



The University of Tehran Press

A Forecast on Natural Gas Consumption in Iran until 2042 Utilizing the ARIMA Model

Mojtaba Rezaeifard^{1*} | Younes Noorollahi²

1. Corresponding Author, Master student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, Collage of Interdisciplinary Sciences and technologies, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: m.rezaeifard@ut.ac.ir

2. Professor, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, Collage of Interdisciplinary Sciences and technologies, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: noorollahi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 20 November 2024
Revised 20 December 2024
Accepted 19 January 2025
Published Online 18 March 2025

Keywords:
Energy Demand,
Energy Forecasting,
ARIMA Method,
Natural Gas Consumption,
Energy Consumption in Iran.

ABSTRACT

The increasing global energy consumption due to fundamental changes in industry and economy has made energy management and demand forecasting essential. Natural gas is not only a major energy source but also one of the foundations of Iran's economy. Energy security and the sustainable supply of natural gas are complex and critical issues closely tied to the country's consumption growth and economic development. Therefore, comprehensive policies for optimal natural gas consumption management and sustainable development are necessary. These policies need to be flexible and effective to ensure a sustainable supply of natural gas. Managing natural gas demand is crucial for the optimal allocation of resources and the prevention of energy waste. To this end, innovative techniques for forecasting future consumption have been introduced, which aid decision-makers in more accurate planning. This research utilizes the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model as an advanced tool for forecasting energy demand. The ARIMA model plays a pivotal role in time series analysis and finds extensive applications in various fields such as economics, energy, and management. The data utilized in this research was sourced from the energy balance sheets of the Ministry of Energy. The findings reveal that natural gas consumption in Iran has significantly increased during the period from 1989 to 2022. Moreover, the forecasts, with a 95% confidence interval, indicate that natural gas consumption is expected to reach 690,313 million cubic meters by 2042. Additionally, the results show that, on average, natural gas consumption in Iran will experience more than a 43% growth.

Cite this article: Rezaeifard, M. & Noorollahi, Y. (2025). A Forecast on Natural Gas Consumption in Iran until 2042 Utilizing the ARIMA Model. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 4 (2), 197-211. DOI: <https://doi.org/10.22059/ses.2025.389042.1116>



© Mojtaba Rezaeifard, Younes Noorollahi **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: [http://doi.org/10.22059/ses.2025.389042.1116](https://doi.org/10.22059/ses.2025.389042.1116)

Introduction

This research endeavors to forecast future energy consumption, with a particular focus on natural gas, in Iran by employing the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) time series method. The primary objective of this study is to identify the challenges confronting the Iranian energy system up to the year 1420. Through this investigation, historical energy consumption trends and patterns are scrutinized, enabling the provision of precise and dependable predictions regarding future natural gas consumption using the ARIMA model. The findings from this research can aid in the development of suitable programs and policies to address forthcoming challenges, considering the anticipated trends. Ultimately, the overarching aim of this study is to enhance knowledge and awareness in the domain of energy forecasting and energy consumption management within the country.

Methodology

In this research, the ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) method has been employed, renowned for its robustness and versatility in time series analysis, adept at handling both stationary and non-stationary data. By integrating autoregressive, integrated, and moving average components, ARIMA offers a comprehensive framework for modeling and forecasting complex time series data. Its broad range of applications underscores its significance and utility in both academic research and practical scenarios. Whether applied to forecasting financial markets or weather conditions, the ARIMA method remains an invaluable tool for statisticians, economists, and data scientists.

Moreover, this study utilizes extensive information sources, notably the energy balance sheets prepared and published by the Ministry of Energy over recent years. These balance sheets provide detailed information on the production, consumption, and various developments within the country's energy sector, serving as a fundamental resource for energy-related analyses.

Results and discussion

Given the significant role of natural gas in Iran's energy mix and the upward trend in its consumption in recent years, this study aims to forecast the future consumption of natural gas in Iran until the year 1420 using available resources and information along with time series methods. According to the predictions made using the ARIMA method, the findings of this research indicate that natural gas consumption in Iran has increased from 18,823.6 million cubic meters in 1990 to 393,218.1 million cubic meters in 2022. Based on the results of this study, this consumption is projected to reach 690,313 million cubic meters by 2042.

These results suggest that natural gas consumption in Iran will increase by an average of over 43%. Such an increase in natural gas consumption could potentially have multiple negative impacts. On one hand, the sustainable supply of natural gas may be challenged, potentially leading to limitations in its availability. On the other hand, this increase in consumption could exert pressure on the national economy while simultaneously affecting the comfort and well-being of the general public.

Therefore, the results of this study can provide policymakers and planners with a more comprehensive perspective, enabling them to make informed, long-term decisions and plans to develop optimal and sustainable strategies for the supply of natural gas. By adopting appropriate policies and implementing effective programs, it is possible to mitigate the risks associated with increased consumption, thereby contributing to sustainable development and the economic welfare of society.



انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در ایران تا سال ۱۴۲۰ با استفاده از مدل ARIMA

مجتبی رضائی فرد^{۱*} | یونس نوراللهی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران. رایانامه: m.rezaeifard@ut.ac.ir

۲. استاد دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران. رایانامه: noorollahi@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸

کلیدواژه:

تقاضای انرژی،

پیش‌بینی انرژی،

روش ARIMA،

مصرف گاز طبیعی،

مصرف انرژی ایران.

