ACCOUNTING, FINANCE AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE

Comparing the Accuracy of Hybrid Audit Opinion Prediction Models Based on Particle Swarm Optimization (PSO) and Barnacle Optimization (BMO) Metaheuristic

1. Ali Khalifeh Sharifi: Ph.D. Student, Department of Accounting, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2. Mehdi Bahar Moghaddam*: Associate Professor, Department of Accounting, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: Mbahar@uk.ac.ir (Corresponding Author)

3. Alireza Rahimi: Assistant Professor, Department of Accounting, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Article history

Received: 30 June 2025

Revised: 04 November 2025

Accepted: 11 November 2025

Initial Publish: 19 June 2026

Final Publish: 23 August 2026

Abstract:

This study aims to compare the accuracy of hybrid audit opinion prediction models based on Particle Swarm Optimization (PSO) and Barnacle Optimization (BMO) metaheuristic algorithms. This applied research adopted a descriptive–analytical design. The statistical population included companies listed on the Tehran Stock Exchange between 2015 and 2024, with 138 firms selected through systematic elimination. Data were collected from audited financial statements in the CODAL system and Rahavard Novin software and analyzed using MATLAB 2024 and EViews 13. The multilayer perceptron (MLP) neural network served as the baseline model, while PSO and BMO algorithms optimized its weights and biases. Model performance was assessed using the confusion matrix, Receiver Operating Characteristic (ROC) curve, Area Under the Curve (AUC), correlation coefficient, paired t-test, ANOVA, Friedman, and DeLong tests. All four hypotheses were supported. Optimization of the MLP neural network using PSO and BMO algorithms significantly enhanced prediction accuracy compared with the base model. The BMO algorithm exhibited more robust and stable performance than PSO. The proposed hybrid model combining Random Forest (RF), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), and BMO-optimized MLP achieved the highest performance, with 98.9% accuracy, 98.8% precision, and an AUC value of 0.995. The DeLong and Friedman tests confirmed that the BMO-based model significantly outperformed the PSO-based model. Integrating machine learning and metaheuristic optimization substantially improved audit opinion prediction accuracy. The proposed RF–XGBoost–MLP–BMO hybrid framework emerged as the most effective and reliable structure, enhancing auditors' data-driven decision-making while minimizing human bias and error.

Keywords: Audit Opinion, Particle Swarm Optimization (PSO), Barnacle Optimization (BMO), Multilayer Perceptron Neural Network (MLP), Prediction Accuracy, Hybrid Models

Citation: Khalifeh Sharifi, A., Bahar Moghaddam, M., & Rahimi, A. (2026). Comparing the Accuracy of Hybrid Audit Opinion Prediction Models Based on Particle Swarm Optimization (PSO) and Barnacle Optimization (BMO) Metaheuristic. *Accounting, Finance and Computational Intelligence,* 4(3), 1-24.

Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Extended Abstract

Introduction

The rapid advancement of information technology and the proliferation of artificial intelligence (AI) have significantly transformed the auditing profession over the past decade. The emergence of data-driven approaches and machine learning techniques has revolutionized the traditional auditing process, which was primarily reliant on human judgment and limited sampling methods (Kokina et al., 2025). In this context, the prediction of audit opinion has gained increasing scholarly attention, as it serves as an essential indicator of a company's financial reliability and audit risk (DeAngelo, 1981). Developing accurate predictive models for audit opinions not only enhances auditors' decision-making quality but also reduces the potential for human bias and error.

Recent studies have underscored the role of AI and data mining in improving audit quality and efficiency. Vitali and Giuliani (Vitali & Giuliani, 2024) emphasized that emerging digital technologies have reshaped the nature of audit judgment, enhancing both transparency and reliability in financial reporting. Similarly, Almufadda and Almezeini (Almufadda & Almezeini, 2022) demonstrated that AI-based analytical tools contribute to detecting financial irregularities, identifying hidden patterns, and strengthening risk assessment. These findings have led to a paradigm shift from traditional auditing toward intelligent auditing systems capable of processing massive volumes of financial data.

At the core of this transformation lies the integration of machine learning algorithms—such as artificial neural networks (ANN), Random Forest (RF), and Extreme Gradient Boosting (XGBoost)—with optimization techniques that improve predictive performance (Al Ali et al., 2023; Fedyk et al., 2022). However, a critical challenge in these models is parameter tuning, which greatly influences their accuracy. To address this, metaheuristic optimization algorithms inspired by natural behaviors, such as Particle Swarm Optimization (PSO) and the Barnacle Optimization (BMO) algorithm, have gained prominence (Geng et al., 2023; Nigatu et al., 2024).

The PSO algorithm, based on the social behavior of bird flocks and fish schools, is widely employed to optimize ANN weights and biases to minimize prediction error (Zhao et al., 2021). Despite its success, PSO is prone to premature convergence, reducing its capacity to explore global optimal solutions (Nigatu et al., 2024). Conversely, the BMO algorithm, inspired by the attachment and mating behavior of barnacles, exhibits superior adaptability in multi-dimensional search spaces and effectively prevents early convergence (Moosavi et al., 2023). Studies in computational optimization have confirmed the robustness of BMO over classical algorithms, particularly in complex engineering and classification problems.

In the auditing domain, several studies have investigated the potential of AI-based approaches. Boritz and Stratopoulos (Boritz & Stratopoulos, 2023) noted that the integration of AI into auditing enhances decision accuracy while transforming auditors' roles from data reviewers to strategic evaluators. Similarly, Torroba et al. (Torroba et al., 2025) found that the adoption of AI and data analytics in auditing is strongly influenced by auditors' confidence in the reliability of these technologies. These insights align with the findings of Sarraf and Farhangian (Sarraf & Farhangian, 2022), who emphasized that data-driven auditing not only improves accuracy but also accelerates the detection of material misstatements.

In the Iranian context, Pourheidari and Azami (Pourheidari & Azami, 2010) were among the first to apply neural network models to predict audit opinions, demonstrating that ANNs outperform traditional regression models. More recently, Rahimzadeh et al. (Rahimzadeh et al., 2025) reported that machine learning algorithms such as logistic regression and support vector machines (SVM) yield superior prediction performance compared to classical statistical techniques. Similarly, Setayesh

et al. (Setayesh et al., 2025) showed that data mining techniques improve the auditing process by enhancing accuracy and efficiency in identifying material misstatements.

Despite these developments, there remains a notable gap in the literature comparing the performance of PSO and BMO algorithms in audit opinion prediction. While prior research has examined the use of individual algorithms, few studies have systematically compared their predictive accuracy and stability when integrated with hybrid machine learning models. As Bakarich and O'Brien (Bakarich & O'Brien, 2021) highlighted, the auditing profession is still transitioning from exploratory adoption of AI to its systematic implementation. This underscores the need for empirical studies that evaluate advanced metaheuristic algorithms within auditing frameworks.

Therefore, this study aimed to compare the accuracy of hybrid audit opinion prediction models based on PSO and BMO algorithms. Building upon previous evidence suggesting that hybrid models can achieve superior predictive performance (Al Ali et al., 2023; Thakur et al., 2025), this research developed a novel hybrid framework integrating Random Forest, XGBoost, and an MLP neural network optimized using BMO. The study contributes to bridging the methodological gap by empirically demonstrating which optimization approach yields higher accuracy and reliability in audit opinion prediction.

Methods and Materials

This applied and descriptive–analytical research utilized financial data from 138 companies listed on the Tehran Stock Exchange between 2015 and 2024. Data were collected from the CODAL system and Rahavard Novin software. After data cleansing, variables were analyzed using MATLAB (version 2024) for modeling and EViews 13 for statistical validation.

The study's dependent variable was the type of audit opinion (1 = unqualified, 0 = qualified/adverse). Independent variables included 30 financial ratios and corporate governance indicators extracted from established models in financial statement analysis.

The baseline model was a multilayer perceptron (MLP) neural network, which was subsequently optimized using PSO and BMO algorithms. PSO optimization parameters included a population size of 50, inertia weight of 0.7, cognitive and social coefficients of 2, and 200 iterations. For BMO, the population size was 50, mating rate 0.4, mutation rate 0.1, and iterations set at 200.

The study also developed two hybrid models combining Random Forest, XGBoost, and optimized MLPs (RF–XGBoost–MLP–PSO and RF–XGBoost–MLP–BMO). Performance metrics included Accuracy, Precision, Sensitivity, Specificity, and Area Under the ROC Curve (AUC). Statistical tests such as paired t-test, one-way ANOVA, Friedman test, and DeLong test were employed to assess model differences and significance levels.

Findings

The empirical results confirmed all four hypotheses of the study. Optimization of the MLP neural network using PSO and BMO significantly enhanced prediction accuracy compared with the baseline MLP model. The PSO-optimized model achieved an accuracy of 95.4%, while the BMO-optimized model reached 96.7%.

When combined with Random Forest and XGBoost, both hybrid models demonstrated improved predictive performance. However, the proposed RF–XGBoost–MLP–BMO model achieved the highest accuracy (98.9%), precision (98.8%), and AUC value (0.995), indicating superior discriminative capability in classifying audit opinions.

The results of the paired t-test showed statistically significant differences between the baseline MLP and the optimized models ($p < 0.01$), confirming that both PSO and BMO significantly improved the model's predictive power. ANOVA results

further indicated significant mean differences among all models ($p < 0.05$), establishing that model optimization enhances performance across various evaluation metrics.

The DeLong test comparing AUC values revealed that the BMO-based hybrid model outperformed the PSO-based counterpart with a statistically significant difference ($Z = 2.13$, $p = 0.033$). Similarly, the Friedman test ranked the models based on average accuracy, confirming that the RF–XGBoost–MLP–BMO hybrid model achieved the first rank with a mean accuracy of 98.9%.

Regression correlation analysis demonstrated a strong relationship between predicted and actual audit opinions. The correlation coefficient (R) for the baseline MLP was 0.83, for MLP–PSO was 0.92, and for MLP–BMO was 0.93, while the final hybrid model reached 0.97, indicating excellent model fit and predictive alignment.

Additionally, the analysis of variable importance identified four key predictors: CEO duality, debt ratio, ownership concentration, and institutional ownership. These variables had the highest feature importance scores and contributed most significantly to distinguishing between unqualified and qualified audit opinions.

Discussion and Conclusion

The findings of this study reinforce the transformative role of artificial intelligence and metaheuristic optimization in modern auditing. The significant improvement in predictive accuracy obtained through PSO and BMO optimization validates the capacity of hybrid AI models to enhance auditors' analytical capabilities. The superior performance of the BMO algorithm confirms its robustness and stability in solving high-dimensional financial prediction problems, as it effectively avoids premature convergence and achieves global optimal solutions.

The results align with prior studies demonstrating the efficacy of metaheuristic optimization in improving machine learning models. The superior accuracy of the RF–XGBoost–MLP–BMO hybrid model highlights the synergistic effect of combining ensemble learning with bio-inspired optimization, echoing findings by Thakur et al. (Thakur et al., 2025) and Al Ali et al. (Al Ali et al., 2023), who showed that hybrid models outperform standalone algorithms in financial classification tasks.

From a theoretical perspective, the identified key predictors—CEO duality, debt ratio, ownership concentration, and institutional ownership—align with audit quality theories proposed by DeAngelo (DeAngelo, 1981), emphasizing that corporate governance and financial risk structure directly influence audit judgment. These findings suggest that corporate structure and managerial power concentration play a vital role in determining audit outcomes.

The results further substantiate the argument of Vitali and Giuliani (Vitali & Giuliani, 2024) that digital auditing tools can redefine the scope of auditor judgment by embedding data analytics into decision-making. Similarly, the study supports the insights of Kokina et al. (Kokina et al., 2025) and Boritz and Stratopoulos (Boritz & Stratopoulos, 2023), who recognized AI's potential to shift the auditor's role from manual examination toward strategic, evidence-based evaluation.

Overall, this study bridges a significant research gap by providing empirical evidence on the comparative performance of PSO and BMO in audit opinion prediction. The proposed hybrid model demonstrates that AI-based predictive systems, when optimized through advanced metaheuristic algorithms, can substantially enhance audit efficiency, accuracy, and objectivity.

