



## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی با رویکرد شبکه‌های عصبی - فازی تطبیق‌پذیر

محمد شعبانی‌ورنامی<sup>۱</sup>

حسین دیده‌خانی<sup>۲</sup>

علی خوزین<sup>۳</sup>

آرش نادریان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۴/۲۶

### چکیده

هدف از انجام این پژوهش، طراحی مدل رتبه‌بندی اعتباری ناشران و ابزارهای تامین مالی اوراق بهادار اسلامی در بازار سرمایه ایران است. جهت انجام این هدف، سه گام اصلی انجام پذیرفت. گام اول، شناسایی معیارهای ارزیابی و یا همان ریسک‌های مرتبط با اوراق بهادار اسلامی بود که توسط خبرگان و مروری بر مبانی نظری انجام پذیرفت. گام دوم، مدل‌سازی اوراق بهادار اسلامی با استفاده از مدل شبکه عصبی-فازی تطبیق‌پذیر بود که میانگین خطای آموزش تمامی مدل‌های اصلی و زیرمجموعه کمتر از حد آستانه بود. گام سوم، بکارگیری مدل‌سازی سیستم عصبی فازی در رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی می‌باشد. برای انجام این کار، در مرحله اول رتبه‌بندی ناشر بوده است که نتایج پژوهش نشان داد که ناشر دولت دارای کمترین و شرکت‌های خصوصی دارای بیشترین ریسک می‌باشند. در مرحله دوم برای رتبه‌بندی ابزارهای تامین مالی، نتایج نشان داد که برای ناشر دولت اوراق اسناد خزانه دارای کمترین و اوراق سلف دارای بیشترین ریسک می‌باشند. برای ناشر شرکت‌های دولتی، اوراق سلف دارای بیشترین و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد. برای ناشر شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی، اوراق مرابحه دارای بیشترین و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد. برای ناشر شرکت‌های خصوصی، اوراق مشارکت دارای بیشترین و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد.

### کلمات کلیدی

رتبه‌بندی اعتباری، اوراق بهادار اسلامی، شبکه عصبی، منطق فازی، شبکه عصبی - فازی تطبیق‌پذیر طبقه‌بندی: C39 , C45 , G29 , G24

۱- گروه مدیریت مالی، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران. m.sh.varnami64@gmail.com

۲- گروه مهندسی مالی، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران (نویسنده مسئول) h.didekhani@gmail.com

۳- گروه حسابداری واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد، علی آباد کتول، ایران. khozein@ Aliabadiau.ac.ir

۴- گروه حسابداری واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد، علی آباد کتول، ایران. arashnaderian@yahoo.com

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

### مقدمه

مجموع ارزش دارایی‌های مالی اسلامی در بازارهای مالی جهان به‌عنوان بخشی از خط سیر رشد موفقیت آمیز به مبلغ معادل ۱/۸۱۴ تریلیون دلار در سال ۲۰۱۷ رسیده است [۵۲]. برخلاف نمونه بودن این نرخ رشد، بخش تامین مالی اسلامی همچنان در مرحله‌ی رشد بوده و در عین حال دارای توانمندی و رشد چشمگیری می‌باشد. پیش‌بینی‌های صورت گرفته حکایت از آن دارد که دارایی‌های مالی اسلامی به چیزی معادل ۳/۲۴۷ تریلیون دلار در سال ۲۰۲۰ خواهد رسید [۲۷]. هواداران تامین مالی اسلامی مدعی گردیده‌اند که این صنعت به سبب ویژگی‌های برجسته و با ارزش خود را از تامین مالی مرسوم در بازار جدا و منفک نموده است و بدین ترتیب توانسته است دسته‌ای متمایز از دارایی را به ارمغان آورد که در بلندمدت دارای ثبات و پایداری بیشتری خواهد بود [۲۰]. رتبه‌بندی اعتباری ابزاری مهمی در صنعت مالی دنیا است. شرکت‌های رتبه‌بندی طرحی برای ارائه اطلاعات مرتبط با اعتبار ناشران اوراق بهادار دارند. هدف این کار کاهش عدم تقارن اطلاعاتی در میان ناشر و سرمایه‌گذار از طریق ارائه اطلاعات در مورد اوراق رتبه‌بندی شده است [۲۵].

رتبه‌بندی اعتباری، اظهار نظر رسمی و فنی درباره درجه نسبی ریسک عدم بازپرداخت به موقع اصل و بهره یک ابزار بدهی است که صلاحیت اعتباری نهاد ناشر آن را پیش‌بینی می‌کند [۳۴]. پژوهش‌های زیادی برای تأیید اهمیت رتبه‌بندی اوراق قرضه وجود دارد. برای مثال: [۲۹]، [۳۱]، [۴۲]، [۵۷]. با این وجود ادبیات موجود در زمینه رتبه‌بندی اوراق بهادار نشان می‌دهد که به دلیل کمبود مطالعات تجربی در زمینه رتبه‌بندی صکوک شکاف پژوهشی در این زمینه وجود دارد [۲۴]. ارزیابی ریسک اعتباری یکی از مسائل بسیار چالش برانگیز و مهم در زمینه داده کاوی در حوزه‌ی تحلیل مالی به شمار می‌آید. مدل‌های امتیازدهی اعتباری به صورت محدود برای ارزیابی ریسک اعتباری صکوک مورد استفاده قرار گرفته‌اند و می‌توانند اوراق‌های بهادار را از لحاظ ریسک مورد سنجش و رتبه‌بندی قرار دهند. در طول دو دهه‌ی گذشته، شیوه‌های کمی برای تصمیم‌گیری در مورد ریسک اعتباری اوراق بهادار اسلامی پیشنهاد شده‌اند. عمدتاً این روش‌های استفاده شده در پژوهش‌ها شامل رگرسیون لجستیک<sup>۱</sup> [۲۴] و [۲۵]، روش تحلیل سلسله مراتبی [۱۶] و [۱۹]، روش TOPSIS [۱۸] مدل استنتاج شبکه عصبی [۲۵] و موارد مشابه می‌باشند. در میان این روش‌های طبقه‌بندی رتبه‌بندی، رگرسیون لجستیک بعنوان مشهورترین روش آماری محسوب گردیده و بطور گسترده در مقایسه با دیگر روش‌ها در عمل بیشتر استفاده شده است. ولی به دلیل غیرخطی بودن ماهیت مسئله رتبه‌بندی اعتباری، دارای ضعف فراوانی است. از سوی دیگر، مدل‌های اصلی برای ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها در همه حوزه‌های صنعتی و بازار در زمره مدل‌های

تصمیم‌گیری چندمعیاره از قبیل روش تحلیل سلسله مراتبی، TOPSIS و غیره می‌باشند اما برخی عوامل باید در زمان اجرای این‌گونه مدل‌ها مدنظر قرار گیرند. مهمترین چالش آن است که این مدل‌ها نمی‌توانند وابستگی‌های درونی و روابط میان معیارها را مدنظر قرار دهند، بنابراین اعتبار و روایی این‌گونه مدل‌ها جای سؤال و بحث دارد. چالش دیگر آن است که این‌گونه مدل‌ها به وزن‌های از پیش تعیین شده در ارتباط با معیارها نیاز دارند. به زبان دقیق‌تر، هنگامی که بیش از یک تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد، دستیابی به وزن‌های هر معیار بسیار دشوار خواهد بود. چالش دیگر آن است که زیرمعیارها به کدام دسته تعلق دارند. از آنجایی که وزن کلی زیرمعیارها شدیداً به وزن معیارهایی که به آنها تعلق دارند بستگی دارد، در نتیجه در مواقعی که ابهام در مورد ساختار معیارها و زیرمعیارها وجود دارد، منطقی نیست که از روش‌های ساختاری از قبیل AHP و تاپسیس استفاده شود. مدل‌های امتیازدهی اعتباری شبکه عصبی<sup>۲</sup> دارای دقت بالا است، اما نیاز به برخی مهارت‌های مدل‌سازی دارند- به عنوان نمونه طراحی انواع مناسب شبکه‌ها در عین حال تشریح نتایج امتیازدهی اعتبار برای کاربران به صورت دقیق و شفاف، کاری دشوار است. به منظور برطرف سازی این‌گونه چالش‌ها، از مفهوم شبکه‌های عصبی و به طور خاص سیستم‌های استنتاج فازی عصبی تطبیقی بهره گرفته که مدل‌های مؤثر و کارآمد در ارتباط با تقریب توابع<sup>۳</sup>، خوشه بندی<sup>۴</sup> و تشخیص الگوها<sup>۵</sup> به شمار می‌آیند. این مدل‌های ترکیبی متشکل از سیستم‌های استنتاج فازی و شبکه‌های عصبی هستند. استفاده از شبکه‌های عصبی منجر به افزایش برآزش سیستم‌های استنتاج فازی با بهترین توابع عضویت (پارامترهای پیشنهادی) و ضرایب توابع (پارامترهای برآیند) می‌گردد [۵۳].

چون اوراق منتشر شده در بازار سرمایه تاکنون دارای ضامن پرداخت بوده‌اند، به این مهم پرداخته نشده است، ولی با دریافت مجوز مؤسسات رتبه بندی اعتباری از سازمان بورس و اوراق بهادار، در ماه‌ها و سال‌های بعد شاهد فعالیت مؤسسات رتبه بندی اعتباری خواهیم بود و روش‌های رتبه‌بندی نیز ابداع خواهند شد. در حال حاضر ۲ شرکت رتبه‌بندی دارای مجوز به نام‌های برهان و پارس در این زمینه وجود دارد. رتبه‌بندی باعث می‌شود که سرمایه‌گذاران تصمیم بهتری بگیرند و نهایتاً سبب می‌شود بین شرکت‌ها رقابت سالمی به وجود آید و شرکت‌ها نقاط ضعف و قوت عملکردی خود را تشخیص دهند و در نهایت به کارایی بورس کمک کنند [۶].

در این پژوهش که بر اساس هدف از نوع پژوهش‌های توسعه- کاربردی بوده، با ابزار مصاحبه و پرسشنامه که از روایی و پایایی بالایی برخوردار است، از خبرگان طی چندین مرحله مصاحبه به عمل آمده است. هدف این پژوهش پاسخ به این سوال می‌باشد که آیا سیستم استنتاجی شبکه عصبی- فازی

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

قابلیت رتبه‌بندی اعتباری ریسک‌های اوراق بهادار اسلامی را دارا می‌باشند؟ نتایج پژوهش حاکی از آن بود که که ناشر دولت دارای کمترین ریسک و شرکت‌های خصوصی دارای بیشترین ریسک می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که برای شرکت‌های دولتی، اوراق سلف دارای بیشترین ریسک و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک بوده و برای شرکت‌های خصوصی، اوراق مشارکت دارای بیشترین ریسک و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد.

این پژوهش در ۵ بخش ساختار بندی شده است. در بخش اول، به اهمیت و ضرورت و بیان مسئله پژوهش پرداختیم. در بخش دوم به پیشینه پژوهش و بیان مبانی نظری می‌پردازیم. در بخش سوم، به روش‌شناسی پژوهش پرداخته خواهد شد. سپس در بخش چهارم و پنجم، به تجزیه و تحلیل یافته‌ها و بحث و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

### **مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش**

#### **تعریف و کارکردهای صکوک**

گسترش بازار مالی اسلامی تا سال ۲۰۲۴ بیش از ۳٫۵ تریلیون دلار آمریکا پیش‌بینی می‌شود [۴۸] و پیش‌بینی موسسه مودی امید این مطلب است که انتشار اوراق صکوک تا پایان سال ۲۰۲۰ به بیش از ۹۳ میلیارد دلار خواهد رسید [۵۰]. صکوک اوراق قرضه اسلامی هستند که مزایایی از قبیل افزایش بهره‌وری عملیاتی، کاهش هزینه و افزایش شفافیت برای شرکت‌های منتشرکننده را در پی دارد [۴۳]. صکوک یک جایگزین بدهی برای اوراق قرضه بوده که اولین بار نزدیک به دو دهه پیش در بازار جهانی توسط کشور مالزی منتشر گردیده است. در ابتدا صکوک در پاسخ به مطالبات سرمایه‌گذاران مسلمان در مورد دارایی‌های مالی که منطبق با شریعت اسلام از قبیل منع بهره، مطالبات مالی با پشتوانه دارایی و جلوگیری از سرمایه‌گذاری در بخش‌های غیرشرعی بود، به وجود آمده است. بنابه گزارش بازار مالی اسلامی بین‌المللی در سال ۲۰۱۹، صکوک در ۲۹ کشور با ارزش ۴۹۰٫۷۴ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸ عرضه شده است. بازار صکوک در اختیار کشورهای مالزی (۳،۴۹٪)، عربستان سعودی (۱،۲۰٪)، اندونزی (۸،۱۱٪)، امارات متحده عربی (۴،۷٪)، قطر (۱،۹۸٪)، ترکیه (۵۵،۲٪)، بحرین (۱،۵۸٪)، پاکستان (۱،۶۱٪)، عمان (۱،۰۲٪)، کویت (۲۷،۰٪) و ایران (۰،۰۱٪) می‌باشد. با این حال تقاضا برای صکوک در کشورهای غیر مسلمان مانند: انگلستان، ایالات متحده آمریکا، سنگاپور، هنگ‌کنگ، لوکزامبورگ و آفریقای جنوبی به دلیل افزایش بحران مالی جهانی و سوق پیدا کردن دولت‌ها و شرکت‌ها برای جایگزین کردن و تنوع بخشیدن تامین مالی در حال افزایش است [۵۸]. واژه صکوک برای نخستین بار در سال ۲۰۰۲ در جلسه فقهی بانک توسعه اسلامی جهت ابزارهای مالی اسلامی پیشنهاد شد. صکوک جمع

## فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

صک به معنای سند و سفته است و معرب واژه چک در فارسی است. عرب‌ها این واژه را توسعه داده‌اند و برای کلیه انواع حوالجات، تعهدات و اسناد مالی بکار می‌برند. بصورت تخصصی صکوک به گواهی‌هایی اطلاق می‌شود که نمایانگر تعهدات مالی ناشی از تجارت و یا هرگونه فعالیت تجاری و سرمایه‌گذاری دیگر است [۴۱]. استاندارد شرعی شماره ۱۷ سازمان حسابداری و حسابرسی نهادهای مالی اسلامی، صکوک را اینگونه تعریف می‌کند [۲]:

صکوک گواهی‌هایی با ارزش اسمی یکسان است که پس از اتمام عملیات پذیره‌نویسی، بیانگر پرداخت مبلغ اسمی مندرج در آن توسط خریدار به ناشر است و دارنده آن مالک یک یا مجموعه‌ای از دارایی‌ها، منافع حاصل از دارایی و یا ذینفع یک پروژه یا یک فعالیت سرمایه‌گذاری خاص می‌شود.

