

Examining the Separation of Factors Affecting Long-Term Trends and Short-Term Fluctuations of Inflation in Iran's Economy: Evidence from Machine Learning Models

Majid Shafiei

PhD of Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran (Corresponding Author)

Email: majid.shafiei1992@yahoo.com

 0009-0007-5117-3648

Rouhollah Shahnazi

Professor of Economics Shiraz University, Shiraz, Iran

Email: rshahnazi@shirazu.ac.ir

 0000-0003-1219-7384

Abstract

Distinguishing the fundamental factors influencing long-term inflation trends from temporary shocks affecting short-term fluctuations around these trends is a critical issue for monetary policymakers. This distinction not only offers a clearer understanding of inflationary mechanisms but also provides a basis for designing optimal policies to control inflation across different time horizons. Consequently, accurately identifying and managing these factors is essential for achieving sustainable inflation stability and addressing short-term economic challenges. In this study, the factors influencing the long-term trend and short-term fluctuations of inflation in Iran's economy during the period from 2008 to 2024 are examined using monthly macroeconomic data and selected global market variables. The Hodrick-Prescott filter is employed to separate the long-term trend from inflation fluctuations. Subsequently, machine learning models and feature importance analysis are applied to determine the impact of each identified factor. The results indicate that broad money growth is the most significant determinant of the long-term trend of inflation in Iran, accounting for approximately 78% of the variation. In contrast, the exchange rate is identified as the primary variable affecting short-term inflation fluctuations, though its contribution to the long-term trend is only 16%. These findings highlight the necessity of implementing sustainable policies to manage broad money growth in order to achieve inflation stability in Iran's economy.

Keywords: Inflation Trend and Fluctuations, Broad Money, Exchange Rate, Machine Learning

JEL Classification: E31, E51, C45

Extended Abstract

Introduction

Inflation remains one of the most critical and persistent challenges facing the Iranian economy, characterized by high and volatile rates that erode purchasing power and hinder sustainable growth. A key issue for monetary policymakers is distinguishing the fundamental drivers of long-term inflation trends from the temporary shocks that cause short-term fluctuations around these trends. While economic theory, particularly monetarist perspectives, often posits money supply growth as the primary long-run determinant of inflation, economies like Iran are also subject to significant external and internal shocks, such as exchange rate volatility, which complicates the inflationary process. Existing studies on Iranian inflation have not sufficiently leveraged advanced analytical techniques to disentangle these distinct components and quantify the specific contributions of different factors to each. This study addresses this gap by employing machine learning models to separately identify and analyze the factors influencing the long-term trend and short-term fluctuations of inflation in Iran from 2008 to 2022. The research aims to provide a clearer, data-driven understanding of Iran's inflationary mechanisms, which is essential for designing effective and targeted monetary and fiscal policies.

Method

This study utilizes monthly data from 2008 to 2022, encompassing key domestic macroeconomic variables—such as the Consumer Price Index (CPI), broad money (M2), exchange rate (ER), bank interest rate (BIR), GDP, and unemployment rate (UNR)—as well as global indicators like world commodity prices, oil prices, gold prices, and various uncertainty indices. The Hodrick-Prescott (HP) filter is first applied to the CPI series to decompose it into a long-term trend component and short-term cyclical fluctuations. To model and identify the determinants of these two components, several tree-based ensemble machine learning algorithms—including Gradient Boosting (GB), Extreme Gradient Boosting (XGB), Histogram-Based Gradient Boosting (HGB), Random Forest (RF), and Decision Trees (DT)—are employed. The performance of these models is evaluated using Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and Root Mean Squared Error (RMSE). Crucially, to interpret the results and quantify the importance of each input variable, the SHapley Additive exPlanations (SHAP) approach is used, which provides a robust measure of feature importance for the otherwise "black-box" machine learning models.

Results and Discussion

The empirical results yield clear and distinct insights into the drivers of inflation in Iran. For the long-term trend of inflation, broad money growth (M2) is identified as the overwhelmingly dominant factor, accounting for approximately 78% of the variation according to the SHAP analysis. This finding strongly aligns with monetarist theory and underscores the fundamental role of sustained expansion in liquidity in shaping the persistent upward path of prices. In contrast, the short-term fluctuations around this long-term trend are primarily driven by the exchange rate, which contributes nearly 41% to these volatilities. This highlights the critical impact of currency shocks and devaluations in causing temporary but sharp deviations in the inflation rate. Other factors, such as

global commodity prices, also play a secondary role in short-run fluctuations. The analysis further reveals that while the exchange rate is significant for short-term volatility, its contribution to the overall average inflation rate over the long term is limited to 16%, whereas money growth explains about 78% of the average inflation. This clear separation of effects underscores that while exchange rate shocks are potent sources of instability, the root cause of high and persistent inflation in Iran lies in the sustained growth of broad money.

Conclusion

This study conclusively demonstrates that the determinants of long-term inflation trends and short-term fluctuations in Iran are distinct, necessitating a dual-pronged policy approach. The primary policy implication is that achieving lasting inflation stability requires a fundamental and sustained commitment to controlling the growth of broad money through disciplined monetary and fiscal policies. This involves addressing the underlying fiscal deficits and banking sector imbalances that fuel excessive liquidity creation. Simultaneously, policymakers must develop robust mechanisms to manage and mitigate short-term exchange rate shocks, which are a major source of economic volatility. The successful application of machine learning models combined with interpretability techniques like SHAP showcases the power of these advanced analytical tools in providing nuanced insights into complex economic phenomena like inflation. Future research could extend this methodology to incorporate real-time data or explore the dynamic interactions between these factors in a more granular framework.

Funding

There is no funding support.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution

The authors contributed to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the journal officials and referees.

بررسی تفکیک عوامل مؤثر بر روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت تورم در اقتصاد ایران: شواهدی از مدل‌های یادگیری ماشین

مجید شفیعی

دکتری اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران (نویسنده مسئول)

Email: majid.shafiei1992@yahoo.com

 0009-0007-5117-3648

روح‌اله شهنازی

استاد اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

Email: rshahnazi@shirazu.ac.ir

 0000-0003-1219-7384

چکیده

تفکیک عوامل بنیادین مؤثر بر روند بلندمدت تورم از شوک‌های موقتی تأثیرگذار بر نوسانات کوتاه‌مدت حول این روند، یک موضوع کلیدی برای سیاست‌گذار پولی است. این تمایز نه تنها درک بهتری از سازوکارهای تورمی ارائه می‌دهد، بلکه پایه‌ای برای طراحی سیاست‌های بهینه به منظور مهار تورم در افق‌های زمانی متفاوت فراهم می‌کند. در نتیجه، شناسایی و مدیریت دقیق این عوامل برای دستیابی به ثبات تورمی پایدار و پاسخ‌گویی به چالش‌های کوتاه‌مدت اقتصادی ضروری است. از این رو در این مقاله، عوامل مؤثر بر روند بلندمدت تورم و نوسانات کوتاه‌مدت آن در اقتصاد ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ با استفاده از داده‌های ماهیانه متغیرهای کلان اقتصادی و چند متغیر بازارهای جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. برای جداسازی روند بلندمدت و نوسانات تورم، از فیلتر هودریک-پرسکات استفاده شده و سپس با به‌کارگیری مدل‌های یادگیری ماشین و تحلیل اهمیت ویژگی‌ها، اثرگذاری هر یک از عوامل شناسایی شده است. نتایج نشان می‌دهد که حجم نقدینگی، با سهمی حدود ۷۸ درصد، مهم‌ترین عامل در تعیین روند بلندمدت تورم در ایران است. در مقابل، نرخ ارز به‌عنوان اصلی‌ترین متغیر مؤثر بر نوسانات کوتاه‌مدت تورم شناسایی شده البته سهم آن در روند بلندمدت تورم تنها ۱۶ درصد است. این یافته‌ها نشان‌دهنده لزوم اتخاذ سیاست‌های پایدار برای مدیریت رشد نقدینگی به‌منظور دستیابی به ثبات تورمی در اقتصاد ایران است.

کلیدواژه‌ها: روند و نوسانات تورم، نقدینگی، نرخ ارز، یادگیری ماشین

طبقه‌بندی JEL: E31, E51, C45

۱. مقدمه

تورم یکی از مهم‌ترین موضوعات اقتصادی است که هم مورد توجه دانشگاهیان قرار دارد و هم توسط مقامات پولی کشورها با جدیت دنبال می‌شود. تورم از طریق اثرگذاری بر قدرت خرید مردم به کاهش رفاه جامعه منجر می‌شود. اثرگذاری تورم در کشورهای مختلف بسته به وضعیت شاخص‌های اقتصادی و سطح تورم در هر کشور می‌تواند متفاوت باشد. افزایش تورم موجب تضعیف توان مالی افراد می‌شود و براساس مطالعات مختلف اثرگذاری تورم بر کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه متفاوت است (گاریگا و رودریگز^۱، ۲۰۲۰؛ لاو و سون^۲، ۲۰۲۰).

شناسایی پویایی‌های تورم و عوامل مؤثر بر آن برای تصمیمات اقتصادی سرمایه‌گذاران خصوصی، شرکت‌ها، دولت و بانک مرکزی از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین تورم و پیش‌بینی روند آن یک موضوع جذاب و چالش‌برانگیز برای پژوهشگران دانشگاهی و متخصصان اقتصادی بوده که اهمیت بررسی این شاخص مهم در اقتصاد ایران به دلیل تورم‌های بالا و ماندگار سال‌های اخیر بیشتر از گذشته است. پیش‌بینی متغیرهای کلان اقتصادی در اخذ و اجرای سیاست‌های اقتصادی توسط مقامات و تصمیم‌گیران اهمیت بالایی داشته و می‌تواند با کاهش نااطمینانی در شاخص‌های مهم اقتصادی، در ایجاد اعتماد جامعه به اقتصاد کمک کند. برای کشور در حال توسعه‌ای مانند ایران، سطح عمومی قیمت‌ها بالا و پرنوسان بوده و تورم در ایران یک موضوع مهم و چالش‌برانگیز است. تورم‌های بالا و ماندگار با ایجاد فضای نااطمینانی، موجب کاهش قابل توجه در پس‌انداز، سرمایه‌گذاری و درآمد واقعی جامعه شده و از این طریق آسیب زیادی به اقتصاد کشور وارد می‌شود؛ بنابراین پیش‌بینی دقیق تورم و عوامل اثرگذار بر شکل‌گیری آن برای کاهش اثرات مخرب آن، یک موضوع دشوار و در عین حال اساسی در اقتصاد ایران بوده و اهمیت بسیار بالایی دارد.

نظریه‌های مربوط به علم اقتصاد و نظر اکثر اقتصاددانان، عامل اصلی ایجاد تورم را رشد نقدینگی بیش از رشد تولید دانسته به طوری که تمام عوامل اثرگذار در ایجاد تورم، خود را نهایتاً در رشد نقدینگی نشان می‌دهند. روند بلندمدت تورم عمدتاً برآمده از عوامل بنیادی و ساختاری است که ماهیت تورم را در یک اقتصاد شکل می‌دهند در حالی که نوسانات کوتاه‌مدت حول روند بلندمدت، عمدتاً ناشی از شوک‌های اقتصادی مانند شوک‌های ارزی است.

در توضیح بالا بودن تورم بلندمدت در اقتصاد ایران، می‌توان به عواملی چون ایجاد تقاضا از طریق

1. Garriga and Rodriguez
2. Law and Soon

رشد نقدینگی بیش از توان تولید، ناترازی‌های مختلف در نظام بانکی و حوزه انرژی و شوک‌های برون‌زا مانند تحریم‌ها اشاره کرد. افزایش تقاضا و رشد نقدینگی فراتر از توان تولیدی، ناشی از کسری‌های مداوم بودجه دولت و خلق اعتبار توسط بانک‌ها است. رشد بالایی نقدینگی نسبت به رشد اقتصادی منجر به ایجاد تورم شده و شوک‌های ارزی با عنوان عامل اصلی نوسانات تورمی در اقتصاد ایران، اسباب تشدید تورم را فراهم می‌کنند.

