

## مدل سازی و پیش بینی کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی ایران با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک

روح الله تقی زاده مهرجردی<sup>۱</sup>، علی فاضل یزدی<sup>۲\*</sup>، رضا محبی<sup>۳</sup>

۱- استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه اردکان  
Rtaghizadeh@ardakan.ac.ir  
۲- کارشناس ارشد حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد  
fazel350@yahoo.com  
۳- کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه یزد  
mohebbi.r65@stu.yazd.ac.ir

### چکیده

دستیابی به رشد مستمر و مداوم اقتصادی و به موجب آن توسعه اقتصادی را می‌توان از زمره اهدافی قلمداد نمود که تمام کشورها در پی دستیابی به آنند. در این راستا، بانک‌ها نقش بسیار مهمی در پیشرفت و توسعه اقتصادی هر کشور ایفا می‌نمایند. هم‌اکنون، با توجه به تعداد قابل توجه بانک‌های دولتی و خصوصی در کشور پیش بینی کارایی آنها اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. هدف از این پژوهش، مدل سازی و پیش بینی کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی کشور با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک است. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها و با در نظر گرفتن جمع کل دارایی‌ها و تعداد کل شعب به عنوان ورودی‌های مدل و سود و زیان خالص و مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات به عنوان متغیرهای خروجی مدل به بررسی کارایی بانک‌ها در بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ پرداخته شد. در مرحله بعد، از رویکرد رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک برای پیش بینی کارایی بانک‌ها استفاده شده است. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل شبکه عصبی فازی نسبت به سایر مدل‌ها دارای بالاترین دقت در پیش بینی کارایی بانک‌هاست. همچنین، بر اساس نتایج تحلیل حساسیت ورودی‌ها به وسیله شبکه عصبی، ورودی سود و زیان خالص به عنوان ورودی که بیشترین تأثیر را در کارایی بانک‌ها دارد، معرفی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پیش بینی کارایی بانک‌ها، تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی، الگوریتم ژنتیک.

## مقدمه

زمان تغییر کند و به هیچ گونه پیش فرضی در مورد مرز کارایی نیازی ندارد<sup>۱</sup> [۳۶]. بنابراین، بیش از سایر دیدگاه‌ها در ارزیابی عملکرد استفاده شده است و روش مناسبی برای مقایسه واحدها در سنجش کارایی به شمار می‌آید. در این پژوهش، در کنار ارزیابی کارایی بانک‌ها با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، از مدل‌های رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک نیز برای پیش-بینی عملکرد کارایی بانک‌ها استفاده شده است. روش-های آماری و اقتصادسنجی، در حوزه پیش‌بینی از محدودیت‌هایی برخوردار هستند؛ از جمله اینکه ممکن است در این گونه روش‌ها، فرم تبعی متغیرهای مستقل و وابسته در صورت عدم شناخت کافی به درستی تصریح نشود. همچنین، بیشتر الگوهای سری زمانی، خطی است و بنابراین، در تشریح رفتارهای غیرخطی ناتوان است.

در پژوهش‌های اخیر، از شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک به طور متداول به عنوان ابزار تقریبی غیرخطی استفاده شده است، به طوری که می‌توان با استفاده از آن بر مشکلات فوق چیره شد. این مدل‌ها می‌توانند روابط خطی و غیرخطی بین داده‌ها و ستانده‌ها را بر اساس داده‌های آموزش تشخیص داده و روابط ریشه‌ای بین آنها را کشف کنند و سپس روابط کشف شده را به سایر داده‌ها تعمیم دهند؛ به طوری که با طراحی مناسب معماری شبکه عصبی و انتخاب داده‌های آموزش مناسب، می‌توان به ساختاری دست پیدا کرد که توانایی پیش‌بینی سری‌های زمانی را داشته باشد.

بنابراین، در این پژوهش از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی و از مدل‌های رگرسیون

صنعت بانکداری یکی از مهمترین بخش‌های هر اقتصادی محسوب می‌شود، زیرا بانک‌ها به عنوان واسطه منابع پولی در کنار بورس و بیمه از ارکان اصلی بازارهای مالی شمرده می‌شوند. بانکداری در اقتصاد ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا به دلیل عدم توسعه لازم بازار سرمایه، در عمل این بانک‌ها هستند که عهده دار تأمین مالی بلند مدت نیز هستند. همچنین، در فرآیند آزادسازی بازارهای مالی و پیوند با بازارهای جهانی، کارایی شرط لازم است [۶]. همچنین، تهدیدات و فشارهای ناشی از جهانی شدن و رشد روزافزون موسسات مالی و اعتباری غیر بانکی در سال‌های اخیر، بانک‌ها را بر آن داشته تا برای بقا و رقابت، نسبت به بهبود کارایی خود در بازار داخلی و خارجی اقدام نمایند [۴]. بانک‌ها به عنوان متصدیان بخش پولی اقتصاد و به دلیل سرعت بازتاب سیاست‌های این بخش در کل جامعه، نقش مؤثری در ایجاد و حفظ رشد پایدار اقتصادی در جامعه دارند. این بنگاه‌ها برای ارائه خدمات متنوع‌تر، سریع‌تر و امکان رقابت و ادامه حیات در موج گسترده اطلاع رسانی و توسعه خدمات ویژه بانکی در جهان نیازمند پیش‌بینی کارایی خود و تجدید سازمان دهی آنها با توجه به نتایج سنجش‌ها از مدل‌های مختلف هستند [۲]. یکی از مسائل عمده علم اقتصاد که در کنار دستیابی به رشد اقتصادی، سهم عمده‌ای از تلاش‌های دانشمندان این علم را به خود اختصاص داده، دستیابی به کارایی و پیش‌بینی آن است. روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری کارایی در پژوهشات مطرح شده است، اما در مقایسه بین همه مدل‌های ذکر شده، مدل تحلیل پوششی داده‌ها روش بهتری برای سازماندهی و تحلیل داده‌ها است، زیرا اجازه می‌دهد که کارایی در طول

کارایی در شبکه بانک‌های دولتی استان اصفهان پرداختند. بررسی نتایج اندازه‌گیری کارایی در شبکه بانک‌های دولتی استان اصفهان با داده‌های مقطعی سال ۱۳۸۲ نشان می‌دهد که در این سال، چهار بانک ملی، مسکن، رفاه و توسعه صادرات بانک‌هایی کارا و پنج بانک صادرات، ملت، سپه، تجارت و کشاورزی بانک‌هایی ناکارا بوده‌اند. حسین زاده بحرینی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی به محاسبه و مقایسه کارایی بانک‌های خصوصی و دولتی ایران با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کارایی اقتصادی بانک‌های دولتی بیشتر از بانک‌های خصوصی است که علت آن نیز پایین بودن میزان کارایی تخصصی بانک‌های خصوصی به علت تازه تاسیس بودن و نیز دیدگاه‌های مدیریتی متفاوت این نوع بانک‌ها در استفاده از نهاده‌های تولید است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی به بررسی کارایی بانک‌های اسلامی در کشورهای مختلف جهان با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس بانک اسلامی بین‌المللی قطر، بانک ملی سودان و بانک خیبر پاکستان کارا تر و با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس، بانک اسلامی قطر، بانک اسلامی بین‌المللی قطر و بانک اسلامی عربی آلبانی کارا تر از بانک‌های دیگر شناخته شدند. ایران‌زاده و برقی (۱۳۸۸) در پژوهشی به رتبه بندی و ارزیابی عملکرد شعب مرکزی بانک صنعت و معدن در سراسر کشور در سال ۱۳۸۶ با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> پرداختند. نتایج حاصل از رتبه بندی شعب به این روش و مقایسه آن با نتایج حاصل از رتبه بندی به روش تاکسونومی نشان دهنده دقت بالای

چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی کشور استفاده شده است.

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش کارایی بانک‌ها

کارایی معطوف به حداکثر کردن نتیجه، توسط سازمان یا نهاد اقتصادی است و با مفاهیمی مانند اثربخشی و بهره‌وری مرتبط بوده و در عین حال نیز با این مفاهیم متفاوت است. تحقیق در چگونگی به دست آوردن حداکثر نتیجه از منابع محدود، ماهیت علم اقتصاد است و تخصیص بهینه منابع محدود نیز هدف این علم به شمار می‌رود. کارایی نیز در ساده‌ترین بیان، حداکثر ساختن نتیجه، در مقیاس اقتصاد خرد و کلان است. بدین ترتیب، پژوهش در باب کارایی، از جمله در سطح بنگاه‌ها، یکی از مهمترین پژوهش‌های اقتصاد به شمار می‌رود [۶]. بانک‌ها به عنوان مهمترین نهاد بازار پولی نقش بسیار مهمی را در اقتصاد هر کشور داشته و با توجه به نقش آنها و همچنین، بازتاب سریع سیاست‌های این بخش در کل اقتصاد کشور، اندازه‌گیری کارایی و شناخت نوع کارایی آنها از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا افزایش کارایی بانک‌ها نه تنها سودآوری آنها، بلکه افزایش رفاه عمومی را به دنبال خواهد داشت. اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری، اساسی‌ترین گام برای ارتقای کارایی و بهره‌وری است؛ بدین معنی که دقیقاً مشخص می‌شود چه منابعی صرف شده و در قبال آن چه چیزی به دست آمده [۱۴]. به همین علت، ارزیابی کارایی بانک‌ها در اقتصاد ایران موضوع این پژوهش قرار گرفته است.