همچنین کمیته خدمات مالی اسلامی نیز در سال ۲۰۰۵ صکوک را اینگونه تعریف نموده است:

گواهی‌هایی که نشان‌دهنده مالکیت مشاع دارندگان اوراق در بخش تقسیم نشده دارایی پایه‌ای است که تمام حقوق و تعهدات به آن دارایی پایه مرتبط می‌گردد. براساس تعاریف بالا اگر چه صکوک گاهی بصورت اوراق قرضه اسلامی ترجمه می‌گردد، اما تعریف دقیق‌تر صکوک نشان می‌دهد که این اوراق نمایانگر مالکیت یک دارایی و یا یک سرمایه‌گذاری می‌باشد، در حالی که اوراق قرضه برای اثبات بدهی به کار می‌رود و بر خلاف صکوک نمایانگر مالکیت دارندگان اوراق در فعالیت‌های صنعتی یا تجاری که بدین منظور این اوراق منتشر گردیده‌اند، نیست. در عوض، با انتشار اوراق قرضه، ناشر اوراق که مالک واقعی دارایی یا سرمایه‌گذاری است به دارندگان اوراق بدهکار شده و لازم است اصل و بهره پول دارندگان اوراق را بازگرداند. بنابراین اوراق قرضه به عنوان ابزارهای بدهی با بهره ثابت ساختاردهی می‌شوند و مقدار بهره اوراق قرضه بعنوان درصدی از سرمایه و نه درصدی از سود واقعی تعیین می‌گردد. در اوراق قرضه صرفنظر از اینکه سرمایه‌گذاری سودآور هست یا نه، پرداخت بهره اوراق تضمین می‌گردد. از طرف دیگر، بعلت ممنوعیت ربا در شریعت اسلام، صکوک نمی‌تواند همانند اوراق قرضه ساختاردهی شود؛ بنابراین در ساختار صکوک از دارایی‌ها و قراردادهای شرعی گوناگون برای طراحی ابزار جایگزین اوراق قرضه استفاده می‌شود و بهره‌ای که در صکوک پرداخت می‌گردد واقعا ناشی از سود واقعی است که از دارایی و یا سرمایه‌گذاری حاصل می‌شود [۴۹].

همچنین از جمله مهمترین کارکردهای صکوک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۲]:

۱. بهترین شیوه تأمین سرمایه پروژه‌ها و فعالیت‌های اقتصادی بزرگ است که خارج از توان مالی یک فرد یا یک شرکت خصوصی و حتی یک دولت است.

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

۲. راهکار بسیار مناسبی برای سرمایه‌گذارانی است که در پی سرمایه‌گذاری مازاد منابع مالی خویش هستند و در عین حال مایلند منابع خود را در صورت نیاز، به آسانی باز پس گیرند؛ زیرا به طور طبیعی چنین اوراقی، بازارهای ثانوی برای داد و ستد دارند و هر زمان که سرمایه‌گذار (دارنده اوراق بهادار) به همه اموال سرمایه‌گذاری خود یا بخشی از آن نیاز داشت، می‌تواند به فروش تمام یا قسمتی از آن‌ها اقدام کند و بهای آن را شامل اصل و سود در صورتی که طرح سود داشته باشد به دست آورد.

۳. شیوه بسیار خوبی برای مدیریت نقدینگی است. بانک‌ها و مؤسسه‌های مالی اسلامی می‌توانند با یاری گرفتن از آن، نقدینگی خود را مدیریت کنند، به این صورت که اگر نقدینگی مازادی داشته باشند به خرید اوراق، و چنانکه نیاز به نقدینگی داشتند، به فروش آن‌ها در بازارهای ثانوی اقدام می‌کنند و از این راه کسری یا مازاد منابع نقدی خود را مدیریت می‌کنند.

۴. ابزار بسیار مناسبی برای مدیریت ریسک و نااطمینانی است. فعالان اقتصادی در مسیر سرمایه‌گذاری با انواعی از موقعیت‌های بازده و ریسک مواجه هستند. تنوع ابزارهای مالی اسلامی از جهت بازده و ریسک به آنان این امکان را می‌دهد تا متناسب با شرایط سرمایه‌گذاری و متناسب با سلیقه‌های سرمایه‌گذاران مالی اقدام به انتشار اوراق بهادار کرده و ریسک خود را مدیریت کنند.

۵. وسیله بسیار مناسبی برای توزیع عادلانه ثروت‌ها و درآمدهاست. سرمایه‌گذاری از طریق این ابزارها موجب می‌شود ثروت و درآمد در گستره وسیع‌تری و بدون آنکه فقط در اختیار شمار معدودی از ثروتمندان باشد، جریان یابد و این از جمله بزرگترین اهدافی است که اقتصاد اسلامی همواره در پی آن است.

### **تقسیم‌بندی انواع اوراق بهادار اسلامی**

اوراق بهادار اسلامی را می‌توان از ابعاد مختلف دسته‌بندی کرد. بر اساس ترکیب عقود مختلف در طراحی اوراق بهادار اسلامی، می‌توان آن‌ها را به ۱۲ نوع تقسیم‌بندی کرد که شامل اوراق اجاره، مشارکت، سفارش ساخت (استصناع)، خرید دین (اوراق رهنی)، مرابحه (فروش اقساطی)، سلف، جعاله، مساقات، مضاربه، مزارعه، وقف و قرض‌الحسنه می‌باشد. منذرقحف، تقسیم‌بندی دیگری را بر اساس بازدهی اوراق بهادار اسلامی (صکوک) ارائه نموده است. از نظر وی اوراق بهادار اسلامی را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد [۱۵]:

۱. اوراق بهادار با بازدهی ثابت

۲. اوراق بهادار با بازدهی متغیر

### ۳. اوراق بهادار قابل تبدیل

تقسیم‌بندی دیگری نیز توسط آیت‌الله تسخیری ارائه شده است. بر اساس این تقسیم‌بندی می‌توان ابزارهای مالی را با توجه به بازدهی اوراق بهادار اسلامی و نوع قرارداد منعقدشده برای آن و با توجه به دارایی پایه به صورت زیر تقسیم نمود:

۱. اوراق مبتنی بر خرید دین (مانند اوراق سفارش ساخت، اوراق مرابحه)؛

۲. اوراق مبتنی بر خرید و فروش دارایی فیزیکی (اوراق اجاره)؛

۳. اوراق مبتنی بر مشارکت در سود طرح اقتصادی (اوراق مشارکت، مضاربه، مزارعه و مساقات).

به نظر می‌رسد تقسیم‌بندی ابزارهای مالی در قالب زیر از تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته کامل‌تر باشد. این تقسیم‌بندی مبتنی بر هدف سرمایه‌گذار ایجاد شده است [۳]:

۱. اوراق بهادار غیرانتفاعی (اوراق وقف و اوراق قرض‌الحسنه)؛

۲. اوراق بهادار انتفاعی: الف) با درآمد ثابت (اوراق اجاره، اوراق مرابحه، اوراق سلف، اوراق سفارش ساخت (استصناع) و اوراق رهنی)؛ ب) با درآمد متغیر (اوراق مشارکت، اوراق مضاربه، اوراق مساقات و اوراق مزارعه)

### ریسک‌های مرتبط با اوراق بهادار اسلامی

با توجه به شناسایی ریسک‌های مختلف مرتبط با اوراق بهادار اسلامی، در این پژوهش، به طور اختصار هر کدام تشریح می‌شوند.

ریسک اعتباری را می‌توان به عنوان ضرر محتمل که در اثر یک رخداد اعتباری اتفاق می‌افتد، بیان کرد. هنگامی که توانایی طرف قرارداد در تکمیل تعهداتش تغییر کند این رهداد اعتباری رخ می‌دهد [۱۷]. ریسک استهلاک تدریجی دارائی به دارایی پایه اوراق بهادار اسلامی مرتبط می‌شود. در صورتی که دارایی استهلاک‌پذیر باشد نرخ و میزان استهلاک در امیدنامه که به وسیله ناشر منتشر می‌شود به صورت دقیق آورده خواهد شد و سرمایه‌گذاران با اطلاع از میزان استهلاک به خرید اوراق اقدام می‌کند [۲۲].

گروگذاری وثیقه و نوع آن به عنوان یکی از محدودیت‌های تأمین مالی برای بنگاه‌های تولیدی در اقتصاد است. رکود شدید اقتصادی و افزایش ارزش سهام شرکت‌ها باعث تغییر دیدگاه مدیران بانک در مورد نوع وثیقه‌ها شده است [۳۵]. خطر از دست دادن ناشی از اشتباهات در ماهیت، کمیت، قیمت گذاری، یا ویژگی‌های وثیقه تأمین کننده یک معامله با ریسک اعتباری را گویند [۲۳]. احتمال ناتوانی شرکت در ایفای تعهدهای مالی کوتاه مدت ریسک نقدینگی نامیده می‌شود [۳۲]. ریسک نقدشوندگی ریسکی

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

است که سرمایه‌گذار مجبور است اوراق قرضه را زیر ارزش واقعی به فروش برساند و ارزش واقعی نشان دهنده معاملات اخیر می‌باشد [۱۴] و [۳۵]. پیمانکاران در طول پروژه فعلی باز دچار کمبود منابع مالی خواهد شد. به این ریسک، ریسک عدم تعدیل گویند [۱۰]. ممکن است واسط پس از انتشار اوراق و جمع‌آوری وجه‌های نقد، جهت خرید دارایی به تولیدکننده (یا بانی در صکوک نوع دوم) مراجعه کند، اما تولیدکننده دارایی را به واسط نفروشد. این نوع ریسک را ریسک اعتباری واسط گویند [۱۰]. دارایی که به وکالت از سرمایه‌گذاران در اختیار واسط است باید به بانی اجاره داده شود. در این حالت ممکن است بانی از اجاره دارایی به عللی (تأمین مالی از روش‌های دیگر با نرخ پایین‌تر، رفع نیاز جهت خرید دارایی و ...) منصرف شود. این نوع ریسک را ریسک اعتباری بانی گویند [۱۸]. ریسک نرخ سود عبارت است از تغییری که در ارزش اوراق بهادار، به‌علت تغییر در نرخ بازده دیگر فرصت‌های سرمایه‌گذاری اتفاق می‌افتد [۴۴] و [۱۰]. در بسیاری از موارد، یک اوراق قرضه با سررسید معین به عنوان یک جایگزین برای دیگر اوراق قرضه با سررسید متفاوت استفاده می‌شود. یک تعدیل ممکن است برای ریسک‌های نرخ بهره در دو اوراق قرضه با سررسیدهای متفاوت حساب شود. با این حال، این تعدیلات باعث مطرح شدن مفروضات می‌باشد که چگونه نرخ بهره (به عنوان مثال، بازده‌ها) در سررسیدهای مختلف تغییر خواهد شد. تا حدی که انحرافات تغییر حرکت بازده‌ها وجود دارد، ریسک بازدهی منحنی و یا ریسک سررسید وجود دارد [۴۴]. به احتمال پرداخت به موقع تعهدهای مالی ریسک نکول گفته می‌شود. نکول زمانی رخ می‌دهد که ناشر نتواند یا نخواهد تعهدهای خود را انجام دهد [۱۶] و [۱۴]. ریسک نرخ ارز عبارت است از نوسانات نرخ ارز تبادل ارزی یک واحد پولی به یک واحد ارزی دیگر. نا اطمینانی از میزان نوسانات نرخ ارز که جریان نقدی دلار بستگی به نرخ خارجی در زمان پرداخت، دریافت می‌شوند ریسک نرخ ارز گویند [۷] و [۱۰]. ریسک تورم یا ریسک قدرت خرید زمانی افزایش پیدا می‌کند، زیرا تغییر در ارزش جریان نقدی از اوراق بهادار ناشی از تورم رخ می‌دهد [۱۴].

### **رتبه‌بندی اعتباری**

رتبه‌بندی عبارت است از نظر، اعتقاد و قضاوت مستقل و بی‌طرفانه درباره ارزش اعتباری و توانایی ایفای تعهدات آتی یک شخص حقیقی یا حقوقی و یا یک ابزار مالی در زمان رتبه‌بندی [۹]. به عبارت دیگر رتبه‌بندی اعتباری، ارزیابی احتمال پرداخت به موقع تعهدات مالی است. رتبه‌بندی اعتباری نقش مهمی در بازارهای پول و سرمایه بازی می‌کند. دو نوع رتبه‌بندی اعتباری شامل رتبه‌بندی اوراق بهادار و رتبه‌بندی شرکت‌ها وجود دارد. معیار رتبه‌بندی اوراق، احتمال نکول و یا تأخیر در پرداخت سودهای اوراق می‌باشد، اما رتبه‌بندی اعتباری شرکت‌ها ارزیابی بی‌طرفانه‌ای از وضعیت کلی اعتباری شرکت را



## فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

نشان می‌دهد و بیانگر اظهارنظر عینی، خارجی و مستقل در خصوص توانایی شرکت در ایفای کامل و به‌موقع همه تعهدات است [۵].

رتبه‌بندی انواع مختلفی دارد: در دسته اول، رتبه‌هایی است که توسط مؤسسات رتبه‌بندی خصوصی ملی و بین‌المللی مثل اس‌اند‌پی، مودیز و فیچ ارائه می‌شود، که با نگاه به حوزه‌های ریسک موجود به رتبه‌بندی می‌پردازند. دسته دیگر را نهادهای حاکمیتی نظام پولی تشکیل می‌دهند که با رویکرد پیش ریسک در سطوح خرد و کلان نظام مالی، به رتبه‌بندی بانک‌ها و مؤسسات اعتباری می‌پردازند. یکی از تفاوت‌های اصلی این دو نوع رتبه‌بندی آن است که انتشار عمومی رتبه‌بندی نهادهای نظارتی به دلیل ریسک‌های موجود به‌خصوص احتمال سرایت ریسک به سایر نهادهای مالی، امری مرسوم نیست و صرفاً به‌صورت محرمانه در بخش‌هایی از فرآیند نظارت کاربرد دارد. مؤسسات رتبه‌بندی نهادهایی هستند که پشتوانه اعتباری انتشاردهندگان اوراق بهادار و سایر روش‌های عمومی استقراض را زیر نظر می‌گیرند. به تعبیری واضح‌تر مؤسسات رتبه‌بندی اعتباری، شرکت‌هایی خصوصی هستند که در زمینه رتبه‌بندی بانک‌ها، بیمه‌ها، ناشران اوراق بهادار و سایر شرکت‌ها، به‌طور مستقل اظهار نظر می‌کنند [۱۵].

