

## ارایه الگویی برای تعیین نرخ سود در عقود مبادله‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup>

حمیده نقاده<sup>۲</sup>

توحید فیروزان سرنقی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۱

### چکیده

در بانکداری اسلامی، دو دسته عقود مشارکتی و غیرمشارکتی (عقود مبادله‌ای) وجود دارد. عقود مبادله‌ای، عقود با نرخ سود ثابت است که نرخ آنها معمولاً مبنای تخصیص منابع عقود مشارکتی است. در ایران نرخ سود عقود مبادله‌ای از سوی بانک مرکزی و به صورت دستوری تعیین می‌شود. در پژوهش حاضر با الهام از روش ارایه شده از سوی دادگر و فیروزان (۱۳۹۱) و به منظور مقایسه نتایج و ارتقای کارایی برآوردها و نشان دادن قابلیت عملیاتی روش مذکور با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) و تابع پایه شعاعی (RBF) نرخ سود عقود مبادله‌ای محاسبه و برآورد شد. داده‌های مورد استفاده، اطلاعات حقیقی و واقعی عملکرد بخش تولید صنعتی یعنی بنگاه‌های با بیش از ۱۰ نفر کارکن را شامل می‌شود. طبق نتایج به دست آمده، دو شبکه از دقت نسبتاً خوبی برای تخمین ضرایب تابع هزینه سایه‌ای برخوردارند و اکثر ضرایب، در صدم اعشار با هم تفاوت دارد. روش پیشنهادی علاوه بر سهولت انجام، در راستای روش اقتصادسنجی بوده ولی محدودیت‌های آن از جمله بررسی تعداد محدود صنایع به دلیل نمونه‌گیری را نداشته و تقریباً تمام ۱۴ هزار داده کارگاه‌های صنعتی در سال ۱۳۸۶ را لحاظ نموده و میزان خطای محاسبات بسیار کمتر است. طبق نتایج حاصل، نرخ سود عقود مبادله‌ای برای سال مورد بررسی ۱۵ درصد به دست آمد که در مقایسه با نرخ سود ۱۲ درصد برای سال مذکور، نشان‌دهنده ۲۰ درصد انحراف در تعیین نرخ سود است که هزینه‌های غیرقابل انکاری بر اقتصاد کشور و تخصیص منابع محدود دارد.

**واژگان کلیدی:** سود، عقود مبادله‌ای، بانکداری اسلامی، تابع هزینه سایه‌ای، شبکه عصبی مصنوعی  
**طبقه‌بندی JEL:** J3, O1, Z12

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد حمیده نقاده است که با همین عنوان در دانشگاه علوم اقتصادی (خوارزمی فعلی)، (۱۳۹۳) انجام یافته است.

۲. کارشناس ارشد مهندسی دانش و علوم تصمیم دانشگاه علوم اقتصادی (خوارزمی فعلی)، تهران (hamide.naghadeh@gmail.com)

۳. عضو هیات علمی گروه بانک، بیمه و گمرک دانشکده مدیریت دانشگاه خوارزمی، تهران (t.firoozan@khu.ac.ir)

## ۱. مقدمه

نظام اقتصادی به عنوان یکی از مهم‌ترین ارکان بنیان اقتصادی هر کشور نقش بسزایی در فرهنگ، معیشت و پیشرفت جوامع ایفا کرده و به دو دسته عمده نظام اقتصاد اسلامی<sup>۱</sup> و نظام اقتصاد غیراسلامی تقسیم می‌شود. نظام سرمایه‌داری به عنوان گسترده‌ترین نظام اقتصادی غیراسلامی، وابسته به نرخ بهره و ربا است. اما در نظام اقتصاد اسلامی با تکیه بر احکام اسلامی، پول و تأمین مالی اسلامی<sup>۲</sup> (بانکداری بدون ربا)، تخصیص منابع بر پایه نرخ بازدهی بخش حقیقی و با سازوکاری مشخص صورت می‌گیرد. قانون‌گذار با توجه به برخی معیارها میزان سود یا زیان حاصل از هر فعالیت اقتصادی را تعیین می‌کند (نمازی، ۱۳۸۴).

مجلس شورای اسلامی ایران در سال ۱۳۶۲ قانون عملیات بانکی بدون ربا (بانکداری اسلامی<sup>۳</sup>) را با هدف مشارکت طرفین در سود و زیان به تصویب رساند. بر اساس قانون بانکداری بدون ربا و ملحقات آن، بانک‌های ایران می‌توانند با استفاده از روش‌های چهارده‌گانه‌ای که قانون پیش‌بینی کرده، اقدام به تخصیص منابع نمایند. این روش‌ها به چهار دسته کلی قرض‌الحسنه، عقود مشارکتی، عقود غیرمشارکتی (عقود با بازدهی ثابت یا عقود مبادله‌ای)<sup>۴</sup> و سرمایه‌گذاری مستقیم تقسیم می‌شوند. در عقود مشارکتی بازده متغیر بوده و نحوه توزیع سود پروژه می‌تواند مبنای چانه‌زنی برای بانک و مشتری واقع شود. در عقود مبادله‌ای بانک می‌تواند نرخ سود<sup>۵</sup> مشخصی را تعیین کند که به عنوان ملاک و شاخصی از سود در عقود مشارکتی هم استفاده می‌شود. سرمایه‌گذاری مستقیم هم روشی است که بانک می‌تواند با استفاده از منابع خود، آن را انجام دهد (دادگر و فیروزان، ۱۳۹۱).

در قانون بانکداری بدون ربا، نرخ سود عقود مبادله‌ای مبنایی برای تخصیص کل منابع بانکی بوده و به عنوان متغیری تعیین‌کننده در نظام بانکی کشور محسوب می‌شود. پس تعیین این نرخ از اهمیت بسزایی برخوردار بوده، به نحوی که در این قانون به عنوان ابزار سیاست پولی در نظر گرفته شده است. درباره تعیین نرخ سود عقود مبادله‌ای، برخی اقتصاددانان و محققان نظریاتی بیان کرده ولیکن روشی برای تعیین نرخ سود ارائه نداده‌اند. نظیر مباحثی که در خصوص نرخ نسبی برای فروش اقساطی به عنوان یکی از عقود مبادله‌ای مطرح است. در نبود چنین روش‌هایی، سیستم بانکی بیشتر از روش فیشر و مثبت بودن نرخ بهره اسمی استفاده می‌کند که مبنای آن بیشتر بودن نرخ سود از تورم است که این روش با بانکداری اسلامی قرابت زیادی ندارد. در این راستا، مقاله‌ای که مبتنی بر فعالیت‌های

1. Islamic Economic System
2. Islamic finance
3. Islamic banking
4. Transactional contracts
5. Profit rate

درون بنگاه‌ها و بازدهی واقعی، روشی برای اندازه‌گیری این سود ارائه داده، مقاله دادگر و فیروزان (۱۳۹۱) با عنوان «ارایه چارچوبی برای تعیین نرخ سود در عقود مبادله‌ای» است که با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و تابع هزینه سایه‌ای، رویکرد هزینه سایه‌ای را مطرح نموده‌اند.

روش تحقیق مقاله مذکور، تحلیلی و مبتنی بر بررسی‌های آماری و اقتصادسنجی روی داده‌های مقطعی کارگاه‌های صنعتی (اشخاص حقوقی) بالای ۱۰ نفر کارکن می‌باشد. این داده‌ها توسط مرکز آمار منتشر شده است. داده‌های گردآوری شده به دلیل وجود پارامترهای بسیاری چون وضعیت کارگاه، وضعیت کارکنان کارگاه، مواد اولیه مصرفی، مواد تولید شده توسط کارگاه و غیره، دارای ماهیت پیچیده و غیرخطی هستند. همچنین حجم این داده‌ها بسیار بالا می‌باشد. به دلیل وجود این عوامل، به ابزارهایی کاربردی و آسان نیاز داریم که کمترین محدودیت را در کار با این گونه داده‌ها داشته باشند و بتوانند به تحلیل و مدل‌سازی این مساله با دقت بیشتری نسبت به روش‌های آماری بپردازند.

با توجه به قابلیت بسیار بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> در مدل‌سازی سیستم‌ها و استنتاج معانی از داده‌های پیچیده، مبهم، غیرخطی و چندمتغیره، می‌توان از آنها برای حل مساله فوق بهره جست. در بین شبکه‌های عصبی مصنوعی موجود، شبکه‌های پرسپترون چندلایه<sup>۲</sup> و تابع پایه شعاعی<sup>۳</sup> بیشترین کاربرد را در تخمین تابع و دسته‌بندی بردارهای ورودی دارند.

شبکه‌های چندلایه پیشخور (پرسپترون چندلایه) یکی از مهم‌ترین ساختارهای شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. به طور معمول این شبکه‌ها شامل مجموعه‌ای از واحدهای حسی (نورون‌های<sup>۴</sup> پایه) متشکل از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی هستند. سیگنال ورودی در خلال شبکه و در مسیری رو به جلو لایه به لایه منتشر می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی هم به عنوان یکی از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مسائل دسته‌بندی و پیش‌بینی در زمینه تشخیص الگو و یادگیری ماشین مطرح می‌باشند. این شبکه‌ها نوعی شبکه عصبی مصنوعی پیشخور با ساختاری مشابه MLP است. با این تفاوت که اغلب این شبکه‌ها را می‌توان در زمانی کوتاه‌تر از شبکه MLP آموزش داد. در صورتی که بردارهای ورودی فراوانی در دسترس باشد، این شبکه‌ها از عملکرد مطلوب‌تری برخوردارند.

پس در این مقاله، با بهره‌گیری از محاسبات انجام شده در کار دادگر و فیروزان، برای تعیین تابع هزینه سایه‌ای نهاده‌ها و تعیین انحراف قیمت نهاده‌ها و همچنین با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی MLP و RBF به تعیین ضرایب این تابع و در نهایت، محاسبه نرخ سود می‌پردازیم.

1. Artificial Neural Network (ANN)
2. Multi-Layer Perceptron (MLP)
3. Radial Basis Function (RBF)
4. Neuron

ادامه این مقاله در هفت بخش تنظیم شده است. پس از مقدمه، در بخش دوم، پیشینه تحقیق بیان شده است. در بخش سوم، به بیان مساله می‌پردازیم. در بخش چهارم، روش مدل سازی مساله و معرفی داده‌ها آورده شده است. در بخش پنجم، روش حل مساله با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را بیان می‌نماییم. در بخش ششم، به تجزیه و تحلیل نتایج و در نهایت در بخش هفتم، به جمع‌بندی مباحث خواهیم پرداخت.

## ۲. پیشینه تحقیق

برخی اقتصاددانان اعتقاد دارند که با حذف نرخ بهره از اقتصاد، سازوکاری برای اندازه‌گیری هزینه سرمایه و در نتیجه، ارزشگذاری کارآیی طرح‌های سرمایه‌گذاری در دست نخواهد بود. بدین معنی که چگونه بدون ارایه قیمتی برای پول یا سرمایه نقدی، می‌توان آن را به‌نحو کارا تخصیص داد؟ به‌زعم آنها چالش تعیین نرخ سود، یکی از مشکلات عمده بانک‌های اسلامی است (القری، ۱۳۸۴). بنابراین در اقتصاد اسلامی، یک نرخ بازدهی در بازار مالی وجود دارد که همان نرخ بازدهی بخش واقعی است و می‌تواند به‌عنوان معیاری برای تصمیم‌های سرمایه‌گذاری باشد (خان و میرآخور، ۱۳۷۰).

