مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره بیست و هشتم / پائیز ۱۳۹۵

پیش‌بینی ریسک نکول با استفاده از مدل ساختاری توسعه‌یافته در بورس اوراق بهادار تهران

سعید فلاح‌پور[۱]
مسعود طادی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۷

چکیده

یکی از اساسی‌ترین مباحث مدیریت ریسک در مؤسسات مالی، بانک‌ها و مؤسسات رتبه‌بندی، ریسک اعتباری است. ریسک اعتباری به ریسک نکول قرض‌گیرنده اشاره دارد؛ یعنی ریسک این‌که قرض‌گیرنده نتواند به تعهدات خود برای پس دادن قرض، عمل کند یا حداقل آن تعهدات را به موقع تسویه نکند. در این مقاله قصد داریم ریسک نکول (احتمال نکول) را در شرکت‌های منتخب بورسی پیش‌بینی کنیم. می‌توان مدل‌های مطرح در ارزیابی ریسک نکول را به سه دسته کلی تقسیم نمود. دسته اول، مدل‌های ساختاری؛ دسته دوم، مدل‌های مبتنی بر داده‌های تجربی؛ و دسته سوم مدل‌های ارزیابی کارشناسان خبره می‌باشند. مقاله پیش‌رو بر دسته اول از تکنیک‌های مدل‌سازی (مدل‌های ساختاری) استوار خواهد بود.

مدل‌های ساختاری، شامل مدل‌های اولیه مانند مدل مرتون[۱] و مدل‌های توسعه یافته آن هستند. مدل مرتون دارای مفروضات ساده‌ساز متعددی است، از جمله این‌که نکول تنها در زمان سررسید رخ می‌دهد. در مقاله پیش رو با حذف فرض مذکور به مدل توسعه‌یافته‌تری برای محاسبه احتمال نکول می‌رسیم. احتمال نکول سالیانه برای شرکت‌های منتخب بورسی طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ برای هر دو مدل (مرتون و توسعه‌یافته) را محاسبه می‌نماییم و در نهایت، نتایج بررسی عملکرد دو مدل با استفاده از آزمون مقایسه زوجی ویلکاکسون بر وجود تفاوت معنادار بین دو مدل دلالت می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ریسک اعتباری، احتمال نکول، مدل‌های ساختاری، اختیار معاملات با قیمت آستانه.

۱- استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران
۲- کارشناس ارشد مهندسی مالی، دانشگاه تهران m.tadi.ie@gmail.com

۱- مقدمه

یکی از تعاریف ریسک عبارت است از عدم قطعیت یا احتمال این‌که یک رویداد بد رخ دهد. رویداد بد در حوزه مالی، یعنی ضرر. پس می‌توان مدیریت ریسک مالی را به معنای کنترل ریسک به منظور کاهش ضرر تعریف کرد. در پیمان سرمایه بازل II[۲]، سه منبع اصلی برای ریسک ذکر شده است: ریسک اعتباری، ریسک بازار و ریسک عملیاتی. ریسک اعتباری به ریسک نکول قرض‌گیرنده اشاره دارد؛ یعنی ریسک این‌که قرض‌گیرنده نتواند به تعهدات خود برای پس دادن قرض، عمل کند یا حداقل آن تعهدات را به موقع تسویه نکند. ریسک اعتباری معمولاً بوسیله سه عامل نشان داده می‌شود: احتمال یا ریسک نکول[۳]، زیان ناشی از نکول[۴] و ریسک سرمایه در معرض خطر[۵]. در این مقاله قصد داریم عامل اول یعنی احتمال نکول را در شرکت‌های منتخب بورسی پیش‌بینی کنیم. می‌توان مدل‌های مطرح در ارزیابی ریسک نکول را به سه دسته کلی تقسیم نمود. دسته اول، مدل‌های ساختاری[۶] یا مدل‌های مالی را شامل می‌شوند که این مقاله بر این دسته از تکنیک‌های مدل‌سازی استوار است. دسته دوم، مدل‌های مبتنی بر داده‌های تجربی است. به طور کلی مدل‌های رگرسیونی، مدل‌های هوش مصنوعی و مدل‌های یادگیری جزء این دسته قرار می‌گیرند. در نهایت دسته سوم مربوط به مدل‌های ارزیابی کارشناسی هستند که پارمترهای این مدل‌ها توسط کارشناسان خبره تعیین می‌شود و نه تخمین‌های آماری. در ادامه، مدل‌های ساختاری تشریح گردیده و مدل ساختاری توسعه‌یافته ارائه می‌گردد.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

همانطور که در مقدمه اشاره شد، دسته مهمی از مدل‌های پیش‌بینی ریسک نکول، مدل‌های ساختاری هستند. این مدل‌ها، از تغییر تدریجی متغیرهای ساختاری شرکت برای تعیین زمان نکول شرکت بهره می‌گیرند. مدل‌های ساختاری، از توسعه متغیرهای ساختاری شرکت‌ها از قبیل ارزش دارایی و ارزش بدهی برای تعیین زمان نکول استفاده می‌کند. مدل مرتون (۱۹۷۴)، اولین مدل نوین ریسک نکول بود و اولین مدل ساختاری را ایجاد نمود. در مدل مرتون، شرکت هنگامی نکول می‌کند که در لحظه پرداخت بدهی، داراییهای شرکت پایین‌تر از بدهی‌های معوق قرار گیرند. مدل مرتون دارای فرض‌های ساده‌ساز متعددی است. به مرور زمان مدل‌های ساختاری توسعه‌یافته با آزاد کردن قیود در نظر گرفته شده در مدل مرتون به مدل‌های واقعی‌تری دست یافتند. مدل ساختاری بعدی توسط بلک و کاکس (۱۹۷۶) معرفی گردید. 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 (۱۹۷۶) برای اولین بار به اصطلاح، «مدل‌های اولین گذر» 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 (۱۹۷۴) و لانگستف و شوارتز (۱۹۹۵) به صورت برونداد، تعیین شده‌اند. آستانه نکول می‌تواند توسط سهامداران برای بیشینه کردن ارزش سهام به شکل درونداد انتخاب شود. برای مثال بنگرید به مقالات ملو و

پارسونز (۱۹۹۲)، نیلسن و همکاران (۱۹۹۳)، لیلند (۱۹۹۴)، اندرسون و ساندرسون (۱۹۹۶)، لیلند و تافت (۱۹۹۶)، ملابارل و پرادین (۱۹۹۷) و فرانسوا و مورلک (۲۰۰۴). با ادبیاتی که امکان مذاکره بین سهامداران و دارندگان اوراق قرضه را در زمان نزدیک شدن به بحران مالی در نظر می‌گیرد نیز می‌توان آستانه نکول را تعیین کرد که به آن پرداخت استراتژیک بدهی گفته می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در زمینه پرداخت استراتژیک بدهی می‌توان به مقاله ملابارل و پرادین (۱۹۹۷)، فن و ساندرسون (۲۰۰۰) و منابع درون آن‌ها مراجعه کرد.

ایراد اصلی مدل‌های اولین گذر پیچیدگی تحلیلی آن‌ها است که اگر نرخ بهره یا آستانه نکول را هم تصادفی در نظر بگیریم، بر این پیچیدگی افزوده می‌شود. این پیچیدگی ریاضیاتی، به دست آوردن فرم بسته برای ارزش بدهی و حقوق صاحبان سهام شرکت و یا حتی احتمال نکول را دشوار کرده و ما را به سوی استفاده از روش‌های عددی سوق می‌دهد. آزمون تجربی مدل‌های اولین گذر و مدل‌های ساختاری بعضاً موفق نبوده‌اند. ایوم، هلوگ و هوانگ (۲۰۰۳) دست به تجزیه و تحلیل پنج مدل مرتون (۱۹۷۴)، گسکه (۱۹۷۷)، لیلند و تافت (۱۹۹۶)، لانگستف و شوارتز (۱۹۹۵) و کولین، دافرن و گلدشتین (۲۰۰۱) زدند. آن‌ها نتیجه گرفتند با استفاده از نتایج پیاده‌سازی این پنج مدل ساختاری، ارزش شرکت به دقت اندازه‌گیری نمی‌شود. همچنین ژو (۱۹۹۷)، نشان می‌دهد که کاربرد عملی رویکرد تصادفی، نتایج ناامیدکننده‌ای را به همراه دارد. اشکال دیگر مدل‌های اولین گذر، فرض قابل پیش‌بینی بودن نکول می‌باشد. به طور کلی، مدل‌های ساختاری، برای ارزش دارایی شرکت، فرآیندهای انتشار پیوسته را فرض کرده و اطلاعات خود را درباره ارزش دارایی و آستانه نکول کامل می‌کنند. در این شرایط، فاصله واقعی ارزش دارایی نسبت به آستانه نکول، میزان نزدیکی به نکول را به ما گوشزد می‌کند. به گونه‌ای که اگر ما از آستانه نکول دور باشیم، احتمال نکول در کوتاه مدت به صفر نزدیک می‌گردد چرا که ارزش دارایی نیازمند گذر زمان برای رسیدن به آستانه نکول می‌باشد. آگاهی نسبت به فاصله تا نکول و این واقعیت که ارزش دارایی از فرآیند انتشار پیوسته تبعیت می‌کند، نکول را به یک پدید قابل پیش‌بینی بدل می‌کند که دیگر نکول یک اتفاق شگفت آور نخواهد بود. یک راه خروج از اثرات پیش‌بینی‌پذیری مدل‌های ساختاری، ترکیب ایجاد پرش‌هایی در روند ارزش شرکت است که نشان می‌دهد، ارزش دارایی شرکت به طور ناگهانی می‌تواند پرش داشته و فاصله ارزش دارایی تا نکول را کاهش داده یا حتی اگر این پرش به اندازه کافی بزرگ باشد موجب نکول شرکت گردد. بنابراین نکول، دیگر یک رویداد قابل پیش‌بینی نیست و احتمالات نکول در رسیدهای کوتاه مدت دیگر به صفر میل نمی‌کند. ژو (۱۹۹۷، ۲۰۰۱a) و هیلبرینک و راجرز (۲۰۰۲) به مدل‌های ساختاری با داشتن چنین پرش‌هایی در ترکیب ارزش شرکت می‌پردازند. در حالی که ژو، با گسترش مدل لانگستف و شوارتز (۱۹۹۵) یک جزء پرش با توزیع نرمال لگاریتمی را در نظر می‌گیرد، هیلبرینک و راجرز (۲۰۰۲) به منظور گسترش کار لیلند (۱۹۹۴) و لیلند و تافت (۱۹۹۶) از فرآیندهای لوی که فقط جهش به سمت پایین دارند بهره گرفتند. فوکو، سیرکار و سلنا (۲۰۰۵) اثر ایجاد تلاطم تصادفی در مدل اولین گذر را در افزایش اسپردهای کوتاه‌مدت در نظر گرفتند. داویدنکو (۲۰۱۲) نسبت به مدل‌های ساختاری موجود انتقاد کرده

