مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره بیستم / پاییز ۱۳۹۳

تخمین ذخیره سرمایه ریسک عملیاتی در صنعت بانکداری با استفاده از رویکرد توزیع زیان (LDA)

هاشم نصرتی[۱]
کامران پاکیزه[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۰

چکیده

هدف اصلی این مقاله معرفی و پیاده سازی یکی از رویکردهای پیشرفته به نام رویکرد توزیع زیان در محاسبه ذخیره سرمایه در قالب مطالعه موردی برای یکی از بانک‌های ایران می‌باشد. تمرکز اصلی در این مقاله بر مفاهیم کمی سازی ریسک عملیاتی و استفاده از داده‌های زیان پایگاه داده، توزیع‌های شدت و فراوانی زیان تخمین زده شده و سپس تخمین توزیع تجمیع شده با استفاده از الگوریتم مونت کارلو است در ادامه با در نظر گرفتن ساختار همبستگی مقدار ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی محاسبه شده و مقدار ذخیره به دست می‌آید. برای مدلسازی شدت زیان در کنار توزیع‌های کلاسیک، از نوع خاصی از توزیع‌های دنباله پهن به نام توزیع‌های آلفا پایدار استفاده شده است. نتیجه نهایی این مقاله،پیاده سازی رویکرد توزیع زیان و عملکرد بهتر توزیع‌های پایدار نسبت به توزیع‌های کلاسیک انتخاب شده، در تخمین شدت زیان است.

واژه‌های کلیدی: ریسک عملیاتی، کمیته نظارت بانکی بال، ذخیره سرمایه، رویکرد اندازه گیری پیشرفته، رویکرد توزیع زیان، توزیع‌های پایدار، ارزش در معرض ریسک، ارزش در معرض ریسک شرطی.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مالی، دانشگاه علوم اقتصادی، ایران hashem_nosrati@yahoo.com
۲- عضو هیات علمی، دانشگاه علوم اقتصادی، ایران k.pakizeh@ues.ac.ir

۱- مقدمه

تراکنش‌های ناموفق ، اشتباهات مکرر در انجام امور و اتلاف وقت، دزدی از حساب‌های مشتریان بانکی از جمله تجربیات ناخوشایندی است که ممکن است هر یک از بانک ها و یا افراد با آن مواجه شده باشند. رویدادهای فوق به همراه رویدادهایی از قبیل اختلاس‌های پیش آمده در سالهای اخیر در سازمان‌های مختلف، بخصوص بانکها، شرکت‌های بیمه ، تامین اجتماعی ، گمرک و غیره همگی حاکی از آسیب پذیری سازمان‌ها از محل فعالیت‌های کسب وکار است. نبود کنترل کافی و فعالیت‌های پیشگیرانه در خصوص جلوگیری از اختلاس در سازمان‌های مختلف بخصوص بانک‌ها منجر با اختلاس مبالغ هنگفت از سرمایه ملی به دست برخی از مدیران وکارمندان و سایر افراد سودجو شده است شدت برخی از این اختلاس‌ها چنان هنگفت بوده است که تبدیل به بحث داغ مجلس، جراید و سایت‌های خبری شده است. شکل گیری رویدادهایی از این قسم باعث کاهش اعتماد عمومی به شبکه بانکی کشور و دیگر موسسات و سازمان‌ها می‌شود و از جنبه اقتصادی چنین رویدادهایی جوانه‌های کار و تلاش و نورآوری را در احاد جامعه می‌خشکاند. ابعاد فرهنگی و بین المللی اثرات چنین اعمالی نیز قابل اقماض نیست. در صورت وجود اجرای قوانین سفت و سخت و برخورد با مسببان امر در یک فضای رقابتی اهمیت رویدادهای فوق حیاتی است تا آنجا که ممکن است باعث ورشکستگی کامل بانک شود. تجربه زودهنگام دنیای غرب در مواجه با چنین مشکلاتی، فلسفه شکل گیری نگرش جدیدی در مدیریت رخدادهای زیانبار ناشی از فعالیت‌های کسب و کار، تحت عنوان مدیریت ریسک عملیاتی شده است. سازمان‌های مختلفی برای ایجاد رویکرد مدیریت ریسک عملیاتی تلاش کرده اند در این میان کمیته نظارت بانکی بال با مشارکت عمده کشورهای بزرگ دنیا و با وضع قوانینی فرای قوانین ملی کشورهای عضو، تلاش کرده است تا اقدامات موثری در زمینه پیاده سازی سیستم مدیریت ریسک عملیاتی در صنعت بانکداری بکار گیرد. تقریبا چارچوب همه پژوهشهای انجام شده در زمینه ریسک عملیاتی محدود به قوانین وضع شده از طرف کمیته بال است. این کمیته مدیریت ریسک را از نظر ساختار سازمانی تحت نظر هیئت مدیره در نظرگرفته است و قوانین وضع شده از طرف آن برای مدیریت مناسب ریسک عملیاتی، لازم الاجرا می‌داند. بعلاوه مدیریت ریسک عملیاتی در بانک را تنها زمانی محقق می‌داند که به آن همانند یک فرآیند جاری بین تمامی سطوح اجرایی نگریسته شود.

کمیته بال، یکی از کمیته های بانک تسویه‌های بین الملل BIS[1] که در زمینه تدوین قوانین مدیریت ریسک در موسسات مالی سراسر جهان پیشرو می‌باشد، اولین نسخه بحث در خصوص حداقل کفایت سرمایه(BCBS04, July 1988) را در جولای سال ۱۹۸۸ به دنیا معرفی کرد که بعدها به بال I معروف شد. این دستور العمل مباحث مربوط به ریسک اعتباری را در برداشت بعلاوه در سال ۱۹۹۶ به انضمام اصلاحیه مربوط به مباحث ریسک بازار انتشاریافت. درژوئن۱۹۹۹نخستین پیشنویس بیانیه دوم توسط کمیته بال به دنیای بانکداری عرضه شد که در آن ضمن معرفی ریسک عملیاتی به عنوان دسته جدیدی از ریسک‌ها در صنعت بانکداری، راهکارهای محاسبه حداقل کفایت سرمایه معرفی شد. در سال ۲۰۰۶ نسخه کامل تری از توافق نامه بال II معرفی شد(BCBS128, June 2006). تحت رویکردهای اندازه گیری پیشرفته (AMA)

معرفی شده در این توافق نامه، ذخیره سرمایه ریسک عملیاتی برابر با فاصله زیان مورد انتظار از سنجه ریسک ارزش در معرض ریسک با سطح اطمینان ۹۹/۹٪ است. هیچ روش خاصی برای محاسبه ذخیره سرمایه بطور صریح مشخص نشده است. برخی از مشهور ترین رویکردهای اندازه گیری پیشرفته شامل رویکرد توزیع زیان[۲](LDA)، رویکرد اندازه گیری داخلی[۳](IMA) و رویکرد کارت امتیاز[۴](SCA) می‌باشند. این پژوهش در صدد پیاده سازی رویکرد توزیع زیان در یکی از بانک های داخل می باشیم.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

حفظ و نگهداری سرمایه کافی و متناسب با مخاطرات موجود، منبع اصلی اعتماد عمومی به هر بانک بطور اخص، و سیستم بانکی بطور اعم است. از سوی دیگر سرمایه مناسب و کافی یکی از شرایط لازم برای حفظ سلامت نظام بانکی است و هر یک از بانک‌ها و موسسات اعتباری برای تضمین ثبات و پایداری فعالیت‌های خود باید همواره نسبت مناسبی را میان سرمایه و ریسک موجود در دارائی‌های خود برقرار نمایند. پژوهشگران زیادی نشان داده‌اند که ابعاد فاجعه آمیز بحران‌های بانکی در مورد بانک‌هایی که از وضعیت سرمایه‌ای مناسب‌تری برخوردار بوده‌اند محدودتر بوده است. زیرا علاوه بر پوشش قسمتی از زیان ها، یک بانک با سرمایه کافی زمان بیشتری را برای بررسی مشکلات و مواجهه صحیح با آنها در اختیار دارد.

کمیته بال در سال ۲۰۰۴ ذخیره سرمایه برای ریسک عملیاتی را مجموع زیانهای غیره منتظره[۵](UL) و زیانهای مورد انتظار[۶](EL) تعریف می‌کند. خیلی از بانک‌ها EL را به دلیل فراوانی زیاد به صورت هزینه در صورت‌های مالی خود لحاظ می‌کنند یا برای آنها ذخیره در نظر می‌گیرند. کمیته بال برای کشورهایی که سیستم حسابداری ملی آنها نگهداری ذخیره جهت پوشش EL را در چارچوب قوانین حسابداری ملی امکان پذیر کرده است مجاز می‌داند تا ذخیره سرمایه ریسک عملیاتی را معادل UL در نظر بگیرند. شکل ۱ ابعاد زیان عملیاتی را تشریح می‌کند. زیانهای بیشتر از حد بالائی تخمین زده شده UL را زیانهای فاجعه بار[۷] یا زیانهای شدید[۸] می‌نامند و برای آنها هیچ ذخیره سرمایه ای در نظر گرفته نمی‌شود با این وجود بانک‌ها می‌توانند از پوشش بیمه ای برای این دسته از زیانها استفاده کنند.

نکته مهم در مورد داده‌های استفاده شده در تحقیقات خارجی، مساله محرمانه‌گی آنها است. داده‌ها در چنین تحقیقات به چندین شکل مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، در برخی از تحقیقات فقط از پایگاه داده زیان داخلی یک بانک خاص استفاده شده است و یا از داده‌های زیان خارجی (داده‌های موجود در پایگاه داده‌های بین المللی و داده‌های عمومی که در رسانه‌ها اعلام می‌شود) به صورت انفرادی و یا به صورت ترکیبی با داده‌های خارجی استفاده می‌شود. در همه موارد نام بانک‌ها به دلایل امنیتی و پرهیز از افشای اطلاعات محرمانه، اعلام نشده است.

