Journal of Information and Communication Technology

Volume 17, Issue 66-67, Autumn and Winter 2025, pp. 128-148

Modeling the Future Efficiency of the Green Supply Chain of the Poultry Farming Industry Using Multistage DEA and Artificial Neural Networks

Tahere Torkashvand[1], Fatemeh Saghafi[2], Mohamadhossein DarvishMotevalli[3*]

[1] Department of Information Technology Management, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

[2] Department of System Management and Decision Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

[3] Department of Industrial Management, WT. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 28 April 2025, Revised: 12 November 2025, Accepted: 30 January 2026

Paper type: Research

Abstract

Traditional DEA and multi-stage DEA models cannot predict future performance. In other words, all DEA and multi-stage DEA models evaluate units based on past performance. This paper seeks to move from previous monitoring models to a future planning approach that includes new contributions. In this study, artificial neural networks (ANN) are combined with multi-stage DEA to predict the future performance of 9 green supply chains of the poultry industry in Tehran province. For this purpose, first, after identifying the indicators affecting the green supply chain by combining the fuzzy Delphi method and the BWM method, 8 input indicators and 8 output indicators were identified. In this study, the fuzzy Delphi method was used to integrate the opinions of the experts. Triangular fuzzy numbers were used to convert linguistic opinions into numerical values. The process of combining views was based on the geometric mean of the fuzzy values. In the model design, data uncertainty was considered using a fuzzy approach in the process of identifying indicators and data envelopment analysis. After collecting information from the studied chains using an artificial neural network, the data was predicted for 5 years. In order to ensure the stability of the model, a sensitivity analysis was performed based on the change in the number of neurons and different activation functions in the neural network, the results of which showed that the network with 10 neurons in the hidden layer had the best performance and the mean square error (MSE) was 3.24×10^{-6}. Then, the predicted data from the artificial neural network was used in multi-stage data envelopment analysis. Multi-stage DEA evaluates the efficiency of the green poultry supply chain in the past, present, and future periods simultaneously. These results are useful for policy-making and efficiency performance trend analysis.

Keywords: Artificial neural network, multi-stage data envelopment analysis, green supply chain of poultry farming industry.

* Corresponding Author's email: Mhd.darvish@iau.ac.ir

دوفصلنامه
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال هفدهم، شماره‌های ۶۶ و ۶۷، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحه ۱۲۸ الی ۱۴۸

مدل‌سازی کارایی آینده زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور با استفاده از DEA چندمرحله‌ای و شبکه‌های عصبی مصنوعی

طاهره ترکاشوند[۱]، فاطمه ثقفی[۲]، محمدحسین درویش متولی[۳]*

[۱] گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

[۲] گروه مدیریت سیستم و علوم تصمیم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[۳] گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ تاریخ بازبینی: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تحلیل پوششی داده‌های چندمرحله‌ای نمی‌توانند کارایی آینده را پیش‌بینی کنند. به عبارت دیگر، همه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل پوششی داده‌های چندمرحله‌ای بر اساس عملکرد گذشته، واحدها را ارزیابی می‌کنند. این مقاله به دنبال انتقال از مدل‌های نظارتی قبلی به رویکرد برنامه‌ریزی آینده است که شامل مشارکت‌های جدید است. در این پژوهش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) با DEA چند مرحله‌ای ترکیب می‌شود تا کارایی آینده ۹ زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور را در استان تهران پیش‌بینی کند. برای این منظور، ابتدا پس از شناسایی شاخص‌های تاثیر گذار بر روی زنجیره تامین سبز با تلفیق روش دلفی فازی و روش BWM، ۸ شاخص ورودی و ۸ شاخص خروجی شناسایی شد در این پژوهش به‌منظور تلفیق نظرات خبرگان از روش دلفی فازی استفاده گردید. برای تبدیل نظرات زبانی به مقادیر عددی از اعداد فازی مثلثی استفاده شد. فرایند تجمیع دیدگاه‌ها بر اساس میانگین هندسی مقادیر فازی صورت گرفت. در طراحی مدل، عدم قطعیت داده‌ها با استفاده از رویکرد فازی در فرآیند شناسایی شاخص‌ها و تحلیل پوششی داده‌ها لحاظ گردید و پس از جمع آوری اطلاعات زنجیره‌های مورد مطالعه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، داده‌ها برای ۵ سال پیش‌بینی شد. به‌منظور اطمینان از پایداری مدل، تحلیل حساسیت بر اساس تغییر تعداد نورون‌ها و توابع فعال‌سازی مختلف در شبکه عصبی انجام شد که نتایج آن نشان داد که شبکه با ۱۰ نورون در لایه پنهان بهترین عملکرد را داشته و مقدار خطای میانگین مربعات (MSE) برابر با $۳,۲۴\times۱۰^{-۶}$ است. سپس از داده‌های پیش‌بینی شده حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل پوششی داده‌های چند مرحله‌ای استفاده شد. DEA چندمرحله‌ای کارایی زنجیره تامین سبز طیور را در دوره‌های گذشته، حال و آینده به طور همزمان ارزیابی می‌کند. این نتایج برای سیاست گذاری تحلیل روند عملکرد کارایی مفید است.

کلیدواژگان: شبکه عصبی مصنوعی، تحلیل پوششی داده‌های چند مرحله‌ای، زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور.

* رایانامهٔ نویسنده مسؤول: Mhd.darvish@iau.ac.ir

۱- مقدمه

صنعت پروش طیور به عنوان یکی از ارکان اساسی تولید پروتئین و تأمین امنیت غذایی در ایران، نقش کلیدی در اشتغال‌زایی و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. زنجیره تأمین مؤثر می‌تواند به کاهش نوسانات قیمت و افزایش دسترسی به محصولات طیور کمک کند، که این امر به نوبه خود بر امنیت غذایی جامعه تأثیرگذار است با یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین، می‌توان هزینه‌های تولید را کاهش داد و بهره‌وری را افزایش داد. این امر به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا بتوانند محصولات با کیفیت‌تری را با قیمت مناسب‌تری به بازار عرضه کنند. مدیریت بهینه زنجیره تأمین موجب می‌شود که تولیدکنندگان بتوانند در بازارهای داخلی و خارجی رقابت کنند[1]. این مسئله به ویژه در شرایطی که تولیدکنندگان سنتی در حال حذف از بازار هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.تمرکز بر زنجیره تأمین پایدار نه تنها به حفظ محیط زیست کمک می‌کند، بلکه موجب افزایش ارزش افزوده در صنعت طیور نیز می‌شود. این موضوع به ویژه در راستای سیاست‌های کلان کشور برای کاهش فقر و ایجاد اشتغال در مناطق روستایی اهمیت دارد . با وجود مزایای متعدد، صنعت طیور در ایران با چالش‌های زیادی مواجه است. عدم یکپارچگی زنجیره، نوسانات قیمت نهاده‌ها، و مشکلات ساختاری از جمله این چالش‌ها هستند که نیازمند توجه جدی می‌باشند. تحقیقات در زمینه زنجیره تأمین می‌تواند به شناسایی نقاط قوت و ضعف موجود کمک کند و راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد این زنجیره ارائه دهد. همچنین، توسعه مدل‌های منبع‌یابی مناسب می‌تواند به شناسایی تأمین‌کنندگان کارآمد و کاهش ریسک‌های موجود کمک کند[2] .

زنجیره تأمین سبز به عنوان یک رویکرد نوین در مدیریت زنجیره تأمین، به دنبال کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و بهبود کارایی اقتصادی است. این رویکرد شامل تمام مراحل زنجیره تأمین از تأمین مواد اولیه تا توزیع محصولات نهایی می‌شود و هدف آن دستیابی به پایداری در عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی است[3] از طرفی با توجه به افزایش رقابت جهانی، بخش‌های مختلف جامعه در تلاش هستند تا کارایی خود را به حداکثر برسانند. برای انجام این کار، هر بخش باید عملکرد خود را از طریق یک معیار عملکرد مناسب نظارت کند . مدل‌های DEA به عنوان ابزاری برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها می‌توانند به شناسایی نقاط قوت و ضعف در عملکرد زنجیره تأمین کمک کنند و با استفاده از داده‌های چندمرحله‌ای، پیچیدگی‌های موجود در زنجیره تأمین را بهتر تحلیل کنند[4].

از سویی شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) به عنوان یک ابزار پیشرفته برای پیش‌بینی و مدل‌سازی رفتار سیستم‌ها شناخته می‌شوند. در ترکیب با DEA، ANN می‌تواند به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف در زنجیره تأمین سبز کمک کند. این ترکیب، امکان شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی را فراهم می‌آورد که ممکن است در داده‌های زنجیره تأمین وجود داشته باشد[5] .

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌های هوشمندی‌اند که براساس خصوصیات نورونهای بیولوژیکی و ارتباطات بین آنها طراحی شده‌اند. هرچند که مدل‌های مصنوعی طراحی شده بسیار ساده‌تر از ساختار بیولوژیکی‌اند، اما قابلیت‌ها و توانمندی‌های آنها بسیار زیاد است؛ به عبارت دیگر شبکه‌های عصبی ساختار منحصر به فردی را برای حل مسائلی که به روش‌های معمول به سختی امکان حل آنهاست ارائه می‌دهند[6] .

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های قبلی و حتی فعلی (DEA) به شدت به داده‌های تاریخی (عملکرد گذشته) وابسته هستند و کارایی آینده نگر واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) را ارزیابی نمی‌کنند. با توجه به این مباحث، هدف از مقاله بررسی کارایی آینده زنجیره تأمین سبز در صنعت پرورش طیور با استفاده از DEA چندمرحله‌ای و شبکه‌های عصبی مصنوعی است. این تحقیق می‌تواند به مدیران کمک کند تا تصمیمات بهتری در راستای پایداری و کارایی اقتصادی اتخاذ کنند.

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی کارایی زنجیره تأمین، امکان پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها و شناسایی الگوهای پیچیده را فراهم می‌آورد. این فناوری می‌تواند به تحلیل داده‌ها و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف کمک کند، که در نهایت منجر به تصمیم‌گیری‌های بهتری در زمینه مدیریت زنجیره تأمین سبز می‌شود [7][8].

مدل‌سازی کارایی آینده زنجیره تأمین سبز در صنعت پرورش طیور به عنوان یک حوزه تحقیقاتی نوین، در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با توجه به افزایش نگرانی‌ها در مورد پایداری محیطی و تأثیرات منفی تولیدات صنعتی، بهینه‌سازی زنجیره تأمین با رویکرد سبز اهمیت زیادی پیدا کرده است[6]. با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات ارگانیک و پایدار، نیاز به بهینه‌سازی زنجیره تأمین برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش کارایی اقتصادی احساس می‌شود [9].

۲- مرور ادبیات

۲-۱- مدیریت زنجیره تامین سبز

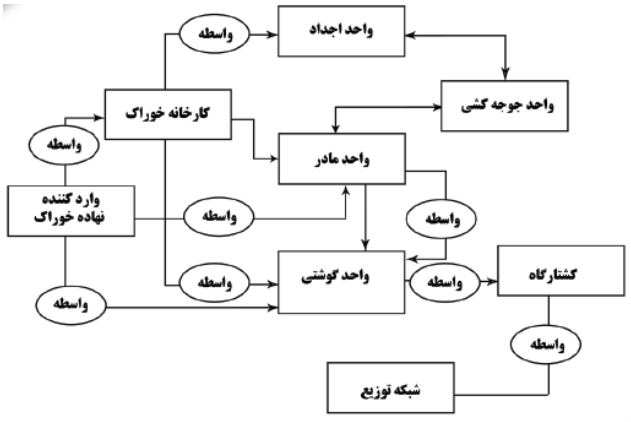
زنجیره تامین فرآیندی است که از مدیریت مواد خام شروع می‌شود تا مصرف کننده نهایی با تامین کننده مربوطه، خرده فروشان، سایر طرف‌هایی که خدمات را به مشتری ارائه می‌کنند و نقاط مختلف مصرف شروع می‌شود. اساساً، زنجیره تأمین ترکیبی از احزاب و فرآیندهای مختلف از جمله تولید، و فرآیندهای عقب و جلو در یک شرکت است. بار دیگر، زنجیره تامین شامل هر مرحله به سمت تولید و توزیع محصول نهایی، بر روی یا بعد از تامین کننده تامین کننده به مشتری مشتری است . علاوه بر این، زنجیره تامین فرآیند برنامه‌ریزی مناسب، منبع یابی، ساخت و تحویل را دنبال می‌کند که وضعیت عرضه-تقاضا، تامین مواد اولیه، سیستم تولید، انبارداری و موجودی، مدیریت سفارش و عنوان توزیع به مصرف‌کنندگان را مدیریت می‌کند. علاوه بر این، زنجیره تامین را به عنوان یک جزء تجاری متعارف برای هماهنگی سیستمی، استراتژیک و تاکتیکی با سایر عملکردها برجسته کرد. مدیریت زنجیره تامین تمام این فعالیت‌ها را مدیریت و در یک فرآیند یکپارچه ترکیب می‌کند[۱۰].

مدیریت زنجیره تامین سبز به عنوان مدیریت مواد اولیه، اجزا، عناصر و روندها از تأمین‌کنندگان تا تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان مصرف کننده برای کاهش اثرات زیست محیطی تعریف شده است. مدیریت زنجیره تامین سبز می‌تواند به سازمان‌ها در تجارت خود کمک کند تا مزایا و سودهای رقابتی را در محیط زنجیره تأمین با ریسک بالا افزایش دهند[۱۱].

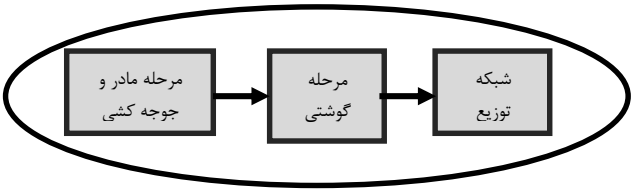
کشاورزی مدرن اکنون ۶۰۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان را از طریق برکات علم و فناوری تغذیه می‌کند در عین حال، یک زنجیره تامین کارآمد به یک صنعت کمک می‌کند تا به موقع به مشتریان خود خدمات‌رسانی کند. به عنوان مثال، تولید جهانی گوشت حیوانات در چند دهه گذشته دو برابر شده است، عمدتاً به دلیل عملکرد بهتر ناشی از مدیریت موثر زنجیره تأمین و فناوری‌های برتر همراه با خوراک مصنوعی زنجیره تامین پایداری در حال تبدیل شدن به کانون اصلی صنعت طیور در سرتاسر جهان است، زیرا منابع، از جمله مواد خام، در تامین تقاضای رو به نوآوری نظری این پژوهش در توسعه یک رویکرد ترکیبی آینده‌نگر است که در آن مدل DEA چندمرحله‌ای به‌کمک شبکه عصبی مصنوعی به قابلیت پیش‌بینی مجهز می‌شود. برخلاف مطالعات پیشین که DEA را صرفاً برای ارزیابی کارایی تاریخی به کار برده‌اند، در این پژوهش ANN برای برآورد داده‌های آینده استفاده شده تا مسیر عملکرد آتی زنجیره‌ها شبیه‌سازی گردد. انتخاب ANN به‌دلیل توانایی آن در مدل‌سازی روابط غیرخطی و یادگیری الگوهای پیچیده میان شاخص‌های سبز زنجیره تأمین صورت گرفته است. این ویژگی موجب می‌شود که مدل پیشنهادی، نسبت به تغییرات داده‌های واقعی و شرایط محیطی حساسیت بالاتری داشته و از دقت پیش‌بینی بیشتری برخوردار باشد.

