

## توسعه مدل سرمایه قانونی بازل در شرایط رکود اقتصادی

امیر اعظم‌طراحیان<sup>۱</sup>

سعید اسدی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۵

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۶/۱۹

### چکیده

این پژوهش مدیریت ریسک اعتباری را مورد مطالعه قرار می‌دهد و مدلی جنریک برای توزیع زیان پرتفولیوی وام در صنعت بانک‌داری ارائه می‌کند. با توجه به مفروضات، مدل بازل تنها در شرایط نرمال اقتصادی عملکرد قابل قبولی نشان می‌دهد و در آن کاپولای گاوسی تک‌عاملی برای مدل‌سازی همبستگی نکول فرض شده و سرمایه قانونی برپایه فرآیند واسیچک (*Vasicek*) محاسبه شده است. در این مقاله، به منظور مدل‌سازی توزیع زیان پرتفولیوی وام بانکی در دوران رکود اقتصادی که فرضیه سرایت نکول وجود دارد، کاپولای تی-استیودنت (*Student's t*) تک‌عاملی به‌عنوان ساختار همبستگی احتمال نکول ارائه می‌شود. به‌علاوه، مدل با در نظر گرفتن همبستگی بین نرخ اعاده وام و احتمال نکول با استفاده از کاپولای کلاتون قصد توسعه مدل بازل را دارد. تحلیل‌ها از طریق روش شبیه‌سازی مونت کارلو انجام شده است و اثر مدل ارائه شده را در میزان سرمایه اقتصادی مورد نیاز بانک در مقایسه با مدل بازل مطالعه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده با در نظر گرفتن شرایط رکود اقتصادی، سرمایه اقتصادی را تا دو برابر مدل بازل پیشنهاد می‌دهد. همچنین به این نتیجه رسیدیم که افت مورد انتظار با پوشش زیان‌های حادی فراتر از  $VaR$  در شرایط رکود اقتصادی دارای مزیت است و به‌عنوان جایگزین  $VaR$  برای محاسبه سرمایه اقتصادی پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: بازل، توزیع زیان پرتفولیو، ریسک اعتباری، توابع کاپولا، همبستگی نکول.

طبقه‌بندی JEL: C15, G32, G21

۱- تحلیلگر سرمایه‌گذاری، کارشناس ارشد رشته مالی شرکتی، گرایش مدیریت ریسک، دانشگاه سن پترزبورگ،

روسیه (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: Amir.myfx@gmail.com

۲- کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع، گرایش مهندسی مالی، دانشگاه تربیت مدرس، پست الکترونیکی:

saeedasadi.mfe@gmail.com

## ۱- مقدمه

ریسک از دست دادن اصل سرمایه یا بهره که از ناکامی وام‌گیرنده در بازپرداخت وام یا برآورده کردن تعهد قراردادش سرچشمه می‌گیرد، ریسک اعتباری گفته می‌شود (کمیته بازل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). به همین دلیل، مؤسسه‌های مالی و ناظران مالی در جوامع مختلف اقتصادی به دنبال مدل‌سازی و کنترل ریسک اعتباری هستند. این مدل‌ها، توزیع زیان ناشی از ریسک اعتباری را ترسیم می‌کنند و این توزیع به‌منظور تعیین میزان سرمایه اقتصادی پوشش ریسک اعتباری استفاده می‌شود.

بانک‌ها در معرض ریسک‌های مختلفی مانند ریسک بازار، عملیاتی، اعتباری و نقدشوندگی قرار دارند که این پژوهش بر ریسک نکول شرکت‌های طرف قرارداد<sup>۲</sup> وام تمرکز دارد و قصد داریم تا توزیع زیان ناشی از این ریسک و مدل ریسک اعتباری پیشنهادی بازل را توسعه دهیم تا تخمین دقیق‌تری از سرمایه اقتصادی مورد نیاز را در اختیار بانک‌ها قرار دهد. در مطالعات تجربی ثابت شده است که نرخ‌های نکول و نرخ‌های اعاده وام<sup>۳</sup> به صورت غیرخطی به یکدیگر وابسته‌اند، به طوری که میزان کاهش نرخ‌های اعاده وام مورد انتظار در دوران رکود اقتصادی نسبت به میزان افزایش این نرخ‌ها در دوران شکوفایی اقتصادی بیشتر است. در این تحقیق، این مسئله به استفاده از کاپولا برای مدل‌سازی همبستگی نکول منجر شده است. با توجه به تجربه بحران مالی سال ۲۰۰۸، فرضیه ما این است که مدل سرمایه قانونی بازل در شرایط نرمال اقتصادی کارآیی خوبی دارد، اما در شرایط رکود اقتصادی بعضی از انواع پدیده‌ها مانند سرایت نکول و تغییر الگوی همبستگی نکول را در مدل لحاظ نمی‌کند و قابل اطمینان نیست.

برای فعالیت کارآتر و مطمئن‌تر، بازل بانک‌ها را مجاب می‌کند تا ذخایر سرمایه‌ای را به‌منظور جذب زیان‌های محتمل نگهداری کنند و بازل II مدل واسیچک<sup>۴</sup> را به‌عنوان مدل

---

1- Basel Committee on Banking Supervision

2- Counterparty Risk

3- Recovery Rate

4- Vasicek Model

استاندارد در نظر می‌گیرد. این مدل برای ساده‌سازی، بر مبنای فروض غیرمنطبق با دنیای واقعی مانند در نظر گرفتن احتمال نکول یکسان برای همه طرفین قرارداد در پرتفولیوی بدهی (و ترجیحاً از یک صنعت مشابه) و همبستگی احتمال نکول یکسان و ثابت در زمان‌های مختلف معرفی شده است. همچنین مدل واسیچک برخلاف شواهد تجربی عدم وابستگی بین نرخ‌های اعاده وام و نرخ‌های نکول را فرض می‌کند. این پژوهش سعی دارد با در نظر گرفتن واقعیت‌های ثابت شده تجربی این مدل را توسعه دهد. قصد داریم تا با اجرای مدل بازل و مدل پیشنهادی ارایه شده خود به پرسش‌های زیر پاسخ دهیم:

- ۱- آیا مدل بازل در شرایط رکود اقتصادی قابل اطمینان است؟
- ۲- آیا الزامی برای ارایه مدلی دقیق‌تر وجود دارد؟
- ۳- اختلاف بین سرمایه اقتصادی محاسبه شده توسط بازل و مدل ارایه شده این پژوهش چقدر است؟

## ۲- مروری بر مطالعات پیشین

آنالیز ریسک اعتباری به معنای ارزیابی و سنجش توان بازپرداخت متقاضیان وام و تسهیلات مالی و احتمال عدم بازپرداخت یا پرداخت با تأخیر اعتبارات دریافتی از سوی آنهاست. طراحی مدلی برای اندازه‌گیری و درجه‌بندی ریسک اعتباری برای نخستین بار توسط جان موری<sup>۱</sup> (۱۹۰۹) روی اوراق قرضه انجام شد (کیلان<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵).

در سال ۱۹۶۶، برای تعیین ورشکستگی شرکت‌ها مدل رگرسیون لجستیک توسط بیور<sup>۳</sup> به کار گرفته شد. بعدها از این مدل برای اندازه‌گیری ریسک اعتباری اوراق قرضه منتشر شده شرکت‌ها استفاده شد. فلدمن<sup>۴</sup> (۱۹۹۷)، معتقد است، به کارگیری مدل‌های سنجش اعتبار از سه طریق بر توانایی بنگاه‌های کوچک در اخذ وام تأثیر می‌گذارد؛ نخست اینکه امکان اعطای وام و نظارت بر آن را حتی بدون ملاقات وام‌گیرنده به بانک می‌دهد، دوم آنکه قیمت

1- John Moori

2- Keilan

3- Beaver

4- Feldman

وام برای بنگاه‌های کوچک، به‌خصوص آنهایی که از اعتبار بالاتری برخوردارند، کاهش می‌یابد و در نهایت اینکه عرضه وام به شرکت‌های کوچک نیز افزایش می‌یابد.

