



فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
سال چهارم / شماره پانزدهم / پاییز ۱۳۹۴

مدلسازی عامل‌گرا برای تحلیل ریسک اعتباری

هماعزیزی

نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مالی، دانشگاه علوم اقتصادی
h_azizi86@yahoo.com

محمدعلی رستگار

دانشیار، عضو هیات علمی دانشگاه علوم اقتصادی

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۴

چکیده

بحران‌های مالی در سال‌های اخیر ناشی از تحلیل‌های نادرست از ریسک اعتباری مشتریان بوده که منتج به توجه بیشتر به ریسک اعتباری در سراسر جهان شد. در این تحقیق از مدل‌سازی عامل‌گرا^۱ برای بررسی تاثیر تصمیمات اعتباری بانک‌ها بر روی ضررهای اعتباری ناشی از وام‌دهی بانک‌ها به مشتریان شرکتی، استفاده می‌کنیم. بانک وام‌دهنده در مدل ارائه شده به دو دسته شرکت‌های کوچک و متوسط و شرکت‌های بزرگ وام می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند، تصمیمات اعتباری که اعتباردهنده برای اعطای وام به مشتریان اتخاذ می‌کند، تاثیر مهمی بر روی ضررهای اعتباری دارند که با توجه به نوع شرکت متفاوت است. بنابراین قانون‌گذاران، هنگام تعیین ذخیره سرمایه، باید فاکتورهای سازمانی را به عنوان مکمل دارایی‌های بانک، در نظر گیرند. تحقیق حاضر همچنین به جنبه جدیدی از کاربرد مدل‌سازی عامل‌گرا در تحقیقات اشاره می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ریسک اعتباری، احتمال نکول، مدل‌سازی عامل‌گرا، فرآیند یادگیری.

۱- مقدمه

ریسک اعتباری در بانک‌ها و موسسات مالی از مهم‌ترین عوامل ریسک است. با توجه به تخصص اصلی بانک‌های تجاری که جذب سپرده و اعطای وام است، این فعالیت، بانک را در معرض ریسک اعتباری قرار می‌دهد. دلیل قسمتی از مشکلات امروز بانک‌های کشور در زمینه افزایش مطالبات معوق و سوخت‌شده، عدم بهره‌گیری بانک‌ها از نظام اندازه‌گیری و مدیریت ریسک اعتباری است. در این میان بخش قابل توجهی از تسهیلات کلان بانک به اشخاص حقوقی پرداخت می‌شود، بنابراین تمرکز بر روی این گروه و شناسایی عوامل موثر بر عدم بازپرداخت تسهیلات از سوی آن‌ها، گامی مفید در راستای کاهش ریسک اعتباری در بانک می‌باشد. با توجه به پیچیدگی‌ها و حساسیت‌هایی که در حوزه مدل‌سازی ریسک اعتباری وجود دارد، همچنین عوامل زیادی که در ایجاد چنین ریسکی دخیل هستند، استفاده از ابزارهای الگوریتمی می‌تواند مفید باشد. در این پژوهش از مدل‌سازی عامل‌گرا (ABM) که یکی از روش‌های الگوریتمی است، برای شبیه‌سازی و تبیین تصمیمات اعتباری بانک‌ها استفاده می‌شود.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

ریسک اعتباری از این واقعیت ناشی می‌شود که طرف قرارداد، نتواند یا نخواهد تعهداتش را انجام دهد. بنابراین، ریسک اعتباری را می‌توان به‌عنوان زبانی محتمل تعریف کرد که در اثر یک رویداد اعتباری اتفاق می‌افتد. به بیانی روشن، ریسک اعتباری بانک‌ها، احتمال قصور وام‌گیرنده یا طرف مقابل بانک نسبت به انجام تعهداتش، طبق شرایط توافق شده، تعریف می‌شود. اگرچه منشاءهای دیگر ریسک اعتباری در فعالیت‌های یک بانک وجود دارد که در دفتر بانک و دفتر تجاری منظور می‌گردد، ولی برای اکثر بانک‌ها، وام‌ها بزرگ‌ترین و بدیهی‌ترین منشاء ایجاد ریسک اعتباری می‌باشند (رنجبر، ۲۰۰۰).

با توجه به موضوع تحقیق حاضر که بررسی تصمیمات مربوط به پرتفوی اعتباری بانک است، به تحقیقاتی می‌پردازیم که به بررسی ریسک اعتباری پرتفوی اعتباری پرداخته‌اند. طی چند سال اخیر، تعدادی مدل‌های جدید برای مدل‌سازی ریسک اعتباری پرتفوی اعتباری ارائه شده‌اند در این قسمت به بررسی مدل‌های اصلی ریسک اعتباری پرتفوی پرداخته می‌شود، روش Credit Metrics توسط جی پی مورگان با توجه به تحلیل تغییر رتبه اعتباری بنا شد، سپس تام ویلسون مدل تغییر رتبه اعتباری را توسعه داد و مدل Credit Portfolio View را پیشنهاد نمود که بر اساس آن احتمال نکول در یک چرخه اعتباری تغییر می‌کند و تابعی از متغیرهای کلان اقتصادی می‌باشد و به فاصله کوتاهی پس از آن مدل KMV از یک رویکرد کلان اقتصادی استفاده نمود که احتمال نکول هر بدهکار را به ارزش بازار دارایی‌های او مرتبط می‌سازد و بالاخره، بانک سرمایه‌گذاری تولیدات مالی اعتباری سوئیس^۲ (CSEP) مدل CreditRisk+ را در اکتبر ۱۹۹۷ معرفی کرد. این مدل از نظر ریاضیات به کار رفته در آن، منحصر به فرد است. (اصلی، ۱۳۹۰)

در کنار مطالعاتی که طی سالیان گذشته برای ریسک اعتباری مطرح شده‌اند، شاخه‌ی ABM در اقتصاد، در سال‌های اخیر گسترش یافته است که شامل حوزه‌های مختلف اقتصاد می‌شود. در میان مدل‌های عامل‌گرای

متعدد برای بازارهای مالی، مطالعه‌ی بازار سهام شرکت سانتافه^۳ توسط آرتور و همکاران در سال ۱۹۹۷ یکی از مدل‌های پیش‌تاز بوده است. (جانسون، ۲۰۱۲)^۴

براک^۵ و هومز^۶ در سال ۱۹۹۸ از روش ABM برای شناسایی حباب‌ها و بحران‌ها استفاده کرده‌اند و به صورت صورت دینامیک به بررسی ایجاد حباب و بحران مالی در زمانی که عامل‌ها از استراتژی‌های بنیادین به استراتژی‌های روند محور روی آوردند، پرداخته‌اند. (جانسون، ۲۰۱۲)

در برخی از مطالعات نیز از ABM برای بررسی نرخ بهره در بانک‌ها استفاده کرده‌اند. از جمله ایکسونگ و جوکویی^۷ در سال ۲۰۱۲ نرخ بهره وام‌های بانکی مربوط به شرکت‌های کوچک و متوسط را بررسی کرده‌اند. در حوزه نظارت بانکی نیز اسلاون اسمور^۸ از روش ABM برای مدل‌سازی پویای انتخاب بانک و قانون مورد نظارت توسط ناظرین استفاده کرده است تا فرآیندی برای کشف بهتر تخلفات ایجاد کند. (اسمور، ۲۰۱۲)