در حقیقت بررسی توانایی یک شرکت برای ایفای تعهدات مالی خود، به عهده مؤسسات رتبه‌بندی اعتباری است. اس‌اند‌پی و مودیز معروف‌ترین مؤسسات رتبه‌بندی هستند که بیش از ۱۰۰ سال از تأسیس هردوی آنها می‌گذرد و روی هم‌رفته ۸۰ درصد بازار رتبه‌بندی در دنیا را در دست دارند. موسسه رتبه‌بندی فیچ از نظر بزرگی در رتبه سوم قرار دارد که سهم بازار آن به‌تنهایی ۱۵ درصد است. مؤسسات رتبه‌بندی عمدتاً حاضر به فروش و افشای کامل مدل‌های خود نیستند و خرید صرف پوسته یک مدل بدون انتقال دانش گزینه مناسبی نیست. موضوع مؤسسات رتبه‌بندی اعتباری در ایران، ذیل ماده ۲۱ قانون بازار اوراق بهادار مصوب سال ۱۳۸۴ آمده است، اما باید گفت که علیرغم تصریح قانون بازار اوراق بهادار، در طول چند سال گذشته، تجربه ایجاد و راهبری مؤسسات رتبه‌بندی اعتباری در ایران به‌وجود نیامده است. فراخوان اعطای مجوز مؤسسات رتبه‌بندی که در تاریخ ۱۳۹۵/۰۸/۱۸ به تأیید هیأت مدیره سازمان بورس و اوراق بهادار رسیده و ابلاغ شده بود با تأسیس سه مؤسسه رتبه‌بندی قدم اول برای فعالیت چنین مؤسساتی در ایران برداشته شده است. با عنایت به نبود تجربه ایجاد و راهبری مؤسسات رتبه‌بندی اعتباری در ایران و نیز با توجه به این مؤسسات، نیازمند شناخت از الگوهای دانشی، عملیاتی ((تأسیس و راه‌اندازی)) مهم که و تکنولوژیک مؤسسات رتبه‌بندی در سطح جهان است که به‌آسانی و رایگان در اختیار سایرین گذاشته نمی‌شود [۱۱].

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

### تاکید قوانین و مقررات بر رتبه‌بندی صکوک

سازمان بورس و اوراق بهادار در جایگاه نهاد ناظر بر بازار سرمایه و مجلس شورای اسلامی به طریق مقتضی به وجود مکانیزم رتبه‌بندی صکوک به عنوان جایگزینی برای رکن ضامن در ساختار اجرایی صکوک در کشور تاکید کرده‌اند. به لحاظ اهمیت موضوع، مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۹۴ در قانون ((رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و راتقای نظام مالی کشور)) مکانیزم رتبه‌بندی را جایگزینی مناسب برای ضمانت صکوک اجاره به شمار آورده است. در تبصره ۲، ماده ۲۳ اصلاحیه سال ۱۳۹۴ دستورالعمل اوراق اجاره و مباحه مصوب شورای عالی بورس نیز بر تعیین رتبه اوراق در صورت وجود موسسات رتبه‌بندی تاکید و مقرر می‌دارد: ((اوراق اجاره باید قبل از دریافت مجوز انتشار در صورت فعالیت موسسات رتبه‌بندی دارای مجوز فعالیت، از موسسات یاد شده رتبه‌بندی اعتباری دریافت نمایند)). افزون بر این، قوانین و مقررات مصوب مجلس شورای اسلامی و شورای عالی بورس رتبه‌بندی صکوک را به طریق مقتضی و به شرح جدول ذیل مورد توجه قرار داده‌اند:

#### جدول ۱: ضرورت رتبه‌بندی صکوک از منظر قوانین و مقررات

| عنوان قانون / دستورالعمل  | توضیحات  |
|---|--|
| تبصره ۳ ماده ۴ آئین‌نامه رفع موانع تولید مصوب مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۴)            | در صورتی که صکوک اجاره منتشره دارای رتبه‌بندی اعتباری باشد، وجود ضامن الزامی نیست.   |
| تبصره ۲ ماده ۵ دستورالعمل انتشار صکوک اجاره شورای عالی بورس (۱۳۸۹ و اصلاحیه ۱۳۹۴) | در صورتی که صکوک اجاره منتشره دارای رتبه‌بندی اعتباری باشد، وجود ضامن الزامی نیست.   |
| ماده ۲۳ دستورالعمل انتشار صکوک اجاره شورای عالی بورس (۱۳۸۹ و اصلاحیه ۱۳۹۴)        | اوراق اجاره باید قبل از دریافت مجوز انتشار در صورت فعالیت موسسات رتبه‌بندی دارای مجوز فعالیت، از موسسات یاد شده رتبه‌بندی اعتباری دریافت نمایند. |
| تبصره ۲ ماده ۵ دستورالعمل انتشار صکوک مباحه شورای عالی بورس (۱۳۸۹ و اصلاحیه ۱۳۹۴) | در صورتی که صکوک مباحه منتشره دارای رتبه‌بندی اعتباری باشد، وجود ضامن الزامی نیست.   |

منبع: [۱]

به نظر می‌رسد تاکید بر فرآیند رتبه‌بندی از یک سو به دلیل تکمیل حلقه نهادهای مالی در بازار سرمایه و از سوی دیگر اصلاح ساختار فعلی انتشار صکوک مدنظر قرار دارد.

### ویژگی‌های محیطی موثر بر رتبه‌بندی صکوک

صکوک اگرچه به عنوان یک ابزار تامین مالی مبتنی بر شریعت شناخته می‌شود، اما از جهت ساختار

## فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

می‌تواند جزء تامین مالی ساختار یافته طبقه‌بندی شود. این روش تامین مالی، موجب تبدیل مجموعه-ای از دارایی‌ها به عنوان یک یا چند ورقه بهادار می‌شود که به آن اوراق بهادار به پشتوانه دارایی گفته می‌شود [۳۶]. مهم‌ترین ویژگی این شیوه تامین مالی که نقش به‌سزایی در فرآیند رتبه‌بندی ایفا می‌کند، به شرح ذیل است:

### ۱. جدا بودن شخصیت حقوقی تامین مالی شونده و ناشر اوراق

در واقع خریداران اوراق به طور مستقیم با شرکتی که قصد تامین مالی دارد ارتباط نداشته و ارتباط آن‌ها با ناشر اوراق است که بر اساس دستورالعمل بازار سرمایه یک شرکت با مسئولیت محدود به نام نهاد واسط است [۸]. بنابراین، مکانیزم تامین مالی از طریق صکوک دارای ۳ رکن اساسی شامل بانی (تامین مالی شونده)، نهاد واسط (ناشر) و دارندان صکوک (سرمایه‌گذاران) می‌باشد.

### ۲. انتقال مالکیت دارایی مبنای انتشار به نهاد واسط

بر این اساس، صکوک را می‌توان به دو نوع صکوک بر مبنای دارایی و صکوک به پشتوانه دارایی تقسیم نمود. تمایز اصلی این دو نوع صکوک در انتقال مالکیت دارایی مبنای انتشار است [۴۷]. در صکوک بر مبنای دارایی، بانی تنها مالکیت انتفاع دارایی پایه را به نهاد واسط منتقل می‌کند و مالکیت حقوقی و در حقیقت اصل مالکیت را بر دارایی‌های پایه را برای خود محفوظ می‌دارد. به همین دلیل دارایی‌های پایه از لحاظ حقوقی و حسابداری در ترازنامه بانی باقی می‌ماند. اما در صکوک به پشتوانه دارایی، فروش واقعی دارایی‌های پایه و یا منافع آن‌ها و انتقال مالکیت کامل اعم از حقوقی و انتفاعی از بانی به نهاد واسط صورت می‌پذیرد. بنابراین، دارایی‌های پایه از سایر دارایی‌های بانی از لحاظ حقوقی و حسابداری جدا می‌شود و نهاد واسط از طرف سرمایه‌گذاران مالک واقعی دارایی‌های پایه شده و ریسک مالکیت را می‌پذیرد. این ویژگی، نقش به‌سزایی را در رتبه‌بندی صکوک خواهد داشت [۵۱].

### ۳. ادغام نهاد واسط و امین

در مدل اولیه انتشار صکوک، حضور دست کم سه نهاد مالی شامل بانی، واسط و امین ضرورت داشت [۱۰]. وظیفه امین، نظارت بر کل فرآیند عملیاتی انتشار صکوک به منظور حفظ منافع سرمایه‌گذاران در چارچوب ضوابط اجرایی صکوک بود. بانک‌ها و موسسات اعتباری دارای مجوز و شرکت‌های تامین سرمایه می‌توانستند رکن امین را بر عهده بگیرند. با تصویب قانون ((توسعه ابزارها و نهادهای مالی جدید به منظور تسهیل اجرای سیاست کلی اصل ۴۴ قانون اساسی)) در سال ۱۳۸۸ و با پیشنهاد سازمان بورس و اوراق بهادار، دستورالعمل فعالیت نهادهای واسط در سال ۱۳۸۹ به تصویب شورای عالی بورس رسید و نهاد واسط نسبت به برخی امور وکیل بانی است و در انجام پاره‌ای امور دیگر وکیل دارندگان اوراق است.

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

عمده فعالیت‌های نهاد واسط تا زمان انتشار اوراق و قبل از انتقال آن به سرمایه‌گذاران به وکالت از بانی صورت می‌گیرد. بنابراین، نهاد واسط از یک سو تنها ناشر صکوک خواهد بود و از سوی دیگر حافظ صرفه و صلاح سرمایه‌گذاران و دارندگان صکوک به همین منظور وظیفه امین اوراق نیز بر عهده این نهاد مالی خواهد بود [۱].

### مدل‌ها و رویه‌های موسسات رتبه‌بندی اعتباری

ادبیات پژوهش در زمینه مدل‌سازی ریسک اعتباری را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم نمود: روش‌های سنتی (متعارف)؛<sup>۶</sup> مدل‌های ساختاری<sup>۷</sup> و مدل‌های شکل‌تعدیل‌شده یا شدت‌یافته.<sup>۸</sup> روش‌های سنتی شامل رویکرد غیر مدل‌سازی بوده و عمدتاً از داده‌های تاریخی برای رسیدن به احتمال نکول استفاده می‌کنند [۲۶]. مدل‌های ساختاری ارزش شرکت را با ارزش بدهی شرکت مقایسه می‌کنند [۳۳]. در حالی که مدل‌های شکل‌تعدیل‌شده، فرآیند نکولی را مجزا از صورت‌های مالی محاسبه می‌کنند [۲۸]. عبور از مدل ریسک اعتباری مرتون<sup>۹</sup> در صنعت مالی سنتی [۴۶] تا مدل کاربردی‌تر رتبه‌بندی اعتباری فینگر و همکاران<sup>۱۰</sup> [۳۷] و مدل‌های فرمی پیچیده‌تر دیوفی و سینگلتون<sup>۱۱</sup> [۳۳] چند دهه به طول کشید. در حالی که مالی اسلامی<sup>۱۲</sup> چنین تجربه‌ای را نداشته و در بیشتر موارد هنوز هم از الگوهای ریسک اعتباری سنتی استفاده می‌کند که شاید برای محاسبه رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی مناسب نباشند [۲۸]. نهادهای معتبر در زمینه رتبه‌بندی صکوک را می‌توان در ۲ طبقه جای داد. نخست موسساتی که در سطح بین‌المللی اقدام به رتبه‌بندی اوراق از جمله صکوک می‌کنند که مهم‌ترین این موسسات عبارتند از: اس‌اندپی، فیچ و مودیز که بر اساس اطلاعات موجود حدود ۹۰ درصد بازار را پوشش می‌دهند [۵۶]. جدول (۲) ابعاد و مولفه‌های رتبه‌بندی صکوک از منظر موسسات رتبه‌بندی اس‌اندپی، مودیز و فیچ را نشان می‌دهد.

### جدول ۲: ابعاد رتبه‌بندی صکوک از منظر موسسات رتبه‌بندی بین‌المللی

| نام موسسه رتبه‌بندی | ابعاد رتبه‌بندی                     | مولفه‌های رتبه‌بندی                               |
|---------------------|-------------------------------------|---|
| اس‌اندپی            | صکوک با مکانیزم ارتقای اعتباری کامل | اعتبارسنجی ضامن                                   |
|                     | صکوک با مکانیزم ارتقای اعتباری جزئی | اعتبارسنجی ضامن                                   |
|                     | صکوک بدون مکانیزم ارتقای اعتبار     | تحلیل نقدینگی دارایی مبنای انتشار                 |
| مودیز               | صکوک بر مبنای دارایی                | اعتبارسنجی بانی                                   |
|                     | صکوک به پشتوانه دارایی              | تحلیل نقدینگی دارایی مبنای انتشار و نقدشوندگی آن. |
| فیچ                 | صکوک بر مبنای دارایی                |   |

**فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰**

|   |                        |  |
|---|------------------------|--|
| تحلیل نقدینگی دارایی مبنای انتشار با پتانسیل ارتقای اعتباری ایجاد شده از طریق دارایی مبنای انتشار | صکوک به پشتوانه دارایی |  |
|---|------------------------|--|

منبع: [۱]

در سمت دیگر، موسسات ملی در زمینه رتبه‌بندی صکوک که در برخی کشورهای اسلامی تشکیل شده و از آن جمله می‌توان به ۲ موسسه مارک و ایرا در کشورهای مالزی و بحرین اشاره کرد. این موسسات، تعریف و روش‌شناسی متفاوتی به رتبه‌بندی صکوک نسبت به موسسات بین‌المللی داشته که از مهم‌ترین این تفاوت‌ها می‌توان به در نظر گرفتن اصول شریعت در تعیین رتبه صکوک اشاره نمود [۴۷]. جدول (۳) ویژگی‌های رتبه‌بندی صکوک توسط موسسات بومی که در زمینه اوراق بهادار اسلامی تخصص دارند را بیان می‌کند.