یکی دیگر از مطالعات انجام شده در زمینه اندازه‌گیری ریسک اعتباری اوراق قرضه شرکت‌ها با استفاده از مدل نمره‌دهی چندمتغیره، توسط آلتمن<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۸ انجام گرفت و به مدل نمره Z<sup>۲</sup> شهرت یافت. مدل نمره Z آلتمن یک مدل تحلیل ممیزی است که با استفاده از مقادیر نسبت‌های مالی مهم می‌کوشد شرکت‌های ورشکسته را از شرکت‌های غیرورشکسته تمیز دهد. ساندرز و آلن<sup>۳</sup> (۲۰۰۲)، به قدرت بالای این مدل برای پیش‌بینی ریسک اعتباری وام‌گیرندگان اشاره می‌کنند.

از مطالعات مهم دیگری که در زمینه اندازه‌گیری ریسک اعتباری انجام گرفت، می‌توان به کارهای المر و بروفسکی<sup>۴</sup> (۱۹۸۸)، اشاره کرد. المر و بروفسکی برای پیش‌بینی توانایی بازپرداخت وام‌ها از مدل شبکه‌های عصبی چندلایه پرسپترون استفاده کردند. متغیرهای ورودی آنان، همان متغیرهای به کار رفته در مدل Z آلتمن بود. آنها با مقایسه نتایج مدل شبکه‌های عصبی پرسپترون و مدل Z آلتمن متوجه شدند که قدرت پیش‌بینی مدل پرسپترون بیشتر از مدل‌های نمره‌دهی اعتباری است. از جمله مطالعات دیگری که در زمینه طراحی مدل اندازه‌گیری ریسک اعتباری انجام گرفت، می‌توان به کارهای مورگان<sup>۵</sup> (۱۹۹۸)، برای طراحی مدل اعتبارسنجی و کارهای تریسی<sup>۶</sup> (۲۰۰۰)، برای طراحی مدل ارزش در معرض ریسک برای برآورد تابع چگالی احتمال عدم بازپرداخت اشاره کرد. امروزه، در بیشتر بانک‌های معتبر جهان از یک یا چند مدل برای اندازه‌گیری ریسک اعتباری وام‌ها و سایر ابزارهای بدهی استفاده می‌شود.

ریسک اعتباری یکی از موضوع‌های مورد بحث محققان، به‌خصوص پس از بحران

1- Altman

2- Z Score

3- Saunders & Allen

4- Elmer & Borowski

5- Morgan

6- Treacy

مالی ۲۰۰۸-۲۰۰۷، است. پدیده‌ای به نام سرایت نکول<sup>۱</sup> نه تنها برای شرکت‌های کوچک و متوسط، بلکه برای مؤسسه‌های بزرگ و معتبری مانند AIG (شرکت بیمه آمریکایی) و شرکت تأمین سرمایه برادران لهمن<sup>۲</sup> شناسایی شد (آلن و گیل<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰).

مدل‌های ساختاری به‌عنوان یکی از مطرح‌ترین مدل‌های ارزیابی ریسک نکول، از توسعه متغیرهای ساختاری شرکت‌ها مانند ارزش دارایی و ارزش بدهی برای تعیین زمان نکول شرکت بهره می‌گیرند. به کارگیری تئوری قیمت‌گذاری اختیار معامله در مطالعات سنجش اعتبار، در مدل اولیه بلک و شولز<sup>۴</sup> (۱۹۷۳)، ریشه دارد. مدل مرتون<sup>۵</sup> (۱۹۷۴)، نخستین مدل نوین ریسک نکول بود و نخستین مدل ساختاری را ایجاد کرد. در مدل مرتون، شرکت زمانی نکول می‌کند که در لحظه پرداخت بدهی، دارایی‌های شرکت پایین‌تر از بدهی‌های معوق قرار گیرند. در مدل مرتون، فرض می‌شود که بدهی‌های شرکت یک اوراق قرضه بدون کوپن<sup>۶</sup> و سهام آن یک معامله اختیار روی دارایی‌های شرکت با قیمت تسویه حساب معادل قیمت اسمی بدهی‌هاست.

مدل ساختاری بعدی توسط بلک و کاکس<sup>۷</sup> (۱۹۷۶)، معرفی شد. در این رویکرد، هر زمان که ارزش دارایی شرکت کمتر از یک آستانه مشخصی قرار گیرد، نکول به وقوع می‌پیوندد. برخلاف رویکرد مرتون، در این حالت نکول در هر زمانی می‌تواند اتفاق افتد. مقاله بلک و کاکس برای نخستین بار اصطلاح «مدل‌های اولین گذر»<sup>۸</sup> را به کار برد. مدل‌های اولین گذر، نکول را در اولین زمان عبور ارزش دارایی از مانع تحت آن تعریف می‌کند. این مانع یا آستانه نکول در مقاله‌های بلک و کاکس و لانگستف و شوارتز<sup>۹</sup> (۱۹۹۵)، به صورت برون‌داد، تعیین شده‌اند. آستانه نکول می‌تواند توسط سهام‌داران برای

- 1- Default Contagion
- 2- Lehman Brothers
- 3- Allen & Gale
- 4- Black & Scholes
- 5- Merton
- 6- Zero-Coupon Bond (ZCB)
- 7- Black & Cox
- 8- First Passage Time Models
- 9- Longstaff & Schwartz

بیشینه کردن ارزش سهام به شکل درون داد انتخاب شود؛ برای مثال، به مقالات ملو و پارسونز<sup>۱</sup> (۱۹۹۲)، اندرسون و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۶)، لیلند<sup>۳</sup> (۱۹۹۴)، ملبارل و پرادین<sup>۴</sup> (۱۹۹۷) و فرانسوا و مورلک<sup>۵</sup> (۲۰۰۴)، مراجعه کنید. با ادبیاتی که امکان مذاکره بین سهام داران و دارندگان اوراق قرضه را در زمان نزدیک شدن به بحران مالی در نظر می گیرد نیز می توان آستانه نکول را تعیین کرد که به آن پرداخت استراتژیک بدهی گفته می شود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه پرداخت استراتژیک بدهی می توان به مقاله ملبارل و پرادین و همچنین فن و ساندرسون<sup>۶</sup> (۲۰۰۰)، مراجعه کرد.

داویدنکو<sup>۷</sup> (۲۰۱۲)، نسبت به مدل های ساختاری موجود انتقاد کرده است، زیرا این مدل ها علل نقدینگی را به عنوان یکی از عوامل اصلی نکول در بعضی شرکت ها نادیده گرفته اند، به ویژه شرکت هایی که دارای هزینه های بالای تأمین مالی از خارج از شرکت هستند. خوانساری و شمس فلاح (۱۳۸۹)، با به کارگیری مدل ساختاری کی ام وی<sup>۸</sup> برای پیش بینی ریسک نکول مشتریان حقوقی بانک های ایرانی طی سال های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ نشان دادند که مدل کی ام وی قابلیت پیش بینی ریسک نکول و تفکیک بین مشتریان خوش حساب و بدحساب را دارد و می توان از این مدل به منظور پیش بینی احتمال نکول مشتریان حقوقی دریافت کننده تسهیلات از بانک های ایرانی استفاده کرد.

