فصلنامه علمی- پژوهشی مدیریت دارایی و تأمین مالی
سال ششم، شماره دوم، شماره پیاپی (۲۱) تابستان ۱۳۹۷
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۰
صص: ۱۳۹-۱۵۸

Feasibility Analysis of Investment Projects with Fuzzy Data

Najmeh Ghandehary[1], Majid Esmaelian[2*]

1- M.Sc., Departmet of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran
najmehghandehary@yahoo.com
2- Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran
m.esmaelian@ase.ui.ac.ir

Abstract
In an uncertain economic decision environment, the knowledge of experts about discounting cash flows is confronted with a lot of ambiguities. Inexact parameters like cash flows and interest rates are usually estimated based on statistical techniques, expected values and fuzzy theory. In this study, by combining the fuzzy theory and Monte Carlo simulation, a method is presented for feasibility analysis of the investment projects using net present value and internal rate of return techniques with fuzzy data. The methods provided in litreture have several gaps. Firstly, some of these methods are based on specific fuzzy numbers (triangular and trapezoidal); secondly, they consider life of project and duration of investment as deterministic values or discrete fuzzy numbers. However, in many real problems, cash flows are in the form of fuzzy numbers with different shape and also project life is considered as continuous fuzzy number. The Method is presented in this paper can be used for cash flows, interest rates and life of project without any restrictions on shape of fuzzy numbers as discrete or continuous fuzzy number. Computational efficiency of the proposed method is compared with other methods by solving several examples. The results show the accuracy and efficiency of the proposed method.
Keywords: Feasibility analysis, Fuzzy theory, Monte Carlo simulation, Fuzzy net present value, Fuzzy internal rate of return

امکان‌سنجی طرح‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از داده‌های فازی

نجمه قندهاری[۱]، مجید اسماعیلیان[*۲]

۱- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
najmehghandehary@yahoo.com
۲- استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
m.esmaelian@ase.ui.ac.ir

چکیده
در محیط نامطمئن اقتصادی، دانش افراد خبره دربارۀ تنزیل جریان‌های نقدی با ابهام بسیار زیادی مواجه است. مقادیر جریان‌های نقدی و نرخ بهره به‌طور معمول، براساس روش‌های آماری یا مقادیر مدّنظر حدس زده می‌شود. نظریۀ فازی در تخمین پارامترهای نادقیق می‌تواند به کار گرفته شود. در این پژوهش با ترکیب نظریۀ مجموعه‌های فازی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو، روشی برای ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از روش‌های ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی با داده‌های فازی ارائه شده است. روش‌های پیشین، چندین نقص دارد: اولاً، برخی از این روش‌ها بر اعداد فازی خاص (مثلثی و ذوزنقه‌ای) مبتنی است؛ دوماً، دورۀ عمر طرح و مدت‌زمان سرمایه‌گذاری را به‌صورت مقادیر قطعی یا اعداد فازی گسسته در نظر می‌گیرد؛ در حالی که در بسیاری از مسائل واقعی، علاوه بر اینکه جریان‌های نقدی به‌صورت اعداد فازی با اشکال مختلف است، دورۀ عمر طرح به‌صورت عدد فازی پیوسته در نظر گرفته می‌شود. برای رفع این نقص، در این مقاله روش مبتنی بر شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی ارائه می‌شود که آن را بدون هیچ‌گونه محدودیتی برای جریان‌های نقدی و نرخ‌های بهره و دورۀ عمر طرح با انواع اعداد فازی و به‌صورت مقادیر فازی گسسته و پیوسته می‌توان استفاده کرد. با حل چندین مثال، کارایی محاسباتی روش پیشنهادی در قیاس با روش‌های پیشین نشان داده می‌شود و نتایج بدست آمده مشخص می‌کند دقت و کارایی این روش زیاد است.
واژه‌های کلیدی: امکان‌سنجی، ارزش فعلی خالص فازی، شبیه‌سازی مونت‌کارلو، نرخ بازده داخلی فازی، نظریۀ فازی

---

* نویسنده مسؤول

مقدمه

در دهه‌های اخیر به‌دلیل پیشرفت علوم و مباحث مالی، تحول عظیمی رخ داد که انتخاب و تصمیم‌گیری دربارهٔ رد یا پذیرش هر طرحی را دشوار کرده است. تحلیل طرح‌ها و انتخاب از میان راه‌حل‌های ممکن برای هر طرح بسیار حساس است و تنها با استفاده از روش‌هایی بررسی می شود که در ارزیابی مالی – اقتصادی، اهمیت اساسی دارد. روش‌های سنتی مانند ارزش فعلی خالص، نرخ بازده داخلی، نسبت منفعت به هزینه، دورهٔ بازگشت سرمایه و نرخ بازده حسابداری برای ارزیابی طرح ها استفاده می‌شود. این روش‌ها به‌طور عمده در وضعیت اطمینان کامل استفاده‌شدنی است و احتمال‌ها و مخاطرات آتی را در نظر نمی گیرد؛ بنابراین با توجه به عدم‌اطمینانی که امروزه بر محیط کسب وکار حاکم است، باید از روش‌های پیچیده‌ای مانند نظریهٔ بازی‌ها، اختیارات سرمایه‌گذاری، نظریهٔ فازی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو بهره برد که عدم‌اطمینان محیطی را نیز می‌توانند لحاظ کنند [۱۰].

هدف این پژوهش، توسعهٔ محاسبات فازی با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی برای عامل‌های ارزش زمانی پول و روش‌های ارزش فعلی خالص و روش نرخ بازده داخلی است؛ به‌گونه‌ای که این ارزیابی‌ها به نوع اعداد فازی محدود نشود و در عین حال، فرایند انجام محاسبات، کارایی محاسباتی داشته باشد. نتایج حاصل از روش پیشنهادی در قالب چندین مثال عددی با روش‌های فازی دیگر پژوهشگران مقایسه شده است.

مبانی نظری

اگرچه در بسیاری از علوم از نظریهٔ فازی در بررسی‌ها استفاده شده است، در تحلیل امکان‌سنجی طرح‌ها، به این نظریه کم‌تر توجه شده است. در خارج از ایران، پژوهش‌هایی دربارهٔ درنظرگرفتن عدم‌اطمینان در روش‌های امکان‌سنجی همچون ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی انجام شده است که از آن جمله به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

قهرمان و رویان و تولگا[1] (۲۰۰۲) در مقالهٔ خود، جریان‌های نقدی احتمالی و روش‌های بودجه‌بندی سرمایه‌ای را در وضعیت فازی مطالعه کرده‌اند و معتقدند مشخصات جریان نقدی برخی از طرح‌های سرمایه‌گذاری ممکن است به‌صورت اعداد فازی مثلثی و هندسی باشد. آنها برای محاسبهٔ ارزش فعلی، ارزش آتی و ارزش یکنواخت سالانه، دورهٔ بازگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی در وضعیت فازی و تحت مفروضات مرکب‌شدن پیوسته و گسسته، فرمول‌هایی ارائه می‌دهند. نتایج مقالهٔ ایشان نشان می‌دهد نرخ بهره و مقادیر جریان نقدی به‌طور معمول با حدس‌های قوی یا استنتاج‌ها از داده‌های آماری به دست می‌آید؛ بنابراین در تخمین این موارد از اعداد فازی می‌توان کمک گرفت [۹]. بوکلی، اسلامی و فیورینگ[2] (۲۰۰۲) برای محاسبهٔ ارزش آتی، ارزش فعلی، ارزش فعلی اقساط مساوی، ارزش آتی اقساط مساوی، ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی در وضعیت فازی و با استفاده از اصل گسترش و اصل تفکیک، فرمول‌هایی ارائه داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی فازی به واقعیت نزدیک‌تر است؛ زیرا این روش‌ها در ارتباط با جریان‌های نقدی آتی است و با فازی‌کردن آنها، ابهام موجود در وضعیت و داده‌های آتی را در محاسبات می‌توان لحاظ کرد [۴].