در حوزه ریسک اعتباری مطالعه مربوط به سارا جانسون مدلی عامل‌گرا از ریسک اعتباری در بانک ارائه کرده است و کاربردهایی از ABM که برای مدیران بانک و ناظرین جذاب است را مطرح کرده است که در آن تاثیر تصمیم‌گیری اعتباری را بر روی ضررهای اعتباری نشان داده است. در مطالعه ای توسط مینرو زنگ^۹ نیز ریسک اعتباری مربوط به کارت‌های اعتباری به روش ABM شبیه‌سازی شده است، و عوامل تاثیر گذار بر ریسک اعتباری بررسی شده‌اند. (زنگ، ۲۰۱۲)

علی رقم پیشینه چندساله کشورهای خارجی در استفاده از ABM در حوزه مالی، در ایران این روش به کار برده نشده است، و بیش‌تر تحقیقات مربوط به تعیین درجه ریسک اعتباری شرکت‌ها با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری و بحث بر روی کارایی آنها بوده است. همچنین برخی روش‌های سنجش ریسک پرتفوی اعتباری نظیر CR+ به کار گرفته شده‌اند، که برای مثال، این مورد با داده‌های بانک رفاه به کار گرفته شده است. (رضایی و همکاران ۱۳۹۱)

احساسات و تصمیم‌گیری اعتباری در بانک

ادراکات و احساسات در دنیای واقعی با فرآیند تصمیم‌گیری درهم تنیده شده‌اند. اساساً این‌طور به نظر می‌رسد که احساسات تاثیر منفی بر روی کیفیت و عقلانیت تصمیم‌گیری اعتباری دارند. فرضیات نشان داده‌اند که احساسات، نقشی برجسته در ریسک تصمیم‌گیری اعتباری دارند، که در تحقیقات بسیاری نیز ثابت شده است. تاثیر منفی احساسات در قضاوت و تصمیم‌گیری نشان می‌دهد که احساسات ممکن است رفتارهایی را ایجاد کنند که با روش کار تصمیم‌گیرندگان متناقض است.

در تحقیق حاضر بررسی می‌کنیم که چگونه نحوه تصمیم‌گیری اعتبار دهندگان در مورد شرکت‌هایی که قبلاً در پرتفوی اعتباری آن‌ها بوده است می‌تواند بر ضررهای اعتباری بانک تاثیر بگذارد.

با بررسی اعتبار دهندگان و مطالعه‌ی تجربیات آن‌ها می‌توان فرضیات و سناریوهایی را برای آن‌ها ایجاد کرد، از جمله:

- ۱) معاشرت طولانی بانک با مشتری، تقاضای وام را بالا می‌برد و می‌تواند صنایع وابسته به آن را پویاتر کند، بنابراین احتمال زیادی وجود دارد که اعتباردهندگان ریسک وام را کمتر ارزشیابی کنند. (امسی نمارا، برومیلی، ۱۹۹۷)
 - ۲) تعداد زیاد درخواست‌ها از اعتبار دهنده، این احتمال را بالا می‌برد که اعتباردهنده تصمیمات استراتژیک جبرانی را به کار نبرد. (بیگز و همکاران، ۱۹۸۵)^{۱۰}
 - ۳) ممکن است اعتبار دهندگان در اوایل فرآیند وام‌دهی به سطح بالایی از اطمینان برسند و بعد از آن، اطلاعاتی را که با عقاید اولیه آن‌ها در تناقض است را در نظر نگیرند. (دانوس و همکاران ۱۹۸۹)^{۱۱}
 - ۴) اعتباردهندگان ممکن است در ارزیابی صحیح اعتبار اطلاعات مالی، در هنگام ارزشیابی وام‌ها دچار اشتباه شوند. (دیویدسون و وایت، ۲۰۰۱)^{۱۲}
- همه تحقیقات ذکر شده در بالا نشان می‌دهند که اعتباردهندگان چگونه از اطلاعات مالی استفاده می‌کنند.

ساختار مدل‌سازی عامل‌گرا

از شبیه‌سازی عامل‌گرا برای شبیه‌سازی دینامیک و وابسته به زمان استفاده می‌کنیم و به صورت کلی می‌توان برای بهینه‌سازی و یا تحقیقات گسترده استفاده کرد. (اسبلجینوویک و اسکونکا، ۲۰۰۳) ABM دارای سه بخش است:

- ۱) گروهی از عامل‌ها که دارای ویژگی و رفتار مختص به خود هستند.
- ۲) ارتباط عامل‌ها و روش تعاملشان با یکدیگر و با محیط.
- ۳) محیط، که عامل‌ها با آن تعامل دارند.

برای شبیه‌سازی ABM نیاز به موتوری الگوریتمی داریم. برای اجرای مدل، عامل‌ها به طور پیوسته از خود رفتار نشان می‌دهند و با یکدیگر در تعامل هستند و فعالیت آن‌ها در خط زمان انجام می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های عامل‌ها ظرفیت خودگردان بودن آن‌ها است که در مقابله با شرایط عمل می‌کنند. آن‌ها مالک رفتارهایشان هستند تا تصمیمات مستقل انجام دهند. همچنین عامل‌ها نه صرفاً برای تعامل با اطراف بلکه با توجه به اهدافشان عمل می‌کنند. در برخی از مدل‌ها از روش‌های کامپیوتری برای تعریف عامل‌ها استفاده می‌کنند. در این حالت رفتار عامل‌ها می‌تواند ساده و واکنشی با استفاده از قوانین if-then و یا دارای سیستم‌های پیچیده با تکنیک‌های هوش مصنوعی باشد. (اسبلجینوویک و اسکونکا، ۲۰۰۳)

عامل یادگیرنده در محیطی است که معمولاً پیچیده و غیرقطعی است. فرض می‌شود که عامل برای رسیدن به هدفش، توسط فعالیت‌هایش می‌آموزد. عامل حالت محیط را مشاهده می‌کند و عملی را انتخاب و اجرا می‌کند. عامل درمورد ارزش ذاتی هر یک از فعالیت‌هایی که انجام می‌دهد اطلاعات کاملی دریافت نمی‌کند، اما اطلاعات جزئی در فرم سیگنال‌های پاداش (یا سیگنال تقویتی) دریافت می‌کند. هدف فرآیند یادگیری پیدا

کردن سیاست بهینه است که به عامل نشان می‌دهد در هر حالت از محیط با توجه به ماکزیمم کردن پاداش‌ها چگونه فعالیتش را انتخاب کند. (لزانو و همکاران، ۲۰۰۴)^{۱۳}

۳- متغیرهای پژوهش و نحوه اندازه‌گیری آن

در این تحقیق برای اندازه‌گیری ریسک اعتباری شرکت‌ها مدل کا-ام-وی-مرتون^{۱۴} مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل مذکور بر این فرض استوار است که، تا زمانی که ارزش دارایی‌های شرکت، ارزش دفتری بدهی‌هایش را پوشش می‌دهد شرکت با نکول روبه‌رو نمی‌گردد. فرآیندهای محاسبه نکول این مدل عبارتند از: (خدائی و قلمی، ۱۳۹۲)

