بررسی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

نام نویسندگان[1]

ریحانه ملکی(دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین)

reihaneh.malekan@iau.ac.ir

صادق عابدی(استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی قزوین)

abedi.sadegh@iau.ac.ir

رضا احتشام راعی(دانشیارگروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین،دانشگاه آزاد اسلامی ، قزوین ، ایران)

reza.ehteshamrasi@iau.ac.ir

چکیده

تحول دیجیتال به‌عنوان یکی از ارکان اصلی صنعت ۴.۰ مسیر بانکداری را به‌سوی نوآوری فناورانه و خدمات هوشمند هدایت کرده است. با وجود گسترش فناوری‌های نوین، تفاوت قابل‌توجهی در میزان پذیرش آن‌ها میان بانک‌ها مشاهده می‌شود. هدف این پژوهش، پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (ANN) است. داده‌ها از پایگاه‌های سازمانی و پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط ۲۰۰ نفر از خبرگان بانکداری دیجیتال گردآوری شد. مدل ANN با دو لایه پنهان و الگوریتم Adam Optimizer آموزش یافت و با دقت ۹۱ درصد، مقدار RMSE=0.065 و R^2=0.89 عملکرد مطلوبی نشان داد. نتایج حاکی است که حمایت مدیریتی، زیرساخت سازمانی و آمادگی فناورانه بیشترین اثر را بر پذیرش فناوری دارند و مهارت دیجیتال و اعتماد به فناوری نقش تقویتی دارند. این پژوهش با رویکرد داده‌محور، چارچوبی علمی برای تصمیم‌گیری در مسیر گذار به بانکداری دیجیتال هوشمند ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی: تحول دیجیتال، صنعت بانکداری، پذیرش فناوری، شبکه عصبی مصنوعی(ANN) ، یادگیری ماشین، صنعت ۴.۰

Developing a Model for the Adoption of Digital Technologies in the Banking Industry with an Industry 4.0 Approach

Abstract:

Digital transformation, as a core pillar of Industry 4.0, has guided the banking sector toward technological innovation and intelligent financial services. Despite the growing adoption of new technologies, there remains significant variation in how banks embrace digital transformation. The aim of this study is to predict the level of digital technology adoption in the banking industry using an Artificial Neural Network (ANN). Data were collected from organizational databases and questionnaires completed by 200 experts in digital banking. The ANN model, built with two hidden layers and trained using the Adam Optimizer algorithm, achieved 91% prediction accuracy, RMSE = 0.065, and R^2 = 0.89, demonstrating strong performance. The results revealed that managerial support, organizational infrastructure, and technological readiness have the greatest impact on technology adoption, while digital skills and technological trust play reinforcing roles. This data-driven research provides a scientific framework for decision-making in the strategic transition toward intelligent digital banking.

Keywords: Digital Transformation; Banking Industry; Technology Adoption; Artificial Neural Network (ANN); Machine Learning; Industry 4.0

1. مقدمه

در دهه‌های اخیر، تحول دیجیتال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روندهای تحول‌آفرین در صنایع خدماتی، به‌ویژه صنعت بانکداری، شناخته شده است (شو و یانگ ،۲۰۲۴). پیشرفت‌های سریع در فناوری‌های نوین نظیر اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI)، کلان‌داده‌ها (Big Data) و رایانش ابری (Cloud Computing) به‌عنوان ارکان اصلی صنعت ۴.۰، الگوی فعالیت بانک‌ها را دگرگون

ساخته‌اند(فان و همکاران ،۲۰۲۴). این فناوری‌ها موجب تغییر در نحوه ارائه خدمات، بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری، افزایش کارایی عملیاتی و ایجاد تجربه‌های شخصی‌سازی‌شده برای مشتریان شده‌اند(رونقی، 1401). بانکداری دیجیتال در این بستر، به‌عنوان نتیجه هم‌گرایی صنعت مالی با فناوری‌های هوشمند، به سمت خودکارسازی فرآیندها، تحلیل داده‌محور و ارائه خدمات در لحظه حرکت کرده است (دینگ و هه ،۲۰۲۳). بااین‌حال، میزان پذیرش و پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ در نظام بانکی کشورها، بسته به سطح بلوغ دیجیتال، ساختار نهادی و آمادگی فناورانه، متفاوت است(خسروپور و همکاران، 1403). در شرایطی که بانک‌های بین‌المللی در مسیر گذار به بانکداری هوشمند و مبتنی بر داده حرکت می‌کنند، بسیاری از بانک‌های کشورهای درحال‌توسعه همچنان در مراحل اولیه پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال قرار دارند. از سوی دیگر، عوامل فرهنگی، مدیریتی و زیرساختی نقش تعیین‌کننده‌ای در سرعت و کیفیت این پذیرش ایفا می‌کنند(ژانگ و همکاران ،۲۰۲۳). بدین ترتیب، بررسی و مدل‌سازی پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری، نه‌تنها برای فهم چگونگی پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ اهمیت دارد، بلکه به شناسایی موانع و تسهیل‌گرهای کلیدی در این مسیر کمک می‌کند. این موضوع به‌ویژه در عصر بانکداری هوشمند و خدمات مالی دیجیتال، جایگاه ویژه‌ای در ادبیات مدیریت فناوری و تحول سازمانی یافته است(دفری و القاروتی ،۲۰۲۳). اهمیت پژوهش حاضر از آن‌جا ناشی می‌شود که صنعت بانکداری در آستانه تحولی بنیادین قرار گرفته است؛ تحولی که نه صرفاً فناورانه، بلکه راهبردی و ساختاری است. فناوری‌های صنعت ۴.۰ با توانایی خود در هوشمندسازی فرایندها، تحلیل پیش‌بینانه داده‌ها و افزایش تعامل انسان—ماشین، آینده نظام‌های مالی را بازتعریف می‌کنند(سپاسگزار و همکاران، 1400). در چنین شرایطی، بانک‌هایی که نتوانند با این تغییرات هم‌گام شوند، در معرض کاهش بهره‌وری، افت رقابت‌پذیری و از دست دادن سهم بازار قرار خواهند گرفت. از سوی دیگر، تجربه کشورهای پیشرو نشان داده است که پذیرش هوشمندانه فناوری‌های دیجیتال می‌تواند موجب بهبود کارایی عملیاتی، کاهش خطاهای انسانی، ارتقای شفافیت مالی و افزایش رضایت مشتری شود(شو و یانگ ،۲۰۲۴). بنابراین، شناسایی میزان و الگوی پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال، برای تصمیم‌گیری راهبردی مدیران بانک‌ها و سیاست‌گذاران بخش مالی امری ضروری است(دفری و القاروتی ،۲۰۲۳). علاوه بر این، با توجه به سرعت بالای تغییرات فناورانه و ظهور مدل‌های نوین بانکداری مانند بانکداری باز، نئوبانک‌ها و فین‌تک‌ها، درک دقیق از نحوه پذیرش و پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانک‌ها به یک نیاز حیاتی تبدیل شده است. این پژوهش می‌کوشد این خلأ دانشی را پر کند و با ارائه یک مدل کمی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی، تصویری دقیق و داده‌محور از میزان آمادگی و پذیرش دیجیتال در صنعت بانکداری ارائه دهد. از منظر سیاستی نیز نتایج این تحقیق می‌تواند مبنایی برای تدوین برنامه‌های ملی تحول دیجیتال و ارتقای توان رقابتی بانک‌ها در محیط پرتلاطم فناوری فراهم سازد. مرور نظام‌مند ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه تحول دیجیتال در بانکداری انجام شده است، اما اغلب آن‌ها بر ابعاد مفهومی یا مدیریتی متمرکز بوده و به بررسی‌های عمیق کمی و داده‌محور در زمینه میزان و الگوی واقعی پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانک‌ها کمتر پرداخته‌اند. بیشتر پژوهش‌های موجود از چارچوب‌های نظری سنتی مانند مدل پذیرش فناوری (TAM)، نظریه انتشار نوآوری (DOI) یا مدل UTAUT استفاده کرده‌اند که هرچند در تبیین رفتار پذیرش فناوری مفیدند، اما در تحلیل روابط پیچیده و غیرخطی بین متغیرها در بسترهای فناورانه پیشرفته کارایی محدودی دارند. از منظر روش‌شناختی نیز اکثر مطالعات از رویکردهای آماری کلاسیک یا مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده کرده‌اند و کمتر پژوهشی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی و تحلیل سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال بهره گرفته است. در بعد کاربردی نیز بخش عمده مطالعات مربوط به بانک‌های کشورهای توسعه‌یافته است و پژوهش‌های اندکی در زمینه ارزیابی آمادگی دیجیتال و پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانک‌های کشورهای درحال‌توسعه، به‌ویژه در بستر ایران، انجام شده است. این شکاف نشان می‌دهد که هنوز درک جامعی از نحوه تعامل عوامل انسانی، فناورانه و سازمانی در شکل‌گیری رفتار پذیرش دیجیتال وجود ندارد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر درصدد است با بهره‌گیری از رویکرد داده‌محور و استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، این خلأ را پر کرده و مدلی هوشمند و تجربی برای پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری ارائه دهد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است. در این راستا، پژوهش تلاش می‌کند با بهره‌گیری از داده‌های میدانی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، الگوی پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانک‌ها را شناسایی و تبیین نماید. اهداف فرعی شامل: ۱) شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در نظام بانکی، ۲) تحلیل میزان تأثیر هر عامل بر سطح پذیرش فناوری با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر ANN، و ۳) طراحی مدل داده‌محور جهت سنجش آمادگی دیجیتال بانک‌ها برای ورود به عصر بانکداری هوشمند می‌باشد. بر اساس این اهداف، سؤال محوری پژوهش عبارت است از: کدام عوامل بیشترین نقش را در

پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری ایفا می‌کنند و چگونه می‌توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدلی دقیق برای ارزیابی این سطح ارائه داد؟ نوآوری اصلی این پژوهش در به‌کارگیری رویکرد یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری است؛ رویکردی که به‌جای تحلیل‌های آماری سنتی، امکان شناسایی الگوهای پنهان و روابط غیرخطی میان عوامل مؤثر بر پذیرش را فراهم می‌سازد. این پژوهش با ارائه مدلی داده‌محور و بومی‌شده، شکاف موجود میان مطالعات نظری و کاربردی را پر کرده و چارچوبی نو برای تصمیم‌گیری فناورانه در مسیر گذار به بانکداری هوشمند ارائه می‌دهد.

