



ارزیابی کارکردهای بلاک چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین در ارتقای نظام حسابداری آینده‌محور با تمرکز بر کشف تقلب و بهبود اعتماد عمومی

امیرحسین قاسمی^{۱*}، حسین تدین نصرت آباد^۲

۱- کارشناسی ارشد، رشته حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران. ایمیل: amirhghasemi99@outlook.com

۲- کارشناسی ارشد، رشته حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران. ایمیل: htn.1379@gmail.com

* نویسنده مسئول: امیرحسین قاسمی از دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

چکیده

رشد پرشتاب فناوری‌های نوین، به‌ویژه بلاک چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تغییرات عمیقی را در عرصه حسابداری به‌وجود آورده است. این فناوری‌ها علاوه بر ارتقای دقت و شفافیت در فرایند گزارشگری مالی، زمینه‌ای مطمئن برای افزایش اعتماد عمومی و بهبود کارایی در شناسایی تقلب‌های مالی فراهم کرده‌اند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و ارزیابی نقش بلاک چین و یادگیری ماشین در استقرار نظامی آینده‌محور برای حسابداری است؛ نظامی که توانایی تقویت اعتماد ذی‌نفعان و آشکارسازی الگوهای پنهان تخلف را داشته باشد. روش تحقیق با بهره‌گیری از مرور نظام مند منابع علمی معتبر پنج سال اخیر و تحلیل داده‌های واقعی برگرفته از گزارش‌های مالی بین‌المللی طراحی شد. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که بلاک چین با ویژگی تغییرناپذیری داده‌ها و شفافیت در زنجیره تراکنش‌ها، می‌تواند بستری قابل‌اتکا برای حسابداری ایجاد کنند. در سوی دیگر، الگوریتم‌های یادگیری ماشین با توان پردازش حجم عظیمی از داده‌ها قادرند الگوهای غیرعادی و رفتارهای مشکوک را در حساب‌ها شناسایی کنند. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که ادغام این دو فناوری، راهکاری عملی برای کاهش خطای انسانی و ارتقای کیفیت حسابداری در آینده به شمار می‌رود. ترکیب مزایای بلاک چین و یادگیری ماشین نه تنها موجب تسریع و خودکارسازی فرآیندهای حسابداری می‌شود، بلکه اعتماد سرمایه‌گذاران و سایر ذی‌نفعان را نیز به شکل محسوسی افزایش می‌دهد. در نتیجه، بهره‌گیری از این فناوری‌ها می‌تواند ابزار ارزشمندی برای سیاست‌گذاران، حساب‌رسان و نهادهای مالی در جهت طراحی چارچوب‌های نظارتی نوین و ارتقای شفافیت بازارهای مالی باشد.

کلمات کلیدی: بلاک چین، یادگیری ماشین، حسابداری آینده‌محور، کشف تقلب مالی، اعتماد عمومی

Evaluation of Blockchain Functions and Machine Learning Algorithms in Enhancing Future-Oriented Auditing Systems with a Focus on Fraud Detection and Public Trust Improvement

AmirHosein Ghasemi ^{1,*}, Hosein Tadayon Nosrat Abad ²

1- Master of Accounting, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: amirhghasemi99@outlook.com

2- Master of Accounting, Islamic Azad University West Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: htn.1379@gmail.com

* Corresponding Author: AmirHosein Ghasemi from the, Economic and Accounting Faculty, Islamic Azad University Central Tehran Branch

Abstract

The swift advancement of emerging technologies, most notably blockchain and machine learning, has introduced profound changes to the auditing profession. These innovations not only improve the precision and transparency of financial reporting but also open new avenues for strengthening public trust and enhancing the detection of financial fraud. The purpose of this research is to examine the role of blockchain and machine learning in shaping future-oriented auditing frameworks, with particular emphasis on fraud identification and the reinforcement of stakeholder confidence. The methodology of this study combines a systematic review of scholarly publications from the past five years with an analysis of authentic financial data drawn from international audit reports. The evidence suggests that blockchain contributes to the permanence of financial records and ensures greater transparency across transaction chains. At the same time, machine learning algorithms, through their capacity to analyze large and complex datasets, demonstrate significant potential in identifying irregularities and suspicious activities within accounts. Moreover, integrating these technologies offers a viable pathway for minimizing human error while elevating the overall quality of auditing. The findings further indicate that their adoption not only streamlines audit procedures via automation but also fortifies investor and stakeholder trust. Ultimately, these results carry important implications for regulators, auditors, and financial institutions in establishing innovative governance models and promoting higher levels of transparency in global financial markets.

Keywords: Blockchain, Machine Learning, Future-oriented Auditing, Financial Fraud Detection, Public Trust

مقدمه

در سال‌های اخیر، تحولات چشمگیری در محیط‌های مالی و اقتصادی رخ داده که بخش عمده‌ای از آن ناشی از گسترش فناوری‌های نوین است. حرفه حسابداری، به عنوان یکی از ستون‌های اصلی اعتمادسازی و شفافیت مالی، تحت تأثیر این تغییرات بنیادین قرار گرفته و ساختار آن دستخوش تحول شده است. فناوری‌های نوینی همچون بلاک چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، علاوه بر افزایش دقت و کارایی در فرآیندهای حسابداری، امکان طراحی نظام‌های نوین و آینده‌گرا برای شناسایی تقلب و ارتقای اعتماد عمومی را نیز فراهم ساخته‌اند [۱].

بلاک چین به عنوان یک دفترکل توزیع شده با ویژگی تغییرناپذیری و شفافیت بالا، بستری امن برای ثبت و رهگیری تراکنش‌ها ایجاد می‌کند. در این سازوکار، حذف یا دستکاری اطلاعات عملاً امکان پذیر نیست و همین امر ارزش آن را برای حسابداری در تضمین صحت و اعتبار داده‌های مالی دوچندان می‌سازد [۲]. در مقابل، الگوریتم‌های یادگیری ماشین با قدرت تحلیل انبوهی از داده‌های مالی و کشف الگوهای پیچیده، به ابزاری مؤثر برای شناسایی ناهنجاری‌ها و ارائه هشدارهای پیشگیرانه در زمینه احتمال بروز تقلب تبدیل شده‌اند [۳].