است زیرا این مدل‌ها علل نقدینگی را به عنوان یکی از عوامل اصلی نکول در بعضی شرکت‌ها نادیده گرفته است، به ویژه شرکت‌هایی که دارای هزینه‌های بالای تأمین مالی از خارج از شرکت هستند.

همانطور که در مدل‌های اولین گذر اشاره گردید، نکول در اولین زمانی که ارزش دارایی کمتر از یک آستانه قرار می‌گیرد، اتفاق می‌افتد که این مسأله بدین معنا است که شرکت بلافاصله بعد از رخداد نکول، منحل می‌شود. در مقابل این مدل‌ها، مجموعه مدل‌هایی پدید آمد که در آن رویداد نکول بلافاصله باعث انحلال نمی‌شود بلکه نشان‌دهنده آغاز یک فرآیند به نام فرآیند انحلال می‌باشد که ممکن است پس از آن نکول رخ بدهد یا رخ ندهد. این مدل‌ها، «مدل‌های فرآیند انحلال» نامیده می‌شوند. رویداد نکول وقتی اتفاق می‌افتد که ارزش دارایی شرکت، V_t از آستانه K پایین‌تر رود (که این آستانه می‌تواند برونداد، ثابت، وابسته به زمان، تصادفی یا درونداد باشد). رویداد نکول نشان‌دهنده آغاز یک دوره آشفته از نظر مالی است که لزوماً به انحلال منجر نمی‌شود. انحلال وقتی رخ می‌دهد که شرکت واقعاً منحل گردد، فعالیتش متوقف گردیده و باقی آن بین دارندگان ادعا توزیع گردد. در مدل‌های اولین گذر که در بالا تشریح گردید، رویداد نکول با انحلال به طور همزمان رخ می‌دهد. با این حال، توسط کودرک و رنو (۲۰۰۵) نشان داده شده است که بیشتر انحلال‌ها یکدفعه بوجود نمی‌آیند بلکه نتیجه یک فرآیند طولانی مدت می‌باشند. همانطور که موراکس (۲۰۰۴) نشان داده است، در مطالعات تجربی آمریکا دریافتند که دوره‌های بقای بعد از نکول اصلی، تا ۳ سال به طول می‌انجامد. مدل‌های فرآیند انحلال، مدل‌های اولین گذر را تعمیم می‌دهند، با احتساب این واقعیت که زمان انحلال بعد از رویداد نکول رخ می‌دهد. فرانسوا و مورلک (۲۰۰۴)، موراکس (۲۰۰۴) و گالایی، راویو و وینر (۲۰۰۵) مدل‌های فرآیند انحلال را به صورت تئوریک مطرح کرده‌اند.

مسیر دیگر تحقیق‌های تئوریک در رویکرد ساختاری شامل گسترش مدل‌های استاندارد با سوییچینگ وضعیت است: بعضی از پارامترهای مدل حالت احتمالی دارند. همانطور که در ادامه بررسی می‌کنیم، حالت‌ها می‌توانند وضعیت چرخه کسب و کار یا رتبه خارجی شرکت باشد. جریانات نقد، هزینه‌های ورشکستگی و هزینه‌های تأمین مالی، ممکن است وابسته به وضعیت باشند. این شاخه از مدل‌های ساختاری قادرند مشکلات پیش‌بینی‌پذیری نکول را کاهش دهند. هکبارث، مایو و مورلک (۲۰۰۴) و الیزالده (۲۰۰۵c) دو مدل متفاوت را با نشان دادن ایده‌های مختلف جلو بردند. در هر دو مورد، نویسندگان عبارت‌های با فرم بسته برای ارزش حقوق صاحبان سهام و بدهی ارائه نمودند که حاکی از سیستم معادلات دیفرانسیل معمولی برای راه حل‌هایشان بود. همانند مدل‌های فرآیند انحلال، مدل‌های وابسته به وضعیت به طور تئوریک توسعه یافته است و موفقیت آینده‌شان در مدلسازی ریسک اعتباری وابسته به عملکرد تجربی‌شان و قابلیت تکرار و پیش‌بینی اسپردهای اعتباری و احتمالات نکول می‌باشد.

مطالعات در زمینه پیش‌بینی ریسک نکول با استفاده از مدل‌های ساختاری در ایران بسیار محدود است. در ابتدای مقدمه این پژوهش اشاره شد که مدل‌های مطرح در ارزیابی ریسک نکول به سه دسته کلی مدل‌های ساختاری، مدل‌های مبتنی بر داده‌های تجربی و مدل‌های ارزیابی کارشناسان خبره تقسیم‌بندی می‌شوند. اکثر قریب به اتفاق پژوهش‌های انجام شده در ایران مبتنی بر دسته دوم می‌باشند که شامل

مدل‌های آماری (مدل‌های رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک و مدل‌های جمع‌پذیر)، مدل‌های هوش مصنوعی (مدل‌های شبکه‌های عصبی، ماشین‌های بردار پشتیبان و یادگیری مبتنی بر کرنل) و مدل‌های فراگیری ماشین هستند. این مدل‌ها، پارامترهای ریسک را با یادگیری از روی مشاهدات گذشته تخمین زده و توصیف می‌کند. در صورتیکه در دسته نخست (مدل‌های ساختاری)، پارامترهای ریسک با مدل‌هایی تعیین می‌شود که برگرفته از تئوری‌های مالی است. در ادامه، به پژوهش‌های محدود صورت گرفته در داخل کشور بر روی مدل‌های ساختاری (که چارچوب نظری متفاوتی از مدل‌های اشاره شده دسته دوم دارند) اشاره می‌شود.

خوانساری و شمس فلاح (۱۳۸۹) با به کارگیری مدل ساختاری کی‌ام‌وی[۷] جهت پیش‌بینی ریسک نکول مشتریان حقوقی بانک‌های ایرانی طی سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ نشان داده‌اند که مدل کی‌ام‌وی قابلیت پیش‌بینی ریسک نکول و تفکیک بین مشتریان خوش حساب و بد حساب را دارد و می‌توان از این مدل به منظور پیش‌بینی احتمال نکول مشتریان حقوقی دریافت‌کننده تسهیلات از بانک‌های ایرانی استفاده نمود.

شمس قارنه و جنتی (۱۳۹۱) با بهره‌گیری از مدل پویای مرتون، احتمال نکول شرکت‌های موجود در صنعت ساخت فلزات اساسی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مدل در تعیین ارزش بازار، نوسان‌پذیری داده‌ها به صورت پویا لحاظ شده است. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های بهبود یافته مرتون همزمان با درنظر گرفتن توزیع‌های مناسب (غیر نرمال) 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 کرده‌اند. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که رابطه ضرایب متغیرهای تولید، نرخ ارز بازار غیر رسمی، 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.

خدائی و علیائی (۱۳۹۱) برخی از عوامل تأثیرگذار بر ریسک نکول را اندازه‌گیری نموده‌اند. در این پژوهش احتمال نکول به عنوان متغیر وابسته از طریق مدل ساختاری کی‌ام‌وی اندازه‌گیری شده‌اند. نهایتاً در بررسی رابطه میان احتمال نکول و متغیرهای مستقل از طریق تحلیل عاملی این متغیرها، عوامل مالی، کارایی مدیریت و اعتباری دسته‌بندی گردیده و مدل بر اساس این سه عامل طراحی شده است.

