

ارائه مدلی برای در نظر گیری وابستگی عدم قطعیت‌ها در شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور بهبود فرآیند تحلیل کمی ریسک پروژه

ابوطالب گرئی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه تهران

t_grei@yahoo.com

چکیده:

امروزه بررسی و تحلیل عدم قطعیت‌ها در هر پروژه‌ای امری ضروری محسوب می‌گردد بطوریکه بدون در نظر گیری و تحلیل این عدم قطعیت‌ها، وقوع حالات نامطلوبی که رخداد آنها اهداف پروژه را به چالش می‌کشاند؛ دور از انتظار نیست. بررسی و تحلیل عدم قطعیت‌ها در چارچوب مدیریت ریسک انجام می‌گیرد. از آنجا که تهدیدها و فرصتها منفک از یکدیگر نمی‌باشند؛ از روش شبیه‌سازی مونت کارلو به عنوان ابزاری جهت تحلیل و بررسی یکپارچه و همزمان ترکیبات مختلف عدم قطعیت‌ها استفاده می‌گردد. این روش، ابزار قدرتمندی جهت بررسی پیامد رخداد انواع حالات عدم قطعیت‌ها می‌باشد که مزایای قابل توجهی از جمله در نظر گیری رخداد توأم عدم قطعیت‌ها و قابلیت ارائه ابعاد گوناگون تابع مطلوبیت را دارا می‌باشد. علیرغم این مزایا، بخاطر عدم در نظر گیری نوع و میزان تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر، ترکیباتی از عدم قطعیت‌ها رخ خواهند داد که در دنیای واقعی امکان‌پذیر نیست و تابع مطلوبیت را تا حدی از واقعیت دور می‌کند. مدل پیشنهادی این مقاله گامی است در راستای هوشمندسازی روش کلاسیک شبیه‌سازی مونت کارلو که با در نظر گیری تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر و ارائه الگوریتم چرخشی به عنوان مکمل آن، تا حد زیادی تابع مطلوبیت را به واقعیت نزدیک می‌کند بطوریکه تصمیم‌گیری و تحلیل ریسکها بر اساس فراوانی رخداد حالات گوناگون که در دنیای واقعی محتمل‌تر هستند، میسر گشته و شرایط بهتری جهت اتخاذ تصمیمات درست مهیا می‌شود.

کلید واژه: مدیریت ریسک، تحلیل کمی ریسک، شبیه‌سازی مونت کارلو، عدم قطعیت، تأثیر متقابل.

۱- مقدمه

در دنیای رقابتی امروزه و با توجه به محدود بودن منابع، مدیریت پروژه بطور فزاینده‌ای اهمیت یافته است. برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری از وظایف اصلی مدیر پروژه محسوب می‌گردد که بدون آنها دسترسی به اهداف پروژه میسر نمی‌باشد. در فرآیند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، ابتدا باید عدم قطعیت‌های پروژه شناسایی شده و پیامدهای آن و همچنین احتمال پیشامد آن پیامدها سنجیده و اندازه‌گیری شود. برای این منظور باید عدم قطعیتها و نتایج احتمالی آنها را بدرستی مورد بررسی قرار داد که این مسئله در مبحث مدیریت ریسک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدیریت ریسک بعنوان ابزار مهمی در مدیریت پروژه بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. مدیریت ریسک در موفقیت پروژه‌ها نقش کلیدی را ایفا می‌کند، بطوریکه با تمرکز روی عدم قطعیتها سعی در کمینه کردن تهدیدها، بیشینه کردن فرصتها و بهینه‌سازی دستیابی به اهداف پروژه دارد [۲].

از نظر Plato [۳] آگاهی از عدم قطعیتها تأثیر بسزایی در تصمیم‌گیریها دارد، او منظورش را چنین بیان کرده است: در آینده مسائل بیشتری از آنچه که اتفاق می‌افتد ممکن است اتفاق بیافتند. از مدیریت ریسک نباید بعنوان مبارزه با مشکلات و بحرانها یاد شود، بلکه باید قبل از رخداد بحرانها یا از دست رفتن فرصتها با پیاده‌سازی سیستماتیک مدیریت ریسک، آنها را تحت کنترل درآورد.

مدیریت ریسک مؤثر نیازمند ارزیابی عدم قطعیتها می‌باشد [۴] که دو بُعد را شامل می‌شود:

۱. احتمال وقوع عدم قطعیتها که مربوط به رخداد یا عدم رخداد ریسک‌هایی می‌باشد که هنوز اتفاق نیافتاده‌اند.

