Journal of Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950
Vol. 12, Issue 1, No. 24, Spring 2021
http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2021.115497.1319

(Research Paper)

Calculation of the profitability of fuzzy investment cash flows using the reliable economic rate of return measure

Behnam Babaei
System Engineering Department, Faculty of the industrial engineering, University of Science and Technology of Iran, Tehran, Iran, behnam_babaei@ind.iust.ac.ir
Abdollah Jasbi *
System Management and Productivity Department, Faculty of the industrial engineering, University of Science and Technology of Iran, Tehran, Iran, a.jassbi@gmail.com

Purpose - Today, due to the breadth, diversity and multiplicity of investment projects, decision makers and investors are faced with the issue of choosing the most profitable project. The economic rate of return (ERR) index is one of the proper indices that has been presented to determine the profitability of the projects. However, the ERR index has important shortcomings that have led to serious limitations in its use. In this regard, this paper introduces a new measure called the reliable economic rate of return (RERR), which has originated from ERR measure, but it has resolved the drawbacks of ERR index. On the other hand, this paper proposes a new solution by considering the values of the cash flow in terms of fuzzy numbers. After calculating the fuzzy economic rate of return, the profitability potentiality degree of the investment projects can be determined as well as their reliability based on the net present value (NPV) method.

Design/methodology/approach - This paper proves that if we equate the initial cash flow of investment projects with the sum of the negative values of the relevant cash flow stream, then the RERR value would be greater than '-1'. In this regard, this paper proposes a solution to modify the initial and final values of the investment cash flow stream, merely without changing middle values.

* Corresponding author

2423-6950 / © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Thereby, the NPV of the modified cash flow does not change. On the other hand, it is sometimes difficult to estimate the values of cash flows as a crisp number, which may lead to a wrong decision in accepting or rejecting projects. For this purpose, this paper considers the values of cash flow stream as fuzzy numbers and describes a solution for calculating the fuzzy RERR using the α-cut method and the RERR index. The proposed solution is compatible with the NPV method and also has fewer calculations than the other methods. This paper also proposes a method that calculates the profitability potentiality degree of projects and provides more comprehensive information to the decision makers by examining the intervals obtained from cutting the fuzzy values of the projects and presenting a new and reliable solution.

Findings - Using the @RISK software, it was found that the estimation of fuzzy return rate using RERR index and α-cut method is very close to the simulation result. It confirms the appropriate accuracy of the proposed solution. Also, the results obtained from the software in determining the profitability of projects indicated that the proposed solution is more accurate than the methods of 'comparison of the expected intervals' and 'strict exceedance possibility'. It is also fully compatible with the NPV method.

Research limitations/implications - In this research the market rate is assumed constant, while, in practice it can vary over the periods. Defining the market rate as an inconstant parameter, using the robust optimization approach and investigating the subject of this paper under other uncertainty environments are future study suggestions to both researchers and practitioners.

Practical implications - One of the most important applications of this study is in risky projects wherein estimating the values of cash flow stream as a crisp number is difficult. The results of this paper help decision makers in reducing risk and determining the project profitability. It is worth mentioning that the solution proposed in this paper can be used for all projects with any cash flow stream value.

Social implications - Failure to make the correct decision regarding the acceptance or rejection of the projects could have major negative consequences for the companies, organizations and even society. This paper helps decision makers, investors and organizations to determine the projects profitability that could benefit organizations and society.

Originality/value - This paper proposes the RERR measure as a profitability index such with several favorable properties: (i) it exists and is unique, (ii) it is NPV-consistent in accepting/rejecting decisions, (iii) it provides values greater than '-1', (iv) it takes into account all of the project's outflows which may be regarded by some practitioners as an appropriate indicator of the overall investment. Furthermore, this paper proposes an appropriate method for calculating the fuzzy RERR and a new method for determining the profitability potentiality degree of the investment projects based on the NPV method.

Keywords: Economic evaluation of the investment projects, Fuzzy investments cash flows, Fuzzy reliable economic rate of return, Profitability potentiality degree, Monte Carlo simulation.

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۲، شماره ۱، پیاپی ۲۴، بهار ۱۴۰۰
دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸ ص ۷۷-۱۰۱
http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2021.115497.1319

(مقالهٔ پژوهشی)

محاسبهٔ میزان اقتصادی‌بودن فرایندهای مالی سرمایه‌گذاری فازی با به‌کارگیری شاخص نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد

بهنام بابایی[۱]، عبدالله جاسبی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی سیستم، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران،
behnam_babaei@ind.iust.ac.ir
۲- استاد گروه مدیریت سیستم و بهره وری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران،
a.jassbi@gmail.com

چکیده: شاخص نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی، یکی از سنجه‌های مناسبی است که در سال‌های اخیر برای تعیین اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری ارائه شده است. شاخص مذکور از مراحل حل ساده، توانایی حل مشکلات چندنرخی و نبود نرخ بازده سرمایه برخوردار است؛ اما این شاخص، نواقص مهمی دارد که کاربرد آن را با محدودیت‌های جدی مواجه کرده است. بر این اساس، این پژوهش، شاخص جدیدی را با نام نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد معرفی می‌کند که از شاخص یادشده نشئت گرفته؛ اما معایب آن را به‌طور کامل رفع کرده است. همچنین، در برخی از مواقع، برآورد مقادیر فرایندهای مالی به‌صورت عددی قطعی، امر دشواری است که ممکن است به اتخاذ تصمیم اشتباه در پذیرش یا رد پروژه‌ها منجر شود؛ به همین منظور، این پژوهش با تعریف مقادیر فرایند مالی برحسب اعداد فازی، راهکار جدیدی را معرفی می‌کند تا ضمن محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد تحت محیط فازی، درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری را نیز با قابلیت اطمینان بالا و سازگار با روش ارزش فعلی تعیین کند. درنهایت، این مقاله با استفاده از نرم‌افزار RISK@ از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای تحلیل و اعتبارسنجی نتایج استفاده کرده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری، فرایندهای مالی سرمایه‌گذاری فازی، نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد فازی، درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن، شبیه‌سازی مونت کارلو

* نویسنده مسئول

2423-6950 / © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

۱- مقدمه

شاخص‌های گوناگونی برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها وجود دارد که پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان مختلف از آنها استفاده می‌کنند. در این میان، شاخص نرخ بازده سرمایهٔ داخلی[۱] (IRR) به علل مختلفی از جذاب‌ترین روش‌هاست؛ اما این شاخص، معایب مهمی دارد که در سال‌های اخیر، کوشش‌های گوناگونی انجام شده است تا مشکلات روش مذکور را مرتفع کند. بر این اساس، پیرو[۲] (۲۰۱۰)، مفهوم IRR را تعریف و بیان کرد کلیّهٔ نرخ‌های بازده داخلی یک فرایند مالی اعم از حقیقی یا مختلط، معنی ساده‌ای دارد و آنها را به‌عنوان یک بازده انتظاری پرتفوی می‌توان در نظر گرفت.

درادامه، مگنی[۳] (۲۰۱۰)، دیدگاه جدیدی را در موضوع، مطرح و با معرفی شاخص متوسط نرخ بازده سرمایهٔ داخلی[۴] (AIRR) مشکلات شاخص IRR را برطرف کرد؛ اما شاخص مزبور، توانایی محاسبهٔ یک مقدار منحصربه‌فرد به‌عنوان نرخ بازده سرمایه را برای کلیّهٔ فرایندهای مالی ندارد.

سپس، مگنی (۲۰۱۳)، شاخص دیگری را به نام متوسط نرخ بازگشت سرمایهٔ داخلی اقتصادی[۵] (EAIRR) معرفی کرد که نرخ بازده سرمایهٔ پروژه را ازنظر بازار محاسبه و مقدار منحصربه‌فردی را به نرخ یادشده اطلاق کرد. همچنین، مگنی (۲۰۱۶، ۲۰۲۰) چگونگی استفاده از شاخص AIRR را در شرایط عملی تشریح کرد و نشان داد چگونه از شاخص مورد اشاره در مبحث ارزیابی عملکرد سرمایه‌گذاری[۶] می‌توان استفاده کرد (مگنی، ۲۰۱۴).

بابایی، زندی و اصل حداد (۲۰۱۵)، شاخص جدیدی را معرفی کردند که از رویکرد مگنی نشئت گرفته است و علاوه بر مزایای رویکرد مگنی، محاسبات ساده‌تر و توانایی محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ منحصربه‌فردی برای کلیّهٔ پروژه‌ها دارد؛ اما شاخص پیشنهادی آنها و شاخص EAIRR، ممکن است در شرایطی خاص، مقدار کمتر از ۱- را برای نرخ بازده سرمایه تعیین کند که نرخی ناصحیح است.

درادامه، ملیچامپ[۷] (۲۰۱۷)، دیدگاه متفاوتی را ارائه و بیان کرد که نقص اصلی شاخص IRR، نبود مؤلفه‌های نرخ سرمایه‌گذاری مجدد و نرخ مالی است و پیشنهاد کرد شاخص IRR باید برحسب ارزش فعلی نرمال‌شده[۸] ارزیابی شود.

ناگارس، سیسون و مدینا[۹] (۲۰۱۹) با استفاده از الگوریتم نیوتن- رافسون، یک الگوریتم ریشه‌یاب تکرارشوندهٔ[۱۰] جدید مبتنی بر نقطهٔ میانی را برای محاسبهٔ IRR معرفی کردند؛ به‌گونه‌ای که مطابق الگوریتم مذکور، همگرایی به یک جواب نهایی تضمین شده بود و علاوه بر این، نشان دادند الگوریتم پیشنهادی آنها دقت و سرعت مناسبی نیز دارد. در این میان، باری و روبیسون[۱۱] (۲۰۱۴)، شاخصی با نام نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی[۱۲] (ERR) را معرفی کردند که شاخص مذکور، مراحل حل ساده، توانایی پوشش مشکلات چندنرخی و نبود نرخ بازده سرمایه را دارد؛ لیکن شاخص مزبور نیز ممکن است نرخ بازده سرمایه را کوچک‌تر از ۱- محاسبه کند و در برخی موارد، حساسیت زیاد و غیرمنطقی به تغییر نرخ بازار داشته باشد.

بر این اساس، در این پژوهش، شاخص جدیدی با نام نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد[۱۳] (RERR) معرفی می‌شود که از شاخص ERR نشئت گرفته؛ اما معایب شاخص مذکور را برطرف کرده است؛ به این صورت که قطعاً به مقدار بزرگ‌تر از ۱- منجر می‌شود و حساسیت نامناسبی در مقابل تغییر در مؤلفهٔ نرخ بازار ندارد.

گفتنی است برخی از پژوهشگران، حساسیت تصمیم‌های سرمایه‌گذاری را تحلیل کردند که به کوشش‌های دانیلسون[۱۴] (۲۰۱۸) و مارکیونی و مگنی[۱۵](۲۰۱۸) می‌توان اشاره کرد. همچنین، برخی نیز از شاخص نرخ بازده سرمایه در حل مسائل دیگر استفاده کردند؛ به‌عنوان مثال، نخعی‌نژاد و مؤمن شاد (۲۰۲۰)، مسئلهٔ انتخاب پورتفوی پروژه مبتنی براثر متقابل سه‌گانه بین پروژه‌ها را بررسی کردند و برای ارزیابی اعتبار نتایج از برنامه‌ریزی خطی دوهدفه بهره بردند که یکی از اهداف بیشینه‌سازی نرخ بازده سرمایه بود. علاوه بر این، الفت، قاضی نوری و قاسمی (۲۰۱۹) از شاخص‌های سودآوری ازجمله نرخ بازده سرمایه برای سنجش عملکرد کلی کسب‌وکار استفاده کردند. پرول و استینینگر[۱۶](۲۰۲۰) نیز با استفاده از شاخص IRR، تأثیر مقررات جدید وضع‌شده در کشور اسپانیا در حوزهٔ انرژی را بر میزان سودآوری بخش‌های مختلف، تحلیل و بررسی کردند.