ویلسون<sup>۹</sup> (۱۹۹۸)، به ریسک سیستماتیک سبد دارایی می پردازد. ویلسون در این نظریه بیان می کند، ریسک سیستماتیک یک سبد دارایی تا حد زیادی به سلامتی اقتصاد کلان بستگی دارد؛ برای مثال، در زمان رکود اقتصادی، نکول های مورد انتظار افزایش می یابند. در این نظریه، ریسک سیستماتیک در واقع، بیان کننده ریسک تأثیر محیط اقتصاد کلان بر

- 
- 1- Mello & Persons
  - 2- R, Anderson et al.
  - 3- Leland
  - 4- Mella-Barral & Perraudin
  - 5- Francois & Morellec
  - 6- Fan & Sandaresan
  - 7- Davydenko
  - 8- KMV
  - 9- Wilson

میزان نکول وام‌های بانک‌های تجاری است؛ این ریسک خود را به‌طور مشخص به صورت چرخه‌های تجاری نشان می‌دهد. وی از متغیرهای نرخ رشد تولید ناخالص داخلی و نرخ بیکاری به‌عنوان متغیرهای مهم تعیین‌کننده وضعیت کلان اقتصادی نام می‌برد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهش خود از رویکرد ارزش‌گذاری اختیار مرتون-بلک-شولز برای محاسبه ارزش بازاری دارایی‌های بانک‌ها و ریسک آنها و فاصله تا نکول برخی بانک‌های خصوصی در دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۹، استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که متوسط ارزش بازاری و متوسط ریسک دارایی‌های کل بانک‌ها طی این ۴ سال، روند افزایشی از خود نشان داده است و با توجه به اینکه متوسط نرخ کفایت سرمایه<sup>۱</sup> طی این ۴ سال برای ۸ بانک مورد بررسی افزایش یافته و متوسط نمره Z (فاصله تا نکول) روند کاهشی داشته، این موضوع، به معنای آن است که در این ۴ سال با افزایش نرخ کفایت سرمایه، بانک‌ها به نکول نزدیک‌تر شده‌اند. همچنین بیان کردند که اثرات منفی عوامل اقتصادی و غیراقتصادی بر اثر مثبت نرخ کفایت سرمایه غلبه کرده است.

آذری‌پناه و فلاح شمس (۱۳۹۲)، رابطه بین اجزای ساختار سرمایه و احتمال نکول شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، ابتدا با به کار بردن مدل ساختاری کی‌ام‌وی احتمال نکول شرکت‌ها محاسبه شد و پس از آن، به روش پنل دیتا بین اجزای ساختار سرمایه شرکت‌ها و احتمال نکول آنها رگرسیون گرفته و سپس، آزمون‌های رگرسیون انجام شد. نتایج پژوهش این دو نشان داد که رابطه معناداری بین ساختار سرمایه شرکت‌ها و احتمال نکول آنها وجود دارد.

شمس قارنه و جنتی (۱۳۹۱)، با بهره‌گیری از مدل پویای مرتون، احتمال نکول شرکت‌های موجود در صنعت ساخت فلزات اساسی را مورد بررسی قرار دادند. در این مدل، در تعیین ارزش بازار، نوسان‌پذیری داده‌ها به صورت پویا لحاظ شد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که استفاده از مدل‌های بهبودیافته مرتون هم‌زمان با در نظر گرفتن توزیع‌های مناسب (غیرنرمال) برای ارزش بازار دارایی شرکت‌ها موجب بهبود دقت

برآوردها در خصوص تعیین نرخ نکول شرکت‌ها می‌شود.

واعظ، امیری و حیدری (۱۳۹۱)، از یک الگوی اقتصاد کلان برای تجزیه و تحلیل نکول در بخش‌های اصلی اقتصاد کلان استفاده کردند. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن بوده که رابطه ضرایب متغیرهای تولید، نرخ ارز بازار غیررسمی، نرخ سود تسهیلات پرداختی و قیمت نفت با احتمال نکول شرکت‌ها مثبت و معنادار شده است. در این پژوهش نشان داده شده است که متغیرهای کلان، تأثیر متفاوتی بر احتمال نکول در بخش‌های مختلف می‌گذارند.

موریرا<sup>۱</sup> (۲۰۱۵)، در پژوهش خود، روابط ریاضی را به منظور محاسبه ارتباط قوی بین زیان‌های اعتباری در رکودهای اقتصادی بدون در نظر گرفتن توزیع مشخصی برای متغیرها ارائه کرد. ابتدا نشان داد که در مدل بازل توزیع شرطی در نظر گرفته شده با کاپولای گاوسی برابری می‌کند (کاپولای گاوسی وابستگی دنباله‌ای را در نظر نمی‌گیرد) و سپس، با استفاده از کاپولاهایی که وابستگی دنباله‌ای را مدل‌سازی می‌کنند، کوشید زیان‌های اعتباری در سناریوهای رکود را محاسبه کند.

اسکلار برای نخستین بار توابع کاپولا را در قضیه‌ای<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۹ به این صورت معرفی کرد که فرض کنید  $F_{X,Y}(x,y)$  نشان‌دهنده یک تابع توزیع توأم برای دو متغیر تصادفی  $X, Y$  با توابع حاشیه‌ای  $F_X(x), F_Y(y)$  باشد، آنگاه یک تابع کاپولا مانند  $C$  برای هر مقادیر حقیقی  $x, y$  براساس رابطه ۱ وجود دارد:

$$F_{X,Y}(x, y) = C(F_X(x), F_Y(y)) \quad (1)$$

از تعریف بالا مشخص است که اگر  $F_1, F_2, \dots, F_n$  توابع حاشیه‌ای باشند،  $C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_n(x_n))$  تابع چگالی چندمتغیره‌ای است با حاشیه‌های  $F_1, F_2, \dots, F_n$ . به این دلیل که  $u_i = F_i(x_i), i=1, 2, \dots, n$  متغیر تصادفی یکنواخت در بازه زمانی  $[0, 1]$  است. توابع کاپولا ابزار مناسبی برای ساخت و شبیه‌سازی توابع توزیع

1- Moreira

2- Sklar's Theorem



چندمتغیره هستند. دیکلمته و رومانو<sup>۱</sup> (۲۰۰۴)، وابستگی بین ساختار دارایی‌های اعتباری را توسط توابع کاپولا مدل‌سازی کردند. آنها با در نظر گرفتن غیرنرمال بودن توزیع بازدهی‌ها با چهار مدل از توابع کاپولا شامل کاپولای گاوسی، تی-کاپولا، تی-کاپولای گروه‌بندی شده و کاپولای کلایتون، ارزش در معرض ریسک و افت مورد انتظار را محاسبه کردند. به‌منظور مدل‌سازی ساختار همبستگی نکول، لوکاس<sup>۲</sup> (۱۹۹۵)، مدل دوجمله‌ای را ارائه کرد که نکول به‌عنوان متغیر باینری در نظر گرفته می‌شود. او در پژوهش خود نشان داد که مقدار همبستگی و نوسانات همبستگی در دوران رکود اقتصادی بیشتر است. بروس و گنزالز-آگوادو<sup>۳</sup> (۲۰۱۰)، نرخ اعاده وام در دوران رکود اقتصادی را تقریباً برابر با یک‌سوم دوران شکوفایی اقتصادی محاسبه کردند. آلمن و همکاران (۲۰۰۵)، رابطه معکوس بین نرخ نکول و نرخ اعاده وام را نشان دادند.

#### ۱-۲- مدل سرمایه قانونی بازل

در اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی با آشکار شدن موارد ضعف بیانیه اول (بازل I)، راه برای بازنگری و تجدیدنظر در آن هموار و در سال ۱۹۹۹ نخستین پیش‌نویس بیانیه دوم سرمایه‌ای موسوم به بازل II ارائه شد. هدف از ارائه توافقنامه بازل II، رفع اشکالات بازل I بود. براساس توافقنامه بازل II دو نوع رویکرد برای تخمین سرمایه مورد نیاز ریسک اعتباری پیشنهاد شده است: رویکرد استاندارد و رویکرد رتبه‌بندی داخلی.