یکی از مواردی که برای تحلیل تورم در اقتصاد ایران باید در نظر گرفته شود، جداسازی روند بلندمدت تورم از نوسانات کوتاهمدت آن است. روند بلندمدت تورم به تغییرات پایدار در سطح عمومی قیمت‌ها اشاره دارد که می‌تواند ناشی از سیاست‌های پولی و مالی در اقتصاد باشد درحالی‌که نوسانات به تغییرات سریع و ناپایدار در یک دوره کوتاهمدت مربوط می‌شود که از شوک‌های موقت مانند شوک‌های ارزی یا تغییرات قیمت انرژی حاصل می‌شود. شناسایی و تفکیک روندهای بلندمدت از نوسانات کوتاهمدت تورم برای سیاست‌گذاری‌های اقتصادی و پیش‌بینی دقیق‌تر از تحولات آینده در اقتصاد دارای اهمیت بالایی است.

یکی از دشواری‌ها در پیش‌بینی متغیرهای کلان اقتصادی، وجود متغیرهای با هم‌بستگی بالا در اثرگذاری بر متغیر مورد بررسی در مدل است. از این رو، هنگام بررسی اثرگذاری مجموعه‌ای از متغیرها که احتمال هم‌بستگی بالای آن‌ها با یکدیگر و متغیر هدف در مدل هستند، چگونگی ساخت یک مدل پیش‌بینی برای شناخت اثرگذاری مستقل متغیرها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (آراس و لیسبوا^۱، ۲۰۲۲).

عملکرد برجسته و خوب مدل‌های یادگیری ماشین در تحلیل سری‌های زمانی در مطالعات زیادی مورد تأیید قرار گرفته است؛ اما کاربرد این مدل‌ها در زمینه پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی پس از اضافه شدن قابلیت تفسیرپذیری به مدل‌های یادگیری ماشین، به یک زمینه محبوب و کاربردی تبدیل شده است. مدل استفاده شده در این مطالعه برای تفسیر مدل نهایی، مدل «توضیحات افزودنی شپلی»^۲ (SHAP) است که با کمی کردن سهم هر متغیر بر خروجی عوامل اثرگذار بر متغیر هدف و نشان دادن بااهمیت‌ترین متغیرها کمک زیادی در جهت شناخت مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر پویایی‌های تورم در ایران می‌کند.

این مطالعه به دنبال شناسایی و تحلیل مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روند و نوسانات تورم در اقتصاد

1. Aras & Lisboa

2. Shapley Additive exPlanations

ایران با استفاده از فیلتر «هودریک-پرسکات»^۱ برای جداسازی روند و نوسانات و روش‌های یادگیری ماشین است. برای این منظور، از داده‌های کلان اقتصادی ایران و متغیرهای جهانی در دوره زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۳ استفاده شده است. استفاده از داده‌های گسترده و متنوع می‌تواند به درک بهتر از عوامل مؤثر بر تورم در اقتصاد ایران کمک کند. به‌خصوص، بررسی اثرات متغیرهای جهانی مانند شاخص کالا و خدمات جهانی، قیمت نفت و انس جهانی طلا و شاخص‌های مختلف نااطمینانی در شرایط فعلی می‌تواند به سیاست‌گذاران در طراحی استراتژی‌های مؤثرتر برای کنترل پویایی‌های تورم یاری رساند.

این پژوهش برای دنبال کردن هدف خود در تحلیل سهم عوامل مؤثر بر روند و نوسانات تورم در اقتصاد ایران از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کند. در سال‌های اخیر روش‌های یادگیری ماشین به دلیل توانایی بالا در شناسایی تعاملات غیرخطی و الگوهای پیچیده بین متغیرها، به‌عنوان ابزاری مناسب در تحلیل‌های اقتصادی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مطالعه از روش‌های گروهی بر پایه درخت (Ensemble Methods) استفاده شده و میزان دقت مدل‌ها نیز با سه معیار آماری مرسوم «میانگین خطای مطلق»^۲ (MAE)، «میانگین درصد خطای مطلق»^۳ (MAPE) و «ریشه میانگین مربعات خطا»^۴ (RMSE) گزارش می‌شود.

در ادامه این مطالعه به چند بخش تقسیم می‌شود: بخش دوم، مبانی نظری؛ بخش سوم پیشینه پژوهش مربوط به مطالعات در مورد عوامل اثرگذار بر تورم با روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. در بخش چهارم به داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش پرداخته می‌شود و در بخش‌های پنجم و ششم نیز به‌ترتیب به بررسی نتایج حاصل از مدل و جمع‌بندی کل مقاله پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری پژوهش

تورم به‌عنوان یکی از چالش‌های ساختاری اقتصاد ایران، نه‌تنها افزایش مداوم سطح عمومی قیمت‌ها را نشان می‌دهد، بلکه نوسانات شدید آن، ثبات اقتصادی را مختل کرده و بر رشد، فقر و نابرابری تأثیر منفی می‌گذارد. در اقتصادهای درحال‌توسعه مانند ایران، تورم اغلب نتیجه تعامل عوامل بلندمدت (مانند رشد نقدینگی و کسری بودجه مزمن) و عوامل کوتاه‌مدت (مانند شوک‌های ارزی و انتظارات

1. Hodrick & Prescott

2. Mean Absolute Error

3. Mean Absolute Percentage Error

4. Root Mean Squared Error

تورمی) است. تفکیک این عوامل برای سیاست‌گذاری ضروری است، زیرا مدل‌های سنتی اقتصادسنجی مانند VAR یا ARIMA در شناسایی الگوهای غیرخطی و پیچیده ناکارآمد هستند. مدل‌های یادگیری ماشین (ML) با قابلیت شناسایی روابط غیرخطی و پیش‌بینی دقیق، چهارچوبی نوین برای این تفکیک فراهم می‌کنند. تورم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقتصادی که بر قدرت خرید افراد در جامعه اثر می‌گذارد، نیاز به توجه سیاست‌گذاران برای جلوگیری از تبعات اقتصادی و اجتماعی آن دارد. تورم از دیدگاه مکاتب مختلف ویژگی‌ها و علل بنیادی متعددی دارد و می‌تواند ناشی از تقاضا و فشار هزینه باشد. درک مبانی مرتبط با تورم برای تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و مطالعه و حل مشکل تورم نیازمند شناخت کامل از اشکال مختلف آن و عوامل اثرگذار بر ایجاد و ماندگاری تورم است.

اقتصاددانان کلان تقریباً دو دهه است که با یک چالش در مورد تورم روبه‌رو هستند که یافتن نظریه‌ای است که بتواند به‌طور مناسب بهترین رفتارهای خانوارها و شرکت‌ها را توصیف کند و درعین‌حال پویایی تورم را نیز توضیح دهد (ال‌عمری و کیاناس^۱، ۲۰۲۵). برای پرداختن به این مشکلات، مکانیسم‌های تعیین دستمزد و قیمت با نگاه به گذشته مانند رفتار سرانگشتی تعیین‌کنندگان قیمت (گالی و گرتلر^۲، ۱۹۹۹) و شاخص‌بندی کامل دستمزدها و قیمت‌های اسمی غیربهمینه شده نسبت به تورم گذشته (کریستیانو^۳ و همکاران، ۲۰۰۵؛ آلتیگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۱) به کمک آمده‌اند. بااین‌حال، هر دو فرض به دلیل نداشتن مبانی اقتصاد خرد مورد انتقاد قرار گرفته‌اند، درحالی‌که شاخص‌بندی نیز به این دلیل مورد سؤال قرار گرفته است که به‌طور خلاف واقع فرض می‌کند که تمام قیمت‌ها و دستمزدهای اسمی در اقتصاد هر ۳ ماه یک بار تغییر می‌کنند (وودفورد^۵، ۲۰۰۷؛ کاگلی و اسبوردون^۶، ۲۰۰۸). این انتقادات، مدل‌های تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE) پولی موجود را به‌عنوان ابزارهای مفید برای انجام تحلیل سیاست، مورد تردید قرار می‌دهد.

رویکرد دوم که «کاگلی و اسبوردون»^۷ (۲۰۰۸) از آن پیروی می‌کنند، یک مدل کینزی جدید کاملاً آینده‌نگر را با یک جزء بلندمدت تورم که فرض می‌شود متغیر با زمان است، ترکیب می‌کند. آن‌ها با

1. El omri & Qanas

2. Gali and Gertler

3. Christiano

4. Altig

5. Woodford

6. Cogley and Sbordone

7. Cogley and Sbordone

مدل سازی روند تورم به عنوان یک فرایند گام تصادفی، نشان می‌دهند که «مدل تعیین قیمت کالوو»^۱ می‌تواند پویایی تورم را بدون شاخص‌بندی قیمت توضیح دهد. با این حال، «وست»^۲ (۲۰۰۷) با زیر سؤال بردن نبود یک منطق اقتصادی صریح در پشت فرض گام تصادفی در روند تورم، استدلال می‌کند که این رویکرد «در دسته‌ای قرار می‌گیرد که به جای منابع ذاتی اینرسی، به منابع برون‌زا متکی است». اخیراً رویکرد متفاوتی که توسط «گاستیگر و گریمود»^۳ (۲۰۲۳) بررسی شده است، از یک مدل کینزی جدید استفاده می‌کند که قانون حرکت کالوو و شوک فشار هزینه را در برمی‌گیرد. در مدل آن‌ها، فرکانس تعیین قیمت وابسته به حالت و متغیر با زمان است، نه ثابت، مانند قانون استاندارد کالوو (کالوو^۴، ۱۹۸۳).

تورم را می‌توان از منظر چندین چهارچوب نظری معتبر توضیح داد که هر یک بخش متفاوتی از پویایی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت آن را تبیین می‌کنند. در نسخه مدرن نظریه مقداری پول همچنان معتبرترین توضیح برای روند بلندمدت تورم است؛ براساس این دیدگاه، در بلندمدت و پس از تعدیل سرعت گردش پول و تولید واقعی، نرخ رشد عرضه پول عامل تعیین‌کننده اصلی نرخ تورم است (والش^۵، ۲۰۲۲؛ فریدمن، ۱۹۶۳). منحنی فیلیپس نیوکینزی چهارچوب غالب برای توضیح نوسانات و شوک‌ها تورم به شمار می‌رود. در این مدل، تورم جاری به‌طور اساسی به انتظارات تورمی آینده و انحراف هزینه حاشیه‌ای تولید از حالت پایدار وابسته است و اصطکاک‌های اسمی مانند قیمت‌گذاری، امکان انتقال شوک‌های واقعی به تورم را فراهم می‌کنند (گالی و گرترلر، ۱۹۹۹؛ گالی و همکاران، ۲۰۲۳).

در مورد رابطه میان حجم پول و تورم و پویایی این رابطه در کشورهای مختلف سال‌های زیادی است که به عنوان یک موضوع پژوهشی مهم در تحقیقات اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. نظریه‌های مختلف اقتصادی وجود ارتباط بین حجم پول موجود در یک اقتصاد را با سطح عمومی قیمت‌ها تأیید کرده‌اند (اکدیگبا و همکاران^۶، ۲۰۲۴). همچنین در مورد وجود ارتباط علی میان حجم پول و تورم در اقتصاد بین مکاتب فکری مختلف اتفاق نظر وجود داشته به‌طوری‌که اقتصاددانان کلاسیک به تغییرات متناسب ناشی از عرضه پول در سطح قیمت‌ها معتقد بودند. کینزی‌ها نیز اعتقاد داشتند که ایجاد مازاد تقاضا در اقتصاد به دلیل افزایش حجم پول، منجر به تورم می‌شود (ایرلند^۷، ۲۰۱۴).