همچنین، بنا به علل گوناگونی، تخمین مقادیر فرایند مالی به‌صورت عددی قطعی در برخی از موارد دشوار است و درواقع، تصمیم‌گیرنده با مسئلهٔ عدم قطعیت مواجه است. یکی از پرکاربردترین ابزارها برای بررسی مسائل در محیط عدم قطعیت، مجموعه‌های فازی است که پژوهشگران زیادی کوشیده‌اند نرخ بازده سرمایهٔ فازی را محاسبه و به تبع آن، میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها را تعیین کنند که در این ارتباط به پژوهش‌های ذیل می‌توان اشاره کرد:

کوچتا[۱۷] (۲۰۰۸) با استفاده از مفهوم برش اعداد فازی، روشی را برای به دست آوردن نرخ بازده سرمایهٔ فازی[۱۸] (FIRR) با استفاده از شاخص‌های IRR و نرخ بازده سرمایهٔ داخلی تعدیل‌شده[۱۹] (MIRR) پیشنهاد کرد. گوئرا، سورینی و استفانینی[۲۰] (۲۰۰۸) نیز رویکرد کوچتا را با نگاهی دقیق در نمایش پارامتری اعداد فازی توسعه دادند.

سپس، گوئرا، مگنی و استفانینی[۲۱] (۲۰۱۴) با به‌کارگیری اعداد فازی و فاصله‌ای، رابطهٔ شاخص AIRR فازی را با معیار ارزش فعلی خالص فازی بررسی کردند.

درادامه، خاتمی (۲۰۱۲) با به‌کارگیری روش رأس[۲۲] (Vertex) و شاخص متوسط سادهٔ نرخ بازده سرمایهٔ داخلی[۲۳] (SAIRR)، روش جدیدی را برای محاسبهٔ FIRR ارائه کرد که توانایی محاسبهٔ نرخ مزبور را حتی در صورت مواجهه با حالت‌های چندنرخی و نبود نرخ داشته باشد. بابایی، غفاری و اصل حداد (۲۰۱۵) معتقد بودند در بین شاخص‌های ارائه‌شده در موضوع، شاخص EAIRR نسبت به سایر روش‌ها مطمئن‌تر است؛ بنابراین، با استفاده از شاخص مذکور، FIRR را محاسبه کردند؛ اما نقص مهم دو روش مورد اشاره این است که تمامی آنها مبتنی بر شاخص AIRR است؛ بنابراین، امکان برآورد عدد کمتر از ۱- برای IRR وجود دارد.

غفاری و قضاوتی (۲۰۱۹) با به‌کارگیری روش Vertex و معرفی شاخص جدید متوسط نرخ بازده سرمایهٔ داخلی اصلاح‌شده[۲۴] (MAIRR)، اقتصادی‌بودن پروژه‌ها را تحت محیط فازی تعیین کردند. مهم‌ترین عیب روش مذکور نیز این است که محاسبهٔ شاخص MAIRR پیچیده است و استفاده از روش Vertex نیز مراحل حل را بسیار طولانی کرده است. خاتمی (۲۰۱۲) و غفاری و قضاوتی (۲۰۱۹) به‌ترتیب از روش‌های «مقایسهٔ متوسط فواصل مورد انتظار» و «امکان بزرگ‌تربودن محض» در تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها استفاده کردند که این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از روش‌های مذکور برای تمامی پروژه‌ها قابل اطمینان نیست.

گیسین و ولکوفا[۲۵] (۲۰۲۰) با فرض قطعی‌بودن مقادیر ورودی و فازی تعاملی‌بودن مقادیر خروجی فرایند مالی، موضوع را بررسی کردند و نشان دادند در این صورت، مقدار IRR حاصل نیز عددی فازی است. همچنین، نشان دادند میزان عدم قطعیت شاخص NPV با افزایش تعداد مقادیر خروجی فازی فرایند مالی افزایش پیدا نکرده است

و فقط به میزان عدم قطعیت مقادیر خروجی فازی بستگی دارد. مهم‌ترین نقص روش مذکور این است که فقط مقادیر خروجی فرایند مالی را به‌صورت اعداد فازی تعریف می‌کند که بر قابلیت کاربردی روش مذکور اثر می‌گذارد.

کاساینوف و علیارف[۲۶] (۲۰۲۱) با استفاده از نظریهٔ منطق فازی، موضوع طبقه‌بندی ریسک سرمایه‌گذاری پروژه‌های فازی را بررسی کردند. براساس رویکرد پیشنهادی آنها و با فرض فازی‌بودن مقادیر فرایند مالی پروژه‌ها، درابتدا میزان اقتصادی‌بودن کلیّهٔ پروژه‌های سرمایه‌گذاری براساس شاخص‌های ارزیابی اقتصادی مختلف ازجمله شاخص IRR تحلیل و سپس با ایجاد مدلی تحلیلی، پروژه‌های مذکور براساس میزان ریسک سرمایه‌گذاری مربوط طبقه‌بندی می‌شود.

همچنین، هازن و مگنی[۲۷] (۲۰۲۱)، ارزیابی اقتصادی پروژه‌های پرخطر را با استفاده از شاخص AIRR بررسی کردند و نشان دادند AIRR انتظاری پروژه‌های مذکور، برابر با AIRR متوسط مقادیر فرایند مالی آنهاست. همانگونه که پیش‌تر نیز گفته شد، نقص جدی و مهم شاخص AIRR، امکان محاسبهٔ نرخ‌های کوچک‌تر از ۱- به‌عنوان نرخ بازده سرمایه است.

با توجه به توضیحات مذکور، خلأهای پژوهش‌های مذکور به‌شرح ذیل تبیین می‌شود:

- در برخی از شاخص‌های ارائه‌شده، توانایی محاسبهٔ مقداری منحصربه‌فرد برای نرخ بازده سرمایه وجود ندارد و نرخ مزبور بنا بر نظر تصمیم‌گیرندگان مختلف، می‌تواند تغییر کند.
- در برخی از روش‌های معرفی‌شده در مبانی نظری موضوع، ممکن است در شرایطی خاص، مقداری کمتر از ۱- برای نرخ بازده سرمایه تعیین شود که ازنظر اقتصادی بدون مفهوم است.
- در برخی از روش‌های معرفی‌شده برای محاسبهٔ نرخ بازده سرمایه، حساسیت غیرمنطقی و بیشتری به تغییر در نرخ بازار وجود دارد که با توجه به متغیربودن مقدار مؤلفهٔ نرخ بازار مبتنی بر شرایط پروژه و نظر تصمیم‌گیرنده، بر اعتبار نتایج اثر می‌گذارد.
- در برخی از روش‌های ارائه‌شده برای محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ فازی، از روش رأس استفاده می‌شود که مراحل حل را بسیار طولانی و پیچیده می‌کند.
- برخی از پژوهشگران در موضوع تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها تحت محیط فازی، از روش‌هایی استفاده کرده‌اند که اعتبار مناسبی ندارد و ممکن است به نتایج غیردقیق منجر شود.

با توجه به خلأهای پژوهشی مذکور، در این پژوهش از شاخص RERR استفاده می‌شود که حتماً به نتایج بزرگ‌تر از ۱- می‌انجامد و سپس، با تعریف مقادیر فرایند مالی برحسب اعداد فازی، روشی برای محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد فازی[۲۸] (FRERR) ارائه و برای تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها نیز راهکاری جدید با قابلیت اطمینان بالا و سازگار با روش ارزش فعلی معرفی می‌شود؛ بنابراین، نوآوری‌های این پژوهش در مقایسه با کوشش‌های پیشین به‌شرح ذیل است:

- نرخ بازده سرمایهٔ محاسبه‌شده، مطابق شاخص RERR، نرخی منحصربه‌فرد و حتماً بزرگ‌تر از ۱- است.
- شاخص RERR مراحل حل ساده‌ای دارد و حساسیت غیرمنطقی در مقابل تغییر مؤلفهٔ نرخ بازار ندارد که مؤید قابلیت کاربردی مناسب آن روش است.

- مقدار شاخص RERR با افزایش نرخ بازار افزایش می‌یابد؛ بنابراین، به استفاده از روش رأس در محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ فازی نیازی نیست که تا حد زیادی، مراحل حل را کاهش می‌دهد.
- این پژوهش در تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری تحت محیط فازی، روش جدیدی را معرفی می‌کند که نسبت به سایر روش‌ها دقیق‌تر است.

ادامهٔ مقاله به‌صورت ذیل، سازماندهی شده است:

در بخش دوم، «نشانه‌گذاری ریاضی و نتایج مقدماتی» و در بخش سوم، «روش‌شناسی پژوهش» بیان شده است. بخش چهارم به یافته‌های پژوهش اختصاص داده شده است که در این بخش، چگونگی محاسبهٔ شاخص‌های RERR، FRERR و چگونگی تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری تحت محیط فازی به همراه تحلیل و اعتبار سنجی مربوط تشریح شده است؛ سپس، در بخش پنجم، کارایی شاخص پیشنهادی مقاله برای یک نمونهٔ موردی، بررسی و درنهایت، بخش‌های ششم و هفتم به‌ترتیب به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲- نشانه‌گذاری ریاضی و نتایج مقدماتی

جریان فرایند مالی سرمایه‌گذاری X را به‌صورت $X = (R_0, R_1, \dots, R_n)$ با تعداد دورهٔ n در نظر بگیرید. مقدار ارزش فعلی خالص[۲۹] (NPV) فرایند مالی X تحت نرخ بازار r به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$NPV(X|r) = \sum_{k=0}^{n} R_k \,.\, (1+r)^{-k} = R_0 + \frac{R_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{R_n}{(1+r)^n} \qquad (۱)$$

بدیهی است پروژهٔ X اقتصادی به شمار می‌آید، اگر مقدار NPV مربوط بزرگ‌تر از صفر باشد. همچنین، در مبانی نظری موضوع، روش NPV روشی مبنا محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که صحت نتایج از سایر روش‌ها برحسب میزان سازگاری با نتایج از روش NPV تعیین می‌شود.

همچنین، شاخص IRR به علت‌های مختلفی مانند قابل فهم و ملموس‌بودن برای عموم پژوهشگران و امکان مقایسهٔ نرخ مزبور با نرخ بازار، نرخ تورم، حداقل نرخ جذب‌کننده و ... از جذاب‌ترین روش‌ها بوده است. شاخص IRR برابر با نرخی است که به‌ازای آن، درآمدها و هزینه‌های پروژه به تعادل می‌رسد و NPV پروژه برابر با صفر می‌شود. براساس شاخص IRR، فرایند مالی سرمایه‌گذاری، اقتصادی خواهد بود، اگر و فقط اگر شاخص IRR بزرگ‌تر از نرخ بازار باشد؛ اما شاخص IRR معایبی مانند نبود نرخ بازده و وجود چند نرخ بازده سرمایهٔ داخلی دارد که بر این اساس، پژوهشگران گوناگونی کوشیدند مشکلات شاخص IRR را حل کنند که در این میان به شاخص ERR، که باری و روبیسون (۲۰۱۴) معرفی کردند، به‌عنوان شاخص مناسبی می‌توان اشاره کرد.

برای محاسبهٔ شاخص ERR، ارزش بازار فرایند مالی $X = (R_0, R_1, \dots, R_n)$ در دوره‌های مختلف (V_t) را به‌صورت ذیل در نظر بگیرید:

$$V_t = \sum_{k=t+1}^{n} R_k.(1+r)^{-(k-t)} \qquad (۲)$$

بنابراین، ارزش بازار پروژهٔ X در دورهٔ صفر به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$V_0 = \sum_{k=1}^{n} R_k.(1+r)^{-k} = \frac{R_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{R_n}{(1+r)^n} = NPV(X|r) - R_0 \qquad (۳)$$

با توجه به تعریف‌های مذکور، باری و روبیسون (۲۰۱۴) نرخ بهرهٔ اولین دوره (i_1) را به‌صورت ذیل تعریف کردند:

$$i_1 = \frac{R_1 - (\alpha V_0 - V_1)}{\alpha V_0} \qquad (۴)$$

جایی که $\alpha = \frac{C_0}{V_0}$ است و C_0 مقدار سرمایه‌گذاری در دورهٔ صفر و برابر با قرینهٔ مقدار فرایند مالی در دورهٔ صفر ($-R_0$) است، آنها رابطهٔ ذیل را برای محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی (ERR) معرفی کردند:

$$ERR = [(1+i_1).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}} - 1 \qquad (۵)$$

درنهایت، اگر شاخص ERR بزرگ‌تر از نرخ بازار r باشد، آنگاه فرایند مالی سرمایه‌گذاری X اقتصادی خواهد بود.

