

## کاربرد رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی کارایی متوازن شرکت‌های داروسازی بورس اوراق بهادار تهران

مهدی همایون فر<sup>۱</sup>، فریا صلاحی<sup>۲</sup>، امیر دانشور<sup>۳</sup>، سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی<sup>۴\*</sup>

۱- استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استاد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱۲ تیر ۱۳۹۹

پذیرش مقاله: ۲۳ اسفند ۱۳۹۹

### چکیده

ارزیابی عملکرد از مهم‌ترین روش‌های بررسی نحوه کارکرد سازمان‌ها در مقایسه با وضعیت گذشته و یا سایر رقبا می‌باشد که امکان انجام اقدامات لازم برای بهبود عملکرد را ممکن می‌سازد. در این پژوهش با به‌کارگیری یک رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی به ارزیابی عملکرد شرکت داروسازی ایران دارو پرداخته شده است. به این منظور، در ابتدا با بررسی مبانی نظری، معیارهای ارزیابی شرکت بر اساس منظرهای کارت امتیازی متوازن مورد بررسی قرار گرفتند و در ادامه معیارهای با درجه اهمیت بالاتر بر اساس نظر خبرگان شناسایی شدند. بر این اساس، با توجه به لزوم مطالعه و ارزیابی عملکرد شرکت داروسازی ایران دارو، عملکرد این شرکت طی دوره ۴ ساله (سال ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۶) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها با فرض بازده به مقیاس ثابت و دیدگاه خروجی محور مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی عملکرد شرکت پرداخته شده است. نهایتاً، نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی با لایه‌های مختلف بررسی شده و نتایج حاصل از شبکه با مناسب‌ترین تعداد لایه‌ها بر اساس شاخص‌های دقت، صحت، فراخوانی و خطا با نتایج سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مقایسه گردیده است. نتایج، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل ارائه شده در مقایسه با الگوریتم‌های درخت تصمیم، بیز ساده، ماشین بردار پشتیبان و K نزدیک‌ترین همسایه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه عصبی، یادگیری ماشینی، ارزیابی عملکرد، کارت امتیازی متوازن، بورس اوراق بهادار.

## ۱ مقدمه

از زمانی که فارل، روشی را برای اندازه‌گیری کارایی مطرح کرد، رویکردهای مختلفی در رابطه با اندازه‌گیری کارایی مطرح شده‌اند. به طور کلی این رویکردها در قالب دو رویکرد پارامتریک و ناپارامتریک طبقه‌بندی شده‌اند که تابع تولید مرز تصادفی<sup>۱</sup> و تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۲</sup>، به ترتیب شناخته‌شده‌ترین مدل‌های استفاده شده در این دو رویکرد می‌باشند [۱،۲]. به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران، در میان روش‌های سنجش کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها روش بهتری برای سازماندهی و تحلیل داده‌ها است؛ زیرا اجازه می‌دهد که کارایی در طول زمان تغییر کند و به هیچ پیش‌فرضی در مورد مرز کارایی نیاز ندارد [۳]. بنابراین، بیش از سایر دیدگاه‌ها در ارزیابی عملکرد و مقایسه کارایی واحدها مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان به ارزیابی عملیات انبار داده‌ها [۴]، انتخاب سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر [۵]، ارزیابی عملکرد شعبه بانک [۶]، تجزیه و تحلیل اظهارات مالی موسسات [۷]، سنجش کارایی موسسات آموزش عالی [۸]، طراحی نحوه استقرار امکانات [۹]، اندازه‌گیری کارایی سرمایه‌گذاری‌های سازمانی در فناوری اطلاعات [۱۰] و برنامه‌ریزی تولید [۱۱] اشاره کرد.

اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها که توسط چارن و همکاران [۱۲] ارائه شده، مدل CCR است که فرض اساسی آن ثابت بودن بازده به مقیاس فرایند تولید است. پس از مدل اولیه CCR، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های مختلفی ارائه شده‌اند که دارای کاربردهای گسترده‌ای در مسایل مختلف ارزیابی عملکرد با داده‌ها و ساختارهای شبکه‌ای مختلف هستند. تحلیل پوششی داده‌های غیرقطعی یکی از کاربردی‌ترین رویکردها برای برخورد با داده‌های نادقیق و مبهم در مدل‌های DEA است. در مبانی نظری، چهار رویکرد اساسی در بررسی مدل‌ها تحت شرایط عدم قطعیت ارائه شده است که شامل، رویکردهای بازه‌ای، فازی، تصادفی و بهینه‌سازی استوار می‌باشند. رویکرد بازه‌ای کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده را در دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه محاسبه می‌نماید. در دیدگاه خوشبینانه، واحد تحت ارزیابی با حد بالای خروجی‌ها و حد پایین ورودی‌ها در نظر گرفته می‌شود، در حالی که سایر واحدها در حد پایین خروجی‌ها و حد بالای ورودی‌های خود قرار دارند. در مقابل، در دیدگاه بدبینانه، واحد تحت ارزیابی با حد پایین خروجی‌ها و حد بالای ورودی‌ها در نظر گرفته می‌شود، در حالی که سایر واحدها در حد بالای خروجی‌ها و حد پایین ورودی‌های خود قرار دارند [۱۳، ۱۴]. در رویکرد فازی، با توجه به گرایش تصمیم‌گیرنده در اتخاذ نگرش خوشبینانه، بدبینانه و محتمل‌ترین حالت، به ترتیب از سه معیار امکان، ضرورت و اعتبار برای ایجاد مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های فازی استفاده می‌شود [۱۵، ۱۶، ۱۷]. کاربردهای تئوری مجموعه فازی در تحلیل پوششی داده‌ها در قالب چهار رویکرد: تولرانس، سطح برش  $\alpha$ ، رتبه‌بندی فازی و امکان، به طور مفصل در [۱۸] مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله سایر رویکردهای مهم در برخورد با عدم قطعیت مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های تصادفی است. در تحلیل پوششی داده‌های تصادفی از

<sup>1</sup> Parametric stochastic frontier production function approach

<sup>2</sup> Data Envelopment Analysis

تکنولوژی‌های مرجع پوسته محدب یا مخروطی<sup>۱</sup> مبتنی بر اصول موضوعه تئوری تولید، به همراه مبنای آماری که ریشه در مفروضات توزیعی و آماری دارند، استفاده می‌شود [۱۹]. نهایتاً، آخرین رویکرد اساسی در برخورد با عدم قطعیت در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های استوار است که برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در شرایط عدم قطعیت ناشی از داده‌ها و توزیع شاخص‌ها به کار برده می‌شود [۲۰].

با وجود محاسن تحلیل پوششی داده‌ها، مرز کارایی حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها نسبت به نویزهای آماری<sup>۲</sup> و داده‌های پرت<sup>۳</sup> که در اثر خطای اندازه‌گیری یا هر عامل خارجی دیگر ایجاد می‌شوند، حساس است و اگر در داده‌ها اغتشاش آماری یا مقادیر پرت وجود داشته باشد، می‌تواند موجب جابه‌جایی مرز کارایی به‌دست آمده شود و نتایج تحلیل‌های تحلیل پوششی داده‌ها را منحرف سازد [۲۱]. بنابراین، باید در استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده دقت کرد. وجود این مساله باعث شده است که اخیراً شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان جایگزین مناسبی جهت برآورد مرزهای کارا به کار گرفته شوند [۲۲]، زیرا ماهیت عملکرد شبکه‌های عصبی به دلیل قدرت یادگیری و تعمیم‌پذیری به گونه‌ای است که در برابر داده‌های پرت و اغتشاشات حاصل از اندازه‌گیری غیردقیق داده‌ها عملکرد بهتری دارند [۲۳]. به‌علاوه، شباهت‌هایی مانند: ماهیت ناپارامتریک و عدم نیاز به پیش‌فرض اولیه‌ای در مورد نوع ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، کاربرد ترکیبی شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها را مورد توجه قرار داده است. تحلیل پوششی داده‌ها به دنبال تعیین مقدار متغیرهای تصمیم (مجموعه وزن‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها) است، به طوری که کارایی فنی بیشینه شود، در حالی که شبکه عصبی مصنوعی به دنبال یافتن مجموعه‌ای از وزن‌ها است که اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب را کمینه سازند و این کار را با حداقل داده‌های یادگیری انجام می‌دهد. برتری مدل تحلیل پوششی داده‌های عصبی<sup>۴</sup> نسبت به سایر مدل‌ها در حداقل کردن ورودی‌ها نسبت به سطح خروجی مطلوب است. برای اندازه‌گیری کارایی شرکت‌ها با مدل پژوهش، ابتدا یک مدل شبکه عصبی مناسب شبیه‌سازی می‌شود و در ادامه بر اساس داده‌های اولیه، شبکه با استفاده از خروجی مطلوب (محاسبه شده با تحلیل پوششی داده‌ها) تا جایی آموزش داده می‌شود که بتواند الگوهای مرجع را یاد بگیرد و بر مبنای آن کارایی واحدها را محاسبه کند.

همان‌طور که در ادبیات نظری ارزیابی عملکرد اشاره شده است، روش‌های ارزیابی مبتنی بر تحلیل داده‌هایی هستند که با توجه به ماهیت فعالیت‌های سازمان و با نظر تصمیم‌گیرندگان در یک یا چند شاخص عملکردی گردآوری می‌شوند. یکی از رویکردهای پر کاربرد در ارزیابی عملکرد سازمانی، کارت امتیازی متوازن<sup>۵</sup> (BSC) است که توسط کاپلان و نورتون [۲۴] مطرح شد و هدف از آن، یکپارچه‌سازی نگرش مدیران سازمان‌ها به ارزیابی همه جانبه سازمان در مقایسه با سیستم‌های سنتی ارزیابی عملکرد است که صرفاً به اقدامات

<sup>1</sup> Convex or conical hull reference technologies

<sup>2</sup> Statistical Noises

<sup>3</sup> Outliers

<sup>4</sup> Neuro-DEA

<sup>5</sup> Balanced Scorecard

مالی توجه دارند. کارت امتیازی متوازن یکی از جامع‌ترین ابزارهای اندازه‌گیری عملکرد است که بر هر دو جنبه مالی و غیرمالی، استراتژی‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت و نیز معیارهای کسب و کار داخلی و خارجی (در چهار منظر؛ مالی، مشتری، فرآیندهای داخلی و رشد و یادگیری) تاکید دارد. با وجود جامعیت کارت امتیازی متوازن در جمع‌بندی شاخص‌های ارزیابی، این رویکرد به تنهایی قادر به رتبه‌بندی عناصر مورد بررسی نمی‌باشد. بنابراین، استفاده از رویکردهای کمی که در تلفیق با کارت امتیازی متوازن به ارزیابی عملکرد پردازند، در سال‌های اخیر مورد تاکید قرار گرفته است.