روند افزایشی مصرف انرژی جهانی به دلیل تغییرات اساسی در صنعت و اقتصاد، مدیریت انرژی و پیش‌بینی تقاضا را ضروری کرده است. گاز طبیعی نه تنها منبع اصلی انرژی است، بلکه یکی از پایه‌های اقتصاد ایران نیز به شمار می‌رود. امنیت انرژی و تأمین پایدار گاز طبیعی، موضوعی پیچیده و حیاتی است که با رشد مصرف و توسعه اقتصادی کشور ارتباط دارد، بنابراین، سیاست‌های جامعی برای مدیریت بهینه مصرف گاز طبیعی و توسعه پایدار لازم است. این سیاست‌ها باید انعطاف‌پذیر و مؤثر باشند تا به تأمین پایدار گاز طبیعی کمک کنند. مدیریت تقاضای گاز طبیعی برای تخصیص بهینه منابع و جلوگیری از اتلاف انرژی ضروری است. برای این منظور، تکنیک‌های نوینی برای پیش‌بینی مصرف آینده معرفی شده‌اند که به تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی دقیق‌تر کمک می‌کنند. در این پژوهش از مدل میانگین متحرک خودرگرسیون یکپارچه (ARIMA) به عنوان ابزاری پیشرفته برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بهره گرفته شده است. این مدل، نقش کلیدی در تحلیل سری‌های زمانی ایفا می‌کند، در حوزه‌های مختلفی نظیر اقتصاد، انرژی و مدیریت کاربرد فراوان دارد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، از ترازنامه‌های انرژی وزارت نیرو استخراج شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که مصرف گاز طبیعی در ایران طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ به طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین، بر اساس پیش‌بینی‌ها، با بازه اطمینان ۹۵ درصد، انتظار می‌رود که تا سال ۱۴۲۰ مصرف گاز طبیعی به ۶۹۰۰۳۱۳ میلیون مترمکعب برسد. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد مصرف گاز طبیعی به طور میانگین بیش از ۴۳ درصد رشد خواهد داشت.

استناد: رضائی فرد، مجتبی و نوراللهی، یونس (۱۴۰۴). پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در ایران تا سال ۱۴۲۰ با استفاده از مدل ARIMA. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۴ (۲) ۱۹۷-۲۱۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.389042.1116>

© مجتبی رضائی فرد، یونس نوراللهی ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.389042.1116>



مقدمه

در دهه‌های اخیر، مصرف انرژی جهانی به دلیل تغییرات اساسی در صنعت و اقتصاد به طرز شگفت‌انگیزی افزایش یافته است، و این روند افزایشی، مدیریت انرژی و پیش‌بینی‌های دقیق تقاضا را به یک ضرورت حیاتی برای تضمین رشد اقتصادی پایدار و امنیت انرژی تبدیل کرده است [۱ و ۲]. امنیت انرژی نه تنها یک موضوع پیچیده و حساس است، بلکه به‌شدت با رشد مصرف انرژی و اقتصاد انرژی نیز در هم تنیده است. این ارتباط تنگاتنگ به این معناست که هرگونه نوسان در مصرف انرژی یا تغییر در ساختار اقتصادی، می‌تواند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر امنیت انرژی داشته باشد. از این‌رو، برای حفظ امنیت انرژی، نیاز است که سیاست‌های جامع و مستحکمی تدوین شود که نه تنها به مدیریت بهینه مصرف انرژی بپردازد، بلکه به توسعه پایدار و سازگار با محیط زیست اقتصاد نیز توجه کند. این سیاست‌ها باید قادر باشند تا در مواجهه با چالش‌ها و بحران‌های احتمالی، انعطاف‌پذیر و کارآمد عمل کنند و به تأمین مستمر و پایدار انرژی برای جوامع مختلف کمک کنند [۳].

همچنین، انرژی نقش بسیار مهمی در تولیدات صنعتی و کشاورزی دارد و علاوه بر آن بر سلامت عمومی، دسترسی به منابع آب، جمعیت، آموزش، و کیفیت زندگی تأثیرگذار است. به همین دلیل، مدیریت تقاضای انرژی برای تخصیص بهینه منابع موجود ضروری است. در سال‌های اخیر، تکنیک‌های نوینی برای پیش‌بینی دقیق نیازهای انرژی در آینده معرفی شده‌اند. برنامه‌ریزی دقیق انرژی برای توسعه پایدار هر کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. با تعیین و پیش‌بینی شدت مصرف انرژی، کشورها می‌توانند میزان مصرف نسبی خود را ارزیابی کرده و برنامه‌های مؤثری برای بهینه‌سازی استفاده از منابع خود طراحی کنند [۴ و ۵].

کومار دبنث [۶] و همکارانش، بیش از ۴۰۰ مدل برنامه‌ریزی انرژی^۱ (EPMS) را مورد بررسی قرار داده‌اند که سرانجام ۵۰ روش پیش‌بینی انرژی شناسایی کرده‌اند. طبق مطالعه آن‌ها، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) پرکاربردترین روش است که در ۴۰ درصد از EPM‌های بررسی شده استفاده می‌شود. روش‌های رایج دیگر به ترتیب نزولی عبارت‌اند از: ماشین بردار پشتیبان (SVM)، میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA)، منطق فازی (FL)، رگرسیون خطی (LR)، الگوریتم ژنتیک (GA)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، پیش‌بینی خاکستری (GM) و میانگین متحرک خودرگرسیون (ARMA). آن‌ها می‌گویند که روش‌های ترکیبی دقت بهتری نسبت به روش‌های مستقل دارند. همچنین در مجموع، مدل‌های بیشتری برای کشورهای توسعه‌یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه ایجاد شد.

در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، کمبود داده‌ها به عنوان یک چالش جدی در فرایند پیش‌بینی‌ها شناخته می‌شود. علاوه بر این، نبود سیستم‌های استاندارد و دقیق برای جمع‌آوری داده‌ها و همچنین فقدان ارزش‌گذاری مناسب بر داده‌ها، مسائل مضاعفی را در این کشورها ایجاد کرده است. این مشکلات نه تنها توانایی پیش‌بینی‌های دقیق را کاهش می‌دهد، بلکه برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مؤثر را نیز به طور قابل توجهی مختل می‌کند [۷].