Authors' Contributions

Authors equally contributed to this article.

Acknowledgments

Authors thank all participants who participate in this study.

Declaration of Interest

The authors report no conflict of interest.

Funding

According to the authors, this article has no financial support.

Ethical Considerations

All procedures performed in this study were under the ethical standards.

حسابداری، امور مالی و هوش محاسباتی

مقایسه دقّت مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO)

۱. علی خلیفه شریفی: دانشجوی دکتری، گروه حسابداری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲. مهدی بهار مقدم*: دانشیار، گروه حسابداری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. ایمیل: **Mbahar@uk.ac.ir** (نویسنده مسئول)

۳. علیرضا رحیمی: استادیار، گروه حسابداری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۹ تیر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۳ آبان ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۰ آبان ۱۴۰۴

تاریخ چاپ اولیه: ۲۹ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ چاپ نهایی: ۱ شهریور ۱۴۰۵

چکیده

هدف پژوهش مقایسه دقّت مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO) است. پژوهش حاضر از نوع کاربردی و با رویکرد توصیفی–تحلیلی انجام شده است. جامعه آماری شامل شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۳ بود که پس از حذف سیستماتیک شرکت‌های غیرمرتبط، داده‌های ۱۳۸ شرکت به‌عنوان نمونه نهایی انتخاب گردید. داده‌ها از سامانه کدال و نرم‌افزار ره‌آورد نوین استخراج و در محیط متلب نسخه ۲۰۲۴ و ایویوز ۱۳ تحلیل شدند. برای مدل‌سازی، از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) به‌عنوان مدل پایه استفاده شد و الگوریتم‌های PSO و BMO برای بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس‌های شبکه به‌کار گرفته شدند. همچنین، جهت مقایسه عملکرد مدل‌ها از ماتریس آشفتگی، منحنی مشخصه عملکرد گیرنده(ROC) ، سطح زیر منحنی(AUC) ، ضریب همبستگی، آزمون t زوجی، تحلیل واریانس(ANOVA) ، آزمون فریدمن و آزمون DeLong استفاده شد. نتایج نشان داد که هر چهار فرضیه پژوهش تأیید شدند. بهینه‌سازی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم‌های PSO و BMO باعث افزایش معنادار دقّت پیش‌بینی نسبت به مدل پایه گردید. الگوریتم BMO در مقایسه با PSO عملکرد دقیق‌تر و پایدارتری داشت و مدل ترکیبی پیشنهادی شامل جنگل تصادفی(RF) ، تقویت گرادیان (XGBoost) و شبکه عصبی بهینه‌شده با BMO بالاترین دقت را با صحت ۹۸/۹٪، دقت ۹۸/۸٪ و مقدار AUC برابر ۰.۹۹۵ نشان داد. آزمون‌های آماری DeLong) و فریدمن (نیز تفاوت معنادار عملکرد مدل مبتنی بر BMO نسبت به PSO را تأیید کردند. به‌کارگیری ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین و بهینه‌سازی متاهیوریستیک موجب بهبود قابل‌توجه دقت پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی شد. مدل پیشنهادی RF–XGBoost–MLP–BMO توانست به‌عنوان دقیق‌ترین ساختار، فرآیند تصمیم‌گیری حسابرس را داده‌محور سازد و با کاهش خطاهای انسانی، به افزایش اعتبار قضاوت حسابرسی کمک کند.

کلیدواژگان: اظهارنظر حسابرسی، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، الگوریتم کشتی‌چسب (BMO)، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)، دقّت پیش‌بینی، مدل‌های ترکیبی

شیوه استناددهی: خلیفه شریفی، علی.، بهار مقدم، مهدی.، و رحیمی، علیرضا. (۱۴۰۵). مقایسه دقّت مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO). *حسابداری، امور مالی و هوش محاسباتی*، ۴(۳)، ۲۴-۱.

مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۵ 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.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، حرفه حسابرسی با تحولات بنیادینی در حوزه فناوری اطلاعات و هوش مصنوعی روبه‌رو شده است؛ تحولاتی که نه‌تنها شیوه‌های سنتی گردآوری و تحلیل داده‌های مالی را دگرگون کرده، بلکه ماهیت قضاوت حسابرس و سازوکار تصمیم‌گیری وی را نیز تحت تأثیر قرار داده است. ظهور فناوری‌های نوین، از جمله یادگیری ماشین، داده‌کاوی، و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، فرصت‌هایی بی‌سابقه برای بهبود کیفیت، دقّت، و سرعت فرآیندهای حسابرسی فراهم آورده است (Kokina et al., 2025). در چنین بستری، مسئله پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی به‌عنوان یکی از موضوعات کلیدی در پژوهش‌های حسابداری داده‌محور مورد توجه گسترده قرار گرفته است. اظهارنظر حسابرسی به‌صورت مفهومی، بیانگر سطح اطمینان حسابرس نسبت به صحت و قابلیت اتکای صورت‌های مالی شرکت است و از دیدگاه نظری به‌عنوان شاخصی از ریسک اطلاعاتی شرکت و اعتبار آن در بازار سرمایه تفسیر می‌شود (DeAngelo, 1981).

توسعه مدل‌های پیش‌بینی هوشمند برای شناسایی نوع اظهارنظر حسابرسی، می‌تواند در کاهش خطای قضاوت انسانی، افزایش کارایی حسابرس و ارتقای کیفیت گزارشگری مالی نقش بسزایی داشته باشد. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و فراابتکاری می‌تواند به شکل معناداری عملکرد مدل‌های پیش‌بینی در حوزه حسابرسی را بهبود بخشد (Fedyk et al., 2022). به‌ویژه، مدل‌هایی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی (Random Forest) و تقویت گرادیان (XGBoost) توانسته‌اند در شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی میان متغیرهای مالی، نسبت به روش‌های آماری کلاسیک عملکرد برتری از خود نشان دهند (Al Ali et al., 2023).

در ادبیات هوش مصنوعی، پژوهش‌های گوناگون نشان داده‌اند که مدل‌های ترکیبی و بهینه‌سازی‌شده با الگوریتم‌های متاهیوریستیک نظیر الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم کشتی‌چسب (BMO) از دقت بالاتری در پیش‌بینی رخدادهای مالی برخوردارند (Geng et al., 2023). این دو الگوریتم، با الهام از رفتارهای طبیعی و زیستی، فرآیند جست‌وجوی سراسری در فضای پارامترها را بهینه می‌سازند و از همگرایی زودرس جلوگیری می‌کنند. الگوریتم ازدحام ذرات که نخستین‌بار در دهه ۱۹۹۰ میلادی معرفی شد، بر تعامل و حرکت گروهی ذرات برای یافتن بهترین پاسخ ممکن استوار است (Nigatu et al., 2024). در مقابل، الگوریتم متاهیوریستیک کشتی‌چسب با الهام از رفتار زیستی بارناکل‌ها (Barnacles) در چسبندگی و جفت‌گیری، راهکاری کارآمد برای جست‌وجوی فضای چندبُعدی ارائه می‌دهد و در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی، عملکردی دقیق‌تر و پایدارتر از PSO از خود نشان داده است (Moosavi et al., 2023).

به‌موازات این پیشرفت‌ها، حرفه حسابرسی نیز شاهد ورود فناوری‌های هوشمند و ابزارهای داده‌محور بوده است. به گفته بوریتز و استراتوپولوس، دیدگاه صنعت و دانشگاه بر این باور است که ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی در فرآیند حسابرسی، نه‌تنها موجب افزایش بهره‌وری، بلکه باعث تحول در نقش سنتی حسابرس می‌شود (Boritz & Stratopoulos, 2023). در همین راستا، ویتالی و جولیانی معتقدند که ظهور فناوری‌های دیجیتال نوین، فرصت‌های چشمگیری را برای ارتقای شفافیت و کیفیت گزارشگری مالی در اختیار مؤسسات حسابرسی قرار داده است (Vitali & Giuliani, 2024). آنان تأکید دارند که استفاده از سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند ضمن افزایش دقت و سرعت تحلیل داده‌ها، هزینه‌های عملیاتی حسابرسی را نیز کاهش دهد.

مطالعات مختلف به بررسی اثرات کاربرد هوش مصنوعی در حرفه حسابرسی پرداخته‌اند. برای نمونه، آلموفدّا و المِزینی در یک مرور نظام‌مند، نشان دادند که فناوری‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند در تشخیص تحریفات مالی، شناسایی الگوهای غیرعادی و ارزیابی ریسک حسابرسی نقش مؤثری ایفا کنند (Almufadda & Almezeini, 2022). پژوهش مشابهی توسط زیودار نیز تأکید می‌کند که شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های یادگیری عمیق در پیش‌بینی وضعیت مالی شرکت‌ها، به‌ویژه در محیط‌های داده‌محور، دقت بالاتری نسبت به روش‌های کلاسیک آماری دارند (Zivdar, 2022).

با وجود این، یکی از چالش‌های اساسی در پیاده‌سازی مدل‌های هوش مصنوعی در حسابرسی، مسئله «تبیین‌پذیری» تصمیم‌ها و الگوریتم‌هاست. به گفته راحنورد و امیرخانی، هرچند هوش مصنوعی توجیه‌پذیر (Explainable AI) می‌تواند فرایند قضاوت حسابرس را از حالت ذهنی به حالت داده‌محور سوق دهد، اما درک منطق درونی این مدل‌ها

همچنان نیازمند توسعه روش‌های مکمل است (Rahnavard & Amirkhanian, 2024). از سوی دیگر، پژوهش ستایش و همکاران نشان داد که الگوریتم‌های داده‌کاوی در بهبود فرایند حسابرسی نقش بسزایی دارند و می‌توانند با افزایش سرعت تحلیل داده‌ها، کیفیت تصمیم‌گیری حسابرس را ارتقا دهند (Setayesh et al., 2025).

در کنار این مطالعات، تحقیقات داخلی نیز به‌طور فزاینده‌ای بر کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی تمرکز یافته‌اند. پورحیدری و اعظمی برای نخستین‌بار در ایران از شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی نوع اظهارنظر حسابرس استفاده کردند و نشان دادند که این مدل در مقایسه با روش‌های رگرسیونی از دقت بالاتری برخوردار است (Pourheidari & Azami, 2010). در پژوهشی تازه‌تر، رحیم‌زاده و همکاران با بررسی شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران دریافتند که الگوریتم رگرسیون لوجیت از نظر صحت پیش‌بینی و ماشین بردار پشتیبان (SVM) از نظر دقت طبقه‌بندی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد (Rahimzadeh et al., 2025). نتایج آن‌ها نشان داد که بهینه‌سازی پارامترهای مدل با استفاده از الگوریتم‌های متاهیوریستیک می‌تواند به‌طور معناداری صحت پیش‌بینی را افزایش دهد.

در پژوهش‌های بین‌المللی نیز رویکردهای مشابهی گزارش شده است. فدیک و همکاران در مطالعه‌ای بر روی فرایند حسابرسی مبتنی بر هوش مصنوعی، تأیید کردند که ادغام الگوریتم‌های یادگیری عمیق با روش‌های تحلیل مالی می‌تواند دقت تصمیم‌گیری حسابرس را به شکل چشمگیری بهبود بخشد (Fedyk et al., 2022). به همین ترتیب، العلی و همکاران با توسعه مدلی مبتنی بر XGBoost بهینه‌سازی‌شده، نشان دادند که ترکیب یادگیری تقویتی و بهینه‌سازی می‌تواند در تشخیص تقلب در صورت‌های مالی عملکردی قدرتمند داشته باشد (Al Ali et al., 2023). نتایج پژوهش آنان حاکی از آن است که مدل‌های ترکیبی که همزمان از الگوریتم‌های یادگیری درختی و بهینه‌سازی استفاده می‌کنند، از بالاترین دقت در پیش‌بینی رویدادهای مالی برخوردارند.