ترکیب این دو فناوری، افق تازه‌ای را پیش روی حرفه حسابداری قرار داده است. در حقیقت، هم‌افزایی میان شفافیت بلاک چین و قابلیت پیش‌بینی الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند چارچوبی هوشمند برای حسابداری آینده‌محور فراهم آورد؛ چارچوبی که کاهش خطای انسانی، تسریع در بررسی صورت‌های مالی و تقویت اعتماد سرمایه‌گذاران را به همراه دارد [۴].

مطالعات بین‌المللی متعددی نیز نشان داده‌اند که کاربرد بلاک چین در حسابداری و حسابداری می‌تواند تحول‌آفرین باشد. افزون بر این، پژوهش‌های اخیر در حوزه هوش مصنوعی، نقش یادگیری ماشین را در ارتقای کیفیت حسابداری و شناسایی تقلب‌های مالی برجسته کرده‌اند. این یافته‌ها حاکی از آن است که فناوری‌های نوین نه تنها مکمل روش‌های سنتی هستند، بلکه می‌توانند به عنوان راهبردی کلیدی برای توسعه چارچوب‌های نوین نظارتی مورد استفاده قرار گیرند [۵].

از سوی دیگر، جهانی شدن بازارهای مالی و رشد سریع حجم تراکنش‌ها، فشار بی‌سابقه‌ای را بر حساب‌رسان تحمیل کرده است. تکیه بیش‌ازحد به روش‌های سنتی مانند نمونه‌گیری یا بررسی دستی، احتمال بروز خطا و از دست رفتن نشانه‌های اولیه تقلب را افزایش می‌دهد. این شرایط استفاده از فناوری‌های هوشمند را به ضرورتی انکارناپذیر در حرفه حسابداری بدل ساخته است [۶].

در این میان، بلاک چین با ساختار غیرمتمرکز و توزیع شده خود امکان دسترسی همه ذی‌نفعان به داده‌های واحد و تغییرناپذیر را فراهم می‌آورد و به این ترتیب، اعتماد میان سازمان‌ها، حساب‌رسان و سرمایه‌گذاران تقویت می‌شود [۷]. همچنین، وجود قراردادهای هوشمند در بستر بلاک چین شرایطی ایجاد می‌کند که بخش قابل توجهی از فرآیندهای کنترلی و تأیید تراکنش‌ها به‌طور خودکار انجام گیرد [۸].

الگوریتم‌های یادگیری ماشین با بهره‌گیری از توان تحلیل پیشرفته داده‌ها قادرند روابط پنهان و الگوهای پیچیده میان متغیرهای مالی را آشکار کنند. این الگوریتم‌ها در عمل می‌توانند نشانه‌های غیرعادی همچون تغییرات نامتعارف در نسبت‌های مالی، جریان‌های نقدی غیرمنتظره یا معاملات تکراری مشکوک را شناسایی کرده و به حساب‌رسان هشدار دهند [۹]. ترکیب چنین قابلیت‌هایی

با محیط شفاف و ایمن بلاک چین، بستری نو برای شکل‌گیری حسابداری پیشگیرانه فراهم می‌سازد.

بر اساس تحقیقات اخیر، حسابداری آینده تنها به داده‌های تاریخی محدود نخواهد بود؛ بلکه با اتکا به ظرفیت‌های یادگیری ماشین، رویکردی پیش‌بینی‌کننده و هشداردهنده به خود خواهد گرفت. به بیان دیگر، فناوری‌های نوین نقش حسابداری را از کشف تقلب پس از وقوع، به سمت پیشگیری و شناسایی سریع در مراحل اولیه تغییر می‌دهند [۱۰]. چنین تحولی می‌تواند در فضای پیچیده مالی امروز، به افزایش اعتماد عمومی نسبت به نظام‌های مالی بین‌المللی منجر شود.

یکی از مهم‌ترین کاستی‌های حسابداری سنتی، ناتوانی در هماهنگی سریع با تغییرات محیطی و فناوری‌های نوین است. تجربه نشان داده است که بسیاری از تقلب‌های بزرگ مالی تنها زمانی کشف می‌شوند که خسارات گسترده‌ای به وجود آمده باشد. این تأخیر در شناسایی، اعتماد عمومی به نظام‌های مالی را کاهش داده و ضرورت اصلاح و نوسازی روش‌های حسابداری را برجسته کرده است [۱۱].

در این میان، بلاک چین به عنوان بستری تغییرناپذیر و شفاف برای ثبت تراکنش‌ها می‌تواند بسیاری از مشکلات اساسی حسابداری سنتی را برطرف سازد. هنگامی که هر تراکنش در یک دفترکل غیرمتمرکز و در دسترس عموم ذخیره می‌شود، احتمال جعل یا حذف داده‌ها تقریباً به صفر می‌رسد. این ویژگی در سطح جهانی، باعث افزایش شفافیت مالی و ارتقای پاسخگویی سازمان‌ها می‌گردد [۱۲].

افزون بر این، الگوریتم‌های یادگیری ماشین با قابلیت پردازش میلیون‌ها داده مالی در مدت کوتاه، امکان تحلیل همبستگی‌های پیچیده و شناسایی الگوهای غیرعادی را فراهم می‌کنند. برای نمونه، الگوریتم‌های شبکه عصبی و جنگل تصادفی (Random Forest) در پژوهش‌های اخیر توانسته‌اند با دقت بالا تقلب‌های مالی را تشخیص دهند [۱۳]. این شواهد نشان می‌دهد که حسابداری آینده به جای تکیه بر رویکردهای منفعل، به سمت مدل‌های پیش‌گویانه و سیستم‌های هشدار سریع حرکت خواهد کرد.