1. Kahraman, Ruan & Tolga
2. Buckley, Eslami & Feuring

یائو، چن و لین[1] (۲۰۰۵) با اشاره به ابهام‌های موجود در جریان‌های نقدی و نرخ تنزیل، الگوی فازی را برای جریان‌های نقدی تنزیل‌شده توسعه دادند. در این الگو، اطلاعات مبهم در قالب اعداد فازی مثلثی و برای ارزشیابی دارایی‌های مالی شرکت به‌کار رفته است. نتایج این پژوهش، بیان‌کنندۀ مزیت الگوی فازی جریان‌های نقدی تنزیل‌شده در مقایسه با الگوی سنتی آن است [۱۹]. کوچتا[2] (۲۰۰۸) با اشاره به این مطلب که تعریف‌های ارائه‌شده برای نرخ بازده داخلی فازی به بررسی و بحث نیاز دارد، در ابتدا برای نرخ بازده داخلی در وضعیت اطمینان تعاریفی ارائه و سپس به فازی‌ساختن نرخ بازده داخلی سنتی توجه کرده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد در ارزیابی طرح، به‌کاربردن نرخ بازده داخلی فازی در مقایسه با روش سنتی مفیدتر است؛ زیرا گاهی مرز رد یا پذیرش طرح مبهم است و استفاده از الگوی فازی، ابهام موجود را می‌تواند در نظر بگیرد [۱۱]. یوستانداگ[3] و همکاران (۲۰۱۰) الگوی نظاممندی برای ارزیابی مالی - اقتصادی سرمایه‌گذاری در RFID ارائه کردند. در این رویکرد، آنان منافع و مخارج ارزیابی سرمایه‌گذاری بر RFID را مشخص کردند و سپس با شبیه‌سازی مونت‌کارلو، ارزش فعلی خالص را به‌دست آوردند [۱۸]. تسائو[4] (۲۰۱۲) برای محاسبۀ ارزش فعلی خالص هنگام مواجهه با عدم‌اطمینان، مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها را بیان کرده است. او برای تخمین جریان‌های نقدی و هزینه‌های سرمایه از اعداد فازی استفاده کرده و با محاسبات فازی استاندارد، برای محاسبۀ ارزش فعلی خالص یک طرح، ارزش یکنواخت سالیانۀ چند طرح با طول عمر برابر و نیز ارزش یکنواخت سالیانۀ طرح‌هایی با طول عمر بی‌نهایت، فرمول‌هایی ارائه داده است [۱۷]. گورا، مگنیب و استفیانی[5] (۲۰۱۴) با اشاره به اینکه در ارزیابی سرمایه‌گذاری‌ها، عدم اطمینان را با فواصل یا اعداد فازی می‌توان مدیریت کرد، از اعداد فازی برای متوسط نرخ بازده داخلی بهره بردند و بدین‌ترتیب بر مشکلات نرخ بازده داخلی سنتی غلبه کردند. آنها در تنظیمات محاسبات فازی بین سرمایه‌گذاری موقت، سود و جریان‌های نقدی که عناصر تشکیل‌دهنده از متوسط نرخ بازده داخلی هستند، روابطی ایجاد و روابط بین متوسط نرخ بازده داخلی فازی و ارزش فعلی خالص فازی را بررسی کردند [۸]. شفیع و جامن[6] (۲۰۱۶) بیان کرده‌اند در محیط اقتصادی نامطمئن، اتّخاذ تصمیم‌های سرمایه‌گذاری دشوار شده است؛ از این‌رو، از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تخمین دقیق‌تر تکنیک ارزش فعلی خالص استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد شبیه‌سازی مونت‌کارلو، ابزار مناسبی برای لحاظ‌کردن عدم‌قطعیت در ارزش فعلی خالص است [۱۶].

در پژوهش‌های داخلی نیز منطق فازی در ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری و عدم‌قطعیت در مسائل بودجه‌بندی سرمایه‌ای به‌کار گرفته شده است که از آن جمله به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

اکبری مقدم و خلیلی عراقی (۱۳۸۹) معتقدند روش‌های پیچیدۀ بودجه‌بندی سرمایه‌ای شامل روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو، نظریۀ بازی‌ها و اختیارات سرمایه‌گذاری است. آنان کاربرد شیوه‌های پیچیدۀ بودجه‌بندی سرمایه‌ای در صنعت پتروشیمی ایران را بررسی کرده‌اند. یافته‌های پژوهش آنها نشان می‌دهد عامل عدم‌قطعیت مالی (عدم‌قطعیت سود و عدم‌قطعیت نرخ تورم) در استفاده از روش‌های بودجه‌بندی

1. Yao, Chen & Lin
2. Kuchta
3. Ustundag
4. Tsao
5. Guerraa, Magnib & Stefaninic
6. Shaffie & Jaaman

سرمایه‌ای پیچیده، عامل تأثیرگذاری محسوب می‌شود و عدم‌قطعیت نرخ تورم، اصلی‌ترین عامل مؤثر در روش‌های بودجه‌بندی سرمایه‌ای است [۲].

قاسمی و محمودزاده (۱۳۸۹) با اشاره به اینکه فرض وجود قطعیت کامل در وضعیت تحلیل اقتصادی ایستا استفاده و سبب آسان‌ترشدن تجزیه و تحلیل اقتصادی می‌شود، بیان می‌کنند درعمل، به‌دلیل وجود ریسک و عدم‌قطعیت، به‌طور معمول بین آنچه پیش‌بینی‌شده و آنچه تحقق‌یافته است، تفاوت وجود دارد. آنها با استفاده از منطق فازی، الگویی برای ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری در وضعیت عدم‌قطعیت ارائه کردند و روش‌های مختلف ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری (روش‌های ارزش خالص کنونی، یکنواخت سالیانه، نسبت منفعت به هزینه و نرخ بازده داخلی) را با اعداد فازی مثلثی بسط دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ممکن است طرحی پس از بررسی با روش‌های ارزیابی کلاسیک، توجیه مالی - اقتصادی داشته باشد؛ ولی در بررسی با روش‌های فازی توجیه نداشته باشد. این تفاوت ناشی از آن است که در روش فازی، وجود عدم‌قطعیت سبب تفاوت خروجی‌های الگو با حالت اول می‌شود [۷]. فریدونی و مرادیان بروجنی (۱۳۹۰) از مفاهیم فازی، برنامه‌ریزی شانس و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (SA) به‌عنوان وسیله‌ای برای تعیین ارزش خالص فعلی چند طرح و درنهایت، انتخاب اقتصادی‌ترین آنها بهره گرفته‌اند. در این مقاله، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و فرایند مالی خالص سالیانه براساس مقدار اعتبار به‌صورت فازی در نظر گرفته شده است. آنان ابتدا تکنیک شبیه‌سازی فازی را برای محاسبهٔ مقدار تابع هدف و مقدار اعتبار متغیرهای فازی به‌کار گرفته‌اند؛ سپس با استفاده از الگوریتم SA الگو را حل و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی فازی، براساس الگوریتم ژنتیک و روش شاخه و حد مقایسه کرده‌اند [۶]. عباس‌تبار و همکاران (۱۳۹۳) از نظریهٔ مجموعه‌های فازی به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی وضعیت عدم‌قطعیت استفاده کردند. آنان با فرض فازی‌بودن متغیرهای نرخ بهره و تورم، نرخ تبدیل ارز، دورهٔ ساخت و دورهٔ عمر مفید طرح (با توجه به وضعیت روز کشور) روابط کلاسیک اقتصاد مهندسی را در محیط فازی تعمیم دادند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد روش‌های ارزیابی امکان‌سنجی فازی نسبت به روش‌های کلاسیک آن، به تصمیم‌گیران و مسئولان اجرایی کمک می‌کند با توجه به میزان حساسیت انتخاب هر سناریو نسبت به تغییر متغیرهای اقتصادی، سناریوی برتر را انتخاب کنند [۱].

در مطالعات گذشته، اگرچه روش‌های معمول امکان‌سنجی همچون روش‌های ارزش فعلی خالص و روش‌های یکنواخت سالیانه و نسبت منفعت به هزینه و نرخ بازده داخلی، با داده‌های فازی بیان شده است، این محاسبات در بیشتر موارد با فرض مثلثی‌بودن مقادیر فازی بسط یافته است؛ در حالی که مطالعهٔ حاضر به‌دنبال آن است که روش‌های ارزیابی فازی برای کلیهٔ اعداد فازی استفاده‌شدنی باشد و به نوع خاصی محدود نشود. در اغلب مطالعات گذشته از اصل گسترش و محاسبات بازه‌ای برای ارزیابی طرح‌ها با داده‌های فازی استفاده شده است؛ در حالی که این پژوهش از شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی بهره برده است که ترکیبی از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی سنتی و نظریهٔ فازی است. این روش، این امکان را فراهم می‌آورد تا تمامی پارامترهای ورودی در ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری همچون جریان‌های نقدی درآمدی و هزینه‌ای، نرخ بهره و دورهٔ عمر را به‌صورت اعداد فازی بتوان لحاظ کرد.

لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ نظریهٔ فازی را برای اقدام در وضعیت عدم‌اطمینان معرفی کرد [۲۰]. این نظریه، بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌های نادقیق و مبهم را به‌شکل ریاضی می‌تواند الگوسازی کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در وضعیت عدم‌اطمینان فراهم کند. این نظریه، تعمیم یا گسترش طبیعی نظریهٔ مجموعه‌های قطعی است که با زبان و فهم طبیعی انسان‌ها نیز موافق است. این نظریه نیاز به اندازه‌گیری‌های دقیق را کاهش می‌دهد [۱۳]. درادامه، نگاه گذرایی بر تعریف‌ها و اصطلاحات مرتبط با نظریهٔ فازی خواهیم افکند.