غالب محققان و پژوهشگران اقتصاد اسلامی، هزینه فرصت سرمایه را در اقتصاد اسلامی معادل نرخ بازدهی در بازارهای حقیقی می‌دانند. لذا بانک‌ها و نهادهای اسلامی ناچار به استفاده از نرخ بهره به عنوان مبنایی برای تجهیز و تخصیص منابع هستند. برخی هزینه فرصت سرمایه را در اقتصاد اسلامی معادل نرخ بازدهی در بازارهای حقیقی می‌دانند.<sup>۱</sup> لذا، نرخ‌های بهره بین‌المللی (مانند نرخ رسمی بهره بین بانکی لندن<sup>۲</sup>) را مبنا قرار می‌دهند و نرخ سود خود را با آن هماهنگ می‌کنند تا مطمئن شوند در مسیر جهت‌گیری عمومی حاکم بر بازارها حرکت می‌کنند و در نتیجه، اجرای بانکداری اسلامی را مسکوت باقی می‌گذارند.

به بیان اقبال و میرآخور (Iqbal and Mirakhor, 1999)، مسئولیت این امر متوجه دولت بوده و اجرای عقود اسلامی نیازمند اجرای سیاست‌های قابل قبولی از سوی دولت است تا به ثبات قیمت‌ها بیانجامد. بنابراین دولت با ایجاد ثبات و اطمینان لازم می‌تواند عامل ریسک را کاهش داده و فضای مساعدی برای اجرای بهتر عقود بانکداری بدون ربا فراهم آورد.

۱. در این رابطه محققانی مثل زرqa (Zarqa, 1982 & 1998)، صدیقی (۱۹۸۲)، میرآخور (۱۹۹۶)، اقبال (۱۹۹۸)، ووگل و هایس (Vogel & Hayes, 1998)، حق و میرآخور (Haque & Mireikhor, 1999)، اوپال (Uppal, 1999) اقبال و میرآخور (Iqbal & Mirakhor, 1999) و نینهاس (Nienhaus, 2006) را می‌توان نام برد.

2. London Inter-Bank Official Rate (LIBOR)

برخی از محققان اقتصاد اسلامی از جمله خان (khan, 1986) و میرآخور (Mirakhor, 1988) از نرخ بازدهی سهام به عنوان راهنما برای تخصیص سرمایه نام برده‌اند. برخی دیگر نیز این موضوع را در حالت‌های خاصی مورد ملاحظه قرار داده و مثلاً صدر (۱۳۷۵) نرخ سود در فروش نسبه یا نرخ نسبه را معادل هزینه فرصت سرمایه در اقتصاد اسلامی در نظر گرفته و منذر قحف (۱۳۷۵) با بیان اینکه سرمایه نیز نظیر سایر نهاده‌های تولید باید پاداش خود را از تولید دریافت دارد، در یک تعریف محدود، قیمت سرمایه را معادل اجاره ماشین‌آلات و ساختمان‌ها در نظر گرفته است. البته صدر و قحف روشی عملی که متضمن محاسبه نرخ سود و هزینه فرصت سرمایه در کل اقتصاد باشد، ارایه نمی‌دهند.

منان (۱۳۷۵) و صدیقی (Siddiqi, 1982) از محاسبه قیمت حسابداری برای سرمایه دفاع می‌کنند که قیمتی خنثی از لحاظ ایدئولوژیک بوده و به هیچ وجه علامتی از بازگشت به سیستم ربوی نخواهد بود. در دیدگاه‌های مشابه با دیدگاه منان، برخی مثل عیوضلو (۱۳۸۷) معتقد به وجود قیمت سایه‌ای برای پول هستند.

دیگران از جمله فرزین‌وش و ندری (۱۳۸۱) نیز نظر مشابهی دارند و با تفکیک بهره طبیعی از بهره قراردادی، بهره طبیعی را درآمدی که بازار برای مالک سرمایه، مادامی که سرمایه در دست اوست - نه غیر- تعریف می‌کنند. فرزین‌وش و ندری این درآمد را نوعی ارزش بازاری و از جنس قیمت می‌دانند که از آن به هزینه فرصت سرمایه تعبیر می‌شود.

میرآخور (Mirakhor, 1996) و ندیم الحق و میرآخور (Haque & Mireikhor, 1999) به صورت عملی نیز معیارهایی را برای تعیین نرخ بازدهی سرمایه در اقتصاد بیان نموده‌اند. بر اساس روشی که میرآخور (۱۹۹۶) پیشنهاد می‌کند، در اقتصادی که فاقد ابزارهای بدهی است، می‌توان هزینه سرمایه را در غیاب نرخ بهره بازار محاسبه نمود. روش پیشنهادی میرآخور مبتنی بر تکنیک  $Q$  توبین است. در این راستا مهدوی و میدری (۱۳۸۴) به دلایلی از جمله غیرواقعی بودن ارزش بازاری و دفتری شرکت‌ها، بیان می‌کنند که صورت و مخرج  $Q$  توبین در ایران به درستی قابل محاسبه نیست. چون به دلیل شرایط تورمی، ارزش دفتری دارایی‌ها با ارزش واقعی آنها همخوان نیست و قوانین مالیاتی نیز مانع از استقبال شرکت‌ها از تجدید ارزیابی دارایی‌های ثابت می‌شود.

روش حق و میرآخور (۱۹۹۹) هم شاخصی تلفیقی از بازدهی سهام در بازارهای داخلی و خارجی است، ولی آن نیز نهایتاً در انتخاب ضرایب، دست سیاستگذاران را باز می‌گذارد و با توجه به وزن‌هایی که به متغیرهای مختلف از این طریق داده می‌شود، به شاخصی سلیقه‌ای و بسته به ترجیحات سیاستگذار بدل می‌شود.

حق و میرآخور (۱۹۹۹) در تلاشی که برای نرخگذاری انتظاری بر انتشار اوراق مشارکت ملی<sup>۱</sup> به عمل آورده‌اند، تصریح می‌کنند که نرخ بازدهی این اوراق بایستی از بازده بخش حقیقی اقتصاد منتج شده باشد و لذا ضروری است که نرخ‌ی که مبنای انتشار این اوراق قرار می‌گیرد، نباید متأثر از جریان‌ها و رفتار سفته‌بازانه و ثروت‌های بادآورده که در بخش خصوصی و بازارهای مالی وجود دارد، قرار گیرد.

در نظریه دیگری که برگرفته از نحوه تعیین نرخ بهره در اقتصاد سرمایه‌داری است، برخی عرضه و تقاضای پول به همان سبک و سیاق اقتصاد سرمایه‌داری و در قالب مدل‌هایی که شامل تقاضای سفته‌بازی برای پول نیز است، اقدام به تعیین نرخ بهره نموده‌اند.

شاهمرادی و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با استفاده از داده‌های فصلی سری زمانی، نرخ بهره تعادلی را برای اقتصاد ایران برآورد نموده‌اند. در این مقاله، نرخ بهره تعادلی به‌عنوان یک متغیر غیرقابل مشاهده در اقتصاد ایران بر اساس رهیافت کالمن و در قالب مدل تعادل عمومی برای دوره ۶۸ تا ۸۶ محاسبه شده است. طبق نتایج این مطالعه، مقدار این متغیر به‌طور متوسط برابر با ۵/۶ درصد به‌دست آمده است.

علاوه بر آنچه گفته شد، رویکرد پرترفدار دیگری برای تعیین نرخ سود در بانکداری بدون ربا وجود دارد که بر شاخص قیمت کالاها و خدمات استوار است. در این رویکرد، نرخ سود دقیقاً معادل نرخ بهره تعریف می‌شود و بنا به رابطه مشهور نرخ بهره اسمی و حقیقی، و ضرورت وجود قیمت مثبت برای سرمایه، رشد شاخص قیمت کالاها و خدمات (تورم)، پایه تعیین نرخ سود معرفی می‌شود.

برخی محققان مانند آفانظری (۱۳۸۷) و موسویان (۱۳۸۹) تعیین نرخ سود را با تکیه بر عرضه و تقاضا و بازار مورد تأکید قرار می‌دهند. برای نمونه، آفانظری (۱۳۸۷) درباره کمیت و نرخ فروش اقساطی (عقود مبادله‌ای) بر این باور است که این نرخ بر اساس سازوکار عرضه و تقاضا و مشخصاً از طریق نرخ سود نسبه مشتق از نرخ سود سرمایه در بخش واقعی اقتصاد تعیین شود.

در رویکرد دیگری، نرخ سود عقود مبادله‌ای بر مبنای تورم تعیین می‌شود. در رد این نظریه توتونچیان (۱۳۷۹) جواب کاملی ارائه کرده است. «در شرایط تورمی که نرخ تورم بالاتر از نرخ سود تضمین‌شده سپرده‌ها است، آیا نرخ سودسپرده‌ها باید حداقل به اندازه نرخ تورم افزایش یابد؟ طبق نظر وی طرح ضمنی و یا قبول چنین پیشنهادی، دلیلی بر عدم اجرای قانون است» (توتونچیان، ۱۳۷۹: ۴۷۰-۴۶۹).

ایراد وارد بر این نظریه، آن است که نرخ تورم و نرخ بهره واقعی در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، به‌درستی قابل محاسبه نیست.

## 1. National Participation Paper (NPP)

به این ترتیب، رویکرد تعیین نرخ سود بر پایه تورم، رویکردی انحرافی محسوب می‌شود که مبتنی بر یک رابطه بنا به تعریف بوده و فاقد جایگاه تئوریک و ارزش نظری منطبق بر تأمین مالی اسلامی در تعیین نرخ سود است. این رابطه صرفاً نرخ سود اسمی تسهیلات را با تعدیلاتی به نرخ واقعی (با توجه به تورم و نه بازدهی طرح‌ها)، تبدیل می‌کند که به معنی تعیین نرخ سود نیست.

در نهایت، دادگر و فیروزان (۱۳۹۱) در مقاله‌ای با عنوان ارایه چارچوبی برای تعیین نرخ سود در عقود مبادله‌ای، رویکردی به نام رویکرد هزینه سایه‌ای را ارائه داده‌اند که با استفاده از اطلاعات درونی بنگاه‌های اقتصادی و نحوه تخصیص سرمایه در آن، به برآورد بازدهی سرمایه و هزینه فرصت سرمایه در اقتصاد (و بنگاه اقتصادی) می‌پردازد و روشی برای تعیین نرخ سود معرفی می‌کند که با لحاظ ویژگی‌های بیان شده برای تعیین نرخ سود بر مسأله اطلاعات نامتقارن که بین بانک و متقاضی تسهیلات رخ دهد، غلبه می‌یابد.

از سویی، می‌توان گفت طبق بررسی‌های انجام شده توسط محقق، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مسائل اقتصادی و مالی کمتر مورد توجه بوده است. اولین بار وایت<sup>۱</sup> (Whitcobb, 1977) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی در بازار بورس استفاده کرد. او به دنبال این پرسش بود که آیا شبکه‌های عصبی مصنوعی قادرند قواعد غیرخطی در سری‌های زمانی<sup>۲</sup> و قواعد ناشناخته در حرکات قیمت دارایی‌ها و تغییرات قیمت سهام را شناسایی کنند؟ هدف وایت از ارایه این مقاله، نشان دادن این مطلب بود که چگونه یک شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور<sup>۳</sup> قادر به انجام این کار است. او با ارایه یک مثال از قیمت‌های روزانه، مطلب را ثابت کرد.