(۱) برآورد ارزش دارایی و نوسان بازده دارایی: در صورتی که ارزش بازاری سهام مشخص باشد، ارزش بازاری دارایی و نوسان‌پذیری آن نیز قابل محاسبه است. به این صورت که با توجه به رویکرد قیمت-گذاری اختیار معامله، سهام به عنوان اختیاری در نظر گرفته می‌شود که بر روی دارایی‌های شرکت قرار داده شده است. (فلاح شمس و رشنو، ۱۳۸۷)

توزیع بازدهی دارایی در طول زمان پایدار است^{۱۵}، یعنی نوسان بازده دارایی در طول زمان نسبتاً ثابت می‌ماند و واریانس ناهمسانی وجود ندارد. مطالعات تجربی مؤسسه «کا-ام-وی» طبق داده‌های واقعی صحت این فرض را تأیید می‌کند که ارزش دارایی‌های بنگاه از یک فرآیند تصادفی که به صورت لگاریتم نرمال توزیع شده است، پیروی می‌کند که در این تحقیق نیز از این فرض استفاده خواهیم کرد. (دومینینگ، ۲۰۰۲)^{۱۶}

(۲) محاسبه فاصله تا نکول: اگر ارزش دارایی پایین‌تر از نقطه نکول گردد، شرکت دچار نکول خواهد شد. بنابراین احتمال نکول یعنی احتمال اینکه ارزش دارایی‌ها پایین‌تر از نقطه نکول شود. در ابتدا فاصله تا نکول (DD) از طریق انحراف معیار دارایی اندازه‌گیری می‌شود و سپس برای تعیین احتمال نکول متناظر با آن، از اطلاعات تجربی استفاده می‌نماید. فاصله تا نکول به وسیله معادله زیر محاسبه می‌گردد: (خدائی و قلمی، ۱۳۹۲)

$$(۱) \quad \text{فاصله تا نکول} = \frac{\text{نقطه نکول} - \text{ارزش بازار دارایی‌ها}}{\text{نوسان دارایی‌ها} \times \text{ارزش بازار دارایی‌ها}}$$

که از فرمول بالا در بخش مربوط به محاسبه فاصله تا نکول شرکت‌ها استفاده خواهیم نمود.

(۳) محاسبه احتمال نکول: ارتباط میان معیار فاصله تا نکول و فراوانی نکول با توجه به صنعت، اندازه، زمان و عوامل دیگر بررسی شد و مشخص گردید که ارتباط این دو عامل با توجه به متغیرهای فوق ثابت می‌باشد. این گفته صحیح نیست که نرخ نکول با توجه به صنعت، زمان و اندازه یکسان است بلکه تنها می‌توان گفت که این متغیرها توسط معیار فاصله تا نکول مورد استفاده قرار می‌گیرند. (فلاح شمس و رشنو، ۱۳۸۷)

عنصر تصادفی بازده دارایی‌های شرکت دارای توزیع نرمال بوده و به همین دلیل می‌توان احتمال نکول را با توجه به توزیع نرمال تجمعی تعریف نمود.

۴- مدل پژوهش

در مدل تحقیق، یک بانک را در نظر می‌گیریم که به مشتریان خود وام اعطا می‌کند و از میان مشتریان نیز مشتریان شرکتی را در نظر می‌گیریم که به دو بخش شرکت‌های کوچک و متوسط و شرکت‌های بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند. بنابراین بانک و مشتریان آن عامل‌های مدل را تشکیل می‌دهند. فرض می‌کنیم زمان درخواست اعتبار از بانک، اول سال است و هر اعتباری که با آن موافقت شود باید تا آخر سال بازپرداخت شود، به این معنی که دوره بازپرداخت همه اعتبارات یک‌ساله در نظر گرفته شده‌اند و اینکه بازپرداخت وام‌ها را بدون سود در نظر می‌گیریم، زیرا هدف ما محاسبه میزان ضرر بدون در نظر گرفتن سود بالقوه آن است. همچنین فرض می‌کنیم که بانک از لحاظ دادن اعتبار با محدودیت مالی روبه‌رو نیست و تقاضای مشتریان را در صورتی که احتمال نکول آن‌ها زیاد نباشد، می‌تواند برآورده کند. فرضیاتی که بیان شد فرضیات کلی مدل بودند و فرضیات و ویژگی‌های جزئی‌تر را در ادامه و در تشریح عامل‌ها، بیان خواهیم کرد.

ویژگی‌های بانک

محاسبه ریسک اعتباری شرکت‌ها

در این تحقیق ریسک اعتباری شرکت با استفاده از احتمال نکول شرکت (PD) تعیین می‌شود، که این احتمال نکول را با توجه به توضیحات بخش مربوط به متغیرها به دست می‌آوریم. وقتی بانک احتمال نکول شرکت را تخمین می‌زند، میزانی از خطا (ϵ) نیز برای آن در نظر می‌گیرد. تخمین بانک از احتمال نکول به صورت احتمال نکول تعدیل یافته (PPD) بیان می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$PPD = PD + \epsilon \quad (2)$$

ϵ جزء خطا است. فرض می‌کنیم میانگین خطا برابر صفر است و انحراف معیار آن برای شرکت‌های کوچک و بزرگ متفاوت است و شرکت‌هایی که برای اولین بار تقاضای اعتبار دارند خطای مورد نظر را از تابع توزیع آن به دست می‌آورند. در ادامه نیز نحوه محاسبه احتمال نکول شرکت‌ها را در هر دوره بیان خواهیم کرد.

یادگیری بانک

یادگیری این بخش به نوعی حالت ساده‌ای از یادگیری تقویتی است. بانک‌ها دارای فرآیند یادگیری بر اساس تجربه هستند. بر این اساس هرچه بانک اطلاعات بیشتری در مورد شرکت‌های موجود در پرتفوی اعتباری‌اش به دست آورد، دقت برآوردها در مورد شرکت‌ها بالاتر می‌رود. (امسی نمارا و برومیلی، ۱۹۹۷) یعنی بانک در هر مرحله سیگنال‌هایی از محیط دریافت می‌کند که بستگی به نوع رفتار شرکت‌ها دارد. در نتیجه خطای تخمین ریسک اعتباری که در ابتدا برای همه شرکت‌ها ثابت بوده است در هر دوره زمانی (t) بر اساس فرآیند خودرگرسیون^{۱۷} زیر تغییر می‌کند: (ز به معنای ژامین شرکت است)

$$\varepsilon_{j,t} = \rho_j \varepsilon_{j,t-1} + \tau_{j,t} \quad (3)$$

ρ_j ضریب خودهمبستگی است و $\tau_{j,t}$ جزء تصادفی مدل است. وقتی شرکتی که مشتری بانک است، دوباره درخواست اعتبار داشته باشد، جزء خطای تخمینی بانک برای شرکت بر اساس رابطه بالا دوباره محاسبه می شود.

جدول ۱: ویژگی‌ها و جزئیات بانک در مدل

ویژگی‌ها	توضیحات
میانگین خطا	بانک دارای توزیع نرمال برای خطای تخمین احتمال نکول است که میانگین این توزیع صفر است.
انحراف معیار خطا	بانک دارای انحراف معیار خاصی برای جزء خطا است که این مقدار را ۰/۰۰۴ در نظر می گیریم.
ρ	مقدار تقریبی برای خودهمبستگی خطا را برای شرکت‌های کوچک با توجه به ریسک بیشتری که دارند، به صورت فرضی ۰/۹ و برای شرکت‌های بزرگ ۰/۷ در نظر می گیریم.
τ	مقدار تغییر تصادفی خطا در هر بازه زمانی را از توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۰/۰۰۴ در نظر می گیریم.
پرتفوی اعتباری	مشتریان شرکتی بانک که در لیست پرتفوی اعتباری بانک قرار دارند و دارای جزء خطای مختص به خود هستند.
آستانه احتمال نکول	ضرر اعتباری را برای مقادیر مختلف آستانه احتمال نکول محاسبه خواهیم کرد. محدوده تغییر آستانه PPD را از ۰/۰۱ تا ۱ در نظر می گیریم.

