



ارایه مدل پیش بینی سطح پذیرش فن آوری های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی (ANN)

ریحانه ملکان^۱، صادق عابدی^{۲*} و رضا احتشام رائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۶ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲

چکیده

تحول دیجیتال به عنوان یکی از ارکان کلیدی صنعت ۴,۰ نقش تعیین کننده ای در بازطراحی فرایندها و خدمات صنعت بانکداری ایفا می کند. با این حال، سطح پذیرش فن آوری های تحول دیجیتال در میان بانک ها یکسان نبوده و تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد. هدف پژوهش حاضر، پیش بینی سطح پذیرش فن آوری های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با بهره گیری از رویکرد داده محور و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (ANN) است. داده های پژوهش از ترکیب پایگاه های اطلاعاتی سازمانی و پرسشنامه های الکترونیکی تکمیل شده توسط ۲۰۰ نفر از خبرگان حوزه بانکداری دیجیتال گردآوری شد. به منظور تقویت اعتبار نتایج، عملکرد مدل ANN با یک مدل پایه رگرسیون خطی مقایسه گردید که نتایج حاکی از برتری معنادار شبکه عصبی در شاخص های رگرسیونی بود. یافته ها نشان داد که حمایت مدیریتی، زیرساخت سازمانی و آمادگی فناورانه بیشترین تأثیر را بر پذیرش فناوری دارند، در حالی که مهارت دیجیتال و اعتماد به فناوری نقش تقویتی ایفا می کنند. نتایج این پژوهش می تواند مبنای تصمیم گیری مدیران و سیاست گذاران در مسیر توسعه بانکداری دیجیتال هوشمند قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تحول دیجیتال، صنعت بانکداری، پذیرش فناوری، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و یادگیری ماشین، صنعت

۴,۰

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران؛ reihaneh.malekan@iau.ac.ir
۲. استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران (نویسنده مسئول)؛ abedi.sadegh@iau.ac.ir
۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران؛ reza.ehteshamrasi@iau.ac.ir

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 فن‌آوری‌های نوین نظیر اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI)، کلان‌داده‌ها و رایانش ابری به‌عنوان ارکان اصلی صنعت ۴،۰، الگوی فعالیت بانک‌ها را دگرگون ساخته‌اند (فان و همکاران، ۲۰۲۴). این فن‌آوری‌ها موجب تغییر در نحوه ارائه خدمات، بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری، افزایش کارایی عملیاتی و ایجاد تجربه‌های شخصی‌سازی شده برای مشتریان شده‌اند (رونقی، ۱۴۰۱). بانکداری دیجیتال در این بستر، به‌عنوان نتیجه هم‌گرایی صنعت مالی با فن‌آوری‌های هوشمند، به سمت خودکارسازی فرایندها، تحلیل داده‌محور و ارائه خدمات در لحظه حرکت کرده است (دینگ و هه، ۲۰۲۳). با این حال، میزان پذیرش و پیاده‌سازی فن‌آوری‌های صنعت ۴،۰ در نظام بانکی کشورها، بسته به سطح بلوغ دیجیتال، ساختار نهادی و آمادگی فناوریانه، متفاوت است (خسروپور و همکاران، ۱۴۰۳). در شرایطی که بانک‌های بین‌المللی در مسیر گذار به بانکداری هوشمند و مبتنی بر داده حرکت می‌کنند، بسیاری از بانک‌های کشورهای در حال توسعه همچنان در مراحل اولیه پذیرش فن‌آوری‌های 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 فن‌آوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری، نه تنها برای فهم چگونگی پیاده‌سازی فن‌آوری‌های 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 فناوریانه، بلکه راهبردی و ساختاری است. فن‌آوری‌های 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، ۱۴۰۰). 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 فن‌آوری‌های 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 فن‌آوری‌های 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 فناوریانه و ظهور مدل‌های نوین بانکداری مانند بانکداری باز، نئوبانک‌ها و فین‌تک‌ها، درک دقیق از نحوه پذیرش و پیاده‌سازی فن‌آوری‌های صنعت ۴،۰ در بانک‌ها به یک نیاز حیاتی تبدیل شده است. در این راستا، پژوهش تلاش می‌کند با بهره‌گیری از داده‌های میدانی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، الگوی پذیرش فن‌آوری‌های صنعت ۴،۰ در بانک‌ها را شناسایی و تبیین نماید. اهداف فرعی شامل: ۱) شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر پذیرش فن‌آوری‌های 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.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