همچنین، به‌علت عدم قطعیت موجود در محاسبهٔ مقادیر فرایند مالی برخی از پروژه‌ها، تعدادی از پژوهشگران، موضوع را تحت محیط فازی بررسی کردند که درنهایت، برای تعیین درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها، روش‌های موجود در مبحث رتبه‌بندی اعداد فازی را به کار بردند.

خیمنز[۳۰] (۱۹۹۶) نیز رابطه‌ای را معرفی کرد که با استفاده از آن، درجهٔ امکان بزرگ‌تربودن عدد فازی $\tilde{A}$ را نسبت به عدد فازی $\tilde{B}$ ($\mu_m(\tilde{A},\tilde{B})$) به‌صورت ذیل می‌توان محاسبه کرد:

$$\mu_m(\tilde{A},\tilde{B}) = \begin{cases} 0 & \text{if } E_2^A - E_1^B < 0 \\ \dfrac{E_2^A - E_1^B}{E_2^A - E_1^B - (E_1^A - E_2^B)} & \text{if } 0 \in [E_1^A - E_2^B, E_2^A - E_1^B] \\ 1 & \text{if } E_1^A - E_2^B > 0 \end{cases} \qquad (۶)$$

جایی که $[E_1^A , E_2^A]$ و $[E_1^B , E_2^B]$ به‌ترتیب، نشان‌دهندهٔ فواصل انتظاری اعداد فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ است. همچنین، اگر عدد فازی $\tilde{A}$ برابر با عدد فازی مثلثی (a_1, a_2, a_3) باشد، آنگاه فاصلهٔ انتظاری $\tilde{A}$ به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$EI(\tilde{A}) = [E_1^A , E_2^A] = [\frac{1}{2}(a_1+a_2) , \frac{1}{2}(a_2+a_3)] \qquad (۷)$$

همچنین، دوبویس و پراد[۳۱] (۲۰۱۲)، روش «امکان بزرگ‌تربودن محض» را برای محاسبهٔ درجهٔ امکان بزرگ‌تربودن عدد فازی $\widetilde{B} = (b_1,b_2,b_3)$ نسبت به عدد فازی $\widetilde{A} = (a_1,a_2,a_3)$ به‌صورت ذیل پیشنهاد کردند:

$$Poss(\widetilde{B} > \widetilde{A}) = \begin{cases} 1 & \text{if } b_2 \geq a_3 \\ \dfrac{(b_3-a_2)}{(b_3-b_2)+(a_3-a_2)} & \text{if } b_2 \leq a_3 \ , \ b_3 \geq a_2 \\ 0 & \text{if } b_3 \leq a_2 \end{cases} \qquad (۸)$$

۳- روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، پژوهشی کمّی- کاربردی و هدف آن، تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری تحت محیط فازی است. روش پایهٔ پژوهش، روش نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی است که در این پژوهش، علاوه بر مرتفع‌کردن نقص روش مذکور، شاخص جدیدی به نام شاخص نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد معرفی می‌شود؛ سپس، برای بررسی موضوع تحت محیط فازی، مقادیر جریان فرایند مالی برحسب اعداد فازی، تعریف و با استفاده از مفهوم برش اعداد فازی، روشی برای محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی فازی تبیین می‌شود.

درادامه، برای تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری، این مقاله، روش جدیدی را معرفی می‌کند که نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده در مبانی نظری موضوع، دقیق‌تر است و برای اعتبارسنجی نتایج از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است.

۴- یافته‌های پژوهش

در سال‌های گذشته، پژوهشگران گوناگونی، روش‌هایی را برای محاسبهٔ IRR معرفی کردند که در این میان به شاخص ERR به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های ارائه‌شده می‌توان اشاره کرد؛ اما شاخص مذکور، نواقص مهمی دارد که برای تبیین بهتر موضوع، مثال ذیل ارائه می‌شود:

مثال ۴-۱- پروژهٔ سرمایه‌گذاری X را به‌صورت (۷۵۰, ۷۰۰, -۱۲۵۰, -۱۰) در نظر بگیرید و فرض کنید مقدار نرخ بازار برابر با ۱۵ درصد باشد. مقدار NPV پروژهٔ مذکور تحت نرخ بازار ۱۵ درصد برابر با ۷۴/۵۲- است؛ بنابراین، براساس روش NPV، پروژهٔ X غیراقتصادی است. برای محاسبهٔ شاخص ERR، درابتدا با استفاده از معادلهٔ (۲)، ارزش بازار پروژهٔ مذکور در دوره‌های صفر و یک به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$V_0 = \sum_{k=1}^{3} R_k.(1+r)^{-(k-0)} = \frac{-1250}{(1/15)^1} + \frac{700}{(1/15)^2} + \frac{750}{(1/15)^3} = -64/52$$

$$V_1 = \sum_{k=2}^{3} R_k.(1+r)^{-(k-1)} = \frac{700}{(1/15)^1} + \frac{750}{(1/15)^2} = 1175/8$$

در ادامه، مقدار مؤلفه‌های C_0، α و نرخ بهرهٔ اولین دوره (i_1) با استفاده از معادلهٔ (۴) به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$C_0 = - R_0 = 10$$

$$\alpha = \frac{C_0}{V_0} = \frac{10}{-64/52} = -0/155$$

$$i_1 = \frac{R_1-(\alpha V_0-V_1)}{\alpha V_0} = \frac{-1250-[(-0/155\times -64/52)-1175/8]}{(-0/155\times -64/52)} = -8/42$$

با توجه به مقادیر مذکور، مقدار شاخص ERR با استفاده از معادلهٔ (۵) به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$ERR=[(1+i_1).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}}-1=[(-7/42)\times(1/15)^2]^{\frac{1}{3}}-1=-314/09\%$$

مقدار شاخص ERR (۳۱۴/۰۹-٪) کوچک‌تر از مقدار نرخ بازار (۱۵٪) است، بنابراین، فرایند مالی مذکور، غیراقتصادی است و نتیجهٔ حاصل با روش ارزش فعلی سازگاری دارد؛ اما همانگونه که ملاحظه می‌شود، مقدار شاخص ERR کوچک‌تر از ۱- است که نرخی ناصحیح است و موجب کاهش اعتبار شاخص مذکور می‌شود.

قضیهٔ ۱- فرایند مالی سرمایه‌گذاری $X = (R_0, R_1, \ldots, R_n)$ را در نظر بگیرید، اگر مقدار اولیهٔ پروژه، کوچک‌تر از ارزش فعلی خالص فرایند مالی X باشد، آنگاه مقدار شاخص ERR قطعاً بزرگ‌تر از ۱- است.

اثبات: معادلهٔ (۵) را در نظر بگیرید:

$$ERR = [(1+i_1).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}}-1$$

برای برقراری نامعادلهٔ ERR>-1 خواهیم داشت:

$$ERR>-1 \Rightarrow [(1+i_1).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}}-1>-1 \Rightarrow [(1+i_1).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}}>0 \Rightarrow (1+i_1)^{\frac{1}{n}}.(1+r)^{\frac{n-1}{n}}>0 \qquad (۹)$$

مقدار نرخ بازار (r) عددی نامنفی است؛ بنابراین:

$$(1+i_1)^{\frac{1}{n}}.(1+r)^{\frac{n-1}{n}}>0 \Rightarrow (1+i_1)^{\frac{1}{n}}>0 \Rightarrow (1+i_1)>0 \Rightarrow i_1>-1 \qquad (۱۰)$$

با توجه به معادله‌های (۹) و (۱۰) خواهیم داشت:

$$ERR > -1 \Leftrightarrow i_1 > -1 \qquad (۱۱)$$

نتیجهٔ مذکور، یعنی مقدار شاخص ERR بزرگ‌تر از ۱- منفی است، اگر و فقط اگر مقدار نرخ بهرهٔ اولین دوره (i_1)، بزرگ‌تر از ۱- باشد. درادامه، با در نظر گرفتن معادلهٔ (۴) و جایگزینی مؤلفهٔ α ($\alpha=\frac{C_0}{V_0}$) در آن خواهیم داشت:

$$i_1> -1 \Rightarrow \frac{R_1-(\alpha V_0-V_1)}{\alpha V_0}> -1 \Rightarrow \frac{R_1-[(\frac{C_0}{V_0}.V_0)-V_1]}{\frac{C_0}{V_0}.V_0}> -1 \Rightarrow \frac{R_1-(C_0-V_1)}{C_0}> -1 \qquad (۱۲)$$

$$\Rightarrow \frac{R_1+V_1-C_0}{C_0}> -1 \Rightarrow \frac{R_1+V_1}{C_0}-1> -1 \Rightarrow \frac{R_1+V_1}{C_0}> 0$$

سپس، معادلهٔ (۲) را در نظر بگیرید:

$$V_1 = \sum_{k=2}^{n} R_k.(1+r)^{-k} = \frac{R_2}{(1+r)^1} + \frac{R_3}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{R_n}{(1+r)^{n-1}} \qquad (۱۳)$$

بنابراین، V_1+R_1 را به‌صورت ذیل می‌توان بازنویسی کرد:

$$V_1+R_1 = R_1 + \frac{R_2}{(1+r)^1} + \frac{R_3}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{R_n}{(1+r)^{n-1}} = \left(\frac{R_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2}{(1+r)^2} + \frac{R_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{R_n}{(1+r)^n}\right) \qquad (۱۴)$$

$$(1+r)= V_0.(1+r) \Rightarrow V_1+R_1 = V_0.(1+r)$$

با جایگزینی عبارت $V_0.(1+r)$ به جای V_1+R_1 در رابطهٔ (۱۲) و با توجه به معادلهٔ (۳) و مثبت‌بودن مقدار مؤلفهٔ C_0، خواهیم داشت:

$$i_1 > -1 \Rightarrow \frac{R_1+V_1}{C_0} > 0 \Rightarrow \frac{V_0.(1+r)}{C_0} > 0 \Rightarrow \frac{V_0}{C_0} > 0 \Rightarrow V_0 > 0 \Rightarrow NPV(X|r)-R_0>0 \qquad (۱۵)$$
$$\Rightarrow R_0 < NPV(X|r)$$

رابطهٔ مذکور را به‌صورت ذیل می‌توان بیان کرد:

$$i_1 > -1 \Leftrightarrow R_0 < NPV(X|r) \qquad (۱۶)$$

در واقع، مقدار نرخ بهرهٔ اولین دوره (i_1)، بزرگ‌تر از ۱- است، اگر و فقط اگر مقدار اولیهٔ فرایند مالی، کوچک‌تر از NPV پروژهٔ X باشد؛ بنابراین، با توجه به رابطه‌های (۱۱) و (۱۶) خواهیم داشت:

$$ERR > -1 \Leftrightarrow R_0 < NPV(X|r) \qquad (۱۷)$$

با توجه به رابطهٔ مذکور، مقدار شاخص ERR بزرگ‌تر از ۱- است، اگر و فقط اگر مقدار اولیهٔ فرایند مالی، کوچک‌تر از NPV پروژهٔ X باشد.

۱-۴- شاخص نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد (RERR)

با توجه به قضیهٔ ۱، مشخص شد مقدار اولیهٔ فرایند مالی، تأثیر زیادی در تعیین ERR دارد؛ به عبارت دیگر، مقدار اولیهٔ فرایند مالی باید به‌صورت مناسبی، نشان‌دهندهٔ میزان سرمایه‌گذاری کلی[۳۲] انجام‌شده در پروژه باشد؛ به همین علت، در این مقاله، مقدار اولیهٔ پروژهٔ سرمایه‌گذاری، برابر با مجموع مقادیر منفی فرایند مالی در نظر گرفته می‌شود که به‌صورت مناسبی، نشان‌دهندهٔ میزان سرمایه‌گذاری کلی پروژه است و گام‌های ذیل برای محاسبهٔ شاخص RERR و تعیین اقتصادی‌بودن فرایندهای مالی پیشنهاد می‌شود:

اول) مقدار اولیهٔ فرایند مالی را معادل مجموع مقادیر منفی فرایند مالی X ($\sum_{k=1}^{n} X^-$) قرار دهید و آن را A_0 بنامید.