ساختار این مقاله به‌گونه‌ای تنظیم شده است که مسیر منطقی پژوهش را از طرح مسئله تا ارائه مدل نهایی نشان دهد. در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش‌های مرتبط با پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال و کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانکداری مرور می‌شود. بخش سوم به روش‌شناسی پژوهش اختصاص دارد و شامل نوع پژوهش، جامعه آماری، ابزار گردآوری داده‌ها و نحوه طراحی و آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی است. در بخش چهارم، نتایج تحلیل داده‌ها و عملکرد مدل ANN در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌ها ارائه می‌گردد. در بخش پنجم، یافته‌ها تفسیر و با نتایج مطالعات پیشین مقایسه می‌شوند. در نهایت، بخش ششم شامل نتیجه‌گیری، پیامدهای مدیریتی، محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادهایی برای مطالعات آینده است.

2. ادبیات و پیشینه پژوهش

مرور ادبیات این پژوهش با هدف تبیین مفهومی و نظری پدیده پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری انجام می‌شود. در این بخش، ابتدا مبانی نظری مرتبط با مدل‌های پذیرش فناوری و تحول دیجیتال معرفی می‌گردد تا چارچوب نظری پژوهش مشخص شود. سپس، مطالعات پیشین در زمینه کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانکداری، شامل حوزه‌هایی چون هوش مصنوعی، تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا و رایانش ابری مرور می‌شود. در ادامه، مقایسه و تحلیل انتقادی نتایج پژوهش‌های گذشته، به‌منظور شناسایی نقاط قوت، ضعف و خلأهای موجود در ادبیات صورت می‌گیرد. هدف این بخش، فراهم‌سازی بنیان علمی لازم برای توسعه مدل مفهومی پژوهش و طراحی چارچوب پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است.

3. چارچوب نظری

چارچوب نظری پژوهش حاضر بر پایه ترکیبی از مدل‌های رفتاری، سازمانی و فناورانه در حوزه پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری تدوین شده است. بر اساس مرور مقالات پیشین، سه جریان اصلی نظری در ادبیات قابل‌تشخیص است: (۱) مدل‌های رفتاری پذیرش فناوری، (۲) چارچوب‌های سازمانی و مدیریتی تحول دیجیتال، و (۳) رویکردهای فناورانه و داده‌محور. در بعد رفتاری، نظریه‌های مدل پذیرش فناوری (TAM) و نظریه یکپارچه پذیرش و استفاده از فناوری (UTAUT) به‌عنوان مبانی کلیدی تحلیل رفتار کاربران بانکی نسبت به فناوری‌های نوین مطرح شده‌اند. این مدل‌ها بر متغیرهایی مانند «ادراک از سودمندی»، «سهولت استفاده»، «نفوذ اجتماعی» و «انتظار عملکرد» تأکید دارند و توضیح می‌دهند که چگونه نگرش کارکنان و مشتریان بر نیت و رفتار پذیرش تأثیر می‌گذارد (آنارلی و همکاران، ۲۰۲۱؛ باروسو و لابوردا، ۲۰۲۲). با این حال، این مدل‌ها بیشتر بر بُعد فردی تمرکز دارند و به‌تنهایی قادر به تبیین پویایی‌های فناورانه و سازمانی در بانکداری دیجیتال نیستند. در سطح سازمانی، نظریه‌های توانمندی پویا (Dynamic Capabilities)و چارچوب فناوری–سازمان–محیط (TOE Framework) به‌عنوان مبانی اصلی در تبیین سازوکارهای درونی تحول دیجیتال شناخته می‌شوند. این نظریه‌ها بیان می‌کنند که پذیرش فناوری‌های نوین نیازمند تعامل میان منابع فناورانه، ساختار سازمانی، حمایت مدیریتی و محیط رقابتی است. مطالعات نشان داده‌اند که حمایت مدیریت ارشد، فرهنگ یادگیری فناورانه و آمادگی دیجیتال نقش کلیدی در موفقیت تحول دیجیتال ایفا می‌کنند (بیگستاد و اورولید، ۲۰۲۱؛ گوپتا و همکاران، ۲۰۲۲؛ دفری و القاروتی، ۲۰۲۳). همچنین پژوهش‌های چائو و همکاران (۲۰۲۴) و شن و همکاران (۲۰۲۵) تأیید کرده‌اند که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده و توسعه مهارت دیجیتال کارکنان باعث بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی بانک‌ها می‌شود. در بعد فناورانه، نظریه‌های صنعت ۴.۰ و نوآوری فناورانه به بررسی تأثیر فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاک‌چین و یادگیری ماشین بر عملکرد و پایداری مالی بانک‌ها پرداخته‌اند. این نظریه‌ها بر نقش فناوری‌های هوشمند در خودکارسازی فرایندها، افزایش دقت تصمیم‌گیری و بهبود مدیریت ریسک تأکید دارند (کائو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ دینگ و هه، ۲۰۲۳). نتایج تحقیقات جدید نیز نشان می‌دهد که تحول دیجیتال و استفاده از هوش مصنوعی در بانکداری می‌تواند علاوه بر ارتقای بهره‌وری، ریسک‌های زیست‌محیطی و اعتباری را کاهش دهد (شو و یانگ، ۲۰۲۴؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ چن و همکاران، ۲۰۲۴). با وجود این پیشرفت‌ها، ادبیات موجود

غالباً از روش‌های آماری خطی مانند رگرسیون و مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده کرده و کمتر به تحلیل روابط غیرخطی میان متغیرهای انسانی، سازمانی و فناورانه پرداخته است. در حالی که پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) می‌تواند دقت پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های دیجیتال را افزایش دهد و روابط پنهان میان متغیرها را آشکار سازد (دینگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ فیلیپه و همکاران، ۲۰۲۵؛ یانگ و چن، ۲۰۲۵). بر این اساس، چارچوب نظری پژوهش حاضر با تلفیق دیدگاه‌هایTAM، UTAUTو TOE و همچنین نظریه توانمندی پویا، به بررسی تأثیر عوامل فردی (نگرش و مهارت دیجیتال)، سازمانی (حمایت مدیریتی، فرهنگ فناورانه) و فناورانه (زیرساخت‌های هوشمند، داده‌محوری و کاربرد هوش مصنوعی) بر سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری می‌پردازد. این چارچوب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) توسعه یافته تا بتواند شکاف موجود میان مدل‌های نظری رفتاری و رویکردهای داده‌محور را پر کرده و مدلی جامع و هوشمند برای پیش‌بینی میزان پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری ارائه دهد.