۲. تأثیر وقوع عدم قطعیتها که در مورد نتایج حاصل از رخداد عدم قطعیتها بحث می‌کند.

موضوع مورد بحث ما در این مقاله مربوط به احتمال وقوع عدم قطعیتها است که با توجه به اهمیت آنالیز کمی در مدیریت ریسک [۵]، در قالب تجزیه و تحلیل کمی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

یکی از ابزارهای قدرتمند در تجزیه و تحلیل ریسک، روش شبیه‌سازی مونت کارلو است که از ویژگیهای این روش می‌توان به در نظرگیری توأم تهدیدها و فرصتها از یک سو و انتخاب معیارهای گوناگون بعنوان مطلوبیت، از سوی دیگر یاد کرد. روش شبیه‌سازی مونت کارلو تکنیکی است آماری که بعنوان ابزار مهمی برای ارزیابی ریسک محسوب می‌گردد [۶]، این روش برای اولین بار در سال ۱۹۴۰ مورد استفاده قرار گرفته است که با استفاده از رایانه‌های امروزی، قابلیت دسترسی و پیاده‌سازی آن در بسیاری از زمینه‌های جدید ایجاد گردیده است. بکارگیری این روش، همزمان با نارضایتی از محاسبات فراوانی که برای تخمین نقطه‌ای یا قطعی عدم قطعیتها صورت می‌گرفته، از رشد و گسترش فزاینده‌ای برخوردار شده است [۷].

با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، تخمینی بیطرفانه از مطلوبیت بدست می‌آید [۸]. با توجه به مزایای بیشمار روش شبیه‌سازی مونت کارلو در تجزیه و تحلیل کمی ریسک، این روش عاری از نقص نمی‌باشد، بطوریکه تأثیرات متقابل عدم قطعیتها بر یکدیگر را در نظر نمی‌گیرد که این امر موجب بروز رخداد ترکیباتی از عدم قطعیتها می‌گردد که شاید رخداد آنها در دنیای واقعی غیرممکن باشد، در مقاله حاضر با ارائه یک الگوریتم چرخشی و در نظرگیری تأثیرات متقابل این عدم قطعیتها بر یکدیگر تا حد بسیار زیادی بر این ضعف غلبه می‌کنیم.

۲- شبیه‌سازی مونت کارلو

اساس روش شبیه‌سازی مونت کارلو، نمایش ترکیبات تصادفی حالات ممکنه از عدم قطعیت‌هایی است که در یک پروژه رخ می‌دهند. در این روش از قدرت و سرعت رایانه جهت نمایش حالات مختلفی که برای عدم قطعیتها رخ می‌دهند؛ استفاده می‌شود.

در این روش ابتدا تابع توزیع احتمالات انواع عدم قطعیت‌هایی که در مراحل قبلی مدیریت ریسک شناسایی شده‌اند؛ توسط کارشناسان تیم مدیریت پروژه و گاهاً تجربیات پروژه‌های گذشته تعیین می‌گردند. بعنوان مثال ممکن است هزینه که یکی از عدم قطعیت‌های مشترک در پروژه‌های مختلف می‌باشد؛ از توزیع نرمال با پارامترهای μ و σ پیروی نماید.

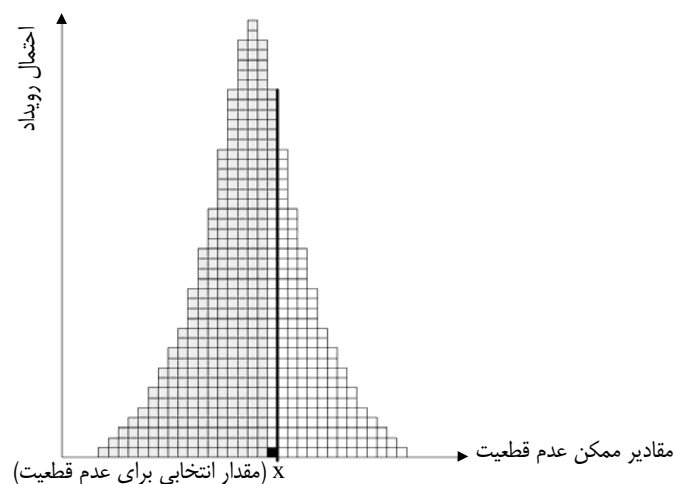
در مرحله دوم ابتدا تعداد اجراهای شبیه‌سازی تعیین می‌گردند که تعداد آنها بسته به پیچیدگی و ابعاد پروژه و اهمیت ریسک‌های مورد بررسی در پروژه تعیین می‌گردد. این تعداد می‌تواند ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ... انتخاب گردد. البته هرچه تعداد اجراهای شبیه‌سازی بیشتر باشد؛ حالات احتمالی بیشتری در فضای ممکن (فضای جواب) بررسی می‌گردند.