1. Calvo price-setting

2. West

3. Gasteiger and Grimau

4. Calvo

5. Walsh

6. Okedigba

7. Ireland

پول‌گرایان دلیل به وجود آمدن تورم را در بلندمدت، رشد حجم پول بیش از رشد تولید در اقتصاد می‌دانند و نظریه مقداری پول به‌عنوان ایده اصلی در رابطه میان عرضه پول و تورم است. درحالی‌که شواهد بسیاری در مورد نقش اصلی حجم پول در ایجاد تورم وجود دارد اما در سال‌های اخیر مطالعاتی نشان از اثرگذاری عوامل دیگری در کنار عرضه پول بسته به ساختارهای اقتصادی مختلف بر ایجاد تورم دارد (دانلامی و همکاران^۱، ۲۰۲۰؛ ابیپره و اماگبری^۲، ۲۰۲۰؛ ازخوم^۳، ۲۰۱۷). عوامل دیگری مانند انتظارات تورمی، شوک‌های طرف عرضه و پاندمی‌های نظیر کرونا می‌توانند از طریق افزایش دستمزدها، افزایش هزینه‌های تولید و اختلال در تجارت بین‌المللی بر تورم اثر بگذارند (صندوق بین‌المللی پول^۴؛ جیانگ و همکاران^۵، ۲۰۲۴).

یک عامل مهم دیگر در ایجاد تورم‌های بالا و ماندگار، توجه به سیاست‌های مالی و کسری بودجه دولت‌هاست به‌طوری‌که برای تحلیل علت اصلی تورم‌های ماندگار، در صورتی‌که به ریشه مالی ایجاد تورم توجه نشود سیاست‌های پولی انقباضی در کنترل حجم پول و نرخ تورم اثرگذار نخواهند بود. نظریه مالی سطح قیمت به‌ویژه در شرایط بدهی عمومی بالا یا رژیم‌های سیاست‌گذاری «مالی فعال و پولی منفعل» اهمیت یافته است؛ طبق این نظریه، سطح عمومی قیمت‌ها برای برقراری تعادل بین دوره‌ای بودجه دولت تعیین می‌شود و کسری‌های بودجه‌ای که با انتشار پول یا اوراق قرضه تأمین مالی نشوند، مستقیماً به تورم بالاتر منجر می‌شوند. پس در اقتصادهای مواجه با تورم‌های بالا و ماندگار بدون توجه به سیاست مالی و تنها با تکیه بر سیاست پولی نمی‌توان تورم را کنترل کرد (کوهرنس^۶، ۲۰۲۳؛ ژیانگ^۷، ۲۰۲۴؛ سارجنت و والاس^۸، ۱۹۸۱).

برخی داده‌های سری‌های زمانی اقتصادی را می‌توان به دو عامل اصلی روند و نوسانات تقسیم کرد. روند نشان‌دهنده تغییرات بلندمدت و پایدار بوده درحالی‌که نوسانات به تغییرات کوتاهمدت و تصادفی ناشی از شوک‌های اقتصادی یا نوسانات فصلی اشاره دارد (هودریک و پرسکات، ۱۹۹۷). تورم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین داده‌های اقتصاد ایران، دارای نوسانات و روندهای بلندمدت بوده که جداسازی این دو می‌تواند به درک بهتر و تحلیل دقیق‌تر از وضعیت تورم منجر شود. جداسازی اجزای

1. Danlami et al.

2. Ebipre & Amaegberi

3. Ozekhome

4. International Monetary Fund

5. Jiang et al.

6. Cochrane

7. Jiang

8. Sargent & Wallace

تورم در اقتصاد ایران، می‌تواند به پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های دقیق‌تر برای شناخت اثرات سیاست‌های اقتصادی و شوک‌های مختلف کمک کند.

۳. پیشینه پژوهش

در این قسمت به مطالعات داخلی و خارجی انجام شده در مورد عوامل اثرگذار بر تورم در اقتصاد ایران و سایر کشورها پرداخته می‌شود.

«دiaz»^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود با عنوان «عوامل جهانی مؤثر بر تورم؛ نقش اختلال زنجیره تأمین جهانی و شوک‌های قیمت کالا و خدمات» عوامل اثرگذار بر نرخ تورم را تعیین کرده‌اند. دوره مورد بررسی در این پژوهش ۱۹۹۸-۲۰۲۲ و کشورهای مورد مطالعه، آلمان، ژاپن، بریتانیا و آمریکا است. مدل مورد استفاده نیز، خودرگرسیون برداری ساختاری (SVAR) است. یافته‌ها نشان می‌دهد که شوک‌های عرضه از اواسط سال ۲۰۱۰ به محرک اصلی تورم تبدیل شده و پس از بحران مالی شوک ناشی قیمت کالا و خدمات اثر قابل توجهی بر تورم در کشورهای مورد مطالعه بوده است. همچنین عامل اصلی تورم در این کشورها پس از همه‌گیری کرونا، اختلال در زنجیره تأمین جهانی است.

«سومبا و همکاران»^۲ (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای اثر آستانه‌ای نرخ ارز را بر پویایی‌های تورم در کنیا بررسی کرده‌اند. برای این منظور از داده‌های ماهانه طی دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۲۳ و مدل غیرخطی خودرگرسیون آستانه‌ای (TAR) استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که نرخ ارز تنها زمانی بر تورم اثر مثبت و معناداری دارد که از سطح آستانه ماهانه ۰/۵۱ درصد بالاتر رود. همچنین تحلیل قاعده تیلور نشان می‌دهد که نرخ ارز بدون در نظر گرفتن سطح آستانه، رابطه‌ای مثبت و معنادار با نرخ سیاست پولی دارد؛ بنابراین نشان داده می‌شود که رابطه بین نرخ ارز، تورم و نرخ سیاست پولی غیرخطی است.

«سیتیکی و کایا»^۳ (۲۰۲۳) در مطالعه خود ارتباط میان نااطمینانی نرخ ارز و تورم را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای این منظور از داده‌های تابلویی ۱۴۹ کشور برای دوره زمانی ۱۹۸۰-۲۰۱۷ استفاده کرده‌اند. نتیجه حاصل از تخمین مدل نشان از رابطه مثبت و معنادار میان نااطمینانی در نرخ ارز و تورم داشته و همچنین ارتباط بین نااطمینانی نرخ ارز و تورم غیرخطی است. با افزایش نااطمینانی در نرخ ارز اندازه اثرگذاری آن بر تورم کاهش می‌یابد. علاوه بر این، میزان اثرگذاری نااطمینانی نرخ ارز برای

1. Diaz
2. Sumba
3. Citci & Kaya

کشورهای مختلف متفاوت بوده و این اثرگذاری با گذشت زمان کاهش می‌یابد.

مطالعه «کوهلشین»^۱ (۲۰۲۲) با عنوان «یادگیری ماشین در مورد محرک‌های تورم چه می‌گوید» عوامل مهم در ایجاد تورم را با روش‌های یادگیری ماشین مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش پیش‌بینی تورم با استفاده از شش متغیر کلان اقتصادی، برای ۲۰ کشور توسعه‌یافته در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۱ و روش‌های مبتنی بر درختان رگرسیونی انجام گرفته است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل‌های پیش‌بینی دارای عملکرد خوبی بوده و خطای مدل‌های پیش‌بینی نیز با معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) گزارش شده است. نتایج نهایی نشان می‌دهد که از میان متغیرهای وقفه تورم، تورم انتظاری، شکاف تولید، قیمت نفت، شاخص قیمت تولیدکننده و نرخ ارز اسمی مؤثر، متغیر مرتبط با انتظارات تورمی، با اهمیت‌ترین متغیر کلان در ایجاد تورم است.

در مطالعه دیگری که با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین انجام گرفته، «آراس و لیوسا» (۲۰۲۲) یک پیش‌بینی تفسیرپذیر برای تورم در ترکیه ارائه کرده‌اند. این مطالعه از روش‌های مبتنی بر درخت تصمیم استفاده کرده و از متغیرهای کلان اقتصادی برای پیش‌بینی تورم بهره برده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، برای کشور نوظهور ترکیه که با نوسانات و ناطمینانی‌های زیادی مواجه است، روش‌های گروهی مبتنی بر درخت نتایج خوب با دقت مناسبی ارائه می‌کنند. همچنین در این مطالعه متغیر مربوط به نرخ ارز در دوره کوتاه‌مدت، یکی از بااهمیت‌ترین متغیرها بر نوسانات تورم در ترکیه بوده که این نتیجه با انتظارات نویسندگان با توجه به ساختار اقتصاد ترکیه منطبق بوده است.

«انگوبین»^۲ (۲۰۱۵) در مقاله خود اثرات کسری مالی و عرضه پول بر تورم را در کشورهای منتخب آسیایی برای دوره زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۲ بررسی کرده است. برای این منظور از مدل تصحیح خطا مبتنی بر میانگین گروه ادغام شده (PMG) روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) استفاده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، عرضه پول گسترده (M2) در روش PMG تأثیر مثبت و معناداری بر تورم دارد. درحالی‌که کسری بودجه، مخارج دولت و نرخ بهره در هر دو روش اثر معناداری بر تورم دارند.

شهنازی و شفیی (۱۴۰۳) عوامل مؤثر بر تورم‌های بالا و ماندگار در اقتصاد ایران را با استفاده از روش‌های هوشمند یادگیری ماشین مورد بررسی قرار داده‌اند. این مطالعه به بررسی مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تورم‌های پایدار در اقتصاد ایران پرداخته است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های متغیرهای کلان اقتصادی ایران و شاخص‌های بازارهای جهانی، از روش‌های گروهی مبتنی بر درخت شامل گرادیان تقویتی (GB)، جنگل تصادفی (RF) و گرادیان تقویتی شدید (XGB) که ازجمله

1. Kohlscheen

2. Nguyen

پیشرفته‌ترین تکنیک‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شوند بهره گرفته شده است. به‌منظور تفسیرپذیری مدل‌ها و تعیین دقیق سهم هر متغیر، از رویکرد توضیحات افزودنی (SHAP) استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که هر سه مدل GB، RF و XGB با کمترین خطا براساس معیارهای MAE، MAPE و RMSE بهترین عملکرد را دارا هستند. از منظر تفسیر اقتصادی مدل، یافته‌های تحقیق آشکار ساخت که حجم نقدینگی با میانگین سهم ۷۲ درصدی در کلیه مدل‌ها، به‌عنوان بااهمیت‌ترین متغیر در شکل‌گیری تورم‌های بالا و ماندگار در اقتصاد ایران عمل کرده و در رتبه بعدی، نرخ ارز با سهم متوسط ۱۷ درصدی قرار گرفته است.

در مطالعه شاکری و اسکویی (۱۴۰۲) در مورد ماهیت تورم در اقتصاد ایران، به شناسایی ماهیت تورم در اقتصاد ایران پرداخته شده است. این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهیانه در دوره زمانی ۱۳۶۱-۱۳۹۹ انجام شده و نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که نقدینگی در بلندمدت اثری بر نرخ تورم نداشته و این را به‌عنوان تأیید درون‌زایی نقدینگی در بلندمدت برای اقتصاد ایران تفسیر کرده‌اند. همچنین این مطالعه اثرگذاری شوک‌های نرخ ارز بر تورم را برای هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت تأیید کرده است.

در مطالعه‌ای دیگر، تحصیلی (۱۴۰۱) اثرگذاری تکانه نرخ ارز بر تورم را برای اقتصاد ایران با روش خودرگرسیون برداری آستانه‌ای در دوره زمانی ۱۳۶۹-۱۳۹۷ بررسی کرده است. براساس نتایج، اثرگذاری نرخ ارز بر تورم، به مقدار آستانه‌ای تورم وابسته است به‌گونه‌ای که در مقادیر بالاتر از آستانه، اثرگذاری شوک ارزی بر تورم کمتر خواهد بود و گفته شده که سیاست پولی در مقادیر کمتر از آستانه، آزادی عمل کمتری دارد.

طیبی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود اثر عبور نرخ ارز بر تورم در ایران را با استفاده از روش خودرگرسیون برداری (VAR) برای دوره زمانی ۱۳۷-۱۳۹۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. براساس نتایج این مطالعه، تغییرات در نرخ ارز به نوسان در شاخص‌های قیمتی منجر شده و قسمتی از تورم ایجاد شده در اقتصاد ایران برای دوره مورد مطالعه را توضیح می‌دهد.