آذری پناه و فلاح شمس (۱۳۹۲) رابطه بین اجزای ساختارسرمایه و احتمال نکول شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش ابتدا با به کار بردن مدل ساختاری کی‌ام‌وی احتمال نکول شرکت‌ها محاسبه گردیده و پس از آن به روش پنل دیتا بین اجزای ساختار سرمایه شرکت‌ها و احتمال نکول آنان رگرسیون گرفته و سپس آزمون‌های رگرسیون صورت پذیرفته است. نتایج پژوهش این دو نشان می‌دهد که رابطه معناداری بین ساختار سرمایه شرکت‌ها و احتمال نکول آنان وجود دارد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

با توجه به نیاز کشور در خصوص انجام پژوهش‌های مالی، از داده‌های مربوط به شرکت‌های بورسی موجود استفاده نموده‌ایم. شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران به دلیل در دسترس بودن اطلاعات مالی و نیز اهمیت وضعیت اعتباری آن‌ها برای مؤسسات اعتباری و مالی به عنوان جامعه آماری انتخاب شده اند. انتخاب نمونه آماری به صورت قضاوتی و بر اساس معیارهای ذیل بالغ بر ۳۰ شرکت انتخاب شده است:

۱) اطلاعات آن‌ها در دوره مورد بررسی موجود باشد؛
۲) جزء شرکت‌های خدمات مالی نباشند؛
۳) سال مالی شرکت‌های منتخب ۱۲/۲۹ باشد؛
۴) نسبت بدهی شرکت‌ها کمتر از ۰,۵ نباشد.

گردآوری اطلاعات مربوط به قیمت تعدیل‌شده (افزایش سرمایه و تقسیم سود) سهام شرکت‌های مد نظر، از طریق نرم‌افزار TSE Client و وبسایت رسمی شرکت بورس اوراق بهادار تهران تهیه گردیده است. سایر اطلاعات مربوط به میزان بدهی سهم از طریق داده های ارائه شده در وب سایت Codal.ir و وبسایت شرکت‌های مورد بررسی و نیز نرم افزار رهاورد نوین ۳ جمع‌آوری گردیده است. اطلاعات مورد نیاز (قیمت‌های تعدیل‌شده روزانه، ارزش دفتری بدهی شرکت‌ها، نرخ بهره و تعداد سهام شرکت‌ها) شرکت‌های منتخب بورسی در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ گردآوری شده است.

۴- متغیرهای مورد استفاده پژوهش

متغیرهای مورد استفاده پژوهش به عنوان داده‌های ورودی تحقیق عبارتند از:

- **نرخ بازده (روزانه) تعدیل‌شده سهام:** این نرخ بازده نسبت به افزایش سرمایه و نیز سود تقسیمی طی دوره مورد بررسی تعدیل شده است. نحوه تعدیل بازده سهام از طریق فرمول ۴-۱ محاسبه می‌شود:

$$r_t = \frac{D_t + P_t(1+\alpha+\beta) - (P_{t-1} + c\alpha)}{P_{t-1} + c\alpha} \times 100 \qquad (۱-۴)$$

که در آن؛

P_t برابر با قیمت بازاری سهم در پایان دوره t؛

D_t برابر با سود نقدی پرداختی در پایان دوره t؛

α برابر با درصد افزایش سرمایه از محل مطالبات و آورده نقدی؛

β برابر با درصد افزایش سرمایه از محل اندوخته؛

و c برابر با مبلغ اسمی پرداخت‌شده توسط سرمایه‌گذار بابت افزایش سرمایه از محل آورده نقدی (و مطالبات) می‌باشد.

- **ارزش دفتری بدهی شرکت:** مجموع بدهی جاری و غیر جاری شرکت است که در ترازنامه میاندوره‌ای (۳ ماهه، ۶ ماهه و ۹ ماهه) و سالیانه شرکت افشاء شده است.
- **نرخ بازده بدون ریسک طی دوره:** نرخ سود علی‌الحساب اوراق مشارکت منتشر شده طی دوره مورد مطالعه تحقیق می‌باشد. این نرخ برای دوره زمانی تحقیق (۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) ۲۰٪ در نظر گرفته شده است.
- **ارزش بازاری حقوق صاحبان سهام شرکت:** منظور از متغیر فوق، حاصلضرب قیمت (بازاری) روزانه تعدیل‌شده سهام در تعداد سهام می‌باشد.
- **آستانه نکول:** درصدی از ارزش دفتری بدهی شرکت‌ها است که در مدل توسعه‌یافته تحقیق به عنوان معیار نکول قبل از سررسید تعیین شده است. در این مقاله نکول طی دوره به شکل برونداد و به میزان ۹۰ درصد ارزش بدهی تعیین شده است.

۵- مدل پژوهش

به منظور طراحی مدل، در ابتدای امر مفروضات مورد نیاز مطرح شده است و پس از آن، مدل تشریح شده است. سپس نحوه محاسبه مجهولات مدل بیان شده است.

مفروضات مدل پیشنهادی بدین شرح می‌باشند:

۱) فرض می‌شود بازار کامل است یعنی هیچگونه هزینه تراکنش، مالیات و غیرقابل تقسیم بودن دارایی‌ها مطرح نیست؛ اخذ و اعطای وام از طریق یک حساب سپرده بازار پول و هر دو بر مبنای نرخ مرکب پیوسته بدون ریسک r امکانپذیر است؛ به تعداد کافی سرمایه‌گذاران با سطوح ثروت قابل مقایسه وجود دارد به طوری که هر سرمایه‌گذار عقیده دارد که به هر تعداد که بخواهد از یک سهم می‌تواند به قیمت بازار بخرد و بفروشد؛ فروش استقراضی دارایی‌ها امکان‌پذیر است؛ معامله اوراق بهادار به طور پیوسته در زمان امکان‌پذیر است؛ تئوری مودیلیانی-میلر برقرار است، یعنی ارزش شرکت نسبت به ساختار سرمایه بی‌ارتباط است.

۲) فرض می‌شود ارزش شرکت V_t، از یک فرآیند انتشار به شکل رابطه ۵-۱ تبعیت می‌کند و نرخ بهره بدون ریسک r طی سال ثابت است:

$$dV_t = rV_t dt + \sigma_V V_t dW_t \qquad (۵-۱)$$

که σ_V نوسان دارایی و W_t یک حرکت براونی است.

۳) فرض می‌شود که بدهی‌های شرکت یک اوراق قرضه بدون ریسک با سررسید T می‌باشد.

۴) آستانه نکول K برای ارزش دارایی‌های شرکت وجود دارد که در آن، شرکت به یک بحران مالی و یک رویداد اعتباری ورود پیدا می‌کند. اگر $V_t > K$ باشد انتظار می‌رود که شرکت بتواند تعهداتش را برآورده سازد. اگر $V_t < K$ بشود، شرکت بلافاصله بر روی تعهدات فعلی و آتی خود نکول می‌کند.

چارچوب مدل پیشنهادی بر این امر استوار است که ورشکستگی می‌تواند قبل از سررسید با گذر از یک آستانه مشخصی که نسبتی از بدهی شرکت می‌باشد پدید آید. در این شرایط حقوق صاحبان سهام به مثابه یک اوراق اختیار خرید با مانع از نوع *knock out* خواهد بود. مانند مدل مرتون فرض می‌شود که ارزش دارایی شرکت یک فرآیند براونی هندسی است. با در نظر گرفتن این شرط که $K<D$ برقرار باشد، رابطه (۵-۲) برقرار است:

$$S_t = V_t\Phi(d_1) - De^{-r(T-t)}\Phi\left(d_1 - \sigma_V\sqrt{T-t}\right) - \left[V_t\left(\frac{K}{V_t}\right)^{2r/\sigma_V^2+1}\Phi(d_1^K) - De^{-r(T-t)}\left(\frac{K}{V_t}\right)^{2r/\sigma_V^2-1}\Phi\left(d_1^K - \sigma_V\sqrt{T-t}\right)\right] \quad (۲-۵)$$

$$d_1 = \frac{ln(V_t/D)+\left(r+\sigma_V^2/2\right)(T-t)}{\sigma_V\sqrt{T-t}} \quad (۳-۵)$$

$$d_1^K = \frac{ln(K^2/(V_tD))+\left(r+\sigma_V^2/2\right)(T-t)}{\sigma_V\sqrt{(T-t)}} \quad (۴-۵)$$

در رابطه ۵-۲، S_t ارزش حقوق صاحبان سهام، V_t ارزش دارایی، D ارزش بدهی شرکت، r نرخ بهره بدون ریسک، T سررسید بدهی شرکت، K آستانه نکول شرکت و σ_V نوسان دارایی شرکت می‌باشد. لازم به ذکر است، در مقاله ریز و پرلیچ (۲۰۰۷) نحوه قیمت‌گذاری اختیار معامله با مانع از نوع *knock out* تشریح گردیده است و سپس رابطه ۵-۲ به اثبات می‌رسد. حال می‌بایست احتمال نکول را با توجه به شرایط فوق محاسبه نمود. طبق مدل پیشنهادی، نکول در یکی از حالات زیر می‌تواند رخ دهد:

۱) ارزش دارایی‌های شرکت قبل از زمان سررسید T، از آستانه K عبور کند یا

۲) در تمامی مدت قبل از سررسید، ارزش دارایی‌های شرکت از آستانه K بیش‌تر باشد ولی در زمان سررسید از مقدار بدهی شرکت کمتر بوده باشد.