رشد محدود و گران می‌شوند. برای طراحی یک صنعت مرغداری پایدار، یک شبکه زنجیره تامین موثر برای حفظ تقاضا و عرضه بهینه مورد نیاز است. در واقع، زنجیره تامین طیور فرآیند پیچیده‌ای است که شامل تعدادی از طرفین مانند تامین‌کنندگان، کشاورزان، توزیع‌کنندگان، نمایندگان، نمایندگی‌های فرعی، پردازشگرهای گوشت و غیره است.[12]. پیچیدگی زنجیره تامین طیور به زمینه (موقعیت)، مهارت‌ها، حفظ فرآیند ایمنی، کنترل کیفیت و قابلیت‌های مالی برای سرمایه گذاری بستگی دارد[13] شکل ۱ ساختار عمومی تولید گوشت مرغ در ایران را نشان می‌دهد.

با توجه به لزوم افزایش بهره‌وری و نیز حذف واسطه‌ها، یکی از راهکارهای اساسی ایجاد برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه با هدف کاهش نوسانات قیمت نهاده‌ها و محصول و نیز کنترل بهتر پرورش از طریق راه‌اندازی سیستم‌های تولیدی یکپارچه می‌باشد. در همین راستا توالی زنجیره تامین یکپارچه صنعت طیور در ایران، در انجام این تحقیق طبق نظر خبرگان صنعت طیور در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار عمومی تولید گوشت مرغ در کشور [14]



شکل ۲. توالی زنجیره تامین یکپارچه طیور در ایران

نوآوری نظری این پژوهش در توسعه یک رویکرد ترکیبی آینده‌نگر است که در آن مدل DEA چندمرحله‌ای به‌کمک شبکه عصبی مصنوعی به قابلیت پیش‌بینی مجهز می‌شود. برخلاف مطالعات پیشین که DEA را صرفاً برای ارزیابی کارایی تاریخی به کار برده‌اند، در این پژوهش ANN برای برآورد داده‌های آینده استفاده شده تا مسیر عملکرد آتی زنجیره‌ها شبیه‌سازی گردد. انتخاب ANN به‌دلیل توانایی آن در مدل‌سازی روابط غیرخطی و یادگیری الگوهای پیچیده میان شاخص‌های سبز زنجیره تأمین صورت گرفته است. این ویژگی موجب می‌شود که مدل پیشنهادی، نسبت به تغییرات داده‌های واقعی و شرایط محیطی حساسیت بالاتری داشته و از دقت پیش‌بینی بیشتری برخوردار باشد.

۲-۲- تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل پوششی داده‌های شبکه

در سال ۱۹۵۷، فارل توانست یک تابع را با ورودی چند ورودی و یک خروجی برای هر واحد پوشش دهد و عملکرد را به عنوان تابع تولید داده محاسبه کند و با کمک این تابع، کارایی نسبی همه واحدها را محاسبه کند. با پیشرفت کار فارل در حالت چند ورودی و چند خروجی، چارنز و همکاران[15] توانستند تکنیک جدیدی ایجاد کنند که بتواند با چندین فاکتور ورودی و خروجی به یک معیار عملکرد دست یابد. این روش تجزیه و تحلیل پوششی داده نامیده می‌شود. بسیاری از فرایندهای تولید و زنجیره‌های تأمین دارای ساختار شبکه‌ای هستند، به عبارت دیگر رویکردهای شبکه از فرایندها و فرایندها با ورودی و خروجی و مراحل میانی بین مراحل تشکیل شده‌اند. در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه را ایجاد کرده‌اند .ساختارهای چند مرحله‌ای را برای تجزیه و تحلیل پوشش داده‌های شبکه ارائه دادند [۱۶]. در همین مرجع، کلیه رویکردهای تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به طور کامل نشان داده شده است یکی از مهمترین کاربردهای تحلیل پوششی شبکه‌ای چند مرحله در محاسبه کارایی زنجیره تامین است.

در حوزه محاسبه کارایی در مطالعات قبلی بیشتر بررسی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری مرغداری DMU صورت گرفته است. و در خصوص تحلیل کارایی زنجیره تامین مطالعه‌ای مشاهده نشده است. همچنین در مطالعات قبلی توجه به شاخص‌های کلیدی و تاثیر گذار بر عملکرد زنجیره تامین سبز در صنعت پرورش طیور و بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی به منظور شناخت کارایی زنجیره تامین سبز با ساختار چند مرحله‌ای و تاثیرگذاری مراحل مختلف بر روی عملکرد مراحل بعدی در طول این زنجیره تامین مشاهده نشده است. در ضمن عدم شناخت و بکارگیری از مکانیزم مناسب به منظور پیش‌بینی وضعیت کارایی و عملکرد این زنجیره در دوره‌های آتی جهت جلوگیری یا پیشگیری از مخاطرات و زیان‌های رایج در این صنعت از مسائل مهم دیگری است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این درحالی است که تعیین کارایی شبکه تامین صنعت پرورش طیور با ساختار چند مرحله‌ای و شبکه‌ای بر مبنای مدلی از تحلیل پوششی داده‌ها در هیچ یک از تحقیقات قبلی مدنظر قرار نگرفته است و بهره‌گیری از داده کاوی به منظور پیش‌بینی عملکرد و کارایی شاخص‌های این زنجیره تامین در مطالعات مشابه یافت نشده است. وجه تمایز تحقیق حاضر با پژوهش‌های قبلی به طور خاص به ترکیب ارائه مدلی از DEA[1] چند مرحله‌ای و داده کاوی جهت تعیین کارایی زنجیره تامین این صنعت با توجه به عامل سبز بودن عملیات زنجیره و پیش‌بینی عملکرد در دوره‌های آتی معطوف خواهد بود.

وجه تمایز نظری و کاربردی این مطالعه تنها محدود به تلفیق دو روش نیست؛ بلکه نوآوری اصلی در «به‌کارگیری ANN به‌عنوان ابزار پیش‌بینی غیرخطی» در ترکیب با DEA چندمرحله‌ای برای برآورد کارایی آینده زنجیره‌های تأمین سبز است. در حالی‌که DEA رویکردی قوی برای ارزیابی کارایی در شرایط قطعی و تاریخی فراهم می‌آورد، این روش ذاتاً پیش‌بینی‌پذیر نیست. از سوی دیگر، ANN توانایی مدل‌سازی روابط پیچیده و غیرخطی بین شاخص‌های ورودی و خروجی را دارد و می‌تواند روندها و الگوهای مستتر در داده‌های تاریخی را یاد بگیرد و برای تولید پیش‌بینی‌های چندساله به‌کار رود. بنابراین، ادغام ANN و DEA زمینه‌ای برای حرکت از ارزیابی ایستا به **برنامه‌ریزی آینده‌نگر** فراهم می‌کند و این همان وجه نوآوری نظری و کارکردی است که مقاله حاضر پیگیری می‌کند.

به منظور حل مشکل باید ساختار و مدلی ارائه شود که با ایجاد شیوه‌های مناسب عوامل موثر بر عملکرد سبز را در زنجیره تامین شناسایی کند و از آنها برای اندازه‌گیری کارایی[2] و برآمد هزینه‌های کاهش آلودگی و عوامل نامطلوب استفاده نمایند و در همین راستا تصمیمات مناسب را در راستای بهبود کارایی (کارایی تابعی از شاخص‌های درون سازمانی می‌باشد) و بهبود اثر بخشی[3] (اثر بخشی تابعی از شاخص‌های برون سازمانی می‌باشد) اتخاذ کنند. به همین

[1] Data Envelopment Analysis (DEA)
[2] Efficiency
[3] Productivity

دلیل از تحلیل پوششی داده‌ها که ابزار توانمندی در ارزیابی عملکرد واحدهایی با چند ورودی و چند خروجی است، استفاده می‌شود.

و از آنجا که پیش‌بینی عملکرد یا برداشت محصول در دوره‌های آتی می‌تواند در تخصیص بهینه منابع و دستیابی به یک زنجیره تامین سبز و پایدار برای این صنعت موثر باشد، با استفاده از داده کاوی و تلفیق آن با مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها، به حل این مساله مهم می‌پردازیم.

مراحل انجام پژوهش به صورت زیر است:

۱. شناسایی شاخص‌های ورودی و خروجی با استفاده از دلفی فازی و روشBWM
۲. اجرای مدل DEA چندمرحله‌ای برای محاسبه کارایی فعلی
۳. آموزش مدل ANN برای پیش‌بینی کارایی آینده
۴. انجام تحلیل حساسیت برای ارزیابی پایداری مدل
۵. تفسیر و مقایسه نتایج

۲-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] (ANN)

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌های هوشمندی‌اند که براساس خصوصیات نورونهای بیولوژیکی و ارتباطات بین آنها طراحی شده‌اند. هرچند که مدل‌های مصنوعی طراحی شده بسیار ساده‌تر از ساختار بیولوژیکی‌اند، اما قابلیت‌ها و توانمندی‌های آنها بسیار زیاد است؛ به عبارت دیگر شبکه‌های عصبی ساختار منحصر به فردی را برای حل مسائلی که به روش‌های معمول به سختی امکان حل آنهاست ارائه می‌دهند [17].

شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای ویژگی‌هایی می‌باشند که آنها را در برخی از کاربردها مانند تخمین توابع، پیش‌بینی، تشخیص الگو، کنترل، رباتیک و به طور کلی در هرجا که نیاز به یادگیری یک نگاشت خطی و یا غیرخطی باشد، ممتاز می‌نماید. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم، پردازش موازی و مقاوم بودن، اشاره نمود. تنوع مدل‌های شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های یادگیری آنها، امکان کاربردهای مختلفی را برای آنها فراهم می‌آورد (راعی، ۱۴۹:۱۳۸۰). به منظور موفقیت در انطباق با مسایل دنیای واقعی، باید ابعاد زیادی از جمله مدل شبکه، اندازه شبکه، تابع فعالیت، پارامترهای یادگیری و تعداد نمونه‌های آموزشی را مد نظر قرار داد. [18]

اگرچه انواع مختلفی از مدل‌های شبکه عصبی توسعه داده شده است اما محبوب‌ترین آنها مدل شبکه عصبی پس انتشار (BP) است. شبکه عصبی پس انتشار شبکه عصبی پیش خور چند لایه می‌باشد که توسط الگوریتم‌های پس انتشار خطا آموزش داده می‌شوند. [19]

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از دقیق‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های پیش‌بینی می‌باشند که کاربردهای مفیدی در پیش‌بینی مسائل اجتماعی، اقتصادی، مهندسی، مبادلات خارجی، سهام و غیره دارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای چند ویژگی متمایز می‌باشند که آنها را در زمینه پیش‌بینی، ارزشمند و جذاب می‌نماید. اول اینکه برخلاف روشهای سنتی در شبکه‌های عصبی پیش فرض‌های کمی درباره مدل مسئله تحت بررسی وجود دارد. دوم اینکه شبکه‌های عصبی قابلیت تعمیم دهی دارند. بعد از یادگیری داده‌های موردنظر (یک نمونه) شبکه‌های عصبی در اکثر مواقع می‌توانند بخش مشاهده نشده یک جمعیت را حتی اگر داده‌های نمونه شامل اطلاعات ناقص باشند به درستی استنتاج نمایند. سوم اینکه شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند هر تابع پیوسته‌ای را با دقت مورد نظر تقریب بزنند و نهایتاً اینکه شبکه‌های عصبی غیرخطی می‌باشند و این درحالی است که سیستم‌های دنیای واقعی نیز اغلب غیر خطی هستند. [20]

شبکه‌های عصبی، همانند رگرسیون، ابزاری برای تقریب توابع و یافتن ارتباط میان متغیرهای مستقل و وابسته است. مهمترین تفاوت میان شبکه‌های عصبی و رویکردهای سنتی آماری، در تقریب توابع آنها است که شبکه‌های عصبی بر خلاف روش‌های سنتی آماری هیچ پیش فرضی در مورد توزیع و یا خواص آماری داده‌ها به عمل نمی‌آورند و از این نظر می‌توانند در عمل کارآیی زیادی داشته باشند. ضمن آنکه این شبکه‌ها، در زمره رویکردهای غیرخطی در تدوین مدل‌ها قرار دارند و از این منظر نیز در مواجهه با داده‌هایی که پیچیده و غیرخطی هستند، با دقت بیشتری می‌توانند آنها را در قالب یک مدل مشخص بیان کنند. [21]

امروزه ANN کاربردهای زیادی دارد. خوشه‌بندی [22]، طبقه‌بندی [23] و رتبه‌بندی [24] برخی از کاربردهای ANN هستند. ANN همچنین برای پیش‌بینی مجموعه داده‌های آینده اعمال شده است [25]; [26]. در این مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی به همراه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای پیش‌بینی کارایی استفاده شده است. برای این منظور، پس از شناسایی شاخص‌های زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور، ورودی‌ها، خروجی‌ها با استفاده از ANN پیش‌بینی شده و سپس DMU ها در دوره‌های مختلف با اجرای DEA شبکه‌ای ارزیابی شده است. متعاقبا با اطلاع رسانی به