در عین حال، پژوهش توروبا و همکاران که به بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های تحلیل داده و هوش مصنوعی در میان حسابرسان اسپانیا پرداختند، نشان داد که عامل کلیدی در استفاده مؤثر از این فناوری‌ها، نگرش مثبت حسابرسان نسبت به قابلیت اعتماد و دقت سیستم‌های هوشمند است (Torroba et al., 2025). آنان تأکید کردند که پذیرش گسترده فناوری‌های هوش مصنوعی نیازمند آموزش تخصصی حسابرسان و ایجاد چارچوب‌های اخلاقی برای استفاده از الگوریتم‌های یادگیری است.

در این میان، پژوهش باکریچ و اُبرایان نشان می‌دهد که هرچند فناوری‌های هوش مصنوعی در حرفه حسابداری به‌سرعت در حال گسترش‌اند، اما هنوز در مرحله گذار از استفاده آزمایشی به بهره‌برداری سیستماتیک قرار دارند (Bakarich & O'Brien, 2021). از دیدگاه آنان، موانعی مانند کمبود شفافیت الگوریتم‌ها، هزینه‌های پیاده‌سازی و مقاومت نهادی، از چالش‌های عمده در مسیر هوشمندسازی حسابرسی هستند.

در حوزه بهینه‌سازی مدل‌های پیش‌بینی، الگوریتم‌های تکاملی و فرابتکاری نظیر PSO و BMO جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند. الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) با بهره‌گیری از حرکت جمعی ذرات در فضای جست‌وجو، به‌ویژه در تنظیم وزن شبکه‌های عصبی و کاهش خطای پیش‌بینی کاربرد دارد (Zhao et al., 2021). از سوی دیگر، الگوریتم کشتی‌چسب (BMO) که به‌تازگی توسعه یافته است، با شبیه‌سازی رفتار زیستی بارناکل‌ها و فرایندهای انتخاب طبیعی، توانایی بالایی در جست‌وجوی سراسری و یافتن نقاط بهینه در مسائل پیچیده دارد (Geng et al., 2023). بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی با استفاده از این الگوریتم‌ها، منجر به افزایش دقت پیش‌بینی و پایداری مدل در برابر داده‌های نویزی می‌شود. به گفته موسوی و همکاران، نسخه بهبودیافته الگوریتم کشتی‌چسب (IBMO) در مقایسه با نسخه‌های کلاسیک، سرعت همگرایی بالاتر و کارایی محاسباتی بهتری دارد (Moosavi et al., 2023).

از دیدگاه نظری، الگوریتم‌های ترکیبی مانند RF، XGBoost و شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) که با الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرابتکاری تنظیم می‌شوند، قادرند روابط پیچیده میان متغیرهای مالی و شاخص‌های حاکمیت شرکتی را بهتر شناسایی کنند. پژوهش ثاکور و همکاران در حوزه داده‌کاوی تأیید می‌کند که الگوریتم‌های تقویت گرادیان، به‌ویژه در ترکیب با روش‌های فرابتکاری، توانایی بالایی در یادگیری الگوهای غیرخطی دارند و می‌توانند برای پیش‌بینی رویدادهای نادر مانند تقلب یا اظهار نظر مشروط، عملکردی مطلوب ارائه دهند (Thakur et al., 2025).

به‌طور کلی، مرور ادبیات نشان می‌دهد که پژوهش‌ها در زمینه پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی، گرچه به توسعه مدل‌های متنوعی پرداخته‌اند، اما مقایسه نظام‌مند میان الگوریتم‌های PSO و BMO در این حوزه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت اظهارنظر حسابرسی در ارزیابی سلامت مالی شرکت‌ها و اعتماد سرمایه‌گذاران، شناسایی مدلی با بالاترین دقت پیش‌بینی از اهمیت بالایی برخوردار است.

از این‌رو، این پژوهش با هدف مقایسه دقّت مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO) انجام شده است.

روش پژوهش و مواد

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی–تحلیلی و مبتنی بر داده‌های واقعی شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران است. داده‌های مورد نیاز پژوهش از صورت‌های مالی حسابرسی‌شده شرکت‌ها در سامانه کدال و نرم افزار ره‌آورد نوین استخراج گردید. داده‌ها پس از گردآوری، پالایش در محیط نرم‌افزاری متلب[1] نسخه ۲۰۲۴ و برای تحلیل‌های آماری و رگرسیونی و بررسی روابط بین متغیرها از ایویوز[2] نسخه ۱۳ استفاده شده است.

جامعه آماری پژوهش حاضر شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران طی سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۳ است. نمونه گیری به روش حذف سیستماتیک انجام شد، به گونه‌ای که شرکت‌های فعال در حوزه‌های بانکی، لیزینگ و واسطه گری مالی حذف و تنها شرکت‌های انتخاب شدند که سال مالی آن‌ها منتهی به اسفند ماه و داده‌های مالی شرکت‌ها در دسترس بود. که ۱۳۸ شرکت به عنوان نمونه نهایی انتخاب شدند .

هدف این پژوهش، مقایسه کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO) در چارچوب مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی است. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیارهای صحت پیش‌بینی (Accuracy) ، آزمون دقت رگرسیونی، منحنی مشخصه عملکرد دریافت‌کننده (ROC) و سطح زیر منحنی (AUC) استفاده شد .به‌منظور بررسی پایداری و رفتار مدل‌ها در فرایند آموزش و آزمون، تحلیل آشفتگی (Chaos Analysis) به‌کار گرفته شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک بررسی گردید و بر اساس نتایج، از ترکیب آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک شامل t زوجی، ANOVA برای تحلیل داده‌ها استفاده شد.. در ادامه، جهت مقایسه عملکرد دو الگوریتم اصلی PSO و BMO از آزمون DeLongبهره گرفته شد و آزمون فریدمن نیز برای رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها بر اساس صحت و کارایی استفاده گردید.

اظهارنظر حسابرسی: در صورتی که حسابرس برای شرکت اظهارنظر مقبول ارائه داده باشد عدد یک و برای اظهارنظر غیر مقبول عدد صفر در نظر گرفته می‌شود.

متغیرهای مستقل مورد استفاده برای تحلیل و پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی که شامل ۳۰ متغیر مختلف است، بر اساس مدل‌های تحلیل مالی از پژوهش‌های استیفن و پنمن[3] (۲۰۱۲) در کتاب "تحلیل صورت‌های مالی و ارزیابی امنیت‌های مالی" و فرد وستون[4] (۱۹۸۶) در کتاب "نظریه مالی و سیاست‌های شرکتی" استخراج شده است. در ادامه متغیرهای مستقل در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. متغیرهای مستقل مورد استفاده در پژوهش

طبقه	ردیف	نام متغیر	مخفف	نحوه اندازه‌گیری
ویژگی‌های شرکت	۱	نسبت بازده دارایی	Duality	سود خالص / کل دارایی‌ها

1 MATLAB Statistics and Machine Learning Toolbox User's Guide.
2 EViews 13 User's Guide II.
3 Stephen& Penman
4 Fred Weston

	۲	نسبت حاشیه سود خالص	DR	سود خالص / فروش
	۳	نسبت حاشیه سود عملیاتی	Cown	سود عملیاتی / فروش
	۴	نسبت بازده حقوق صاحبان سهام	Iown	سود خالص / حقوق صاحبان سهام
نسبت‌های رشد	۵	رشد موجودی کالا	ROA	موجودی کالا سال قبل – موجودی کالا سال جاری / موجودی کالا سال قبل
	۶	رشد دارایی	CR	کل دارایی‌های سال قبل –کل دارایی‌های سال جاری / کل دارایی‌های سال قبل
	۷	رشد فروش	AQ	فروش سال قبل – فروش سال جاری / فروش سال قبل
نسبت نقدینگی	۸	نسبت جاری	FRR	دارایی‌های جاری / بدهی‌های جاری
	۹	نسبت سریع	Mown	موجودی کالا–دارایی‌های جاری / بدهی‌های جاری
	۱۰	نسبت وجه نقد	IG	وجوه نقد و موجودی نزد بانک+سرمایه‌گذاری‌های کوتاه‌مدت / بدهی‌های جاری
نسبت اهرمی	۱۱	نسبت بدهی	AG	کل بدهی‌ها / کل دارایی‌ها
	۱۲	نسبت بدهی به حقوق صاحبان سهام	QR	کل بدهی‌ها / حقوق صاحبان سهام
	۱۳	گردش مجموع دارایی	CashR	فروش / کل دارایی‌ها
متغیرهای حاکمیت شرکتی	۱۴	تمرکز مالکیت	DR	درصد سهام در اختیار پنج سهامدار عمده
	۱۵	مالکیت نهادی	DTER	درصد سهام در اختیار مالکان نهادی مانند بانک‌ها، بیمه، سرمایه‌گذاری و ...
	۱۶	مالکیت مدیریتی	ATR	درصد سهام در اختیار اعضای هیئت مدیره
	۱۷	مالکیت مدیرعامل	Mown	درصد سهام در اختیار مدیرعامل
	۱۸	ترکیب هیئت مدیره	COwn	نسبت اعضای هیئت مدیره مستقل به کل اعضای هیئت مدیره.
	۱۹	اعضای متخصص هیئت مدیره	BC	نسبت اعضای هیئت مدیره دارای تخصص مالی (حسابداری، حسابرسی و ...) به کل اعضای هیئت مدیره.
	۲۰	دوگانگی نقش مدیرعامل	FEB	در صورتی که مدیرعامل همزمان در نقش هیئت مدیره باشد عدد یک و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.
	۲۱	اندازه حسابرسی	Duality	در صورتی که حسابرس شرکت جز حسابرسان گروه الف رتبه بندی سازمان بورس باشند عدد یک و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.

ویژگی حسابرس مستقل	۲۲	تصدی حسابرس	AT	در صورتی که حسابرس حسابرس تغییر نکرده باشد عدد یک و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.
	۲۳	تجدید ارائه گزارش مالی	FRR	در صورتی که گزارش مالی شرکت تجدید ارائه شده باشد عدد یک و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.
سایر نسبت‌ها	۲۴	بندتوضیحی	KAM	در صورتی که گزارش مالی حسابرسی شده شرکت دارای بند توضیحی باشد عدد یک و در غیر این صورت صفر در نظر گرفته می‌شود.
	۲۵	نسبت دارایی نقدی	LAR	دارایی‌های جاری / کل دارایی‌ها
	۲۶	نسبت بدهی کوتاه‌مدت به کل بدهی‌ها	STDD	بدهی‌های کوتاه‌مدت / کل بدهی‌ها
	۲۷	نسبت دارایی ثابت	FA	دارایی ثابت / کل دارایی‌ها
	۲۸	نسبت هزینه‌ها عمومی و اداری	expense	هزینه‌های عمومی و اداری / کل فروش
	۲۹	نسبت مطالبات تجاری	Receivables	کل مطالبات / کل دارایی‌ها
	۳۰	نسبت پیش‌پرداخت	prepayment	کل پیش‌پرداخت / کل دارایی‌ها

یافته‌ها

جدول شماره (۲) آماره توصیفی داده‌های مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهد. تعداد متغیرهای مستقل ۳۰ عدد و متغیر وابسته اظهارنظر حسابرسی می‌باشد.