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 و چارچوب فناوری-سازمان-محیط به‌عنوان مبانی اصلی در تبیین سازوکارهای درونی تحول دیجیتال شناخته می‌شوند. این نظریه‌ها بیان می‌کنند که پذیرش فن‌آوری‌های 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 فن‌آوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاک‌چین و یادگیری ماشین بر عملکرد و پایداری مالی بانک‌ها پرداخته‌اند. این نظریه‌ها بر نقش فن‌آوری‌های 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 فن‌آوری‌های دیجیتال را افزایش دهد و روابط پنهان میان متغیرها را آشکار سازد (دینگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ فیلیپه و همکاران، ۲۰۲۵؛ یانگ و چن، ۲۰۲۵).

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 فن‌آوری‌های صنعت ۴،۰ مورد توجه جدی قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فن‌آوری‌هایی 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 نه تنها ابزاری فناورانه، بلکه راهبردی کلیدی برای دستیابی به پایداری مالی و زیست‌محیطی است. در محور دوم، عوامل سازمانی و مدیریتی مؤثر بر پذیرش فن‌آوری‌های 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 دوسرعه 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 فن‌آوری‌های 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.

جدول ۱- بررسی مقالات منتخب مرتبط با پذیرش و تحول دیجیتال در صنعت بانکداری

ردیف	نویسندگان (سال)	موضوع پژوهش	نوع روش پژوهش / ابزار تحلیل	یافته‌های پژوهش
۱	آنارلی و همکاران (۲۰۲۱)	بررسی قابلیت‌های دیجیتالی و پیامدهای آن‌ها در سازمان‌ها	مرور نظام‌مند ادبیات / تحلیل هم‌استنادی	سه بعد اصلی قابلیت دیجیتال شامل پیش‌نیازها، مفهوم‌سازی و پیامدها شناسایی شد.
۲	بیگستاد و اورولید (۲۰۲۱)	مدیریت نوآوری دوسرعه در فرایند تحول دیجیتال	مطالعه موردی / تحلیل کیفی	تعادل میان نوآوری تدریجی و تحول بنیادین عامل موفقیت دیجیتال است.

۳	کائو و همکاران (۲۰۲۱)	ارتباط بین مالی دیجیتال، نوآوری سبز و عملکرد زیست‌محیطی	تحلیل داده‌های پانل / مدل‌سازی اقتصادسنجی	مالی دیجیتال نقش میانجی مثبت در بهبود نوآوری سبز و کارایی زیست‌محیطی دارد.
۴	باروسو و لابوردا (۲۰۲۲)	تحول دیجیتال و ظهور فین‌تک‌ها	مرور نظام‌مند ادبیات	فین‌تک‌ها به‌عنوان محرک اصلی تحول در ساختار سنتی بانکداری شناخته شدند.
۵	گوپتا و همکاران (۲۰۲۲)	راهبردهای غلبه بر موانع دیجیتالی‌سازی در زنجیره تأمین در دوران کرونا	تحلیل پیمایشی / PLS-مدل‌سازی SEM	فناوری‌های دیجیتال انعطاف‌پذیری لجستیک و تاب‌آوری زنجیره تأمین را تقویت کردند.
۶	دفری و القاروتی (۲۰۲۳)	چالش‌ها و فرصت‌های تحول مالی دیجیتال در مدیریت بحران	تحلیل توصیفی-تحلیلی / پرسشنامه	تحول دیجیتال در مدیریت مالی بحران به افزایش شفافیت و سرعت واکنش منجر می‌شود.
۷	ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)	تأثیر توسعه فین‌تک بر ریسک اعتباری بانک‌ها	مدل‌سازی کمی / داده‌های مالی بانکی	فین‌تک باعث کاهش ریسک اعتباری از طریق بهبود ارزیابی مشتری می‌شود.
۸	دینگ و هه (۲۰۲۳)	تأثیر تحول دیجیتال و سیاست پولی بر ریسک‌پذیری بانک‌ها	تحلیل رگرسیون / داده‌های کلان بانکی	تحول دیجیتال ریسک‌پذیری را کاهش و پایداری مالی را افزایش می‌دهد.
۹	فان و همکاران (۲۰۲۴)	تأثیر تحول دیجیتال بر ریسک سیستمیک بانک‌ها	تحلیل داده‌های ثانویه / شبیه‌سازی عددی	دیجیتال‌سازی منجر به کاهش ریسک سیستمیک و افزایش کارایی شبکه بانکی شد.
۱۰	شو و یانگ (۲۰۲۴)	سطح دیجیتالی‌شدن بانک‌ها و ایجاد نقدینگی بانکی	رگرسیون چندگانه / داده‌های مالی	سطح بالاتر دیجیتال‌سازی موجب افزایش ظرفیت خلق نقدینگی می‌شود.
۱۱	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.
۱۲	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.