تعریف ۱- برش- α [۱]: اگر $\tilde{A}$ یک زیرمجموعهٔ فازی از مجموعهٔ مرجع Ω باشد، برش α از مجموعهٔ $\tilde{A}$ به‌صورت $A[\alpha]$ نشان داده می‌شود [۳]:

$$A[\alpha] = A_\alpha = \{ x \in \Omega \,|\, \tilde{A}(x) \ge \alpha \}, 0 \le \alpha \le 1 \qquad (۱)$$

برای هر عدد فازی $\tilde{A}$، برش $A[\alpha]$ یک بازه محدود و بسته برای $0 \le \alpha \le 1$ است که به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$A[\alpha] = [A^{L(\alpha)}, A^{U(\alpha)}] \qquad (۲)$$

در معادلهٔ بالا، $A^{L(\alpha)}$ $(A^{U(\alpha)})$ تابع افزایشی (کاهشی) از α است و در سطح $\alpha = 1$ خواهیم داشت [۳]:

$$A^{L(1)} = A^{U(1)} \qquad (۳)$$

تعریف ۲- اصل تفکیک [۲]: اصل تفکیک بیان می‌کند که چگونه براساس برش‌های α، مجموعه‌های فازی را می‌توان تشکیل داد.

$$A = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} A^\alpha \qquad (۴)$$

علامت $\bigcup$ به‌معنای اجتماع و مجموعهٔ A^α یک مجموعهٔ فازی است که برای هر $x \in \Omega$ به‌شکل زیر تعریف می‌شود [۱۲]:

$$A^\alpha = \alpha . A_\alpha \qquad (۵)$$

تعریف ۳- عدد فازی مثلثی: عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$ با سه پارامتر $x_1 < x_m < x_2$ تعریف می‌شود که قاعدهٔ مثلث در بازهٔ $[x_1, x_2]$ و رأس آن $x = x_m$ است. اعداد فازی مثلثی را به‌صورت زیر می‌توان نوشت [۳]:

$$\tilde{A} = Tri(x_1, x_m, x_2) \qquad (۶)$$

عدد فازی مثلثی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود [۱۲]:

$$\tilde{A}(x) = \begin{cases} \dfrac{x - x_1}{x_m - x_1}, & x_1 \le x \le x_m \\ \dfrac{x - x_2}{x_m - x_2}, & x_m \le x \le x_2 \\ 0, & otherwise \end{cases} \qquad (۷)$$

برای به‌دست‌آوردن $\tilde{A}[\alpha]$ از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود [۱۳]:

$$A[\alpha] = [A^{L(\alpha)}, A^{U(\alpha)}] = [x_1 + \alpha(x_m - x_1);\ x_2 + \alpha(x_m - x_2)] \qquad (۸)$$

تعریف ۴- عدد فازی ذوزنقه‌ای: عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{A}$ با چهار پارامتر $x_1 < x_1^m < x_2^m < x_2$ تعریف می‌شود که آن را به‌صورت زیر می‌توان نوشت [۱۲]:

$$\tilde{A} = Trap(x_1, x_1^m, x_2^m, x_2) \qquad (۹)$$

عدد فازی ذوزنقه‌ای با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود:

---
1. Alpha-Cuts
2. Resolution Principle

$$\widetilde{A}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-x_1}{x_1^m-x_1}, & x_1\le x\le x_1^m\\ 1, & x_1^m\le x\le x_2^m\\ \dfrac{x-x_2}{x_2^m-x_2}, & x_2^m\le x\le x_2\\ 0, & x>x_2\end{cases} \qquad (۱۰)$$

برای به‌دست‌آوردن $A[\alpha]$ از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود [۱۲]:

$$\begin{aligned}A[\alpha]&=[A^{L(\alpha)},A^{U(\alpha}]\\&=[x_1+\alpha(x_1^m-x_1);\,x_2+\alpha(x_2^m-x_2)]\end{aligned} \qquad (۱۱)$$

تعریف ۵- عدد فازی گاوسی[1]: عدد فازی گاوسی یا اعداد فازی زنگوله‌ای‌شکل اغلب در موارد کاربردی استفاده می‌شود. تابع عضویت این عدد، به‌شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\widetilde{A}(x)=e^{\frac{-(x-\mu)}{2\sigma^2}},\ \forall x\in\Re \qquad (۱۲)$$

که در آن μ میانگین و σ انحراف معیار توزیع گاوس است. برای به‌دست‌آوردن $A[\alpha]$ از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود [۱۳]:

$A[\alpha]=[A^{L(\alpha)},A^{U(\alpha}]=$ $[-\sqrt{(2\sigma^2).Ln(\alpha)}+\mu;$ $+\sqrt{(2\sigma^2).Ln(\alpha)}+\mu]$	(۱۳)

تعریف ۶- عدد فازی پی: عدد فازی پی $\widetilde{A}$ با چهار پارامتر $x_1<x_1^m<x_2^m<x_2$ تعریف می‌شود که آن را به‌صورت زیر می‌توان نوشت [۱۲]:

$$\widetilde{A}=Pi(x_1,x_1^m,x_2^m,x_2) \qquad (۱۴)$$

این عدد با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود:

$$\widetilde{A}(x)=\begin{cases}0, & x\le x_1\\ 2\left(\dfrac{x-x_1}{x_1^m-x_1}\right), & x_1\le x\le\dfrac{x_1+x_1^m}{2}\\ 1-2\left(\dfrac{x-x_1^m}{x_1^m-x_1}\right), & \dfrac{x_1+x_1^m}{2}\le x\le x_1^m\\ 1, & x_1^m\le x\le x_2^m\\ 1-2\left(\dfrac{x-x_2^m}{x_2-x_2^m}\right), & x_2^m\le x\le\dfrac{x_2^m+x_2}{2}\\ 2\left(\dfrac{x-x_2}{x_2-x_2^m}\right), & \dfrac{x_2^m+x_2}{2}\le x\le x_2\\ 0, & x>x_2\end{cases}$$

(۱۵)

تعریف ۷- درجهٔ تساوی دو عدد فازی: با استفاده از اصل گسترش، میزان امکانی که عدد فازی $\widetilde{A}$ مساوی عدد فازی $\widetilde{B}$ است، به‌شکل زیر تعریف می‌شود [۱۲]:

$$V(\widetilde{A}=\widetilde{B})=\underset{\substack{x,y\\x=y}}{Max}(Min(\widetilde{A}(x),\widetilde{B}(y))) \qquad (۱۶)$$

تعریف ۸- غیرفازی‌کردن[2] با روش مرکز ثقل[3]: غیرفازی‌کردن برای تبدیل مقادیر فازی به مقادیر قطعی به‌کار می‌رود. یکی از رایج‌ترین شیوه‌های غیرفازی‌کردن مجموعه‌های فازی، روش مرکز ثقل است که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده و به‌صورت زیر است [۱۴]:

$$df(\widetilde{A})=\frac{\int x.\widetilde{A}(x).d(x)}{\int \widetilde{A}(x).d(x)} \qquad (۱۷)$$

شبیه‌سازی مونت‌کارلو، یکی از روش‌های الگوسازی عدم قطعیت است. در این روش به جای حل تحلیلی، الگو برای چندین بار در شرایطی تصادفی آزمایش و بررسی می‌شود و سپس با تحلیل داده های به‌دست‌آمده، عملکرد سیستم واقعی مشخص می‌شود. در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی سنتی، نمونه‌های ایجادی به‌طور کامل، قطعی است؛ یعنی عدم‌قطعیت در

1. Gaussian Fuzzy Number
2. Defuzzification
3. Centroid Method

نظر گرفته نمی‌شود. از آنجا که بیشتر اطلاعات تجربی به‌طورمعمول غیردقیق هستند، به رویکرد دیگری از شبیه‌سازی برای پشتیبانی از عدم‌قطعیت در سیستم‌های واقعی نیاز است. ایدهٔ اصلی روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی، نمایش چگونگی تولید اعداد فازی - تصادفی با رویکرد شبیه‌سازی مونت‌کارلو است. ترکیب محاسبات فازی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو، به‌طور همزمان، به عدم‌اطمینان و تصادفی‌بودن در محاسبات توجه می‌کند [۲۱].

روش پژوهش

در این پژوهش، روش ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی در وضعیت فازی بیان شده است. از آنجا که مبنای محاسبات این دو روش عامل ارزش فعلی است، ابتدا این عامل توضیح داده می‌شود:

براساس تعریف، ارزش فعلی عبارت است از جمع مقادیر هر جریان نقدی آتی که معادل آن در زمان حال محاسبه شده است [۴]. در این بخش، روش‌های بوکلی و شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی برای محاسبهٔ ارزش فعلی فازی به‌شرح می‌آید.

روش بوکلی و همکاران

الف) وضعیتی که جریان‌های نقدی آتی و نرخ بهره به‌صورت اعداد فازی و تعداد دوره‌ها به‌صورت قطعی است:

بوکلی و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که ارزش فعلی جریان نقدی آتی فازی $\widetilde{F}$ در سال n با نرخ بهرهٔ فازی $\widetilde{I}$ را با برش α از $\widetilde{F}$ و $\widetilde{I}$ به‌صورت زیر می‌توان محاسبه کرد [۴]:

$$P^{j(\alpha)}=\frac{F^{j(\alpha)}}{(1+I^{K(\alpha)})^{n}}$$
$$for\ j=1,2\ \begin{cases}\text{where k = j for negative } \widetilde{F}\\ \text{where k = 3 - j for positive } \widetilde{F}\end{cases} \qquad (۱۸)$$

در معادلهٔ بالا $P^{1(\alpha)}$ عبارت سمت چپ و $P^{2(\alpha)}$ عبارت سمت راست در برش α است.

$$P[\alpha]=[P^{1(\alpha)},P^{2(\alpha)}]=[P^{L(\alpha)},P^{U(\alpha)}] \qquad (۱۹)$$

آنان سپس با استفاده از اصل تفکیک، تابع عضویت $\widetilde{P}$ را به‌دست آوردند [۴].