در یکی از دو شرایط فوق نکول رخ می‌دهد. احتمال نکول در مجموع برابر است با:

(۵-۵)

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{ln(V_t/D) + (\mu - \sigma_V^2/2)(T-t)}{\sigma_V\sqrt{T-t}}\right) + (K/V_t)^{2\mu/\sigma_V^2-1}\Phi\left(\frac{ln(K^2/(V_tD)) + (\mu - \sigma_V^2/2)(T-t)}{\sigma_V\sqrt{T-t}}\right)$$

شیوه محاسبه رابطه ۵-۵ درمقاله ریز و پرلیچ (۲۰۰۷) تشریح شده است. همانطور که پیداست به منظور محاسبه احتمال نکول در مدل مذکور، مقادیر σ_V ،μ پارامترهای نامعلوم مدل هستند. ما همچنان باید آستانه نکول، K را برآورد کنیم. سندارام (۲۰۰۱) تصریح می‌کند که نکول معمولاً در عمل وقتی رخ می‌دهد که ارزش بازار دارایی‌های شرکت‌ها به زیر یک نقطه بحرانی سقوط کند که این نقطه به طور معمول

کمتر از ارزش اسمی تمامی تعهدات می‌باشد، اما بالاتر از ارزش اسمی تعهدات کوتاه‌مدت شرکت است. بنابراین، یک روش برای انتخاب ارزش K بین این دو محدوده است. داویدنکو (۲۰۱۲) آستانه نکول را در حدود ۷۲ درصد ارزش اسمی بدهی شرکت در نظر گرفته است. ما در مدل پیشنهادی، همانند رویکرد گفته شده آستانه نکول را نسبتی از مقدار بدهی شرکت در نظر می‌گیریم. این مقدار می‌بایست کمتر از کل بدهی شرکت و بیشتر از بدهی کوتاه‌مدت شرکت باشد. با بررسی صورت گرفته در ساختار سرمایه شرکت‌های مورد بررسی، مقدار K را برابر با ۹۰ درصد مقدار بدهی شرکت‌ها در نظر گرفته‌ایم. مشکل دیگری که در محاسبه احتمال نکول باقی می‌ماند، به دست آوردن مقادیر V_t طی دوره می‌باشد که نحوه محاسبه آن در ادامه بیان می‌شود.

۵-۱- برآورد پارامترها و محاسبه متغیرهای مدل

به منظور محاسبه احتمال نکول شرکت‌ها، از رویکردی تحت عنوان رویکرد تکرارشونده استفاده می‌کنیم. این رویکرد، مبنای محاسبات ما در این پژوهش خواهد بود. در ابتدا این رویکرد را در مدل مرتون تشریح نموده و سپس آن را در مدل پیشنهادی به کار می‌گیریم.

در مدل مرتون ارزش سهام شرکت به شکل تابعی از ارزش دارایی‌های شرکت و نوسان دارایی‌ها می‌باشد:

$$S_t = V_t\Phi(d_1) - D\, e^{-r(T-t)}\Phi(d_2) \qquad (۶-۵)$$

که در آن Φ تابع توزیع نرمال استاندارد است و

$$d_1 = \frac{ln(V_t/D) + (r+\frac{1}{2}\sigma_V^2)(T-t)}{\sigma_V\sqrt{T-t}} \qquad (۷-۵)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma_V\sqrt{T-t} \qquad (۸-۵)$$

با مرتب‌سازی دوباره رابطه (۳-۶) داریم:

$$V_t = \left[S_t + De^{-r(T-t)}\Phi(d_2)\right]/\Phi(d_1) \qquad (۹-۵)$$

اگر به روزهای معاملاتی قبل برگردیم (مثلاً n روز معاملاتی قبل) یک سیستم معادلات به شکل زیر خواهیم داشت:

$$V_t = \left[S_t + De^{-r_t(T-t)}\Phi(d_2)\right]/\Phi(d_1) V_{t-1} = \left[S_{t-1} + De^{-r_{t-1}(T-(t-1))}\Phi(d_2)\right]/\Phi(d_1) \qquad (۱۰-۵)$$

$$\vdots$$

$$V_{t-n} = \left[S_{t-n} + De^{-r_{t-n}(T-(t-n))}\Phi(d_2)\right]/\Phi(d_1)$$

برای سادگی، اندیس‌های زمان را برای d_1 و d_2 به کار نبرده‌ایم. در مدل مرتون نرخ بهره و تعهدات در طول زمان ثابت هستند. سیستم فوق، یک سیستم *n+1* معادله و *n+1* مجهول است. به نظر می‌رسد با افزودن یک متغیر مجهول به این سیستم، آسیبی به کارمان وارد نمی‌شود چراکه این متغیر می‌تواند از طریق سری زمانی V برآورد گردد. بنابراین سیستم معادلات قابل حل می‌باشند. در هر شرکتی، سررسید تعهدات در زمان‌های متفاوتی حاصل می‌گردد. یعنی این تعهدات می‌تواند از یک روز تا ۳۰ سال را شامل گردد. در ادامه یک راه حل در رابطه با این موضوع نشان خواهیم داد. فرض کنید که سررسید تعهدات شرکت، تنها در یک سال قرار داشته باشد. اگر فرض کنیم که سررسید تعهدات شرکت یکساله باشد، دلیلی وجود ندارد که ما نتوانیم سررسید را در هر روز در نظر بگیریم. این مسئله طبیعی به نظر می‌رسد زیرا شرکت‌ها اغلب ساختار سررسید یکنواختی دارند یعنی هر بار که بخشی از بدهی‌ها از چرخه خارج گردید، آن‌ها بدهای‌های جدید ایجاد می‌کنند. با تغییر (T-t) به یک در هر روزی در ۱۲ ماه سال، سیستم معادلات فوق بدین شکل ساده می‌گردد:

(۱۱-۵)

$$V_t = [S_t + D_t e^{-r_t}\Phi(d_2)]/\Phi(d_1) V_{t-1} = [S_{t-1} + D_{t-1} e^{-r_{t-1}}\Phi(d_2)]/\Phi(d_1)$$
$$\vdots$$
$$V_{t-n} = [S_{t-n} + D_{t-n} e^{-r_{t-n}}\Phi(d_2)]/\Phi(d_1)$$

سیستم معادلات فوق به وسیله پروسه تکرارشونده زیر قابل حل است:

تکرار صفر: مقادیر V_{t-a} را به ازای *a=0,1,…,n* تعیین نمایید. یک انتخاب دقیق تعیین V_{t-a} برابر با مجموع ارزش بازار E_{t-a} و ارزش دفتری تعهدات D_{t-a} می‌باشد. σ_V را برابر با انحراف معیار بازده‌های V_{t-a} قرار می‌دهیم. برای تکرارهای بعدی از *m=1,…,end*

تکرار *m*: V_{t-a} و σ_V تکرار قبل را در معادله‌های d_1 و d_2 قرار دهید. حال مقادیر جدید d_1 و d_2 را در معادله $V_{t-a} = [S_{t-a} + D_{t-a} e^{-r_{t-a}}\Phi(d_2)]/\Phi(d_1)$ قرار می‌دهیم. حال مقدار جدید V_{t-a} را به دست آورده و با استفاده از آن مقدار نوسان دارایی شرکت را تعیین می‌کنیم. این کار را تا زمانیکه به یک مقدار مشخصی همگرا شود ادامه می‌دهیم. در هر مرحله از تکرار الگوریتم مقادیر رانش و نوسان دارایی با استفاده از برآوردگرهای ذیل محاسبه می‌گردد

$$\hat{R}_i^{(m)} = \frac{\hat{V}_{ih}(\hat{\sigma}^{(m)})}{\hat{V}_{(i-1)h}(\hat{\sigma}^{(m)})} - 1 \qquad (۱۲-۵)$$

$$\bar{R}^{(m)} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \hat{R}_k^{(m)} \qquad (۱۳-۵)$$

$$\left(\hat{\sigma}^{(m+1)}\right)^2 = \frac{1}{nh}\sum_{k=1}^{n}\left(\hat{R}_k^{(m)} - \bar{R}^{(m)}\right)^2 \qquad (۱۴-۵)$$

$$\hat{\mu}^{(m+1)} = \frac{1}{h}\bar{R}^{(m)} + \frac{1}{2}\left(\hat{\sigma}^{(m+1)}\right)^2 \qquad (۱۵-۵)$$

که n تعداد روزهای معاملاتی در سال می‌باشد و h میزان فاصله هر دو دوره معاملاتی به سال می‌باشد. در این پژوهش، حاصلضرب این دو عدد برابر با یک خواهد شد. یک راه برای چک کردن همگرایی الگوریتم فوق، مقایسه تغییرات ارزش دارایی‌ها از یک تکرار به تکرار بعدی می‌باشد. اگر مجموع مربعات تفاضل مقادیر بین ارزش دارایی‌ها از مقدار مشخصی کمتر بود آنگاه کار را متوقف می‌کنیم. تمامی مراحل فوق‌الذکر در مدل پیشنهادی ما به جز یک مورد قابل استفاده است. تفاوت اصلی در این است که در هر تکرار الگوریتم فوق، مقدار V_t در مدل مرتون طبق رابطه ۵-۹ به راحتی قابل حصول است اما در مدل توسعه‌یافته پژوهش، این امر به راحتی میسر نیست. در معادله ۵-۲ به وضوح قابل مشاهده است که نمی‌توان دارایی شرکت، V_t را بر حسب S_t بازنویسی کرد. بنابراین می‌بایست از طریق استفاده از محاسبات عددی بر این مشکل فائق آمد. برای این کار در هر تکرار با استفاده از نرم‌افزار متلب مقدار V_t را بر حسب S_t از طریق تابع *fsolve* محاسبه می‌کنیم. لازم به ذکر است که سایر مراحل محاسبه احتمال نکول، در این دو مدل تفاوتی ندارد.