مقاله فارچوت و همکاران[۹](۲۰۰۱) جزء اولین تحقیقات است که به بررسی رویکرد توزیع زیان می‌پردازد و آنها در این مقاله به صورت تفصیلی رویکرد توزیع زیان را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق چارچوب رویکرد توزیع زیان برای محاسبه سرمایه اقتصادی ریسک عملیاتی با جزئیات تحلیلی بیان شده تا

از این طریق رابطه ای بین این رویکرد با روش اندازه گیری داخلی یافت شود. یافته‌های این پژوهش ناظر به دو مساله است؛ یکی یافتن شرایطی که هر دو روش با فرض این که شدت زیان دارای توزیع لگ نرمال و فراوانی دارای توزیع پواسون است، مقدار یکسانی را به عنوان ذخیره سرمایه محاسبه نمایند و دیگری بیان شاخص نمایه ریسک بانک بر حسب اطلاعات توزیع‌های فراوانی و شدت زیان است که در رویکرد اندازه گیری داخلی استفاده می‌شود.

فونتنوول و همکاران[۱۰](۲۰۰۳)با استفاده از داده‌های عمومی جمع‌آوری شده توسط موسسات غیر انتفاعی جمع آوری داده[۱۱]، اقدام به تخمین ذخیره سرمایه ریسک برای بانک‌های بزرگ بین المللی نمودند. آنها نشان دادند که سرمایه مورد نیاز برای پوشش ریسک عملیاتی از میزان مورد نیاز برای ریسک بازار بیشتر است. مقدار سرمایه تخمینی محاسبه شده برای پوشش ریسک عملیاتی بعد از رفع میزان تورشی که در گزارش داده‌های زیان خارجی وجود داشت، بین ۲ تا ۷ میلیارد دلار اعلام شده است. آنها نشان دادند، علیرغم این که داده‌ها در مقیاس‌های متفاوت هستند (بر اثر عواملی همچون؛ میزان درآمد، نوع شهر و میزان پوشش‌های بیمه ای) ولی از مدل‌های آماری خاصی تبعیت می‌کنند. به عنوان مثال، از خانواده توزیع پارتو به عنوان توزیع شدت زیان و توزیع پواسون به عنوان توزیع فراوانی استفاده کردند.

فراچوت و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهش دیگری، مراحل کامل پیاده سازی فنی رویکرد توزیع زیان را به صورت گام به گام و با محوریت استفاده از برخی محاسبات عددی به منظور سنجش میزان دقت ذخیره سرمایه بیان نمودند. اولین نتیجه این تحقیق، به حل مساله تورش در گزارش‌دهی داده‌ها در پایگاه داده می‌پردازد که در آن با به کارگیری روش‌های حدکثر درستنمایی مناسب در حین برخورد داده‌های زیان خارجی، روش برطرف نمودن تورش داده‌ها را معرفی شده است. دومین یافته تحقیق، استفاده از فواصل اطمینان به عنوان ابزاری برای کاهش خطا در زمان محاسبه ذخیره سرمایه با داده‌های ناکافی است. و در نهایت با استفاده از برخی تکنیک‌های عددی، فاصله اطمینان مناسب برای پیش بینی مقدار نهایی ذخیره سرمایه معرفی شده است.

چاوز و همکاران[۱۲] (۲۰۰۵) در پژوهشی به بررسی مساله مدلسازی تئوری مقدار فرین و فرآیند مدلسازی ساختار وابستگی بین داده‌های زیان عملیاتی پرداختند. آنها نشان دادند که مقدار فاصله اطمینان بیان شده در مستندات بال برای محاسبه مقدار ذخیره سرمایه در مدل‌های مختلف تئوری مقدار فرین، مقدار نسبتا بزرگی است که در پاره‌ای از موارد می‌توان مقادیر کوچک تر را هم در نظر گرفت. برای نشان دادن این مطلب، آنها با تغییر مقدار αبرای ساخت فواصل اطمینان و با به کارگیری تئوری مقدار فرین با فرض وجود نامانایی برای داده‌های فراوانی و شدت زیان توانستند ادعای خود را مبنی بر عدم اتکای مقدار سطح اطمینان ۹۹/۹٪ بیان شده در مستندات بال اثبات نمایند. همچنین در این تحقیق نشان داده شد که به دلیل تعداد کم داده‌های شدت زیان تجمیعی سالانه و با توجه به عدم دسترسی به فرم بسته تابع توزیع آن، ذخیره سرمایه کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردد.

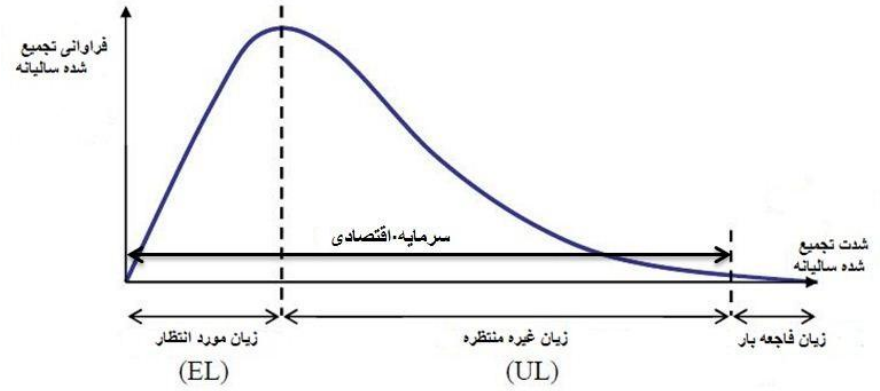
جامع ترین پژوهش در مورد مدل‌های توزیعی محاسبه ذخیره سرمایه ریسک عملیاتی که مورد توجه اکثر محققین ریسک عملیاتی واقع شده، با مطالعه دوتا و پری[۱۳](۲۰۰۷) با داده‌های حاصل از فعالیت جمع آوری داده شماره ۴ (LDCE2004) با محوریت دم توزیع‌ها، انجام شد. آنها در این تحقیق دریافتند که استفاده از چندین مدل در یک بانک به طور معناداری تخمین‌های بزرگتری از ذخیره سرمایه را نتیجه می-دهد (حساسیت داده‌ها به مدل‌های مختلف را نشان دادند). از سوی دیگر، برازش مدل خاص از پیش تعیین شده‌ای (مثل یک توزیع پارتو تعمیم یافته برای دم داده همه بانک‌ها) برای بانک‌های مختلف، نتایج غیر منطقی و ناسازگاری را بین آنها نشان داد (به عنوان مثال، با استفاده از یک توزیع پارتو تعمیم یافته در بانک‌های مختلف نتایج متفاوتی را نشان داد). دوتا و پری تاکید می‌کنند که می‌توان داده‌های زیان عملیاتی را در چارچوب رویکرد توزیع زیان بدون اعمال برش بر داده‌ها در هنگام گزارشگری در پایگاه (کوچکترین سطح گزارشگری داده‌ها در پایگاه داده زیان) مدل نمود چرا که هیچ یک از توزیع‌هایی که آنها در سطح خطوط کسب و کار، رویدادهای زیانبار و یا کل سطح بانک برازش نمودند در آزمون‌های نیکویی برازش رد نشدند، با این حال تمرکز آنها بر مدل‌سازی داده‌های فرین که در دم توزیع‌های شدت زیان عملیاتی قرار می‌گیرند است، چرا که اعتقاد دارند مساله اصلی در مدلسازی شدت زیان، ساختار مدل‌سازی دم داده‌ها می-باشد. از طریق مقایسه رده‌ای از توزیع‌های با دنباله پهن، رده خانواده توزیع‌های نمایی، توزیع پارتو تعمیم یافته و توزیع "جی- اچ[۱۴]" برخلاف تحقیقات گذشته که عمدتا از مدل‌های تئوری مقدار فرین برای مدلسازی دم داده‌ها استفاده می‌نمودند، نشان دادند که فقط استفاده از توزیع پارتو تعمیم یافته برای دم نمی‌تواند به خوبی عمل کند. به عنوان مثال، آزمایشات گرافیکی مبتنی بر تحلیل‌های چولگی و کشیدگی داده‌ها، آنها را به سمت استفاده از توزیع جی-اچ رهنمون ساخت.

جیاکومتی و همکاران[۱۵] (۲۰۰۷) با بررسی خواص زیانهای عملیاتی با استفاده از داده‌های بانک‌های بزرگ اروپایی، نشان دادند که توزیع فراوانی از توزیع فرآیند پواسن همگن پیروی می‌کند بعلاوه آنها استفاده از انواع توزیع‌های با دنباله پهن را برای شدت زیان مورد استفاده قرار داده اند. جیاکومتی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از کاپیولا جهت مدلسازی همبستگی بین سلول‌های ماتریس نشان دادند که در صورت عدم استفاده از کاپیولا ممکن است ذخیره سرمایه بیش از حد تخمین زده شود. آنها برای مدلسازی داده‌های زیان از توزیع‌های آلفا پایدار و توزیع‌های با دنبال پهن استفاده کردند. چرنوبای و ریچف[۱۶](۲۰۰۴) به مطالعه توزیع‌های پایدار و فرآیند ناهمگن پواسن برای مدلسازی شدت و فراوانی داده‌های زیان ریسک عملیاتی پرداختند.

ذخیره سرمایه : ذخیره سرمایه، سرمایه قانونی[۱۷] یا حداقل الزام سرمایه ای[۱۸]، میزان سرمایه ای است که از طرف نهاد قانونگذار تعیین می‌شود تا بانک‌ها با نگهداری آن، در برابر زیانهای احتمالی ایمن باشند.

سرمایه اقتصادی: عددی که نمایه ریسک جاری (ریسک اعتباری، بازار و عملیاتی یا همه ریسک ها) را خلاصه می‌کند سرمایه اقتصاد نامیده می‌شود. این سرمایه بر اساس نظر متخصصان بانک معین می‌گردد و

تحت نظارت و بازبینی نهاد قانونگذار نمی‌باشد. با وجود تفاوت‌هایی که بین سرمایه اقتصادی و ذخیره سرمایه وجود دارد، کاملا با یکدیگر در ارتباط می‌باشند.



شکل ۱: تشریح ابعاد زیان ناشی از ریسک عملیاتی

اثر[۱۹]: اثر شامل نتایج ناشی از رویداد زیانبار بر سازمان یا افراد است که می‌تواند به صورت اثر مالی مانند زیان پولی یا به صورت اثر غیرمالی مانند آسیب به شهرت وجود داشته باشد.