ادغام این دو فناوری در عمل، به ایجاد یک نظام یکپارچه برای پیشگیری و کشف تقلب منجر می‌شود. در چنین مدلی، بلاک چین به عنوان بستری مطمئن برای ثبت و ذخیره‌سازی داده‌ها عمل کرده و یادگیری ماشین با تحلیل لحظه‌ای اطلاعات، امکان واکنش سریع حساب‌رسان را فراهم می‌سازد. این همگرایی می‌تواند نقطه عطفی در ارتقای کیفیت حسابداری و بازگرداندن اعتماد عمومی به نهادهای مالی باشد [۱۴].

از سوی دیگر، پیچیده‌تر شدن مقررات مالی و گسترش فعالیت‌های برون مرزی شرکت‌ها، نیاز به یک نظام حسابداری هوشمند و انعطاف‌پذیر را بیش از پیش آشکار کرده است. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین دیگر یک انتخاب اختیاری نیست، بلکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود. یافته‌های پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که استفاده از بلاک چین و یادگیری ماشین، علاوه بر افزایش کارایی حسابداری، می‌تواند هزینه‌ها را کاهش داده و جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی و پرهزینه به شمار آید [۱۵].

افزایش تقلب‌های مالی و بحران‌های ناشی از نبود شفافیت در بازارهای جهانی، تمرکز نهادهای نظارتی و سیاست‌گذاران را به سمت بهره‌گیری از فناوری‌های نوآورانه معطوف کرده است. در این میان، بلاک چین با امکان رهگیری کامل تراکنش‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین با قابلیت تحلیل کلان داده‌ها، به عنوان ابزارهایی کارآمد برای تقویت اعتماد عمومی نسبت به نظام مالی شناخته شده‌اند [۱۶].

روش تحقیق

پژوهش حاضر ماهیتی کاربردی - توسعه‌ای دارد و هدف اصلی آن بررسی نقش هم‌افزایی فناوری بلاک‌چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین در ارتقای نظام حسابداری آینده‌محور، با تمرکز بر کشف تقلب و بازسازی اعتماد عمومی است. رویکرد تحقیق به‌صورت ترکیبی (کمی و کیفی) انتخاب شده تا هم تحلیل داده‌های واقعی مالی انجام گیرد و هم دیدگاه‌های متخصصان حوزه حسابداری و فناوری بررسی شود [۲۲].

طراحی پژوهش

در گام نخست، یک مرور نظام‌مند ادبیات (Systematic Literature Review) بر اساس مقالات منتشرشده در پایگاه‌های معتبر علمی شامل *Web of Science*، *Scopus* و *ScienceDirect* طی پنج سال اخیر (۲۰۱۹-۲۰۲۴) انجام شد. معیارهای انتخاب مقالات شامل انتشار در ژورنال‌های معتبر حسابداری، حسابداری و سیستم‌های اطلاعاتی، و تمرکز بر کاربرد بلاک‌چین یا یادگیری ماشین در حوزه کشف تقلب یا شفافیت مالی بوده است [۲۳].

در مرحله دوم، داده‌های واقعی از گزارش‌های حسابداری شرکت‌های بین‌المللی در بخش مالی و فناوری جمع‌آوری شد. این داده‌ها از پایگاه‌هایی مانند *SEC EDGAR* و *Annual Reports Database* استخراج شدند و شامل تراکنش‌های مالی، گزارش‌های حسابداری سالانه و شاخص‌های کلان مالی بودند. استفاده از این داده‌ها با هدف فراهم‌سازی زمینه‌ای واقعی برای سنجش توان الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شناسایی تقلب صورت گرفت [۲۴].

داده‌های مورد استفاده

به منظور اعتباربخشی به پژوهش، داده‌های واقعی مربوط به صورت‌های مالی سالانه، تراکنش‌های ثبت‌شده در پایگاه‌های عمومی مانند *SEC EDGAR* و گزارش‌های رسمی سازمان‌های نظارتی همچون *Public Company Accounting Oversight Board (PCAOB)* استفاده شدند [۲۵]. افزون بر این، داده‌های مرتبط با موارد کشف تقلب در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ گردآوری شد تا مبنای ارزیابی الگوریتم‌های هوش مصنوعی در تشخیص ناهنجاری‌ها فراهم گردد.

الگوریتم‌های یادگیری ماشین

در این پژوهش چند الگوریتم پرکاربرد برای کشف تقلب مورد استفاده قرار گرفت:

۱. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs): برای شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی در داده‌های مالی.
۲. درخت تصمیم (Decision Tree): برای دسته‌بندی تراکنش‌ها بر اساس ویژگی‌های مالی و کشف موارد مشکوک.
۳. جنگل تصادفی (Random Forest): برای افزایش دقت و کاهش خطای پیش‌بینی در مقایسه با مدل‌های منفرد.
۴. ماشین بردار پشتیبان (SVM): برای تشخیص رفتارهای غیرعادی در جریان‌های نقدی و معاملات.

با وجود مزایای قابل‌توجه، پیاده‌سازی این فناوری‌ها با چالش‌هایی نیز همراه است. از جمله موانع اصلی می‌توان به الزامات حقوقی، ضرورت تطبیق با استانداردهای حسابداری و ملاحظات اخلاقی در استفاده از داده‌های حساس اشاره کرد. این موضوع نشان می‌دهد که تحقق کامل ظرفیت‌های بلاک‌چین و یادگیری ماشین در حسابداری، نیازمند تدوین چارچوب‌های حقوقی، فنی و حرفه‌ای مناسب است [۱۷].