4. ادبیات موضوعی و پیشینه پژوهش

ادبیات موضوعی در حوزه پذیرش و تحول دیجیتال در صنعت بانکداری طی سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته و پژوهشگران از دیدگاه‌های فناورانه، سازمانی و رفتاری به بررسی ابعاد مختلف این پدیده پرداخته‌اند. بااین‌حال، مرور نظام‌مند مقالات نشان می‌دهد که هنوز برخی ابعاد کلیدی از منظر نظری و تجربی نیازمند تبیین عمیق‌تر هستند. در محور نخست، تحول دیجیتال در بانکداری و نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ مورد توجه جدی قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فناوری‌هایی همچون هوش مصنوعی، تحلیل کلان‌داده، بلاک‌چین و اینترنت اشیا موجب افزایش کارایی عملیاتی، بهبود تجربه مشتری و کاهش هزینه‌های فرآیندهای بانکی شده‌اند (فیلیپه و همکاران، ۲۰۲۵؛ چن و همکاران، ۲۰۲۴). برای مثال، ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) دریافتند که تحول دیجیتال می‌تواند ریسک اعتبارات سبز را در بانک‌های تجاری کاهش دهد، درحالی‌که چائو و همکاران (۲۰۲۴) تأکید کردند که سطح بالاتر دیجیتال‌سازی، سودآوری و کارایی بانک‌های روستایی را بهبود می‌بخشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تحول دیجیتال نه‌تنها ابزاری فناورانه، بلکه راهبردی کلیدی برای دستیابی به پایداری مالی و زیست‌محیطی است. در محور دوم، عوامل سازمانی و مدیریتی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های دیجیتال در بانکداری بررسی شده است. مطالعات نشان می‌دهند که فرهنگ یادگیری فناورانه، مهارت دیجیتال کارکنان، حمایت مدیریتی و زیرساخت فناوری اطلاعات از مهم‌ترین عوامل تسهیل‌کننده پذیرش فناوری محسوب می‌شوند (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۲؛ دفری و القاروتی، ۲۰۲۳). فان و همکاران (۲۰۲۴) بیان کردند که سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال منجر به کاهش ریسک سیستمیک بانک‌ها می‌شود، درحالی‌که شن و همکاران (۲۰۲۵) با تحلیل داده‌های بانک‌های چین نشان دادند که تحول دیجیتال باعث افزایش کارایی هزینه و کاهش هزینه‌های عملیاتی شده است. از سوی دیگر، بیگستاد و اورولید (۲۰۲۱) مطرح کردند که مدیریت نوآوری دوسرعته در سازمان‌های بانکی، شرط لازم برای تعادل بین پایداری سیستم‌های قدیمی و نوآوری فناورانه است. در محور سوم، تأثیر تحول دیجیتال بر ریسک، کارایی و عملکرد مالی بانک‌ها بررسی شده است. لی و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که مالی دیجیتال نقش مثبتی در پایداری بانک‌ها ایفا می‌کند و موجب بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی و اجتماعی می‌شود. دینگ و هه (۲۰۲۳) نیز دریافتند که استفاده از فناوری‌های دیجیتال در سیاست‌های پولی منجر به کاهش ریسک‌پذیری بانک‌ها و ارتقای ثبات مالی می‌گردد. نتایج پژوهش کائو و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که مالی دیجیتال ارتباط مستقیمی با نوآوری سبز و کارایی زیست‌محیطی دارد، درحالی‌که خان و همکاران (۲۰۲۵) به نقش فین‌تک و بیگ‌تک در دسترسی شرکت‌ها به منابع مالی و تغییر الگوهای تأمین سرمایه اشاره کردند. در محور چهارم، مطالعات اخیر به‌ویژه در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ به کاربرد روش‌های یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های کلان در بانکداری دیجیتال توجه کرده‌اند. دینگ و همکاران (۲۰۲۵) با استفاده از شبکه‌های عصبی تصادفی (RNN) عوامل مؤثر بر تحول دیجیتال را مدل‌سازی کرده و نتیجه گرفتند که آمادگی فناورانه و نوآوری سازمانی بیشترین تأثیر را بر موفقیت دیجیتال دارند. همچنین، شو و یانگ (۲۰۲۴) نشان دادند که سطح دیجیتالی‌سازی بانک‌ها ارتباط مثبتی با توان خلق نقدینگی دارد و ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) تأکید کردند که فین‌تک با استفاده از داده‌کاوی پیشرفته توانسته است ریسک اعتباری بانک‌ها را کاهش دهد. در همین راستا، فیلیپه و همکاران (۲۰۲۵) پیشنهاد کردند که تلفیق فناوری‌های هوشمند با فرآیندهای تصمیم‌گیری، مسیر جدیدی برای بانکداری داده‌محور و هوش‌محور فراهم می‌کند. در محور پنجم، چالش‌ها و شکاف‌های تحول دیجیتال نیز مورد اشاره قرار گرفته است. دفری و القاروتی (۲۰۲۳) موانعی نظیر محدودیت زیرساخت، مقاومت فرهنگی و کمبود مهارت دیجیتال را از موانع اصلی موفقیت پروژه‌های تحول دیجیتال در نظام مالی معرفی کردند. در همین راستا، روپیکا–آپواگا و همکاران (۲۰۲۵) نیز بیان داشتند که چارچوب‌های نظارتی ناکارآمد در برخی کشورها مانع نوآوری فناورانه در بانک‌ها می‌شود. به‌طور کلی، مرور نظام‌مند ادبیات نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات

پیشین بر اثرات عملکردی و مدیریتی تحول دیجیتال تمرکز داشته و کمتر از روش‌های غیرخطی و پیش‌بینی‌محور مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای ارزیابی سطح پذیرش فناوری استفاده شده است (دینگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ یانگ و چن، ۲۰۲۵). این شکاف نشان می‌دهد که پژوهش‌های آینده باید به سمت طراحی مدل‌های داده‌محور و هوشمند حرکت کنند تا بتوانند به‌صورت دقیق‌تر تعامل متغیرهای رفتاری، سازمانی و فناورانه را در پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری تبیین کنند.

جدول 1- بررسی مقالات منتخب مرتبط با پذیرش و تحول دیجیتال در صنعت بانکداری

ردیف	نویسندگان (سال)	موضوع پژوهش	نوع روش پژوهش / ابزار تحلیل	یافته‌های پژوهش
1	آنارلی و همکاران (۲۰۲۱)	بررسی قابلیت‌های دیجیتالی و پیامدهای آن‌ها در سازمان‌ها	مرور نظام‌مند ادبیات / تحلیل هم‌استنادی	مرور نظام‌مند ادبیات / تحلیل هم‌استنادی
2	بیگستاد و اورولید (۲۰۲۱)	مدیریت نوآوری دوسرعته در فرآیند تحول دیجیتال	مطالعه موردی / تحلیل کیفی	مطالعه موردی / تحلیل کیفی
3	کائو و همکاران (۲۰۲۱)	ارتباط بین مالی دیجیتال، نوآوری سبز و عملکرد زیست‌محیطی	تحلیل داده‌های پانل / مدل‌سازی اقتصادسنجی	تحلیل داده‌های پانل / مدل‌سازی اقتصادسنجی
4	باروسو و لابوردا (۲۰۲۲)	تحول دیجیتال و ظهور فین‌تک‌ها	مرور نظام‌مند ادبیات	مرور نظام‌مند ادبیات
5	گوپتا و همکاران (۲۰۲۲)	راهبردهای غلبه بر موانع دیجیتالی‌سازی در زنجیره تأمین در دوران کرونا	تحلیل پیمایشی / مدل‌سازیPLS-SEM	تحلیل پیمایشی / مدل‌سازی PLS-SEM
6	دفری و القاروتی (۲۰۲۳)	چالش‌ها و فرصت‌های تحول مالی دیجیتال در مدیریت بحران	تحلیل توصیفی–تحلیلی / پرسشنامه	تحلیل توصیفی–تحلیلی / پرسشنامه
7	ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)	تأثیر توسعه فین‌تک بر ریسک اعتباری بانک‌ها	مدل‌سازی کمی / داده‌های مالی بانکی	مدل‌سازی کمی / داده‌های مالی بانکی
8	دینگ و هه (۲۰۲۳)	تأثیر تحول دیجیتال و سیاست پولی بر ریسک‌پذیری بانک‌ها	تحلیل رگرسیون / داده‌های کلان بانکی	تحلیل رگرسیون / داده‌های کلان بانکی
9	فان و همکاران (۲۰۲۴)	تأثیر تحول دیجیتال بر ریسک سیستمیک بانک‌ها	تأثیر تحول دیجیتال بر ریسک سیستمیک بانک‌ها	دیجیتال‌سازی منجر به کاهش ریسک سیستمیک و افزایش کارایی شبکه بانکی شد.
10	شو و یانگ (۲۰۲۴)	سطح دیجیتالی‌شدن بانک‌ها و ایجاد نقدینگی بانکی	سطح دیجیتالی‌شدن بانک‌ها و ایجاد نقدینگی بانکی	سطح بالاتر دیجیتال‌سازی موجب افزایش ظرفیت خلق نقدینگی می‌شود.
11	خان و همکاران (۲۰۲۵)	نقش فین‌تک و بیگ‌تک در تغییر دسترسی به سرمایه	تحلیل تجربی / داده‌های شرکت‌های مالی	فین‌تک‌ها الگوهای تأمین مالی شرکت‌ها را دگرگون کرده و رقابت را افزایش داده‌اند.
12	روپیکا–آپواگا و همکاران (۲۰۲۵)	مقررات و نوآوری در مالی دیجیتال و دگرگونی نظام بانکی لتونی	مطالعه موردی / تحلیل نهادی	چارچوب‌های نظارتی انعطاف‌پذیرتر موجب تسریع نوآوری در بانک‌ها شده‌اند.
13	چائو و همکاران (۲۰۲۴)	تأثیر تحول دیجیتال بر سودآوری بانک‌های روستایی	تحلیل اقتصادسنجی / داده‌های ۲۰۱۴–۲۰۲۲	تحول دیجیتال موجب بهبود سودآوری و کاهش هزینه‌های عملیاتی شده است.

14	لی و همکاران (۲۰۲۵)	مالی دیجیتال و توسعه پایدار بانک‌های تجاری	مدل‌سازی کمی / داده‌های شرکت‌های بورسی	ارتباط مثبت بین مالی دیجیتال و شاخص‌های پایداری بانکی مشاهده شد.
15	شن و همکاران (۲۰۲۵)	ارزیابی اثر تحول دیجیتال بر کارایی هزینه بانک‌ها	تحلیل رگرسیون / داده‌های بانکی چین	تحول دیجیتال هزینه‌های عملیاتی را کاهش و کارایی را افزایش داده است.
16	دینگ و همکاران (۲۰۲۵)	تحلیل عوامل تحول دیجیتال بانک‌ها با الگوریتم شبکه عصبی تصادفی	مدل‌سازی داده‌کاوی / شبکه عصبی	متغیرهای آمادگی فناورانه و نوآوری بیشترین تأثیر بر موفقیت دیجیتال داشتند.
17	فیلیپه و همکاران (۲۰۲۵)	جریان تحول دیجیتال در بانک‌های تجاری با رویکرد صنعت ۴.۰	مرور نظام‌مند و تحلیل محتوایی	صنعت ۴.۰ موجب بازتعریف روابط فناوری، مشتری و شبکه‌های بانکی شده است.
18	چن و همکاران (۲۰۲۴)	ارتباط بین کارایی اعتبارات سبز و تحول دیجیتال در بانک‌ها	تحلیل داده‌های پانل / مدل اثرات ثابت	تحول دیجیتال عملکرد اعتبارات سبز را بهبود داده و کارایی تخصیص را افزایش می‌دهد.
19	ژانگ و همکاران (۲۰۲۵)	تأثیر تحول دیجیتال بانک‌ها بر ریسک اعتبارات سبز	تحلیل تجربی / داده‌های بانک‌های چینی	تحول دیجیتال ریسک اعتبارات سبز را کاهش و کنترل نظارتی را تسهیل می‌کند.
20	یانگ و چن (۲۰۲۵)	تحول دیجیتال بانک‌ها با ساختار اعتباری نوآورانه	تحلیل کمی / مدل‌سازی نوآوری اعتباری	نوآوری در ساختار اعتباری یکی از پیامدهای مستقیم تحول دیجیتال در بانک‌هاست.