## پیشینه پژوهش

امیریوسفی و حافظی (۱۳۸۵) در پژوهشی به بررسی

در پژوهشی اساس مدل سازی تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها تشکیل داده، ولی به منظور افزایش دقت در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری و شناسایی دقیق واحدهای کارا و ناکارا، از یک مدل که از ترکیب تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه ریزی آرمانی طراحی و ساخته شده است، استفاده کرده‌اند و عملکرد واحدها از منظر این مدل سنجیده شده است. نتایج حاصل از آن توانایی بالاتر مدل ترکیبی را در تفکیک واحدهای بانکی نسبت به مدل‌های پایه‌ای نشان می‌دهد. سهیلی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی و برآورد کارایی عقود مبادله‌ای و مشارکتی ۵۲ شعبه بانک ملت استان کرمانشاه به روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. نتایج حاصل از مقایسه عقود نشان دهنده آن است که ۴۰ درصد شعب در حالت برآورد کارایی تسهیلات مبادله‌ای و ۳۵ درصد شعب در حالت برآورد کارایی تسهیلات مشارکتی روی مرز کارایی قرار داشته، کارآمد هستند. وب<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) به بررسی سطح کارایی بانک‌های بزرگ تجاری در انگلستان در دوره ۱۹۹۵-۱۹۸۲ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته است. وی به این نتیجه رسیده که میانگین ناکارایی بانک‌های انگلستان در سطح پایینی قرار دارد و در دوره زمانی مد نظر میانگین کارایی روند کاهشی را در همه بانک‌ها طی نموده است. دریک و هال<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل کارایی بانک‌های ژاپنی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته‌اند. به اعتقاد آنها مسأله وام‌ها آثار بسیاری بر کارایی بانک‌ها در ژاپن دارد و بدهی‌های بسیار بالا تأثیر زیادی بر موج ادغام بانک‌های بزرگ در ژاپن داشته است. ریزمن و

رتبه بندی به روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. رجبی (۱۳۸۹) در پژوهشی به ارزیابی عملکرد بانک‌های تجاری ایران با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای در بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۳۷۰ پرداخت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بانک ملی و بانک رفاه نسبت به سایر بانک‌ها کارا تر بوده، عملکرد بهتری را نشان می‌دهند. نامداری و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی ده بانک دولتی در ایران برای دوره ۱۳۸۶-۱۳۸۲ با رویکردی بر منابع انسانی آنها پرداختند. نتایج حکایت از آن دارد که بانک‌های دولتی ایران در محدوده بازدهی فزاینده به مقیاس قرار دارند. رستمی و همکاران (۱۳۹۰) با به کارگیری منطق تاپسیس<sup>۱</sup> در تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد مالی بانک‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. نتایج نشان داد که از دید واحد تصمیم‌گیری ایده آل، بانک کارآفرین، ملت و پارسیان کمترین فاصله و بانک صادرات بیشترین فاصله را با ایده آل داشته و از دید واحد تصمیم‌گیری ضد ایده آل، بانک صادرات کمترین فاصله و بانک کارآفرین بیشترین فاصله را با ضد ایده آل دارند. محرایان و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی، از مدل ترکیبی شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان دو روش ناپارامتریک برای ارزیابی کارایی شعب بانک استفاده کرده‌اند. داده‌ها مربوط به ۴۰ شعبه بانک در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ جمع‌آوری و میزان کارایی هر یک از شعب محاسبه گردیده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که رتبه بندی شعب در این دو روش دارای نتایج تقریباً مشابهی است. طحاری مهرجردی و همکاران (۱۳۹۰)

1. TOPSIS

2. Webb

3. Drake &amp; Hall

سود انباشته و سپرده‌ها به عنوان متغیر ورودی و میزان اعتبارات و دارایی‌ها به عنوان دو متغیر خروجی به بررسی کارایی هزینه بانک‌ها پرداختند. سوفیان و زخییری<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) در مقاله‌ای با عنوان «کارایی بانکداری سنگاپور و ارتباط آن با بازدهی بورس به کمک تحلیل پوششی داده‌ها» اقدام به بررسی تغییرات کارایی بانک‌های تجاری در دوره (۲۰۰۳-۱۹۹۳) نموده‌اند. نتایج بیانگر آن بود که کارایی بانک‌های تجاری سنگاپور به طور متوسط ۹۵/۴٪ است. کائو و لیو<sup>۷</sup> (۲۰۰۹) از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارایی بانک‌های تجاری تایوان استفاده کردند. آنها در پژوهش خود نحوه اندازه‌گیری کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده را با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری مورد بحث قرار می‌دهند. فوجی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به بررسی کارایی و بهره‌وری بانک‌های داخلی و خارجی در کشور هند با استفاده از رویکرد ترکیبی پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بانک‌های داخلی در مقایسه با بانک‌های خارجی از کارایی پایین‌تری برخوردارند.

همان‌طور که در مطالعات بالا مشاهده می‌شود، با توجه به اهمیت موضوع در بیشتر موارد به محاسبه کارایی بانک‌ها با استفاده از مدل‌های مختلف پرداخته شده و در هیچ یک از این مطالعات به مدل‌سازی و پیش‌بینی کارایی بانک‌ها پرداخته نشده است. از این رو، در این پژوهش سعی بر آن است تا با کاربرد مدل‌های هوش مصنوعی؛ یعنی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی ایران پیش‌بینی و با مدل‌های سنتی مقایسه شود.

همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) با کاربرد روش تحلیل پوششی داده‌ها، تأثیر حذف نظارت دولت بر کارایی یازده بانک تجاری تونس در طول دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱ را مطالعه کرد. نتیجه پژوهش نشان می‌دهد که حذف نظارت دولت بر کارایی کلی بانک‌های تونسی اثر مثبت داشته است. هالکوز و سلاموریس<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد بخش بانکداری یونان می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد که روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند به عنوان جایگزین و نیز مکمل روش‌های تحلیل نسبت‌های مالی برای ارزیابی عملکرد سازمان به کار گرفته شود. اسکالی و براون<sup>۳</sup> (۲۰۰۴) در پژوهشی به بررسی کارایی در بانک‌های اسلامی با روش تحلیل پوششی داده‌ها در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۲ پرداختند. در این مطالعه ۲۱ بانک اسلامی از ۱۳ کشور به عنوان نمونه انتخاب شدند. نتیجه پژوهش نشان می‌دهد با توجه به شاخص تی اف پی، اندونزی و یمن به عنوان پیشرفته‌ترین کشورها و آسیا به عنوان بهترین منطقه عملیاتی شناخته می‌شوند. اشیمد و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۴) با ترکیب تحلیل پنجره‌ای داده‌ها با شاخص مالم کوئیسیت برای ارزیابی تغییرات بهره‌وری در صنعت بانکداری کانادا در دوره (۲۰۰۰-۱۹۸۱) پرداختند. نتیجه به دست آمده، نشان داده است که در هر دو حالت شاخص مالم کوئیسیت پایه و تحلیل پنجره‌ای یک‌مرز کارایی دوره‌ای تعریف می‌شود. شهوت و بتال<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی هزینه در ۲۴ موسسه بانکداری اسلامی را بررسی کردند. آنها با معرفی سه متغیر میزان سرمایه،

1. Reisman et al
2. Halkos & Salamouris
3. Brown & Skully
4. Asmild et al
5. Shahooth & Battall

6. Sufian &amp; Zulkhibri

7. Kao &amp; Liu

## روش پژوهش

منظور از روش پژوهش و پژوهش، ارائه مهارت‌ها و تجربه‌هایی است که دست‌یابی به هدف را آسان‌تر و عملی‌تر می‌سازد و با صرف وقت کمتر، نتایج بیشتری به دست می‌آید. پژوهش حاضر در زمره پژوهشات کاربردی است. روش به کار گرفته شده، روش تحلیل مبتنی بر مدل سازی ریاضی است. از آنجا که الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی مبتنی بر داده هستند، آماده سازی داده‌ها یک گام مهم و در واقع کلید موفقیت در استفاده از شبکه عصبی است. هر چقدر تعداد داده‌ها بیشتر باشد، می‌توان در خصوص تقریب ساختار نهفته در مدل، اطمینان بیشتری حاصل نمود [۱۸]. در این پژوهش، از کارایی به دست آمده در مدل تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از نرم افزار WINQSB، به عنوان متغیر خروجی مدل‌های پیش بینی و از داده‌های جمع کل دارایی‌ها، تعداد کل شعب، سود و زیان خالص و مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات (ورودی‌ها و خروجی‌های مدل تحلیل پوششی داده‌ها) به عنوان متغیرهای ورودی مدل‌های پیش بینی استفاده شد که بازه زمانی این متغیرها، از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۰ است و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Minitab و Neuro solution صورت گرفته است. این پژوهش دارای چندین مرحله است که در مرحله نخست داده‌ها به دو دسته داده‌های تست و آموزش تقسیم بندی شدند. سپس از الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی کارایی بانک‌ها استفاده گردید. در مرحله نهایی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها، نتایج الگوریتم‌های مختلف ارزیابی و مدل کارا و مناسب برای پیش‌بینی کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی کشور تعیین گردید.

## تحلیل پوششی داده‌ها

این مدل یک تکنیک ناپارامتریک کلاسیک و مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی است که برای مقایسه

ارزیابی کارایی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری مشابه به کار می‌رود و مزیت قابل توجه آن، بی‌نیازی آن به تعیین مشخصات پارامتریک (همچون تابع تولید) برای به دست آوردن امتیازات کارایی است (سیرپولوس و تزقیدس، ۲۰۱۰). با فرض اینکه  $n$  واحد تصمیم‌گیری با  $m$  ورودی و  $s$  خروجی وجود داشته باشد، کارایی نسبی هر یک از واحدها با حل مدل برنامه‌ریزی کسری زیر به دست می‌آید (مهرگان، ۱۳۸۵؛ بال و همکاران، ۲۰۱۰):

$$\begin{aligned} \text{Max } z &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \\ u_r &\geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ v_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

که در مدل بالا  $y_{ij}$  مقدار خروجی  $i$ ام برای واحد تصمیم‌گیری  $j$ ام،  $x_{ij}$  مقدار ورودی  $i$ ام برای واحد تصمیم‌گیری  $j$ ام،  $u_r$  وزن تخصیص داده شده به خروجی  $i$ ام؛  $v_i$  وزن تخصیص داده شده به ورودی  $i$ ام و  $Z$  به عنوان امتیاز کارایی واحد تحت ارزیابی است. در مدل فوق امتیاز کارایی هر واحد تحت بررسی از تقسیم مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌ها به دست می‌آید که این امتیاز کمتر از یک یا مساوی با آن است. در صورتی که این امتیاز برابر با یک شود، آن واحد کارا و در صورتی که کمتر از یک باشد، آن واحد ناکارا تلقی می‌شود.

## شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ریاضی‌ای هستند که نحوه عملکرد مغز انسان را تقلید می‌کنند و توانایی آنها در استخراج الگوها در داده‌های مشاهده

شبهه های عصبی مصنوعی و سیستم های فازی با یکدیگر از نظر ساختاری متفاوت هستند، اما اگر به نقاط ضعف و قوت آنها نگرسته شود، مشاهده می گردد که این دو سیستم دارای ماهیت مکمل نسبت به یکدیگرند. بنابراین، با ترکیب سیستم های فازی و شبکه های عصبی مصنوعی، قابلیت های یادگیری شبکه های عصبی وارد سیستم های فازی خواهد شد. مدل شبکه عصبی فازی<sup>۵</sup> اولین بار توسط ژانگ در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. شبکه عصبی فازی دارای ویژگی هایی، از جمله: قدرت یادگیری، هزینه کردن، طبقه بندی، نوشتن و تدوین کردن است. همچنین، دارای این مزیت بوده که اجازه استخراج قوانین فازی از داده های متعدد و تخصصی را داده، به گونه ای متناسب قوانین پایه و اساسی را می سازد. ساختار نرون فازی، همانند نرون فضای قطعی است؛ با این تفاوت که همه یا بعضی از اجزا و پارامترهای آن در قالب منطق فازی بیان می شوند. برای تبدیل یک نرون معمولی به نرون فازی، راه های گوناگونی وجود دارد که استفاده از هر کدام از آنها ما را به انواع مختلفی از نرون های فازی می رساند. مطالعات اخیر بیانگر قدرت و توانایی شبکه عصبی فازی در مدل سازی فرآیندهای متعدد و مختلف است.

فرض کنید که سیستم استنتاج فازی دارای دو ورودی  $X, Y$  و یک خروجی  $Z$  است. آن گاه سیستم فازی مورد استفاده با دو قانون زیر است:

$$\text{قانون ۱} \quad \begin{aligned} & \text{if } x \text{ is } A_1, y \text{ is } B_1 \text{ then } F_1 \\ & = P_1 + q_1 y + r_1 \end{aligned}$$

$$\text{قانون ۲} \quad \begin{aligned} & \text{if } x \text{ is } A_2, y \text{ is } B_2 \text{ then } F_2 \\ & = P_1 + q_2 y + r_2 \end{aligned}$$

مدل شبکه عصبی فازی انتخاب شده شامل پنج لایه

است:

شده بدون نیاز به داشتن مفروضاتی در مورد روابط بین متغیرهاست [۲۴]. آنها توابعی جامع و انعطاف پذیر و ابزاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل داده ها و مدل سازی روابط غیر خطی، با درجه صحت بالا هستند. یکی از متداول ترین شبکه های عصبی مورد استفاده، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه<sup>۱</sup> است. پرسپترون چند لایه، ترکیب استاندارد از ورودی ها، واحدهای عصبی خطی و غیر خطی و خروجی هاست. خروجی تمام واحدهای پردازش از هر لایه به تمام واحدهای پردازش لایه بعدی انتقال داده می شود. واحدهای پردازش لایه ورودی همگی خطی هستند، ولی در لایه مخفی از نرون ها با تابع تانژانت سیگموئید<sup>۲</sup>، هایپربولیک<sup>۳</sup> یا هر تابع غیر خطی و پیوسته مشتق پذیر دیگری می توان استفاده کرد. در این مورد، نیلسون (۱۹۸۷) اثبات کرد که در شبکه های عصبی با یک لایه مخفی با تابع سیگموئید  $f(x) = \frac{1}{1+e^x}$  در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی قادر به تقریب تمامی توابع مورد نظر با هر درجه تقریب خواهد بود، مشروط به این که به اندازه کافی نرون در لایه مخفی وجود داشته باشد. این قضیه به تقریب ساز جهانی<sup>۴</sup> معروف است [۱۷].

### شبکه عصبی فازی

سیستم استنتاج شبکه عصبی فازی از الگوریتم های شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیر خطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می کند. این سیستم از قدرت زبانی سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه عصبی در مدل سازی فرایندهای پیچیده بسیار قدرتمند است [۱۰]. اگرچه

1. Multi Layer Perceptron
2. Tangent Sigmoid
3. Hyperbolic
4. Universal Approximation

خروجی، گرهی که با علامت  $\Sigma$  مشخص شده، خروجی کلی و نهایی را به عنوان حاصل جمع تمامی ورودی‌ها محاسبه می‌کند.

$$O_i^5 = \sum_i w_i^* f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{w_i}$$

برای بهینه نمودن مدل شبکه عصبی فازی لازم است پارامترهای مقدماتی در لایه اول و پارامترهای حاصله در لایه چهارم تعریف شوند. پارامترهای لایه اول به عنوان بخش مرکزی و دامنه تابع عضویت مقدم مطرح می‌شوند. پارامترهای لایه چهارم با سری  $\{p_i, q_i, r_i\}$  که متناظر با ضریب‌های حاصله از معادله تابع گوسی هستند، تعریف می‌شوند. همچنین، الگوریتم آموزش هیبرید برای تعیین پارامترهای شبکه عصبی فازی پیشنهاد شده است.

نحوه آموزش شبکه عصبی به صورت یادگیری با ناظر است. بنابراین، هدف آن است که با آموزش شبکه‌ها، توابع ناشناخته بیان شده توسط داده‌های آموزشی را دریافت کند و یاد بگیرد و بتواند متناسب با ارزش پارامترهای ورودی، خروجی را تعیین نماید. به همین علت، در ساختار شبکه عصبی فازی از الگوریتم آموزش هیبرید استفاده می‌شود [۳۷].

### الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> یک روش جستجوی اتفافی بر اساس سازوکار انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی است. الگوریتم ژنتیک، اصل بقای بهترین را بر روی جمعیتی از راه حل‌های ممکن یک مسأله، برای تولید راه حل‌های بیشتر و بهتر اعمال می‌کند [۱۶]. در این روش، ابتدا برای تعدادی ثابت که جمعیت نامیده می‌شوند مجموعه‌ای از داده‌ها و پارامترهای هدف به صورت

لایه ۱: گره‌های موجود در این لایه سری‌های فازی در ارتباط با بخش مقدم قوانین فازی را ارائه می‌دهند. این لایه دارای پارامترهایی است که موقعیت بخش مرکزی و اصلی هر سری فازی را کنترل می‌کند. در این مطالعه از تابع عضویت گوسی برای تعیین درجات عضویت استفاده شده است.

لایه ۲: هر گره در این لایه موظف به محاسبه نتایج ورودی‌های خود است. خروجی لایه به صورت  $W_i = M_{Ai}(x) \times M_{Bi}(y) \quad i = 1, 2$  تعریف می‌شود که در این رابطه  $M_{Ai}$  و  $M_{Bi}$  سری‌هایی به صورت فازی هستند که به ترتیب برای متغیرهای  $x, y$  تعریف شده‌اند. در این لایه مقدار فعال‌سازی قوانین خاص فازی مشخص می‌شود.

لایه ۳: در این لایه بخش نسبت درجه فعالیت مربوط به هر یک از قوانین فازی نرمال می‌شوند. رابطه مربوط در این لایه بدین شرح است:

۷

لایه ۴: گره‌های موجود در این لایه دیگر به صورت تطبیق پذیر درآمده، هر تابع موجود گره‌ها یک مدل درجه اول با پارامترهای حاصله ارائه می‌دهد. خروجی حاصله از این لایه به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$O_i^* = w_i^* f_i = w_i^* (p_i x + q_i y + r_i)$$

خروجی

$w_i$

لایه سوم

سری

$\{p_i, q_i, r_i\}$

پارامتری

لایه ۵: لایه پنجم، لایه خروجی بوده که در آن هر گره دیگر به مرحله تکمیل خود رسیده و در این لایه

1. Zhang et al.

2. Genetic Algorithm (GA)



مرحله ۶: در این مرحله جمعیت جدید ایجاد شده جایگزین جمعیت قبلی شده تا نسل جدید به وجود آید. در این مرحله به شماره نسل مقدار ۱ اضافه می‌شود و تا زمانی که شماره نسل به مقدار ماکزیمم خود برسد، مراحل فوق تکرار می‌شوند.

### شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

نتیجه پیش‌بینی مدل‌ها توسط شاخص‌های عملکرد مختلفی سنجیده می‌شود، چون هیچ گونه اجماع کلی بر روی بهترین معیار عملکرد، برای ارزیابی مدل پیش‌بینی وجود ندارد [۳۷]. در این پژوهش، به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی فازی، شبکه عصبی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی از پارامترهای ضریب کفایت ( $R^2$ ) و خطای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) که از روابط زیر قابل محاسبه اند، استفاده گردید [۱۱]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_0 - Z_p)^2}$$

که:  $Z_0$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $Z_p$  مقادیر مشاهداتی،  $Z_{ave}$  متوسط مقادیر مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌ها است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

که:  $y_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $\hat{y}_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $\bar{y}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و  $N$  تعداد داده‌ها است.

### متغیرهای ورودی و خروجی مدل‌ها

جدول ۱ و ۲ ورودی‌ها و خروجی‌های مدل تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم‌های شبکه عصبی انتخابی را نشان می‌دهد:

اتفاقی تولید می‌شود و افراد در برابر این مجموعه از داده‌ها آزمایش شده، مناسب‌ترین آنها باقی می‌مانند و نسل جدید را شکل می‌دهند و این فرآیند برای نسل‌های بعدی تا ارضای معیار همگرایی تکرار می‌شود.