بعد از مطالعه اولیه وایت، در سال ۱۹۸۸ پای شبکه‌های عصبی مصنوعی به حوزه مالی باز شد و مطالعات متعددی در این زمینه در جهان انجام شد. در فاصله سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۵ حدود ۲۵۰ فعالیت علمی در زمینه شبکه‌های عصبی مصنوعی در حوزه بازرگانی انجام گرفته، که تنها کمتر از ده فعالیت در زمینه پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی بوده است.

محققانی مثل گارلیاسکاس<sup>۴</sup> (Garliauskas, 1999)، کیم و هان<sup>۵</sup> (Kim & Han, 2000)، کارلوس باتیستا<sup>۶</sup> (Bautista, 2000)، لنداس و همکاران<sup>۷</sup> (Lendasse, et al., 2000)، اگلی و

1. Whitcobb
2. Time series
3. Feed Forward
4. Garliauskas
5. Kim and Han
6. Bautista
7. Lendasse et al

همکاران<sup>۱</sup> (Egeli, et al., 2003) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام بازار بهره گرفته‌اند.

شبه‌ترین کار به موضوع کاری موردنظر ما توسط آیکن و بسات<sup>۲</sup> (Aiken and Bsat, 1999) انجام شده که در آن از یک شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور آموزش دیده با روش الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup>، برای پیش‌بینی نرخ بهره خزانه آمریکا استفاده کردند و نتیجه گرفتند که شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند برای این کار مناسب باشد.

چیانگ و همکاران<sup>۴</sup> (Chiang, et al., 1996) از یک شبکه پسانتشار خطا برای پیش‌بینی خالص قیمت دارایی شرکت‌های سرمایه‌گذاری در پایان سال استفاده کردند. آنها داده‌های شبکه و نتایج کارشان را با نتایج به دست آمده از تکنیک‌های سنتی اقتصادسنجی مقایسه کرده و نتیجه گرفته‌اند که شبکه‌های عصبی مصنوعی، زمانی که داده‌ها کم باشند، به‌صورت معنی‌داری از روش‌های گرسیونی بهتر عمل می‌کنند.

در ایران نیز دو- سه مورد مقاله دیده شد که به بررسی و پیش‌بینی شاخص اوراق بهادار و سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته‌اند که نتایج حاصل از آنها، بیانگر موفقیت و برتری عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به سایر روش‌ها است.

### ۳. بیان مساله

نظام اقتصاد اسلامی مبتنی بر احکام اسلامی و پول و تأمین مالی اسلامی بوده و به دلیل ناعادلانه و ظالمانه بودن قراردادهای ربوی و نرخ از پیش تعیین شده در تسهیلات بانکی، مغایر و مخالف با بانکداری مبتنی بر بهره است. در بانکداری اسلامی، بانک موظف است به وکالت از سپرده‌گذار در سرمایه‌گذاری‌ها مشارکت کند و بخشی از سود حاصل از سرمایه‌گذاری را به سپرده‌گذار داده و بخش دیگر را به عنوان حق‌الوکاله بردارد. این موضوع در قانون عملیات بانکی بدون ربا (بهره) مصوب ۱۳۶۲ به رسمیت شناخته شده و اساس بانکداری در جمهوری اسلامی ایران است. در دنیا نیز این نوع بانکداری به عنوان بانکداری اسلامی یا بانکداری مبتنی بر مشارکت در سود و زیان شناخته می‌شود. در اقتصاد سرمایه‌داری، هزینه فرصت سرمایه همان نرخ بهره است و بر اساس این نرخ، منابع و پس‌اندازها تخصیص می‌یابد. اما در اقتصاد اسلامی، تخصیص منابع بر پایه نرخ بازدهی بخش حقیقی استوار بوده و دارای سازوکاری است که مبتنی بر مشارکت در ریسک است. لذا یک نرخ بازدهی در

1. Egeli et al.
2. Aiken and Bsat
3. Genetic Algorithm
4. Chiang et al



بازارهای سرمایه اسلامی وجود دارد که بیانگر هزینه فرصت سرمایه بوده و از نرخ بازدهی در بخش حقیقی اقتصاد نشأت می‌گیرد (خان و میرآخور، ۱۳۷۰). این نرخ بازده، هزینه فرصت سرمایه است و بنابراین، می‌تواند به عنوان جدول تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری پدیدار شود (حق و میرآخور، ۱۹۹۹). اما اگر عواملی مانند دخالت دولت و انحرافات متعدد قیمتی وجود داشته باشد و بازارهای فراگیر، شفاف و کارای سهام ایجاد نشده باشد، این نرخ به سختی تعیین خواهد شد. به این ترتیب، اگر هر نرخی بجز نرخ بازده حقیقی، ملاک عمل تصمیم‌گیری و تخصیص منابع کمیاب سرمایه (بویژه در سرمایه‌گذاری‌های عمومی) قرار گیرد، موجب عدم کارایی تخصیصی خواهد شد (دادگر و فیروزان، ۱۳۹۱: ۸۲).

با وجود احکام غنی اسلامی، بانک‌های کنونی فعال در جامعه ایران هنوز نتوانسته‌اند قانون عملیات بانکی بدون ربا را به درستی و به صورت کامل اجرا کنند. همچنین به دلیل عواملی چون دخالت دولت، عدم استقلال بانک مرکزی، عدم ارتباط مناسب بین بانک و بنگاه‌های صنعتی و در نتیجه عدم شناخت کافی برای اعتبارسنجی آنها، قیمت سرمایه با انحراف مواجه شده و در نرخ سود اعلامی تأثیر خواهد گذاشت.

بررسی آخرین آمار مربوط به تسهیلات اعطایی بانک‌ها و مؤسسات اعتباری، نشان می‌دهد که این مؤسسات با توجه به کاهش دستوری نرخ سود تسهیلات در عقود مبادله‌ای، تورم، بهای تمام شده بالای تسهیلات بانکی، ریسک سرمایه‌گذاری عقود مبادله‌ای و غیره، واگذاری این عقود را تعطیل کرده و برای آزادی عمل بیشتر و دریافت سود واقعی تسهیلات خود، به سمت عقود مشارکتی (با نرخ سود متغیر) حرکت کرده‌اند.

حاصل سخن آنکه به رغم گذشت ۳۰ سال از اجرای قانون عملیات بانکی بدون ربا در ایران، آثار اجرای آن بر اقتصاد کشور کمتر مورد توجه بوده است. لذا در بانکداری اسلامی با توجه به اهمیت نرخ سود عقود مبادله‌ای، تعیین نرخ با کمترین هزینه‌های عدم کارایی در اقتصاد ایران و بیشترین دقت، موضوع کار این تحقیق خواهد بود.

#### ۴. مدل‌سازی موضوع

##### ۴-۱. محاسبه متغیرهای مدل

متغیرهای مطرح در این مطالعه، قیمت سه نهاد نیروی کار، انرژی، سرمایه و هزینه کل و ارزش افزوده<sup>۱</sup> به ازای هر کارگاه است که برای محاسبه هر یک، به ترتیب زیر عمل شده است.

۱. ارزش افزوده (Value added) ارزشی است که در فرایند تولید به ارزش کالاهای واسطه‌ای افزوده می‌شود. این مفهوم به فرایند تولید مربوط است و نه به کالایی خاص. در کسب و کار، تفاوت بین قیمت فروش و هزینه‌های تولید

متغیر مزد و حقوق سرانه شاغلین: تعداد افراد شاغل در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بالاتر و جبران خدمات نیروی کار (حقوق و مزایا) آنها را محاسبه کرده و از تقسیم ارزش جبران خدمات نیروی کار بر تعداد شاغلان، قیمت نیروی کار به دست می‌آید.

$$(۱) \quad \text{جبران خدمات نیروی کار (حقوق و مزایا)} = \frac{\text{مزد و حقوق سرانه شاغلان}}{\text{تعداد شاغلان}}$$

متغیر قیمت انرژی: بر اساس قیمت‌های انرژی برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، که از ترازنامه انرژی اخذ شده است، این شاخص قیمتی هم محاسبه شد. متغیر هزینه سرمایه: برای محاسبه این متغیر، از فرمول زیر استفاده شده است.

$$(۲) \quad P_k = r + (\delta + R) / K_x$$

که در آن،  $r$  هزینه فرصت سرمایه برای بنگاه‌ها است که برای همه بنگاه‌ها یکسان و معادل ۱۵ درصد منظور می‌شود.  $\delta$  هزینه استهلاک و  $R$  اجاره پرداختی بنگاه برای کالاهای سرمایه‌ای است.  $K_x$  موجودی سرمایه بنگاه در سال  $x$  (در مطالعه ما سال ۱۳۸۶) است.

هزینه کل و ارزش افزوده صنعت: حاصل جمع هزینه‌های نیروی کار، انرژی و سرمایه متغیر هزینه کل کارگاه را به دست می‌دهد و به جای تولید، از متغیر ارزش افزوده هر صنعت استفاده می‌شود.

$$(۳) \quad \text{هزینه سرمایه متغیر} + \text{هزینه انرژی} + \text{هزینه نیروی کار} = \text{هزینه کل}$$

$$(۴) \quad \text{داده} - \text{ستانده} = \text{ارزش افزوده}$$

#### ۲-۴. معرفی رویکرد هزینه سایه‌ای

تابع هزینه، رابطه بین هزینه و محصول است که به تابع تولید محصول موردنظر و نیز قیمت عوامل تولید بستگی دارد. حال اگر قیمت‌ها دچار انحراف نباشد و آنچه به‌عنوان قیمت نهاده در بازار مشاهده می‌شود، همان قیمت‌های حقیقی باشد، در آن صورت، تابع هزینه برآورد شده با تابع هزینه مینیمم، یکی خواهد بود، یعنی اگر تابع تولید به فرم رابطه ۵ باشد:

$$(۵) \quad q = f(X_i) \quad i = L, K, E$$

در شرایطی که تولید کارا و هزینه‌ها حداقل باشد، باید رابطه ۶ برقرار باشد:

$$(۶) \quad f_i / f_j = w_i / w_j$$

یک محصول، سود واحد است. در اقتصاد، مجموع سود واحد، هزینه‌های استهلاک واحد و سایر هزینه‌های کار برابر ارزش افزوده واحد است. و از حاصل تفریق ستانده (عوامل تولیدی و درآمدزا) از داده (عوامل مصرفی و درآمدبر) به دست می‌آید.

ولی اگر بنگاه‌ها در یک صنعت تحت تأثیر کنترل‌ها و مقررات مختلف از سوی نظام اقتصادی باشند، این بنگاه‌ها در حداقل‌سازی هزینه‌ها ناتوان خواهند شد.

لا و یوتوپولس (Lau and Yotopoulos, 1971) در ایده‌ای جدید، روشی را معرفی کردند که بعدها پایه‌ای برای معرفی تابع هزینه سایه‌ای<sup>۱</sup> گردید. مطابق این روش، بنگاه ارزش تولید نهایی هر عامل تولید را با مقدار ثابتی برابر می‌کند که این ثابت، رابطه تناسبی با قیمت‌های موجود و قابل مشاهده در بازار دارد، به این صورت که:

$$P(\partial Q / \partial X_i) = k_i w_i \quad k_i \geq 0 \quad (7)$$

که در آن،  $k_i$  شاخصی از حداکثرسازی سود یا حداقل‌سازی هزینه از سوی بنگاه است. لذا ترکیب نهاده‌ها به گونه‌ای خواهد بود که نتوان با کم کردن یکی از نهاده‌ها به همان سطح محصول رسید. به عبارت دیگر، هزینه‌ها کاهش می‌یابد.  $w_i$  هم قیمت‌های موجود و مشاهده شده برای نهاده‌ها است. لا و یوتوپولس عبارت  $k_i w_i$  را قیمت موثر نهاده می‌نامند. حال اگر  $k_i = 1$  باشد، بنگاه در خصوص نهاده موردنظر، رفتار مبتنی بر حداکثرسازی سود خواهد داشت. و تولید با حداقل هزینه و ترکیب کارای عوامل ایجاد می‌شود.