با توجه به بررسی مطالعات قبلی مهم‌ترین مشارکت علمی و نوآوری این مقاله، ارائه رویکردی روش‌شناختی نوآورانه و نتایج تجربی شفاف برای تفکیک و شناسایی عوامل متمایز مؤثر بر روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت تورم در اقتصاد ایران است. این مطالعه با تجزیه تورم به دو جزء روند و نوسان و سپس استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین درخت‌محور همراه با تکنیک تفسیرپذیری، تلاش می‌کند تا سهم کمی و کیفی هر متغیر را به‌طور جداگانه بر روند و نوسانات تورم

بررسی کند. دستاورد دیگر مقاله در حوزه سیاست‌گذاری است که تمایز تجربی کوتاهمدت و بلندمدت تورم، لزوم اتخاذ سیاست‌گذاری دوگانه و هدفمند را آشکار می‌سازد. علاوه بر این، مقاله ظرفیت بالای روش‌های یادگیری ماشین تفسیرپذیر را در تحلیل پدیده‌های پیچیده اقتصادی در بافت‌های پرنوسان نشان داده و چهارچوبی روش‌شناختی برای مطالعات آتی در اقتصادهای مشابه ارائه می‌دهد.

۴. داده‌های پژوهش

این مطالعه در دو قسمت به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر بر روند بلندمدت تورم و نوسانات کوتاهمدت تورم در اقتصاد ایران انجام می‌شود. بنابراین از شاخص قیمت مصرف‌کننده به‌عنوان شاخص روند بلندمدت تورم و از نوسانات کوتاهمدت شاخص قیمت مصرف‌کننده به‌عنوان متغیر هدف در این مطالعه برای پیش‌بینی مدل‌ها استفاده شده است. برای جداسازی نوسانات از روند فیلتر «هودریک-پرسکات»^۱ استفاده شده است. در فرایند انتخاب متغیرهای اثرگذار بر روند و نوسانات تورم، به دنبال استفاده از عوامل با اهمیت در ایجاد تورم و ماندگاری آن در اقتصاد ایران بوده و مهم‌ترین متغیرهای مربوط به اقتصاد ایران و جهان که بر تورم اثرگذارند مشخص شده‌اند. برای انجام این پژوهش از داده‌های ماهانه متغیرهای به‌کاررفته در مدل در دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۴۰۳ استفاده شده است. منبع جمع‌آوری داده‌های کلان اقتصادی داخلی، سایت «بانک مرکزی»^۲ و «مرکز آمار ایران»^۳ و داده‌های مربوط به بازارهای جهانی نیز سایت «بانک جهانی»^۴ و سایت «شاخص نااطمینانی جهانی»^۵ است. در مورد متغیرهای مورد استفاده در پژوهش، علاوه بر متغیرهای کلان اقتصادی داخلی از متغیرهای مربوط به اقتصاد و نااطمینانی‌های جهانی نیز که می‌توانند به شناخت عوامل اصلی ایجاد تورم کمک کنند، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تورم در اقتصاد ایران استفاده شده است. متغیرهای کلان مربوط به اقتصاد ایران استفاده شده در این پژوهش شامل «نرخ ارز»^۶ بازار آزاد (ER)، «نقدینگی»^۷ (M2)، «نرخ بهره بانکی»^۸ (BIR)، «رشد تولید ناخالص داخلی»^۹ (GDP)، «شاخص

1. Hodrick-Prescott

2. Cbi.ir

3. Amar.org.ir

4. World Bank.org

5. Worlduncertaintyindex.com

6. Exchange Rate

7. Broad Money

8. Bank Interest Rate

9. Gross Domestic Product

قیمت مصرف‌کننده^۱ (CPI) و «نرخ بیکاری»^۲ (UNR) است. همچنین از «شاخص کالا و خدمات جهانی»^۳ (GC) به‌عنوان شاخصی جهت اندازه‌گیری تورم جهانی، «شاخص نااطمینانی جهانی»^۴ (WUI)، «شاخص ریسک سیاسی-جغرافیایی»^۵ (GPR) و «نااطمینانی‌های سیاست‌های اقتصادی»^۶ (EPU)، قیمت نفت جهانی (Oil) و قیمت انس جهانی طلا (Gold) به‌عنوان عوامل خارجی اثرگذار بر تورم استفاده شده است. تمام متغیرهای استفاده شده در این مطالعه به‌صورت داده‌های اصلی که در سایت‌های آماری گزارش شده‌اند به‌کاررفته و برای متغیری از لگاریتم، نرخ رشد و سایر تبدیلات استفاده نشده است. از داده‌های جمع‌آوری شده برای مشخص کردن بااهمیت‌ترین متغیرهای اثرگذار بر روند و نوسانات تورم در اقتصاد ایران براساس داده‌های مربوط به متغیرهای کلان اقتصادی و شاخص‌های جهانی به‌عنوان ویژگی‌های ورودی به مدل استفاده می‌شود. لیست کل متغیرهای مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: لیست ویژگی‌های ورودی مدل شامل متغیرهای کلان اقتصادی و شاخص‌های جهانی

منبع جمع‌آوری اطلاعات	دوره زمانی انتشار داده	ویژگی‌ها
		داده‌های کلان اقتصادی
	ماه‌بانه	نقدینگی (M2)
سایت بانک مرکزی (Cbi.ir)	ماه‌بانه	شاخص قیمت مصرف‌کننده (CPI)
سایت بانک مرکزی (Cbi.ir)	فصلی	تولید ناخالص داخلی (GDP)
سایت مرکز آمار ایران (Amar.org.ir)	ماه‌بانه	نرخ بهره بانکی (BIR)
سایت بانک مرکزی (Cbi.ir)	روزانه	نرخ دلار بازار آزاد (ER)
سایت اطلاع‌رسانی طلا، سکه و ارز (Tgju.org)	ماه‌بانه	نرخ بیکاری (UNR)
سایت بانک مرکزی (Cbi.ir)		شاخص‌های جهانی
	ماه‌بانه	شاخص نااطمینانی جهانی (WUI)
Worlduncertaintyindex.com	ماه‌بانه	شاخص نااطمینانی سیاست‌های اقتصادی (EPU)
Worlduncertaintyindex.com	ماه‌بانه	شاخص ریسک سیاسی - جغرافیایی (GPR)
Worlduncertaintyindex.com	روزانه	قیمت نفت (Oil)
investing.com	روزانه	قیمت انس جهانی طلا (Gold)
World Bank.org	ماه‌بانه	قیمت کالا و خدمات جهانی (GC)

1. Consumer Price Index
2. Unemployment Rate
3. Global Commodity
4. World Uncertainty Index
5. Geopolitical Risk
6. Global Economic Policy Uncertainty

۵. روش‌شناسی پژوهش

۵-۱. مدل‌های یادگیری ماشین

روش‌های پیچیده مربوط به یادگیری ماشین نسبت به روش‌های خطی برای نشان دادن تعاملات غیرخطی بین ویژگی‌ها از عملکرد بهتری برخوردار هستند. در این مطالعه برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی و تفسیر مدل‌ها از روش‌های گروهی مبتنی بر درخت که یکی از انواع مدل‌های یادگیری ماشین هستند استفاده شده است. استفاده از روش‌های بر پایه درخت به دلیل توانایی این روش‌ها در نشان دادن اهمیت ویژگی و تفسیر ویژگی‌های استفاده شده در مدل پیش‌بینی است (کاپارینی و همکاران^۱، ۲۰۲۴).

از روش‌های گروهی در هر دو نوع از مسائل دسته‌بندی و رگرسیون می‌توان استفاده کرد و پس از پیش‌بینی مدل به تفسیر عوامل اثرگذار بر خروجی مدل پرداخت. با بررسی پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌های اقتصادی و مالی مشاهده می‌شود که مدل‌های یادگیری ماشین به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در پیش‌بینی و انتخاب مدل در امور مالی و اقتصادی شناخته می‌شوند. در سال‌های اخیر این مدل‌ها به دلیل در دسترس بودن مجموعه داده‌های گسترده، برای دستیابی به پیش‌بینی‌های با دقت بالا کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند (ماسینی و همکاران^۲، ۲۰۲۱). مدل‌های یادگیری ماشین به چهار دسته تقسیم می‌شوند: یادگیری با نظارت، یادگیری بدون نظارت، یادگیری نیمه‌نظارتی و یادگیری تقویتی. رویکرد مورد استفاده در امور مالی و اقتصادی بیشتر مربوط به یادگیری نظارت شده است که در این مطالعه نیز از روش‌های مربوط به همین مورد استفاده شده است. در یادگیری با نظارت هدف رسیدن به یک پیش‌بینی دقیق برای داده‌های خارج از نمونه است که با تقسیم داده‌ها به دو گروه آموزش و آزمون برای ساخت مدل پیش‌بینی و اعمال مدل بر روی داده‌های آزمون، دقت مدل برای بررسی عملکرد پیش‌بینی خارج از نمونه به دست می‌آید (هوانگ و وِیگراتز^۳، ۲۰۲۲). در یادگیری با نظارت، متغیر هدف به‌عنوان متغیر وابسته در مدل، براساس ویژگی‌های ورودی پیش‌بینی می‌شود.

۵-۲. روش‌های گروهی

استفاده از ترکیب چند الگوریتم برای پیش‌بینی‌ها می‌تواند نتیجه بهتری نسبت به حالتی که از یک الگوریتم به‌تنهایی استفاده می‌شود به دنبال داشته باشد. ترکیب الگوریتم‌ها برای ساختن مدل

1. Caparrini et al.

2. Masini et al.

3. Hoang & Wiegartz

پیش‌بینی با عنوان روش‌های گروهی شناخته می‌شود (هال^۱، ۲۰۲۱). در مدل‌های یادگیری ماشین بسته به نوع الگوریتم پیش‌بینی امکان ایجاد سه نوع خطای «سوگیری»^۲، «پراکندگی»^۳ و «اختلال تصادفی»^۴ وجود دارد که هرکدام به علت خاصی اتفاق می‌افتد. دلیل ایجاد خطای مربوط به سوگیری در نظر گرفتن فروض غیرواقعی بوده که در صورتی که این خطا زیاد باشد الگوریتم‌های یادگیری ماشین موفق به توضیح رابطه بین ویژگی‌ها و نتایج نشده و اصطلاحاً الگوریتم با «کم‌برازش»^۵ مواجه می‌شود. خطای مربوط به پراکندگی به دلیل حساسیت به تغییرات کوچک در داده‌های آموزش به وجود می‌آید که این خطا باعث «بیش‌برازش»^۶ توسط الگوریتم در مجموعه آموزش شده و می‌تواند به خطای زیاد در پیش‌بینی منجر شود. در مورد خطای اختلال تصادفی، علت ایجاد این خطا مقدار پراکندگی در مقادیر مشاهده شده مانند خطای اندازه‌گیری است که چنین خطایی توسط مدل‌ها قابل توضیح نخواهد بود.

در روش‌های گروهی مجموعه‌ای از یادگیرنده‌های ضعیف با الگوریتم‌های یکسان با هم ترکیب شده تا یادگیرنده‌ای قوی ایجاد شود تا این یادگیرنده از تمام یادگیرنده‌های تکی عملکرد بهتری داشته باشد. در روش‌های گروهی خطای مربوط به سوگیری و واریانس کاهش می‌یابد (مارکوس لویز دی پرادو^۷، ۲۰۱۸). روش‌های گروهی در قالب دو نوع «تقویت‌کننده»^۸ گروهی و «دسته‌بندی»^۹ گروهی با ترکیب روش‌های بر پایه درخت، به بهبود عملکرد مدل کمک می‌کنند.

الگوریتم‌های مربوط به دسته‌بندی گروهی و تقویت‌کننده گروهی از انواع یادگیری بانظارت هستند که اولی به کاهش خطای واریانس و دومی به کاهش خطای بایاس در پیش‌بینی کمک می‌کنند و هر دو الگوریتم نیز برای دو مسئله رگرسیون و دسته‌بندی قابلیت استفاده را دارند (برون‌لی^{۱۰}، ۲۰۲۱).