رویکرد استاندارد شبیه به مدل بازل I است؛ با این تفاوت که نسبت به ریسک حساسیت بیشتری دارد. قرض‌گیرنده‌های وام براساس رتبه‌های اعتباری که توسط مؤسسه‌های رتبه‌بندی محاسبه شده است در گروه‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند و به هر گروه یک ضریب ریسک<sup>۴</sup> تعلق می‌گیرد (جدول شماره ۱).

1- Di Clemente & Romano

2- Lucas

3- Bruche & González-Aguado

4- Risk Weight

جدول ۱- ضرایب ریسک مدل بازل

ضریب ریسک			رتبه اعتباری مؤسسه قرض گیرنده
شرکت‌ها	بانک‌ها	مؤسسه‌های دولتی	
٪۲۰	٪۲۰	٪۰	از AAA به AA-
٪۵۰	٪۵۰	٪۲۰	از A+ به A-
٪۱۰۰	٪۵۰	٪۵۰	از BBB+ به BBB-
٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	از BB+ به BB-
٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	از B+ به B-
٪۱۵۰	٪۱۵۰	٪۱۵۰	پایین تر از B-
٪۱۰۰	٪۵۰	٪۱۰۰	بدون رتبه اعتباری

مأخذ: بازل II

و سرمایه قانونی<sup>۱</sup> (تنظیمی) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(۲) \quad ۰/۰۸ \times \text{مبلغ در معرض نکول} \times \text{ضریب ریسک} = \text{سرمایه قانونی}$$

در رویکرد رتبه‌بندی داخلی، سرمایه قانونی براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(۳) \quad \text{مبلغ در معرض نکول} \times \text{حداقل سرمایه الزامی} = \text{سرمایه قانونی}$$

که در این رابطه، حداقل سرمایه الزامی<sup>۲</sup> (K) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(۴) \quad K = [VaR - EL] \times \beta = \left[ LGD \times N \left[ \frac{1}{\sqrt{1-R}} \times G(PD) + \sqrt{\frac{R}{1-R}} \times G(0.999) \right] - PD \times LGD \right] \times \left( \frac{1+(M-2.5) \times b(PD)}{1-1.5 \times b(PD)} \right)$$

همان‌طور که در رابطه ۴ مشاهده می‌شود، حداقل سرمایه الزامی از کسر زیان مورد انتظار (EL) از ارزش در معرض ریسک (VaR) و ضرب مقدار حاصل شده در ضریب تعدیل سررسید ( $\beta$ ) به دست می‌آید. R ضریب همبستگی بین وام و وضعیت اقتصادی، N[...] مقدار توزیع تجمعی نرمال استاندارد، G[...] برابر با مقدار معکوس توزیع تجمعی نرمال استاندارد، LGD زیان مشروط به نکول، PD احتمال نکول، M سررسید وام و b

1- Regulatory Capital

2- Minimum Capital Requirements

تابعی است که به منظور تعدیل سررسید استفاده می‌شود.

### ۳- روش شناسی پژوهش

صورت‌های مالی و رتبه اعتباری متناظر ۱۹۷ شرکت در ۵ بخش مختلف تولید، خدمات، املاک و مستغلات، تجارت داخلی و تجارت خارجی از بانک موردنظر دریافت شد. همچنین احتمال نکول به‌عنوان ورودی از پرتفولیوی وام بانکی و رتبه‌های اختصاص یافته و زیان مورد انتظار برای هر شرکت مطابق رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$EL_i = LGD_i * EAD_i * D_i(T) \quad (5)$$

در این رابطه،  $LGD$ ،  $EAD$  و  $D$  به ترتیب زیان ناشی از نکول، مبلغ در معرض نکول و متغیر باینری هستند. متغیر باینری  $D$  زمانی مقدار یک می‌گیرد که نکول رخ دهد و در غیر این صورت، مقدار صفر می‌گیرد.

$$D_i(T) = \begin{cases} 1 & PD_i \\ 0 & 1 - PD_i \end{cases} \rightarrow E(D_i(T)) = PD_i$$

به همین دلیل، زیان مورد انتظار را به صورت زیر نیز در نظر می‌گیرند:

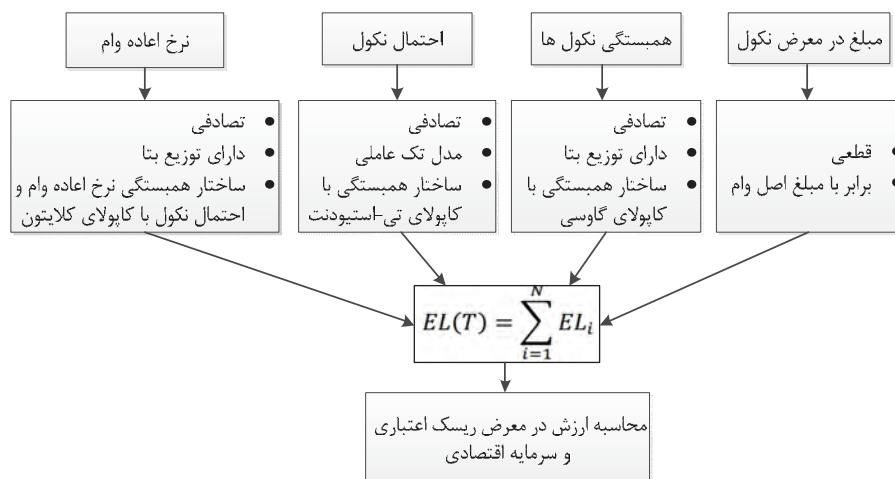
$$EL_i = LGD_i * EAD_i * PD_i \quad (6)$$

پارامتر  $LGD$  نیز برای هر وام مطابق رابطه ۷ قابل محاسبه است:

$$LGD_i = (1 - RR_i) \times EAD_i \quad (7)$$

که در این رابطه،  $RR$  (Recovery Rate) همان نرخ اعاده وام است. زیان مورد انتظار کل نیز مطابق با رابطه ۸ از حاصل جمع زیان مورد انتظار شرکت‌ها محاسبه می‌شود. روش انجام پژوهش نیز مطابق نمودار شماره ۱، است.

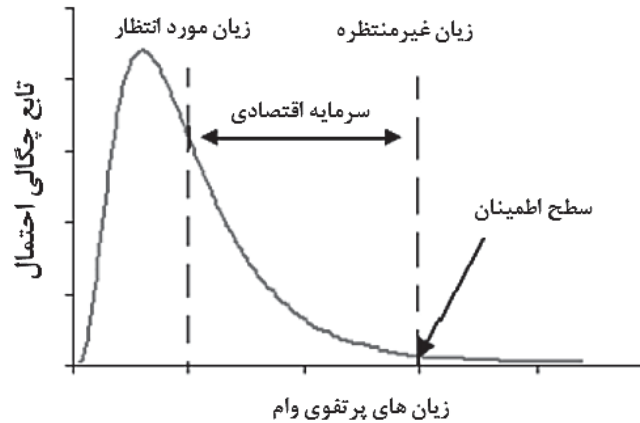
$$EL_T = \sum_{i=1}^N EL_i \quad (8)$$



نمودار ۱- روش شناسی پژوهش

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

همان‌طور که در نمودار شماره ۱، مشخص است، ما با استفاده از توزیع بتا نرخ اعاده وام را شبیه‌سازی می‌کنیم. همان‌طور که پژوهشگران متعددی به وجود پدیده سرایت نکول در شرایط رکود اقتصادی اشاره داشتند و موریرا (۲۰۱۵)، ثابت کرد که مدل در نظر گرفته شده برای محاسبه سرمایه قانونی در مدل بازل با تابع کاپولای گاوسی برابری می‌کند و همچنین با توجه به اینکه کاپولای گاوسی با فرض توزیع توأم نرمال برای متغیرها وابستگی دنباله‌ای (وجود زیان‌های شدید در شرایط حدی) را در نظر نمی‌گیرد، در این پژوهش، همبستگی بین نرخ اعاده وام و نرخ نکول را با استفاده از تابع کاپولای کلایتون و ساختار همبستگی نرخ نکول را با استفاده از تابع کاپولای تی-استیودنت به منظور در نظر گرفتن فرضیه سرایت نکول در زمان رکود اقتصادی مدل‌سازی می‌کنیم.