در این تحقیق با توجه به شاخص‌های کارت امتیازی متوازن، از تلفیق شبکه‌های عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها (Neuro-DEA) برای ارزیابی کارایی (عملکرد) شرکت ایران دارو استفاده شده است، زیرا با توجه به کم بودن تعداد واحدها در مقایسه با تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها، مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها قادر به رتبه‌بندی مناسبی از واحدها نمی‌باشند. بنابراین، از قدرت تفکیک‌پذیری و تخمین روابط غیرخطی شبکه‌های عصبی برای رفع این مساله استفاده شده است. در ادامه، نتایج به‌دست آمده با نتایج الگوریتم‌های درخت تصمیم، بیز ساده، ماشین بردار پشتیبان و K نزدیکترین همسایه مقایسه شده است. سوال اصلی پژوهش آن است که آیا مدل تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی عملکرد متوازن شرکت ایران دارو از عملکرد مناسبی برخوردار است؟

## ۲ مبانی نظری و پیشینه پژوهش

شبکه‌های عصبی نوعی مدل‌سازی ساده‌انگارانه از سیستم‌های عصبی واقعی هستند که کاربرد فراوانی در حل مسایل مختلف در علوم دارند. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آنچنان گسترده است که از کاربرد در طبقه‌بندی تا درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و غیره را شامل می‌شود [۲۵]. مبنای مدل‌سازی در این الگوریتم، شبکه گسترده و متصل از نورون‌های مصنوعی است که با وزن‌های سیناپسی با یکدیگر در ارتباطند [۲۶]. یکی از مباحث کلیدی در شبکه‌های عصبی، انتخاب معماری مناسب شبکه است. ثابت شده است که شبکه‌های پیش‌خور با یک لایه مخفی با توابع تبدیل زیگموئیدی در لایه میانی و توابع تبدیل خطی در لایه خروجی قادرند که توابع مختلف را با هر درجه تقریب، تقریب بزنند.

ایده ترکیب شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها را اولین بار آتونوسوپولیس و کانن [۲۷] مطرح کردند. آنها شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها را مقایسه کردند و در شبیه‌سازی صورت گرفته این نتیجه حاصل شد که تحلیل پوششی داده‌ها در اندازه‌گیری اهداف بهتر از شبکه عصبی مصنوعی عمل می‌کند و شبکه عصبی مصنوعی در رتبه‌بندی واحدها بر اساس امتیاز کارایی به‌دست آمده، همانند تحلیل پوششی داده‌ها است. آزاده و همکاران [۲۸] یک رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی انعطاف‌پذیر برای بهینه‌سازی محل کارخانه‌های خورشیدی با پیچیدگی و عدم قطعیت ارائه دادند. این روش به سیاستگذاران کمک کرد تا استراتژی ارجح برای مشکلات بهینه‌سازی مکان مرتبط با واحدهای تولیدی خورشیدی را شناسایی کنند.

<sup>1</sup> Athanassopoulos and Curram

اولانرواجیو و همکاران [۲۹] در مقاله‌ای با استفاده از شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها به تحلیل حساسیت برای تعیین مصرف انرژی بخش صنعتی، محاسبه کارایی و پیش‌بینی و قابلیت بهینه‌سازی عملکرد پرداختند. آزاده و همکاران [۳۰] با استفاده از رویکرد یکپارچه تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه عصبی مصنوعی و نظریه مجموعه خاکستری به ارزیابی کارایی پرسنل بانک پرداختند. خیرخواه و همکاران [۳۱] یک روش یکپارچه مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها را برای برآورد تقاضای برق برای تغییرات فصلی و ماهانه در مصرف برق ارایه نمودند. کوان [۳۲] به بررسی امکان استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی عملکرد تولیدکنندگان عمده گوشی موبایل و انتخاب بهترین تولیدکننده پرداخت. سعیدی و همکاران [۳۳] در یک مطالعه تطبیقی به بررسی عملکرد تحلیل پوششی داده‌های اصلاح شده و روش‌شناسی سطحی پاسخ (RSM) در بهینه‌سازی تولید بیودیزل ناهمگن از روغنش نخل پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که تنظیم پارامتر بهینه مشتق شده از روش پیشنهادی MDEA، قابل اطمینان‌تر و دقیق‌تر از RSM است. میسیوناس و همکاران [۳۴] با استفاده از روش DEANN به پیش‌بینی وضعیت عملکردی بیماران در عمل پیوند اعضا پرداختند. بشیری و همکاران [۳۵] از ترکیب تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی برای بهینه‌سازی یک مساله بهینه‌سازی چند شاخصه مبتنی بر روش تاگوچی استفاده کردند. آزاده و زرین [۳۶] یک چارچوب هوشمند برای ارزیابی بهره‌وری و تجزیه و تحلیل منابع انسانی در یک کارخانه بزرگ پتروشیمی ارایه کردند. کارایی و اثربخشی کارکنان این شرکت با در نظر گرفتن سه مفهوم مهندسی تاب‌آوری و عوامل انگیزشی در محیط کار و بهداشت، ایمنی، محیط زیست و ارگونومی ارزیابی شده است. این چارچوب مبتنی بر استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی، بر یک سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار (ANFIS) بوده است. اجلی و مومنی [۳۷] با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد و کارایی شرکت‌های گاز استانی پرداختند. به این منظور پس از محاسبه کارایی واحدها با مدل مضربی CCR ورودی محور، از روش اندرسون-پترسون برای رتبه‌بندی واحدهای کارا استفاده گردید. در ادامه برای ارزیابی کارایی شرکت‌ها از رویکرد شبکه‌های عصبی پیش‌بینی‌کننده عملکرد در قالب مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شفیعی نیک‌آبادی و همکاران [۳۸] پس از به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی در تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های شرکت‌های برق منطقه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای پرداختند. گنگ و همکاران [۳۹] یک مدل بهینه‌سازی بر پایه شبکه عصبی حلقوی بهبودیافته مبتنی بر ویژگی متقاطع را برای ایجاد الگوی بهینه‌سازی انرژی و پیش‌بینی انرژی سیستم‌های تولید اتیلن در صنعت پتروشیمی به کار بردند. همایون‌فر و امیرتیموری [۴۰] در بررسی خود با رویکرد ترکیبی دیماتل-تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد متوازن تأمین‌کنندگان یک زنجیره تأمین پرداختند. مهرگان و همکاران [۲۳] با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی فنی ۹ پالایشگاه نفت ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. همایون‌فر و امیرتیموری [۳] پس از تعیین شاخص‌های کارت امتیازی متوازن در ارزیابی تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین و تعیین شاخص‌های اساسی توسط تکنیک دیماتل، با استفاده از مدل دسترسی‌پذیری ضعیف تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل نامطلوب، به ارزیابی کارایی تأمین‌کنندگان

پرداختند. نهایتاً واحدهای کارا بر اساس مدل ابرکارایی اندرسون-پترسون رتبه‌بندی شدند. آزاده و همکاران [۴۱] در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه عصبی، تحلیل پوششی داده‌ها و روش‌های آماری مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند به بهینه‌سازی عملکرد مهندسی یکپارچه تاب‌آوری و تولید ناب در یک شرکت تولیدکننده لوله پرداختند. شعبان‌پور و همکاران [۴۲] در مقاله‌ای به پیش‌بینی بهره‌وری تأمین‌کنندگان سبز با روش تحلیل پوششی داده‌های پویا و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. با توجه به این که مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های پویا نمی‌توانند بازده آتی واحدهای تصمیم‌گیرنده را پیش‌بینی کنند، در مرحله اول، ورودی‌ها و خروجی‌های تأمین‌کنندگان سبز را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کرده و سپس از داده‌های پیش‌بینی‌شده حاصل شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل پوششی داده‌های پویا استفاده نمودند. ولونتروس و پاردالس [۴۳] با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولیدات کشاورزی پرداختند. کوان [۴۴] برای اندازه‌گیری عملکرد راه آهن از مدل ترکیبی شبکه عصبی و تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمود. آزاده و همکاران [۴۵] یک الگوریتم هوشمند برای تشخیص و بهینه‌سازی عوامل بهره‌وری در پروژه‌های نفتی ارائه کردند. الگوریتم پیشنهادی از تحلیل واریانس، تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه تطبیقی، رگرسیون معمولی و رگرسیون فازی تشکیل شده است. جهانگشای رضایی و همکاران [۴۶] در مقاله‌ای به پیش‌بینی آنلاین عملکرد شرکت‌های فعال در بورس کالا پرداختند. این روش به منظور ایجاد ویژگی‌های پویا برای تعداد خوشه‌ها و اعضای خوشه در FCM کلاسیک ارائه گردید. سپس از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از نسبت‌های مالی استفاده شد. نهایتاً، شبکه طراحی‌شده برای پیش‌بینی عملکرد آینده شرکت‌ها آموزش داده شد. خلاصه مطالعات پیشین در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. خلاصه مطالعات انجام‌شده در ده سال اخیر