روش‌های استفاده شده در این مطالعه شامل درخت تصمیم (DT) به عنوان روش پایه‌ای، روش جنگل‌های تصادفی (RF) از نوع Bagging و از روش‌های Extremely Gradient Boosting (XGB)، (GB) Gradient Boosting و Hist Gradient Boosting (HGB) از نوع Boosting هستند.

1. Hull
2. Bias
3. Variance
4. Noise
5. Underfit
6. Overfit
7. Marcos Lopez de prado
8. Boosting
9. Bagging
10. Brownlee

۳-۵. روش توضیحات افزودنی (SHAP)

در سال‌های گذشته مدل‌های یادگیری ماشین با وجود ارائه دقت پیش‌بینی بالا به دلیل نداشتن قابلیت تفسیر خروجی مدل، با عنوان مدل‌های جعبه سیاه معرفی شده و مورد انتقاد قرار گرفته‌اند. دلیل این انتقادات این بوده که تحلیل کمی و تفسیرپذیری رابطه بین متغیرهای ورودی و متغیر هدف در مدل، برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران اهمیت زیادی دارد. رویکرد توضیحات افزودنی (SHAP) با تجزیه و تحلیل خروجی مدل‌های یادگیری ماشین، مجموع اثرگذاری هر ویژگی را برای درک اهمیت هر ویژگی در خروجی مدل مشخص می‌کند. برای محاسبه این رویکرد از یک مدل توضیح خطی به‌عنوان تقریبی قابل تفسیر برای مدل‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شود:

$$g(z) = \varphi_0 + \sum_{i=1}^M \varphi_i z_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در اینجا $z \in \{0, 1\}^M$ نشان می‌دهد که یک ویژگی چگونه برای پیش‌بینی متغیر هدف استفاده می‌شود. M تعداد ویژگی‌های ورودی به مدل بوده، φ_i ارزش SHAP هر ویژگی و φ_0 نیز میانگین ارزش مربوط به متغیر خروجی است (لئو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲).

در کنار اهمیت بالای دقت مدل‌های پیش‌بینی، فهم مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر خروجی مدل از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند به تحلیل نتایج حاصل از پیش‌بینی کمک زیادی کند. الگوریتم SHAP یکی از مهم‌ترین ابزارها برای توضیح خروجی مربوط به مدل‌های یادگیری ماشین بوده که اهمیت ویژگی‌های ورودی به مدل را به تفکیک نشان می‌دهد. درواقع این الگوریتم، اهمیت هر ویژگی را در تعامل با سایر ویژگی‌های مدل اندازه‌گیری و گزارش می‌کند (لوندبرگ و لی^۲، ۲۰۱۷). به‌طورکلی، رویکرد SHAP مفید است؛ زیرا اهمیت هر ویژگی را در مدل پیش‌بینی نشان داده و به درک مدل‌های پیچیده و چگونگی تأثیر ویژگی‌های ورودی بر مدل‌های پیش‌بینی کمک می‌کند.

۴-۵. فیلتر هودریک-پرسکات

روش‌های متعددی برای جداسازی روند و نوسانات در سری‌های زمانی وجود دارند که در این مطالعه از فیلتر هودریک-پرسکات برای جداسازی روند تورم از نوسانات کوتاه‌مدت استفاده شده است. این فیلتر یک ابزار آماری برای جداسازی روند و نوسانات در سری‌های زمانی است که برای تحلیل روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت داده‌های اقتصادی بسیار مفید است. این فیلتر با تقسیم سری زمانی

1. Liu et al
2. Lundberg & Lee

به دو قسمت اجزای روند (Trend) که نشان‌دهنده مسیر بلندمدت و پایدار سری زمانی است و نوسانات کوتاه‌مدت (Cycle) که نوسانات موقت و کوتاه‌مدت در اطراف روند را نشان می‌دهد، به تحلیل داده‌های اقتصادی کمک می‌کند (هودریک و پرسکات، ۱۹۹۷).

فیلتر هودریک-پرسکات در مقایسه با سایر روش‌ها دارای مزایایی است: ۱. نیاز به هیچ فرضی در مورد توزیع داده‌ها نداشته بنابراین ابزاری انعطاف‌پذیر برای سری‌های زمانی مختلف است؛ ۲. توانایی مدیریت اختلال تصادفی و نویز موجود در داده‌ها را دارد؛ ۳. سطح هموارسازی براساس ویژگی داده‌ها را تنظیم کرده و حداقل اطلاعات را در مورد شروع و پایان توالی حفظ می‌کند (ظفر^۱ و همکاران، ۲۰۲۲؛ لی^۲ و همکاران، ۲۰۲۱؛ دی‌یونگ و ساکاریا^۳، ۲۰۱۶).

۵-۵. نتایج تجربی

در این قسمت با نشان دادن نمودار هم‌بستگی برای داده‌های ورودی مربوط به متغیرهای پژوهش در شکل (۲)، به بررسی تورم و نوسانات مربوط به آن و همچنین تعیین بااهمیت‌ترین متغیرهای اثرگذار بر روند و نوسانات تورم براساس ویژگی‌های ورودی پرداخته می‌شود.

برای بررسی هم‌بستگی میان ویژگی‌های ورودی مدل، از هم‌بستگی پیرسن بین متغیرها استفاده شده که نقشه هم‌بستگی در شکل (۲) نشان داده می‌شود. ضریب هم‌بستگی پیرسن ارتباط خطی بین دو ویژگی تصادفی را اندازه‌گیری می‌کند. رابطه ریاضی مربوط به ضریب هم‌بستگی پیرسن بین دو ویژگی x و y که برابر با کوواریانس بین دو ویژگی تقسیم بر حاصل ضرب انحراف معیار آن‌ها است در رابطه (۲) نشان داده شده است.

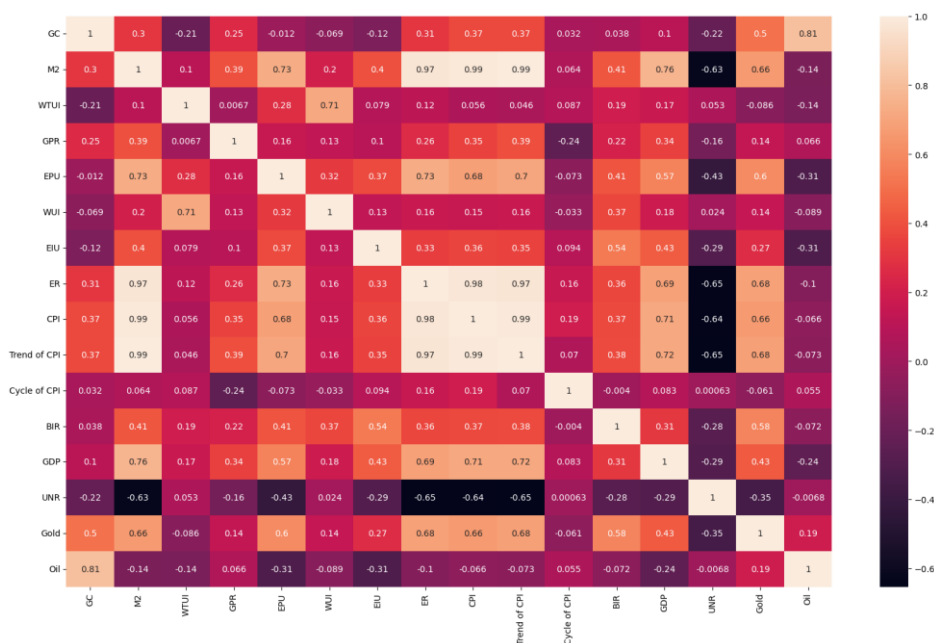
$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه r_{xy} هم‌بستگی بین x و y را نشان می‌دهد که همواره عددی بین -۱ و ۱ است. مقدار x و $\bar{y}$ نیز به ترتیب میانگین ویژگی‌های x و y است.

1. Zafar

2. Lee

3. De Jong and Sakarya



شکل ۱: هم‌بستگی بین ویژگی‌های ورودی مدل

پس از نمایش نمودار هم‌بستگی بین ویژگی‌های ورودی و متغیر هدف، براساس مدل‌های گروهی به پیش‌بینی مدل پرداخته می‌شود. نتایج مربوط به الگوریتم استفاده شده در مدل در جدول (۲) نشان داده شده و عملکرد هر مدل براساس سه معیار خطای MAE، MAPE و RMSE مشخص می‌شود. پس از آن نشان دادن عملکرد پیش‌بینی مدل‌های مختلف به بررسی تفسیرپذیری آن‌ها و تعیین بااهمیت‌ترین ویژگی اثرگذار بر خروجی مدل‌های پیش‌بینی پرداخته شده و نشان داده می‌شود که چه ویژگی‌هایی بیشترین اهمیت را بر روند بلندمدت تورم و نوسانات کوتاه‌مدت دارند. معیارهای خطای پیش‌بینی را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

رابطه (۳)

مقدار واقعی: y_i

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

رابطه (۴)

مقدار پیش‌بینی براساس مدل: $\hat{y}_i$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|$$

رابطه (۵)

تعداد مشاهدات: N

در میان این سه معیار عملکرد خطای مدل پیش‌بینی، RMSE جذر میانگین مربعات خطای مقادیر واقعی از مقادیر پیش‌بینی شده را اندازه‌گیری می‌کند و به‌صورت واحد اصلی متغیر هدف گزارش می‌شود. معیار MAPE اندازه خطا را به‌صورت میانگین نسبی خطا برآورد و درصد خطای پیش‌بینی را

گزارش می‌کند. معیار MAE نیز میانگین مطلق خطای پیش‌بینی را اندازه‌گیری کرده و خطای پیش‌بینی را در واحد اصلی متغیر هدف نشان می‌دهد. هرچه مقدار معیارهای ذکر شده کوچک‌تر باشد به معنای بهتر بودن مدل پیش‌بینی است.

جدول ۲: عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین بر پایه درخت (روش‌های گروهی) براساس معیارهای خطا

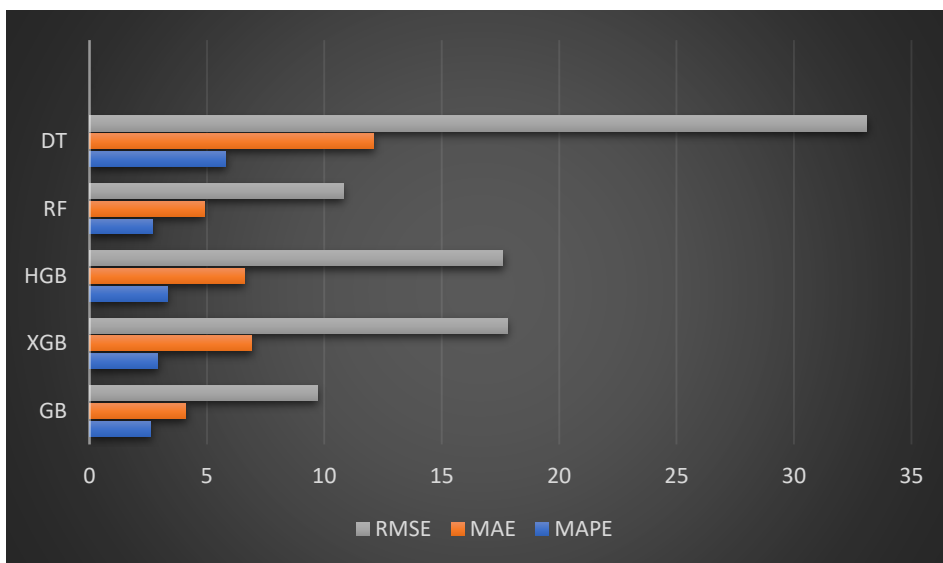
معیارهای خطا	مدل				
	DT ^۱	RF ^۴	HGB ^۳	XGB ^۲	GB ^۵
MAPE (%)	5/8	2/7	3/3	2/9	2/6
MAE	12/1	4/9	6/6	6/9	4/1
RMSE	33/1	10/8	17/6	17/8	9/7

منبع: یافته‌های پژوهش

براساس جدول (۲) که مربوط به روند بلندمدت تورم است، مدل گرادیان تقویتی (GB) براساس هر سه معیار خطا بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد. در این قسمت، ابتدا با تقسیم داده‌ها به دو گروه آموزش و آزمون و آموزش ماشین براساس ۸۰ درصد داده‌ها، برای ۲۰ درصد باقی‌مانده به‌عنوان داده‌های آزمون پیش‌بینی انجام می‌گیرد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، معیار خطای MAPE در مدل GB برای داده‌های آزمون دارای خطایی در حدود ۲/۶ درصد بوده که نشان‌دهنده عملکرد خوب این مدل است. همچنین معیارهای MAE و RMSE نشان از خطای پایین مدل‌های پژوهش از نظر واحد خطا دارند. لازم به توضیح است که اعداد مربوط به روند CPI به‌عنوان شاخص تورم و متغیر هدف مطالعه، دارای میانگین ۱۵۷ و انحراف معیار ۱۶۹ بوده است، بنابراین تمامی مدل‌ها براساس میانگین و انحراف معیار متغیر هدف، دارای خطای پایینی هستند.