در روش شبیه‌سازی مونت کارلو، در هر اجرا برای هریک از عدم قطعیت‌ها یک مقدار احتمالی بین حد پایین و بالای عدم قطعیت‌ها مربوطه تولید می‌شود که فراوانی آن، از تابع توزیع احتمالات آن عدم قطعیت‌ها پیروی می‌کند. بدین طریق در هر اجرا، یک مجموعه جواب که در تناظر یک به یک با عدم قطعیت‌ها می‌باشد؛ تولید می‌شود که بیانگر یکی از حالات ممکن مطلوبیت می‌باشد. اجراهای دیگر شبیه‌سازی، وضعیت‌های بیشتری از حالات ممکن مطلوبیت را ارائه می‌دهند.

۳- تشریح شبیه‌سازی مونت کارلو

روش شبیه‌سازی مونت کارلو در قالب الگوریتم زیر اجرا می‌گردد:

- گام ۱) تابع توزیع هریک از عدم قطعیت‌ها که در فاز دوم از مدیریت ریسک شناسایی شده‌اند؛ با استفاده از اطلاعات آماری پیشین و نظرات کارشناسان فنی و اقتصادی تعیین می‌گردند.
- گام ۲) سطح زیر نمودار هر یک از عدم قطعیت‌ها را به تعداد اجراهای شبیه‌سازی، به مربعهایی هم‌اندازه تقسیم می‌شود. (مطابق شکل ۱)
- گام ۳) برای هریک از عدم قطعیت‌ها عدد تصادفی A از بازه $[0, 1]$ انتخاب می‌گردد.
- گام ۴) از اولین مربع سمت چپ نمودار متناظر با هر یک از عدم قطعیت‌ها شروع کرده و تا مربعی پیش می‌رویم که A درصد از تعداد کل مربعها پوشش داده شوند (در شکل ۱ این مربعها با رنگ خاکستری مشخص شده‌اند). در امتداد ضلع راست مربع حاضر، یک خط نشانه عمودی در نظر گرفته می‌شود. محل تقاطع این خط نشانه با محور افقی به عنوان مقدار انتخابی برای عدم قطعیت مربوطه ثبت می‌گردد. جهت شمارش فراوانی مقدار انتخاب شده، پایین‌ترین مربع علامت گذاری نشده در سمت چپ خط نشانه فعلی علامت گذاری می‌شود (مربع مشکی رنگ در شکل ۱). موارد ذکر شده در این گام برای تمام عدم قطعیت‌ها انجام می‌گیرد که نتیجه آن برداری است که داریه‌های آن بیانگر مقادیر ثبت شده برای هریک از عدم قطعیت‌ها می‌باشد.
- گام ۵) اگر در سمت چپ خط نشانه عمودی، مربع علامت‌گذاری نشده‌ای وجود نداشته باشد؛ عدد A از بازه $[0, 1]$ حذف می‌گردد و این اجرا نادیده گرفته می‌شود.
- گام ۶) مقدار مطلوبیت برای این بردار از مقادیر ثبت شده محاسبه می‌گردد.
- گام ۷) تا زمانی که تمام مربعها علامت گذاری نشده‌اند؛ به گام ۲ بروید.
- گام ۸) نمودار فراوانی مطلوبیتها رسم می‌گردد.