**جدول ۳: ویژگی‌های رتبه‌بندی صکوک توسط موسسات بومی**

| منبع | ویژگی   | رکن  | ردیف |
|------|---|--|------|
| [۲]  | تفکیک مدل‌های رتبه‌بندی اعتباری به دو دسته صکوک برمبنای دارایی و صکوک به پشتوانه دارایی   | تحلیل ماهیت صکوک                                     | ۱    |
| [۹]  | تفکیک دقیق وظایف ارکان (بانی (تامین مالی شونده)، نهاد واسط (ناشر اوراق) و سرمایه‌گذاران) و کیفیت اعتباری آن‌ها نظیر به دور از ورشکستگی بودن نهاد واسط   | ارزیابی ارکان انتشار                                 | ۲    |
| [۴۷] | توانایی دارایی مبنای انتشار در ایجاد جریان وجه نقد، مشخص شدن ارزش روز دارایی مبنای انتشار و بررسی هرگونه محدودیت در نقل و انتقال دارایی   | ارزیابی دارایی مبنای انتشار                          | ۳    |
| [۳۶] | ارزیابی مکانیزم داخلی (ایجاد ذخایر لازم شرکت، استفاده از دارایی مبنا به ارزشی بیشتر از مبلغ انتشار و یا انتقال دارایی با جریان درآمدی) و مکانیزم خارجی (سازگار بودن با اصول شریعت و استفاده از یک ضامن به منظور تضمین پرداخت اصل و سود اوراق توسط بانی) ارتقای اعتبار جهت بهبود رتبه صکوک | ارزیابی راهکارهای ناشر به منظور ارتقای اعتباری اوراق | ۴    |
| [۱]  | انطباق با قوانین و مقررات داخلی و به ویژه انطباق با اصول شریعت  | ارزیابی قانونی                                       | ۵    |

منبع: یافته‌های محقق

**معماری سیستم‌های استدلال عصبی - فازی سازگار**

سیستم‌های فازی می‌توانند عدم قطعیت را به‌طور کیفی بیان نمایند و در عین حال دارای عملکرد

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

دقیقی باشند. سیستم‌های فازی می‌توانند دانش انسانی را نیز که به‌صورت قواعد اگر- آنگاه بیان شده‌اند در ساختار خود مورد استفاده قرار دهند. این قابلیت مختص سیستم‌های فازی است. شبکه عصبی این توانایی را دارد که از محیط آموزش ببیند (جفت‌های ورودی- خروجی) ساختارش را خود مرتب کند و با شیوه‌ای تعامل خود را تطبیق دهد [۳۸]. در مواقعی به دلایلی ما مایل هستیم که سیستم‌های فازی را مثل یک شبکه عصبی به‌نحوی آموزش دهیم که رفتار ورودی- خروجی آن منطبق بر یک مجموعه از داده‌های در دسترس باشد. پرفسور ژانگ در سال ۱۹۹۳ مدل ANFIS را ارائه کرد که قابلیت ترکیب توانایی دو روش را داراست. ANFIS یک شبکه پیش‌خور چندلایه است که از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی برای ترسیم یک فضای ورودی به یک فضای خروجی استفاده می‌کند و توانایی ترکیب قدرت زبانی یک سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه تطبیقی سیستم عصبی را دارد. مزایای ANFIS شامل: ۱. قوی‌تر بودن از شبکه عصبی مصنوعی؛ ۲. نمایش مبتنی بر قاعده؛ ۳. استفاده از دانش قبلی و ۴. یادگیری انطباقی می‌باشد. ANFIS یکی از بهترین سیستم‌هایی است که تبادل بین سیستم فازی و عصبی را ایجاد می‌کند و همواری و سازگاری را فراهم می‌کند. همواری به‌علت استفاده از کنترل فازی و سازگاری به‌علت پس‌انتشار شبکه‌های عصبی است [۵۳].

سیستم‌های استنتاج فازی<sup>۱۳</sup> یکی از پرکاربردترین و متداولترین سیستم‌های طراحی شده برای استدلال فازی می‌باشند. علاوه بر آن، استدلال فازی که با عنوان استدلال تقریبی نیز نام گرفته است، نوعی روش استنتاج محسوب می‌گردد که نتیجه‌گیری‌ها را از مجموعه‌ای از قواعد فازی اگر - آنگاه<sup>۱۴</sup> و حقایق معلوم به دست می‌آورد. در صورتی که فرض نماییم (پیش‌آیندها یا عوامل زمینه ساز)، آنگاه به نتیجه می‌رسیم (برآیندها یا پیامدها). در موارد کاربردی همواره بیش از یک قاعده وجود دارد. برخی روش‌های استنتاجی از قبیل سیستم استنتاجی ممدانی<sup>۱۵</sup> [۴۵]، سیستم استنتاج تاکاگی و سوگنو<sup>۱۶</sup> [۵۵]. طراحی و عرضه گردیده‌اند. سیستم‌های استنتاج مرسوم، به‌رغم کاربردهایشان، نقایص متعددی دارند: روش نظام‌مند برای تولید قواعد و ایجاد اعتبارسنجی وجود ندارد. ژانگ<sup>۱۷</sup> [۳] اقدام به طراحی و عرضه نوعی سیستم استنتاج مبتنی بر شبکه نمود که از طریق آزمایشات، کار یادگیری و آموزش را می‌تواند انجام دهد. او این شیوه را تحت عنوان انفیس<sup>۱۸</sup> نامید که اختصاری برای عبارت سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی<sup>۱۹</sup> است. او از تخمین حداقل مجذورات (مربعات)<sup>۲۰</sup> و روش پس‌انتشار خطا<sup>۲۱</sup> برای آموزش سیستم بهره برد [۳۱]. بر اساس مطالعه‌ی ژانگ، یک ساختار ساده از ANFIS را می‌توان با استفاده از یک سیستم استنتاج فازی با دو متغیر ورودی (x و y) و یک متغیر خروجی (z) توصیف کرد.

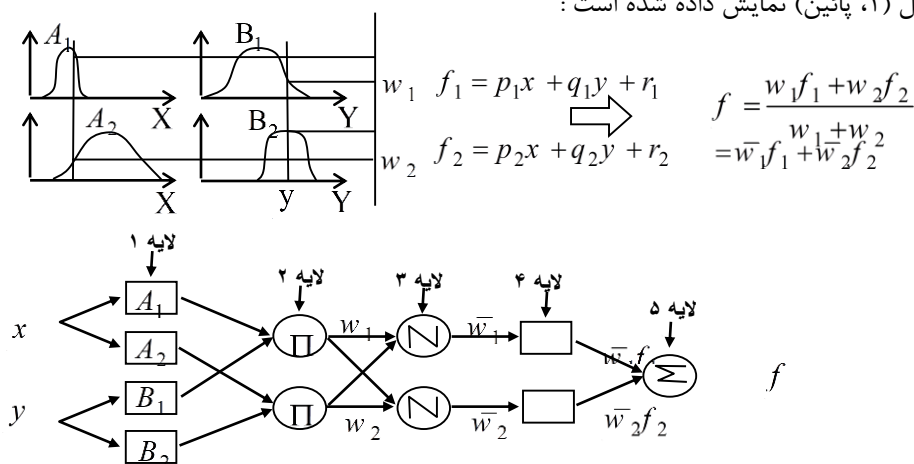
همان طور که پیش از این بیان شد، در سیستم ANFIS پایگاه قاعده‌ی سوگنو به کار برده می‌شود، در این ارتباط یک پایگاه قاعده با دو قاعده به صورت زیر در نظر بگیرید [۳].

if x is  $A_1$  and y is  $B_1$ , then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$  قاعده‌ی ۱

if x is  $A_2$  and y is  $B_2$ , then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$  قاعده‌ی ۲

یک سیستم استنتاج فازی سوگنو در شکل (۱، بالا) و ساختار یک سیستم ANFIS با پنج لایه در

شکل (۱، پائین) نمایش داده شده است:



شکل ۱: نمایش یک سیستم استدلال عصبی- فازی سازگار

### پیشینه پژوهش

موسویان و همکاران با رویکرد دلفی و روش AHP به «شناخت و رتبه‌بندی ریسک‌های ابزار مالی اسلامی (صکوک)» پرداخته و به این نتیجه رسیدند که با روش دلفی مهم‌ترین ریسک‌های مشترک عبارت‌اند از: ریسک‌های بازار، تورم، نقدشوندگی، عملیاتی، شریعت، عدم جمع‌آوری وجوه به میزان کافی و اعتباری [۱۴]. معلمی به «ارزیابی استفاده از صکوک استصناع برای تامین مالی پروژه‌های شهری به همراه رتبه‌بندی مدل‌های موجود صکوک استصناع با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی» پرداخت. نتایج حاکی از آن است که اوراق صکوک استصناع می‌تواند برای تامین مالی پروژه‌های فاقد سود دهی نیز بکار رود (برخلاف بسیاری از اوراق که فقط پروژه‌های سودده را تامین مالی می‌کنند). همچنین نتایج رتبه‌بندی مدل‌ها نشان می‌دهد که از بین دو مدل عملیاتی مستقیم و غیر مستقیم، مدل مستقیم حائز رتبه برتر گردید و از بین دو مدل بدون کوپن و کوپن‌دار نیز مدل کوپن‌دار رتبه بالاتری را در رتبه‌بندی کسب کرد [۱۳]. نظر پور و همکاران به «اولویت‌بندی ریسک صکوک مرابحه از طریق نظرسنجی توسط

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

خبرگان مالی و مقایسه آن با دیگر ابزارهای بازار سرمایه» پرداختند. در پژوهش آن‌ها سعی شد با استفاده از روش SAW و روش TOPSIS به رتبه‌بندی ریسک‌های صکوک اجاره پردازند. آنچه از رتبه‌بندی ریسک‌ها به دست آمد این است که ریسک تورم در بین تمامی ریسک‌های بازار اولیه و ثانوی اهمیت بیشتری دارد و ریسک‌های سیاسی، نرخ بازده، ریسک بازار، نوسانات نرخ ارز و ... در اولویت‌های بعدی قرار دارند [۱۸]. نظر پور و صدرایی با استفاده از روش توصیفی و تحلیل محتوا و روش تحلیل سلسله مراتبی به «شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های اسناد خزانه اسلامی در بازار اوراق بهادار ایران» پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد از منظر خبرگان پاسخ‌دهنده، ریسک‌های نرخ سود بانکی، نقدشوندگی، تورم و نرخ ارز از منظر احتمال وقوع، در اولویت می‌باشند و از منظر شدت تأخیر نیز، ریسک‌های نرخ سود بانکی، نقدشوندگی، اعتباری و تورم با اولویت بوده‌اند [۱۹]. باباجانی و صاحبقرانی به «ابعاد رتبه‌بندی اعتباری صکوک منتشر شده در بازار سرمایه کشور» پرداختند. آنها در پژوهش خود پس از مطالعه مبانی نظری حاکم بر رتبه‌بندی صکوک، ابعاد و مولفه‌های رتبه‌بندی این ورقه بهادار را در قالب سوالاتی با استفاده از تکنیک دلفی مورد نظر خواهی از خبرگان قرار دادند. نتایج آماری روش فریدمن نشان می‌دهد که تحلیل ریسک، تحلیل جریان نقد بانی، اعتبارسنجی ارکان، تحلیل دارایی مبنای انتشار، تحلیل ساختار قانونی صکوک، ساختار رهبری شرکتی بانی، کیفیت مدیریت دارایی، ابزارهای ارتقای اعتباری انطباق با شریعت به ترتیب ابعاد رتبه‌بندی صکوک در ایران می‌باشند [۱]. دموری و جاویدان به «بررسی و اولویت‌بندی ابزارهای تامین مالی اسلامی با استفاده از روش ویکور فازی» پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که اسناد خزانه اسلامی از لحاظ دامنه کاربرد و انعطاف‌پذیری در میان سایر اوراق بهادار اسلامی دارای اولویت است. در مرتبه بعد، اوراق استصناع، اجاره و سلف از بیش‌ترین دامنه کاربرد و انعطاف برخوردار هستند و سایر اوراق در جایگاه بعدی قرار می‌گیرند [۶].

حسونی پژوهشی را با عنوان «رویکرد اس‌اندپی برای رتبه‌بندی صکوک» مورد بررسی قرار داده است. وی به این جمع‌بندی رسید که فرآیند رتبه‌بندی صکوک در این موسسه نوعی اظهار نظر در خصوص توانایی بانی نسبت به ایفای تعهدات مالی خود می‌باشد، این موسسه، اصول شریعت را در فرآیند رتبه‌بندی خود نادیده گرفته و رعایت نمی‌کند و اصولاً رویه یکسانی را به منظور رتبه‌بندی صکوک و سایر اوراق قرضه متعارف به کار می‌برد [۴۰]. آروندینا و عمر<sup>۲۲</sup> اولین مطالعه‌ای بود که «عوامل تعیین کننده رتبه‌بندی صکوک: مطالعه‌ای از مالزی» را انجام داده است. این مطالعه رگرسیون لجستیک مرتبه‌ای و رگرسیون لجستیک چند اسمی را برای ایجاد یک مدل از رتبه‌بندی صکوک که برگرفته از متغیرهای نظری چندگانه است، استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که لجستیک مرتبه‌ای ۷۰ درصد و لجستیک



چند اسمی ۷۸/۳ درصد از تمام موارد را به طور صحیح به طبقه‌های رتبه‌بندی صکوک تقسیم‌بندی کرده‌اند [۲۴]. مسدی و نایفر «متدولوژی رتبه‌بندی و ارزیابی صکوک» را در ۲ شاخه رتبه‌بندی اعتباری و رتبه‌بندی ارزشی طبقه‌بندی کرده‌اند. نتایج حاکی از آن بود که در این طبقه‌بندی که از سوی موسسات ملی رتبه‌بندی همچون IIRA نیز به کار گرفته شده است الزامات شریعت و ساختار ویژه صکوک نسبت به اوراق قرضه متعارف گنجانده شده است [۴۷]. احمد و همکاران در پژوهشی با عنوان «صکوک اسلامی، ساز و کار قیمت‌گذاری و رتبه‌بندی» با تحلیل روش‌شناسی به کار رفته در موسسات رتبه‌بندی کشور مالزی و موسسات رتبه‌بندی بین‌المللی همچون مودیز بیان کردند که ساختار ویژه صکوک و نقش ارکان مختلف در انتشار صکوک موجب می‌شود در رتبه‌بندی صکوک به ساختار این ارکان و اعتبار سنجی آنها نیز پرداخته شود و از طرف دیگر نقش دارایی مبنای انتشار و توانایی آن در ایجاد وجه نقد نقش به‌سزایی در تعیین رتبه صکوک خواهد داشت [۲۱]. آروندینا و همکاران در پژوهش خود با عنوان «دقت پیش‌بینی رتبه‌بندی‌های صکوک: روش لجستیک چندجمله‌ای و استنتاج‌های شبکه عصبی» به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی با دقت ۹۶/۱۸ درصد قوی‌تر از مدل لجستیک و مدل آماری در رتبه‌بندی اعتباری است [۲۵]. برهان و احمد به «تبیین عوامل تعیین‌کننده رتبه‌بندی صکوک شرکتی در مالزی» پرداختند. آن‌ها با استفاده از ۴۳ مورد انتشار صکوک طی سال‌های ۲۰۰۶ الی ۲۰۱۵ و با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای، نشان داده‌اند که فقط سه متغیر صکوک مشارکت، صکوک مراهجه و اندازه شرکت تاثیر معناداری بر رتبه‌بندی صکوک داشته‌اند [۳۰]. سوئی و همکاران طی پژوهشی با عنوان (ارزیابی مدل ریسک اعتباری بر مبنای قواعد با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه) و با استفاده از داده‌های موسسات مالی کشورهای آلمان و استرالیا به این نتیجه رسیدند که اثربخشی الگوریتم تکاملی چند هدفه در مورد ایجاد قواعد دسته بندی برای ارزیابی ریسک اعتباری مورد تأیید می‌باشد [۵۴].

### روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش بر اساس هدف پژوهش در دسته پژوهش‌های توسعه‌ای- کاربردی است. ابزار انجام این پژوهش، پرسشنامه بوده که به تأیید خبرگان رسید. با توجه به مسئله رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی، گروه‌های متعددی در حل این مسئله ذینفع هستند، لذا باید تا حد امکان خبرگان به نحوی انتخاب شوند که نماینده خوبی از صاحبان منافع باشند. در غیر این صورت، شناسایی عوامل مرتبط با رتبه‌بندی اعتباری، مورد شک و تردید خواهد بود. عمده‌ترین صاحبان منافع رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی عبارت‌اند از: وزارت امور اقتصاد و دارایی، سازمان بورس و اوراق بهادار، سرمایه‌گذاران حقیقی و حقوقی در بورس، متخصصان و استادان مرتبط در دانشگاه‌ها؛ در میان خبرگان منتخب باید

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

افرادی باشند که حداقل سابقه ۵ سال سابقه اجرایی در بازار سرمایه یا پول را داشته و حداقل مدرک کارشناسی ارشد در رشته‌های مدیریت بازرگانی، اقتصاد، حسابداری، مالی و مهندسی مالی را داشته باشند. چنان‌که اشاره شد پرسش‌نامه باهدف کسب نظر خبرگان راجع به میزان ارتباط موارد پیشنهادی با رتبه‌بندی اعتباری صکوک‌های منتشر شده در بازار سرمایه کشور طراحی شده است. در این پژوهش رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی در سه گام اصلی انجام می‌پذیرد. گام اول، شناسایی معیارهای ارزیابی یا همان طراحی مدل مفهومی ارزیابی می‌باشد. در رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی ابتدا به دنبال شناسایی ریسک‌های اوراق بهادار اسلامی می‌باشیم که این امر، در پژوهش [۶] به روش دلفی- فازی و تکنیک دیمتل انجام پذیرفته است. تمامی ریسک‌های اوراق بهادار اسلامی در ۴ بعد اصلی و ۱۲ ریسک زیر مجموعه شناسایی شده‌اند. در این پژوهش، پس از ارائه ریسک‌های شناسایی شده در قالب پرسشنامه به خبرگان، مدل‌سازی شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر بر مبنای حالات مختلف انجام شده و در نهایت امتیازات هر بعد برای هر صکوک بر مبنای هر ناشر ارائه می‌شود.

### برآورد مدل

بر اساس معماری سیستم شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر، مدل مذکور دارای ۵ لایه و یک سیستم آموزش بصورت ذیل می‌باشد [۵۳]:

#### لایه‌ی اول (لایه‌ی ورودی)

هر گره  $i$  در لایه‌ی اول، یک گره سازگار (مربعی) با یک تابع عضویت است:

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(X), i = 1, 2, \text{ or} \\ O_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(X), i = 3, 4. \end{aligned} \quad (1)$$

که  $A$  و  $B$  ترم‌های زبانی (مانند بالا و پایین) و  $O_{1,i}$  نشان دهنده‌ی خروجی گره  $i$  ام در لایه‌ی اول است. در این لایه درجه‌ی عضویت هر یک از متغیرها در مجموعه‌ی فازی متناظرشان به دست می‌آید. تابع عضویت نشان می‌دهد که هر نقطه در فضای ورودی با چه درجه‌ی عضویتی (عددی بین ۰ و ۱) به مجموعه‌ای فازی تعلق دارد و یا تا چه میزان ترم زبانی مربوطه را ارضا می‌کند. توابع عضویت می‌توانند به صورت‌های سیگموئید، مثلثی، قوسی، دوزنقه‌ای و یا غیره انتخاب شوند. در مطالعات پیش‌تر از دو تابع عضویت مثلثی یا قوسی برای متغیرهای ورودی و از نوع دوزنقه‌ای برای متغیر خروجی استفاده می‌شود [۳۸].

#### لایه‌ی دوم (لایه‌ی فازی‌سازی)

گره‌های این لایه از نوع ثابت (دایره‌ای) بوده و خروجی آن‌ها محصول سیگنال‌هایی است که از لایه‌ی

اول به دست می‌آید:

$$O_{2,I} = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(x), i = 1, 2. \quad (2)$$

در این لایه وزن یا قوهی تحریک قواعد با استفاده از عملگر T-norm یا and فازی به دست می‌آیند، که در این جا از ضرب فازی استفاده شده است. در حقیقت این لایه بخش مقدم (فرض) سیستم استدلال فازی را تشکیل می‌دهد.

#### لایه سوم (لایه‌ی نرمال سازی)

هر گره در این لایه یک گره ثابت بوده و در این لایه وزن‌های به دست آمده از لایه‌ی قبل نرمال می‌شوند و قوهی تحریک قواعد به دست می‌آید [۳۹].

$$O_{3,i} = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2. \quad (3)$$

#### لایه‌ی چهارم (لایه‌ی نافازی سازی)

گره‌های این لایه گره‌های سازگار یا مربعی هستند. این لایه بخش نتیجه‌ی یک سیستم استدلال فازی را تشکیل می‌دهد و نتیجه‌ی هر یک از قواعد در این لایه به دست می‌آید [۳۹]:

$$O_{4,i} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \text{ for } i = 1, 2. \quad (4)$$

$\Gamma_i$  و  $Q_i \cdot P_i$  پارامترهای مربوط به بخش نتیجه‌ی هر یک از قواعد هستند و  $\overline{w}_i$  قوهی تحریک نرمال شده است که از لایه‌ی پیشین به این لایه وارد می‌شود.

#### لایه‌ی پنجم (لایه‌ی ادغام)

تنها گره این لایه گره‌ای ثابت بوده و نتایج به دست آمده از گره‌های لایه‌ی قبل در این گره جمع بندی شده و خروجی سیستم برای داده‌ی ورودی به دست می‌آید [۳۸]:

$$Z = O_{5,i} = \sum \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, \text{ for } i = 1, 2. \quad (5)$$

#### آموزش سیستم استنتاج عصبی - فازی سازگار (ANFIS) ۲۲

با توجه به ساختار ANFIS، خروجی سیستم، ترکیبی خطی از پارامترهای نتیجه  $(r_1, q_1, p_1, r_2, q_2, p_2)$  است. به صورت خلاصه:

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

$$\begin{aligned} Z &= \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \\ &= \overline{w_1} f_1 + \overline{w_2} f_2 \\ &= (\overline{w_1 x}) p_1 + (\overline{w_1 y}) q_1 + (\overline{w_1}) r_1 + (\overline{w_2 x}) p_2 + (\overline{w_2 y}) q_2 + (\overline{w_2}) r_2 \end{aligned} \quad (6)$$

روش آموزش ترکیبی از نوع آموزش دسته‌ای در این جا به کار برده می‌شود. در گذر پیشروی الگوریتم آموزش ترکیبی، سیگنال‌های تابعی تا لایه‌ی پنجم به سمت جلو حرکت می‌کنند، و در آن جا پارامترهای قسمت نتیجه با استفاده از روش تخمین مربعات خطا تعیین می‌شوند. در گذر پسرو، نرخ‌های خطا به سمت عقب انتشار یافته و پارامترهای فرض (مقدم) با استفاده از روش گرادیان کاهشی به دست می‌آیند [۳۸].

### **گام دوم: مدل‌سازی سیستم عصبی فازی تطبیق‌پذیر**

در این مرحله، مدل‌سازی شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر برای هر بعد و زیر مجموعه آن از طریق نظرات خبرگان انجام پذیرفت. در ابتدای امر، پرسشنامه‌ای براساس مبانی نظری مقاله پیشین (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۷) و ابزارهای معامله شده در بورس اوراق بهادار ایران طراحی شده که تمامی ریسک‌های مرتبط با رتبه‌بندی اعتباری قبلاً شناسایی شده‌اند. در این پژوهش به دنبال رتبه‌بندی اعتباری هر یک از ابزارهای معامله شده (صکوک اجاره، صکوک مراهجه و ...) در بازار سرمایه کشور می‌باشیم. نظرات ۲۰ نفر از خبرگان برای ۳۰۰ حالت (اعداد تصادفی) در نظر گرفته شد. ۳۰۰ حالت برای هر ریسک بصورت نرم افزار اکسل به خبرگان ارسال گردید و از آنها خواسته شد که با توجه به هر حالت، ریسک متعلق به آن حالت را نظر بدهند. بطور مثال، برای بعد دارائی و ناشر، اگر ریسک استهلاک تدریجی دارائی، ریسک وثیقه و ریسک نقدینگی برای یک حالت به ترتیب برابر ۲، ۴ و ۵ باشد، ریسک این حالت برابر چه عددی خواهد بود؟ برای این کار عدد صفر الی ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. عدد صفر برای بدون ریسک، عدد ۱ برای کمترین ریسک و عدد ۱۰ برای بیشترین ریسک در نظر گرفته شد. بعد از آن این داده‌ها به نرم افزار متلب وارد شد. از این ۳۰۰ حالت، ۲۲۵ حالت برای تولید نمونه‌های آموزشی (۷۵ درصد) و ۷۵ حالت برای تولید نمونه‌های آزمایشی (۲۵ درصد) در نظر گرفته شد. سپس دستورات لازم جهت مدل‌سازی انفیس به نرم افزار داده شد.

### **گام سوم: بکارگیری مدل‌سازی سیستم عصبی فازی تطبیق‌پذیر در رتبه‌بندی اعتباری اوراق**

#### **(ارزیابی اوراق نسبت به معیارهای ۱۲ گانه و خروجی ANFIS)**

در این مرحله بعد از مدل‌سازی سیستم ANFIS باید مجدداً نظرات خبرگان در ارتباط با اوراق‌های منتشر شده هر ناشر در بازار سرمایه کشور مطابق با ریسک‌ها، وارد مدل انفیس شوند. قبل از این کار،

خبرگان در مرحله دوم، ریسک‌های شناسایی شده در گام اول را با صکوک منتشر شده هر ناشر ارزیابی می‌کنند و عدد ۱ الی ۱۰ را مجدداً به این اوراق می‌دهند. علت تفکیک ناشران در این پژوهش این می‌باشد که با توجه به انتشار اوراق توسط نهادها و شرکت‌های مختلف، مساوی قرار دادن همه این اوراق، ریسک‌های ذاتی هر اوراق توسط هر ناشر را نادیده می‌گیرد. لذا در این پژوهش، دولت، شرکت‌های دولتی، شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی و شرکت‌های خصوصی به عنوان ناشران مختلف اوراق‌های بهادار اسلامی در نظر گرفته شده‌اند. سپس این نظرات را به مدل انفیس وارد کرده و نمرات هر ریسک برای هر اوراق را مطابق با مدل استخراجی ANFIS، استخراج می‌کنیم.

### یافته‌های پژوهش

#### طراحی مدل سیستم شبکه عصبی-فازی تطبیق‌پذیر:

در این پژوهش، پیش‌بینی با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی-فازی در سه مرحله انجام شده است: ۱- طراحی مدل، ۲- آماده‌سازی داده‌ها و ۳- اجرای مدل. در طراحی مدل شبکه عصبی-فازی تطبیق‌پذیر، از شبکه چندلایه پیش‌خور با الگوریتم یادگیری ترکیبی پس انتشار خطا و حداقل مربعات (LS-BP hybrid) و از سیستم استنتاج فازی سوگنو، استفاده شده است. تعداد لایه‌های مخفی ۳ و تابع ورودی مدل سیگموئید و تابع خروجی خطی، در نظر گرفته شده است. برای غیرفازی کردن نیز از تابع میانگین متحرک استفاده شده است. در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، ابتدا بر روی ۳۰۰ حالت داده پردازش اولیه صورت پذیرفت. داده‌ها باید نرمال شوند و برای نرمال‌سازی همانند شبکه عصبی-مصنوعی عمل شده است. همانطور که در جدول (۴) نشان داده می‌شود، جهت مدل‌سازی ANFIS ابتدا داده‌ها با نمرات بین یک الی ۱۰ وارد نرم افزار شد. طبق قوانین شبکه عصبی-فازی، ۷۵ درصد داده‌ها مربوط به داده‌های آموزش و ۲۵ درصد از کل داده‌ها مربوط به داده‌های آزمایش وارد مدل شده‌اند. در مرحله اجرای مدل، از طریق تغییر مداوم تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه‌های مخفی، شبکه عصبی مناسب و نیز از طریق توابع عضویت مختلف و تعداد آن‌ها، سیستم مناسب فازی اجرا شده است. هدف نهایی مدل، کاهش خطای آموزش می‌باشد. در تمامی مدل‌های انفیس ابعاد و انفیس رتبه‌بندی اعتباری هر ابعاد، میانگین خطای آموزش کمتر از حد آستانه (۰/۵) می‌باشد و این نشان‌دهنده آن است که مدل از کارایی بسیار بالایی برخوردار است.

طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

جدول ۴: مدلسازی شبکه عصبی - فازی تطبیق‌پذیر برای اوراق بهادار اسلامی

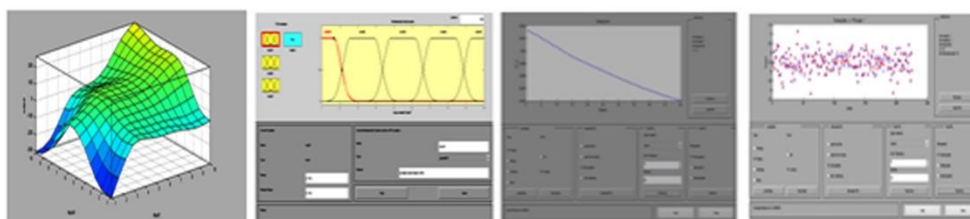
| نام ناشر                        | نوع انفیس     | تعداد تابع عضویت در هر ورودی | نوع تابع عضویت | نوع خروجی تابع عضویت | روش قاعده‌سازی  | تعداد Epochs | نوع روش بهینه آموزشی | نوع سیستم فازی | میانگین خطای آموزش |
|---------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|----------------------|-----------------|--------------|----------------------|----------------|--------------------|
| دولت                            | ANFIS A       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۲۷               |
|                                 | ANFIS B       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۱۴               |
|                                 | ANFIS C       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۱۹               |
|                                 | ANFIS D       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۳۱               |
|                                 | ANFIS- Rating | ۴                            | زنگوله‌ای      | خطی                  | گرید پارتیشن    | ۱۰۰          | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۰۲               |
| شرکت‌های دولتی                  | ANFIS A       | ۳                            | دوزنقه‌ای      | ثابت                 | خوشه‌بندی کاهشی | ۵۰           | گرادیان نزولی        | سوگنو          | ۰/۱۵               |
|                                 | ANFIS B       | ۳                            | دوزنقه‌ای      | ثابت                 | خوشه‌بندی کاهشی | ۵۰           | گرادیان نزولی        | سوگنو          | ۰/۰۹               |
|                                 | ANFIS C       | ۳                            | دوزنقه‌ای      | ثابت                 | خوشه‌بندی کاهشی | ۵۰           | گرادیان نزولی        | سوگنو          | ۰/۰۸               |
|                                 | ANFIS D       | ۳                            | دوزنقه‌ای      | ثابت                 | خوشه‌بندی کاهشی | ۵۰           | گرادیان نزولی        | سوگنو          | ۰/۱۳               |
|                                 | ANFIS- Rating | ۴                            | دوزنقه‌ای      | خطی                  | خوشه‌بندی کاهشی | ۱۰۰          | گرادیان نزولی        | سوگنو          | ۰/۰۰۳              |
| شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی | ANFIS A       | ۳                            | گاوسی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۱۸               |
|                                 | ANFIS B       | ۳                            | گاوسی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۲۱               |
|                                 | ANFIS C       | ۳                            | گاوسی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۳۲               |
|                                 | ANFIS D       | ۳                            | گاوسی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۲۵               |
|                                 | ANFIS- Rating | ۴                            | گاوسی          | خطی                  | گرید پارتیشن    | ۱۰۰          | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۰۱               |
| شرکت‌های خصوصی                  | ANFIS A       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۱۴               |
|                                 | ANFIS B       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۲۱               |
|                                 | ANFIS C       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۳۷               |
|                                 | ANFIS D       | ۳                            | مثلثی          | ثابت                 | گرید پارتیشن    | ۵۰           | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۰۸               |
|                                 | ANFIS- Rating | ۴                            | زنگوله‌ای      | خطی                  | گرید پارتیشن    | ۱۰۰          | هیبریدی              | سوگنو          | ۰/۰۳               |

