنهاد می‌شود.

۲-۲- روش هوشمند شده شبیه‌سازی مونت کارلو

روش پیشنهادی گامی است در راستای هوشمندسازی روش مرسوم شبیه‌سازی مونت کارلو که در آن انتخاب تصادفی مقادیر عدم قطعیت‌ها تحت کنترل قرار می‌گیرد. لذا در گام‌های اول و دوم، تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر روی یکدیگر و همچنین میزان تأثیر آنها مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در گام بعدی ابتدا با بکارگیری یک الگوریتم چرخشی، عدم قطعیت آزاد انتخاب می‌شود. عدم قطعیت آزاد، عدم قطعیتی است که در هر بار اجرای شبیه‌سازی، به‌صورت کاملا تصادفی و بر اساس تابع توزیع آن مقداردهی می‌شود و سپس سایر عدم قطعیت‌ها با توجه به نوع و میزان تأثیرات متقابل، به‌صورتی کنترل شده و تصادفی، مقداردهی می‌شوند. در مراحل بعدی با بکارگیری یک الگوریتم چرخشی، عدم قطعیت آزاد تعویض می‌شود. با این روش علاوه بر حذف حالات غیرممکن، به‌علت بکارگیری الگوریتم چرخشی، فضای جوابِ شدنی به‌طور دقیق‌تری تحلیل می‌شود.
بدین منظور ابتدا با توجه به نظر کارشناسان و متخصصان، نوع و میزان تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر تعیین می‌شود. انواع تأثیرات متقابل را در دسته‌های زیر مورد بررسی قرار می‌دهیم:

- تأثیر مستقیم
- تأثیر معکوس
- بی‌اثر

تأثیرات مستقیم و معکوس با سه مقیاس قوی، متوسط و ضعیف درجه‌بندی می‌شوند. جدول۱ ضرایب متناظر با این سه مقیاس را نمایش می‌دهد که از این ضرایب برای تعیین بازه تصادفی کنترل شدهٔ دیگر عدم قطعیت‌ها استفاده می‌شود.

جدول۱: ضرایب شدت تأثیر متقابل

قوی	متوسط	ضعیف
۱	۲	۴

در شکل ۴ الگوریتم چرخشی به‌صورت شماتیک نمایش داده شده است، همانطور که مشخص شده است در هر بردار جواب، ابتدا عدم قطعیت آزاد طبق روال شبیه سازی مونت کارلو مقدار می گیرد و سپس هر یک از عدم قطعیت ها، با توجه به نوع رابطه و شدت اثری که با عدم قطعیت آزاد دارند مقدار خواهند گرفت.

$$\underset{(1)}{\begin{pmatrix} f(x_1) \\ f(x_2/x_1) \\ f(x_3/x_1) \\ \vdots \\ f(x_n/x_1) \end{pmatrix}} \quad \underset{(2)}{\begin{pmatrix} f(x_1/x_2) \\ f(x_2) \\ f(x_3/x_2) \\ \vdots \\ f(x_n/x_2) \end{pmatrix}} \quad \underset{(3)}{\begin{pmatrix} f(x_1/x_3) \\ f(x_2/x_3) \\ f(x_3) \\ \vdots \\ f(x_n/x_3) \end{pmatrix}} \quad \cdots \quad \underset{(n)}{\begin{pmatrix} f(x_1/x_n) \\ f(x_2/x_n) \\ f(x_3/x_n) \\ \vdots \\ f(x_n) \end{pmatrix}}$$

شکل ۴- بکارگیری الگوریتم چرخشی در روش شبیه سازی مونت کارلوی هوشمند شده

که در آن:

x_i : عدم قطعیت آزاد

f :عملگری است که مقدار عدم قطعیت را با استفاده از شبیه سازی مونت کارلوی هوشمند شده به‌دست می‌دهد.