مراحل ترکیب و توسعه مدل تلفیقی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی کارایی بانک‌ها به شرح ذیل است [۹]:

مرحله ۱: تعداد جمعیت موجود در هر نسل و تعداد نسل حداکثر در مرحله اول مشخص می‌شود و در این مرحله یک جمعیت اولیه تصادفی به وجود می‌آید.

مرحله ۲: در این مرحله شاخص شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از مقادیر ژن‌های موجود در هر جمعیت ایجاد شده تعیین می‌گردد.

مرحله ۳: شبکه طراحی شده با استفاده از داده‌های نرمال شده ورودی آموزش می‌بیند و بعد از آموزش شبکه، مراحل واسنجی و آموزش شبکه نیز در این گام صورت می‌گیرد.

مرحله ۴: پس از انجام پیش‌بینی با استفاده از شبکه طراحی شده معیار میانگین مجذور خطا محاسبه می‌شود. با محاسبه این معیار، تابع هدف مسأله که در این پژوهش حداقل کردن میانگین مربعات خطا است، تعیین می‌شود.

مرحله ۵: به منظور ایجاد نسل پس از عملگرهایی نظیر عملگرهای ژنتیکی و تکاملی مانند ترکیب و جهش ژنی و نیز چرخه رولت برای انتخاب نسل بعد در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. در این مرحله از نخبه‌گرایی نیز استفاده می‌شود که با استفاده از آن برخی از بهترین‌های جمعیت نسل حاضر به نسل بعد منتقل می‌شود.

جدول ۱: ورودی و خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها

تعداد کل شعب	X1	ورودی
جمع کل دارایی‌ها	X2	
سود و زیان خالص	Y1	خروجی
مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات	Y2	

جدول ۲: ورودی و خروجی الگوریتم‌های شبکه عصبی

تعداد کل شعب	ورودی
جمع کل دارایی‌ها	
سود و زیان خالص	
مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات	
کارایی واحدها بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌ها	خروجی

واحدهای دیگر به این مجموعه نبود، سعی شد با کاهش تعداد متغیرهای ورودی و خروجی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، بر این مسأله فائق شویم. بنابراین، دو شاخص تعداد کل شعب و جمع کل دارایی‌ها به عنوان ورودی‌های مدل تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص‌های سود و زیان خالص و مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات به عنوان خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها انتخاب شدند.

در مرحله بعد با در نظر گرفتن اطلاعات مربوط برای هر یک از بانک‌ها و با به کارگیری روش CCR خروجی محور تحلیل پوششی داده‌ها، به تعیین کارایی برای هر یک از این بانک‌های منتخب اقدام شد که خلاصه نتایج آن در جدول ۳ آمده است. دلیل انتخاب خروجی محور آن است که بانک‌ها دارای میزان ثابتی از منابع هستند، ولی خروجی حداکثر از آنها خواسته می‌شود. بنابراین، خروجی‌هایشان به فعالیت‌ها و نحوه تخصیص منابع به بخش‌های مختلف بستگی دارد.

### یافته‌های پژوهش

#### محاسبه کارایی بانک‌ها بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌ها

در این پژوهش، با بررسی پیشینه و مطالعات گذشته و لحاظ کردن نظرهای خبرگان، دو شاخص ورودی و دو شاخص خروجی اولیه برای ارزیابی کارایی بانک‌ها انتخاب شدند. در به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها بعضی محدودیت‌ها وجود دارد؛ برای مثال، یکی از این محدودیت‌ها این است که هر چه تعداد متغیرهای مسأله بیشتر باشد، مدل‌های پایه از قدرت تمایز کمتری میان واحدهای کارا و غیرکارا برخوردارند و همچنین، زمانی که تعداد واحدهای سازمانی از میزان مشخصی کمتر باشد، قدرت تمایز مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها کاهش می‌یابد (مهرگان، ۱۳۸۵). بنابراین، با توجه به اینکه تعداد بانک‌های منتخب این پژوهش ۱۹ واحد بود و این تعداد جامعه پژوهش را تشکیل می‌داد و امکان افزایش

جدول ۳: کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی برای سال‌های ۸۶-۹۰

ردیف	بانک	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
۱	ملی	۰/۷۴۴	۰/۷۱۰	۰/۷۱۴	۰/۷۱۰	۰/۷۰۳
۲	ملت	۰/۸۰۲	۰/۷۲۶	۰/۶۷۷	۰/۸۴۰	۰/۸۴۱
۳	صادرات	۰/۴۹۵	۰/۴۹۱	۰/۴۸۹	۰/۵۳۹	۰/۵۵۲
۴	سپه	۰/۸۳۷	۰/۷۵۰	۰/۷۰۷	۰/۷۵۶	۰/۷۵۲
۵	رفاه	۰/۶۷۷	۰/۹۲۰	۰/۶۰۸	۰/۵۹۳	۰/۴۹۰
۶	تجارت	۰/۵۵۱	۰/۵۸۳	۰/۶۲۷	۰/۴۴۰	۰/۵۰۶
۷	مسکن	۰/۹۷۹	۱	۱	۰/۸۷۰	۰/۹۸۸
۸	کشاورزی	۰/۸۱۲	۰/۷۹۶	۰/۷۷۸	۰/۸۳۳	۰/۸۱۵
۹	صنعت و معدن	۱	۱	۱	۱	۱
۱۰	توسعه صادرات	۰/۲۷۹	۰/۵۰۳	۰/۳۷۶	۰/۲۶۷	۰/۷۲۷
۱۱	اقتصاد نوین	۱	۰/۷۱۳	۰/۹۸۲	۰/۸۸۳	۰/۶۱۱
۱۲	پارسیان	۰/۷۸۴	۰/۷۷۲	۰/۸۹۸	۰/۷۵۴	۰/۷۷۲
۱۳	سامان	۰/۷۳۳	۰/۷۷۷	۰/۸۷۱	۰/۷۷۷	۰/۷۲۸
۱۴	کارآفرین	۰/۹۷۳	۰/۸۰۸	۰/۸۷۳	۰/۸۳۶	۰/۸۷۵
۱۵	پاسارگاد	۱	۰/۸۶۹	۰/۸۵۹	۰/۸۰۵	۰/۸۰۴
۱۶	پست بانک	۰/۴۶۱	۰/۶۷۷	۰/۷۰۱	۰/۷۵۵	۰/۷۷۱
۱۷	سرمایه	۰/۸۵۸	۰/۶۲۹	۰/۵۸۸	۰/۸۹۶	۰/۷۳۷
۱۸	سینا	۱	۰/۹۳۵	۰/۹۴۶	۱	۰/۸۹۸
۱۹	قرض الحسنه مهر	۰/۵۵۳	۱	۱	۰/۷۹۵	۰/۶۵۱

ماخذ: یافته‌های پژوهش

میزان کاهش ورودی‌ها، مقدار کارایی به دست آمده از مدل‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها در مقادیر اولیه ورودی‌ها ضرب می‌شود. طبیعی است برای واحدهای تصمیم‌گیری کارا که کارایی آنها به صورت عدد یک است، تغییر در ورودی‌ها نخواهیم داشت و بقیه واحدها که مقدار کارایی آنها کمتر از یک است، با ضرب شدن در مقادیر اولیه ورودی‌ها، مقدار ورودی‌های پیشنهادی را کاهش می‌دهند. در نگاه خروجی‌ها نیز برای یافتن میزان افزایش خروجی‌ها، معکوس کارایی به دست آمده از مدل‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها در مقادیر اولیه خروجی‌ها ضرب می‌شود. در اینجا نیز برای واحد تصمیم‌گیری کارا تغییری در خروجی‌ها نخواهیم داشت و بقیه واحدها که کارایی آنها کمتر از یک است، با ضرب شدن معکوس کارایی در مقادیر اولیه خروجی‌ها، مقدار خروجی پیشنهادی را افزایش می‌دهند.

### نتایج رگرسیون چند متغیره

با استفاده از رگرسیون چند متغیره، محقق می‌تواند رابطه خطی و غیرخطی موجود بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل با یک متغیر وابسته را به شیوه‌ای مطالعه نماید که در آن، رابطه موجود بین متغیرهای مستقل نیز ملاحظه گردد. در این پژوهش در ابتدا، داده‌ها را به دو دسته تقسیم کرده، به طوری که ۸۰٪ داده‌ها برای آموزش و مابقی داده‌ها؛ یعنی ۲۰٪ برای اعتبارسنجی اختصاص داده شد. برای این منظور، دو دسته داده به طور تصادفی تعیین گردید. برای تعیین رگرسیون چند متغیره پارامتر مورد مطالعه، رابطه رگرسیونی مربوطه با استفاده از داده‌های آموزش تعیین گردید. این رابطه سپس بر روی داده‌های آزمون اعمال شد و ضریب تعیین ۰/۳۱۹۹ به دست آمد. مقادیر