دوم) مقدار $(R_0-A_0).(1+r)^n$ را به مقدار نهایی فرایند مالی اضافه کنید و مقدار حاصل را A_n بنامید. $(A_n=R_n + [(R_0-A_0).(1+r)^n])$ با این عمل، مقدار اولیه و نهایی فرایند مالی به‌گونه‌ای تصحیح شود که ارزش فعلی پروژه تغییر نکند.

سوم) فرایند مالی جدید را با مقدار اولیهٔ A_0، مقدار نهایی A_n و مقادیر میانی فرایند مالی اولیه تشکیل دهید و آن را X^{new} بنامید $(X^{new} = (A_0, R_1, R_2, ..., R_{n-1}, A_n))$. گفتنی است NPV فرایند مالی جدید، برابر با NPV فرایند مالی اولیه است $(NPV(X^{new}|r)= NPV(X|r))$.

چهارم) مقدار مؤلفه‌های V_0، V_1، C_0 و α را برای فرایند مالی X^{new} محاسبه کنید و آنها را به‌ترتیب، V_0^{new}،V_1^{new}،C_0^{new} و α^{new} بنامید؛ سپس، مقدار نرخ بهرهٔ اولین دوره را محاسبه کنید و آن را i_1^{new} بنامید.

پنجم) مقدار شاخص نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد (RERR) را با استفاده از معادلهٔ ذیل محاسبه کنید:

$$RERR = [(1+i_1^{new}).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}} -1 \qquad (۱۸)$$

ششم) اگر مقدار شاخص RERR بزرگ‌تر از نرخ بازار r باشد، آنگاه فرایند مالی سرمایه‌گذاری X اقتصادی است.

قضیهٔ ۲- فرایند مالی $X = (R_0, R_1, ..., R_n)$ و فرایند مالی جدید $X^{new} = (A_0, R_1, R_2, ..., R_{n-1}, A_n)$ را در نظر بگیرید، اگر مقدار A_0 برابر با مجموع مقادیر منفی فرایند مالی X باشد، آنگاه مقدار شاخص RERR قطعاً بزرگ‌تر از ۱- خواهد بود.

اثبات: با توجه به تعریف‌های مذکور و معادلهٔ (۱۷) خواهیم داشت:

$$RERR > -1 \Leftrightarrow A_0 < NPV(X^{new}|r) \qquad (۱۹)$$

حال، رابطهٔ ذیل را در نظر بگیرید:

$$\sum_{k=1}^{n} X^- < NPV(X^-|r) < NPV(X^+|r) + NPV(X^-|r)=NPV(X|r) \Rightarrow \sum_{k=1}^{n} X^- < NPV(X|r) \qquad (۲۰)$$

جایی که $NPV(X^-|r)$ و $NPV(X^+|r)$ به‌ترتیب، نشان‌دهندهٔ NPV مقادیر منفی و مثبت فرایند مالی X است؛ سپس با در نظر گرفتن $\sum_{k=1}^{n} X^-$ به جای A_0 و با توجه به برابری $NPV(X|r)$ با $NPV(X^{new}|r)$، معادلهٔ (۱۹) را به‌صورت ذیل می‌توان بازنویسی کرد:

$$RERR > -1 \Leftrightarrow \sum_{k=1}^{n} X^- < NPV(X|r) \qquad (۲۱)$$

بنابراین، اگر مقدار اولیهٔ فرایند مالی برابر با $\sum_{k=1}^{n} X^-$ باشد، آنگاه قطعاً مقدار شاخص RERR بزرگ‌تر از ۱- خواهد بود.

مثال ۴-۲- فرایند مالی X را دوباره به‌صورت (۷۵۰, ۷۰۰ ,۱۲۵۰- ,۱۰-) با نرخ بازار ۱۵ درصد و ارزش فعلی خالص ۷۴/۵۲- در نظر بگیرید. برای محاسبهٔ شاخص RERR، درابتدا مقدار مؤلفه‌های A_0 و A_n به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$A_0 = \sum_{k=1}^{n} X^- = -10 - 1250 = -1260$$

$$A_n = R_n + [(R_0 - A_0).(1+r)^n] = 750 + [(-10+1260).(1/15)^3] = 2651/09$$

درادامه، فرایند مالی جدید با مقادیر اولیه و نهایی مذکور و مقادیر میانی اولیه به‌صورت ذیل تشکیل می‌شود:

$$X^{new} = (A_0, R_1, R_2, ..., R_{n-1}, A_n) = (-1260, -1250, 700, 2651/09)$$

با توجه به فرایند مالی جدید مذکور، سایر مؤلفه‌ها به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$V_0^{new} = \frac{-1250}{(1/15)^1} + \frac{700}{(1/15)^2} + \frac{2651/09}{(1/15)^3} = 1185/48 \quad , \qquad V_1^{new} = \frac{700}{(1/15)^1} + \frac{2651/09}{(1/15)^2} = 2613/30$$

$$C_0^{new} = -A_0 = 1260 \quad , \qquad \alpha^{new} = \frac{C_0^{new}}{V_0^{new}} = \frac{1260}{1185/48} = 1/063$$

$$i_1^{new} = \frac{R_1 - ((\alpha^{new}.V_0^{new}) - V_1^{new})}{\alpha^{new}.V_0^{new}} = \frac{-1250 - ((1/063 \times 1185/48) - 2613/30)}{(1/063 \times 1185/48)} = 0/082 = \%8/2$$

با توجه به مقادیر مذکور، مقدار شاخص RERR با استفاده از معادلهٔ (۱۸) به‌صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$RERR = [(1+i_1^{new}).(1+r)^{n-1}]^{\frac{1}{n}} - 1 = [(1/082) \times (1/15)^2]^{\frac{1}{3}} - 1 = \%12/69$$

مقدار شاخص RERR (۱۲/۶۹٪) کوچک‌تر از مقدار نرخ بازار (۱۵٪) است؛ بنابراین، فرایند مالی مذکور، غیراقتصادی است و نتیجهٔ حاصل با روش NPV سازگار است؛ اما همانگونه که ملاحظه می‌شود، نرخ سرمایهٔ حاصل، بزرگ‌تر از ۱- به دست آمد. همچنین، در جدول شمارهٔ ۱، مقدار شاخص‌های ERR، RERR و SAIRR که خاتمی (۲۰۱۲) برای محاسبهٔ FIRR استفاده کرد، به‌ازای مقادیر مختلف نرخ بازار آورده شده است:

جدول ۱- مقدار شاخص‌های ERR، RERR و SAIRR به‌ازای مقادیر مختلف نرخ بازار

نرخ بازار	ERR	RERR	SAIRR
٪۸	٪۶۸/۶۹	٪۸/۸۰	٪۱۰۹/۱۷
٪۹	٪۴۰/۷۴	٪۹/۳۳	٪۵۰/۸۷
٪۱۰	٪-۹/۱۴	٪۹/۸۷	٪-۶/۰۱
٪۱۱	٪-۲۰۹/۴۹	٪۱۰/۴۲	٪-۶۱/۵۱
٪۱۲	٪-۲۵۰/۳۷	٪۱۰/۹۸	٪-۱۱۵/۶۸
٪۱۳	٪-۲۷۶/۶۵	٪۱۱/۵۴	٪-۱۶۸/۵۷
٪۱۴	٪-۲۷۹/۰۴	٪۱۲/۱۱	٪-۲۲۰/۲۱
٪۱۵	٪-۳۱۴/۰۹	٪۱۲/۶۹	٪-۲۷۰/۶۶

همانگونه که مشاهده می‌شود، مقدار شاخص ERR به‌ازای نرخ‌های بازار، بزرگ‌تر از ۱۰ کمتر از ۱- به دست می‌آید؛ در حالی که مقدار شاخص پیشنهادی مقاله (RERR)، نرخی مناسب و بزرگ‌تر از ۱- حاصل می‌شود. همچنین، شاخص ERR حساسیتی زیاد و غیرمنطقی به تغییر در مقدار نرخ بازار دارد؛ به‌گونه‌ای که فقط با یک درصد افزایش در مقدار نرخ بازار از ۱۰ به ۱۱ درصد، مقدار شاخص مزبور از ۹/۱۴-٪ به نرخ غیرصحیح ۲۰۹/۴۹٪- کاهش می‌یابد؛ در حالی که مقدار شاخص RERR فقط از نرخ ۹/۸۷ به‌ترتیب به ۱۰/۴۲٪ افزایش پیدا کرده است. همچنین، براساس اطلاعات مندرج در جدول شمارهٔ ۱، شاخص SAIRR نیز دقیقاً معایب مذکور شاخص ERR را دارد.

مثال ۴-۳- فرایند مالی X را به‌صورت (۶, ۱۱-, ۶, ۱-) در نظر بگیرید. در جدول شمارهٔ ۲، مقدار شاخص RERR و شاخص EAIRR، که بابایی، غفاری و اصل حداد (۲۰۱۵) برای محاسبهٔ FIRR استفاده کردند، به‌ازای مقادیر مختلف نرخ بازار آورده شده است:

جدول ۲- مقایسهٔ شاخص‌های RERR و EAIRR

نرخ بازار	RERR	EAIRR
٪۲۰	٪۲۱/۳۲	٪-۴۵/۴۵
٪۲۳	٪۲۴/۳۷	٪-۹۳/۵۳
٪۲۴	٪۲۵/۳۸	٪-۱۲۵/۳۰
٪۲۸	٪۲۹/۴۰	٪-۲۵۵۹/۷۰
٪۲۹	٪۳۰/۴۰	٪۱۰۷۷/۶۸
٪۳۰	٪۳۱/۳۹	٪۴۸۰/۵۸

همانگونه که ملاحظه می‌شود، مقدار شاخص EAIRR به‌ازای نرخ‌های بازار، بزرگ‌تر از ۲۳٪ کمتر از ۱- به دست می‌آید. همچنین، شاخص EAIRR فقط با یک درصد تغییر در مقدار نرخ بازار از ۲۸٪ به ۲۹٪ از مقدار ۲۵۵۹/۷۰-٪ به مقدار ۱۰۷۷/۶۸٪ تغییر می‌یابد که صحیح نیست؛ در حالی که شاخص RERR، معایب ذکرشده را دارد.

۲-۴- چگونگی محاسبهٔ نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد فازی (FRERR)

در این پژوهش با تعریف مقادیر فرایند مالی و نرخ بازار به‌صورت اعداد فازی و با به‌کارگیری روش برش اعداد فازی، گام‌های ذیل برای محاسبهٔ FRERR پیشنهاد می‌شود:

اول) مقادیر فرایند مالی و نرخ بازار فازی را تحت برش‌های مختلف α به فواصل متمایز تبدیل کنید.

دوم) تحت هر برش α، دو جریان فرایند مالی از ترکیب نقاط ابتدایی و انتهایی فواصل به‌دست‌آمده از گام قبلی تشکیل دهید و به‌ترتیب، آن را جریان فرایند مالی بدبینانه و خوش‌بینانه تحت برش α بنامید.

سوم) به‌ازای هر برش α، شاخص RERR را برای فرایندهای مالی جدید بدبینانه و خوش‌بینانه به‌ترتیب، تحت کران پایین و بالای نرخ بازار محاسبه کنید تا به‌ازای هر برش، یک فاصله برای RERR به دست آید؛ سپس، فواصل حاصل را به یکدیگر متصل کنید تا FRERR حاصل شود.