نمودار ۲- سرمایه اقتصادی برای پرتفوی وام اعتباری

مأخذ: کتاب مبانی ریسک بانکی (آپوستولیک، دونوهو و ونت، ۲۰۰۹).

همان‌طور که در نمودار شماره ۲، مشخص است، سرمایه اقتصادی<sup>۲</sup> (EC) از اختلاف ارزش در معرض ریسک و زیان مورد انتظار محاسبه می‌شود. ارزش در معرض ریسک را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$VaR_{\alpha}(X) = \inf\{x | P(X \geq x) < \alpha\} \quad (9)$$

ارزش در معرض ریسک به مقدار سرمایه‌ای اشاره دارد که بانک به منظور پوشش زیان‌های غیرمنتظره محاسبه و نگهداری می‌کند. تفاوت اصلی سرمایه اقتصادی (EC) و سرمایه قانونی (RC) این است که EC سنج‌های داخلی و از دید بانک است، در حالی که RC حداقل سرمایه الزامی از طرف قانون‌گذاران و ناظران نظام بانک‌داری به منظور پوشش ریسک‌های یک بانک است.

#### ۴- یافته‌های تحقیق

مدیریت ریسک مؤثر مستلزم مطالعه احتمال وقوع زیان‌های غیرقابل انتظار در یک پرتفویو است. اگر زیان‌های ناشی از عدم پرداخت بدهی را مدل‌سازی کنیم، به این نتیجه می‌رسیم

1- Apostolik, Donohue and Went

2- Economic Capital

که پرتکرارترین مقدار زیان از میانگین مقادیر زیان کمتر است (توزیع زیان دارای چولگی است). دلیل این حقیقت، آن است که زیان‌های بسیار بزرگ با احتمال بسیار کم که آنها را به نام مقادیر فرین می‌شناسیم، مقدار میانگین را افزایش می‌دهند. در نتیجه، ذخایر اعتباری به‌منظور پشتیبانی زیان‌های زیر میانگین در نظر گرفته می‌شوند.

#### ۴-۱- آمار توصیفی پرتفولیوی بدهی

اطلاعات وام‌های اعطا شده به ۱۹۷ شرکت مربوط به یک بانک مشخص استخراج شده است. کمترین وام پرداختی با مقدار ۲ میلیون تومان و همچنین بیشترین وام پرداختی با مقدار ۳۶۲/۷ میلیارد تومان مربوط به بخش تجارت داخلی است. میانگین وام‌های پرداختی نیز برابر با ۲۹/۳۲ میلیارد تومان است، در حالی که ۵۰٪ وام‌گیرنده‌ها درخواست وام کمتر از ۱۰ میلیارد تومان داشتند. همچنین می‌توان مشاهده کرد که جمع کل وام‌های پرداختی برابر با ۵۷۷۶/۸۷۲ میلیارد تومان است. توزیع وام‌های پرداختی بین بخش‌های مختلف اقتصاد در نمودار دایره‌ای مشاهده می‌شود.



نمودار ۳- نمودار دایره‌ای پرتفولیوی وام بانک

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

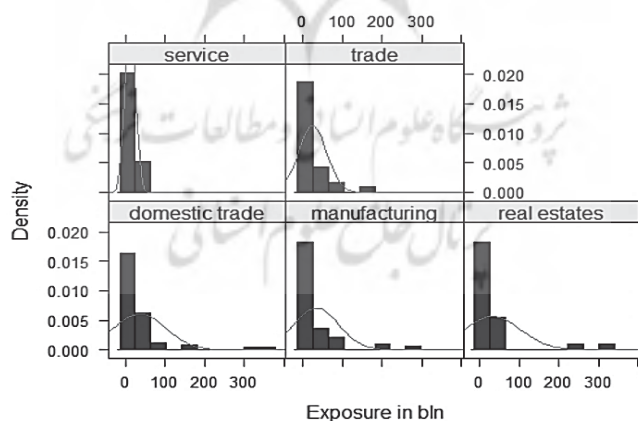
همان‌طور که در نمودار مشخص است، بخش تجارت داخلی و خدمات به ترتیب بیشترین و کمترین قسمت پرتفولیوی بانک را تشکیل می‌دهند. خلاصه آمار مربوط به احتمالات نکول به شرح جدول شماره ۲، است. با توجه به رتبه اعتباری اختصاص داده شده، احتمال نکول از بازه ۰/۰۰۲٪ تا ۱۷/۷٪ متغیر است.

جدول ۲- آمار توصیفی پرتفولیوی وام

کمترین مقدار	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشترین مقدار
۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۱۱۶۶	۰/۰۴۵۴۶	۰/۰۶۷۸۰	۰/۱۷۷۲۰	۰/۱۷۷۲۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

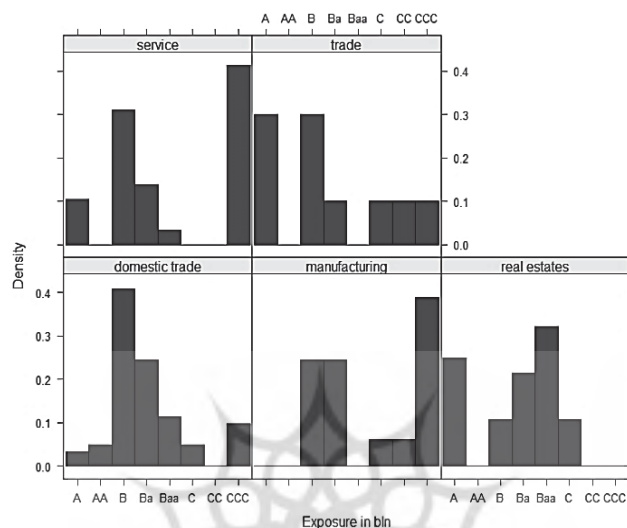
بخش مرکزی توزیع چگالی احتمال وام پرداختی در هر بخش اقتصادی در نمودار شماره ۴، قابل مشاهده است. در تمام بخش‌ها، وام‌های پرداختی چولگی راست دارند و مقادیر آنها به احتمال بسیار پایین از ۱۰۰ میلیارد تومان فراتر می‌رود. اگرچه، در بخش املاک و مستغلات و همچنین تولید مقادیر فراتر از ۲۰۰ میلیارد تومان نیز مشاهده می‌شود. وجود وثیقه‌ها و دارایی‌های ثابت در این بخش‌ها را می‌توان توجیه خوبی برای مقادیر زیاد وام به این بخش‌ها دانست. همچنین از بیشتر بودن مقادیر وام در بخش تجارت داخلی نسبت به تجارت خارجی می‌توان به تعامل تجاری نزدیک‌تر بانک با اقتصاد داخلی پی برد.



نمودار ۴- هیستوگرام مقادیر وام در بخش‌های مختلف اقتصادی

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

در نمودار شماره ۵، نمودار میله‌ای به همراه توزیع چگالی احتمال (PDF) رتبه‌های اعتباری شرکت‌های وام‌گیرنده در بخش‌های مختلف اقتصادی مشاهده می‌شود.