منبع: یافته‌های محقق

**پیش‌بینی مدل نهایی**

میزان خطای مدل با افزایش تعداد تکرار در شکل (۲-الف) آورده شده است. این شکل میزان خطای آموزشی مدل برای داده‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار خطایی ترسیم شده، کمترین خطا در آخرین دوره آموزش به دست آمده است. میانگین خطای این مدلسازی برابر ۰,۰۲۲ درصد

می‌باشد. پس از آموزش مدل، عمل اعتبارسنجی پیش بینی صورت گرفت. خروجی مدل به صورت نموداری می‌باشد که در آن داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل با داده‌های اعتبارسنجی تعیین شده که مقدار واقعی آن در دست است، مقایسه شده‌اند. با بررسی این نمودار و مقدار خطای مدل‌سازی، می‌توان اعتبار مدل را در پیش بینی تعیین کرد. میانگین خطای پیش‌بینی به صورت کار توسط مدل ارائه می‌شود. در شکل (۲-ب) داده‌های پیش‌بینی شده مدل نهایی با داده‌های اعتبارسنجی مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در اکثر موارد نقاط قرمز در درون نقاط آبی می‌باشند و نقاط قرمز که بصورت پرت باشد کمتر مشاهده می‌گردد که این عمل میزان صحت نهایی مدل را نشان می‌دهد. در این پژوهش، با استفاده از روش گسسته‌سازی شبکه‌ای یا روش پارتیشن‌بندی، نوع و تعداد توابع عضویت ورودی و خروجی مشخص شده و توابع عضویت ساختار سیستم استنتاج فازی انتخاب شده به صورت شکل (۲-ج) تعیین شده است. همانطور که مشخص است تعداد توابع عضویت، سه تابع بوده و نوع تابع به شکل زنگوله‌ای است. تعداد توابع و نوع توابع انتخابی بستگی به پژوهشگر داشته و با آزمون و خطا تعیین می‌شود. در صورت عدم کسب نتیجه‌ی مطلوب در پیش‌بینی، این موارد قابل تغییر هستند تا به نتیجه مطلوب برسند. حال اگر بخواهیم یک رفتار بهتر از سیستم بینیم، یک شکل سه بعدی را نشان می‌دهیم. طبق قانون شبکه عصبی - فازی اگر سرعت بیشتر بشود، شتاب باید رفتار نزولی داشته باشد. ولی اگر فاصله بیشتر شود، رفتار شتاب صعودی است. شکل سه بعدی همان ساختار پیوسته (هموار شده) از قواعد ما است. برای هر مقدار از هر ترکیب از سرعت و یا فاصله می‌توانیم آنها را داشته باشیم. شکل (۲-د) سطوح انفیس و تابع انفیس را بعد از آموزش نشان می‌دهد. این شکل همان سطح ایجاد شده بین متغیرهای ورودی (ریسک‌های دارائی و ناشر، نهاد واسط، قیمت و بازار و وضعیت اعتباری و اقتصادی) و متغیرهای خروجی (رتبه‌بندی اعتباری) می‌باشد که با استفاده از مدل ANFIS به دست آمده است.



شکل ۲ (الف، ب، ج، د). خروجی‌های مختلف نرم افزار متلب در مدل‌سازی اوراق بهادار اسلامی

(منبع: یافته‌های محقق)

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

### بکارگیری مدل سازی سیستم عصبی فازی تطبیق‌پذیر در رتبه‌بندی اعتباری اوراق (ارزیابی اوراق نسبت به معیارهای ۱۲ گانه و خروجی ANFIS)

مدل طراحی شده نظرات خبرگان را با خروجی داده‌های آموزش و آزمایش ارزیابی می‌کند و خروجی نهایی را نشان می‌دهد. شکل زیر نمرات هر ریسک و رتبه‌بندی اعتباری نهایی هر صکوک طبق نظرات خبرگان را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ذیل نشان می‌دهد امتیاز ANFIS برای هر اوراق و برای هر ناشر طبق نظرات خبرگان و براساس مدل طراحی شده ارائه می‌شود. جدول (۵) نشان می‌دهد که ناشر دولت دارای کمترین ریسک و شرکت‌های خصوصی دارای بیشترین ریسک می‌باشند. در این جدول، صکوک بیانگر یک دارایی مشخص است نه یک بدهی لذا ریسک‌ها هیچ‌وقت به صفر میل نمی‌کنند و یک مقدار ریسکی برای هر صکوک و در هر نوع انتشاری وجود دارد. اعتبار صکوک به ناشر بستگی ندارد بلکه به ارزش دارایی پشتوانه‌اش بستگی دارد، لذا همانگونه که رتبه‌بندی اعتباری هر نوع ناشر می‌دهد، ریسک‌ها در نوع ناشرها خیلی اختلاف معنی داری ندارند.

همان‌گونه که در جدول شماره (۵) نشان داده شد، دولت در تمامی زمینه‌های انتشار ابزارهای تامین مالی اسلامی، از کمترین ریسک برخوردار بوده است. نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان داد که تا قبل از سال ۱۳۹۰ نقش دولت در انتشار صکوک دولتی بسیار کم‌رنگ بوده است اما از سال ۱۳۹۰ سهم دولت در بازار صکوک به بیش از ۶۰ درصد رسیده است. علت این امر را می‌توان در طراحی اوراق‌های جدید توسط دولت اعم از: اسناد خزانه اسلامی، اوراق اجاره و مباحه دولتی جستجو کرد. همچنین دولت ایران، که در سال‌های متوالی با کسری بودجه روبرو بوده است از طریق ایجاد پایه پولی اقدام به رفع کسری بودجه کرده است که این اقدام، تورم پولی را در پی داشته است و لذا دولت در جهت رفع کسری بودجه اقدام به طراحی، انتشار و گسترش بازار اوراق بهادار اسلامی کرده است. علاوه بر این، دولت با افزایش جذابیت خرید این اوراق، سطح تولید داخلی را افزایش داده و پس‌اندازهای خرد را در جهت افزایش تولید داخلی تجمیع و هدایت کرده است. با افزایش تقاضای خرید این نوع اوراق، بازار ثانویه این اوراق هم متنوع شده، سود علی‌الحساب این اوراق با سود بازارهای رقیب هماهنگ شده و طیف وسیعی از سرمایه‌گذاران جذب این اوراق شده‌اند که بالطبع ریسک‌های این اوراق در سال‌های متوالی به سمت صفر میل کرده است.

در جدول شماره (۵) نشان داده شد، اوراق مباحه برای شرکت‌های خصوصی دارای ریسک بالایی است و برای دولت از ریسک کمی برخوردار است. ساختار مباحه در بازار داخلی، برای ناشران از جذابیت خاصی برخوردار بوده است. شرکت‌های دولتی، شرکت‌های خصوصی و شرکت‌های مرتبط با نهادهای



## فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

عمومی در بازارهای داخلی از ساختارهای صکوک مشارکت، مضاربه، اجاره و وکالت به طور گسترده‌ای استفاده می‌کنند، در حالیکه ناشران دولتی تمایل به استفاده از ساختار مباحه بیش از دیگر ساختارها دارند. علت این گستردگی می‌تواند به دلیل سهولت در ساختار صکوک مباحه باشد. این اوراق بازدهی ثابت داشته و قابل خرید و فروش در بازار ثانوی می‌باشند. به دلیل جذابیت در ساختار اوراق مباحه، به مرور زمان اقبال ناشران اوراق به اوراق با سود انتظاری (اوراق مشارکت) کاهش یافته و به سمت اوراق با درآمد ثابت (مباحه و اجاره) سوق یافته است.

در جدول (۵) نشان داده شده است که اسناد خزانه اسلامی تنها از طرف دولت منتشر می‌شود و از ریسک پائینی برخوردار است ولی این ریسک در تمام عوامل پائین نبوده است. در عامل‌های وضعیت اعتباری و بازار و قیمت از ریسک نسبی برخوردار بوده است. در وضعیت اعتباری ریسک نکول برای این اوراق وجود دارد. اسناد خزانه اسلامی توسط خزانه‌داری مرکزی و به پشتوانه بدهی‌های دولت به بانک‌های تجاری، بخش خصوصی و پیمانکاران منتشر می‌شود. لذا با توجه به وضعیت موجود دولت، ریسک ورشکستگی دولت و یا سربازدن دولت از انجام وعده خود و تحقق پرداخت ارزش اسمی بدهی در سررسید می‌تواند وجود داشته باشد.

### جدول ۵: رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی بازار سرمایه کشور

| ناشر: دولت           |               |              |           |               |                      |
|----------------------|---------------|--------------|-----------|---------------|----------------------|
| رتبه‌بندی اعتباری    | وضعیت اعتباری | بازار و قیمت | نهاد واسط | دارائی و ناشر | نوع صکوک / نام عوامل |
| ۱/۹۵                 | ۱/۴           | ۱/۶۲         | ۱/۴       | ۱/۲           | مباحه                |
| ۱/۲۷                 | ۱/۶           | ۱/۳          | ۱/۵       | ۱/۹           | اجاره                |
| ۱/۵۲                 | ۱/۸           | ۱/۳۴         | ۱/۲۵      | ۱/۲۷          | منفعت                |
| ۱/۶۷                 | ۱/۲           | ۱/۴۲         | ۱/۴۲      | ۱/۲۸          | مباحه سلامت          |
| ۱/۹                  | ۲/۱۷          | ۱/۲۵         | ۱/۲۷      | ۲/۸۸          | مشارکت               |
| ۱/۶۹                 | ۱/۹           | ۱/۱۷         | ۱/۲۱      | ۱/۵۲          | سلف                  |
| ۱/۰۲                 | ۲/۱۷          | ۱/۴۹         | ۱/۱۷      | ۱/۲۷          | اسناد خزانه          |
| ناشر: شرکت‌های دولتی |               |              |           |               |                      |
| ۲/۰۲                 | ۲/۴۱          | ۲/۳۷         | ۱/۲۷      | ۲/۱۵          | مباحه                |
| ۲/۰۱                 | ۱/۵۱          | ۱/۱۸         | ۲/۲۵      | ۱/۱۲          | اجاره                |
| ۲/۰۵                 | ۱/۲۱          | ۲/۲۵         | ۱/۱۴      | ۲/۲۵          | استصناع              |
| ۲/۱۴                 | ۲/۲۷          | ۲/۱۸         | ۲/۲۵      | ۱/۲۷          | مشارکت               |
| ۲/۹۵                 | ۱/۱۸          | ۲/۲۱         | ۲/۱۸      | ۲/۳۵          | سلف                  |

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

| ناشر: شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی |      |      |      |      |        |
|---------------------------------------|------|------|------|------|--------|
| ۲/۸۸                                  | ۳/۲۱ | ۱/۱۶ | ۱/۴۷ | ۲/۲۱ | مراجعه |
| ۱/۱۱                                  | ۳/۱۸ | ۱/۲۳ | ۱/۱۶ | ۱/۱۸ | اجاره  |
| ۲/۵۲                                  | ۲/۱۵ | ۱/۴۲ | ۱/۲۱ | ۱/۲۹ | رهنی   |
| ۱/۱۴                                  | ۲/۴۷ | ۲/۷  | ۱/۳۷ | ۱/۴۶ | مشارکت |
| ناشر: شرکت‌های خصوصی                  |      |      |      |      |        |
| ۴/۲۲                                  | ۴/۲۳ | ۵/۶۱ | ۴/۲۸ | ۵/۲۱ | مراجعه |
| ۲/۱۹                                  | ۳/۲۷ | ۲/۱۷ | ۲/۴۱ | ۳/۱۸ | اجاره  |
| ۵/۶۱                                  | ۴/۱۸ | ۵/۲۹ | ۵/۱۸ | ۴/۲۷ | مشارکت |
| ۵/۳۶                                  | ۵/۱۲ | ۳/۷۱ | ۳/۲۸ | ۵/۲۹ | سلف    |

منبع: یافته‌های محقق

### جدول ۶. طیف بندی امتیاز ANFIS

| میزان طیف | خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
|-----------|---------|----|-------|------|-----------|
| امتیاز    | ۱       | ۲  | ۳     | ۴    | ۵ به بالا |

سپس این اوراق را به تفکیک ناشران طبقه‌بندی می‌نمائیم. این طبقه‌بندی یا طیف‌بندی بر مبنای امتیاز ANFIS آن‌ها می‌باشد. مطابق جدول (۷)، اوراق‌های منتشر شده توسط دولت ریسک خیلی کمی دارند و برای سرمایه‌گذاران مفید می‌باشد. شرکت‌های دولتی اوراق را با ریسک‌های کمی منتشر می‌کنند و شرکت‌های مرتبط با نهادهای دولتی هم ریسک نسبتاً پائینی دارند. ولی طبق نظرات خبرگان، شرکت‌های خصوصی دارای ریسک زیاد و خیلی زیاد در زمینه انتشار صکوک می‌باشند.

نتایج جدول (۵) و (۶) نشان می‌دهد که اوراق اجاره برای تمامی ناشران از ریسک پائینی برخوردار است. علت این امر را می‌توان به ریسک زیاد سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه کشور و کاهش سود بانکی دانست که برای کاهش ریسک و مدیریت ریسک این عوامل، جذابیت این اوراق به دلیل سود ثابت و تضمین اصل سرمایه ناشی از این اوراق برای سرمایه‌گذاران افزایش پیدا کرده است. همچنین، ورود دولت به سرمایه‌گذاری در این اوراق باعث شده اعتماد سرمایه‌گذاران به این اوراق بیشتر شده و ریسک این اوراق هم کمتر گردد. همچنین، این اوراق قابلیت معامله در بازار ثانویه را هم دارد که این امر نقدشوندگی این اوراق را افزایش داده است.