بر همین اساس و کمبود داده‌های کافی، براک و همکاران [۸] پس از مروری بر مدل‌های پیش‌بینی انرژی مانند مدل‌های ARIMA، فازی و ANFIS و همچنین مدل‌های گروهی، با استفاده از سه الگوی مختلف با استفاده از روش ARIMA، مصرف سالانه انرژی در ایران را پیش‌بینی کرده است.

هانگ و همکاران [۹] در پژوهش خود از مدل‌های تصادفی برای پیش‌بینی تقاضای انرژی منطقه‌ای به‌ویژه برای کشور تایوان در شرایطی که داده‌های آماری کافی در دسترس نیست، بهره گرفته‌اند. به گفته آن‌ها، مدل میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA) به دلیل نیاز به داده‌های کمتر نسبت به سایر مدل‌ها و همچنین توانایی بالای آن در نمایش دقیق سری‌های زمانی، انتخاب مناسبی برای این نوع پیش‌بینی‌ها است. این مدل می‌تواند با استفاده از حداقل داده‌های موجود، نتایجی قابل اعتماد و دقیق ارائه دهد که در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مرتبط با انرژی منطقه‌ای بسیار مفید واقع می‌شود.

نجفی و همکاران [۱۰] از روش‌های سری زمانی میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA) و سری زمانی میانگین متحرک خودرگرسیون (ARMA) برای ایجاد سناریوهای مختلف استفاده کرده‌اند. آن‌ها روش ARIMA را برای پیش‌بینی قیمت برق استفاده و روش ARMA را برای پیش‌بینی سرعت باد استفاده کرده‌اند. سناریوهای تولید شده سپس برای مدل‌سازی مسئله

در چارچوب برنامه‌ریزی تصادفی اعمال شدند. با استفاده از میانگین و واریانس داده‌های ورودی، روش ARIMA می‌تواند به طور موثر تغییرات پارامترهای آینده را پیش‌بینی کند.

همچنین، با توجه به اینکه گاز طبیعی یکی از منابع اصلی انرژی در لهستان است و حدود ۱۵ درصد از انرژی اولیه مصرفی این کشور را تشکیل می‌دهد، و نیز با در نظر گرفتن اینکه لهستان تنها ۲۰ درصد از تقاضای خود را از منابع داخلی تأمین می‌کند و باقی گاز مورد نیاز خود را از کشورهای روسیه، آلمان، نروژ، جمهوری چک، اوکراین و آسیای مرکزی وارد می‌کند، مدل‌سازی و بررسی وضعیت گاز طبیعی در این کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین منظور، منوسکا و همکاران [۱۱] در مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل ترکیبی، روش ARIMA را با شبکه‌های عصبی مصنوعی LSTM ادغام کرده‌اند تا به تجزیه و تحلیل ذخایر گاز طبیعی در لهستان، تجارت مواد خام و ارائه مدلی برای پیش‌بینی حجم مصرف انرژی این کشور تا سال ۲۰۴۰ بپردازند. نتایج این پژوهش می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و توسعه پایدار در حوزه انرژی لهستان ایفا کند.

همچنین، مصرف گاز طبیعی در سال‌های آینده در ایران و جهان افزایش خواهد داشت [۱۲]. ایران به رغم اینکه دومین کشور دارنده ذخایر گازی متعارف جهان است، اما با رشد فزاینده مصرف و محدودیت در تولید، با مشکل ناترازی تأمین فصلی گاز روبه‌رو شده است. اختلاف مصرف گاز طبیعی در فصل‌های گرم و سرد سال به صورت متوسط ماهانه، به بیش از ۲۲۰ میلیون مترمکعب در روز می‌رسد و در صورت ادامه روند کنونی، کشور با چالش جدی‌تری در تأمین گاز به‌ویژه در فصل‌های سرد سال مواجه خواهد شد. حل مسئله ناترازی از دریچه عرضه و تقاضا و مدیریت مصرف خواهد بود [۱۳].

بر همین‌اساس، این پژوهش با هدف پیش‌بینی آینده مصرف انرژی، به‌ویژه گاز طبیعی، در ایران با استفاده از روش سری زمانی میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA) انجام شده است. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی چالش‌های روبه‌روی سیستم انرژی ایران تا سال ۱۴۲۰ است. در این مطالعه، به تحلیل روندها و الگوهای مصرف انرژی در گذشته پرداخته شده و با بهره‌گیری از مدل ARIMA، پیش‌بینی‌هایی دقیق و قابل اعتماد برای آینده مصرف گاز طبیعی ارائه شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند کمک کند تا با توجه به روندهای پیش‌بینی‌شده، برنامه‌ها و سیاست‌های مناسبی را برای مواجهه با چالش‌های آتی تدوین کنند. به طور کلی، هدف نهایی این پژوهش، ارتقای دانش و آگاهی در زمینه پیش‌بینی‌های انرژی و مدیریت مصرف انرژی در کشور است.

روش‌شناسی و معادلات حاکم

در این پژوهش از مدل میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون^۱ یا همان ARIMA برای پیش‌بینی تقاضای انرژی در سال‌های آینده استفاده شده است.

