



# Development of an Intelligent RegTech Framework for Automated Financial Regulatory Compliance Using Natural Language Processing (NLP)

Lila Panahi Monfared <sup>1\*</sup>, Sima Farshadi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.A. in Business Administration, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (Corresponding author), Email: leila.panahi@basu.ac.ir

<sup>2</sup> M.A. in Industrial Management, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received:07/04/2025

Received in revised form:28/04/2025

Accepted:0/05/2025

Available online:15/06/2025

## ABSTRACT

The rapid expansion of financial technologies, increasing complexity of regulatory environments, and continuous evolution of compliance requirements have created significant challenges for financial institutions worldwide. Traditional regulatory compliance systems rely heavily on manual review processes, rule-based engines, and human expertise, which are no longer sufficient to handle the growing volume, diversity, and dynamism of financial regulations. In this context, Regulatory Technology (RegTech) has emerged as a transformative approach aimed at automating and enhancing compliance processes through advanced digital tools. Among these technologies, Natural Language Processing (NLP) plays a central role in enabling machines to interpret, analyze, and process large volumes of unstructured regulatory texts. This study proposes an intelligent RegTech framework based on NLP to automate financial regulatory compliance. The proposed framework integrates semantic text analysis, legal document classification, and policy matching mechanisms to identify inconsistencies between regulatory requirements and organizational policies. By leveraging advanced language models and transformer-based architectures, the system is capable of extracting key regulatory concepts, detecting compliance gaps, and providing automated alignment suggestions.

The research methodology is based on the analysis of regulatory documents issued by central banking authorities, international financial standards, and compliance guidelines. The results indicate that the proposed NLP-based RegTech framework significantly improves the speed and accuracy of regulatory interpretation compared to traditional compliance methods. Furthermore, the system reduces human workload, minimizes interpretation errors, and enhances the consistency of compliance decisions across financial institutions. The findings suggest that intelligent RegTech systems can play a critical role in strengthening financial governance, reducing regulatory risk, and improving operational efficiency. This study contributes to the growing literature on AI-driven compliance systems by presenting a structured and scalable framework for automated regulatory analysis in the financial sector.

### Keywords:

RegTech  
Natural Language Processing  
Financial Compliance  
Regulatory Technology  
Artificial Intelligence

Article Type: Research Paper



© Authors

Journal of Intelligent Financial Management,  
2025, Vol. 1, No.1, pp. 32- 44

### Publish by:

Tolou-e Binsh-e Ayandeh Scientific Institute

**Cite:** Panahi Monfared,L. and Farshadi,S. (2025). Development of an Intelligent RegTech Framework for Automated Financial Regulatory Compliance Using Natural Language Processing (NLP). Journal of Intelligent Financial Management, 1(1), 32-44.

<https://doi.org/10.25843/JIFM.2025.8563.22164>



## توسعه چارچوب رگ‌تک هوشمند برای انطباق خودکار مقررات مالی با استفاده از

## پردازش زبان طبیعی

لیلا پناهی منفرد<sup>۱\*</sup>، سیما فرشادی<sup>۲</sup>

۱ و \* - کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (نویسنده مسئول)، ایمیل نویسنده مسئول: leila.panahi@basu.ac.ir

۲ - کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| <b>تاریخچه مقاله:</b><br>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸<br>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۸<br>تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵ | <b>کلیدواژه‌ها:</b><br>رگ‌تک<br>پردازش زبان طبیعی<br>انطباق مقررات<br>فناوری مالی<br>هوش مصنوعی   |
|   | <p>گسترش سریع فناوری‌های مالی، پیچیده‌تر شدن محیط‌های مقرراتی و افزایش حجم الزامات انطباق، چالش‌های مهمی را برای سازمان‌های مالی و بانکی ایجاد کرده است. روش‌های سنتی انطباق مقررات که عمدتاً مبتنی بر بررسی انسانی، سیستم‌های قاعده‌محور و فرآیندهای دستی هستند، دیگر توان پاسخگویی به حجم گسترده و پویای قوانین مالی را ندارند. در این میان، رگ‌تک به‌عنوان راهکاری نوین مبتنی بر فناوری‌های دیجیتال برای بهبود و خودکارسازی فرآیندهای نظارتی مطرح شده است. پژوهش حاضر با هدف توسعه یک چارچوب رگ‌تک هوشمند مبتنی بر پردازش زبان طبیعی برای انطباق خودکار مقررات مالی انجام شده است. این چارچوب با بهره‌گیری از تحلیل معنایی متون حقوقی، طبقه‌بندی اسناد مقرراتی و تطبیق سیاست‌های داخلی سازمان با الزامات قانونی، امکان شناسایی شکاف‌های انطباقی را فراهم می‌سازد. در این مدل از روش‌های پیشرفته یادگیری زبان و معماری‌های مبتنی بر ترنسفورمر برای پردازش متون پیچیده مقرراتی استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی مبتنی بر پردازش زبان طبیعی قادر است دقت و سرعت تحلیل مقررات را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. همچنین استفاده از این رویکرد موجب کاهش خطای انسانی، کاهش هزینه‌های انطباق و افزایش شفافیت در فرآیندهای نظارتی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که رگ‌تک هوشمند می‌تواند نقش مؤثری در بهبود حکمرانی مالی و کاهش ریسک‌های مقرراتی ایفا کند.</p> |

نوع مقاله: پژوهشی



© نویسندگان

استناد: پناهی منفرد، لیلا و فرشادی، سیما . (۱۴۰۴). توسعه چارچوب رگ‌تک هوشمند برای انطباق خودکار مقررات مالی با استفاده از پردازش زبان طبیعی. مدیریت مالی هوشمند، ۱(۱)، ۳۲-۴۴.

نشریه مدیریت مالی هوشمند، ۱۴۰۴، دوره ۱، شماره ۱،  
صفحه ۳۲-۴۴.

ناشر: موسسه علمی طلوع بینش آینده

<https://doi.org/10.25843/JIFM.2025.8563.22164>

## ۱-مقدمه

در دهه‌های اخیر، نظام مالی جهانی با سرعتی بی‌سابقه تحت تأثیر دیجیتالی‌شدن، جهانی‌سازی بازارها و گسترش فناوری‌های مالی قرار گرفته است. این تحولات اگرچه موجب افزایش کارایی، شفافیت و سرعت در ارائه خدمات مالی شده‌اند، اما در عین حال پیچیدگی‌های قابل توجهی را در حوزه تنظیم‌گری و انطباق مقررات ایجاد کرده‌اند. افزایش حجم قوانین، استانداردهای بین‌المللی، دستورالعمل‌های نظارتی و الزامات مرتبط با مبارزه با پول‌شویی و تأمین مالی تروریسم باعث شده است که سازمان‌های مالی با فشار فزاینده‌ای برای رعایت هم‌زمان مجموعه‌ای گسترده از مقررات مواجه شوند. در چنین شرایطی، روش‌های سنتی انطباق مقررات که عمدتاً مبتنی بر بررسی انسانی، کنترل‌های دستی و سیستم‌های قاعده‌محور هستند، به تدریج کارایی خود را از دست داده‌اند و توان پاسخگویی به سرعت تغییرات محیطی را ندارند (Arner et al., 2017). یکی از مسائل بنیادین در این حوزه، ماهیت غیرساخت‌یافته و زبانی مقررات مالی است. بخش عمده‌ای از قوانین و دستورالعمل‌ها به صورت متنی و در قالب اسناد حقوقی پیچیده منتشر می‌شوند که درک و تفسیر آن‌ها نیازمند تخصص حقوقی و تجربه عملی است. این موضوع باعث ایجاد شکاف میان زبان حقوقی و زبان عملیاتی سازمان‌های مالی شده است. در نتیجه، فرآیند انطباق مقررات نه تنها زمان‌بر، بلکه مستعد خطاهای انسانی نیز هست. از سوی دیگر، رشد سریع حجم داده‌ها و مقررات باعث شده است که سازمان‌ها قادر نباشند به صورت دستی تمامی تغییرات را پایش و تحلیل کنند. این مسئله به‌ویژه در بانک‌ها و مؤسسات مالی بزرگ که تحت نظارت چندین نهاد ملی و بین‌المللی هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و ریسک عدم انطباق را افزایش می‌دهد (Financial Stability Board, 2019). در پاسخ به این چالش‌ها، مفهوم رگ‌تک به عنوان یکی از زیرشاخه‌های فناوری مالی مطرح شده است. رگ‌تک به استفاده از فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های بزرگ برای بهبود فرآیندهای نظارتی و انطباق مقررات اشاره دارد. هدف اصلی رگ‌تک، کاهش هزینه‌های انطباق، افزایش دقت در پایش مقررات و خودکارسازی فرآیندهای مرتبط با نظارت مالی است. در واقع، رگ‌تک تلاش می‌کند تا نقش فناوری را از یک ابزار حمایتی به یک مؤلفه اصلی در حکمرانی مالی ارتقا دهد (Arner et al., 2017). در میان فناوری‌های مختلف مورد استفاده در رگ‌تک، پردازش زبان طبیعی جایگاه ویژه‌ای دارد. دلیل این اهمیت آن است که بخش عمده‌ای از داده‌های مرتبط با مقررات مالی به صورت متنی و غیرساخت‌یافته هستند. NLP این امکان را فراهم می‌کند که ماشین‌ها بتوانند زبان انسانی را تحلیل کرده، مفاهیم کلیدی را استخراج کنند و روابط معنایی میان آن‌ها را درک نمایند. این قابلیت به‌ویژه در حوزه حقوقی و مالی اهمیت دارد، زیرا مقررات معمولاً دارای ساختار پیچیده، جملات طولانی و اصطلاحات تخصصی هستند که تحلیل آن‌ها با روش‌های سنتی داده‌محور دشوار است (Devlin et al., 2019).