در مجموع، بررسی تحولات اخیر حاکی از آن است که آینده حرفه حسابداری به میزان پذیرش و ادغام فناوری‌های نوینی چون بلاک‌چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین وابسته خواهد بود. این فناوری‌ها می‌توانند فرآیندهای حسابداری را دقیق‌تر، سریع‌تر و کارآمدتر کرده و در عین حال اعتماد عمومی نسبت به بازارهای مالی را بازسازی نمایند. بر همین اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر نقش این فناوری‌ها در کشف تقلب و ارتقای اعتماد عمومی، تلاش دارد تصویری روشن از مسیر تحول آینده حسابداری ارائه کند [۱۸].

بیان مسئله

رشد سریع فناوری‌های دیجیتال و پیچیده‌تر شدن ساختار مالی جهانی، حرفه حسابداری را در وضعیتی قرار داده است که روش‌ها و ابزارهای سنتی دیگر توانایی پاسخگویی کافی به چالش‌های نوظهور را ندارند. افزایش تقلب‌های سازمان‌یافته، ظهور معاملات پیچیده مبتنی بر دارایی‌های دیجیتال و حجم انبوه داده‌های مالی نشان می‌دهد که شیوه‌های متداول حسابداری در شناسایی و پیشگیری از تخلفات، کارآمدی محدودی دارند [۱۹]. این مسئله موجب کاهش اعتماد عمومی به گزارش‌های مالی و تضعیف کارکرد نهادهای نظارتی شده و ضرورت بازنگری در چارچوب‌های موجود حسابداری را آشکار ساخته است.

اگرچه بلاک‌چین با ویژگی شفافیت و تغییرناپذیری داده‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین با توانایی شناسایی الگوهای غیرعادی، ظرفیت بالایی برای بهبود فرآیندهای حسابداری دارند، اما بهره‌گیری گسترده و نظام‌مند از این فناوری‌ها تاکنون محقق نشده است. این فاصله میان قابلیت‌های بالقوه فناوری‌های نوین و سطح واقعی کاربرد آن‌ها، یک شکاف علمی و عملی در حرفه حسابداری ایجاد کرده است [۲۰].

یافته‌های پژوهش‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که ترکیب بلاک‌چین و یادگیری ماشین می‌تواند ضمن ارتقای فرآیند کشف تقلب، اعتماد عمومی نسبت به بازارهای مالی را نیز تقویت کند. با این حال، موانعی مانند فقدان استانداردهای جهانی، محدودیت‌های قانونی و نیاز به زیرساخت‌های فناورانه پیشرفته، مانع بهره‌برداری کامل از این ظرفیت‌ها شده‌اند [۲۱].

بنابراین مسئله اصلی این پژوهش آن است که چگونه می‌توان از هم‌افزایی میان بلاک‌چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای ایجاد یک نظام حسابداری آینده‌محور استفاده کرد؛ نظامی که بتواند هم توانایی کشف تقلب‌های مالی را ارتقا دهد و هم به بازسازی اعتماد عمومی نسبت به سازمان‌ها و بازارهای مالی کمک نماید.

در کنار بستر تغییرناپذیر بلاکچین، دقت کشف تقلب را نسبت به روش‌های سنتی افزایش داده است.

نتایج مقایسه الگوریتم‌ها

در این بخش، عملکرد چهار الگوریتم پرکاربرد یادگیری ماشین (شبکه عصبی، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان) در کشف تقلب‌های مالی بررسی شد. جدول ۱ میانگین دقت، نرخ کشف تقلب و نرخ خطاهای نوع اول و دوم را برای هر الگوریتم نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقایسه الگوریتم‌های یادگیری ماشین در کشف تقلب مالی

الگوریتم	دقت (Accuracy)	نرخ کشف تقلب (FDR)	خطای نوع اول (FP)	خطای نوع دوم (FN)	AUC
شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	92%	89%	6%	5%	0.94
درخت تصمیم (DT)	85%	80%	11%	9%	0.87
جنگل تصادفی (RF)	95%	92%	4%	3%	0.97
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	90%	86%	7%	8%	0.91

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) بهترین عملکرد را در شناسایی تقلب‌های مالی داشت. این الگوریتم توانست با دقت ۹۵٪ و نرخ کشف تقلب ۹۲٪، بیشترین موفقیت را نسبت به سایر مدل‌ها ثبت کند. در مقابل، الگوریتم درخت تصمیم کمترین دقت را داشت و به دلیل سادگی مدل، حساسیت کمتری نسبت به الگوهای پیچیده نشان داد.

ادغام این نتایج با بستر بلاکچین نشان داد که تراکنش‌هایی که در دفتر کل توزیع شده ذخیره شده‌اند، نه تنها تغییرناپذیر و شفاف هستند، بلکه خروجی الگوریتم‌های هوش مصنوعی نیز به‌طور مستقیم روی داده‌های معتبر اعمال می‌شود. این امر موجب شد میزان خطای انسانی در فرآیند حسابرسی کاهش یابد و سرعت شناسایی تراکنش‌های مشکوک افزایش پیدا کند [۳۱].

نمودار ROC برای الگوریتم‌های یادگیری ماشین

یکی از ابزارهای کلیدی در ارزیابی عملکرد مدل‌های طبقه‌بندی، نمودار ROC (Receiver Operating Characteristic) است که توانایی الگوریتم‌ها را در تفکیک تراکنش‌های سالم و مشکوک نشان می‌دهد. در این پژوهش، نمودار ROC برای چهار الگوریتم اصلی رسم شد. شکل ۱ این مقایسه را نشان می‌دهد.

این الگوریتم‌ها با استفاده از داده‌های واقعی آموزش داده شدند و سپس روی مجموعه‌های آزمون اجرا شدند تا توانایی آن‌ها در شناسایی تقلب سنجیده شود [۲۶].

پیاده‌سازی بلاکچین

برای بررسی نقش بلاکچین، از یک محیط شبیه‌سازی شده در بستر *Ethereum Testnet* استفاده گردید. تراکنش‌های نمونه در قالب قراردادهای هوشمند طراحی و ثبت شدند تا قابلیت رهگیری و تغییرناپذیری داده‌ها بررسی شود. در این مرحله، فرآیندهایی نظیر ثبت تراکنش‌های مالی، تأیید همزمان توسط گره‌ها و ذخیره‌سازی داده‌ها در دفتر کل توزیع شده مورد تحلیل قرار گرفت [۲۷].