[1] Artificial neural networks

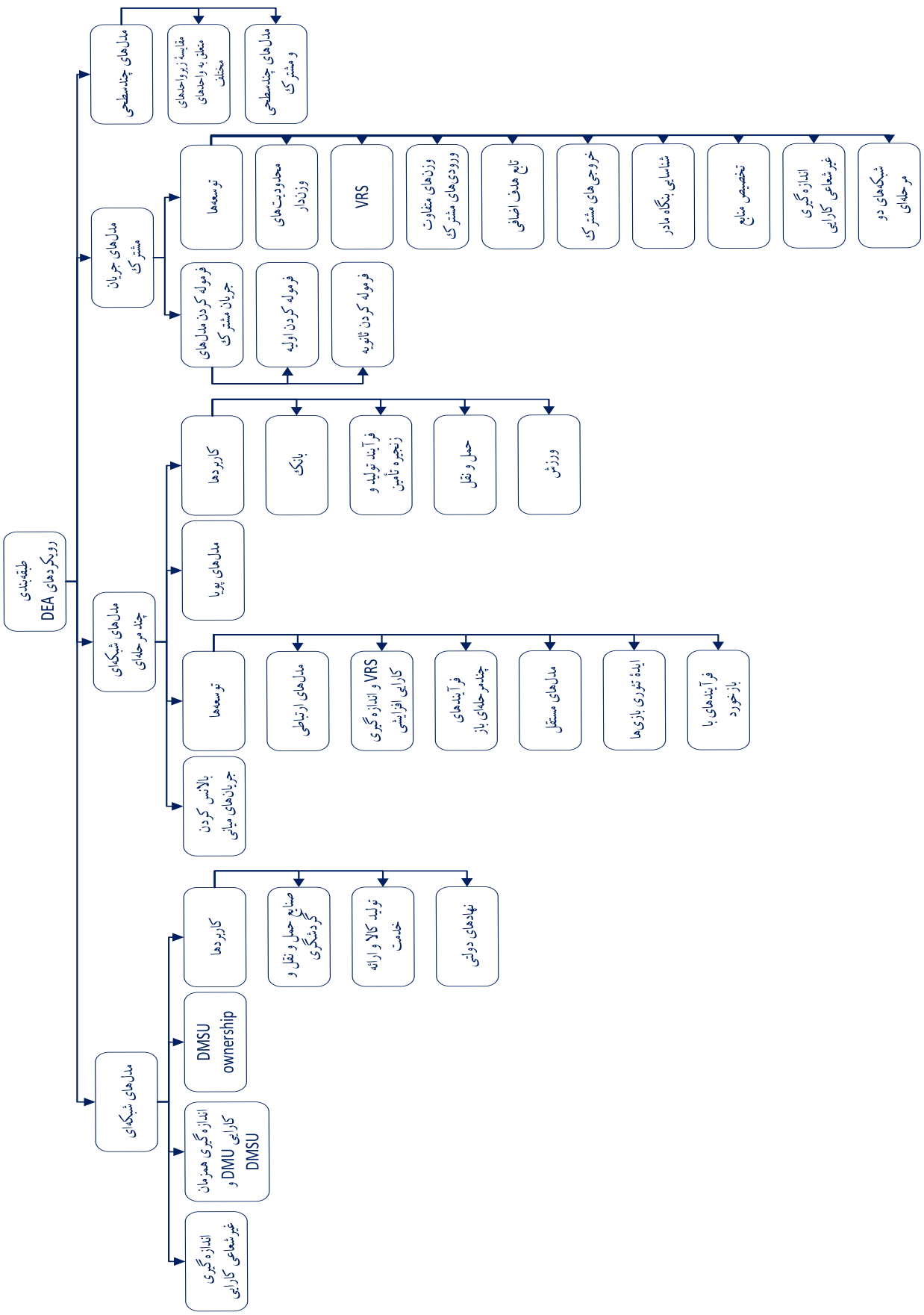
تصمیم‌گیرندگان از کارایی آینده DMU ها، می‌توان اقدامات پیشگیرانه را انجام داد. در نتیجه، ما می‌توان کارایی DMUهای ناکارآمد آینده‌نگر را از قبل بهبود بخشید.

۲-۴- تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی

تکنیک DEA (شکل ۳) یک رویکرد غیر پارامتری است که اغلب برای تعیین کارایی نسبی DMU ها استفاده می‌شود [19]. در سال‌های اخیر، DEA خود را به عنوان یک تکنیک رایج برای ارزیابی عملکرد DMUهای همگن تثبیت کرده است [21]; آگاتیستی و ریکا[22] لیو و همکاران[30] ; علیزاده و عمرانی[31]; قاسمی و همکاران[33])، برای بخشهای عمومی و دیگران برای هتل‌ها [35])، فرودگاه‌ها [27]، بانکداری [27]، راه آهن [28]، از این روش استفاده کرده‌اند. مقالات مروری اخیر بررسی گسترده‌ای از مطالعات DEA و همچنین زمینه‌های بالقوه برای کاربرد آینده ارائه می‌دهند. بسیاری از محققان بسته به نوع ورودی‌ها و خروجی‌ها، ساختارها و مدل‌هایی را برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین طیور ارائه داده‌اند. در بررسی‌های انجام شده مطالعات زیادی برای اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین طیور انجام شده است، که علیرغم قابلیت‌های نشان داده شده، DEA فاقد قابلیت‌های پیش‌بینی است، که نقطه قوت ANNها است [29].

ANNها کاربردهایی از هوش مصنوعی هستند که فرآیندهای بیولوژیکی نورون‌ها را در مغز انسان شبیه‌سازی می‌کنند. شبکه عصبی مصنوعی به یک سیستم پردازش اطلاعات مورد علاقه و موازی تبدیل شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از بسیاری از نورون‌های مصنوعی جفت شده و ساده، ساختار پردازش اطلاعات یا عملکردهای شبکه‌های عصبی بیولوژیکی را تقلید می‌کنند. مطالعات متعدد اخیر نشان می‌دهد که ANN یک تکنیک قوی است که برای طیف گسترده‌ای از کاربردها، از جمله محک زدن زنجیره تامین [۶]، مدیریت پروژه [۳]، بهبود کیفیت [30]، پیش‌بینی تقاضا [31] و فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر [32] بکار رفته است. درتحقیقات قبلی نشان داده که ویژگی‌های مکمل DEA با ادغام ANN را می‌توان در یک مدل یکپارچه امیدوارکننده تعبیه کرد [33]; [34]; [35]). آتاناسوپولوس و کورام [36] اولین کسانی بودند که از ویژگی‌های مربوطه DEA و ANN بهره برداری کردند. آنها امکان استفاده از ANN را برای اندازه‌گیری کارایی DMU بررسی کردند و دریافتند که ANN و DEA تکنیک‌های اندازه‌گیری عملکرد قابل مقایسه و بالقوه مکمل هستند. بعدا، بسیاری از محققان این کار مقدماتی را گسترش دادند و نتایج امیدوارکننده‌ای ارائه دادند. هان و همکاران [37] از یک رویکرد ANN بهبود یافته استفاده کردند که تحلیل پوششی داده‌ها را برای بهینه‌سازی انرژی و پیش‌بینی صنایع پیچیده پتروشیمی ترکیب می‌کرد. کوون و همکاران [38] یک مدل ترکیبی را برای پیش‌بینی بهترین خروجی‌های عملکرد از برنامه‌های گوشی‌های هوشمند گسترش دادند. آنها از ترکیبی از DEA و ANN برای پیش‌بینی نمرات کارایی از مدل‌های مختلف DEA استفاده کردند. آنها توانایی مدل را در پیش‌بینی خروجی‌های مورد نیاز برای دستیابی به بالاترین سطح عملکرد نشان دادند. علاوه بر این، کوون قابلیت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی را در ترکیب با DEA برای مدل‌سازی عملکرد راه آهن بررسی کرد. اخیرا، رضایی و همکاران [39] یک رویکرد یکپارچه پویای فازی C-means، DEA و ANN را برای پیش‌بینی عملکرد بورس اوراق بهادار آنلاین ارائه کردند. همچنین، مطالعات جدید نیز کارایی مدل‌های ترکیبی ANN–DEA را در حوزه زنجیره تأمین سبز تأیید کرده‌اند[۴۰] و [۴۱]. این تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از ANN به‌عنوان ابزار پیش‌بینی‌کننده در کنار DEA می‌تواند دقت ارزیابی کارایی را به‌ویژه در شرایط ناپایدار محیطی افزایش دهد. با وجود این پیاده‌سازی‌های موفق، بررسی ما نشان می‌دهد که هیچ مطالعه‌ای ادغام DEA و ANN را برای پیش‌بینی عملکرد زنجیره تامین سبز طیور اجرا نکرده است.

شبکه‌های پیشخور، پس انتشار که معمولا در این نوع تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرند[42]. برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود. شبکه پس انتشار معمولی دارای یک لایه ورودی است که فقط از ورودی‌های شبکه تشکیل شده است. سپس یک لایه پنهان که از تعدادی نورون یا واحدهای پنهان تشکیل شده است که به طور موازی قرار می‌گیرند دنبال می‌شود. خروجی شبکه نیز با جمع وزنی تشکیل می‌شود که از خروجی‌های نورون‌ها در لایه پنهان تشکیل شده است. لایه تشکیل شده لایه خروجی نامیده می‌شود. معمولا تعداد نورون‌های خروجی برابر است تعداد خروجی‌های مسئله تقریب. در این حالت، از تابع فعال‌سازی خطی برای لایه خروجی استفاده می‌شود، زیرا معمولا در مسائل رگرسیون استفاده می‌شود، جایی که ابزار قدرتمندی برای پیش‌بینی و تفسیر اطلاعات مورد نیاز است.



شکل ۳. طبقه‌بندی رویکردهای و مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای [5]

TRAINLM یک تابع آموزش شبکه‌ای است که وزن را به روز می‌کند و مقادیر را بر اساس بهینه‌سازی الگوریتم لونبرگ-مارکوارت[1] پیش‌بینی می‌کند[43]. الگوریتم لونبرگ-مارکوارت (LMA) الگوریتم آموزشی رایج در طبقه‌بندی داده‌ها و همچنین الگوریتمی است که در آزمایش قبلی استفاده شده است[44]. این اغلب سریعترین الگوریتم پس انتشار است، اگرچه نسبت به سایر الگوریتم‌ها به حافظه بیشتری نیاز دارد[45]. تابع عملکرد شبکه‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد خطای میانگین مربعات[2] است. عملکرد شبکه را با توجه به میانگین خطاهای مربعات اندازه‌گیری می‌کند. میانگین مربعات خطا عملکرد شبکه را با توجه به میانگین خطاهای مربعات اندازه‌گیری می‌کند. این میانگین مربعات تفاوت بین مشاهدات واقعی و مشاهدات پیش‌بینی شده است[46]. مربع کردن خطاها تمایل به وزن زیاد به داده پرت‌های آماری دارد که بر دقت نتایج تأثیر می‌گذارد. trainlm یک تابع آموزش شبکه است که مقادیر وزن و بایاس را مطابق بهینه‌سازی لونبرگ-مارکوارت به روز می‌کند[47]. trainlm اغلب سریعترین الگوریتم پس انتشار در جعبه ابزار است و به عنوان یک الگوریتم نظارت شده انتخاب اول به شدت توصیه می‌شود، اگرچه به حافظه بیشتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر نیاز دارد[48]. شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌های هوشمندی‌اند که براساس خصوصیات نورونهای بیولوژیکی و ارتباطات بین آنها طراحی شده‌اند. هرچند که مدل‌های مصنوعی طراحی شده بسیار ساده‌تر از ساختار بیولوژیکی‌اند، اما قابلیت‌ها و توانمندی‌های آنها بسیار زیاد است؛ به عبارت دیگر شبکه‌های عصبی ساختار منحصر به فردی را برای حل مسائلی که به روش‌های معمول به سختی امکان حل آنهاست ارائه می‌دهند[49].

اگرچه انواع مختلفی از مدل‌های شبکه عصبی توسعه داده شده است اما محبوب‌ترین آنها مدل شبکه عصبی پس انتشار (BP) است. شبکه عصبی پس انتشار شبکه عصبی پیش خور چند لایه می‌باشد که توسط الگوریتم‌های پس انتشار خطا آموزش داده می‌شوند[50]. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از دقیق‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های پیش‌بینی می‌باشند که کاربردهای مفیدی در پیش‌بینی مسائل اجتماعی، اقتصادی، مهندسی، مبادلات خارجی، سهام و غیره دارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای چند ویژگی متمایز می‌باشند که آنها را در زمینه پیش‌بینی، ارزشمند و جذاب می‌نماید. اول اینکه برخلاف روشهای سنتی در شبکه‌های عصبی پیش فرض‌های کمی درباره مدل مسئله تحت بررسی وجود دارد. دوم اینکه شبکه‌های عصبی قابلیت تعمیم‌دهی دارند[51]. بعد از یادگیری داده‌های موردنظر (یک نمونه) شبکه‌های عصبی در اکثر مواقع می‌توانند بخش مشاهده نشده یک جمعیت را حتی اگر داده‌های نمونه شامل اطلاعات ناقص باشند به درستی استنتاج نمایند. سوم اینکه شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند هر تابع پیوسته‌ای را با دقت مورد نظر تقریب بزنند و نهایتاً اینکه شبکه‌های عصبی غیرخطی می‌باشند و این درحالی است که سیستم‌های دنیای واقعی نیز اغلب غیر خطی هستند. [52]

توجه داشته باشید که ارزیابی کارایی توسط مدل‌های قبلی تحلیل پوششی داده‌ها صرفا بر اساس عملکرد گذشته است. این بدان معناست که مدل‌های کلاسیک DEA نمی‌توانند کارایی آینده DMU ها را ارزیابی کنند. از این رو، این مقاله رویکرد جدیدی را برای پیش‌بینی کارایی آینده تامین‌کنندگان سبز پیشنهاد می‌کند. نویسندگان معتقدند که این مقاله سهم قابل توجهی دارد که فراتر از قلمرو مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های موجود است.

به طور خلاصه، مشارکت رویکرد پیشنهادی ما به شرح زیر است:

- شناسایی شاخص‌های تاثیر گذار بر زنجیره تامین سیز صنعت پرورش طیور
- ارائه مدل ریاضی بر پایه تحلیل پوششی داده‌های چند مرحله‌ای جهت تعیین نمره کارایی زنجیره تامین سبز در صنعت طیور
- ارزیابی کارایی زنجیره تامین سبز طیور در دوره‌های گذشته، حال و آینده به طور همزمان
- پیش‌بینی کارایی آینده زنجیره تامین سبز طیور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل پوششی داده‌های چندمرحله‌ای
- اقدامات پیشگیرانه‌ای را برای زنجیره‌های ناکارا با پیش‌بینی کارایی آینده
- انتقال نقش تصمیم‌گیرندگان از نظارت به برنامه‌ریزی آینده منتقل

۳- روش پیشنهادی

برای دستیابی به اهداف این مقاله، مراحل زیر برداشته شده است: ابتدا بر اساس مطالعه کتابخانه‌ای شاخص‌های زنجیره تامین سبز در صنعت طیور گوشتی شناسایی خواهد شد و سپس بر اساس روش دلفی غربالگری شاخص‌ها انجام می‌شود. در مرحله بعد ابتدا با استفاده از تکنیک ANN، ورودی‌ها، خروجی‌ها را برای هر زنجیره تامین سبز پیش‌بینی می‌کنیم. توجه داشته باشید که تحلیل

[1] Levenberg-Marquardt

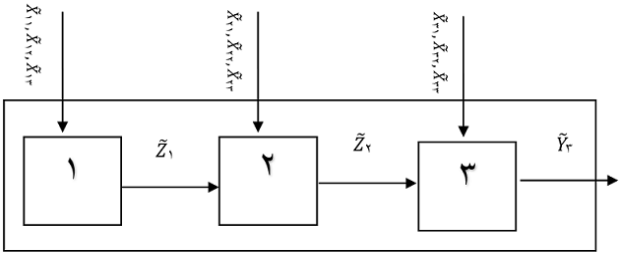
[2] Mean Squared Error

پوششی داده‌های چند مرحله‌ای باید با داده‌های پیش‌بینی شده تغذیه شود تا کارایی تامین‌کنندگان سبز را در دوره‌های مختلف ارزیابی کند. سپس کارایی زنجیره‌های تامین را در دوره‌های مختلف از جمله دوره آینده ارزیابی می‌کنیم.