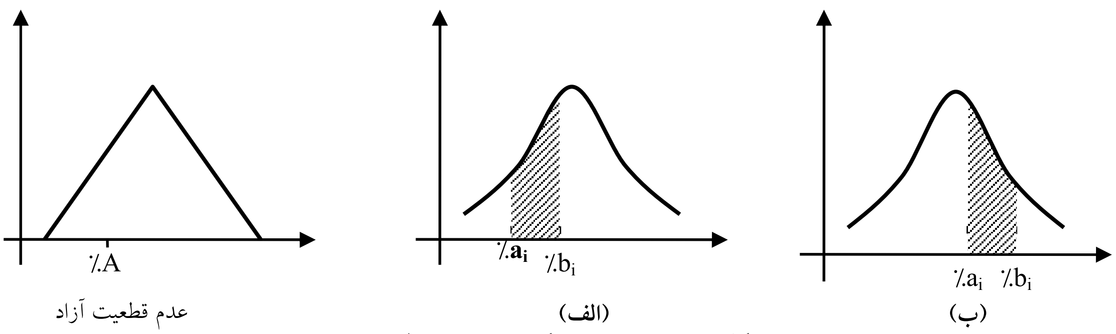
$f(x_i/x_j)$: مقداری است که برای عدم قطعیت i ام با توجه به نوع و شدت اثر رابطه اش با مقدار به‌دست آمده برای عدم قطعیت آزاد (x_j)، به‌دست می آید.

در بردار جواب (۱)، x_1 عدم قطعیت آزاد می باشد و در بردار جواب (۲)، x_2 **عدم** قطعیت آزاد می باشد و نهایتا در بردار جواب(n)، x_n عدم قطعیت آزاد می‌باشد.

با بکارگیری این الگوریتم فرصت تأثیر هریک از عدم قطعیت‌ها بر دیگر عدم قطعیت‌ها و بررسی دقیقتر فضای جواب به روش شبیه‌سازی مونت کارلو داده می‌شود. در هر اجرا برای مقداردهی عدم قطعیت آزاد به‌صورت کاملاً تصادفی بین [۱۰۰ و ۱] انتخاب تصادفی صورت می‌گیرد و در مراحل آتی، برای مقداردهی سایر عدم قطعیت‌ها از بازه‌های کنترل شده‌ای برای انتخاب عدد تصادفی استفاده می‌شود.

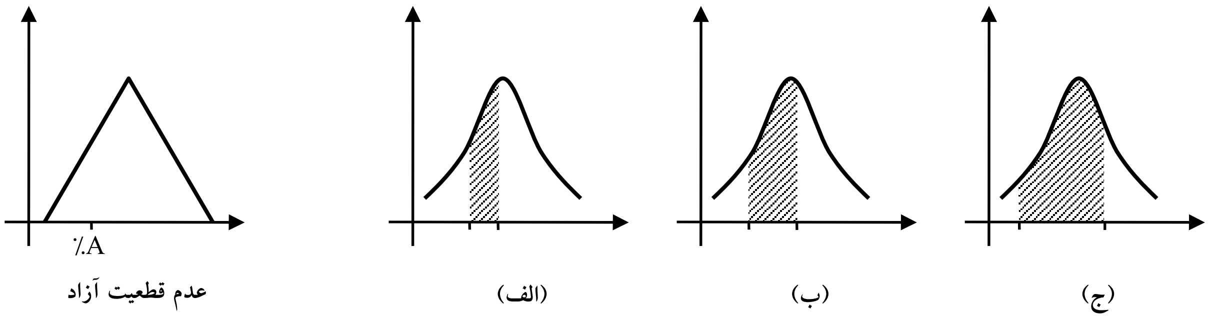
فرض کنید در اجرای مرحلهٔ n اُم هستیم و عدم قطعیت آزاد، درایه دوم بردار جواب باشد. برای این عدم قطعیت عدد تصادفی A از بازه [۱۰۰ و ۱] جهت تعیین مقدار تصادفی در این اجرا استفاده می‌شود. برای

انتخاب بازه تصادفی (b_i و a_i) جهت تعیین مقدار تصادفی عدم قطعیت i اُم (...و۴و۳و۱=i) با توجه به نوع و میزان تأثیر درایه دوم بر هر کدام از دیگر درایه‌های بردار جواب به‌صورت زیر عمل می‌شود. با توجه به شکل۵ با عنایت به اینکه عدم قطعیت وابسته، نسبت به عدم قطعیت آزاد رابطه مستقیم (قسمت الف شکل۵) یا معکوس (قسمت ب این شکل) داشته باشد؛ بازه مجاز برای انتخاب عدد تصادفی B در جهت یا خلاف جهت موقعیت A در بازه [۱۰۰ و ۱] انتخاب می‌شود.



شکل۵: تاثیر مستقیم و معکوس دو عدم قطعیت

اندازه بازه مجاز برای انتخاب عدد تصادفی B با توجه به ضریب شدت تأثیر تعیین می‌شود. در قسمت الف شکل۶ با فرض وجود رابطه قوی، بازه کوچکی جهت انتخاب عدد تصادفی B پیشنهاد شده است و در قسمت ب و ج که شدت رابطه متوسط و ضعیف فرض شده است؛ بازه‌های بزرگتری پیشنهاد شده‌اند.