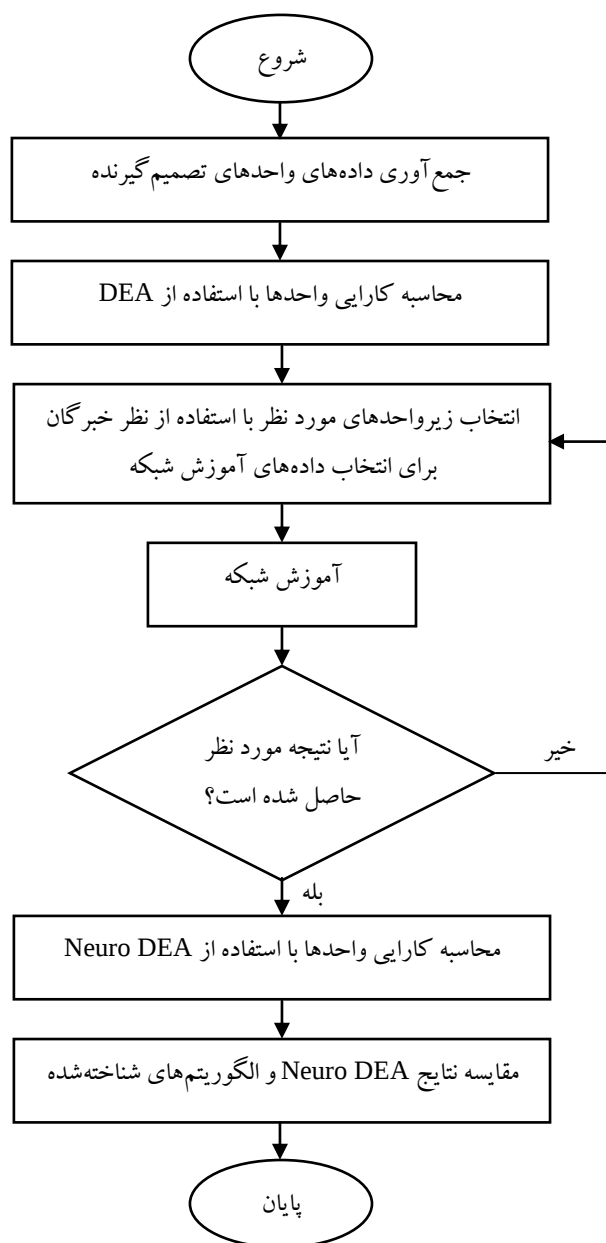
| محققین                         | روش‌های به کار رفته | حوزه کاربرد                                           | ماهیت |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| آزاده و همکاران [۲۸]           | ANN و DEA           | بهینه‌سازی مکان نیروگاه‌های خورشیدی                   | فازی  |
| الان رواجو و همکاران [۲۹]      | IDA و ANN، DEA      | تعیین مصرف انرژی در بخش‌های صنعتی                     | قطعی  |
| آزاده و همکاران [۳۰]           | RST و ANN، DEA      | ارزیابی کارایی پرسنل بانک                             | قطعی  |
| خیرخواه و همکاران [۳۱]         | ANN و DEA           | برآورد تقاضای برق                                     | قطعی  |
| کوان [۳۲]                      | ANN و DEA           | ارزیابی عملکرد تولیدکنندگان عمده گوشی موبایل          | قطعی  |
| سعیدی و همکاران [۳۳]           | RSM و MDEA، NN      | بهینه‌سازی تولید یو دیزل ناهمگن                       | قطعی  |
| میسوناس و همکاران [۳۴]         | ANN و DEA           | پیش‌بینی وضعیت عملکردی بیماران در عملیات پیوند عضو    | قطعی  |
| بشیری و همکاران [۳۵]           | Tagouchi و ANN، DEA | بهینه‌سازی یک مساله چند شاخصه                         | قطعی  |
| آزاده و زرین [۳۶]              | ANFIS و ANN، DEA    | ارزیابی بهره‌وری و تجزیه و تحلیل منابع انسانی         | فازی  |
| اجلی و مومنی [۳۷]              | ANN و DEA           | ارزیابی عملکرد و کارایی شرکت‌های گاز استانی           | قطعی  |
| شفیعی نیک‌آبادی و همکاران [۳۸] | ANN و DEA           | ارزیابی عملکرد شرکت برق                               | قطعی  |
| گنگ و همکاران [۳۹]             | CNN و CF            | پیش‌بینی انرژی سیستم‌های تولید اتیلن در صنعت پتروشیمی | قطعی  |

|                               |                         |                                                       |         |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|---------|
| آزاده و همکاران [۴۱]          | ANN, DEA                | بهینه‌سازی عملکرد مهندسی یکپارچه تاب‌آوری و تولید ناب | قطعی    |
| شعبانپور و همکاران [۴۲]       | ANN و DEA               | پیش‌بینی بهره‌وری تامین‌کنندگان سبز                   | احتمالی |
| ولونتروس و پاردالس [۴۳]       | ANN و DEA               | پیش‌بینی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای                | قطعی    |
| کوان [۴۴]                     | ANN و DEA               | اندازه‌گیری و پیش‌بینی عملکرد راه آهن                 | قطعی    |
| آزاده و همکاران [۴۵]          | ANFIS, ANN, DEA و ANOVA | بهینه‌سازی عوامل بهره‌وری در پروژه‌های نفتی           | فازی    |
| جهانگشای رضایی و همکاران [۴۶] | FCM و ANN, DEA          | پیش‌بینی آنلاین عملکرد شرکت‌های فعال در بورس کالا     | فازی    |

با توجه به پژوهش‌های گذشته، در این پژوهش سعی بر این شده است که از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها و تلفیق آنها در ارزیابی عملکرد شرکت ایران دارو استفاده شود. از قدرت تفکیک‌پذیری و تخمین روابط غیرخطی شبکه‌های عصبی جهت رفع ضعف مربوط به تعداد کم واحدهای تصمیم‌گیری نسبت به تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها استفاده شده است. نهایتاً، پس از محاسبه کارایی، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج الگوریتم‌های درخت تصمیم، بیز ساده، ماشین بردار پشتیبان و K نزدیکترین همسایه معمولی مقایسه شده است.

### ۳ چارچوب اجرای پژوهش

در این پژوهش در ابتدا با بررسی مبانی نظری، معیارهای ارزیابی عملکرد شرکت بر اساس منظرهای کارت امتیازی متوازن شناسایی شدند و پس از ارایه به ۱۳ تن از خبرگان شرکت ایران دارو که با منظرهای کارت امتیازی آشنایی کافی داشتند، دارای حداقل ۱۰ سال سابقه مدیریتی بودند و مدرک تحصیلی آنها کارشناسی و بالاتر بود، بر اساس طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت با امتیاز بسیار کم (۱) تا بسیار زیاد (۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، میانگین امتیازات شاخص‌ها مبنای انتخاب آنها قرار گرفت. پس از نهایی شدن شاخص‌های ارزیابی، داده‌های مربوط به هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری جمع‌آوری شدند. این داده‌ها برای دستیابی به نتایج بر اساس مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها طی گام‌های زیر (شکل ۱) مورد پردازش می‌گیرند:



شکل ۱. گام‌های الگوریتم پیشنهادی

- گام اول: جمع‌آوری داده‌های مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها. پس از پیش‌پردازش داده‌ها، مساله مهم دیگری که باید به آن توجه داشت نرمالایزاسازی یا بی‌مقیاس‌سازی داده‌ها است. مقیاس‌های متفاوت در متغیرهای مختلف نتایج نهایی را از جنبه‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهند. به منظور رفع این مشکل، از روش بی‌مقیاس‌سازی لاروس [۵۰] که داده‌ها را در هر فاصله دلخواه مانند  $[L, H]$  مرتب می‌کند، استفاده شده است.

$$X^* = mX_i + b \quad (۱)$$

$$m = \frac{H - L}{\text{Max}(X) - \text{Min}(X)}$$

$$b = \frac{\text{Max}(X) L + \text{Min}(X) H}{\text{Max}(X) - \text{Min}(X)}$$

در این رابطه فوق  $X^*$  متغیر نرمال سازی شده و  $X_i$  متغیر اصلی می باشد. برای نرمالایز سازی داده ها ترجیح داده شد که داده ها در بازه  $[۰, ۱]$  نرمال گردند. این امر بدان علت است که بتوان اختلاف بین متغیرها را بهتر نشان داد و هم چنین شبکه های عصبی با متغیرهای باینری و دو قطبی بهتر آموزش می بینند.

- گام دوم: محاسبه کارایی با تحلیل پوششی داده ها. در این گام بر اساس داده های مربوط، کارایی واحدها با استفاده از مدل CCR محاسبه می شود. خروجی این گام داده های لازم برای آموزش شبکه را فراهم می سازد.

- گام سوم: انتخاب یک زیرمجموعه از اطلاعات جمع آوری شده برای آموزش شبکه. آموزش شبکه، حساس ترین مرحله الگوریتم پیشنهادی می باشد. تحقیقات نشان می دهد که برای آموزش شبکه بهتر است از مجموعه داده های واحدهای کارا استفاده شود. استفاده از داده های واحدهای کارا برای آموزش باعث می شود تا شبکه الگوی کارایی را بهتر یاد بگیرد.