۴- مدل DEA پژوهش حاضر

مدل DEA شبکه‌ای برای ارزیابی قابلیت زنجیره تأمین سبز نسبت به عامل‌های آن در شکل ۴ مدل زنجیره تأمین سه مرحله‌ای نشان داده شده است. به طور بالقوه، عامل سبزی می‌توانند بر تمام لایه‌های زنجیره تأمین تأثیر گذاشته، و اثر مخرب خود را بر بخشی از فرآیند یا کل زنجیره تأمین بگذارند. از این رو، هر چه اعضاء زنجیره تأمین (به عنوان مثال، تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان یا توزیع‌کنندگان) آسیب پذیری بیشتری به سبز بودن داشته باشند (ورودی‌ها)، قابلیت پایداری عملیاتی این اجزاء کمتر خواهد بود. سطوح پایداری مربوط به هر لایه، به عنوان خروجی هر فرآیند در مدل نشان داده شده است.

از این رو، سطوح پایداری لایه‌های اقتصادی زنجیره تأمین، به عنوان خروجی نشان داده شده است و می‌تواند به عنوان ورودی لایه‌های اجتماعی و یا زیست محیطی در نظر گرفته شود. همان طوری که نشان داده شده است ریسک‌های سبز اقتصادی $(\tilde{X}_{11})$، خارجی $(\tilde{X}_{12})$، شبکه ای$(\tilde{X}_{12})$ به عنوان ورودی و قابلیت سبز تأمین‌کننده به$(\tilde{Z}_1)$ عنوان خروجی واسط فرآیند اقتصادی، بر عملیات تأمین‌کننده تأثیر می‌گذارد. به همین ترتیب، ریسک‌های سبز اجتماعی $(\tilde{X}_{21})$، خارجی $(\tilde{X}_{22})$، شبکه‌ای $(\tilde{X}_{23})$، ورودی به حساب آمده و قابلیت پایداری تولیدکننده$(\tilde{Z}_2)$ به عنوان خروجی واسط فرآیندهای اجتماعی در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، ریسک‌های زیست محیطی$(\tilde{X}_{31})$، خارجی$(\tilde{X}_{32})$، شبکه‌ای $(\tilde{X}_{33})$، به عنوان ورودی و قابلیت پایداری توزیع‌کننده $(\tilde{Y}_3)$، به عنوان خروجی فرآیندهای اقتصادی در نظر گرفته شده‌اند. علامت «~» نشان‌دهنده ارزش‌های فازی سطوح ریسک و قابلیت پایداری است. متغیرها به شرح زیر است:



شکل ۴. ساختار زنجیره تامین سبز صنعت طیور

- v_{1i}: وزن انواع ریسک‌های اقتصادی $(i = 1)$، خارجی $(i = 2)$ و شبکه‌ای $(i = 1)$ فرآیندهای اقتصادی در ارزیابی قابلیت پایداری؛
- v_{2i}: وزن انواع ریسک‌های اجتماعی $(i = 1)$، خارجی $(i = 2)$ و شبکه‌ای $(i = 1)$ فرآیندهای اجتماعی در ارزیابی قابلیت پایداری؛
- v_{1i}: وزن انواع ریسک‌های زیست محیطی $(i = 1)$، خارجی $(i = 2)$ و شبکه‌ای $(i = 1)$ فرآیندهای زیست محیطی در ارزیابی قابلیت پایداری؛
- w_1: وزن پایداری تأمین کننده در فرآیندهای اقتصادی در ارزیابی قابلیت پایداری؛
- w_2: وزن پایداری تأمین کننده در فرآیندهای اجتماعی در ارزیابی قابلیت پایداری؛
- u_3: وزن پایداری تأمین کننده در فرآیندهای زیست محیطی در ارزیابی قابلیت پایداری؛

بر اساس کائو و هوانگ[23] کارایی کل سیستم زنجیره تأمین DMUk به صورت زیر فرموله خواهد شد:

$$\tilde{E}_k = max \frac{u_3 \tilde{Y}_3^k}{\sum_{t=1}^{3}\sum_{i=1}^{3} v_{ti}\tilde{X}_{ti}^k}$$

به طوری که

$$\frac{u_3 \tilde{Y}_3^j}{(\sum_{t=1}^{3}\sum_{i=1}^{3} v_{ti}\tilde{X}_{ti}^j)} \leq 0, j = 1,2,\dots,n$$

$$v_{ti}, u_3, \geq \varepsilon, i = 1,2,3;\ t = 1,2,3$$

در مدل حاضر، پارامتر λ بیانگر وزن نسبی شاخص‌های ورودی و خروجی در هر مرحله از مدل DEA است. مقدار λ برای هر شاخص با هدف ایجاد توازن بین اهمیت شاخص‌ها و جلوگیری از تسلط یک شاخص خاص تعیین گردید. در این تحقیق، مقادیر λ بر اساس آزمون چندین مقدار ممکن (از ۰,۱ تا ۱) و با استفاده از تحلیل حساسیت انتخاب شدند، به‌گونه‌ای که منجر به بیشترین پایداری و کمترین انحراف استاندارد در نتایج کارایی گردید. این روش در مطالعات مشابه [46] ، [23] نیز برای تنظیم وزن شاخص‌ها به‌کار رفته است. در مدل فوق، تابع هدف به دنبال بیشینه‌سازی کارایی کلی DMUk بوده و محدودیت‌های مساله نشان‌دهنده این قید هستند که کارایی کلیه واحدهای تصمیم‌گیرنده باید کوچکتر از یک باشد. که همان مدل مضربی کسری CCR می‌باشد. با اعمال تغییر متغیر چارنز - کوپر، مدل خطی به صورت زیر فرموله می‌شود.

$$\tilde{E}_k = max\ u_3 \tilde{Y}_3^k$$

به طوری که

$$\sum_{t=1}^{3}\sum_{i=1}^{3} v_{ti}\tilde{X}_{ti}^{k}=1$$

$$u_3\tilde{Y}_3^j-(\sum_{t=1}^{3}\sum_{i=1}^{3} v_{ti}\tilde{X}_{ti}^{j})\le 0, j=1,2,\dots,n$$

$$1,2,\dots,n$$

$$v_{ti},u_3,\ge\varepsilon, i=1,2,3;\ t=1,2,3$$

با منطقی مشابه، می‌توان قابلیت پایداری هر یک از فرآیندهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را نیز با توجه به ریسک‌های ورودی و قابلیت پایداری خروجی ارزیابی نمود. فرض کنید $\tilde{E}_k^1$، $\tilde{E}_k^2$، و $\tilde{E}_k^3$ به ترتیب قابلیت پایداری فرآیندهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی kامین شرکت تولید مواد غذایی تحت ارزیابی باشد.

فرآیندهای اقتصادی را در نظر بگیرید. در این فرآیندها سه دسته ریسک‌های اقتصادی، سازمانی و شبکه‌ای به عنوان ورودی و قابلیت پایداری به عنوان خروجی تعریف شده است. بر این اساس کارایی این بخش از سیستم را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$\tilde{E}_k^1=w_1^*\tilde{Z}_1^k\Big/\sum_{i=1}^{3} v_{1i}^*\tilde{X}_{1i}^k$$

به طور مشابه، فرآیندهای سازمانی، تاب آوری فرآیندهای اقتصادی را همراه با مجموعه ریسک‌های اجتماعی، خارجی و شبکه‌ای به عنوان ورودی دریافت و قابلیت پایداری را به عنوان خروجی تولید می‌کنند. با استفاده از نمادهای بخش قبل، قابلیت پایداری فرآیندهای اجتماعی به صورت زیر فرموله می‌گردد.

$$\tilde{E}_k^2=w_2^*\tilde{Z}_2^k\Big/w_1^*\tilde{Z}_1^k+\sum_{i=1}^{3} v_{2i}^*\tilde{X}_{2i}^k$$

قید مشابهی نیز در رابطه با فرآیندهای زیست محیطی قابل طرح است. این فرآیندها پایداری فرآیندهای سازمانی را همراه با مجموعه ریسک‌های اقتصادی، سازمانی و شبکه‌ای به عنوان ورودی دریافت و قابلیت پایداری را به عنوان خروجی تولید می‌کنند. در نتیجه پایداری این فرآیندها نیز به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\tilde{E}_k^3=u_3^*\tilde{Y}_3^k\Big/w_2^*\tilde{Z}_2^k+\sum_{i=1}^{3} v_{3i}^*\tilde{X}_{3i}^k$$

با توجه به قید کوچکتر از یک بودن مقادیر کارایی، روابط فوق را می‌توان به صورت زیر در قالب محدودیت‌های مدل در نظر گرفت.

$$w_1^*\tilde{Z}_1^k\Big/\sum_{i=1}^{3} v_{1i}^*\tilde{X}_{1i}^k\le 1$$

$$w_2^*\tilde{Z}_2^k\Big/w_1^*\tilde{Z}_1^k+\sum_{i=1}^{3} v_{2i}^*\tilde{X}_{2i}^k\le 1$$

$$u_3^*\tilde{Y}_3^k\Big/w_2^*\tilde{Z}_2^k+\sum_{i=1}^{3} v_{3i}^*\tilde{X}_{3i}^k\le 1$$

با خطی‌سازی محدودیت‌های فوق و افزودن آنها به مدل فوق، مدل نهایی سنجش قابلیت پایداری فرآیندهای شرکت تولیدی به صورت زیر فرموله می‌گردد.

$$\tilde{E}_k=max\ u_3\tilde{Y}_3^k$$

به طوری که

$$\sum_{t=1}^{3}\sum_{i=1}^{3} v_{ti}\tilde{X}_{ti}^{k}=1$$

$$u_3\tilde{Y}_3^j-(\sum_{t=1}^{3}\sum_{i=1}^{3} v_{ti}\tilde{X}_{ti}^{j})\le 0, j=1,2,\dots,n$$

$$w_1\tilde{Z}_1^j-\sum_{i=1}^{3} v_{1i}\tilde{X}_{1i}^j\le 0, j=1,2,\dots,n$$

$$w_2\tilde{Z}_2^j-(w_1\tilde{Z}_1^j+\sum_{i=1}^{3} v_{2i}\tilde{X}_{2i}^j)\le 0, j=1,2,\dots,n$$

$$u_3\tilde{Y}_3^0-(w_2\tilde{Z}_2^j+\sum_{i=1}^{3} v_{3i}\tilde{X}_{3i}^j)\le 0, j=1,2,\dots,n$$

$$v_{ti},u_3,w_1,w_2\ge\varepsilon, i=1,2,3;\ t=1,2,3$$

مدل بالا یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی است که حل آن نیاز به توسعه روش‌های خاص دارد. در تحقیق حاضر به منظور حل مدل خطی فازی فوق از رویکرد مبتنی بر برش‌های آلفا استفاده شده است.

۵- نتایج

در این تحقیق پس از بررسی ادبیات پژوهش و مصاحبه‌های تخصصی انجام‌شده مجموعه‌ای از شاخص‌های ورودی و خروجی زنجیره تامین سبز طیور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود شناسایی‌شد که غربال و تائید نهایی شاخص‌ها با روش دلفی فازی انجام شد. هدف ما مطالعه زنجیره‌های تامین سبز طیور در استان تهران بود که پس از بررسی صورت گرفته بر روی زنجیره‌های استان با توجه به اینکه بعضی از زنجیره‌ها بصورت نیمه فعال بودند مثلا یک یا دو حلقه فعال داشتند، ما زنجیره‌هایی را انتخاب کردیم که هر سه حلقه آنها فعال باشد و ترجیحا همه حلقه‌ها در استان تهران باشد بر همین اساس ۹ زنجیره انتخاب شد. که نسبت به جمع‌آوری اطلاعات زنجیره‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تایید شده اقدام شد.

در تحقیق حاضر با توجه به اینکه هدف ارائه مدلی تحلیلی برای ارزیابی زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور است، لذا جامعه آماری آن می‌تواند زنجیره تأمین شرکت‌های فعال در صنعت تولید طیور باشد که با سوالات ارائه شده برای مسئله مورد بررسی همخوانی داشته باشد. که پس از بررسی صورت گرفته بر روی زنجیره‌های استان متوجه شدیم بعضی از زنجیره‌ها بصورت نیمه فعال بودند، یک یا دو حلقه فعال داشتند که هدف ما زنجیره‌هایی بودند که هر سه حلقه آنها فعال باشد و ترجیحا همه حلقه‌ها در استان تهران باشد بر همین اساس تعداد ۹ زنجیره انتخاب شد. در فرآیند انتخاب نمونه، تنها زنجیره‌هایی در نظر گرفته شدند که هر سه حلقه (تولید، پرورش و توزیع) آنها فعال بوده است. این معیار باعث شد داده‌های به‌دست‌آمده از نظر پایداری و مقایسه‌پذیری، کیفیت لازم را برای تحلیل DEA و ANN داشته باشند.

پیش از بکارگیری ابزار داده‌کاوی جهت تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق و به‌منظور تبیین اولویت‌های عوامل کلیدی تاثیرگذار بر پذیرش و پیاده‌سازی در نمونه آماری، از آزمون‌های آماری مرتبط بهره گرفته شده است. بدین منظور، نخست جهت اولویت‌بندی این عوامل کلیدی از آزمون آماری فریدمن بهره گرفته شده است. این آزمون، یک آزمون ناپارامتریک است که معادل آنالیز واریانس با اندازه‌های تکراری (درون گروهی) می‌باشد و از آن برای مقایسه میانگین رتبه‌ها در بین K متغیر (گروه) استفاده می‌گردد. نتایج بدست آمده از آزمون فریدمن در این پژوهش به شرح جدول ۲ می‌باشد.

نتایج بدست آمده از آزمون فریدمن مبین آنست که مولفه‌های ورودی ارزش و رتبه بالاتری نسبت به مولفه‌های خروجی دارند و از این رو از روش تحلیل پوششی داده‌های ورودی محور بهره‌گیری خواهد شد.

یکی دیگر از زمینه‌های کلیدی جهت تجزیه و تحلیل داده‌های تحقیق، تعیین همبستگی متقابل مولفه‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد. این امر نمایانگر میزان تاثیرگذاری هر یک از مولفه‌ها بر سایر زمینه‌ها می‌باشد و به‌نوعی تعاملات میان شاخص‌ها را تشریح می‌نماید. بدین منظور از آزمون آماری اسپیرمن بهره گرفته شده است. نتایج بدست آمده از آزمون آماری اسپیرمن بر روی داده‌های تحقیق نمایانگر آنست که قوی‌ترین همبستگی معنادار مابین مولفه‌های ورودی در مدل تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد.