شکل۶: بازه مجاز تصادفی با توجه به ضریب شدت تأثیر متقابل (با فرض تاثیر مستقیم)

برای انتخاب اندازه بازه مورد نظر، طول ۱۰٪ را با مرکزیت A (یا A-۱۰۰) از بازه [۱۰۰ و ۱] به عنوان بازه پایه در نظر می گیریم. طول بازه مجاز برای هر عدم قطعیت با اعمال ضریب شدت تأثیر به‌صورت مضربی از بازه پایه تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال با فرض وجود رابطه معکوس – متوسط بین عدم قطعیت آزاد و عدم

قطعیت وابسته و فرض انتخاب شدن عدد تصادفی ۸۲ (A) برای عدم قطعیت آزاد، بازه مجاز برای عدد تصادفی B بصورت زیر محاسبه می‌شود:

۱۸ = ۸۲ – ۱۰۰ = میانگین بازه
۲۰ = ۱۰ × ۲ = طول بازه

(۲۸و۸) = بازه مجاز

اگر در مثال بیان شده، شدت تأثیر ضعیف بود؛ چون حد پایین بازه از صفر کمتر می‌شود (۱۲-)؛ به‌جای حد پایین مذکور، عدد ۱ را قرار می‌دهیم و به همین طریق برای حد بالا در صورت فراتر رفتن از عدد ۱۰۰ ، عدد ۱۰۰ به عنوان حد بالای بازه در نظر گرفته می‌شود. به‌صورت کلی می‌توان رابطه زیر را جهت تعیین بازه مجاز برای عدم قطعیت‌های وابسته در نظر گرفت:

$$\begin{cases} (Max(1\ ,\ (A-5n))\ ,\ Min(100\ ,\ (A+5n))) & \text{اگر رابطه مستقیم باشد؛} \\ (Max(1\ ,\ (100-(A+5n)))\ ,\ Min(100\ ,\ (100-(A-5n)))) & \text{اگر رابطه معکوس باشد؛} \end{cases}$$

در رابطه فوق، n ضریب شدت تأثیر بوده و از جدول۱ قابل محاسبه می‌باشد.

۲-۳- الگوریتم هوشمند شده شبیه‌سازی مونت کارلو

۱- تعیین نوع وابستگی برای هر جفت از عدم قطعیت‌ها (مستقیم، معکوس، بی‌اثر).
۲- تعیین شدت وابستگی (شدت اثر) عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر (قوی، متوسط، ضعیف).
۳- تعیین تابع توزیع فراوانی هریک از عدم قطعیت‌هایی که در فاز دوم مدیریت ریسک، شناسایی شده‌اند.
۴- تعیین تعداد اجراهای شبیه‌سازی و تقسیم سطح زیر نمودار هریک از عدم قطعیت‌ها به مربع‌های هم اندازه و به تعداد اجراهای شبیه‌سازی.
۵- انتخاب عدم قطعیت آزاد، با بکارگیری الگوریتم چرخشی.
۶- تعیین مقدار برای عدم قطعیت آزاد با استفاده از عدد تصادفی **A** به‌صورت زیر:
۶-۱- انتخاب عدد تصادفی در بازه [۱،۱۰۰] برای عدم قطعیت آزاد.
۶-۲- پوشش **A** درصد از کل مربع‌های زیر نمودار عدم قطعیت آزاد.
۶-۳- درنظر گرفتن یک خط عمودی در امتداد ضلع راست مربع حاضر.
۶-۴- تعیین مقدار برای عدم قطعیت آزاد که از محل تقاطع خط عمودی با محور افقی به‌دست می‌آید و علامت گذاری پایین‌ترین مربع علامت گذاری نشده در سمت چپ خط عمودی.

۵-۶- حذف عدد **A** از بازه [۱،۱۰۰] در صورتی که در سمت چپ خط عمودی، مربع علامت‌گذاری نشده‌ای وجود نداشته باشد.

۷- تعیین بازه‌های کنترل شده برای همه عدم قطعیت‌های وابسته، با توجه به شدت و نوع رابطه‌ای که با عدم قطعیت آزاد دارند.

۸- تعیین مقدار برای هریک از عدم قطعیت‌های وابسته، با استفاده از عدد تصادفی **A** که از هریک از بازه‌های کنترل شده متناظرشان به‌دست آمده است و بکارگیری بندهای ۲-۶ تا ۵-۶ از مرحله ۶ برای عدم قطعیت‌های وابسته.