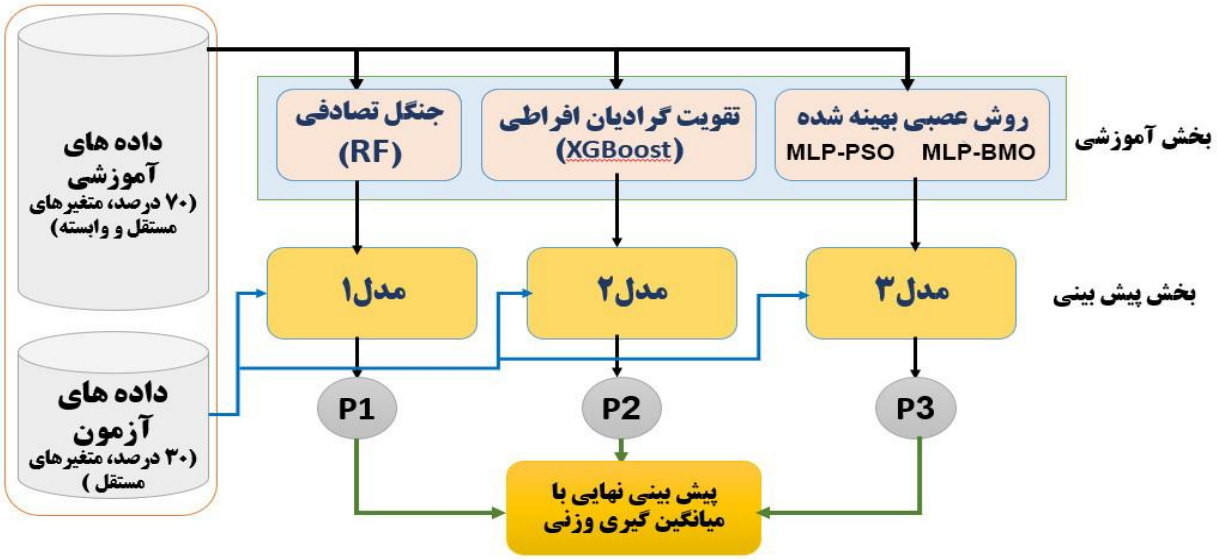
جدول ۲. متغیرهای مورد استفاده در پژوهش

ردیف	عنوان	کمترین	بیشترین	میانه	میانگین	انحراف معیار
۱	نسبت بازده دارایی	-۰.۲۶۸۷	۰.۴۸۳۰	۰.۱۲۸۲	۰.۱۴۴۴	۰.۱۲۹۰
۲	نسبت حاشیه سود خالص	-۰.۵۸۵۴	۰.۶۲۸۴	۰.۱۶۱۷	۰.۱۷۹۰	۰.۱۸۰۵
۳	نسبت حاشیه سود عملیاتی	-۰.۶۱۶۷	۰.۶۹۲۲	۰.۱۹۵۳	۰.۲۰۸۶	۰.۱۹۸۰
۴	نسبت بازده حقوق صاحبان سهام	-۰.۴۲۶۷	۰.۷۷۲۲	۰.۳۰۵۶	۰.۲۹۳۶	۰.۲۳۹۹
۵	رشد موجودی کالا	-۰.۶۱۹۴	۲.۷۲۹۴	۰.۲۵۶۱	۰.۳۸۹۶	۰.۵۶۷۱
۶	رشد دارایی	-۰.۳۲۹۲	۲.۸۸۳۸	۰.۲۴۱۱	۰.۳۵۶۰	۰.۴۳۶۲
۷	رشد فروش	-۰.۴۳۹۱	۲.۸۹۳۴	۰.۳۲۴۲	۰.۳۹۵۲	۰.۵۰۸۳
۸	نسبت جاری	۰.۲۱۴۷	۶.۴۹۰۹	۱.۴۳۸۶	۱.۷۲۰۲	۱.۰۴۸۴
۹	نسبت سریع	۰.۰۸۲۰	۵.۷۱۴۹	۰.۹۱۶۱	۱.۱۰۸۴	۰.۸۳۹۰
۱۰	نسبت وجه نقد	۰.۰۰۰۸	۰.۶۷۲۴	۰.۰۷۱۰	۰.۱۲۳۳	۰.۱۳۷۵
۱۱	نسبت بدهی	۰.۰۳۷۰	۱.۰۸۷۵	۰.۵۲۷۷	۰.۵۲۶۸	۰.۲۰۵۷
۱۲	نسبت بدهی به حقوق صاحبان سهام	۰.۰۳۸۴	۳.۸۶۶۰	۱.۰۶۹۵	۱.۳۴۹۳	۰.۹۷۳۵
۱۳	گردش مجموع دارایی	۰.۰۳۹۳	۲.۷۲۹۵	۰.۷۷۴۸	۰.۹۰۱۶	۰.۵۲۷۷
۱۴	تمرکز مالکیت	۰.۱۰۲۵	۰.۹۸۲۰	۰.۷۷۸۸	۰.۷۳۴۰	۰.۱۷۷۵
۱۵	مالکیت نهادی	۰	۰.۹۶۰۳	۰.۴۸۲۶	۰.۴۴۵۹	۰.۳۲۳۳

۱۶	مالکیت مدیریتی	۰	۰.۹۸۱۰	۰.۶۷۱۳	۰.۶۲۲۵	۰.۲۳۸۲
۱۷	مالکیت مدیرعامل	۰	۰.۹۵۴۴	۰.۰۱۳۶	۰.۱۹۹۳	۰.۲۷۷۶
۱۸	ترکیب هیئت مدیره	۰.۲	۱	۰.۶	۰.۶۵۹۵	۰.۱۷۶۳
۱۹	اعضای متخصص هیئت مدیره	۰	۱	۱	۰.۷۶۸۸	۰.۴۲۱۷
۲۰	دوگانگی نقش مدیرعامل	۰	۱	۱	۰.۸۳۷۰	۰.۳۶۹۵
۲۱	اندازه حسابرسی	۰	۱	۱	۰.۶۲۳۲	۰.۴۸۴۸
۲۲	تصدی حسابرس	۰	۱	۱	۰.۵۶۰۹	۰.۴۹۶۵
۲۳	تجدید ارائه گزارش مالی	۰	۱	۱	۰.۷۳۹۱	۰.۴۳۹۳
۲۴	بندتوضیحی	۰	۱	۰	۰.۳۵۰۷	۰.۴۷۷۴
۲۵	نسبت دارایی نقدی	۰.۱۶۵۸	۰.۹۵۳۹	۰.۶۹۵۰	۰.۶۶۴۵	۰.۱۹۸۹
۲۶	نسبت بدهی کوتاه‌مدت به کل بدهی‌ها	۰.۱۸۷۶	۰.۹۹۱۴	۰.۹۲۳۴	۰.۸۷۹۸	۰.۱۲۶۰
۲۷	نسبت دارایی ثابت	۰.۰۲۵۰	۰.۷۳۸۱	۰.۲۱۰۲	۰.۲۵۵۶	۰.۱۸۲۰
۲۸	نسبت هزینه‌ها عمومی و اداری	۰.۰۰۶۸	۰.۳۵۵۸	۰.۰۶۲۷	۰.۰۷۸۴	۰.۰۵۶۳
۲۹	نسبت مطالبات تجاری	۰.۰۰۵۷	۰.۶۵۳۸	۰.۲۴۳۴	۰.۲۷۹۰	۰.۱۷۸۷
۳۰	نسبت پیش‌پرداخت	۰	۰.۲۱۱۶	۰.۰۲۷۲	۰.۰۴۲۷	۰.۰۴۵۸
۳۱	اظهارنظر حسابرسی (۰ یا ۱)	۰	۱	۱	۰.۵۵۳۶	۰.۴۹۷۳

همان طور که در جدول شماره (۲) مشاهده می‌شود، در میان متغیرهای مستقل، نسبت جاری بیشترین میانگین و انحراف معیار را به خود اختصاص می‌دهد. در ادامه تمرکز مالکیت با میانگین ۷۳.۴٪ نشان می‌دهد ساختار مالکیت در بسیاری از شرکت‌ها متمرکز است و نسبت بدهی با میانگین ۵۲.۷٪ حاکی از اتکای قابل توجه به تأمین مالی بدهی است، در حالی که سهم ۶۶.۵٪ دارایی‌های نقدی از ترازنامه، رویکرد محتاطانه در مدیریت دارایی‌ها را نشان می‌دهد.

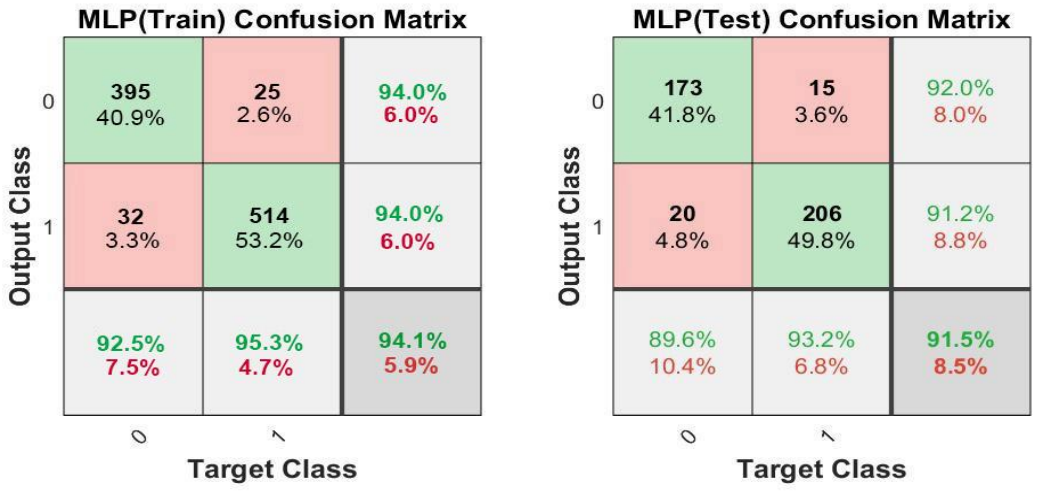
در این پژوهش، برای پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) به‌عنوان مدل پایه استفاده شد. به‌منظور افزایش دقت مدل و بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس‌های شبکه، دو الگوریتم فرابتکاری ازدحام ذرات (PSO) و کشتی‌چسب (BMO) در فرایند آموزش شبکه به‌کار گرفته شدند. در الگوریتم ازدحام ذرات(PSO) ، هر ذره نماینده مجموعه‌ای از وزن‌های شبکه است. موقعیت و سرعت ذرات در هر تکرار بر اساس بهترین موقعیت فردی (pBest) و بهترین موقعیت جمعی (gBest) به‌روزرسانی می‌شود تا مقدار تابع هدف یعنی میانگین مربعات خطا (MSE) حداقل گردد. در این پژوهش، اندازه جمعیت ۵۰، ضریب اینرسی ۰.۷، ضرایب شتاب شناختی و اجتماعی هرکدام ۲، و تعداد تکرارها ۲۰۰ مرحله در نظر گرفته شد(باکریچ و ابرایان ،۲۰۲۱). در الگوریتم کشتی‌چسب(BMO) ، با الهام از رفتار زیستی بارناکل‌ها، جمعیتی اولیه از پاسخ‌ها ایجاد می‌شود و اعضا در هر تکرار با فرایندهای جفت‌گیری، جهش و انتخاب طبیعی تکامل می‌یابند تا وزن‌ها و بایاس‌های شبکه بهینه گردد. پارامترهای اصلی شامل اندازه جمعیت ۵۰، نرخ جفت‌گیری ۰.۴، نرخ جهش ۰.۱ و ۲۰۰ تکرار تعیین شد (گنگ و همکاران،۲۰۲۳). در هر دو الگوریتم، تابع هدف بر پایه کمینه‌سازی MSE تعریف شد و آموزش شبکه تا رسیدن به حداقل خطا ادامه یافت. این شکل شامل مراحل بارگذاری داده‌ها، آموزش مدل‌ها، پیش‌بینی و ترکیب نتایج با میانگین وزنی است.