جدول ۱. شاخص‌های ورودی و خروجی

ردیف	شاخص‌های ورودی	شاخص‌های خروجی
۱	وزن جوجه	میزان تولید
۲	ظرفیت واحد	میزان کود
۳	شمار نیروی کار	معکوس تلفات
۴	میزان خوراک	سود حاصل از فروش
۵	هزینه ی دارو	کاهش الایندگی خاک
۶	هزینه‌ی برق	کاهش آلایندگی هوا
۷	هزینه‌ی آب	کاهش آلایندگی آب‌های سطحی
۸	مساحت	کاهش آلایندگی آب‌های زیر سطحی

جدول ۲. رتبه‌بندی زمینه‌های کلیدی از طریق آزمون فریدمن

ردیف	شاخص مورد نظر	Mean Rank
۱	وزن جوجه	۱۶,۷۱
۲	ظرفیت واحد	۱۶,۱۱
۳	نیروی انسانی	۱۵,۸۷
۴	میزان خوراک	۱۵,۸۵
۵	هزینه دارو	۱۵,۶۷
۶	هزینه برق	۱۵,۶۴
۷	هزینه آب	۱۴,۵۶
۸	مساحت	۱۴,۴۹
۹	میزان تولید	۱۴,۲۷
۱۰	میزان کود	۱۴,۱۲
۱۱	معکوس تلفات	۱۴,۰۷
۱۲	سود حاصل از فروش	۱۳,۹۵
۱۳	کاهش آلایندگی خاک	۱۳,۴۳
۱۴	کاهش آلایندگی هوا	۱۳,۳۴
۱۵	کاهش الایندگی آبهای سطحی	۱۳,۲۳
۱۶	کاهش الایندگی آبهای زیر سطحی	۱۲,۹۰

در این پژوهش به‌منظور تلفیق نظرات خبرگان از روش دلفی فازی استفاده گردید. برای تبدیل نظرات زبانی به مقادیر عددی از اعداد فازی مثلثی استفاده شد و فرایند تجمیع دیدگاه‌ها بر اساس میانگین هندسی مقادیر فازی صورت گرفت.

پس از محاسبه مقادیر فازی برای هر شاخص، آستانه توافق (τ) تعیین شد تا مشخص شود کدام شاخص‌ها به‌عنوان شاخص نهایی پذیرفته شوند. مقدار $\tau = 0.7$ به‌صورت تجربی و بر اساس مرور مقالات مشابه (مانند Chen, 2000; Büyüközkan & Çifçi, 2012) انتخاب گردید. این مقدار در اغلب مطالعات دلفی فازی به‌عنوان سطح توافق مناسب بین خبرگان پیشنهاد می‌شود. شاخص‌هایی که مقدار میانگین فازی آنها از τ بیشتر بود، به‌عنوان شاخص‌های تأییدشده نهایی در مدل لحاظ شدند.

۵-۱- مراحل شبکه‌های عصبی مصنوعی

همانطور که اشاره شد در این تحقیق ما قصد داریم با استفاده از تکنیک ANN، ورودی‌ها وخروجی‌های زنجیره تامین را پیش‌بینی می‌کنیم. به منظور طراحی شبکه‌ی عصبی مصنوعی، مراحل زیر انجام می‌شود:

مرحله‌ی اول: جمع‌آوری داده

با توجه به این که شبکه‌ی عصبی مصنوعی مبتنی بر داده می‌باشد، آماده‌سازی داده‌ها یک قدم مهم و در واقع کلید موفقیت در استفاده از شبکه‌ی عصبی است.

اصولاً استفاده از داده‌ها به صورت خام، باعث کاهش سرعت و دقت شبکه‌ی عصبی می‌شود. به منظور جلوگیری از چنین حالتی و همچنین به منظور یکسان کردن ارزش داده‌ها برای شبکه، عمل نرمال‌سازی صورت می‌گیرد. نرمال‌سازی مانع از کوچک شدن بیش از حد وزن‌ها و سبب جلوگیری از اشباع زودهنگام نرون‌ها می‌شود. نرمال‌سازی به روش مین‌مکس که به نام Rescaling (min-max normalization) یکی از روش‌ها برای تغییر بازه عددی مقادیر یک مجموعه به [۱, ۰] یا [۱, ۱-] است. با توجه به مقادیر به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که پس از نرمال‌سازی، بیشینهٔ مجموعه همیشه ۱ و کمینهٔ مجموعه نیز همیشه صفر می‌شود.تابع زیر نشان دهنده تابع نرمال‌سازی مورد استفاده می‌باشد.

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

ورودی‌های شبکه عصبی در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۶ در صورت جدول ۳ آمده است.

مرحله‌ی دوم: انتخاب سه دسته داده‌ی آموزش، اعتبارسنجی وآزمون برای انواع مدل‌های مورد استفاده

جدول ۳. پارامترهای ساختاری برای طراحی شبکه

Concept	Result
Network type	Feedforward Backpropagation
Epochs (max)	۲۰۰
Training algorithm	Levenberg–Marquardt (trainlm
Performance function	MSE
Transfer function (for hidden layers)	TANSIG
Training function	TRAINLM

به منظور آموزش صحیح شبکه و جلوگیری از مشکلاتی از قبیل اشباع شدن شبکه و وجود وزن‌های بی‌معنی، باید حجم مناسبی از داده‌ها را به مراحل اصلی شبکه اختصاص داد. یک تقسیم‌بندی معمول عبارت است از اختصاص دادن ۲۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی، ۱۰ درصد برای تست و ۷۰ درصد برای آموزش شبکه. البته در مواردی می‌توان به صورت تجربی و با تغییر دادن این نسبت‌ها، نتایج بهتری به دست آورد.

مرحله‌ی سوم: مدل‌سازی و محاسبه اطلاعات با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی

برای ساخت مدل شبکه‌ی عصبی، ابتدا شبکه با استفاده از داده‌های آموزش، آموزش می‌بینند؛ سپس به پیش‌بینی داده‌های آزمون می‌پردازد

مرحله‌ی چهارم: ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی عملکرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی از پارامترهای میانگین مربعات خطا (MSE)[1]، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)[2] که از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند، استفاده شد.

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

$$MAE = \frac{\left|\sum_{i=1}^{n}(Z_0 - Z_p)\right|}{n}$$

که در آنها، Z_0 مقادیر پیش‌بینی شده، Z_p مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد .با وجود ابعاد بسیار مطلوب شبکه‌های عصبی، ایجاد یک شبکه‌ی خوب برای یک کاربرد خاص بسیار مهم است. ایجاد یک شبکه‌ی مطلوب، انتخاب یک معماری مناسب، تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها در هر لایه و ارتباط‌های بین واحدها، انتخاب توابع تبدیل، طراحی الگوریتم آموزش، انتخاب وزن‌های اولیه و به شکل خاص، قانون توقف را در بر می‌گیرد. برای تعیین ساختار مناسب شبکه عصبی، چندین ترکیب از پارامترهای ساختاری شامل تعداد نورون‌های لایه پنهان، تابع فعال‌سازی و الگوریتم آموزش مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، افزایش تعداد نورون‌ها تا حدود ۲۰ موجب بهبود دقت مدل گردید و پس از آن تغییر محسوسی در خطا مشاهده نشد؛ بنابراین، ساختار شبکه با ۷ نورون پنهان به‌عنوان حالت بهینه انتخاب شد .تابع فعال‌سازی LOGSIG به‌دلیل توانایی بالاتر در مدل‌سازی روابط غیرخطی میان

[1] Mean Square Error (MSE)

[2] Mean Absolute Error (MAE)

شاخص‌ها نسبت به توابع دیگر انتخاب شد. الگوریتم آموزش Levenberg–Marquardt (trainlm) به‌سبب نرخ همگرایی بالا و پایداری عددی مناسب در داده‌های کوچک تا متوسط مورد استفاده قرار گرفت. همچنین معیار توقف آموزش بر اساس عدم بهبود خطای مجموعه اعتبارسنجی طی شش تکرار متوالی (early stopping) تعیین شد تا از بروز بیش‌برازش جلوگیری گردد.

۵-۲- نتایج اجرای شبکه عصبی

جدول ۴ پارامترهای ساختاری مدل طراحی شبکه را با استفاده از نرم افزار MATLAB R2024 نشان می‌دهد. ساختار شبکه عصبی در شکل ۵ نشان داده شده است و در شکل ۶ نمودار عملکرد شبکه عصبی نشان داده شده است در این پژوهش تأثیر تعداد نورون‌ها در لایه پنهان، توابع آموزشی و همچنین توزیع مجموعه داده‌ها در حین آموزش و تابع انتقال بر دقت خروجی شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. شبکه با تعداد مختلف نورون‌ها در لایه‌های پنهان توسعه یافتند: ۳، ۷، ۱۰، ۲۰ و ۳۱. عملکرد شبکه‌ها (به دست آمده از نمودار عملکرد) مقایسه شد. در نتیجه، شبکه‌ای با ۱۰ نورون بهترین عملکرد را به دست آورد. شکل ۶ نمودار عملکرد شبکه با ۱۰ نورون در لایه پنهان را نشان می‌دهد که بیانگر همگرایی شبکه است. شکل ۷ نمودار ارزیابی شبکه عصبی پرسپترون را نشان داده است.

جدول ۴. داده‌های ورودی شبکه عصبی

داده‌های سال ۱۳۹۶																
DMU	ورودی								خروجی							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
1	36	555	2	9	32	1704	122	6933	5	1110	123	5461	5328	416	999	999
2	42	717	2	12	42	2201	158	5600	6	1434	159	7055	6883	538	1291	1291
3	33	900	3	15	52	2763	198	5800	8	1800	200	8856	8640	675	1620	1620
4	33	547	3	9	32	1679	120	5900	5	1094	122	5382	5251	410	985	985
5	34	703	4	12	41	2158	155	6000	6	1406	156	6918	6749	527	1265	1265
6	41	698	4	11	40	2143	154	6150	6	1396	155	6868	6701	524	1256	1256
7	37	553	5	9	32	1698	122	6300	5	1106	123	5442	5309	415	995	995
8	38	719	5	12	42	2207	158	6400	6	1438	160	7075	6902	539	1294	1294
9	35	778	6	13	45	2388	171	6600	7	1556	173	7656	7469	584	1400	1400
داده‌های سال ۱۳۹۷																
DMU	ورودی								خروجی							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
1	37	762	2	13	44	2339	168	5400	7	1524	169	7498	7315	572	1372	1372
2	39	564	2	9	33	1731	124	5600	5	1128	125	5550	5414	423	1015	1015
3	39	742	3	12	43	2278	163	5800	6	1484	165	7301	7123	557	1336	1336
4	42	714	3	12	41	2192	157	5900	6	1428	159	7026	6854	536	1285	1285
5	39	738	4	12	43	2266	162	6000	6	1476	164	7262	7085	554	1328	1328
6	32	632	4	10	37	1940	139	6150	5	1264	140	6219	6067	474	1138	1138
7	37	600	5	10	35	1842	132	6300	5	1200	133	5904	5760	450	1080	1080
8	40	602	5	10	35	1848	132	6400	5	1204	134	5924	5779	452	1084	1084
9	33	823	6	14	48	2527	181	6600	7	1646	183	8098	7901	617	1481	1481
داده‌های سال ۱۳۹۸																
DMU	ورودی								خروجی							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
1	40	702	2	12	41	2155	154	5400	6	1404	156	6908	6739	527	1264	1264
2	33	539	2	9	31	1655	119	5600	5	1078	120	5304	5174	404	970	970
3	40	779	3	13	45	2392	171	5800	7	1558	173	7665	7478	584	1402	1402
4	42	713	3	12	41	2189	157	5900	6	1426	158	7016	6845	535	1283	1283
5	33	820	4	13	48	2517	180	6000	7	1640	182	8069	7872	615	1476	1476
6	33	896	4	15	52	2751	197	6150	8	1792	199	8817	8602	672	1613	1613
7	33	747	5	12	43	2293	164	6300	6	1494	166	7350	7171	560	1345	1345
8	34	803	5	13	47	2465	177	6400	7	1606	178	7902	7709	602	1445	1445
9	32	550	6	9	32	1689	121	6600	5	1100	122	5412	5280	413	990	990

داده‌های سال ۱۳۹۹																
DMU	ورودی								خروجی							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
1	32	788	2	13	46	2419	173	5400	7	1576	175	7754	7565	591	1418	1418
2	40	875	2	14	51	2686	193	5600	8	1750	194	8610	8400	656	1575	1575
3	36	534	3	9	31	1639	117	5800	5	1068	119	5255	5126	401	961	961
4	37	781	3	13	45	2398	172	5900	7	1562	174	7685	7498	586	1406	1406
5	33	792	4	13	46	2431	174	6000	7	1584	176	7793	7603	594	1426	1426
6	37	752	4	12	44	2309	165	6150	7	1504	167	7400	7219	564	1354	1354
7	40	679	5	11	39	2085	149	6300	6	1358	151	6681	6518	509	1222	1222
8	38	888	5	15	52	2726	195	6400	8	1776	197	8738	8525	666	1598	1598
9	32	731	6	12	42	2244	161	6600	6	1462	162	7193	7018	548	1316	1316
داده‌های سال ۱۴۰۰																
DMU	ورودی								خروجی							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
1	36	548	2	9	32	1682	121	5400	5	1096	122	5392	5261	411	986	986
2	33	748	2	12	43	2296	165	5600	6	1496	166	7360	7181	561	1346	1346
3	41	873	3	14	51	2680	192	5800	8	1746	194	8590	8381	655	1571	1571
4	35	875	3	14	51	2686	193	5900	8	1750	194	8610	8400	656	1575	1575
5	36	718	4	12	42	2204	158	6000	6	1436	160	7065	6893	539	1292	1292
6	42	762	4	13	44	2339	168	6150	7	1524	169	7498	7315	572	1372	1372
7	41	641	5	11	37	1968	141	6300	6	1282	142	6307	6154	481	1154	1154
8	34	719	5	12	42	2207	158	6400	6	1438	160	7075	6902	539	1294	1294
9	37	888	6	15	52	2726	195	6600	8	1776	197	8738	8525	666	1598	1598

انتخاب پارامترهای شبکه عصبی (شامل تعداد نورون‌های لایه پنهان، تابع آموزش و معیار توقف) به‌صورت تجربی و بر اساس آزمون چندین پیکربندی انجام شد. در این پژوهش چند ساختار مختلف با تعداد نورون‌های ۳، ۷، ۱۰، ۲۰ و ۳۱ بررسی گردید و عملکرد شبکه‌ها بر اساس معیار خطای میانگین مربعات (MSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) مقایسه شد. نتایج نشان داد که شبکه با ۱۰ نورون در لایه پنهان و الگوریتم آموزش Levenberg–Marquardt (trainlm)بهترین عملکرد را از نظر دقت و همگرایی دارد. معیار توقف آموزش بر اساس مقدار حداقل خطای MSE در داده‌های اعتبارسنجی تعیین شد، به‌طوری‌که شبکه در مرحله‌ای متوقف می‌شد که از بیش‌برازش (Overfitting) جلوگیری شود. این رویکرد در مطالعات مشابه مانند [18] نیز توصیه شده است. پس از طراحی شبکه عصبی و تایید خروجی‌های آن به منظور پیش‌بینی داده‌ها برای سال‌های آتی به گونه‌ای برنامه‌نویسی شد که داده‌های پیش‌بینی شده برای هر سال به عنوان داده به ورودی‌های شبکه اضافه گرددو فرآیند پیش‌بینی دوباره انجام شود که در جدول ۵ داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای ۵ سال را مشاهده می‌کنید.