- گام چهارم: آموزش شبکه. در این مرحله شبکه عصبی با استفاده از داده های واحدهایی که در گام قبل انتخاب شدند، آموزش داده می شوند. وزن های شبکه طبق معادلات (۲) و (۳) تغییر می کنند.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{(k)}} = \frac{\partial E}{\partial e^{(k)}} \cdot \frac{\partial e^{(k)}}{\partial O_j^{(k)}} \cdot \frac{\partial O_j^{(k)}}{\partial n_j^{(k)}} \cdot \frac{\partial n_j^{(k)}}{\partial w_j^{(k)}} \quad (۲)$$

$$\frac{\partial e^{(k)}}{\partial O_j^{(k)}} = -۱, \quad \frac{\partial O_j^{(k)}}{\partial n_j^{(k)}} = \frac{e^{-n_j^{(k)}}}{(1 + e^{-n_j^{(k)}})}, \quad \frac{\partial n_j^{(k)}}{\partial w_j^{(k)}} = O_j \quad ; \quad j = ۱, ۲, \dots, ۱۸$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{(k)}} = \frac{e^{-n_j^{(k)}}}{(1 + e^{-n_j^{(k)}})} \cdot \frac{۱ - e^{-n_j^{(k)}}}{۱ + e^{-n_j^{(k)}}}$$

$$w_j^{(k+۱)} = w_j^{(k)} + \eta' \frac{e^{-n_j^{(k)}}}{(1 + e^{-n_j^{(k)}})} \cdot \left[ \frac{۱ - e^{-n_j^{(k)}}}{۱ + e^{-n_j^{(k)}}} \right] \quad ; \quad j = ۱, ۲, \dots, ۱۸$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(k)}} = \frac{\partial E}{\partial e^{(k)}} \cdot \frac{\partial e^{(k)}}{\partial O_j^{(k)}} \cdot \frac{\partial O_j^{(k)}}{\partial n_j^{(k)}} \cdot \frac{\partial O_j^{(k)}}{\partial O_{ij}^{(k)}} \cdot \frac{\partial O_{ij}^{(k)}}{\partial n_j^{(k)}} \cdot \frac{\partial n_j^{(k)}}{\partial w_{ij}^{(k)}}$$

$$\frac{\partial n_j^{(k)}}{\partial O_j^{(k)}} = w_j^{(k)}, \quad \frac{\partial O_j^{(k)}}{\partial n_j^{(k)}} = \frac{e^{-n_j^{(k)}}}{(1 + e^{-n_j^{(k)}})}, \quad \frac{\partial n_j^{(k)}}{\partial w_{ij}^{(k)}} = x_i$$

$$w_{ij}^{(k+1)} = w_{ij}^{(k)} + \eta w_j'^{(k)} \left[ \frac{4e^{-\gamma n_j^{(k)}}}{(1 + e^{-\gamma n_j^{(k)}})} \right] x_i \quad ; i = 1, 2, \dots, 9 \quad ; j = 1, 2, \dots, 18 \quad (3)$$

- گام پنجم: بررسی معیار خطا. اگر با ارایه داده‌های آموزشی نتیجه مورد نظر حاصل شد (معیار خطا به میزان مورد نظر کاهش یافت) به گام بعد می‌روید، در غیر این صورت به گام سوم باز گردید تا الگوی آموزش شبکه کامل شود.

- گام ششم: محاسبه کارایی واحدها. کارایی تمامی واحدها را با استفاده از شبکه‌های عصبی آموزش یافته محاسبه کنید. پس از محاسبه کارایی واحدها با مدل تحلیل پوششی داده‌ها، با استفاده از نظر خبرگان واحدهایی جهت آموزش انتخاب شده و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه خواهد گردید.

- گام هفتم: مقایسه بین نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌ها و Neuro-DEA. در این گام نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌ها و مدل Neuro-DEA بر اساس معیارهای دقت<sup>۱</sup>، صحت<sup>۲</sup>، فراخوانی<sup>۳</sup> و خطای طبقه‌بندی<sup>۴</sup> مقایسه شده و اعتبارسنجی نتایج صورت می‌گیرد. علاوه بر معیارهای فوق، معیارهای میانگین مجذور خطا<sup>۵</sup> و خطای واقعی<sup>۶</sup> نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که برای اجرای شبکه طراحی شده از نرم‌افزار رپیدماینر و برای اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌ها از نرم‌افزار DEA Solver استفاده می‌شود. در پایان، نتایج ارزیابی با الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی در لایه‌های مختلف بررسی شده و نتایج حاصل از شبکه با مناسب‌ترین تعداد لایه‌ها بر اساس شاخص‌های دقت، صحت، فراخوانی و خطا با نتایج الگوریتم‌های شناخته شده در مبانی نظری همچون درخت تصمیم، نیز ساده، ماشین بردار پشتیبان و K نزدیک‌ترین همسایه مقایسه شده است.

#### ۴ تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها و تلفیق آنها (Neuro-DEA) برای ارزیابی عملکرد شرکت ایران دارو استفاده شده است. در این راستا پس از محاسبه کارایی با روش تلفیقی، نتایج حاصل با DEA معمولی مقایسه گردیده است؛ زیرا با توجه به کم بودن تعداد واحدها در مقایسه با تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها، مدل‌های پایه‌ای DEA قادر به رتبه‌بندی واحدها نمی‌باشند. بنابراین، از قدرت تفکیک‌پذیری و تخمین روابط غیرخطی شبکه‌های عصبی برای رفع این مساله استفاده می‌شود.

<sup>1</sup> Accuracy

<sup>2</sup> Precision

<sup>3</sup> Recall

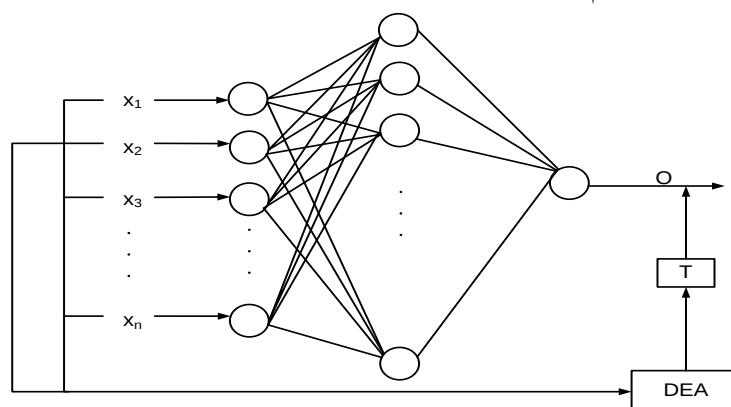
<sup>4</sup> Classification Error

<sup>5</sup> RMSE

<sup>6</sup> MAE

یکی از مباحث کلیدی در تقریب تابع انتخاب معماری مناسب شبکه است. بر اساس قضیه تقریب ساز جهانی، شبکه‌های پیشخور با یک لایه مخفی با توابع تبدیل زیگموئیدی در لایه میانی و توابع تبدیل خطی در لایه خروجی قادرند توابع مختلف را با هر درجه تقریب، تقریب بزنند. در تقریب تابع تحقیق حاضر از این قضیه استفاده شده است، زیرا توابع پیوسته فرض شده است و  $X$  بسته و کراندار است.

برای تقریب توابع مطرح شده در فرآیند از یک شبکه عصبی دولایه پیش‌خور<sup>۱</sup> که تابع تبدیل لایه پنهان تانژانت هیپربولیک و تابع تبدیل لایه خروجی سیگموئیدی<sup>۲</sup> است، استفاده شده است. تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه بر اساس تابعی که در مدل‌سازی فرآیند مطرح گردید مشخص گردیده است که تعیین کننده تعداد نرون‌های ورودی و خروجی است. در مورد تعیین تعداد نرون‌های لایه میانی نمی‌توان به طور قطع اظهار نظر کرد، زیرا تعداد نرون‌های کم و زیاد به ترتیب مشکل تعمیم‌پذیری شبکه و پیچیدگی‌های محاسباتی آن را به همراه خواهد داشت. روش‌هایی ارایه شده‌اند که می‌توانند تا حدودی (به صورت تجربی) تعداد بهینه نرون‌های لایه پنهان را تعیین کنند، اما در این تحقیق با آزمون و خطا تعداد نرون‌های لایه میانی تعیین شده‌اند. در این شبکه، ورودی‌های شبکه شامل مجموع ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیرنده و خروجی مورد انتظار شبکه (O)، کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده خواهد بود. شکل ۲ مدل شبکه عصبی به کار رفته را نشان می‌دهد.



شکل ۲. توپولوژی شبکه Neuro-DEA

پس از انتخاب ساختار شبکه، ضروری است با انتخاب یک الگوریتم یادگیری مناسب، شبکه طراحی شده آموزش داده شود. به این منظور از ۸۰٪ از داده‌های پایگاه داده جهت آموزش مدل‌های مربوط به الگوریتم‌های یادگیری ماشین و از ۲۰٪ داده‌ها برای ارزیابی نتایج الگوریتم یادگیری ماشین استفاده شده است. الگوریتم‌های متعدد پس انتشار برای آموزش شبکه وجود دارند که انتخاب آنها به فرم مساله نیز بستگی دارد. برخی از این الگوریتم‌ها سرعت همگرایی بسیار پایین و برخی سرعت همگرایی بالایی دارند. در این پژوهش برخی از این الگوریتم‌ها به کار رفته و در نهایت الگوریتمی که بهترین عملکرد را در آموزش شبکه از خود نشان داد، مورد استفاده واقع گردید. قابل ذکر است که تابع یادگیری به کار رفته در شبکه طراحی شده، "traincgf" است که بر اساس گرادینان مزدوج عمل می‌کند.

<sup>1</sup> FeedFoluard

<sup>2</sup> Sigmoidal Function

در پژوهش حاضر از اطلاعات سال‌های ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۶ (به صورت فصلی) شرکت ایران دارو برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی استفاده شده است. به این ترتیب که ابتدا براساس منظرهای کارت امتیازی متوازن، شاخص‌های ارزیابی مشخص گردیده و سپس با توجه به مفهوم پیاده‌سازی مدل ارزیابی کارایی تحلیل پوششی داده‌ها معیارهایی که کاهش آنها سبب افزایش کارایی می‌گردند، به عنوان ورودی و معیارهایی که افزایش آنها سبب افزایش کارایی می‌گردند، به عنوان خروجی در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۲ معیارهای نهایی مورد استفاده در ارزیابی شرکت ایران دارو و تعریف عملیاتی آنها را نشان می‌دهد. با توجه به این که داده‌های دریافت شده در این معیارها دارای ویژگی‌هایی هستند که توسط رییدماینر قابل فهم نمی‌باشد، ابتدا مجموعه داده‌ها مورد پیش پردازش قرار گرفته و مقادیر بدون استفاده حذف شدند. جدول ۳ نتیجه این فرایند را نمایش می‌دهد.