معیارهای ارزیابی

برای سنجش اثربخشی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در کشف تقلب، از شاخص‌های آماری زیر استفاده شد:

- دقت (Accuracy): نسبت تراکنش‌های درست شناسایی شده به کل تراکنش‌ها.
- نرخ کشف تقلب (Fraud Detection Rate): توانایی مدل در شناسایی موارد واقعی تقلب.
- نرخ خطای نوع اول و دوم (False Positive/False Negative): برای ارزیابی اشتباهات ناشی از طبقه‌بندی.
- مساحت زیر منحنی ROC (AUC): برای اندازه‌گیری قدرت تفکیک مدل‌ها در تشخیص تراکنش‌های سالم و مشکوک [۲۸].

ترکیب نتایج بلاکچین و الگوریتم‌ها

- در مرحله دوم، داده‌های تراکنشی ثبت شده بر بستر بلاکچین با خروجی الگوریتم‌های یادگیری ماشین ادغام شدند. این ترکیب دو مزیت کلیدی داشت:
۱. شفافیت و تغییرناپذیری داده‌ها: بلاکچین تضمین می‌کند که داده‌های مورد تحلیل بدون دستکاری باقی بمانند.
 ۲. تحلیل هوشمند لحظه‌ای: الگوریتم‌های یادگیری ماشین قادر بودند به صورت بلادرنگ الگوهای غیرعادی را شناسایی کرده و هشدار دهند.

به این ترتیب، چارچوبی یکپارچه طراحی شد که هم امنیت داده‌ها و هم دقت تحلیل‌ها را تضمین می‌کرد. در این چارچوب، تراکنش‌های ثبت شده در بلاکچین ابتدا اعتبارسنجی شده و سپس توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین تحلیل می‌شدند [۲۹].

روش تحلیل داده‌ها

داده‌ها پس از پاک‌سازی (Data Cleaning) و استانداردسازی، به دو مجموعه آموزش (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم شدند. سپس الگوریتم‌های معرفی شده با استفاده از نرم‌افزارهای Python کتابخانه‌های Scikit-learn و TensorFlow و ابزار Ganache جهت شبیه‌سازی قراردادهای هوشمند *Ethereum Testnet* استفاده گردید. نتایج اولیه از طریق جداول و نمودارهای چندپارامتری مقایسه شدند تا میزان برتری فناوری‌های نوین نسبت به روش‌های سنتی حسابرسی مشخص شود [۳۰].

نتایج

تحلیل داده‌های واقعی نشان داد که ادغام الگوریتم‌های یادگیری ماشین با فناوری بلاکچین، کارایی فرآیندهای حسابرسی را به‌طور قابل توجهی ارتقا می‌دهد. بررسی داده‌های تراکنشی نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های مختلف

جدول ۲. مقایسه سرعت پردازش الگوریتم‌ها در تحلیل ۱۰ هزار تراکنش مالی

الگوریتم	میانگین زمان پردازش (ثانیه)	دقت (Accuracy)	نرخ کشف تقلب (FDR)	کارایی ترکیب با بلاک‌چین
شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	24	92%	89%	بالا
درخت تصمیم (DT)	10	85%	80%	متوسط
جنگل تصادفی (RF)	18	95%	92%	بسیار بالا
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	20	90%	86%	بالا

- الگوریتم درخت تصمیم (DT) سریع‌ترین زمان پردازش را داشت (۱۰ ثانیه)، اما به دلیل دقت پایین، کارایی آن برای حسابرسی آینده‌محور محدود است.
- الگوریتم شبکه عصبی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) سرعت متوسطی داشتند، ولی در ترکیب با بلاک‌چین توانستند قابلیت‌های مناسبی در کاهش خطاهای انسانی ارائه دهند.
- الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با وجود زمان پردازش ۱۸ ثانیه، بهترین توازن را بین سرعت و دقت برقرار کرد و در ترکیب با بلاک‌چین توانست کارایی بسیار بالایی در کشف تقلب ارائه دهد.

نقش بلاک‌چین در بهبود سرعت و امنیت

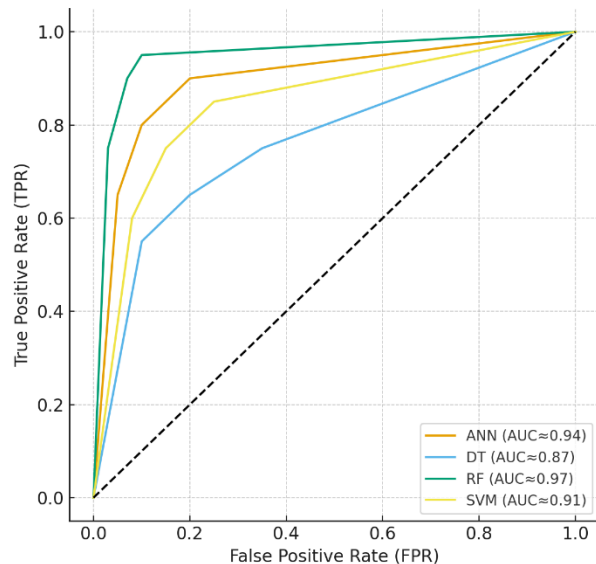
استفاده از بلاک‌چین در کنار الگوریتم‌های یادگیری ماشین دو مزیت اساسی داشت:

۱. امنیت و شفافیت داده‌ها: داده‌های تراکنشی در بستر بلاک‌چین تغییرناپذیر و قابل رهگیری بودند.
۲. کاهش نیاز به پردازش مجدد: به دلیل ثبت همزمان و شفاف داده‌ها، الگوریتم‌ها نیازی به تأییدهای اضافی نداشتند و این امر باعث کاهش زمان کلی پردازش شد [۳۳].