۶- فرضیه پژوهش و نحوه آزمون آن

فرضیه پژوهش عبارت است از این‌که: «بین عملکرد مدل ارائه شده در این پژوهش برای پیش‌بینی ریسک نکول با عملکرد مدل استاندارد مرتون، تفاوت معناداری وجود دارد». هنگامی که هدف یک پژوهش، مقایسه یک متغیر در دو وضعیت متفاوت باشد و در صورت عدم برقراری فرض نرمال بودن نمونه می‌توان از آزمون‌های ناپارامتری مانند آزمون ویلکاکسون برای مقایسه دو گروه وابسته استفاده نمود. در این روش، فرض یکسانی دو جامعه را با توجه به نمونه‌های گرفته‌شده از دو جامعه آزمون می‌کنیم. ابتدا تمام مقادیر نمونه را به ترتیب صعودی مرتب می‌کنیم و رتبه‌بندی می‌کنیم. سپس مجموع رتبه‌های هر یک از دو نمونه را به دست آورده، آن‌ها را با R_1 و R_2 نشان می‌دهیم. اگر اختلاف قابل توجهی بین میانگین‌های دو جامعه موجود باشد، اغلب رتبه‌های پایین به احتمال زیاد مربوط به مقادیر یک نمونه و رتبه‌های بالا به احتمال زیاد مربوط به مقادیر نمونه دیگر خواهد بود. اگر تعداد نمونه‌های جامعه‌های اول و دوم را با n_1 و n_2 نشان دهیم در این صورت $R_1 + R_2 = \frac{(n_1+n_2)(n_1+n_2+1)}{2}$ خواهد بود. در عمل، آماره‌های U_1 و U_2 که عبارتند از:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \qquad (۱-۶)$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2+1)}{2} \qquad (۲-۶)$$

تحت فرض صفر میانگین‌ها و واریانس‌های U_1 و U_2 عبارتند از:

$$E(U_1) = E(U_2) = \frac{n_1 \times n_2}{2} \qquad (۳-۶)$$

$$V(U_1) = V(U_2) = \frac{n_1 \times n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad (۴-۶)$$

بنابراین آماره آزمون به این صورت محاسبه می‌شود:

$$Z = \frac{U - E(U)}{\sqrt{V(U)}} \quad (۵-۶)$$

۷- یافته‌های پژوهش

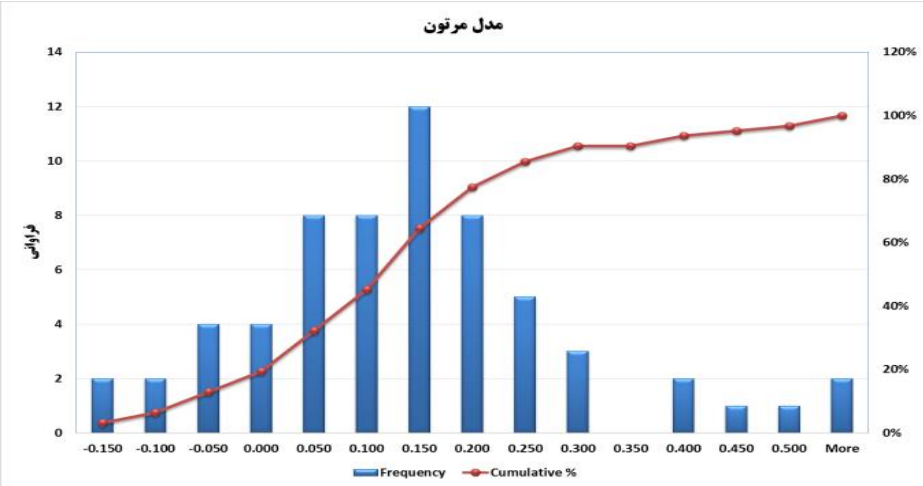
در این بخش از پژوهش، نتایج محاسبه احتمال نکول شرکت‌ها و نیز برآورد پارامترها و متغیرهای مجهول در هر دو مدل پایه و پیشنهادی ارائه می‌گردد. پارامترهای مدل شامل μ و σ_V می‌باشد. پس از برآورد پارامترهای مدل، ارزش دارایی شرکت به دست می‌آید. در نهایت، احتمال نکول شرکت‌های منتخب در دو مدل پایه (مرتون) و مدل توسعه‌یافته محاسبه می‌گردد. در آخر، خلاصه نتایج مربوط به احتمال نکول شرکت‌ها از طریق دو مدل و نیز نمودار توزیع فراوانی (مطلق) و توزیع تجمعی در رابطه با پارامترهای نرخ رانش دارایی (μ)، نرخ نوسان دارایی (σ_V) و احتمال نکول شرکت‌های منتخب، نشان داده می‌شود.

جدول ۷-۱- برآورد احتمال نکول با استفاده از مدل مرتون در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱

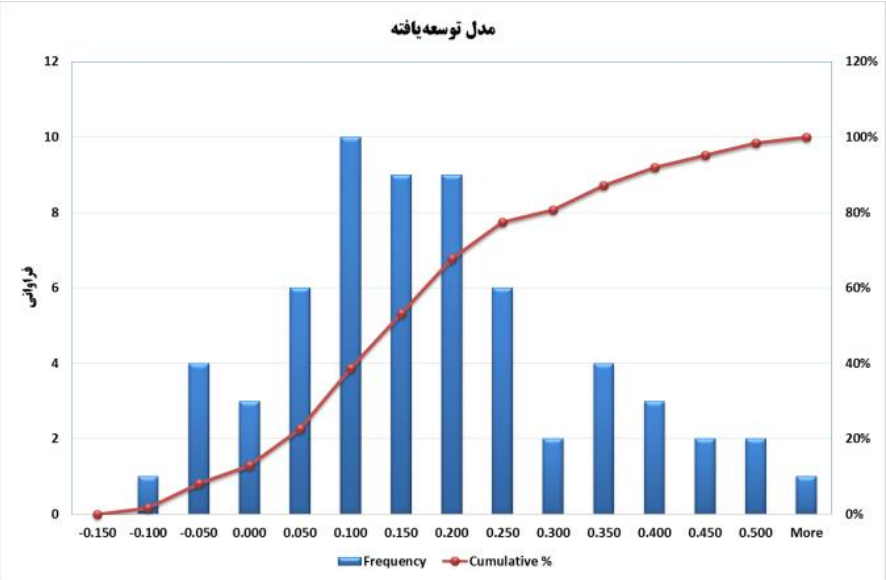
ردیف	نماد شرکت	احتمال نکول (سال ۹۰)	احتمال نکول (سال ۹۰)	ردیف	نماد شرکت	احتمال نکول (سال ۹۰)	احتمال نکول (سال ۹۰)
۱	بشهاب	٪۷,۴۷	٪۲۸,۴۱	۱۷	خوساز	٪۸,۰۲	٪۸۱,۴۲
۲	پتایر	٪۴۰,۶۱	٪۲,۳۰	۱۸	سرود	٪۳۶,۵۴	٪۱۳,۸۱
۳	تایرا	٪۰,۰۲	٪۲,۰۳	۱۹	شفارس	٪۱۰,۶۳	٪۰,۰۴
۴	تکمبا	٪۱۹,۸۱	٪۰,۰۱	۲۰	شکربن	٪۸,۵۵	٪۰,۰۰
۵	چکارن	٪۱,۲۲	٪۳,۳۶	۲۱	شلعاب	٪۰,۱۰	٪۲,۱۸
۶	چکاوه	٪۱,۱۴	٪۵,۵۴	۲۲	غپاک	٪۰,۰۰	٪۰,۰۰
۷	خاذین	٪۶۰,۲۵	٪۱۰۰,۰۰	۲۳	غمهرا	٪۶۷,۳۳	٪۳۸,۶۵
۸	خاور	٪۶۰,۹۶	٪۹۱,۷۲	۲۴	فاذر	٪۲,۹۷	٪۴,۵۵
۹	خپارس	٪۲۰,۴۵	٪۵۵,۰۵	۲۵	فباهنر	٪۴۰,۰۵	٪۱,۲۰
۱۰	ختراک	٪۱۰,۶۳	٪۵۰,۴۵	۲۶	فنوال	٪۱۸,۳۰	٪۲۳,۵۱
۱۱	ختور	٪۸,۰۸	٪۵,۸۹	۲۷	کاذر	٪۱۲,۸۹	٪۸,۸۴
۱۲	خرینگ	٪۴,۴۱	٪۸۹,۱۳	۲۸	کپارس	٪۰,۱۴	٪۲۱,۳۷
۱۳	خساپا	٪۱۸,۷۵	٪۲۹,۰۲	۲۹	کگاز	٪۳,۴۸	٪۰,۸۵
۱۴	خشرق	٪۱۳,۸۰	٪۸۸,۹۴	۳۰	لابسا	٪۲۶,۵۴	٪۱۰,۳۴
۱۵	خکاوه	٪۶۳,۰۹	٪۸۰,۲۹	۳۱	لبوتان	٪۰,۰۶	٪۱۶,۴۷
۱۶	خودرو	٪۵۰,۱۱	٪۸۰,۹۳				