مدل ARIMA یکی از ابزارهای مهم و پرکاربرد در تحلیل سری‌های زمانی است که به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلفی مانند اقتصاد، انرژی و مدیریت مورد استفاده قرار می‌گیرد. سری‌های زمانی به مجموعه داده‌هایی اطلاق می‌شود که به ترتیب زمان مرتب شده‌اند و تغییرات آن‌ها طی زمان بررسی می‌شود. تحلیل این داده‌ها نیازمند درک الگوها و روندهای موجود در گذشته برای پیش‌بینی آینده است. مدل ARIMA با ترکیب اطلاعات گذشته و بررسی خطاهای قبلی، قادر است پیش‌بینی‌های دقیقی از مقادیر آینده ارائه دهد. استفاده از مدل ARIMA نیازمند دانش و تجربه در انتخاب پارامترهای مناسب برای هر یک از بخش‌های آن است. پارامترهای مدل باید به گونه‌ای انتخاب شوند که بهترین تناسب را با داده‌های موجود داشته و قابلیت پیش‌بینی بالایی داشته باشند. این امر با استفاده از روش‌های آماری و الگوریتم‌های بهینه‌سازی انجام می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های خودکار انتخاب مدل و تحلیل اجزا اشاره کرد. مدل‌های ARIMA با ادغام یکپارچه مؤلفه‌های اتورگرسیو، یکپارچه و میانگین متحرک، در گرفتن و پیش‌بینی الگوهای پیچیده ذاتی داده‌های سری زمانی برتری می‌یابند و آن را به ابزاری ضروری برای متخصصان و محققان تبدیل می‌کنند. در نهایت، مدل ARIMA به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تحلیل و

پیش‌بینی سری‌های زمانی، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های بهتر و دقیق‌تر در زمینه‌های مختلف کمک کند. این مدل به‌خصوص در شرایطی که داده‌ها دارای نوسانات و تغییرات زیادی هستند، می‌تواند به بهبود عملکرد و کارایی سیستم‌ها و فرایندها کمک کند. مدل‌های ARIMA معمولاً به صورت $ARIMA(p, d, q)$ نشان داده می‌شوند که در آن:

- p تعداد مشاهدات تأخیر موجود در مدل (تعداد اصطلاحات تأخیر) است.
- d تعداد دفعاتی است که مشاهدات خام با هم تفاوت دارند (تعداد تفاوت).
- q اندازه پنجره میانگین متحرک (تعداد عبارت میانگین متحرک) است.

که در سری‌های زمانی غیر فصلی^۱ که معمولاً به صورت $ARIMA(p, d, q)$ نشان داده می‌شوند، پارامترهای p, d, q اعداد صحیح غیر منفی هستند.

همچنین، اجزای ARIMA به طور کلی عبارت‌اند از:

بخش خودهمبستگی^۲ (AR): این مؤلفه رابطه بین یک مشاهده و تعداد مشخصی از مشاهدات عقب‌افتاده را نشان می‌دهد. اساساً، نشان می‌دهد مقدار فعلی در یک سری زمانی را می‌توان بر اساس مقادیر قبلی آن پیش‌بینی کرد. بخش AR با پارامتر p مشخص می‌شود که تعداد عبارت‌های عقب‌افتاده را نشان می‌دهد که باید در نظر گرفته شوند.

بخش یکپارچه^۳ (I): مؤلفه یکپارچه‌سازی ARIMA شامل تفاوت داده‌ها برای دستیابی به ایستایی است. یک سری زمانی ثابت دارای میانگین و واریانس ثابت طی زمان است که مدل‌سازی را آسان‌تر می‌کند. پارامتر d تعداد مراحل تفاضلی مورد نیاز برای تبدیل یک سری غیر ثابت به یک سری ثابت را نشان می‌دهد.

قسمت میانگین متحرک^۴ (MA): مؤلفه MA به وابستگی بین یک مشاهده و یک خطای باقی‌مانده از یک مدل میانگین متحرک اعمال‌شده برای مشاهدات عقب‌مانده می‌پردازد. پارامتر q اندازه پنجره میانگین متحرک را مشخص می‌کند و نشان می‌دهد چه تعداد خطای پیش‌بینی تأخیری باید در مدل گنجانده شود.

با توجه به سه بخش بودن مدل ARIMA، معادلات حاکم بر این مدل نیز خود شامل ۳ بخش مختلف است.

- معادلات بخش خودهمبسته

بخش AR مدل مقدار سری زمانی را در زمان t به صورت ترکیبی خطی از مقادیر قبلی آن بیان می‌کند. شکل کلی معادله AR به صورت معادله ۱ است:

$$X_t = c + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \phi_3 X_{t-3} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t \quad (1)$$

که در این رابطه:

- X_t مقدار فعلی سری زمانی است.
- c ثابت است.
- ϕ_i ($i = 1, 2, \dots, p$) پارامترهای مدل هستند.
- X_{t-i} مقادیر تأخیری سری هستند.
- ϵ_t عبارت خطا در زمان است.

- معادلات بخش یکپارچه

بخش یکپارچه شامل تفاوت سری برای ثابت کردن آن است. اگر برای دستیابی به ایستایی نیاز به اختلاف d برای سری باشد، سری متفاوت Y توسط معادله ۲ به دست می‌آید.

$$Y_t = X_t - X_{t-1} \quad (2)$$

که برای اختلافات بزرگ‌تر ($d > 1$) از معادله ۳ به دست می‌آید.

$$Y_t = (1-B)^d X_t \quad (3)$$

که در این معادله B اوپراتور بازگشتی است.

• معادلات بخش میانگین متحرک

بخش MA عبارت خطا را به صورت ترکیبی خطی از اصطلاحات خطای گذشته مدل می‌کند. شکل کلی معادله MA به صورت معادله ۴ است:

$$\epsilon_t = \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \theta_3 \epsilon_{t-3} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + u_t \quad (4)$$

که در این رابطه:

– ϵ_t مقدار خطای فعلی رابطه است.

– θ_i ($i = 1, 2, \dots, p$) پارامترهای مدل هستند.

– ϵ_{t-i} عبارت‌های خطای تأخیری هستند.

– u_t عبارت خطای نویز سفید است.