همان‌طور که از نتایج جدول ۳ مشخص است، میزان کارایی بانک‌ها در بین سال‌های مورد نظر بین بازه صفر و یک قرار دارد. بانک‌های دارای کارایی یک را بانک‌های کارا و بانک‌های دارای کارایی پایین‌تر از یک را ناکارا تلقی می‌کنیم. با توجه به این که در تحلیل پوششی داده‌ها، وزن‌های محاسبه شده، مطلوب‌ترین وزن‌ها برای حداکثر کردن کارایی واحدها هستند، انتظار می‌رود کارایی همه واحدها معادل یک به دست آید، اما در جدول می‌بینیم که چنین نیست و تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در کارایی واحدها مشاهده می‌شود. برای تمام سال‌های ارزیابی، تنها بانک صنعت و معدن است که در میان بانک‌های منتخب دارای بهترین عملکرد است، چون این بانک توانسته است در تمام سال‌های ارزیابی حداکثر کارایی؛ یعنی کارایی کامل به دست آورد. به عبارتی، در تمام این سال‌ها این بانک توانسته است حداکثر استفاده از منابع خویش را در راستای دسترسی به خروجی‌های عملکرد داشته باشد. سایر بانک‌ها در اکثر یا تمام سال‌های مورد بررسی در شاخص‌های عملکردی در مقیاس بهینه عمل نمی‌کنند. برای اینکه بتوان چگونگی رسیدن واحدهای تصمیم‌گیری ناکارا را به مرز کارایی نشان داد، باید از دو منظر ورودی‌ها یا خروجی‌ها یا ترکیب این دو به مسأله نگاه کرد. بدیهی است برای رساندن واحدها به مرز کارایی با نگاه به ورودی‌ها، باید ورودی‌های آن واحدها تا وقتی که نسبت مجموعه وزن دار خروجی‌ها به ورودی‌ها به حد کارایی برسد، کاهش یابد و با نگاه به خروجی‌ها، خروجی‌های آن واحد تا وقتی که نسبت مذکور به حد کارایی برسد، افزایش خواهد یافت. در نگاه خروجی‌ها، تا حدی ورودی‌ها کاهش می‌یابند و مقداری هم خروجی‌ها افزایش خواهند یافت. در نگاه ورودی‌ها برای یافتن

بین پارامترهای ورودی است (جدول ۱). در نمودار (۱) دیگرام پراکنش در داده‌های تست برای مدل رگرسیون آورده شده است.

ضرایب رگرسیونی دارای احتمال کوچکتر ۰/۰۰۱ است. همچنین، جدول تجزیه واریانس نیز برای

$$y = 0.758 - 0.000017 x_1 - 0.000002 x_2 + 0.000017 x_3 + 0.000003 x_4$$

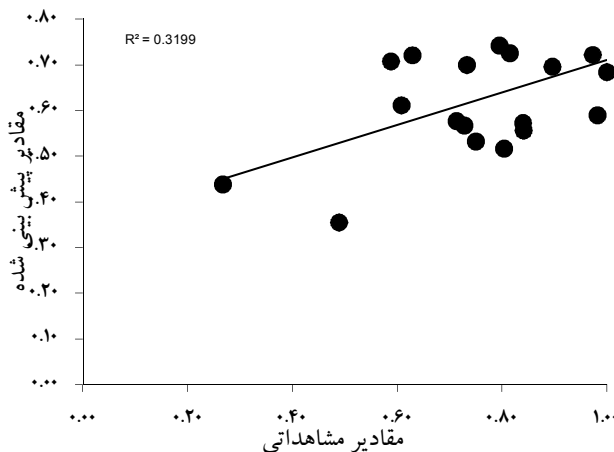
که در معادله بالا  $X_1$ : سود و زیان خالص،  $X_2$ : مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات،  $X_3$ : جمع کل دارایی‌ها،  $X_4$  تعداد کل شعب و  $Y$ : کارایی بانک‌ها (خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها) است.

رگرسیون محاسبه گردید که نتایج از معنادار بودن معادله برازش داده شده حکایت دارد ( $p < 0.001$ ). در نهایت، پراکنش مقادیر خطا محاسبه شد، که نشان-دهنده صحت مدل رگرسیونی و عدم همراستایی در

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس برای رگرسیون

منابع	درجه آزادی	مجموع مربعات	اف فیشر	احتمال
رگرسیون	۴	۰/۲۷		
باقیمانده خطا	۷۱	۰/۰۲	۱۶/۲۷	< ۰/۰۰۱
کل	۷۵	۰/۲۹		

ماخذ: یافته‌های پژوهش



نمودار ۱: نمودار پراکنش برای مقادیر مشاهده و پیش بینی شده با استفاده از روش رگرسیون (یافته‌های پژوهش)

الگوریتم‌های یادگیری، تابع تبدیل، تابع عملکرد، نرخ یادگیری و تعداد تکرارها مشخص گردد. در تعیین این موارد، روش‌های سیستماتیکی وجود ندارد، بنابراین بهترین طراحی شبکه با استفاده از تجربه و آزمایش و

### نتایج شبکه عصبی مصنوعی

در طراحی مدل شبکه عصبی، در واقع باید اندازه مجموعه یادگیری و آزمایشی، نرمال کردن داده‌ها، تعداد لایه‌های پنهان شبکه، تعداد نرون‌های هر لایه،

تغییرات RMSE دارای روند مشخصی نیست، چون شبکه عصبی یک مدل جعبه سیاه است و وزن‌ها به طور تصادفی انتخاب می‌شوند، نمی‌توان این روند موجود را به طور کامل توضیح داد. فقط باید با سعی و خطا بهترین ساختار را به دست آورد. اما توجیهی که می‌توان بیان کرد، این است که با پیچیده‌تر شدن مدل شبکه عصبی بیش از حد آموزش می‌بیند و قادر به برآزش مناسب بر روی داده‌های جدید است.

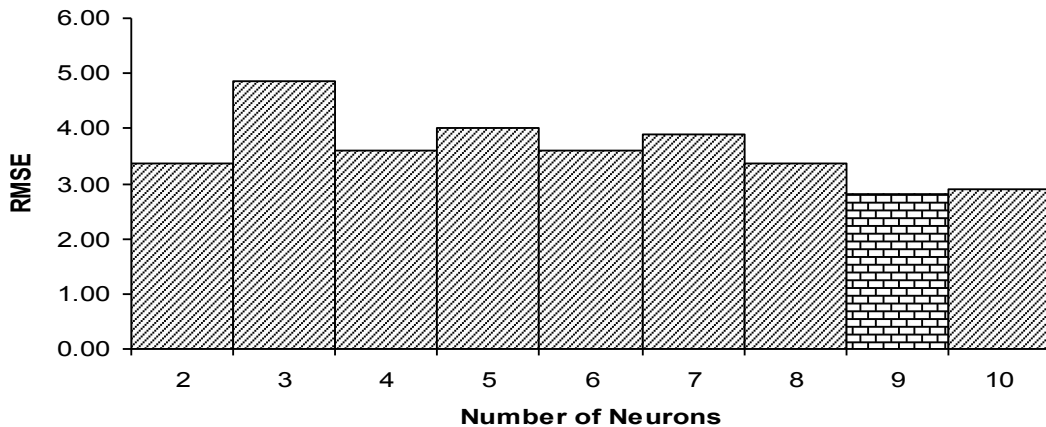
خطا به دست می‌آید. در این پژوهش، پس از تعیین مجموعه داده‌های تست و آموزش، داده‌های ورودی به شبکه با استفاده از رابطه ۶ استانداردسازی<sup>۱</sup> شد. در صورتی که داده‌ها به صورت خام وارد شبکه شود، به علت تغییرات زیاد داده‌ها، تأثیر متفاوتی بر روی شبکه گذاشته، به طوری که برخی از نرون‌های خیلی زود به حد آتش رسیده، در حالی که برخی دیگر از نرون‌ها حتی به آستانه فعالیت نیز نرسیده‌اند و این باعث خواهد شد که توان پیش‌بینی مدل پایین آید [۱۷]. لذا در ابتدا، داده‌ها با استفاده از رابطه زیر استاندارد شده؛ یعنی بین یک دامنه عددی که معمولاً (۰/۱ و ۰/۹) است، قرار می‌گیرند (سرمیدان و همکاران، ۱۳۸۹).

$$y = 0.8 \times \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} + 0.1$$

که در آن:  $X_{min}$  کوچک‌ترین داده و  $X_{max}$  بزرگترین داده سری داده‌های ورودی است. با استفاده از این رابطه، داده‌های ورودی بین ۰/۱ و ۰/۹ قرار می‌گیرد.

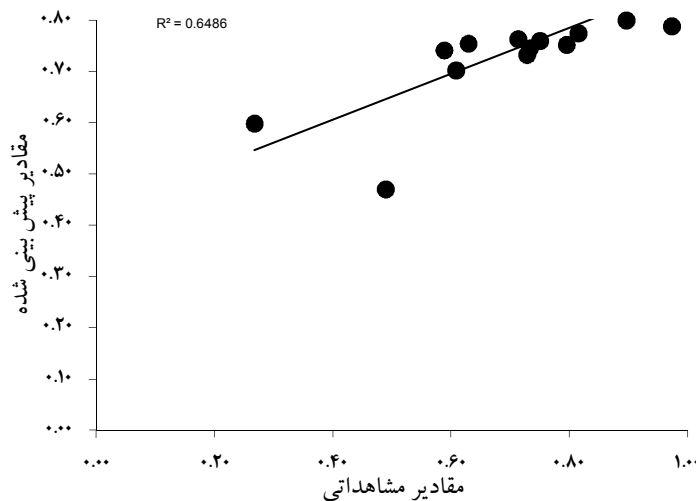
در این پژوهش شبکه با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید  $f(x) = \frac{1}{1+e^x}$  در لایه مخفی و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی و تعداد نرون‌های آن از یک تا ۱۰ نرون متغیر بوده و بهترین تعداد نرون به صورت سعی و خطا تعیین گردید. همچنین، به علت کارایی، سادگی و سرعت بالا در این پژوهش، از الگوریتم آموزشی لونیبرگ مارکوارت استفاده شد. برای پیش‌بینی مصرف انرژی، ورودی‌های شبکه جمعیت، تعداد خودرو و تولید ناخالص داخلی بود. برای این ویژگی مقادیر RMSE در شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود حداقل مقدار RMSE مربوط به شبکه با نه نرون در لایه مخفی است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود،

1. Normalization



شکل ۱: مقادیر RMSE برای تعداد نرون متفاوت (یافته‌های پژوهش)

در نمودار (۲) پراکنش داده‌های تست برای مدل شبکه عصبی با ساختار ۱-۹-۳ که بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده، آورده شده است.