جدول ۲. شاخص‌های کارت امتیازی متوازن

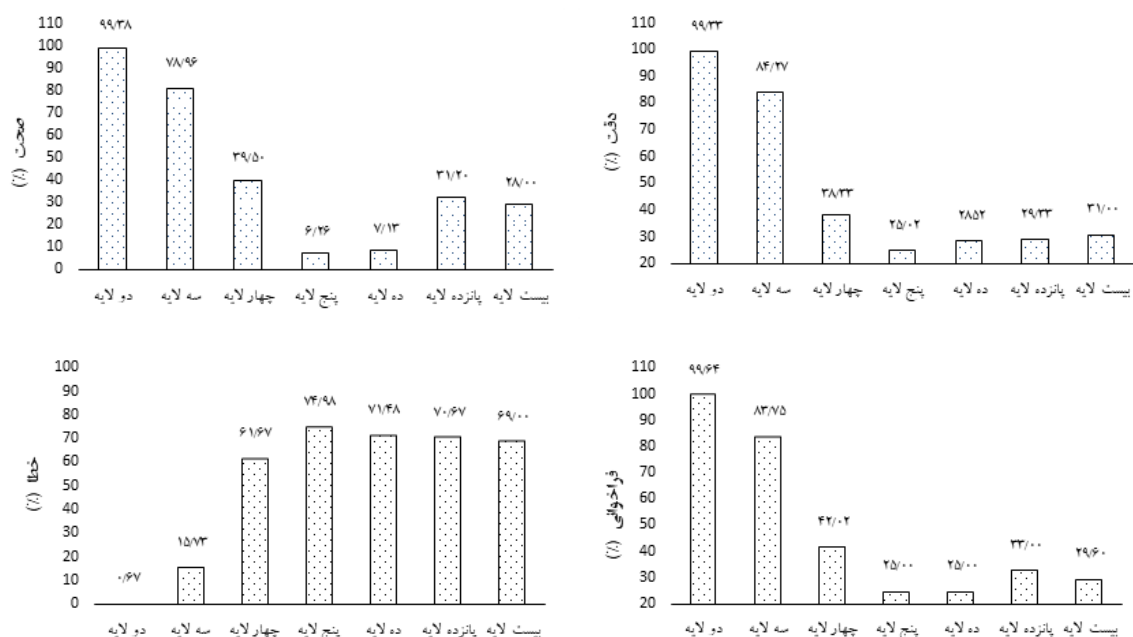
| شاخص                                                                | تعریف                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| دوره وصول مطالبات                                                   | مدت زمانی است که طول خواهد کشید با شرکت مطالبات خود را از مشتریان دریافت کند                                                                                                                 |
| نسبت آتی                                                            | نسبتی است که توانایی انجام تعهدات کوتاه‌مدت با استفاده از دارایی‌های با نقدینگی بالا را اندازه‌گیری می‌کند. نسبت آتی از تقسیم دارایی‌های جاری منهای موجودی‌ها بر بدهی‌های جاری به دست می‌آید |
| نسبت سود خالص                                                       | این نسبت توان مدیریت را در به کارگیری موثر دارایی‌ها در ایجاد سود خالص نشان می‌دهد و از تقسیم سود خالص به جمع دارایی‌ها به دست می‌آید                                                        |
| بازده حقوق صاحبان سهام                                              | این نسبت، میزان کارایی یک شرکت در خلق سود خالص برای سهامداران را بررسی می‌کند و از تقسیم سود خالص به میانگین حقوق صاحبان سهام به دست می‌آید                                                  |
| سفارش گذاری به موقع                                                 | نسبت دفعاتی که سفارش به موقع ثبت شده نسبت به کل دفعات ثبت سفارش                                                                                                                              |
| متوسط ظرفیت استفاده شده                                             | نسبت ظرفیت فعال به ظرفیت اسمی شرکت در طول سال                                                                                                                                                |
| دوره گردش موجودی انبار                                              | مدت زمانی که (روز) موجودی کالا و مواد شرکت به فروش رسیده و جایگزین شده‌است                                                                                                                   |
| پوشش برنامه تولید                                                   | نسبت تولید انجام شده به تولید برنامه‌ریزی شده                                                                                                                                                |
| سرنه ویزیت                                                          | میانگین تعداد دفعات ویزیت شرکت‌های توزیع کننده طی سال                                                                                                                                        |
| تعداد بازارهای صادراتی                                              | تعداد کشورهایی که به آنها صادرات صورت می‌گیرد                                                                                                                                                |
| درصد رضایت پزشکان                                                   | نسبت پزشکانی که از خدمات شرکت رضایت دارند.                                                                                                                                                   |
| نسبت صادرات به کل فروش                                              | درصدی از فروش شرکت که از کانال صادرات حاصل گردیده است                                                                                                                                        |
| تحقق به موقع برنامه تامین مواد                                      | نسبت دفعاتی که اقلام مورد درخواست به موقع تامین شده است                                                                                                                                      |
| نسبت اقلام تایید شده به کل اقلام متوسط امتیاز ارزیابی تامین کنندگان | درصد اقلام مرجوع شده پس از تحویل به مشتری                                                                                                                                                    |
| درصد تحقق بودجه تامین                                               | امتیاز حاصل از نظرسنجی در خصوص ارزیابی تامین کنندگان از عملکرد شرکت                                                                                                                          |
| سرنه آموزش                                                          | نسبت بودجه تامین حاصل شده به بودجه تامین مورد نیاز                                                                                                                                           |
| سرنه پیشنهاد                                                        | متوسط تعداد دوره های که افراد در سال شرکت می کنند.                                                                                                                                           |
| درصد اثربخشی آموزش                                                  | متوسط تعداد پیشنهادات ارایه شده در سال                                                                                                                                                       |
| نرخ بهره وری کارکنان                                                | متوسط امتیاز حاصل از نظرسنجی انجام شده از کارکنان در خصوص اثربخشی دوره‌های آموزشی                                                                                                            |
|                                                                     | متوسط نرخ کار انجام شده توسط کارکنان به کاری که باید توسط آنها انجام می گرفت                                                                                                                 |