در سال‌های اخیر، پیشرفت مدل‌های زبانی مبتنی بر یادگیری عمیق، به‌ویژه معماری‌های ترنسفورمر، تحول بزرگی در حوزه NLP ایجاد کرده است. این مدل‌ها قادرند وابستگی‌های معنایی بلندمدت را در متن شناسایی کرده و درک عمیق‌تری از ساختار زبان ارائه دهند. در نتیجه، کاربرد آن‌ها در تحلیل متون حقوقی و مقرراتی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. استفاده از این مدل‌ها در حوزه رگ‌تک این امکان را فراهم می‌سازد که اسناد مقرراتی به صورت خودکار طبقه‌بندی شده، مفاهیم کلیدی استخراج شوند و تطبیق میان مقررات و سیاست‌های داخلی سازمان‌ها انجام گیرد (Vaswani et al., 2017). از منظر نظری، مسئله انطباق مقررات را می‌توان در چارچوب نظریه هزینه‌های مبادله و نظریه نمایندگی تحلیل کرد. طبق این نظریه‌ها، وجود عدم تقارن اطلاعاتی میان نهادهای نظارتی و سازمان‌های مالی می‌تواند منجر به افزایش ریسک‌های اخلاقی و کاهش کارایی نظارت شود. مقررات به عنوان ابزاری برای کاهش این عدم تقارن طراحی شده‌اند، اما افزایش بیش از حد پیچیدگی مقررات می‌تواند خود به یک مانع برای کارایی تبدیل شود. در این چارچوب، فناوری‌های رگ‌تک به عنوان مکانیزمی برای کاهش هزینه‌های انطباق و افزایش شفافیت اطلاعاتی مطرح می‌شوند (Jensen & Meckling, 1976).

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در این حوزه، چالش‌های مهمی همچنان وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، پیچیدگی زبان حقوقی و تفاوت آن با زبان محاسباتی است. اگرچه مدل‌های NLP قادر به تحلیل متون هستند، اما درک کامل زمینه حقوقی و تفسیر چندلایه مقررات همچنان دشوار است. علاوه بر این، مسئله تفسیرپذیری مدل‌های هوش مصنوعی نیز اهمیت دارد، زیرا تصمیمات مرتبط با انطباق مقررات باید برای نهادهای نظارتی قابل توضیح باشند. در غیر این صورت، اعتماد به سیستم‌های خودکار کاهش می‌یابد و پذیرش آن‌ها در سطح سازمانی محدود می‌شود. از سوی دیگر، رشد سریع مقررات در سطح جهانی باعث شده است که مفهوم انطباق پیوسته اهمیت بیشتری پیدا کند. در گذشته، انطباق مقررات به صورت دوره‌ای انجام می‌شد، اما در محیط مالی دیجیتال امروز، سازمان‌ها نیازمند سیستم‌هایی هستند که بتوانند به صورت بلادرنگ تغییرات مقرراتی را شناسایی و اعمال کنند. این موضوع نیازمند استفاده از سیستم‌های هوشمند و خودکار است که بتوانند به‌طور مداوم داده‌های جدید را

پردازش کرده و اثر آن‌ها را بر ساختار سازمانی تحلیل کنند. در این میان، رگ‌تک هوشمند مبتنی بر NLP می‌تواند نقش مهمی در تحول نظام‌های نظارتی ایفا کند. این رویکرد امکان تحلیل خودکار اسناد مقرراتی، شناسایی تناقضات میان قوانین و سیاست‌های داخلی و ارائه پیشنهادها و اصلاحی را فراهم می‌سازد. همچنین می‌تواند به کاهش وابستگی سازمان‌ها به نیروی انسانی در فرآیندهای انطباق کمک کند و خطاهای ناشی از تفسیر انسانی را کاهش دهد. در سطح کلان، استفاده از رگ‌تک هوشمند می‌تواند به بهبود حکمرانی مالی منجر شود. حکمرانی مالی مؤثر نیازمند شفافیت، پاسخگویی و کارایی در اجرای مقررات است. سیستم‌های مبتنی بر NLP می‌توانند با افزایش سرعت و دقت تحلیل مقررات، به نهادهای نظارتی کمک کنند تا تصمیمات بهتری اتخاذ کنند و ریسک‌های سیستماتیک را کاهش دهند. علاوه بر این، این سیستم‌ها می‌توانند به ایجاد یک چارچوب استاندارد برای تفسیر مقررات کمک کنند که این امر باعث کاهش اختلافات تفسیری میان سازمان‌ها و نهادهای نظارتی می‌شود.

## ۲- مبانی نظری

در ادبیات مالی و مدیریتی معاصر، مسئله انطباق مقررات به‌عنوان یکی از ارکان اصلی حکمرانی مالی، جایگاه ویژه‌ای در تحلیل پایداری و کارایی نظام‌های مالی دارد. با پیچیده‌تر شدن ساختارهای اقتصادی و گسترش تعاملات بین‌المللی، حجم و تنوع مقررات مالی به‌صورت تصاعدی افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که سازمان‌های مالی نه تنها باید با قوانین داخلی کشورها هماهنگ باشند، بلکه ملزم به رعایت استانداردهای بین‌المللی متعدد نیز هستند. این وضعیت موجب شده است که انطباق مقررات از یک فعالیت صرفاً حقوقی و نظارتی، به یک مسئله پیچیده مدیریتی و فناورانه تبدیل شود. در چنین شرایطی، تحلیل نظری این حوزه نیازمند ترکیب دیدگاه‌های اقتصاد نهادی، نظریه‌های سازمانی، مدیریت ریسک و فناوری‌های نوین اطلاعاتی است. از منظر اقتصاد نهادی، مقررات به‌عنوان سازوکارهایی برای کاهش عدم تقارن اطلاعاتی و کنترل رفتارهای فرصت‌طلبانه در بازارهای مالی عمل می‌کنند. در این چارچوب، نهادهای نظارتی تلاش می‌کنند با تدوین قواعد رفتاری، از بروز ریسک‌های سیستمی و شکست‌های بازار جلوگیری کنند، اما افزایش بیش از حد مقررات می‌تواند خود به عاملی برای افزایش هزینه‌های مبادله و کاهش کارایی سازمان‌ها تبدیل شود. (North, 1990) این تناقض بنیادی میان کارایی نظارتی و هزینه انطباق، یکی از محورهای اصلی تحلیل در حوزه رگ‌تک محسوب می‌شود.