که ترکیب سه بخش بالا، یک مدل کامل ARIMA (p, d, q) ایجاد می‌شود که معادله آن به صورت معادله ۵ است [۱۴].

$$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + u_t \quad (5)$$

به طور خلاصه، روش ARIMA به عنوان یک ابزار قوی و قابل انطباق در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، قادر به مدیریت داده‌های ثابت و غیر ثابت است. ARIMA با ترکیب مؤلفه‌های خودرگرسیون، یکپارچه و میانگین متحرک، رویکردی جامع برای مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌های سری زمانی پیچیده ارائه می‌کند. کاربردهای آن دامنه‌های مختلفی را در بر می‌گیرد و بر اهمیت و کاربرد آن در تحقیقات دانشگاهی و سناریوهای عملی تأکید دارد. روش ARIMA چه برای پیش‌بینی بازارهای مالی و چه شرایط آب و هوایی، یک دارایی ارزشمند در مجموعه ابزار آماردانان، اقتصاددانان و دانشمندان داده باقی می‌ماند.

همچنین در این پژوهش، منابع اطلاعاتی قابل توجهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله این منابع، ترازنامه‌های انرژی است که طی سال‌های گذشته توسط وزارت نیرو تهیه و منتشر شده‌اند. این ترازنامه‌ها، اطلاعات جامعی در خصوص تولید، مصرف و تحولات مختلف انرژی در کشور ارائه می‌دهند و به عنوان یک منبع اساسی در تحلیل‌های مربوط به انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵]. بر اساس داده‌های این ترازنامه‌ها، سبد انرژی ایران شامل گاز طبیعی، نفت و فرآورده‌های نفتی، برق و منابع تجدیدپذیر است که سهم این حامل‌های انرژی به ترتیب ۵۸، ۳۰، ۱۱ و ۱ درصد است. این ترکیب نشان‌دهنده وابستگی بالای کشور به منابع فسیلی همچون گاز طبیعی و نفت و سهم بسیار کم منابع تجدیدپذیر است که نیاز به توجه بیشتر برای توسعه انرژی‌های پایدار را آشکار می‌سازد. اطلاعات یادشده علاوه بر اهمیت در پژوهش حاضر، در تحلیل‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نیز کاربرد ویژه‌ای دارد و می‌تواند مبنایی برای ارزیابی سیاست‌های انرژی فعلی، تدوین راهبردهای جدید در راستای افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حرکت به سوی یک سیستم انرژی پایدارتر و متنوع‌تر باشد که در زمینه‌هایی همچون امنیت انرژی و توسعه پایدار نقش بسزایی ایفا می‌کند [۱۶].

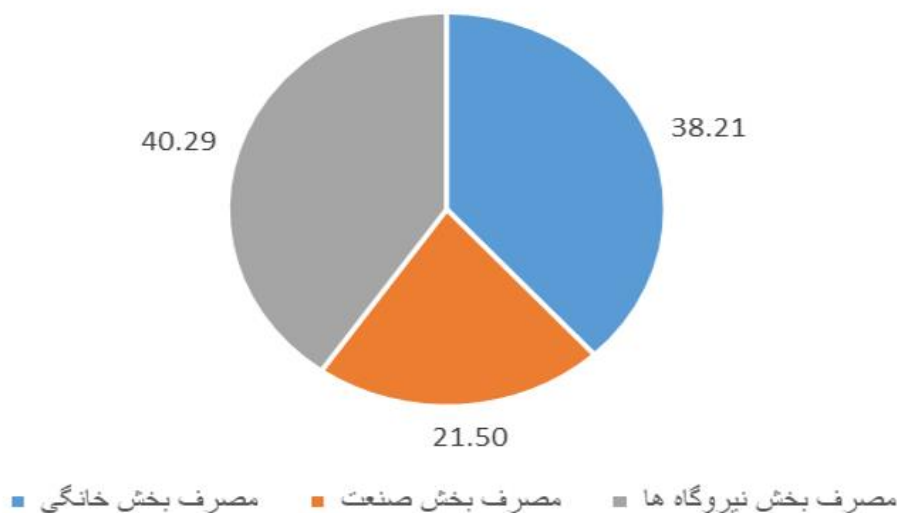
علاوه بر این، گزارش‌های آماری منتشرشده توسط دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی وزارت نیرو نیز در این پژوهش به کار رفته‌اند. این گزارش‌ها، حاوی اطلاعات دقیق و به‌روز در خصوص وضعیت صنعت انرژی کشور هستند و با ارائه شاخص‌های مختلف اقتصادی و فنی، بستر مناسبی برای تحلیل و بررسی فراهم می‌آورند [۱۷]. به این ترتیب، ترکیب این دو منبع اطلاعاتی، این امکان را می‌دهد تا با دسترسی به داده‌های معتبر و جامع، به تحلیل‌های دقیق‌تر و کامل‌تری در زمینه انرژی دست یافت و راهکارهای بهتری برای بهبود وضعیت موجود پیشنهاد کرد.

برای مثال، در جدول ۱، مقادیر استخراج‌شده از منابع معتبر در خصوص مصرف گاز طبیعی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی برای سال ۱۴۰۰ به‌وضوح نمایش داده شده است. این جدول به طور دقیق نشان می‌دهد چگونه مصرف گاز طبیعی در بخش‌های مهمی مانند خانگی، صنعت و نیروگاهی توزیع شده و به چه میزان مصرف شده است.

همچنین، در شکل ۱، با استفاده از گرافیک نحوه توزیع سهم مصرف گاز طبیعی در میان سه بخش اصلی شامل خانگی، صنعتی و نیروگاهی به تصویر کشیده شده است. این نمودار با وضوح و دقت، تناسب مصرف گاز طبیعی را بین این بخش‌ها نمایش می‌دهد و به مخاطب امکان می‌دهد تا تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود را به شکلی شفاف تحلیل کند.

مشاهده این نمودار نشان می‌دهد بخش نیروگاهی، با سهم ۴۰/۲۹ درصدی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده گاز طبیعی در میان این سه بخش است. پس از آن، بخش خانگی با سهم ۳۸/۲۱ درصدی در جایگاه دوم قرار دارد و نشان از استفاده گسترده این منبع انرژی در مصارف روزمره افراد دارد. در نهایت، بخش صنعتی با سهم ۲۱/۵۰ درصدی کمترین میزان مصرف را به خود اختصاص داده که نشان‌دهنده نقش محدودتر این بخش در مصرف گاز طبیعی نسبت به دو بخش دیگر است.