نمودار ۲: نمودار پراکنش برای مقادیر مشاهده و پیش بینی شده با استفاده از روش شبکه عصبی (یافته‌های پژوهش)

و تابع خروجی خطی و برای غیرفازی نمودن از تابع میانگین وزنی استفاده شد. برای طراحی سیستم بهینه شبکه‌های عصبی فازی، از طریق تغییر مداوم تعداد لایه‌ها و تعداد نرون های لایه پنهان، توپولوژی مناسب شبکه عصبی بررسی شد و از طریق تغییر مداوم توابع

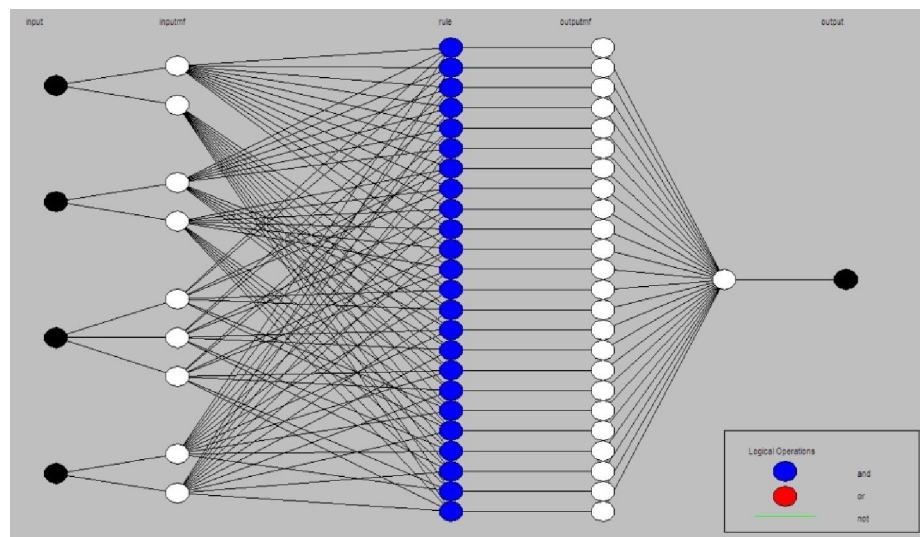
### نتایج شبکه عصبی فازی (نرفازی)

در طراحی مدل شبکه های عصبی فازی این پژوهش، از شبکه عصبی چند لایه پسخور، الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا و سیستم استنتاج فازی ساگنو<sup>۱</sup>

1. Sugeno

عنوان داده های آزمایشی و اعتبارسنجی انتخاب شده اند. در نمودار (۳) دیاگرام پراکنش در داده های تست برای مدل نروفازی آورده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می شود، بهترین خط برازش داده شده دارای زاویه ای نزدیک به ۴۵ درجه است که نشان دهنده دقت بالای برآورد توسط مدل شبکه عصبی فازی در تخمین پارامتر مورد بررسی است.

عضویت مختلف و تعداد توابع عضویت، سیستم مناسب پایگاه استنتاج فازی طراحی شد. این شبکه دارای چهار تابع عضویت برای هر متغیر ورودی است (شکل ۲) و سایر پارامترهای آن عبارتند از: تعداد مراحل آموزش = ۱۰۰۰، تولرانس خطا = ۰، نرخ های یادگیری برای لایه اول و دوم = ۰/۰۵، و پارامترهای شبکه با استفاده از سعی و خطا تعیین شد. در ضمن، ۸۰ درصد از داده ها به عنوان داده های آموزشی و ۲۰ درصد از داده ها به



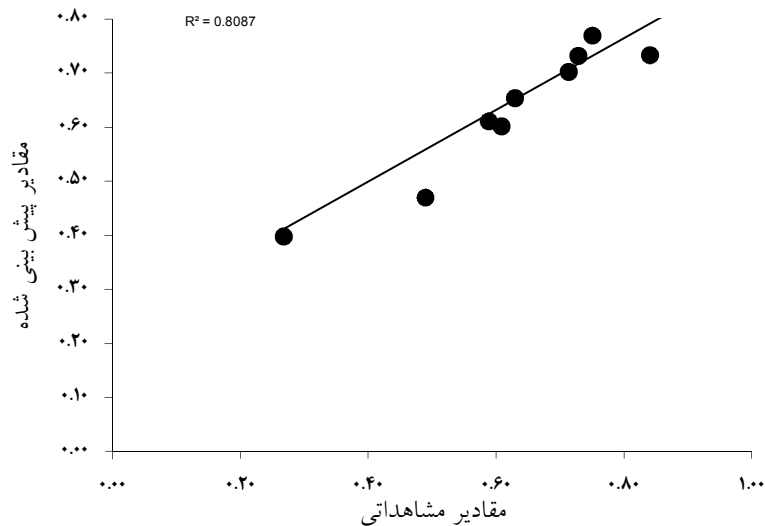
شکل ۲: ساختار شبکه عصبی فازی (یافته های پژوهش)

جدول ۲: ویژگی های مدل شبکه عصبی فازی انتخابی برای پیش بینی کارایی بانک ها

تعداد توابع عضویت	تکرار	نوع تابع عضویت	روش یادگیری	روش دفازی-کردن	کارایی بانک ها
۴	۱۰۰۰	مثلی	پسخور	میانگین وزنی	

ماخذ: یافته های پژوهش





نمودار ۳: نمودار پراکنش برای مقادیر مشاهده و پیش بینی شده با استفاده از روش شبکه عصبی فازی (یافته‌های پژوهش)

### نتایج مدل ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک

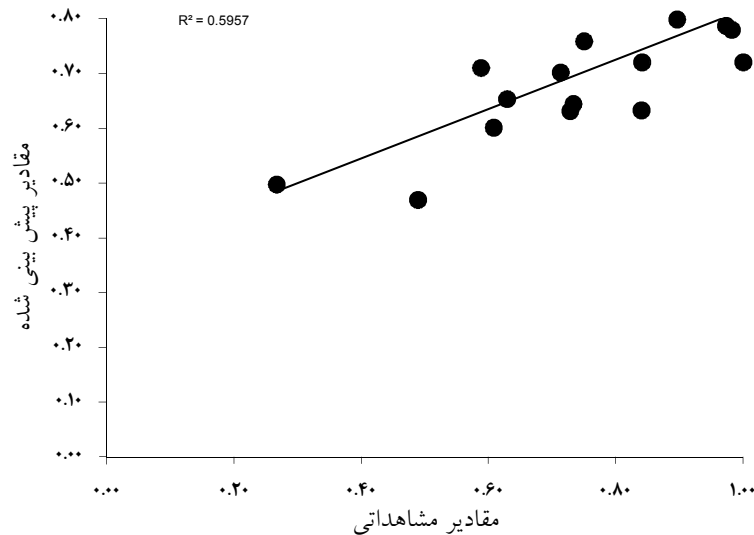
در روش الگوریتم ژنتیک انتخاب جمعیت‌های اولیه تصادفی مختلف و تأثیر گذار در پدیده (که به عنوان داده‌های آموزشی از آنها یاد می‌شود) به منظور آموزش ماهیت‌ساز و کار حاکم بر پدیده سبب

پیچیدگی الگو و افزایش حافظه درگیر خواهد شد. با توجه به جدول (۳)، در این تحقیق اندازه جمعیت ۱۰، تولید نسل ۵ و تکرار برابر با ۱۱۰۰ دور در نظر گرفته شده است. در نمودار (۴) دیاگرام پراکنش در داده‌های تست برای مدل شبکه عصبی ژنتیک آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات مدل ترکیبی شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک انتخابی برای پیش‌بینی کارایی بانک‌ها

تعداد نرون	تکرار	اندازه جمعیت	تولید نسل	زمان تکامل
۴	۱۱۰۰ دور	۱۰	۵	۵ دقیقه

ماخذ: یافته‌های پژوهش



نمودار ۴: نمودار پراکنش برای مقادیر مشاهده و پیش بینی شده با استفاده از روش شبکه عصبی ژنتیک (یافته‌های پژوهش)

دو معیار، بهتر از شبکه عصبی ژنتیک، شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره است. بعد از مدل شبکه عصبی فازی، مدل شبکه عصبی مصنوعی بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده است و پس از آن به ترتیب مدل‌های شبکه عصبی ژنتیک و رگرسیون چند متغیره بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده‌اند.

#### خلاصه نتایج و ارزیابی مدل‌های پیش بینی

نتایج مربوط به مدل‌های شبکه عصبی فازی، شبکه عصبی ژنتیک، شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره مربوط به پارامتر مورد اندازه‌گیری در جدول ۴ خلاصه شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود در کل، بهترین عملکرد در پیش‌بینی ویژگی مورد مطالعه مربوط به مدل شبکه عصبی فازی است و از لحاظ هر

جدول ۴: مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده کارایی سرمایه فکری و عملکرد مدل‌های مختلف