با توجه به توضیحات بالا، به صورت کلی، دو قیمت برای هر نهاده می‌توان متصور شد. قیمت اول، قیمت موجود نهاده یا  $w_i$  می‌باشد که ممکن است با قیمت حقیقی آن که مؤید کمیابی منابع و نشان‌دهنده هزینه فرصت واقعی نهاده است، یکی نباشد. قیمت دوم  $w_i^*$  یا قیمتی است که بنگاه‌ها بر پایه بازدهی که نهاده برای بنگاه دارد، برای آن قابل هستند. این قیمت از نحوه تخصیص منابع در درون بنگاه قابل محاسبه است. به این معنی که بنگاه‌ها صرف‌نظر از قیمت‌های بازاری (و احتمالاً انحرافی) و بر پایه قیمت‌های حقیقی که بازتابی از هزینه فرصت حقیقی منابع است، به تخصیص منابع در درون بنگاه می‌پردازند. از این نظر، رابطه بین دو قیمت قابل مشاهده ( $w_i$ ) و غیرقابل مشاهده

( $w_i^*$ ) یا سایه‌ای به صورت  $w_i^* = k_i w_i$  قابل بیان بوده و بر پایه آن، دو تابع هزینه برای بنگاه وجود خواهد داشت: ۱- تابع هزینه موجود که بر اساس قیمت‌های موجود نهاده‌ها که احتمالاً انحرافی هستند؛ بیان می‌شود؛ ۲- تابع هزینه حداقل که بر اساس قیمت‌های سایه‌ای نهاده‌ها قابل تعریف است.

به بیان تودا<sup>۲</sup> (Toda, 1976) وقتی قیمت نهاده‌ها دچار انحراف باشد، تابع هزینه بنگاه حداقل نیست. آنچنان که او اثبات نمود، اگر قیمت نهاده‌ها یا حداقل یکی از قیمت نهاده‌ها، متاثر از انواع

1. Shadow Cost Function
2. Toda

مقررات و دخالت‌های دولتی دچار انحراف شود، تابع هزینه برآوردشده، بزرگتر از تابع هزینه مینیمم شده و عدم کارآیی تخصیصی رخ خواهد داد. در واقع، با هزینه سایه‌ای در قیمت نهاده مواجه می‌شویم. در آن صورت، رابطه ۶ برقرار نیست و داریم:

$$f_i/f_j = w_i^{sh}/w_j^{sh} = k_i w_i/k_j w_j = \theta(w_i/w_j) \quad (۸)$$

که در آن،  $w_i^s = k_i w_i$  قیمت سایه‌ای نهاده  $i$  است (فیروزان، ۱۳۹۱: ۹۳-۹۲). به بیان دیگر، تابع هزینه تابعی از  $k_i w_i$ ها است که  $k_i$  به صورت درونزا و بر اساس برآورد همزمان معادلات هزینه و سهم هزینه نهاده‌ها برآورد می‌شود که تابع هزینه‌ای حداقل محسوب می‌شود. بنابراین، با به دست آوردن تابع هزینه حداقل در قالب تابع هزینه سایه‌ای، می‌توان از لم هاتیلینگ برای استخراج توابع تقاضای نهاده‌ها استفاده نمود.

### ۳-۴. روش برآورد مدل

از آنجا که قیمت‌های سایه‌ای قابل مشاهده نیستند، از هزینه‌های واقعی و ارتباط آن با تابع هزینه سایه‌ای برای محاسبه عدم کارآیی تخصیصی استفاده می‌شود. به این منظور، ابتدا تابع هزینه سایه‌ای را به صورت زیر تعریف می‌کنیم که تابعی از مقدار تولید و قیمت‌های سایه‌ای نهاده‌ها است.

$$C^{sh} = C^{sh}(w^{sh}, q) = C^{sh}(kw, q) \quad (۹)$$

و با استفاده از تابع فوق، سهم هزینه سایه‌ای را برای نهاده  $i$  به دست می‌آوریم.

$$S_i^{sh} \equiv \frac{k_i w_i x_i}{C^{sh}} \quad (۱۰)$$

همچنین با استفاده از تابع هزینه سایه‌ای و لم هاتیلینگ تابع تقاضای نهاده، برای هر یک از نهاده‌ها نظیر نهاده  $i$  به صورت زیر خواهد بود.

$$x_i^* = x_i(q, w_i^{sh}) = \frac{\partial C^{sh}}{\partial w_i^{sh}} = \frac{\partial C^{sh}}{\partial k_i w_i} \quad (۱۱)$$

تابع هزینه واقعی بنگاه‌ها هم به شکل زیر قابل بیان است:

$$C^a = C^a(q, w^{sh}, w) = \sum_i w_i x_i \quad i = K, L, E, M \quad (۱۲)$$

همچنین سهم هزینه قابل مشاهده مربوط به نهاده  $i$  عبارت است از:

$$S_i^a \equiv \frac{w_i x_i}{C^a} \quad (۱۳)$$

حال با قرار دادن تابع تقاضای نهاده در رابطه  $C^a = \sum_i w_i x_i$  تابع هزینه واقعی را به صورت تابعی از هزینه سایه‌ای به دست می‌آوریم.

$$C^a = \sum_i w_i x_i = \sum_i w_i \left( \frac{\partial C^{sh}}{\partial k_i w_i} \right) \quad (14)$$

و از آنجا که قبلاً  $S_i^{sh}$  را تعریف نموده‌ایم، رابطه  $x_i = S_i^{sh} C^{sh} (k_i w_i)^{-1}$  را در عبارت فوق قرار داده و تابع هزینه مشاهده شده را به عنوان تابعی از هزینه سایه‌ای، قیمت سایه‌ای و سهم نهاده سایه‌ای به دست می‌آوریم. در واقع داریم:

$$C^a = C^{sh} \sum_i k_i^{-1} S_i^{sh} \quad (15)$$

و اگر تابع فوق و  $x_i = S_i^{sh} C^{sh} (k_i w_i)^{-1}$  را در  $S_i^a$  که قبلاً تعریف کرده‌ایم، قرار دهیم، سهم هزینه قابل مشاهده نهاده‌ها به شکل زیر به دست خواهد آمد:

$$S_i^a = (S_i^{sh} w_i / w_i^{sh}) / \sum_j (S_j^{sh} w_j / w_j^{sh}) \quad (16)$$

سیستم معادلات  $C^a$  و  $S_i^a$  قابل تخمین و برآورد است. با برآورد این سیستم، میزان انحراف در قیمت نهاده‌ها در هر دو صورت کلی (برای همه بنگاه‌ها) و هر بنگاه به صورت مجزا قابل برآورد است. حال با فرض تابع هزینه متغیر به فرم ترانسلوگ، تابع هزینه واقعی که تابعی از تولید و قیمت‌های سایه‌ای نهاده‌ها است، به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \ln C^a = & \alpha_0 + \alpha_q \ln(q) + \frac{1}{2} \gamma_{qq} (\ln q)^2 + \sum_i \gamma_{iq} \ln q \ln(k_i w_i) + \sum_i \alpha_i \ln(k_i w_i) + \\ & \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln(k_i w_i) \ln(k_j w_j) + \alpha_t t + \frac{1}{2} \alpha_{tt} t^2 + \sum_i \alpha_{it} \ln(k_i w_i) t + \gamma_{qt} \ln(q) t \\ & + \gamma_{qt} \ln(q) t + \ln \left[ \sum_i \left( \alpha_i + \alpha_{it} t + \sum_j \gamma_{ij} \ln(k_j w_j) + \gamma_{iq} \ln q / k_i \right) \right] \end{aligned} \quad (17)$$

و معادله سهم هزینه واقعی برای نهاده  $i$  ام با تقسیم مخارج نهاده بر هزینه واقعی، به دست می‌آید:

$$S_i^a = \frac{\left( \alpha_i + \alpha_{it} t + \sum_j \gamma_{ij} \ln(k_j w_j) + \gamma_{iq} \ln q / k_i \right)}{\sum_i \left( \alpha_i + \alpha_{it} t + \sum_j \gamma_{ij} \ln(k_j w_j) + \gamma_{iq} \ln q / k_i \right)} \quad (18)$$

در این معادلات،  $q$  (تولید) را معادل ارزش افزوده گرفته و هدف ما برآورد ضرایب  $k, \gamma, \alpha$  خصوصاً  $k_k$  (میزان انحراف سرمایه) در دو معادله آخر (معادله ۱۷ و ۱۸)، با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی MLP و RBF است.

#### ۴-۴. داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مقاله، مربوط به داده‌های سرشماری کارگاه‌های صنعتی کشور در رشته‌های مختلف صنعتی با بیش از ۱۰ نفر کارکن است که اطلاعات کامل حدود ۱۴ هزار کارگاه صنعتی را در سال ۱۳۸۶ شامل می‌شود. این آمارها اغلب از سوی مرکز آمار ایران و بر اساس طرح‌های آمارگیری طی پرسش‌نامه‌هایی از کارگاه‌های صنعتی جمع‌آوری شده است.

#### ۵. بیان روش پیشنهادی

##### ۵-۱. حل مساله با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

امروزه با توسعه روش‌های هوش مصنوعی در برآورد پارامترهای گوناگون، مدل‌هایی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به ویژگی‌هایی چون سرعت بالا، مصونیت در برابر نویز، قابلیت تعلیم و عمومیت و مقاومت در برابر تغییر پارامترها، قابلیت خود را در پیش‌بینی این پارامترها به منزله ابزاری قدرتمند به خوبی نشان داده‌اند و برای حل مسائل غیرخطی و پیچیده، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

یک شبکه عصبی مصنوعی، ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد و با اغماض زیاد می‌توان آنها را مدل‌های الکترونیکی از ساختار عصبی مغز انسان نامید و در واقع، با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی مثل مغز انسان ساخته شده‌اند و با ترکیب ویژگی‌هایی همچون قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی به داده‌های جدید، پردازش موازی و تصمیم‌گیری، قابلیت حل کامل مسائلی پیچیده با ماهیتی خطی یا غیرخطی را دارند (Turhan, 1995).

مساله مهم در روش‌های هوشمند، اعمال داده‌های آموزشی مناسب به ورودی شبکه است. شبکه به گونه‌ای آموزش داده می‌شود که با به کارگیری یک‌دسته از ورودی‌ها، خروجی دلخواه تولید شود. هرکدام از این دسته‌های ورودی و یا خروجی دلخواه را می‌توان به صورت یک بردار در نظر گرفت. آموزش با به کار بستن متوالی بردارهای ورودی و تنظیم وزن‌های شبکه، مطابق با یک روش از پیش تعیین شده انجام می‌گیرد. طی آموزش شبکه، وزن‌های شبکه به تدریج به مقدارهایی همگرا می‌شود که به ازای آنها با اعمال بردار ورودی، بردار خروجی دلخواه تولید می‌گردد.