این نمودار نه تنها امکان مقایسه مستقیم را فراهم می‌آورد، بلکه می‌تواند به عنوان ابزاری تحلیلی برای بررسی سیاست‌های انرژی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در هر یک از این بخش‌ها به کار رود. تناسب مصرف بین بخش‌های مختلف می‌تواند سرنخ‌هایی ارزشمند برای شناسایی ضعف‌ها و قوت‌ها و همچنین تعیین اولویت‌های راهبردی در توزیع منابع گاز طبیعی ارائه دهد. این تحلیل به‌ویژه در دوران‌هایی که تقاضا برای انرژی افزایش می‌یابد یا با چالش‌هایی مانند محدودیت منابع مواجه هستیم، بسیار مفید خواهد بود.



شکل ۱. سهم بخش‌های اصلی مصرف‌کننده گاز طبیعی در سال ۱۴۰۰

همچنین در پیش‌بینی‌ها، یکی از نکات بسیار مهم اعتبارسنجی پیش‌بینی‌های انجام‌شده است. این اعتبارسنجی‌ها نشان می‌دهند پیش‌بینی‌ها تا چه حد به واقعیت نزدیک هستند. یکی از روش‌های مورد استفاده در این پژوهش، اعتبارسنجی متقابل^۱ است.

در اعتبارسنجی متقابل، از داده‌ها برای ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده استفاده می‌شود. هدف از این روش، بهبود دقت و پایداری مدل‌ها و افزایش اعتبار پیش‌بینی‌ها است. این فرایند شامل تقسیم داده‌ها به چندین زیرمجموعه است که در هر بار، یکی از این زیرمجموعه‌ها به عنوان داده‌های آزمون و بقیه به عنوان داده‌های آموزشی استفاده می‌شوند. با استفاده از این تکنیک، اطمینان حاصل می‌شود که مدل قادر به تعمیم‌دهی به داده‌های جدید است.

اعتبارسنجی متقابل به‌ویژه برای مجموعه داده‌های کوچک مفید است، زیرا از تمامی داده‌های موجود به بهترین شکل بهره‌برداری می‌کند. علاوه بر این، این روش می‌تواند تغییرات و نوسانات نتایج پیش‌بینی را که ناشی از استخراج تصادفی داده‌ها است، کاهش داده و اعتبار پیش‌بینی‌ها را افزایش دهد. مزیت عمده این روش در افزایش اعتماد به پیش‌بینی‌های مدل است. با

1. Cross validation

استفاده از اعتبارسنجی متقابل، می‌توان اطمینان حاصل کرد که نتایج به‌دست‌آمده از مدل تنها به دلیل ویژگی‌های خاص داده‌های آزمایش نیست، بلکه نتیجه قابلیت‌های واقعی مدل در پیش‌بینی داده‌های نادیده گرفته شده است. در نتیجه، زمانی که مدل در محیط‌های جدید و با داده‌های جدید استفاده می‌شود، احتمالاً نتایج قابل اعتمادتری خواهد داشت.

نتایج

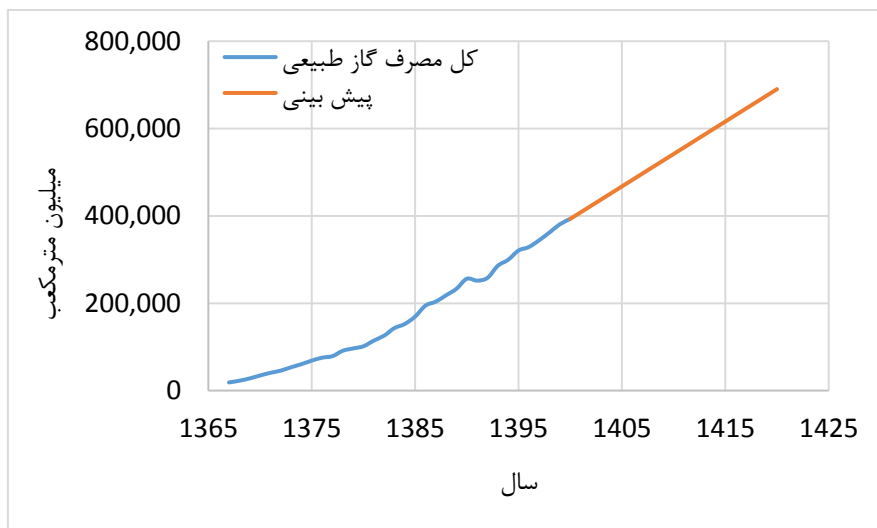
همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، در این پژوهش از روش میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA) برای پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی تا سال ۱۴۲۰ استفاده شده است. این روش آماری پیچیده، که به طور گسترده در تحلیل سری‌های زمانی استفاده می‌شود، قادر است با دقت بالایی روند مصرف گاز طبیعی را در آینده پیش‌بینی کند.