نمودار ۵- نمودار میله‌ای مقادیر وام براساس رتبه اعتباری طرف قرارداد در بخش‌های مختلف اقتصادی

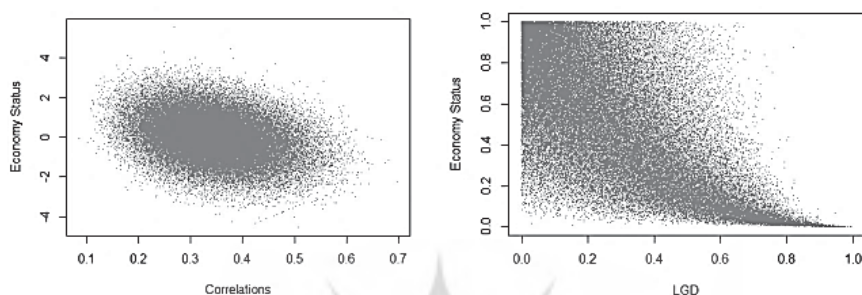
مأخذ: یافته‌های پژوهش.

#### ۴-۲- ارزشیابی مدل

پیش از ارزشیابی مدل پیشنهادی با مدل بازل، فرضیه‌های آرایه شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم. رابطه بین وضعیت اقتصادی با همبستگی نکول و همچنین LGD در نمودار شماره ۶، مشاهده می‌شود. در نمودار شماره ۶ (سمت راست)، احتمال مشاهده مقادیر زیان در شرایط رکود اقتصادی به مراتب بیشتر از دوران نرمال و شکوفایی اقتصادی است. بدین ترتیب که تراکم نقاط در گوشه پایین و سمت راست نمودار بسیار بیشتر است. به علاوه، نمودار شماره ۶، وابستگی منفی دنباله‌ای بین وضعیت اقتصادی و همبستگی نکول را نشان می‌دهد که توسط کاپولای تی-استیودنت ایجاد شده است و نرخ‌های نکول



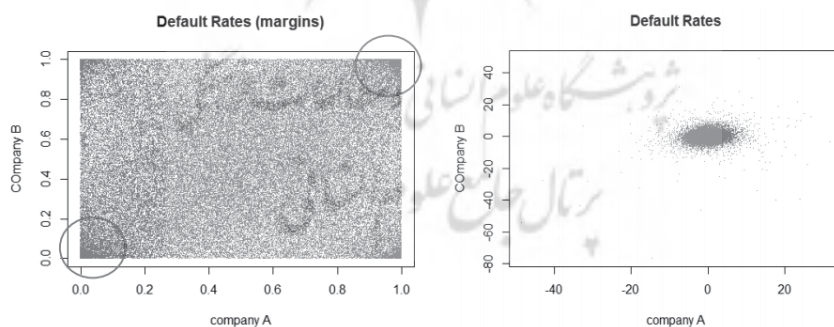
را در شرایط حدی رونق و رکود اقتصادی نشان می‌دهد. به بیان دقیق‌تر، در شرایط رکود اقتصادی شرکت‌ها همگی احتمال نکول زیادی دارند. در کاپولای نرمال احتمال این هم‌جهتی در شرایط حدی رکود (بالتر از سه سیگما برای متغیر وضعیت اقتصاد) صفر در نظر گرفته می‌شود که در کاپولای تی-استیودنت این گونه نیست.



نمودار ۶- ساختار همبستگی بین وضعیت اقتصادی و LGD (راست)، رابطه بین وضعیت اقتصادی و همبستگی نکول (چپ)

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

در نمودار شماره ۷، همبستگی بین نرخ‌های نکول دو شرکت نمونه از پرتفولیوی بدهی مشاهده می‌شود که گوشه‌های این نمودار حاکی از تمایل شدید هم‌جهتی در شرایط حدی است.

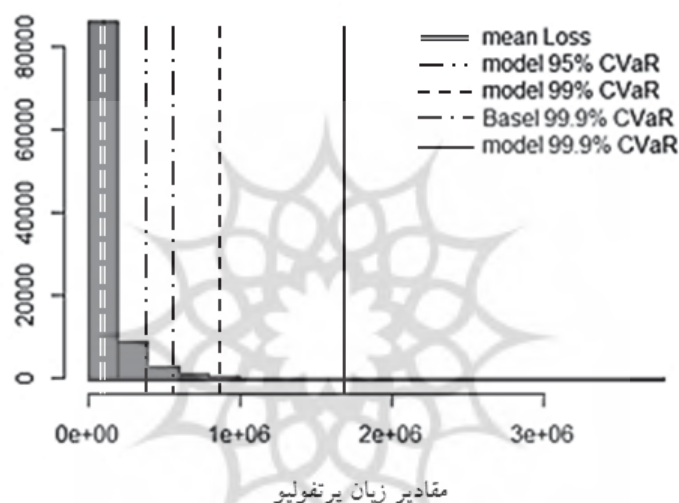


نمودار ۷- پراکنندگی نرخ نکول دو شرکت نمونه (راست)، ساختار همبستگی بین نرخ نکول دو شرکت نمونه (چپ)

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

#### ۳-۴- اجرای مدل

شبه‌سازی مدل روی اطلاعات پرتفولیوی بدهی با صد هزار بار تکرار (درجه آزادی=۳) انجام شده و ارزش در معرض ریسک اعتباری (Credit-VaR) در سطح اطمینان‌های ۹۵٪، ۹۹٪ و ۹۹/۹٪ با مدل ۹۹/۹٪ بازل مقایسه شده است (نمودار شماره ۸). به‌منظور سازگار کردن پرتفولیو با فرضیات مدل بازل، میانگین احتمالات نکول به‌عنوان احتمال نکول رایج در نظر گرفته می‌شود.



نمودار ۸- توزیع زیان پرتفولیوی وام بانک و مقایسه مقادیر Credit-VaR

مدل پیشنهادی و مدل بازل

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

زیان مورد انتظار برابر با ۱۰۴ میلیارد تومان و انحراف معیار زیان نیز برابر با ۱۷۹ میلیارد تومان است. همان‌طور که مشخص است، مقدار Credit-VaR ۹۹/۹٪ مدل بازل بین مقدار Credit-VaR ۹۵٪ و ۹۹٪ مدل پیشنهادی قرار می‌گیرد. این مشاهدات نشان می‌دهد که در آمیختن پدیده‌هایی مانند نرخ اعاده وام تصادفی<sup>۱</sup> و همچنین ایجاد ساختار همبستگی بین

نرخ اعاده وام و احتمال نکول و همچنین ساختار همبستگی احتمال نکول موجب افزایش سرمایه اقتصادی و فراتر رفتن از مقدار مدل بازل می‌شود.

مقایسه خروجی مدل بازل و مدل پیشنهادی این نکته را آشکار می‌کند که سرمایه قانونی بازل نسبت به سرمایه اقتصادی دست پایین تخمین زده شده است، به‌خصوص در شرایط رکود اقتصادی که پدیده‌ای به نام سرایت نکول وجود دارد. در سطح اطمینان ۹۹٪/۹ آمار و ارقامی که مدل پیشنهادی ما ارائه می‌کند به حدود ۲ برابر مدل بازل می‌رسد. به‌طور ضمنی، مدل بازل در سطح اطمینان ۹۵٪ تا ۹۹٪ ضررها را پوشش می‌دهد. این نکته به آن معناست که مدیریت بر مبنای مدل بازل سرمایه قانونی را در سطح اطمینان ۹۹٪/۹ تعیین می‌کند، در حالی که با به کار بستن واقعیت‌های موجود در دنیای واقعی این سطح اطمینان به بازه ۹۹٪-۹۵٪ کاهش می‌یابد که نااطمینانی و عدم رضایت از استراتژی وام‌دهی را به دنبال دارد.