ب) وضعیتی که در آن، جریان‌های نقدی آتی و نرخ بهره به‌صورت اعداد فازی و تعداد دوره‌ها به‌صورت یک مجموعهٔ فازی گسسته است: در این روش، بوکلی و همکاران، جریان‌های نقدی آتی، نرخ بهره و تعداد دوره‌ها را به‌صورت فازی در نظر گرفته‌اند. آنان $\widetilde{n}$ را به‌صورت یک مجموعهٔ فازی گسستهٔ غیرمنفی پنداشتند؛ به‌گونه‌ای که:

$$\widetilde{n}(x)=\begin{cases}\lambda_i : if\ x=n_i\\ 0 : otherwise\end{cases} \qquad (۲۰)$$

برای محاسبهٔ $\widetilde{P}$ تحت این شرایط، آنان فرمول زیر را ارائه کردند:

$$\widetilde{P}(x)=\max_{1\le i\le K}\{\min\{\widetilde{P}_{n_i}(x),\lambda_i\}\} \qquad (۲۱)$$

فرمول فوق سبب می‌شود بوکلی و همکاران $\widetilde{F}(1+\widetilde{I})^{\widetilde{n}}$ را به‌سادگی محاسبه کنند. آنها ابتدا $\widetilde{P}_{n_i}$ را از معادلهٔ (۱۶) به‌ازای $1\le i\le K$ محاسبه می‌کنند و هر $\widetilde{P}_{n_i}$ را در ارتفاع λ_i برش می‌زنند و سپس حاصل ماکزیمم را از مجموعه‌های فازی به دست می‌آورند [۴].

روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی

الف) وضعیتی که در آن، جریان‌های نقدی آتی و نرخ بهره به‌صورت اعداد فازی و تعداد دوره‌ها به‌صورت قطعی است: اطلاعات ورودی شامل جریان‌های نقدی آتی (F)، نرخ بهره (I) و تعداد دوره‌ها (n) است. $\tilde{F}$ و $\tilde{I}$ به‌صورت عدد فازی بیان می‌شود و با تولید اعداد تصادفی، هر بار، مقادیر کمی برای آنها می‌توان ایجاد کرد؛ سپس مطابق روابط موجود در برنامهٔ کامپیوتری، ورودی‌های شبیه‌سازی‌شده با عامل معلوم n ترکیب می‌شود و نتیجهٔ آن اجرا $P[\alpha]$ را نشان می‌دهد؛ سپس با استفاده از اصل تفکیک، عدد فازی خروجی $\tilde{P}$ مشخص می‌شود. در این بخش، برای محاسبهٔ ارزش فعلی فازی از شبه‌الگوریتم زیر استفاده شده است.

1- For all $\alpha_i \in [0, 0/05, 0/1, \ldots, 1]$, Select a α_i

2- For each α_i calculate $\alpha - cut$ of fuzzy parameters:

$$F_{\alpha_i} = \left[F^{L(\alpha_i)}, F^{U(\alpha_i)}\right]; I_{\alpha_i} = \left[I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}\right]$$

3- Based on $\alpha - cut$ create random number and calcutate random Present Value at level α_i .

$$For\ j = 1\ to\ Maxitr$$

$$F_j \in [F^{L(\alpha_i)}, F^{U(\alpha_i)}];\ I_j \in [I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}]$$

$$P_j = \frac{F_j}{(1+I_j)^n}$$

$$Nex\ \ j$$

4- with use of $Maxitr$ random value $(P_j, j = 1, \ldots, Maxitr)$ create $\alpha - cut$ of Present Value:

$$P^{L(\alpha_i)} = \underset{j=1}{\overset{Maxitr}{Min}} (P_j) \quad , \quad P^{U(\alpha_i)} = \underset{j=1}{\overset{Maxitr}{Max}} (P_j)$$

5- Next α_i

6- Calcutale Fuzzy Present Value $\left(\tilde{P}\right)$ with use of all $\left[P^{L(\alpha_i)}, P^{U(\alpha_i)}\right]$ and Extention Principle.

ب) وضعیتی که در آن، جریان‌های نقدی آتی و نرخ بهره به‌صورت اعداد فازی و تعداد دوره‌ها به‌صورت مجموعهٔ فازی گسسته است: اطلاعات ورودی مشابه حالت الف است؛ با این تفاوت که $\tilde{F}$ و $\tilde{I}$ به‌صورت اعداد فازی و $\tilde{n}$ به‌صورت یک مجموعهٔ فازی گسسته بیان می‌شود. در این بخش برای محاسبهٔ ارزش فعلی فازی از الگوریتم زیر استفاده شده است.

K=1

1- For all $\lambda_t \in [\frac{n_1}{\lambda_1}, \frac{n_2}{\lambda_2}, \ldots, \frac{n_m}{\lambda_m}]$, Select a λ_t

For all $\alpha_i \in [0, 0/05, 0/1, \ldots, 1]$

2- Select a α_i

3- For each α_i calculate $\alpha - cut$ of fuzzy parameters:

$$F_{\alpha_i} = \left[F^{L(\alpha_i)}, F^{U(\alpha_i)}\right]; I_{\alpha_i} = \left[I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}\right]$$

4- Based on $\alpha - cut$ create random number and calcutate random Present Value at level α_i

$$For\ j = 1\ to\ Maxitr$$

$$F_j \in [F^{L(\alpha_i)}, F^{U(\alpha_i)}];\ I_j \in [I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}]$$

$$P_j = \frac{F_j}{(1+I_j)^{n_t}}$$

$$Nex\ \ j$$

5- with use of $Maxitr$ random value $(P_j, j = 1,\dots,Maxitr)$ create $\alpha - cut$ of Present Value:

$$P_i^{L(\alpha'_k)} = \overset{Iteration}{\underset{j=1}{Min}} (P_j)\ ,\ P_i^{U(\alpha'_k)} = \overset{Iteration}{\underset{j=1}{Max}} (P_j)$$

$$\alpha'_k = Min(\lambda_t, \alpha_i)$$

$$k = k + 1$$

6- Next α_i

7- Next λ_t

8- Calcutale Fuzzy Present Value $\left(\tilde{P}\right)$ with use of all $\left[P^{L(\alpha'_k)}, P^{U(\alpha'_k)}\right]$ and Extention Principle.

ج) وضعیتی که در آن، جریان‌های نقدی آتی و نرخ بهره به‌صورت اعداد فازی و تعداد دوره‌ها نیز به‌صورت یک عدد فازی است: اطلاعات ورودی مشابه حالت الف است؛ با این تفاوت که $\tilde{F}$، $\tilde{I}$ و $\tilde{n}$ هر سه به‌صورت اعداد فازی بیان می‌شود. در پژوهش حاضر برای نخستین بار، ارزش فعلی در وضعیتی محاسبه شده است که $\tilde{n}$ به‌صورت یک عدد فازی است. در این وضعیت $\tilde{n}$ را به‌صورت عبارت‌های چپ و راست در سطح α به‌صورت زیر می‌توان نمایش داد:

$$n[\alpha] = [n^{L(\alpha)}, n^{U(\alpha)}] \qquad (۲۲)$$

برای محاسبهٔ ارزش فعلی فازی از الگوریتم زیر استفاده شده است:

1- For all $\alpha_i \in [0, 0/05, 0/1, \dots, 1]$, Select a α_i

2- For each α_i calculate $\alpha - cut$ of fuzzy parameters:

$$F_{\alpha_i} \in [F^{L(\alpha_i)}, F^{U(\alpha_i)}];\ I_{\alpha_i} \in [I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}];\ n_{\alpha_i} \in [n^{L(\alpha_i)}, n^{U(\alpha_i)}]$$

3- Based on $\alpha - cut$ create random number and calcutate random Present Value at level α_i .

$$For\ j = 1\ to\ Maxitr$$

$$F_j \in [F^{L(\alpha_i)}, F^{U(\alpha_i)}];\ I_j \in [I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}];\ n_j \in [n^{L(\alpha_i)}, n^{U(\alpha_i)}]$$

$$P_j = \frac{F_j}{(1+I_j)^{n_j}}$$

$$Nex\ \ j$$

4- with use of $Maxitr$ random value $(P_j, j = 1,\dots,Maxitr)$ create $\alpha - cut$ of Present Value:

$$P^{L(\alpha_i)} = \overset{Maxitr}{\underset{j=1}{Min}} (P_j)\ ,\ P^{U(\alpha_i)} = \overset{Maxitr}{\underset{j=1}{Max}} (P_j)$$

5- Next α_i

6- Calcutale Fuzzy Present Value $\left(\tilde{P}\right)$ with use of all $\left[P^{L(\alpha_i)}, P^{U(\alpha_i)}\right]$ and Extention Principle.