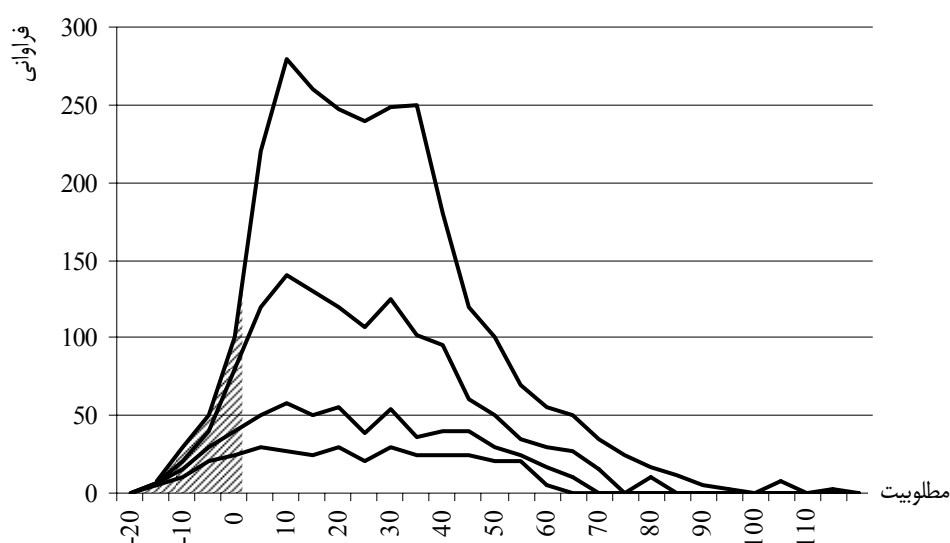


شکل ۱: مقداردهی عدم قطعیت

روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای تعداد اجراهای متنوعی (بطور مثال ۱۰۰۰، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰ و...) اجرا می‌گردد. نمودار نتایج اجراهای مختلف در کنار یکدیگر قرار داده شده و تحلیل می‌گردند.

۴- تحلیل خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو

خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو بیانگر فراوانی مقادیر مختلف تابع مطلوبیت در اثر رخداد حالات گوناگون عدم قطعیت‌ها می‌باشد. شکل ۲ نمونه‌ای از خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو برای اجراهای مختلف را نمایش می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است؛ در اجراهای مختلف شبیه‌سازی، بیشترین فراوانی (قله‌ها) در محدوده‌ای مشخص از مقادیر مطلوبیت واقع می‌شوند.



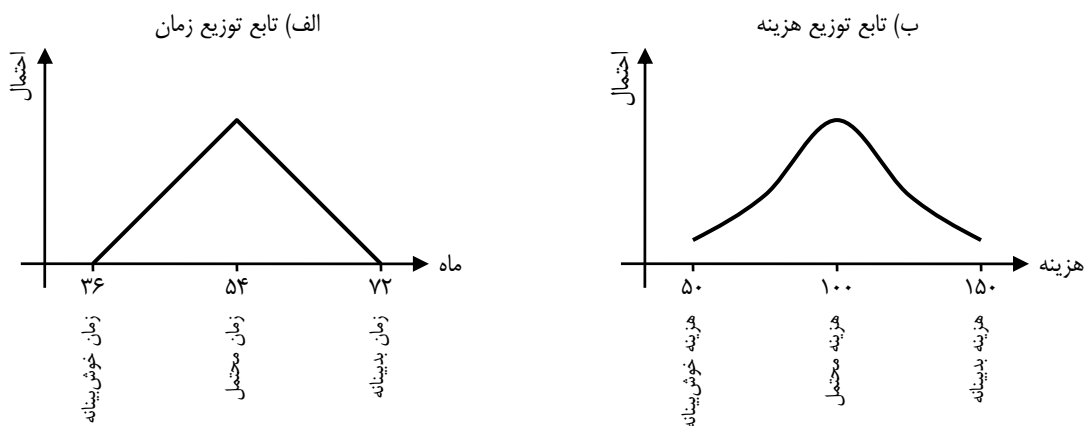
شکل ۲: نمایش دهنده سیمای بی‌حجاب ریسک

از دیگر نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو، تخمین درصد احتمال رخداد عدم قطعیت‌ها مطلوبیت (ناحیه هاشور خورده در شکل ۲ در رخداد حالات گوناگون عدم قطعیت‌ها می‌باشد. این مقدار بعنوان یکی از شاخصهای مهم در تصمیم‌گیری توجیه‌پذیری، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵- ضعف مدل شبیه‌سازی مونت کارلو

در روش شبیه‌سازی مونت کارلو انتخاب مقادیر مختلف برای هر عدم قطعیت، کاملاً تصادفی و بدون در نظرگیری تعامل با دیگر عدم قطعیت‌ها انجام می‌گیرد. در دنیای واقعی بین عدم قطعیت‌ها تأثیرات متقابل با درجات مختلف همبستگی وجود دارد. این در حالی است که در شبیه‌سازی مونت کارلو، همانگونه که ذکر شد؛ تخصیص مقادیر به هر عدم قطعیت کاملاً مستقل از این تأثیرات متقابل صورت می‌پذیرد که در نتیجه بسیاری از حالات ناسازگار با شرایط واقعی در خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو لحاظ می‌گردند و باعث تحلیل و تصمیم‌گیری نادرست می‌گردد. به عنوان مثال عدم قطعیت‌های زمان و هزینه را در یک پروژه در نظر بگیرید. این دو عدم قطعیت دارای تأثیر متقابل با درجه همبستگی زیادی می‌باشند. معمولاً در محدوده مابین دو حالت بد بینانه - خوشبینانه این دو عدم قطعیت‌ها رابطه معکوس دارند یعنی برای کاهش زمان، نیاز به افزایش هزینه و برای کاهش هزینه، نیاز به افزایش زمان می‌باشد.