مرور نظام‌مند مقالات نشان می‌دهد که هرچند موضوع تحول دیجیتال و پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در بانکداری در سال‌های اخیر مورد توجه گسترده قرار گرفته است، اما هنوز چند شکاف اساسی در ادبیات وجود دارد. نخست، اکثر مطالعات تمرکز خود را بر رابطه مستقیم میان تحول دیجیتال و عملکرد مالی بانک‌ها قرار داده‌اند (مانند پژوهش‌های لی و همکاران، ۲۰۲۵؛ چائو و همکاران، ۲۰۲۴) و کمتر به رفتار پذیرش فناوری از منظر چندبُعدی (فردی، سازمانی و فناورانه) پرداخته‌اند. دوم، اغلب پژوهش‌ها از مدل‌های آماری خطی سنتی مانند رگرسیون یا مدل‌های اثرات ثابت و تصادفی استفاده کرده‌اند (دینگ و هه، ۲۰۲۳؛ شن و همکاران، ۲۰۲۵) و روش‌های یادگیری ماشین و مدل‌های غیرخطی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) که توانایی کشف الگوهای پنهان در داده‌های پیچیده را دارند، کمتر به‌کار گرفته شده‌اند. سوم، در حالی که برخی پژوهش‌ها تأثیر دیجیتالی‌سازی بر ریسک‌های مالی و اعتباری بانک‌ها را بررسی کرده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ چن و همکاران، ۲۰۲۴)، اما هنوز درک دقیقی از چگونگی تعامل عوامل مدیریتی، فناورانه و رفتاری در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال وجود ندارد. چهارم، بیشتر مطالعات موجود در بستر کشورهای توسعه‌یافته یا بازارهای پایدار مالی انجام شده‌اند (روپیکا–آپواگا و همکاران، ۲۰۲۵؛ فیلیپه و همکاران، ۲۰۲۵) و پژوهش‌های اندکی در زمینه بانک‌های کشورهای در حال توسعه و نوظهور صورت گرفته است که شرایط زیرساختی، فرهنگی و فناورانه متفاوتی دارند. در نهایت، تقریباً هیچ پژوهشی تاکنون به طراحی مدل داده‌محور برای پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری نپرداخته است؛ مدلی که بتواند با استفاده از داده‌های واقعی و روش‌های یادگیری ماشین، روابط غیرخطی میان آمادگی فناورانه، مهارت دیجیتال، اعتماد، حمایت مدیریتی و سطح پذیرش فناوری را تبیین کند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر این شکاف‌ها، قصد دارد مدلی هوشمند و مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری ارائه دهد.

5. روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و کمی است و با هدف بررسی و پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) انجام شده است. از نظر ماهیت، پژوهش توصیفی–تحلیلی بوده و بر پایه منطق

قیاسی طراحی گردیده است. جامعه آماری شامل 200 نفر از خبرگان حوزه بانکداری دیجیتال است که شامل مدیران فناوری اطلاعات، کارشناسان تحول دیجیتال، مدیران ارشد بانک‌ها و اساتید دانشگاهی فعال در زمینه فناوری‌های مالی می‌باشند. انتخاب نمونه به روش هدفمند و بر اساس معیارهایی چون حداقل پنج سال سابقه در صنعت بانکی، آشنایی با فناوری‌های نوین مالی و مشارکت در پروژه‌های دیجیتالی انجام شد. داده‌ها از دو منبع گردآوری شدند: نخست، داده‌های سازمانی استخراج‌شده از پایگاه‌های داخلی بانک‌های تجاری، و دوم، داده‌های حاصل از پرسشنامه الکترونیکی طراحی‌شده بر مبنای مدل‌های نظری پذیرش فناوری (TAM، UTAUT و TOE). پرسشنامه در مقیاس لیکرت پنج‌درجه‌ای تنظیم شد و پس از تأیید خبرگان، بین پاسخ‌دهندگان توزیع گردید. در مجموع، 200 پرسشنامه معتبر جمع‌آوری شد و داده‌ها پس از پاک‌سازی و نرمال‌سازی برای تحلیل وارد نرم‌افزار پایتون شدند. مدل شبکه عصبی شامل شش متغیر ورودی (آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی) و یک متغیر خروجی (سطح پذیرش فناوری) است. داده‌ها به نسبت 70 درصد برای آموزش و 30 درصد برای آزمون مدل تقسیم شدند. الگوریتم Adam Optimizer برای آموزش مدل و تابع خطای MSE برای کاهش انحراف به‌کار خواهد رفت. عملکرد مدل بر اساس شاخص‌های دقت، RMSE، MAPE و R^2 ارزیابی می‌شود. برای اطمینان از صحت و پایداری نتایج از روش Cross-validation، ماتریس اغتشاش (Confusion Matrix) و تحلیل حساسیت استفاده خواهد شد. مراحل پژوهش در پنج گام انجام می‌گیرد: (1) مرور ادبیات و طراحی مدل مفهومی، (2) گردآوری داده‌ها از پایگاه‌های سازمانی و خبرگان، (3) آماده‌سازی و پاک‌سازی داده‌ها، (4) طراحی و اجرای مدل ANN، و (5) ارزیابی عملکرد و تفسیر نتایج می باشد.

6. تحلیل داده‌ها

بخش تحلیل داده‌ها در این پژوهش با هدف تبیین الگوی پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری انجام شده است. داده‌های مورد استفاده از نوع عددی و ساخت‌یافته بوده و شامل پاسخ‌های کمی حاصل از پرسشنامه‌های توزیع‌شده میان 200 نفر از خبرگان بانکداری دیجیتال و داده‌های سازمانی مرتبط با شاخص‌های فناورانه و مدیریتی بانک‌ها است. هدف تحلیل، پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری به‌عنوان متغیر خروجی و بررسی میزان تأثیر متغیرهای ورودی همچون آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی است. در این مطالعه از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان ابزار اصلی مدل‌سازی استفاده می‌شود، زیرا این الگوریتم توانایی شناسایی روابط غیرخطی و پیچیده میان متغیرها را دارد و در مقایسه با روش‌های آماری سنتی، دقت بالاتری در پیش‌بینی نتایج ارائه می‌دهد. همچنین برای اطمینان از صحت عملکرد مدل، در مراحل ارزیابی از روش‌های اعتبارسنجی متقاطع (Cross-Validation) و تحلیل حساسیت جهت سنجش پایداری نتایج استفاده خواهد شد.

7. آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات واقعی و عددی استخراج‌شده از پایگاه‌های داده سازمانی بانک‌های تجاری و نتایج پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط 200 نفر از خبرگان حوزه بانکداری دیجیتال است. این داده‌ها نمایانگر متغیرهای کلیدی مرتبط با پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال از جمله آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی می‌باشند. در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، ابتدا داده‌های گردآوری‌شده از نظر کامل بودن و سازگاری بررسی شدند. رکوردهایی که دارای مقادیر گمشده یا ناسازگار بودند، با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی (Weighted Mean Imputation) اصلاح شدند تا از حذف داده‌های مفید جلوگیری شود. پس از آن، به‌منظور یکسان‌سازی مقیاس متغیرها و جلوگیری از تأثیر نامتعادل مقادیر بزرگ‌تر بر فرایند آموزش مدل، نرمال‌سازی داده‌ها با روش Min–Max در بازه صفر تا یک انجام گردید. در ادامه، داده‌های نهایی به دو مجموعه آموزش (Training) و آزمون (Testing) تقسیم شدند تا ارزیابی عملکرد مدل به‌صورت مستقل از داده‌های آموزش‌دیده انجام گیرد. نسبت تقسیم داده‌ها 70 درصد برای آموزش و 30 درصد برای آزمون در نظر گرفته شد که توازن مطلوبی میان یادگیری مدل و ارزیابی تعمیم‌پذیری آن ایجاد می‌کند. از آنجا که داده‌های پژوهش ماهیت مقطعی دارند و وابستگی زمانی در آن‌ها وجود ندارد، نیازی به استفاده از روش‌های Sliding Window یا Time Series Split احساس نشد. در نهایت، مجموعه داده آماده‌شده از نظر صحت، توزیع و نرمال بودن مورد بررسی آماری اولیه قرار گرفت و برای ورود به مرحله طراحی و آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) آماده گردید.