در ادامه این بحث، نظریه هزینه‌های مبادله نیز چارچوب مناسبی برای تحلیل مسئله انطباق مقررات فراهم می‌کند. بر اساس این نظریه، هرگونه تعامل اقتصادی با هزینه‌هایی همراه است که شامل هزینه‌های جست‌وجو، مذاکره، نظارت و اجرای قراردادها می‌شود. در نظام‌های مالی پیچیده، بخش قابل توجهی از این هزینه‌ها به فرآیند انطباق مقررات اختصاص دارد. سازمان‌ها باید منابع انسانی و فناوری قابل توجهی را صرف تفسیر، پیاده‌سازی و پایش مقررات کنند. با افزایش حجم و پیچیدگی قوانین، این هزینه‌ها به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و می‌تواند بهره‌وری سازمانی را کاهش دهد. در این میان، فناوری‌های نوین به‌ویژه هوش مصنوعی به‌عنوان ابزارهایی برای کاهش هزینه‌های مبادله و افزایش کارایی فرآیندهای نظارتی مطرح شده‌اند (Coase, 1937). از منظر نظریه نمایندگی نیز مسئله انطباق مقررات قابل تحلیل است. در این نظریه، رابطه میان نهادهای نظارتی (کارفرما) و سازمان‌های مالی (نماینده) بر پایه عدم تقارن اطلاعاتی شکل می‌گیرد. سازمان‌های مالی ممکن است انگیزه داشته باشند تا در برخی موارد مقررات را به‌صورت ناقص اجرا کنند یا از تفسیرهای حداقلی استفاده نمایند، در حالی که نهادهای نظارتی به دنبال اجرای کامل و دقیق مقررات هستند. این تضاد منافع موجب ایجاد ریسک نمایندگی در حوزه انطباق می‌شود. برای کاهش این ریسک، نیاز به سیستم‌های نظارتی دقیق، شفاف و خودکار وجود دارد که بتوانند رفتار سازمان‌ها را به‌صورت مداوم پایش کنند. (Jensen & Meckling, 1976) در این چارچوب، رگ‌تک به‌عنوان ابزاری فناورانه برای کاهش هزینه نظارت و افزایش شفافیت اطلاعاتی مطرح می‌شود.

با ظهور انقلاب دیجیتال و گسترش فناوری‌های مالی، مفهوم رگ‌تک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های حوزه حکمرانی مالی شکل گرفته است. رگ‌تک در واقع پاسخی فناورانه به چالش‌های ناشی از پیچیدگی مقررات است و هدف آن استفاده از فناوری‌های نوین برای خودکارسازی فرآیندهای انطباق و نظارت است. در این میان، نقش داده‌ها به‌عنوان منبع اصلی تصمیم‌گیری بسیار پررنگ شده است. برخلاف رویکردهای سنتی که مبتنی بر تحلیل انسانی بودند، رگ‌تک بر تحلیل داده‌محور و الگوریتمی تکیه دارد. این تحول نشان‌دهنده گذار از نظارت ایستا به نظارت پویا و بلادرنگ است (Arner et al., 2017).

یکی از مهم‌ترین فناوری‌هایی که در توسعه رگ‌تک نقش اساسی ایفا می‌کند، پردازش زبان طبیعی است. بخش عمده‌ای از مقررات مالی در قالب متون غیرساخت‌یافته منتشر می‌شوند که شامل جملات حقوقی پیچیده، اصطلاحات تخصصی و ساختارهای چندلایه معنایی هستند. پردازش این متون با استفاده از روش‌های سنتی داده‌محور امکان‌پذیر نیست، زیرا این روش‌ها معمولاً برای داده‌های ساخت‌یافته طراحی شده‌اند. NLP این امکان را فراهم می‌سازد که زبان انسانی به داده‌های قابل تحلیل تبدیل شود و مفاهیم کلیدی، روابط معنایی و ساختارهای منطقی در متون استخراج گردد (Manning et al., 2014).

در سال‌های اخیر، پیشرفت مدل‌های یادگیری عمیق به‌ویژه معماری‌های مبتنی بر ترنسفورمر، تحول چشمگیری در حوزه NLP ایجاد کرده است. این مدل‌ها قادرند وابستگی‌های معنایی بلندمدت را در متن شناسایی کرده و روابط پیچیده میان واژگان را مدل‌سازی کنند. برخلاف مدل‌های سنتی مانند n-gram یا حتی شبکه‌های عصبی بازگشتی، ترنسفورمرها از مکانیزم توجه برای تمرکز بر بخش‌های مهم متن استفاده می‌کنند. این ویژگی باعث شده است که در تحلیل متون حقوقی و مقرراتی عملکرد بسیار بهتری داشته باشند (Vaswani et al., 2017). در چارچوب نظری این پژوهش، می‌توان گفت که ترکیب رگ‌تک و NLP یک نوع همگرایی میان فناوری اطلاعات و حکمرانی مالی ایجاد کرده است. این همگرایی منجر به شکل‌گیری مفهوم «حکمرانی الگوریتمی» شده است که در آن تصمیمات نظارتی به‌صورت نیمه‌خودکار یا خودکار توسط الگوریتم‌ها اتخاذ می‌شود. در این مدل، نقش انسان از تصمیم‌گیرنده مستقیم به ناظر و کنترل‌کننده الگوریتم‌ها تغییر می‌یابد. این تحول پیامدهای مهمی برای ساختار قدرت در نظام‌های مالی دارد، زیرا تصمیم‌گیری‌های نظارتی از حالت متمرکز انسانی به حالت توزیع‌شده الگوریتمی منتقل می‌شود. از منظر مدیریت ریسک، رگ‌تک هوشمند مبتنی بر NLP می‌تواند نقش مهمی در کاهش ریسک‌های مقرراتی ایفا کند. ریسک مقرراتی زمانی رخ می‌دهد که سازمان‌ها نتوانند به‌طور کامل یا صحیح با الزامات قانونی هماهنگ شوند. این نوع ریسک می‌تواند منجر به جریمه‌های مالی، آسیب به اعتبار سازمان و حتی بحران‌های سیستمی شود. سیستم‌های مبتنی بر NLP با تحلیل مداوم تغییرات مقرراتی و تطبیق آن‌ها با سیاست‌های داخلی سازمان، می‌توانند این ریسک را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند (BIS, 2019). در سطح مفهومی، یکی از چالش‌های اصلی در این حوزه، مسئله معنانشناسی حقوقی است. زبان حقوقی برخلاف زبان طبیعی معمولی، دارای ساختارهای پیچیده، ابهام‌های معنایی و وابستگی‌های متنی گسترده است. بسیاری از مقررات به‌گونه‌ای تدوین می‌شوند که تفسیر آن‌ها وابسته به زمینه حقوقی و نهادی است. این موضوع باعث می‌شود که مدل‌های NLP برای تحلیل دقیق این متون نیازمند آموزش بر روی داده‌های تخصصی باشند. علاوه بر این، مسئله تفسیرپذیری مدل‌های هوش مصنوعی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تصمیمات مرتبط با انطباق مقررات باید برای نهادهای نظارتی قابل توضیح باشند (Goodfellow et al., 2016).

در ادامه، باید به این نکته اشاره کرد که توسعه رگ‌تک هوشمند تنها یک مسئله فناورانه نیست، بلکه یک تحول نهادی نیز محسوب می‌شود. این تحول نیازمند تغییر در ساختارهای سازمانی، فرآیندهای تصمیم‌گیری و فرهنگ نظارتی است. سازمان‌هایی که از رگ‌تک استفاده می‌کنند، باید بتوانند میان اتوماسیون و نظارت انسانی تعادل برقرار کنند. در غیر این صورت، خطر وابستگی بیش از حد به الگوریتم‌ها و کاهش کنترل انسانی وجود دارد. از منظر اقتصاد کلان نیز، استفاده از رگ‌تک می‌تواند به افزایش ثبات مالی کمک کند. نظام‌های مالی پایدار نیازمند شفافیت، انضباط و قابلیت پیش‌بینی هستند. فناوری‌های مبتنی بر NLP می‌توانند با افزایش سرعت واکنش به تغییرات مقرراتی، از ایجاد شکاف‌های نظارتی جلوگیری کنند. این موضوع به‌ویژه در شرایط بحران‌های مالی اهمیت دارد، زیرا در چنین شرایطی سرعت تصمیم‌گیری نقش تعیین‌کننده‌ای در جلوگیری از گسترش بحران دارد. در مجموع، مبانی نظری این پژوهش نشان می‌دهد که توسعه چارچوب رگ‌تک هوشمند مبتنی بر NLP در نقطه تلاقی چندین حوزه نظری شامل اقتصاد نهادی، نظریه سازمان، مدیریت ریسک و هوش مصنوعی قرار دارد. این همگرایی نشان‌دهنده شکل‌گیری یک پارادایم جدید در حکمرانی مالی است که در آن فناوری نقش محوری در اجرای مقررات و تضمین انطباق ایفا می‌کند. این پارادایم جدید نه تنها کارایی سیستم‌های نظارتی را افزایش می‌دهد، بلکه زمینه‌ساز تحول ساختاری در نحوه تعامل میان نهادهای نظارتی و سازمان‌های مالی خواهد بود.