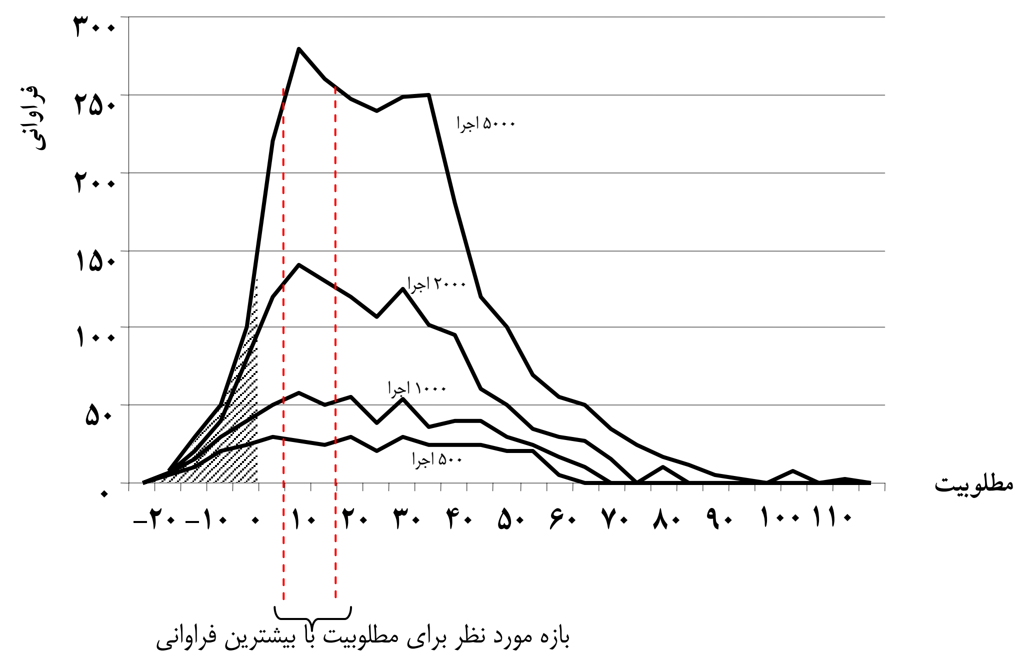
۹- محاسبه مقدار تابع مطلوبیت.

۱۰- رفتن به مرحله ۵ در صورتی که اجراهای شبیه‌سازی تمام نشده باشد.

۱۱- ترسیم نمودار تابع مطلوبیت.

۲-۴- تعیین بازه‌های اطمینان برای عدم قطعیت ها

برای تعیین بازه‌های اطمینان برای هر یک از عدم قطعیت‌ها، قبل از هر چیزی باید توجه داشت که منظور از بازه اطمینان برای هر یک از عدم قطعیت‌ها، بازه‌ای است که آن عدم قطعیت با بیشترین احتمال در تولید مقدار مطلوبیت با بیشترین فراوانی، مقادیرش را از آن اختیار خواهد کرد. لذا ابتدا باید بازه مورد نظر برای بیشترین مطلوبیت‌ها که معمولا شامل بیشترین مقدار مطلوبیت می باشد را تعیین نماییم.



شکل (۷)، نشان دهنده مقادیر مطلوبیت با فراوانی هایشان.

به‌عنوان مثال همان طور که از شکل ۷ پیداست، بازه مورد نظر برای مطلوبیت با بیشترین فراوانی در این مثال برابر با (۲۰–۱۰) میلیون واحد می‌باشد. در گام بعدی تمامی بردارهای جوابی که در تولید این مقادیر برای مطلوبیت سهیم بوده‌اند را از الگوریتم شبیه سازی مونت کارلوی هوشمند شده استخراج می‌نماییم. که این بردارهای جواب بصورت زیر خواهند بود:

$$\begin{pmatrix} f(x_1/x_{n1}) \\ f(x_2/x_{n1}) \\ \vdots \\ f(x_{n1}) \\ \vdots \\ f(x_n/x_{n1}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f(x_1/x_{n2}) \\ f(x_2/x_{n2}) \\ \vdots \\ f(x_{n2}) \\ \vdots \\ f(x_n/x_{n2}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f(x_1/x_{n3}) \\ f(x_2/x_{n3}) \\ \vdots \\ f(x_{n3}) \\ \vdots \\ f(x_n/x_{n3}) \end{pmatrix} \cdots \begin{pmatrix} f(x_1/x_{nk}) \\ f(x_2/x_{nk}) \\ \vdots \\ f(x_{nk}) \\ \vdots \\ f(x_n/x_{nk}) \end{pmatrix}$$

(۱) (۲) (۳) (k)

شکل(۸)، بیانگر **k** بردار جواب تولید کننده بازه مطلوبیت با بیشترین فراوانی.