۱۳	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.
۱۴	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.
۱۵	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.
۱۶	دینگ و همکاران (۲۰۲۵)	تحلیل عوامل تحول دیجیتال بانک‌ها با الگوریتم شبکه عصبی تصادفی	مدل‌سازی داده کاوی / شبکه عصبی	متغیرهای آمادگی فناورانه و نوآوری بیشترین تأثیر بر موفقیت دیجیتال داشتند.
۱۷	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.
۱۸	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.
۱۹	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.
۲۰	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.

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مرور نظام‌مند مقالات نشان می‌دهد که هرچند موضوع تحول دیجیتال و پذیرش فن‌آوری‌های صنعت ۴,۰ در بانکداری در سال‌های اخیر مورد توجه گسترده قرار گرفته است، اما هنوز چند شکاف اساسی در ادبیات وجود دارد. 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 فن‌آوری‌های 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. از این رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر این

شکاف‌ها، قصد دارد مدلی هوشمند و مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری ارائه دهد.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و کمی است و با هدف بررسی و پیش‌بینی سطح پذیرش فن‌آوری‌های 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 ۲۰۰ نفر از خبرگان حوزه بانکداری دیجیتال است که شامل مدیران فناوری اطلاعات، کارشناسان تحول دیجیتال، مدیران ارشد بانک‌ها و اساتید دانشگاهی فعال در زمینه فن‌آوری‌های مالی می‌باشند. انتخاب نمونه به روش هدفمند و بر اساس معیارهایی چون حداقل پنج سال سابقه در صنعت بانکی، آشنایی با فن‌آوری‌های نوین مالی و مشارکت در پروژه‌های دیجیتالی انجام شد.

با توجه به استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، کفایت حجم داده‌ها از سه منظر روش‌شناختی مورد ارزیابی قرار گرفت. نخست، نسبت تعداد مشاهدات به تعداد متغیرهای ورودی در نظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که در این پژوهش با وجود شش متغیر ورودی، ۲۰۰ مشاهده معتبر در دسترس بوده که نسبت بیش از ۳۰ مشاهده به ازای هر متغیر را فراهم می‌کند و از نظر تجربی برای آموزش شبکه عصبی با ساختار ساده مناسب تلقی می‌شود. دوم، به‌منظور بررسی پایداری مدل و کفایت داده‌ها، از روش Cross-validation استفاده شد که نتایج آن نشان‌دهنده ثبات عملکرد مدل در زیرنمونه‌های مختلف داده است. سوم، با مقایسه عملکرد مدل در داده‌های آموزش و آزمون، نشانه‌ای از بیش‌برازش مشاهده نشد که این امر بیانگر کفایت حجم داده‌ها برای یادگیری الگوهای اصلی و تعمیم‌پذیری مدل می‌باشد. در مجموع، این شواهد نشان می‌دهد که حجم داده‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی ANN در این پژوهش از کفایت لازم برخوردار است.

در مجموع، ۲۰۰ 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.

متغیر وابسته پژوهش «سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال» به‌صورت یک متغیر پیوسته تعریف شده است که میزان به‌کارگیری و نهادینه‌سازی فن‌آوری‌های دیجیتال در فرایندهای بانکی را نشان می‌دهد. تعریف عملیاتی این متغیر بر اساس ترکیب داده‌های سازمانی و نظرات خبرگان بانکداری دیجیتال انجام شده است. بدین منظور، چند شاخص کلیدی شامل میزان استفاده واقعی از فن‌آوری‌های دیجیتال، آمادگی سازمانی برای پذیرش فناوری، ادراک سودمندی و سهولت استفاده، و پذیرش رفتاری کارکنان و مدیران استخراج و تجمیع شد. پس از استانداردسازی و نرمال‌سازی داده‌ها، مقدار نهایی شاخص پذیرش

فناوری در بازه صفر تا یک محاسبه و به عنوان متغیر خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت. این رویکرد امکان تحلیل دقیق و پیوسته سطح پذیرش فناوری را فراهم کرده و با ماهیت رگرسیونی مدل پژوهش سازگار است.