مطابق توضیحات ارائه‌شده در بخش پیشین، تعیین و تنظیم پارامترهای مختلف برای بهره‌گیری از این روش ضروری است. در این پژوهش، از قابلیت‌های هوش مصنوعی نرم‌افزار Minitab Statistical برای انتخاب بهینه این پارامترها بهره گرفته شده است. روند کار به این صورت است که با تحلیل دقیق داده‌های موجود و بهره‌گیری از راهنمایی‌های هوشمند ارائه‌شده توسط خود نرم‌افزار، مقدار بهینه پارامتر d برابر با ۲ انتخاب شده است. همچنین برای تعیین مقادیر بهینه سایر پارامترها یعنی p و q ، نرم‌افزار مقادیر عددی بین بازه ۰ تا ۲ را تحلیل کرده و بهترین مقادیر ممکن را بر اساس الگوریتم‌های هوش مصنوعی خود انتخاب می‌کند. این فرایند نه تنها دقت و صحت نتایج پژوهش را افزایش می‌دهد، بلکه روند تعیین پارامترها را نیز با کاهش دخالت عوامل انسانی و خطای احتمالی آن‌ها، بهینه‌تر و کارآمدتر می‌سازد. به کارگیری این رویکرد هوشمند در تنظیم پارامترها، گامی نوآورانه در جهت ارتقای روش‌های آماری و استفاده بهینه از توانمندی‌های هوش مصنوعی در پژوهش‌های علمی به شمار می‌آید. همچنین تمام پیش‌بینی‌های انجام‌شده در این تحلیل، با در نظر گرفتن بازه اطمینان ۹۵ درصد انجام شده‌اند. این بازه اطمینان نشان‌دهنده سطح بالای دقت و اطمینان پیش‌بینی‌ها است که بر اساس تحلیل‌های علمی و آماری دقیق محاسبه شده است.

پیش‌بینی‌هایی که در ادامه نتایج و نمودارهای آن ارائه خواهد شد، اهمیت ویژه‌ای در بررسی آینده انرژی کشور دارد. این پیش‌بینی‌ها نه تنها به تحلیل دقیق و قابل اعتماد مصرف گاز طبیعی کمک می‌کنند، بلکه اطلاعات ارزشمندی برای برنامه‌ریزی و تأمین منابع مورد نیاز در اختیار قرار می‌دهند. از این‌رو، این پیش‌بینی‌ها می‌توانند مبنای مناسبی برای تدوین سیاست‌ها و استراتژی‌های کلان در بخش انرژی و گاز طبیعی کشور باشند.

علاوه بر این، این پیش‌بینی‌ها به عنوان ابزار مؤثری برای ارائه سناریوهای مختلف برای بهبود سیستم انرژی و گاز طبیعی ایران محسوب می‌شوند. با استفاده از این سناریوها، می‌توان راهکارهای نوآورانه و مؤثری را برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه داد. در تحلیل پیش‌بینی گاز طبیعی، از کلیدی‌ترین اجزاء، پیش‌بینی مجموع مصرف گاز طبیعی در تمامی بخش‌های مصرف نهایی و انرژی است. اهمیت این مسئله به برنامه‌ریزی و تعیین اهداف بلندمدت برای تأمین پایدار و اقتصادی گاز طبیعی سیستم برمی‌گردد. این پیش‌بینی‌ها به عنوان ابزارهای کلیدی برای سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان در جهت ارزیابی نیازها و تخصیص منابع بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، پیش‌بینی‌های دقیق و علمی مصرف گاز طبیعی نقش حیاتی در ایجاد توازن میان عرضه و تقاضا، کاهش هدررفت منابع، و بهبود کارایی انرژی دارد و به همین دلیل، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در شکل ۲، ابتدا نمودار کل مصرف گاز طبیعی در ایران طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ به تصویر کشیده شده است. سپس، پیش‌بینی میزان مصرف گاز طبیعی تا سال ۱۴۲۰ ترسیم شده است. مصرف گاز طبیعی در ایران از ۱۸۸۲۳/۶ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۶۸ به ۳۹۳۲۱۸/۱ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۰۰ رسیده است. بر اساس نتایج این پژوهش، این مقدار مصرف در سال ۱۴۲۰ به ۶۹۰۳۱۳ میلیون متر مکعب خواهد رسید.

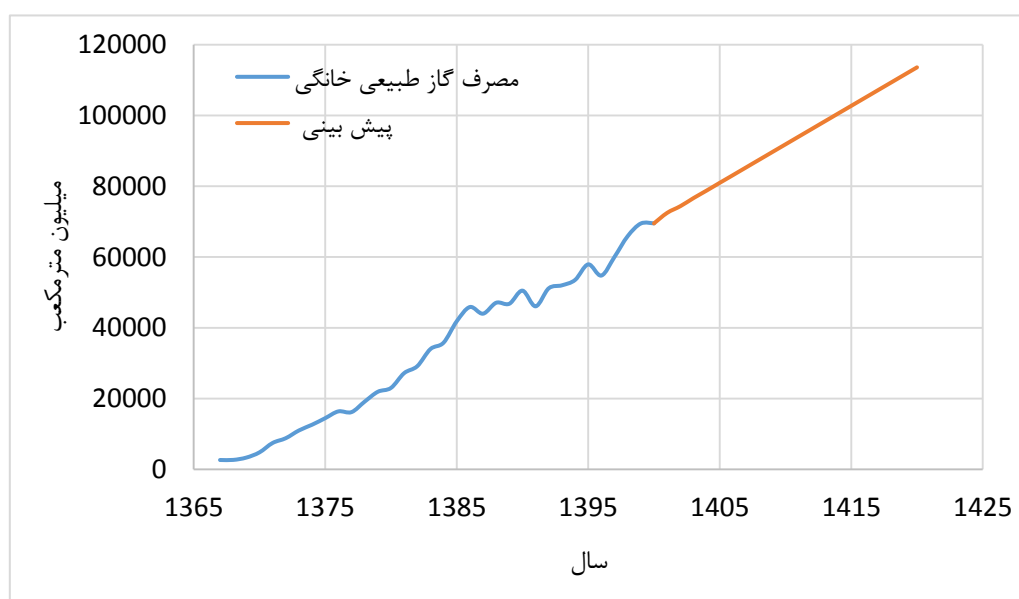


شکل ۲. نمودار کل مصرف گاز طبیعی در ایران

علاوه بر بررسی کل مصرف گاز طبیعی، بررسی مصرف این حامل انرژی در بخش‌های مهم همچون خانگی و عمومی و تجاری، بخش صنعت و البته بخش نیروگاهی حایز اهمیت است.