با انتخاب کاملاً تصادفی مقادیر برای هریک از عدم قطعیت‌ها در روش فعلی شبیه‌سازی مونت کارلو ممکن است مقادیری برای عدم قطعیت‌ها انتخاب شوند که در دنیای واقعی غیرممکن باشد. به عنوان مثال شکل ۳ را در نظر بگیرید. قسمت الف در این شکل بیانگر تابع توزیع زمان و قسمت ب بیانگر تابع توزیع هزینه می‌باشد. در روش مرسوم شبیه‌سازی مونت کارلو در نظر بگیرید که ابتدا برای عدم قطعیت زمان مقدار ۷۰ بدست آمده است که نزدیک به حد بالای نمودار تابع توزیع می‌باشد. آنچه در واقعیت انتظار می‌رود؛ این است که متناظر با این مقدار بدست آمده برای زمان، مقدار انتخابی برای هزینه نزدیک به حد پایین نمودار تابع توزیع هزینه باشد اما از آنجا که در روش شبیه‌سازی مونت کارلو انتخاب مقدار هزینه در این حالت کاملاً تصادفی است؛ ممکن است مقداری در حد بالای تابع هزینه بدست آید که حالتی مشابه این وضعیت، دور از واقعیت می‌باشد. متناظر با رخداد چنین حالات غیر قابل قبولی، مطلوبیت‌های غیر واقعی بدست می‌آیند که در تابع فراوانی مطلوبیت که از ابزار مهم تصمیم‌گیری و تحلیل ریسک می‌باشد؛ تأثیر گذار بوده و سبب اتخاذ تصمیمات نادرست می‌گردد.



شکل ۳: تابع توزیع فرضی برای دو عدم قطعیت زمان و هزینه

۶- روش پیشنهادی:

روش پیشنهادی گامی است در راستای هوشمندسازی روش مرسوم شبیه‌سازی مونت کارلو که در آن انتخاب تصادفی مقادیر عدم قطعیت‌ها تحت کنترل قرار می‌گیرد. این رویکرد در قالب الگوریتم زیر انجام می‌پذیرد:

- ۱- تعیین نوع وابستگی برای هر جفت از عدم قطعیت‌ها (مستقیم، معکوس، بی‌اثر).
- ۲- تعیین سطح وابستگی (شدت اثر) عدم قطعیت‌ها با 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 به صورت زیر:
 - ۶-۱- انتخاب عدد تصادفی در بازه $[1, 100]$ برای عدم قطعیت آزاد.
 - ۶-۲- پوشش A درصد از کل مربع‌های زیر نمودار عدم قطعیت آزاد.
 - ۶-۳- در نظر 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 به دست می‌آید و علامت گذاری پایین‌ترین مربع علامت گذاری نشده در سمت چپ خط عمودی.
 - ۶-۵- حذف عدد A از بازه $[1, 100]$ 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 هر یک از عدم قطعیت‌های وابسته، با استفاده از عدد تصادفی A که از هر یک از بازه‌های کنترل شده متناظرشان به دست 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.

در گام اول و دوم، تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر روی یکدیگر و همچنین میزان تأثیر آنها مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در گام‌های بعدی با توجه به تابع توزیع عدم قطعیت‌ها و تعداد اجراهای شبیه‌سازی، عدم قطعیت آزاد بر اساس الگوریتم چرخشی انتخاب می‌گردد. سپس با توجه به نوع و میزان تأثیرات متقابل، دیگر عدم قطعیت‌ها بصورتی کنترل شده و تصادفی، مقداردهی می‌گردند. در مراحل بعدی با بکارگیری الگوریتم چرخشی، عدم قطعیت آزاد تعویض می‌گردد. با این رویه علاوه بر حذف حالات غیرممکن، بخاطر بکارگیری الگوریتم چرخشی فضای جواب شدنی بطور دقیق‌تری تحلیل می‌گردد.