جدول ۳. مجموعه داده‌های پاکسازی شده شرکت ایران دارو

| واحد<br>منتخب   | شاخص                              | ماهیت | سال ۱۳۹۳ |         |       |        | سال ۱۳۹۴ |         |       |        | سال ۱۳۹۵ |         |       |        | سال ۱۳۹۶ |         |       |        |
|-----------------|-----------------------------------|-------|----------|---------|-------|--------|----------|---------|-------|--------|----------|---------|-------|--------|----------|---------|-------|--------|
|                 |                                   |       | بهار     | تابستان | پاییز | زمستان | بهار     | تابستان | پاییز | زمستان | بهار     | تابستان | پاییز | زمستان | بهار     | تابستان | پاییز | زمستان |
| مالی            | دوره وصول مطالبات                 | ورودی | ۲۰۲      | ۱۹۱     | ۱۹۵   | ۲۰۰    | ۲۶۰      | ۲۲۰     | ۲۴۶   | ۲۵۰    | ۲۵۸      | ۲۳۰     | ۲۴۴   | ۲۴۹    | ۲۷۱      | ۲۶۲     | ۲۶۵   | ۲۶۳    |
|                 | نسبت آتی                          | ورودی | ۱/۱۴     | ۱/۱۳    | ۱/۱۲  | ۱/۱۳   | ۱/۰۴     | ۱/۰۸    | ۱/۰۹  | ۱/۱۳   | ۰/۹۰     | ۰/۹۸    | ۱/۰۰  | ۱/۱۲   | ۰/۹۱     | ۰/۹۹    | ۱/۰۰  | ۰/۱۰   |
|                 | نسبت سود خالص                     | خروجی | ۰/۱۵     | ۰/۱۹    | ۰/۱۶  | ۰/۱۸   | ۰/۱۸     | ۰/۲۳    | ۰/۲۱  | ۰/۲۲   | ۰/۱۷     | ۰/۲۰    | ۰/۱۸  | ۰/۱۹   | ۰/۲۳     | ۰/۲۱    | ۰/۲۱  | ۰/۲۱   |
|                 | بازده حقوق صاحبان سهام            | خروجی | ۰/۳۵     | ۰/۳۹    | ۰/۳۸  | ۰/۳۶   | ۰/۴۰     | ۰/۴۸    | ۰/۴۵  | ۰/۴۳   | ۰/۳۲     | ۰/۳۶    | ۰/۳۴  | ۰/۳۴   | ۰/۴۳     | ۰/۴۶    | ۰/۴۴  | ۰/۴۴   |
| فرایندهای داخلی | سفرارش گذاری به موقع              | ورودی | ۰/۷۷     | ۰/۸۵    | ۰/۷۹  | ۰/۶۶   | ۰/۷۰     | ۰/۷۶    | ۰/۸۱  | ۰/۷۹   | ۰/۷۵     | ۰/۷۲    | ۰/۸۳  | ۰/۷۴   | ۰/۷۹     | ۰/۷۲    | ۰/۷۶  | ۰/۸۳   |
|                 | متوسط ظرفیت استفاده شده           | ورودی | ۰/۷۵     | ۰/۹۰    | ۰/۸۸  | ۰/۸۰   | ۰/۸۰     | ۱/۱۰    | ۱/۱۰  | ۰/۸۰   | ۰/۸۰     | ۰/۹۴    | ۱     | ۰/۹۵   | ۰/۸۸     | ۰/۹۵    | ۱     | ۰/۹۲   |
|                 | دوره گردش موجودی انبار            | خروجی | ۱۹۸      | ۱۷۵     | ۱۷۰   | ۱۸۵    | ۱۷۴      | ۱۲۱     | ۱۳۲   | ۱۴۵    | ۱۸۴      | ۱۶۲     | ۱۶۷   | ۱۷۵    | ۱۸۴      | ۱۶۰     | ۱۶۶   | ۱۷۰    |
|                 | پوشش برنامه تولید                 | خروجی | ۰/۸      | ۱       | ۱     | ۰/۹    | ۰/۸۵     | ۱       | ۱     | ۰/۹۸   | ۰/۸۳     | ۰/۹۸    | ۱     | ۰/۹۵   | ۰/۸۸     | ۰/۹۵    | ۱     | ۰/۹۲   |
| فروش            | سرانه ویزیت                       | ورودی | ۵۰       | ۷۰      | ۶۷    | ۶۰     | ۴۰       | ۵۵      | ۵۶    | ۵۰     | ۴۴       | ۶۳      | ۶۵    | ۶۰     | ۴۵       | ۷۰      | ۶۸    | ۶۵     |
|                 | تعداد بازارهای صادراتی            | ورودی | ۱        | ۱       | ۲     | ۲      | ۲        | ۲       | ۲     | ۲      | ۲        | ۳       | ۳     | ۳      | ۳        | ۳       | ۴     | ۴      |
|                 | درصد رضایت پزشکان                 | خروجی | ۰/۶۲     | ۰/۶۰    | ۰/۵۸  | ۰/۶۱   | ۰/۶۲     | ۰/۶۵    | ۰/۶۶  | ۰/۶۱   | ۰/۶۴     | ۰/۶۷    | ۰/۶۴  | ۰/۶۶   | ۰/۶۶     | ۰/۶۹    | ۰/۶۸  | ۰/۶۹   |
|                 | نسبت صادرات به کل فروش            | خروجی | ۰        | ۰/۰۴    | ۰/۰۶  | ۰/۰۶   | ۰        | ۰/۰۳    | ۰/۰۵  | ۰/۰۴   | ۰/۰۳     | ۰/۰۶    | ۰/۰۵  | ۰/۰۶   | ۰/۰۳     | ۰/۰۷    | ۰/۰۸  | ۰/۰۶   |
|                 | تحقق به موقع برنامه تامین مواد    | ورودی | ۰/۴۵     | ۰/۵۰    | ۰/۶۵  | ۰/۶۰   | ۰/۹۰     | ۱       | ۱     | ۰/۹۸   | ۰/۹۶     | ۰/۹۶    | ۰/۹۹  | ۰/۹۷   | ۰/۹۷     | ۰/۹۸    | ۰/۹۸  | ۰/۹۷   |
|                 | نسبت اقلام تایید شده به کل اقلام  | ورودی | ۰/۹۷     | ۰/۹۷    | ۰/۹۸  | ۰/۹۸   | ۱        | ۱       | ۱     | ۱      | ۰/۸۹     | ۰/۹۴    | ۰/۹۳  | ۰/۹۰   | ۰/۹۰     | ۰/۹۴    | ۰/۹۳  | ۰/۹۱   |
|                 | متوسط امتیاز ارزیابی تامینکنندگان | خروجی | ۴۴۰      | ۴۵۰     | ۴۵۰   | ۴۶۰    | ۴۵۰      | ۴۶۰     | ۴۶۰   | ۴۴۰    | ۴۷۰      | ۴۶۰     | ۴۷۰   | ۴۷۰    | ۴۶۰      | ۴۶۰     | ۴۵۰   | ۴۷۰    |
|                 | درصد تحقق بودجه تامین             | خروجی | ۰/۸۵     | ۰/۹۵    | ۰/۹۸  | ۰/۹۴   | ۰/۹۰     | ۰/۹۷    | ۰/۹۲  | ۰/۹۸   | ۰/۹۰     | ۰/۸۸    | ۰/۹۴  | ۰/۹۶   | ۰/۸۵     | ۰/۹۲    | ۰/۹۱  | ۰/۹۵   |
| رشد و یادگیری   | سرانه آموزش                       | ورودی | ۸        | ۱۶      | ۱۲    | ۱۲     | ۲۵       | ۳۵      | ۳۲    | ۲۸     | ۲۶       | ۳۶      | ۳۴    | ۲۸     | ۲۸       | ۳۶      | ۳۵    | ۲۹     |
|                 | سرانه پیشنهاد                     | ورودی | ۰/۱۰     | ۰/۱۵    | ۰/۱۳  | ۰/۱۴   | ۰/۲۰     | ۰/۵۰    | ۰/۴۰  | ۰/۵۰   | ۰/۵۰     | ۰/۶۰    | ۰/۵۰  | ۰/۴۰   | ۰/۵۰     | ۰/۶۰    | ۰/۷۰  | ۰/۶۰   |
|                 | درصد اثربخشی آموزش                | خروجی | ۰/۶۸     | ۰/۶۹    | ۰/۷۵  | ۰/۷۲   | ۰/۷۸     | ۰/۸۰    | ۰/۸۴  | ۰/۸۲   | ۰/۸۰     | ۰/۸۰    | ۰/۸۵  | ۰/۸۳   | ۰/۸۱     | ۰/۸۴    | ۰/۸۳  | ۰/۸۰   |
|                 | نرخ بهره وری کارکنان              | خروجی | ۱/۱۳     | ۱/۱۵    | ۱/۱۷  | ۱/۱۵   | ۱/۱۲     | ۱/۱۴    | ۱/۱۵  | ۱/۱۵   | ۱/۱۳     | ۱/۱۶    | ۱/۱۶  | ۱/۱۵   | ۱/۱۵     | ۱/۱۶    | ۱/۱۷  | ۱/۱۶   |

#### ۴-۱ نتایج ارزیابی با الگوریتم شبکه عصبی با لایه‌های مختلف

در این بخش با بررسی شاخص دقت، صحت، فراخوانی و خطای الگوریتم شبکه عصبی به دنبال تعیین شبکه مناسب برای ارزیابی عملکرد شرکت داروسازی ایران دارو می‌باشیم. پیش‌بینی عملکرد شرکت ایران دارو با شبکه عصبی با دو لایه پنهان مشخص می‌کند که میزان دقت الگوریتم برابر با ۹۹/۳۳ درصد و میزان خطای پیش‌بینی برابر با ۰/۶۷ درصد است. به علاوه، میزان فراخوانی و صحت روش پیشنهادی نیز به ترتیب برابر با ۹۹/۶۴ و ۹۹/۳۸ درصد می‌باشد. میزان دقت پیش‌بینی عملکرد شرکت ایران دارو با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی با سه لایه پنهان برابر با ۸۴/۲۷ درصد می‌باشد. میزان خطای پیش‌بینی عملکرد شرکت نیز برابر با ۱۵/۷۳ درصد می‌باشد. نهایتاً میزان فراخوانی و صحت روش پیشنهادی در عملکرد شرکت ایران دارو به ترتیب برابر با ۷۸/۹۶ درصد و ۸۳/۷۵ درصد می‌باشد. از سوی دیگر، میزان دقت پیش‌بینی عملکرد شرکت ایران دارو با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی با چهار لایه پنهان برابر با ۳۸/۳۳ درصد و به تبع آن میزان خطای پیش‌بینی برابر با ۶۱/۶۷ درصد است. میزان فراخوانی و صحت روش پیشنهادی نیز به ترتیب برابر با ۴۲/۰۲ درصد و ۳۹/۵۰ درصد می‌باشد. به علاوه، در شکل ۳ میزان دقت، صحت، فراخوانی و خطای ارزیابی عملکرد شرکت ایران دارو با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی با پنج، ده، پانزده و بیست لایه پنهان نشان داده شده است.



شکل ۳. مقایسه میزان دقت، فراخوانی، صحت و خطای شبکه عصبی با تعداد لایه‌های مختلف

همان‌طور که از شکل بالا مشاهده می‌شود، میزان دقت، صحت، فراخوانی و خطای شبکه عصبی با تعداد ۲ لایه در بهترین حالت قرار داشته و سایر لایه‌ها علیرغم اینکه روند روبه کاهشی داشتند در یک بازه به تعداد یک‌نواختی رسیده و افزایش تعداد لایه‌های پنهان تاثیری در خروجی‌ها ندارد. بنابراین، تعداد ۲ لایه به عنوان تعداد لایه‌های پایه در نظر گرفته شده و در ادامه نتایج با شبکه عصبی با تعداد دو لایه مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در

ادامه نیز سایر الگوریتم‌ها همچون درخت تصمیم، بیز ساده، ماشین بردار پشتیبان، K نزدیک‌ترین همسایه و غیره بر روی مجموعه داده‌ها شرکت ایران دارو اعمال شده و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### ۴-۲ نتایج ارزیابی با سایر الگوریتم‌ها

بر اساس الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایه، میزان دقت، صحت، فراخوانی و خطای ارزیابی عملکرد شرکت ایران دارو محاسبه شده است. میزان دقت این الگوریتم که از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی عملکرد آن است برابر با ۹۹/۸۶ درصد می‌باشد. به علاوه، میزان خطای پیش‌بینی عملکرد شرکت ایران دارو برابر با ۲/۱۴ درصد، میزان فراخوانی برابر ۹۳/۹۳ درصد و در نهایت میزان صحت آن برابر با ۹۳/۵۰ درصد می‌باشد.

نتایج ارزیابی با الگوریتم بیز ساده نیز نشان می‌دهد که میزان دقت این الگوریتم برابر ۸۷/۸۲ درصد می‌باشد که در مقایسه با الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایه از عملکرد پایین‌تری برخوردار است. شاخص خطای پیش‌بینی این الگوریتم نیز برابر ۱۲/۱۸ درصد است که نسبت به الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایه از عملکرد پایین‌تری برخوردار است. شاخص‌های فراخوانی و صحت روش بیز ساده نیز به ترتیب برابر با ۸۱/۰۷ و ۷۵/۴۶ درصد است که نسبت به شاخص‌های الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایه، در وضعیت ضعیف‌تری است. نتایج ارزیابی با الگوریتم درخت تصمیم نیز در قالب شاخص‌های دقت، صحت، فراخوانی و خطای روش درخت تصمیم در ارزیابی عملکرد شرکت ایران دارو نشان‌دهنده دقت پایین (۸۵/۱۸ درصد)، خطای بالا (۱۴/۸۲ درصد)، فراخوانی متوسط (۸۱/۲۲ درصد) و صحت متوسط (۸۰/۰۰ درصد) این الگوریتم می‌باشد. ارزیابی داده‌ها با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان<sup>۱</sup> نیز نشان می‌دهد که میزان دقت پیش‌بینی عملکرد شرکت ایران دارو توسط این الگوریتم، پایین (۸۵/۲۵ درصد)، خطای پیش‌بینی، بالا (۱۴/۷۵ درصد)، میزان فراخوانی، پایین (۷۳/۹۳) و نهایتاً میزان صحت روش پیشنهادی پایین (۶۶/۲۹ درصد) می‌باشد. نتایج ارزیابی عملکرد با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌ها در جدول ۴ قابل مشاهده است.