مثال ۴-۴- نرخ بازار $\tilde{r}$ را به‌صورت عدد فازی مثلثی (۱۵٪، ۱۰٪، ۵٪) و جریان فرایند مالی $\tilde{A}$ را برحسب اعداد فازی مثلثی و به‌صورت ذیل در نظر بگیرید:

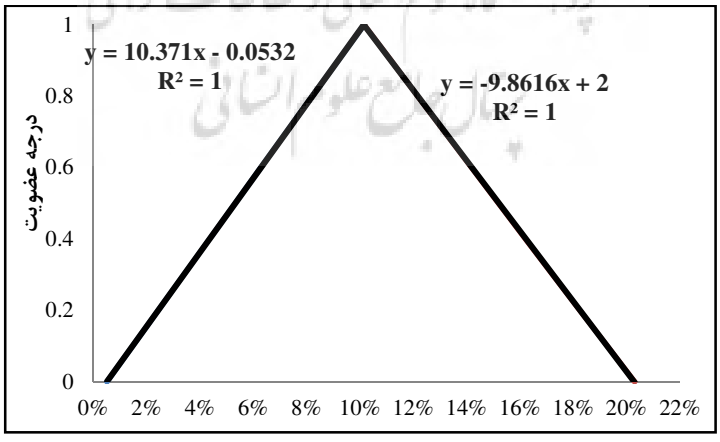
دوره	۰	۱	۲	۳
فرآیند مالی	(-۱۲۰، -۱۰۰، -۸۰)	(۶۰۰، ۶۲۰، ۶۵۰)	(-۱۲۰۰، -۱۱۰۰، -۱۰۰۰)	(۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰)

براساس راهکار پیشنهادی پژوهش، مقدار شاخص RERR برای فرایندهای مالی جدید بدبینانه و خوش‌بینانه به‌ازای برش‌های α برابر با ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ به‌شرح جدول شمارهٔ ۳ محاسبه می‌شود:

جدول ۳- مقدار RERR فرآیند مالی $\tilde{A}$ به ازای برش‌های مختلف α

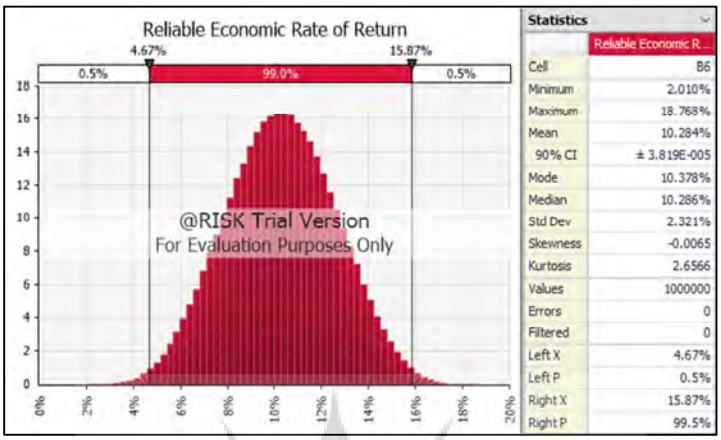
برش	دوره	۰	۱	۲	۳	R	RERR
α = ۰	بدبینانه	-۱۳۲۰	۶۰۰	-۱۲۰۰	۱۹۳۹/۱۵	۵/۰%	۰/۵۲%
	خوش‌بینانه	-۱۰۸۰	۶۵۰	-۱۰۰۰	۲۱۷۰/۸۸	۱۵/۰%	۲۰/۳۰%
α = ۰,۲	بدبینانه	-۱۲۹۶	۶۰۴	-۱۱۸۰	۱۹۶۵/۴	۶/۰%	۲/۴۴%
	خوش‌بینانه	-۱۱۰۴	۶۴۴	-۱۰۲۰	۲۱۵۱/۱۷	۱۴/۰%	۱۸/۲۵%
α = ۰,۴	بدبینانه	-۱۲۷۲	۶۰۸	-۱۱۶۰	۱۹۹۱/۰۵	۷/۰%	۴/۳۷%
	خوش‌بینانه	-۱۱۲۸	۶۳۸	-۱۰۴۰	۲۱۳۰/۶۱	۱۳/۰%	۱۶/۲۱%
α = ۰,۶	بدبینانه	-۱۲۴۸	۶۱۲	-۱۱۴۰	۲۰۱۶/۰۷	۸/۰%	۶/۲۹%
	خوش‌بینانه	-۱۱۵۲	۶۳۲	-۱۰۶۰	۲۱۰۹/۲۲	۱۲/۰%	۱۴/۱۸%
α = ۰,۸	بدبینانه	-۱۲۲۴	۶۱۶	-۱۱۲۰	۲۰۴۰/۴۳	۹/۰%	۸/۲۲%
	خوش‌بینانه	-۱۱۷۶	۶۲۶	-۱۰۸۰	۲۰۸۷/۰۴	۱۱/۰%	۱۲/۱۷%
α = ۱	بدبینانه	-۱۲۰۰	۶۲۰	-۱۱۰۰	۲۰۶۴/۱۰	۱۰/۰%	۱۰/۱۶%
	خوش‌بینانه	-۱۲۰۰	۶۲۰	-۱۱۰۰	۲۰۶۴/۱۰	۱۰/۰%	۱۰/۱۶%

سپس، با وصل‌کردن فواصل مذکور تحت برش‌های مختلف با یکدیگر، FRERR براساس شکل شمارهٔ ۱ حاصل می‌شود:



شکل ۱- نمودار FRERR برای فرایند مالی فازی $\tilde{A}$

ضریب تعیین توابع تقریب‌زده‌شده برای بال‌های چپ و راست نمودار مذکور، برابر با ۱ است؛ بنابراین، FRERR برابر با عدد فازی مثلثی (۲۰/۳۰٪، ۱۰/۱۶٪، ۰/۵۲٪) با میانگین ۱۰/۲۹٪ است. درادامه، برای اعتبارسنجی نتیجهٔ حاصل از نرم‌افزار @RISK استفاده شد که نمودار RERR مربوط بعد از یک‌میلیون بار تکرار شبیه‌سازی به‌صورت شکل شمارهٔ ۲ حاصل شد:



شکل ۲- نمودار RERR برای فرایند مالی فازی Ã با نرم‌افزار @RISK

مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه برای RERR براساس نرم‌افزار @RISK و راهکار پیشنهادی مقاله برای فرایند مالی فازی Ã به‌شرح ذیل است:

	کمینه	میانگین	بیشینه
RERR براساس نرم‌افزار @RISK	٪۲/۰۱	٪۱۰/۲۸	٪۱۸/۷۷
FRERR براساس راهکار پیشنهادی مقاله	٪۰/۵۲	٪۱۰/۲۹	٪۲۰/۳۰

همانگونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل براساس راهکار پیشنهادی به نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی بسیار نزدیک است که مؤید دقت مناسب روش پیشنهادی مقاله در محاسبهٔ FRERR است.

۳-۴- چگونگی محاسبهٔ درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری فازی

در این مقاله، راهکار جدیدی برای محاسبهٔ میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری فازی به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

گام اول) شاخص RERR را برای حالت بدبینانه (خوش‌بینانه) فرایند مالی فازی محاسبه کنید و اگر نرخ مذکور از مقدار بیشینهٔ (کمینه) نرخ بازار، بزرگ‌تر (کوچک‌تر) باشد، آنگاه فرایند مالی با درجهٔ امکان ۱۰۰ درصد، اقتصادی (غیراقتصادی) است. در غیر این‌صورت به گام دوم بروید.

گام دوم) شاخص RERR را برای حالت محتمل محاسبه کنید و در صورتی که حالت محتمل فرایند مالی اقتصادی بود، به گام سوم بروید. در غیر این‌صورت، فرایند مالی، غیراقتصادی تلقی می‌شود.

گام سوم) برای محاسبهٔ درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن، مراحل ذیل را انجام دهید:

الف) نرخ بازار فازی را تحت برش‌های مختلف α به فواصل متمایز تبدیل و میانگین هر فاصله را محاسبه کنید و آن را $\overline{mr}_\alpha$ بنامید.

ب) به‌ازای هر برش، اختلاف بین جریان مالی بدبینانه و خوش‌بینانه را محاسبه کنید. درادامه، با توجه به میزان اختلاف به‌دست‌آمده، مقادیر جریان فرایند مالی بدبینانه را به میزان یک درصد به مقادیر جریان خوش‌بینانه نزدیک کنید (ازنظر محاسباتی، یک درصد اختلاف بین مقادیر جریان مالی بدبینانه و خوش‌بینانه به مقادیر جریان مالی بدبینانه اضافه کنید) و RERR مربوط را محاسبه کنید. تحت هر برش α، این عمل را آنقدر تکرار کنید تا مشخص شود حداقل باید چند درصد جریان فرایند مالی بدبینانه به جریان فرایند مالی خوش‌بینانه نزدیک شود تا فرایند مالی حاصل اقتصادی شود؛ سپس، نرخ حاصل را I_α بنامید.

ج) به‌ازای هر برش α، مقدار $(1-I_\alpha)$ را محاسبه کنید و آن را J_α بنامید و سپس، نمودار مربوط را ترسیم کنید (با نمایش مقادیر J_α در محور عرض و مقادیر α در محور طول)؛ سپس، مساحت زیر نمودار حاصل را محاسبه کنید. نرخ به‌دست‌آمده، نشان‌دهندهٔ درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن فرایند مالی است.

مثال ۴-۵- فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ را دوباره در نظر بگیرید. براساس اطلاعات مندرج در بخش قبلی، مقدار شاخص FRERR برابر با عدد فازی مثلثی (۲۰/۳۰٪، ۱۰/۱۶٪، ۰/۵۲٪) به دست آمد. درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن فرایند مالی مذکور براساس روش‌های مختلف به‌شرح ذیل است:

۱-۳-۴- روش مقایسهٔ فواصل مورد انتظار

فواصل انتظاری FRERR و نرخ بازار r مطابق معادلG (۷) به‌ترتیب، برابر با [۱۵/۲۳٪، ۵/۳۴ ٪] و [۱۲/۵٪، ۷/۵٪] است؛ بنابراین، درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن فرایند مالی $\tilde{A}$ مطابق روش مزبور (معادلهٔ ۶) به‌شرح ذیل است:

$$\mu_m(\widetilde{FRERR},\widetilde{mr}) = \frac{E_2^{FRERR} - E^{mr}_1}{E_2^{FRERR}-E_1^{mr} - (E_1^{FRERR}-E_2^{mr})} = \frac{15/23 - 7/5}{15/23 - 7/5 - (5/34 - 12/5)} = \%51/9$$

بنابراین، مطابق روش مذکور، فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ با درجهٔ امکان ۵۱/۹ درصد، اقتصادی است.

۲-۳-۴- روش امکان بزرگ‌تربودن محض

درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن فرایند مالی $\tilde{A}$ مطابق روش مزبور (معادلهٔ ۸) به‌شرح ذیل است:

$$Poss\ (\widetilde{FRERR}>\widetilde{mr}) = \frac{(FRERR_3-mr_2)}{(FRERR_3-FRERR_2) + (mr_3-mr_2)} = \frac{(20/30-10)}{(20/30-10/16) + (15-10)} = \%68/1$$

بنابراین، براساس روش مذکور، فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ با درجهٔ امکان ۶۸/۱ درصد، اقتصادی است.

۳-۳-۴- راهکار پیشنهادی مقاله

حالت‌های بدبینانه، خوش‌بینانه و محتمل فرایند مالی $\tilde{A}$ به‌شرح جدول شمارهٔ ۴ است:

جدول ۴- مقدار RERR برای حالت‌های مختلف فرایند مالی $\tilde{A}$

حالت	فرایند مالی اولیه				فرایند مالی جدید			mr	RERR
	۰	۱	۲	۳	۰	۱	۲	۳		
بدبینانه	۱۲۰-	۶۰۰	۱۲۰۰-	۵۵۰	۱۳۲۰-	۶۰۰	۱۲۰۰-	۱۹۳۹/۱۵	۵/۰%	۰/۵۲%
خوش‌بینانه	۸۰-	۶۵۰	۱۰۰۰-	۶۵۰	۱۰۸۰-	۶۵۰	۱۰۰۰-	۲۱۷۰/۸۸	۱۵/۰%	۲۰/۳۰%
محتمل	۱۰۰-	۶۲۰	۱۱۰۰-	۶۰۰	۱۲۰۰-	۶۲۰	۱۱۰۰-	۲۰۶۴/۱۰	۱۰/۰%	۱۰/۱۶%

مقدار RERR در حالت بدبینانه (۰/۵۲٪) از مقدار بیشینهٔ نرخ بازار (۱۵٪) بزرگ‌تر نیست و مقدار شاخص مذکور در حالت خوش‌بینانه (۲۰/۳۰٪) از مقدار کمینهٔ نرخ بازار (۵٪) کوچک‌تر نیست؛ بنابراین، فرایند مالی مذکور، صددرصد اقتصادی یا غیراقتصادی نیست.