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

جدول ۷: طبقه‌بندی ریسک اوراق بهادار اسلامی به تفکیک ناشران

| نام صکوک     | امتیاز نهایی ANFIS |                |                                 |                | رتبه‌بندی ریسک |                |                                 |                |
|--------------|--------------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|
|              | دولت               | شرکت‌های دولتی | شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی | شرکت‌های خصوصی | دولت           | شرکت‌های دولتی | شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی | شرکت‌های خصوصی |
| مراجعه       | ۱/۹۵               | ۲/۰۲           | ۲/۸۸                            | ۴/۲۲           | خیلی کم        | کم             | کم                              | زیاد           |
| اجاره        | ۱/۲۷               | ۲/۰۱           | ۱/۱۱                            | ۲/۱۹           | خیلی کم        | کم             | خیلی کم                         | کم             |
| منفعت        | ۱/۵۲               | -              | -                               | -              | خیلی کم        | -              | -                               | -              |
| مراجعه سلامت | ۱/۶۷               | -              | -                               | -              | خیلی کم        | -              | -                               | -              |
| مشارکت       | ۱/۹                | ۲/۱۴           | ۱/۱۴                            | ۵/۶۱           | خیلی کم        | کم             | خیلی کم                         | خیلی زیاد      |
| سلف          | ۱/۶۹               | ۲/۹۵           | -                               | ۵/۳۶           | خیلی کم        | کم             | -                               | خیلی زیاد      |
| اسناد خزانه  | ۱/۰۲               | -              | -                               | -              | خیلی کم        | -              | -                               | -              |
| استصناع      | -                  | ۲/۰۵           | -                               | -              | -              | کم             | -                               | -              |
| رهنی         | -                  | -              | ۲/۵۲                            | -              | -              | -              | کم                              | -              |

منبع: یافته‌های محقق

### نتیجه‌گیری، بحث و پیشنهادها

رشد چشم‌گیر صکوک در بازارهای مالی اسلامی و حتی بازارهای کشورهای غیر اسلامی، توجه سرمایه‌گذاران را به خود جلب کرده است. ابزارهای تامین مالی اسلامی به دلیل مطابقت با رشد و عدالت اسلامی، مشروع بودن آن‌ها و گسترش آن‌ها در بانکداری اسلامی و حذف ربا و شبه ربا، روز به روز به اهمیت آن‌ها افزوده است. به دلیل عدم رتبه‌بندی اوراق بهادار اسلامی در بازار سرمایه کشور، سرمایه‌گذاران با نوعی اطلاعات مه‌آلود رو به رو هستند و این موضوع افزایش هزینه‌های نمایندگی در شرکت و افزایش عدم تقارن اطلاعاتی را به دنبال دارد. به دلیل وجود عدم قطعیت در بازارهای مالی، تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاران در شرایط عدم قطعیت و اطمینان انجام می‌پذیرد که این پژوهش به دنبال ارائه مدل و سیستمی جهت رتبه‌بندی اعتباری ابزارهای تامین مالی اسلامی است تا بتواند با اتکا به دانش ضمنی خبرگان و کاهش عدم قطعیت، ابزارهای تامین مالی اسلامی را با توجه به ریسک‌های موجود در بازارهای مالی رتبه‌بندی نماید. این پژوهش هم از لحاظ روش و هم از لحاظ مدل با پژوهش‌های پیشین متفاوت است. از لحاظ روش، عمده پژوهش‌های انجام شده در زمینه رتبه‌بندی ابزارهای تامین مالی اسلامی، تنها بر اوراق خاصی تاکید داشته‌اند و تمام اوراق اسلامی را تحت پوشش قرار نداده‌اند. در زمینه مدل، پژوهش‌های پیشین در زمینه رتبه‌بندی اعتباری عمدتاً با رویکرد مدل‌های رگرسیون

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، منطق فازی، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک انجام پذیرفته است. متأسفانه این مدل‌ها به اندازه کافی نمی‌توانند اطلاعات نهان و مخفی درون داده‌ها را نمایان سازند. در حالی که در این پژوهش از سیستم جدیدی به نام سیستم شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر استفاده شده است. این سیستم دو مزیت عمده دارد. اول، در نظر گرفتن عدم قطعیت و اطمینان می‌باشد. به دلیل وجود عدم قطعیت و اطمینان، در بازارهای مالی و محیط‌های سرمایه‌گذاری، اطلاعات موجود در بازارهای مالی اغلب ناقص هستند و از این رو، تصمیمات در شرایط عدم قطعیت اتخاذ می‌گردند. لذا باید در فرآیند تصمیم‌گیری‌ها، این عدم قطعیت در نظر گرفته شود که در این پژوهش با استفاده از رویکرد شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر به حل این مشکل پرداخته شده است. دوم، در نظر گرفتن دانش ضمنی خبرگان در ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها به وسیله قابلیت‌های سیستم‌های استنتاج می‌باشد. دانش ضمنی خبرگان یعنی آن‌چه که در ذهن خبره وجود دارد، در غالب یک قاعده استخراج می‌شود. توانایی سیستم استنتاج، استخراج دانش عملی از مجموعه داده‌ها و تبدیل کردن آن‌ها به اطلاعات قابل استفاده و قابل درک می‌باشد. رویکرد این مدل در آن است که می‌تواند به شکل خودکار مجموعه‌ای از قواعد، طبقه‌بندی و رتبه‌بندی را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندمنظوره عرضه نماید.

هدف از انجام این پژوهش، طراحی مدل رتبه‌بندی اعتباری ابزارهای تامین مالی اوراق بهادار اسلامی در بازار سرمایه ایران می‌باشد. این پژوهش بر اساس هدف در دسته پژوهش‌های توسعه‌ای- کاربردی است. ابزار این پژوهش پرسشنامه بوده که به تأیید خبرگان رسیده است. در این پژوهش با استفاده از روش میدانی، کتابخانه‌ای و مصاحبه با خبرگان، نظرات آن‌ها در چندین مرحله دریافت گردید. نظرات ۲۰ نفر از خبرگان در ۳۰۰ حالت برای ابزارهای تامین مالی موجود در بازار سرمایه ایران (۷۵ درصد برای داده‌های آموزشی و ۲۵ درصد برای داده‌های آزمایشی) اقتباس شده و توسط مدل شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش، در گام اول به شناسایی ریسک‌های مرتبط با اوراق بهادار اسلامی پرداخته شده و در گام دوم، مدل‌سازی معیارهای ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری با استفاده از مدل شبکه عصبی- فازی تطبیق‌پذیر انجام شده که میانگین خطای آموزش تمامی مدل‌های اصلی و زیرمجموعه کمتر از حد آستانه بود. به عبارتی روایی و پایایی مدل تأیید شده و پس‌آزمایی مدل از طریق داده‌های آزمایشی انجام پذیرفت. در گام سوم، بکارگیری مدل‌سازی سیستم عصبی فازی تطبیق‌پذیر در رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی بود. گام سوم، به دو بخش تقسیم‌بندی شده است. در مرحله اول رتبه‌بندی ناشر بوده است. همانگونه که در نتایج مشاهده شد، برای رتبه‌بندی اعتباری ناشر، دولت دارای کمترین ریسک و شرکت‌های خصوصی دارای بیشترین ریسک بوده‌اند. علت این است

که اقتصاد ایران همچنان دولتی بوده و عمده صکوک منتشر شده در بازار سرمایه کشور توسط دولت می‌باشد و به دلیل عدم رتبه‌بندی ناشر و وجود ضامنین معتبر، این اوراق جزء دیون ممتاز دولتی بوده و ریسک‌های بسیار کمی را در بر دارد و در عوض شرکت‌های خصوصی اوراق‌های مختلف را با دارائی‌های متفاوت منشر می‌کنند که این امر ریسک‌های بسیار زیادی را برای آنها در بر دارد. همچنین شرکت‌های دولتی و شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی به دلیل اینکه یا مستقیم دولتی بوده یا اعضای هیئت مدیره آنها از طرف دولت هستند، به نحوی فاقد ریسک بالا می‌باشند. در مرحله دوم برای رتبه‌بندی ابزارهای تأمین مالی، برای ناشر دولت اوراق اسناد خزانه دارای کمترین ریسک و اوراق سلف دارای بیشترین ریسک می‌باشند. خرید و فروش اوراق سلف در بازار ثانویه مطابق با فقه امامیه دارای اشکال شرعی می‌باشد و اسناد خزانه به دلیل نقدشوندگی آسان در بازار ثانویه دارای ریسک پائینی می‌باشد. برای ناشر شرکت‌های دولتی، اوراق سلف دارای بیشترین ریسک و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد. اوراق سلف به دلیل سررسید آن و معامله در بازار ثانویه دارای حرمت شرعی می‌باشد ولی اوراق اجاره به دلیل نبود پیچیدگی در ساختار آن، نقدشوندگی راحت در بازار ثانویه دارای کمترین ریسک می‌باشند. برای ناشر شرکت‌های مرتبط با نهادهای عمومی، اوراق مرابحه دارای بیشترین ریسک و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد. اوراق اجاره در بازار ثانویه به راحتی معامله می‌شود ولی مرابحه به راحتی اوراق اجاره معامله نمی‌شود. برای ناشر شرکت‌های خصوصی، اوراق مشارکت دارای بیشترین ریسک و اوراق اجاره دارای کمترین ریسک می‌باشد. اوراق مشارکت دارای ریسک نکول بالایی بوده ولی اصل و فرع اوراق اجاره در سررسید توسط شرکت‌ها پرداخت شده‌اند. همچنین به دلیل داشتن ریسک-های زیر مجموعه در این پژوهش، تفسیری از این ریسک‌ها هم بیان می‌شود. نوع وثایق اخذ شده از بانی توسط کارشناسان رسمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، لذا فارغ از نوع اوراق معمولاً ریسک وثایق تقریباً برای تمامی اوراق پایین است. لازم به ذکر است طبق همان قوانین وثایق باید بیمه داشته باشند. ریسک استهلاک تدریجی دارائی وابسته به محل خرج موضوع تأمین مالی دارد. مثلاً در اوراق مرابحه یک شرکت با منابع حاصله تجهیزات با نرخ استهلاک بالا می‌خرد و دیگری با نرخ استهلاک پایین. با توجه به ارکان انتشار اوراق مالی اسلامی و تضامین اخذ شده از بانی و ضوابط سازمان بورس معمولاً ریسک ناشی از اعتبار بانی، به نحو مطلوبی در تمامی انواع اوراق پوشش داده می‌شود. تأثیر این ریسک در اقتصادهای آزاد مفهوم پیدا می‌کند که ناشر با ریسک پایین تأمین مالی ارزانتری می‌کند. متولی نهاد واسط، سازمان بورس (شرکت سپرده‌گذاری) است و تقریباً نمی‌توان ریسکی برای آن متصور شد. نرخ سود بازار و نرخ سود اسمی اوراق متأثر از شرایط کلی اقتصاد است و بسته به شرایط و دورنمای آتی تعیین می‌شود و

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

برای تمامی اوراق تقریباً یکسان است. ریسک حساسیت دارائی به نرخ ارز و نرخ تورم از طریق تأثیر گذاری بر شرایط کلی اقتصاد منجر به تغییر انتظارات سرمایه‌گذاران می‌شود. در این شرایط تمامی انواع اوراق تأثیر تقریباً یکسانی می‌پذیرند. مگر در انتشارهای ارزی یا مصارف ارزی تأمین مالی. ریسک نکول به اعتبار بانی مربوط است و در اقتصادهای آزاد که رتبه اعتباری وجود دارد و بحث اخذ تضمین در کار نیست، مصداق بارزتری پیدا می‌کند. با این حال به نظر می‌رسد به جزء از اوراق مشارکت شهرداری‌ها مورد خاص دیگری نکول نشده است.

نتایج این پژوهش، نتایج مطالعات [۲۱]، [۲۵]، [۲۴]، [۳۰]، [۱۳] و [۱۴] را هم پوشش داده و هم بسط می‌دهد و الگوی جامع‌تری از شنا سایی و طبقه‌بندی ریسک اوراق بهادار اسلامی ارائه می‌دهد. هم‌چنین، نتایج این پژوهش با نتایج [۱۸] و [۱۹] مطابقت ندارد. علت این عدم تطابق در سه موضوع می‌باشد. اول این‌که هر دو موضوع مطرح شده فقط روی یک ابزار خاص تأکید دارند و همه ریسک‌های اوراق بهادار اسلامی را پوشش نمی‌دهند. دوم اینکه نتایج به‌دست آمده در هر دو پژوهش، با پژوهش محقق تفاوت دارد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که ریسک تورم و اعتباری به‌عنوان تأثیرگذارترین ریسک می‌باشد در حالی که در این پژوهش طبق نظر خبرگان، ریسک تورم و ریسک اعتباری به‌عنوان تأثیرپذیرترین ریسک نتیجه‌گیری شد. سوم این‌که در این پژوهش، ریسک شریعت و ریسک سیاسی به‌علت اینکه در تمامی اوراق بهادار اسلامی در داخل کشور تأثیرگذار هستند صرف‌نظر شد ولی در دو پژوهش مذکور به‌عنوان اولویت‌های اصلی تأثیرگذارترین ریسک هم نام برده شد. نتایج رتبه‌بندی ابزار تأمین مالی این پژوهش با نتایج پژوهش [۶] همخوانی دارد. علت امر این است که آن‌ها از روش فازی برای رتبه‌بندی صکوک استفاده کرده‌اند و تا حدودی دقت مدل پژوهش آن‌ها مشابه با این پژوهش می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد که مسئولین سازمان بورس، دایره فقهی بورس، سازمان‌های اعتباردهی و اعتبارسنجی بتوانند بر اساس این نتایج به توسعه مدل‌های رتبه‌بندی اعتباری اوراق بهادار اسلامی بپردازند. الگوی ارائه شده در این پژوهش می‌تواند به عنوان یک ساختار جامع و به‌عنوان یک نقشه راه مورد استفاده کارشناسان سازمان بورس، کارشناسان کمیته فقهی و شرکت‌های رتبه‌بندی اعتباری، برنامه‌ریزان، طراحان و سرمایه‌گذاران بازار سرمایه کشورهای اسلامی و حتی غیراسلامی مورد استفاده قرار گیرد. یکی از کمبودها در بازار سرمایه ایران، عدم حضور موثر سازمان‌های رتبه‌بندی است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که این سازمان‌ها توسعه پیدا کنند و از رتبه‌بندی آن‌ها استفاده گردد. هم‌چنین، با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد که بورس اوراق بهادار تهران برای ناشران اوراق بهادار

## فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

اسلامی رتبه‌هایی در نظر بگیرد که این رتبه‌ها، معیار ارزیابی سرمایه‌گذاران در اوراق صکوک باشد. با این روش، هم سرمایه‌گذاران با توجه به مطلوبیت خود، ناشران و اوراق مربوطه خود را انتخاب می‌کنند و هم شرکت‌های ناشر اوراق، عدم تقارن اطلاعاتی خود را کاهش داده و در نهایت هزینه‌های نمایندگی آن‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین، پیشنهاد می‌گردد که سرمایه‌گذاران جهت ارزیابی ابزارهای اوراق بهادار اسلامی، به دارائی‌های شرکت منتشر کننده اوراق و نقدینگی آن‌ها توجه ویژه‌ای نمایند. عدم تخصیص بهینه منابع شرکت در انتشار اوراق و کمبود نقدینگی، شرکت را در پرداخت تعهدات دوره‌ای خود دچار مشکل می‌کند. در پایان پیشنهاد می‌گردد، باتوجه به تحریم‌های مالی و اقتصادی و محدودیت‌های نهادها و شرکت‌های ایرانی برای دسترسی به بازار سرمایه بین‌المللی، ایجاد و توسعه این ابزار باید از اولویت‌های اصلی دولت و نهادهای تصمیم‌گیرنده باشد.

## طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

### منابع

- (۱) باباجانی جعفر، امیرعباس صاحبقرانی. ابعاد رتبه‌بندی اعتباری صکوک منتشر شده در بازار سرمایه کشور. تحقیقات مالی اسلامی. دوره ۷، تابستان ۱۳۹۷: ۳۹۷-۴۲۴.
- (۲) توحیدی، محمد و یارمحمدی، رضا. نوع‌شناسی و طبقه‌بندی اوراق بهادار اسلامی (صکوک) از منظر معیارهای گوناگون. اقتصاد و بانکداری اسلامی، دوره ۸. شماره ۲۸. پاییز ۱۳۹۸: ۴۱-۷۶.
- (۳) حسینی، سیدعلی، حکمت، هانیه و کاشف، معصومه. نقش صکوک اجاره و اوراق مشارکت در تامین مالی شرکت‌ها. پژوهش حسابداری. دوره ۳. شماره ۸. بهار ۱۳۹۲: ۱-۲۶.
- (۴) جوادی روح‌الله، قدرت‌الله طالب‌نیا و حسین پناهیان. مقایسه رتبه‌بندی عملکرد شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران مدل‌های عصبی و فازی. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. دوره ۱۰. شماره ۴۱. زمستان ۱۳۹۸: ۲۴۳-۲۶۷.
- (۵) خان‌زاده، محمد، محقق‌نیا، محمدجواد و ابراهیمی سروعلیا، محمدحسن. (۱۳۹۸). طراحی الگوی رتبه‌بندی اعتباری بانک‌های اسلامی ایران. تحقیقات مالی اسلامی. سال ۹. شماره ۱. پاییز و زمستان ۱۳۹۸: ۳۲۷-۳۶۶.
- (۶) دموری، داریوش، حمید جاویدان. بررسی و اولویت‌بندی ابزارهای تامین مالی اسلامی با استفاده از روش ویکور فازی. اقتصاد و بانکداری اسلامی. دوره ۲۳. شماره ۲۶. بهار ۱۳۹۸: ۶۹-۹۶.
- (۷) رستمی، علی، غلامرضا زمردیان و میثم علی محمدی. امکان‌سنجی پوشش ریسک نرخ ارز شرکت‌های صادرکننده و واردکننده با استفاده از قرارداد آتی سکه طلا در بورس کالای ایران. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. دوره ۸. شماره ۳۱. تابستان ۱۳۹۶: ۲۱۷-۲۳۶.
- (۸) سازمان بورس و اوراق بهادار. دستورالعمل تاسیس و فعالیت موسسات رتبه‌بندی. تهران: مرکز پژوهش، توسعه سازمان بورس. ۱۳۹۵.
- (۹) سلیمی، محمدجواد، باباجانی، جعفر و جعفری، ابوالفضل. (۱۳۹۶). رتبه‌بندی بانک‌های ایرانی بر اساس توان مالی. مطالعات تجربی حسابداری مالی. دوره ۱۴. شماره ۵۴. تابستان ۱۳۹۶: ۲۵-۵۰.
- (۱۰) سروش، ابوذر، محسن صادقی. مدیریت ریسک اوراق بهادار اجاره (صکوک اجاره). اقتصاد اسلامی. سال ۷. شماره ۲۷. پاییز ۱۳۸۶: ۱۵۷-۱۸۶.
- (۱۱) شاه‌رخ، سیده سمانه. طراحی و تدوین مدلی برای رتبه‌بندی اعتباری شرکت‌ها. رساله دکتری دانشگاه الزهراء، دانشکده مدیریت و حسابداری، ۱۳۹۵.



## فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

۱۲) شعبانی ورنامی، محمد، حسین دیده‌خانی، حسین، علی خوزین و آرش نادریان. طراحی الگوی جامع شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های اوراق بهادار اسلامی. راهبرد مدیریت مالی. دوره ۶. شماره ۲۳. زمستان ۱۳۹۷: ۶۱-۸۷.

۱۳) معلمی، مرتضی. ارزیابی استفاده از صکوک استصناع برای تامین مالی پروژه‌های شهری به همراه رتبه‌بندی مدل‌های موجود صکوک استصناع با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه امام صادق (ع). دانشکده علوم اقتصادی. ۱۳۹۳.

۱۴) موسویان، سیدعباس، بلال وثوق و علی فرهادیان آرانی. شناخت و رتبه‌بندی ریسک‌های ابزار مالی اسلامی (صکوک). اندیشه مدیریت راهبردی. دوره ۷. شماره ۱. بهار و تابستان ۱۳۹۲: ۱۸۷-۲۱۲.

۱۵) فلاح شمس لیالستانی، میرفیض، یارمحمدی، رضا، ملیحی، سید محمدحسن و ابوترابی، غلامرضا. شناسایی و رتبه‌بندی جایگزین‌های ضمانت در فرآیند انتشار اوراق بهادار اسلامی در بازار سرمایه ایران. تحقیقات مالی اسلامی. سال ۹. شماره ۱. پاییز و زمستان ۱۳۹۸: ۱۷۵-۲۰۴.

۱۶) فلاح‌پور، سعید، مسعود طادی. پیش‌بینی ریسک نکول با استفاده از مدل ساختاری تو سعه یافته در بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. دوره ۷. شماره ۲۸. پاییز ۱۳۹۵: ۱-۲۱.

۱۷) قاسمی، احمد رضا، طاره دنیایی هریس. اندازه‌گیری ریسک اعتباری مشتریان با رویکرد شبکه عصبی در یکی از بانک‌های دولتی. فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. دوره ۷. شماره ۲۷. تابستان ۱۳۹۵: ۱۵۵-۱۸۱.

۱۸) نظرپور، محمدنقی، مجید حبیبیان نقی و حسین کفشگر جلودار. الویت‌بندی ریسک صکوک مراحه از طریق نظرسنجی توسط خبرگان مالی و مقایسه آن با دیگر ابزارهای بازار سرمایه. پژوهش‌های اقتصادی ایران. سال ۱۹. شماره ۵۹. تابستان ۱۳۹۳: ۱۵۳-۱۸۱.

۱۹) نظرپور، محمدنقی، محمدحسین صدراپی. شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های اسناد خزانه اسلامی در بازار اوراق بهادار ایران. تحقیقات مالی اسلامی. دوره ۶. شماره ۱۲. بهار و تابستان ۱۳۹۶: ۱۳۳-۱۶۶.

20) Ahmed, H., & Elsayed, A.H. (2018). Are Islamic and conventional capital markets decoupled? Evidence from stock and bonds/sukuk markets in Malaysia. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, <https://doi.org/10.1016/j.qref.2018.04.005>.

21) Ahmed, E. R., Islam, M. A., & Alabdullah, T. T. Y. (2014). Islamic Sukuk: Pricing Mechanism and Rating. *Journal of Asian Scientific Research*, 10 (2), 178-183.

طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

- 22) Arsalan, T. A. (2004). Managing financial risks of Sukuk structures. A dissertation of Master of Science Loughborough University UK.
- 23) Arsalan, T. A., & Dar, H. (2007). Risks of Sukuk structures: Implications for resource mobilization. *Thunderbird International Business Review*, 49(2), 203-223.
- 24) Arundina, T., & Omar, M. A. (2010). Determinant of Sukuk Rating; The Case of Malaysia. Thesis Kulliyah of Economics and Management Science, International Islamic University Malaysia.
- 25) Arundina, T., Omar, M. A., & Mira, K. (2015). The Predictive Accuracy of Sukuk Ratings; Multinomial Logistic and Neural Network Inferences. *Pacific-Basin Finance Journal*, 34 (3), 273-292..
- 26) Ammann, M. (2001). *Credit Risk Valuation: Methods, Models, and Applications*. 2nd ed. Springer, New York, NY.
- 27) Ayturk, Y., Asutay, M., & Aksak, E. (2017). What explains corporate sukuk primary market spreads? *Research in International Business and Finance*, 40(2), 141-149.
- 28) Azmata, S., Skully, M., & Brown, K. (2014). Credit risk in Islamic joint venture bond. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 103 (3), 129-145.
- 29) Belkaoui, A. (1980). Industrial bond ratings: A new look. *Financial Management*. 99 (3), 44-51.
- 30) Borhan, N.A. & Noryati, A. (2018). Identifying the determinants of Malaysian corporate Sukuk rating, *International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management*, 11(3), 432-448, August 2018.
- 31) Chaveesuk, R., Srivaree-ratana, C., & Smith, E. (1997). Alternative Neural Network Approaches to Corporate Bond Rating. *Journal of Engineering Valuation and Cost Analysis*, 39 (5) , 531-555.
- 32) Crouhy, Michel., Galai, Dan., & Mark, Robert. (2006). "Essentials of Risk management", McGraw\_Hill.
- 33) Duffie, D., & Singleton, K.J. (2003). *Credit Risk: Pricing, Management and Measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- 34) European Securities and Markets Authority (ESMA). (2013). *Credit Rating Agencies, Annual Report*.
- 35) Faboozi, Frank J., & MANN, Steven V. (2005). "THE HANDBOOK of FIXED INCOME SECURITIES",. Seventh Edition.
- 36) Fabozzi, F. J., & Drake, P. P. (2009). *Finance: Capital Markets, Financial Management, and Investment Management*, 178 (2), 35-69.
- 37) Finger, C.C., Finkelstein, V., Lardy, J.P., Pan, G., Ta, T., & Tierney, J. (2002). *Credit Grades Technical Document*. RiskMetrics Group, New York, NY.

- 38) Jang, R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23 (3), 665–685.
- 39) Jang, R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1996). *Neuro-fuzzy and soft computing*. Prentice Hall.
- 40) Hassoune, A. (2007). Standard & Poor's Approach to Rating sukuk. *S&P Ratings Direct*. September.
- 41) Kamil, W. A. (2008). Introduction to Sukuk. In R. Ratings, *Malaysian Sukuk Market Handbook Your Guide to the Malaysian Islamic Capital Market*, (pp. 21-49). Kuala Lumpur: RAM Rating.
- 42) Kamstra, M., Kennedy, P., & Suan, T. (2001). Combining Bond Rating Forecasts Using Logit. *International Journal of Forecasting*, 14 (3), 75-96.
- 43) Khan, N., Kchouri, B., & Yatoo, N.A., & Kräussl, Z, Patel, A., & State, Radu. (2020). Tokenization of sukuk: Ethereum case study. *Global Finance Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2020.100539>.
- 44) Leea, Jae Ha. (2000). “Embedded options and Interest Rate Risk for Insurance companies, banks and other financial Institutions”. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol. 40.
- 45) Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 26, 1182–1191.
- 46) Merton, R.C. (1974). On the pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates. *J. Finance*, 29 (2), 449–470.
- 47) Mseddi, S., & Naifar, N. (2013). Rating Methodology and Evaluating the Issuer of Sukuk. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 262-275.
- 48) Mohamed, S., & Taitoon, J. A. (2019). *Islamic finance development report*.
- 49) Mokhtar, M.S., Rahman, S., Kamal, H., & Thomas, A. (2009). Sukuk and the Capital Markets, In S. C. Malaysia, *Sukuk: Islamic Capital Market Series* (pp.17-38). Kuala Lumpur: Sweet & Maxwell Asia.
- 50) Moody's. (2019). Global sovereign sukuk issuance to recover in 2019. <https://www.moody's.com/research/Moodys-Global-sovereign-sukuk-issuance>.
- 51) Murciai, F. C. D. S., Dal-Ri Murcia, F., Rover, S., & Borba, J. A. (2014). The Determinants of Credit Rating: Brazilian Evidence. *BAR-Brazilian Administration Review*, 11(2), 188-209.
- 52) Reuters, T. (201). *Sukuk Perceptions & Forecast 2017 Report*.
- 53) Saghaei, A., & Didekhani, H. (2011). Developing an integrated model for the evaluation and selection of six sigma projects based on ANFIS and fuzzy goal programming. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 721–728.

طراحی مدل ارزیابی رتبه‌بندی اعتباری اوراق... / شعبانی ورنامی، دیده‌خانی، خوزین و نادریان

54) Soui, M., & Gasmi, I., & Smiti, S., & Ghedira, KH. (2019). Rule-based Credit Risk Assessment Model Using Multi-Objective Evolutionary Algorithms. Expert Systems with Applications. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 15(1), 116–132.

55) Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 15(1), 116–132.

56) Tichy, G. (2011). Credit Rating Agencies: Part of the Solution or Part of the Problem?. *Intereconomics*, 46(5), 232-262.

57) Touray, A. K. (2004). Predicting a bond rating: Multivariate analysis of corporate bonds, a new look at Malaysian corporate bonds. Thesis, International Islamic University of Malaysia.

58) Uddin, M.H., Kabir, S.H., Hossain, M.S.W., Nor, S.A., & Liu, Jia. (2020). Which firms do prefer Islamic debt? An analysis and evidence from global sukuk and bonds issuing firms. *Emerging Markets Review*, <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2020.100712>.

- 
- ۱ logistic regression
  - ۲ Neural network credit scoring models
  - ۳ function approximation
  - ۴ clustering
  - ۵ Pattern recognition
  - ۶ traditional methods
  - ۷ structural models
  - ۸ intensity or reduced form models
  - ۹ Merton
  - ۱۰ Finger et al.
  - ۱۱ Duffie and Singleton
  - ۱۲ Islamic finance
  - ۱۳ Fuzzy inference systems
  - ۱۴ if-then
  - ۱۵ Mamdani inference system
  - ۱۶ Takagi and Sugeno inference systems
  - ۱۷ Jang
  - ۱۸ ANFIS
  - ۱۹ adaptive neuro fuzzy inference system.
  - ۲۰ least square estimator (LSE)
  - ۲۱ back-propagation (BP)
  - ۲۲ Arundina and Omar
  - ۲۳ - Adaptive network based fuzzy inference system or adaptive neuro-fuzzy inference system.