جدول ۷-۲- برآورد احتمال نکول با استفاده از مدل توسعه‌یافته در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱

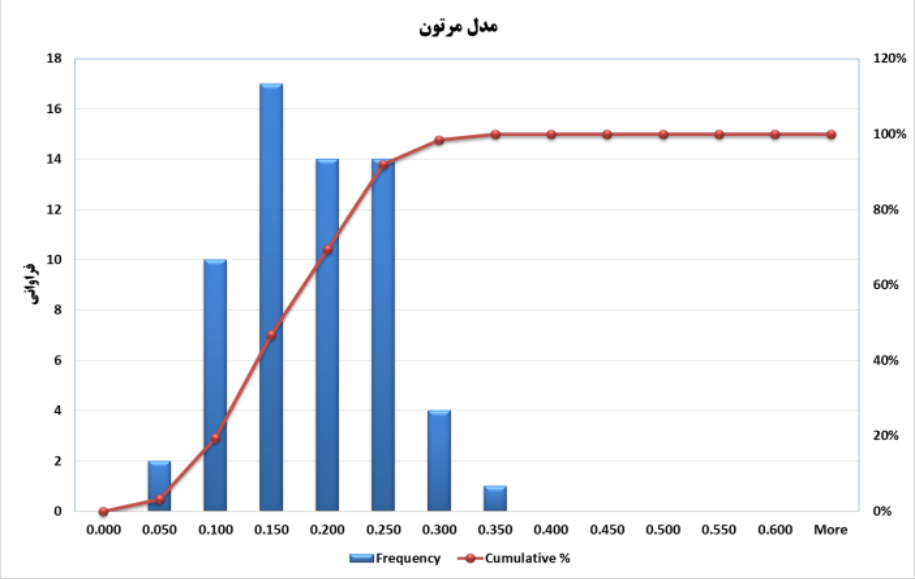
ردیف	نماد شرکت	احتمال نکول (سال ۹۰)	احتمال نکول (سال ۹۰)	ردیف	نماد شرکت	احتمال نکول (سال ۹۰)	احتمال نکول (سال ۹۰)
۱	بشهاب	٪۷,۴۷	٪۲۸,۴۱	۱۷	خوساز	٪۸,۰۲	٪۸۱,۴۲
۲	پتایر	٪۴۰,۶۱	٪۲,۳۰	۱۸	سرود	٪۳۶,۵۴	٪۱۳,۸۱
۳	تایرا	٪۰,۰۲	٪۲,۰۳	۱۹	شفارس	٪۱۰,۶۳	٪۰,۰۴
۴	تکمبا	٪۱۹,۸۱	٪۰,۰۱	۲۰	شکربن	٪۸,۵۵	٪۰,۰۰
۵	چکارن	٪۱,۲۲	٪۳,۳۶	۲۱	شلعاب	٪۰,۱۰	٪۲,۱۸
۶	چکاوه	٪۱,۱۴	٪۵,۵۴	۲۲	غپاک	٪۰,۰۰	٪۰,۰۰
۷	خاذین	٪۶۰,۲۵	٪۱۰۰,۰۰	۲۳	غمهرا	٪۶۷,۳۳	٪۳۸,۶۵
۸	خاور	٪۶۰,۹۶	٪۹۱,۷۲	۲۴	فاذر	٪۲,۹۷	٪۴,۵۵
۹	خپارس	٪۲۰,۴۵	٪۵۵,۰۵	۲۵	فباهنر	٪۴۰,۰۵	٪۱,۲۰
۱۰	ختراک	٪۱۰,۶۳	٪۵۰,۴۵	۲۶	فنوال	٪۱۸,۳۰	٪۲۳,۵۱
۱۱	ختور	٪۸,۰۸	٪۵,۸۹	۲۷	کاذر	٪۱۲,۸۹	٪۸,۸۴
۱۲	خرینگ	٪۴,۴۱	٪۸۹,۱۳	۲۸	کپارس	٪۰,۱۴	٪۲۱,۳۷
۱۳	خساپا	٪۱۸,۷۵	٪۲۹,۰۲	۲۹	کگاز	٪۳,۴۸	٪۰,۸۵
۱۴	خشرق	٪۱۳,۸۰	٪۸۸,۹۴	۳۰	لابسا	٪۲۶,۵۴	٪۱۰,۳۴
۱۵	خکاوه	٪۶۳,۰۹	٪۸۰,۲۹	۳۱	لبوتان	٪۵۳,۴۵	٪۷۹,۷۸
۱۶	خودرو	٪۵۰,۱۱	٪۸۰,۹۳				



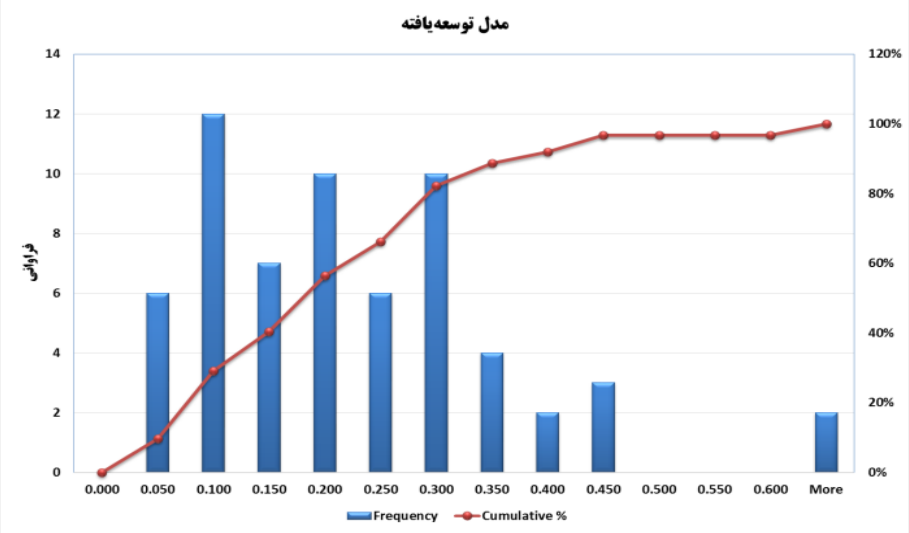
نمودار ۷-۱) توزیع فراوانی مطلق و تجمعی نرخ میانگین دارایی شرکت‌ها در مدل مرتون



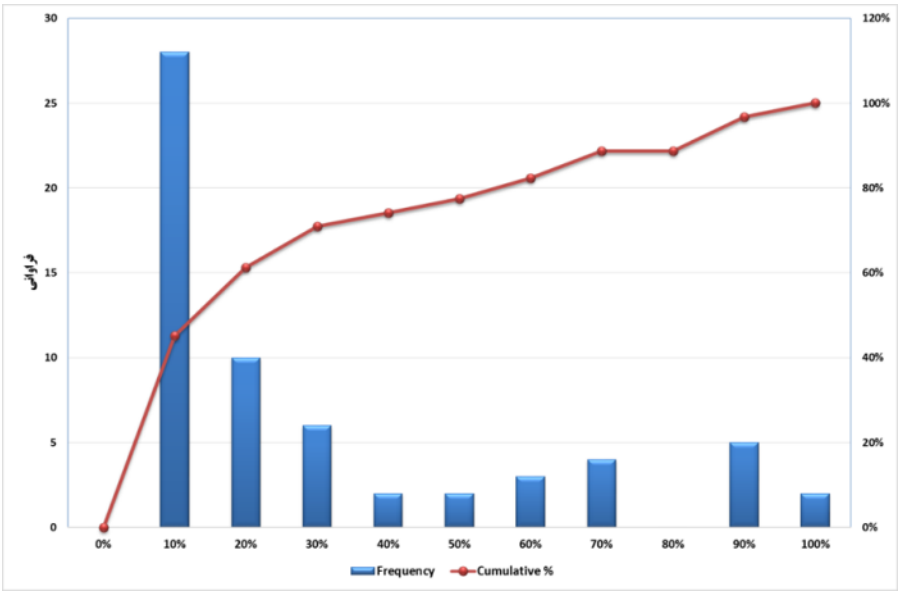
نمودار ۷-۲- توزیع فراوانی مطلق و تجمعی نرخ میانگین دارایی شرکت‌ها در مدل توسع‌یافته



