Archive of SID.ir

KMAN PUBLISHING INSTITUTE
Journal Website

Article history:
Received 12 July 2024
Revised 02 September 2024
Accepted 08 September 2024
Published online 05 November 2024

Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management

Volume 3, Issue 4, pp 151-171

E-ISSN: 3041-8585

Predicting Corporate Financial Distress Using a Hybrid Model of Artificial Immune System and Wavelet Neural Network (Artificial Intelligence)

Reza. Mehrabi[1], Mahmoud. Hematfar[2*], Farid. Sefati[2]

[1] PhD Student, Accounting Department, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran
[2] Department of Accounting, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran

*** Corresponding author email address**: dr.hematfar@yahoo.com

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Mehrabi, R., Hematfar, M. & Sefati, F. (2024). Predicting Corporate Financial Distress Using a Hybrid Model of Artificial Immune System and Wavelet Neural Network (Artificial Intelligence). *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, *3*(4), 151-171.

© 2024 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

A B S T R A C T

In today's financial landscape, the prediction of corporate financial distress plays a crucial role in risk management and economic stability. This study aims to develop a hybrid predictive model that combines the Artificial Immune System (AIS) with the Wavelet Neural Network (WNN) to forecast financial distress in companies. The hybrid model leverages the strengths of both algorithms to improve accuracy in identifying distressed firms based on financial data. Utilizing a dataset of Tehran Stock Exchange-listed companies, this research compares the performance of the hybrid model against traditional methods like logistic regression and standalone neural networks. Results demonstrate that the AIS-WNN hybrid model outperforms other techniques in terms of prediction accuracy, sensitivity, and overall robustness. The findings indicate that the proposed model provides a powerful tool for investors, auditors, and policymakers to anticipate financial distress and make informed decisions. This approach can be further expanded to other domains of financial forecasting, contributing to the advancement of predictive analytics in the field.

Keywords: *Financial Distress, Financial Prediction, Wavelet Neural Network, Artificial Immune System, Logistic Regression, Hybrid Algorithm*

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent years, artificial intelligence (AI) has played an increasingly important role in analyzing and predicting various economic and financial phenomena (Haroonkalaei & Barzegar, 2023). One key area where AI has had a significant impact is in the prediction of corporate financial distress (Dong et al., 2024). Financial distress, which can lead to bankruptcy, is a critical issue not only for company stakeholders but also for the broader macroeconomy (Halteh et al., 2024). The ability to predict this situation can aid in better risk management and more informed decision-making (Baghbid et al., 2021).

In today's complex business world, companies face numerous challenges that can lead to financial distress. This condition not only affects companies and their shareholders but also has serious consequences for employees, creditors, and even the national economy (Fereidoni et al., 2020). Early detection of financial distress signs helps prevent bankruptcy and preserve corporate value (Song et al., 2024). Consequently, predicting corporate financial distress has become an essential topic in financial management and accounting (Ali Akbarloo et al., 2020).

Several theories have been proposed to analyze the factors influencing corporate financial health and predict bankruptcy likelihood. One notable theory is Altman's model, which uses financial ratios and statistical models to forecast a company’s financial condition (Qatabi et al., 2020). With advancements in technology and computer science, AI algorithms, including wavelet neural networks, have gained attention for their ability to detect complex and nonlinear patterns (Sheikhivand Subhan & Qayemi Saharaneh, 2019). These algorithms can use historical data to uncover hidden relationships and provide more accurate predictions (Sadeghi & Zolfaghari, 2010).

Artificial immune systems, inspired by biological immune systems, aim to identify and eliminate harmful elements in data (Abdolrazagh Nejad Majid & Adibian, 2020). These algorithms can be effective in identifying companies with high risks of financial distress. Logistic regression, a traditional method, is also used to predict bankruptcy by estimating the likelihood of an event based on independent variables (Alavi & Memarian, 2021). However, predicting financial distress is a complex process that requires detailed analysis of both financial and non-financial data (Azizi, 2021). Traditional statistical methods may not capture this complexity, thus the need for more advanced and intelligent approaches (Fereidoni et al., 2020). This study presents a hybrid predictive model that leverages the AIS and Wavelet Neural Network (WNN) to predict corporate financial distress using data from companies listed on the Tehran Stock Exchange.

Methods and Materials

The methodology employed in this study was centered around developing a hybrid model that combines AIS with WNN for financial distress prediction. The AIS is modeled after the human immune system, and it functions to identify harmful patterns in financial data. WNN, on the other hand, is a form of artificial neural network that incorporates wavelet transforms, enabling it to detect both linear and nonlinear patterns in complex datasets.

The study used financial data from Tehran Stock Exchange-listed companies. Pre-processing involved data cleaning, normalization, and feature selection to ensure the model's efficiency. The dataset was divided into training and testing sets, where the hybrid model's performance was measured against

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

traditional models like logistic regression and standalone WNN. Key performance metrics, including accuracy, sensitivity, and F1 score, were used to evaluate the models.

Findings

The hybrid AIS-WNN model significantly outperformed both the logistic regression and standalone WNN models. With a prediction accuracy of 95.4%, the hybrid model was more accurate than the standalone WNN (91.08%) and logistic regression models (89.75%). In terms of sensitivity, the hybrid model achieved a score of 96.05%, whereas the standalone WNN and logistic regression models scored 90.87% and 89.56%, respectively. The F1 score, a harmonic mean of precision and recall, was also higher for the hybrid model, indicating better overall performance.

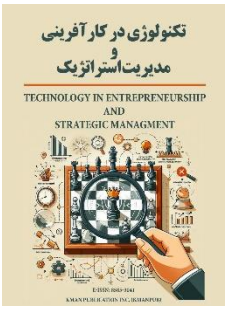
Key variables influencing financial distress, such as return on assets (ROA), debt-to-equity ratio, and net profit margin, were more effectively captured and interpreted by the hybrid model. By integrating both AIS and WNN, the model could detect intricate patterns that were overlooked by traditional models. The results demonstrate that the hybrid model provides a more nuanced and accurate prediction of financial distress, making it a valuable tool for both short-term and long-term financial risk management.

Discussion and Conclusion

The results obtained from the software execution in this thesis for predicting financial distress show that the logistic regression method, despite considering the input parameters as independent as possible, does not produce satisfactory results in terms of accuracy compared to other methods. The reason for this is that logistic regression does not handle nonlinear problems accurately, as it provides better results when approximating linear parameters. In fact, logistic regression creates linear boundaries, which are not suitable for parameters with nonlinear behavior. Various types of neural networks perform better in handling nonlinear behavior. The wavelet neural network has shown better performance in these experiments. Given the nature of neural networks, there is no significant difference between the two methods in determining financial distress. Since they exhibit similar behavior, combining these two methods also does not lead to significantly higher accuracy, as they have almost the same strengths and weaknesses.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شاپای الکترونیکی: ۸۵۸۵-۳۰۴۱

تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک

دوره ۳، شماره ۴، صفحه ۱۷۱-۱۵۱

KMAN PUBLISHING INSTITUTE

وبسایت مجله

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲۲ تیر ۱۴۰۳
اصلاح شده در تاریخ ۱۲ شهریور ۱۴۰۳
پذیرفته شده در تاریخ ۱۸ شهریور ۱۴۰۳
منتشر شده در تاریخ ۱۵ آبان ۱۴۰۳

پیش بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از مدل ترکیبی سیستم ایمنی مصنوعی و شبکه عصبی موجکی (هوش مصنوعی)

رضا مهرابی[۱]، محمود همت فر[۲*]، فرید صفتی[۲]

۱. دانشجوی دکتری، گروه حسابداری، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران
۲. گروه حسابداری، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: dr.hematfar@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

مهرابی، رضا.، همت فر، محمود.، و صفتی، فرید. (۱۴۰۳). پیش بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از مدل ترکیبی سیستم ایمنی مصنوعی و شبکه عصبی موجکی (هوش مصنوعی). *تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک*، ۳(۴)، ۱۷۱-۱۵۱.

© ۱۴۰۳ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

در چشم‌انداز مالی امروز، پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها نقشی حیاتی در مدیریت ریسک و پایداری اقتصادی ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف توسعه یک مدل پیش‌بینی ترکیبی که سیستم ایمنی مصنوعی (AIS) را با شبکه عصبی موجکی (WNN) ترکیب می‌کند، به منظور پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها انجام شده است. این مدل ترکیبی از توانایی‌های هر دو الگوریتم بهره می‌برد تا دقت پیش‌بینی شرکت‌های دچار درماندگی را بر اساس داده‌های مالی بهبود بخشد. با استفاده از داده‌های شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران، عملکرد مدل ترکیبی با روش‌های سنتی مانند رگرسیون لجستیک و شبکه‌های عصبی مستقل مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل ترکیبی AIS-WNN در مقایسه با سایر روش‌ها از نظر دقت پیش‌بینی، حساسیت و پایداری کلی عملکرد بهتری دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند به عنوان ابزاری قدرتمند برای سرمایه‌گذاران، حسابرسان و سیاست‌گذاران جهت پیش‌بینی درماندگی مالی و اتخاذ تصمیمات آگاهانه مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد می‌تواند به حوزه‌های دیگر پیش‌بینی مالی نیز گسترش یابد و به پیشرفت تحلیل‌های پیش‌بینی در این زمینه کمک کند.

کلیدواژگان: *درماندگی مالی، پیش‌بینی مالی، شبکه عصبی موجکی، سیستم ایمنی مصنوعی، رگرسیون لجستیک، الگوریتم ترکیبی*

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

در عصر حاضر، هوش مصنوعی (AI) نقش مهمی در تحلیل و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف اقتصادی و مالی ایفا می‌کند (Haroonkalaei & Barzegar, 2023). یکی از حوزه‌های کلیدی که AI می‌تواند تأثیر چشمگیری داشته باشد، پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها است (Dong et al., 2024). درماندگی مالی، که می‌تواند منجر به ورشکستگی شود، نه تنها برای ذینفعان شرکت بلکه برای اقتصاد کلان نیز مسئله‌ای حیاتی است (Halteh et al., 2024). توانایی پیش‌بینی این وضعیت می‌تواند به مدیریت بهتر ریسک و اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تر کمک کند (Baghbid et al., 2021). در دنیای مدرن تجارت، شرکت‌ها با چالش‌های متعددی روبرو هستند که می‌تواند منجر به درماندگی مالی شوند. این وضعیت نه تنها برای شرکت‌ها و سهامدارانشان بلکه برای کارکنان، اعتباردهندگان، و حتی اقتصاد کشورها نیز می‌تواند عواقب جدی داشته باشد (Fereidoni et al., 2020). با این حال، تشخیص به موقع نشانه‌های هشدار دهنده درماندگی مالی به جلوگیری از ورشکستگی و حفظ ارزش‌های شرکت کمک می‌کند (Song et al., 2024).

پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها یکی از موضوعات مهم در حوزه مدیریت مالی و حسابداری است (Ali Akbarloo et al., 2020). نظریه‌های متعددی در این زمینه وجود دارد که به تحلیل عوامل مؤثر بر سلامت مالی شرکت‌ها و پیش‌بینی احتمال ورشکستگی می‌پردازند. از جمله این نظریه‌ها می‌توان به نظریه آلتمن[1] اشاره کرد که با استفاده از نسبت‌های مالی و مدل‌های آماری، سعی در پیش‌بینی وضعیت مالی شرکت‌ها دارند (Qatabi et al., 2020). با پیشرفت تکنولوژی و علوم کامپیوتر، الگوریتم‌های هوش مصنوعی نیز وارد این عرصه شده‌اند. شبکه‌های عصبی موجکی، که ترکیبی از شبکه‌های عصبی و تبدیل موجک هستند، به دلیل توانایی بالا در تشخیص الگوهای پیچیده و غیرخطی، مورد توجه قرار گرفته‌اند (Sheikhivand Subhan & Qayemi Saharaneh, 2019). این الگوریتم‌ها قادرند با استفاده از داده‌های تاریخی، روابط پنهان در داده‌ها را کشف کرده و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری ارائه دهند (Sadeghi & Zolfaghari, 2010).

سیستم‌های ایمنی مصنوعی الهام گرفته از سیستم ایمنی بیولوژیکی هستند این الگوریتم‌ها به دنبال شناسایی و حذف عوامل مضر در داده‌ها هستند (Abdolrazagh Nejad Majid & Adibian, 2020). این الگوریتم‌ها می‌توانند در شناسایی شرکت‌های با ریسک بالای درماندگی مالی مؤثر باشند. رگرسیون لجستیک به عنوان یکی از روش‌های کلاسیک در تحلیل داده‌های دوگانه، در پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌ها کاربرد دارد (Alavi & Memarian, 2021). این مدل با تخمین احتمال وقوع یک رویداد بر اساس متغیرهای مستقل، به تحلیل ریسک درماندگی مالی می‌پردازد (Vali Zadeh Larijani & Bani Mahd, 2022). با وجود این، پیش‌بینی درماندگی مالی یک فرآیند پیچیده است که نیازمند تحلیل دقیق داده‌های مالی و غیرمالی است (Azizi, 2021). سنتی‌ترین روش‌های آماری ممکن است نتوانند با دقت کافی این پیچیدگی‌ها را درک کنند. در نتیجه، نیاز به استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر و هوشمندتر برای تحلیل و پیش‌بینی این وضعیت‌ها احساس می‌شود (Fereidoni et al., 2020).

یکی از مطالعات قابل توجه در این زمینه توسط علی اکبرلو، منصورفر و غیور در سال ۱۳۹۹ انجام شده است. آن‌ها در پژوهش خود با عنوان "مقایسه معیارهای تشخیص شرکت‌های درمانده مالی با استفاده از رگرسیون لجستیک و روش‌های هوش مصنوعی" به بررسی و رتبه‌بندی معیارهای مختلف برای شناسایی شرکت‌های درمانده مالی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که معیار آسکویت و همکاران (۱۹۹۴) بهترین روش برای شناسایی شرکت‌های درمانده در بورس اوراق بهادار تهران در دوره مورد بررسی بوده است. در این بخش از پژوهش، به بررسی پژوهش‌های پیشین و مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی ورشکستگی مالی شرکت‌ها پرداخته می‌شود (Ali Akbarloo et al.,

[1] Altman

E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

2020). در پژوهش فریدونی، دارابی و انواررستمی(۱۳۹۹) پدیده هموارسازی سود به عنوان مقوله‌ای مشترک در مرز دانش حسابداری و امور مالی با هوش مصنوعی با بررسی انگیزه حداقل نمودن تأثیر مالیات در طول زمان توسط شرکت‌ها انجام شده است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات ۹ سال مالی در بورس اوراق بهادار تهران و با استفاده از اطلاعات مالی ۲۰۷۰ سال- شرکت به پیش‌بینی هموارسازی سود با الگوریتم ماشین بردار ارتباطی پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که از بین متغیرهای پژوهش، متغیرهای حاشیه سود ناخالص، سود هر سهم، بازده فروش، بازده سهام، محافظه‌کاری شرطی، نسبت وجه نقد عملیاتی به دارایی‌ها، نسبت قیمت سهام به سود و کیفیت سود بر هموارسازی سود جاری تأثیر معناداری دارد و همچنین الگوریتم ماشین بردار ارتباطی در حالت خطی و غیرخطی توانایی پیش‌بینی میزان هموارسازی سود شرکت‌های پذیرفته شده بورس اوراق بهادار تهران را با قدرت بالا دارد. از دیگر یافته‌های پژوهش این است که برای پیش‌بینی هموارسازی سود الگوریتم غیرخطی ماشین بردار ارتباطی توانایی بالاتری نسبت به الگوریتم خطی ماشین بردار ارتباطی دارد (Fereidoni et al., 2020). در تحقیق باغبید، جعفری و صالح نژاد (۱۴۰۰) به بررسی اهمیت پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها برای سرمایه‌گذاران، سیاست‌گذاران و حسابرسان پرداخته شده است. هدف از این تحقیق، ارائه و مقایسه الگوهای ترکیبی سه‌بعدی (مالی، اقتصادی، پایداری)، دوبعدی (مالی و اقتصادی) و تک‌بعدی (مالی) در پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها با استفاده از رویکرد تحلیل مؤلفه اصلی است.این پژوهش با استفاده از داده‌های پس رویدادی و روش حذف سیستماتیک، ۱۱۳ شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران را به عنوان نمونه انتخاب کرده است. نتایج نشان داده‌اند که الگوی ترکیبی سه‌بعدی قدرت پیش‌بینی بالایی برای درماندگی مالی دارد و این الگو می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید برای تصمیم‌گیری‌های مالی مورد استفاده قرار گیرد (Baghbid et al., 2021). تحقیق دیگری که توسط عزیزی در سال ۱۴۰۰ انجام شده است و به مدل‌بندی و تعیین توان مدیریت سرمایه در گردش در پیش‌بینی ورشکستگی مالی شرکت‌ها با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌پردازد. در این پژوهش، جامعه آماری متشکل از ۱۲۰ شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفته است. با مطالعه پژوهش‌های پیشین، ۱۲ نسبت مالی اثرگذار بر ورشکستگی مالی انتخاب و محاسبه شده‌اند. نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داده است که هر ۱۲ متغیر برای استفاده در مدل‌های پیش‌بینی مناسب هستند. مقاله انجام شده همچنین به مقایسه مدل‌های پژوهش با و بدون توجه به متغیر مدیریت سرمایه در گردش بر اساس پنج مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم، رگرسیون لجستیک و تحلیل ممیزی چندگانه پرداخته است. نتایج نشان داده‌اند که مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه نسبت به سایر مدل‌ها دارای بیشترین قدرت در پیش‌بینی شرکت‌ها از لحاظ ورشکستگی مالی و سالم بودن است. با افزودن متغیر مدیریت سرمایه در گردش به مدل، خطای آموزش مدل به میزان ۰.۰۳۶ کاهش یافته و دقت مدل تا ۷۵ درصد افزایش یافته است. در این بخش از پژوهش، به بررسی تحقیقات پیشین و مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی احیای مالی شرکت‌ها می‌پردازیم (Azizi, 2021). تحقیق دیگری توسط هارونکلایی و برزگر در سال ۱۴۰۲ انجام شده است و به شناسایی متغیرهای مالی موثر در پیش‌بینی احیای مالی شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از رویکرد هوش مصنوعی می‌پردازد. در این پژوهش، داده‌های مربوط به ۱۷۳ شرکت درمانده احیاشده طی دوره زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۹ مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. با استفاده از الگوریتم‌های انتخاب ویژگی‌های لارس و رلیف، از میان ۵۴ متغیر مالی منتخب، ۱۰ متغیر مهم و موثر در احیای مالی شرکت‌های نمونه شناسایی شده‌اند. سپس، برای ارزیابی دقت نتایج متغیرهای شناسایی‌شده در پیش‌بینی احیای مالی، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم استفاده شده است. نتایج نشان داده‌اند که متغیرهای برگزیده با روش انتخاب ویژگی لارس و ارزیابی دقت با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش انتخاب ویژگی رلیف و ارزیابی دقت با الگوریتم درخت تصمیم، عملکرد بهتری در پیش‌بینی زمان خروج از درماندگی داشته‌اند. همچنین، بدون در نظر گرفتن روش‌های انتخاب ویژگی، ماشین یادگیری بردار پشتیبان در مقایسه با درخت تصمیم، در پیش‌بینی زمان خروج از درماندگی، از قدرت