سپس، مقدار RERR در حالت محتمل (۱۰/۱۶٪) از مقدار محتمل نرخ بازار (۱۰٪) بزرگ‌تر است؛ بنابراین، پروژهٔ $\tilde{A}$ در این حالت، اقتصادی است؛ پس باید درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن آن را تعیین کرد. محاسبات مربوط به گام چهارم، راهکاری پیشنهادی مرتبط با برش $\alpha = ۰$ به‌شرح جدول‌های شمارهٔ ۵ و ۶ است:

جدول ۵- میزان اختلاف مقادیر حالت‌های بدبینانه و خوش‌بینانهٔ فرایند مالی $\tilde{A}$

برش $\alpha = ۰$	۰	۱	۲	۳
بدبینانه	۱۳۲۰-	۶۰۰	۱۲۰۰-	۱۹۳۹/۱۵
خوش‌بینانه	۱۰۸۰-	۶۵۰	۱۰۰۰-	۲۱۷۰/۸۸
اختلاف	۲۴۰	۵۰	۲۰۰	۲۳۱/۷۲

در ادامه، با توجه به میزان اختلاف به‌دست‌آمده، مقادیر جریان فرایند مالی بدبینانه را به میزان یک درصد به مقادیر جریان خوش‌بینانه نزدیک و RERR مربوط را تحت نرخ بازار ۱۰٪ = $\overline{mr}_0$ محاسبه می‌کنیم. آنقدر این عمل را تکرار می‌کنیم تا RERR حاصل از مقدار $\overline{mr}_0$ بزرگ‌تر و درواقع، فرایند مالی حاصل اقتصادی شود.

جدول ۶- مقادیر مؤلفه‌های I_α و J_α فرایند مالی $\tilde{A}$ برای برش $\alpha = ۰$

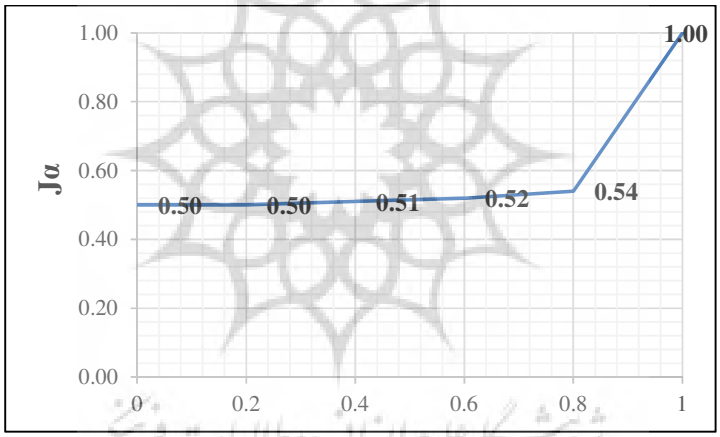
درصد	۰	۱	۲	۳	RERR
٪۰	۱۳۲۰/۰-	۶۰۰	۱۲۰۰-	۱۹۳۹/۱۵	۰/۶۳%
٪۱	۱۳۱۷/۶-	۶۰۰/۵	۱۱۹۸-	۱۹۴۱/۴۷	۰/۸۲%
٪۲	۱۳۱۵/۲-	۶۰۱	۱۱۹۶-	۱۹۴۳/۷۸	۱/۰۱%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
٪۴۹	۱۲۰۲/۴-	۶۲۴/۵	۱۱۰۲-	۲۰۵۲/۷۰	۹/۹۰%
٪۵۰	۱۲۰۰/۰-	۶۲۵	۱۱۰۰-	۲۰۵۵/۰۱	۱۰/۰۹%

با توجه به اطلاعات مذکور، اگر حداقل ۵۰ درصد (I_0) فرایند مالی حالت بدبینانه را به خوش‌بینانه نزدیک کنیم، آنگاه مقدار RERR فرایند مالی مذکور (۱۰/۰۹٪) از مقدار $\overline{mr}_0$ (۱۰٪) بزرگ‌تر می‌شود و درنتیجه، مقدار مؤلفهٔ J_0 عدد ۰/۵۰ به دست می‌آید. همین محاسبات را برای سایر برش‌ها نیز انجام می‌دهیم. خلاصهٔ نتایج به‌شرح جدول شمارهٔ ۷ است:

جدول ۷- مقادیر مؤلفه‌های I_α و J_α فرایند مالی $\tilde{A}$

برش α	I_α	J_α
α = ۰,۰	۰/۵۰	۰/۵۰
α = ۰,۲	۰/۵۰	۰/۵۰
α = ۰,۴	۰/۴۹	۰/۵۱
α = ۰,۶	۰/۴۸	۰/۵۲
α = ۰,۸	۰/۴۶	۰/۵۴
α = ۱,۰	۰	۱

نمودار مربوط، مطابق شکل شمارهٔ ۳ است:

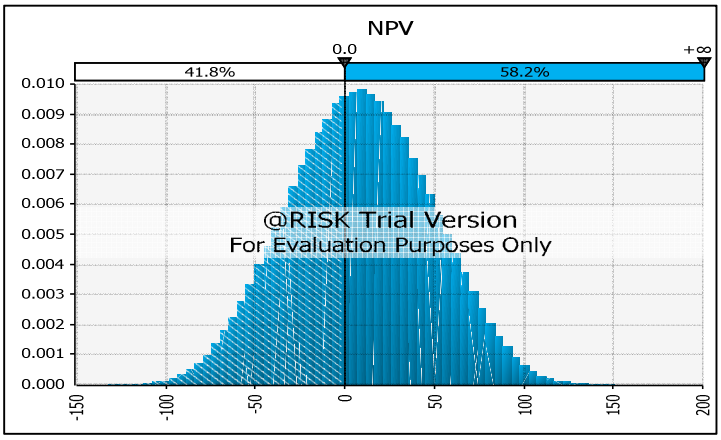


شکل ۳- نمودار J_α فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ به‌ازای ۶ برش α

مساحت زیر نمودار مذکور برابر با ۰/۵۶۴ است؛ بنابراین، مطابق راهکار پیشنهادی مقاله، فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ با درجهٔ امکان ۵۶/۴ درصد، اقتصادی است.

۴-۴- اعتبارسنجی نتایج

در این پژوهش برای اعتبارسنجی نتایج، از نرم‌افزار @RISK استفاده شده است. نمودار NPV فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ بعد یک‌میلیون بار تکرار شبیه‌سازی به‌صورت شکل شمارهٔ ۴ حاصل شد:



شکل ۴- نمودار NPV برای فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ با نرم‌افزار @RISK

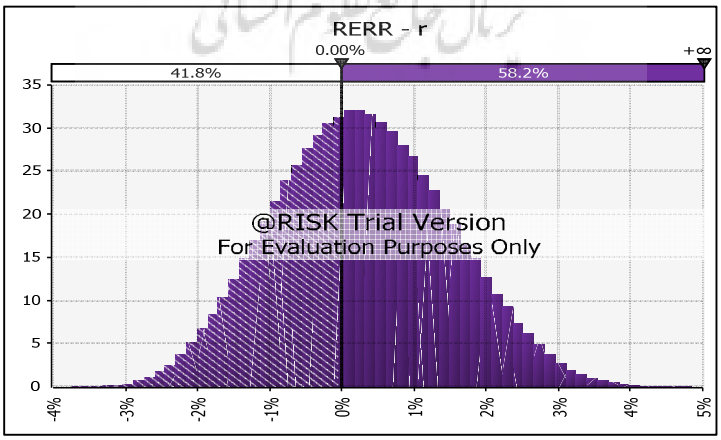
همانگونه که مشاهده می‌شود، مطابق شبیه‌سازی مونت کارلو، مقدار شاخص NPV در ۵۸/۲ درصد از تکرارهای شبیه‌سازی مثبت و درواقع، فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ با احتمال ۵۸/۲ درصد، اقتصادی است. خلاصهٔ نتایج به‌شرح جدول شمارهٔ ۸ است:

جدول ۸- مقایسهٔ میزان اقتصادی‌بودن فرایند مالی فازی $\tilde{A}$ مطابق روش‌های مختلف

عنوان روش	میزان اقتصادی بودن
روش مقایسهٔ فواصل مورد انتظار	٪۵۱/۹
روش امکان بزرگ‌تربودن محض	٪۶۸/۱
راهکار پیشنهادی مقاله	٪۵۶/۴
شبیه‌سازی مونت کارلو – نرم‌افزار @RISK	٪۵۸/۲

مطابق اطلاعات مذکور، نتیجهٔ حاصل از راهکاری پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها به نتیجهٔ به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی نزدیک‌تر است که مؤید دقت مناسب راهکار مذکور است؛ البته میزان اقتصادی‌بودن فرایند مالی مذکور، مطابق روش «مقایسهٔ فواصل مورد انتظار» نسبت به روش «امکان بزرگ‌تربودن محض»، دقیق‌تر است

همچنین، برای اعتبارسنجی شاخص RERR، نمودار تفاوت شاخص RERR و نرخ بازار (RERR-r) بعد از یک‌میلیون بار تکرار شبیه‌سازی به‌شکل ذیل حاصل شد:



شکل ۵- نمودار تفاوت شاخص RERR و نرخ بازار برای فرایند مالی $\tilde{A}$ با نرم‌افزار @RISK

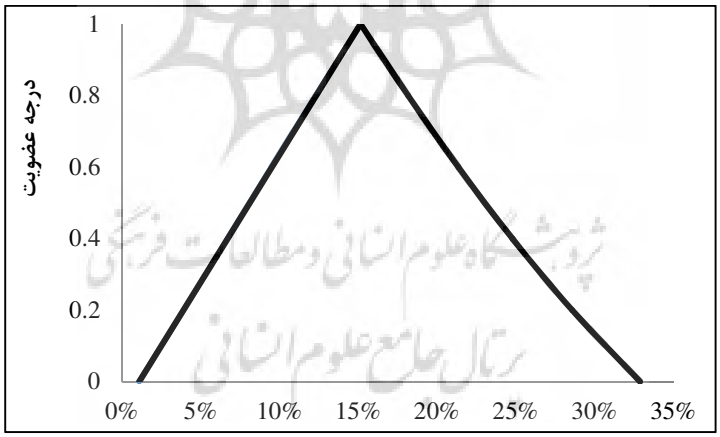
در واقع، با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی و شاخص RERR نیز فرایند مالی مذکور با احتمال ۵۸/۲ درصد، اقتصادی است که مؤید سازگاربودن و صحت نتایج حاصل از روش RERR با روش NPV است.