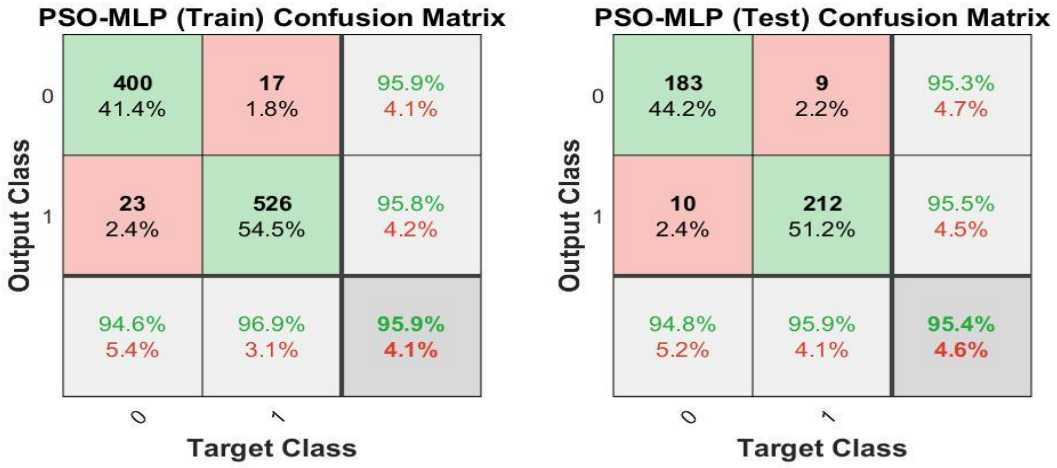
شکل ۱. مدل ترکیبی برای پیش بینی دقت اظهارنظر حسابرسی

مدل پیشنهادی این پژوهش با عنوانHybrid RF–XGBoost–MLP–BMO ، چارچوبی ترکیبی است که با هدف افزایش دقت و کارایی پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی طراحی شده است. در این مدل، جنگل تصادفی (RF) برای شناسایی متغیرهای کلیدی و کاهش نویز به‌کار می‌رود، تقویت گرادیان افراطی (XGBoost) برای یادگیری روابط غیرخطی و تولید خروجی‌های احتمالاتی، خروجی این دو، به‌عنوان ورودی به شبکهی عصبی(MLP) بهینه‌شده با الگوریتم کشتی‌چسب (MLP–BMO) داده می‌شود تا تنظیم سراسری وزن‌ها انجام گیرد. هدف از این ترکیب، بهره‌گیری هم‌زمان از توانایی الگوریتم‌های درختی در استخراج الگوهای ساختاری و ظرفیت الگوریتم‌های فرابتکاری در جست‌وجوی سراسری فضای پارامترهای شبکه است.

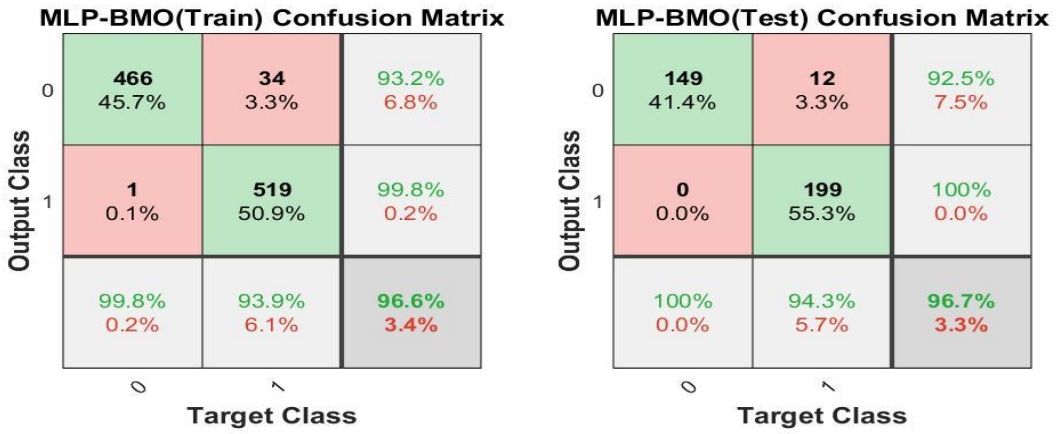
در این بخش به شرح جزئیات حاصل از نتایج ارزیابی مدل‌های مختلف بر اساس معیارهای تحلیل آشفتگی (درهم ریختگی) مختلفی مانند صحت، دقت، حساسیت و ویژگی مطابق شکل شماره (۲ تا 6)، معیار F1، نرخ مثبت کاذب (FPR)، نرخ منفی کاذب (FNR) و ویژگی در بخش آموزش و آزمون می‌باشند.



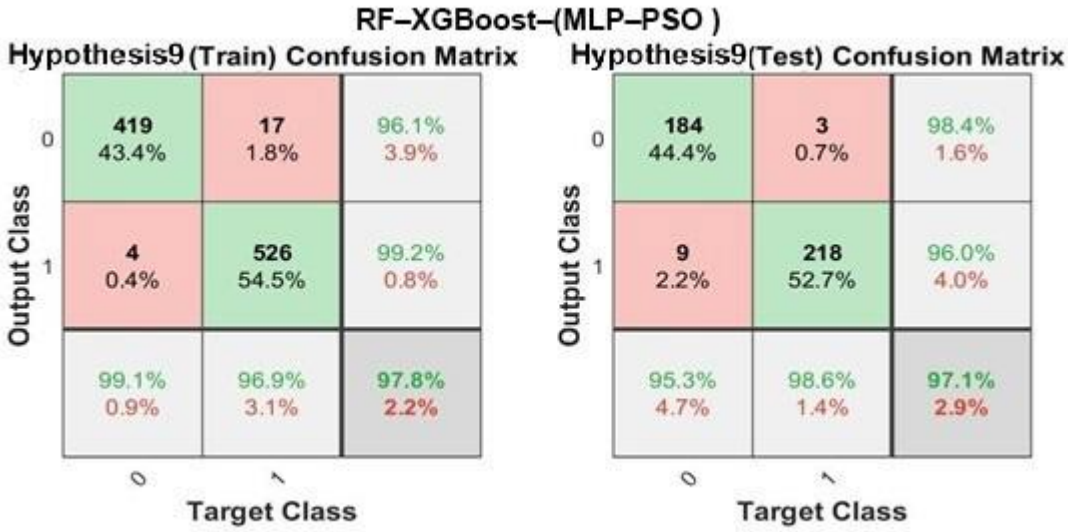
شکل ۲. تحلیل آشفتگی– شبکه عصبی پرسپترون چندلایهMLP-بخش آموزشی-آزمون



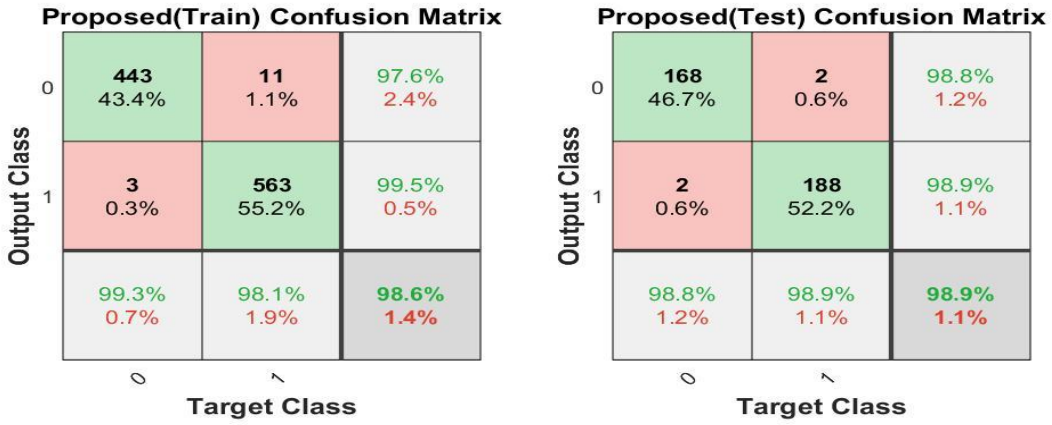
شکل ۳. تحلیل آشفتگی– شبکه عصبی بهینه شده با ازدحام ذراتMLP-PSO – بخش آموزشی-آزمون



شکل ۴. تحلیل آشفتگی– شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتمکشتیچسبMLP-BMO – بخش آموزشی-آزمون



شکل ۵. تحلیل آشفتگی–RF–XGBoost–MLP–PSO بخش آموزشی–آزمون



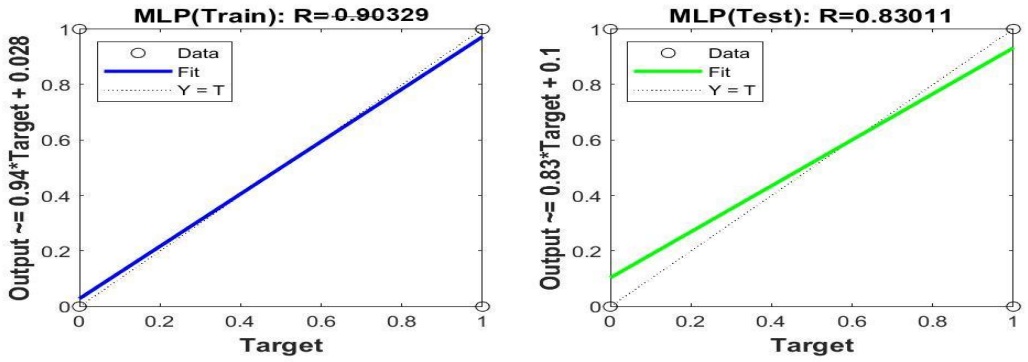
شکل ۶. تحلیل آشفتگی–RF–XGBoost–MLP–BMO (مدل پیشنهادی مقاله)

معیار صحت نشان‌دهنده درصد کلی پیش‌بینی‌های درست مدل از تمام موارد است. این معیار به ما می‌گوید چند درصد از کل اظهارنظرها (چه مقبول و چه غیرمقبول) به درستی تشخیص داده شده‌اند. بر پایه‌ی داده‌های بخش آزمون و مطابق شکل شماره ۲ تا ۶ و جدول شماره (۳)، نتایج به‌دست‌آمده از ماتریس آشفتگی مدل نشان می‌دهد به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری (PSO) و (BMO) موجب بهبود معنادار در عملکرد شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) شده است. در مقام مقایسه، شبکه عصبی بهینه شده با کشتی چسب BMO نسبت به شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) در شاخص درصد کلی پیش‌بینی‌های مدل، بهبود معنادار دارد . افزون بر آن مدل پیشنهادی این پژوهش یعنی ترکیب جنگل تصادفی(RF)، تقویت گرادیان افراطی (XGBoost)، شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم کشتی چسب(BMO) با صحت ۹۸/۹٪، دقّت ۹۸/۸٪، ویژگی ۹۸/۹٪ و حساسیت ۹۸/۸٪. بهترین کارایی را در میان تمام رویکردها نشان می‌دهد.

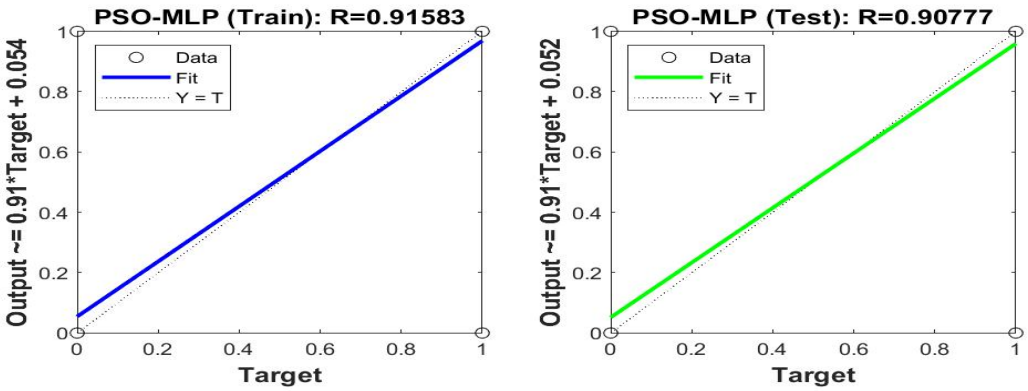
جدول ۳. معیارهای عملکرد مدل‌ها بر اساس داده‌های آزمایشی

ردیف	عنوان	نماد	صحت	دقت	ویژگی	حساسیت
۱	شبکه عصبی پرسپترون چندلایه(MLP)	MLP	۹۱.۵	۹۲	۹۳.۲	۸۹.۶
۲	شبکه عصبی با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)	PSO-optimized MLP	۹۵.۴	۹۵.۳	۹۵.۹	۹۴.۸
۳	شبکه عصبی با الگوریتم بهینه سازی کشتی چسب (BMO)	BMO-optimized MLP	۹۶.۷	۹۲.۵	۹۴.۳	۱۰۰
۴	ترکیب جنگل تصادفی، تقویت گرادیان افراطی ، شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ازدحام ذرات(PSO)	RF+XGBoost+MLP-PSO	۹۷.۱	۹۸.۴	۹۸.۶	۹۵.۳
۵	ترکیب جنگل تصادفی، تقویت گرادیان افراطی ، شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم کشتی چسب(BMO)	Proposed Hybrid Model (RF+XGBoost+MLP-BMO)	۹۸.۹	۹۸.۸	۹۸.۹	۹۸.۸

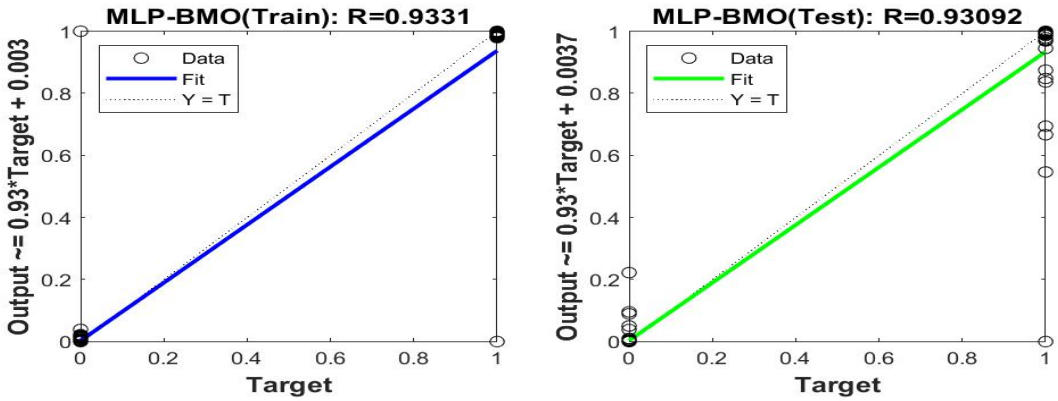
شکل شماره ۷ تا۱۱، دقت رگرسیونی بخش آموزشی و آزمایش در روش‌های بکار رفته در فرضیه ۱ تا ۴ این پژوهش را نشان می‌دهد.