جدول ۱ تقسیم بندی انواع رویدادهای زیانبار از دیدگاه کمیته بال

انواع رویدادهای زیانبار	
CPBP	مشتریان، محصولات و روشهای خطوط کسب و کار
DPHA	آسیب به دارائی‌های فیزیکی
BDSF	توقف در خطوط کسب و کار و خرابی سیستم‌های IT
EDPM	اجرا، تحویل و مدیریت فرآیند
IF	تقلب داخلی
EF	تقلب خارجی
EPWS	ایمنی محل کار و روشهای استخدام کارکنان

رویداد زیانبار[۲۰]: رویدادهایی هستند که به دلیل ریسک عملیاتی به وجود می‌آیند و در بردارنده زیان برای بانک می‌باشند. این رویدادها از طرف کمیته بال به هفت نوع تقسیم بندی می‌شوند (جدول۱).

خطوط کسب کار[۲۱]: شامل کلیه فعالیت‌های بانکی است که از طرف کمیته بال به هشت دسته تقسیم شده است (جدول۲) به هر یک از این دسته‌های یک خط کسب وکار می‌گویند.

جدول۲:تقسیم بندی خطوط کسب وکار از دیدگاه کمیته بال

	خطوط کسب و کار بانک	نماد
تامین مالی شرکتی	Corporate finance	BL1
فروش و بازرگانی	Trading and sales	BL2
بانکداری خرد	Retail banking	BL3
بانکداری تجاری	Commercial banking	BL4
پرداخت و تسویه	Payment and settlement	BL5
خدمات نمایندگی	Agency services	BL6
مدیریت دارائی ها	Asset management	BL7
کارگزاری خرد	Retail brokerage	BL8

ماتریس خطوط کسب و کار-انواع رویدادها[۲۲](BLETM): ماتریسی جهت تشکل گروههای ریسک است که سطرهای آن خطوط کسب و کار و ستون‌های آن انواع رویدادهای زیانبار می‌باشد.
زیان عملیاتی[۲۳]یا زیان: زیان مالی ناشی از رویدادهای زیانبار ریسک عملیاتی است.

۳- مدل های پژوهش

رویکردهای پیشرفته جایگاه ویژه‌ای در مدل‌سازی ریسک عملیاتی دارند و کاربرد آن برای مؤسسات بزرگ حاتزمعیارهای بخصوص ، تاکید شده است. در یک تقسیم‌بندی رویکردهای پیشرفته به دو دسته به نام‌های رویکردهای کمی آماری و رویکردهای کیفی تقسیم می‌گردند. رویکردهای کمی، روش‌هایی هستند که بر کمیت تأکید دارند و خود به سه دسته اصلی؛ اندازه‌گیری داخلی، رویکرد توزیع زیان و رویکردهای مدل محور تقسیم می‌شوند. ولی رویکردهای کیفی بیشتر مبتنی بر نظر متخصصان و مدیران بوده و برای تحلیل آنها از چارت‌ها و نمودارها استفاده می‌شود. از میان رویکردهای فوق در تحقیق حاضر به بررسی رویکرد توزیع زیان[۲۴](LDA) می‌پردازیم.

رویکرد توزیع زیان یک رویکرد پیشرفته برای محاسبه کفایت سرمایه است که از توزیع تعداد و توزیع‌های شدت زیان رخدادهای زیانبار استفاده می‌کند.این رویکرد در سال ۲۰۰۱ توسط کمیته بال پیشنهاد گردید که در آن ابتدا با استفاده از پایگاه داده بانک، برای هر یک از سلول‌های ماتریس خطوط کسب و کار و انواع رویداد توزیع‌های آماری فراوانی و شدت زیان سالانه را به طور جداگانه تخمین زده می‌شود، سپس با ترکیب این دو تابع، تابع توزیع زیان تجمیعی[۲۵] به دست می‌آید. با کم کردن زیان مورد انتظار از ارزش در معرض ریسک ۹۹/۹ درصد در تابع توزیع زیان تجمیعی، ذخیره سرمایه برای هر سلول به دست می‌آید سپس با در نظر گرفتن وابستگی بین سلول‌های ماتریس می‌توان ذخیره سرمایه کل بانک را به دست آورد.

برای بیان نحوه محاسبه به کمک LDA بایستی بعضی از مفاهیم را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

- بر طبق توافق نامه سرمایه ای کمیته بال خطوط کسب و کار و انواع وقایع زیان‌بـار بطـور مجـزا در نظر گرفته شده است و اندیسi و j به ترتیب برای خطوط کسب و کار و انواع وقایع زیان‌بار در نظـر گرفته می‌شود.
- $\xi(i,j)$ متغیر تصادفی شدت زیان را برای خط کسب‌وکار iام و نوع رویداد jام را نشان می‌دهد. همچنین تابع توزیع شدت زیان متغیر تصادفی $\xi(i,j)$ را با $F_{i,j}$ نشان می‌دهیم.
- $N(i,j)$ متغیر تصادفی تعداد رویدادهای زیانبار بین زمان‌های t و t+τ اسـت (در ایـن رابطـه τ دوره زمانی است که معمولا یک سال می‌باشد) که تابع جرم احتمال آن را بـا $p_{i,j}$ و تـابع توزیـع فراوانی زیان در خط کسب و کاriام و نوع رویداد jام را با $P_{i,j}$ نشان می‌دهـیم و بـه صـورت زیـر تعریف می‌کنیم:

$$P_{i,j}(n) = \sum_{k=0}^{n} p_{i,j}(k),$$

فرض کنید متغیر تصادفی کل زیان خط کسب و کار iام و نوع رویداد jام بین زمان‌های t و t+τ عبارت است از:

$$\upsilon(i,j) = \sum_{n=0}^{N(i,j)} \xi_n(i,j),$$

باشد و اگر تابع توزیع مربوط به متغیر تصادفی $\upsilon(i,j)$ را با $G_{i,j}$ نشان دهیم در این صورت هدف یافتن $G_{i,j}$ می‌باشد. تابع توزیع $G_{i,j}$را تابع توزیع تجمیع شده می‌نامند. در حالت کلی جهت یافتن تابع توزیع تجمیع شده $G_{i,j}$ دو رویکرد کلی به نام فرم بسته[۲۶] و فرم باز[۲۷] وجود دارد. رویکرد فرم بسته منجر به یافتن یک جواب تحلیلی برای مسئله می‌شود در حالی که رویکرد فرم باز منجر به حل مسائل به روشهای عددی با کمک کامپیوترهای می‌شود در نتیجه جواب ناشی از این رویکرد تقریبی می‌باشد.در تحقیق حاضر از الگورتیم مونت کارلو که یک نوع ریکرد فرم باز است، جهت یافتن تابع توزیع تجمیع شده استفاده می‌کنیم.

انتخاب درست توزیع‌های شدت و فراوانی زیان در مدل سازی مبتنی بر مدل‌های بیمه ای ریسک عملیاتی، اهمیت ویژه ای دارد. انتخاب مدل مناسب و میزان تحقق فرضیات مربوط به آنها، بر ریسک مدل تاثیر گذار می‌باشد و می‌تواند باعث تخمین ذخیره سرمایه بیشتر یا کمتر از حد نیاز شود درچنین شرایطی تحلیل نتایج به دست آمده چندان دقیق نخواهد بود. مطالعات زیادی در خصوص انتخاب مدل مناسب انجام شده است، با وجود این، بر سر انتخاب بهینه توزیع‌های فراوانی و شدت زیان، اجماع حاصل نشده است. در مطالعات انجام شده توسط الکساندار (۲۰۰۳)، موسی (۲۰۰۷)، یانگ و کلمن (۲۰۰۹)، و پانجر (۲۰۰۶) و غیره پر بسامدترین انتخاب‌ها برای توزیع‌های فراوانی، توزیع پواسن و دوجمله ای منفی می‌باشد.

انتخاب توزیع شدت زیان نیز همواره بحث برانگیز بوده است. یکی از طبیعی ترین معیارهای انتخاب توزیع برای شدت زیان، داده‌های تاریخی زیان می‌باشد. داده‌ها تحلیل‌گر را در انتخاب مدل و تخمین پارامترهای مدل انتخاب شده هدایت می‌کند پانجر (۲۰۰۶). بنابراین با توجه به ویژگی‌های داده‌های شدت زیان می‌توان تابع توزیع شدت زیان را انتخاب کرد. اولین ویژگی داده‌های شدت زیان ریسک عملیاتی، ماهیت وجودی آنها بر حسب مقدار پول است که این باعث می‌شود تا متغیر تصادفی شدت زیان، همواره مقادیر نامنفی به خود بگیرد. این مسئله مهم انتخاب توزیع‌های شدت در مدلسازی شدت زیان را محدود به توزیع‌هایی با حوزه تعریف مثبت می‌کند.

ویژگی دیگر این دادهها در نتیجه مطالعات انجام شده جیاکومتی و همکاران[۲۸](۲۰۰۷) آشکار شده است و نشان می‌دهد که حجم خیلی بزرگی از داده‌های زیان، شدت کمی دارند در حالی که حجم کمی از داده‌های زیان شدت بزرگی دارند. چنین ویژگی‌هایی که از مطالعه اکتشافی دادهها برآمده است، به ترتیب بیانگر ضریب کشیدگی بالا و ضریب اریبی به راست می‌باشد. این ویژگی‌ها به مثابه اطلاعات پیشین در مورد انتخاب توزیع‌های شدت مناسب می‌باشد. به عنوان مثال این ویژگیها باعث می‌شود تا انتخاب توزیع نرمال برای این دادهها مناسب نباشد. مطالعاتی از قبیل کروز (۲۰۰۲) ، چاوز و همکارن (۲۰۰۵) ، امبرچت (۲۰۰۴) ، موسکادلی[۲۹] (۲۰۰۴) و فنتونوول[۳۰] (۲۰۰۵) شاخص دم کمتر از یک را گزارش می‌دهند که بیانگر خاصیت دنباله پهنی شدت توزیع زیان‌ها می‌باشد.

توزیع‌های در نظر گرفته شده برای شدت زیان بر اساس ویژگی دادهها عبارات است از توزیع نمائی، توزیع گاما، توزیع وایبل و توزیع لگ نرمال و توزیع‌های پایدار می‌باشد. برای مطالعه بیشتر در خصوص توزیع‌های معرفی شده زیر، می‌توان به کتاب جانسون و همکاران[۳۱] (۱۹۹۵) وکوتز و کلیبر[۳۲] (۲۰۰۳) و برای آشنایی بیشتر با نحوه کاربرد توزیع‌ها در مدل‌سازی ریسک عملیاتی می‌توان به کتاب پانجر (۲۰۰۶) مراجعه کرد.