البته پیشینه پژوهش در حوزه رگ‌تک، پردازش زبان طبیعی و انطباق خودکار مقررات مالی نشان می‌دهد که این حوزه طی یک دهه اخیر به‌سرعت از رویکردهای سنتی نظارتی به سمت سامانه‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی و تحلیل زبان حرکت کرده است. افزایش پیچیدگی مقررات مالی، رشد حجم داده‌های حقوقی و ضرورت کاهش هزینه‌های انطباق موجب شده است که سازمان‌های مالی و نهادهای نظارتی به استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت ریسک مقرراتی روی آورند. در این میان، رگ‌تک به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های فناوری مالی، با

هدف خودکار سازی فرآیندهای نظارتی، پایش مستمر الزامات قانونی و افزایش شفافیت مالی توسعه یافته است (Arner et al., 2017). مطالعات اولیه در حوزه رگ تک عمدتاً بر دیجیتالی سازی فرآیندهای انطباق و اتوماسیون ساده تمرکز داشتند. در این مرحله، سامانه‌های مبتنی بر قوانین ثابت و موتورهای جست‌وجوی ساده برای تطبیق اسناد مالی با الزامات مقرراتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. این سیستم‌ها اگرچه موجب کاهش بخشی از هزینه‌های اجرایی می‌شدند، اما به دلیل وابستگی شدید به قواعد از پیش تعریف شده، در مواجهه با تغییرات سریع مقررات و متون پیچیده حقوقی کارایی محدودی داشتند. علاوه بر این، عدم توانایی این سامانه‌ها در درک روابط معنایی میان مفاهیم حقوقی، باعث می‌شد که بخش قابل توجهی از تحلیل مقررات همچنان وابسته به کارشناسان انسانی باقی بماند (Zetzsche et al., 2018).

هم‌زمان با رشد یادگیری ماشین، پژوهشگران تلاش کردند از مدل‌های آماری و الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای شناسایی تخلفات مالی، پیش‌بینی ریسک‌های مقرراتی و تحلیل داده‌های نظارتی استفاده کنند. در این دوره، الگوریتم‌هایی مانند ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و رگرسیون لجستیک در تحلیل داده‌های مالی و نظارتی به کار گرفته شدند. نتایج برخی مطالعات نشان داد که این مدل‌ها در شناسایی الگوهای غیرعادی تراکنش‌ها و کشف تخلفات مالی عملکرد مناسبی دارند، اما وابستگی آن‌ها به داده‌های ساخت‌یافته و ناتوانی در تحلیل متون حقوقی پیچیده، یکی از محدودیت‌های اساسی این رویکردها محسوب می‌شد (Cortez et al., 2012). از سوی دیگر، بسیاری از مقررات مالی در قالب اسناد طولانی، چندلایه و دارای اصطلاحات تخصصی تدوین می‌شوند که تحلیل آن‌ها نیازمند درک عمیق زبان طبیعی است.

ورود پردازش زبان طبیعی به حوزه رگ تک نقطه عطف مهمی در توسعه سامانه‌های انطباق هوشمند به‌شمار می‌رود. پژوهش‌های اولیه NLP بیشتر مبتنی بر روش‌های آماری کلاسیک مانند مدل کیسه کلمات، TF-IDF و مدل‌های n-gram بودند. این روش‌ها امکان استخراج ویژگی‌های متنی و طبقه‌بندی اولیه اسناد را فراهم کردند و در بازبایی اطلاعات مقرراتی تا حدی موفق بودند، اما در درک معنا و روابط پیچیده میان جملات محدودیت داشتند. در متون حقوقی، مفهوم یک بند مقرراتی معمولاً وابسته به چندین جمله و ارجاعات متقابل است و همین مسئله موجب می‌شود روش‌های آماری سنتی در تحلیل دقیق این اسناد با مشکل مواجه شوند (Manning et al., 2014).

در ادامه، توسعه یادگیری عمیق باعث تحول گسترده در تحلیل متون حقوقی و مالی شد. شبکه‌های عصبی بازگشتی و به‌ویژه مدل‌های حافظه بلندمدت کوتاه‌مدت توانستند وابستگی‌های ترتیبی و معنایی را بهتر از روش‌های کلاسیک مدل سازی کنند. این مدل‌ها در وظایفی مانند تحلیل اسناد حقوقی، طبقه‌بندی مقررات، استخراج مفاهیم کلیدی و تحلیل احساسات مالی عملکرد بهتری ارائه دادند. پژوهش‌ها نشان دادند که LSTMها در مقایسه با مدل‌های آماری سنتی دقت بالاتری در تشخیص روابط میان بخش‌های مختلف متن دارند و می‌توانند ساختارهای پیچیده زبانی را بهتر تحلیل کنند. با این حال، این شبکه‌ها با مشکلاتی نظیر هزینه محاسباتی بالا، زمان آموزش طولانی و دشواری پردازش موازی روبه‌رو بودند، به‌ویژه زمانی که اسناد مقرراتی دارای حجم بسیار زیاد و ساختار پیچیده باشند (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). تحول بنیادین در این حوزه با معرفی معماری ترنسفورمر رخ داد. ترنسفورمرها با استفاده از مکانیزم توجه، امکان تحلیل هم‌زمان کل متن را فراهم کردند و توانستند وابستگی‌های بلندمدت میان واژگان و جملات را با دقت بیشتری شناسایی نمایند. برخلاف شبکه‌های بازگشتی، این معماری قابلیت پردازش موازی دارد و در تحلیل اسناد طولانی عملکرد بسیار کارآمدتری ارائه می‌دهد. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که مدل‌های مبتنی بر ترنسفورمر مانند BERT، RoBERTa و GPT در تحلیل متون حقوقی و مالی، استخراج اطلاعات مقرراتی، طبقه‌بندی اسناد و پاسخ‌گویی به پرسش‌های حقوقی عملکرد قابل توجهی دارند. (Vaswani et al., 2017) همچنین، برخی مطالعات بیان کرده‌اند که مدل‌های زبانی بزرگ می‌توانند در شناسایی تعارض‌های مقرراتی و تحلیل ریسک‌های انطباق دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی ارائه دهند. در حوزه مالی، کاربرد مدل‌های مبتنی بر ترنسفورمر به‌ویژه در مبارزه با پول شویی، پایش تراکنش‌های مشکوک، تحلیل گزارش‌های مالی و تفسیر الزامات قانونی گسترش یافته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از مدل‌های زبانی عمیق می‌تواند موجب کاهش خطاهای انسانی، افزایش سرعت پردازش مقررات و بهبود تصمیم‌گیری نظارتی شود. علاوه بر این، توانایی این مدل‌ها در تحلیل بلادرنگ داده‌ها، امکان واکنش سریع‌تر به تغییرات محیط نظارتی را فراهم می‌سازد (BIS, 2019).

در سال‌های اخیر، مفهوم رگ تک هوشمند با ظهور هوش مصنوعی مولد وارد مرحله جدیدی شده است. مدل‌های مولد نه تنها قابلیت تحلیل مقررات را دارند، بلکه می‌توانند خلاصه‌سازی مقررات، تولید گزارش‌های انطباق، پیشنهاد راهکارهای نظارتی و حتی شبیه‌سازی سناریوهای ریسک را نیز انجام دهند. این فناوری‌ها در محیط‌های مالی پویا که مقررات به‌صورت مستمر تغییر می‌کنند، اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. برخی

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ترکیب مدل‌های مولد با سامانه‌های پردازش زبان طبیعی می‌تواند به ایجاد دستیارهای هوشمند حقوقی و سامانه‌های انطباق خودکار منجر شود که قادرند تغییرات مقرراتی را به صورت بلادرنگ تحلیل و اعمال کنند (OECD, 2020). از سوی دیگر، چالش‌هایی مانند شفافیت مدل، قابلیت توضیح‌پذیری تصمیمات، امنیت داده‌ها و سوگیری الگوریتمی همچنان از مسائل مهم در توسعه سامانه‌های رگ‌تک هوشمند محسوب می‌شوند. بسیاری از پژوهشگران معتقدند که استفاده گسترده از هوش مصنوعی در حوزه مقررات مالی بدون ایجاد چارچوب‌های اخلاقی و نظارتی مناسب می‌تواند ریسک‌های جدیدی ایجاد کند. به همین دلیل، مطالعات اخیر بر توسعه مدل‌های توضیح‌پذیر و قابل اعتماد تمرکز دارند تا تصمیمات سامانه‌های هوشمند برای نهادهای نظارتی و کاربران انسانی قابل تفسیر باشد. در مجموع، مرور پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مسیر تحول این حوزه از سامانه‌های قانون‌محور و روش‌های آماری ساده آغاز شده و به سمت یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، معماری‌های مبتنی بر ترنسفورمر و در نهایت هوش مصنوعی مولد حرکت کرده است. با وجود پیشرفت‌های گسترده، هنوز شکاف پژوهشی مهمی در زمینه طراحی چارچوب‌های یکپارچه رگ‌تک هوشمند مبتنی بر پردازش زبان طبیعی وجود دارد؛ چارچوب‌هایی که بتوانند به صورت خودکار، بلادرنگ و با دقت بالا فرآیند انطباق مقررات مالی را انجام دهند و هم‌زمان از قابلیت توضیح‌پذیری و انعطاف‌پذیری کافی برخوردار باشند. این مسئله ضرورت انجام پژوهش‌های بیشتر در زمینه توسعه مدل‌های هوشمند انطباق مقررات را آشکار می‌سازد.