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پیش‌بینی بالاتری برخوردار بوده است. بر اساس نتایج مقاله، به سرمایه‌گذاران بازار سرمایه توصیه می‌شود که بر اساس متغیرهای مالی موثر در پیش‌بینی احیای مالی و ماشین یادگیری بردار پشتیبان، شرکت‌های مستعد خروج از درماندگی را شناسایی کرده و در آن‌ها سرمایه‌گذاری نمایند (Haroonkalaei & Barzegar, 2023). هالته، الخوری، زیادات و حداد (۲۰۲۴) به بررسی پیش‌بینی درماندگی مالی در بخش فین‌تک پرداخته‌اند، که اطلاعات ارزشمندی در مورد سلامت مالی و ثبات شرکت‌های فین‌تک یونیکورن ارائه می‌دهد. با استفاده از یک تکنیک هوش مصنوعی، مدل پیش‌بینی دقیق درماندگی مالی ایجاد شده است که هدف آن شناسایی و توضیح متغیرهای مالی کلیدی تأثیرگذار بر پیش‌بینی درماندگی مالی یونیکورن‌های فین‌تک است. این مطالعه بر روی مجموعه داده‌ای متمرکز است که شامل یونیکورن‌های برجسته فین‌تک است و از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) به عنوان روش تحلیلی استفاده می‌کند. چهارده نسبت مالی در این مطالعه برای سنجش اهمیت آن‌ها در پیش‌بینی درماندگی مالی در میان یونیکورن‌های فین‌تک به کار رفته است. مدل طبقه‌بندی ایجاد شده دارای دقت پیش‌بینی ۹۵.۹٪ است. علاوه بر این، تحلیل نشان می‌دهد که بازگشت سرمایه، نسبت جاری، نسبت سریع و نسبت بدهی به سرمایه به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های مهم درماندگی مالی در میان یونیکورن‌های فین‌تک هستند. این تحقیق به طور قابل توجهی به توسعه یک اکوسیستم فین‌تک مستحکم و پایدار کمک می‌کند. این مطالعه با روشن کردن جنبه‌های حیاتی سلامت مالی، درک محیط مالی را افزایش می‌دهد و به ذینفعان، سیاست‌گذاران و جامعه گسترده‌تر فین‌تک منفعت می‌رساند (Halteh et al., 2024). در مقاله‌ای، سونگ و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی پیش‌بینی درماندگی مالی (FDP) می‌پردازند که به منظور کاهش زیان‌های احتمالی شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران حائز اهمیت است. این مقاله شاخص‌های مسئولیت اجتماعی را با شاخص‌های مالی، مدیریتی و متنی ترکیب می‌کند تا یک سیستم شاخص FDP چندبعدی بسازد. برای افزایش دقت پیش‌بینی، تفاوت در تعداد نمونه‌ها بین شرکت‌های دارای درمان خاص و شرکت‌های سالم به طور فعال در نظر گرفته شده و از تکنیک نمونه‌برداری افزایشی اقلیت مصنوعی برای مقابله با مجموعه داده‌های نامتعادل استفاده می‌شود. علاوه بر این، یک روش استخراج ویژگی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی‌ها به عنوان ورودی مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی درماندگی مالی در شرکت‌های چینی فهرست شده به کار گرفته شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که طبقه‌بندی‌کننده‌های ترکیبی انتخاب بهتری برای پیش‌بینی درماندگی مالی هستند، که در آن درخت تصمیم‌گیری تقویت شده گرادیان نسبت به سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها عملکرد بهتری دارد .شاخص‌های متنی نقش مهم‌تری در تکمیل شاخص‌های مالی سنتی FDP دارند و سیگنال‌های درماندگی مالی آن‌ها زودتر نسبت به شاخص‌های مدیریتی و مسئولیت اجتماعی ظاهر می‌شوند (Song et al., 2024). سویداس و هاندان (۲۰۲۴) به اهمیت حیاتی حفظ فعالیت‌های شرکت‌های تجاری در یک کشور و نقش آن‌ها در رفاه اقتصادی آن کشور پرداخته‌اند. جهانی‌شدن اقتصادی و بروز بحران‌های اقتصادی تأثیر منفی بر اقتصاد کشورها و شرکت‌های تجاری دارد. برای شرکت‌ها ضروری است که مدیریت مالی خوبی داشته باشند و پیش از شکست، اقدامات حیاتی را انجام دهند تا یا از تأثیرپذیری از این بحران‌ها جلوگیری کنند یا کمتر تحت تأثیر قرار گیرند.هدف از این مطالعه، ایجاد یک مدل پیش‌بینی و طبقه‌بندی است که در آن متغیر وابسته، که با در نظر گرفتن معیارهای سود و زیان شرکت‌هایی که فعالیت خود را حفظ می‌کنند، تولید می‌شود، همچنین متغیرهای مستقل با در نظر گرفتن داده‌های مالی پذیرفته شده به طور کلی از ۱۷۸ شرکت تولیدی که در بورس استانبول بین سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۹ معامله می‌شوند، با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شوند. همچنین هدف این است که اثربخشی تکنیک‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی شکست را ارزیابی کند. تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که روش‌های یادگیری ماشین شرکت‌های فعال در بورس استانبول نتایج مالی قابل قبولی در پیش‌بینی و طبقه‌بندی شرکت‌های موفق-ناموفق ارائه می‌دهند (Soydas & Handan, 2024). در مقاله انجام شده توسط دونگ و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی اهمیت فناوری هوش مصنوعی در پیش‌بینی غیرعادی صورت‌های مالی شرکت‌ها پرداخته‌شده است. توانایی هوش مصنوعی در شناسایی و پیش‌بینی الگوهای غیرعادی در داده‌های مالی از طریق الگوریتم‌های پیشرفته نشان

E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

داده شده است. این قدرت پیش‌بینی عمدتاً بر پایه تکنیک‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی مانند درخت‌های تصمیم، شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق است. این تکنیک‌ها می‌توانند داده‌های مالی تاریخی را تجزیه و تحلیل کرده و الگوها و روندها را برای پیش‌بینی مؤثر انومالی‌های احتمالی آینده مانند تقلب، خطاها یا سایر ناهنجاری‌ها یاد بگیرند. با شناسایی به موقع این انومالی‌ها، کسب‌وکارها می‌توانند اقدامات پیشگیرانه‌ای را برای کاهش زیان‌های مالی احتمالی انجام دهند. نقش هوش مصنوعی در مدیریت مالی شرکت‌ها در توانایی آن برای پردازش و تحلیل حجم زیادی از داده‌های پیچیده منعکس می‌شود. فناوری هوش مصنوعی می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا فرآیندهای مالی دشوار مانند پردازش فاکتورها و مدیریت بازپرداخت را خودکار کنند، که این امر باعث افزایش کارایی و دقت می‌شود. بر اساس الگوریتم یادگیری عمیق هوش مصنوعی، این مقاله از مدل رگرسیون ARIMA برای پیش‌بینی انومالی‌های مالی و روندهای توسعه مالی شرکت‌ها استفاده می‌کند، به طوری که به شرکت‌ها کمک می‌کند تا ریسک را مدیریت کرده و تصمیمات سرمایه‌گذاری اتخاذ کنند و بهتر با ریسک‌های مالی کنار آمده و فرصت‌های سرمایه‌گذاری را درک کنند (Dong et al., 2024).

این پژوهش، به بررسی و مقایسه چندین مدل پیشرفته AI می‌پردازد که شامل الگوریتم شبکه عصبی موجکی، الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی، الگوریتم رگرسیون لجستیک و الگوریتم ترکیبی از سیستم ایمنی مصنوعی و شبکه عصبی موجکی است. هدف از این مطالعه، ارزیابی دقت و کارایی هر یک از این مدل‌ها در پیش‌بینی درماندگی مالی است. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در داده‌های مالی و تأثیرات متغیرهای مختلف، استفاده از رویکردهای متنوع و ترکیبی می‌تواند به درک بهتری از قابلیت‌ها و محدودیت‌های هر مدل منجر شود. با توجه به بررسی پژوهش‌های پیشین در دنیای مالی امروز، توانایی پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در داده‌های مالی و تأثیرات گسترده‌ای که یک شکست مالی می‌تواند بر سهامداران، کارکنان و اقتصاد کلان داشته باشد، استفاده از روش‌های پیشرفته و دقیق برای پیش‌بینی این رویدادها ضروری است. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه هوش مصنوعی و کاربرد آن در پیش‌بینی مسائل مالی، هنوز شکاف‌های مطالعاتی مهمی وجود دارد که باید به آن‌ها پرداخته شود. اکثر مطالعات موجود بر روی الگوریتم‌های سنتی تمرکز دارند و کمتر به بررسی ترکیبی از مدل‌های نوین پرداخته‌اند. علاوه بر این، استفاده از داده‌های مالی بزرگ و پیچیده که توسط شرکت‌ها تولید می‌شود، نیازمند رویکردهای پیچیده‌تر و دقیق‌تری است. در این پژوهش، به بررسی کاربرد مدل‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی درماندگی مالی پرداخته شده است. از الگوریتم‌های پیشرفته‌ای چون شبکه عصبی موجکی، سیستم ایمنی مصنوعی، رگرسیون لجستیک و یک الگوریتم ترکیبی از سیستم ایمنی مصنوعی با شبکه عصبی موجکی استفاده شده است. این پژوهش با هدف پر کردن شکاف‌های موجود در ادبیات و ارائه راهکارهای نوآورانه‌تر برای پیش‌بینی دقیق‌تر درماندگی مالی انجام می‌شود.