در پژوهش حاضر، ابتدا شبکه را طبق روش به کار رفته در کار دادگر و فیروزان (۱۳۹۱) آموزش داده و سپس در مرحله آزمایش و راستی‌آزمایی شبکه به تخمین متغیر مورد نظر برای داده‌های آزمون می‌پردازیم. از طرفی، چون دو شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده برای این پژوهش، جزو

شبکه‌های باناظر<sup>۱</sup> هستند که به خروجی مطلوب<sup>۲</sup> نیاز دارند، از روش برآورد سیستمی ظاهراً غیر مرتبط تکراری<sup>۳</sup> که در جعبه ابزار متلب<sup>۴</sup> موجود است، بهره گرفته و مقدار مطلوب خروجی را محاسبه می‌کنیم.<sup>۵</sup> در این روش فرض می‌شود، جملات اختلال معادلات با هم ارتباط دارند و دارای همبستگی همزمان هستند.

در کار ما چون سه نهاده نیروی کار، انرژی و سرمایه منظور شده‌اند، با بهره‌گیری از روش ISUR، چهار معادله حاصل شد که به حل آنها و محاسبه ضرایب مجهول آن پرداختیم. البته می‌توان یکی از معادلات مثلاً معادله سهم نیروی کار را کنار گذاشت و با  $k_1 = 1$  معادلات را نرمال کرد. ما هر دو کار را انجام دادیم. سپس بردارهای نهاده‌ها (با سه مؤلفه قیمت نیروی کار، قیمت انرژی، و قیمت سرمایه)، ارزش افزوده کارگاه، و تابع هزینه سایه‌ای محاسبه شده را به عنوان ورودی به دو شبکه MLP و RBF داده و با آن شبکه را آموزش دادیم. خروجی حاصل از شبکه، تابع هزینه واقعی تقریب زده شده و یا بهتر بگوییم، ضرایب این تابع است.

با استفاده از جعبه ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی در نرم‌افزار متلب، شبکه‌های متعددی با ساختارها و پارامترهای ورودی متفاوت برای تخمین ضرایب تابع هزینه سایه‌ای تعریف شد. تعداد نورون‌های لایه پنهان و ضریب یادگیری و ضریب ترم لحظه‌ای در شبکه‌های MLP و مقادیر پایه و تعداد توابع محرک در شبکه‌های RBF با استفاده از سعی و خطا تعیین گردید. پس از بررسی ساختارهای متفاوت برای این دو شبکه، با توجه به مقادیر توابع عملکرد، یک ساختار به عنوان ساختار بهینه انتخاب گردید.

در آموزش شبکه‌ها ملاحظه شد که افزایش تعداد نورون‌های لایه پنهان، تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد شبکه ندارد. و تعداد بیشتر از ۱۰ آن سبب افزایش زمان اجرا و میزان خطای آموزش شبکه می‌شود. لذا برای اجتناب از بزرگ‌تر شدن ساختار شبکه MLP، از ۸ نورون در لایه پنهان استفاده شد. و حداکثر تعداد دوره‌های<sup>۶</sup> شبکه، تعداد ۵ هزار در نظر گرفته شد. و چون سلول‌های لایه پنهان

1. Supervised
2. Desired output
3. Iterative Seemingly Unrelated Regression (ISUR)
4. MATLAB Toolbox

۵. روش‌های برآورد سیستمی در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب زیرشاخه مالی (Financial Toolbox) قابل دسترس است. البته قابل ذکر است که روش ISUR مستقیماً وجود ندارد و ما ابتدا از روش رگرسیون نرمال چندمتغیره (Multivariate normal regression) استفاده کرده‌ایم و سپس با کد دستور `convert2sur` آن را به ISUR تبدیل کرده‌ایم.

6. Epoch or Iteration

غیرخطی هستند، تابع محرک شبکه MLP را تانژانت هایپربولیک<sup>۱</sup> و شبکه RBF را گوسی<sup>۲</sup> تعریف کردیم.

## ۲-۵. نحوه بهبود قدرت تعمیم‌دهی دو شبکه

برای تعمیم‌دهی مناسب شبکه، باید به نحوی از آموزش بیش از حد<sup>۳</sup> آن جلوگیری نمود. برای جلوگیری از این مشکل دو دستور در نرم‌افزار متلب موجود است: قانونمندی سازی خودکار و متوقف‌سازی زودهنگام. روش قانونمندی سازی خودکار برای یکی از دستورات خاص آموزش به کار می‌رود و در روش متوقف‌سازی زودهنگام، داده‌ها باید به سه مجموعه داده‌های آموزشی، داده‌های آزمون و داده‌های صحت‌سنجی (برآورد)<sup>۴</sup> تقسیم شوند. در این روش، شبکه در حین آموزش، خطای داده‌های آزمون را به صورت خودکار برآورد می‌کند و زمانی که خطا در این داده‌ها شروع به افزایش می‌کند، شبکه آموزش را متوقف می‌کند. مشکل این الگوریتم، آن است که برای توقف، یک مرز سخت عددی را قرار می‌دهد ولی عملاً ما به عنوان ناظر هوشمند اجازه می‌دهیم که آموزش ادامه یابد تا از جواب مطمئن شویم، چون از میزان غیرخطی بودن توابع ورودی و خروجی اطلاعی نداریم.

برای جلوگیری از آموزش بیش از حد شبکه MLP از روش متوقف‌سازی زودهنگام خطا استفاده شد. برای تصمیم‌گیری در مورد زمان متوقف‌ساختن آموزش، داده‌ها به صورت تصادفی به سه مجموعه تقسیم شد، ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای صحت‌سنجی و ۱۵ درصد برای آزمون به کار رفت. همچنین برای متوقف‌سازی زودهنگام خطا، یعنی تفاوت بین داده‌های خروجی واقعی (مقادیر اندازه‌گیری شده توسط شبکه) و خروجی واقعی، برای مجموعه آموزش، مجموعه صحت‌سنجی و آزمون جداگانه و در هر تکرار آموزش محاسبه مجموعه آزمون برای کنترل صحت تقسیم داده‌ها به کار می‌رود؛ به گونه‌ای که تفاوت معنی‌دار خطا در دو مجموعه صحت‌سنجی و آزمون نشانگر تقسیم نادرست داده‌ها است.

همچنین در مطالعه حاضر، برای آموزش شبکه RBF به نحوی که از قابلیت تعمیم‌دهی مناسبی برخوردار باشد، ابتدا مقداری به عنوان خطای هدف به صورت مجموع مربعات خطا در نظر گرفته شد، سپس مقادیر پایه و تعداد توابع محرک با سعی و خطا به گونه‌ای انتخاب شد که جذر میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> مجموعه آموزش و صحت‌سنجی، کمینه گردد.

1. Hyperbolic Tangent
2. Gaussian
3. Overfitting
4. Validation Data
5. Root Mean Square Error (RMSE)



## ۶. تجزیه و تحلیل نتایج

نتایج حاصل از برآورد مدل، روی داده‌های کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر سال ۱۳۸۶ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP و RBF در جدول ۱ آورده شده است. البته مقادیر ضرایب منتج از دو شبکه و نیز اجزای چندین باره شبکه‌ها، در یک هزارم اعشار تفاوت داشتند، که با کمی اغماض، آنها را یکسان در نظر گرفته‌ایم.

نتایج حاکی از آن است که اغلب ضرایب از نظر اقتصادی معنی‌دار و قابل توجیه است. آسان‌ترین آزمون برای سنجش درستی این ضرایب، جایگزینی آنها در معادلات تابع هزینه سایه‌ای (فرم ترانسلوگ) و سهم هزینه واقعی برای نهاده  $i$  ام (معادلات (۵) و (۶)) است. چون این معادلات تابع هزینه‌اند، باید تابع مثبت (تابع مقعر) حاصل شود، که با بررسی‌های انجام شده، این‌گونه بود.<sup>۱</sup>

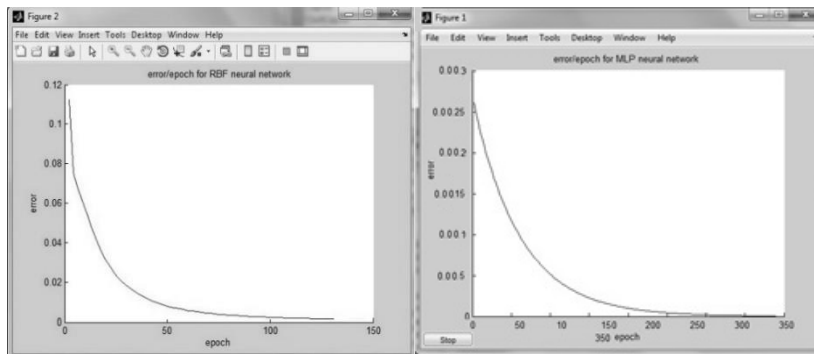
جدول ۱. نتایج برآورد مدل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (سال ۱۳۸۶)

پارامتر	میزان برآورد شده شبکه MLP	میزان برآورد شده شبکه RBF	پارامتر	میزان برآورد شده شبکه MLP	میزان برآورد شده شبکه RBF
$\alpha_0$	۸۹۳۰/۱۳۶	۸۷۳۰/۱۲۶	$\gamma_{eq}$	۰/۰۶۱	۰/۰۵۱
$\alpha_q$	۱۳/۲۹۶	۱۳/۲۸۶	$\gamma_{kq}$	۰/۰۷۴	۰/۰۶۴
$\alpha_t$	-۱۲/۶۳۴	-۱۲/۶۴۴	$\gamma_{qt}$	۰/۰۴۲	۰/۰۳۱
$\alpha_{tt}$	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	$\gamma_{lk}$	۰/۴۴۴	-۰/۴۵۴
$\alpha_l$	۰/۴۵۶	۰/۴۴۶	$\gamma_{le}$	-۰/۲۱۴	-۰/۲۲۴
$\alpha_e$	۲۵/۷۳۹	۲۵/۷۲۹	$\gamma_{ek}$	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱
$\alpha_k$	-۲۱/۱۱۴	-۲۱/۱۲۴	$\gamma_{ll}$	۰/۳۰۶	۰/۲۹۶
$\alpha_{lk}$	۰/۰۸۶	۰/۰۷۶	$\gamma_{ee}$	۰/۳۰۱	۰/۲۹۱
$\alpha_{le}$	۰/۰۲۶	۰/۰۱۶	$\gamma_{kk}$	۰/۱۴۶	۰/۱۳۶
$\alpha_{ke}$	-۰/۰۳۵	-۰/۰۳۵	$k_e$	۹/۴۴۶	۹/۴۳۶
$\alpha_{lt}$	۰/۰۵۶	۰/۰۴۶	$k_l$	۱ ≈ ۰/۹۸۶	۰/۹۷۶
$\gamma_{qq}$	۰/۴۸۶	۰/۴۷۶	$k_k$	۱/۲۴۸	۱/۲۳۶
$\gamma_{lq}$	-۰/۲۰۴	-۰/۲۱۴	-	-	-

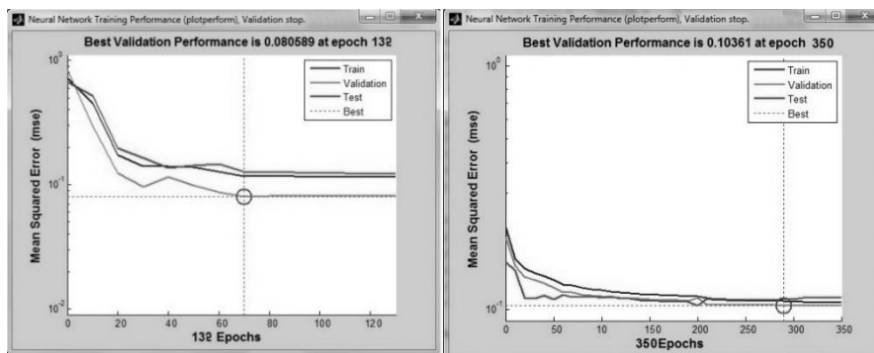
مأخذ: نقاده و فیروزان (۱۹۹۳)

۱. تحلیل اقتصادسنجی مساله و مقادیر حاصله در ادامه بیان می‌شود. البته علاقمندان به تفسیر نتایج اقتصادی بیشتر و دقیق‌تر حاصل از این محاسبات و آزمون‌های آماری آزمون شده برای راستی آزمایشی نتایج، به رساله دکتری توحید فیروزان (۱۳۸۸) در دانشگاه تربیت مدرس رجوع نمایند.

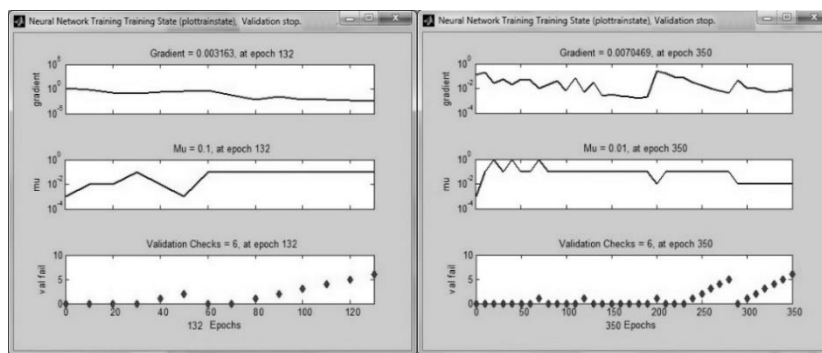
شکل‌های زیر نمودارهای حاصل از اجرای دو شبکه MLP و RBF روی داده‌ها است:



شکل ۱. نمودار میزان خطا بر حسب تعداد دوره‌ها، برای دو شبکه MLP (سمت چپ) و RBF (سمت راست)



شکل ۲. نمودار کارآیی دو شبکه MLP (سمت چپ) و RBF (سمت راست)



شکل ۳. نمودار وضعیت آموزش، برای دو شبکه MLP (سمت چپ) و RBF (سمت راست)

بررسی نمودارهای فوق و نتایج حاصل از مقایسه عملکرد دو شبکه MLP و RBF در تخمین ضرایب تابع سایه‌ای بیانگر آن است که:

- هر دو روش از دقت نسبتاً خوبی برخوردار هستند.
- شبکه RBF در زمان و دوره‌های کمتری پاسخ می‌دهد، و دلیل این امر، قابلیت آموزش محلی شبکه و استفاده از تابع محرک گوسی (نرمال) است.
- تعداد نورون‌های لازم برای آموزش شبکه MLP بیشتر از شبکه RBF است.
- داده‌ها برای شبکه RBF باید نرمالیزه شوند، چون در غیر این صورت، خطای شبکه بسیار بالا و غیر قابل قبول خواهد بود و شبکه به خوبی آموزش نمی‌بیند.
- شبکه MLP در بعضی اجراها جواب‌های نامناسبی می‌دهد، در صورتی که در مورد شبکه RBF چنین مشکلی مشاهده نمی‌شود.
- همان‌طور که گفتیم ما از معیار MSE برای اندازه‌گیری میزان خطا در دو شبکه استفاده کرده‌ایم. مطابق شکل ۱ در شبکه MLP میزان خطا حدود ۰/۰۰۱ و در شبکه RBF حدود ۰/۱۱۵ است. پس شبکه MLP از دقت نسبتاً بیشتری (خطای کمتری) برخوردار است.
- طبق شکل ۲، اگرچه شبکه MLP در دوره‌های بیشتری پاسخ می‌دهد ولی متغیر کارایی آن بیشتر از شبکه RBF است.
- طبق شکل ۳، مشاهده گردید که خطا در مجموعه صحت‌سنجی به طور عادی در اوایل آموزش کاهش می‌یابد. اما هنگامی که شبکه شروع به آموزش بیش از اندازه داده‌ها می‌کند، خطای مجموعه صحت‌سنجی شروع به افزایش می‌نماید. وقتی این افزایش برای تعداد معینی از تکرارها ادامه می‌یابد، آموزش شبکه متوقف شده و مقادیر وزن‌ها حفظ می‌گردد.

#### ۶-۱. مقایسه روش پیشنهادی با روش اقتصادسنجی

همان‌طور که گفته شد، یکی از مهم‌ترین اهداف این پژوهش، مقایسه نتایج حاصله با روش اقتصادسنجی به کار رفته در کار دادگر و فیروزان است. برای انجام یک مقایسه منصفانه، دو شبکه را برای داده‌های کارگاه‌های صنعتی با بیش از هزار نفر کارکن سال ۱۳۸۴ (داده‌های نمونه‌گیری شده در مقاله دادگر و فیروزان) هم اعمال کردیم، مقادیر پارامتر انحراف حاصله از روش پیشنهادی و روش اقتصادسنجی در زیر آمده است.

$$\begin{aligned} \text{نتایج روش پیشنهادی} \quad k_k &= 1/1 \quad k_l = 0/940 \quad k_e = 9/300 \\ \text{نتایج روش اقتصادسنجی} \quad k_k &= 1/154 \quad k_l = 1 \quad k_e = 11/385 \end{aligned}$$

از مقایسه نتایج دو روش داریم: مقادیر انحراف که مهم‌ترین پارامترها هستند، تقریباً معادل اند بجز میزان انحراف انرژی. البته چون در روش پیشنهادی با محدودیت‌های روش اقتصادسنجی مثل ثابت گرفتن یکی از پارامترهای معادلات (پارامتر انحراف نیروی کار در مقاله دادگر و فیروزان) مواجه نیستیم و این متغیر بهبود می‌یابد، می‌توان بعضی متغیرهای دیگر که در روش اقتصادسنجی قابل برآورد نبوده‌اند را برآورد کرد و نیز خطای بسیار کم (زیر ۰,۱ درصد) در محاسبات، نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر هستند.

توجه به این نکته هم ضروری است که کمتر بودن میزان پارامتر انحراف انرژی در روش اقتصادسنجی، نشانه بهتر بودن روش نیست بلکه باید با توجه به شرایط اقتصادی موجود در دنیای واقع، تصمیم‌گیری کرد. در ایران، انرژی مورد نیاز صنایع با قیمت‌های بسیار متفاوتی از قیمت‌های موجود در دنیا و قیمت‌های حقیقی انرژی عرضه می‌شود.

## ۲-۶. تعیین نرخ سود با استفاده از روش پیشنهادی

برای محاسبه نرخ سود (بازدهی) کل که هدف اصلی این پژوهش است، میزان انحراف محاسبه شده برای سرمایه  $(k_k)$  که با استفاده از دو شبکه، برآوردی معادل  $1/248$  برای آن شده است، که آن را در نرخ سود اعلام شده از طریق بانک مرکزی در سال  $1386$  که معادل  $12$  درصد است، ضرب می‌کنیم؛ یعنی داریم:

$$(19) \quad \text{درصد } 15 = 12 \times 1/248 = \text{نرخ سود سال } 1386 \times \text{میزان انحراف سرمایه} = \text{نرخ سود کل}$$

البته برای محاسبه این نرخ به تفکیک هر بنگاه صنعتی، باید گفت چون مدل برآوردی پانل نیست و از داده‌های مقطعی استفاده شده، لذا امکان استخراج به تفکیک هر بنگاه وجود ندارد، اما برای هر صنعت و کل صنعت، این امکان وجود دارد و کافی است میزان انحراف سرمایه در قیمت سرمایه ضرب شود.

$$(20) \quad \text{قیمت سرمایه هر صنعت یا بنگاه} \times \text{میزان انحراف سرمایه} = \text{نرخ سود هر صنعت یا بنگاه}$$

باید اذعان کرد که این نوع محاسبه تورش زیاد دارد و بهتر است پارامتر انحراف به تفکیک صنایع مختلف به دست بیاید. یا از تابع انحراف به جای یک پارامتر استفاده شود.

همچنین در این روش، قیمت یک نهاد مانند نهاد سرمایه و قیمت آن نظیر نرخ سود موجود و حاکم، به عنوان نرخ سود عقود مبادله‌ای پایه‌ای بوده که میزان انحراف آن برآورد شده است. بعد از برآورد میزان انحراف، می‌توان نرخ سود واقعی یا بازدهی واقعی را با ضرب دو عامل میزان انحراف و قیمت موجود نهاد محاسبه کرد. بر این اساس، لزومی ندارد که قطعاً نرخ سود عقود مبادله‌ای به

عنوان قیمت پایه نهاده سرمایه استفاده شود بلکه می‌توان از نرخ‌ها یا قیمت‌های دیگر مانند نرخ تورم، نرخ بهره در بازارهای غیررسمی، نرخ بازدهی در بازار ارز، سکه یا بورس و مانند آن استفاده کرد. در واقع این روش، هیچ وابستگی به نرخ سود عقود مبادله‌ای ندارد بلکه با برآورد نرخ بازدهی سرمایه در بخش صنعت، از آن به عنوان معیاری برای بازدهی سرمایه جهت تعیین نرخ سود عقود مبادله‌ای استفاده می‌کند.

### ۳-۶. تحلیل اقتصادی نتایج

طبق جدول ۱ مقادیر پارامترهای انحراف برای نهاده‌های کار، سرمایه و انرژی در مدل مربوط به کل صنعت در سال ۱۳۸۶ معادل ۰/۹۸۶، ۱/۲۴۸ و ۹/۴۴۶ به دست آمد که بر مصرف بیش از اندازه سرمایه و مصرف کمتر از اندازه انرژی نسبت به نهاده کار دلالت دارد. به این معنی که در شرایط فعلی و با قیمت‌های موجود، حرکت به سمت کارایی، نیازمند استفاده بیشتر از انرژی و استفاده کمتر از سرمایه است. در مورد سرمایه، وجود ظرفیت‌های خالی در صنعت و بهره‌مندی از ظرفیت پایین تولید در کارخانجات، عامل توضیح‌دهنده استفاده بیش از اندازه از نهاده سرمایه است.

در صنایع کشور، انرژی بیش از اندازه مصرف می‌شود و با قیمت‌های بسیار متفاوتی از قیمت‌های موجود در دنیا و قیمت‌های حقیقی انرژی عرضه می‌شود. این موضوع در بررسی‌های مقایسه‌ای ایران با سایر کشورها مشهود است. طبق آمار موجود در ترازنامه انرژی وزارت نیرو، شدت انرژی در ایران در مقایسه با سایر کشورها به صورت قابل توجهی بالاست. یا مثلاً بهای یک کیلووات ساعت برق در کشورهای مختلف چندین برابر قیمت آن در ایران است و بین رشد قیمت انرژی در داخل و خارج از کشور هیچ همخوانی وجود نداشته و این امر باعث وابستگی شدید صنایع به انرژی ارزان بدون استفاده کارا از آن می‌شود. پس قیمت انرژی با انحراف شدیدی مواجه است که نیاز به بازنگری دارد. (فیروزان و صادقی، ۱۳۸۸) نتایج به دست آمده از محاسبات این مقاله، بر این مهم اشاره می‌کند که با توجه به قیمت موجود انرژی، تحقق کارایی مستلزم مصرفی بیشتر از مصرف حال انرژی است. در غیر این صورت جهت تحقق کارایی، باید قیمت انرژی را افزایش و قیمت سرمایه را کاهش داد.