ویژگی‌های شرکت‌ها

در مدل مورد نظر، شرکت‌ها مشتریان بالقوه بانک می باشند. ویژگی‌های شرکت‌ها در جدول ۲ آورده شده است. هدف شرکت‌ها سودآوری است که در این راه به دنبال این هستند که از وام‌های بانکی، حداکثر استفاده را داشته باشند. برای محاسبه ریسک اعتباری شرکت، قرض‌دهندگان می توانند از قیمت سهام شرکت استفاده کنند.

گام اول شامل تخمین ارزش بازاری دارایی‌های شرکت (V_j)، نوسان ارزش دارایی‌ها (σ_j) و ارزش بدهی‌های شرکت (F_j) است. در گام دوم، نقطه نکول و فاصله تا نکول (DD) شرکت محاسبه می شود. با نزدیک شدن ارزش دارایی‌ها به ارزش دفتری بدهی‌ها، ریسک نکول شرکت افزایش می یابد تا زمانی که به نقطه نکول برسد، که در این نقطه ارزش بازاری دارایی‌ها برای بازپرداخت بدهی‌ها کافی نیستند. در مدل بانک نقطه نکول برابر با F_j است. (کروسبی و بن، ۲۰۰۳)^{۱۸}

فاصله تا نکول که به وسیله فرمول (۴) محاسبه می شود، برابر است با تعداد انحراف استاندارد که ارزش دارایی باید پایین بیاید تا به نقطه نکول برسد. بنابراین هرچه فاصله تا نکول کمتر باشد، ریسک شرکت بیشتر است.

$$DD_j = \frac{V_j - F_j}{V_j \times \sigma_j} \quad (4)$$

در گام سوم، بین فاصله تا نکول و نرخ نکول، بر اساس تجارب شرکت‌هایی با فاصله تا نکول‌های مختلف، رابطه ایجاد می‌شود. همانطور که در بخش مربوط به متغیرهای مدل گفته شد، در مدل بانک توزیع نرمال را برای ارزش دارایی‌های شرکت تخمین می‌زنیم.

$$PD_j = 1 - N(DD_j) \quad (5)$$

به صورتی که N تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است. با توجه به اطلاعات شرکت‌ها بازده مورد انتظار دارایی‌های شرکت را با μ_r نشان می‌دهیم که فرض می‌کنیم دارای توزیع نرمال است و برای شرکت‌های کوچک که دارای ریسک و بازده بیشتر هستند، با میانگین 0.4 و انحراف معیار 0.4 است و برای شرکت‌های بزرگ دارای میانگین 0.3 و انحراف معیار 0.4 است. بازده مورد انتظار دارایی‌های شرکت هنگام به روز کردن PD در شبیه‌سازی به کار می‌آید.

جدول ۲: ویژگی‌ها و جزئیات شرکت‌ها

ویژگی شرکت‌ها	توضیحات
ارزش دارایی‌ها	بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت کلی ارزش دارایی‌های شرکت‌ها را کمتر از ۱۰۰ میلیارد تومان در نظر می‌گیریم و داده‌ها را با میانگین ۱۵ میلیارد تومان با توزیع نمایی نشان می‌دهیم. مقادیر ارزش دارایی هر شرکت را به صورت رندمی از این تابع توزیع به دست می‌آوریم به طوری که ارزش دارایی شرکت‌های کوچک را بین ۱۰۰ میلیون تا ۲۰ میلیارد تومان و ارزش دارایی شرکت‌های بزرگ را نیز بیشتر از آن در نظر می‌گیریم.
نوسان ارزش شرکت	نوسان ارزش شرکت را با درصد تغییرات در ارزش دارایی‌ها نشان می‌دهیم که همان ریسک تجارت و صنعت شرکت است. نوسان سالانه به صورتی تصادفی از توزیعی یکنواخت با مقادیری بین 0.3 تا 0.5 برای شرکت‌های بزرگتر و 0.4 تا 0.8 برای شرکت‌های کوچک به دست می‌آید.
نسبت اهرمی	نسبت اهرمی (L_j) به صورت رندمی از توزیع یکنواخت یکنواخت، برای شرکت‌های کوچک بین مقادیر 0.3 تا 0.8 و برای شرکت‌های بزرگ بین 0.2 تا 0.6 به دست می‌آید. بر این اساس نسبت اهرمی برای محاسبه‌ی بدهی شرکت استفاده می‌شود: $F_j = V_j \times L_j$
بازده دارایی‌ها (ROA)	بازده مورد انتظار دارایی‌های شرکت‌های بزرگ با استفاده از توزیع نرمال $N(0.3, 0.04)$ تولید می‌شود. و بازده مورد انتظار شرکت‌های کوچک با استفاده از توزیع نرمال $N(0.4, 0.04)$ تولید می‌شود.

مقادیر عددی که برای محدوده تغییر نسبت اهرمی و بازده دارایی‌ها ذکر شده است با استفاده از بررسی صورت‌های مالی شرکت‌های مختلف به دست آمده‌اند و نوسان ارزش دارایی‌های شرکت را نیز از بررسی نوسان ارزش سهام شرکت‌های مختلف در طی سال به صورتی تخمینی به دست آمده‌اند، به این دلیل که نتایج شبیه‌سازی تحقیق نزدیک به شرایط واقعی باشد.

عمل تصمیم‌گیری اعتباری بانک

در هر دوره زمانی، بانک احتمال نکول شرکت‌هایی را که تقاضای وام دارند را بر اساس توضیحات داده شده در بخش‌های قبل محاسبه می‌کند، یعنی مقدار PPD را محاسبه می‌کند. اگر شرکتی که تقاضای وام دارد در پرتفوی اعتباری بانک باشد، جزء خطای احتمال نکول آن دوباره محاسبه می‌شود. اگر شرکت از مشتریان قبلی بانک نباشد، جزء خطا از توزیع احتمال خطای بانک انتخاب می‌شود.

در حالت کلی اگر مقدار PPD بالاتر از حد آستانه PPD تعیین شده باشد، درخواست اعتبار رد می‌شود. اگر مقدار PPD کمتر از حد آستانه آن باشد، بانک درخواست متقاضی را قبول می‌کند.

مقادیر احتمال نکول شرکت‌ها در هر دوره زمانی ممکن است تغییر کند. بانک‌داران در پی این هستند که بدانند، زمانی که PPD شرکتی که در پرتفوی اعتباری بانک بوده است و از مشتریان بانک است، از حد تعیین شده بیشتر شود، چه عملی باید انجام دهند. این موضوع تا حدی به بانک‌داری شرکتی نیز برمی‌گردد که هدف آن رضایت مشتریان شرکتی و ارائه خدمات مختلف به آن‌هاست. بر این اساس، سه تصمیم مختلف را برای بانک در نظر گرفته‌ایم. این سه گزینه برای تخمین تأثیر رفتار تصمیم‌گیری اعتباردهندگان، باهم مقایسه می‌شوند.