جدول ۵. روند کارایی زنجیره‌ها

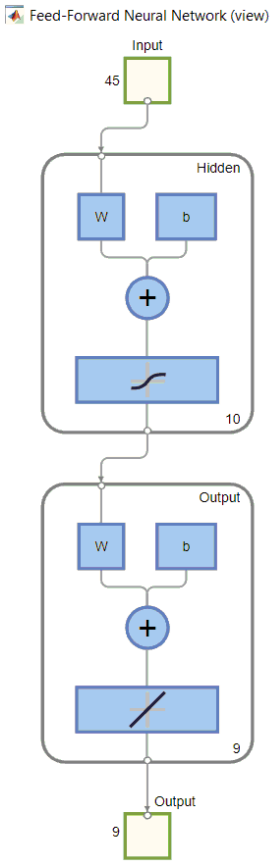
	کارایی واحدها بر اساس داده‌های واقعی					کارایی واحدها بر اساس داده‌های پیش‌بینی شده				
	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵
۱	۰,۸۳۵	۰,۹۵۱	۰,۹۵۵	۰,۲۷۸	۱,۰۰۰	۰,۸۳۵	۰,۹۵۱	۰,۹۵۵	۰,۲۷۸	۱,۰۰۰
۲	۰,۵۴۷	۰,۹۴۶	۱,۰۰۰	۰,۳۴۵	۰,۹۸۵	۰,۵۴۷	۰,۹۴۶	۱,۰۰۰	۰,۳۴۵	۰,۹۸۵
۳	۱,۰۰۰	۰,۷۱۲	۱,۰۰۰	۰,۲۷۴	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۷۱۲	۱,۰۰۰	۰,۲۷۴	۱,۰۰۰
۴	۰,۵۱۲	۰,۸۷۸	۰,۹۸۵	۱,۰۰۰	۰,۹۵۰	۰,۸۵۷	۰,۸۷۸	۰,۹۹۴	۰,۹۱۲	۱,۰۰۰
۵	۱,۰۰۰	۰,۵۷۴	۰,۹۵۸	۰,۹۳۰	۱,۰۰۰	۰,۸۵۶	۰,۵۷۴	۱,۰۰۰	۰,۹۳۰	۱,۰۰۰
۶	۱,۰۰۰	۰,۸۳۵	۰,۹۲۳	۰,۱۴۷	۱,۰۰۰	۰,۷۵۸	۰,۸۳۵	۱,۰۰۰	۰,۱۴۷	۱,۰۰۰
۷	۱,۰۰۰	۰,۹۶۶	۰,۷۹۹	۰,۹۹۸	۱,۰۰۰	۰,۹۶۸	۰,۹۶۶	۰,۷۹۹	۰,۹۹۸	۱,۰۰۰
۸	۱,۰۰۰	۰,۴۶۸	۱,۰۰۰	۰,۹۴۰	۰,۹۴۰	۰,۸۷۵	۰,۴۶۸	۱,۰۰۰	۰,۹۴۰	۰,۹۴۰
۹	۱,۰۰۰	۰,۸۲۳	۱,۰۰۰	۰,۹۶۵	۰,۹۱۵	۰,۹۶۵	۰,۹۴۶	۰,۹۴۵	۱,۰۰۰	۰,۹۱۴

تحلیل حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی(ANN)

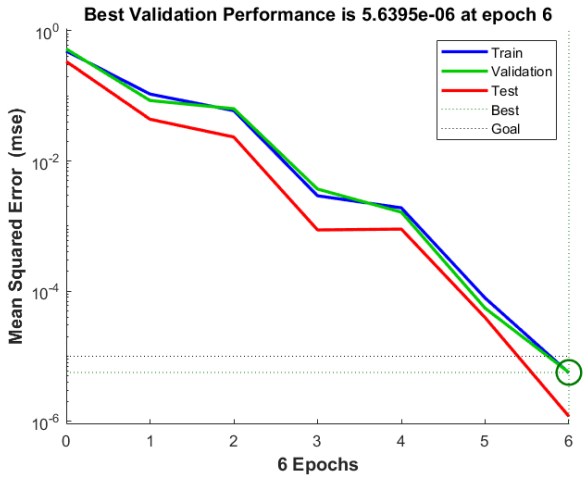
به‌منظور بررسی پایداری و حساسیت مدل شبکه عصبی نسبت به تغییر پارامترهای ساختاری، تحلیل حساسیت بر روی دو عامل کلیدی، یعنی تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع تابع فعال‌سازی انجام شد. در این مرحله، الگوریتم آموزشLevenberg–Marquardt (trainlm)ثابت نگه داشته شد و شبکه با ساختارهای مختلف (۳، ۷، ۱۰، ۲۰ و ۳۱ نورون) و دو تابع فعال‌سازی تان‌سیگ (tansig) و لاگ‌سیگ (logsig) ارزیابی گردید.

نتایج جدول ۵ نشان داد که با افزایش تعداد نورون‌ها تا حدود ۱۰ دقت مدل افزایش می‌یابد، اما پس از آن پدیده بیش‌برازش مشاهده می‌شود. مقایسه توابع فعال‌سازی نشان داد که تابع tansig در ترکیب با ۱۰ نورون در لایه پنهان بهترین عملکرد را از نظر معیارهای MSE، MAE و R^2 دارد.

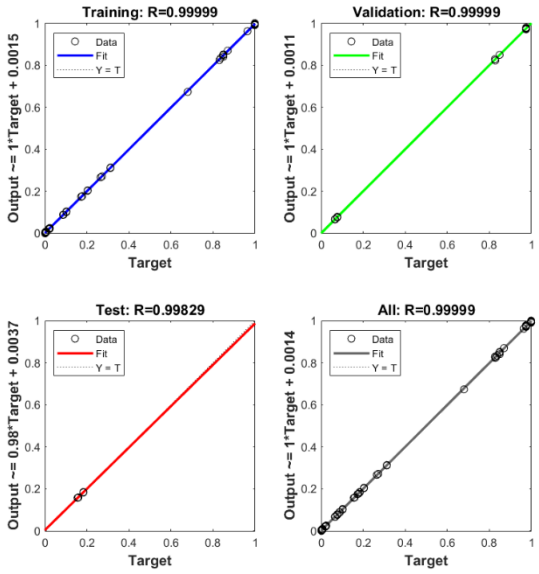
بر این اساس، ساختار نهایی شبکه شامل یک لایه پنهان با ۱۰ نورون، تابع tansig و الگوریتم آموزش trainlm انتخاب شد. مقدار پایین MSE (3.24×10^{-6}) و مقدار بالای ضریب تعیین ($R^2=0.99995$) بیانگر دقت و پایداری بالای مدل در پیش‌بینی داده‌های آینده است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل طراحی‌شده از پایداری مناسبی در برابر تغییرات پارامترهای ساختاری برخوردار بوده و قابلیت اطمینان آن برای استفاده در ترکیب با مدل DEA چندمرحله‌ای تأیید می‌شود.



شکل ۵. معماری شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۶. نمودار عملکرد شبکه عصبی



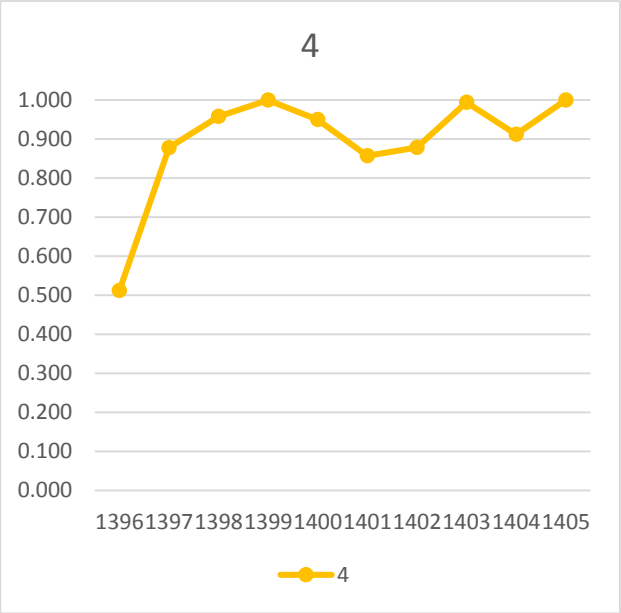
شکل ۷. نمودار ارزیابی شبکه عصبی

۵-۳- نتایج تحلیل پوششی داده‌ها

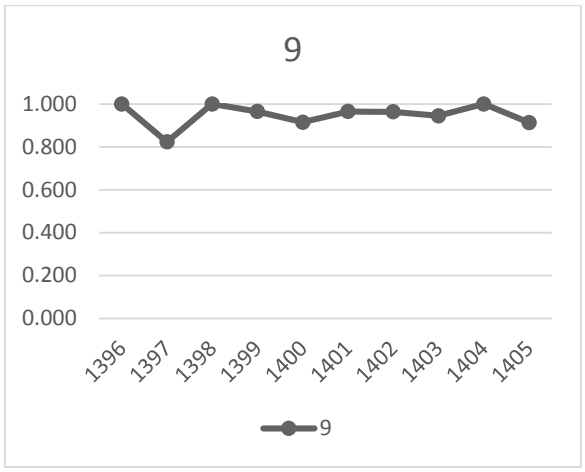
همانطور که اشاره شد رویکردهای مختلفی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی توسط محققان ارائه شده است. یکی از پر کاربردترین روشها، که بر اساس حاتمی ماربینی، امروزنژاد و توانا [11] که در تحلیل پوششی داده‌های فازی نیز کاربردهای فراوانی دارد، رویکرد مبتنی بر برش‌های آلفا است. در این رویکرد اعداد فازی با برش‌های آلفای خود جایگزین شده و مساله به ازای مقادیر مختلف آلفا حل و تحلیل می‌گردد. بنابر تعریف، برش آلفای یک مجموعه فازی شامل کلیه عناصری از مجموعه مرجع است که عضویت آنها در مجموعه مرجع حداقل به اندازه مقدار α باشد. جدول ۶ نتایج ارزیابی تامین‌کنندگان سبز را در طول ۱۰ سال نشان می‌دهد

که برای ۵ سال اول کارایی براساس داده‌های واقعی و ۵ سال دوم کارایی بر اساس داده‌های خروجی مدل شبکه عصبی که پیش‌بینی شده است محاسبه شده است.

همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است، کارایی نسبی زنجیره تامین ۴ روند افزایش داشته که در شکل ۸ قابل مشاهده می‌باشد و زنجیره تامین ۹ نیز از ابتدا در یک روند در حال فعالیت می‌باشد که درشکل ۹ قابل مشاهده می‌باشد.که با مطالعه داده‌های ورودی جدول شماره ۳ مشاهده می‌گردد زنجیره تامین ۴ با کم کردن سطح آلایندگی‌های خاک و آب و کاهش هزینه‌های برق و آب در طی دوره همراه بوده که ادامه این روند تا حدودی در داده‌های پیش‌بینی شده نیز مشاهده می‌گردد. همچنین همانطور که مشاهده می‌گردد در سال ۱۳۹۷ هیچ کدام از تامین‌کنندگان در مرز کارایی نبودند که با مطالعه داده‌ها و بررسی انجام شده مشخص گردید در آن سال در استان تهران آنفولانزای مرغی شیوع و به تبع آن هزینه‌های دارو افزایش داشته و سود حاصل از فروش تقریبا برای کلیه زنجیره‌ها کاهش داشته است.



شکل ۸. شیب روند کارایی زنجیره ۴



شکل ۹. شیب روند کارایی زنجیره ۹

۶- بحث و نتیجه‌گیری پژوهش

یکی از مزیت‌های رقابتی پایدار برای سازمان‌های تولیدی، کاراتر و اثربخش‌تر کردن فعالیت‌های زنجیره تامین است. یکی از قسمت‌های عمده این فعالیت‌ها که می‌تواند موجب صرفه جویی بسیار در هزینه‌ها شود شناسایی و پیش‌بینی کارایی دقیق تامین و تدارکات سازمان است. مدیریت فعالیت‌های لجستیکی، علاوه بر اینکه یک منبع مهم برای خلق مزیت‌های رقابتی محسوب می‌شود، می‌تواند موجبات رضایت مشتریان و پاسخگویی به نیازهای آنان را فراهم آورد. یکپارچه‌سازی طراحی شبکه لجستیک نیز به همین دلیل از اهمیت بالایی برخوردار است . پیش‌بینی کارایی در زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور به‌عنوان یکی از حوزه‌های پژوهشی جدید مدیریت به‌منظور کمک به شرکت‌ها در به رسمیت شناختن منابع بالقوه و غلبه بر چالش‌های مرتبط با عملیات و استراتژی‌ها، تکامل یافته است. طی سالیان اخیر، مدیریت و به تبع آن سنجش عملکرد زنجیره تأمین، توجه جمع کثیری از مدیران و محققین را در حوزه مدیریت تولید و عملیات به خود معطوف داشته است. به موازات طی روند تکاملی سازمان‌ها از رویکرد منفرد به رویکرد شبکه‌ای و زنجیره تأمین، نظام‌های سنجش کارایی زنجیره تامین نیز دستخوش تحول گردیده و به سمت و سوی سنجش عملکرد شبکه‌ای و زنجیره تامین گام نهادند . این نگرش ریشه در تفکر سیستمی داشته که در آن بهینگی هر نظام تولیدی تنها در گرو کارکرد بهینه یک زیرنظام نبوده و تمامی زیرنظام‌ها می‌بایست در تحقق اهداف از پیش ترسیم شده مجدانه بکوشند.