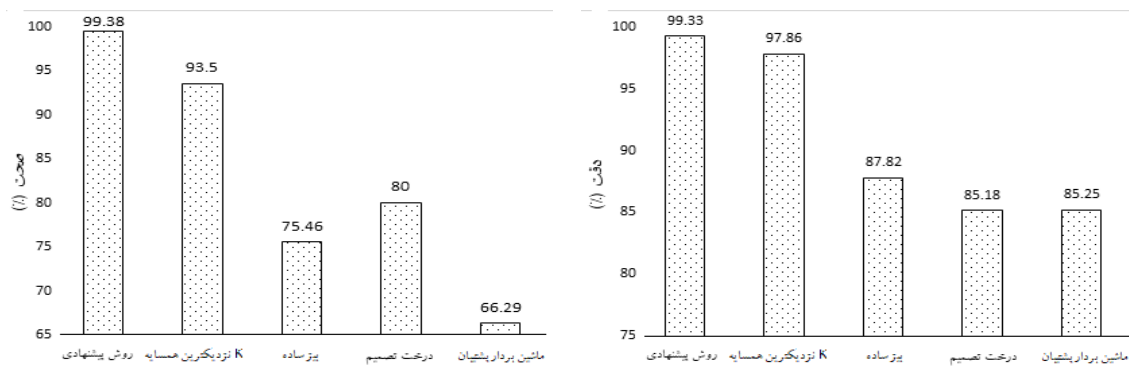
جدول ۴. مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها

| شاخص     | ماشین بردار پشتیبان | درخت تصمیم | بیز ساده | K نزدیک‌ترین همسایه | روش پیشنهادی |
|----------|---------------------|------------|----------|---------------------|--------------|
| دقت      | ۸۵/۲۵               | ۸۵/۱۸      | ۸۷/۸۲    | ۹۷/۸۶               | ۹۹/۳۳        |
| خطا      | ۱۴/۷۵               | ۱۴/۸۲      | ۱۲/۱۸    | ۲/۱۴                | ۰/۶۷         |
| فراخوانی | ۷۳/۹۳               | ۸۱/۲۲      | ۸۱/۰۷    | ۹۳/۹۳               | ۹۹/۶۴        |
| صحت      | ۶۶/۲۹               | ۸۰/۰۰      | ۷۵/۴۶    | ۹۳/۵۰               | ۹۹/۳۸        |

با توجه به نتایج ارائه شده، الگوریتم پیشنهاد شده در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها از دقت، صحت و فراخوانی بیشتر و خطای کمتری برخوردار است. در ادامه به مقایسه نتایج روش پیشنهادی که ترکیبی از تحلیل پوششی

<sup>1</sup> Support Vector Machine

داده‌ها و شبکه عصبی می‌باشد، پرداخته می‌شود. در شکل ۴ میزان دقت روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها به منظور ارزیابی میزان عملکرد شرکت ایران دارو نشان داده شده است.



شکل ۴. مقایسه میزان دقت و صحت روش پیشنهادی با سایر روش‌ها

با توجه به داده‌های شکل ۴ میزان دقت روش پیشنهادی به منظور ارزیابی میزان عملکرد شرکت ایران دارو برابر با ۹۹/۳۳ درصد می‌باشد. میزان دقت الگوریتم K نزدیکترین همسایه برابر با ۹۷/۸۶ درصد، الگوریتم بیز ساده برابر با ۸۷/۸۲ درصد، روش درخت تصمیم برابر با ۸۵/۱۸ درصد و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برابر با ۸۵/۲۵ درصد می‌باشد. از این رو میزان دقت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های K نزدیکترین همسایه، بیز ساده، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۱/۴۷٪ و ۱۱/۵۱٪ و ۱۴/۱۵٪ و ۱۴/۰۸٪ بهتر است. به علاوه، میزان صحت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های K نزدیکترین همسایه، بیز ساده، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۵/۸۸٪ و ۲۳/۷۴٪ و ۱۹/۳۸٪ و ۳۳/۰۹٪ بهبود داشته است. از سوی دیگر، نتایج بیانگر آن است که میزان فراخوانی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های K نزدیکترین همسایه، بیز ساده، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۵/۷۱٪ و ۱۸/۵۷٪ و ۱۸/۴۲٪ و ۲۵/۷۱٪ بهبود داشته است. نهایتاً، میزان خطای روش پیشنهادی نسبت به روش‌های K نزدیکترین همسایه، بیز ساده، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان به ترتیب ۱/۴۷٪ و ۱۱/۵۱٪ و ۱۴/۱۵٪ و ۱۴/۰۸٪ بهبود داشته است. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان از روش شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها در بسیاری از کاربردها به منظور ارزیابی میزان عملکرد استفاده نمود.

## ۵ نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش با استفاده از داده‌های استخراج شده از کارت‌های متوازن تهیه شده در شرکت ایران دارو طی سال‌های ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۶ با رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی به بررسی عملکرد شرکت پرداخته شد. به این ترتیب که پس از شناسایی شاخص‌های ارزیابی عملکرد سازمانی در چهار منظر مالی، مشتری، فرایندهای داخلی و رشد و یادگیری، این شاخص‌ها مورد ارزیابی خبرگان شرکت ایران دارو قرار گرفتند تا شاخص‌های نهایی ارزیابی عملکرد مشخص گردند. سپس داده‌های مربوط به عملکرد شرکت سال‌های ۱۳۹۳ الی

۱۳۹۶ (هرسال؛ چهار فصل) جمع‌آوری گردیدند و مبنای محاسبه کارایی توسط مدل CCR خروجی محور قرار گرفتند. سپس با استفاده از نظر خبرگان زیر واحدهایی جهت آموزش انتخاب شده و با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری محاسبه گردید. با توجه به این که الگوریتم‌های یادگیری ماشین، دو نوع داده آزمایشی و آموزشی را دریافت می‌کنند، در این پژوهش از ۸۰٪ از داده‌ها جهت آموزش مدل‌های مربوط به الگوریتم‌های یادگیری ماشین و از ۲۰٪ باقیمانده برای ارزیابی نتایج الگوریتم‌ها استفاده گردید. در نهایت نیز الگوریتم شبکه عصبی به بخش آموزش اضافه شد و ورودی این بخش به ورودی الگوریتم شبکه عصبی و خروجی بخش آموزش به خروجی الگوریتم شبکه عصبی متصل گردید. در پایان، نتایج ارزیابی با الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی در لایه‌های مختلف محاسبه شده و نتایج حاصل از شبکه با مناسب‌ترین تعداد لایه‌ها بر اساس شاخص‌های دقت، صحت، فراخوانی و خطا برای ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج استفاده شده است. علاوه بر معیارهای فوق، معیارهای میانگین مجذور خطا<sup>۱</sup> و خطای واقعی<sup>۲</sup> نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

برای اطمینان از اعتبار مدل روش به کار رفته، از الگوریتم‌های شناخته شده K نزدیک‌ترین همسایه، بیز ساده، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان برای محاسبه عملکرد استفاده شده و عملکرد روش پیشنهادی با توجه به شاخص‌های دقت، فراخوانی، خطا و صحت با این روش‌ها مقایسه گردیده است. یافته‌های پژوهش نشان داد که میزان دقت پیش‌بینی عملکرد شرکت ایران دارو که یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی است بر اساس مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌ها برابر با ۹۹/۳۳ درصد می‌باشد. میزان خطای پیش‌بینی، فراخوانی و صحت روش پیشنهادی در زمینه ارزیابی عملکرد شرکت ایران دارو نیز به ترتیب برابر با ۰/۶۷، ۹۹/۶۴ و ۹۹/۳۸ درصد می‌باشند. این شاخص‌ها در مقایسه با شاخص‌های به‌دست آمده از الگوریتم‌های K نزدیک‌ترین همسایه، بیز ساده، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان مناسب‌تر می‌باشند که تاییدکننده کارایی بالای روش ارائه شده در حل مسایل ارزیابی عملکرد است.

در راستای انجام پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی از شبکه‌های محاسبه‌کننده کارایی خود سازمان‌دهنده استفاده شود و به‌طور مستقل از DEA، کارایی واحدها تحلیل گردد. به‌علاوه، پیشنهاد می‌گردد که برای محاسبه وزن شاخص‌ها، با توجه به نظر خبرگان به اعمال محدودیت‌های وزنی پرداخته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که با توجه به ماهیت فازی برخی از شاخص‌های ارزیابی کارت امتیازی متوازن، از سیستم استنتاج عصبی- فازی سازگار<sup>۳</sup>، بهینه‌سازی فازی [۱۵، ۱۶، ۱۷]، بهینه‌سازی استوار [۲۰، ۴۷، ۴۸] و برنامه‌ریزی بازه‌ای [۱۳، ۱۴، ۴۹] برای ارزیابی عملکرد استفاده شود.

## منابع

- [1] Coelli, T. (1995). Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 39 (3), 219-245.