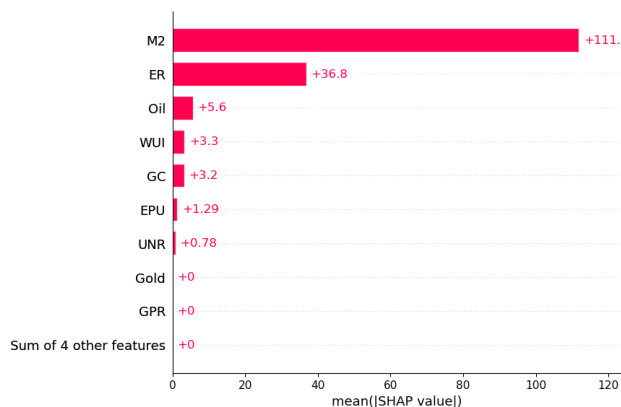
در شکل زیر نمودار خطا براساس هر سه معیار مورد بررسی و برای هر ۵ مدل گروهی که روند تورم را بررسی کرده‌اند آورده شده است که براساس این نمودار عملکرد بهتر مدل‌های گرادیان تقویتی مشخص است.

1. Gradient Boosting
2. Extremely Gradient Boosting
3. Hist Gradient Boosting
4. Random Forest
5. Decision Tree

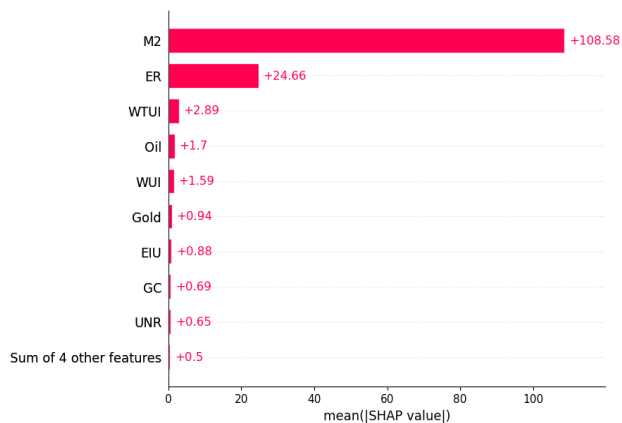


شکل ۲: نمودار جعبه‌ای مربوط به معیارهای خطا برای مدل‌های مورد مطالعه

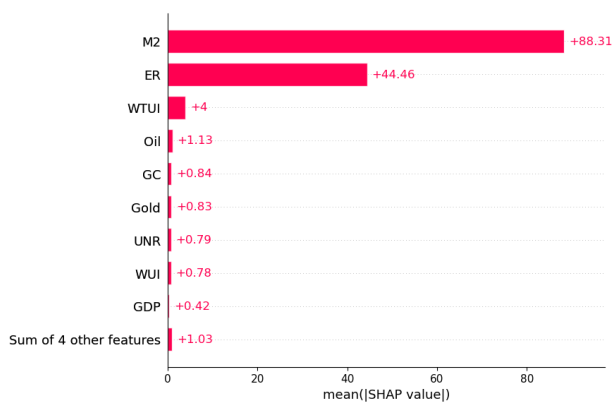
پس از نشان دادن خطای هر مدل پیش‌بینی در جدول بالا، به سراغ اهمیت ویژگی و تفسیرپذیری هر یک از مدل‌ها رفته و با استفاده از رویکرد SHAP با اهمیت‌ترین ویژگی‌های اثرگذار بر روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت تورم در ایران تعیین می‌شود. در این قسمت نمودارهای اهمیت ویژگی مربوط به روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت تورم نشان داده شده و در نمودار نهایی پس از ۵ مدل بررسی شده، نمودار حاصل از میانگین اهمیت ویژگی تمام مدل‌ها به تفکیک تمام متغیرهای ورودی نمایش داده می‌شود.



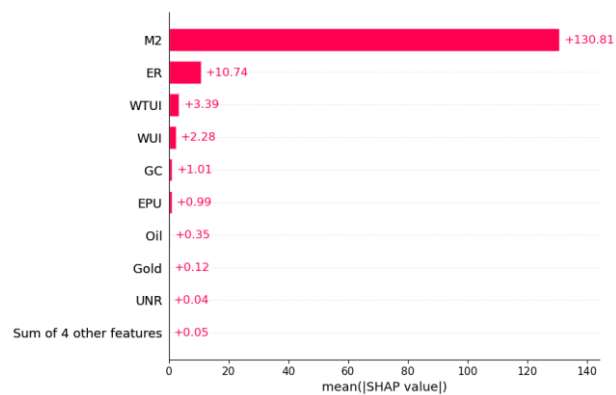
شکل ۳: نمودار اهمیت ویژگی مدل DT



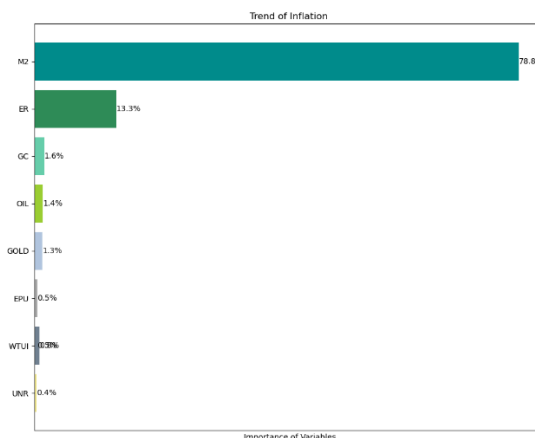
شکل ۴: نمودار اهمیت ویژگی مدل GB



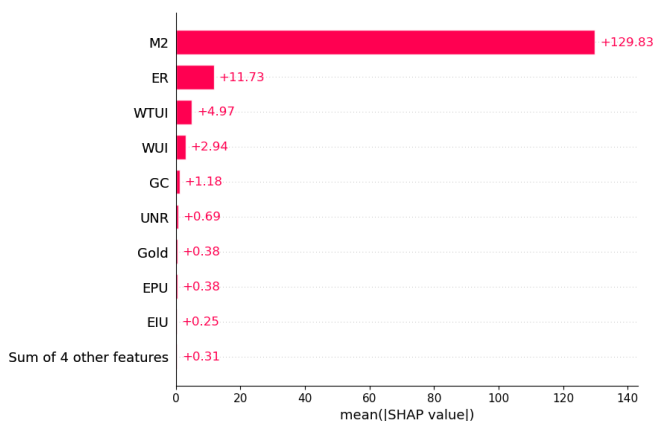
شکل ۵: نمودار اهمیت ویژگی مدل RF



شکل ۶: نمودار اهمیت ویژگی مدل XGB



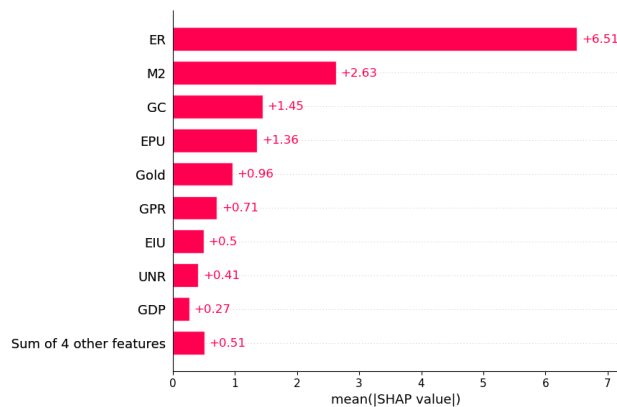
شکل ۷: نمودار اهمیت ویژگی مدل HGB



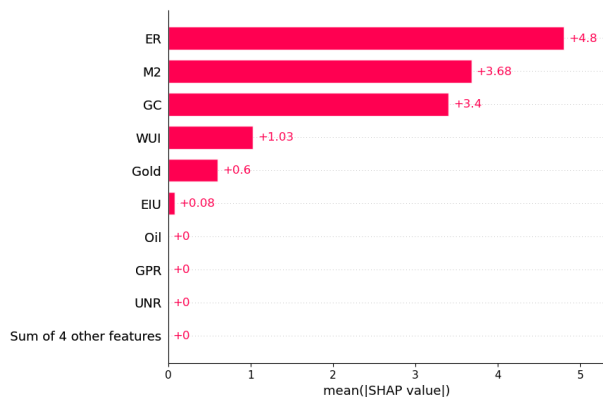
شکل ۸: میانگین اهمیت ویژگی عوامل مؤثر بر روند تورم

همان‌طور که در نمودار اهمیت ویژگی مدل‌ها (شکل ۳ تا ۷) مشاهده می‌شود، حجم نقدینگی با اهمیت‌ترین متغیر اثرگذار بر روند بلندمدت تورم در اقتصاد ایران است. در شکل (۸) میانگین اثرگذاری تمام متغیرها نشان داده شده است که پس از حجم نقدینگی با ۷۸/۸ درصد، نرخ ارز با ۱۳/۳ درصد دومین متغیر اثرگذار بر روند بلندمدت تورم بوده است. براساس این نتایج می‌توان گفت که مهم‌ترین عامل در ایجاد تورم رشد نقدینگی بوده و نرخ ارز بر روند بلندمدت تورم اثر کمی دارد. در قسمت بعد، در شکل‌های (۹ تا ۱۴) نمودار اهمیت ویژگی مدل‌های برای نوسانات تورم نشان داده می‌شود.