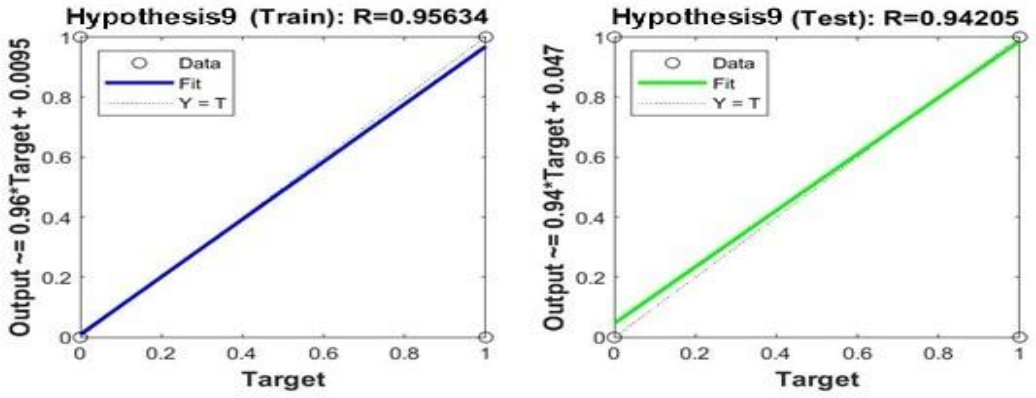
شکل ۷. آزمون تحلیل رگرسیونی – MLP - بخش آموزشی



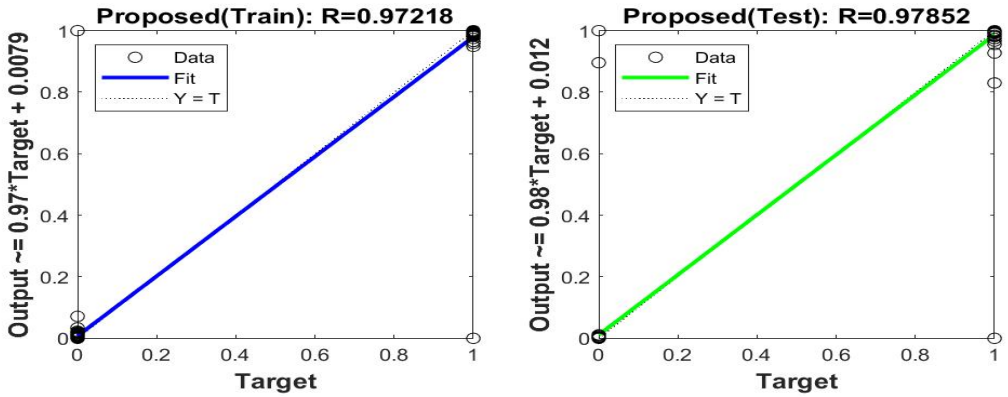
شکل ۸. آزمون تحلیل رگرسیونی – MLP-PSO–بخش آموزشی



شکل ۹. آزمون تحلیل رگرسیونی – MLP-BMO–بخش آموزشی



شکل ۱۰. آزمون تحلیل رگرسیونی- RF–XGBoost–MLP–PSO- بخش آموزشی



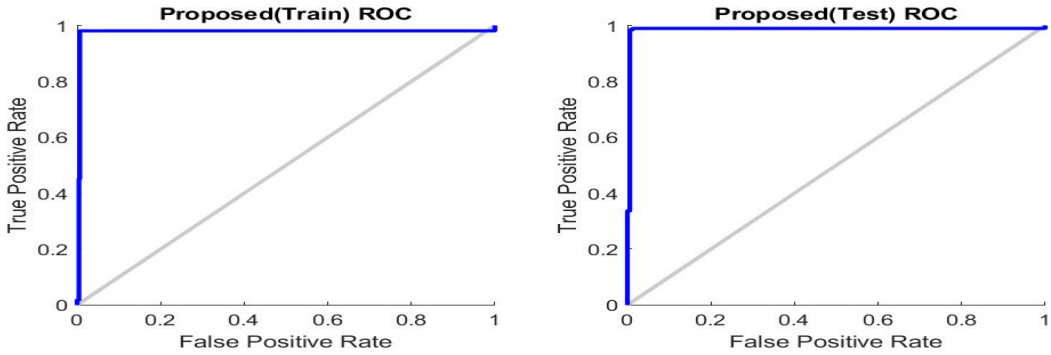
شکل ۱۱. آزمون تحلیل رگرسیونی RF–XGBoost–MLP–BMO (مدل پیشنهادی مقاله)

بر اساس نتایج آزمون دقت رگرسیون در شکل شماره (۷ تا ۱۱) و جدول شماره (۴)، مقدار ضریب همبستگی (R) در مدل‌های بهینه‌سازی‌شده افزایش یافته است که نشان‌دهنده‌ی دقت و برازش بالاتر پیش‌بینی‌ها با مقادیر واقعی است. مدل‌های MLP–PSO و MLP–BMOنسبت به شبکه عصبی ساده (MLP) عملکرد دقیق‌تری دارند. در میان مدل‌های ترکیبی، مدل RF + XGBoost + MLP–BMO با بالاترین مقدار آزمون (۰.۹۷۸) بهترین همبستگی و کارایی را ارائه داده و به‌عنوان قوی‌ترین مدل پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی شناخته می‌شود.

جدول ۴. دقت رگرسیونی- آموزشی -آزمون

فرضیه	نام روش	R آزمون	R آموزشی
۱	MLP	۰.۸۳۰۱۱	۰.۹۰۳۲۹
۲	MLP-PSO	۰.۹۲۱۷۷	۰.۹۲۹۸۳
۳	MLP-BMO	۰.۹۳۰۹۲	۰.۹۳۳۱۰
۴	MLP-PSO+XGBoost+RF	۰.۹۴۲۰۵	۰.۹۵۶۳۴
۵	MLP-BMO+XGBoost+RF	۰.۹۷۸۵۲	۰.۹۷۲۱۸

شکل شماره(۵) دقت منحنی راک بخش آموزشی و آزمایش در مدل پیشنهادی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. تحلیل راک ROC- RF–XGBoost–MLP–BMO (مدل پیشنهادی مقاله)

با هدف مقایسه دقت کلی مدل‌ها، مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) برای بخش‌های آموزشی و آزمایشی محاسبه گردید. نتایج جدول شماره (۵) نشان می‌دهد که به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی (PSO) و (BMO) موجب بهبود معنادار عملکرد شبکه عصبی MLP شده است. در میان مدل‌های مورد بررسی، مدل ترکیبی پیشنهادی (RF+XGBoost+MLP–BMO)بالاترین مقدارAUC را در هر دو بخش آموزش و آزمون داشته و از بیشترین قدرت تمایز و دقت پیش‌بینی برخوردار است.

جدول ۵. مقایسه‌ای AUC روش‌ها

ردیف	مدل	AUCآزمایش	AUCآموزش
۱	MLP	۰.۸۹	۰.۹۱
۲	MLP-PSO	۰.۹۴	۰.۹۵۵
۳	MLP-BMO	۰.۹۸	۰.۹۷
۴	MLP-PSO+XGBoost+RF	۰.۹۸۵	۰.۹۸
۵	MLP-BMO+XGBoost+RF	۰.۹۹۵	۰.۹۹

در این پژوهش، آزمون t زوجی صرفاً برای فرضیه‌های اول و دوم اجرا شد؛ زیرا این دو فرضیه به مقایسه‌ی عملکرد شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) پیش و بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم‌های PSO و BMO مربوط بودند. فرضیه‌های سوم و چهارم به مدل‌های ترکیبی چندالگوریتمی اختصاص دارند و به‌دلیل تفاوت ساختاری، با شاخص‌های AUC و منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفتند.جدول شماره (۶) نتایج آزمون تی زوجی برای دو فرضیه اول و دوم پژوهش را نشان می‌دهد:

جدول ۶. نتایج آزمون تی زوجی

فرضیه	مدل ترکیبی / بهینه‌شده	اختلاف میانگین	مقدارt	درجه آزادی (df)	سطح معناداری-p (p-value)	نتیجه آزمون
۱H	MLP–PSO	۰.۰۳۲	۷.۴۵	۹	۰.۰۰۱۰	☑ تفاوت معنادار
۲H	MLP–BMO	۰.۰۳۳	۸.۲۵	۹	۰.۰۰۰۵	☑ تفاوت معنادار

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سطح معناداری (P Value) کمتر از ۵ درصد می‌باشد. بنابراین، مدل شبکه عصبی بهینه‌سازی‌شده با الگوریتم‌های ازدحام ذرات-MLP) (PSOو الگوریتم کشتی‌چسب (MLP-BMO) نسبت به مدل شبکه عصبی ساده (MLP) عملکرد دقیق‌تری در پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی دارد. در نتیجه فرضیه اول و دوم پژوهش تأیید می‌شود. که این نشان می‌دهد به‌کارگیری الگوریتم‌های ازدحام ذرات (PSO) و کشتی‌چسب (BMO) موجب بهبود معنادار دقت پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی شده است.

آزمون ANOVA (تحلیل واریانس) برای مقایسه عملکرد چندین مدل مختلف در پیش‌بینی دقت اظهارنظر حسابرسی به کار رفته است. این آزمون تفاوت‌های معنادار بین میانگین‌های گروه‌های مختلف را بررسی می‌کند. نتایج آزمون ANOVA برای ۴ مدل پژوهش به شرح جدول شماره (۷) است.

جدول ۷. یافته‌های آزمون ANOVA

ردیف	نام روش	آماره F	p-value	تایید/رد
۱	MLP	۳.۸۷	۰.۰۴۸۳	تأیید
۲	MLP-PSO	۶.۳۸	۰.۰۴۵۱	تأیید
۳	MLP-BMO	۶.۹۵	۰.۰۱۰۹	تأیید
۴	MLP-PSO+XGBoost+RF	۷.۴۲	۰.۰۳۹۱	تأیید
۵	MLP-BMO+XGBoost+RF	۸.۰۱	۰.۰۰۶۵	تأیید

در این پژوهش، برای بررسی تفاوت معنادار میان میانگین دقت مدل‌های مورد بررسی از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد. این آزمون برای کلیه‌ی مدل‌های مورد بررسی اجرا گردید تا تفاوت معناداری عملکرد میان مدل‌ها مشخص شود. در این آزمون نشان داد که در تمام مدل‌ها، سطح معناداری (p-value) کمتر از ۰.۰۵ بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت میانگین دقت پیش‌بینی بین مدل‌های مختلف معنادار است. به‌ویژه، مدل ترکیبی نهایی مبتنی بر الگوریتم کشتی‌چسب (BMO) دارای بالاترین مقدار میانگین دقت بوده و به عنوان بهترین مدل پیشنهادی معرفی می‌شود. بنابراین، این مدل در مقایسه با مدل ترکیبی مشابه مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)عملکرد دقیق‌تر و باثبات‌تری داشته و فرضیه چهارم پژوهش تأیید می‌شود.