در شکل۸، $1 \le k, n_i \le N$ ، یعنی فرض شده است که **k** بردار در تولید مقادیر مطلوبیت در بازه (۲۰–۱۰) شرکت داشته‌اند. در گام بعدی انتخاب محتمل‌ترین بازه برای مطلوبیت، بر مبنای وجود کلونی برای بردارهای عدم قطعیت‌ها صورت می‌گیرد. به‌طوری که طول بازه مطلوبیت برای یافتن بازه‌های اطمینان برای عدم قطعیت‌ها متغیر می‌باشد. به این صورت که در ابتدا طول این بازه کوچک انتخاب می‌شود و در صورتیکه کلونی برای بردارهای عدم قطعیت‌ها وجود نداشته باشد، طول بازه مطلوبیت را افزایش می‌دهیم تا در نهایت منجر به کشف حداقل یک کلونی از عدم قطعیت‌ها بشود. در ادامه به شرح بیشتر این مطلب خواهیم پرداخت.

۲-۵- تشریح ساختار پیشنهادی

ابتدا بازه مورد نظر برای مطلوبیت را درنظر می‌گیریم (a , b) و سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلوی هوشمند شده، تمامی بردارهای عدم قطعیت‌هایی که مقدار مطلوبیت آن‌ها در بازه (a , b) قرار می‌گیرند را استخراج می‌نماییم. شکل (۹) بردارهای مورد نظر را نمایش می‌دهد که در آن m بردار درنظر گرفته شده‌اند.

$$\begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ \vdots \\ x_{1m} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{2m} \end{bmatrix}, \quad . \quad . \quad . \quad \begin{bmatrix} x_{m1} \\ x_{m2} \\ \vdots \\ x_{mm} \end{bmatrix}$$

(۱) (۲) (m)

شکل(۸): بردارهایی از عدم قطعیت‌های مورد نظر

که در آن:

X_{ij}: مقدار عدم قطعیت‌ها **j** ام در بردار جواب i ام می‌باشد.

سپس ماتریس A را که دربرگیرنده فواصل بردارها از یکدیگر می‌باشد را بصورت زیر درنظر می‌گیریم:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & . & . & . & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & . & . & . & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & . & . & . & a_{mm} \end{bmatrix}$$

که در آن:

$$a_{ii} = 0$$
$$a_{ij} = \sqrt{(x_{j1} - x_{i1})^2 + (x_{j2} - x_{i2})^2 + . . . + (x_{jm} - x_{im})^2}$$

a_{ij}**:** فاصله بردار j ام از بردار i ام می‌باشد.

حال در بین درایه‌های ماتریس A، ماکزیمم و می‌نیمم را بدست می‌آوریم. واضح است که درایه می‌نیمم مقدارش صفر است (زیرا عناصر روی قطر اصلی ماتریس مقدارشان صفر است).

$$H = Max \{a_{ij}\}$$
$$l = Min \{a_{ij}\} = 0$$

از مقدار H برای بدست آوردن طول هر یک از بازه‌های هیستوگرام استفاده می‌کنیم:

طول هر یک از بازه‌های هیستوگرام = $\dfrac{H}{K}$

البته مقدار K توسط تصمیم گیرنده برای محاسبه طول هر یک از بازه‌های هیستوگرام درنظر گرفته می‌شود.

در مرحله بعدی ماتریس B که دربرگیرنده فراوانی درایه‌های ماتریس A در هر یک از بازه‌های هیستوگرام می‌باشد را تشکیل می‌دهیم:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & . & . & . & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & . & . & . & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & . & . & . & b_{mm} \end{bmatrix}$$

که در آن:

b_{ij}**:** فراوانی تعداد عناصر درایه‌های سطر i ام ماتریس A که در بازه j ام از k بازه هیستوگرام قرار می‌گیرند.