۵- بررسی نمونهٔ موردی واقعی

در این بخش، کارایی روش پیشنهادی مقاله براساس پروژه‌ای واقعی ارزیابی می‌شود. بر این اساس، پروژهٔ P = (−۴، ۳، ۲/۲۵، ۱/۵، ۰/۷۵، ۰، −۰/۷۵، −۱/۵، −۲/۲۵)، که در مبانی نظری موضوع به‌عنوان «پروژهٔ استخراج مواد معدنی»[۳۳] مطرح بود، بررسی شده است. برای تعریف مقادیر فرایند مالی پروژهٔ مذکور برحسب اعداد فازی، مقادیر مذکور را به‌عنوان مقادیر محتمل و مقادیر کمینه و بیشینهٔ اعداد فازی مثلثی مربوط را با دامنهٔ تغییرات حدوداً ۵۰ درصدی به‌شرح ذیل در نظر بگیرید:

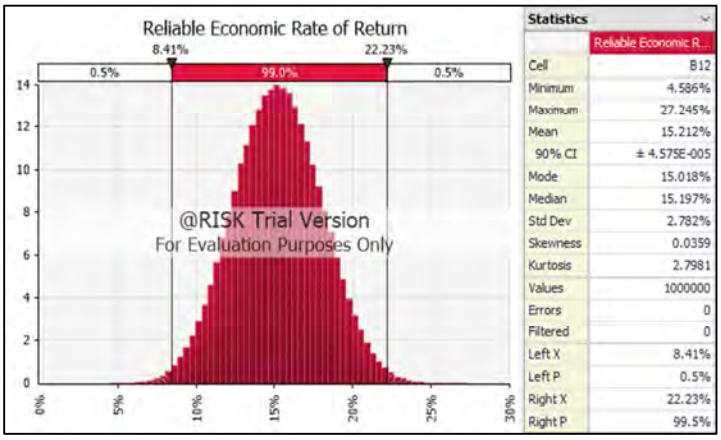
دوره	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
کمینه	−۶	۱/۵	۱/۱۲	۰/۷۵	۰/۳۷	۰	−۱/۱۳	−۲/۲۵	−۳/۳۸
محتمل	−۴	۳	۲/۲۵	۱/۵	۰/۷۵	۰	−۰/۷۵	−۱/۵	−۲/۲۵
بیشینه	−۲	۴/۵	۳/۳۸	۲/۲۵	۱/۱۳	۰	−۰/۳۷	−۰/۷۵	−۱/۱۲

با در نظر گرفتن نرخ بازار برابر با عدد فازی مثلثی (۲۰٪، ۱۵٪، ۱۰٪)، مطابق روش پیشنهادی مقالهٔ مندرج در بخش ۴-۲، FRERR پروژهٔ مذکور مطابق شکل شمارهٔ ۶ حاصل می‌شود:



شکل ۶- نمودار FRERR برای پروژهٔ استخراج مواد معدنی

توابع بال‌های چپ و راست نمودار مذکور، تقریباً به‌صورت خطی است؛ بنابراین، FRERR تقریباً برابر با عدد فازی مثلثی (۳۲/۸۹٪، ۱۵/۱۷٪، ۱/۱۰٪) است. برای اعتبارسنجی نتیجهٔ حاصل نیز از نرم‌افزار RISK@ استفاده شد که نمودار RERR مربوط بعد از یک‌میلیون بار تکرار شبیه‌سازی به‌صورت شکل شمارهٔ ۷ حاصل شد:

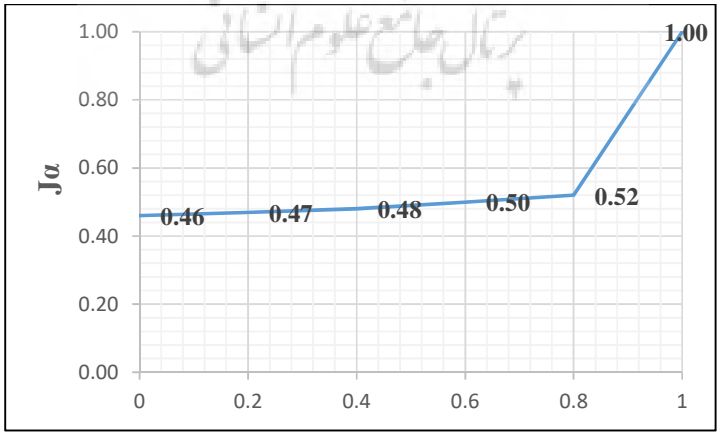


شکل ۷- نمودار RERR برای پروژهٔ استخراج مواد معدنی

خلاصهٔ نتایج به‌شرح ذیل است:

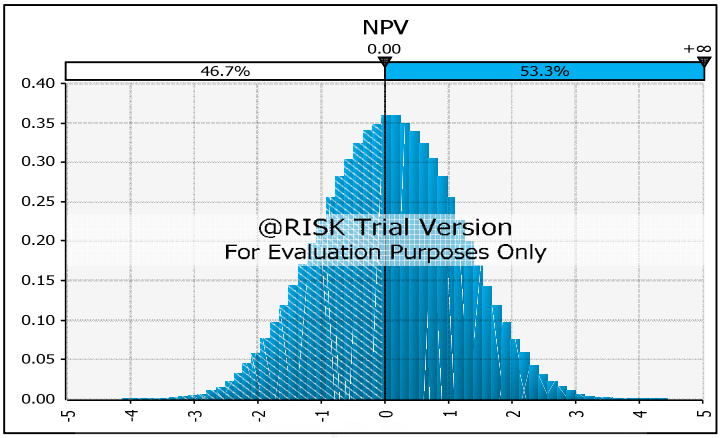
	کمینه	میانه	بیشینه
RERR مطابق نرم‌افزار @RISK	٪۴/۵۹	٪۱۵/۲۱	٪۲۷/۲۵
FRERR مطابق راهکار پیشنهادی مقاله	٪۱/۱۰	٪۱۶/۰۸	٪۳۲/۸۹

همانگونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل، مطابق راهکار پیشنهادی به نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی نزدیک است که مؤید صحت روش پیشنهادی مقاله در محاسبهٔ FRERR است. همچنین، مقدار RERR در حالت کمینه (۱/۱۰٪) از مقدار بیشینهٔ نرخ بازار (۲۰٪) بزرگ‌تر نیست و مقدار شاخص مذکور در حالت بیشینه (۳۲/۸۹٪) از مقدار کمینهٔ نرخ بازار (۱۰٪) کوچک‌تر نیست؛ بنابراین، پروژهٔ استخراج مواد معدنی مذکور، صددرصد اقتصادی یا غیراقتصادی نیست؛ سپس، مقدار RERR در حالت محتمل (۱۵/۱۷٪) از مقدار محتمل نرخ بازار (۱۵٪) بزرگ‌تر است؛ بنابراین، پروژهٔ مزبور در این حالت، اقتصادی است؛ بنابراین، درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن آن را باید تعیین کرد. پس از انجام‌دادن محاسبات مندرج در بخش ۴-۳، نمودار مؤلفهٔ J_α مطابق شکل شمارهٔ ۸ به دست آمد:



شکل ۸- نمودار J_α برای پروژهٔ استخراج مواد معدنی به‌ازای ۶ برش α

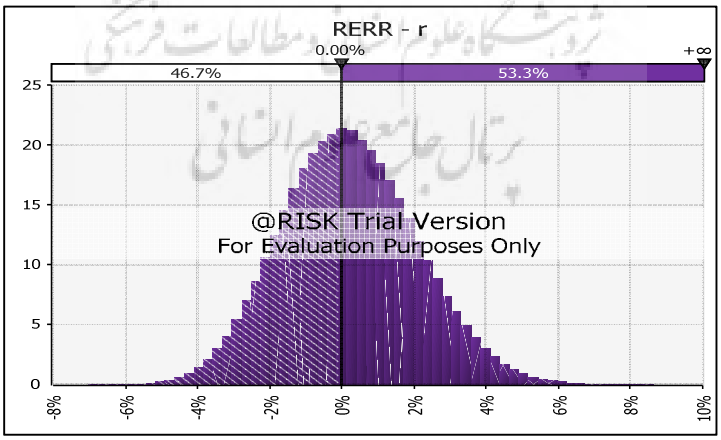
مساحت زیر نمودار مذکور، برابر با ۰/۵۴ است؛ بنابراین، مطابق راهکار پیشنهادی مقاله، پروژهٔ استخراج مواد معدنی با درجهٔ امکان ۵۴ درصد اقتصادی است؛ سپس، برای اعتبارسنجی نتایج، از نرم‌افزار @RISK استفاده شده است. نمودار NPV برای پروژهٔ استخراج مواد معدنی بعد از یک‌میلیون بار تکرار شبیه‌سازی به‌صورت شکل شمارهٔ ۹ حاصل شد:



شکل ۹- نمودار NPV برای پروژهٔ استخراج مواد معدنی با نرم‌افزار @RISK

همانگونه که ملاحظه می‌شود، مطابق روش شبیه‌سازی مونت کارلو، مقدار شاخص NPV در ۵۳/۳ درصد از تکرارهای شبیه‌سازی مثبت است و درواقع، پروژهٔ استخراج مواد معدنی با احتمال ۵۳/۳ درصد اقتصادی است؛ بنابراین، مطابق اطلاعات مذکور، درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن پروژهٔ یادشده، مطابق راهکار پیشنهادی مقاله (۵۴٪) و بسیار نزدیک به خروجی شبیه‌سازی (۵۳/۳٪) است که دقت مناسب روش پیشنهادی مقاله را نشان می‌دهد.

همچنین، برای اعتبارسنجی شاخص RERR، نمودار تفاوت شاخص RERR و نرخ بازار (RERR-r) بعد از یک‌میلیون بار تکرار شبیه‌سازی، مطابق شکل شمارهٔ ۱۰حاصل شد:



شکل ۱۰- نمودار تفاوت شاخص RERR و نرخ بازار برای پروژهٔ استخراج مواد معدنی

درواقع، با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی و شاخص RERR نیز پروژهٔ مذکور با احتمال ۵۳/۳ درصد اقتصادی است که مؤید سازگاری نتایج حاصل از روش RERR با روش NPV است.

۶- بحث

این مقاله نشان داد شاخص‌های SAIRR، EAIRR و ERR دربارهٔ برخی از فرایندهای مالی ممکن است نرخ بازده سرمایه را کمتر از ۱- محاسبه کند و حساسیت زیادی نیز نسبت به تغییر در مقدار نرخ بازار داشته باشد. شاخص ERR محاسبات ساده‌تری نسبت به سایر روش‌ها و در عین حال، توانایی پوشش مشکلات چندنرخی و نبود نرخ بازده سرمایه را نیز دارد؛ بنابراین، در این پژوهش کوشش شد شاخص ERR به صورتی اصلاح شود که مشکلات یادشده مرتفع شود. علت به وجود آمدن معایب مذکور این است که مقدار شاخص ERR مبتنی بر مقدار نرخ بهرهٔ اولین دوره و مقدار مؤلفهٔ مذکور وابسته به مقدار سرمایه‌گذاری در دورهٔ صفر است؛ بنابراین، مقدار اولیهٔ فرایند مالی باید به‌صورت مناسبی، نشان‌دهندهٔ میزان سرمایه‌گذاری کلی انجام‌شده در پروژه باشد؛ به همین علت، این مقاله، مقدار اولیهٔ پروژهٔ سرمایه‌گذاری را برابر با مجموع مقادیر منفی فرایند مالی، که به‌صورت مناسبی نشان‌دهندهٔ میزان سرمایه‌گذاری کلی پروژه است، در نظر می‌گیرد و مقدار نهایی فرایند مالی را نیز به صورتی اصلاح می‌کند تا NPV فرایند مالی تغییر نکند؛ سپس، اثبات می‌کند با این کار، مقدار نرخ بازده سرمایهٔ حاصل (RERR) قطعاً بزرگ‌تر از ۱- است و نرخ مناسبی به‌عنوان نرخ بازده سرمایه به دست می‌آید.

درادامه و برای محاسبهٔ شاخص RERR تحت محیط فازی، در این مقاله از روش برش اعداد فازی استفاده می‌شود و مقدار شاخص RERR با افزایش نرخ بازار، قطعاً افزایش می‌یابد؛ بنابراین، به محاسبهٔ شاخص مذکور برای فرایندهای مالی بدبینانه و خوش‌بینانه تحت مقادیر مختلف نرخ بازار نیازی نیست و درواقع، این ویژگی شاخص RERR، موجب کاهش زیاد محاسبات مذکور نسبت به روش‌های ارائه‌شده مبتنی بر روش Vertex مانند خاتمی (۲۰۱۲)، بابایی، غفاری و اصل حداد (۲۰۱۵) و غفاری و قضاوتی (۲۰۱۹) است. همچنین، پژوهش‌های مذکور از شاخص‌های مبتنی بر روش AIRR برای محاسبهٔ FIRR استفاده کرده‌اند که امکان برآورد نرخ بازده سرمایه با مقدار کمتر از ۱- با شاخص‌های مذکور متصور است و درعمل، کاربرد و صحت روش‌های مذکور را در هاله‌ای از ابهام قرار داده است.