(۱) وقتی PPD شرکت از حد تعیین شده بیشتر شد، درخواست اعتبار شرکت را قبول کنیم و آن را از

لیست پرتفوی اعتباری بانک خارج نکنیم.

(۲) وقتی PPD شرکت از حد تعیین شده بیشتر شد، فقط به نصف شرکت‌هایی که وضعیت نسبتاً بهتری

دارند اعتبار را می‌دهیم.

(۳) بانک قرارداد خود را با شرکتی که PPD آن بیشتر از حد تعیین شده است، فسخ کند.

به روز کردن احتمال نکول شرکت

در پایان هر دوره زمانی t ، احتمال نکول همه شرکت‌ها بر اساس بازده آن‌ها دوباره محاسبه می‌شود. ارزش دارایی جدید برای هر شرکت با استفاده از مقادیر μ و σ فعلی F_j محاسبه می‌شود:

$$V_j^t - F_j^t = [V_j^{t-1} + \mu V_j^{t-1} dt + \sigma V_j^{t-1} dw] - F_j^{t-1}$$

به این دلیل از بدهی یک دوره قبل استفاده می‌کنیم که در پایان سال باید با استفاده از دارایی‌هایمان، اعتباری که در ابتدای سال از بانک دریافت کرده‌ایم را بپردازیم. عبارت بالا از فرمول حرکت براونی هندسی به دست آمده است، که در آن t دوره زمانی کنونی است و w نیز فرآیند براونی استاندارد است. با استفاده از ارزش دارایی به دست آمده می‌توان احتمال نکول جدید را محاسبه کرد.

در این گام، شرکت‌های با فاصله تا نکول صفر شناسایی می‌شوند. فرض می‌کنیم این شرکت‌ها نکول کرده اند و آن‌ها را با شرکت‌های جدید جایگزین می‌کنیم. همچنان فرض می‌کنیم که تعداد شرکت‌هایی که به صورت بالقوه درخواست اعتبار دارند ثابت است.

ضررهای اعتباری

در هر دوره زمانی، تعداد مشخصی از شرکت‌ها به نقطه نکول خود می‌رسند و در صورتی که شرکت مشتری بانک باشد، بانک متحمل زیان می‌شود. ضرر ناشی از نکول^{۱۹} (LGD) مقداری است که بانک در صورت نکول شرکت، متضرر می‌شود.

مقدار ضرر ناشی از نکول توسط استانداردهای قانون‌های نظارتی تخمین زده می‌شود. تفاوت در مقادیر این پارامتر به مواردی از قبیل میزان و نوع وثیقه بستگی دارد. کمیته بازل برای بدهی‌هایی با وثیقه معتبرتر میزان LGD را ۵۰٪ بدهی‌ها و برای بدهی‌هایی با وثیقه دست پایین‌تر LGD را ۷۵٪ بدهی‌ها در نظر گرفته است. (کمیته بازل، ۲۰۰۱)

شرکت‌های بزرگ می‌توانند دارایی‌های خود را برای وام‌گیری توثیق نمایند یا در شرایط اضطراری دارایی‌های خود را بفروشند. ولی شرکت‌های کوچک نسبت به شرکت‌های بزرگ از امکانات کمتری برای اعطای وثیقه به بانک برخوردار هستند. بنابراین به این صورت در نظر می‌گیریم که شرکت‌های کوچک دارای ضرر ناشی از نکول ۷۵٪ هستند و شرکت‌های بزرگ نیز ضرر ناشی از نکول ۵۰٪ دارند.

به روز رسانی جزء خطای اعتباردهنده

برای اعتباردهنده باید فرآیند یادگیری را برای به روز کردن جزء خطای احتمال نکول در نظر بگیریم. به این صورت که هر شرکتی که از بانک وام می‌گیرد و در پایان سال نکول نکرده و وام خود را به موقع پرداخت می‌کند، بانک جزء خطای تخمین احتمال نکول آن‌را کاهش می‌دهد. که با توجه به ریسک کمتر شرکت‌های بزرگتر، مقدار کاهش خطا برای آن‌ها بیشتر خواهد بود.

۵- نتایج پژوهش

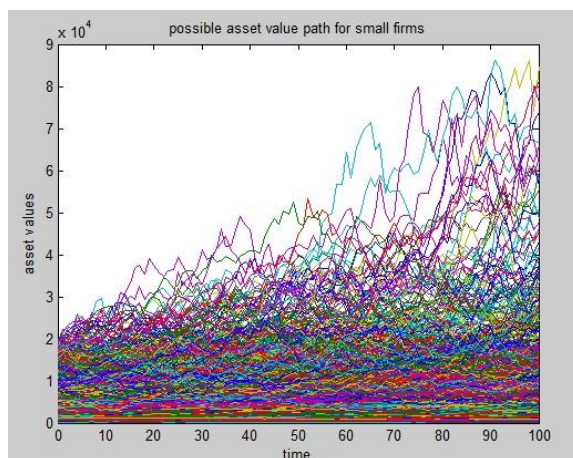
مدل توسط نرم‌افزار متلب ساخته شده است به طوری که دوره‌های وام‌دهی را ۱۰۰ دوره یا ۱۰۰ سال در نظر گرفته‌ایم و فرض کرده‌ایم که طی این ۱۰۰ دوره یک فرد اعتباردهنده مسئولیت تصمیم‌گیری برای اعتبار را برعهده دارد، که هرچند فرضی است که به دلیل طولانی بودن زمان، امکان آن وجود ندارد ولی با توجه به این‌که مدل مورد نظر شبیه‌سازی می‌شود برای مقایسه بهتر نتایج لازم است.

همچنین تعداد شرکت‌هایی که به صورت بالقوه از بانک درخواست اعتبار می‌کنند را ۱۰۰۰ شرکت در نظر می‌گیریم که در هر دوره به صورت رندمی n (بین ۵ تا ۲۰ برای شرکت‌های بزرگ و بین ۱۰ تا ۴۰ برای شرکت‌های کوچک) شرکت را انتخاب می‌کنیم تا درخواست اعتبار داشته باشند.

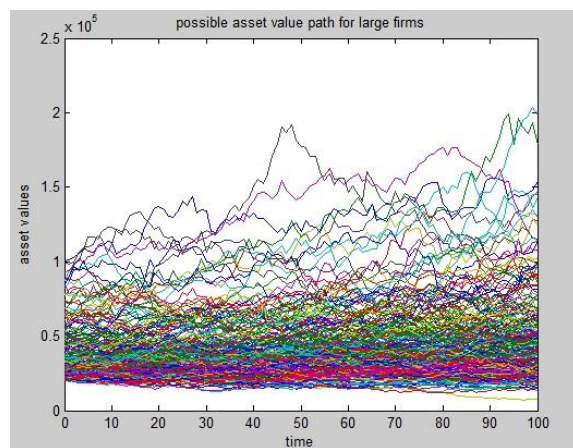
نتایج شبیه‌سازی دارایی شرکت‌ها

یکی از انواع فرآیندهای تصادفی مهم که در مدل‌های ریاضی مالی مشاهده می‌شود حرکت براونی هندسی می‌باشد. از کاربردهای مهم این فرآیند که در مطالعات بسیاری دیده می‌شود، این فرض است که ارزش دارایی‌های ریسکی از یک حرکت براونی هندسی تبعیت می‌کنند، که اجازه تجزیه و تحلیل کمی را به ما می‌دهد.