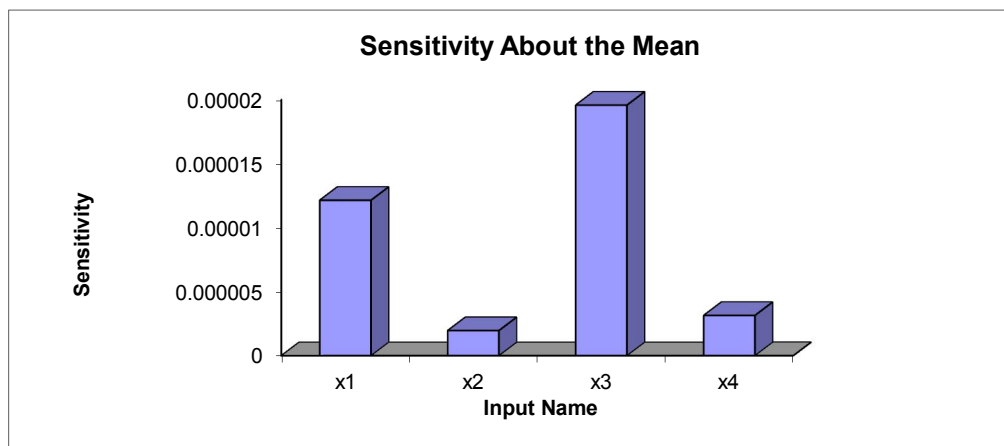
شبکه عصبی فازی	الگوریتم ژنتیک	شبکه عصبی مصنوعی	رگرسیون چند متغیره	مقادیر واقعی	سال
۰/۹۴۱	۰/۸۴۱	۰/۹۴۱	۰/۶۸۵	۱	مسکن (۱۳۸۷)
۰/۸۱۹	۰/۷۹۹	۰/۷۹۹	۰/۶۹۷	۰/۸۹۶	سرمایه (۱۳۸۹)
۰/۸۰۷	۰/۷۸۷	۰/۷۸۷	۰/۷۲۳	۰/۹۷۳	کار آفرین (۱۳۸۶)
۰/۸۰۱	۰/۷۲۱	۰/۸۲۱	۰/۵۵۷	۰/۸۴۱	ملت (۱۳۹۰)
۰/۷۶۹	۰/۷۵۹	۰/۷۵۹	۰/۵۳۳	۰/۷۵۰	سپه (۱۳۸۷)
۰/۸۹۴	۰/۸۷۴	۰/۷۷۴	۰/۷۲۶	۰/۸۱۵	کشاورزی (۱۳۹۰)
۰/۷۳۲	۰/۶۳۲	۰/۷۳۲	۰/۵۶۸	۰/۷۲۸	سامان (۱۳۹۰)
۰/۸۰۱	۰/۸۰۱	۰/۷۵۱	۰/۷۴۳	۰/۷۹۵	قرض الحسنه مهر ایران (۱۳۸۹)
۰/۸۲۱	۰/۷۲۱	۰/۸۲۱	۰/۸۳۹	۱	صنعت و معدن (۱۳۸۶)
۰/۳۹۸	۰/۴۹۸	۰/۵۹۸	۰/۴۳۹	۰/۲۶۷	توسعه صادرات (۱۳۸۹)
۰/۴۷۰	۰/۴۷۰	۰/۴۷۰	۰/۳۵۶	۰/۴۸۹	صادرات (۱۳۸۸)
۰/۷۳۳	۰/۶۳۳	۰/۸۳۳	۰/۵۷۳	۰/۸۴۰	ملت (۱۳۸۹)
۰/۶۰۱	۰/۶۰۱	۰/۷۰۱	۰/۶۱۲	۰/۶۰۸	رفاه (۱۳۸۸)
۰/۸۴۵	۰/۶۴۵	۰/۷۴۵	۰/۷۰۱	۰/۷۳۳	سامان (۱۳۸۶)
۰/۶۵۴	۰/۶۵۴	۰/۷۵۴	۰/۷۲۲	۰/۶۲۹	سرمایه (۱۳۸۷)
۰/۸۰۶	۰/۸۰۶	۰/۹۰۶	۰/۵۱۷	۰/۸۰۴	پاسارگاد (۱۳۹۰)
۰/۷۰۲	۰/۷۰۲	۰/۷۶۲	۰/۵۷۸	۰/۷۱۳	اقتصاد نوین (۱۳۸۷)
۰/۸۱۰	۰/۷۸۰	۰/۸۸۰	۰/۵۹۱	۰/۹۸۲	اقتصاد نوین (۱۳۸۸)
۰/۶۱۱	۰/۷۱۱	۰/۷۴۱	۰/۷۰۹	۰/۵۸۸	سرمایه (۱۳۸۸)
۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۳۲		شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها
۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۶	RMSE	

ماخذ: یافته‌های پژوهش

### تحلیل حساسیت شبکه های عصبی

تحلیل حساسیت، در واقع روشی است که در آن با ایجاد تغییر در ورودی‌ها میزان تغییر در خروجی تحلیل می‌شود. این مسأله نشان دهنده آن است که کدام ورودی بیشترین تأثیر را بر روی خروجی خواهد داشت [۲۰]. در پژوهش حاضر برای پاسخ به این سؤال که کدام یک از متغیرهای ورودی (تعداد کل شعب، جمع کل دارایی‌ها، سود و زیان خالص و مانده تسهیلات

اعطایی و مطالبات)، بیشترین تأثیر را بر روی خروجی‌ها (کارایی) داشته، از تحلیل حساسیت در شبکه عصبی استفاده شده است. همان گونه که از شکل ۲ مشخص است، به ترتیب شاخص‌های سود و زیان خالص (X3)، تعداد کل شعب (X1)، مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات (X4) و جمع کل دارایی‌ها (X2) بیشترین تأثیر را بر خروجی؛ یعنی کارایی داشته است.



شکل ۲: تحلیل حساسیت شاخص‌های ورودی با استفاده از شبکه عصبی (یافته‌های پژوهش)

### بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از مقتضیات مهم در دستیابی به اهداف چشم انداز بیست ساله کشور و رسیدن به منویات مقام معظم رهبری، افزایش کارایی و استفاده بهینه از منابع واحدهای مختلف در راستای صرفه جویی در منابع و همزمان افزایش سطح خروجی است. بدون افزایش چشمگیر، تنها با حفظ سطح کنونی کارایی دستیابی به اهداف مورد نظر بسیار مشکل و حتی غیرممکن می‌نماید. اولین گام در راه بهبود کارایی ارائه روشی برای پیش بینی کارایی بین واحدها در این زمینه است. نهادهای مالی از دیر باز نقش به‌سزایی در توسعه و

رشد اقتصادی کشورها داشته و بانک‌ها به عنوان یکی از مهمترین نهادهای مالی، نقش پررنگ‌تری نسبت به سایر نهادها در امر توسعه داشته‌اند. عواملی نظیر جهانی شدن، مقررات زدایی، حضور جدی‌تر بانک‌های اسلامی و تخصصی، حرکت به سمت سودآوری بیشتر و پیشرفت‌های فناوری، به همگرایی و فزونی رقابت میان نهادهای مالی رهنمون شده است [۲۲].

در این پژوهش، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی فازی، شبکه عصبی ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره، کارایی بانک‌های دولتی و خصوصی ایران برآورد گردید. در این راستا،

- ایجاد بسترهای رقابت پذیری در بانک‌های دولتی و خصوصی؛
- از آنجایی که بانک‌های ناکارا از لحاظ شاخص‌های خروجی، مانند سود و زیان خالص و مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات در مقیاس بهینه عمل نکردند، لذا مدیران بانک‌های مربوطه باید به هنگام سیاست گذاری‌های خویش به این مهم توجه ویژه داشته باشند، چون بهبود این شاخص‌ها باعث بهبود کارایی آنها خواهد شد.
- یکی از تأثیرگذارترین عامل تغییرات بهره‌وری در بانک‌های منتخب، تغییرات تکنولوژی بوده که آن هم از رشد سالانه اندکی برخوردار است. بنابراین، برای افزایش کارایی و پیشرفت تکنولوژی در نهایت، افزایش بهره‌وری پیشنهاد می‌شود بانک‌های منتخب به امر آموزش و مشاوره و ترویج فناوری‌های جدید مبادرت ورزند.

#### منابع

- ۱- ابراهیمی، سعید؛ بیدرام، رسول و عمادزاده، مصطفی. (۱۳۸۷). «بررسی کارایی بانک‌های اسلامی در کشورهای مختلف جهان (با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها)». *دوفصلنامه علمی- پژوهشی جستارهای اقتصادی*، سال پنجم، ش ۱۰، صص ۱۱۵-۱۳۶.
- ۲- احمدپور، هادی. (۱۳۸۹). «دیدگاه مبانی، نقش و جایگاه بانکداری اختصاصی در بانکداری نوین»، *فصلنامه تخصصی بانک صادرات ایران*، سال یازدهم، ش ۵۴، صص ۴۰-۴۳.
- ۳- امیریوسفی، خالد و بهار، حافظی. (۱۳۸۵). «کارایی در صنعت بانکداری (مطالعه موردی: اندازه گیری کارایی در شبکه بانک‌های دولتی استان اصفهان)»