پس از محاسبهٔ شاخص FRERR باید میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری تعیین شود. بر این اساس، ساده‌ترین روش ممکن این است که نرخ بازده سرمایهٔ فازی و نرخ بازار فازی به یک عدد قطعی تبدیل و درنهایت، با مقایسهٔ اعداد به‌دست‌آمده، فقط اقتصادی یا غیراقتصادی‌بودن پروژه‌ها مشخص شود؛ در حالی که مطابق این روش، اطلاعات بسیار اندکی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد. در این ارتباط، خاتمی (۲۰۱۲) و غفاری و قضاوتی (۲۰۱۹) به‌ترتیب، از روش‌های «مقایسهٔ متوسط فواصل مورد انتظار» و «امکان بزرگ‌تربودن محض» استفاده و درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها را محاسبه کردند. روش‌های مذکور، اطلاعات بیشتری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد؛ اما در این مقاله مشخص شد روش‌های مذکور برای تمامی پروژه‌ها قابل اطمینان نیست و ممکن است به نتایج غیردقیق منجر شود؛ بنابراین، این مقاله، راهکار جدیدی را پیشنهاد می‌کند که مطابق آن، فرایندهای مالی بدبینانه و خوش‌بینانه تحت هر برش تحلیل شود تا مشخص شود به چه میزان باید فرایند مالی بدبینانه را به خوش‌بینانه نزدیک کنیم تا فرایند مالی، اقتصادی شود. درنهایت، با جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده از هر برش، درجهٔ امکان اقتصادی‌بودن پروژهٔ سرمایه‌گذاری به‌صورت مطمئن‌تری محاسبه می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

روش IRR یکی از مرسوم‌ترین روش‌هایی است که پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان برای تعیین اقتصادی‌بودن فرایندهای مالی استفاده می‌کنند؛ اما روش مذکور، معایبی جدی دارد که کاربرد آن را با محدودیت‌های مهمی مواجه کرده است؛ بدین‌منظور، پژوهشگران گوناگونی کوشیدند ایرادهای موصوف را برطرف کنند که هر کدام از روش های ارائه‌شده، مزایا و معایب خاص خود را داشت. در این میان، باری و روبیسون (۲۰۱۴)، شاخص جدیدی با نام نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی (ERR) معرفی کردند که ازجمله شاخص‌های مناسب در مبانی نظری موضوع است؛ اما شاخص مزبور، نواقص مهمی به‌شرح ذیل دارد:

۱) شاخص ERR برای برخی از فرایندهای مالی، نرخ بازده سرمایه را کوچک‌تر از ۱- محاسبه می‌کند که بدیهی است نرخ مزبور، نرخی ناصحیح و بدون مفهوم اقتصادی است.

۲) دربارهٔ برخی از فرایندهای مالی، ممکن است مقدار شاخص ERR به‌ازای تغییر اندک در نرخ بازار، تغییر زیادی کند؛ به عبارت دیگر، برای برخی از پروژه‌ها، شاخص مذکور، حساسیت زیادی به تغییر در نرخ بازار دارد.

بر این اساس، این مقاله، شاخص جدیدی را با نام نرخ بازده سرمایهٔ اقتصادی قابل اعتماد (RERR) معرفی می‌کند که از شاخص ERR نشئت گرفته است؛ اما قطعاً به مقدار بزرگ‌تر از ۱- منجر می‌شود و در مواردی که شاخص ERR به تغییر در نرخ بازار، حساسیت غیرمنطقی دارد، شاخص RERR نقص یادشده را ندارد. در این باره، این مقاله اثبات می‌کند اگر مقدار اولیهٔ پروژه‌های سرمایه‌گذاری را برابر با مجموع مقادیر منفی فرایند مالی مربوط قرار دهیم، آنگاه نرخ بازده سرمایهٔ حاصل (RERR) قطعاً بزرگ‌تر از ۱- منفی خواهد بود. در این ارتباط، این مقاله، راهکاری را پیشنهاد می‌کند که بدون تغییر در مقادیر میانی فرایند مالی، فقط مقادیر اولیه و نهایی فرایند مالی سرمایه گذاری به صورتی اصلاح می‌شود که ارزش فعلی فرایند مالی جدید تغییر نکند.

همچنین، در بعضی از مواقع به علل گوناگونی، برآورد مقادیر فرایندهای مالی به‌صورت قطعی امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین، کوشش‌های زیادی برای محاسبهٔ نرخ بازده سرمایه تحت محیط فازی انجام شده است؛ بدین‌منظور، در این مقاله از روش برش اعداد فازی و شاخص RERR استفاده شد که قطعاً نرخ بازده سرمایه را بزرگ‌تر از عدد ۱- محاسبه می‌کند و نسبت به سایر روش‌ها، محاسبات به‌مراتب کمتری دارد؛ سپس، با بررسی فواصل به‌دست‌آمده از برش مقادیر فازی فرایند مالی و با ارائهٔ راهکاری جدید و مطمئن، روشی معرفی شد که میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها را برحسب درجهٔ امکان مربوط به‌طور صحیح محاسبه کند و اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری را نسبت به سایر روش‌ها در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد.

درنهایت، در این مقاله برای اعتبارسنجی نتایج، از نرم‌افزار RISK@ استفاده شد که مطابق نتایج، مشخص شد برآورد نرخ بازده سرمایهٔ فازی با استفاده از شاخص RERR و روش برش اعداد فازی بسیار نزدیک به نتیجهٔ حاصل از شبیه‌سازی است که مؤید دقت مناسب راهکار معرفی‌شده است. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار RISK@ در تعیین میزان اقتصادی‌بودن پروژه‌ها نشان داد راهکار پیشنهادی مقاله در این باره نیز نسبت به روش‌های «مقایسهٔ متوسط فواصل مورد انتظار» و «امکان بزرگ‌تربودن محض» دقیق‌تر است و به‌طور کامل با روش ارزش فعلی نیز سازگاری دارد.

بررسی مسئلهٔ رتبه‌بندی پروژه‌های رقابتی تحت محیط فازی، بررسی موضوع تحت سایر محیط‌های عدم قطعیت و استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار در این زمینه، ازجمله پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی است.

References

- Babaie, B., Ghaffari, H.A., and Aslhadad, A. (2015). "A New Method to Calculate Fuzzy Internal Rate of Return Using the Economic Average IRR Index and Vertex Method". 11th International Industrial Engineering Conference, Tehran. (in Persian).
- Babaie, B., Zandi, A., and Aslhadad, A. (2015). "A new method to calculate internal rate of return". *Journal of Production and Operations Management*, 6(1): 113-126. (in Persian).
- Barry, P.J., and Robison, L.J. (2014). "Technical Note: Economic Rates of Return and Investment Analysis". *The engineering economist*, 59(3), 231-236.
- Danielson, M.G. (2018). "Double vision: Insights about the origin and interpretation of multiple IRRs". *The engineering economist*, 63(3), 217-235.
- Dubois, D., and Prade, H. (2012). *Possibility theory: an approach to computerized processing of uncertainty*. New York: Springer Science and Business Media.
- Ghaffari, H.A., and Ghezavati, V. (2019). "A fuzzy modeling for determining feasibility of cash flows using an efficient and novel IRR metric". *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 53(1): 231-246.
- Gisin, V.B., and Volkova, E.S. (2020). "Net present value and internal rate of cash flows with fuzzy payments". *Мягкие измерения и вычисления*, 28(3): 33-54.
- Guerra, M.L., Magni, C.A., and Stefanini, L. (2014). "Interval and fuzzy average internal rate of return for investment appraisal". *Fuzzy Sets and Systems*, 257: 217-241.
- Guerra, M.L., Sorini, L., and Stefanini, L. (2008). "Fuzzy Investment Decision Making". Proceedings of IPMU 08 Torremolinos (Malaga). June 22-27. 2008. 848-854.
- Hazen, G., and Magni, C.A. (2021). "Average internal rate of return for risky projects". *The Engineering Economist*, 66(2): 1-31.
- Jiménez, M. (1996). "Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals". *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 4(04): 379-388.
- Kussainov, C., and Alliyarov, A. (2021). "Classification of investment risks with fuzzy financial indicators". *Scientific Collection «InterConf»*, 50: 631-637.
- Khatami, H. (2012). *Internal rate of return under fuzzy environment*. Master of science thesis in industrial engineering, K.N. Toosi University of Technology, Not published.
- Kuchta, D. (2008). *Fuzzy rate of return analysis and applications. In Fuzzy Engineering Economics with Applications* (pp 97-104): Berlin, Heidelberg: Springer.
- Magni, C.A. (2010). "Average internal rate of return and investment decisions: a new perspective". *The engineering economist*, 55(2): 150-180.
- Magni, C.A. (2013). "The internal rate of return approach and the AIRR paradigm: a refutation and a corroboration". *The engineering economist*, 58(2): 73-111.
- Magni, C.A. (2014). "Arithmetic returns for investment performance measurement". *Insurance: Mathematics and Economics*, 55: 291-300.
- Magni, C.A. (2016). "Capital depreciation and the underdetermination of rate of return: A unifying perspective". *Journal of Mathematical Economics*, 67: 54-79.
- Magni, C.A. (2020) *Investment Decisions and the Logic of Valuation*. Springer.
- Marchioni, A., and Magni, C.A. (2018). "Investment decisions and sensitivity analysis: NPV-consistency of rates of return". *European Journal of Operational Research*, 268(1): 361-372.

- Mellichamp, D.A. (2017). Internal rate of return: "Good and bad features, and a new way of interpreting the historic measure". *Computers and Chemical Engineering*, 106: 396-406.

- Nagares, N., Sison, A., and Medina, R. (2019). "An Optimized Newton-Raphson Algorithm for Approximating Internal Rate of Return". *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(6): 3265-3268.

- Nakhaeinejad, M., and MomenShad, N. (2020). "Project portfolio selection by considering triple-wise interaction among projects". *Journal of Production and Operations Management*, 11(20): 1-22. (in Persian).

- Olfat, L., Ghazinoori, S., and Ghasemi, M. (2019). "The relationship between manufacturing strategic decisions, competitive priorities and firm performance in the automotive supply industry of Iran". *Journal of Production and Operations Management*, 10(2): 17-35. (in Persian).

- Pierru, A. (2010). "The simple meaning of complex rates of return". *The engineering economist*, 55(2): 105-117.

- Prol, J.L., and Steininger, K.W. (2020). "Photovoltaic self-consumption is now profitable in Spain: Effects of the new regulation on prosumers' internal rate of return". *Energy Policy*, 146, 111793.

---

[1]. Internal Rate of Return
[2]. Pierru, A.
[3]. Magni, C.A.
[4]. Average Internal Rate of Return
[5]. Economic Average Internal rate of Return
[6]. Investment Performance
[7]. Mellichamp, D.A.
[8]. Normalized Present Worth
[9]. Nagares, N., Sison, A., and Medina, R.
[10]. Iterative root-finding algorithm
[11]. Barry, P.J. and Robison, L.J.
[12]. Economic Rate of Return
[13]. Reliable Economic Rate of Return
[14]. Danielson, M.G.
[15]. Marchioni, A. and Magni, C.A.
[16]. Prol, J.L., and Steininger, K.W.
[17]. Kuchta, D.
[18]. Fuzzy Internal Rate of Return
[19]. Modified Internal Rate of Return
[20]. Guerra, M.L., Sorini, L. and Stefanini, L.
[21]. Guerra, M.L., Magni, C.A. and Stefanini, L.
[22]. Vertex Method
[23]. Simple Average Internal Rate of Return
[24]. Modified Average Internal Rate of Return
[25]. Gisin V.B. and Volkova E.S.
[26]. Kussainov, C., and Alliyarov, A.
[27]. Hazen, G. and Magni, C.A.
[28]. Fuzzy Reliable Economic Rate of Return
[29]. Net Present Value
[30]. Jiménez, M.
[31]. Dubois, D. and Prade, H.
[32]. Overall Investment
[33]. Mineral Extraction Project

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی