

روش ارزش خالص فعلی در معرض خطر برای پروژه‌های سرمایه‌گذاری غیرقطعی: رهیافت شبیه‌سازی

رضا حبیبی^{۱*}

^۱ عضو هیات علمی موسسه عالی بانکداری ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

چکیده:

در این مقاله، نحوه محاسبه ملاک ارزش خالص فعلی در پرتفوی‌های ارزی که شامل نرخ‌تبدیل‌های ارزش‌های مختلف است بررسی می‌شود و ملاک ارزش خالص فعلی در معرض خطر معرفی می‌گردد. این رهیافت دیدگاه بهتری برای کسانی که قصد سرمایه‌گذاری از طریق خرید اوراق قرضه خارجی را دارند و با ریسک نرخ‌تبدیل مواجه هستند ایجاد می‌کند. برای محاسبه این ملاک‌ها و با توجه به همبستگی ناپارامتری موجود مابین نرخ‌های تبدیل ابتدا، به سری‌های زمانی واقعی چندین نرخ‌تبدیل ارز دو نوع تابع مفصل برازش می‌دهیم. سپس، با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو تعداد زیادی از نرخ‌های تبدیل را تولید می‌کنیم. در نهایت دو ملاک ارزش خالص فعلی و ارزش خالص فعلی در معرض خطر را برای پرتفوی‌های شامل اوراق قرضه‌های واقعی ارائه می‌نماییم. همچنین، از روش ارزش خالص فعلی در معرض خطر برای مدیریت پرتفوی اوراق قرضه استفاده می‌کنیم. **واژه‌های کلیدی:** سرمایه‌گذاری، ارزش خالص فعلی در معرض خطر، همبستگی، ریسک نرخ تبدیل، تابع مفصل، شبیه‌سازی مونت‌کارلو

۱ مقدمه

نرخ‌تبدیل را در محاسبات روش‌های فوق‌الذکر دخیل نمود. زمانی که هدف محاسبه مقدار NPV برای پرتفوی‌های ارزی است باید توجه داشت که این نوع پرتفوها دارای ریسک نرخ‌تبدیل هستند. یکی از ملاک‌های مورد استفاده در حوزه مدیریت ریسک، ملاک ارزش در معرض خطر^۳ است که بیانگر حداکثر میزان ضرر یک پرتفوی با سطح اطمینان معین و قابل قبول است. اما، از آنجا که هدف این مقاله مقایسه پروژه‌های ریسکی با یکدیگر است لذا، روش ارزیابی بروزتری به نام ارزش خالص فعلی در معرض خطر مورد استفاده قرار می‌گیرد که ترکیب دو روش NPV و Var است و بدین‌گونه تعریف می‌شود که «ارزش فعلی یک پروژه سرمایه‌گذاری با سطح اطمینان $1 - \alpha$ درصد از^۴ کمتر نمی‌شود». به‌طور خلاصه، جریان‌های نقدی یک پرتفوی ارزی در طول زمان تصادفی است و در نتیجه مقدار NPV نیز ریسکی است. بنابراین، مقدار $NPVaR$ در یک سطح اطمینان مشخص قابل محاسبه است.

یکی از ریسک‌هایی که در بازرسی اقتصادی بودن پروژه‌های ارزی باید مورد توجه قرار گیرد ریسک نرخ‌تبدیل است. در این مقاله، منطق

سرمایه‌گذاران از روش‌های متعددی برای پذیرش و یا رد پروژه‌های (پرتفوی‌های) سرمایه‌گذاری نظیر پرتفوی‌های ارزی استفاده می‌نمایند. هر یک از این روش‌ها سعی دارند ارزیابی مناسبی از اقتصادی بودن این دست از پروژه‌ها ارائه دهند تا به بهترین نحو سرمایه‌گذاران را در انتخاب پروژه یا پرتفوی سرمایه‌گذاری بهینه یاری نمایند. برخی روش‌های متعارف در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها عبارت هستند از روش‌های میانگین نرخ بازده، ارزش خالص فعلی^۱ و نرخ بازگشت داخلی^۲. اساس این روش‌ها بر پیش‌بینی جریان‌های نقدی آتی استوار است.

در پرتفوی‌های ارزی، جریان‌های نقدی در طول زمان ایجاد می‌شوند. از طرفی هرکدام از جریان‌های نقدی در این پرتفوها به عوامل مختلف ریسکی بستگی دارند و این عوامل این جریان‌ها را تحت تأثیر نااطمینانی و ریسک قرار می‌دهند. پس باید ریسک‌هایی نظیر ریسک

* نویسنده مسئول: r_habibi@ibi.ac.ir

¹ Net Present Value (NPV)

² Internal Rate of Return (IRR)

³ Value at Risk (VaR)

⁴ NPV at Risk (NPVaR)

ز) از ویژگی‌های این مقاله، استفاده از افزونه *Excel ModelRisk* برای تحلیل‌های محاسباتی است. تمامی این اقدامات در مقاله [۱۳] اصلاً دیده نمی‌شود.

در ادامه مقاله، بخش‌های زیر ارائه می‌شوند. ابتدا، در بخش ۲ مبانی نظری و پیشینه تحقیقات ارائه می‌شوند. در بخش ۳ روش‌های تحلیل و مدیریت ریسک پرتفوی ارزی از منظر مدیریت پروژه (کاری که آن‌چنان متعارف نیست) با بهره‌گیری از ملاک‌های ارزش خالص فعلی در معرض خطر *NPVaR* (که آن‌چنان در ادبیات مدیریت ریسک قدمتی ندارد و فقط در مراجع [۱۵، ۱۶] ارائه گردید) ارائه می‌گردد. در این بخش، اکثر فرمول‌های ابداعی مختص این مقاله است. در بخش ۴ تحلیل داده‌های تجربی ارائه می‌گردند. در این بخش از تمام ابزارهایی نظیر فلوجارت انجام تحقیق و ارتباط بین بخش‌های گوناگون مسئله بهره گرفته شده است تا هیچ نقطه مبهمی در مقاله وجود نداشته باشد. و در نهایت در بخش ۵ نتایج ارائه می‌گردند.

۲ مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در ادامه به‌طور خلاصه مبانی نظری و پیشینه تحقیقات داخلی و خارجی ارائه می‌دهیم.

۱.۲ مبانی نظری

الف) روش *NPVaR*: در ارزیابی اقتصادی بودن پروژه‌های سرمایه‌گذاری دو عامل ریسک و مقدار بازدهی بر روی تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران تأثیر دارند. سرمایه‌گذاران در یک پروژه سرمایه‌گذاری انتظار دارند تا ریسک را تا حد امکان کاهش داده و در عین حال بازدهی را برای سرمایه‌گذاری خود افزایش دهند (مرجع [۷]). روش‌هایی وجود دارند که یا افزایش میزان بازدهی به‌تنهایی (مانند روش‌های دوره بازگشت سرمایه، ارزش خالص فعلی و نرخ بازگشت داخلی) یا کاهش ریسک به‌تنهایی (مانند سیستم‌های رتبه‌دهی ریسک) و یا کاهش ریسک و افزایش بازده به‌طور هم‌زمان را هدف قرار می‌دهند. اما روش *NPVaR* می‌کوشد با ترکیب روش‌های مبتنی بر بازده و ریسک معیار بهتری را برای ارزیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری ارائه دهد.

ب) توابع مفصل: در نظریه احتمال و آمار، توابع مفصل توابعی مهم محسوب می‌شوند چون می‌توانند با ترکیب چند توزیع حاشیه‌ای، توزیع چندمتغیره‌ای تولید کنند که بتوان با آن‌ها همبستگی بین متغیرها را

بر [۱۳]، نحوه دخالت دادن ریسک نرخ تبدیل در *NPV* پرتفوی‌های ارزی بررسی می‌شود و لزوم استفاده از *NPVaR* تبیین می‌گردد.

رهیافت این مقاله شبیه‌سازی است، ابتدا قابلیت‌های این روش را با داده‌های شبیه‌سازی شده بررسی می‌کنیم و سپس آن را در مثال‌های کاربردی با داده‌های واقعی و متغیرهای پرتفوی‌های ارزی از بانک‌های گوناگون مطالعه می‌کنیم. چون استفاده از داده‌های واقعی کمی زمان‌بر و هزینه‌بر است، تنها به رهیافت شبیه‌سازی اکتفا می‌کنیم. در ادامه به ذکر چند نوآوری موجود در این مقاله می‌پردازیم.

الف) تفاوت این مقاله با مقاله [۱۳] در استفاده از ادبیات پرتفوی ارزی و تبدیل فرمول‌های مقاله [۱۳] به فرمول‌های مورد نیاز در پرتفوی ارزی است که همان‌گونه که در بخش‌های بعدی دیده می‌شود استخراج این فرمول‌ها آن‌چنان به راحتی قابل حصول نیستند.

ب) پرتفوی ارزی در نظر گرفته شده شامل اوراق قرضه‌های با (بی) کوپن بر روی ارزهای خارجی است. سپس، تأثیر همبستگی بین جریان‌های نقدی و نرخ‌ها بر نتایج خروجی *NPV* و *NPVaR* مطالعه می‌شود. ملاک‌هایی نظیر *NPVaR* معمولاً در ادبیات مدیریت پروژه و یا حتی مدیریت ریسک پرتفوی ارزی به کار نرفته‌اند.

ج) با هدف کمی‌سازی ملاک *NPVaR* تعداد بینه هر یک از اوراق قرضه در پرتفوی که شامل اوراق قرضه‌ها روی ارزهای خارجی است را با فرض ثابت بودن تعداد کل اوراق قرضه محاسبه می‌کنیم که این خود نوعی مدیریت پرتفوی ارزی محسوب می‌شود. این‌گونه نتایج از جمله ابداع‌های مقاله اخیر است زیرا که مفاهیم مدیریت پروژه به مفاهیم مدیریت ریسک در پرتفوی ارزی تبدیل شده‌اند که آن‌چنان کار راحتی نیست.

د) لازم به ذکر است که اگرچه این نوع از نتایج تحقیقاتی مشابهت‌هایی با سایر بخش‌های مالی دارند اما از حیث تعریف ریسک نرخ تبدیل در پرتفوی‌های ارزی، استفاده از *NPVaR* در مقایسه پروژه‌ها و خصوصاً پروژه‌های ارزی، و استفاده از این ملاک در مدیریت پرتفوی ارزی (که پیش‌تر عمدتاً با واریانس، یا نیم‌واریانس و یا ارزش در معرض خطر انجام می‌شدند) رویکردهای تازه‌ای هستند.

ه) همچنین این موضوع از جنبه‌های گوناگونی نظیر وجود همبستگی و استفاده از تابع مفصل در تحلیل‌ها خاصه در پرتفوی‌های ارزی تازگی دارد که در مقاله به آن پرداخته نشده است.

و) همچنین فرمول‌های بخش چهارم به‌گونه‌ای ساده شده‌اند تا بتوان با حجم مناسب از شبیه‌سازی‌های مونت‌کارلو این شبیه‌سازی‌ها در کمترین زمان انجام پذیرد.

تخمین ارزش در معرض خطر ابتدا از یک مدل گارچ برای مدل سازی توزیع های حاشیه ای سری زمانی بازده لگاریتمی استفاده شد. همچنین، از تابع مفصل برای ارتباط توزیع های حاشیه ای با یکدیگر استفاده شد و در نهایت به این نتیجه رسیدند که مدل $GARCH - EVT - Copula$ به خوبی بازده پرتفوی سرمایه گذاری را مدل می کند. در تحقیقات خارجی، [۱۲] در مقاله ای تحت عنوان مدیریت ریسک با تابع مفصلی محقق شده، از تابع مفصلی پویا^۸ در مدیریت ریسک یک پرتفوی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تابع مفصلی زمان متغیر نسبت به روش ارزش در معرض خطر پیش بینی بهتری ارائه می دهد.

ج) نرخ تبدیل: در تحقیقی که توسط [۴] با عنوان تأثیر نوسانات نرخ ارز بر سرمایه گذاری خارجی در ایران انجام شد، محققان به این نتیجه رسیدند که سرمایه گذاری، بالاخص از نوع خارجی، از مؤلفه های اصلی در توسعه و رشد اقتصادی کشورها و از عوامل ایجاد مزیت برای کشور محسوب می شود. نرخ تبدیل توسط پژوهشگران خارجی زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. نویسندگان [۲] در مقاله ای با پیچیده دانستن شرایط اقتصادی و سیاسی جهان، نقش نرخ تبدیل را در پروژه های زیرساختی بین المللی بسیار مهم خواندند. هدف از ارائه این مقاله شناسایی ریسک نرخ تبدیل پروژه های زیرساختی بوده و محققان با استفاده از روش ارزش خالص فعلی در معرض خطر سعی در اندازه گیری و ارزیابی ریسک نرخ تبدیل برای پروژه های زیرساختی داشته اند.

۳ روش ها و مدل های تحقیق

در این بخش روش ها و مدل های گوناگون به کار رفته در مقاله تشریح می گردند.

۱.۳ روش شناسی تحقیق

روش های استفاده شده در این مقاله، توابع مفصل، مدل های نرخ تبدیل، مدل ارزش خالص فعلی، و ارزش خالص فعلی در معرض خطر است که به ترتیب به آن ها می پردازیم.

الف) روش NPV : روش ارزش خالص فعلی به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای محاسباتی برای ارزش گذاری پروژه ها به شمار می رود. رابطه NPV با در نظر گرفتن ریسک نرخ ارز [۱۳] به شکل زیر ارائه می گردد:

تعیین نمود. بنیان تابع مفصل قضیه اسکالار^۵ است که در سال ۱۹۵۹ مطرح شد. این قضیه بیان می کند که به ازای یک تابع توزیع جمعی حاشیه ای n بعدی، تابع توزیع تابع مفصلی توأم^۶ می تواند به شکل تابعی از توزیع های حاشیه ای خود نوشته شود:

$$F(x_1, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$$

وقتی همه F_1, \dots, F_n پیوسته باشند، تابع C منحصر به فرد خواهد بود. تابع C به عنوان تابع مفصل شناخته می شود (مرجع [۱۱]).

ج) ریسک نرخ تبدیل: ریسک نوسانات نرخ ارز به عدم اطمینان بالقوه ای اطلاق می شود که طی آن نوسانات نرخ ارز عملکرد مالی بنگاه را از طریق تغییر جریان نقدی تحت تأثیر قرار می دهد و موجب نااطمینانی از میزان دریافتی ها و پرداختی های آینده می شود (مرجع [۱۲]). تغییرات نرخ تبدیل سوددهی یک پروژه سرمایه گذاری یا پرتفوی ارزی را تحت تأثیر قرار می دهد. قراردادهای آتی^۷ نرخ تبدیل و مبادله نرخ ارز همچنین شرکت ها را قادر می سازد تا با این ریسک مقابله کنند.

۲.۲ پیشینه تحقیق

الف) ملاک NPV : در زمینه تحقیقات داخلی درباره ارزش خالص فعلی و تحلیل پروژه های سرمایه گذاری، می توان به مقاله [۱] با عنوان محاسبه ارزش خالص فعلی با در نظر گرفتن فاکتور تورم در شرایط عدم قطعیت رویکرد فازی اشاره کرد. آن ها بیان می کنند که در بیشتر پروژه ها به دلیل وجود ریسک و عدم قطعیت، معمولاً بین آنچه پیش بینی شده و آنچه تحقق یافته تفاوت وجود دارد. لذا با در نظر گرفتن پارامترهای نامطمئن در شرایط ریسک و عدم قطعیت، ممکن است نتیجه تحلیل اقتصادی مبتنی بر NPV تغییر کند. در تحقیقات خارجی، مقاله [۶] به تأثیر همبستگی بین جریان های نقدی بر روی مقادیر NPV و IRR پرداخت و نتیجه گرفت که همبستگی تأثیر قابل توجهی در مقادیر مورد انتظار NPV و IRR ندارد و حتی در همبستگی های زیاد توزیع IRR به مقدار کمی از مقدار متعارف خود فاصله می گیرد.

ب) توابع مفصل: از تحقیقات داخلی می توان به مقاله محاسبه سرمایه الزامی ریسک بازار در مدل توانگری مالی مؤسسات بیمه اشاره کرد (مرجع [۲]) که در آن محققان به دنبال کم کردن ریسک با استفاده از مفهوم ارزش در معرض خطر و استفاده از توابع مفصل، ارزش نقاط فرین و مدل های گارچ برای محاسبه آن بودند. در این مقاله برای

⁶Joint Distribution

⁷Forward contract

⁸Dynamic copula

اصطلاح تابع مفصل توسط اسکالار و در یک مقاله آماری معرفی شد. در آن مقاله، اسکالار نشان داد که به ازای $d \geq 2$ از متغیرهای X_1, X_2, \dots, X_d با تابع توزیع‌های تجمعی F_1, F_2, \dots, F_d ، همواره تابع مفصلی C وجود دارد که برای تمامی $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathbb{R}$ داریم:

$$Pr(X_1 \leq x_1, \dots, X_d \leq x_d) = C(F_1(x_1), \dots, F_d(x_d))$$

همچنین اگر F_1, F_2, \dots, F_d پیوسته باشند، تابع مفصل C منحصر به فرد است و از توزیع (X_1, X_2, \dots, X_d) به شکل زیر استخراج می‌شود:

$$C(u_1, \dots, u_n) = Pr(x_1 \leq F_1^{-1}(u_1), \dots, X_d \leq F_d^{-1}(u_d))$$

که در اینجا $u_1, \dots, u_n \in (0, 1)$ و برای هر $j \in \{1, \dots, d\}$ F_j^{-1} نشان‌دهنده معکوس تابع F_j است.

(د) مدل‌های نرخ تبدیل: در این بخش، برخی از مدل‌های ریسک نرخ تبدیل که عموماً برای پیش‌بینی نرخ‌ها استفاده می‌شود ارائه می‌گردند. در اوایل سال ۱۹۷۰، اقتصاددانان سعی کردند نظریاتی در مورد نرخ تبدیل شناور^۹ بیان کنند. آن‌ها بعد از تقریباً ۲۰ سال تحقیق به این نتیجه رسیدند که بهترین نتیجه برای توصیف تغییرات نرخ تبدیل، خواه در افق‌های زمانی کوتاه یا بلندمدت، مدل قدم‌زدن تصادفی^{۱۰} است و این مدل نسبت به سایر مدل‌های بنیادی رایج، بهتر عمل می‌کند. اما مدل‌های دیگری در طی زمان مطرح شدند. می‌توان فرض نمود که نرخ تبدیل دارای حرکت براونی^{۱۱} است یعنی:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz$$

که در فرمول بالا S قیمت لحظه‌ای نرخ تبدیل، μ نرخ تغییر در لحظه، t زمان، σ نوسان‌پذیری مدل، و dz تغییرات یک فرآیند قدم‌زدن تصادفی است. مدل دیگر مدل کاکس-اینگروس-راس است که در سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ برای مدل‌های نرخ تبدیل گسترش داده شد که به شکل زیر است:

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma r^{\alpha} dz$$

در اینجا r نرخ تبدیل، k نرخ بازگشت به میانگین و θ مقدار متوسط r در بلندمدت است. همچنین برای حالت‌های زمان‌گسسته، عموماً

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(CF_{t1} \times R_{t1}) + (CF_{t2} \times R_{t2}) + \dots + (CF_{ti} \times R_{ti})}{(1+r)^t}$$

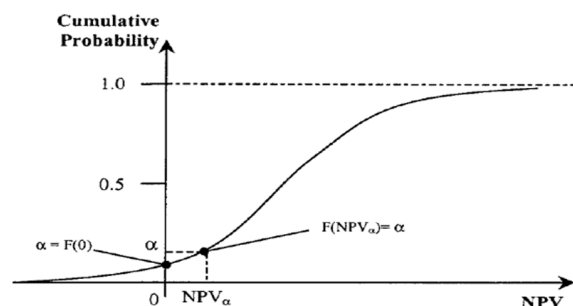
که در آن CF_t جریان نقدی خالص و r نرخ بهره پروژه است. این رابطه به ما اجازه می‌دهد با در نظر گرفتن ریسک نرخ تبدیل مقدار NPV را برای پرتفوی‌های ارزی که شامل چندین برگه اوراق قرضه کشورهای دیگر است محاسبه کنیم.

(ب) روش $NPVaR$: معیار تصمیم‌گیری این‌گونه است که: $NPVaR$ در سطح اطمینان داده‌شده، آن مقداری است که ارزش خالص فعلی پروژه قرار است از آن بزرگ‌تر باشد. تعیین این مقدار شامل تعیین نرخ تنزیل و یافتن توزیع آماری مقادیر محتمل ارزش خالص فعلی است.

فرض کنید که تابع چگالی احتمال NPV برابر $f(NPV)$ باشد، مقدار $NPVaR$ در سطح اطمینان مشخص α آن مقداری مانند NPV_{α} است که انتگرال از $f(NPV)$ بین بازه $-\infty$ و NPV_{α} برابر α است (شکل ۱). هنگامی که توزیع NPV ‌های محتمل یک پروژه به شکل توزیع نرمال باشد، $NPVaR$ از طریق استانداردسازی توزیع نرمال به دست می‌آید، یعنی:

$$NPVaR = \text{mean}(NPV) - Z_{\alpha} \cdot \sigma$$

اما، با فرض ناپارامتری که توزیع تجمعی تابع بازده $F(NPV)$ است، $NPVaR$ در سطح اطمینان $1 - \alpha$ ، از رابطه $F(NPV) = \alpha$ قابل محاسبه است.



شکل ۱. محاسبه $NPVaR$ و سطح اطمینان بر اساس تابع توزیع تجمعی (برگرفته از مرجع [۱۶]).

(ج) توابع مفصل و قضیه اسکالار: تابع مفصل یک تابع توزیع چندمتغیره با حاشیه‌های تک‌متغیره یکنواخت در بازه $[0, 1]$ است.

⁹Floating Exchange Rate

¹⁰Random walk

¹¹Brownian Motion

برای محاسبه $NPVaR$ به واریانس $X + Y$ و یا به طور معادل واریانس X ، واریانس Y و همبستگی X و Y (یعنی $cor(X, Y)$) نیاز داریم. طبیعی است که واریانس X و واریانس Y با استخراج نمونه از مدل های نرخ تبدیل و استفاده از شبیه سازی مونت کارلو قابل برآورد هستند. برای محاسبه همبستگی بین X و Y در دو حالت اوراق قرضه با کوپن و بدون کوپن به صورت زیر عمل می کنیم:

(۱) اوراق قرضه با کوپن: در این حالت می توان دید که:

$$X = A \cdot NPV_r \left(R_1, \dots, \left(1 + \frac{p}{A} R_{n_r} \right) \right) = AX'$$

$$Y = B \cdot NPV_r \left(S_1, \dots, \left(1 + \frac{q}{B} S_{n_r} \right) \right) = BY'$$

$$cor(X, Y) = cor(X', Y') = \int_0^1 \int_0^1 C(u, v) dC(u, v) - 1$$

که در آن C تابع مفصل بین X' و Y' است که مانند بخش قبل با شبیه سازی استخراج می گردد.

در زیر مراحل شبیه سازی مونت کارلو ارائه می گردد:

الف) تولید داده های تصادفی. برای تولید داده ها برای متغیرهای ورودی X و Y و برازش توزیع های آماری مناسب برای آن ها بر اساس آزمون های نیکویی برازش، با استفاده از مدل بلک-شولز که در افزونه *ModelRisk* با نام ^{۱۲} GBM معروف است، نرخ های تبدیل R_1, \dots, R_{n_r} و S_1, \dots, S_{n_r} تولید شده و X و Y از روی آن ها محاسبه می گردند. سپس یک توزیع مناسب برای X و Y به دست آورده و معیارهای نیکویی برازش را چک می کنیم. آزمون های نیکویی برازش بر اساس آزمون معیار اطلاعاتی ^{۱۳} انجام می گیرد:

معیار شوارتز ^{۱۴}

$$SIC = \ln(n)k - 2 \ln(L_{max})$$

معیار آکائیک ^{۱۵}

$$AIC = \left(\frac{2n}{n-k-1} \right) k - 2 \ln(L_{max})$$

معیار هانان-کوئین ^{۱۶}

$$HQIC = 2 \ln(\ln(n))k - 2 \ln(L_{max})$$

فرض می شود که نرخ تبدیل لحظه ای دارای یک حرکت براونی هندسی به صورت زیر است:

$$S = \mu S \Delta t + \sigma S (\Delta t)^{0.5} \Delta \varepsilon$$

که در این فرمول، ε مقدار تصادفی از توزیع نرمال استاندارد است.

۲.۳ مدل های تحقیق

در این بخش، در یک پرتفوی فرضی شامل اوراق قرضه گوناگون ارزی مبتنی بر ارزش های گوناگون، به محاسبه $NPVaR$ می پردازیم. برای سادگی، فرض می شود که پرتفوی مذکور پرتفوی ارزی یک شرکت سرمایه گذاری است که در کشور ۱ قرار دارد و شامل دو اوراق قرضه است که مربوط به کشورهای ۲ و ۳ هستند. در این پرتفوی، هر برگه قرضه در زمان های مختلف جریان های نقدی ارزی تولید می کند. این پرتفوی در بسیاری از حوزه ها نظیر صنعت پتروشیمی کاربرد دارد.

فرض کنید فردی با ملیت ۱ دو اوراق قرضه با ارزش اسمی p و q را از دو کشور خارجی ۲ و ۳ خریده است. زمان سررسید اوراق قرضه ها به ترتیب n_2 و n_3 است و هر کدام سودی به میزان A (واحد پول کشور ۲) و B (واحد پول کشور ۳) پرداخت می کنند. اگر R_1, \dots, R_{n_r} نرخ تبدیل پول کشور ۲ نسبت به کشور ۱ و S_1, \dots, S_{n_r} نرخ تبدیل پول کشور ۳ نسبت به کشور ۱ برای دوره زمانی مورد مطالعه باشند و r مقدار نرخ بهره بدون ریسک کشور ۱ باشد، آنگاه مقدار ارزش خالص فعلی این دو اوراق قرضه به ترتیب به شکل زیر خواهد بود:

$$NPV_r = \frac{AR_1}{1+r} + \frac{AR_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{AR_{n_r}}{(1+r)^{n_r}} + \frac{pR_{n_r}}{(1+r)^{n_r}}$$

$$+ \frac{BS_1}{1+r} + \frac{BS_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{BS_{n_r}}{(1+r)^{n_r}} + \frac{qS_{n_r}}{(1+r)^{n_r}} = X + Y$$

که در آن:

$$X = A \cdot NPV_r(R_1, \dots, R_{n_r}) + \frac{pR_{n_r}}{(1+r)^{n_r}}$$

$$Y = B \cdot NPV_r(S_1, \dots, S_{n_r}) + \frac{qS_{n_r}}{(1+r)^{n_r}}$$

¹²Geometric Brownian Motion

¹³Information Criterion

¹⁴SIC: Schwarz Information Criterion

¹⁵AIC: Akaike Information Criterion

¹⁶HQIC: Hannan-Quinn Information Criterion

فرض کنید $\pi_i = \frac{N_i}{N}$ سهم i -امین اوراق قرضه باشد. پس:

$$\sum_{i=1}^I \pi_i = 1$$

فرض کنید X_i بیانگر i -امین NPV ی i -امین اوراق قرضه است. می‌دانیم

$$NPV = \sum_{i=1}^I N_i X_i$$

که:

به‌طور معادل:

$$NPV = N \sum_{i=1}^I \pi_i X_i = N \cdot NPV'$$

برای مدیریت پرتفوی، بردار $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_I)$ را طوری به‌دست می‌آوریم که $Var(NPV')$ حداقل گردد. مثلاً به‌ازای دو اوراق قرضه و این‌که $\pi_1 = \pi$ و $\pi_2 = 1 - \pi$ داریم:

$$Var(NPV') = \pi^2 \sigma_1^2 + (1 - \pi)^2 \sigma_2^2 + 2\pi(1 - \pi)\sigma_1\sigma_2\rho$$

با حل این رابطه نسبت به π دیده می‌شود که:

$$\pi = \frac{1 - \theta\rho}{1 + \theta^2 + 2\rho\theta}$$

که $\sigma_i^2 = Var(X_i)$ و $\theta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ و $\rho = cor(X_1, X_2)$ هستند. بعد با یافتن π_i ها، N_i به‌دست آمده و با شبیه‌سازی NPV ، معیار $NPVaR$ به‌دست می‌آید.

۴ نتایج تجربی شبیه‌سازی

در حالت اول (اوراق قرضه با کوپن) فرض می‌کنیم که کشورهای ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب انگلستان، آمریکا و ژاپن هستند. فرض کنیم که سرمایه‌گذار مورد نظر در تاریخ ۱۶/۲۰۱۶/۱ یک اوراق قرضه آمریکایی دوساله (۲۴ ماه) با کوپن ۲ دلار ($A = 2$) ماهیانه که ابتدای هر ماه پرداخت می‌شود و با ارزش اسمی ۱۰۰ دلار آمریکا ($p = 100$) در اختیار دارد و اوراق قرضه بعدی وی یک اوراق قرضه ژاپنی به ارزش اسمی ۱۰۰ یین ($q = 100$) دوساله (۲۴ ماه) با نرخ کوپن ماهیانه ۱۰۰ یین ($B = 0.1$) می‌باشد. این اطلاعات از سایت Bloomberg.com استخراج شده است. داده‌های روزانه نرخ‌های تبدیل USD/GBP و JPY/GBP طی دوره زمانی ۱۶/۲۰۱۶/۱ الی ۱۷/۱۲/۲۰۱۷ از سایت investing.com استخراج شده است.

در قسمت دوم (اوراق قرضه بدون کوپن) فرض می‌کنیم که کشورهای ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب انگلستان، آمریکا و آلمان هستند. سرمایه‌گذار مورد نظر در تاریخ ۱۶/۲۰۱۶/۱ یک اوراق قرضه آمریکایی دوساله (۲۴ ماه) بدون کوپن ($A = 0$) ماهیانه که ابتدای هر ماه پرداخت

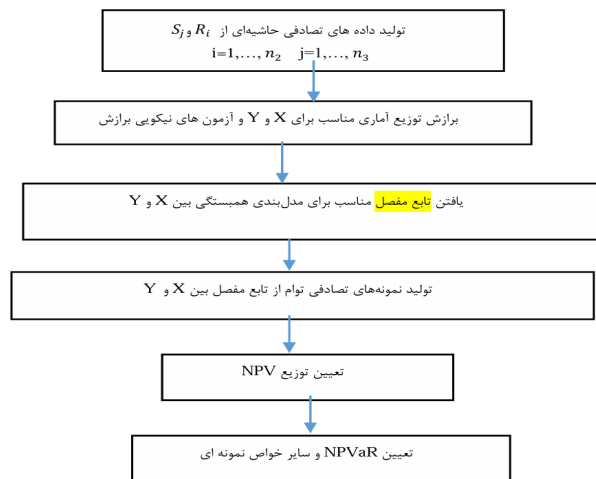
در روابط فوق n تعداد مشاهدات، k تعداد پارامترهایی که برآورد می‌شوند و L_{max} مقدار حداکثر شده لگاریتم تابع درستمایی برای مدل تخمینی است. در این آزمون‌ها هر مدل برازش داده‌شده که دارای مقدار کمتری باشد، مدل مناسب‌تر است.

ب) یافتن همبستگی بین متغیرهای ورودی: با نمونه‌های تولیدشده در بخش الف و استفاده از دو تابع مفصل نرمال و فرانک به یافتن تابع مفصل مناسب مبادرت می‌ورزیم.

ج) تولید داده‌های نمونه‌ای توأم: در اینجا، نمونه‌هایی از تابع مفصل منتخب قسمت قبل به‌دست آورده و NPV محاسبه می‌کنیم.

د) محاسبه مقدار NPV و تعیین توزیع مربوطه: با استفاده از NPV بخش قبلی، یک توزیع مناسب برای NPV انتخاب نموده و معیارهای نیکویی برازش را چک می‌کنیم.

ه) محاسبه $NPVaR$ و ویژگی‌های نمونه‌ای مربوطه: با استفاده از خواص توزیعی NPV در بخش قبل معیار $NPVaR$ را به‌دست می‌آوریم. فلوجارت زیر به‌طور خلاصه این مراحل را شرح می‌دهد:



شکل ۲. فلوجارت مربوط به گام‌های محاسبه مقدار $NPVaR$.

۲) اوراق قرضه بدون کوپن: فرض کنیم $A = B = 0$ ، در این صورت:

$$X = p \cdot NPV_r(R_{n_r}) = pX'', \quad Y = q \cdot NPV_r(S_{n_r}) = qY''$$

$$cor(X, Y) = cor(X'', Y'') = 4 \int_0^1 \int_0^1 C(u, v) dC(u, v) - 1$$

که در آن C تابع مفصل بین X'' و Y'' است که با شبیه‌سازی استخراج می‌گردد.

۳) مدیریت پرتفوی اوراق قرضه: فرض کنید پرتفویی با N

اوراق قرضه وجود دارد که N_i تا از آن‌ها متعلق به کشور i -ام، $i = 1, 2, \dots, I$ است و بنابراین:

$$\sum_{i=1}^I N_i = N$$

بهرتر انجام شده است. در جدول فوق دیده می‌شود که در هر مسئله اوراق قرضه، هر سه معیار اطلاعاتی در تابع مفصل گامبل کمتر از معیار اطلاعاتی تابع مفصل فرانک است. پس نتیجه می‌گیریم که در مطالعه ریسک نرخ ارز در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ تابع مفصل گامبل بهترین برازش را دارد.

برای حل مسئله سوم فرض می‌شود که پرتفویی با ۳ برگه اوراق قرضه وجود دارد که اولین آن‌ها یک برگه اوراق قرضه آلمانی با دوره سررسید یک‌ساله بدون کوپن و دومین و سومین آن‌ها به ترتیب اوراق قرضه ژاپنی و آمریکایی است که یک موسسه سرمایه‌گذاری انگلیسی در اختیار دارد. در این حالت، فرآیند حرکت براونی هندسی (مدل بلک-شولز) به قیمت اوراق قرضه برازش داده شده است و پارامترها در جدول زیر داده شده است:

جدول ۳. پارامترهای حرکت براونی برای انواع نرخ‌های تبدیل

نرخ تبدیل	μ	σ
یورو/پوند	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۶۳۱۱
ین/پوند	۰/۰۰۰۲۵۶	۰/۰۰۹۶۵۲
دلار آمریکا/پوند	۰/۰۰۰۱۶۸	۰/۰۰۷۳۰۳

همچنین می‌توان دید که:

$$Var(NPV') = (\pi_1, \pi_2, \pi_3)E \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \end{pmatrix}$$

که E ماتریس واریانس-کوواریانس (X_1, X_2, X_3) است که در این مثال برابر است با:

$$E = \begin{pmatrix} -۰/۰۷۹۸۷۶ & -۲/۱۴۱ \times ۱۰^{-۵} & -۰/۰۰۲۳۴ \\ -۰/۰۰۲۴۲ & ۴/۱۵۱۳ \times ۱۰^{-۶} & -۸ \times ۱۰^{-۶} \\ -۰/۰۰۲۳۴ & -۸ \times ۱۰^{-۶} & ۰/۱۰۳۶۶۲ \end{pmatrix}$$

با کمینه‌کردن فرم درجه دوم زیر:

$$(\pi_1, \pi_2, \pi_3)E \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \end{pmatrix}$$

نسبت به $0 \leq \pi_i \leq 1$ ($i = 1, 2, 3$) مقادیر زیر به دست می‌آیند:

$$\pi_1 = ۰/۰۰۰۳۲۴, \quad \pi_2 = ۰/۸۹۹۵۵۱, \quad \pi_3 = ۰/۰۰۰۱۲۵$$

می‌شود و با ارزش اسمی ۱۰۰ دلار آمریکا ($p = 100$) در اختیار دارد و اوراق قرضه بعدی وی در تاریخ ۱/۱/۲۰۱۷ یک اوراق قرضه آلمانی به ارزش اسمی ۱۰۰ یورو ($q = 100$) یک‌ساله (۱۲ ماه) بدون کوپن ($B = 0$) است. دوباره، داده‌های روزانه نرخ‌های تبدیل USD/GBP و EUR/GBP طی دوره ۱/۱/۲۰۱۶ الی ۳۱/۱۲/۲۰۱۷ از سایت *investing.com* استخراج شده‌اند. نتایج حل دو مدل در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۱. مقادیر NPV و $NPVaR$ برای دو مسئله

معیار	اوراق قرضه با کوپن	اوراق قرضه بدون کوپن
NPV	۹۹/۲۷	۷۰/۷۱
$NPVaR$ (تابع مفصل فرانک)	۹۸/۶۰۷	۶۲/۳۸۳
$NPVaR$ (تابع مفصل نرمال)	۹۸/۱۶۸	۶۲/۵۰۳

همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، مقادیر به دست آمده برای روش NPV و $NPVaR$ برای دو حالت اوراق قرضه با کوپن و بدون کوپن، نشان‌دهنده این موضوع است که هر دو روش نتایج یکسان دارند و هر دو بر سرمایه‌گذاری بر روی اوراق قرضه کوپن تأکید دارند؛ با این تفاوت که روش $NPVaR$ با درصد اطمینان ۹۹٪ نشان‌دهنده این است که مقدار NPV برای اوراق قرضه با کوپن در حالت تابع مفصل فرانک از مقدار ۹۸/۶۰۷ و در حالت تابع مفصل نرمال از ۹۸/۶۱۸ کمتر نمی‌شود که این به معنی دقت بیشتر روش $NPVaR$ در به دست آوردن مقدار NPV است، در صورتی که NPV محاسبه شده در حالت عادی مقدار ۹۹/۲۷ را نشان می‌دهد. همچنین نحوه عملکرد توابع مفصل فرانک و گامبل در تعیین همبستگی‌های بین نرخ‌های تبدیل در جدول زیر خلاصه شده است:

جدول ۲. معیارهای اطلاعاتی توابع مفصل برازش شده برای دو مسئله

معیارهای اطلاعاتی	اوراق قرضه با کوپن	اوراق قرضه بدون کوپن
تابع مفصل برازش شده	فرانک گامبل	فرانک گامبل
SIC	۱۳/۶۸	۱۳/۸۱
	۶/۹۱	۶/۹۲
AIC	۳/۸۷	۴/۰۰
	۲/۰۰	۲/۰۲
$HQIC$	۷/۵۹	۷/۷۲
	۳/۸۶	۳/۸۸

در تفسیر معیارهای اطلاعاتی هرچقدر مقادیر کمتر باشند برازش

ب) پیش‌تر روش ارزش در معرض خطر را در انتخاب پرتفوی ارزی (و یا اصولاً پرتفوی‌ها) در نظر می‌گرفتند که این ملاک ارزش‌زمانی پول و جریان‌های نقدی را در نظر نمی‌گرفت؛ اما این ملاک اخیر این مشکل را رفع می‌نماید.

ج) با دخالت دادن ریسک نرخ تبدیل در محاسبه مقدار NPV در انتخاب پرتفوی‌های ارزی می‌توان دیدگاه بهتری برای سرمایه‌گذاران ایجاد نمود تا ریسک پروژه‌های خود را به شکل بهتری مدیریت کنند. د) در نهایت توابع مفصل که کاربرد زیادی در مسائل مالی دارند (به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تعیین همبستگی بین متغیرهای مختلف) می‌توانند به محاسبه دقیق‌تر خروجی مسائل مالی از جمله محاسبه مقدار NPV پروژه‌ها (که در این مقاله نیز از آن استفاده گردید)، کمک شایانی نمایند.