یافته‌های پژوهش

آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات واقعی و عددی استخراج شده از پایگاه‌های داده سازمانی بانک‌های تجاری و نتایج پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط ۲۰۰ نفر از خبرگان حوزه بانکداری دیجیتال است. این داده‌ها نمایانگر متغیرهای کلیدی مرتبط با پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال از جمله آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی می‌باشند. در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، ابتدا داده‌های گردآوری شده از نظر کامل بودن و سازگاری بررسی شدند. رکوردی که دارای مقادیر گم‌شده یا ناسازگار بودند، با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی اصلاح شدند تا از حذف داده‌های مفید جلوگیری شود.

انتخاب ویژگی‌ها

برای شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال، از ترکیب دو روش تحلیلی استفاده شد: نخست، تحلیل هم‌بستگی پیرسون برای بررسی روابط خطی میان متغیرها، و دوم، الگوریتم حذف بازگستی ویژگی‌ها به منظور انتخاب متغیرهای کلیدی با بیشترین تأثیر در دقت مدل شبکه عصبی. روش RFE با استفاده از یک مدل پایه اجرا شد تا وزن نسبی هر متغیر در پیش‌بینی متغیر خروجی محاسبه گردد.

جدول ۴- اهمیت نسبی متغیرها در پیش‌بینی سطح پذیرش فناوری (نتایج روش RFE)

رتبه نهایی	امتیاز اهمیت ویژگی (Feature Importance)	متغیر	ردیف
۱	۰.۱۷۸	حمایت مدیریتی	۱
۲	۰.۱۶۵	زیرساخت سازمانی	۲
۳	۰.۱۵۸	آمادگی فناورانه	۳
۴	۰.۱۵۱	اعتماد فناوری	۴
۵	۰.۱۳۶	مهارت دیجیتال	۵
۶	۰.۰۹۷	ریسک‌پذیری	۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول نشان می‌دهد که حمایت مدیریتی و زیرساخت سازمانی بیشترین نقش را در پیش‌بینی سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال دارند. این یافته‌ها بیانگر آن است که موفقیت در پیاده‌سازی فن‌آوری‌های 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 محسوس در دقت نهایی مدل ایجاد نمی‌کند. بر این اساس، شش متغیر شناسایی شده به‌عنوان ورودی‌های نهایی برای آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در مرحله بعد مورد استفاده قرار گرفتند.

طراحی و آموزش مدل‌های یادگیری ماشین

در این مرحله، مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی سطح پذیرش فن‌آوری‌های 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 ۵- ساختار و تنظیمات مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در پژوهش

مؤلفه	توضیحات فنی
الگوریتم پایه	Backpropagation با الگوریتم یادگیری (ANN) شبکه عصبی مصنوعی
نرم‌افزار و کتابخانه‌ها	Python – TensorFlow, Keras, Scikit-learn
متغیرهای ورودی	متغیر شامل آمادگی فناورانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، ۶ اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی
متغیر خروجی	سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال (خروجی پیوسته بین ۰ تا ۱)
ساختار شبکه	لایه ورودی، ۲ لایه پنهان، و ۱ لایه خروجی ۱
تعداد نرون‌ها در هر لایه	لایه اول: ۱۰ نرون، لایه دوم: ۶ نرون، لایه خروجی: ۱ نرون
توابع فعال‌سازی	ReLU در لایه‌های پنهان، Sigmoid در لایه خروجی
الگوریتم آموزش	Adam Optimizer با نرخ یادگیری ۰,۰۰۱
تابع هدف	Mean Squared Error (MSE)
معیار توقف	توقف خودکار در صورت عدم بهبود دقت در ۲۰ تکرار متوالی (Early Stopping)
تعداد Epoch	۳۰۰ دوره آموزشی با Batch Size برابر ۱۶
روش تنظیم پارامترها	استفاده از Grid Search برای تعیین بهترین تعداد نرون‌ها و نرخ یادگیری
تقسیم داده‌ها	۷۰ درصد برای آموزش، ۳۰ درصد برای آزمون