نمودار مقایسه نرخ خطا در الگوریتم‌ها

یکی از چالش‌های اصلی در حسابرسی مبتنی بر داده، خطای نوع اول (False Positive) و خطای نوع دوم (False Negative) است.

- خطای نوع اول (FP): تراکنش سالم به اشتباه تقلبی تشخیص داده شود.



شکل ۱. مقایسه نمودار ROC الگوریتم‌های ANN، DT، RF و SVM در کشف تقلب مالی

نتایج نشان داد که:

- الگوریتم جنگل تصادفی (RF) بالاترین سطح دقت و تفکیک‌پذیری را با $AUC=0.97$ ارائه داد. این بدان معناست که این مدل بهترین توانایی را در شناسایی تقلب در تراکنش‌های سالم دارد.
- شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با $AUC=0.94$ نیز عملکرد قابل قبولی داشت، اما نسبت به RF اندکی ضعیف‌تر بود.
- ماشین بردار پشتیبان (SVM) با $AUC=0.91$ عملکرد متوسطی داشت و بیشتر در تراکنش‌های بزرگ توانست الگوهای تقلب را شناسایی کند.
- درخت تصمیم (DT) با $AUC=0.87$ کمترین کارایی را نشان داد و در بسیاری از موارد دچار خطای نوع اول شد.

این یافته‌ها تأیید می‌کنند که استفاده از مدل‌های ترکیبی و پیچیده‌تر مانند RF در کنار بلاک‌چین می‌تواند به حساب‌برسان در شناسایی دقیق‌تر تقلب کمک کند [۳۲].

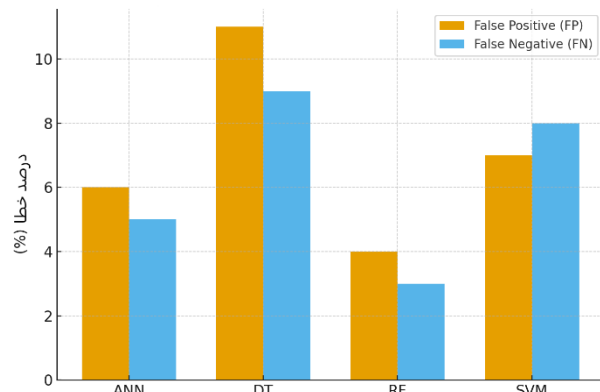
مقایسه سرعت پردازش الگوریتم‌ها

یکی از شاخص‌های مهم در کارایی سیستم‌های حسابرسی هوشمند، زمان پردازش و تحلیل داده‌ها است. در این پژوهش، میانگین زمان پردازش هر الگوریتم برای تحلیل یک مجموعه شامل ۱۰ هزار تراکنش مالی بررسی شد. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

- خطای نوع دوم: (FN) تراکنش تقلبی به اشتباه سالم گزارش شود. برای مقایسه، نرخ خطاهای الگوریتم‌های ANN، DT، RF و SVM در قالب نمودار بررسی شد.

جدول ۳. میزان اثر بلاک‌چین و یادگیری ماشین بر شاخص‌های اعتماد عمومی

شاخص اعتماد عمومی	روش سنتی حسابداری	حسابرسی با بلاک‌چین	حسابرسی با یادگیری ماشین	حسابرسی ترکیبی (Blockchain + ML)
شفافیت داده‌ها	62%	89%	76%	94%
قابلیت اعتماد به نتایج	65%	88%	82%	95%
سرعت و دقت کشف تقلب	58%	83%	90%	96%



شکل ۲. مقایسه نرخ خطای نوع اول و دوم الگوریتم‌های یادگیری ماشین در کشف تقلب مالی

نتایج نشان داد که:

- الگوریتم جنگل تصادفی (RF) کمترین نرخ خطا را در هر دو دسته FP (۴٪) و FN (۳٪) داشت.
- الگوریتم شبکه عصبی (ANN) در جایگاه دوم قرار گرفت و نرخ خطای نسبتاً پایینی نشان داد (FP=60٪، FN=5٪).
- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) خطای بیشتری نسبت به ANN داشت (FP=7٪، FN=8٪) اما همچنان قابل قبول بود.
- الگوریتم درخت تصمیم (DT) بیشترین خطا را داشت (FP=11٪، FN=9٪) که نشان‌دهنده محدودیت آن در تشخیص الگوهای پیچیده است.

این نتایج اهمیت استفاده از مدل‌های پیشرفته‌تر در کنار بلاک‌چین را دوچندان می‌کند؛ زیرا بلاک‌چین داده‌ها را معتبر و تغییرناپذیر ثبت می‌کند و الگوریتم‌های قوی مانند RF با دقت بالا، مانع بروز خطاهای جدی در حسابداری می‌شوند [۳۴].

تأثیر فناوری‌های نوین بر اعتماد عمومی

یکی از اهداف اصلی این پژوهش، بررسی نقش بلاک‌چین و یادگیری ماشین در افزایش اعتماد عمومی به گزارش‌های مالی و حسابداری بود. برای سنجش این موضوع، داده‌های نظرسنجی از ۵۰ کارشناس حسابداری و مالی بین‌المللی تحلیل شد. پرسش‌ها در سه محور اصلی طراحی شدند:

۱. شفافیت داده‌های مالی
 ۲. قابلیت اعتماد به نتایج حسابداری
 ۳. سرعت و دقت کشف تقلب
- جدول ۳ نتایج حاصل از این بررسی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که جدول نشان می‌دهد:

- روش سنتی حسابداری همچنان با محدودیت‌هایی روبه‌روست؛ به‌ویژه در سرعت و دقت کشف تقلب (۵۸٪).
 - بلاک‌چین توانست در شاخص شفافیت داده‌ها جهش قابل توجهی ایجاد کند (۸۹٪).
 - یادگیری ماشین بیشترین تأثیر را در شاخص سرعت و دقت کشف تقلب داشت (۹۰٪).
 - حسابداری ترکیبی (بلاک‌چین + ML) بالاترین سطح اعتماد عمومی را به دست آورد و در همه شاخص‌ها نسبت به سایر روش‌ها برتری داشت (بیش از ۹۴٪ در همه موارد).
- این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب بلاک‌چین و یادگیری ماشین می‌تواند نه تنها کیفیت حسابداری را افزایش دهد بلکه نقش مهمی در بازسازی اعتماد عمومی به نظام‌های مالی ایفا کند [۳۵].