برای بررسی معناداری تفاوت عملکرد میان دو مدل ترکیبی نهایی، از آزمون DeLong بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از منحنی ROC مطابق جدول شماره (۸) استفاده شد.

جدول ۸. یافته‌های آزمونDeLong

مقایسه مدل‌ها	AUCمدل RF+XGBoost+MLP-PSO	AUCمدل پیشنهادی RF+XGBoost+MLP-BMO	آماره Z	سطح معناداری / (p-value) نتیجه
RF+XGBoost+MLP-PSO ↔ RF+XGBoost+MLP-BMO	۰.۹۸۵	۰.۹۹۵	۲.۱۳	۰.۰۳۳ تفاوت معنادار؛ عملکرد مدل مبتنی بر BMO بهتر است

برای بررسی معناداری تفاوت عملکرد میان دو مدل ترکیبی نهایی، از آزمون DeLong بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از منحنی ROC استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار AUCبرای مدل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات (RF+XGBoost + MLP-PSO) برابر با ۰.۹۸۵ و برای مدل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم کشتی‌چسب (RF + XGBoost +MLP-BMO)برابر با ۰.۹۹۵ است. مقدار آماره‌ی Z برابر ۲.۱۳ و سطح معناداری کمتر از ۵ درصد بیانگر آن است که تفاوت بین دو مدل از نظر آماری معنادار بوده و مدل پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم BMO عملکرد دقیق‌تر و بهینه‌تری در پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی دارد. بنابراین، مدل بهینه‌سازی‌شده با الگوریتم کشتی‌چسب (BMO) نسبت به مدل مبتنی بر ازدحام ذرات (PSO) عملکرد دقیق‌تری دارد و فرضیه سوم پژوهش تأیید می‌شود.

به‌منظور مقایسه نهایی عملکرد مدل‌های مطرح‌شده در فرضیات پژوهش و تعیین برتری مدل ترکیبی پیشنهادی، از آزمون ناپارامتریک فریدمن (Friedman Test) استفاده شد. نتایج در جدول شماره (۹) زیر آمده است:

جدول ۹. آزمون فریدمن برای مقایسه مدل‌های پژوهش

مدل	مدل ترکیبی / بهینه‌شده	میانگین صحت	رتبه	مقدارp-value	نتیجه آزمون
۱	MLP–PSO	۹۵.۴	۴	۰.۰۴۵۳۶	معنادار
۲	MLP–BMO	۹۶.۷	۳	۰.۰۳۸۳۳	معنادار

۳	RF + XGB + MLP–PSO	۹۷.۱	۲	۰.۰۳۸۱۳	معنادار
۴	RF + XGB + MLP–BMO مدل پیشنهادی	۹۸.۹	۱	۰.۰۳۶۵۰	معنادار

نتایج آزمون فریدمن نشان می‌دهد که بین عملکرد مدل‌های بررسی‌شده تفاوت معناداری وجود دارد ($p < 0.05$) بر اساس رتبه‌بندی میانگین صحت، مدل ترکیبی پیشنهادی (RF + XGBoost + MLP-BMO)با میانگین دقت ۹۸.۹ درصد بالاترین کارایی را داشته و در رتبه نخست قرار گرفته است. پس از آن مدل ترکیبی RF + XGBoost + MLP-PSOدر رتبه دوم و مدل‌های بهینه‌سازی‌شده با الگوریتم‌های BMO و PSO در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. این یافته‌ها، فرضیه چهارم پژوهش را مبنی بر برتری مدل پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر الگوریتم BMO تأیید می‌کند.

به‌منظور شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر دقت پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی، متغیرهای مستقل با بیشترین میزان اهمیت در مدل نهایی استخراج و در جدول شماره (۱۰) نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱۰. پر اهمیت ترین متغیرهای مستقل در مدل‌های پژوهش

اختصار نام فارسی	نام متغیر	میزان اهمیت
دوگانگی نقش مدیرعامل	Duality	۱۰.۴۸
نسبت بدهی	DR (Debt Ratio)	۹.۹۱
تمرکز مالکیت	Cown (Ownership Concentration)	۷.۷۲
مالکیت نهادی	Iown (Institutional Ownership)	۶.۱۶

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های ترکیبی پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی، اهمیت نسبی متغیرهای مستقل مورد بررسی نشان داد که چهار متغیر ، دوگانگی وظیفه مدیرعامل، نسبت بدهی، تمرکز مالکیت و مالکیت نهادی بیشترین تأثیر را در تبیین و پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی داشته‌اند. این متغیرها به ترتیب دارای بالاترین وزن در مدل‌های یادگیری ماشین جنگل تصادفی ، تقویت گرادیان افراطی و شبکه عصبی بهینه‌شده با PSO و BMO بوده و بیشترین سهم را در افزایش دقت پیش‌بینی مدل‌ها ایفا کرده‌اند. یافته مذکور بیانگر آن است که ساختار مالی و ترکیب مالکیت شرکت‌ها از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تصمیم‌گیری حسابرس درباره نوع اظهارنظر می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری، به‌ویژه الگوریتم‌های ازدحام ذرات (PSO) و متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO)، در بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) موجب افزایش معنادار دقت پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی می‌شود. نتایج آزمون‌های آماری از جمله t زوجی، ANOVA، آزمون دی‌لانگ و فریدمن تأیید کردند که هر چهار فرضیه پژوهش پذیرفته شدند و مدل ترکیبی پیشنهادی شامل جنگل تصادفی، تقویت گرادیان و شبکه عصبی بهینه‌شده با الگوریتم BMO بالاترین سطح دقت و کارایی را نسبت به سایر مدل‌ها ارائه داد. به‌طور خاص، مدل ترکیبی RF–XGBoost–MLP–BMO توانست صحت ۹۸/۹ درصد، دقّت ۹۸/۸ درصد و مقدار AUC برابر با ۰.۹۹۵ را در پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی به دست آورد که نسبت به مدل‌های مبتنی بر PSO و حتی شبکه‌های عصبی ساده، برتری چشمگیری داشت. این نتایج از منظر نظری و تجربی بیانگر توانمندی الگوریتم‌های فراابتکاری در ارتقای عملکرد سیستم‌های هوش مصنوعی در حوزه حسابرسی است (Moosavi et al., 2023; Nigatu et al., 2024).

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش حاضر، تأیید برتری الگوریتم متاهیوریستیک کشتی‌چسب (BMO) نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) در بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی بود. الگوریتم BMO با الهام از رفتار چسبندگی بارناکل‌ها و سازوکار انتخاب طبیعی، در فرآیند جست‌وجوی فضای چندبُعدی برای یافتن جواب بهینه، توانایی بالاتری در جلوگیری از همگرایی زودرس و افزایش پایداری مدل دارد (Geng et al., 2023). در مقابل، PSO اگرچه در بسیاری از حوزه‌ها از جمله تنظیم پارامترهای مدل‌های یادگیری ماشین عملکرد مطلوبی دارد، اما در برخی موارد با خطر گیر افتادن در بهینه‌های محلی مواجه است (Nigatu et al., 2024). یافته‌های این پژوهش تأیید می‌کند که در مسائل

پیش‌بینی مالی پیچیده مانند اظهارنظر حسابرسی، جایی که داده‌ها از روابط غیرخطی و الگوهای نامنظم تبعیت می‌کنند، استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته‌تر مانند BMO می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد.

مطالعات مشابه نیز از یافته‌های حاضر پشتیبانی می‌کنند. پژوهش موسوی و همکاران در زمینه طراحی الگوریتم بهینه‌ساز کشتی‌چسب (IBMO) نشان داد که این الگوریتم به‌واسطه سرعت همگرایی بالا و توانایی تطبیقی، در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری، دقت و پایداری مدل‌های هوش مصنوعی را افزایش می‌دهد (Moosavi et al., 2023). همچنین نتایج پژوهش فدیک و همکاران تأیید کرد که ترکیب یادگیری عمیق با الگوریتم‌های فراابتکاری می‌تواند منجر به افزایش دقت در فرایند تصمیم‌گیری حسابرسی شود (Fedyk et al., 2022). یافته‌های این پژوهش با مطالعات فوق همسو است و نشان می‌دهد که بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی از طریق الگوریتم‌های فراابتکاری نه‌تنها باعث کاهش خطاهای پیش‌بینی می‌شود، بلکه درک بهتری از الگوهای پنهان در داده‌های مالی و شاخص‌های حاکمیت شرکتی فراهم می‌سازد.

از سوی دیگر، نتایج این پژوهش از منظر کاربرد الگوریتم‌های ترکیبی نیز قابل تفسیر است. مدل پیشنهادی RF–XGBoost–MLP–BMO توانست ترکیبی از مزایای سه روش قدرتمند را به نمایش بگذارد. جنگل تصادفی (RF) با قابلیت بالا در شناسایی متغیرهای کلیدی و کاهش نویز، تقویت گرادیان (XGBoost) با توانایی یادگیری الگوهای غیرخطی، و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه بهینه‌شده با BMO با ظرفیت بالا در مدل‌سازی روابط پیچیده، ساختاری چندسطحی و دقیق ایجاد کردند که توانست بر سایر مدل‌ها برتری یابد (Thakur et al., 2025). این یافته هم‌راستا با نتایج پژوهش العلی و همکاران است که نشان داد ترکیب مدل‌های یادگیری درختی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، قدرت تشخیص تقلب و خطای گزارشگری مالی را افزایش می‌دهد (Al Ali et al., 2023).

علاوه بر دقت بالای مدل پیشنهادی، تحلیل اهمیت متغیرها نشان داد که چهار متغیر اصلی شامل دوگانگی نقش مدیرعامل، نسبت بدهی، تمرکز مالکیت و مالکیت نهادی بیشترین تأثیر را بر نوع اظهارنظر حسابرسی داشتند. این یافته با نظریه دی‌انجلو درباره کیفیت حسابرسی همخوان است که بر نقش ساختار مالکیت و اندازه حسابرس در تعیین کیفیت اظهارنظر تأکید دارد (DeAngelo, 1981). همچنین، با نتایج پژوهش‌های داخلی از جمله رحیم‌زاده و همکاران که رابطه میان شاخص‌های مالی و نوع اظهارنظر حسابرسی را بررسی کرده‌اند، هم‌راستاست (Rahimzadeh et al., 2025). در واقع، تمرکز مالکیت و میزان اهرم مالی شرکت‌ها از جمله عواملی هستند که به‌طور مستقیم در ارزیابی ریسک تحریف بااهمیت توسط حسابرسان نقش دارند.

به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که ادغام روش‌های یادگیری ماشین با الگوریتم‌های فراابتکاری می‌تواند تحولی بنیادین در حرفه حسابرسی ایجاد کند. همان‌گونه که ویتالی و جولیانی اشاره کرده‌اند، فناوری‌های دیجیتال نوین موجب تغییر در ساختار سنتی حسابرسی شده و زمینه‌ساز ظهور «حسابرسی هوشمند» شده‌اند (Vitali & Giuliani, 2024). استفاده از مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، به‌ویژه زمانی که با بهینه‌سازی متاهیوریستیک ترکیب شوند، باعث می‌شود که قضاوت حسابرس از حالت ذهنی به تصمیم‌گیری داده‌محور و مبتنی بر شواهد تغییر یابد. این دیدگاه با نتایج پژوهش بوریتز و استراتوپولوس نیز همخوانی دارد که معتقدند تلفیق هوش مصنوعی با حسابرسی موجب تحول در ماهیت نقش حسابرس و ارتقای کیفیت نظارت مالی می‌شود (Boritz & Stratopoulos, 2023).