از سوی دیگر در مقایسه با نهاده کار، انرژی کمتر از حد مصرف می‌شود، که این می‌تواند ناشی از وجود نیروی کار فراوان در کشور و تشویق دولت به استفاده از نیروی کار و عدم اخراج کارکنان به دلیل قوانین مربوطه در صناعی که با مازاد نیروی انسانی مواجه هستند و نیز بیکاری پنهان در صنایع کشور باشد.

لذا طبق نتایج حاصله، کارایی قیمت‌های نسبی نهاده‌ها در ایران کاملاً رد می‌شود و وجود انحرافات قیمتی و به هم خوردن کارایی قیمت‌های نسبی، موجب شکل‌گیری تقاضاهای غیرکارا برای

نهادها به اندازه بیش یا کمتر از حد مطلوب و کارا می‌گردد. به این ترتیب مطابق با محاسبات صورت گرفته، انحرافات قیمتی سبب شده است تا تقاضای نهاده‌ها به شکل غیرواقعی دستخوش تغییر گردد و تمامی این نتایج، حاکی از بررسی و تغییر نگرش جدی در تعیین این نرخ‌ها است. همان‌طور که دیدیم، نرخ سود کل محاسبه شده برای سال ۱۳۸۶ عددی معادل ۱۵ درصد است که این اختلاف ۳ درصدی در نرخ سود محاسبه شده و نرخ سود اعلامی از سوی بانک مرکزی (۱۲ درصد) می‌توانسته سبب تغییراتی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و ارائه تسهیلات به بنگاه‌های صنعتی شود که بعضی موارد بسیار حساس و حیاتی بوده‌اند. پس اگر از روش‌های علمی‌تر و دقیق‌تر مثل الگوی پیشنهادی برای تعیین نرخ سود استفاده شود، دیگر کمتر با استفاده ناکارا و بیش از حد مطلوب از نهاده سرمایه و رکودها و ورشکستگی‌های بنگاه‌های صنعتی خصوصاً کوچک که بعضی بسیار پربازده و سودآور هستند، مواجه شده و از سرمایه‌گذاری در کالاهای سرمایه‌ای با سود پایین، جلوگیری به عمل آورد و در کل، کارآیی بخش صنعت را افزایش داد.

چون الگوی پیشنهادی از اطلاعات درونی بنگاه‌های صنعتی برای تعیین نرخ سود بهره گرفته است، و می‌توان این روش را برای هر صنعت اعمال نمود و نرخ سود هر یک را به طور جداگانه محاسبه کرد، لذا روش فوق می‌تواند به عنوان مبنایی برای اعتبارسنجی بنگاه‌ها به منظور ارائه تسهیلات به آنها نیز استفاده شده و کمک شایانی به سیاستگذار در این بخش نماید. مثلاً همان‌طور که نتایج حاصله نشان دادند، بعضی بنگاه‌های صنعتی نرخ سود و بازدهی سرمایه منفی یا صفر دارند، که این مساله از اهمیت خاصی برخوردار است. این موارد می‌تواند شامل شرکت‌هایی باشد که اطلاعات ناقصی ارایه می‌کنند و یا دچار مشکلاتی چون سوء مدیریت هستند. بنابراین با کمک سیستمی که برای تحلیل نرخ بازدهی و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مطالعه حاضر ایجاد شده، می‌توان در نگاه اولیه، این شرکت‌ها را مشکوک اعلام نموده و بانک از دادن وام به این دسته شرکت‌ها خودداری کند.

#### ۴-۶. مزیت‌های روش پیشنهادی به روش اقتصادسنجی

- پوشش حجم بسیار بالای داده‌ها: روش اقتصادسنجی در تعداد داده‌ها محدودیت دارد و فقط می‌تواند روی تعداد مشخصی داده کار کند، لذا برای استفاده از این روش، مجبور به نمونه‌گیری داده‌ها هستیم، ولی روش پیشنهادی قابلیت کار با تعداد زیادی داده را در مدت زمان قابل قبولی دارد و تمامی داده‌های مساله موردنظر ما پوشش داده شدند.

- قابلیت تعمیم به داده‌های جدید: یکی از مهمترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی یادگیری است و پس از اعمال شبکه روی داده‌های آموزشی، می‌توان آن را برای داده‌های جدید و آزمایشی هم اعمال کرد.

- سهولت برآوردها: بعد از طراحی و برنامه‌نویسی شبکه، به راحتی و با یک کلیک می‌توان به برآورد متغیرها برای هر سال و هر صنعت به تفکیک پرداخت.
- تخمین بعضی از متغیرها که در اقتصادسنجی امکان آن نبوده یا مثل پارامتر انحراف نیروی کار، ثابت در نظر گرفته شده‌اند
- خطای بسیار کمتر در محاسبات: همچنین خطای حاصله در روش اقتصادسنجی در بهترین شرایط در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است؛ در صورتی که میزان خطا در دو شبکه زیر ۰/۱ است. و این دقت بیشتر روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.
- قابلیت نرم‌افزاری کردن روش.

## ۷. جمع‌بندی

در این مقاله، از دو ساختار مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و تابع لایه شعاعی جهت تخمین نرخ سود عقود مبادله‌ای استفاده شده و همچنین عملکرد این دو شبکه با روش اقتصادسنجی بررسی و مقایسه شده است.

شبکه عصبی مصنوعی MLP دارای توابع محرک عمومی بوده و لذا در گروه شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه قرار می‌گیرد. اما شبکه عصبی مصنوعی RBF دارای توابع محرک محلی بوده و در گروه شبکه‌های عصبی مصنوعی تک لایه گنجانده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است هر دو شبکه از دقت نسبتاً خوبی برخوردار هستند. شبکه RBF روی داده‌های نرمالیزه شده، با تعداد نورون، زمان و دوره‌های کمتری پاسخ می‌دهد ولی شبکه MLP از دقت نسبتاً بیشتری (خطای کمتری) برخوردار بوده و مقدار متغیر کارآیی آن بیشتر از شبکه RBF است.

در مقایسه با روش اقتصادسنجی دادگر و فیروزان (۱۳۹۱)، مقاله حاضر نشان داد که روش پیشنهادی این قابلیت را دارد که به عنوان روشی مبتنی بر بخش تولید و واقعیت‌های حاکم بر اقتصاد ایران، نرخ سود عقود مبادله‌ای را آشکار سازد. قابل ذکر است که نتایج حاصل از این روش به دلیل پوشش کامل داده‌ها، امکان تخمین تمام پارامترها، خطای بسیار کمتر، قابلیت تعمیم به داده‌های جدید و سهولت برآوردها، بر نمونه‌گیری روش اقتصادسنجی ارجحیت دارد.

## منابع و مأخذ

- آفانظری، حسن (۱۳۸۷) نظریه مشارکت در سود و زیان، چالش ها و راهکارها؛ *اقتصاد اسلامی*، شماره ۸ (۲۹)، بهار: صفحات ۶۳-۷۹.
- اقبال، ضمیر (۱۳۸۰) سیستم‌های مالی اسلامی؛ ترجمه حمید میرزایی؛ *اقتصاد (بانک و اقتصاد)*، شماره ۱۹، شهریور، صفحات ۲۴-۲۰.
- اکرمی، ابوالفضل و مهدیزاده، سجاد (۱۳۸۳) ملاحظاتی پیرامون نرخ‌های سود بانکی در ایران؛ *مجله روند*، شماره ۴۲ و ۴۳، پاییز و زمستان، صفحات ۴۶-۲۰.
- توتونچیان، ایرج (۱۳۷۹) پول و بانکداری اسلامی و مقایسه آن با نظام سرمایه‌داری؛ تهران: انتشارات توانگران.
- جکسون، تی و بیل، آر (۱۳۸۰) آشنایی با شبکه‌های عصبی مصنوعی؛ ترجمه محمود البرزی؛ تهران: مؤسسه انتشارات علمی.
- حشمتی مولایی، حسین (۱۳۷۱) عقود اسلامی و گسترش آن در بانکداری اسلامی: جلد اول، تهران: نشر دانش.
- خان، س. محسن و میرآخور، عباس (۱۳۷۰) مطالعات نظری در بانکداری و مالیه اسلامی؛ ترجمه محمد ضیائی بیگدلی؛ تهران: مؤسسه بانکداری ایران، چاپ اول.
- دادگر، یداله و فیروزان سرنقی، توحید (۱۳۹۱) ارایه چارچوبی برای تعیین نرخ سود در عقود مبادله‌ای؛ *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان، صفحات ۷۹-۱۰۲.
- رضوی، مهدی (۱۳۸۴) سیر تکامل بانکداری در ایران (رویکرد بدون ربا)، تهران: انتشارات بانک توسعه صادرات، چاپ اول.
- سالم، علی اصغر (۱۳۹۳) مستندات کارگاه آشنایی با اطلاعات طرح کارگاه‌های صنعتی؛ تهران: دانشگاه علوم اقتصادی، دانشکده مدیریت، اردیبهشت.
- سینایی، حسنعلی؛ مرتضوی، سعیداله و تیموری اصل، یاسر (۱۳۸۴) پیش بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی؛ *بررسی‌های حسابداری و حسابرسی*، سال دوازدهم، شماره ۴۱، پاییز، صفحات ۸۳-۵۹.
- شاهمرادی، اصغر، حسین کاوند و کامران ندری (۱۳۸۹) برآورد نرخ بهره تعادلی در اقتصاد ایران (۱۳۸۶:۴-۱۳۶۸:۴) در قالب یک مدل تعادل عمومی؛ *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۹۰، بهار، صفحات ۴۱-۱۹.



- شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران (۱۳۸۶) آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا؛ بخش پژوهش و فناوری [www.niordc.ir/uploads/78\\_23\\_fas17,8.pdf](http://www.niordc.ir/uploads/78_23_fas17,8.pdf)
- صادقی، حسین و فیروزان سرنقی، توحید (۱۳۸۹) بررسی عدم کارایی تخصیصی و آثار آن بر جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت؛ فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، سال دهم، شماره پنجم، بهار، صفحات ۹۷-۷۱.
- صدر، سیدمحمدباقر (۱۳۷۵) اقتصاد ما؛ جلد دوم؛ ترجمه ع. اسپهبدی؛ تهران: انتشارات اسلامی.
- صدر، سیدمحمدباقر (۱۴۱۰ ه. ق) البنك اللاربوی فی الاسلام، بیروت: دارالتعارف للمطبوعات.
- صدیقی، نجات الله (۱۹۸۲) آموزش علم اقتصاد از دیدگاه اسلامی، ترجمه محمدرضا شاهرودی، تهران: انتشارات دانشگاه امام صادق، چاپ اول.
- عیوضلو، حسین (۱۳۸۷) اصول و مبانی نظام پولی در اقتصاد اسلامی؛ فصلنامه اقتصاد اسلامی، شماره ۸ (۲۹)، بهار، صفحات ۶۱-۳۵.
- فرزین‌وش، اسداله و ندری کامران (۱۳۸۱) ربا، بهره قراردادی و بهره طبیعی (نقد مفهوم بهره در نظریات اقتصادی متفکرین مسلمان)؛ مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۶۰، بهار و تابستان، صفحات ۸۵-۱۴۹.
- فیروزان سرنقی، توحید و صادقی، حسین (۱۳۸۸) بررسی آثار انحراف در قیمت سرمایه بر کارایی تخصیصی در بخش صنعت؛ (رساله دکتری تخصصی)، تهران: دانشگاه تربیت مدرس.
- قحف، منذر (۱۳۷۵) در مجموعه مقالات مباحثی در اقتصاد خرد با نگرش اسلامی به قلم سیزده اندیشمند و اقتصاددان مسلمان؛ ترجمه حسین صادقی؛ تهران: مؤسسه تحقیقات اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۲۲۴، چاپ اول.
- القری بن عید، محمدعلی (۱۳۸۴) مشکلات بانک‌های اسلامی و راه‌حل آن‌ها؛ ترجمه غلامرضا مصباحی مقدم؛ مجله اقتصاد اسلامی، سال پنجم، زمستان.
- کارتالوپولوس، استماتیوس (۱۳۸۱) منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی (مفاهیم و کاربردها)؛ ترجمه محمود جورابیان و رحمت اله هوشمند؛ انتشارات دانشگاه شهید چمران.
- کشاوری‌زحداد، غلامرضا؛ فیروزان سرنقی، توحید و صادقی سقدل، حسین (۱۳۹۱) ارزیابی کارایی تخصیصی طرح هدفمندسازی یارانه انرژی در صنایع کشور با تأکید بر انحرافات قیمتی در بازار نهاده‌ها؛ مجله نامه مفید، شماره ۹۰، تابستان، صفحات ۱۳۶-۱۱۱.
- مجلس شورای اسلامی (۱۳۶۲) قانون عملیات بانکی بدون ربا (بهره)، و اصلاحیه‌های بعدی آن.
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۸۳) گزارش کارشناسی درباره طرح منطقی کردن نرخ سود تسهیلات بانکی متناسب با نرخ بازدهی بخش‌های مختلف با تأکید بر نظام بانکداری اسلامی (نظرات و انتقادات سازمان‌ها و کارشناسان)؛ دفتر مطالعات اقتصادی، شماره مسلسل ۷۳۰۴.

- مرکز آمار ایران (۱۳۸۵) نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی بالای ۱۰ نفر کارکن و بیشتر. منهای، محمد باقر (۱۳۹۱) مبانی شبکه‌های مصنوعی، هوش محاسباتی (جلد اول)؛ تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هشتم.
- مهدوی، ابوالقاسم و میدری، احمد (۱۳۸۴) ساختار مالکیت و کارآیی شرکت‌های فعال در بازار اوراق بهادار تهران؛ *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۷۱، زمستان، صفحات ۱۳۲-۱۰۳.
- موسویان، سیدعباس (۱۳۷۹) بانکداری بدون ربا از نظریه تا عمل؛ مؤسسه فرهنگی دانش و اندیشه معاصر. موسویان، سیدعباس (۱۳۸۳) بانکداری اسلامی؛ ویرایش دوم، تهران: پژوهشکده پولی و بانکی، چاپ چهارم. موسویان، سیدعباس (۱۳۸۵) الگوی جدید بانکداری بدون ربا؛ *نشریه اقتصاد اسلامی*، شماره ۲۳، پاییز، صفحات ۵۰-۱۳.
- میرجلیلی، سیدحسین (۱۳۸۳) الگویی برای سازماندهی مجدد نظام بانکی در ایران؛ *مجله نامه مفید*، سال دهم، شماره ۴۲، صفحات ۹۲-۶۵.
- میلز، پاول، اس. و پرسلی، جان، آر. (۱۳۸۲) ملاحظاتی در ابزارهای تأمین مالی در اسلام، نظریه و عمل؛ ترجمه یداله دادگر و سید اسحاق علوی؛ انتشارات دانشگاه مفید، چاپ اول، بهار.
- نقاده، حمیده و فیروزان سرنقی، توحید (۱۳۹۳) ارایه الگویی برای تعیین نرخ سود در عقود مبادله‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی؛ (پایان نامه کارشناسی ارشد)، تهران: دانشگاه علوم اقتصادی (خوارزمی فعلی).
- نمازی، حسین (۱۳۸۴) نظام‌های اقتصادی؛ تهران: شرکت سهامی انتشار.
- یاوری، کاظم و فیروزان سرنقی، توحید (۱۳۸۸) ارزیابی هزینه‌های انحراف قیمت انرژی در صنایع بزرگ نساجی کشور؛ *مجله سیاست‌گذاری اقتصادی*، سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان، صفحات ۵۸-۳۷.
- Aiken, M. and Bsat, M. (1999) Forecasting Market Trends with Neural Networks; *Information System Management*, 16 (4), Pages 42-48.
- Atkinson, S. E., and Halvorsen, R. (1984) Parametric Efficiency Tests, Economies of Scale, and Input Demand in U.S. Electric Power Generation; *International Economic Review*, 25, Pages 62-647.
- Basheer, I. A. and Hajmeer, M. (2000) Artificial Neural Networks: Fundamentals, Computing, Design, and Application; *Microbiologic Meth*, 43, Pages 3-31.
- Broomhead, D. S. and Lowe, D. (1988) Multivariable Functional Interpolation Andadaptive Networks; *Complex System*, Vol. 2, Pages 321-355.
- Burki, A. and Khan, M. (2004) Effects of Allocative Inefficiency on Resource Allocation and Energy Substitution in Pakistan's Manufacturing; *Energy Economics*, 26, Pages 371-388.

- Chan, M. C.; Wong, C.C. and Lam C.C. (2000) Financial Time Series Forecasting by Neural Network using Conjugate Gradient Learning Algorithm and Multiple Linear Regression. Weight Initialization; Department of Computing, the Hong Kong Polytechnique University, Kowloon, Hong Kong.
- Chiang, W. C., Urban T. L. and Baldrige. G. W. (1996) A Neural Network Approach to Mutual Fund Net Asset Value Forecasting; *Omega, Int. J. Mgmt Sci.* Vol. 24, No. 2, Pages 205-215.
- Christopoulos, D. and Tsionas, E. (2002) Allocative Inefficiency & the Capital-Energy Controversy; *Energy Economics*, 24, Pages 305-318.
- Demuth, H., Beale, M. and Hagan, M. (2007) Neural Network Toolbox 5 (User's guide); 9th Printing Version 5, The Mathworks Inc, Massachusetts, USA.
- Dilip, K. Ghosh (1997) Risk-free Profits with Forward Contracts in Exchange Rates and Interest Rates; *Journal of Multinational Financial Management*, Vol. 7, NO. 3, October, Pages 253-264.
- Egeli, Birgale, et al. (2003) *stock market prediction using Artificial Neural Networks*; Web: WWW. hicbusiness. Org / BIZ 2003 proceedings.
- Garliauskas, A. (1999) Neural Network Chaos and Computational Algorithms of Forecast in Finance; *Proceedings of the IEEE SMC Conference, Man and Cybernetics*, 2, Pages 638-643.
- Hagan, M. T. Demuth, H.B. and Beale M.H. (2002) *Neural Network Design*; ISBN 7-111-10841-8.
- Haque, N. and Mireikhor A. (1999) The Design of Instrument For Government Finance in an Islamic Economy; *Islamic Economic Studies*, Vol. 6, No. 2, May.
- Haykin, Simon (1999) *Neural Networks*; Macmillan College Publishing Comp.
- Iqbal, Munawar. (1998) Islamic Banking; in: *Lessens in Islamic Economics*, Vol. 2, *Proceedings of the Seminar on "Teaching Islamic Economics at University Level"*, No. 41, Dhaka, Bangladesh. July 23 to August 5, (1991) IRTI of Islamic Development Bank and the Islamic Foundation. Edited by Monzer Kahf, Pages 493-523.
- Iqbal, Z. and Mirakhor, A. (1999) Progress and Challenges of Islamic Banking; *Thunderbird International Business Review*, Vol. 41(4/5), No. 3, July-October, Pages 81-405.
- Khan, M. (1986), Islamic Interest-Free Banking: A Theoretical Analysis; *IMF, Staff Papers*, Vol.33, March, Pages 1-27.
- Kim, K. J. & Han, I. (2000) Genetic Algorithms Approach to Feature Discrimination in Artificial Neural Networks for the Prediction of Stock Price Index; *Published by Elsevier Science, Ltd, Expert Systems with Applications*, Vol. 19, Pages 125-132.
- Krueger, A. O. (1995) Trade Policies in Developing Countries; in *Handbook of International Economics*, Edited by G. Grossman and K. Rogoff, Elsevier Science B.V.

- Lau, L. J. and Yotopoulos, P. (1971) A Test of Relative Efficiency and an Application to Indian Agriculture; *Am. Econ. Rev.*, 61, Pages 94-109.
- Lendasse, A. et al. (2000) Non-Linear Financial Time Series Forecasting Application to Bell 20 Stock Market Index; *European Journal of Economic and Social System*, Vol. 14, No. 1, Pages 81-91.
- Maietta, O. W. (2002) The Effect of the Normalization of the Shadow Price Vector on the Cost Function Estimation; *Economics Letters*, 77, Pages 381-385.
- Metej, S. and Lewitt R. M. (1996) Practical Considerations for 3D Image Reconstruction Using Spherically Symmetric Volume Elements; *IEEE Transaction on Medical Imaging*, Vol. 15, No. 1, Pages 68-78.
- Mirakhor, Abbas (1996) Cost of Capital and Investment in a Non-interest Economy; *Islamic Economic Studies*, Vol. 4, No. 1.
- Mirakhor, A. & Iqbal, Z., (1988) Stabilization and Growth in an Open Islamic Economy; *International Monetary Fund*, WP/88/22.
- Nienhaus, Volker (2006) Islamic Economic System - A Threat to Development?; available at: <http://www.fnst-freiheit.org/uploads/896/Nienhausenlisch.pdf>.
- Robert, J. and Van Eyden (1996) The Application of Neural Networks in the Forecasting of Share Prices; *Finance and Technology Publishing*, Pages 47-72.
- Rubin, Jared (2010) Bills of Exchange, Interest Bans, and Impersonal Exchange in Islam and Christianity; *Explorations in Economic History*, Vol. 47, No. 2, April, Pages 213-227.
- Schwartz, R. A. and Whitcomb D. K. (1977). Evidence on the Presence and Causes of Serial Correlation in Market Model Residuals; *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, June, Pages 291-313
- Steve, A. B. and Guang L. Z. (1995) Radial Basis Function Network Configuration Using Genetic Algorithms; *Neural Networks*, Vol. 8, No. 6, Pages 877-890.
- Toda, Y. (1976) Substitutability and Price Distortion in the Demand for Factors of Production: an Empirical Estimation; *Applied Economics*, No. 9, Pages 203-217.
- Turhan, M. (1995) Neural Networks and Computation of Neural Network Weights and Biases by the Generalized Delta Rule and Backpropagation of Errors; Rock Solid Images Press.
- Uppal, J. (1999) Risk and Return of Mudarabas: Empirical Evidence from Pakistan; *Thunderbird International Business Review*, Vol. 41, No. 4/5, July-October, Pages 561-582.
- Vogel, F. and Hayes, S. (1998) *Islamic Law and Finance: Religion, Risk and Return*, Kluwer Law International.
- Zarqa, M. Anas, (1982) Capital Allocation, Efficiency and Growth in an Interest-Free Islamic Economy; *The Journal of Economics and Administration*, No.16, November, Pages 43-58.