بدین منظور ابتدا با توجه به نظر کارشناسان و متخصصان، نوع و میزان تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر تعیین می‌گردد. انواع تأثیرات متقابل را در دسته‌های زیر مورد بررسی قرار می‌دهیم:

۱. تأثیر مستقیم
۲. تأثیر معکوس
۳. بی‌اثر

تأثیرات مستقیم و معکوس با سه مقیاس قوی، متوسط و ضعیف درجه‌بندی می‌شوند. جدول ۱ ضرایب متناظر با این سه مقیاس را نمایش می‌دهد که از این ضرایب برای تعیین بازه تصادفی کنترل شده دیگر عدم قطعیت‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۱: ضرایب شدت تأثیر متقابل

ضعیف	متوسط	قوی
۴	۲	۱

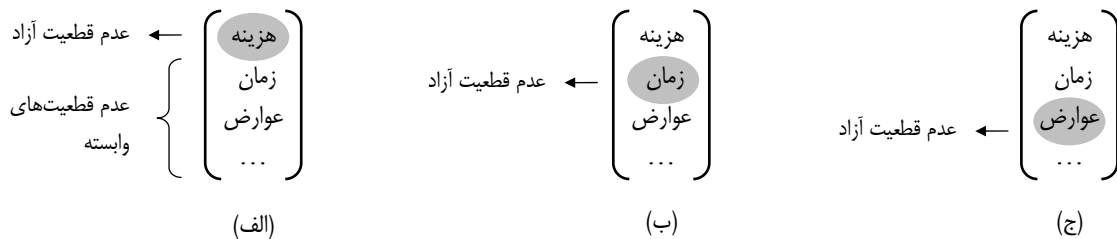
بعنوان مثال پروژه ساخت یک بزرگراه را در نظر بگیرید. عدم قطعیت‌های این پروژه بصورت کلی عبارتند از:

۱. هزینه ساخت
۲. زمان ساخت
۳. عوارض دریافتی از هر اتومبیل
۴. تعداد اتومبیل‌های استفاده کننده از بزرگراه در یک سال
۵. نرخ تورم
۶. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بزرگراه

مطلوبیت در این پروژه، ارزش خالص فعلی^۱ در نظر گرفته شده است. می‌دانیم عدم قطعیت‌های "مقدار عوارض دریافتی از هر اتومبیل" و "تعداد اتومبیل‌های استفاده کننده از بزرگراه در یک سال" رابطه‌ای معکوس دارند و فرضاً شدت آن توسط کارشناسان با مقیاس متوسط درجه‌بندی شده است. لذا ضریب ۲ (مطابق با جدول ۱) با نوع رابطه معکوس برای این تأثیر در نظر گرفته می‌شود. در مورد هزینه و زمان نیز می‌توان نوع و شدت تأثیر متقابل را بررسی نمود که مثلاً نوع معکوس با درجه قوی باشد (البته بسته به نوع قرارداد ممکن است نوع و شدت

^۱ Net Present Value (NPV)

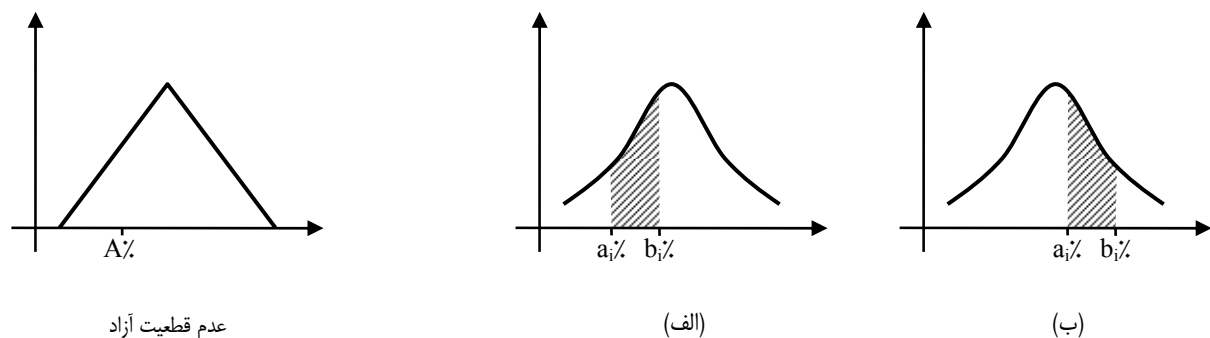
متفاوت باشند). به همین ترتیب دوه‌دو نوع و شدت اثر عدم قطعیت‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌شوند. شکل ۴ بکارگیری الگوریتم چرخشی جهت تعویض عدم قطعیتها را نشان می‌دهد. در اجرای اول (قسمت الف شکل ۴) اولین درایه بردار جواب به عنوان عدم قطعیت آزاد انتخاب می‌گردد (هزینه). در اجراهای بعدی بصورت چرخشی درایه‌های دوم، سوم، چهارم، ... ، آخر، اول، دوم، ... به عنوان عدم قطعیت آزاد انتخاب می‌گردند. قسمت‌های ب و ج شکل ۴ اجراهای بعدی و نحوه تعویض عدم قطعیت آزاد را نمایش می‌دهند.