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی این پژوهش با هدف طراحی و ارزیابی یک چارچوب رگ‌تک هوشمند مبتنی بر پردازش زبان طبیعی برای انطباق خودکار مقررات مالی تدوین شده است. در این راستا، تلاش شده است تا از یک رویکرد نظام‌مند، داده‌محور و مبتنی بر مدل‌سازی محاسباتی استفاده شود تا بتوان پیچیدگی‌های موجود در متون مقرراتی و فرآیندهای انطباق سازمانی را به صورت دقیق‌تر تحلیل کرد. از آنجا که مسئله پژوهش ماهیتی میان‌رشته‌ای دارد و در مرز میان مدیریت، اقتصاد، حقوق و علوم داده قرار می‌گیرد، روش‌شناسی آن نیز ترکیبی از رویکردهای کمی و محاسباتی در حوزه هوش مصنوعی و تحلیل متن است. هدف اصلی در این بخش، تبدیل متون غیرساخت‌یافته مقررات مالی به داده‌های قابل پردازش و سپس استخراج الگوهای معنایی برای تصمیم‌گیری خودکار در حوزه انطباق مقررات است.

### ۳-۱ ماهیت پژوهش و رویکرد کلی

این پژوهش از نظر هدف، در دسته پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد، زیرا هدف آن ارائه یک چارچوب عملی برای حل مسئله واقعی در نظام مالی یعنی انطباق خودکار مقررات است. از نظر ماهیت، پژوهش دارای رویکرد کمی و محاسباتی مبتنی بر یادگیری ماشین و پردازش زبان طبیعی است. در این چارچوب، داده‌های متنی به عنوان ورودی سیستم در نظر گرفته می‌شوند و مدل‌های هوش مصنوعی وظیفه دارند روابط معنایی، ساختاری و حقوقی موجود در این متون را استخراج کنند. رویکرد کلی پژوهش بر پایه تحلیل داده‌محور و یادگیری نظارت‌شده و نیمه‌نظارت‌شده استوار است، به گونه‌ای که مدل بتواند از طریق نمونه‌های آموزشی، الگوهای انطباق یا عدم انطباق مقررات را یاد بگیرد. از منظر فلسفه روش‌شناسی، این پژوهش در پارادایم اثبات‌گرایی داده‌محور قرار می‌گیرد، زیرا فرض بر این است که الگوهای موجود در متون مقرراتی دارای ساختار قابل کشف هستند و می‌توان آن‌ها را با استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی مدل‌سازی کرد. همچنین، در سطح تحلیلی از رویکرد استنتاجی-استقرایی استفاده شده است؛ به این معنا که ابتدا ساختار نظری انطباق مقررات و رگ‌تک مورد بررسی قرار گرفته و سپس با استفاده از داده‌های واقعی یا شبه‌واقعی، مدل پیشنهادی توسعه یافته است. در این پژوهش، معماری کلی سیستم بر پایه پردازش زبان طبیعی و مدل‌های ترنسفورمر طراحی شده است. این انتخاب به دلیل توانایی بالای این مدل‌ها در درک وابستگی‌های معنایی بلندمدت در متون پیچیده حقوقی و مقرراتی انجام شده است. در واقع، رویکرد کلی پژوهش بر این فرض استوار است که متون مقرراتی دارای ساختار زبانی پیچیده اما قابل یادگیری هستند و می‌توان با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق، آن‌ها را به نمایش‌های عددی قابل تحلیل تبدیل کرد (Vaswani et al., 2017).

### ۳-۲ جامعه آماری، داده‌ها و متغیرهای پژوهش

جامعه آماری این پژوهش شامل مجموعه‌ای از اسناد و متون مقررات مالی، دستورالعمل‌های بانکی، آیین‌نامه‌های نظارتی و استانداردهای بین‌المللی حوزه مالی است. این اسناد به دلیل ماهیت غیرساخت‌یافته و پیچیده خود، منبع مناسبی برای تحلیل مبتنی بر پردازش زبان طبیعی محسوب می‌شوند. در این پژوهش، داده‌ها به صورت ترکیبی از متون واقعی مقرراتی و داده‌های شبیه‌سازی‌شده مبتنی بر ساختارهای حقوقی

استاندارد جمع‌آوری شده‌اند تا امکان آموزش و ارزیابی مدل فراهم شود. داده‌های مورد استفاده شامل مجموعه‌ای از متون حقوقی و مقرراتی در حوزه‌های مختلف از جمله مقررات مبارزه با پول شویی، الزامات گزارشگری مالی، قوانین انطباق بانکی، استانداردهای ریسک عملیاتی و دستورالعمل‌های نظارتی بین‌المللی هستند. این داده‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که تنوع معنایی و ساختاری بالایی داشته باشند تا مدل بتواند در شرایط مختلف عملکرد مناسبی ارائه دهد.

در این پژوهش، متغیرهای اصلی به دو دسته متغیرهای ورودی و متغیرهای هدف تقسیم می‌شوند. متغیرهای ورودی شامل ویژگی‌های استخراج شده از متن مانند بردارهای معنایی، توکن‌های متنی، ساختار جملات، وابستگی‌های نحوی و شاخص‌های زبانی هستند. این ویژگی‌ها از طریق مدل‌های NLP و تکنیک‌های embedding استخراج می‌شوند. متغیرهای هدف نیز شامل برچسب‌های انطباق یا عدم انطباق مقررات، سطح ریسک مقرراتی و میزان انحراف از استانداردهای قانونی هستند. یکی از چالش‌های مهم در این بخش، ماهیت غیرساخت یافته داده‌ها است. برخلاف داده‌های عددی یا جدولی، متون مقرراتی دارای ساختار پیچیده، جملات طولانی و اصطلاحات تخصصی هستند که تحلیل آن‌ها نیازمند مدل‌های پیشرفته یادگیری عمیق است. همچنین، وجود ابهام‌های معنایی و چندمعنایی بودن برخی واژگان حقوقی، پیچیدگی تحلیل را افزایش می‌دهد. در سطح حجم داده، این پژوهش از مجموعه‌ای شامل هزاران سند مقرراتی استفاده می‌کند که در بازه‌های زمانی مختلف منتشر شده‌اند. این تنوع زمانی باعث می‌شود مدل بتواند تغییرات تدریجی در ساختار مقررات را نیز یاد بگیرد و قابلیت تعمیم‌پذیری بالاتری داشته باشد. (Arner et al., 2017)

### ۳-۳ مراحل پیش‌پردازش داده‌ها و مدل پیشنهادی

پیش‌پردازش داده‌ها در این پژوهش یکی از مراحل کلیدی محسوب می‌شود، زیرا کیفیت خروجی مدل به‌طور مستقیم به نحوه آماده‌سازی داده‌های متنی وابسته است. در گام نخست، داده‌های خام متنی جمع‌آوری شده از منابع مختلف مورد پاک‌سازی قرار می‌گیرند. این فرآیند شامل حذف نویزهای متنی، اصلاح خطاهای نگارشی، حذف علائم غیرضروری و استانداردسازی ساختار متون است. هدف از این مرحله، ایجاد یک مجموعه داده یکنواخت و قابل پردازش برای مدل‌های یادگیری ماشین است.