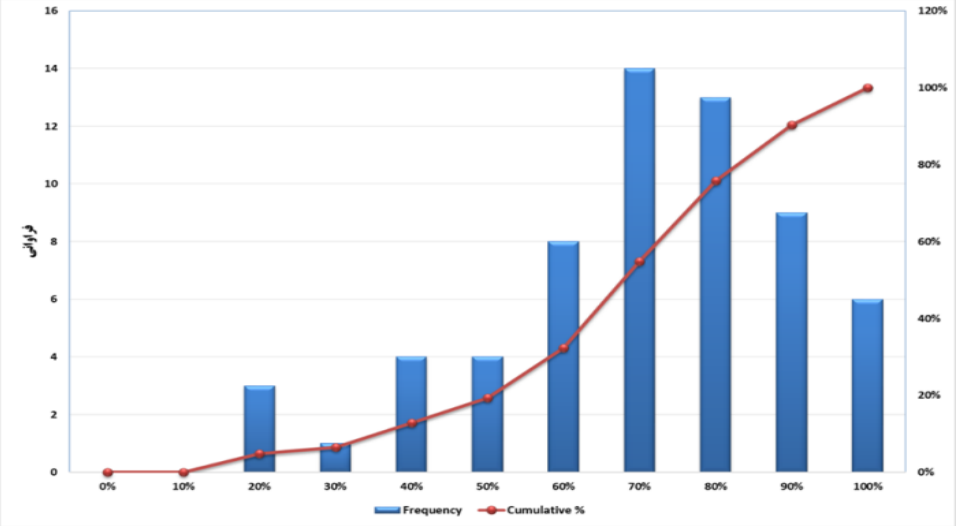
نمودار ۷-۳) توزیع فراوانی نرخ نوسان دارایی شرکت‌ها در مدل مرتون



نمودار ۷-۴- توزیع فراوانی نرخ نوسان دارایی شرکت‌ها در مدل مدل توسعه‌یافته



نمودار ۷-۵- توزیع فراوانی احتمال نکول شرکت‌های منتخب در مدل مرتون



نمودار ۷-۶) توزیع فراوانی احتمال نکول شرکت‌های منتخب در مدل توسعه‌یافته

۷-۱- نتایج آزمون فرضیه پژوهش

در این بخش تفاوت عملکرد دو مدل استاندارد مرتون و مدل ارائه شده در تحقیق بررسی می‌گردد. برای این کار احتمال نکول محاسبه شده بوسیله دو مدل را تحت آزمون قرار می‌دهیم. فرضیه تحقیق و نتایج آن به شرح ذیل است.

H0: احتمال نکول شرکت‌های منتخب در مدل استاندارد مرتون برابر با احتمال نکول در مدل توسعه‌یافته پیشنهادی است.

Ha: احتمال نکول شرکت‌های منتخب در مدل استاندارد مرتون برابر با احتمال نکول در مدل توسعه‌یافته پیشنهادی نیست.

به منظور انتخاب آزمون مناسب برای فرضیه فوق، ابتدا نرمال بودن داده‌ها را بررسی می‌کنیم و با توجه به تعداد کم داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک بهره می‌گیریم که نتایج حاصله به شرح ذیل است.

جدول ۷-۳- نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های فرضیه پژوهش

مدل‌ها و پارامترهای مربوطه		آماره	سطح معناداری
مدل استاندارد مرتون	احتمال نکول (سال ۹۰)	۰,۸۲۷	٪۰,۰۲
	احتمال نکول (سال ۹۱)	۰,۷۹۴	٪۰,۰۰۴
مدل توسعه‌یافته پیشنهادی	احتمال نکول (سال ۹۰)	۰,۸۹۲	٪۰,۴۵
	احتمال نکول (سال ۹۱)	۰,۹۷۶	٪۷۰,۴۸

مطابق با جدول ۷-۳ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که فرض آماری نرمال بودن توزیع احتمالات نکول رد می‌شود. زیرا سطح معناداری نتایج احتمال نکول در سال ۹۰ برای هر دو مدل کمتر از ۵٪ است بنابراین می‌توان فرض نرمال بودن داده‌ها را با اطمینان بالایی رد نمود. همچنین، فرض نرمال بودن نتایج احتمال نکول در سال ۹۱ برای مدل مرتون نیز کمتر از ۵٪ می‌باشد. پس خروجی‌های مدل مرتون نرمال نیستند و بنابراین نمی‌توان فرض نرمال بودن را برای داده‌های خروجی این سال نیز در نظر گرفت. با توجه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها برای بررسی فرضیه مطرح شده فوق به جای استفاده از آزمون مقایسه زوجی t که نیازمند فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها است از آزمون ویلکاکسون استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که آزمون ویلکاکسون از آزمون‌های آماری ناپارامتری است که برای ارزیابی همانندی دو نمونه وابسته با مقیاس رتبه‌ای به کار می‌رود. این آزمون در طرح‌های ماقبل و مابعد و یا دو نمونه از یک جامعه مناسب است. این آزمون متناظر با آزمون t دو نمونه‌ای وابسته‌است و در صورت وجود نداشتن شرایط آزمون t جانشین خوبی برای آن است. در این روش، فرض یکسانی دو جامعه را با توجه به نمونه‌های گرفته‌شده از دو جامعه آزمون می‌کنیم. ابتدا تمام مقادیر نمونه را به ترتیب صعودی مرتب می‌کنیم و رتبه‌بندی می‌کنیم. سپس مجموع رتبه‌های هر یک از دو نمونه را به دست می‌آوریم. اگر اختلاف قابل توجهی بین میانگین‌های دو جامعه موجود باشد، اغلب رتبه‌های پایین به احتمال زیاد مربوط به مقادیر یک نمونه و رتبه‌های بالا به احتمال زیاد مربوط به مقادیر نمونه دیگر خواهد بود. با توجه به روابط ۶-۱ تا ۶-۵ داریم:

$$H_0: \frac{U_1-E(U_1)}{\sqrt{V(U_1)}} = \frac{U_2-E(U_2)}{\sqrt{V(U_2)}} \qquad (۱-۷)$$

$$H_1: \frac{U_1-E(U_1)}{\sqrt{V(U_1)}} \neq \frac{U_2-E(U_2)}{\sqrt{V(U_2)}} \qquad (۲-۷)$$

جدول ۷-۴- نتایج آزمون ویلکاکسون

سطح معناداری	آماره	سال	آزمون ویلکاکسون
٪۰,۰۰۳	-۴,۶۶۴۰	۱۳۹۰	$Default\ Prob._{\text{توسعه‌یافته}} - Default\ Prob._{\text{مرتون}}$
٪۰,۰۳	-۳,۵۸۶۲	۱۳۹۱	$Default\ Prob._{\text{توسعه‌یافته}} - Default\ Prob._{\text{مرتون}}$

همانطور که در جدول ۵-۴ نشان داده شده است، مقدار معناداری در آزمون برای احتمال نکول در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از ۰/۰۵ کمتر است. این مسئله بدین معنا است که در محاسبه احتمال نکول شرکت‌های منتخب، تفاوت معناداری بین دو مدل استاندارد مرتون و مدل توسعه‌یافته ارائه‌شده وجود دارد. مهمترین علت وجود تفاوت معنادار بین دو مدل، در نظر گرفتن احتمال رخداد نکول قبل از سررسید در مدل توسعه‌یافته است. این عامل موجب می‌گردد تا احتمال رخداد نکول در این مدل افزایش یابد. در نمودارهای ۷-۵ و ۷-۶ فراوانی مطلق احتمالات نکول محاسبه شده در دو مدل مؤید این موضوع است.

می‌توان این تحلیل را در مورد مدل توسعه‌یافته داشت که این مدل به طور کلی نسبت به مدل مرتون نگاه بدبینانه‌تری نسبت به رخ دادن نکول دارد.