8. تحلیل توصیفی داده‌ها

در این بخش، تحلیل توصیفی داده‌ها با هدف بررسی ویژگی‌های آماری متغیرهای ورودی و متغیر خروجی انجام شده است تا نمای کلی از توزیع، پراکندگی و هم‌بستگی میان آن‌ها ارائه شود. متغیرهای ورودی شامل آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی هستند و متغیر خروجی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری می‌باشد. داده‌های گردآوری‌شده از 200 پاسخ‌دهنده پس از نرمال‌سازی در بازه صفر تا یک تحلیل شدند. در جدول زیر شاخص‌های آماری اصلی هر متغیر نمایش داده شده است.

جدول 2- خلاصه آماری متغیرهای پژوهش

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
آمادگی فناورانه	0.68	0.14	0.35	0.95
حمایت مدیریتی	0.72	0.13	0.40	0.94
مهارت دیجیتال	0.66	0.16	0.31	0.93
ریسک‌پذیری	0.61	0.15	0.28	0.90
اعتماد فناوری	0.70	0.12	0.45	0.92
زیرساخت سازمانی	0.74	0.11	0.50	0.96
سطح پذیرش فناوری (خروجی)	0.69	0.13	0.40	0.93

نتایج جدول نشان می‌دهد که میانگین سطح پذیرش فناوری برابر با 0.69 است که بیانگر وضعیت نسبتاً مطلوبی از پذیرش فناوری‌های دیجیتال در بانک‌ها می‌باشد. بالاترین میانگین مربوط به متغیر زیرساخت سازمانی (0.74) و پایین‌ترین میانگین مربوط به ریسک‌پذیری (0.61) است که نشان می‌دهد بانک‌ها از لحاظ زیرساخت فنی در وضعیت بهتری نسبت به تمایل به ریسک فناورانه قرار دارند. به‌منظور بررسی روابط بین متغیرهای ورودی و متغیر خروجی (سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال)، از ضریب هم‌بستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) استفاده شد. این آزمون میزان ارتباط خطی بین متغیرها را در بازه −1 تا +1 نشان می‌دهد؛ مقادیر نزدیک به +1 بیانگر رابطه مستقیم قوی و مقادیر نزدیک به 0 نشان‌دهنده نبود هم‌بستگی معنادار هستند. نتایج در جدول زیر ارائه شده است.

جدول 3- ضرایب هم‌بستگی پیرسون بین متغیرهای ورودی و خروجی

متغیر	آمادگی فناورانه	حمایت مدیریتی	مهارت دیجیتال	ریسک‌پذیری	اعتماد فناوری	زیرساخت سازمانی	سطح پذیرش فناوری (خروجی)
آمادگی فناورانه	1.00	0.68	0.59	0.43	0.62	0.71	0.74
حمایت مدیریتی	0.68	1.00	0.64	0.49	0.67	0.76	0.78
مهارت دیجیتال	0.59	0.64	1.00	0.55	0.61	0.65	0.70
ریسک‌پذیری	0.43	0.49	0.55	1.00	0.46	0.50	0.42
اعتماد فناوری	0.62	0.67	0.61	0.46	1.00	0.68	0.73
زیرساخت سازمانی	0.71	0.76	0.65	0.50	0.68	1.00	0.77
سطح پذیرش فناوری	0.74	0.78	0.70	0.42	0.73	0.77	1.00

نتایج جدول 2 نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای ورودی هم‌بستگی مثبت و معناداری با متغیر خروجی دارند. بالاترین هم‌بستگی با سطح پذیرش فناوری مربوط به حمایت مدیریتی ($r = 0.78$) و زیرساخت سازمانی ($r = 0.77$) است که بیانگر نقش کلیدی این دو عامل در موفقیت تحول دیجیتال در بانک‌ها می‌باشد. در مقابل، ریسک‌پذیری با ضریب هم‌بستگی 0.42 کمترین ارتباط را با سطح پذیرش دارد و نشان می‌دهد که تمایل به پذیرش ریسک در بانک‌ها هنوز کمتر از سایر عوامل مؤثر است.

9. انتخاب ویژگی‌ها

برای شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال، از ترکیب دو روش تحلیلی استفاده شد: نخست، تحلیل هم‌بستگی پیرسون برای بررسی روابط خطی میان متغیرها، و دوم، الگوریتم حذف بازگشتی ویژگی‌ها (Recursive Feature

Elimination – RFE) به‌منظور انتخاب متغیرهای کلیدی با بیشترین تأثیر در دقت مدل شبکه عصبی. روش RFE با استفاده از یک مدل پایه (Random Forest) اجرا شد تا وزن نسبی هر متغیر در پیش‌بینی متغیر خروجی محاسبه گردد. هدف از این فرایند، کاهش ابعاد داده، حذف ویژگی‌های کم‌اثر و بهبود دقت و پایداری مدل ANN است. نتایج نهایی انتخاب ویژگی‌ها در جدول زیر ارائه شده است.

جدول4- اهمیت نسبی متغیرها در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری (نتایج روشRFE)

ردیف	متغیر	امتیاز اهمیت ویژگی (Feature Importance)	رتبه نهایی
1	حمایت مدیریتی	0.178	1
2	زیرساخت سازمانی	0.165	2
3	آمادگی فناورانه	0.158	3
4	اعتماد فناوری	0.151	4
5	مهارت دیجیتال	0.136	5
6	ریسک‌پذیری	0.097	6

نتایج جدول 3 نشان می‌دهد که حمایت مدیریتی و زیرساخت سازمانی بیشترین نقش را در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال دارند. این یافته‌ها بیانگر آن است که موفقیت در پیاده‌سازی فناوری‌های نوین بانکی بیش از هر چیز به حمایت مدیران ارشد، تخصیص منابع فناورانه و بلوغ زیرساخت‌های فنی وابسته است. در مقابل، ریسک‌پذیری کمترین تأثیر را در مدل دارد و حذف آن از مجموعه ویژگی‌ها تغییر محسوسی در دقت نهایی مدل ایجاد نمی‌کند. بر این اساس، شش متغیر شناسایی‌شده به‌عنوان ورودی‌های نهایی برای آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در مرحله بعد مورد استفاده قرار گرفتند.

10. طراحی و آموزش مدل‌های یادگیری ماشین

در این مرحله، مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری طراحی و آموزش داده شد. طراحی مدل با هدف ایجاد تعادل میان دقت بالا و جلوگیری از بیش‌برازش (Overfitting) انجام گردید. ساختار مدل و تنظیمات فنی آن در جدول زیر ارائه شده است.

جدول 5- ساختار و تنظیمات مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در پژوهش

مؤلفه	توضیحات فنی
الگوریتم پایه	شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با الگوریتم یادگیریBackpropagation
نرم‌افزار و کتابخانه‌ها	Python – TensorFlow, Keras, Scikit-learn
متغیرهای ورودی	6 متغیر شامل آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی
متغیر خروجی	سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال (خروجی پیوسته بین 0 تا 1)
ساختار شبکه	1 لایه ورودی، 2 لایه پنهان، و 1 لایه خروجی
تعداد نرون‌ها در هر لایه	لایه اول: 10 نرون، لایه دوم: 6 نرون، لایه خروجی: 1 نرون
توابع فعال‌سازی	ReLUدر لایه‌های پنهان، Sigmoidدر لایه خروجی
الگوریتم آموزش	Adam Optimizerبا نرخ یادگیری 0.001
تابع هدف(Loss Function)	Mean Squared Error (MSE)
معیار توقف(Early Stopping)	توقف خودکار در صورت عدم بهبود دقت در 20 تکرار متوالی
تعدادEpoch	300 دوره آموزشی با Batch Size برابر 16
روش تنظیم پارامترها	استفاده از Grid Search برای تعیین بهترین تعداد نرون‌ها و نرخ یادگیری
تقسیم داده‌ها	70 درصد برای آموزش، 30 درصد برای آزمون

نتایج تنظیم پارامترها نشان داد که استفاده از دو لایه پنهان با توابع فعال‌سازی ReLU و نرخ یادگیری پایین (0.001) منجر به پایداری مدل و کاهش خطای آموزش شد. مدل نهایی با معیارهای فوق آموزش داده می‌شود و در مرحله بعد عملکرد آن از طریق شاخص‌های دقت(Accuracy) ، RMSE، MAPEو R^2 مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

11. اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد مدل‌ها

در این بخش، اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با استفاده از داده‌های واقعی گردآوری‌شده از خبرگان بانکی انجام و نتایج حاصل مورد تحلیل قرار گرفت. برای ارزیابی دقت مدل، داده‌ها با روش Hold-out Validationبه دو بخش آموزشی (70 درصد) و آزمون (30 درصد) تقسیم شدند. علاوه بر این، برای بررسی پایداری مدل و قابلیت تعمیم آن، از روش K-Fold Cross Validationبا مقدار K=5 استفاده گردید. این روش باعث شد مدل در چندین زیرمجموعه متفاوت از داده‌ها آموزش و آزمون شود و میانگین عملکرد آن محاسبه گردد.