در حقیقت با تشکیل ماتریس B، کلونی در هر یک از بازه‌های هیستوگرام بدست می‌آید. در مرحله بعدی بر اساس وزنی که تصمیم‌گیرنده برای بازه‌های هیستوگرام درنظر می‌گیرد، به تعیین بازه‌های اطمینان برای هر یک از عدم قطعیت‌ها می‌پردازیم. فرض کنید که تصمیم‌گیرنده اوزان زیر را انتخاب کرده باشد:

بازه	اول	دوم	سوم	....	**K** ام
وزن	$\mathbf{V_1}$	$\mathbf{V_2}$	$\mathbf{V_3}$	**....**	$\mathbf{V_k}$

که در آن V_i وزن و اهمیت بازه i ام می‌باشد که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین خواهد شد.
حال بردار C را بصورت زیر درنظر می‌گیریم:

$$c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} \qquad ; \quad c_j = \sum_{i=1}^{k} v_i \times b_{ji}$$

که در آن $c' = Max\ \{c_i\}\ , i = 1,2,\ldots,m$ مرکز کلونی را تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر c' متناظر با بردار عدم قطعیتی است که مرکز کلونی را تشکیل می‌دهد. حال به محاسبه بازه‌های اطمینان برای عدم قطعیت‌ها می‌پردازیم:

بازه اطمینان برای عدم قطعیت i ام= $(a_i\ , b_i)$

$$= \{(Min\, x_{ij} \ \mid x_{ij} \in A)\ , (Max\, x_{ij} \ \mid x_{ij} \in A\}$$

که در آن:

A = بازه قابل قبول، به مرکزیت کلونی.

نکته حایز اهمیت این است که اگر به نظر تصمیم‌گیرنده، تعداد نقاط تشکیل دهنده کلونی به مرکزیت بردار iام ناکافی باشد آنگاه می‌توان طول بازه مطلوبیت را بزرگتر درنظر گرفت و رویه بالا را دوباره طی کرد که بطور یقین با انجام این عمل کلونی به‌دست می‌آید که شامل نقاط بیشتری باشد.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با بکارگیری یک روش ابتکاری و با استفاده از خروجی شبیه‌سازی مونت کارلوی هوشمند شده (Risk Profile)، برای هریک از عدم قطعیت‌های پروژه، یک بازه اطمینان که دربرگیرنده کم‌ریسک‌ترین (محتمل‌ترین) مقادیر برای آنهاست، درنظر گرفته می‌شود.

روشی که در این مقاله شرح داده شد از دو جنبه حائز اهمیت است:

۱- به کارفرمایان برای واگذاری پروژه‌های مورد نظر به پیمانکاران لایق و تصمیم گیری صحیح و منطقی در خصوص طرح‌های پیشنهادی که از سوی پیمانکاران فرستاده می‌شود، کمک شایانی خواهد نمود.

۲- مزایای این روش برای پیمانکاران، بسی بیشتر از کارفرمایان می باشد که از آن جمله به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- پیمانکاران را در تهیه طرح پیشنهادی برای شرکت در مناقصه، با دید عمیق‌تری به عدم قطعیت‌ها می‌نگرد و در نتیجه بسیاری از ابهامات پروژه برای آنها مرتفع خواهد شد.
- فعالیت‌ها، نیروی انسانی، ماشین آلات و ... را بهتر برنامه ریزی می‌کند.
- به‌علت درنظرگیری محتمل‌ترین مقادیر عدم قطعیت‌ها، تعهدات پیمانکار مطابق پروپوزال تهیه شده انجام خواهد شد و احتمال از دست دادن تعدیل‌های پروژه کمتر خواهد شد.
- با وقایع دور از انتظار و نوسانات ناگهانی، کمتر روبه‌رو خواهد شد.

پیامدهای بعدی این روش، خوش نامی و کسب اعتماد بازار به‌علت توانایی انجام پروژه مطابق تعهدات می‌باشد.

منابع و مراجع

۱) قراردادهای ساختمانی، جیمی هینزی، محمدتقی بانکی، انتشارات اطلاعات، تهران ۱۳۷۷

۲) مدیریت پروژه و پیمان‌ها، امیر حسنی، محمدرضا علی، انتشارات ورزش نگار، ۱۳۸۴

۳) اصول تنظیم قراردادهای بین المللی، رضا پاکدامن، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۲

۴) Hayse J.W., "Using Monte Carlo analysis in ecological risk assessments." published by united states environmental protection agency, October ۲۰۰۰

۵) Usable M.A, "Applications to risk theory of a Monte Carlo multiple integration method." Insurance mathematics and economics, Vol. ۲۳, PP. ۷۱-۸۳