توزیع‌های پایدار[۳۳]، توزیع‌های پایدار لوی[۳۴] یا توزیع‌های آلفا-پایدار[۳۵]، خانواده‌ای غنی از توزیع‌ها می‌باشند که برای اولین بار در مطالعات لوی(۱۹۲۴) بر روی رفتار مجموع متغیرهای تصادفی مستقل معرفی شدند. این توزیع‌ها دامنه وسیعی دارد که از آن جمله می‌توان به توزیع‌های کوشی[۳۶] و گوسی[۳۷] و لوی[۳۸] اشاره کرد و همچنین این توزیع‌ها می‌توانند ویژگیهایی از قبیل اریبی[۳۹] و دنباله پهنی[۴۰] را در مدل‌سازی داده‌های در نظر بگیرند. مهمترین نقص استفاده کاربردی از توزیع‌های پایدار ناشناخته بودن فرم بسته تابع چگالی آنها، جز در موارد خاص گوسی، کوشی، لوی می‌باشد. با وجود این، با استفاده از روش‌های گوناگون از جمله تبدیل فوریه و روشهای انتگرال گیری عددی، تا حدود زیادی این مشکل قابل حل است.

تعریف: متغیر تصادفی X توزیع پایدار دارد اگر پارامترهای $0 < \alpha \le 2$ ، $\sigma \ge 0$ ، $-1 \le \beta \le 1$ و $\mu \in R$ به گونه‌ای موجود باشند که تابع مشخصه متغیر تصادفی X بصورت زیر باشد:

$$\text{Eexp}(i\theta X) = \begin{cases} \exp\left\{-\sigma^{\alpha}|\theta|^{\alpha}(1-i\beta(\text{sign}\,\theta)\tan\frac{\pi\alpha}{2})+i\mu\theta\right\} & \alpha \neq 1, \\ \exp\left\{-\sigma|\theta|(1-i\beta\frac{2}{\pi}(\text{sign}\,\theta)\ln|\theta|)+i\mu\theta\right\} & \alpha = 1. \end{cases}$$

پارامتر α شاخص پایداری وپارامترهای σ مقیاس، β چولگی و μ پارامتر مکان است که این پارامترها منحصر به فرد می‌باشند. sign(x) تابع علامت است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0. \end{cases}$$

تعریف فوق برگرفته از کتاب ساموردنیتسکی و تکو[۴۱](۱۹۹۴) می‌باشد. برای مطالعه عمیق تر درباره توزیع‌های پایدار تکنگاری[۴۲]های زولوتارف[۴۳](۱۹۸۶)، کریستف و والف[۴۴](۱۹۹۲)، ساموردنیتسکی و تکو[۴۵] (۱۹۹۴) ، جانیکی و ورون[۴۶](۱۹۹۴) ، نیکیاس و شاو[۴۷](۱۹۹۵)، یوچایکین و زولوتارف[۴۸](۱۹۹۹)و نولان[۴۹] (۲۰۱۲) بطور مبسوط به توزیع‌های پایدار پرداخته‌اند.

در فرآیند مدلسازی تلاش می‌شود تا بین انطباق کامل مدل بر واقعیت و سادگی حل آن تعادل برقرار شود. سادگی یک مفهوم نسبی است که منظور از آن تعداد کم پارامترهای مدل است. انطباق نیز بیانگر برازش خوب توزیع انتخاب شده بر دادهها می‌باشد. انتخاب مدل ساده‌تر باعث افزایش دقت برآورد و پایداری جواب‌های به دست آمده می‌شود ولی به دلیل تعداد کم پارامترها ممکن است مدل به خوبی بیانگر دادهها نباشد. استفاده از مدل‌های پیچیده باعث بیان بهتر دادهها و نزدیکی مدل به واقعیت می‌شود در حالی که جواب‌های به دست آمده چندان دقیق و پایدار نمی‌باشند. اصل پارسیمونی [۵۰] در مورد انتخاب مدل نیز بیان می‌دارد که ساده ترین مدلی که به اندازه کافی واقعیت را تبیین می‌کند بایستی انتخاب شود. در این تحقیق با در نظر گرفتن همه مدل‌های پیچیده و ساده به دنبال انتخاب بهترین مدل بر اساس معیارهای مناسب خواهیم بود.

به دلیل اهمیت وابستگی بین سلول‌ها ماتریس BLETM، کمیته بال (BCBS128, 2006, p. 152) استفاده از همبستگی در مدل‌سازی برای تخمین ذخیره سرمایه را مجاز می‌داند. تحقیق انجام شده توسط فراچوت و همکاران(2004) نشان می‌دهد که احتمالا منظور کمیته بال نوع سوم وابستگی یعنی وابستگی توزیع زیان تجمیعی می‌باشد. تحقیق صورت گرفته توسط چاپل و همکاران[۵۱] نشان می‌دهد که در نظر گرفتن وابستگی باعث صرفه جویی در ذخیره سرمایه بین ۳۰٪ تا ۴۰٪ خواهد شد. در ادامه تحقیق حاضر بر وابستگی بین توزیع زیان تجمیعی می‌پردازیم.

منظور از وابستگی(Dependence) وابستگی بین سلول‌های ماتریس BLETM است و متفاوت از وابستگی بین زیان‌های داخل سلول‌ها می‌باشد. ساختار وابستگی به دو صورت خطی و غیر خطی می‌تواند

وجود داشته باشد. همبستگی خطی (Liner Correlation) یک سنجه متداول برای پیاده سازی ساختار وابستگی خطی است در حالی که کاپیولا[۵۲] یک سنجه برای تعیین وابستگی غیر خطی می‌باشد.

کاپیولا تعمیمی از همبستگی است که به کمک آن می‌تواند ساختارهای پیشرفته تری از ساختار همبستگی خطی را مدل‌سازی کرد. با استفاده از کاپیولا می‌توان به مطالعه وابستگی دم توزیع‌ها پرداخت، بنابراین کاپیولاها برای مدل‌سازی وابستگی بین مقادیر فرین نیز مناسب می‌باشند.

تعریف: فرض کنید $F(x_1, x_2, \ldots, x_d)$ تابع توزیع توام متغیرهای تصادفی $X_1, X_2, \ldots, X_d$ باشد و $F_1(x_1) = P(X_1 \le x_1)$، $F_2(x_2) = P(X_2 \le x_2)$ ... و $F_d(x_d) = P(X_d \le x_d)$ توابع توزیع حاشیه ای باشند در این صورت کاپیولا را با علامت C یک تابع توزیع d بعدی بر $[0,1]^d$ است بطور که داشته باشیم:

$$F(x_1, x_2, \ldots, x_d) = P(X_1 \le x_1, X_2 \le x_2, \ldots, X_d \le x_d) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \ldots, F_d(x_d)).$$

اگر F_1، F_2 ... و F_d پیوسته باشند در این صورت C منحصر به فرد می‌باشد

مثال‌های بیشتر و نحوه ساخت کاپیولاها در کتاب جو (۱۹۹۷) ارائه شده است. برای مطالعه عمیق تر در خصوص کاپیولاها می‌توان به کتاب نلسون (۱۹۹۹) مراجعه کرد. دو نمونه از تحقیقات در زمینه مدل‌سازی ساختار همبستگی بین سلول‌های ماتریس توسط چاپل و همکاران (۲۰۰۴) و دالا و همکاران[۵۳] (۲۰۰۵) انجام شده است.

۴- روش شناسی پژوهش

روش بکار گرفته شده از بعد هدف کاربردی است و در حقیقت هدف اصلی از این تحقیق بکار گیری یک مدل جهت کمی‌سازی ریسک عملیاتی و اندازه گیری دقیق ذخیره سرمایه در داخل کشور در قالب رویکردهای اندازه گیری پیشرفته می‌باشد. در حین دستیابی به این هدف کلی، اهداف جزی زیر نیز دنبال می‌شوند:

- مطالعه جامع بر روش‌ها و نحوه مدلسازی اندازه گیری ریسک عملیاتی
- بهبود سطح کفایت سرمایه و افزایش درآمد بانک‌ها
- معرفی روش تخمین الزام سرمایه ای
- مقایسه توزیع‌های آماری معمول با توزیع‌های پایدار

قلمرو تحقیق شامل محدودیت‌های زمانی، مکانی و موضوعی تحقیق می‌باشد که نتایج تحقیقات ممکن است تا حدود زیادی به این محدودیت‌ها بستگی داشته باشد بنابراین لازم است که هر یک از محدودیت‌های مکانی، زمانی و جامعه آماری مورد استفاده توضیح داده شود تا نتایج به دست آمده از این تحقیق، توسط محققین دیگر قابل بررسی و نقد باشد.دوره زمانی این تحقیق در طی سال ۱۳۹۱ می‌باشد. ولی با توجه مستندات کمیته بال بکار گیری رویکرد اندازه گیری پیشرفته مستلزم شکل گیری داده‌های زیان در پایگاه

داده زیان حداقل به مدت سه سال می‌باشد و مطابق با مستندات کمیته بال تا شکل‌گیری چنین پایگاه داده ای می‌بایست از رویکرد پایه و یا استاندارد برای محاسبه ذخیره سرمایه ریسک عملیاتی استفاده کرد. عمدتا بانک‌ها در پایگاه داده‌های خود اطلاعات مربوط به رویدادهای زیانبار ناشی از خرابی سیستم، قطعی برق، قطعی در اینترنت یا حتی در بعضی از خطوط کسب و کار مانند بانکداری خرد و غیره را دارند که می‌توان از آنها در ماتریس نوع زیان و رویداد برای تخمن زیان بعضی از عناصر ماتریس خطوط کسب و کار و انواع رویدادها[۵۴] (BLETM) مانند بانکداری خرد استفاده کرد.