جدول ۶. داده‌های خروجی شبکه عصبی

DMU	داده‌های ورودی								داده‌های خروجی								
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	O1	O2	O3	O4	O4	O5	O6	O7	O8
1	۳۷	۵۸۸	2	۱۰	۳۴	۱۷۳۶	۱۳۹	6933	۶	۱۱۳۲	۱۲۶	۵۳۹۷	5461	۵۳۰۳	۴۰۷	۹۹۱	۹۸۷
2	۴۱	۷۵۰	2	۱۳	۴۴	۲۲۳۳	۱۷۵	5600	۷	۱۴۵۶	۱۶۲	۶۹۹۱	7055	۶۸۵۸	۵۲۹	۱۲۸۳	۱۲۷۹
3	۳۴	۹۳۳	3	۱۶	۵۴	۲۷۹۵	۲۱۵	5800	۹	۱۸۲۲	۲۰۳	۸۷۹۲	8856	۸۶۱۵	۶۶۶	۱۶۱۲	۱۶۰۸
4	۳۴	۵۸۰	3	۱۰	۳۴	۱۷۱۱	۱۳۷	5900	۶	۱۱۱۶	۱۲۵	۵۳۱۸	5382	۵۲۲۶	۴۰۱	۹۷۷	۹۷۳
5	۳۵	۷۳۶	4	۱۳	۴۳	۲۱۹۰	۱۷۲	6000	۷	۱۴۲۸	۱۵۹	۶۸۵۴	6918	۶۷۲۴	۵۱۸	۱۲۵۷	۱۲۵۳
6	۴۰	۷۳۱	4	۱۲	۴۲	۲۱۷۵	۱۷۱	6150	۷	۱۴۱۸	۱۵۸	۶۸۰۴	6868	۶۶۷۶	۵۱۵	۱۲۴۸	۱۲۴۴
7	۳۸	۵۸۶	5	۱۰	۳۴	۱۷۳۰	۱۳۹	6300	۶	۱۱۲۸	۱۲۶	۵۳۷۸	5442	۵۲۸۴	۴۰۶	۹۸۷	۹۸۳
8	۳۹	۷۵۲	5	۱۳	۴۴	۲۲۳۹	۱۷۵	6400	۷	۱۴۶۰	۱۶۳	۷۰۱۱	7075	۶۸۷۷	۵۳۰	۱۲۸۶	۱۲۸۲
9	۳۶	۸۱۱	6	۱۴	۴۷	۲۴۲۰	۱۸۸	6600	۸	۱۵۷۸	۱۷۶	۷۵۹۲	7656	۷۴۴۴	۵۷۵	۱۳۹۲	۱۳۸۸
10	۳۸	۷۹۵	2	۱۴	۴۶	۲۳۷۱	۱۸۵	5400	۸	۱۵۴۶	۱۷۲	۷۴۳۴	7498	۷۲۹۰	۵۶۳	۱۳۶۴	۱۳۶۰
11	۴۰	۵۹۷	2	۱۰	۳۵	۱۷۶۳	۱۴۱	5600	۶	۱۱۵۰	۱۲۸	۵۴۸۶	5550	۵۳۸۹	۴۱۴	۱۰۰۷	۱۰۰۳
12	۴۰	۷۷۵	3	۱۳	۴۵	۲۳۱۰	۱۸۰	5800	۷	۱۵۰۶	۱۶۸	۷۲۳۷	7301	۷۰۹۸	۵۴۸	۱۳۲۸	۱۳۲۴
13	۴۳	۷۴۷	3	۱۳	۴۳	۲۲۲۴	۱۷۴	5900	۷	۱۴۵۰	۱۶۲	۶۹۶۲	7026	۶۸۲۹	۵۲۷	۱۲۷۷	۱۲۷۳
14	۴۰	۷۷۱	4	۱۳	۴۵	۲۲۹۸	۱۷۹	6000	۷	۱۴۹۸	۱۶۷	۷۱۹۸	7262	۷۰۶۰	۵۴۵	۱۳۲۰	۱۳۱۶
15	۳۳	۶۶۵	4	۱۱	۳۹	۱۹۷۲	۱۵۶	6150	۶	۱۲۸۶	۱۴۳	۶۱۵۵	6219	۶۰۴۲	۴۶۵	۱۱۳۰	۱۱۲۶
16	۳۸	۶۳۳	5	۱۱	۳۷	۱۸۷۴	۱۴۹	6300	۶	۱۲۲۲	۱۳۶	۵۸۴۰	5904	۵۷۳۵	۴۴۱	۱۰۷۲	۱۰۶۸
17	۴۱	۶۳۵	5	۱۱	۳۷	۱۸۸۰	۱۴۹	6400	۶	۱۲۲۶	۱۳۷	۵۸۶۰	5924	۵۷۵۴	۴۴۳	۱۰۷۶	۱۰۷۲
18	۳۴	۸۵۶	6	۱۵	۵۰	۲۵۵۹	۱۹۸	6600	۸	۱۶۶۸	۱۸۶	۸۰۳۴	8098	۷۸۷۶	۶۰۸	۱۴۷۳	۱۴۶۹
19	۴۱	۷۳۵	2	۱۳	۴۳	۲۱۸۷	۱۷۱	5400	۷	۱۴۲۶	۱۵۹	۶۸۴۴	6908	۶۷۱۴	۵۱۸	۱۲۵۶	۱۲۵۲
20	۳۴	۵۷۲	2	۱۰	۳۳	۱۶۸۷	۱۳۶	5600	۶	۱۱۰۰	۱۲۳	۵۲۴۰	5304	۵۱۴۹	۳۹۵	۹۶۲	۹۵۸
21	۴۱	۸۱۲	3	۱۴	۴۷	۲۴۲۴	۱۸۸	5800	۸	۱۵۸۰	۱۷۶	۷۶۰۱	7665	۷۴۵۳	۵۷۵	۱۳۹۴	۱۳۹۰
22	۴۳	۷۴۶	3	۱۳	۴۳	۲۲۲۱	۱۷۴	5900	۷	۱۴۴۸	۱۶۱	۶۹۵۲	7016	۶۸۲۰	۵۲۶	۱۲۷۵	۱۲۷۱
23	۳۴	۸۵۳	4	۱۴	۵۰	۲۵۴۹	۱۹۷	6000	۸	۱۶۶۲	۱۸۵	۸۰۰۵	8069	۷۸۴۷	۶۰۶	۱۴۶۸	۱۴۶۴
24	۳۴	۹۲۹	4	۱۶	۵۴	۲۷۸۳	۲۱۴	6150	۹	۱۸۱۴	۲۰۲	۸۷۵۳	8817	۸۵۷۷	۶۶۳	۱۶۰۵	۱۶۰۱
25	۳۴	۷۸۰	5	۱۳	۴۵	۲۳۲۵	۱۸۱	6300	۷	۱۵۱۶	۱۶۹	۷۲۸۶	7350	۷۱۴۶	۵۵۱	۱۳۳۷	۱۳۳۳
26	۳۵	۸۳۶	5	۱۴	۴۹	۲۴۹۷	۱۹۴	6400	۸	۱۶۲۸	۱۸۱	۷۸۳۸	7902	۷۶۸۴	۵۹۳	۱۴۳۷	۱۴۳۳
27	۳۳	۵۸۳	6	۱۰	۳۴	۱۷۲۱	۱۳۸	6600	۶	۱۱۲۲	۱۲۵	۵۳۴۸	5412	۵۲۵۵	۴۰۴	۹۸۲	۹۷۸
28	۳۳	۸۲۱	2	۱۴	۴۸	۲۴۵۱	۱۹۰	5400	۸	۱۵۹۸	۱۷۸	۷۶۹۰	7754	۷۵۴۰	۵۸۲	۱۴۱۰	۱۴۰۶
29	۴۱	۹۰۸	2	۱۵	۵۳	۲۷۱۸	۲۱۰	5600	۹	۱۷۷۲	۱۹۷	۸۵۴۶	8610	۸۳۷۵	۶۴۷	۱۵۶۷	۱۵۶۳
30	۳۷	۵۶۷	3	۱۰	۳۳	۱۶۷۱	۱۳۴	5800	۶	۱۰۹۰	۱۲۲	۵۱۹۱	5255	۵۱۰۱	۳۹۲	۹۵۳	۹۴۹
31	۳۸	۸۱۴	3	۱۴	۴۷	۲۴۳۰	۱۸۹	5900	۸	۱۵۸۴	۱۷۷	۷۶۲۱	7685	۷۴۷۳	۵۷۷	۱۳۹۸	۱۳۹۴
32	۳۴	۸۲۵	4	۱۴	۴۸	۲۴۶۳	۱۹۱	6000	۸	۱۶۰۶	۱۷۹	۷۷۲۹	7793	۷۵۷۸	۵۸۵	۱۴۱۸	۱۴۱۴
33	۳۸	۷۸۵	4	۱۳	۴۶	۲۳۴۱	۱۸۲	6150	۸	۱۵۲۶	۱۷۰	۷۳۳۶	7400	۷۱۹۴	۵۵۵	۱۳۴۶	۱۳۴۲
34	۴۱	۷۱۲	5	۱۲	۴۱	۲۱۱۷	۱۶۶	6300	۷	۱۳۸۰	۱۵۴	۶۶۱۷	6681	۶۴۹۳	۵۰۰	۱۲۱۴	۱۲۱۰
35	۳۹	۹۲۱	5	۱۶	۵۴	۲۷۵۸	۲۱۲	6400	۹	۱۷۹۸	۲۰۰	۸۶۷۴	8738	۸۵۰۰	۶۵۷	۱۵۹۰	۱۵۸۶
36	۳۳	۷۶۴	6	۱۳	۴۴	۲۲۷۶	۱۷۸	6600	۷	۱۴۸۴	۱۶۵	۷۱۲۹	7193	۶۹۹۳	۵۳۹	۱۳۰۸	۱۳۰۴
37	۳۷	۵۸۱	2	۱۰	۳۴	۱۷۱۴	۱۳۸	5400	۶	۱۱۱۸	۱۲۵	۵۳۲۸	5392	۵۲۳۶	۴۰۲	۹۷۸	۹۷۴
38	۳۴	۷۸۱	2	۱۳	۴۵	۲۳۲۸	۱۸۲	5600	۷	۱۵۱۸	۱۶۹	۷۲۹۶	7360	۷۱۵۶	۵۵۲	۱۳۳۸	۱۳۳۴
39	۴۲	۹۰۶	3	۱۵	۵۳	۲۷۱۲	۲۰۹	5800	۹	۱۷۶۸	۱۹۷	۸۵۲۶	8590	۸۳۵۶	۶۴۶	۱۵۶۳	۱۵۵۹
40	۳۶	۹۰۸	3	۱۵	۵۳	۲۷۱۸	۲۱۰	5900	۹	۱۷۷۲	۱۹۷	۸۵۴۶	8610	۸۳۷۵	۶۴۷	۱۵۶۷	۱۵۶۳
41	۳۷	۷۵۱	4	۱۳	۴۴	۲۲۳۶	۱۷۵	6000	۷	۱۴۵۸	۱۶۳	۷۰۰۱	7065	۶۸۶۸	۵۳۰	۱۲۸۴	۱۲۸۰
42	۴۳	۷۹۵	4	۱۴	۴۶	۲۳۷۱	۱۸۵	6150	۸	۱۵۴۶	۱۷۲	۷۴۳۴	7498	۷۲۹۰	۵۶۳	۱۳۶۴	۱۳۶۰
43	۴۲	۶۷۴	5	۱۲	۳۹	۲۰۰۰	۱۵۸	6300	۷	۱۳۰۴	۱۴۵	۶۲۴۳	6307	۶۱۲۹	۴۷۲	۱۱۴۶	۱۱۴۲
44	۳۵	۷۵۲	5	۱۳	۴۴	۲۲۳۹	۱۷۵	6400	۷	۱۴۶۰	۱۶۳	۷۰۱۱	7075	۶۸۷۷	۵۳۰	۱۲۸۶	۱۲۸۲
45	۳۷	۹۲۱	6	۱۶	۵۴	۲۷۵۸	۲۱۲	6600	۹	۱۷۹۸	۲۰۰	۸۶۷۴	8738	۸۵۰۰	۶۵۷	۱۵۹۰	۱۵۸۶

از این رو مدیریت زنجیره تامین، یکی از اجزاء استراتژی‌های رقابتی برای بهره‌وری و سوددهی سازمانی است. مدیران در بسیاری از صنایع، به ویژه آنهایی که در بخش تولید هستند، سعی در مدیریت بهتر زنجیره تامین و ارزیابی عملکرد آنها دارنددر زنجیره تأمین، ارزیابی کارایی زنجیره یکی از چالش‌های مهم به شمار می‌آید. چارچوبی متمایز برای ارزیابی تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن شاخص‌های موثر با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری از مهمترین ابزارها می‌باشد. از این روی مدیریت برونسپاری کل زنجیره تامین بسیار مشکل بوده و یک وظیفه چالش بر انگیز است. یک سازمان در صورتی از نظر اقتصادی کارا خواهد بود که از نظر فنی و تخصصی کارا باشد. مدیریت زنجیره تامین همه این فعالیت‌ها را طوری هماهنگ می‌کند که مشتریان بتوانند محصولاتی با کیفیت و خدمات قابل اطمینان در حداقل هزینه به دست آورند. از این رو در این پژوهش، پس از مطالعه کتابخانه‌ای و شناسایی شاخص‌های کلیدی در پیش‌بینی کارایی در زنجیره تامین سبز صنعت پرورش طیور، با استفاده از روش دلفی فازی، غربالگری شاخص‌ها انجام شد و از بین ۸ شاخص ورودی و ۸ شاخص خروجی بر اساس نظرات ۷ خبره کلیه شاخص‌ها انتخاب شدند و پس از جمع آوری اطلاعات، اقدام به طراحی مدل پیش‌بینی با شبکه عصبی برای پیش‌بینی ورودی و خروجی‌های زنجیره نمودیم، و سپس کارایی زنجیره بر اساس داده‌های جمع آوری شده و داده‌های پیش‌بینی شده بر اساس مدل تحلیل پوششی دادهای چند مرحله‌ای طراحی شده با روش برش آلفا محاسبه گردید. با توجه به یافته‌های پژوهش نشان داده شد که شاخص‌های شناسایی شده و تایید شده در این پژوهش با پژوهش علی نژاد [4] ، امینی[5] و گوپتا[46] همسو بوده است.

نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان داد که تغییر در ساختار شبکه (تعداد نورون‌ها و نوع تابع فعال‌سازی) تأثیر قابل توجهی بر دقت پیش‌بینی دارد و انتخاب ساختار بهینه،۱۰ نورون، تابع tansig، الگوریتم trainlm منجر به بیشترین پایداری مدل شد. یکی از چالش‌های اساسی در پیش‌بینی کارایی آینده، وجود عدم قطعیت در داده‌های ورودی و خروجی است که می‌تواند ناشی از نوسانات بازار نهاده‌ها، تغییرات اقلیمی، یا شیوع بیماری‌های طیور باشد. در این پژوهش، بخشی از این عدم قطعیت از طریق **به‌کارگیری رویکرد فازی** در فرآیند شناسایی شاخص‌ها (روش دلفی فازی) و **استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر برش‌های آلفا** در ارزیابی کارایی لحاظ شده است. بدین ترتیب، مدل پیشنهادی توانایی در نظر گرفتن تغییرپذیری و ابهام در قضاوت خبرگان و داده‌های ورودی را دارد.

۷- پیشنهادات

تحقیقات ما نشان می‌دهد تاکنون انتخاب تامین کنندگان کارا در حیطه تولید طیور گوشتی مطابق با نیاز سبز بودن و جهت برآورده کردن آن بر اساس قضاوت‌های شهودی کارشناسان انجام شده است و کارشناسان بر مبنای قضاوت خود اقدام به مقایسه شرکت‌ها می کردند، پیشنهاد می شود از این به بعد با استفاده از نتایج این پژوهش، ارزیابی کارایی تامین کنندگان در این شرکت و سایر شرکت‌های مشابه، با جمع آوری اطلاعات مورد نیاز مدل‌ها به صورت سیستماتیک و علمی مبتنی بر آزمون Q انجام شود. پیشنهاد می‌شود مدیران اجرایی با ارزیابی متغیرهای مورد بررسی این پژوهش در زنجیره‌های تامین الگو به مقایسه ارقام متغیرها و با ارقام موجود در واحدهای تحت هدایت خود بپردازند سپس بر اساس ساختار موجود و ظرفیت‌های اجرایی دستورالعمل‌های مورد نیاز جهت دستیابی به عملکردی مطلوب را صادر و پیاده‌سازی نمایند.