در مرحله دوم، فرآیند توکن‌سازی انجام می‌شود که طی آن متون به واحدهای کوچک‌تر مانند کلمات یا زیرکلمات تقسیم می‌شوند. این مرحله به مدل اجازه می‌دهد تا ساختار زبانی متن را به‌صورت جزئی‌تر تحلیل کند. پس از آن، فرآیند تبدیل متون به بردارهای عددی با استفاده از روش‌های تعبیه‌سازی انجام می‌شود. در این پژوهش از بردارهای معنایی مبتنی بر ترنسفورم استفاده شده است که قادرند روابط معنایی میان کلمات را در فضای چندبعدی نمایش دهند. در مرحله بعد، داده‌ها نرمال‌سازی و استانداردسازی می‌شوند تا مقادیر ورودی در یک مقیاس یکنواخت قرار گیرند. این کار باعث بهبود پایداری مدل و کاهش خطای یادگیری می‌شود. همچنین، برای افزایش کیفیت داده‌ها، از روش‌های حذف داده‌های تکراری و کاهش ابعاد نیز استفاده شده است تا پیچیدگی محاسباتی مدل کاهش یابد. مدل پیشنهادی این پژوهش مبتنی بر معماری ترنسفورم طراحی شده است. این مدل شامل چندین بخش اصلی است: لایه تعبیه‌سازی برای تبدیل متون به بردارهای عددی، لایه کدگذاری برای حفظ ترتیب کلمات در متن، چندین لایه رمزگذاری مبتنی بر مکانیزم خود توجهی برای استخراج روابط معنایی، و در نهایت لایه طبقه‌بندی برای تصمیم‌گیری نهایی درباره وضعیت انطباق مقررات. مکانیزم توجه در این مدل نقش کلیدی ایفا می‌کند، زیرا به مدل اجازه می‌دهد بخش‌های مهم متن را شناسایی کرده و تمرکز بیشتری بر آن‌ها داشته باشد. این ویژگی به‌ویژه در متون حقوقی که دارای ساختار پیچیده و جملات طولانی هستند اهمیت زیادی دارد. در نهایت، خروجی مدل به‌صورت یک برچسب انطباق یا عدم انطباق یا یک مقدار احتمال ریسک مقرراتی ارائه می‌شود. تابع هدف مدل نیز بر اساس تابع خطای آنتروپی متقاطع تعریف شده است که به‌صورت زیر عمل می‌کند و هدف آن کمینه‌سازی اختلاف میان پیش‌بینی مدل و برچسب واقعی است. این ساختار باعث می‌شود مدل به‌صورت تدریجی بهینه شود و عملکرد آن در تشخیص الگوهای پیچیده مقرراتی افزایش یابد. در مجموع، این روش شناسی تلاش می‌کند یک چارچوب یکپارچه برای تحلیل، درک و انطباق خودکار مقررات مالی ارائه دهد که بتواند در محیط‌های واقعی سازمانی مورد استفاده قرار گیرد و زمینه‌ساز توسعه نسل جدیدی از سیستم‌های رگ‌تک هوشمند باشد.

### ۴- یافته‌های و نتایج پژوهش

یافته‌ها و نتایج این پژوهش حاصل اجرای چارچوب رگ‌تک هوشمند مبتنی بر پردازش زبان طبیعی و معماری ترنسفورم بر روی مجموعه‌ای از متون مقرراتی مالی و اسناد نظارتی در حوزه بانکداری و بازارهای مالی است. هدف اصلی در این بخش، ارزیابی توانایی مدل پیشنهادی در

شناسایی میزان انطباق یا عدم انطباق مقررات، استخراج الگوهای معنایی پیچیده از متون حقوقی، و مقایسه عملکرد آن با رویکردهای کلاسیک پردازش متن و مدل‌های یادگیری ماشین سنتی است. در این پژوهش، داده‌ها پس از مرحله پیش‌پردازش و بردارسازی وارد مدل ترنسفورمر شدند و سپس خروجی مدل از نظر دقت طبقه‌بندی، توانایی درک معنایی، پایداری در برابر متون طولانی و میزان خطای تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجا که ماهیت مسئله انطباق مقررات یک مسئله چندبعدی و پیچیده است، ارزیابی صرفاً بر اساس یک شاخص مانند دقت انجام نشده، بلکه مجموعه‌ای از معیارها شامل Precision، Recall، F1-Score و همچنین شاخص سازگاری معنایی مورد استفاده قرار گرفته است تا تصویر جامع‌تری از عملکرد مدل ارائه شود.

در نخستین مرحله تحلیل نتایج، عملکرد مدل ترنسفورمر با مدل‌های پایه شامل روش TF-IDF به همراه ماشین بردار پشتیبان، مدل Random Forest و همچنین یک مدل مبتنی بر LSTM مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی در تمامی شاخص‌های ارزیابی عملکرد به‌طور معناداری بهتر عمل کرده است. به‌طور مشخص، دقت کلی مدل ترنسفورمر در تشخیص انطباق مقررات به سطح بسیار بالاتری نسبت به مدل‌های کلاسیک رسیده است، در حالی که مدل‌های سنتی در مواجهه با متون طولانی و پیچیده حقوقی دچار افت عملکرد شده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از مکانیزم توجه در معماری ترنسفورمر نقش کلیدی در درک روابط معنایی میان بخش‌های مختلف متن ایفا کرده است. برخلاف مدل‌های مبتنی بر بردارهای ثابت که هر واژه را به‌صورت مستقل در نظر می‌گیرند، ترنسفورمر قادر است ارتباط میان جملات مختلف یک سند مقرراتی را درک کرده و تصمیم‌گیری خود را بر اساس کل ساختار متن انجام دهد. در ادامه، نتایج نشان داد که مدل LSTM اگرچه نسبت به مدل‌های کلاسیک عملکرد بهتری داشته است، اما همچنان در تحلیل متون بسیار طولانی دچار محدودیت بوده است. این محدودیت عمدتاً ناشی از ساختار ترتیبی LSTM و مشکل محو شدن گرادیان در متون بلند است که باعث کاهش توانایی مدل در حفظ اطلاعات اولیه متن می‌شود. در مقابل، مدل ترنسفورمر به دلیل پردازش موازی و استفاده از خود توجهی توانسته است وابستگی‌های بلندمدت را بدون افت اطلاعاتی مدل‌سازی کند. این ویژگی در تحلیل متون مقرراتی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا بسیاری از الزامات حقوقی در بخش‌های مختلف یک سند پراکنده هستند و تنها با در نظر گرفتن کل متن می‌توان انطباق یا عدم انطباق را تشخیص داد. در بخش دیگری از نتایج، عملکرد مدل در تشخیص انواع مختلف عدم انطباق مقرراتی مورد بررسی قرار گرفت. عدم انطباق‌ها به سه دسته اصلی تقسیم شدند: عدم انطباق صریح، عدم انطباق ضمنی و عدم انطباق ساختاری. نتایج نشان داد که مدل ترنسفورمر در شناسایی عدم انطباق‌های ضمنی و ساختاری عملکرد بسیار بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. این نوع عدم انطباق‌ها معمولاً به‌صورت مستقیم در متن بیان نمی‌شوند، بلکه از ترکیب چند بند قانونی یا تفسیر هم‌زمان چند بخش از مقررات استخراج می‌شوند. در حالی که مدل‌های سنتی تنها قادر به شناسایی موارد صریح هستند، مدل پیشنهادی توانسته است روابط پنهان میان بخش‌های مختلف مقررات را شناسایی کرده و تصمیم‌گیری دقیق‌تری ارائه دهد.

در ادامه، تحلیل خطاهای مدل نشان داد که میزان خطای مثبت شناسایی در مدل ترنسفورمر نسبت به مدل‌های کلاسیک کاهش یافته است، به این معنا که تعداد مواردی که به اشتباه به‌عنوان عدم انطباق شناسایی شده‌اند کمتر شده است. این موضوع از منظر عملیاتی اهمیت زیادی دارد، زیرا در نظام‌های مالی، هشدارهای اشتباه می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی و کاهش اعتماد به سیستم‌های هوشمند شود. از سوی دیگر، میزان مثبت شناسایی نیز در مدل پیشنهادی به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است که نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در شناسایی موارد واقعی عدم انطباق است. این تعادل میان حساسیت و دقت یکی از نقاط قوت اصلی معماری ترنسفورمر در کاربردهای رگ‌تک محسوب می‌شود.

در تحلیل‌های تکمیلی، عملکرد مدل در مواجهه با متون بسیار طولانی نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش، مشاهده شد که مدل ترنسفورمر برخلاف مدل‌های مبتنی بر توالی، افت عملکرد قابل توجهی در متون با طول بالا ندارد. این ویژگی ناشی از ساختار مبتنی بر توجه است که به مدل اجازه می‌دهد بدون وابستگی به فاصله توالی، ارتباط میان بخش‌های مختلف متن را حفظ کند. این موضوع در اسناد مقرراتی که معمولاً دارای ساختار چندبندی و چندلایه هستند اهمیت بسیار زیادی دارد. از منظر تحلیل معنایی، یکی از مهم‌ترین نتایج پژوهش، توانایی مدل در استخراج مفاهیم کلیدی مقررات و تبدیل آن‌ها به نمایش‌های برداری قابل تفسیر بوده است. بررسی بردارهای خروجی مدل نشان داد که مقررات مشابه از نظر معنایی در فضای برداری نزدیک به یکدیگر قرار گرفته‌اند، در حالی که مقررات متضاد فاصله بیشتری از هم داشته‌اند. این ویژگی نشان‌دهنده توانایی مدل در یادگیری ساختار معنایی حوزه مالی است. در واقع، مدل نه تنها قادر به طبقه‌بندی مقررات است، بلکه نوعی نقشه معنایی از فضای مقررات مالی ایجاد می‌کند که می‌تواند در تحلیل‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد.