<sup>1</sup> RMSE

<sup>2</sup> MAE

<sup>3</sup> Adaptive Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS)

- [2] Sharma, K. R., Leung, R. S., Zaleski, H. M. (1999). Technical, allocative and economic efficiencies in swine production in Hawaii: a comparison of parametric and nonparametric approaches. *Agricultural Economics*, 20, 23-35.
- [3] Homayounfar, M., Amirteimoori, A. (2016). Network Production Planning Considering Undesirable Outputs- A Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach. *Journal of Operational Research and Its Applications*, 13 (1), 121-141.
- [4] Mannino, M., Hong, S. N., Choi, I. J. (2008). Efficiency evaluation of data warehouse operations. *Decision Support Systems*, 44, 883-898.
- [5] Liu, S. T. (2008). A fuzzy DEA/AR approach to the selection of flexible manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 66-79.
- [6] Camanho, A. S., Dyson, R. G. (2005). Cost Efficiency Measurement with Price Uncertainty: A DEA Application to Bank Branch Assessments. *European Journal of Operational Research*, 161 (2), 432-446.
- [7] Edirisinghe, N. C. P., Zhang, X. (2007). Generalized DEA model of fundamental analysis and its application to portfolio optimization. *Journal of Banking & Finance*, 31, 3311-3335.
- [8] Johnes, J. (2006). Measuring Teaching Efficiency in Higher Education: An Application of Data Envelopment Analysis to Economics Graduates from UK Universities. *European Journal of Operational Research*, 174, 443-456.
- [9] Ertay, T., Ruan, D., Tuzkaya, U. R., (2006). Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Sciences*, 176, 237-262.
- [10] Shafer, S. M., Byrd, T. A. (2000). A framework for measuring the efficiency of organizational investments in information technology using data envelopment analysis. *Omega*, 28, 125-141.
- [11] Homayounfar, M., Amirteimoori, A. R., Toloie-Eshlaghy, A. (2014). Production planning considering undesirable outputs-A DEA. *International Journal of Applied Operational Research*, 4 (3), 1-11.
- [12] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E.L. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operations Research*, 2, 429-444.
- [13] Hosseinzade Lotfi, F., Navabakhs, M., Tehranian, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., Shahverdi, R. (2007). Ranking bank branches with interval data—the application of DEA. *International Mathematical Forum*, 2(9), 429-440.
- [14] Hosseinzade Lotfi, F., Jahanshahloo, G.R., Shahverdi, R., Rostamy-Malkhalifeh, M. (2007). Cost efficiency and cost Malmquist productivity index with interval data. *International Mathematical Forum*, 2(9), 441-453.
- [15] Peykani, P., Mohammadi, E., Emrouznejad, A., Pishvae, M.S., Rostamy-Malkhalifeh, M. (2019). Fuzzy data envelopment analysis: an adjustable approach. *Expert Systems with Applications*, 136, 439-452.
- [16] Peykani, P., Mohammadi, E., Pishvae, M.S., Rostamy-Malkhalifeh, M., Jabarzade, A. (2018). A novel fuzzy data envelopment analysis based on robust possibilistic programming: possibility, necessity and credibility-based approaches. *RAIRO-Operations Research*, 52(4-5), 1445-1463.
- [17] Peykani, P., Seyed Esmaeili, F.S., Rostamy-Malkhalifeh, M., Hosseinzade Lotfi, F. (2018). Measuring Productivity Changes of Hospitals in Tehran: The Fuzzy Malmquist Productivity Index. *International Journal of Hospital Research*, 7(3), 1-17.
- [18] Hatami-Marbini, A., Emrouznejad, A., Tavana, M. (2011). A taxonomy and review of the fuzzy data envelopment analysis literature: Two decades in the making. *European Journal of Operational Research*, 214, 457-472.
- [19] Olesen, O.B., Petersen, N.C. (2016). Stochastic Data Envelopment Analysis—A review. *European Journal of Operational Research*, 251(1), 2-21.
- [20] Peykani, P., Mohammadi, E., Farzipoor Saen, R., Sadjadi, S.J., Rostamy-Malkhalifeh, M. (2020). Data envelopment analysis and robust optimization: a review. *Expert Systems*, 37(4), e12534.
- [21] Bauer, P. W. (1990). Recent developments in the econometric of frontiers. *Journal of Econometrics*, 46, 39-56.
- [22] Wang, H. (2003). Adaptive Non-Parametric Efficiency Frontier Analysis: A Neural-Network-Based Model. *Computers & Operations Research*, 30 (2), 2003, 279-296.
- [23] Mehregan, M., Farasat, A., Kamyab Moghaddas, A., (2006). Technical efficiency analysis of the country's oil refineries using a combined model of neural networks and data envelopment analysis (Neuro-DEA). *Journal of Humanities and Social Sciences*, 23, 105-128.

- [ 24] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The Balanced Scorecard- Measures That Drive Performance. *Harvard Business Review*, 71-79.
- [25] Nazemi, A., Abbasi, B., Omid, F. (2015). Solving portfolio selection models with uncertain returns using an artificial neural network scheme. *Applied Intelligence*, 42 (4), 609-621.
- [26] Leong, L. Y., Hew, T. S., Lee, V. H., Ooi, K. B. (2015). An SEM-artificial-neural-network analysis of the relationships between SERVPERF, customer satisfaction and loyalty among low-cost and full-service airline. *Expert Systems with Applications*, 42 (19), 6620-6634.
- [27] Athanassopoulos, A. D., Curram, S. P. (1996). A Comparison of Data Envelopment Analysis and Artificial Neural Networks as Tools for Assessing the Efficiency of Decision Making Units. *Journal of the Operational Research Society*, 47 (8), 100-1016.
- [28] Azadeh, A., Sheikhalishahi, M., Asadzadeh, S.M. (2011a). A flexible neural network-fuzzy data envelopment analysis approach for location optimization of solar plants with uncertainty and complexity. *Renewable Energy*, 36 (12), 3394-3401.
- [29] Olanrewaju, O. A., Jimoh, A., Kholopane, P. A. (2012). Integrated IDA-ANN-DEA for assessment and optimization of energy consumption in industrial sectors. *Energy*, 46 (1), 629-635.
- [30] 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 (3), 1364-1373.
- [31] Kheirkhah, A. Azadeh, M. Saberi, A. Azaron, H. Shakouri. (2013). Improved estimation of electricity demand function by using of artificial neural network, principal component analysis and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 64 (1), 425-441.
- [32] Kwon, H. B. (2014). Performance modeling of mobile phone providers: a DEA-ANN combined approach. *Benchmarking: An International Journal*, 21 (6), 1120-1144.
- [33] Saeidi, S., Jouybanpour, P., Mirvakilli, A., Iranshahi, D., Jaromír Klemeš, J. (2016). A comparative study between Modified Data Envelopment Analysis and Response Surface Methodology for optimisation of heterogeneous biodiesel production from waste cooking palm oil. *Journal of Cleaner Production*, 136(10), 23-30.
- [34] Misiunas, N., Oztekin, A., Chen, Y., Chandra, K. (2016). DEANN: A healthcare analytic methodology of data envelopment analysis and artificial neural networks for the prediction of organ recipient functional status, *Omega*, 58, 46-54.
- [35] Bashiri, M., Farshbaf-Geranmayeh, A., Mogouie, H. (2013). A neuro-data envelopment analysis approach for optimization of uncorrelated multiple response problems with smaller the better type controllable factors. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 9 (1), 1-10.
- [36] Azadeh, A., Zarrin, M. (2016). An intelligent framework for productivity assessment and analysis of human resource from resilience engineering, safarimotivational factors, HSE and ergonomics perspectives. *Safety Science*, 55-71.
- [37] Ajalli, M., Safari, H. (2011). Analysis of the Technical Efficiency of the Decision Making Units Making Use of the Synthetic Model of Performance Predictor Neural Networks, and Data Envelopment Analysis (Case Study: Gas National Co. Of Iran). *Journal of Advances in Industrial Engineering*, 45 (1), 13-29.
- [38] Shafiei Nikabadi, M., Shahroodi, K., Oveysiomran, A., Khosravi, M. (2018). Inputs and Outputs Selection of Data Envelopment Analysis to Evaluate the Performance of Regional Electricity Companies in Iran by Neural Network. *Industrial Management Studies*, 16 (51), 181-206.
- [39] Geng, ZH., Zhang, Y., fei Li, CH., Han, Y., Yu, B. (2020). Energy optimization and prediction modeling of petrochemical industries: An improved convolutional neural network based on cross-feature. *Energy*, 1941, 116851.
- [40] Homayounfar, M., Amirteimoori, A. (2019). Balanced evaluation of suppliers performance by applying a hybrid DEMATEL-DEA approach in presence of undesirable factors. *Journal of New Researches in Mathematics*, 5 (18), 31-48.
- [41] Azadeh, A., Yazdanparast, R., Abdolhossein Zadeh, S., Esmail Zadeh, A. (2017). Performance optimization of integrated resilience engineering and lean production principles. *Expert Systems with Applications*, 8430, 155-170.
- [42] Shabanpour, H., Yousefi, S., Farzipoor Saen, R. (2017). Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1098-1105.
- [43] Vrontzos, G., Pardalos, P. M. (2017). Assess and prognosticate green house gas emissions from agricultural production of EU countries, by implementing, DEA Window analysis and artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 155-162.

- [44] Kwon, H. (2017). Exploring the predictive potential of artificial neural networks in conjunction with DEA in railroad performance modeling. *International Journal of Production Economics*, 183, 159-170.
- [45] Azadeh, M., Pourebrahim Ahvazi, S., Motevali Haghighi. (2018). An intelligent algorithm for determination and optimization of productivity factors in upstream oil projects. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 167, 375-395.
- [46] Jahangoshai Rezaee, M., Jozmaleki, M., Valipour, M. (2018). Integrating dynamic fuzzy C-means, data envelopment analysis and artificial neural network to online prediction performance of companies in stock exchange. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 4891, 78-93.
- [47] Peykani, P., Mohammadi, E., Jabarzade, A., Jandaghiyan, A. (2016). Utilizing robust data envelopment analysis model for measuring efficiency of stock, a case study: Tehran stock exchange. *Journal of New Research in Mathematics*. 1(4), 15-24.
- [48] Peykani, P., Mohammadi, E., Seyed Esmaeili, F.S. (2019). Stock evaluation under mixed uncertainties using robust DEA model. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*, 4(1), 73-84.
- [49] Peykani, P., Mohammadi, E. (2018). Interval network data envelopment analysis model for classification of investment companies in the presence of uncertain data. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 11 (Special issue: 14<sup>th</sup> International Industrial Engineering Conference), 63-72.