ماخذ: یافته‌های تحقیق

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

به منظور ارزیابی مزیت نسبی مدل شبکه عصبی مصنوعی، در گام نخست یک مدل پایه رگرسیون خطی چندمتغیره با همان متغیرهای ورودی و خروجی مدل ANN طراحی و اجرا شد. در این مدل، سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال به عنوان متغیر وابسته پیوسته و شش متغیر آمادگی فناوریانه، حمایت مدیریتی، مهارت دیجیتال، ریسک‌پذیری، اعتماد فناوری و زیرساخت سازمانی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. عملکرد مدل رگرسیونی با استفاده از همان مجموعه داده‌های آموزش و آزمون و بر اساس شاخص‌های رگرسیونی و ضریب تعیین ارزیابی شد تا امکان مقایسه مستقیم و منصفانه با مدل شبکه عصبی مصنوعی فراهم گردد.

جدول ۶- مقایسه عملکرد مدل پایه رگرسیون خطی و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شاخص ارزیابی	رگرسیون خطی	مقدار به دست آمده شبکه عصبی	تفسیر تحلیلی
RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا)	۰.۰۹۳	۰.۰۶۵	خطای پیش‌بینی بسیار پایین، نشان‌دهنده دقت بالای مدل در داده‌های آزمون
MAE (میانگین قدرمطلق خطا)	۰.۰۷۴	۰.۰۵۲	اختلاف میان پیش‌بینی و واقعیت در حد پایین و قابل قبول
MAPE (میانگین درصد خطای مطلق)	۸.۹٪	۵.۸٪	دقت پیش‌بینی بیش از ۹۴ درصد، عملکرد مدل از نظر خطای نسبی مطلوب است
R ² (ضریب تعیین)	۰.۷۱	۰.۸۹	مدل توانسته است ۸۹ درصد از تغییرات متغیر وابسته را تبیین کند
Fold Cross Validation-دقت میانگین ۵	۰.۷۸	۰.۹۱	ثبات مدل در ارزیابی‌های متقاطع و تعمیم‌پذیری قابل قبول در داده‌های مختلف

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی در تمامی شاخص‌های ارزیابی عملکرد به طور معناداری بهتر از مدل پایه رگرسیون خطی عمل کرده است. مقدار کمتر RMSE و MAE در مدل ANN بیانگر کاهش قابل توجه خطای پیش‌بینی نسبت به مدل رگرسیونی است، در حالی که مقدار بالاتر R² نشان می‌دهد شبکه عصبی توانسته است بخش بزرگ‌تری

از تغییرات متغیر وابسته را تبیین کند. همچنین، اختلاف محسوس در دقت میانگین Cross Validation حاکی از پایداری و تعمیم‌پذیری بالاتر مدل ANN در مقایسه با رگرسیون خطی است. این نتایج نشان می‌دهد که روابط میان عوامل مدیریتی، انسانی و فناورانه با سطح پذیرش فناوری ماهیتی غیرخطی دارند و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های خطی سنتی، قابلیت بیشتری در شناسایی این الگوهای پیچیده فراهم می‌آورد.

جدول ۸- تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی در مدل شبکه عصبی (Sensitivity Analysis)

متغیر ورودی	میانگین تغییر در خروجی پس از $\pm 10\%$ تغییر در ورودی	رتبه تأثیرگذاری	تفسیر
حمایت مدیریتی	۰.۰۸۷	۱	بیشترین تأثیر بر خروجی؛ افزایش حمایت مدیران موجب رشد سطح پذیرش فناوری می‌شود
زیرساخت سازمانی	۰.۰۸۱	۲	بهبود زیرساخت‌ها باعث افزایش پایداری دیجیتال و پذیرش فناوری می‌گردد
آمادگی فناورانه	۰.۰۷۶	۳	نقش کلیدی در آمادگی بانک برای اجرای فن‌آوری‌های نوین دارد
اعتماد فناوری	۰.۰۶۹	۴	اعتماد کارکنان به فناوری بر پذیرش آن اثر غیرمستقیم اما مؤثر دارد
مهارت دیجیتال	۰.۰۵۸	۵	افزایش مهارت‌های دیجیتال منجر به کارایی بیشتر در استفاده از فناوری می‌شود
ریسک‌پذیری	۰.۰۴۳	۶	کمترین تأثیر؛ نشان می‌دهد تصمیمات فناورانه هنوز محافظه‌کارانه اتخاذ می‌شوند

ماخذ: یافته‌های تحقیق

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 نیز همخوانی دارد.