لحاظ ریسک‌های موجود در دنیای واقعی و کاهش مفروضات ساده‌سازی که در مدل بازل پیشنهاد شده است به‌طور قطع به افزایش میزان ذخیره احتیاطی بانک‌ها منجر می‌شود که خود در سطح کلان اقتصاد به دلیل کاهش در سطح وام‌دهی می‌تواند عاملی برای کاهش فعالیت‌های اقتصادی و در نهایت، رکود باشد. این تحقیق با مدل‌سازی ریسک همبستگی و شدت و ضعف آن در چرخه‌های تجاری و همچنین وابسته بودن احتمال ورشکستگی صنایع و شرکت‌ها در این چرخه‌ها سعی بر محاسبه میزان افزایش در ذخیره احتیاطی بانک‌ها در قالب یک مدل ریاضی و روش حل عددی داشته است. هدف اصلی این مدل، محاسبه میزان این ذخیره به‌عنوان یک معیار اندازه‌گیری و به‌عنوان ورودی برای تصمیم‌گیران کلان اقتصادی است. همچنین خاطر نشان می‌شود، بی‌توجهی به متغیرهای ریسک در دنیای واقعی و اتکاب به مدل‌هایی که به نوعی به ساده‌سازی دینامیک موجود در فضای اقتصادی روی می‌آورند، به معرفی میزان ذخیره احتیاطی با اطمینان ۹۹٪/۹ می‌پردازند که در عمل با مطالعه انجام شده این سطح اطمینان کاذب بوده و تنها در محدوده سطح ۹۵٪ قابل اتکاست که برای ملاحظات در حوزه ریسک اعتباری

از مطلوبیت بالایی برخوردار نیست. بنابراین، اگرچه مدل پیشنهادی میزان واقعی این ذخیره برای سطح ۹۹/۹٪ اطمینان تقریباً به حدود دو برابر افزایش می‌یابد، اما با شناسایی و تحلیل حساسیت پارامترهای تعیین‌کننده در مدل می‌توان با رویکردی پیشگیرانه از عوامل رکودساز و در عین حال با اطمینان ۹۹/۹٪ به یک توازن ریسک و بازده در سطح کلان اقتصاد رسید.

#### ۴-۴- افت مورد انتظار<sup>۱</sup> (ES)

ارزش در معرض ریسک با اینکه رایج‌ترین روش سنجه ریسک برای محاسبه سرمایه اقتصادی است، اما دارای کمبودها و نواقصی نیز هست. آرتزرنر (۱۹۹۹)، بر دو نکته تأکید زیادی می‌کند: ۱- به این دلیل که بر مبنای یک صدک مشخصی از توزیع زیان محاسبه می‌شود، ارزش در معرض ریسک هیچ اطلاعاتی در مورد شرایطی که بزرگی مقدار زیان از سرمایه فراتر می‌رود فراهم نمی‌کند و ۲- ارزش در معرض ریسک سنجه‌ای منسجم<sup>۲</sup> نیست، زیرا زیرجمع<sup>۳</sup> نیست. به منظور رفع ایرادهای وارد شده بر ارزش در معرض ریسک، آرتزرنر سنجه افت مورد انتظار را معرفی کرد. روش مطمئن‌تر محاسبه سرمایه اقتصادی افت مورد انتظار است که به طور خلاصه زیان مورد انتظار شرطی در دنباله توزیع است که ارزش در معرض ریسک شرطی<sup>۴</sup> نیز نامیده شده و براساس رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$ES_{\alpha}(X) = E[X|X \geq VaR_{\alpha}(X)] \quad (10)$$

یامای و یوشیبا<sup>۵</sup> (۲۰۰۵)، در یک پژوهش کاربردی ارزش در معرض ریسک را با

1- Expected Shortfall

2- Coherent

3- Sub-additive

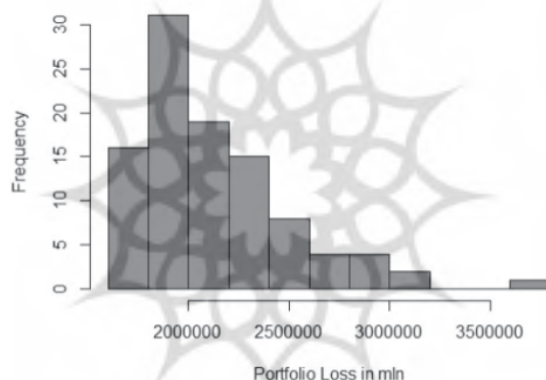
سنجه ریسک  $\rho$  در صورتی زیرجمع است که ریسک موقعیت معاملاتی کل کمتر یا مساوی جمع ریسک هر یک از موقعیت‌های معاملاتی باشد. در واقع، خاصیت زیرجمعی سنجه ریسک را ملزم به احتساب اثر تنوع‌بخشی در پرتفولیو می‌کند. به بیان ریاضی، اگر  $X$  و  $Y$  متغیر تصادفی زیان دو موقعیت معاملاتی باشند، شرط زیر باید برقرار باشد:

$$\rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y)$$

4- Conditional Value at Risk

5- Yamai and Yoshida

سنجه افت مورد انتظار مورد بررسی قرار می‌دهد. اشاره به ضعف ارزش در معرض ریسک در محاسبه ریسک واقعی پرتفولیو در مواقع رکود اقتصادی، زمانی که بازارهای مالی نوسانات شدید دارند و همبستگی در بازارهای پولی و مالی تشدید می‌شود یکی از نکات کلیدی است که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نتیجه، وجود سرایت نکول در شرایط رکود اقتصادی استفاده از سنجه افت مورد انتظار را در جایگزینی ارزش در معرض ریسک توجیه می‌کند. نمودار شماره ۹، توزیع زیان پرتفولیو را در سطح بالای ۹۹٪ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص بوده، توزیع چولگی به راست است که نشان‌دهنده کمتر بودن احتمال وقوع زیان‌های حدی در مقایسه با زیان‌های نزدیک‌تر به ارزش در معرض ریسک است.



نمودار ۹- هیستوگرام دنباله راست زیان پرتفولیوی اعتباری توزیع مادر

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

همان‌طور که در جدول شماره ۳، مشاهده می‌کنید، مقادیر افت مورد انتظار یا ارزش در معرض ریسک شرطی بیشتر از ارزش در معرض ریسک در همان سطح اطمینان است که پوشش بیشتری را نسبت به زیان‌های حدی، به‌خصوص در شرایط رکود اقتصادی فراهم می‌کند.

جدول ۳- مقایسه مقادیر ارزش در معرض ریسک و افت مورد انتظار (میلیون تومان)

VaR	ES	سطح اطمینان
۱۶۹۰۵۲۸	۲۱۳۱۴۰۸	٪۹۹/۹
۱۰۹۶۹۸۵	۱۴۷۹۶۵۰	٪۹۹/۵
۸۵۸۵۰۴	۱۲۲۱۸۹۷	٪۹۹
۴۰۸۱۱۴	۶۹۳۴۸۴	٪۹۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

### ۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با در نظر گرفتن وضعیت اقتصادی به‌عنوان یک متغیر و عامل مؤثر در سرمایه اقتصادی بانک، لحاظ همبستگی بین نرخ‌های نکول با استفاده از کاپولای تی-استیودنت و همچنین همبستگی بین نرخ‌های نکول و نرخ‌های اعاده وام با استفاده از کاپولای کلایتون توانستیم سرمایه اقتصادی را برای بانک محاسبه کنیم که در سطح ۹۹٪/۹ تقریباً دو برابر (به‌عنوان حد بالا) سرمایه قانونی محاسبه شده از مدل بازل است. همچنین در این پژوهش دو سنجه ارزش در معرض ریسک (VaR) و افت مورد انتظار (ES) را با تأکید بر زیان‌های حدی (زیان‌هایی که فراتر از مقدار VaR هستند) مقایسه کردیم. با اشاره به این موضوع که VaR با اطلاعاتی که فراهم می‌کند می‌تواند بانک‌ها را گمراه کند، بیان کردیم که نادیده گرفتن زیان‌های حدی فراتر از VaR مشکلاتی جدی را به‌وجود می‌آورد. یکی از دلایل اصلی پدید آمدن زیان‌های حدی در شرایط رکود اقتصادی وجود پدیده‌ای به نام سرایت نکول بوده که با استفاده از توابع کاپولای تی-استیودنت و کلایتون مدل‌سازی شده است. به‌منظور پوشش زیان‌های حدی باید از سنجه ES استفاده کرد که در مدل بازل نیز نادیده گرفته شده است.