در ادامه، نتایج مربوط به پایداری مدل در برابر تغییرات داده نیز بررسی شد. در این بخش، داده‌ها با میزان مختلفی از نویز و تغییرات ساختاری مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل ترنسفورمر نسبت به نویزهای متنی و تغییرات جزئی در ساختار جملات مقاومت بالایی دارد و عملکرد آن به صورت پایدار باقی می‌ماند. این ویژگی در کاربردهای واقعی بسیار مهم است، زیرا متون مقرراتی ممکن است در نسخه‌های مختلف یا با تغییرات جزئی منتشر شوند، اما مدل باید بتواند مفهوم اصلی را حفظ کند. از منظر مقایسه‌ای، نتایج کلی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی نسبت به تمامی مدل‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش برتری معناداری دارد. این برتری نه تنها در شاخص‌های کمی بلکه در توانایی درک مفاهیم پیچیده حقوقی نیز مشاهده شده است. در واقع، مدل ترنسفورمر توانسته است شکاف میان تحلیل انسانی و تحلیل ماشینی متون مقرراتی را تا حد زیادی کاهش دهد. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از هوش مصنوعی در حوزه رگ‌تک می‌تواند به سطحی از دقت و کارایی برسد که پیش‌تر تنها توسط تحلیل‌گران انسانی قابل دستیابی بود. در بخش تحلیل زمانی نیز عملکرد مدل مورد بررسی قرار گرفت. با وجود پیچیدگی معماری ترنسفورمر، نتایج نشان داد که زمان پردازش در سطح قابل قبولی قرار دارد و امکان استفاده از آن در سیستم‌های نیمه‌بلادرنگ وجود دارد. این موضوع به‌ویژه در کاربردهای نظارتی اهمیت دارد، زیرا تصمیم‌گیری در حوزه انطباق مقررات باید در زمان مناسب انجام شود تا از بروز تخلفات جلوگیری شود.

## ۵- نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش در مجموع نشان می‌دهد که ورود هوش مصنوعی مولد و به‌طور خاص معماری‌های مبتنی بر ترنسفورمر به حوزه رگ‌تک، صرفاً یک بهبود تدریجی در ابزارهای تحلیل مقررات نیست، بلکه یک جابه‌جایی پارادایمی در شیوه فهم، تفسیر و اجرای مقررات مالی محسوب می‌شود. در سطح نظری، نتایج این مطالعه مؤید این نکته است که ماهیت انطباق مقررات، برخلاف تصور سنتی، یک مسئله صرفاً حقوقی یا اجرایی نیست، بلکه یک مسئله عمیقاً زبانی، معنایی و مبتنی بر تفسیر داده است. به بیان دیگر، مقررات مالی در قالب متونی پیچیده، چندلایه و وابسته به زمینه ظاهر می‌شوند و همین ویژگی باعث می‌شود که روش‌های کلاسیک مبتنی بر قواعد ایستا یا حتی مدل‌های یادگیری ماشین سطحی، در مواجهه با آن‌ها با محدودیت‌های جدی روبه‌رو شوند. در این پژوهش مشاهده شد که مدل ترنسفورمر توانسته است این شکاف را تا حد زیادی کاهش دهد و از طریق مکانیزم توجه، ساختار معنایی پنهان در متون مقرراتی را بازنمایی کند. این امر نشان می‌دهد که مسئله انطباق، بیش از آنکه مسئله تطبیق واژگانی باشد، مسئله درک روابط معنایی میان اجزای متن است. از منظر تئوریک، یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش، تقویت این دیدگاه است که نظام‌های مالی مدرن را باید به‌عنوان «سیستم‌های زبانی-نهادی پیچیده» در نظر گرفت. در چنین سیستمی، مقررات نه به‌عنوان مجموعه‌ای از دستورات صریح، بلکه به‌عنوان شبکه‌ای از مفاهیم بهم‌پیوسته عمل می‌کنند که تفسیر آن‌ها نیازمند مدل‌سازی زمینه‌ای است. نظریه‌های کلاسیک تنظیم‌گری معمولاً بر فرض شفافیت، قطعیت و قابلیت اجرای مستقیم مقررات استوار هستند، اما شواهد این پژوهش نشان می‌دهد که در عمل، مقررات دارای ابهام ذاتی، چندمعنایی بودن و وابستگی به زمینه اجرایی هستند. بنابراین، هر نظام رگ‌تک که صرفاً بر استخراج قوانین صریح متکی باشد، در مواجهه با پیچیدگی‌های واقعی نظام مالی ناکارآمد خواهد بود. در مقابل، مدل‌های مبتنی بر ترنسفورمر با توانایی یادگیری نمایش‌های معنایی چندلایه، امکان حرکت از «تفسیر سطحی مقررات» به «درک ساختاری مقررات» را فراهم می‌کنند.

از منظر تجربی، نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل پیشنهادی در تمامی شاخص‌های ارزیابی شامل دقت، یادآوری، F1-Score و پایداری معنایی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های کلاسیک و حتی برخی مدل‌های یادگیری عمیق ترتیبی داشته است. این برتری به‌ویژه در تحلیل متون طولانی و پیچیده مقرراتی برجسته‌تر شد. این یافته از نظر سیاست‌گذاری مالی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا یکی از چالش‌های اصلی نهادهای نظارتی، حجم بالای اسناد حقوقی و سرعت بالای تغییر مقررات است. در چنین شرایطی، اتکا به نیروی انسانی برای تحلیل کامل تمامی تغییرات مقرراتی عملاً ناکارآمد و پرهزینه است. مدل‌های هوش مصنوعی مولد می‌توانند این شکاف را پر کنند و امکان تحلیل بلادرنگ تغییرات مقرراتی را فراهم سازند.

یکی از مهم‌ترین نتایج این پژوهش، تغییر نقش فناوری در فرآیند انطباق مقررات است. در رویکردهای سنتی، فناوری صرفاً نقش ابزاری و کمکی داشت، اما در چارچوب پیشنهادی این پژوهش، فناوری به یک «عامل تصمیم‌ساز نیمه‌خودکار» تبدیل شده است. این تحول پیامدهای مهمی برای ساختار حکمرانی مالی دارد. به‌طور خاص، انتقال بخشی از فرآیند تفسیر مقررات از انسان به الگوریتم، نوعی «الگوریتمی شدن حکمرانی

مالی» را ایجاد می‌کند که در آن تصمیمات نظارتی نه صرفاً بر اساس تفسیر انسانی، بلکه بر اساس مدل‌های داده‌محور اتخاذ می‌شوند. این موضوع اگرچه موجب افزایش کارایی و سرعت می‌شود، اما در عین حال چالش‌هایی در زمینه شفافیت، پاسخ‌گویی و قابلیت توضیح‌پذیری نیز ایجاد می‌کند. در سطح کاربردی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که رگ‌تک مبتنی بر NLP می‌تواند به‌طور مستقیم در کاهش هزینه‌های انطباق مقررات نقش داشته باشد. یکی از مشکلات اساسی سازمان‌های مالی، هزینه بالای تفسیر، پیاده‌سازی و پایش مقررات است. این هزینه‌ها نه تنها شامل منابع انسانی متخصص، بلکه شامل هزینه‌های زمانی و عملیاتی نیز می‌شود. استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی می‌تواند این هزینه‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد و در عین حال دقت انطباق را افزایش دهد. این موضوع به‌ویژه برای بانک‌ها و مؤسسات مالی بزرگ که با حجم عظیمی از مقررات داخلی و بین‌المللی مواجه هستند، اهمیت حیاتی دارد.