۸- نتیجه‌گیری و بحث

اندازه‌گیری ریسک اعتباری و برآورد احتمال نکول شرکت‌ها از مهمترین چالش‌های مطرح در نهادهای مالی موجود کشور است. یک رویکرد مطرح در برآورد احتمال نکول شرکت‌ها، رویکرد مربوط به مدل‌های ساختاری پیش‌بینی ریسک نکول است. پایه این رویکرد مبتنی بر تئوری قیمت‌گذاری اختیار معامله ارائه شده توسط بلک و شولز و نیز تحقیقات مرتون در این حوزه است. این مدل‌ها از منظر تئوریک، توسعه قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند اما به دلیل پیچیدگی محاسباتی آن‌ها، به مراتب از توسعه کمتری در حوزه تجربی و کاربردی برخوردار بوده‌اند. هدف اصلی این پژوهش توسعه مدل مرتون و کاهش دادن مفروضات این مدل بوده است. تفاوت اصلی مدل این پژوهش با مدل مرتون، توسعه دادن زمان رخداد نکول است؛ یعنی امکان رخداد نکول را نه فقط در سررسید بلکه در تمامی طول دوره ممکن دانسته و طبعاً محاسبات پیش‌بینی رخداد نکول نیز تغییر یافته است. با تحلیل نتایج آزمون فرضیه پژوهش دریافتیم که بین عملکرد مدل مرتون به عنوان مدل پایه در پژوهش و مدل توسعه‌یافته این پژوهش در پیش‌بینی ریسک نکول، تفاوت معناداری مشاهد می‌شود. علت اصلی وجود این تفاوت معنادار بین دو مدل، در نظر گرفتن احتمال رخداد نکول قبل از سررسید در مدل پژوهش است. این عامل موجب می‌گردد تا احتمال رخداد نکول در مدل مذکور افزایش یابد. لازم به ذکر است که این پژوهش در رابطه با دقت مدل‌ها قضاوتی نمی‌کند چراکه ارزیابی دقت مدل‌ها نیازمند مقایسه مدل با وضعیت تحقق‌یافته نکول شرکت‌ها است. در عمل شرکت‌های موجود در بورس اوراق بهادار به دلیل وابستگی و حمایت‌های دولت از آنان اعلام ورشکستگی نمی‌کنند. در نتیجه این امر سبب می‌شود تا نتوان عملکرد مدل‌های پیش‌بینی ریسک نکول را ارزیابی کرد. چنانچه تحقیقات خود را به سایر بورس‌های مطرح دنیا تسری دهیم، طبعاً چنین محدودیتی وجود نخواهد داشت. همچنین، می‌توان در راستای پیشبرد تحقیقات آتی در حوزه مدل‌های ساختاری، پیشنهادات زیر را ارائه نمود:

- ✓ بررسی احتمال نکول با افق‌های زمانی متفاوت و مقایسه تفاوت پیش‌بینی در افق‌های زمانی مختلف؛
- ✓ مقایسه عملکرد مدل‌های مبتنی بر داده‌های تجربی مانند مدل‌های رگرسیونی و هوش مصنوعی با مدل‌های ساختاری؛
- ✓ تعمیم مدل ارائه شده در تحقیق با در نظر گرفتن ساختار بدهی به مراتب پیچیده‌تر برای شرکت‌ها؛
- ✓ فرض عدم یکنواخت بودن ساختار زمانی نرخ‌های بهره و تصادفی در نظر گرفتن آن؛
- ✓ در نظر گرفتن وجود همبستگی بین نرخ بهره متغیر و ارزش دارایی‌های شرکت؛
- ✓ در نظر گرفتن پرش‌هایی در روند ارزش دارایی‌های شرکت؛

- ✓ افزودن دوره انحلال به مدل و امکان بازگشت شرکت از وضعیت نکول طی دوره انحلال (مدل‌های ساختاری فرآیند انحلال)؛
- ✓ گسترش مدل با در نظر گرفتن امکان سوییچینگ وضعیت کسب و کار و یا سوییچینگ رتبه خارجی شرکت؛ همچنین افزودن امکان سوییچینگ جریانات نقد شرکت، هزینه‌های ورشکستگی و هزینه‌های تأمین مالی طی دوره (مدل‌های ساختاری وابسته به وضعیت)؛
- ✓ تعیین آستانه نکول به صورت درونداد از طریق ابزارهای بهینه‌سازی در مدل.

فهرست منابع

* آذری‌پناه، شهلا و فلاح شمس، میرفیض، (۱۳۹۲)، بررسی ارتباط بین احتمال نکول و ساختار سرمایه با استفاده از مدل KMV و روش پنل دیتا، فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، سال ششم، شماره ۱۸.
* خدائی وله زاقرد، محمد و قلمی باویل علیایی، سمیرا، (۱۳۹۲)، فصلنامه بورس اوراق بهادار، شماره ۲۱.
* خوانساری، رسول و فلاح شمس، میرفیض، (۱۳۸۸)، ارزیابی کاربرد مدل ساختاری KMV در پیش‌بینی نکول شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، مجله تحقیقات مالی، دوره ۱۱، شماره ۲۸.
* شمس قارنه، ناصر و جنتی، سیما، (۱۳۹۱)، ارائه مدلی پویا جهت پیش‌بینی نرخ نکول شرکت های لیست شده در بورس ایران (مطالعه موردی: صنعت ساخت محصولات فلزی)، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۱۳.
* واعظ، محمد و امیری، هادی و حیدری، مهدی، (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.
* ون جستل، تونی و بیزنس، بارن و علیزاده، پریسا (مترجم)، (۱۳۹۱) مدیریت ریسک اعتباری، پژوهشکده پولی و بانکی- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، چاپ اول
* Anderson, R. W., Sundaresan, S., & Tychon, P. (1996). Strategic analysis of contingent claims. European Economic Review, 40(3), 871-881.
* 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. The journal of political economy, 637-654.
* Collin-Dufresne, P., Goldstein, R. S., & Martin, J. S. (2001). The determinants of credit spread changes. The Journal of Finance, 56(6), 2177-2207.
* Couderc, F., & Renault, O. (2004). Times-to-default: Life cycle, global and industry cycle impacts. Unpublished manuscript, University of Geneva and Warwick Business School.
* Davydenko, S. A. (2012, November). When do firms default? A study of the default boundary. In A Study of the Default Boundary (November 2012). EFA Moscow Meetings Paper.
* Elizalde, A. (2005). Credit Risk Models III: Reconciliation Structural-Reduced Models. Unpublished manuscript. Available at www.abelelizalde.com.

* Eom, Y. H., Helwege, J., & Huang, J. Z. (2004). Structural models of corporate bond pricing: An empirical analysis. Review of Financial studies, 17(2), 499-544.
* Fan, H., & Sundaresan, S. M. (2000). Debt valuation, renegotiation, and optimal dividend policy. Review of financial studies, 13(4), 1057-1099.
* Fouque, J. P., Sircar, R., & Selena, K. (2006). Stochastic volatility effects on defaultable bonds. Applied Mathematical Finance, 13(3), 215-244
* François, P., & Morellec, E. (2004). Capital Structure and Asset Prices: Some Effects of Bankruptcy Procedures. The Journal of Business, 77(2), 387-411.
* Galai, D., Raviv, A., & Wiener, Z. (2007). Liquidation triggers and the valuation of equity and debt. Journal of Banking & Finance, 31(12), 3604-3620.
* Geske, R. (1977). The valuation of corporate liabilities as compound options. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 12(04), 541-552.
* Hackbarth, D., Miao, J., & Morellec, E. (2006). Capital structure, credit risk, and macroeconomic conditions. Journal of Financial Economics, 82(3), 519-550.
* Helwege, J. (1999). How long do junk bonds spend in default? The Journal of Finance, 54(1), 341-357.
* Hilberink, B., & Rogers, L. C. (2002). Optimal capital structure and endogenous default. Finance and Stochastics, 6(2), 237-263.
* Hsu, J. C., Saa-Requejo, J., & Santa-Clara, P. (2004). Bond pricing with default risk. Available at SSRN 611401.
* Leland, H. E. (1994). Corporate debt value, bond covenants, and optimal capital structure. The journal of finance, 49(4), 1213-1252.
* Leland, H. E., & Toft, K. B. (1996). Optimal capital structure, endogenous bankruptcy, and the term structure of credit spreads. The Journal of Finance, 51(3), 987-1019.
* Löeffler, G., & Posch, P. N. (2011). Credit risk modeling using Excel and VBA. John Wiley & Sons.
* 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.
* Mella-Barral, P., & Perraudin, W. (1997). Strategic debt service. The Journal of Finance, 52(2), 531-556.
* Mello, A. S., & Parsons, J. E. (1992). Measuring the agency cost of debt. The Journal of Finance, 47(5), 1887-1904.
* Merton, R. C. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates. The Journal of Finance, 29(2), 449-470.
* Moraux, F. (2002). Valuing corporate liabilities when the default threshold is not an absorbing barrier.
* Nielsen, L., Saá-Requejo, J., & Santa-Clara, P. (1993). Default risk and interest rate risk: The term structure of credit spreads. Unpublished, University of California, Los Angeles.
* Reisz, A. S., & Perlich, C. (2007). A market-based framework for bankruptcy prediction. Journal of Financial Stability, 3(2), 85-131.
* Sundaram, R. K. (2001). The Merton/KMV approach to pricing credit risk. Extra Credit, 59-68.
* Zhou, C. (1997). A jump-diffusion approach to modeling credit risk and valuing defaultable securities. Available at SSRN 39800.
* Zhou, C. (2001). The term structure of credit spreads with jump risk. Journal of Banking & Finance, 25(11), 2015-2040

یادداشت‌ها

[1] Merton
[2] Basel II
[3] Probability of Default (PD)
[4] Loss Given Default (LGD)
[5] Exposure at Default (EAD)
[6] Structural Models
[7] KMV