بنابراین از فرآیند براونی هندسی برای شبیه‌سازی تغییرات دارایی شرکت‌ها طی زمان استفاده می‌کنیم. به این منظور بعد از اینکه در گام اول الگوریتم مقداردهی اولیه مقادیر را انجام دادیم، به ایجاد این مقادیر می‌پردازیم که نتایج آن برای شرکت‌های کوچک و بزرگ به صورت جداگانه، در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل ۱: توزیع دارایی شرکت‌های کوچک طی ۱۰۰ دوره زمانی

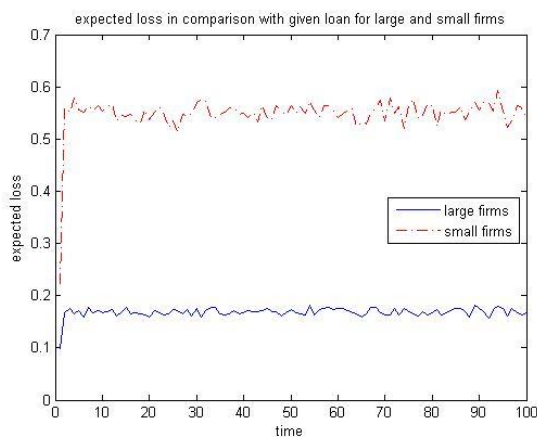


شکل ۲: توزیع دارایی شرکت‌های بزرگ طی ۱۰۰ دوره زمانی

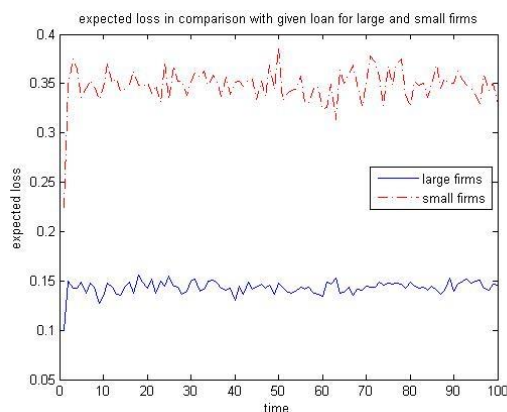
هرچند شکل‌هایی که برای شبیه‌سازی دارایی شرکت‌ها نشان داده شد به دلیل تعداد زیاد شرکت‌ها کاملاً قابل فهم نیست، ولی می‌توان متوجه شد که نوسان دارایی‌های شرکت‌های کوچک‌تر بیشتر است.

نتایج شبیه‌سازی برای آستانه نکول مشخص

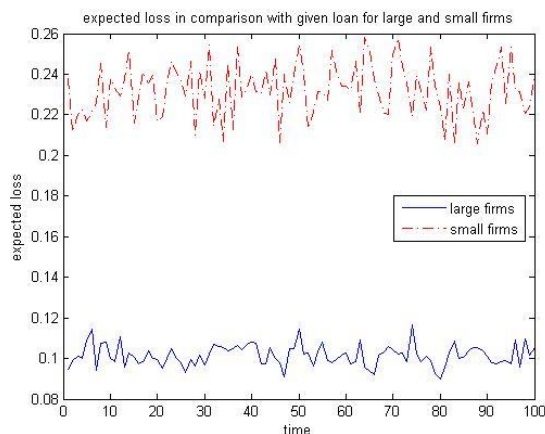
نتایج شبیه‌سازی برای سه تصمیم اعتباری، توزیع ضرر را طی ۱۰۰ دوره شبیه‌سازی، با در نظر گرفتن حد PPD برابر با ۰/۰۸، نشان می‌دهد. زمانی که فرد اعتباردهنده گزینه لغو قرارداد را با مشتریان بانک با احتمال نکول بیش از آستانه مورد نظر بانک (گزینه ۳) انتخاب می‌کند، نسبت به گزینه‌ای که قراردادها را نصف می‌کند (گزینه ۲) و زمانی که کار با آن‌ها را ادامه می‌دهد (گزینه ۱)، ضرر اعتباری کمترین مقدار را دارد. همان‌طور که در نمودارها در ادامه نشان داده می‌شود، در محور عمودی میزان ضررهای اعتباری نسبت به وام داده شده قرار دارد (به عنوان مثال عدد ۰/۷ به این معنی است که به میزان ۷۰ درصد وام داده شده ضرر اعتباری داشته‌ایم) و در محور افقی نیز زمان نشان داده شده است که از ۰ تا ۱۰۰ است.



شکل ۳: میزان ضرر مورد انتظار برای گزینه تصمیم‌گیری ۱ با آستانه نکول ۰/۰۸ برای شرکت‌های بزرگ و کوچک



شکل ۴: میزان ضرر مورد انتظار برای گزینه تصمیم‌گیری ۲ با آستانه نکول ۰/۰۸ برای شرکت‌های بزرگ و کوچک



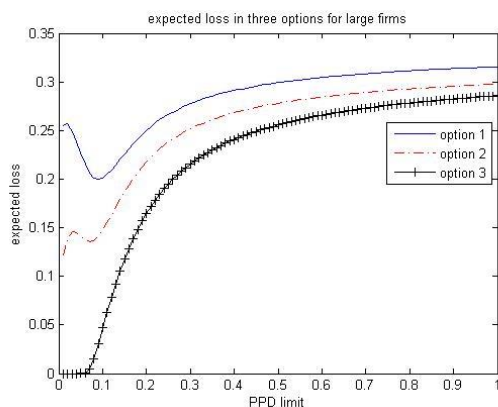
شکل ۵: میزان ضرر مورد انتظار برای گزینه تصمیم‌گیری ۳ با آستانه نکول ۰/۰۸ برای شرکت‌های بزرگ و کوچک

نتایجی که در ابتدا در مورد میزان ضررها گفته شد را به خوبی می‌توان از نمودارها دریافت که گزینه تصمیم‌گیری ۳ دارای ضررهای اعتباری پایین‌تری است. همچنین نکته‌ی دیگری را که می‌توان از نمودارها دریافت این است که با توجه به ریسک بالاتر شرکت‌های کوچک و همچنین بالا بودن میزان ضرر ناشی از نکول آن‌ها (LGD) نسبت ضرر در این گروه شرکت‌ها بیشتر است.

با دقت بیشتر در نمودارها می‌توان متوجه شد که در گزینه‌های تصمیم‌گیری ۱ و ۲ در سال‌های ابتدایی ضررهای اعتباری کم است، به این دلیل که در سال اول لیست پرتفوی اعتباری بانک خالی بوده، یعنی قبل از آن هیچ شرکتی مشتری بانک نبوده که بر اساس آن بتوان تصمیم‌گیری مربوط به گزینه‌ها را عملی کرد. و در نهایت پس از چند سال ضررهای اعتباری افزایش می‌یابند.