روش پژوهش

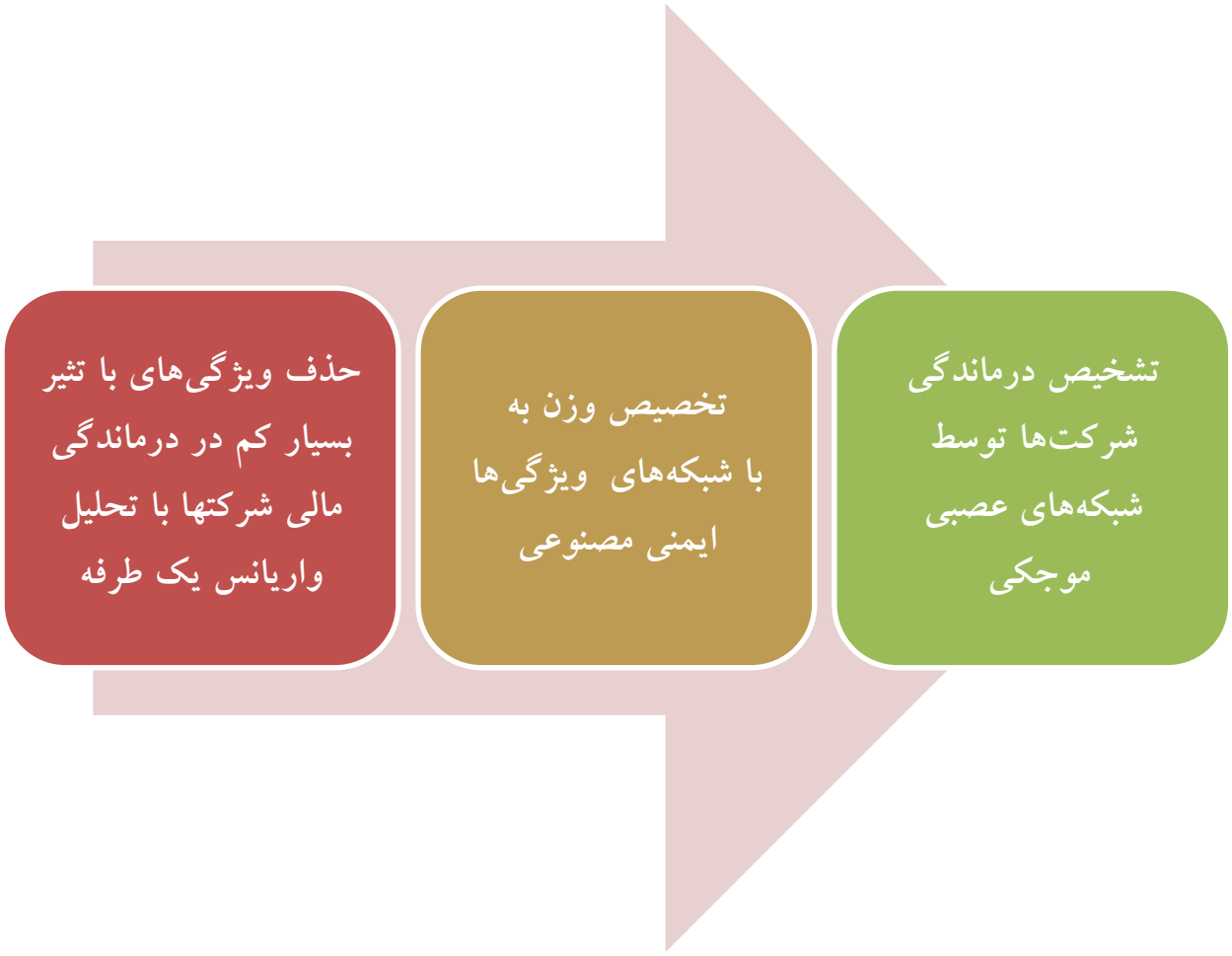
روش‌شناسی این پژوهش بر پایه استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی برای پیش‌بینی درماندگی مالی شرکت‌ها استوار است. بدین منظور از دو دسته الگوریتم استفاده شده است: الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری عمیق و الگوریتم‌های ترکیبی. در دسته اول، شبکه عصبی موجکی (WNN) به کار گرفته می‌شود که توانایی تحلیل داده‌های غیرخطی و پیچیده را دارد. در دسته دوم، سیستم ایمنی مصنوعی (AIS)و رگرسیون لجستیک(LR) به عنوان مدل‌های پایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، یک الگوریتم ترکیبی از AIS و WNNنیز توسعه داده شده است تا دقت پیش‌بینی را افزایش دهد. الگوریتم ترکیبی در سه فاز طراحی شده است. در فاز اول حذف ویژگی‌های با تأثیر بسیار کم در درماندگی مالی شرکت‌ها با تحلیل واریانس یک طرفه انجام شده است. در فاز دوم تخصیص وزن به ویژگی‌ها با شبکه‌های ایمنی مصنوعی انجام گرفت و در نهایت تشخیص درماندگی شرکت‌ها توسط شبکه‌های عصبی موجکی انجام شده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل ۱

فازهای الگوریتم ترکیبی AIS و WNN



برای ارزیابی کارایی این الگوریتم‌ها، از مجموعه داده استاندارد شامل اطلاعات مالی شرکت‌های مختلف استفاده می‌شود. داده‌ها پیش از آموزش مدل‌ها، تمیزسازی و پیش‌پردازش شده است تا از کیفیت بالای داده‌های ورودی اطمینان حاصل شود. سپس، مدل‌ها با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین آموزش داده می‌شوند و با استفاده از معیارهای ارزیابی مانند دقت، حساسیت، و F1-Score مورد سنجش قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها به تحلیلگران امکان می‌دهند تا بهترین مدل برای پیش‌بینی درماندگی مالی را شناسایی کنند.

یافته‌ها

در این پژوهش از نمونه آماری اطلاعات بورسی از یک سری شرکت‌های تولیدی استفاده شد. تعداد ۱۶۴ شرکت از ۵۳۶ شرکت با توجه به معیارهای موجود در پژوهش‌های پیشین انتخاب شد. با مدنظر قرار دادن کلیه معیارها، تعداد ۱۶۴ شرکت به عنوان جامعه غربالگری شده انتخاب شد. از این رو مشاهدات طی بازه زمانی ۱۳۹۰ لغایت ۱۳۹۹ به ۱۶۴۰ سال – شرکت (۱۰ سال ×۱۶۴ شرکت) می‌رسد.

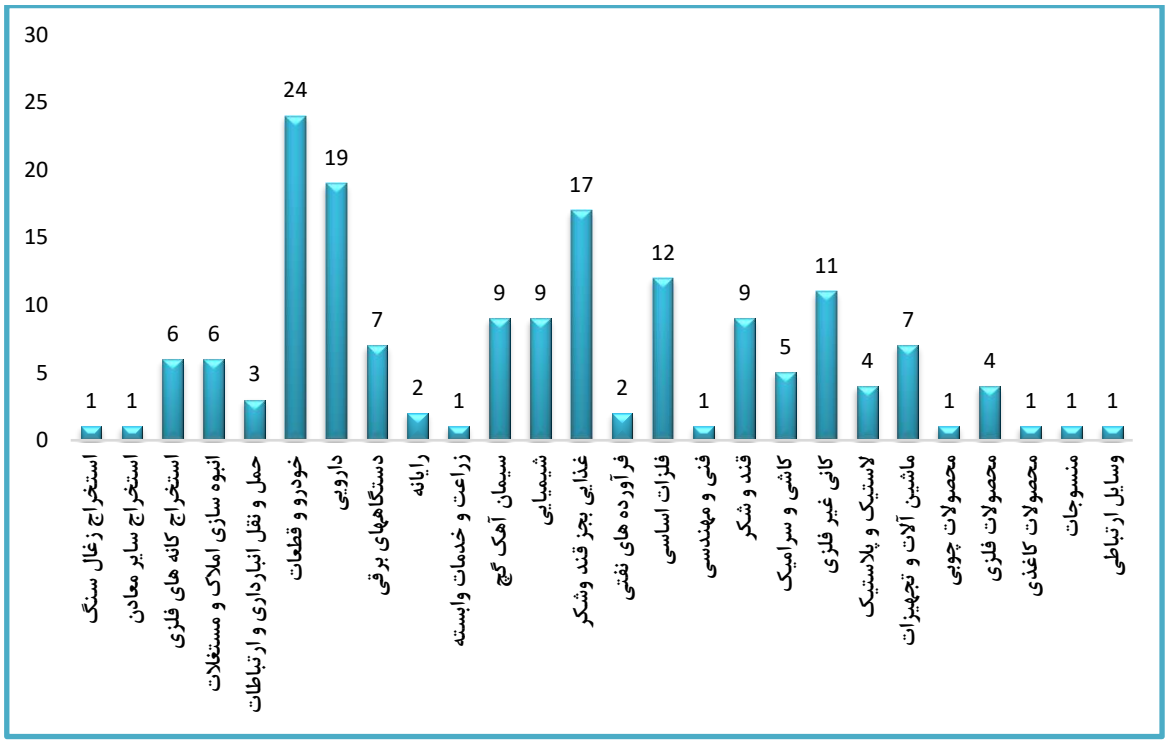
E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل ۲

توزیع فراوانی شرکت‌های نمونه بر حسب صنعت منبع داده‌های پژوهش



آمار توصیفی برخی متغیرهای پژوهش در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱

آمار توصیفی متغیرهای پژوهش منبع داده‌های پژوهش

نام متغیر	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
بازده خالص دارایی‌ها	۱۶۴۰	-۰.۵۶۷۹	۰.۹۷۶۲۷	۰.۱۳۹۴۸۸	۰.۱۷۲۵۵	۰.۰۳۰
بازده ناخالص دارایی‌ها	۱۶۴۰	-۰.۵۶۷۹۳	۰.۹۹۱۸۲۷	۰.۲۰۰۸	۰.۱۸۰۸۷	۰.۰۳۳
بازده حقوق صاحبان سهام	۱۶۴۰	-۲۹۲.۶۶	۱۲.۰۲۸۷	۰.۰۵۳۱۳۲	۷.۳۸۶۶۵	۵۴.۵۶۳
نسبت حاشیه سود خالص	۱۶۴۰	-۴۹.۴۹۴۶۲	۳۱.۴۱۱۱	۰.۱۵۵۳۰۹	۱.۵۲۴۱۵	۲.۳۲۳
نسبت حاشیه سود ناخالص	۱۶۴۰	-۱۴.۳۹۷	۱.۰۰۰۰	۰.۲۵۴۲۳۷	۰.۴۰۸۸۱	۰.۱۶۷
نسبت سود عملیاتی به فروش	۱۶۴۰	-۲۱.۵۸۱	۴.۱۰۵۳۶۲	۰.۱۴۵۴۰۵۶	۰.۷۹۹۶۹۴۸	۰.۶۴۰
نسبت سود عملیاتی به متوسط ح.ص.س	۱۶۴۰	-۱۰۹.۲۸۰	۱۷.۴۶۶۵	۰.۲۵۷۵۸۹	۳.۳۸۰۶۷	۱۱.۴۲۹
نسبت سود عملیاتی به متوسط دارایی‌ها	۱۶۴۰	-۰.۵۹۹۷۴	۰.۸۸۴۰۹۲	۰.۱۶۴۰۵۸	۰.۱۶۷۱۹۶	۰.۰۲۸
سود هر سهم	۱۶۴۰	-۵۵۵۳.۰۰	۲۱۰۲۲.۰۰۰	۸۶۱.۳۱۴۳۵۲۸	۱۴۵۸.۳۸۲۳	۲۱۲۶۸۷۹.۲۲۳
نسبت جاری	۱۶۴۰	۰.۱۳۷۴۴۸۶	۲۷.۰۹۵۴	۱.۶۷۸۷۶۶۲	۱.۴۸۷۳۳	۲.۲۱۲
نسبت آنی	۱۶۴۰	۰.۵۷۵۸۲۰	۲۶.۳۰۸۲	۰.۹۸۸۷۹۸۱۰۷	۱.۲۶۳۷۱۹	۱.۵۹۷

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با توجه به جدول ۱، می‌توان مشاهده کرد که داده‌های شرکت‌ها در زمینه‌های مختلف متفاوت و پراکنده هستند و توجه به این تفاوت‌ها برای تحلیل و تصمیم‌گیری لازم است.