از منظر مدیریت ریسک، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رگ‌تک هوشمند می‌تواند نقش مهمی در کاهش ریسک مقرراتی ایفا کند. ریسک مقرراتی یکی از انواع ریسک‌های کلیدی در نظام مالی است که ناشی از عدم انطباق کامل با قوانین و مقررات است. این نوع ریسک معمولاً به جرمه‌های مالی، کاهش اعتبار سازمانی و در موارد شدیدتر به بحران‌های نهادی منجر می‌شود. مدل پیشنهادی این پژوهش با شناسایی خودکار عدم انطباق‌ها و هشدارهای بلادرنگ، می‌تواند نقش یک سیستم پیشگیرانه را ایفا کند. این ویژگی باعث می‌شود سازمان‌ها به جای واکنش پس از وقوع تخلف، بتوانند به‌صورت پیش‌دستانه عمل کنند. یکی دیگر از نتایج مهم این پژوهش، توانایی مدل در ایجاد نوعی «نمایش معنایی از فضای مقرراتی» است. این بدان معناست که مدل نه تنها قادر به طبقه‌بندی مقررات است، بلکه می‌تواند ساختار مفهومی میان مقررات مختلف را نیز شناسایی کند. این قابلیت می‌تواند در آینده برای تحلیل تطبیقی مقررات در کشورهای مختلف یا شناسایی تضادهای قانونی میان اسناد مختلف مورد استفاده قرار گیرد. از منظر علمی، این ویژگی نشان‌دهنده حرکت از تحلیل سطحی متن به سمت «مدل‌سازی دانش مقرراتی» است. در سطح محدودیت‌ها، این پژوهش نیز مانند هر مطالعه دیگری با چالش‌هایی مواجه بوده است. نخست آنکه داده‌های مورد استفاده عمدتاً مبتنی بر اسناد متنی و شبیه‌سازی شده بوده‌اند و استفاده از داده‌های کاملاً عملیاتی در سطح سازمان‌های مالی بزرگ می‌تواند نتایج دقیق‌تری ارائه دهد. دوم آنکه پیچیدگی محاسباتی مدل‌های ترنسفورمر همچنان یکی از چالش‌های اصلی در پیاده‌سازی گسترده آن‌ها در محیط‌های عملیاتی است. اگرچه پیشرفت‌های سخت‌افزاری و استفاده از پردازش موازی این مشکل را تا حدی کاهش داده است، اما همچنان در برخی زیرساخت‌های محدود، اجرای بلادرنگ این مدل‌ها ممکن است با چالش مواجه شود. از منظر سیاست‌گذاری، نتایج این پژوهش پیام‌های مهمی برای نهادهای نظارتی و قانون‌گذاران دارد. نخست آنکه حرکت به سمت رگ‌تک هوشمند باید به‌عنوان یک اولویت استراتژیک در نظام مالی در نظر گرفته شود. دوم آنکه توسعه این فناوری نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌ای، آموزش نیروی انسانی و ایجاد چارچوب‌های حقوقی جدید برای پذیرش تصمیمات الگوریتمی است. سوم آنکه مسئله شفافیت الگوریتمی باید به‌عنوان یک اصل اساسی در طراحی سیستم‌های رگ‌تک مدنظر قرار گیرد، زیرا بدون شفافیت، پذیرش اجتماعی و نهادی این سیستم‌ها با مشکل مواجه خواهد شد.

در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب پردازش زبان طبیعی و هوش مصنوعی مولد می‌تواند مسیر جدیدی در حکمرانی مالی ایجاد کند که در آن انطباق مقررات نه یک فرآیند دستی و زمان‌بر، بلکه یک فرآیند هوشمند، خودکار و بلادرنگ است. این تحول نه تنها کارایی نظام‌های مالی را افزایش می‌دهد، بلکه می‌تواند به ارتقای شفافیت، کاهش فساد و افزایش اعتماد عمومی به نظام مالی نیز کمک کند. در یک جمع‌بندی کلان، می‌توان گفت که رگ‌تک هوشمند مبتنی بر NLP، نقطه تلاقی فناوری، حقوق و مدیریت است و آینده حکمرانی مالی به میزان زیادی به توسعه و بلوغ این فناوری وابسته خواهد بود.

## منابع

### منابع فارسی

### مقالات

- احمدی، ر. و رضایی، م. (۱۴۰۰). تحلیل ریسک مقرراتی و چالش‌های نظارتی در نظام بانکی ایران. فصلنامه پژوهش‌های مالی ایران، ۱۸(۳)، ۱۰۱-۱۲۴.
- ابراهیمی، م. و شریفی، ع. (۱۳۹۸). کاربرد داده‌کاوی در نظام‌های کشف تخلف مالی. فصلنامه علوم مالی و حسابداری ایران، ۱۲(۲)، ۴۵-۶۸.
- بهرامی، ف. و کریمی، ن. (۱۳۹۹). نقش یادگیری ماشین در بهبود نظام‌های نظارتی بانکی. فصلنامه مدیریت مالی، ۱۴(۱)، ۷۷-۹۸.
- حسینی، س. و موسوی، ع. (۱۳۹۷). بررسی کاربرد هوش مصنوعی در بانکداری الکترونیک. مجله حسابداری و حسابرسی، ۲۵(۴)، ۵۵-۸۰.
- یوسفی، م. و قاسمی، ح. (۱۳۹۸). تحول دیجیتال و آینده نظارت مالی. مجله مدیریت و اقتصاد، ۱۱(۲)، ۹۰-۱۱۲.

- مرادی، ک.، و نیکوکار، ا. (۱۳۹۶). شبکه‌های عصبی و تحلیل داده‌های مالی. فصلنامه علوم داده، (۱)۹، ۳۳-۵۲.
- کاظمی، ف.، و نادری، پ. (۱۴۰۱). نقش کلان‌داده در نظام‌های مالی هوشمند. مجله پژوهش‌های مدیریت، (۲)۱۹، ۱۱۵-۱۳۸.
- صادقی، م.، و عباسی، ح. (۱۳۹۹). بررسی کاربرد یادگیری عمیق در تحلیل ریسک مالی. مجله مهندسی مالی، (۳)۱۳، ۶۷-۸۹.
- جعفری، ن.، و احمدزاده، س. (۱۴۰۰). رگ‌تک و تحول نظارت مالی در بانکداری نوین. فصلنامه فناوری مالی ایران، (۱)۵، ۲۳-۴۸.
- نصیری، ر.، و کریمی، د. (۱۳۹۸). تحلیل مقررات بانکی با استفاده از روش‌های هوشمند. مجله سیاست‌های مالی و پولی، (۴)۱۰، ۱۰۱-۱۲۰.
- فراهانی، ع.، و موسوی، ک. (۱۳۹۷). مدیریت ریسک در بانکداری دیجیتال. مجله اقتصاد مالی ایران، (۲)۱۶، ۵۵-۷۸.
- رستمی، ه.، و محمدی، ل. (۱۴۰۱). کاربرد پردازش زبان طبیعی در تحلیل اسناد مالی. مجله هوش مصنوعی کاربردی، (۲)۷، ۸۸-۱۱۰.

#### کتاب‌ها

- آذر، ع.، و مؤمنی، م. (۱۳۹۲). آمار و کاربرد آن در مدیریت. تهران: سمت.
- رازانی، ح. (۱۳۹۶). مدیریت ریسک در مؤسسات مالی و بانکی. تهران: نشر نی.
- سعیدی، م. (۱۳۹۴). مدیریت مالی پیشرفته. تهران: سمت.
- نیکوکار، ا. (۱۳۹۵). بانکداری الکترونیک و نظام‌های پرداخت. تهران: دانشگاه تهران.

#### اسناد و گزارش‌ها

- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (۱۴۰۱). گزارش تحولات نظام بانکی کشور. تهران: بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
- مرکز آمار ایران. (۱۴۰۰). گزارش وضعیت بخش مالی و اقتصادی کشور. تهران.
- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (۱۴۰۱). گزارش تحولات نظام بانکی کشور. تهران: بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
- مرکز آمار ایران. (۱۴۰۰). گزارش وضعیت بخش مالی و اقتصادی کشور. تهران.

#### منابع انگلیسی

#### Articles

- Arner, D. W., Barberis, J., & Buckley, R. P. (2017). FinTech, RegTech and the reconceptualization of financial regulation. *Northwestern Journal of International Law & Business*, 37(3), 371-413.
- BIS (Bank for International Settlements). (2019). *Sound practices: Implications of fintech developments for banks and bank supervisors*. Basel: BIS.
- Cortez, P., & Silva, A. (2012). Using data mining to predict secondary school student performance. *Decision Support Systems*, 53(4), 748-759.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305-360.
- Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2014). *Introduction to information retrieval*. Cambridge University Press.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press.
- OECD. (2020). *Digital transformation in financial services*. OECD Publishing.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998-6008.
- Zetzsche, D. A., Buckley, R. P., Arner, D. W., & Barberis, J. N. (2018). From FinTech to TechFin: The Regulatory Challenges of Data-Driven Finance. *New York University Journal of Law & Business*, 14(2), 393-446.

#### Books

- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning*. Springer.
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing*. Pearson.

#### Reports and documents

- McKinsey & Company. (2023). AI in financial services report.
- Bank for International Settlements. (2023). Big data in central banking

Basel Committee on Banking Supervision. (2011). Principles for the sound management of operational risk. Bank for International Settlements.

World Bank. (2019). Financial inclusion and digital transformation report. World Bank Group.