مکان تحقیق یکی از بانک‌های داخل کشور می‌باشد. با توجه به اینکه نتایج حاصل از این تحقیق در نتیجه استفاده از داده‌های زیان تاریخی بانک مورد نظر است برملا کردن نام بانک ممکن است به اعتبار بانک لطمه بزند لذا در سراسر تحقیق از بانک مورد مطالعه به بانک مفروض نام برده می‌شود.قلمرو موضوعی تحقیق در شاخه مالی و در حوزه ریسک قرار می‌گیرد و با توجه به انواع موضوعات ریسک، در زیر شاخه ریسک عملیاتی از تقسیم بندی ریسک توسط کمیته بال قرار می‌گیرد.در واقع جامع آماری شامل تمام بانک‌ها و موسسات مالی تحت نظارت بانک مرکزی است. با توجه به اینکه در زمان انجام تحقیق حاضر سیستم بانکی کشور از طرف اکثر نهادهای مالی خارجی تحریم‌های شده است، دسترسی به پایگاه داده زیان خارجی امکان پذیر نمی‌باشد. از طرف دیگر در داخل کشور به علت نبود یک پایگاه داده زیان ملی، امکان نمونه گیری به روش دیگری وجود ندارد و در نتیجه روش نمونه گیری در این تحقیق، روش نمونه گیری موردی می‌باشد. در تجزیه و تحلیل دادهها نیز از نرم افزار R استفاده شده است.

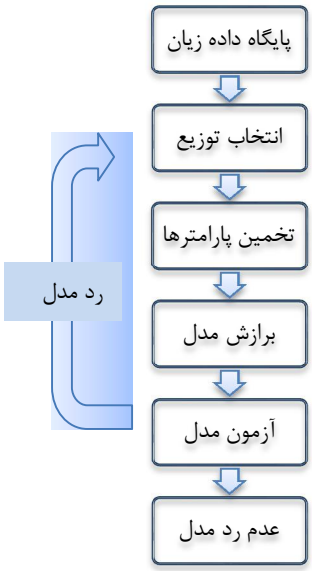
متغیرهای تصادفی این تحقیق شامل متغیرهای زیان می‌باشد. در این پژوهش به دو جنبه از زیان یعنی شدت و فراوانی زیان توجه داریم. شدت زیان مقدار پولی است که بانک در پی رخداد یک واقع زیانبار متضرر می‌شود. این مقدار معمولا با استفاده از ارزش دفتری، ارزش جاری، نظر خبرگان، برآوردهای آماری و غیره تخمین زده می‌شود. برای در نظر گرفتن این جنبه از زیان، به اندازه تعداد سلول‌های ماتریس خطوط کسب و کار و انواع وقایع زیانبار بانک مفروض، متغیر تصادفی از نوع پیوسته تعریف می‌کنیم. برای نمایش متغیر تصادفی شدت زیان خط کسب و کار iام و نوع واقعه زیانبار jام از نماد $\xi(i,j)$ استفاده می‌شود. تابع توزیع این متغیر را با $F_{i,j}$ نشان می‌دهیم. جنبه‌ی دیگر زیان که مورد توجه است، فراوانی زیان است که به صورت تعداد وقایع زیانبار در طول دوره زمانی یک ساله تعریف می‌شود. متغیر تصادفی فراوانی زیان از نوع گسسته می‌باشد و همانند متغیر تصادفی شدت زیان به تعداد سلولهای ماتریس متغیر تصادفی فراوانی زیان تعریف می‌کنیم. برای نمایش متغیر تصادفی فراوانی زیان در طول یک سال در خط کسب و کار iام و نوع واقعه زیانبار jام از نماد $N(i,j)$ استفاده می‌کنیم و تابع توزیع آن را با $P_{i,j}$ نشان می‌دهیم.

۵- روش اجرای پژوهش

بر طبق توافق نامه سرمایه ای کمیته بال خطوط کسب و کار و انواع وقایع زیان‌بار بطور مجزا در نظر گرفته شده است و اندیس‌های i و j به ترتیب برای نشان دهنده خطوط کسب و کار و انواع وقایع زیان‌بار

می‌باشد. می‌توان این دسته بندی بال را همانند ماتریسی تصور کرد که سطرهای آن خطوط کسب و کار و ستونهای آنها وقایع زیانبار می‌باشد. همانطور که در قسمت ۳-۱ اشاره شده از کلمه اختصاری BLETM برای بیان این ماتریس استفاده می‌شود. LDA شامل گامهای اساسی زیر است:

گام اول: تعیین توزیع شدت و فراوانی زیان و تجمیع آن دو برای به دست آوردن توزیع تجمیع شده برای هر سلول BLETM . در این گام با استفاده از ویژگیهای داده‌های زیان و مطالعات انجام شده، دامنه گزینش مدلها را محدود به مدل‌های آماری مناسب برای فراوانی و شدت زیان می‌کنیم. این مدل ها و دلایل انتخاب آنها در قسمت ۳-۳ بیان شده است. از میان مدلهایی که برای مدلسازی شدت و فراوانی زیان مناسب می‌باشند، براساس فرآیند انتخاب مدل (شکل ۲) مناسب ترین مدل ها را بر می‌گزینیم. برای به دست آوردن توزیع تجمیع شده دو فرض زیر را بایستی در نظر بگیریم. اول فرض مستقل بودن توزیع شدت و فراوانی از یکدیگر و دوم فرض اینکه متغیرهای تصادفی شدت برای هر سلول ماتریس در دوره‌های مختلف هم توزیع و مستقل می‌باشند. برای به دست آوردن توزیع تجمیع شده از شبیه سازی مونت کارلو استفاده می‌کنیم.



شکل ۲: فرآیند انتخاب مدل‌های آماری به داده‌های زیان ریسک عملیاتی برگرفته از کتاب کروز (۲۰۰۲)

مراحل بکارگیری شبیه سازی مونت کارلو نیز به صورت زیر می‌باشد:

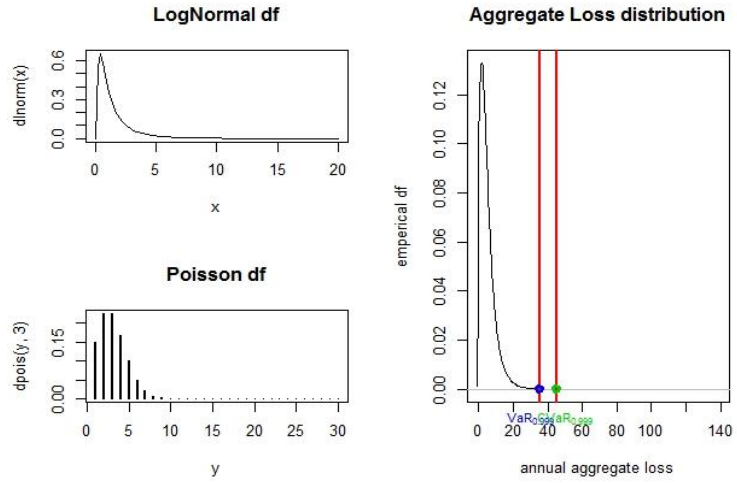
۱) از توزیع فراوانی انتخاب شده، یک عدد تصادفی انتخاب می‌شود ($N(i,j)$) این عدد بیانگر تعداد رویدادهای زیانبار در طول یک سال در دسته ریسک مورد نظر می‌باشد

۲) به تعداد $N(i,j)$ از توزیع شدت انتخاب شده، متغیر تصادفی انتخاب می‌شود $\xi^k(i,j)$ (اندیس k نشان دهنده انتخاب kامین بار انتخاب از توزیع شدت می‌باشد.)

۳) با مجموع مقادیر $\xi^k(i,j)$ بر روی اندیس k، زیان سالیانه حاصل از یک بار شبیه سازی به دست می‌آید.

۴) مراحل ۱و۲ و۳ به تعداد زیاد برای به دست آوردن تعداد زیادی از مقادیر زیان سالیانه تکرار می‌شود. داده‌های حاصل تشکیل توزیع تجمیع شده را می‌دهند که می‌توان نمودار آن را رسم کرد.

در شکل (۳) یافتن تابع توزیع تجمیع شده برای توزیع پیوسته لگ نرمال استاندارد به عنوان توزیع شدت و توزیع پواسون با پارامتر ۳ به عنوان توزیع فراوانی به عنوان نمونه تشریح شده است و کد مربوط به آن در زبان برنامه نویسی R، در پیوست ارائه شده است.



شکل ۳ : محاسبه تابع توزیع تجمیع شده با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

گام دوم: ترکیب توزیع‌های تجمیع شده به دست آمده در گام اول با در نظر گرفتن ساختار همبستگی در جهت ایجاد توزیع کلی زیان برای کل بانک و محاسبه ارزش در معرض ریسک، ارزش در معرض ریسک شرطی و ذخیره سرمایه برای کل بانک در سطح اطمینان ۹۹/۹٪ و افق زمانی یک ساله است. در گزارشات

کمیته بال به دلیل همبستگی متغیرهای تصادفی زیان سلول‌های ماتریس BLETM، ملحوظ کردن ساختار همبستگی باعث کاهش ذخیره سرمایه کل بانک می‌گردد. این نوع ساختار همبستگی می‌تواند به سه حالت در مدلسازی زیان در نظر گرفته شود. حالت اول عدم وجود همبستگی بین سلول‌های ماتریس BLETM است که در این صورت متغیرهای تصادفی برای همه سلول‌های ماتریس با استفاده از روش مونت کارلو محاسبه شده و سپس با جمع مقادیر همه آنها توزیع زیان سالیانه کل بانک به دست می‌آید. در این حالت مقدار VaR و مقدار ذخیره سرمایه کلی بانک با استفاده از توزیع زیان سالیانه کل بانک به دست می‌آید.