به منظور تعیین اولویت بندی و معناداری تفاوت میان نقش مولفه‌ها در این پژوهش آزمون فریدمن انجام شد نتایج آزمون فریدمن با سطح معناداری ۰.۰۰۰ و مقدار خی دو ۲۴۳۱۵.۲۲۵ گزارش شده است. با توجه به اینکه سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است بنابراین فرض صفر رد و فرض تحقیق تایید شده و میان نقش مولفه‌ها در تشخیص درماندگی شرکت‌ها اختلاف معنادار وجود دارد.

جدول ۲ رتبه‌های مولفه‌های پژوهش را نشان می‌دهد نتایج نشان می‌دهند به ترتیب اهمیت کدام مولفه‌ها در بررسی پیش بینی درماندگی نقش بیشتری دارند.

جدول ۲

نتایج آزمون فریدمن جهت اولویت‌بندی مولفه‌ها

مولفه‌های بکاررفته در پژوهش	میانگین رتبه‌ها	ترتیب اهمیت	مولفه‌های بکاررفته در پژوهش	میانگین رتبه‌ها	ترتیب اهمیت
سود هر سهم	۲۳.۱۱	۱	نسبت سود عملیاتی به متوسط ح.ص.س	۱۲.۳۱	۱۵
گردش دارایی‌های ثابت	۲۲.۳۱	۲	نسبت حاشیه سود ناخالص	۱۱.۰۵	۱۶
میزان رشد جریان نقدی هر سهم	۲۲.۲۰	۳	بازده حقوق صاحبان سهام	۱۰.۷۷	۱۷
جریان نقد عملیاتی هر سهم	۲۱.۹۰	۴	نسبت گردش وجوه نقد عملیاتی	۹.۹۳	۱۸
گردش حساب‌های دریافتنی	۲۱.۷۷	۵	بازده ناخالص دارایی ها	۹.۴۰	۱۹
گردش موجودی کالا	۲۱.۲۳	۶	نسبت سرمایه در گردش به فروش	۹.۰۳	۲۰
نسبت پوشش بهره	۱۹.۶۸	۷	نسبت سود عملیاتی به فروش	۸.۱۶	۲۱
نسبت جاری	۱۹.۲۸	۸	نسبت سرمایه در گردش به دارایی ها	۸.۱۴	۲۲
نسبت پوشش بدهی به ح.ص.س	۱۷.۹۱	۹	نسبت سود عملیاتی به متوسط دارایی ها	۷.۴۶	۲۳
گردش دارایی ها	۱۶.۸۷	۱۰	نسبت حاشیه سود خالص	۶.۸۱	۲۴
جریان نقدی به هزینه بهره	۱۶.۸۱	۱۱	نسبت بازده نقدی دارایی ها	۶.۴۵	۲۵
نسبت آنی	۱۶.۳۷	۱۲	بازده خالص دارایی ها	۶.۱۰	۲۶
نسبت بدهی	۱۴.۱۱	۱۳	نسبت هزینه متوسط بدهی	۵.۳۲	۲۷
نسبت کیفیت سود	۱۳.۵۴	۱۴			

مشخصات سیستم پیاده‌سازی روش پیشنهادی، در جدول ۳ نشان داده شده است:

جدول ۳

ویژگی‌های سیستم پیاده‌سازی

ویژگی	مقدار
سرعت پردازنده	۶.۵۷ گیگاهرتز ۴هسته‌ای،
حافظه داخلی RAM	۸ گیگابایت
سیستم عامل	ویندوز ۱۰ نسخه ۶۴ بیتی
محیط برنامه‌نویسی	MATLAB ۲۰۲۲

E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در مدل رگرسیون لجستیک، احتمالات درماندگی یا عدم درماندگی با استفاده از تابع لجستیک محاسبه می‌شوند که نتایج آنها بین صفر و یک قرار دارند. مقادیر نزدیک به صفر نشان دهنده احتمال کمتر درماندگی و مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده احتمال بیشتر درماندگی هستند. با تحلیل نتایج و پارامترهای مدل رگرسیون لجستیک، می‌توان تأثیر هر یک از شاخص‌های مالی بر درماندگی شرکت‌ها را ارزیابی کرده و به پیش‌بینی و تشخیص درماندگی شرکت‌ها کمک کرد. نتایج حاصل از شبیه سازی در ادامه آورده شده است.

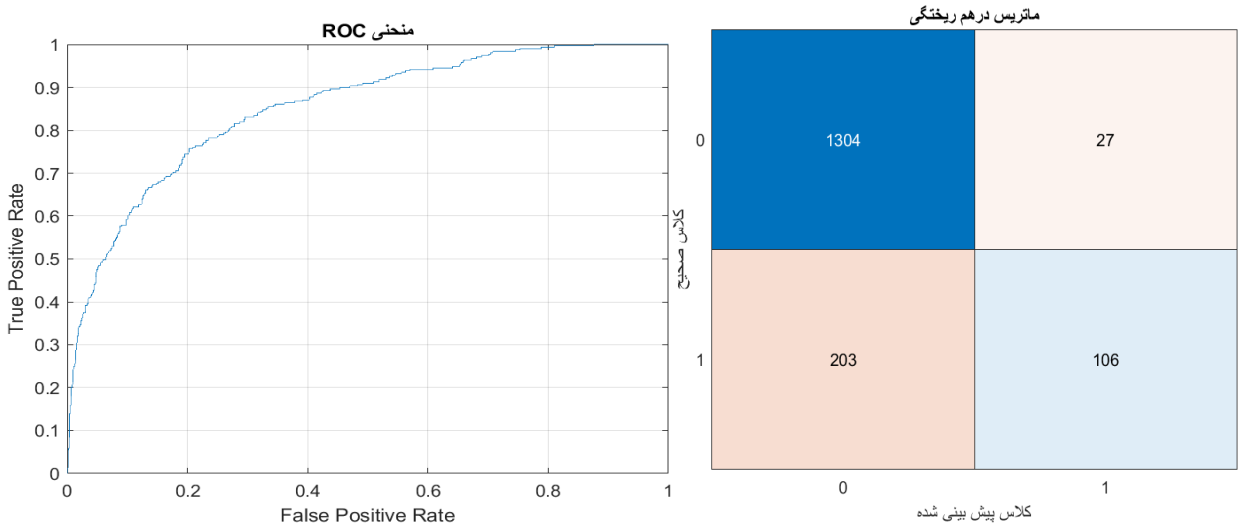
جدول ۴

نتایج مدل رگرسیون لجستیک

تعداد مشاهدات و درجات آزادی خطا	آماره کای دو و مقدار ضریب اهمیت و معناداری	احتمال پیش‌بینی برای داده جدید	خطای میانگین مربعات	ریشه میانگین مربعات خطا	مساحت زیر منحنی
تعداد مشاهدات: ۱۶۴۰	Chi^۲-statistic vs. constant model: ۴۴۵	Predicted Probability of Default for Example ۱: ۰.۱۱۷۳۴	Mean Squared Error (MSE): ۰.۱۰۶۰۳	Root Mean Squared Error (RMSE): ۰.۳۲۵۶۲	Area Under the ROC Curve (AUC): ۰.۸۵۰۸۹
درجات آزادی خطا: ۱۶۱۷	p-value = ۱.۹۲e-۸۰				

شکل ۳

منحنی ROC رگرسیون لجستیک سمت چپ و ماتریس درهم ریختگی سمت راست



ماتریس درهم ریختگی نشان می‌دهد که از ۱۶۴۰ نمونه، ۱۳۰۴ نمونه درست تشخیص داده شده‌اند (True Positives) و ۱۰۶ نمونه اشتباها تشخیص داده شده‌اند (False Positives) ، همچنین ۲۰۳ نمونه اشتباها تشخیص داده نشده‌اند (False Negatives) و ۲۷ نمونه درست تشخیص داده نشده‌اند (True Negatives).

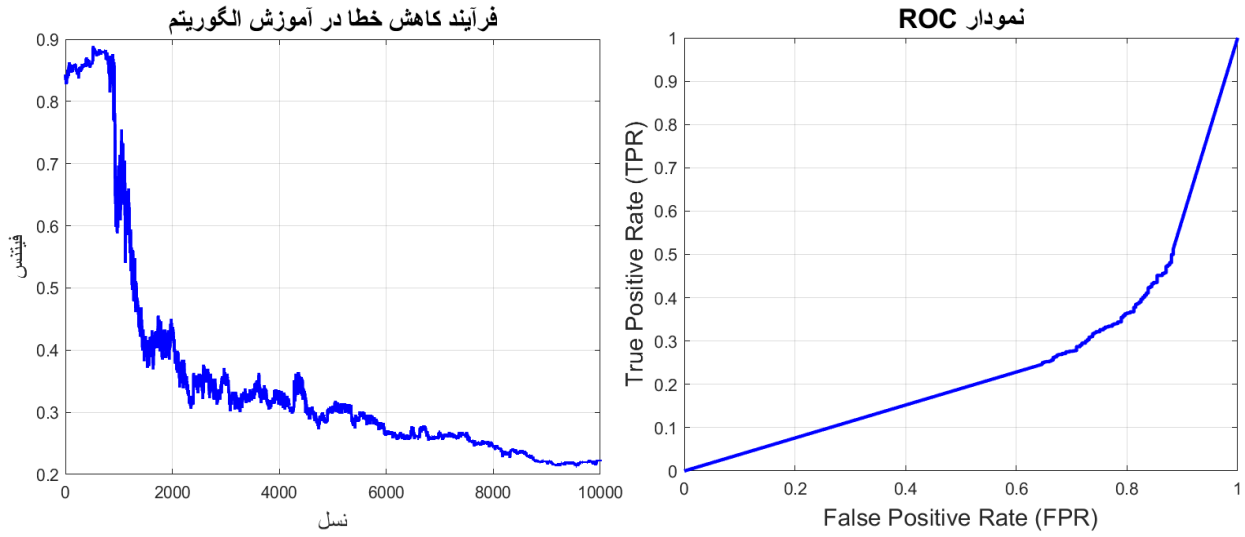
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با استفاده از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی، مدل پیش‌بینی توانسته است که با دقت و قابلیت قابل توجهی، شرکت‌هایی که در معرض خطر درماندگی هستند را تشخیص دهد.