## منابع

- آذری‌پناه، شهلا و میرفیض فلاح شمس (۱۳۹۲)، بررسی ارتباط بین احتمال نکول و ساختار سرمایه با استفاده از مدل KMV و روش پنل دیتا، *فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، شماره ۱۸، صص ۸۵-۹۶.
- امیدی‌نژاد، محمد، تیمور محمدی و محمود ختایی (۱۳۹۶)، رویکرد رتبه‌بندی داخلی بال ۲ و سرمایه مورد نیاز برای مواجهه با ریسک اعتباری، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، صص ۳۲-۱.
- خوانساری، رسول و میرفیض فلاح شمس (۱۳۸۹)، ارزیابی کاربرد مدل ساختاری KMV در پیش‌بینی نکول شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران، *مجله تحقیقات مالی*، دوره ۱۱، شماره ۲۸، صص ۴۹-۶۸.
- شمس قارنه، ناصر و سیما جنتی (۱۳۹۱)، ارایه مدلی پویا جهت پیش‌بینی نرخ نکول شرکت‌های لیست شده در بورس ایران (مطالعه موردی: صنعت ساخت محصولات فلزی)، *مجله مهندسی مالی و اوراق بهادار*، شماره ۱۳، صص ۲۰-۱.
- محمدی، تیمور و همکاران (۱۳۹۵)، ارزش‌گذاری بازاری و ارزیابی ریسک (نمره Z) برخی بانک‌های خصوصی ایران: رویکرد مرتون- بلک- شولز، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، دوره ۲۱، شماره ۶۶، صص ۵۸-۳۱.
- واعظ، محمد، هادی امیری و مهدی حیدری (۱۳۹۰)، تأثیر چرخه‌های تجاری بر نرخ نکول تسهیلات بانکی ایران طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۸ و تعیین سبد بهینه تسهیلات برای کل نظام بانکی، *فصلنامه پول و اقتصاد*، شماره ۷، صص ۴۱-۷۶.
- Allen, F., & Gale, D. (2000). Financial contagion. *Journal of political economy*, 108(1), 1-33.
- Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The journal of finance*, 23(4), 589-609.
- Altman, E. I., Brady, B., Resti, A., & Sironi, A. (2005). The link between default and recovery rates: Theory, empirical evidence, and implications. *The Journal of Business*, 78(6),

- 2203-2228.
- Anderson, R. W., Sundaresan, S., & Tychon, P. (1996). Strategic analysis of contingent claims. *European Economic Review*, 40(3-5), 871-881.
- Apostolik, R., Donohue, C., & Went, P. (2009). *Foundations of Banking Risk*. New Jersey: Wiley Finance
- Basel Committee on Banking Supervision, & Bank for International Settlements. (2000)m *Principles for the management of credit risk*. Bank for International Settlements.
- Beaver, W. H. (1966). Financial ratios as predictors of failure. *Journal of accounting research*, 71-111.
- Black, F., & Cox, J. C. (1976). Valuing corporate securities: Some effects of bond indenture provisions. *The Journal of Finance*, 31(2), 351-367.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of political economy*, 81(3), 637-654.
- Bruche, M., & Gonzalez-Aguado, C. (2010). Recovery rates, default probabilities, and the credit cycle. *Journal of Banking & Finance*, 34(4), 754-764.
- Davydenko, S. A. (2012). When do firms default? A study of the default boundary, EFA Moscow Meetings Paper.
- Di Clemente, A., & Romano, C. (2004). Measuring and optimizing portfolio credit risk: a copula-based approach. *Economic Notes*, 33(3), 325-357.
- Elmer, P. J., & Borowski, D. M. (1988). An expert system approach to financial analysis: The case Fan, H., & Sundaresan, S. M. (2000). Debt valuation, renegotiation, and optimal dividend policy. *The Review of Financial Studies*, 13(4), 1057-1099.
- Feldman, R. J. (1997). Small business loans, small banks and big change in technology called credit scoring. *The Region*, (Sep), 19-25.
- François, P., & Morellec, E. (2004). Capital structure and asset prices: Some effects of bankruptcy procedures. *The Journal of Business*, 77(2), 387-411.
- Keilan, M., & Abdoli, M. (2015). Leasing and credit risk management in leasing industry. *Iranian Journal of Business and Economics*, 2 (3), 1-6.
- Leland, H. E. (1994). Corporate debt value, bond covenants, and optimal



- capital structure. *The journal of finance*, 49(4), 1213-1252.
- Longstaff, F. A., & Schwartz, E. S. (1995). A simple approach to valuing risky fixed and floating rate debt. *The Journal of Finance*, 50(3), 789-819.
- Lucas, D. (1995). Default correlation and credit analysis. *The Journal of Fixed Income*, 4(4), 76-87.
- Mella Barral, P., & Perraudin, W. (1997). Strategic debt service. *The Journal of Finance*, 52(2), 531-556.
- Merton, R. C. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates. *The Journal of finance*, 29(2), 449-470.
- Moreira, F. F. (2015). Estimating Portfolio Credit Losses in Downturns. *Financial Markets, Institutions & Instruments*, 24(5), 391-414.
- Allen, L., & Saunders, A. (2002). A survey of cyclical effects in credit risk measurement models.
- Sklar, M. (1959). Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges. *Publ. inst. statist. univ. Paris*, 8, 229-231.
- Treacy, W. F., & Carey, M. (2000). Credit risk rating systems at large US banks. *Journal of Banking & Finance*, 24(1-2), 167-201.
- Wilson, T. (1998). Portfolio credit risk. *Economic Policy Review*, pp. 1-12.
- Y Yamai, Y., & Yoshiba, T. (2005). Value-at-risk versus expected shortfall: A practical perspective. *Journal of Banking & Finance*, 29(4), 997-1015.

## پیوست

تابع کاپولای کلایتون:

$$g^{-1} = (1 + t)^{-\frac{1}{\alpha}}$$

$$g = t^{-\alpha} - 1$$

$$C = (u^{-\alpha} + v^{-\alpha} - 1)^{-\frac{1}{\alpha}}$$

$$C_1 = \frac{\partial C}{\partial u} = u^{-(\alpha+1)}(u^{-\alpha} + v^{-\alpha} - 1)^{-\frac{1+\alpha}{\alpha}}$$

$$v = u \left( C_1^{-\frac{\alpha}{1+\alpha}} + u^{\alpha} - 1 \right)^{-\frac{1}{\alpha}}$$

$$c = (1 + \alpha)(uv)^{-(1+\alpha)}(u^{-\alpha} + v^{-\alpha} - 1)^{-\frac{1+2\alpha}{\alpha}}$$

$$\tau = \frac{\alpha}{\alpha + 2}$$

که در این روابط،  $g$  تابع مولد کاپولا و  $g^{-1}$  معکوس تابع مولد است.  $C$  تابع کاپولا را

برحسب دو تابع توزیع تجمعی  $u$  و  $v$  نشان می‌دهد،  $C_1$  تابع CDF حاشیه‌ای را برحسب  $u$

محاسبه می‌کند،  $c$  تابع چگالی کاپولا و  $\tau$  ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن است.