روش ارزش فعلی خالص[۱] (NPV) در حالت عدم اطمینان

ارزش فعلی خالص، روش متداولی برای مقایسهٔ گزینه‌های سرمایه‌گذاری است و عبارت است از تفاضل ارزش فعلی جریان‌های نقدی ورودی در دورهٔ عمر طرح و ارزش فعلی سرمایه‌گذاری اولیهٔ آن. اگر NPV طرح به‌ازای حداقل نرخ جذب‌کننده ($MARR$) مثبت باشد، طرح، انتخاب و در غیر این صورت رد می‌شود. مزایای استفاده از این روش، شناسایی ارزش زمانی پول و سهولت در محاسبه و معایب آن به‌شرح زیر است:

الف) تعیین نرخ تنزیل یا هزینهٔ سرمایهٔ مناسب دشوار است؛

ب) انتخاب نادرست برای طرح‌هایی که سرمایه‌گذاری اولیهٔ یکسانی ندارد؛

ج) نامناسب‌بودن برای طرح‌هایی که دورهٔ عمر یکسانی ندارد [۱۵].

در ادامه، روش‌های بوکلی و شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی برای محاسبهٔ ارزش فعلی خالص فازی تشریح می‌شود.

بوکلی، اسلامی و فیورینگ (۲۰۰۲) فرمول ارزش فعلی خالص را برای اعداد فازی توسعه داده‌اند. آنان بیان کردند که $F = F_0, F_1, \ldots, F_n$ جریان‌های نقدی تخمین‌زده‌شده برای یک پروژهٔ سرمایه‌گذاری در طول n دورهٔ زمانی است. اگر $F_t < 0$ باشد، آن‌گاه $(-F_t)$ سرمایه‌گذاری خالص طرح در پایان دورهٔ tام است. اگر $F_t > 0$ باشد، آن‌گاه F_t درآمد خالص طرح در پایان دورهٔ tام است. آنان فرض کرده‌اند که $F_0 < 0$ است؛ زیرا پروژهٔ مدّنظر، یک طرح سرمایه‌گذاری است که اغلب با سرمایه‌گذاری اولیه آغاز می‌شود. به گفتهٔ آنها تمامی جریان‌های نقدی آتی باید تخمین زده شود و نرخ بهرهٔ I نیز ممکن است تخمینی باشد؛ بنابراین آنان جریان‌های نقدی فازی $\widetilde{F} = \widetilde{F}_0, \widetilde{F}_1, \ldots, \widetilde{F}_n$ را با یک نرخ بهرهٔ فازی $\widetilde{I}$ در نظر گرفتند. $\widetilde{F}_0$ یک عدد فازی منفی است و سایر $\widetilde{F}_t$ ها ممکن است اعداد فازی مثبت یا منفی باشد. آنان ارزش فعلی خالص فازی را به‌صورت زیر بیان کردند:

$$NPV = \widetilde{F}_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{\widetilde{F}_t}{(1+\widetilde{I})^t} \qquad (۲۳)$$

پژوهشگران از محاسبات بازه‌ای[۲] و برش α برای ارزیابی معادلهٔ بالا بهره برده‌اند و برش α از $N\widetilde{P}V$ را به‌صورت زیر بیان کرده‌اند [۴]:

$$NPV[\alpha] = [NPV^{L(\alpha)}, NPV^{U(\alpha)}]$$

$$NPV^{L(\alpha)} = F_0^{L(\alpha)} + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t^{L(\alpha)}}{(1+I^{U(\alpha)})^t} \qquad (۲۴)$$

$$NPV^{U(\alpha)} = F_0^{U(\alpha)} + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t^{U(\alpha)}}{(1+I^{L(\alpha)})^t}$$

در روش شبیه‌سازی مونت کارلوی فازی، اطلاعات ورودی شامل جریان‌های نقدی آتی در دورهٔ t (F_t)، نرخ بهره (I) و تعداد دوره‌ها (n) است. $\widetilde{F}_t$ و $\widetilde{I}$ به‌صورت یک عدد فازی بیان می‌شود و با تولید اعداد تصادفی در هر بار، مقادیر کمی برای آنها می‌توان ایجاد کرد؛ سپس مطابق روابط موجود در برنامهٔ کامپیوتری، ورودی‌های شبیه‌سازی‌شده با عامل معلوم n، ترکیب می‌شود و نتیجهٔ آن اجرا، $NPV[\alpha]$ را نشان می‌دهد؛ پس از آن، با استفاده از اصل تفکیک، عدد فازی خروجی $N\widetilde{P}V$ مشخص می‌شود. همانگونه که بوکلی نیز بیان کرده است، $\widetilde{F}_0$ یک عدد فازی منفی است و سایر $\widetilde{F}_t$ ها ممکن است اعداد فازی مثبت یا منفی باشد.

---
1. Net Present Value

2. interval arithmetic

1- For all $\alpha_i \in [0, 0/05, 0/1, \ldots, 1]$, Select a α_i

2- For each α_i calculate $\alpha - cut$ of fuzzy parameters:

$$F_{0_{\alpha_i}} \in [F_0^{L(\alpha_i)}, F_0^{U(\alpha_i)}]; F_{t_{\alpha_i}} \in [F_t^{L(\alpha_i)}, F_t^{U(\alpha_i)}]; I_{\alpha_i} \in [I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}]$$

3- Based on $\alpha - cut$ create random number and calcutate random NetPresent Value at level α_i .

$$For\ j = 1\ to\ Maxitr$$

$$F_{0_j} \in [F_0^{L(\alpha_i)}, F_0^{U(\alpha_i)}];\ F_{t_j} \in [F_t^{L(\alpha_i)}, F_t^{U(\alpha_i)}];\ I_j \in [I^{L(\alpha_i)}, I^{U(\alpha_i)}]$$

$$NPV_j = F_{0_j} + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_{t_j}}{(1+I_j)^t}$$

$$Nex\ j$$

4- with use of $Maxitr$ random value $(NPV_j, j = 1, \ldots, Maxitr)$ create $\alpha - cut$ of NetPresent Value:

$$NPV^{L(\alpha_i)} = \underset{j=1}{\overset{Maxitr}{Min}} (NPV_j)\ ,\ NPV^{U(\alpha_i)} = \underset{j=1}{\overset{Maxitr}{Max}} (NPV_j)$$

5- Next α_i

6- Calcutale Fuzzy NetPresent Value $(N\tilde{P}V)$ with use of all $[NPV^{L(\alpha_i)}, NPV^{U(\alpha_i)}]$ and Extention Principle .

روش بعد نرخ بازده داخلی[1] (IRR) در حالت عدم اطمینان است. نرخ بازده داخلی، نرخ بازده جریان نقدی تنزیل‌شده نیز نامیده می‌شود. این معیار با ارزش فعلی خالص ارتباط نزدیک دارد و چنانچه جریان‌های نقدی طرح‌ها، متعارف و مستقل از یکدیگر باشد، استفاده از هر دو روش به نتایج واحدی می‌انجامد. در صورتی که جریان‌های نقدی طرح‌ها متعارف نباشد، ممکن است نرخ بازده داخلی وجود نداشته باشد و یا چند نرخ بازده داخلی وجود داشته باشد. از مزایای این روش، درنظرگرفتن ارزش زمانی پول و از معایب آن، زمان‌بربودن آن در صورت مساوی‌نبودن جریان‌های نقدی سالیانه با هم و محاسبهٔ دستی عملیات است [۵]. چنانچه نرخ بازده داخلی محاسبه‌شده از هزینهٔ سرمایه یا نرخ بازده مدّنظر بیشتر شود، طرح پذیرفته و در غیر این صورت رد می‌شود [۱۵]. در این بخش، روش‌های کوچتا و شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی برای محاسبهٔ نرخ بازده داخلی فازی تشریح می‌شود.

1. Internal Rate of Return Method

روش بعد روش کوچتاست. در این روش، برخی از اطلاعات طرح به‌صورت اعداد فازی لحاظ می‌شود.

a) $n =$ دورهٔ عمر پروژه

b) $= \tilde{C}F_0 = CF_0[\alpha] = [CF_0^{L(\alpha)}, CF_0^{U(\alpha)}],\ CF_0^{L(\alpha)} \le 0\ (\alpha \in [0,1])$

جریان نقدی خروجی زمان آغاز پروژه

c) $= CIF_t[\alpha] = [CIF_t^{L(\alpha)}, CIF_t^{U(\alpha)}],\ CIF_t^{L(\alpha)} \ge 0\ (\alpha \in [0,1])$

$C\tilde{I}F_t =$ جریان نقدی ورودی در پایان دورهٔ t ام.