شکل ۴

فرآیند آموزش و کاهش خطای الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی در پیش بینی درماندگی شرکت‌ها سمت چپ- نمودار ROC سمت راست



با توجه به شکل ۴ و جدول ۵، می‌توان نتیجه گرفت مقدار مساحت زیر منحنیROC ۷۰.۴۸ است که بالاتر از ۰.۵ است. این مقدار نشان می‌دهد که عملکرد مدل در تشخیص دو دسته (درمانده و غیردرمانده) در حد مناسبی است و از مرز تصادفی بودن عملکرد مدل عبور کرده است، اما نیاز به بهبود دارد.

جدول ۵

اعتبار سنجی الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی در پیش بینی درماندگی شرکت‌ها برای سال‌های آتی

معیار اعتبار سنجی	توضیح	مقدار
Accuracy	نسبت تعداد نمونه‌هایی که به درستی تشخیص داده شده‌اند به کل نمونه‌ها.	۰.۷۹۶۳۴
Precision	نسبت تعداد نمونه‌هایی که به درستی مثبت تشخیص داده شده‌اند به کل نمونه‌هایی که به درستی یا به اشتباه مثبت تشخیص داده شده‌اند.	۰.۴۴۶۳۵
Recall (Sensitivity)	نسبت تعداد نمونه‌هایی که به درستی مثبت تشخیص داده شده‌اند به کل نمونه‌های مثبت واقعی.	۰.۳۳۶۵۷
F۱ Score	معیاری که ترکیبی از دقت و حساسیت است و معیار کلی از عملکرد مدل است.	۰.۶۸۳۷
ROC	معیار عملکرد کلی مدل	۰.۷۰۴۸

به منظور مدلسازی با شبکه عصبی موجکی، ابتدا داده‌های مالی مربوط به شرکت‌های مختلف جمع‌آوری و پیش‌پردازش شامل پاکسازی داده‌ها، حذف نویز، بررسی داده‌های گمشده، نرمال سازی و انتخاب ویژگی شده است. در این مرحله ۵ مولفه (نسبت سود عملیاتی

E-ISSN: 3041-8585

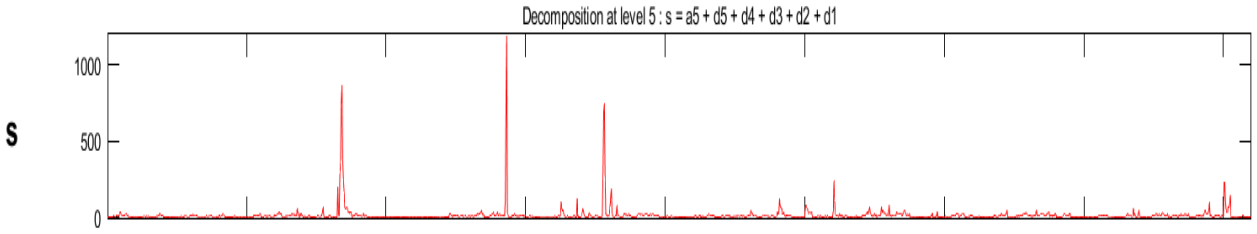
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به متوسط ح.ص.س، نسبت آنی، گردش دارایی‌های ثابت، جریان نقد عملیاتی هر سهم، میزان رشد جریان نقدی هر سهم) حذف شدند. به عنوان نمونه مراحل حذف نویز از سیگنال خام برای یک شاخص به شرح زیر است. شکل ۵ سیگنال اصلی مجموع شاخص‌های فعالیت را نشان می‌دهد. در نمودارهای ۶ تا ۱۰ مراحل حذف نویز از سیگنال اصلی انجام شده است. حذف نویز تا زمانی ادامه می‌یابد که سیگنال اصلی تقریبا به یک نمودار تقریبا خطی تبدیل شود. شکل ۱۱ سیگنال ورودی به شبکه عصبی موجکی برای شاخص‌های فعالیت را نشان می‌دهد.

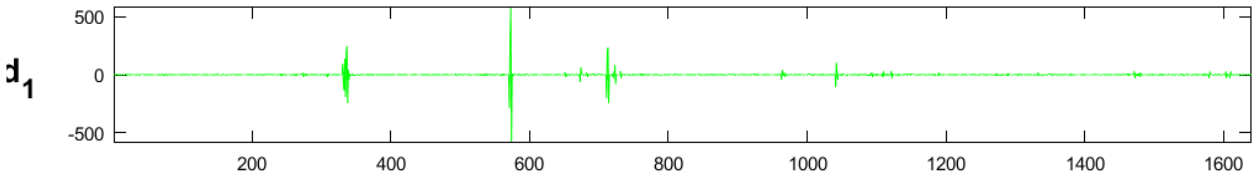
شکل ۵

سیگنال اصلی شاخص‌های فعالیت



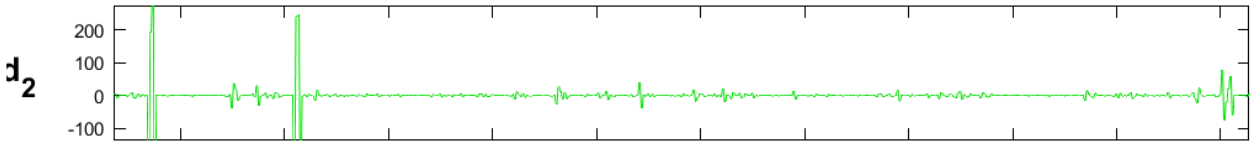
شکل ۶

جداسازی نویز از سیگنال اصلی - یک درجه تأخیر – سطح ۱



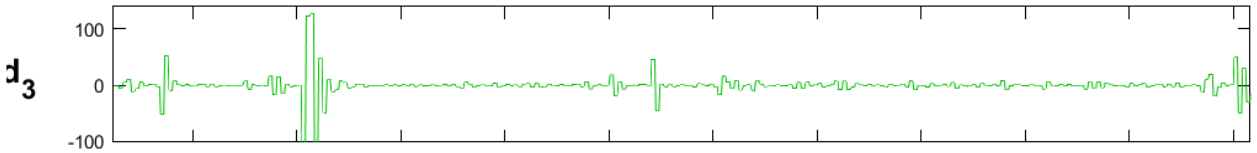
شکل ۷

جداسازی نویز از سیگنال اصلی - دو درجه تأخیر – سطح ۲



شکل ۸

جداسازی نویز از سیگنال اصلی - سه درجه تأخیر – سطح ۳

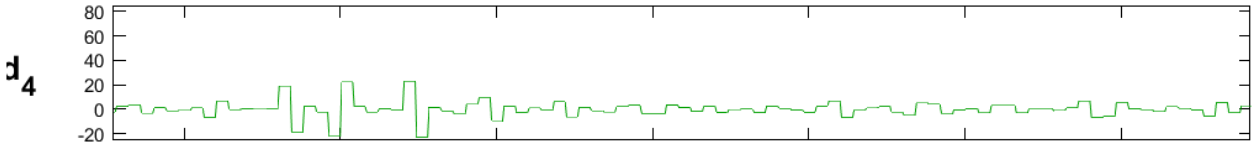


Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

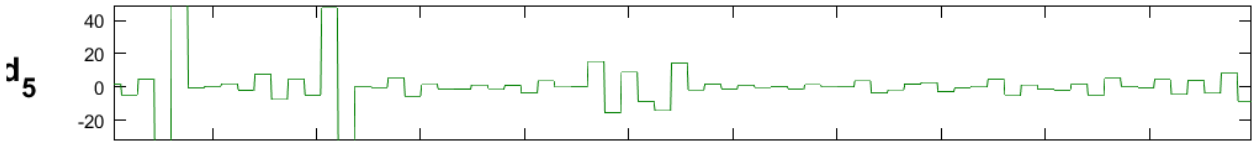
شکل ۹

جداسازی نویز از سیگنال اصلی - چهار درجه تأخیر – سطح ۴



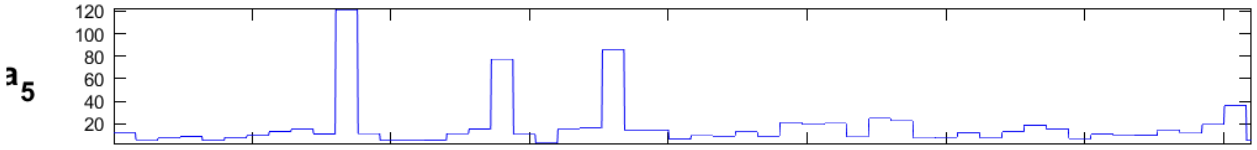
شکل ۱۰

جداسازی نویز از سیگنال اصلی - پنج درجه تأخیر – سطح ۵



شکل ۱۱

سیگنال خام بر اساس شاخص‌های فعالیت



اگر سیگنال اصلی شکل ۶ با وضعیت تصادفی و رفتار نامعلوم به عنوان ورودی شبکه عصبی لحاظ شود مدل نهایی با خطای بسیار بالا و اعتبارسنجی پایین بدست آمده است. هدف نتایج پیش‌بینی مدل این است به مدیران و تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا اقدامات پیشگیرانه‌ای را انجام دهند و احتمال درماندگی شرکت‌ها را کاهش دهند لذا ورودی بدست آمده از تجزیه سیگنال اصلی شکل ۱۱ به عنوان ورودی مناسب شبکه عصبی موجکی است.