حالت دوم وجود همبستگی کامل بین سلولهای ماتریس است که در این حالت ابتدا برای هر یک از سلول‌های ماتریس BLETM، میزان VaR و ذخیره سرمایه محاسبه شده است سپس با جمع ساده همه این مقادیر میزان VaR و ذخیره سرمایه کل بانک به دست می‌آید. حالت سوم وضعیتی بین دو حالت فوق است یعنی فرض همبستگی صفر یا کامل در نظر گرفته نشده و میزان همبستگی مقداری بین دو حالت قبل است، در این مدل همبستگی را می‌توان با استفاده از مفهوم کاپیولا مدل سازی کرد. بر طبق گزارش BCBS در سال ۲۰۰۹، در مدلسازی ساختار همبستگی داده‌های زیان ریسک عملیاتی عمدتا از کاپیولای گوسین استفاده شده است. در این تحقیق فرض بر این است که کاپیولای گوسین ساختار همبستگی را به خوبی در مدلسازی لحاظ می‌کند. برای تشریح روش پیاده سازی کاپیولا فرض کنید که در هر یک از دسته‌های ریسک متغیر تصادفی تجمیع شده را با علامت L_i نشان داده شود. به عنوان مثال برای دسته‌های ریسک ۱و۲ فرض کنید $F_1(L_1)$ و $F_2(L_2)$ به ترتیب تابع توزیع L_1 و L_2 باشند. در این صورت با توجه به قضیه اسکلار تابع توزیع توام آنها با استفاده از کاپیولا به صورت زیر می‌تواند بیان شود:

$$J(L_1, L_2) = C[F_1(L_1), F_2(L_2)],$$

در رابطه فوق $C[F_1(L_1), F_2(L_2)]$ تابع توزیع کاپیولا می‌باشد. تابع توزیع کاپیولای گوسین به صورت زیر می‌باشد:

$$C(u, v) = \int_{-\infty}^{\Phi^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{\Phi^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\{-\frac{s^2 - 2\rho st + t^2}{2(1-\rho^2)}\} ds\, dt,$$

در رابطه فوق $u = F_1(L_1)$ و $v = F_2(L_2)$ می‌باشند. با استفاده از رابطه فوق می‌توان تابع چگالی توام را به صورت زیر نوشته شود:

$$b(L_1, L_2) = f_1(L_1) f_2(L_2) c[L_1, L_2],$$

دررابطه فوق $f_1(L_1)$ و $f_2(L_2)$ به ترتیب توابع چگالی حاشیه ای L_1 و L_2 می‌باشند و $c[L_1, L_2]$ تابع چگالی احتمال کاپیولا است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$c[L_1, L_2] = \frac{\partial^2 C[F_1(L_1), F_2(L_2)]}{\partial F_1(L_1)\partial F_2(L_2)}$$

این مقدار برای کاپیولای گوسین به صورت زیر به دست می‌آید کچ (۲۰۰۶):

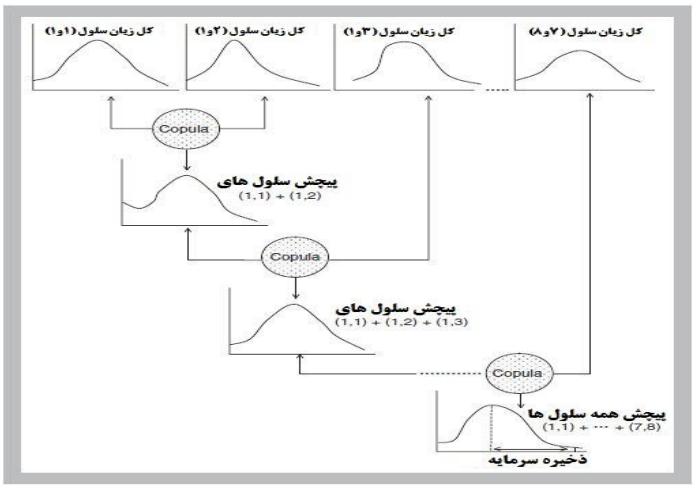
$$c[u, v] = \frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(\frac{2\rho l_1 l_2 - l_1^2 - l_2^2}{2(1-\rho^2)} + \frac{l_1^2 + l_2^2}{2}\right)$$

که در رابطه فوق $l_1 = \Phi^{-1}(u)$ و $l_2 = \Phi^{-1}(v)$ و $\Phi^{-1}(.)$ معکوس تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است. فرض کنید که $L = L_1 + L_2$ در این صورت تابع چگالی L از طریق جمع پیچش در حالت گسسته و پیوسته به دست می‌آید:

در حالت گسسته:
$$S(L) = \sum_{L_1} b(L_1, L - L_1) = \sum_{L_2} b(L - L_2, L_2)$$

در حالت پیوسته:
$$S(L) = \int_{L_1} b(L_1, L - L_1) = \int_{L_2} b(L - L_2, L_2)$$

اکنون بعد از به دست آوردن توزیع متغیر تصادفی L می‌توان آن را با متغیر تصادفی دسته سوم ریسک در نظر گرفت و بر اساس فرآیند فوق تبدیل به یک توزیع کرد. با ادامه روند فوق برای همه دسته‌های ریسک می‌توان به یک توزیع واحد بر اساس همه دسته‌های ریسک و ساختار همبستگی، همانند شکل (۴) تشکیل داد و در نهایت بر اساس این توزیع کلی، مقدار ارزش در معرض ریسک و ذخیره سرمایه را محاسبه کرد.



شکل ۴: محاسبه ذخیره سرامایه بانک با مدل‌سازی وابستگی

در این تحقیق برای داده‌های موجود، ساختار همبستگی را در هر یک از حالت‌های فوق در نظر می‌گیریم و در هر حالت مقدار VaR و ذخیره سرمایه را به دست می‌آوریم. لازم به یادآوری است که در کلیه موارد، محاسبه مقادیر VaR و CVaR بر اساس روش شبیه سازی تاریخی محاسبه می‌شود.

۶- نتایج پژوهش

ابتدا تحلیلی اکتشافی دادهها انجام می‌شود. سپس نتایج حاصل از تخمین پارامترها و برازش توزیع‌های شدت تشریح می‌شود. در ادامه نتایج حاصل از برازش برای توزیع‌های فراوانی بیان می‌شود و در نهایت با تجمیع توزیع‌های فراوانی و شدت زیان و در نظر گرفتن همبستگی، میزان ذخیره سرمایه بانک بر اساس داده‌های موجود تعیین می‌شود. در این تحقیق از داده‌های خط کسب و کار بانکداری خرد (retail banking) و انواع رویدادهای زیانبار بانک مفروض به عنوان داده‌های داخلی استفاده می‌کنیم این داده‌ها مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ می‌باشد.

جدول ۳: گروه‌های ریسک برای دادهها موجود بانک مفروض

Retail Banking	بانکداری خرد		
Name	نام	نماد	تعداد
Internal fraud	تقلب داخلی	IF	۴۰۵
External fraud	تقلب خارجی	EF	۷۶۴
Employment Practices and Workplace Safety	روش‌های استخدام و ایمنی محیط کار	EPWS	۸۷۲
Clients, Products & Business Practices	مشتریان، محصولات و روش‌های کسب و کار	CPBP	۳۲۶۷
Damage to Physical Assets	آسیب به دارائی‌های فیزیکی	DPHA	۲۲۹
Business disruption and system failures	اخلال در فعالیت کسب و کار و خرابی‌های سیستم	BDSF	۶۳۷
Execution, Delivery & Process Management	اجرا، تحویل و مدیریت فرآیند	EDPM	۱۰۹۹

جدول ۴: تحلیل اکتشافی داده‌های و آماره‌های توصیفی موجود در درسته‌های ریسک برای بانک مفروض

data	min	1th Qu	median	mean	3th Qu	max	sd	kurtosis	Skewness
IF	6.107	24.050	32.930	41.510	48.3000	129.100	27.72158	1.959278	1.625117
EF	3.597	11.790	15.370	16.670	20.290	44.490	6.737871	0.3684301	0.8023573
EPWS	2.768	8.665	11.570	20.280	16.010	156.700	23.9944	8.497954	2.7848
CPBP	7.0.87	27.390	36.020	42.200	48.270	122.300	22.50906	1.75945	1.521757
DPHA	13.96	20.60	26.05	27.42	31.06	53.05	8.844558	-0.0630531	0.8256599
BDSF	35.50	58.49	67.12	74.94	80.00	162.80	26.85325	2.361328	1.734183
EDPM	0.8426	13.1600	18.8000	21.45	26.5600	60.18	11.27964	0.140962	0.897264

بر اساس نتایج حاصل از انتخاب مدل برای شدت و فراوانی زیان، و با در نظر گرفتن اصل پارسیمونی از بین توزیع‌های منتخب برای شدت و فراوانی زیان دسته‌های ریسک به صورت جدول (۵) معرفی می‌گردد. با توجه به توزیع‌های شدت و فراوانی این جدول و با استفاده از روش مونت کارلو ، توزیع تجمیع شده برای هر سلول را به دست می‌آوریم.

از سنجه ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی برای محاسبه ذخیره سرمایه استفاده می‌کنیم روش محاسبه این مقادیر روش تاریخی می‌باشد که برای ارزش در معرض ریسک همان چارک ۹۹,۹٪ داده‌های توزیع تجمیع شده می‌باشد و برای ارزش در معرض ریسک شرطی بصورت مقدار میانگین مقادیر بیش از مقدار ارزش در معرض ریسک محاسبه می‌شود. مقدار ذخیره سرمایه نیز از تفاضل مقدار میانگین از سنجه‌های ریسک به دست می‌آید. محاسبه ذخیره سرمایه کل بانک در خط کسب و کار بانکداری خرد با در نظر گرفتن ساختار همبستگی در سه حالت همبستگی صفر، همبستگی کامل و استفاده از کاپیولا و تعیین میزان همبستگی انجام شده است. مقادیر تخمین زده شده برای ذخیره سرمایه در هر یک از حالات همبستگی بین دسته‌های ریسک برای خط کسب وکار بانکداری خرد در جدول (۶) نشان داده شده است. در این جدول مقادیر VaR، CVaR، CCVaR و CCCVaR به ترتیب مقدار ارزش در معرض ریسک، ارزش در معرض ریسک شرطی، ذخیره سرمایه با استفاده از ارزش در معرض ریسک و ذخیره سرمایه با استفاده از ارزش در معرض ریسک شرطی می‌باشد. با توجه به جدول مقدار ارزش در معرض ریسک در همه حالات از مقدار ارزش در معرض ریسک شرطی کمتر می‌باشد بعلاوه مقدار ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی در حالت همبستگی کامل بیشتر از مقادیر متناظر در حالت همبستگی صفر است. این نشان می‌دهد که ذخیره سرمایه در حالت همبستگی کامل بیشتر از حالت همبستگی صفر است. بعلاوه استفاده از کاپیولا باعث می‌شود تا ذخیره سرمایه کمتر از حالت همبستگی کامل شود. این مسئله به این معنی است که حالت همبستگی کامل به عنوان محافظه کارانه ترین حالتی است که می‌توان از آن طریق برای بانک ذخیره گیری کرد.