پس از حصول امتیازات نهایی کارایی در محاسبات پژوهش و تحقیقات میدانی در زنجیره‌های تامین الگو صورت گرفت و مشخص شد این زنجیره‌ها دارای واحدهای تحقیق و توسعه با فعالیت‌های مستمر می‌باشند به مدیران سایر زنجیره‌ها نیز پیشنهاد می‌شود نقش واحدهای R&D را در عملکرد مطلوب زنجیره انکار ناپذیر دانسته و برای ایجاد یا گسترش چنین واحدهایی در ساختار مدیریتی خود کوشا باشند. علاوه بر موارد فوق ویژگی مشترک دیگر در زنجیره‌های الگو خرید بی واسطه نهادها و مواد اولیه از تولیدکنندگان است به طوری که با حذف دلالان و واسطه‌ها هزینه‌ها و قیمت تمام شده محصول کاهش و در پی آن فروش محصول در سطح بازار افزایش یافته است به مدیران اجرایی سایر زنجیره‌های فعال در صنعت مرغداری پیشنهاد می‌شود که با استفاده از رویکرد حذف واسطه‌ها، ثبات اقتصادی زنجیره در سطح بازار وسیع کشور را بیش از پیش محقق سازند. نگاه ویژه به تامین تقاضای داخل کشور و و مدیریت نیاز بازار و در راستای آن مقابله با واردات محصول و به دنبال آن صادرات به کشورهای دیگر خصوصاً کشورهای همسایه باید در دستور کار مدیران در سطح تامین‌کنندگان قرار گیرد بدیهی است که این امر موجب پویایی اقتصادی صنعت مرغداری و افزایش عملکرد زنجیره‌های تامین فعال خواهد بود. با توجه به تحلیل انجام شده و کلیدی بودن مساله انتخاب تامین کنندکان سبز طیور گوشتی پیشنهاد می‌شود که بصورت دوره‌ای ارزیابی کارایی انجام و سیاست‌های مدیریت موجودی طیور و ناخالص سود پیاده‌سازی شود .طی مراحل مختلف این پژوهش به نکات جدیدی پی برده شد و همزمان با پیشرفت این تحقیق ابهامات بیشتری فراروی محقق

ایجاد می‌شد که با توجه به محدودیت‌های موجود بررسی آنها نیازمند پژوهش‌های بیشتری می‌باشد. بنابراین جهت پژوهش محققین آینده که قصد فعالیت در این حوزه را دارند موضوعاتی پیشنهاد می‌شود .برای افزایش دقت و کاهش عدم قطعیت در اولویت‌بندی معیارها و تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سطح بهینه کارایی به هر یک از تامین‌کنندگان، پیشنهاد می‌شود این مدل با مدل‌های شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک ترکیب شود و با نتایج این پژوهش مقایسه شود. شاخص‌های این پژوهش با توجه به قلمرو پژوهش و متناسب با شرکت‌های مورد مطالعه تدوین شده است. پیشنهاد می‌گردد با بررسی سایر شرکت‌های مشابه مدل جامعی مرتبط با سازمانها و شرکت‌های بزرگ مشابه ارائه گردد که کلیه معیارهای شرکت‌های دخیل را فرا گیرد. پیشنهاد می‌گردد شاخص‌ها بر اساس مدل مفهومی یا مدل ساختاری مورد آزمون فرض در شرکت‌های مشابه قرار گرفته تا چارچوب مدیریت تامین شناسایی گردد. پیشنهاد می‌گردد برای تحلیل و مدل‌سازی داده‌های پیشرفته در راستای مدیریت بهتر پیچیدگی عملیات، از تکنیک‌های تحلیل داده و مدل‌سازی پیشرفته شامل موارد زیر استفاده شود:

- ارائه مدل‌های آماری و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی عملکرد تأمین‌کننده و شناسایی ریسک‌ها یا فرصت‌های بالقوه
- ارئه یک رویکرد مدلسازی پویا که می‌تواند با تغییرات در شرایط بازار، رفتار عرضه کننده و سایر عوامل خارجی سازگار شود. این می‌تواند شامل برنامه‌ریزی سناریو و تجزیه و تحلیل حساسیت برای آزمایش استحکام مدل باشد.

پیشنهاد می‌شود از مدل تحلیل خاکستری و یا شبکه‌ای توسعه یافته جهت تحلیل عمکرد استفاده شود. با عنایت به اینکه یکی از محدودیت‌های این پژوهش، فرض قطعی بودن داده‌ها در مدل‌های DEAو ANN است. در واقع، عواملی مانند نوسانات قیمت نهاده‌ها، شیوع بیماری‌های طیور، و تغییرات سیاست‌های اقتصادی می‌توانند بر عملکرد واقعی زنجیره‌های تأمین تأثیرگذار باشند. برای لحاظ نمودن این نوع عدم قطعیت‌ها، استفاده از **روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو** در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود. این روش با تولید هزاران نمونه تصادفی از متغیرهای ورودی، می‌تواند توزیع احتمالی کارایی را به‌صورت عددی (Quantitative) برآورد نماید، بدون آنکه نیاز به تغییر اساسی در ساختار مدل موجود باشد افزودن چنین رویکردی موجب می‌شود تحلیل آینده‌نگر زنجیره تأمین سبز از پویایی و دقت بیشتری برخوردار گردد. در پژوهش‌های آتی می‌توان با توسعه مدل به سمت **رویکردهای تصادفی و سناریومحور** (مانند مدل‌سازی ریسک با شبیه‌سازی مونت‌کارلو یا سناریوهای تغییر قیمت نهاده‌ها و بروز بیماری‌ها)، عدم قطعیت‌های محیطی و ریسک‌های غیرمنتظره را نیز به‌صورت جامع‌تر مدل‌سازی نمود.

۸- منابع

[1] "Theories in sustainable supply chain management: a structured literature review." International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 45 (1-2): 16–42,2015.

[2] Akanmode, E., et al. "Prediction of poultry yield using data mining techniques." Int J Innov Eng Sci Res 2: 16-32, 2018.

[3] Salehi moghadam,S. and Darvish motevalli,M. H. A New Model for the four-level multi-product supply chain optimization based on stochastic demand with probability distribution function. (e231650). *Karafan Journal*, *22*(2), 2025.

[4] Alinezhad, A. and A. Taherinezhad . "Performance Evaluation of Production Chain using Two-Stage DEA Method (Case Study: Iranian Poultry Industry)." new economy and trad 16(3): 105-130, 2021.

[5] Amini, A., et al. "Evaluation of green supply chain performance using network data envelopment analysis." International Journal of Green Economics 13(3-4): 187-201, 2019.

[6] Kheyrati L, Darvish Motevalli M H. Presenting a Mathematical Model for Optimizing the Cold Food Supply Chain During Disasters. Disaster Prev. Manag. Know.; 14 (3) :292-309, 2024.

[7] Amirbeygi, F., et al. "Evaluation of green supply chain performance using balanced scorecard and data envelopment analysis." Journal of Industrial Engineering and Management Studies 9(2): 64-85, 2023.

[8] Anouze, A. L. M. and I. Bou-Hamad. "Data envelopment analysis and data mining to efficiency estimation and evaluation." International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management 12(2): 169-190, 2019.

[9] Chen, Y., Cook, W. D., Ning, L., & Zhu, J. "Additive efficiency decomposition in two-stage DEA." European journal of operational research, 196(193), 1170-1176, 2009.

[10] Krakovsky, R., Forgac, R., 2011. Neural network approach to multidimensional data classification via clustering. In: IEEE. 9th International Symposium on Intelli gent Systems and Informatics, pp. 169e174.

[11] Depi. "Structure of Victoria's Chicken Meat Industry." Department of Environment and Primary Industries, Victoria, Australia. Accessed November, 2013.

[12] Emrouznejad, A. and M. Tavana. Performance measurement with fuzzy data envelopment analysis, Springer, 2013.

[13] Ibiwoye, A., Ajibola, E., Sogunro, A.B., Artificial neural network model for predicting insurance insolvency. Int. J. Manag. Bus. Res. 2 (1), 59e68, 2012.

[14] Färe, R., & Whittaker, G. "An intermediate input model of dairy production." Journal of Agricultural Economics, 46, 201–213, 1995.

[15] Geng, R., et al. "The relationship between green supply chain management and performance: A meta-analysis of empirical evidences in Asian emerging economies." International journal of production economics 183: 245-258, 2017.

[16] Gupta, M. K. and P. Chandra. "Effects of similarity/distance metrics on k-means algorithm with respect to its applications in iot and multimedia: a review." Multimedia Tools and Applications 81(26): 37007-37032, 2022.

[17] Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A., Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. Geomorpho 94 (3), 379e400, 2008.

[18] Han, Y.M., Geng, Z.Q. and Zhu, Q.X., "Energy optimization and prediction of complex petrochemical industries using an improved artificial neural network approach integrating data envelopment analysis", Energy Conversion and Management, Vol. 124, pp. 73-83, 2016.

[19] Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E., "Measuring the efficiency of decision-making units", European Journal of Operational Research, Vol. 2 No. 6, pp. 429-444, 1998.

[20] Kwon, H.B., Lee, J. and Roh, J.J., "Best performance modeling using complementary DEA-ANN approach: application to Japanese electronics manufacturing firms", Benchmarking: An International Journal, Vol. 23 No. 3, pp. 704-721, 2016.

[21] Selim, S. and Bursalıoglu, S.A., "Efficiency of higher education in Turkey: a bootstrapped twostage DEA approach 1", International Journal of Statistics and Applications, Vol. 5 No. 2, pp. 56-67, 2015.

[22] Agasisti, T. and Ricca, L., "Comparing the efficiency of Italian public and private universities (2007-2011): an empirical analysis", Italian Economic Journal, Vol. 2 No. 1, pp. 57-89, 2016.

[23] Kao, C., & Hwang, S. N. "Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan." European Journal of Operational Research: 185(181), 418-429, 2008.

[24] Kao, C. "Efficiency decomposition for general multi-stage systems in data envelopment analysis." European Journal of Operational Research 232(1): 117-124, 2014.

[25] Kao, C. "Network data envelopment analysis: A review." European Journal of Operational Research 239(1): 1-16, 2014.

[26] Khashei, M. and M. Bijari. "An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting." Expert Systems with applications 37(1): 479-489, 2010.

[27] Adler, N., Martini, G. and Volta, N., "Measuring the environmental efficiency of the global aviation fleet", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 53, pp. 82-100, 2013.

[28] Kumar, S., & Putnam, V. "Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors." International journal of production economics: 115(112), 305-315, 2018.

[29] Liu, J.S., Lu, L.Y. and Lu, W.M., "Research fronts and prevailing applications in data envelopment analysis", Data Envelopment Analysis, Springer, Boston, MA, pp. 543-574, 2016.

[30] Alizadeh, A. and Omrani, H., "An integrated multi response Taguchi-neural network-robust data envelopment analysis model for CO2 laser cutting", Measurement, Vol. 131, pp. 69-78, 2019.

[31] Li, Y., Chen, Y., Liang, L., & Xie, J. "DEA models for extended two-stage network structures." Omega: 40(45), 611-618, 2012.

[32] Ghasemi, N., Najafi, E., Lotfi, F.H. and Sobhani, F.M., "Assessing the performance of organizations with the hierarchical structure using data envelopment analysis: an efficiency analysis of Farhangian University", Measurement, Vol. 156, 107609, 2002.

[33] Misiunas, N., et al. "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, 2016.

[34] Manasakis, C., Apostolakis, A. and Datseris, G., "Using data envelopment analysis to measure hotel efficiency in Crete", International Journal of Contemporary Hospitality Management, Vol. 25 No. 4, pp. 510-535, 2013.

[35] Nguyen, H.G. Using neutral work in predicting corporate failure. J. Soc. Sci. 1 (4), 199e202, 2005.

[36] Nandy, A. and P. K. Singh. "Farm efficiency estimation using a hybrid approach of machine-learning and data envelopment analysis: Evidence from rural eastern India." Journal of Cleaner Production 267: 122106, 2020.

[37] Bhanot, N. and Singh, H., "Benchmarking the performance indicators of Indian Railway container business using data envelopment analysis", Benchmarking: An International Journal, Vol. 21 No. 1, pp. 101-120, 2014.

[38] Pratap, S., Jauhar, S.K., Paul, S.K. and Zhou, F., "Stochastic optimization approach for green routing and planning in perishable food production", Journal of Cleaner Production, Vol. 333, 130063, 2022.

[39] Carlucci, D., Renna, P. and Schiuma, G., "Evaluating service quality dimensions as antecedents to outpatient satisfaction using back propagation neural network", Health Care Management Science, Vol. 16 No. 1, pp. 37-44, 2013.

[40] Athanassopoulos, A.D. and Curram, S.P., "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, Vol. 47 No. 8, pp. 1000-1016, 1996.

[41] Rezaee, M. J. "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 489: 78-93, 2018.

[42] Paradi, J.C. and Zhu, H., "A survey on bank branch efficiency and performance research with data envelopment analysis", Omega, Vol. 41 No. 1, pp. 61-79, 2013.

[43] Panapakidis, I.P. and Dagoumas, A.S., "Day-ahead natural gas demand forecasting based on the combination of wavelet transform and ANFIS/genetic algorithm/neural network model", Energy, Vol. 118, pp. 231-245, 2017.

[44] Shabanpour, H., et al. "Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks." Journal of Cleaner Production 142: 1098-1107, 2017.

[45] Shamsuddoha, M. "Integrated supply chain model for sustainable poultry production in Bangladesh: a system dynamics approach."2014.

[46] Tone, K., & Tsutsui, M. "Dynamic DEA: A slacks-based measure approach." Omega: 38(33-34), 145-156, 2010.

[47] Kwon, H.B.Exploring the predictive potential of artificial neural networks in conjunction with DEA in railroad performance modeling. International Journal of Production Economics, 183(A), 159-170, 2017.

[48] Zhang, G. "Forecasting with artificial neural networks: The state of the art." International journal of forecasting 14(1): 35-62, 2018.

[49] Kuo, R.J., Wang, Y.C. and Tien, F.C, "Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection", Journal of Cleaner Production, (18)-12. ۱۱۶۱-۱۱۷۰, 2010.

[50] Misiunas, N., Oztekin, A., Chen, Y. and Chandra, K, "DEANN: a healthcare analytic methodology of data envelopment analysis and artificial neural networks for the prediction of organ recipient functional status", Omega, Vol. ۵۸, pp. ۵۴-۴۶, 2016.

[51] Rezaei, J., Tavasszy, L., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2023). A hybrid ANN–DEA model for performance prediction in green supply chains. Journal of Cleaner Production, 414, 137594, 2023.

[52] Han, S., & Lee, J. (2022). Forecasting supply chain efficiency using multi-layer neural networks and DEA integration. Expert Systems with Applications, 202, 117267, 2022.