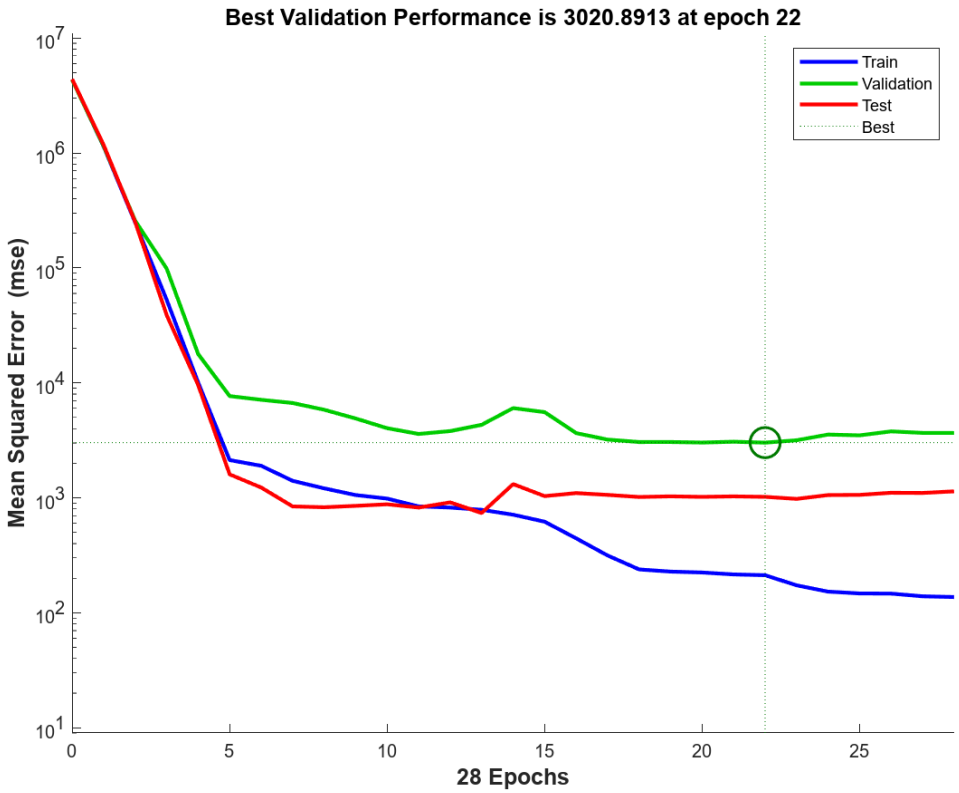
E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

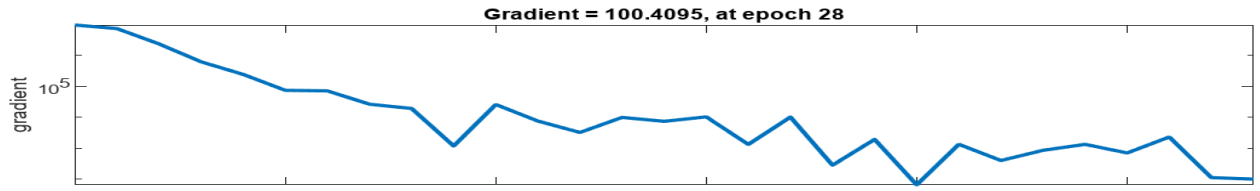
شکل ۱۲

مراحل کاهش خطای شبکه عصبی موجکی در داده‌های شاخص‌های فعالیت



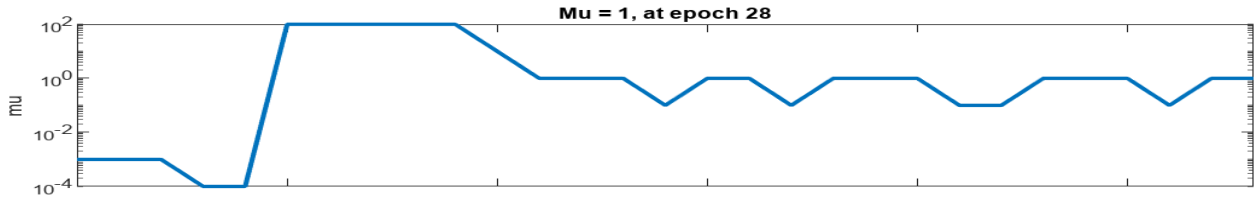
شکل ۱۳

کاهش پارامتر گرادیان شبکه موجکی در داده‌های شاخص‌های فعالیت



شکل ۱۴

کاهش پارامتر Mu شبکه موجکی در داده‌های شاخص‌های فعالیت



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۶

اعتبار سنجی شبکه عصبی موجکی در پیش بینی درماندگی شرکت‌ها بر اساس شاخص‌های فعالیت

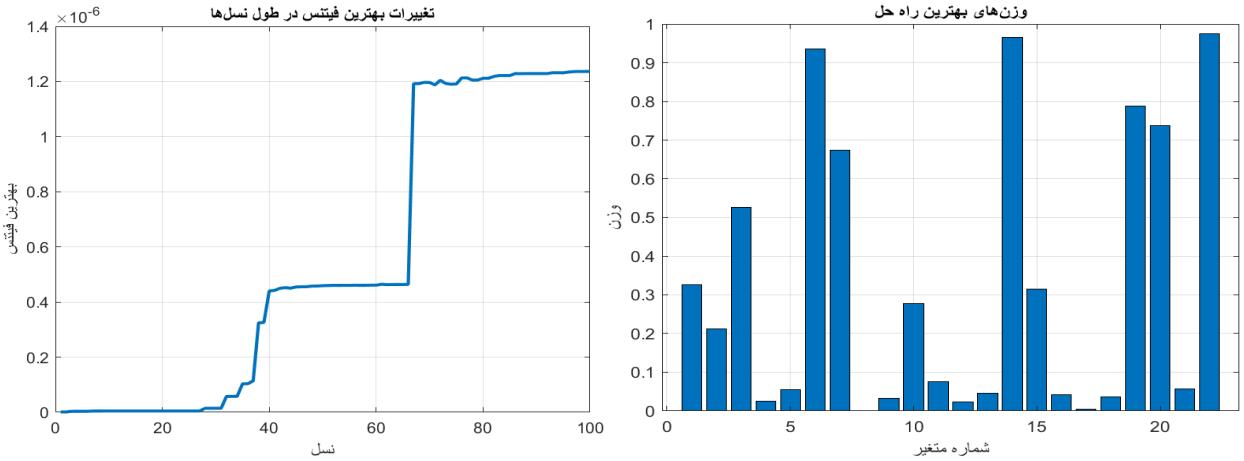
معیار اعتبار سنجی	مقدار	معیار اعتبار سنجی	مقدار
Accuracy	۰.۷۵۵۱	ROC	۰.۵۶
Precision	۰.۷۰۳۱	R	۰.۸۷۲۵
Recall (Sensitivity)	۰.۵۴۴۰	MSE	۰.۱۷
F۱ Score	۰.۸۰۸۷		

با توجه به مقادیر بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد شبکه عصبی موجکی در پیش‌بینی درماندگی شرکت‌ها بر اساس شاخص‌های فعالیت مناسب است. در صورتی که مقادیر این معیارها به طور قابل توجهی بالاتر باشند، می‌توان از کیفیت بهتری برخوردار بود.

فاز اول روش پیشنهادی انتخاب ویژگی است که در روش‌های قبل نیز پیاده سازی شدند. در ادامه تخصیص وزن به ویژگی‌ها بر اساس الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی انجام شده است و در فاز سوم وزن‌های مولفه‌ها به به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده شده است. ویژگی‌های به دست امده در فاز دوم و همراه با وزن انها به ورودی‌ها را به شبکه عصبی موجکی داده می‌شود. در این فاز مقدار۷۰٪ درصد از داده‌ها به عنوان ورودی برای آموزش شبکه عصبی داده شد . به همین علت ۷۰٪ از انواع شرکت‌ها به عنوان آموزش تخصیص داده شد. سپس ۳۰٪ باقیمانده داده‌ها برای تست و تشخیص درماندگی و ارزیابی روش پیشنهادی ارائه شده است.

شکل ۱۵

روند بهینه سازی وزن‌های مولفه‌ها با الگوریتم فرااِبتکاری AISسمت چپ و نمودار وزن‌های بهترین راه حل‌ها وزندهی مولفه‌ها سمت راست



با استفاده از تجزیه موجک بر روی وزن‌های بدست آمده، ویژگی‌های مختلفی استخراج شدند که می‌توانند به عنوان ورودی‌های یک مدل پیش‌بینی استفاده شوند. با استفاده از این ویژگی‌ها، می‌توان یک مدل پیش‌بینی را با استفاده از شبکه عصبی موجکی ایجاد کرد که قادر به تشخیص درماندگی شرکت‌ها با دقت بالا باشد.

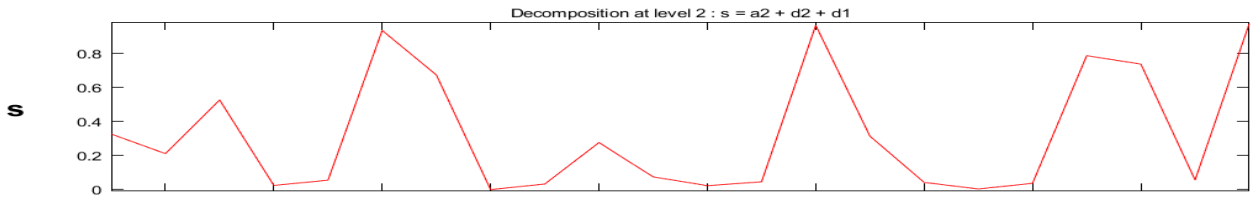
E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

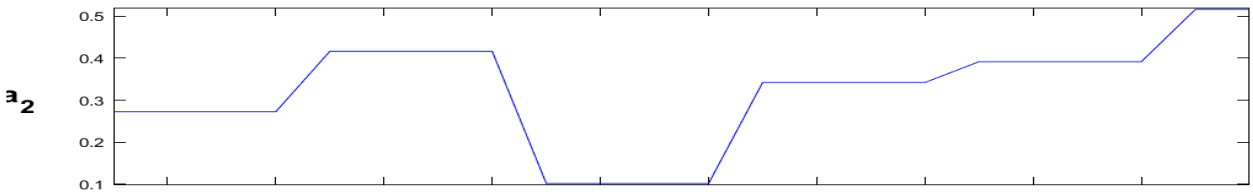
شکل ۱۶

سیگنال خام و اصلی وزن‌ها



شکل ۱۷

سیگنال ورودی به شبکه عصبی موجکی بر اساس تجزیه نویز وزن‌های بدست آمده



اعتبار سنجی شبکه عصبی موجکی ترکیبی در پیش بینی درماندگی شرکت‌ها بر اساس وزن‌های بدست آمده از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی را نشان می‌دهد:

جدول ۷

اعتبار سنجی شبکه عصبی موجکی ترکیبی

معیار اعتبار سنجی	مقدار	معیار اعتبار سنجی	مقدار
Accuracy	۰.۹۸۲۵	ROC	۰.۹۵۱۶
Precision	۰.۹۱۵۲	R	۱.۰۰۰
Recall (Sensitivity)	۰.۸۶۶۵	MSE	۰.۰۲
F۱ Score	۰.۹۸۱۷		