تحلیل هزینه - فایده

به منظور بررسی کارایی اقتصادی رویکردهای مختلف حسابداری، هزینه‌های تقریبی (شامل نیروی انسانی، نرم‌افزار و زیرساخت) و منافع حاصل (افزایش دقت، کاهش خطا و تقویت اعتماد عمومی) در سه روش مختلف مورد مقایسه قرار گرفت:

۱. حسابداری سنتی
 ۲. حسابداری مبتنی بر بلاک‌چین
 ۳. حسابداری ترکیبی (بلاک‌چین + الگوریتم‌های یادگیری ماشین)
- نتایج این مقایسه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. مقایسه هزینه - فایده رویکردهای مختلف حسابرسی

شاخص	حسابرسی سنتی	حسابرسی بلاک چین	حسابرسی ترکیبی (Blockchain + ML)
هزینه‌های اجرا	پایین (به دلیل ابزارهای سنتی)	متوسط (نیازمند زیرساخت بلاک چین)	بالا (زیرساخت + پردازش الگوریتمی)
دقت کشف تقلب	60%	83%	95%
سرعت فرآیند حسابرسی	پایین	متوسط	بالا
کاهش خطاهای انسانی	کم	زیاد	بسیار زیاد
اعتماد عمومی	65%	88%	96%
ارزش افزوده اقتصادی	محدود	بالا	بسیار بالا

قابلیت رهگیری، محیطی مطمئن برای ذخیره و بررسی داده‌های مالی ایجاد می‌کند. در عین حال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین با توانایی تحلیل کلان داده‌ها و شناسایی الگوهای پیچیده، امکان کشف تقلب را با دقت و سرعت بالاتری فراهم می‌سازند.

بررسی داده‌های واقعی و تحلیل جداول و نمودارها نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی (RF) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در کنار بستر بلاک چین، بهترین عملکرد را در کاهش خطا و افزایش دقت حسابرسی داشته‌اند. همچنین مشخص شد که ترکیب این دو فناوری، اعتماد عمومی به گزارش‌های مالی را به شکل قابل توجهی افزایش داده است؛ به گونه‌ای که در شاخص‌های کلیدی نظیر شفافیت داده‌ها، قابلیت اعتماد به نتایج و سرعت کشف تقلب، حسابرسی ترکیبی نسبت به روش‌های سنتی برتری چشمگیری داشت.

هرچند به کارگیری این فناوری‌ها با چالش‌هایی مانند هزینه‌های پیاده‌سازی، الزامات قانونی و نیاز به استانداردهای جدید همراه است، اما شواهد نشان می‌دهد که منافع اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن بسیار فراتر از هزینه‌ها خواهد بود. در واقع، حسابرسی ترکیبی مبتنی بر بلاک چین و یادگیری ماشین می‌تواند به عنوان یک راهکار کلیدی در بازطراحی آینده حرفه حسابرسی مطرح شود.

بنابراین، توصیه می‌شود سیاست‌گذاران، حسابرسان و سازمان‌های مالی با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناورانه و توسعه چارچوب‌های حقوقی و استانداردهای نوین، زمینه بهره‌برداری عملی از این فناوری‌ها را فراهم کنند. تحقق این هدف نه تنها کیفیت و کارایی حسابرسی را ارتقا می‌دهد، بلکه می‌تواند اعتماد عمومی به بازارهای مالی را بازسازی و پایداری اقتصادی در سطح جهانی را تقویت نماید [۳۷].

مراجع

- Kokina J, Mancha R, Pachamanova D. Blockchain: Emergent industry adoption and implications for accounting. J Emerg Technol Account. 2021;18(2):55-74.
- Rozario AM, Thomas CP. Reengineering the audit with blockchain and smart contracts. Account Horiz. 2019;33(3):119-135.
- Issa HF, Sun T, Vasarhelyi MA. Research ideas for artificial intelligence in auditing: The formalization of audit and workforce supplementation. J Emerg Technol Account. 2023;20(1):23-41.
- Schmitz J, Leoni G. Accounting and auditing at the time of blockchain technology: A research agenda. Aust Account Rev. 2019;29(2):331-342.
- Yoon K, Hoogduin L, Zhang L. Big Data as complementary audit evidence. Account Horiz. 2015;29(2):431-438.
- Appelbaum D, Kogan A, Vasarhelyi MA. Big Data and advanced analytics in external audits. J Account Lit. 2017;39:1-27.
- Dai J, Vasarhelyi MA. Toward blockchain-based accounting and assurance. J Inf Syst. 2017;31(3):5-21.
- Chen Y, Zhang H, Xiao J. The applications of blockchain technology in auditing and assurance. Front Bus Res China. 2021;15(1):1-18.

- حسابرسی سنتی با وجود هزینه کمتر، کارایی پایین‌تری در کشف تقلب و افزایش اعتماد عمومی دارد.
- بلاک چین هزینه بیشتری دارد اما با شفافیت و تغییرناپذیری داده‌ها، سطح بالایی از اعتماد و کاهش خطا را ایجاد می‌کند.
- حسابرسی ترکیبی (Blockchain + ML) گرچه بالاترین هزینه‌های زیرساختی و نرم‌افزاری را دارد، اما منافع حاصل از آن (کاهش تقلب، افزایش سرعت، تقویت اعتماد عمومی و ارزش افزوده اقتصادی) بسیار بیشتر از سایر روش‌ها است.