شکل ۴: بکارگیری الگوریتم چرخشی

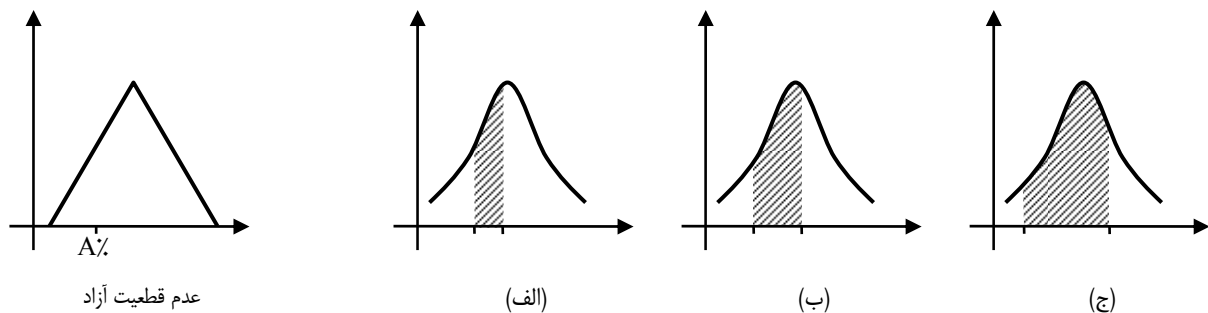
با بکارگیری این الگوریتم فرصت تأثیر هر یک از عدم قطعیتها بر دیگر عدم قطعیتها و بررسی دقیقتر فضای جواب به روش شبیه‌سازی مونت کارلو داده می‌شود. در هر اجرا برای مقداردهی عدم قطعیت آزاد بصورت کاملاً تصادفی بین [۱ و ۱۰۰] انتخاب تصادفی صورت می‌گیرد و تا گام ۶ الگوریتم شبیه‌سازی مونت کارلو طی شده و مقداردهی انجام می‌گیرد. سپس برای مقداردهی سایر عدم قطعیتها از بازه‌های کنترل شده‌ای برای انتخاب عدد تصادفی استفاده می‌گردد.

فرض کنید در اجرای مرحله n ام هستیم و عدم قطعیت آزاد، درایه دوم بردار جواب باشد. برای این عدم قطعیت عدد تصادفی A از بازه [۱ و ۱۰۰] جهت تعیین مقدار تصادفی در این اجرا استفاده می‌گردد. برای انتخاب بازه تصادفی (a_i و b_i) جهت تعیین مقدار تصادفی عدم قطعیت i ام ($i=۱, ۲, ۳, \dots$) با توجه به نوع و میزان تأثیر درایه دوم بر هر کدام از دیگر درایه‌های بردار جواب بصورت زیر عمل می‌شود. با توجه به شکل ۵ با عنایت به اینکه عدم قطعیت وابسته، نسبت به عدم قطعیت آزاد رابطه مستقیم (قسمت الف شکل ۵) یا معکوس (قسمت ب این شکل) داشته باشد؛ بازه مجاز برای انتخاب عدد تصادفی B در جهت یا خلاف جهت موقعیت A در بازه [۱ و ۱۰۰] انتخاب می‌گردد.



شکل ۵: تأثیر مستقیم و معکوس دو عدم قطعیت

اندازه بازه مجاز برای انتخاب عدد تصادفی B با توجه به ضریب شدت تأثیر تعیین می‌گردد. در قسمت الف شکل ۶ 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.



شکل ۶: بازه مجاز تصادفی با توجه به ضریب شدت تأثیر متقابل (با فرض تأثیر مستقیم)

نویسندگان مقاله جهت انتخاب اندازه بازه مورد نظر، طول ۱۰٪ را با مرکزیت A (یا $100-A$) از بازه $[1, 100]$ را به عنوان بازه پایه پیشنهاد می‌دهند. طول بازه مجاز برای هر عدم قطعیت با اعمال ضریب شدت تأثیر بصورت مضربی از بازه پایه تعیین می‌گردد. بعنوان 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 می‌گردد:

$$\left. \begin{array}{l} \text{میانگین بازه} = 100 - 82 = 18 \\ \text{طول بازه} = 2 \times 10 = 20 \end{array} \right\} \text{بازه مجاز} = (8, 28)$$

اگر در مثال بیان شده، شدت تأثیر ضعیف بود؛ چون حد پایین بازه از صفر کمتر می‌شود (۱۲-؛ بجای 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. بصورت کلی می‌توان رابطه زیر را جهت تعیین بازه مجاز برای عدم قطعیت‌های وابسته در نظر گرفت:

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

در رابطه فوق، n ضریب شدت تأثیر بوده و از جدول ۱ قابل محاسبه می‌باشد.