نتایج شبیه‌سازی برای بازه‌ای از آستانه نکول

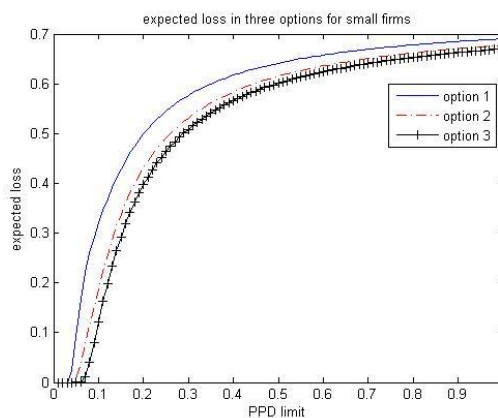
در ادامه نیز میانگین نتایج شبیه‌سازی را برای هر سه تصمیم پرتفوی اعتباری با تغییر آستانه احتمال نکول از ۰/۰۱ تا ۱، محاسبه کرده‌ایم و نمودار مربوط به آن‌ها را رسم کرده‌ایم که هر نقطه از نمودار میانگین ضرر را نسبت به وام داده شده، از $t=0$ تا $t=100$ نشان می‌دهد. که نمودار اول مربوط به شرکت‌های بزرگ است



شکل ۶: میزان ضرر اعتباری برای سه گزینه برای شرکت‌های بزرگ در بازه‌ی آستانه نکول ۰/۰۱ تا ۱

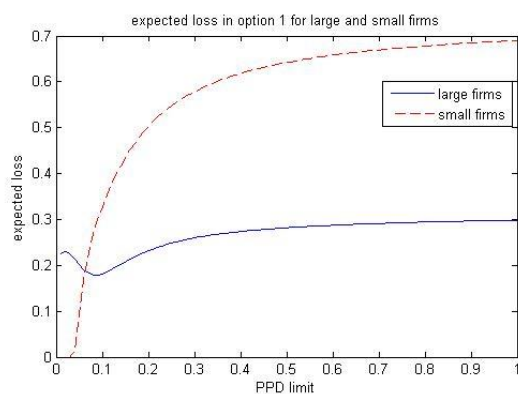
نمودار بالا نشان می‌دهد که شرکت‌های بزرگ در گزینه تصمیم‌گیری ۱ و ۲ در آستانه نکول پایین نیز دارای ضرر اعتباری بالایی هستند که گزینه ۳ در آستانه نکول تقریباً ۰/۲۵ به مقدار ضرر متناظر در گزینه ۱ می‌رسد. و در نهایت نیز هر چه آستانه نکول به مقادیر بالاتر نزدیک می‌شود شیب نمودارها کمتر می‌شود و حساسیت ضررها نسبت به افزایش آستانه نکول کمتر می‌شود. همچنین حساسیت گزینه ۳ در آستانه نکول در مقادیر پایین بسیار بالا است که این حساسیت تا حدود احتمال نکول ۰/۲۵ ادامه پیدا می‌کند و بقیه نمودار با گزینه‌های دیگر دارای شیب تقریباً برابری است.

نمودار زیر میزان ضرر نسبت به وام داده شده را برای هر سه گزینه برای شرکت‌های کوچک نشان می‌دهد.



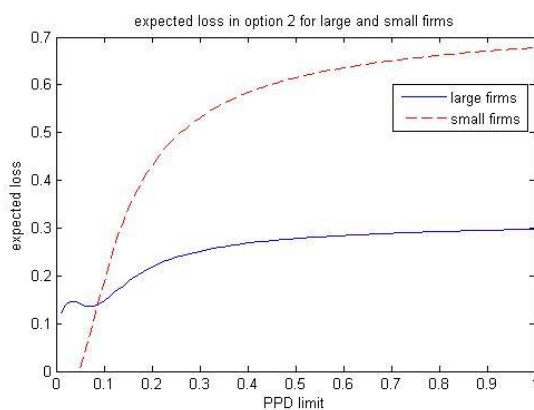
شکل ۷: میزان ضرر اعتباری برای سه گزینه برای شرکت‌های کوچک در بازه‌ی آستانه نکول ۰/۰۱ تا ۱

همان‌طور که در مبحث مربوط به شرکت‌های بزرگ‌تر گفته شد، ضررهای اعتباری برای گزینه‌های ۱ و ۲ در آستانه نکول پایین‌تری شروع به افزایش می‌کنند، ولی مقدار ضرر در این مقادیر کمتر از شرکت‌های بزرگ است. نمودارهای بالا نشان می‌دهد که زمانی که در مقادیر پایین آستانه نکول هستیم، درجه ریسک‌گریزی تأثیر مهمی بر روی ضررهای اعتباری دارد و برعکس. گزینه ۲ نیز تقریباً بین دو نمودار است ولی در نمودار شرکت‌های کوچک بیشتر نزدیک به نمودار گزینه ۳ است. در مدل بانک مورد نظر، گزینه ۲ دارای ضررهای خیلی زیادی نیست ولی ضررهای آن همچنان از گزینه ۳ بیشتر است.

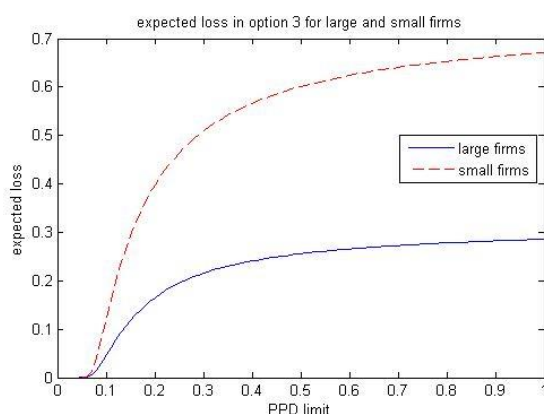


شکل ۸: میزان ضرر اعتباری برای گزینه ۱ برای شرکت‌های بزرگ و کوچک در بازه آستانه نکول ۰/۰۱ تا ۱

همچنین می‌توان میزان ضررهای اعتباری به نسبت وام داده شده را در آستانه نکول‌های متفاوت برای هر گزینه تصمیم‌گیری برای شرکت‌های کوچک و بزرگ مقایسه کرد که نمودارهای آن‌ها را در ادامه می‌آوریم.



شکل ۹: میزان ضرر اعتباری برای گزینه ۲ برای شرکت‌های بزرگ و کوچک در بازه آستانه نکول ۰/۰۱ تا ۱



شکل ۱۰: میزان ضرر اعتباری برای گزینه ۳ برای شرکت‌های بزرگ و کوچک در بازه‌ی آستانه نکول ۰/۰۱ تا ۱

همان‌طور که نشان داده می‌شود و قبلاً نیز گفته شده است ضررهای اعتباری مربوط به شرکت‌های کوچک در گزینه ۳ در تمام مقادیر آستانه نکول بیشتر از شرکت‌های بزرگ است ولی در گزینه‌های ۱ و ۲ برای مقادیر آستانه نکول کمتر از تقریباً ۰/۰۷ ضرر شرکت‌های بزرگ بیشتر است که دلیل آن می‌تواند این باشد که در آستانه احتمال نکول پایین به شرکت‌های کوچک که دارای ریسک بیشتری هستند کم‌تر وام داده می‌شود بنابراین تعداد نکول‌ها هم کم‌تر خواهد بود ولی شرکت‌های بزرگ در مقادیر آستانه پایین هم وام می‌گیرند و جزء مشتریان بانک می‌شوند بنابراین احتمال زیان بانک در اثر همکاری و نزدیکی با شرکت افزایش پیدا می‌کند و در نهایت در آستانه احتمال نکول تقریباً ۰/۰۷ میزان ضررهای اعتباری نسبت به وام‌های داده شده برای دو نوع شرکت برابر می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری و بحث