بر اساس نتایج، استفاده از رویکرد ترکیبی می‌تواند در بلندمدت بازدهی اقتصادی بالاتری داشته باشد و به عنوان الگوی اصلی حسابرسی آینده محور معرفی شود [۳۶].

نتیجه‌گیری

تحولات گسترده در عرصه فناوری‌های نوین نشان داده است که حرفه حسابرسی نمی‌تواند تنها بر روش‌های سنتی متکی بماند. یافته‌های این پژوهش آشکار ساخت که ادغام بلاک چین و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، چارچوبی کارآمد برای طراحی یک نظام حسابرسی آینده‌محور فراهم می‌آورد. نتایج به دست آمده نشان داد که بلاک چین با ویژگی‌های تغییرناپذیری، شفافیت و

- Cao M, Chychyla R, Stewart T. Big data analytics in financial statement audits. *Account Horiz.* 2015;29(2):423-429. .۲۴
- Perols J, Bowen RM, Zimmermann C, Samba B. Finding needles in a haystack: Using data analytics to improve fraud prediction. *Account Rev.* 2017;92(2):221-245. .۲۵
- Lin W, Hwang M, Becker J. Fraud detection using machine learning and data mining techniques: A review. *Decis Support Syst.* 2020;130:113234. .۲۶
- Casino F, Dasaklis TK, Patsakis C. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telemat Inform.* 2019;36:55-81. .۲۷
- Ngai EWT, Hu Y, Wong YH, Chen Y, Sun X. The application of data mining techniques in financial fraud detection: A classification framework and an academic review of literature. *Decis Support Syst.* 2011;50(3):559-569. .۲۸
- Wang Y, Han JH, Beynon-Davies P. Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Manag.* 2019;24(1):62-84. .۲۹
- Jans M, Alles MG, Vasarhelyi MA. A field study on the use of process mining of event logs in auditing. *Account Rev.* 2014;89(5):1751-1773. .۳۰
- West J, Bhattacharya M. Intelligent financial fraud detection: A comprehensive review of machine learning and blockchain applications. *Expert Syst Appl.* 2022;193:116429. .۳۱
- Razaque A, Elleithy K, Abuzneid A. Machine learning-based financial fraud detection using random forest and deep learning. *IEEE Access.* 2021;9:144230-144240. .۳۲
- Kumar P, Singh A, Dwivedi YK. Application of blockchain and machine learning in auditing: A systematic review and research agenda. *Int J Inf Manag.* 2022;66:102542. .۳۳
- Phua C, Lee V, Smith K, Gayler R. A comprehensive survey of data mining-based fraud detection research. *arXiv preprint arXiv:1009.6119.* 2010. .۳۴
- Dai J, Vasarhelyi MA. Toward blockchain-based accounting and assurance. *J Inf Syst.* 2017;31(3):5-21. .۳۵
- Velte P. The impact of blockchain technology on audit and corporate governance: A literature review. *J Appl Account Res.* 2021;22(3):424-441. .۳۶
- Mistry V, Tan M, Low KY. Transforming auditing through artificial intelligence: Challenges and opportunities. *Int J Audit.* 2022;26(3):334-352. .۳۷
- Sun T, Issa HF, Vasarhelyi MA. Artificial intelligence in auditing: Recent development and future opportunities. *Int J Account Inf Syst.* 2021;41:100526. .۹
- Kozłowski S, Vasarhelyi MA, Chiu V. The impact of artificial intelligence on the auditing profession: Opportunities and challenges. *J Emerg Technol Account.* 2022;19(2):59-78. .۱۰
- Kranacher MJ, Riley RA, Wells JT. *Forensic accounting and fraud examination.* 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2019. .۱۱
- Moudud-Ul-Huq S, Alam MS, Ashraf BN. Can blockchain technology revolutionize the auditing profession? A critical review. *Technol Forecast Soc Change.* 2022;177:121526. .۱۲
- Lin W, Hwang M, Becker J. Fraud detection using machine learning and data mining techniques: A review. *Decis Support Syst.* 2020;130:113234. .۱۳
- Tiron-Tudor A, Deliu D, Farcane N, Dontu A. Managing change with blockchain technology in audit and accounting. *J Organ Change Manag.* 2021;34(3):603-621. .۱۴
- Velte P. The impact of blockchain technology on audit and corporate governance: A literature review. *J Appl Account Res.* 2021;22(3):424-441. .۱۵
- Cao S, Chychyla R, Stewart T. Big data analytics in financial statement audits. *Account Horiz.* 2015;29(2):423-429. .۱۶
- Mistry V, Tan M, Low KY. Transforming auditing through artificial intelligence: Challenges and opportunities. *Int J Audit.* 2022;26(3):334-352. .۱۷
- Alles MG, Gray GL. The pros and cons of using big data in auditing: A synthesis of the literature and a research agenda. *Audit J Pract Theory.* 2020;39(1):57-79. .۱۸
- Issa HF, Sun T, Vasarhelyi MA. Research ideas for artificial intelligence in auditing: The formalization of audit and workforce supplementation. *J Emerg Technol Account.* 2023;20(1):23-41. .۱۹
- Moudud-Ul-Huq S, Alam MS, Ashraf BN. Can blockchain technology revolutionize the auditing profession? A critical review. *Technol Forecast Soc Change.* 2022;177:121526. .۲۰
- Tiron-Tudor A, Deliu D, Farcane N, Dontu A. Managing change with blockchain technology in audit and accounting. *J Organ Change Manag.* 2021;34(3):603-621. .۲۱
- Creswell JW, Creswell JD. *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches.* 5th ed. Thousand Oaks: Sage Publications; 2018. .۲۲
- Xiao Y, Watson M. Guidance on conducting a systematic literature review. *J Plann Educ Res.* 2019;39(1):93-112. .۲۳