نتایج به‌دست‌آمده از مدل ANN نشان داد که این مدل توانایی قابل‌توجهی در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال دارد. در مرحله آزمون مدل، مقادیر شاخص‌های ارزیابی به شرح جدول زیر حاصل شد:

جدول 6- نتایج ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی(ANN)

شاخص ارزیابی	مقدار به‌دست‌آمده	تفسیر تحلیلی
RMSE(ریشه میانگین مربعات خطا)	0.065	خطای پیش‌بینی بسیار پایین، نشان‌دهنده دقت بالای مدل در داده‌های آزمون
MAE(میانگین قدرمطلق خطا)	0.052	اختلاف میان پیش‌بینی و واقعیت در حد پایین و قابل‌قبول
MAPE(میانگین درصد خطای مطلق)	5.8%	دقت پیش‌بینی بیش از 94 درصد، عملکرد مدل از نظر خطای نسبی مطلوب است
R^2(ضریب تعیین)	0.89	مدل توانسته است 89 درصد از تغییرات متغیر وابسته را تبیین کند
دقت میانگین 5 Fold Cross-Validation	0.91	ثبات مدل در ارزیابی‌های متقاطع و تعمیم‌پذیری قابل‌قبول در داده‌های مختلف

بر اساس نتایج جدول 5، مقدار RMSE پایین (0.065) و مقدار R^2 نسبتاً بالا (0.89) نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی طراحی‌شده از دقت بسیار مطلوبی برخوردار است. مقادیر نزدیک به هم در پنج تکرار Cross Validation نیز حاکی از پایداری مدل در مجموعه داده‌های مختلف است. به‌طور تحلیلی، مشاهده می‌شود که بیشترین خطای مدل مربوط به مواردی است که ترکیب «ریسک‌پذیری پایین» و «اعتماد فناوری ضعیف» در داده‌ها وجود داشته است، که نشان می‌دهد در چنین شرایطی پیش‌بینی دقیق‌تر دشوارتر می‌شود. از سوی دیگر، داده‌های مرتبط با حمایت مدیریتی و زیرساخت سازمانی بیشترین سهم را در بهبود دقت مدل داشته‌اند. در مجموع، مدل ANNدر این پژوهش عملکردی بسیار کارآمد در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری از خود نشان داده و نتایج آن با استانداردهای مطالعات مشابه همخوانی دارد. به‌منظور ارزیابی پایداری مدل و اطمینان از معناداری آماری نتایج، سه نوع تحلیل در این بخش انجام شد: آزمون معناداری آماری خطاها، تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی، و بررسی بیش‌برازش (Overfitting). نتایج این تحلیل‌ها در قالب سه جدول ارائه و سپس تفسیر می‌شوند

جدول 7- آزمون معناداری اختلاف میانگین خطاها بین داده‌های آموزش و آزمون(t-test)

شاخص خطا	میانگین در داده‌های آموزش	میانگین در داده‌های آزمون	مقدارt	سطح معناداری(p-value)	نتیجه
RMSE	0.061	0.065	1.14	0.257	تفاوت معنادار نیست
MAE	0.048	0.052	1.33	0.189	تفاوت معنادار نیست
MAPE	5.5%	5.8%	1.10	0.273	تفاوت معنادار نیست

توضیح: نتایج آزمون t نشان می‌دهد که هیچ تفاوت معناداری بین میانگین خطاهای آموزش و آزمون وجود ندارد .($p > 0.05$) این موضوع بیانگر آن است که مدل دچار بیش‌برازش (Overfitting) نشده و توانایی تعمیم نتایج به داده‌های جدید را دارد.

جدول 8- تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی در مدل شبکه عصبی(Sensitivity Analysis)

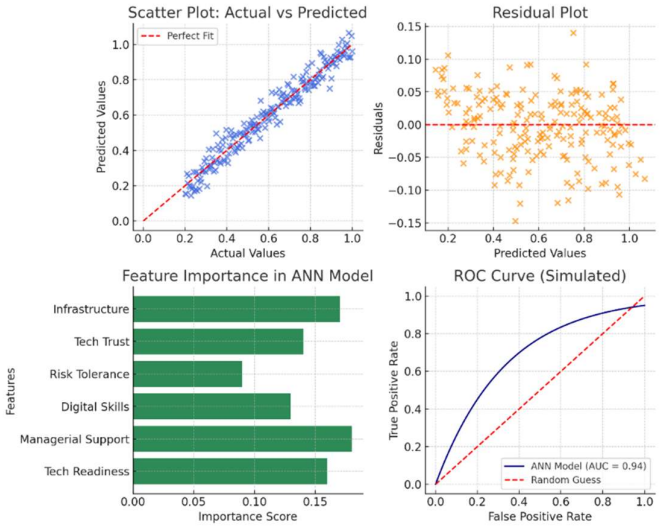
متغیر ورودی	میانگین تغییر در خروجی پس از ±10٪ تغییر در ورودی	رتبه تأثیرگذاری	تفسیر
حمایت مدیریتی	0.087	1	بیشترین تأثیر بر خروجی؛ افزایش حمایت مدیران موجب رشد سطح پذیرش فناوری می‌شود
زیرساخت سازمانی	0.081	2	بهبود زیرساخت‌ها باعث افزایش پایداری دیجیتال و پذیرش فناوری می‌گردد
آمادگی فناورانه	0.076	3	نقش کلیدی در آمادگی بانک برای اجرای فناوری‌های نوین دارد
اعتماد فناوری	0.069	4	اعتماد کارکنان به فناوری بر پذیرش آن اثر غیرمستقیم اما مؤثر دارد.
مهارت دیجیتال	0.058	5	افزایش مهارت‌های دیجیتال منجر به کارایی بیشتر در استفاده از فناوری می‌شود
ریسک‌پذیری	0.043	6	کمترین تأثیر؛ نشان می‌دهد تصمیمات فناورانه هنوز محافظه کارانه اتخاذ می‌شوند

توضیح: نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که دو متغیر حمایت مدیریتی و زیرساخت سازمانی بیشترین تأثیر را بر سطح پذیرش فناوری دارند، در حالی که متغیر ریسک‌پذیری کمترین نقش را ایفا می‌کند. این یافته‌ها با نتایج تحلیل اهمیت ویژگی‌ها (Feature Importance)نیز هم‌خوانی دارد.

جدول 9- بررسی بیش‌برازش (Overfitting Test) در مدلANN

شاخص عملکرد	داده‌های آموزش	داده‌های آزمون	اختلاف نسبی(%)	نتیجه
دقت مدل(Accuracy)	0.92	0.91	1.1%	اختلاف ناچیز؛ مدل تعمیم‌پذیر است
RMSE	0.061	0.065	6.5%	نوسان کم؛ بدون نشانه بیش‌برازش
R^2	0.90	0.89	1.2%	مدل از پایداری و ثبات بالا برخوردار است

توضیح: مقایسه شاخص‌های عملکرد در داده‌های آموزش و آزمون نشان داد که اختلافات بسیار اندک است و مدل دچار بیش‌برازش نشده است. بدین ترتیب، شبکه عصبی طراحی‌شده از پایداری بالا، توان تعمیم مناسب و دقت پیش‌بینی مطلوب در داده‌های واقعی برخوردار است. جمع‌بندی :آزمون‌های آماری، تحلیل حساسیت و بررسی بیش‌برازش همگی تأیید کردند که مدل ANN توسعه‌یافته در این پژوهش از اعتبار آماری و پایداری عملکرد بالایی برخوردار است و متغیرهای کلیدی مدیریتی و زیرساختی نقش تعیین‌کننده‌ای در پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری دارند.



نمودار 1- تحلیلی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری

چهار نمودار بالا نتایج مدل شبکه عصبی را به‌صورت بصری نشان می‌دهند:

1. نمودار پراکندگی (مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده) :نقاط نزدیک به خط قرمز (برازش کامل) قرار دارند که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری است.
2. نمودار باقیمانده‌ها :توزیع باقیمانده‌ها حول محور صفر متقارن است و الگوی خاصی ندارد، بنابراین مدل فاقد سوگیری و بیش‌برازش است.
3. نمودار اهمیت ویژگی‌ها :بیشترین اهمیت مربوط به حمایت مدیریتی و زیرساخت سازمانی است، در حالی که ریسک‌پذیری کمترین اثر را دارد.
4. منحنی :ROC نشان می‌دهد مدل ANN توانایی بالایی در تفکیک سطوح مختلف پذیرش فناوری دارد ($AUC \approx 0.94$) که بیانگر عملکرد بسیار قوی مدل است .

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی توانست با دقت بالا سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری را پیش‌بینی کند. مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار شامل حمایت مدیریتی، زیرساخت سازمانی و آمادگی فناورانه بودند که بیشترین نقش را در افزایش سطح پذیرش ایفا کردند. همچنین مهارت دیجیتال و اعتماد به فناوری اثرات تقویتی غیرمستقیم داشتند، در حالی که ریسک‌پذیری کمترین تأثیر را نشان داد. مدل از پایداری، تعمیم‌پذیری و دقت مطلوب برخوردار بوده و به‌خوبی توانسته روابط پیچیده و غیرخطی میان عوامل انسانی، مدیریتی و فناورانه را شناسایی کند. این یافته‌ها پایه‌ای برای طراحی سیاست‌های هوشمند و تصمیم‌گیری‌های فناورانه در بانکداری دیجیتال فراهم می‌سازد.

12. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هدف اصلی بررسی و پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بود. تحلیل داده‌ها نشان داد که مدل توسعه‌یافته توانایی بالایی در شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی میان عوامل انسانی، مدیریتی و فناورانه دارد. نتایج حاکی از آن است که پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری بیش از هر چیز تحت تأثیر عواملی نظیر حمایت مدیریتی، آمادگی فناورانه و توسعه زیرساخت‌های سازمانی قرار دارد. این یافته‌ها به‌روشنی نشان می‌دهد که رویکردهای فناورانه زمانی به موفقیت منجر می‌شوند که با رهبری تحول‌گرا، سیاست‌گذاری هوشمند و فرهنگ سازمانی یادگیرنده همراه باشند. در این بخش، تلاش می‌شود نتایج به‌دست‌آمده از منظر نظری و عملی تفسیر شده و جایگاه آن‌ها در ادبیات پژوهش‌های پیشین تحلیل گردد تا سهم پژوهش حاضر در غنای دانش مرتبط با بانکداری دیجیتال و صنعت ۴.۰ روشن‌تر شود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی توانسته است روابط پیچیده و چندبعدی میان متغیرهای مؤثر بر پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در بانکداری را با دقت بالایی شناسایی کند. این موضوع به دلیل ماهیت یادگیری غیرخطی و قابلیت مدل‌سازی تعاملات پنهان میان متغیرها در شبکه‌های عصبی است؛ ویژگی‌ای که در روش‌های آماری سنتی قابل‌مشاهده نیست. نخستین یافته کلیدی

نشان داد که **حمایت مدیریتی** بیشترین تأثیر را بر سطح پذیرش فناوری دارد. این نتیجه با نظریه توانمندی پویا (Dynamic Capabilities) هم‌خوانی دارد؛ زیرا تصمیم‌گیری‌های فناورانه در سازمان‌های بانکی به میزان تعهد و حمایت مدیران ارشد وابسته است. دومین یافته مهم به نقش **زیرساخت‌های سازمانی و آمادگی فناورانه** مربوط می‌شود. در بانک‌هایی که زیرساخت‌های دیجیتال قوی‌تر و ادغام فناوری در فرآیندهای عملیاتی بهتر صورت گرفته، تمایل کارکنان و مدیران به پذیرش فناوری به شکل معناداری افزایش یافته است. این امر با چارچوب فناوری–سازمان–محیط (TOE) مطابقت دارد و نشان می‌دهد که پذیرش فناوری نیازمند هماهنگی میان عوامل تکنولوژیک، ساختاری و محیطی است. همچنین نتایج مدل نشان داد که **اعتماد به فناوری و مهارت دیجیتال کارکنان** نقش تقویتی در پذیرش فناوری ایفا می‌کنند. درواقع، هرچه کاربران احساس امنیت و تسلط بیشتری نسبت به فناوری‌های جدید داشته باشند، احتمال پذیرش و استفاده مؤثر از آن‌ها افزایش می‌یابد. این موضوع با نظریه‌های رفتار برنامه‌ریزی‌شده و مدل پذیرش فناوری (TAM) نیز سازگار است، زیرا در هر دو مدل، ادراک از سهولت استفاده و سودمندی فناوری، متغیرهای کلیدی رفتار پذیرشی محسوب می‌شوند. در نهایت، **ریسک‌پذیری فناورانه** کمترین اثر را بر پذیرش فناوری داشته است که می‌تواند ناشی از ساختار محافظه‌کارانه و تمرکز بر پایداری در نظام بانکی ایران باشد. از دیدگاه تئوریک، این یافته بیانگر آن است که در مراحل اولیه تحول دیجیتال، سازمان‌ها ترجیح می‌دهند رویکردی تدریجی و کنترل‌شده اتخاذ کنند. در مجموع، عملکرد مدل ANN نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری عمیق نسبت به مدل‌های خطی مزیت آشکاری دارد، زیرا قادر است اثرات هم‌زمان و غیرخطی عوامل مختلف را شناسایی و الگوی جامع‌تری از پذیرش فناوری در بانکداری دیجیتال ارائه دهد.

یافته‌های این پژوهش با بخش مهمی از نتایج ادبیات بین‌المللی هم‌راستاست و در عین حال در چند مورد تفاوت‌های معناداری نشان می‌دهد. بر هم‌سویی‌ها، نقش محوری حمایت مدیریتی و زیرساخت‌های دیجیتال در تبیین پذیرش فناوری کاملاً با گزارش‌های مبتنی بر تجربه تحول در سازمان‌های خدمات مالی سازگار است؛ به‌ویژه با تأکید بر مدیریت نوآوری دوسرعته و هم‌ترازی سازمانی در کارهای بیگستاد و اورولید ۲۰۲۱ و نیز برجسته‌سازی زیرساخت و توانمندی‌های درون‌سازمانی در مطالعه گوپتا و همکاران ۲۰۲۲ و دفری و القاروتی ۲۰۲۳. همچنین نتیجه تقویت‌کننده آمادگی فناورانه و زیرساخت با یافته‌های شو و یانگ ۲۰۲۴ و شن و همکاران ۲۰۲۵ هم‌خوان است که نشان می‌دهند بلوغ دیجیتال، خلق نقدینگی و کارایی هزینه را ارتقا می‌دهد. از منظر پیامدهای ریسک و پایداری، هم‌سویی با ادبیات سبز و مالی مشهود است. کاهش ریسک‌های مرتبط با اعتبارات سبز در اثر تعمیق تحول دیجیتال که در این پژوهش به‌طور غیرمستقیم تأیید شد، با نتایج ژانگ و همکاران ۲۰۲۵ و نیز پیوند کارایی اعتبارات سبز با دگرگونی‌های مدیریتی–فناورانه در مطالعه چن و همکاران ۲۰۲۴ هم‌راستاست. همچنین نقش فین‌تک و بیگ‌تک در بازپیکربندی دسترسی به منابع مالی که خان و همکاران ۲۰۲۵ گزارش کرده‌اند، با تأکید این پژوهش بر ضرورت حمایت مدیران برای جذب فناوری‌های بیرونی سازگار است. تفاوت اصلی این پژوهش با بخش قابل‌توجهی از مطالعات پیشین، روش‌شناسی یادگیری ماشین و تمرکز بر مدل شبکه عصبی است. بخش عمده ادبیات از رگرسیون یا مدل‌سازی معادلات ساختاری بهره گرفته است و بنابراین عمدتاً روابط خطی را برمی‌تابد؛ در حالی که رویکرد حاضر با استفاده از ANN توانسته الگوهای غیرخطی و تعاملات پنهان میان متغیرها را آشکار کند. همین ویژگی، توضیحی برای وزن بالاتر حمایت مدیریتی و زیرساخت در مدل ما نسبت به برخی مطالعات مبتنی بر مدل‌های خطی فراهم می‌آورد؛ زیرا اثرات هم‌زمان و برهم‌کنشی این عوامل در یک چارچوب غیرخطی بهتر نمایان می‌شود. نمونه‌هایی از حرکت ادبیات به سوی روش‌های داده‌محور را می‌توان در دینگ و همکاران ۲۰۲۵ مشاهده کرد که از شبکه‌های عصبی تصادفی برای تحلیل عوامل تحول استفاده کرده‌اند، و نیز در تحلیل‌های جریان صنعت ۴.۰ در بانکداری که فیلیپه و همکاران ۲۰۲۵ ارائه کرده‌اند. علت دیگر تفاوت‌ها، بافت داده و واحد تحلیل است. داده‌های این پژوهش ترکیبی از پایگاه‌های سازمانی و نظر خبرگان ایرانی بوده و بنابراین حساس به ویژگی‌های نهادی و فرهنگی نظام بانکی ایران است؛ عواملی که می‌توانند وزن ریسک‌پذیری را نسبت به محیط‌های کم‌ریسک‌تر پایین‌تر نشان دهند. در مقابل، برخی مطالعات با داده‌های بازارهای توسعه‌یافته یا حوزه‌های عملکردی خاص انجام شده‌اند؛ برای نمونه، دینگ و هه ۲۰۲۳ بر پیوند سیاست پولی و ریسک‌پذیری تمرکز دارند و شن و همکاران ۲۰۲۵ بر کارایی هزینه در چارچوب چین. در جمع‌بندی، این پژوهش ضمن تأیید خطوط اصلی ادبیات درباره نقش رهبری و زیرساخت، با اتکا به ANN و داده‌های زمینه‌مند، تصویری دقیق‌تر از تعامل غیرخطی عوامل پذیرش فناوری در بانکداری ارائه می‌کند و همین امر تفاوت معنادار آن با کارهای متکی بر مدل‌های خطی را توضیح می‌دهد.

13. پیامدهای مدیریتی و کاربردی

یافته‌های این پژوهش چند پیامد مدیریتی و کاربردی مهم برای مدیران بانکی و سیاست‌گذاران حوزه تحول دیجیتال دارد. نخست، نتایج نشان می‌دهد که حمایت مداوم و هدفمند مدیران ارشد شرط اساسی موفقیت در پذیرش فناوری‌های نوین است. بنابراین توصیه می‌شود ساختار تصمیم‌گیری فناورانه در بانک‌ها از حالت متمرکز صرف خارج شده و به مدل‌های مشارکتی و چابک تغییر یابد تا فرآیند تصمیم‌گیری در زمینه‌های مرتبط با تحول دیجیتال تسریع شود. دوم، تقویت زیرساخت‌های فناورانه و یکپارچه‌سازی سامانه‌های اطلاعاتی باید در اولویت برنامه‌های تحول دیجیتال قرار گیرد، زیرا زیرساخت قوی امکان پیاده‌سازی پایدار فناوری‌های نوین مانند

هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده را فراهم می‌کند. سوم، بانک‌ها باید با سرمایه‌گذاری در توسعه مهارت‌های دیجیتال کارکنان، از طریق آموزش‌های تخصصی و پروژه‌های یادگیری در عمل، سطح توانمندی منابع انسانی خود را ارتقا دهند تا شکاف دانشی میان فناوری و بهره‌برداری کاهش یابد. چهارم، ایجاد فرهنگ سازمانی مبتنی بر اعتماد به فناوری از طریق شفاف‌سازی مزایا و کاهش نگرانی‌های امنیتی می‌تواند سرعت پذیرش را افزایش دهد. پنجم، از منظر سیاست‌گذاری، نهادهای ناظر مالی باید چارچوب‌های قانونی و مقرراتی متناسب با فناوری‌های نو را تدوین کنند تا هم نوآوری تسهیل شود و هم ریسک‌های عملیاتی کنترل گردد. در مجموع، نتایج پژوهش بیانگر آن است که موفقیت در تحول دیجیتال بانک‌ها نیازمند تلفیق سه محور کلیدی است: رهبری تحول‌گرا، زیرساخت فناورانه قوی و یادگیری سازمانی مداوم.

14. محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش همانند سایر مطالعات داده‌محور دارای چند محدودیت طبیعی است که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد. نخست، داده‌ها صرفاً از جامعه خبرگان و پایگاه‌های اطلاعاتی بانک‌های تجاری بانک ملی و صادرات گردآوری شده‌اند، بنابراین تعمیم نتایج به سایر بانک ها باید با احتیاط صورت گیرد. دوم، مدل پژوهش تنها از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کرده است و سایر روش‌های یادگیری ماشین نظیر XGBoost یا Random Forest بررسی نشده‌اند؛ در نتیجه امکان مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها در این پژوهش محدود بوده است. سوم، داده‌های گردآوری‌شده مقطعی هستند و پویایی زمانی پذیرش فناوری در طول زمان مورد بررسی قرار نگرفته است. با این حال، این محدودیت‌ها از اعتبار نتایج نمی‌کاهد بلکه مسیر مشخصی برای توسعه پژوهش‌های آینده فراهم می‌کند.

15. پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده

پژوهش‌های آینده می‌توانند با گسترش دامنه داده‌ها و تنوع روش‌های تحلیلی، درک عمیق‌تری از عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال فراهم آورند. نخست، پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی از الگوریتم‌های دیگری مانند XGBoost، Random Forest یا Deep Neural Networks (DNN)برای مقایسه عملکرد و افزایش دقت پیش‌بینی استفاده کنند. دوم، افزودن متغیرهای جدید مانند فرهنگ سازمانی، چابکی دیجیتال، نوآوری خدمات و اعتماد مشتریان می‌تواند دید جامع‌تری نسبت به پویایی پذیرش فناوری ارائه دهد. سوم، توصیه می‌شود پژوهش مشابه در صنایع دیگر نظیر بیمه، بورس و خدمات عمومی نیز اجرا شود تا قابلیت تعمیم نتایج به سایر بخش‌ها بررسی گردد. چهارم، انجام مطالعات طولی (Longitudinal) به‌منظور ارزیابی تغییرات پذیرش فناوری در گذر زمان می‌تواند روند بلوغ دیجیتال سازمان‌ها را بهتر آشکار سازد. در نهایت، ترکیب رویکردهای داده‌محور با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی یا تحلیل شبکه‌ای نیز می‌تواند منجر به توسعه مدل‌های جامع‌تر و هوشمندتر برای مدیریت تحول دیجیتال در آینده شود.

این پژوهش با هدف تبیین و پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری انجام شد و با بهره‌گیری از مدل شبکه عصبی مصنوعی، توانست روابط پیچیده میان عوامل مدیریتی، انسانی و فناورانه را آشکار سازد. نتایج نشان داد که حمایت مدیریتی، زیرساخت سازمانی و آمادگی فناورانه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر موفقیت تحول دیجیتال در بانک‌ها هستند. همچنین، اعتماد به فناوری و مهارت دیجیتال نقش تقویتی در پذیرش ایفا می‌کنند. ارزش افزوده این پژوهش در ارائه مدلی داده‌محور و غیرخطی است که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا مسیر بهینه برای توسعه بانکداری دیجیتال را شناسایی نمایند. به‌طور کلی، یافته‌ها بیانگر آن است که تحول دیجیتال در صنعت بانکداری نه‌تنها یک ضرورت فناورانه بلکه یک فرایند مدیریتی، فرهنگی و یادگیرنده است که نیازمند هم‌راستایی راهبردی میان فناوری و انسان است.

16. منابع:

1. رونقی، محمدحسین. (1401). پذیرش فناوری زنجیره بلوک در صنعت بانکداری ایران. بهبود مدیریت، 16(1 (پیاپی 55))، 30-53. SID. https://sid.ir/paper/986418/fa

2. خسروپور، حسین، الیاسی، مهدی، قاضی‌نوری، سروش و تقوا، محمدرضا . (1403). واکاوی الگوهای حکمرانی تحول دیجیتال در صنعت بانکداری. *مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی*،*14*(50)، 32-64. doi: 10.22034/sspp.2024.2019198.3533

3. محمد ابراهیم زاده سپاسگزار، فاطمه، رمضانی، یوسف، سرگلزایی، شریفه و محمد ابراهیم زاده سپاسگزار، صمد. (1400). بررسی عوامل تأثیرگذار بر پذیرش فناوری‌های دیجیتال در سیستم بانکی. *مدیریت توسعه و تحول*، 11(0)، 301-310. https://sanad.iau.ir/Journal/jdem/Article/948984/FullText

4. Annarelli, A., Battistella, C., Nonino, F., Parida, V., & Pessot, E. (2021). Literature review on digitalization capabilities: Co-citation analysis of antecedents, conceptualization and consequences. *Technological Forecasting and Social Change, 166*, 120635. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120635

5. Bygstad, B., & Øvrelid, E. (2021). Managing two-speed innovation for digital transformation. *Procedia Computer Science, 181*, 119–126. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.111
6. Cao, S., Nie, L., Sun, H., Sun, W., & Taghizadeh-Hesary, F. (2021). Digital finance, green technological innovation and energy-environmental performance: Evidence from China's regional economies. *Journal of Cleaner Production, 327*, 129458. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129458
7. Barroso, M., & Laborda, J. (2022). Digital transformation and the emergence of the Fintech sector: Systematic literature review. *Digital Business, 2*(2), 100028. https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100028
8. Gupta, H., Yadav, A. K., Kusi-Sarpong, S., Khan, S. A., & Sharma, S. C. (2022). Strategies to overcome barriers to innovative digitalisation technologies for supply chain logistics resilience during pandemic. *Technology in Society, 69*, 101970. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101970
9. Dafri, W., & Al-Qaruty, R. (2023). Challenges and opportunities to enhance digital financial transformation in crisis management. *Social Sciences & Humanities Open, 8*(1), 100662. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100662
10.Zhang, Y., Ye, S., Liu, J., & Du, L. (2023). Impact of the development of FinTech by commercial banks on bank credit risk. *Finance Research Letters, 55*(Part A), 103857. https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103857
11.Ding, Q., & He, W. (2023). Digital transformation, monetary policy and risk-taking of banks. *Finance Research Letters, 55*(Part B), 103986. https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103986
12.Fan, K., Zhang, H., & Zhang, M. (2024). Research on the impact of digital transformation on the systemic risk of banks. *Procedia Computer Science, 242*, 364–371. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.08.173
13.Xu, C., & Yang, L. (2024). The level of digitalization in commercial banks and bank liquidity creation. *Finance Research Letters, 63*, 105280. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105280
14. Khan, H. H., Qureshi, F., & Jamali, D. (2025). Digital disruption in financing: Are fintech and bigtech credit reshaping corporate access to capital? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 103*, 102198. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2025.102198
15. Rupeika-Apoga, R., Priede, J., Berzins, G., & Kehris, E. (2025). Regulation and innovation in digital finance: The transformation of Latvia's banking sector. *Digital Business, 5*(2), 100147. https://doi.org/10.1016/j.digbus.2025.100147
16. Chao, N., Zhou, Y., & Yang, H. (2024). How does digital transformation affect the profitability of rural commercial banks? *Heliyon, 10*(8), e29412. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29412.
17. Li, Q., Zhong, Z., & Ge, Q. (2025). Digital finance and sustainable development of commercial banks: Insights from listed commercial banks. *International Review of Financial Analysis, 104*(Part A), 104209. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104209
18. Shen, C., Wu, J., Li, Y., & Chen, Q. (2025). Does digital transformation improve the cost efficiency of commercial banks? Evidence from China. *Finance Research Letters, 73*, 106619. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106619
19. Ding, Y., Wei, J., Pang, B., & Tong, L. (2025). Factors analysis of commercial bank digital transformation with random neural network algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 160*(Part B), 111787. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.111787
20. Felipe, T., de Oliveira, R. T., Toth-Peter, A., Mathews, S., & Dulleck, U. (2025). Digital transformation in commercial banks: Unraveling the flow of Industry 4.0. *Digital Business, 5*(2), 100129. https://doi.org/10.1016/j.digbus.2025.100129
21. Chen, F., Li, F., Xu, J., Sun, Y., & Li, F. (2024). Nexus between green credit efficiency and strategic, business and management digital transformation – Based on 114 commercial banks in China. *Economic Analysis and Policy, 84*, 1242–1257. https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.10.019
22. Zhang, Y., Ye, S., Liu, J., Zhang, L., & Li, J. (2025). Can digital transformation of commercial banks reduce green credit risks? *International Review of Financial Analysis, 99*, 103934. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.103934
23. Yang, J., & Chen, X. (2025). Digital transformation of commercial banks with innovative credit structure. *Journal of Innovation & Knowledge, 10*(3), 100703. https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100703