ه) توابع مفصل اساساً با ترکیب چند توزیع حاشیه‌ای مختلف، رابطه همبستگی جدیدی ارائه می‌دهند و از طرفی چون نرخ‌های تبدیل نیز در پروژه‌های سرمایه‌گذاری شامل چندین واحد پولی می‌شوند و هر کدام از نرخ‌های تبدیل نیز توزیع احتمالی خاص خود را دارند، توابع مفصل می‌توانند نقش مهمی در مدل همبستگی این نرخ‌ها ایفا کنند. و) دخالت دادن ریسک نرخ تبدیل، استفاده از توابع مفصل برای همبستگی، استخراج فرمول‌های $NPVaR$ برای پرتفوی‌های ارزی و موارد ذکر شده در مقدمه از ابداعات این مقاله هستند.

با شبیه‌سازی NPV' مقدار متوسط این پارامتر برابر ۷۳۰۲۲۲ است که اگر $N = ۱۰۰۰۰$ اوراق قرضه این موسسه داشته باشد، $NPV = ۲۲۲۸۳$ پوند به دست می‌آید و مقدار $NPVaR$ برابر با $۲۲۶/۵$ پوند است.

۵ نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف مدیریت ریسک در پرتفوی‌های ارزی نگارش شده است. ملاک $NPVaR$ به‌مثابه ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری در مسئله انتخاب از بین پرتفوی‌های ارزی به‌کار رفته است. تحقیق اخیر از حیث ایجاد ابزار تحلیلی برای تحلیل پرتفوی‌های ارزی اهمیت دارد. چند نتیجه تحقیق حاضر به شرح زیر ارائه می‌گردند:

الف) ملاحظه گردید که: - پروژه‌ای در سطح $۱ - \alpha$ قابل قبول است که ارزش خالص فعلی در معرض خطر آن در یک سطح اطمینان مشخص بزرگ‌تر از صفر باشد. در غیراین صورت پروژه غیرقابل پذیرش تلقی می‌شود. - به صورت معادل، پروژه مذکور قابل قبول است اگر سطح اطمینان به‌ازای ارزش خالص فعلی برابر یا بزرگ‌تر از سطح اطمینان از پیش تأیید شده باشد، در غیراین صورت پروژه غیرقابل قبول است. - هنگام تصمیم‌گیری بین دو پروژه، وقتی مقدار $NPVaR$ یک پروژه از دیگری بیشتر باشد، پروژه‌ای انتخاب می‌شود که دارای مقدار $NPVaR$ بیشتری باشد.

مراجع

- [۱] استاد هاشمی، علی؛ صادقی شریف، جلال؛ سوری، علی. (۱۴۰۰). تأثیر متغیرهای کلان اقتصادی بر ریسک سیستمی نظام بانکی با الگوی خودرگرسیون برداری. نوآوری و ارزش‌آفرینی، ۱۹، ۵۵-۶۸.
- [۲] فخری میرشجاعی؛ الهی، ناصر؛ صیقلی، محسن. (۱۴۰۰). سرایت بحران‌های مالی جهانی بر تلاطم‌های ارزی در اقتصاد ایران؛ رویکرد گارچ-تابع مفصل. پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۲۷، ۱۱۵-۱۴۸.
- [۳] ناهیدی امیرخیز، محمدرضا. (۱۴۰۱). تأثیر نامتقارن نوسان نرخ ارز بر بازده سهام در بازار سرمایه ایران. فصلنامه اقتصاد محاسباتی، ۲، ۸۷-۱۰۱.

[4] Genest, C. (2006). The joy of copulas: Bivariate distributions with uniform marginal. *American Statistician*, **137**, 280-283.

[5] Hawas, F., & Cifuentes, A. (2019). Valuation of projects with minimum revenue guarantees: A Gaussian copula-based simulation approach. *The Engineering Economist*, **62**, 90-102.

[6] Morgan, J. P., & Reuters, P. (1996). *RiskMetrics: Technical document* (4th ed.). Morgan Guaranty Trust Co., New York, USA.

- [7] Platon, V., & Constantinescu, A. (2017). Monte Carlo method in risk analysis for investment projects. *Procedia Economics and Finance*, **15**, 393–400.
- [8] Sklar, A. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. *Publications d'Institut de statistique d'Université de Paris*, **8**, 229–231.
- [9] Tseng, C. H. (2015). *Copulas for risk management: in financial market*. VDM Verlag, USA.
- [10] Vang, Y., Cao, Z., & Au, S. K. (2018). Practical reliability analysis of slope stability by advanced Monte Carlo simulations in a spreadsheet. *Canadian Geotechnical*, **50**, 12–23.
- [11] Wang, X. Q., & Gao, B. (2018). Dynamic measurement and evaluation on foreign exchange risks of international construction projects. *Technical report*. Department of Construction Management, Tianjin University, Tianjin, P.R. China.
- [12] Wang, X. Q., Kim, Y., & Lee, E. B. (2018). A probabilistic alternative approach to optimal project profitability based on the value-at-risk. *Sustainability*, **10**, 747–752.
- [13] Ye, S., & Tiong, R. L. K. (2000). NPV-at-risk method in infrastructure project investment evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, **8**, 227–233.
- [14] Zhang, X., & Jiang, H. (2020). Application of Copula function in financial risk analysis. *Computers & Electrical Engineering*, **77**, 376–388.

NPV at Risk Method for Evaluation of Uncertain Investment Project: A Simulation Approach

R. Habibi^{1*}

¹ Faculty Member of Iran Banking Institute, Iran

Abstract:

In this paper, we examine how to calculate the net present value measure in currency portfolios that include exchange rates of different currencies, and introduce the net present value at risk measure. This approach provides a better perspective for those who intend to invest through the purchase of foreign bonds and face exchange rate risk. To calculate these measures and considering the non-parametric correlation between exchange rates, we first fit two types of copula functions to real time series of several currency exchange rates. Then, we generate a large number of exchange rates using Monte Carlo simulation. Finally, we present two measures, net present value and net present value at risk, for portfolios containing real bonds. We also use the net present value at risk method for managing bond portfolios.

Keywords: Copula, Correlation, Exchange rate risk, Investment, Monte Carlo simulation, Net present, Value at risk.