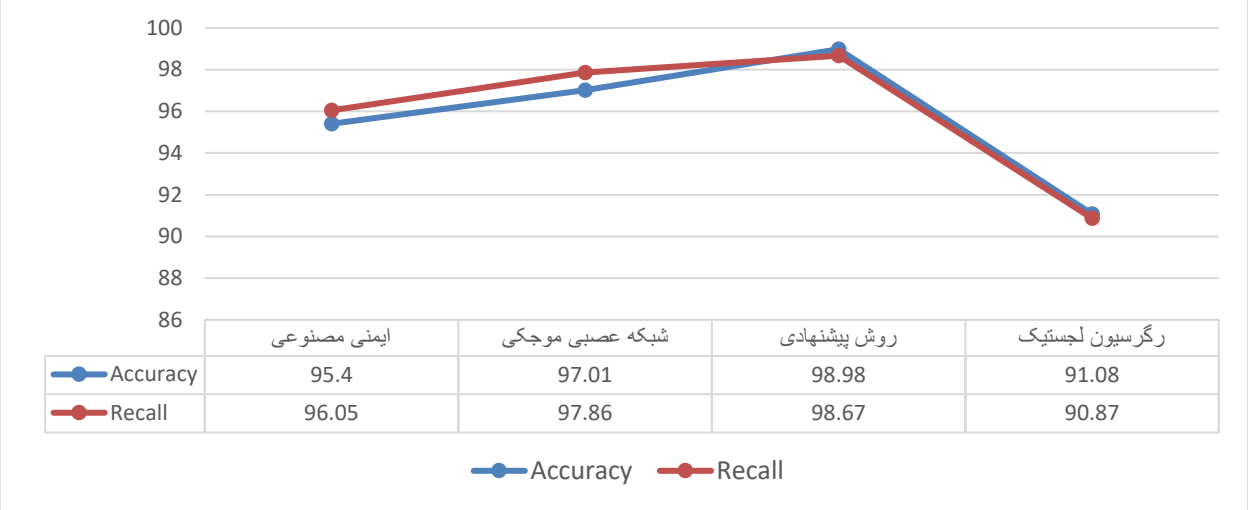
با توجه به مقادیر بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد مدل ترکیبی الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی و شبکه عصبی موجکی در پیش‌بینی درماندگی شرکت‌ها بسیار مناسبتر از روش‌های دیگر به تنهایی است. در صورتی که مقادیر اعتبارسنجی در روش‌های پیشین نامناسب بود در این روش مقادیر بسیار مناسبی بدست آمده است بعلاوه مقدار پایین MSE نشان می‌دهد روش پیشنهادی عملکرد بهتری داشته است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل ۱۸

مقایسه صحت و فراخوانی روش پیشنهادی با سایر روش‌ها در تمام شاخص‌ها



	ایمنی مصنوعی	شبکه عصبی موجکی	روش پیشنهادی	رگرسیون لجستیک
Accuracy	95.4	97.01	98.98	91.08
Recall	96.05	97.86	98.67	90.87

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اجرای نرم افزار در این رساله برای پیش بینی درماندگی نشان می‌دهد روش رگرسیون لجستیک با آنکه پارامترهای ورودی تا حد امکان مستقل در نظر گرفته شده است نتایج مطلوبی در صحت تشخیص درماندگی نسبت به سایر روش‌ها ندارد. علت این موضوع، این است که حل مشکلات غیر خطی را با رگرسیون لجستیک دقت مناسبی ندارد زیرا، رگرسیون برای تقریب با پارامترهای خطی جواب مناسب‌تری را می‌دهد. در واقع رگرسیون لجستیک مرزهای خطی می‌سازد که برای پارامترهای با رفتار غیر خطی مناسب نیست. انواع شبکه‌های عصبی در رفتارهای غیر خطی دقت بهتری را دارند. شبکه عصبی موجکی در این تجربیات رفتار بهتری را از خود نشان می‌دهند. با توجه به ماهیت شبکه عصبی اختلاف فاحشی بین دو روش در تعیین درماندگی مالی وجود ندارد. چون رفتار شبیه به هم دارند ترکیبی این دو نیز نمی‌تواند دقت بسیار مناسب‌تری ایجاد نماید زیر نقاط قوت و ضعف تقریبا یکسانی دارند.

پیشنهاد می‌شود:

۱. ذینفعان شامل شرکت‌ها، سرمایه گذاران و سایر افراد درگیر در بازار سرمایه از روش‌های نوین و وهوشمند الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی، شبکه‌های عصبی موجکی و رگرسیون لجستیک برای پیش بینی درماندگی خود استفاده کنند.

۲. به منظور بهبود دقت و قابلیت اطمینان پیش بینی‌ها، توصیه می‌شود که شرکت‌ها داده‌های بیشتر و متنوع‌تری را برای آموزش الگوریتم‌ها فراهم کنند.

۳. برای ارتقاء توانایی پیش بینی، می‌توان از تکنیک‌های افزایش توزیع داده‌ها و پیش‌پردازش داده‌ها قبل از ورود به مدل‌ها استفاده نمود توصیه می‌شود که شرکت‌ها و ذینفعان پس از پیاده‌سازی مدل‌های پیش بینی، عملکرد آن‌ها را به طور دوره‌ای ارزیابی کرده و در صورت نیاز به به‌روزرسانی مدل‌ها و داده‌های ورودی اقدام نمایند.

تعارض منافع

E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در این پژوهش تمامی موازین اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Abdolrazagh Nejad Majid, M., & Adibian, A. (2020). Dimension reduction of feature based on Rafe's theory using football league competition algorithm. https://www.sid.ir/paper/409306/fa

Alavi, M., & Memarian, H. (2021). Auditor characteristics and the likelihood of bankruptcy. *Experimental Accounting Research*, *11*(2), 159-182. https://jera.alzahra.ac.ir/article_5568.html?lang=fa

Ali Akbarloo, A., Mansourfar, G., & Ghiyour, A. (2020). Comparison of criteria for detecting financially distressed companies using logistic regression and artificial intelligence methods. *Financial Management Outlook*, *10*(29), 147-166. https://doi.org/10.52547/jfmp.10.29.147

Azizi, H. (2021). Modeling and determining the capability of working capital management in predicting corporate bankruptcy using artificial intelligence algorithms. *Securities Analysis Financial Knowledge*, *14*(51), 171-190. https://journals.srbiau.ac.ir/article_19258.html

Baghbid, E., Jafari, A., & Salehnejad, S. H. (2021). Proposing a three-dimensional (financial, economic, sustainability) combined model for predicting corporate financial distress. *Research in Financial Accounting and Auditing*, *13*(51), 105-132. https://journals.iau.ir/article_686544.html

Dong, X., Dang, B., Zang, H., Li, S., & Ma, D. (2024). The prediction trend of enterprise financial risk based on machine learning arima model. *Journal of Theory and Practice of Engineering Science*, *4*(01), 65-71. https://www.centuryscipub.com/index.php/jtpes/article/view/430

Fereidoni, F., Darabi, R., & Anvari Rastami, A. (2020). Application of artificial intelligence algorithms in predicting earnings smoothing. *Research in Financial Accounting and Auditing*, *12*(45), 103-134. https://ensani.ir/fa/article/479271/%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF-%D8%A7%D9%84%DA%AF%D9%88%D8%B1%DB%8C%D8%AA%D9%85-%D9%87%D9%88%D8%B4-%D9%85%D8%B5%D9%86%D9%88%D8%B9%DB%8C-%D8%AF%D8%B1-%D9%BE%DB%8C%D8%B4-%D8%A8%DB%8C%D9%86%DB%8C-%D9%87%D9%85%D9%88%D8%A7%D8%B1%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D8%B3%D9%88%D8%AF

Halteh, K., Alkhouri, R., Ziadat, S., & Haddad, F. (2024). Fintech Unicorns Forecaster: An AI Approach For Financial Distress Prediction. *Migration Letters*, *21*(S4), 942-954. https://migrationletters.com/index.php/ml/article/download/7379/4801/19544

Haroonkalaei, K., & Barzegar, A. (2023). Explanation of financial variables affecting the prediction of financial recovery: An artificial intelligence approach. *Economic Modeling Scientific Journal*, *17*(61). https://journals.iau.ir/article_703693.html

Qatabi, M., Khodadadi, V., Jerjerzadeh, & Kaab Omir, A. (2020). Modeling bankruptcy prediction using earnings management variables. *Economic Modeling*, *14*(50), 131-152.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

https://ensani.ir/fa/article/439378/%D9%85%D8%AF%D9%84-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D9%BE%DB%8C%D8%B4-%D8%A8%DB%8C%D9%86%DB%8C-%D9%88%D8%B1%D8%B4%DA%A9%D8%B3%D8%AA%DA%AF%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D9%81%D8%A7%D8%AF%D9%87-%D8%A7%D8%B2-%D9%85%D8%AA%D8%BA%DB%8C%D8%B1%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D9%85%D8%AF%DB%8C%D8%B1%DB%8C%D8%AA-%D8%B3%D9%88%D8%AF

Sadeghi, H., & Zolfaghari, M. (2010). Short-term prediction of national electricity demand using neural networks and wavelet transform. https://civilica.com/doc/1821120/

Sheikhivand Subhan, S., & Qayemi Saharaneh, S. (2019). Automatic identification of sleep stages from single-channel EEG signals using discrete wavelet transform and a combined model of ant colony algorithm and RUSBoost-based neural network classifier. https://www.ijbme.org/article_36377.html

Song, Y., Jiang, M., Li, S., & Zhao, S. (2024). Class-imbalanced financial distress prediction with machine learning: Incorporating financial, management, textual, and social responsibility features into index system. *Journal of Forecasting*, *43*(3), 593-614. https://doi.org/10.1002/for.3050

Soydas, S. S., & Handan, C. A. M. (2024). Predicting Financial Failure in Companies by Employing Machine Learning Methods. *International Journal of Social Science Research and Review*, *7*(2), 111-125. https://ijssrr.com/journal/article/view/1827

Vali Zadeh Larijani, A., & Bani Mahd, M. (2022). Financial statement items, life cycle, and corporate bankruptcy. *Experimental Accounting Research*, *12*(2), 91-110. https://jera.alzahra.ac.ir/article_6376.html

E-ISSN: 3041-8585

Archive of SID.ir