۷- نتیجه گیری

امروزه بررسی و تحلیل عدم قطعیت‌ها در هر پروژه‌ای امری ضروری محسوب می‌گردد بطوریکه رخداد این عدم قطعیت‌ها و تحلیل آنها وقوع حالات نامطلوبی که رخداد آنها اهداف پروژه را به چالش می‌کشاند؛ دور از انتظار نیست. در مبحث مدیریت ریسک، برای تحلیل هر دو جنبه تهدیدها و فرصتهای ناشی از این عدم قطعیت‌ها نیاز به ابزاری است که بتواند همزمان بر اساس تأثیر این دو نوع پیامد، مطلوبیت پروژه را مورد ارزیابی قرار دهد. در این راستا شبیه‌سازی مونت کارلو به عنوان ابزاری قدرتمند مورد استفاده قرار می‌گیرد که در تصمیم‌گیری و تحلیل ریسک‌های پروژه از اهمیت فراوانی برخوردار است. از ویژگیهای این روش، تحلیل همزمان فرصتها و تهدیدها، امکان در نظرگیری مطلوبیتهای گوناگون نظیر زمان، هزینه و ... و بررسی ترکیبات انواع حالات ممکن انواع حالات ممکن از عدم قطعیتها می‌باشد.

همانطور که اشاره شد؛ روش شبیه‌سازی مونت کارلو، از طرفی تمام حالات تصادفی ممکن (عملی و غیر عملی) از رخداد عدم قطعیت‌ها را بررسی می‌کند و از طرف دیگر بدون در نظرگیری نوع و میزان تأثیرات عدم قطعیت بر یکدیگر، فراوانی حالات مختلف مطلوبیت را ارائه می‌دهند. لذا روش شبیه‌سازی مونت کارلو روشی غیر هوشمند است زیرا علاوه بر اینکه امکان رخداد ترکیبی از عدم قطعیت‌ها را نتیجه می‌دهد که عملاً در دنیای واقعی غیر ممکن است؛ تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر را نیز در نظر نمی‌گیرد.

در روش پیشنهادی تا حد بسیار زیادی ضعف‌های روش شبیه‌سازی مونت کارلو برطرف می‌گردد و به عبارتی دیگر این روش گامی است در راستای هوشمندسازی و بهبود شبیه‌سازی مونت کارلو، بطوریکه از ویژگی‌های این روش پیشنهادی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- در نظرگیری تأثیر متقابل عدم قطعیت‌ها بر یکدیگر در شبیه‌سازی مونت کارلو.
- ارائه الگوریتم چرخشی جهت بررسی جامع‌تر فضای جواب شدنی در شبیه‌سازی مونت کارلو.
- جلوگیری از رخداد حالات غیرممکن از فراوانی مطلوبیت در خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو.
- تضمین اتخاذ تصمیمات درست در تحلیل ریسک.

مراجع

- [۱] Wood, G.D. and Ellis, R.C.T., "Risk management practices of leading UK cost consultants." Engineering construction and architectural management, Vol. ۱۰, No. ۴, ۲۰۰۳, PP. ۲۵۴-۲۶۲
- [۲] Hillson D., Murray-webster R., "Understanding and managing risk attitude, Understanding and managing risk attitude." Gower publishing limited, ۲۰۰۵
- [۳] Hillson D., Risk and Faith: Contradictory or complimentary, Faith in business quarterly, Vol. ۳, No. ۲, ۱۹۹۹, PP. ۸-۱۲
- [۴] Hillson D., Hulett D., "Assessing risk probability: Alternative approaches." Published as a part of ۲۰۰۴ PMI global congress proceedings, Prague, Czech republic, ۲۰۰۴
- [۵] Kujawski E. "Selection of technical risk responses for efficient contingencies.", April ۲۱, ۲۰۰۲
- [۶] Hayse J.W., "Using monte carlo analysis in ecological risk assessments." published by united states environmental protection agency, October ۲۰۰۰
- [۷] Poulter S.R. "Monte carlo simulation in environmental risk assessment – science policy and legal issues." Risk health safety & environment, ۱۹۹۸
- [۸] Usable M.A., "Applications to risk theory of a monte carlo multiple integration method." Insurance mathematics and economics, Vol. ۲۳, PP. ۷۱-۸۳