پژوهش حاضر همچنین از جنبه‌ی نظری با مطالعاتی که بر کارایی و پایداری الگوریتم‌های ازدحام ذرات تأکید کرده‌اند، در تعامل است. نگاتو و همکاران در تحلیل همگرایی الگوریتم PSO نشان دادند که تنظیم بهینه عوامل شتاب و ضرایب همبستگی می‌تواند سرعت همگرایی و دقت مدل را بهبود دهد (Nigatu et al., 2024). هرچند نتایج آنان نشان داد که PSO در شرایطی خاص عملکرد قابل قبولی دارد، یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که BMO در محیط‌های پیچیده‌تر با داده‌های متنوع‌تر، کارایی و پایداری بیشتری دارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم‌های نسل جدید متاهیوریستیک مانند BMO می‌توانند جایگزین مؤثرتری برای الگوریتم‌های کلاسیک‌تر مانند PSO باشند.

در همین راستا، نتایج مطالعه راحنورد و امیرخانی نیز مؤید این رویکرد است که کاربرد هوش مصنوعی توجیه‌پذیر می‌تواند ابزار قدرتمندی برای درک منطق تصمیم‌گیری مدل‌های پیش‌بینی حسابرسی فراهم آورد (Rahnavard & Amirkhanian, 2024). هرچند مدل پیشنهادی این پژوهش تمرکز اصلی خود را بر دقت پیش‌بینی قرار داده است، اما توسعه آتی آن با استفاده از چارچوب‌های توضیح‌پذیر می‌تواند به ارتقای شفافیت و اعتماد حسابرسان در استفاده از سامانه‌های هوشمند کمک کند.

افزون بر آن، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات بین‌المللی مرتبط با پذیرش فناوری‌های هوشمند در حرفه حسابرسی نیز همسو است. توروبا و همکاران در بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش هوش مصنوعی در میان حسابرسان اسپانیایی بیان کردند که نگرش مثبت نسبت به فناوری و اعتماد به قابلیت‌های آن، نقش کلیدی در موفقیت پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند دارد (Torroba et al., 2025). از این منظر، افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی‌شده مانند RF–XGBoost–MLP–BMO می‌تواند به تقویت اعتماد حسابرسان نسبت به فناوری‌های هوش مصنوعی منجر شود و پذیرش آن‌ها را در محیط‌های حرفه‌ای تسهیل نماید.

پژوهش سراف و فرهنگیان نیز نشان داد که کاربرد هوش مصنوعی در حسابداری و حسابرسی، علاوه بر کاهش هزینه و زمان، موجب ارتقای شفافیت گزارشگری مالی می‌شود (Sarraf & Farhangian, 2022). از سوی دیگر، نتایج زیودار نیز بر اهمیت یادگیری عمیق در کشف الگوهای پنهان مالی تأکید دارد که می‌تواند درک عمیق‌تری از رفتار شرکت‌ها در فرآیند گزارشگری مالی ایجاد کند (Zivdar, 2022). ترکیب این دو دیدگاه با یافته‌های پژوهش حاضر، اهمیت استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی و بهینه‌سازی‌شده را برای دستیابی به کیفیت بالاتر در پیش‌بینی اظهارنظر حسابرسی دوچندان می‌سازد.

از نظر راهبردی، نتایج پژوهش حاضر تأییدکننده دیدگاه باکریچ و ابرایان است که اظهار داشتند فناوری‌های هوش مصنوعی هنوز به‌طور کامل در حسابرسی عمومی پیاده‌سازی نشده‌اند، اما روند استفاده از آن‌ها رو به رشد است و در آینده نزدیک می‌تواند به بخشی جدایی‌ناپذیر از حرفه حسابرسی تبدیل شود (Bakarich & O'Brien, 2021). همچنین، پژوهش آلموفدًا و المزینی نشان داد که هوش مصنوعی می‌تواند ساختارهای سنتی حسابرسی را به سامانه‌های تحلیل‌محور تبدیل کند (Almufadda & Almezeini, 2022). در این میان، مدل پیشنهادی حاضر می‌تواند نمونه‌ای عملی از چگونگی ادغام الگوریتم‌های هوشمند در فرایند قضاوت حسابرسی باشد.

از منظر تجربی، تأیید نتایج پژوهش حاضر در چارچوب یافته‌های داخلی مانند پژوهش ستایش و همکاران که بر نقش داده‌کاوی در بهبود فرایند حسابرسی تأکید داشتند، نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین در ایران نیز می‌تواند به ارتقای کیفیت گزارش‌های حسابرسی منجر شود (Setayesh et al., 2025). به‌طور مشابه، نتایج رحیم‌زاده و همکاران در خصوص عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی نوع اظهارنظر حسابرسی، یافته‌های این مطالعه را از منظر بومی تأیید می‌کند (Rahimzadeh et al., 2025).

در نهایت، نتایج این پژوهش نه‌تنها از منظر فنی بلکه از منظر نظری نیز بیانگر این واقعیت است که حسابرسی در عصر دیجیتال به سمت قضاوت‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و داده‌های عظیم در حرکت است. همان‌طور که کوکینا و همکاران اشاره کرده‌اند، آینده حرفه حسابرسی وابسته به میزان توانایی حسابرسان در بهره‌گیری از ابزارهای هوش مصنوعی و تحلیل داده‌ها است (Kokina et al., 2025). بنابراین، الگوریتم‌های ترکیبی پیشنهادی مانند مدل RF–XGBoost–MLP–BMO می‌توانند به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم در حسابرسی آینده مورد استفاده قرار گیرند.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم دسترسی به داده‌های کیفی مربوط به قضاوت حسابرس، توضیح‌پذیری پایین برخی مدل‌های هوش مصنوعی، و تمرکز بر شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران اشاره کرد که ممکن است قابلیت تعمیم نتایج را محدود سازد. همچنین، با وجود عملکرد عالی مدل ترکیبی پیشنهادی، تبیین منطق تصمیم‌گیری در الگوریتم‌های یادگیری عمیق همچنان یک چالش محسوب می‌شود.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از روش‌های توضیح‌پذیر مانند SHAP و LIME برای تحلیل عوامل مؤثر بر تصمیم مدل استفاده شود. همچنین می‌توان مدل حاضر را با داده‌های بین‌المللی و متغیرهای کیفی مانند ویژگی‌های اخلاقی حسابرس و فرهنگ سازمانی تطبیق داد. بررسی عملکرد مدل در صنایع مختلف و مقایسه آن با سایر الگوریتم‌های متاهیوریستیک نوین نظیر الگوریتم وال (WOA) یا الگوریتم زنبورعسل (BA) نیز می‌تواند مسیر جدیدی برای تحقیقات بعدی فراهم آورد.

از منظر عملی، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای طراحی سامانه‌های هوشمند پشتیبان تصمیم در حسابرسی قرار گیرد. مؤسسات حسابرسی می‌توانند از مدل ترکیبی پیشنهادی برای شناسایی زودهنگام شرکت‌های پرریسک و بهبود کیفیت گزارشگری مالی استفاده کنند. همچنین، نهادهای ناظر مالی و آموزشی می‌توانند آموزش حسابرسان در زمینه تحلیل داده‌های کلان و الگوریتم‌های هوش مصنوعی را در برنامه‌های آموزشی خود ادغام نمایند تا زمینه برای تحقق حسابرسی هوشمند در کشور فراهم شود.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

References

Al Ali, A., Khedr, A. M., El-Bannany, M., & Kanakkayil, S. (2023). A powerful predicting model for financial statement fraud based on optimized XGBoost ensemble learning technique. *Appl. Sci.*, *13*(4), 2272. https://doi.org/10.3390/app13042272

Almufadda, G., & Almezeini, N. A. (2022). Artificial intelligence applications in the auditing profession: A literature review. *J. Emerg. Technol. Account.*, *19*(2), 29-42. https://doi.org/10.2308/JETA-2020-083

Bakarich, K. M., & O'Brien, P. E. (2021). The robots are coming...but aren't here yet: The use of artificial intelligence technologies in the public accounting profession. *J. Emerg. Technol. Account.*, *18*(1), 27-43. https://doi.org/10.2308/JETA-19-11-20-47

Boritz, J. E., & Stratopoulos, T. C. (2023). AI and the accounting profession: Views from industry and academia. *J. Inf. Syst.*, *37*(3), 1-9. https://doi.org/10.2308/ISYS-2023-054

DeAngelo, L. (1981). Auditor size and audit quality. *J. ACCOUNT. ECON.*, *3*(3), 183-199. https://doi.org/10.1016/0165-4101(81)90002-1

Fedyk, J., Hodson, J., Khimich, N., & Fedyk, T. (2022). Is artificial intelligence improving the audit process? *Rev. Account. Stud.*, *27*, 957-992. https://doi.org/10.1007/s11142-022-09697-x

Geng, X., Li, Y., & Sun, Q. (2023). A novel short-term ship motion prediction algorithm based on EMD and adaptive PSO-LSTM with the sliding window approach. *J. Mar. Sci. Eng.*, *11*(3), 466. https://doi.org/10.3390/jmse11030466

Kokina, J., Blanchette, S., Davenport, T. H., & Pachamanova, D. (2025). Challenges and opportunities for artificial intelligence in auditing: Evidence from the field. *Int. J. Account. Inf. Syst.*, *56*, 100734. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2025.100734

Moosavi, S. K. R., Zafar, M. H., Mirjalili, S., & Sanfilippo, F. (2023). Improved Barnacles Movement Optimizer (IBMO) Algorithm for Engineering Design Problems. Artificial Intelligence and Soft Computing, https://doi.org/10.1007/978-3-031-42505-9_36

Nigatu, D. T., Dinka, T. G., & Tilahun, S. L. (2024). Convergence analysis of particle swarm optimization algorithms for different constriction factors. *Front. Appl. Math. Stat.*, *10*. https://doi.org/10.3389/fams.2024.1304268

Pourheidari, O., & Azami, Z. (2010). Identifying the Type of Auditor's Opinion Using Neural Networks. *Accounting Knowledge*, *1*(3), 97-117.

Rahimzadeh, A., Matinfard, M., Hajiha, Z., & Rahmaninia, E. (2025). Investigating the Efficiency and Accuracy of Machine Learning Algorithms in Predicting the Type of Audit Opinion: Evidence from the Tehran Stock Exchange. *Knowledge of Accounting and Management Auditing*.

Rahnavard, M. R., & Amirkhanian, M. (2024). *Artificial Intelligence and Explainable Artificial Intelligence in Auditing*.

Sarraf, F., & Farhangian, A. (2022). Application of Artificial Intelligence in Accounting. *Scientific Journal of New Research Approaches in Management and Accounting*, *6*(23), 108-124.

Setayesh, M. H., Sadeghi, M., Masoudi, Y., & Dehdari, E. (2025). Investigating Data Mining in Improving the Auditing Process. *Experimental Accounting Research*, *15*(3), 67-94.

Thakur, C., Budamala, V., Kasiviswanathan, K. S., Teutschbein, C., & Soundharajan, B. S. (2025). Extreme gradient and boosting algorithm for improved bias-correction and downscaling of CMIP6 GCM data across Indian river basin. *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, *59*, 102443. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102443

Torroba, M., Sánchez, J. R., López, L., & Callejón, Á. (2025). Investigating the impacting factors for the audit professionals to adopt data analysis and artificial intelligence: Empirical evidence for Spain. *Int. J. Account. Inf. Syst.*, *56*, 100738. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2025.100738

Vitali, S., & Giuliani, M. (2024). Emerging digital technologies and auditing firms: Opportunities and challenges. *Int. J. Account. Inf. Syst.*, *53*, 100676. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2024.100676

Zhao, W., Wang, Y., Zhang, Z., & Wang, H. (2021). Multicriteria ship route planning method based on improved particle swarm optimization-genetic algorithm. *J. Mar. Sci. Eng.*, *9*(4), 357. https://doi.org/10.3390/jmse9040357

Zivdar, Z. (2022). Application of Artificial Intelligence Techniques in Finance and Accounting. *New Research Approaches in Management and Accounting*, *6*(20), 1557-1572.