بانک‌های دولتی و خصوصی کشور به عنوان نمونه انتخاب و از شاخص‌های جمع کل دارایی‌ها و تعداد کل شعب به عنوان شاخص‌های ورودی و از شاخص‌های سود و زیان خالص و مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات به عنوان متغیرهای خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ۱۹ بانک طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۶ استفاده شد. سپس به منظور پیش بینی کارایی بانک‌ها از مدل‌های رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک استفاده شد که چهار شاخص جمع کل دارایی‌ها، تعداد کل شعب، سود و زیان خالص و مانده تسهیلات اعطایی و مطالبات به عنوان ورودی و کارایی (محاسبه شده در مدل تحلیل پوششی داده‌ها) به عنوان خروجی انتخاب شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در زمینه کارایی، بانک صنعت و معدن بر سایر بانک‌های منتخب مزیت دارد. نتایج همچنین حاکی از برتری مدل شبکه عصبی فازی بر مدل رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک در پیش بینی کارایی است و تحلیل حساسیت شاخص‌های ورودی به وسیله شبکه عصبی، حاکی از این بود که شاخص ورودی سود و زیان خالص، بیشترین تأثیر بر خروجی؛ یعنی کارایی واحدها دارد. در پایان باید اشاره کرد که با توجه به ماهیت تقریبی بودن مقادیر و پارامترهای اندازه گیری شده، به نظر می‌رسد کارایی بالاتر مدل شبکه عصبی فازی در پیش بینی کارایی به همین علت باشد. با توجه به جستجوی تصادفی فضای جواب توسط الگوریتم‌های شبکه عصبی برای درون یابی مسائل پیچیده، این مدل با تعداد متغیرهای ورودی بیشتر، به نتایج بهتری منجر شود که این موضوع می‌تواند زمینه پژوهشات آتی باشد. از دیگر پیشنهادها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- استفاده از الگوریتم ترکیبی ANN-GA» فصلنامه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ش ۵، صص ۹۴۲-۹۵۴.
- ۱۰- سبزی پرور، علی اکبر و بیات ورکشی، مریم. (۱۳۸۹). «ارزیابی دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و عصبی فازی در شبیه سازی تابش کل خورشیدی»، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد دهم، ش ۴، صص ۳۴۷-۳۵۷.
- ۱۱- سرمدیان، فریدون؛ تقی زاده مهرجردی، روح اله؛ محمد عسگری، حسین و اکبرزاده، علی. (۱۳۸۹). «مقایسه روش‌های نروفازی، شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره در پیش بینی برخی خصوصیات خاک (مطالعه موردی: استان گلستان)»، مجله پژوهش آب و خاک ایران، دوره چهل و یکم، ش ۲، صص ۲۱۱-۲۲۰.
- ۱۲- سهیلی، کیومرث؛ الماسی، مجتبی؛ لرستانی، الهام و سپهان قره بابا، اصغر. (۱۳۹۰). «مقایسه کارایی عقود مبادله ای و مشارکتی به روش تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی بانک ملت استان کرمانشاه)» دو فصلنامه علمی- پژوهشی جستارهای اقتصادی، سال هشتم، ش ۱۵، صص ۳۹-۶۰.
- ۱۳- طحاری مهرجردی، محمد حسین؛ فرید، داریوش و بابایی میدی، حمید. (۱۳۹۰). «ارائه یک مدل ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه ریزی آرمانی برای بهبود سنجش کارایی واحد تصمیم گیری (مطالعه موردی: شعب بانک)» فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال هشتم، ش ۲۱، صص ۳۷-۲۱.
- ۱۴- طیبی، سید کمیل؛ امید نژاد، محمد و مطهری نژاد، عباس. (۱۳۸۸). «مقایسه کارایی بانک‌های خصوصی با بانک‌های دولتی به روش پارامتری، مجله پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ش ۳۹ و ۴۰، صص ۲۷-۵۸.
- ۴- ایران زاده، سلیمان و برقی، امیر. (۱۳۸۸). «رتبه بندی و ارزیابی عملکرد بانک با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مطالعه موردی: (شعب مرکزی بانک صنعت و معدن کشور)» فصلنامه مدیریت، سال ششم، ش ۱۴، صص ۴۷-۶۶.
- ۵- حسین زاده بحرینی، محمدحسین؛ ناجی میدانی، علی اکبر و چمانه گیر، فرشته. (۱۳۸۷). «مقایسه کارایی اقتصادی بانک‌های خصوصی و دولتی در ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی (فراگیر) داده‌ها (DEA)» مجله دانش و توسعه، سال پانزدهم، ش ۲۵، صص ۱-۳۰.
- ۶- حسینی، سید شمس الدین و سوری، امیررضا. (۱۳۸۶). «برآورد کارایی بانک‌های ایران و عوامل مؤثر بر آن»، پژوهشنامه اقتصادی، ش ۷، صص ۱۲۷-۱۵۵.
- ۷- رجبی، احسان. (۱۳۸۹). «مقیاس بهینه فعالیت و پایداری کارایی فنی بانک‌های تجاری ایران با کاربرد تحلیل پنجره ای داده‌ها در دوره (۱۳۸۵-۱۳۷۰)» مجله دانش و توسعه، سال هفدهم، ش ۳۴، صص ۹۱-۱۲۵.
- ۸- رستمی، محمدرضا؛ قاسمی، جواد و اسکندری، فرزانه. (۱۳۹۰). «ارزیابی عملکرد بانک‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار (به کارگیری منطق TOPSIS در تحلیل پوششی داده‌ها)» مجله حسابداری مدیریت، سال چهارم، ش ۸، صص ۱۹-۳۰.
- ۹- زارع زاده مهریزی، محبوبه و بزرگ حداد، امید. (۱۳۸۹). «شبیه سازی و پیش بینی آبدهی با

- پژوهشنامه اقتصادی ایران، ش ۱۳، صص ۱-۲۸.
- ۱۵- محرابیان، سعید؛ ساعتی، صابر و مهتدی، علی هادی. (۱۳۹۰). «ارزیابی کارایی شعب بانک اقتصاد نوین با ترکیبی از روش شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها» مجله پژوهش در عملیات و کاربردهای آن؛ سال هشتم، ش ۴، صص ۲۹-۳۹.
- ۱۶- مقدس نژاد، فریدون و منتظری پور، آزاده. (۱۳۸۶). «ارایه یک برنامه مدیریت روسازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک» پژوهشنامه حمل و نقل، سال چهارم، ش ۳، صص ۲۳۵-۲۴۸.
- ۱۷- منهای، محمدباقر. (۱۳۸۴). مبانی شبکه‌های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم.
- ۱۸- منهای؛ محمدباقر؛ کاظمی، عالیه؛ شکوری گنجوی، حامد؛ مهرگان، محمدرضا و تقی زاده، محمدرضا. (۱۳۸۹). «پیش بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل با استفاده از شبکه های عصبی: مطالعه موردی در ایران» مجله مدرس علوم انسانی، دوره چهاردهم، ش ۲، صص ۲۰۴-۲۲۰.
- ۱۹- مهرگان، محمدرضا. (۱۳۸۵). مدل های کمی در ارزیابی عملکرد سازمان ها (تحلیل پوششی داده-ها)، تهران: دانشگاه مدیریت، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲۰- میرغفوری، سید حبیب اله؛ اسدیان اردکانی، فائزه و صادقی آرانی، زهرا. (۱۳۹۰). «طراحی مدلی برای ارزیابی و انتخاب پروژه های بهبود شش سیگما با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی» مجله مدیریت تولید و عملیات، دوره دوم، ش ۲، صص ۳۷-۵۴.
- ۲۱- نامداری، روح انگیز و اقبالی، علیرضا و یوسفی، رضا. (۱۳۸۹). «ارزیابی کارایی در بانک‌های دولتی ایران با استفاده از روش DEA» مجله مطالعات مالی، ش ۷، صص ۹۷-۱۲۱.
- ۲۲- هیتی، فرشاد؛ سیدنورانی، محمدرضا و دادخواه، سحر. (۱۳۸۸). «ارزیابی عملکرد بانک‌های خصوصی ایرانی در مقایسه با بانک‌های کشورهای عربی حوزه خلیج فارس»، پژوهشنامه اقتصادی، ش ۶، صص ۹۱-۱۰۸.
- 23- Asmild, M; Paradi, J.C. Aggarwall, V; Schaffnit, C. (2004). Combining DEA Window Analysis with the Marmquist Index Approach Industry of the Canadian Banking Industry. Journal of Productivity Analysis.
- 24-Azadeh, A., Saberi, M., Tavakkoli Moghaddam. R., Javanmardi, L.(2011). An integrated Data Envelopment Analysis–Artificial Neural Network–Rough Set Algorithm for assessment of personnel efficiency, Expert Systems with Applications 38, pp 1364–1373.
- 25-Bal, H., Orkcu, H.H., Celebioglu, S. (2010). Improving the discrimination power and weights dispersion in the data envelopment analysis. Computers & Operations Research, 37, pp 99–107.
- 26-Drake, L; Hall, Maximilian J.B. (2003). Efficiency in Japanese Banking: An Empirical Analysis. Journal of Banking & Finance 27, pp 891- 917.
- 27-Fujii, H & Managi, S & Matousek, R.(2013). Indian bank efficiency and productivity changes with undesirable outputs: a disaggregated approach, journal of banking & finance, volume 38, pp 41-50.
- 28-Halkos, George E; Salamouris, Ditmitrios. (2004). Efficiency Measurement of the Greek Commercial Banks with the Use of Financial Ratio: a Data Envelopment Analysis Approach. Management Accounting Research, pp 201-224.
- 29-Kao, Chiang; Liu, Shiang-Tai. (2009). Stochastic Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Taiwan Commercial Banks. European Journal of

- 34-Sufian, F.; Muhd-Zulhibri A.M. (2007). Singapore Banking Efficiency and Its Relation to Stock Returns: A DEA Window Analysis Approach. *International Journal of Business Studie*, pp 83- 106.
- 35-Webb, R.W. (2003). Levels of Efficiency in UK Retail Bank: A DEA Window Analysis. *International Journal of the Economics of Business*, 10(3), pp 305-322.
- 36-Wu Dosh, Yang Z, Liang L. (2005) Using DEA-neural network approach to evaluate branch efficiency of a large Canadian Bank, *Expert System with application*, pp 1-8.
- 37-Zhang, G., & Hu, M.Y. (1998), Neural Network Forecasting of The British Pound/US Dollar Exchange Rate. *Omega, The International journal of management science*, 26, pp 495-506.
- 38-Zhang, G.P. (2003), Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50, pp 159-175.
- Operational Research, pp 312- 322.
- 30-Kym Brown, R. Viverita; Skully, Michael. (2004). Investing the DEA Malm Quist Efficiency Performance of Islamic Banks., *International Islamic Banking and Finance Conference*.
- 31-Reisman, A; Daouas, M.; Oral, M; Rebai, S; Gatoufi, S. (2003). Impact of Deregulation on Technical and Scale Efficiencies of Tunisian Commercial Banks: Window Extended Data Envelopment Analysis. Working Paper, Faculty des Sciences Economics et de Gestation de Tunis.
- 32-Shahooth, Khalid; Battall, Ahmed Hussein. (2006). Using Data Envelopment Analysis to Measure Cost Efficiency with an Application on Islamic banks. *Scientific Journal of Administrative Development*, 4, pp134- 156.
- 33-Siriopoulos, C., Tziogkidis, P. (2010). How Do Greek Banking Institutions React After Significant Events? A DEA Approach, *Omega Journal, Special Issue in Empirical Research in the EU Banking Sector and the Financial Crisis*, 38(5) , pp 294-308.