جدول ۵: توزیع‌های منتخب برای شدت و فراوانی زیان جهت استفاده در روش مونت کارلو و به دست آوردن توزیع تجمیع شده

توزیع شدت زیان		توزیع فراوانی زیان		
پارامتر	توزیع	پارامتر	توزیع	خطوط کسب و کار
$\mu = 3.54544 \ , \ \sigma = 0.58653$	لگ نرمال	$p = 0.5705$ $\mu = 4.845$	دوجمله ای منفی	IF
$\mu = 2.73266 \ , \ \sigma = 0.408807$	لگ نرمال	$p = 0.711$ $\mu = 9.11$	دوجمله ای منفی	EF
$\alpha = 0.9435059 \ , \ \beta = 0.96617854 \ , \ \gamma = 2.907754 \ , \ \delta = 9.77776$	پایدار	$\lambda = 10.38$	پواسون	EPWS

خطوط کسب و کار	توزیع فراوانی زیان		توزیع شدت زیان	
	توزیع	پارامتر	توزیع	پارامتر
CPBP	دوجمله ای منفی	$p = 0.0603$ $\mu = 38.214$	پایدار	$\alpha = 1.31830443$, $\beta = 0.99999999$, $\gamma = 32.5034455$, $\delta = 9.1255460$
DPHA	دوجمله ای منفی	$p = 0.9808$ $\mu = 2.7261$	لگ نرمال	$\mu = 3.26255138$, $\sigma = 0.30903095$
BDSF	دوجمله ای منفی	$p = 0.13413$ $\mu = 10.6785$	پایدار	$\alpha = 1.28515496$, $\beta = 0.99999999$, $\gamma = 9.6633447$, $\delta = 63.252355$
EDPM	دوجمله ای منفی	$p = 0.4106$ $\mu = 13.0833$	پایدار	$\alpha = 1.474516127$, $\beta = 0.9999999$, $\gamma = 6.055811714$, $\delta = 17.3495546$

جدول ۶: مقدار ذخیر سرمایه کل بانک برای خط کسب و کار بانکداری خرد

	مدلسازی با همبستگی صفر			
	VaR	CVar	CCVaR	CCCVaR
بانکداری خرد	۵۳۵۹۵,۲۸	۲۴۶۷۰۱,۱	۴۹۵۹۶,۰۹	۲۴۲۷۰۱,۹

	مدلسازی همبستگی با استفاده از کاپیولا			
	VaR	CVar	CCVaR	CCCVaR
بانکداری خرد	۵۵۵۹۲	۲۸۵۷۰۱,۲	۵۴۷۹۳,۰۴	۲۵۲۴۵۱,۰۲

	مدلسازی با همبستگی کامل			
	VaR	CVar	CCVaR	CCCVaR
بانکداری خرد	۶۲۷۳۲,۲	۳۰۲۴۵۸,۲	۵۸۷۳۳	۲۹۸۴۵۹

۷- نتیجه گیری و بحث

داده‌های زیان ناشی از خط کسب و کار بانکداری خرد، داده‌های دنبال پهن نمی‌باشند. بر اساس نتایج آزمون‌های خوبی برازش استفاده از توزیع‌های پایدار در مدلسازی شدت زیان باعث مدلسازی بهتر داده‌های زیان می‌شود. بنابراین می‌توان عنوان کرد که برای داده‌های زیان خط کسب و کار بانکداری خرد از بانک مفروض، توزیع‌های پایدار نسبت به توزیع‌های کلاسیک دادهها را بهتر مدلسازی می‌کنند. هر چند در مواردی توزیع‌های لگ نرمال نیز مناسب می‌باشد. تقریبا در همه موارد توزیع‌های نمائی و وایبل برای

مدلسازی داده‌های زیان این خط کسب و کار مناسب نمی‌باشند. از بین توزیع‌های منتخب برای فراوانی زیان، توزیع دوجمله ای منفی در اغلب موارد مناسب تر از توزیع پواسون داده‌های فراوانی زیان را برازش می‌کند. همانطور که از جدول (۶) مشخص است محافظه کار ترین حالت برای ذخیره گیری حالت همبستگی کامل است. این موضوع به دلیل انتخاب توزیع‌های پایدار برای شدت زیان می‌باشد که باعث می‌شود تا سنجه VaR به یک سنجه منسجم تبدیل شود.

برای تحقیقات آتی می‌توان از توزیع‌های دو رفتار یا توزیع‌های آمیخته در تخمین ذخیره سرمایه استفاده شود زیرا با توجه به نمودارهای چندکها و نمودارهای مستطیلی برای هر دسته از دادهها، اغلب توزیعها رفتار دم دادهها را به خوبی ضبط نمی‌کنند. بنابراین می‌توان از توزیع‌های دو رفتاری و یا ترکیبی در برازش داده‌های شدت زیان عملیاتی استفاده کرد. بعلاوه توزیع‌های انتخاب شده در این تحقیق از سمت راست نامتناهی می‌باشند و بر اساس این توزیع ها، از منظر تئوری میزان زیان بر اساس این توزیع‌های نامتناهی است. در حالی که میزان زیان برای هر بانک یا موسسه مالی به اندازه کل دارائی‌های آن است. برای مدلساز ی دقیق تر این دادهها می‌توان از متغیر تصادفی زیان محدود[۵۵] استفاده کرد.این متغیر به گونه ای تعریف می‌شود که اگر مقادیر متغیر تصادفی بیشتر از یک حد آستانه معین باشد، زیان برابر با یک عدد خاص (مثلا کل دارائی‌های بانک) می‌شود و برای مقادیر کمتر از آن حد آستانه، زیان برابر مقدار متغیر تصادفی می‌باشد. در این تحقیق مقدار ذخیره سرمایه برای بانک به علت عدم کامل بودن داده‌های بانک برای تمامی خطوط کسب و کار فقط بر اساس پایگاه داده محاسباتی بانک تخمین زده شده است. این مقدار برای انطباق بر واقعیت‌های کنونی بانک با فاکتورهای کنترل داخلی و محیط کسب و کار و همچنین اطلاعات کیفی دیگر در پایگاه دادهها بایستی تعدیل شوند و در تحقیقات آتی می‌توان به این موضوعات پرداخته شود.

پایگاه داده ریسک عملیاتی یکی از موضوعات مهم در مدلسازی کمی ریسک عملیاتی می‌باشد زیرا کیفیت دادهها بطور مستقیم بر تخمین مقدار ذخیره سرمایه تاثیر می‌گذارد. بنابراین شکل گیری پایگاه داده مناسب از منظر ریسک عملیاتی یکی از موضوعات مهم در این حوزه است که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد. بعلاوه در این تحقیق بر اساس مستندات بال، از کاپیولای گواسی استفاده شده است و فرض شده است که این نوع کاپیولا به خوبی ساختار همبستگی را مدلسازی می‌کند. ولی این کاپیولا همبستگی در دم توزیع را در بر نمی‌گیرد و با توجه به اینکه همبستگی در دم توزیع ها نشان دهنده اتفاق افتادن زیان‌های بزرگ با یکدیگر است، این موضوع در حوزه ریسک عملیاتی اهمیت ویژه ای دارد بنابراین در تحقیقات آتی انواع دیگر کاپیولا می‌تواند برای مدلسازی ساختار همبستگی بررسی شود.

استفاده از رویکرد توزیع زیان تا حدود زیادی مستلزم دسترسی به داده‌های زیان داخلی و خارجی است بطوریکه کیفیت دادهها بر تعیین میزان ذخیره سرمایه بانک تاثیر زیادی دارد. با توجه به مستندات کمیته بال استفاده از این رویکرد منوط به ثبت حداقل دوره سه ساله داده‌های زیان در پایگاه داده می‌باشد. وقتی که بانک‌های شروع به استفاده از این رویکرد می‌کنندکمیته بال به دلیل کمبود احتمالی داده‌های زیان در

بعضی از دسته‌های ریسک بانک ها را مجاز به استفاده از رویکردهای ترکیبی می‌داند. به عنوان مثال برای دسته‌های که داده کمی وجود دارد، بانک می‌تواند از رویکردهای دیگر نظیر شاخص پایه و رویکرد استاندارد استفاده کند و برای دسته‌هایی از ریسک که داده کافی برای آن وجود دارد از رویکرد توزیع زیان برای تخمین ذخیره سرمایه استفاده می‌شود. بر این اساس در زمان انجام این تحقیق، با توجه به شروع گرایش بانک‌های داخل کشور به استفاده از رویکردهای پیشرفته برای مدلسازی ریسک عملیاتی، پرداختن به این موضوع از منظر کاربردی اهمیت دارد. تحقیقات آتی برای جبران کمبود احتمالی دادهها، می‌تواند استفاده از رویکردهای ترکیبی و یا رویکردهای دیگر از قبیل کارت امتیاز، مدل‌های علی و غیره مورد بررسی قرار گیرد.

پیوست

در این پیوست نحوه بکارگیری روش مونت کارلو در تجمیع داده‌های شدت و فراوانی زیان در نرم افزار R ارائه شده است.

```
#MonteCarlo simulation test
x<-vector()
n<-rpois(100000,3)
for(i in 1:100000){
y<-rlnorm(n[i])
x[i]<-sum(y)
}
#calculation of historical VaR and CVaR
cat("VaR=",quantile(x,.999),"\n")
cat("CVaR=",mean(x[x>=quantile(x,.999)]),"\n")
#calculation of aggregate empirical cumulative distribution function
fn<-ecdf(x)
#setting layout for plot screen
m<-matrix(c(1,2,3,3),2,2)
layout(m)
#plot severity distribution function
curve(dlnorm(x),from=0,to=20,main="LogNormal df")
#plot frequency distribution function
y<-1:30
plot(y,dpois(y,3),type="h",lwd=2,main="Poisson df")
#plot the aggregate density function
plot(density(x),main="Aggregate Loss distribution",xlab="annual aggregate loss",ylab="emperical df("
#VaR plot detail
abline(v=quantile(x,.999),col=2,lwd=2)
points(quantile(x,.999),0,pch=1,lwd=3,col=4)
mtext(expression(VaR[0.999]),side=1,line=.4,at=quantile(x,.999)-5,cex=.7,col=4)
#CVaR plot detail
abline(v=mean(x[x>=quantile(x,.999)]),col=2,lwd=2)
points(mean(x[x>=quantile(x,.999)]),0,pch=1,lwd=3,col=3)
mtext(expression(CVaR[0.999]),side=1,line=.4,at=mean(x[x>=quantile(x,.999)])+5,col=3,cex=.7)
```