براساس روش کوچتا (۲۰۰۸)، IRR فازی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum_{t=1}^{n} PV(CIF_t^{L(\alpha)}) + CF_0^{L(\alpha)} = 0,\ where\quad PV(CIF_t^{L(\alpha)}) = \frac{CIF_t^{L(\alpha)}}{(1+IRR^{U(\alpha)})^t}\quad for\ t = 1, \ldots, n$$

$$\sum_{t=1}^{n} PV(CIF_t^{U(\alpha)}) + CF_0^{U(\alpha)} = 0,\ where\quad PV(CIF_t^{U(\alpha)}) = \frac{CIF_t^{U(\alpha)}}{(1+IRR^{L(\alpha)})^t}\quad for\ t = 1, \ldots, n$$

$$I\tilde{R}R = IRR[\alpha] = [IRR^{L(\alpha)},\ IRR^{U(\alpha)}]$$

(۲۵)

کوچتا (۲۰۰۸) فرمول زیر را نیز برای محاسبهٔ IRR فازی ارائه می‌دهد:

$$-CF_0^{L(\alpha)} = \sum_{t=1}^{n} PV(CIF_t^{L(\alpha)}), \ where \quad PV(CIF_t^{L(\alpha)}) = \frac{CIF_t^{L(\alpha)}}{(1+IRR^{U(\alpha)})^t} \quad for\ t=1,\dots,n$$
$$-CF_0^{U(\alpha)} = \sum_{t=1}^{n} PV(CIF_t^{U(\alpha)}), \ where \quad PV(CIF_t^{U(\alpha)}) = \frac{CIF_t^{U(\alpha)}}{(1+IRR^{L(\alpha)})^t} \quad for\ t=1,\dots,n \qquad (۲۶)$$
$$I\tilde{R}R = IRR[\alpha] = [IRR^{L(\alpha)}, IRR^{U(\alpha)}]$$

کوچتا بیان کرد که IRR فازی محاسبه‌شده از فرمول ۲۶ را به‌سختی می‌توان محاسبه کرد و فرمول ۲۵ ازنظر محاسباتی ساده‌تر است [۱۱].

در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی اطلاعات ورودی شامل جریان نقدی خروجی در زمان آغاز طرح (F_0)، جریان‌های نقدی آتی در دورهٔ t (F_t) و تعداد دوره‌ها (n) است. $\tilde{F}_0$ و $\tilde{F}_t$ به‌صورت اعداد فازی بیان می‌شود و با تولید اعداد تصادفی در هر بار، مقادیر کمی برای آنها می‌توان ایجاد کرد؛ سپس مطابق روابط موجود در برنامهٔ کامپیوتری، ورودی‌های شبیه‌سازی‌شده با عامل معلوم n، ترکیب می‌شود و نتیجهٔ آن اجرا، $IRR[\alpha]$ را نشان می‌دهد؛ سپس با استفاده از اصل تفکیک، عدد فازی $I\tilde{R}R$ مشخص می‌شود.

1- For all $\alpha_i \in [0, 0/05, 0/1, \dots, 1]$, Select a α_i

2- For each α_i calculate $\alpha - cut$ of fuzzy parameters:

$$F_{0\alpha_i} \in [F_0^{L(\alpha_i)}, F_0^{U(\alpha_i)}]; \ F_{t\alpha_i} \in [F_t^{L(\alpha_i)}, F_t^{U(\alpha_i)}]$$

3- Based on $\alpha - cut$ create random number and calcutate random IRR at level α_i.

$For\ j = 1\ to\ Maxitr$

$$F_{0_j} \in [F_0^{L(\alpha_i)}, F_0^{U(\alpha_i)}]; \ F_{t_j} \in [F_t^{L(\alpha_i)}, F_t^{U(\alpha_i)}]$$

$$F_{0_j} + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_{t_j}}{(1+IRR_j)^t} = 0$$

$Nex\ j$

4- with use of $Maxitr$ random value $(IRR_j, j = 1, \dots, Maxitr)$ create $\alpha - cut$ of IRR:

$$IRR^{L(\alpha_i)} = \underset{j=1}{\overset{Maxitr}{Min}} (IRR_j) \ , \ IRR^{U(\alpha_i)} = \underset{j=1}{\overset{Maxitr}{Max}} (IRR_j)$$

5- Next α_i

6- Calcutale Fuzzy IRR $(I\tilde{R}R)$ with use of all $[IRR^{L(\alpha_i)}, IRR^{U(\alpha_i)}]$ and Extention Principle

یافته‌ها

مثال عددی ۱: برای محاسبهٔ ارزش فعلی با استفاده از روش پیشنهادی و مقایسهٔ آن با روش بوکلی، داده‌های جریان نقدی، نرخ بهره و طول عمر جدول ۱ را در نظر بگیرید:

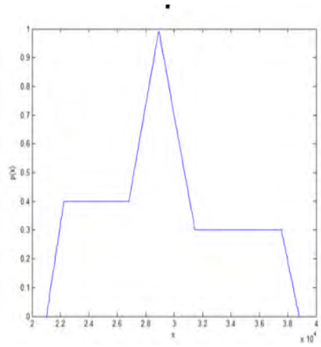
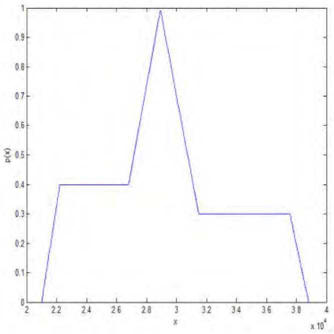
جدول (۱) فرضیه‌های مثال عددی

توضیح	جریان نقدی	دورهٔ عمر مفید	نرخ بهره	شرح
– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی	$\tilde{F} = Tri\,(45000, 50000, 55000)$	$n = 3$	$\tilde{i} = Tri(0/19, 0/20, 0/21)$	حالت اول
– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید مجموعهٔ فازی گسسته – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی	$\tilde{F} = Tri\,(45000, 50000, 55000)$	$\tilde{n} = (\frac{2}{0/3}, \frac{3}{1}, \frac{4}{0/4})$	$\tilde{i} = Tri(0/19, 0/20, 0/21)$	حالت دوم
– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید عدد فازی مثلثی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی	$\tilde{F} = Tri\,(45000, 50000, 55000)$	$\tilde{n} = (2,3,4)$	$\tilde{i} = Tri(0/19, 0/20, 0/21)$	حالت سوم

برای هر یک از حالات موجود در جدول ۱، $\tilde{PV}$ فازی با استفاده از روش بوکلی و روش پیشنهادی محاسبه و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است:

جدول (۲) محاسبهٔ $\tilde{P}V$ با روش بوکلی و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی پیشنهادی

درجهٔ تساوی	$\tilde{P}V_{\text{Fuzzy Simulation (FSim)}}$	$\tilde{P}V_{\text{Buckley}}$	حالت مدّنظر
۰/۹۹	$\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Tri(25417, 28935, 32604)$	$\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Tri(25401, 28935, 32638)$	حالت اول

1			حالت دوم
۰/۹۹	$\tilde{P}V_{FSim} = Tri(21367,28935,38489)$	$\tilde{P}V_{Buckley} = Tri(20993,28935,38839)$	حالت سوم

نتایج محاسبات فوق نشان می‌دهد اعداد فازی حاصل از روش پیشنهادی و روش بوکلی مساوی (درجهٔ تساوی ۱ یا نزدیک ۱) است و روش پیشنهادی جریان نقدی، نرخ بهره و دورهٔ عمر را به‌صورت انواع اعداد فازی گسسته و پیوسته در نظر می‌گیرد.

مثال عددی ۲: برای محاسبهٔ NPV و IRR با استفاده از روش پیشنهادی و مقایسهٔ آن با روش بوکلی و کوچتا، یک مثال عددی در نظر گرفته شده است. در این مثال، نرخ بهره و جریان‌های نقدی به‌صورت اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی و دورهٔ عمر طرح، قطعی در نظر گرفته شده و حالت‌های مدّنظر در جدول ۳ آورده شده است:

جدول (۳) فرضیه‌های مثال عددی

توضیح	جریان نقدی	نرخ بهره	شرح
– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی	$\tilde{F}_0 = Tri(-1100,-1000,-900)$ $\tilde{F}_1 = Tri(450,500,550)$ $\tilde{F}_2 = Tri(350,400,450)$ $\tilde{F}_3 = Tri(250,300,350)$ $\tilde{F}_4 = Tri(150,200,250)$ $\tilde{F}_5 = Tri(50,100,150)$	$\tilde{i} = Tri(0/08,0/10,0/12)$	۱
– نرخ بهرهٔ عدد فازی ذوزنقه‌ای – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی ذوزنقه‌ای	$\tilde{F}_0 = Trap(-1100,-1050,-950,-900)$ $\tilde{F}_1 = Trap(450,475,525,550)$ $\tilde{F}_2 = Trap(350,375,425,450)$ $\tilde{F}_3 = Trap(250,275,325,350)$ $\tilde{F}_4 = Trap(150,175,225,250)$ $\tilde{F}_5 = Trap(50,75,125,150)$	$\tilde{i} = Trap(0/08,0/09,0.11,0/12)$	۲
– نرخ بهرهٔ عدد فازی گاوسی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی گاوسی	$\tilde{F}_0 = Gauss(\sigma = 30, \mu = -1000)$ $\tilde{F}_1 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 500)$ $\tilde{F}_2 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 400)$ $\tilde{F}_3 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 300)$ $\tilde{F}_4 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 200)$ $\tilde{F}_5 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 100)$	$\tilde{i} = Gauss(\sigma = 0/006, \mu = 0/1)$	۳