شبیه‌سازی با مدل‌سازی عامل‌گرا، تاثیر تصمیمات پرتفوی اعتباری اعتباردهندگان را بر روی ضررهای اعتباری نشان می‌دهد. در این تحقیق مهم‌ترین نتیجه‌ی تحلیلی حاصل، این است که، تصمیمات مربوط به پرتفوی اعتباری تاثیر مهمی بر روی ضررهای اعتباری و ریسک اعتباری بانک دارند. نتایج نشان می‌دهند که، لغو قرارداد با مشتریان با ریسک بالا، تاثیر مهمی بر پایین آوردن میزان ضررهای اعتباری دارد، پس از آن نیز گزینه نصف کردن رویارویی با مشتریان پرریسک اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی ضرر اعتباری دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که عدم تمرکز در ساختار تصمیم‌گیری بانک، برای تصمیم‌گیری‌های اعتباری می‌تواند بر روی ضررهای اعتباری تاثیر بگذارد از این جهت که بهتر است هیچ فردی به تنهایی تصمیم نهایی مربوط به اعتبارات را اتخاذ نکند و یا اینکه تصمیمات به صورت سیستمی اتخاذ شوند تا عوامل انسانی در آن دخیل نباشد.

همچنین بانک‌ها می‌توانند از عوامل انگیزشی برای اعتباردهندگان استفاده کنند تا این افراد از تصمیماتی که بر اثر روابط گرفته می‌شود خودداری کند و در اتخاذ تصمیمات اعتباری نهایت دقت را به کار برند تا در نهایت در اثر کاهش و یا افزایش مطالبات معوق و ضررهای اعتباری به ترتیب پاداش‌ها یا تنبیهاتی نصب این تصمیم‌گیرندگان شود و از تصمیمات نادرست جلوگیری شود. اگر بانک به اعتباردهندگان برای جلوگیری از زیان پاداش دهد (مثلاً به بانک‌دارانی با کمترین میزان زیان، ترفیع رتبه داده شود) به احتمال زیاد اعتباردهندگان در مورد مشتریانی که احتمال نکول آن‌ها بیشتر از آستانه شده است، تصمیم لغو قرارداد (گزینه ۳) را اتخاذ می‌کنند.

بررسی شرکت‌های بزرگ و کوچک به صورت تفکیک شده نیز می‌تواند به بانک‌ها کمک کند که با توجه به سیاست‌ها و هدف‌های خود ترکیب پرتفوی اعتباری خود را که شامل هر دو گروه است به صورتی بهینه تنظیم کنند و ضررهای اعتباری خود را شناسایی کنند. تفکیک انجام شده در تحقیق نتایج جدیدی را در برداشت که در مطالعات قبلی نظیر کار خانم سارا جانسون که مدل‌سازی آن مشابه تحقیق حاضر بوده است، انجام نشده است. تحقیق حاضر نه تنها به سؤالات محققان در زمینه مدل‌سازی عامل‌گرا پاسخ می‌دهد بلکه برای بانک‌ها و قانون‌گذاران نیز مفید است. نتایج حاصل از تحقیق به قانون‌گذاران کمک می‌کند تا هنگام تعیین ذخیره سرمایه همانطور که به دارایی‌های بانک توجه می‌کنند به تصمیمات مربوط به پرتفوی اعتباری بانک نیز توجه کنند. در بانک نیز مدل‌سازی عامل‌گرا می‌تواند به صورت بالقوه برای رتبه‌بندی اعتباری داخلی^{۲۰} (IRB) بانک استفاده شود.

فهرست منابع

- * اصول مدیریت ریسک اعتباری، (۲۰۰۰)، ترجمه (لیدا رنجبر)، انتشارات کمیته نظارت بر بانکداری بانک تسویه بین‌المللی.
- * خدائی، محمد؛ قلمی، سمیرا، (۱۳۹۲)، "بررسی عوامل کلیدی مؤثر بر ریسکنکول بانکهای پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران"، فصلنامه بورس اوراق بهادار، شماره ۲۱، ۹۳-۱۱۳.
- * رضایی، حسین؛ سرگلزایی، مصطفی؛ مهرورز، ابراهیم، (۱۳۹۱)، "مدیریت ریسک پرتفوی اعتباری و مدل‌سازی آن با روش CR+ در بانک رفاه"، سومین کنفرانس ریاضیات مالی و کاربردها. دانشگاه سمنان
- * فلاح شمس، میرفیض؛ رشنو، مهدی، (۱۳۸۷)، "مدیریت ریسک اعتباری در بانکها و موسسات مالی و اعتباری"، تهران: دانشکده علوم اقتصادی.
- * Basel Committee on Banking Supervision, (2001), "The Internal Ratings-Based Approach Supporting Document to the new Basel Capital Accord".
- * Biggs, S; Bedard, J; Gaber, B; Linsmeier, T; (1985), "The effects of task size and similarity on the decision behavior of bank loan officers", Management Science, 31, 970-987.
- * Bonabeau, e; (2003), "Don't trust your gut". Harvard Business Review, 5, 116-123.
- * Danos, P; Holt, D; Imhoff, E; (1989), "The use of accounting information in bank lending decisions", accountin Accounting, Organizations, and Society, 14, 235-246.

- * Davidson, R; Wright, M; (2001), "The effect of auditor attestation and tolerance for ambiguity in commercial lending decisions", Journal of Accountancy, 89-90.
- * Dominique, r; (2002), "The KMV model".
- * Jonsson, s; (2012), "An agent-based model of post-credit decision actions and credit losses in banks", Centre for banking and finance.
- * Lozano, F; Lozano, J; García, M; (2007), " An artificial economy based on reinforcement learning and agent-based modeling".
- * McNamara, G; Bromiley, P; (1997), " Decision making in an organizational setting: Cognitive and organizational influences on risk assessment in commercial lending", Academy of Management Journal, 40, 1063-1088.
- * Smojver, S; (2012), "Analysis of Banking Supervision via Inspection Game and Agent-Based Modeling", Central european conference on information and intelligent systems page , 355-493.
- * Sribljcinovic, A; Skunca, O; (2003), "An introduction to agent based modeling and simulation of social processes", interdisciplinary description of complex system, 1(1-2), 1-8.
- * Zheng, M; (2012), "Based on NetLogo Simulation for Credit Risk Management", Computer Science and Engineering, 395-401

یادداشت‌ها

- ¹ Agent-Based modeling
- ² Credit Suisse Financial Products
- ³ Santa Fe
- ⁴ Jonsson
- ⁵ Brock
- ⁶ Hommes
- ⁷ Xiong, Guo Cui
- ⁸ Slaven Smojver
- ⁹ Minrui Zheng
- ¹⁰ Biggs et.al
- ¹¹ Danos
- ¹² Davidson , Wright
- ¹³ Lezano
- ¹⁴ KMV-Merton
- ¹⁵ Stable
- ¹⁶ Dominique
- ¹⁷ Autoregressive
- ¹⁸ Crosbie and Bohn
- ¹⁹ Loss given default
- ²⁰ Internal Ratings-Based Approach