فهرست منابع

* Afambo, E. F. (2006). Operational Risk Capital Provisions for Banks and Insurance Companies. Doctor of Philosophy, Georgia State University, Georgia
* Alexander, C. (2003). Operational Risk, Regulation, Analysis and Management: Pearson Education.
* Aue, F., & Kalbrenner, M. (2006). LDA at work. Journal of Operational Risk, 1(4), 49-93.
* BCBS04. (July 1988). International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: Bank for International Settlement Press & Communications.
* BCBS96. (2003).Sound Practices for the Management and Supervision of Operational Risk. Basel, Switzerland: Bank for International Settlements Press & Communications
* BCBS128. (June 2006). International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework – Comprehensive Version. Basel, Switzerland: Bank for International Settlements Press & Communications.
* BCBS. (2011). Basel III: A Global Regulatory Framework for More Resilient Banks and Banking Systems: Bank for International Settlements Press & Communications.
* Journal of the American Statistical Association, 340-344.
* Chapelle, A., Crama, Y., Hu¨bner, G., & Peters, J. (2004). Basel II and Operational Risk: Implications for Risk Measurement and Management in the Financial Sector. Technical report, National Bank of Belgium.
* Chavez-Demoulin, V., Embrechts, P., & Neslehova, J. (2005). Quantitative models for operational risk: Extremes, dependence and aggregation. Journal of Banking and Finance, forthcoming.
* Chernobai, & Rachev, S. (2004). Toward effective risk management: Stable modeling of operational risk. Preprint, University of California,Santa Barbara.
* Chernobai, A., Rachev, S., & Fabozzi, F. (2007). Operational Risk, Guide to Basel II Capital Requirements, Models, and Analysis: John Wiley & Sons, Inc.
* Chernobai, A. S. (2006). Contributions to Modeling of Operational Risk in Banks. Doctor of Philosophy, University of California, Statistics and Applied Probability.
* COSO. (2004). Enterprise Risk Management-integrated Framework.
* Cruz, M. G. (2002). Modeling, Measuring, and Hedging Operational Risk: John Willy & Sons Ltd.
* Dalla Valle, L., Fantazzini, D., & Giudici, P. (2005). Copulae and Operational Risks. Technical report, University of Pavia.
* Damodaran, A. (2000). Models of Risk and Returns: pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/ ovhds/ch3.pdf
* De Fontnouvelle, P., Rosengren, E., and Jordan, J. (2005). Implications of alternative operational risk modeling techniques. Technical report, Federal Reserve Bank of Boston and FitchRisk.
* Dutta, K., & Perry, J. (2007). A Tail of Tails: An Empirical Analysis of Loss Distribution Models for Estimating Operational Risk Capital. Federal Reserve Bank of Boston, Working Paper No 06-13.

* Embrechts, P., Kaufmann, P., and Samorodnitsky, G. (2004). Ruin theory revisited: Stochastic models for operational risk. Risk Management for Central Bank Foreign Reserves, Bernadell, C., et al (eds). European Central Bank, pp. 243–261.
* Embrechts, P., Kluppelberg, C., & Mikosch, T. (1997). Modelling External Events for Insurance and Finance: Springer.
* Fama, E. F., & Roll, R. (1971). Parameter estimates for symmetric stable distributions. Journal of the American Statistical Association, 66: 331-338.
* Feller, W. (1971). An Introduction to Probability Theory and its Applications. New York: John Willy & Sons.
* Fontnouvelle, P. d., DeJesus-Rueff, V., Jordan, J., & Rosengren, E. (2003). Using Loss Data to Quantify Operational Risk. Federal Reserve Bank of Boston.
* Frachot, A., Georges, P., & Roncalli, T. (2001). Loss Distribution Approach for Operational Risk. Groupe de Recherche Operationnelle, Credit Lyonnais.
* Frachot, A., Moudoulaud, O., & Roncalli, T. (2003). Loss Distribution Approach in Practice. Groupe de Recherche Op´erationnelle, Cr´edit Lyonnais, Francey.
* Frachot, A., Roncalli, T., & Salomon, E. (2004). The Correlation Problem in Operational Risk. Technical report, Groupe de Recherche Op´erationnelle, Cr´edit Lyonnais, France.
* Giacometti, R., Rachev, S., Chernobai, A., & Bertocchi, M. (2008). Aggregation issues in operational risk. The Journal of Operational Risk, 3, 3-23.
* Giacometti, R., Rachev, S., Chernobai, A., Bertocchi, M., & Consigli, G. (2007). Heavy-tailed distributional model for operational losses. Journal of Operational Risk, 2, 55–90.
* Günther Thonabauer, B. N. (2006). Guidelines on Operational Risk Management: Oesterreichische Nationalbank (OeNB),Austrian Financial Market Authority (FMA.)
* H.H.Panjer. (1981). Recursive evaluation of compound distributions. Astin Bulletin, 12, 22-26Heckman, P. E., & Meyers, G. G. (1983). The calculation of aggregate loss distributions from claim severity and claim count distributions. Proceedings of the Casualty Actuarial Society, LXX: 22-61.
* Hill, B. M. (1975). A simple general approach to inference about the tail of a distribution. Annals of Statistics, 3: 1163-1174.
* Janicki, A., & Weron, A. (1994). Simulation and Chaotic Behavior of A-Stable Stochastic Processes. New York: Marcel Dekker Inc.
* Joe, H. (1997). Multivariate Models and Dependence Concepts. London: Chapman & Hall.
* Jöhnemark, A. (2012). Modeling Operational Risk. Degree Project in Mathematical Statistics, Sewden, Stockholm
* Johnson, N., Kotz, S., & Balakrishnan, N. (1995). Continuous Univariate Distribution Volume I: John Willy $ Sons Inc.
* Kleiber, C., & Kotz, S. (2003). Statistical Size Distributions in Economics and Actuarial Sciences: John Willy & Sons Inc.

* Kogon, S. M., & Williams, D. B. (1998). Characteristic function based estimation of stable parameters, in R. Adler, R. Feldman, M. Taqqu (eds.),A Practical Guide to Heavy Tails,. Birkhauser, 311-335.
* Larneback, M. (2006). Modelling operational risk using actuarial methods. Master, Sweden, Umea.
* McNeil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2005). Quantitative Risk Management: Princeton University Press.
* Mittnik, S., Doganoglu, T., & Chenyao, D. (1999). Computing the probability density function of the stable Paretian distribution. Mathematical and Computer Modelling, 29: 275-293.
* Moosa, I. A. (2007). Operational Risk Management (1 ed.): PALGRAVE MACMILLAN.
* Moscadelli, M. (2004). The modeling of operational risk: experience with the analysis of the data collected by the Basel Committee. Technical Report, Bank of Italy.
* Nelsen, R. (1999). An Introduction to Copulas. New York: Springer.
* Nolan, J. P. (2012). Stable Distributions Models for Heavy Tailed Data. Boston: Birkhauser.
* Panjer, H. H. (2006). Operational Risk Modeling Analytics: John Wiley & Sons, Inc.
* Press, S. J. (1972). Estimation in univariate and multivariate stable distribution. Journal of the American Statistical Association, 67: 842-846.
* Rasmussen, M. (2003). Quantitative Portfolio Optimization, Asset Allocation and Risk Management: Palgrave Macmillan.
* Robertson, J. P. (1992). The computation of aggregate loss distributions. Proceedings of the Casualty Actuarial Society, LXXIX: 57-133.
* Samorodnitsky, G., & Taqqu, M. S. (1994). Stable Non-Gaussian Random Processes: Chapman & Hall.
* Shevchenko, P. V. (2011). Modelling Operational Risk Using Bayesian Inference: Springer.
* Soprano, A., Crielaard, B., Piacenza, F., & Ruspantini, D. (2009). Measuring Operational and Reputaional Risk: A Practitioner's Approach: A John Wiley and Sons, Ltd.
* Sundt, B., & Jewell, W. S. (1981). Further results on recursive evaluation of compound distributions. Astin Bulletin, 12, 27-39.
* Sy, W. (2006). On the Coherence of VAR Risk Measures for Levy Stable Distributions. Working Paper, Australian Prudential Regulation Authority.
* Uchaikin, V. V., & Zolotarev, V. M. (1999). Chance and Stability, Stable Distributions thier Applications: VSP sience.
* Young, B., & Coleman, R. (2009). Operational Risk Assessment The Commercial Imperative of a more Forensic and Transparent Approach: John Wiely and Sons, Ltd.
* Young, J. (2001). A Structured Approach to Operational Risk Management in a Banking Environment. Doctor of Commerce, University of South Africa, Gauteng.

* Zolotarev, V. M. (1986). One-dimensional Stable Distributions (H. H. McFaden, Trans.): American Mathmatical Society, Providence, RI

یادداشت‌ها

[1]Bank for International Settlements
[2]Loss Distribution Approach
[3]Internal Measurement Approach
[4]Scorecard Approach
[5]Unexpected Loss
[6]Expected Loss
[7]Catastrophic loss
[8]Stress Loss
[9]Frachot et al.
[10]Fontnouvelle et al.
[11]OpVantage
[12]Chavez et al.
[13]Dutta & Perry
[14]g-h distribuition
[15]Giacometti et al.
[16]Chernobai & Rachev
[17]Regulatory Capital
[18]Minimum Capital Requirement
[19]Effect
[20]Loss Event
[21]Business Line
[22]Business Line Event Type Matrix
[23]Operational Loss
[24]Loss Distribution Approach
[25]Aggregate loss
[26]Close Form
[27]Open Form
[28]Giacometti et al.
[29]Moscadelli
[30]Fontnouvelle
[31]Johnson et al.
[32]Kotez and Kleiber
[33]Stable Distributions
[34]Levy Stable Distributions
[35]α-stable Distributions
[36]Cauchy Distribution
[37]Gaussian Distribution
[38]Levy Distribution
[39]Skewness
[40]Heavy Tails
[41]Samorodnitsky and Taqqu
[42]Monograph
[43]Zolotarv
[44]Christoph and Wolf
[45]Samorodnitsky and Taqqu
[46]Janicki and Weron

[47]Nikias and Shao
[48]Uchaikin and Zolotarev
[49]Nolan
[50]Parsimony Principle
[51]Chapelle et al.
[52] Copula
[53]Dalla et al.
[54]Business Line Event Type Matrix
[55]Limited Loss Random Variable