۴	$\tilde{i} = Tri(0/08, 0/10, 0/12)$	$\tilde{F}_0 = Trap(-1100, -1050, -950, -900)$ $\tilde{F}_1 = Trap(450, 475, 525, 550)$ $\tilde{F}_2 = Trap(350, 375, 425, 450)$ $\tilde{F}_3 = Trap(250, 275, 325, 350)$ $\tilde{F}_4 = Trap(150, 175, 225, 250)$ $\tilde{F}_5 = Trap(50, 75, 125, 150)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی ذوزنقه‌ای
۵	$\tilde{i} = Tri(0/08, 0/10, 0/12)$	$\tilde{F}_0 = Gauss(\sigma = 30, \mu = -1000)$ $\tilde{F}_1 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 500)$ $\tilde{F}_2 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 400)$ $\tilde{F}_3 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 300)$ $\tilde{F}_4 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 200)$ $\tilde{F}_5 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 100)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی گاوسی
۶	$\tilde{i} = Trap(0/08, 0/09, 0/11, 0/12)$	$\tilde{F}_0 = Tri(-1100, -1000, -900)$ $\tilde{F}_1 = Tri(450, 500, 550)$ $\tilde{F}_2 = Tri(350, 400, 450)$ $\tilde{F}_3 = Tri(250, 300, 350)$ $\tilde{F}_4 = Tri(150, 200, 250)$ $\tilde{F}_5 = Tri(50, 100, 150)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی ذوزنقه‌ای – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی
۷	$\tilde{i} = Trap(0/08, 0/09, 0/11, 0/12)$	$\tilde{F}_0 = Gauss(\sigma = 30, \mu = -1000)$ $\tilde{F}_1 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 500)$ $\tilde{F}_2 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 400)$ $\tilde{F}_3 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 300)$ $\tilde{F}_4 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 200)$ $\tilde{F}_5 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 100)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی ذوزنقه‌ای – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی گاوسی
۸	$\tilde{i} = Gauss(\sigma = 0/006, \mu = 0/1)$	$\tilde{F}_0 = Tri(-1100, -1000, -900)$ $\tilde{F}_1 = Tri(450, 500, 550)$ $\tilde{F}_2 = Tri(350, 400, 450)$ $\tilde{F}_3 = Tri(250, 300, 350)$ $\tilde{F}_4 = Tri(150, 200, 250)$ $\tilde{F}_5 = Tri(50, 100, 150)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی گاوسی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی
۹	$\tilde{i} = Gauss(\sigma = 0/006, \mu = 0/1)$	$\tilde{F}_0 = Trap(-1100, -1050, -950, -900)$ $\tilde{F}_1 = Trap(450, 475, 525, 550)$ $\tilde{F}_2 = Trap(350, 375, 425, 450)$ $\tilde{F}_3 = Trap(250, 275, 325, 350)$ $\tilde{F}_4 = Trap(150, 175, 225, 250)$ $\tilde{F}_5 = Trap(50, 75, 125, 150)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی گاوسی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی ذوزنقه‌ای
۱۰	$\tilde{i} = Tri(0/08, 0/10, 0/12)$	$\tilde{F}_0 = Tri(-1100, -1000, -900)$ $\tilde{F}_1 = Tri(450, 500, 550)$ $\tilde{F}_2 = Trap(350, 390, 410, 450)$ $\tilde{F}_3 = Trap(250, 280, 320.350)$ $\tilde{F}_4 = Trap(150, 170, 230, 250)$ $\tilde{F}_5 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 100)$	– نرخ بهرهٔ عدد فازی مثلثی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی

– نرخ بهرهٔ عدد فازی ذوزنقه‌ای – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی	$\tilde{F}_0 = Gauss(\sigma = 30, \mu = -1000)$ $\tilde{F}_1 = Trap(450,460,540,550)$ $\tilde{F}_2 = Tri(350,400,450)$ $\tilde{F}_3 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 300)$ $\tilde{F}_4 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 200)$ $\tilde{F}_5 = Tri(50,100,150)$	$\tilde{i} = Trap\,(0/08, 0/09, 0/11, 0/12)$	۱۱
– نرخ بهرهٔ عدد فازی گاوسی – دورهٔ عمر مفید قطعی – جریان نقدی اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی	$\tilde{F}_0 = Trap(-1100,-1050,-950,-900)$ $\tilde{F}_1 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 500)$ $\tilde{F}_2 = Gauss(\sigma = 15, \mu = 400)$ $\tilde{F}_3 = Tri(250,300,350)$ $\tilde{F}_4 = Tri(150,200,250)$ $\tilde{F}_5 = Trap(50,70,130,150)$	$\tilde{i} = Gauss(\sigma = 0/006, \mu = 0/1)$	۱۲

برای هر یک از حالات موجود در جدول ۳، با روش بوکلی و روش پیشنهادی، $N\tilde{P}V$ فازی محاسبه شد. نتایج این محاسبات در جدول ۴ آمده است:

جدول (٤) محاسبهٔ $N\tilde{P}V$ با روش بوکلی و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی

درجهٔ تساوی نتایج دو روش $V\,(N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = N\tilde{P}V_{\text{FSim}})$	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}}$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}}$	حالت مدّنظر
۰/۹۹	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Tri(-116,209,556)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Tri(-118,209,559)$	۱
۱	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Trap(-116,44,380,557)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Trap(-118,43,381,559)$	۲
۰/۹۶	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Gauss(\sigma = 97, \mu = 209)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Gauss(\sigma = 97, \mu = 209)$	۳
۱	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Trap(-117,64,354,557)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Trap(-118,64,354,559)$	۴
۰/۹۹	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Gauss(\sigma = 95, \mu = 209)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Gauss(\sigma = 95, \mu = 209)$	۵
۰/۹۹	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Trap(-116,186,234,556)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Trap(-118,186,234,559)$	۶
۱	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Pi(-196,186,234,643)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Pi(-198,186,234,645)$	۷
۰/۹۸	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Tri(-126,209,576)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Tri(-128,209,577)$	۸
۱	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Trap(-127,64,354,574)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Trap(-128,64,354,577)$	۹
۰/۹۸	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Trap(-125,165,253,567)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Trap(-126,165,253,569)$	۱۰
۱	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Pi(-165,150,270,607)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Pi(-166,150,270,609)$	۱۱
۱	$N\tilde{P}V_{\text{FSim}} = Pi\,(-151,141,278,601)$	$N\tilde{P}V_{\text{Buckley}} = Pi\,(-152,141,278,603)$	۱۲

در جدول ۴ ستون نخست حالت مدّنظر، ستون دوم $N\tilde{P}V$ فازی محاسبه‌شده با روش بوکلی و همکاران و ستون سوم $N\tilde{P}V$ فازی محاسبه۲شده با روش پیشنهادی است. ستون چهارم درجهٔ تساوی $N\tilde{P}V$ حاصل از دو روش است که با استفاده از رابطهٔ ۱۶ محاسبه شده است. درجهٔ تساوی ۱ یا نزدیک ۱، به معنای برابری عدد فازی حاصل از دو روش است. برای تصمیم‌گیری دربارهٔ پذیرش یا رد طرح، $N\tilde{P}V$ فازی حاصل از هر دو روش با روش مرکز ثقل به یک عدد قطعی تبدیل شد که نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

جدول (۵) پذیرش یا رد طرح براساس روش ارزش فعلی خالص

پذیرش یا رد طرح	NPV قطعی روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی	پذیرش یا رد طرح	NPV قطعی روش بوکلی	حالت مدّنظر
پذیرش طرح	۲۱۵	پذیرش طرح	۲۱۵	۱
پذیرش طرح	۲۱۶	پذیرش طرح	۲۱۶	۲
پذیرش طرح	۲۱۲	پذیرش طرح	۲۱۲	۳
پذیرش طرح	۲۱۵	پذیرش طرح	۲۱۵	۴
پذیرش طرح	۲۱۳	پذیرش طرح	۲۱۳	۵
پذیرش طرح	۲۱۶	پذیرش طرح	۲۱۶	۶
پذیرش طرح	۲۱۴	پذیرش طرح	۲۱۴	۷
پذیرش طرح	۲۱۳	پذیرش طرح	۲۱۳	۸
پذیرش طرح	۲۱۳	پذیرش طرح	۲۱۳	۹
پذیرش طرح	۲۱۴	پذیرش طرح	۲۱۴	۱۰
پذیرش طرح	۲۱۵	پذیرش طرح	۲۱۵	۱۱
پذیرش طرح	۲۱۳	پذیرش طرح	۲۱۳	۱۲

با توجه به جدول ۵ نتایج حاصل از الگوی پیشنهادی با نتایج حاصل از الگوی بوکلی و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد و نتیجهٔ هر دو روش، پذیرش طرح است. این مقایسه، اعتبار نتایج الگوی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

حل با استفاده از روش نرخ بازده داخلی

نظر به اینکه برای محاسبهٔ $I\tilde{R}R$ فازی ورودی، جریان‌های نقدی و طول عمر است، تنها حالات اول، دوم، سوم، دهم، یازدهم و دوازدهم بررسی و از سایر حالت‌ها به‌علت مشابهت جریان نقدی با حالات فوق صرف نظر شد. در جدول ۶ نتایج محاسبات آمده است:

جدول (٦) محاسبهٔ $I\tilde{R}R$ با روش کوچتا و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی

درجهٔ تساوی نتایج دو روش $V(I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = I\tilde{R}R_{\text{FSim}})$	$I\tilde{R}R_{FSim}$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}}$	حالت مدّنظر
1	$I\tilde{R}R_{\text{FSim}} = Tri(0/061,0/203,0/354)$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = Tri(0/061,0/203,0/354)$	۱
1	$I\tilde{R}R_{\text{FSim}} = Trap(0/061,0/131,0.276,0/354)$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = Trap(0/061,0/131,0/276,0/354)$	۲
1	$I\tilde{R}R_{\text{FSim}} = Gauss(\sigma = 0/043, \mu = 0/203)$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = Gauss(\sigma = 0/043, \mu = 0/203)$	۳
1	$I\tilde{R}R_{\text{FSim}} = Trap(0/056,0/183,0/221,0/356)$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = Trap(0/056,0/183,0/221,0/356)$	۱۰
1	$I\tilde{R}R_{\text{FSim}} = Pi(0/37,0/184,0/222,0/384)$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = Pi(0/037,0/184,0/222,0/384)$	۱۱
1	$I\tilde{R}R_{\text{FSim}} = Pi(0/049,0/168,0/240,0/368)$	$I\tilde{R}R_{\text{Kuchta}} = Pi(0/049,0/168,0/240,0/368)$	۱۲

ستون اول جدول ۶ شمارهٔ حالت مدّنظر، ستون دوم $\tilde{IRR}$ فازی محاسبه‌شده با روش بوکلی و همکاران و ستون سوم $\tilde{IRR}$ فازی محاسبه‌شده با روش پیشنهادی است. ستون چهارم درجهٔ تساوی $\tilde{IRR}$ حاصل از دو روش است که با استفاده از رابطهٔ ۱۶ محاسبه شده است. درجهٔ تساوی ۱ یا نزدیک به ۱، به‌معنای برابری عدد فازی حاصل از دو روش است. برای تصمیم‌گیری دربارهٔ پذیرش یا رد طرح، $\tilde{IRR}$ فازی حاصل از هر دو روش با روش مرکز ثقل به یک عدد قطعی تبدیل و وضعیت رد یا پذیرش هر حالت با توجه به حداقل نرخ جذب‌کننده بررسی شد. برای آنکه طرح اقتصادی باشد، $\tilde{IRR}$ غیرفازی‌شده باید از حداقل نرخ جذب‌کنندهٔ غیرفازی‌شده بزرگ‌تر باشد. در جدول ۷ نتایج این محاسبات آمده است.

جدول (۷) پذیرش یا رد طرح براساس روش نرخ بازده داخلی

حالت مدّنظر	IRR قطعی روش بوکلی	IRR قطعی روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی	پذیرش یا رد طرح
۱	۰/۲۰۵۱	۰/۲۰۵۱	پذیرش طرح اگر حداقل نرخ جذب‌کننده کمتر یا مساوی ۲۰/۵۱ درصد باشد
۲	۰/۲۰۵۷	۰/۲۰۵۷	پذیرش طرح اگر حداقل نرخ جذب‌کننده کمتر یا مساوی ۲۰/۵۷ درصد باشد
۳	۰/۲۰۴۰	۰/۲۰۴۰	پذیرش طرح اگر حداقل نرخ جذب‌کننده کمتر یا مساوی ۲۰/۴۰ درصد باشد
۱۰	۰/۲۰۴۹	۰/۲۰۴۹	پذیرش طرح اگر حداقل نرخ جذب‌کننده کمتر یا مساوی ۲۰/۴۹ درصد باشد
۱۱	۰/۲۰۴۲	۰/۲۰۴۲	پذیرش طرح اگر حداقل نرخ جذب‌کننده کمتر یا مساوی ۲۰/۴۲ درصد باشد
۱۲	۰/۲۰۵۴	۰/۲۰۵۴	پذیرش طرح اگر حداقل نرخ جذب‌کننده کمتر یا مساوی ۲۰/۵۴ درصد باشد

با توجه به جدول ۷ نتایج حاصل از الگوی پیشنهادی با نتایج حاصل از الگوی کوچتا (۲۰۰۸) مطابقت دارد و هر دو روش به نتیجهٔ یکسانی دربارهٔ رد یا پذیرش طرح دست یافته‌اند. نظر به اینکه در این مثال، ترکیب اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی برای فازی‌کردن جریان‌های نقدی و نرخ بهره به‌کار رفت، اطمینان حاصل شد که روش پیشنهادی را برای کلیّهٔ اعداد فازی می‌توان به‌کار برد.

نتایج و پیشنهادها

در این مطالعه برای ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری، یک الگوی شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی برای روش ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی ارائه شد. جریان‌های نقدی و نرخ‌های بهره در آن به‌صورت اعداد فازی است. مقایسهٔ نتایج حاصل از روش‌های پیشین و روش شبیه‌سازی پیشنهادی نشان می‌دهد مقادیر حاصل از روش شبیه‌سازی با نتایج

الگوی بوکلی و همکارانی (۲۰۰۲) و کوچتا (۲۰۰۸) برابر است. به‌کارگیری الگوی پیشنهادی برای انواع اعداد فازی (مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی) نشان داد که این الگو، جریان‌های نقدی و نرخ بهره را به‌صورت انواع اعداد فازی می‌تواند لحاظ کند و به نوع خاصی از اعداد فازی محدود نشود.

به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود با استفاده از الگوی شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی، روش‌های نسبت منفعت به هزینه و نرخ بازده خارجی را با داده‌های فازی محاسبه و نتایج را با روش‌های سایر پژوهشگران مقایسه کنند. روش شبیه‌سازی مونت‌کارلوی فازی را که در این پژوهش ارائه شده است، در مسائل فازی -احتمالی می‌توان به‌کار برد؛ در صورتی که این قابلیت برای روش‌های ارائه‌شده در مطالعات گذشته وجود ندارد. پیشنهاد می‌شود پژوهشگران برای مسائل امکان‌سنجی با داده‌های فازی - احتمالی از الگوی شبیه‌سازی ارائه‌شده استفاده کنند.

References

[1] Abbastabar, S., Khademi, N., Behnia, K., & Samadzad, M. (2016). Economic evaluation of public transit systems considering uncertainties in economic parameters: The case of the Qom Metro system. *Transportation Engineering*, 6 (1): 117-144 (in persian).

[2] Akbari Moghadam, B. A., & Khalili A. M. (2010). Examining application of complicated capital budgeting techniques in the petrochemical industry. *Jounal of Development Evolution Management*. 2 (4): 1-4 (in persian).

[3] Buckley, J. J. (2005). *Simulating Fuzzy Systems (Studies in Fuzziness and Soft Computing)*. Berlin: Springer.

[4] Buckley, J. J., Eslami, E., & Feuring, T. (2002). *Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering (Studies in Fuzziness and Soft Computing)*. Berlin: Springer.

[5] Fadaei N. M. E. (2003). *Principle of Capital Budgeting*. Tehran: Samt (in persian).

[6] Fereidouni, S., & Moradian Borojeni, P. (2012). Fuzzy simulated annealing model for solving chance constrained capital budgeting problem and sensitivity analysis it. *Journal of Operational Research in Its Applications.* 8 (4): 13-27 (in persian).

[7] Ghasemi, A., & Mahmodzadeh, S. (2011). Assesment of economic projects in uncertain conditions (Fuzzy approach). *Tahghighate Eghtesadi*. 45 (93): 83-108 (in persian).

[8] Guerraa, M. L., Magnib, C. A., & Stefaninic, L. (2014). Interval and fuzzy average internal rate of return for investment appraisal. *Fuzzy Sets and Systems*. 257: 217–241.

[9] Kahraman, C., Ruan, D., & Tolga, E. (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*. 142 (1): 57–76.

[10] Khalili A. M. (2008). Capital budgeting: Multiple criteria. *Journal of Economic Research*. 8 (1): 99-118 (in persian).

[11] Kuchta, D. (2008). *Fuzzy Rate of Return Analysis and Applications. In C. Kahraman, Fuzzy Engineering Economics with Applications (Studies in Fuzziness and Soft Computing)*. Berlin: Springer.

[12] Menhaj, M. B. (2015). *Fuzzy Computations*. Tehran: Daneshnegar (in persian).

[13] Mirfakhredini, H., Azar, A., & Pourhamidi, M. (2015). *Fuzzy Logic and Its Application in Management*. Yazd: Yazd University (in persian).

[14] Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (Third Edition ed.). John Wiley.

[15] Seyed Motahari, S. M. (2011). *Evaluation, Investment and Projects Financing (Applied)*. Tehran: Business publishing company (in persian).

[16] Shaffie, S. S., & Jaaman, S. H. (2016). Monte carlo on net present value for capital investment in Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 219: 688-693. (in persian).

[17] Tsao, C. T. (2012). Fuzzy net present values for capital investments in an

uncertain environment. *Computers & Operations Research*. 39(8): 1885-1892.

[18] Ustundag, A., Kılınç, M. S., & Cevikcan, E. (2010). Fuzzy rule-based system for the economic analysis of RFID investments. *Expert Systems with Applications*. 37(7): 5300-5306.

[19] Yao, J. S., Chen, M. S., & Lin, H. W. (2005). Valuation by using fuzzy discounted cash flow model. *Expert Systems with Application*. 28 (2): 209- 222.

[20] Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. 3 (8): 338-353.

[21] Zonouz, S. A., & Miremadi, G. (2006). A fuzzy-monte carlo simulation approach for fault tree analysis. *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* IEEE: 428 – 433.