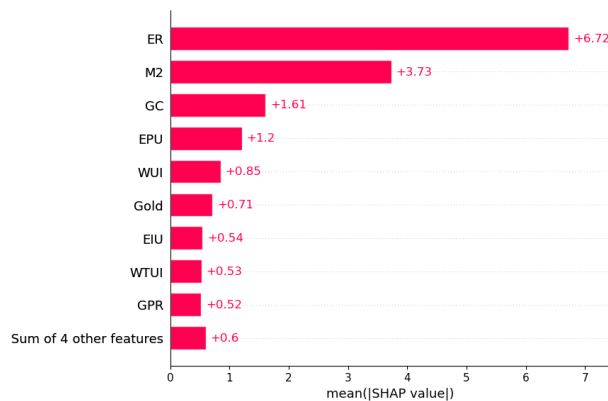
شکل ۹: نمودار اهمیت ویژگی مدل DT

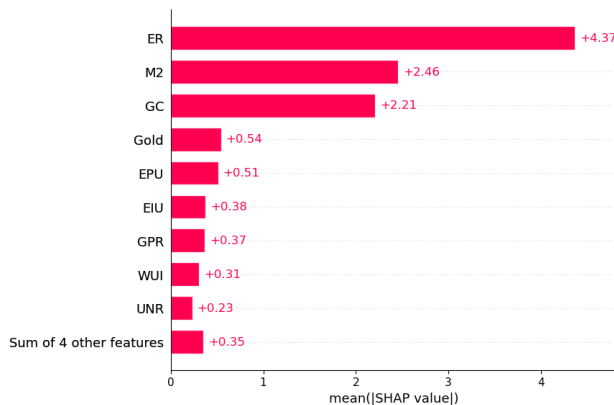


شکل ۱۰: نمودار اهمیت ویژگی مدل GB

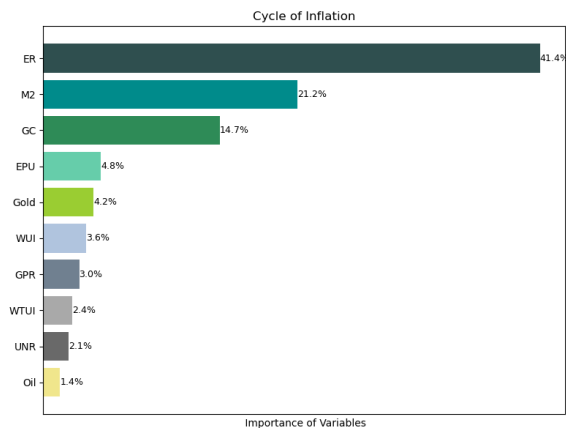


شکل ۱۱: نمودار اهمیت ویژگی مدل RF

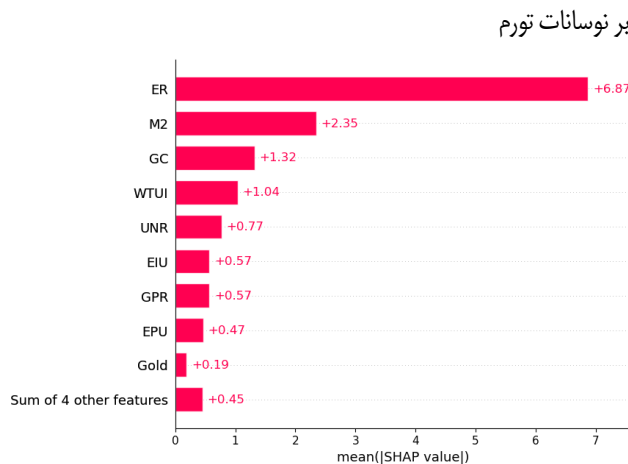




شکل ۱۲: نمودار اهمیت ویژگی مدل XGB



شکل ۱۳: نمودار اهمیت ویژگی مدل HGB



شکل ۱۴: میانگین اهمیت عوامل مؤثر بر نوسانات تورم

بر اساس نمودارهای اهمیت ویژگی مشاهده می‌شود که مؤثرترین متغیر بر نوسانات کوتاه‌مدت تورم در اقتصاد ایران، با نزدیک به ۴۱ درصد اهمیت نرخ ارز است. براین اساس می‌توان گفت که عامل اصلی ایجاد تورم در اقتصاد ایران رشد نقدینگی بوده و نرخ ارز تنها باعث انحراف تورم از روند بلندمدت می‌شود و از این طریق بر نرخ تورم اثر می‌گذارد. براساس این نتایج می‌توان گفت که جهش‌های ارزی عامل اصلی نوسانات کوتاه‌مدت در تورم بوده و آن را از میانگین بلندمدت منحرف می‌کند. همچنین با وجود یک رابطه قوی بین روند بلندمدت رشد نقدینگی و نرخ تورم، رابطه میان انحرافات از روند آن‌ها ضعیف است و این نشان می‌دهد که رشد نقدینگی در ایجاد نوسانات تورم نقش اصلی را ندارد؛ اما بی‌اثر هم نیست و پس از شوک‌های ارزی به همراه قیمت کالا و خدمات جهانی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در قسمت بعدی به یک موضوع مهم برای تحلیل بیشتر نتایج مطالعه پرداخته می‌شود که از ابهامات احتمالی در مورد در نظر گرفتن بیش از حد اثرگذاری نرخ ارز جلوگیری شود. برای این منظور در این قسمت درصد اثرگذاری رشد نقدینگی و نرخ ارز را بر کل تورم در ایران گزارش می‌شود. برای این منظور در جدول (۳) توصیف آماری مربوط به کل، روند و نوسانات CPI و نرخ متوسط تورم نشان داده می‌شود و سپس در جدول (۴) به بررسی نقش دو متغیر رشد نقدینگی و نرخ ارز به تفکیک درصد اثرگذاری بر روند، نوسانات و کل تورم ارائه شده است.

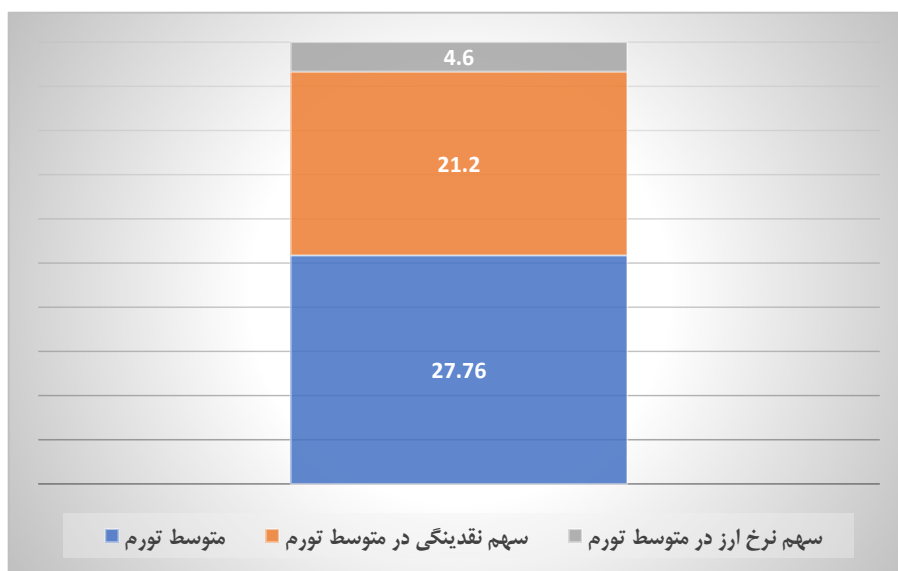
جدول ۳: توصیف آماری روند، نوسانات و کل شاخص قیمت مصرف‌کننده و نرخ تورم

انحراف معیار	کم‌ترین	بیشترین	میانگین	
۱۷۱	۲۴/۴	۷۹۴/۳	۱۵۷/۳۱	کل CPI
۱۶۸	۲۴/۶	۶۹۶/۴	۱۵۷/۳۱	روند CPI
۱۸/۸	۰/۱۳	۱۲۱	۸/۷۷	مطلق نوسانات CPI
۱۴/۱	۸/۶	۵۹/۳	۲۷/۷۶	نرخ تورم (درصد)

جدول ۴: تعیین میزان اهمیت رشد نقدینگی و نرخ ارز به تفکیک روند، نوسانات و کل تورم در اقتصاد ایران

نرخ ارز				رشد نقدینگی			
میزان اهمیت بر متوسط تورم	اهمیت بر نوسانات CPI	اهمیت بر روند CPI	اهمیت بر کل CPI	میزان اهمیت بر متوسط تورم	اهمیت بر نوسانات CPI	اهمیت بر روند CPI	اهمیت بر کل CPI
۴/۶ (۱۶ درصد)	۴۱/۴	۱۳/۳	۱۷/۴	۲۱/۲ (۷۸ درصد)	۲۱/۲	۷۸/۸	۷۶/۱

براساس جدول (۳) و (۴) مشاهده می‌شود که متوسط تورم در بازه زمانی مورد مطالعه در این پژوهش ۲۷/۷۶ درصد بوده است که براساس نتایج حاصل از اهمیت ویژگی به تفکیک روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت، مشاهده می‌شود که در مجموع رشد نقدینگی ۷۸ درصد از متوسط تورم (۲۷/۷۶) را توضیح می‌دهد و نرخ ارز ۱۶ درصد از این مقدار را می‌تواند توضیح دهد. بنابراین باز تأکید می‌شود که اگرچه نقش نرخ ارز در نوسانات کوتاه‌مدت مهم بوده ولی در بلندمدت تنها ۳/۳ درصد از متوسط ۲۵ درصدی تورم را می‌تواند علت باشد درحالی که رشد نقدینگی ۲۱/۲ درصد از متوسط ۲۷ درصدی را توضیح می‌دهد.

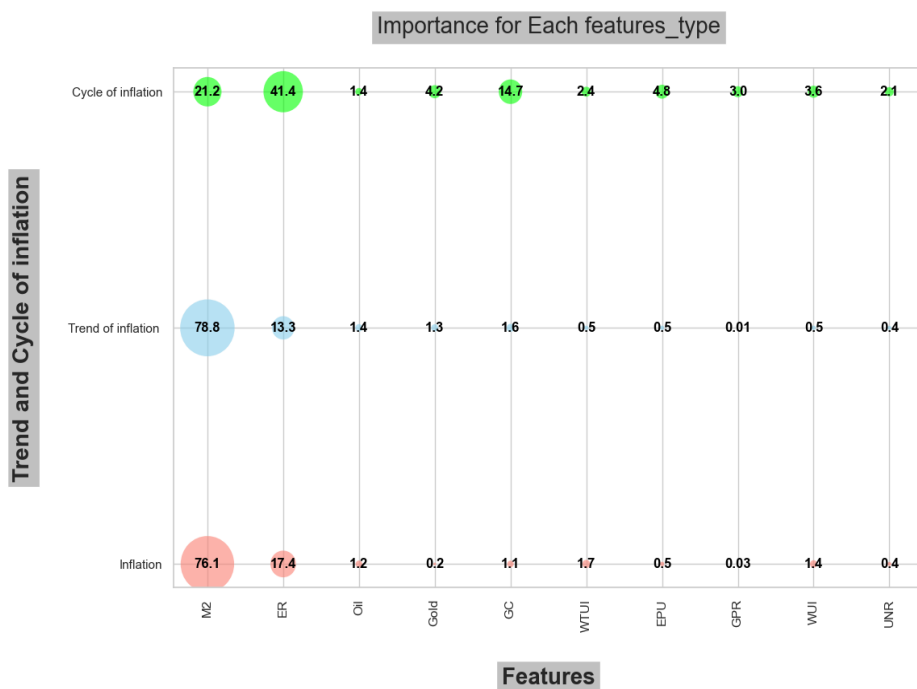


شکل ۱۵: سهم حجم نقدینگی و نرخ ارز از متوسط بلندمدت تورم

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

این مطالعه به دنبال بررسی عوامل اثرگذار بر روند و نوسانات نرخ تورم در اقتصاد ایران و تعیین با اهمیت‌ترین عامل بر تورم با جداسازی روند بلندمدت و نوسانات کوتاه‌مدت نرخ تورم بوده است. از داده‌های کلان اقتصادی و چند مورد از متغیرهای جهانی در بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۴۰۳ برای این هدف استفاده شده است. همچنین در این مطالعه از روش‌های گروهی بر پایه درخت که از مدل‌های یادگیری ماشین هستند استفاده شده است. برای جداسازی روند و نوسانات نیز فیلتر هودریک-پرسکات به کار

گرفته شده است. در شکل ۱۶ جمع‌بندی اهمیت نسبی عوامل مختلف را در توضیح تورم کلی، روند بلندمدت تورم و چرخه‌های کوتاه‌مدت آن ارائه شده است. عوامل مؤثر به دو بخش اصلی تقسیم شده‌اند: اول، تأثیرات بلندمدت که به روند تورم ارتباط دارند و دوم، شوک‌های موقت که چرخه‌های تورمی را تشکیل می‌دهند. برای روند تورم، نقدینگی با سهم ۷۸/۸ درصد مهم‌ترین عامل شناسایی شده است که بیانگر نقش غالب سیاست‌های پولی در تعیین جهت‌گیری بلندمدت تورم است. نرخ ارز نیز با سهم ۱۳/۳ درصدی، دومین عامل مهم محسوب می‌شود، درحالی‌که سایر عوامل تأثیر بسیار کمتری دارند و سهم آن‌ها تقریباً ناچیز است.