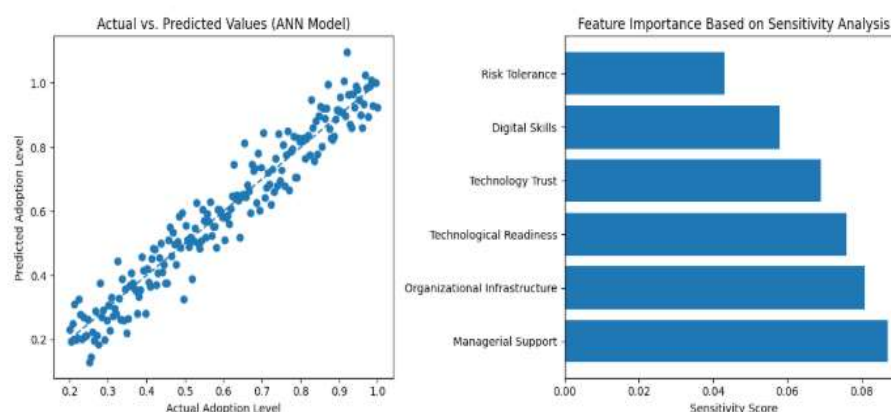
جدول ۹- بررسی بیش‌برازش مدل

نتیجه	اختلاف نسبی	داده‌های آزمون	داده‌های آموزش	شاخص عملکرد
اختلاف ناچیز؛ مدل تعمیم‌پذیر است	۱.۱٪	۰.۹۱	۰.۹۲	دقت مدل (Accuracy)
نوسان کم؛ بدون نشانه بیش‌برازش	۶.۵٪	۰.۰۶۵	۰.۰۶۱	RMSE

مدل از پایداری و ثبات بالا برخوردار است	۱.۲٪	۰.۸۹	۰.۹۰	R^2
---	------	------	------	-------

ماخذ: یافته‌های تحقیق

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 طراحی شده از پایداری بالا، توان تعمیم مناسب و دقت پیش‌بینی مطلوب در داده‌های واقعی برخوردار است.



نمودار ۱- ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی

نمودار سمت چپ تطابق بالای مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سطح پذیرش فناوری را نشان می‌دهد. تمرکز نقاط در اطراف خط برازش کامل بیانگر دقت بالای مدل ANN در پیش‌بینی متغیر وابسته است. این نتیجه تأیید می‌کند که مدل از توان پیش‌بینی مطلوب و خطای اندک برخوردار است. نمودار سمت راست اهمیت نسبی متغیرهای ورودی را بر اساس تحلیل حساسیت نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، حمایت مدیریتی و زیرساخت سازمانی بیشترین نقش را در تبیین سطح پذیرش فناوری‌های تحول دیجیتال ایفا می‌کنند، در حالی که ریسک‌پذیری کمترین تأثیر را دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد عوامل مدیریتی و زیرساختی نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود دقت مدل و پذیرش فناوری دارند.

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.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این پژوهش، هدف اصلی بررسی و پیش‌بینی سطح پذیرش فن‌آوری‌های تحول دیجیتال در صنعت بانکداری با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بود. با توجه به ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی و تعداد محدود متغیرهای ورودی، حجم نمونه ۲۰۰ مشاهده معتبر از کفایت لازم برای آموزش مدل برخوردار است. نسبت مناسب تعداد نمونه به تعداد متغیرها امکان یادگیری الگوهای اصلی داده را فراهم کرده است. این موضوع با پایداری نتایج مدل در داده‌های آموزش و آزمون تأیید می‌شود. به‌منظور ارزیابی مزیت نسبی شبکه عصبی مصنوعی، یک مدل پایه رگرسیون خطی چندمتغیره با همان متغیرهای ورودی و خروجی اجرا شد. مقایسه نتایج نشان داد که مدل ANN در تمامی شاخص‌های رگرسیونی عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی دارد. این تفاوت عملکرد بیانگر ماهیت غیرخطی روابط میان متغیرهای پژوهش است. نتایج مقایسه‌ای نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی توانسته است خطای پیش‌بینی را به‌طور معناداری کاهش دهد. مقدار بالاتر ضریب تعیین در مدل ANN بیانگر قدرت تبیینی بیشتر آن نسبت به مدل پایه است. این یافته‌ها کارایی بالاتر رویکردهای یادگیری ماشین را در تحلیل مسائل پیچیده مدیریتی تأیید می‌کند.