شکل ۱۶: جمع‌بندی عوامل مؤثر بر روند و نوسانات تورم

در مقابل، در نوسانات حول روند تورم که به نوسانات کوتاه‌مدت مربوط می‌شود، نرخ ارز با سهم ۴۱/۴ درصد بیشترین تأثیر را دارد که اهمیت شوک‌های ارزی و بی‌ثباتی‌های مرتبط با آن را برجسته می‌کند. نقدینگی در این بخش نیز با سهم ۲۱/۲ درصد در جایگاه دوم قرار دارد و نشان‌دهنده اثرات هم‌زمان بلندمدت و کوتاه‌مدت این متغیر است. همچنین شاخص قیمت جهانی کالا و خدمات با حدود

۱۵ درصد عامل مهم دیگر در نوسانات تورم در ایران است. تأثیرات سایر عوامل مانند قیمت طلا و شاخص‌های دیگر، در چرخه تورم نسبتاً کوچک‌تر بوده و نقش حاشیه‌ای ایفا می‌کنند. این تفاوت در اهمیت نسبی عوامل مختلف، نشان‌دهنده نیاز به اتخاذ سیاست‌های متفاوت برای مدیریت روند و چرخه تورم است.

براساس نتایج ارائه‌شده، روشن است که سیاست‌گذاری تورمی در اقتصاد ایران نیازمند رویکردی دوگانه است که بتواند هم عوامل بنیادین مؤثر بر روند بلندمدت تورم و هم شوک‌های موقت ایجادکننده نوسانات کوتاهمدت را به‌طور هم‌زمان مدیریت کند. یافته‌ها تأکید دارند که رشد نقدینگی، به‌عنوان عامل اصلی تعیین‌کننده روند بلندمدت تورم، باید در مرکز توجه سیاست‌های اقتصادی قرار گیرد؛ بنابراین، کنترل پایدار و هوشمندانه رشد نقدینگی از طریق ابزارهای پولی و مالی، مانند مدیریت نرخ بهره، سیاست‌های بودجه‌ای منضبط و سیاست‌های کنترل ناترازی بانک‌ها، یک پیش‌شرط اساسی برای کاهش فشارهای تورمی بلندمدت است.

در نهایت، ایجاد هماهنگی بین سیاست‌های پولی و مالی برای مدیریت بهینه تورم، یک ضرورت است. سیاست‌گذاران باید رویکردی جامع و هم‌سو اتخاذ کنند که بتواند هم‌زمان اهداف تثبیت اقتصادی کوتاهمدت و رشد پایدار بلندمدت را دنبال کند. ارتقای شفافیت در سیاست‌گذاری، ارتباط نزدیک‌تر با فعالان اقتصادی و استفاده از اطلاعات دقیق و به‌روز، ابزارهایی کلیدی برای موفقیت در این مسیر هستند. پیشنهاد می‌شود که بانک مرکزی و نهادهای مرتبط در ایران برنامه‌ای جامع برای کنترل نقدینگی، مدیریت شوک‌های ارزی و مقاوم‌سازی اقتصاد در برابر شوک‌های خارجی طراحی کنند. این برنامه باید با نظارت و ارزیابی مستمر همراه باشد تا بتواند به‌صورت پویا و براساس تغییرات شرایط اقتصادی داخلی و جهانی تطبیق یابد.

از منظر روش‌شناختی، استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای تحلیل اهمیت متغیرها، رویکردی نوآورانه و مؤثر در تحلیل داده‌های اقتصادی پیچیده و بزرگ مقیاس است. این ابزارها با ارائه بینش دقیق‌تر درباره تعاملات پیچیده میان متغیرها، امکان طراحی سیاست‌های دقیق‌تر و هدفمندتر را فراهم می‌آورند؛ بنابراین، گسترش استفاده از این روش‌ها در تحلیل‌های کلان اقتصادی توصیه می‌شود.

References

- Altig, D., L. J. Christiano, M. Eichenbaum, and J. Lindé. 2011. "Firm-Specific Capital, Nominal Rigidities and the Business Cycle." *Review of Economic Dynamics* 14, no. 2: 225–247. <https://doi.org/10.1016/j.red.2010.01.001>.
- Aras, S., & Lisboa, P. J. (2022). Explainable inflation forecasts by machine learning models. *Expert Systems with Applications*, 207, 117982. DOI: [10.1016/j.eswa.2022.117982](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117982).
- Bassetto, M., & Cui, W. (2018). The fiscal theory of the price level in a world of low interest rates. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 89, 5–22. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.01.006>
- Brownlee, J. (2021). *Ensemble learning algorithms with Python: Make better predictions with bagging, boosting, and stacking*. Machine Learning Mastery.
- Calvo, G. 1983. "Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework." *Journal of Monetary Economics* 12, no. 3: 383–398. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(83\)90060-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(83)90060-0).
- Caparrini, A., Arroyo, J., & Mansilla, J. E. (2024). S&P 500 stock selection using machine learning classifiers: A look into the changing role of factors. *Research in International Business and Finance*, 70, 102336. DOI: [10.1016/j.ribaf.2024.102336](https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102336).
- Christiano, L. J., M. Eichenbaum, and C. Evans. 2005. "Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy." *Journal of Political Economy* 113, no. 1: 1–45. <https://doi.org/10.1086/426038>.
- Çitçi, S. H., & Kaya, H. (2023). Exchange rate uncertainty and the connectedness of inflation. *Borsa Istanbul Review*, 23(3), 723–735. DOI: [10.1016/j.bir.2023.01.009](https://doi.org/10.1016/j.bir.2023.01.009).
- Cochrane, J. H. (2023). Fiscal histories. *Journal of Political Economy*, 131(3), 531–597. <https://doi.org/10.1086/722962>.
- Cogley, T., and A. Sbordone. 2008. "Trend Inflation, Indexation and Inflation Persistence in the New Keynesian Phillips Curve." *American Economic Review* 98, no. 5: 2101–2126. <https://doi.org/10.1257/aer.98.5.2101>.
- De Prado, M. L. (2020). *Machine learning for asset managers*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108883658>
- Díaz, E. M., Cunado, J., & de Gracia, F. P. (2024). Global drivers of inflation: The role of supply chain disruptions and commodity price shocks. *Economic Modelling*, 140, 106860. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2024.106860>.
- El Omari, S. 2018. "A Reevaluation of the Macroeconomic Effects of Positive Trend Inflation." *Economics Letters* 162: 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.11.009>.
- Friedman, M. (1963). Inflation: Causes and consequences. In *Inflation: Its Causes and Cures*. American Enterprise Institute.
- Galí, J., & Gertler, M. (1999). Inflation dynamics: A structural econometric analysis. *Journal of Monetary Economics*, 44(2), 195–222. [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(99\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(99)00023-9).

- Galí, J., Smets, F., & Wouters, R. (2023). Revisiting the New Keynesian Phillips curve. *Econometrica* (forthcoming, cited from NBER WP 2023). <https://doi.org/10.3982/ECTA18654>.
- Garriga, A. C., & Rodriguez, C. M. (2020). More effective than we thought: Central bank independence and inflation in developing countries. *Economic Modelling*, 85, 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.05.009>.
- Gasteiger, E., and A. Grimaud. 2023. "Price Setting Frequency and the Phillips Curve." *European Economic Review* 158: 104535. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2023.104535>.
- Hoang, D., & Wiegatz, K. (2022). Machine learning methods in finance: Recent applications and prospects. *European Financial Management*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4293977>.
- Hodrick, R. J., & Prescott, E. C. (1997). Postwar US business cycles: an empirical investigation. *Journal of Money, credit, and Banking*, 1-16. <https://doi.org/10.2307/2953682>.
- Hull, J. C. (2021). Machine learning in business: An introduction to the world of data science. (No Title).
- Ilyashenko, V. V., & Kuklina, L. N. (2017). Inflation in modern Russia: Theoretical foundations, specific features of manifestation and regional dimension. *Ekonomika Regiona, Economy of Regions*, (2), 434-445. DOI: 10.17059/2017-2-9.
- Ireland, P. (2014, November). The classical theory of inflation and its uses today. In *Shadow Open Market Committee Meeting*. New York: *Economic Policies for the 21st Century*.
- Jiang, Z. (2024). Fiscal and monetary regimes. *Journal of Monetary Economics*, 141, 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2023.10.005>.
- Kohlscheen, E. (2022). What does machine learning say about the drivers of inflation?. *arXiv preprint arXiv:2208.14653*. DOI: 10.48550/arXiv.2208.14653.
- Kyriazis, N., Papadamou, S., Tzeremes, P., & Corbet, S. (2024). Examining spillovers and connectedness among commodities, inflation, and uncertainty: A quantile-VAR framework. *Energy Economics*, 133, 107508. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107508>.
- Law, C. H., & Soon, S. V. (2020). The impact of inflation on income inequality: the role of institutional quality. *Applied Economics Letters*, 27(21), 1735-1738. DOI: 10.1080/13504851.2020.1717425.
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30. DOI: 10.48550/arXiv.1705.07874.
- Masini, R. P., Medeiros, M. C., & Mendes, E. F. (2023). Machine learning advances for time series forecasting. *Journal of economic surveys*, 37(1), 76-111. DOI: 10.1111/joes.12429.
- Nguyen, V. B. (2015). Effects of fiscal deficit and money M2 supply on inflation: Evidence from selected economies of Asia. *Journal of Economics, Finance and*

- Administrative Science*, 20(38), 49-53. DOI: [10.1016/j.jefas.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.jefas.2015.01.002).
- Sargent, T. J., & Wallace, N. (1981). Some unpleasant monetarist arithmetic. *Federal reserve bank of minneapolis quarterly review*, 5(3), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.21034/qv.531>.
- Shahnazi, R., & Shafiei, M. (2024). Analysis of factors affecting high and persistent inflation in Iran's economy: an approach based on machine learning. *Quarterly Journal of Economic Research*, 59(3), 416-443. [in Persian]. DOI: [10.22059/jte.2024.380881.1008930](https://doi.org/10.22059/jte.2024.380881.1008930).
- Shakeri, A., & Bagherpour Oskouie, E. (2023). Nature of the Inflation in Iranian Economy: Wavelet Coherence Approach. *Iranian Journal of Economic Research*, 28(94), 47-79. doi: [10.22054/ijer.2022.63350.1036](https://doi.org/10.22054/ijer.2022.63350.1036). [in persian].
- Sumba, J. O., Nyabuto, K. O., & Mugambi, P. J. (2024). Exchange rate and inflation dynamics in Kenya: Does the threshold level matter?. *Heliyon*, 10(15). DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e35726](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35726).
- Tahsili, H. (2022). The Impact of Exchange Rate Shock on Inflation in Iran's Economy: Application of the Threshold Vector Autoregression Model. *Iranian Journal of Economic Research*, 27(91), 257-285. doi: [10.22054/ijer.2022.56063.912](https://doi.org/10.22054/ijer.2022.56063.912). [in persian]
- Tayebi, S. K., Nasrollahi, K., Yazdani, M., & Malekhosseini, S. H. (2015). Analyzing the Effect of Exchange Rate Pass- Through on Inflation in Iran (1991-2012). *Iranian Journal of Economic Research*, 20(63), 1-36.. [in persian].
- Walsh, C. E. (2022). *Monetary Theory and Policy*, 5th ed. MIT Press.
- Walsh, C. E. 2005. "Labor Market Search, Sticky Prices, and Interest Rate Policies." *Review of Economic Dynamics* 8, no. 4: 829–849. <https://doi.org/10.1016/j.red.2005.03.004>.
- West, K. D. 2007. "Comment on Argia M. Sbordone Inflation Persistence: Alternative Interpretations and Policy Implications." *Journal of Monetary Economics* 54, no. 5: 1340–1343. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2007.06.010>.
- Zafar, U., Kellard, N., & Vinogradov, D. (2022). Multistage optimization filter for trend-based short-term forecasting. *Journal of Forecasting*, 41(2), 345-360. <https://doi.org/10.1002/for.2810>.