یافته‌های این پژوهش با بخش مهمی از نتایج ادبیات بین‌المللی هم‌راستا است 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 دوسرخته 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 هم‌راستا است. 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 فن‌آوری‌های 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.

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 فن‌آوری‌های 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 فن‌آوری‌های 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 فن‌آوری‌های 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.

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 بانک‌ها باید با احتیاط صورت گیرد. دوم، مدل پژوهش تنها از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرده است و سایر روش‌های یادگیری ماشین بررسی نشده‌اند؛ در نتیجه امکان مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها در این پژوهش محدود بوده است. سوم، داده‌های گردآوری شده 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.

پیشنهادهای 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 به منظور 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 نه تنها یک ضرورت فناورانه بلکه یک فرایند مدیریتی، فرهنگی و یادگیرنده است که نیازمند هم‌راستایی راهبردی میان فناوری و انسان است.

منابع و مأخذ

- رونقی، محمدحسین. (۱۴۰۱). پذیرش فناوری زنجیره بلوک در صنعت بانکداری ایران. بهبود مدیریت، ۱۶(۱) (پیاپی ۵۵)، ۳۰-۵۳. SID. <https://sid.ir/paper/986418/fa>
- خسرویور، حسین، الیاسی، مهدی، قاضی‌نوری، سروش و تقوا، محمدرضا. (۱۴۰۳). واکاوی الگوهای حکمرانی تحول دیجیتال در صنعت بانکداری. مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی. doi: ۳۲-۶۴. ۱۴(۵۰)، 10.22034/sspp.2024.2019198.3533
- محمدابراهیم‌زاده‌سیاسگزار، فاطمه، رضائی، یوسف، سرگلزایی، شریفه و محمدابراهیم‌زاده‌سیاسگزار، صمد. (۱۴۰۰). بررسی عوامل تأثیرگذار بر پذیرش فناوری‌های دیجیتال در سیستم بانکی. مدیریت توسعه و تحول، ۱۱(۰)، ۳۰۱-۳۱۰. <https://sanad.iau.ir/Journal/jdem/Article/948984/FullText>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>

- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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, ۱۰۶۶۱۹. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.frl.۲۰۲۴.۱۰۶۶۱۹>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>

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>

Presenting a model for predicting the level of adoption of digital transformation technologies in the banking industry using artificial neural networks (ANN)

Reihaneh Malekan,^۱ Sadegh Abedi^{۲} and Reza Ehtesham Rasi^۳*

Abstract

Digital transformation, as a key pillar of Industry 4.0, plays a decisive role in reshaping processes and services within the banking industry. However, the level of adoption of digital transformation technologies varies across banks and is influenced by multiple factors. The aim of this study is to predict the level of digital transformation technology adoption in the banking industry using a data-driven approach based on an Artificial Neural Network (ANN) algorithm. The research data were collected through a combination of organizational databases and electronic questionnaires completed by 200 experts in digital banking. To strengthen the robustness of the findings, the performance of the ANN model was compared with a baseline linear regression model, with the results indicating a statistically significant superiority of the neural network in regression performance metrics. The findings reveal that managerial support, organizational infrastructure, and technological readiness exert the strongest influence on technology adoption, while digital skills and trust in technology play reinforcing roles. The results of this study provide a scientific basis for managerial and policy 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.

^۱Ph.D. Students of Industrial Management Department, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.; Email: reihaneh.malekan@iau.ac.ir.

^۲Corresponding Author, Assistant Professor of Industrial Management Department, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. Email: abedi.sadegh@iau.ac.ir.

^۳ Assistant Professor of Industrial Management Department, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. Email: reza.ehteshamrasi@iau.ac.ir.