با توجه به اینکه بیش از ۸۰ درصد از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های خانگی، عمومی و تجاری ایران از طریق گاز طبیعی تأمین می‌شود، تأمین پایدار این حامل انرژی به عنوان یک عامل کلیدی در زندگی روزمره، بهبود کیفیت زندگی و ارتقای سطح رفاه عمومی را به همراه دارد. بنابراین پیش‌بینی دقیق و علمی مصرف این منبع انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پیش‌بینی‌ها نه تنها برای برنامه‌ریزی بهینه و تأمین مستمر گاز طبیعی حیاتی هستند، بلکه نقش اساسی در افزایش آسایش و رفاه عمومی هموطنان ایفا می‌کنند.

در شکل ۳، ابتدا نمودار مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی، عمومی و تجاری در ایران طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ به تصویر کشیده شده است. سپس، پیش‌بینی میزان مصرف گاز طبیعی تا سال ۱۴۲۰ ترسیم شده است. مصرف گاز طبیعی در این بخش از ۲۶۴۸/۷ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۶۸ به ۶۹۴۹۷/۳ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۰۰ رسیده است. بر اساس نتایج این پژوهش، این مقدار مصرف در سال ۱۴۲۰ به ۱۱۳۵۸۴ میلیون متر مکعب خواهد رسید.



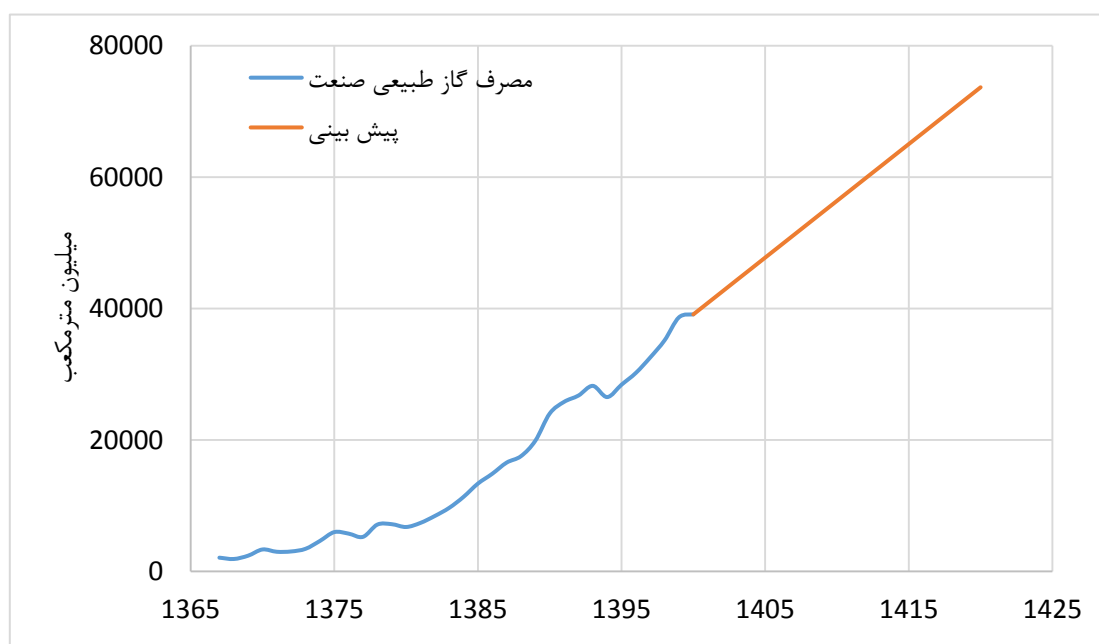
شکل ۳. نمودار مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی در ایران

بخش صنعت، به عنوان قلب تپنده اقتصادی کشور و یکی از مصرف‌کنندگان مهم گاز طبیعی، نقش حیاتی در تولید درآمد ناخالص داخلی^۱ ایفا می‌کند. اهمیت پیش‌بینی دقیق مصرف گاز طبیعی در این بخش به دلیل تأثیر مستقیم آن بر پایداری اقتصادی و رشد و توسعه کشور، بسیار برجسته است.

پیش‌بینی میزان مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت از جنبه‌های مختلفی قابل بررسی است. این پیش‌بینی‌ها کمک می‌کند تا بتوان استراتژی‌های مؤثرتری برای بهره‌برداری از منابع انرژی تدوین کرد تا از هدررفت منابع جلوگیری شود. علاوه بر این، با داشتن اطلاعات دقیق در مورد مصرف گاز طبیعی، صنایع می‌توانند برنامه‌ریزی بهتری برای تولید و توسعه محصولات خود داشته باشند و از پایداری و کارایی بیشتری برخوردار شوند.

همچنین، تأمین پایدار گاز طبیعی برای بخش صنعت باعث افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود که در نهایت به افزایش رقابت‌پذیری در بازارهای داخلی و بین‌المللی منجر خواهد شد. از سوی دیگر، پیش‌بینی صحیح مصرف گاز طبیعی می‌تواند به کاهش تأثیرات منفی زیست‌محیطی ناشی از مصرف نادرست و ناکارآمد انرژی کمک کند.

در شکل ۴، ابتدا نمودار مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت در ایران طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ به تصویر کشیده شده است. سپس، پیش‌بینی میزان مصرف گاز طبیعی تا سال ۱۴۲۰ ترسیم شده است. مصرف گاز طبیعی در این بخش از ۲۰۷۷/۳ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۶۸ به ۳۹۱۰۶/۵ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۰۰ رسیده است. بر اساس نتایج این پژوهش، این مقدار مصرف در سال ۱۴۲۰ به ۷۳۶۷۹/۶ میلیون متر مکعب خواهد رسید.



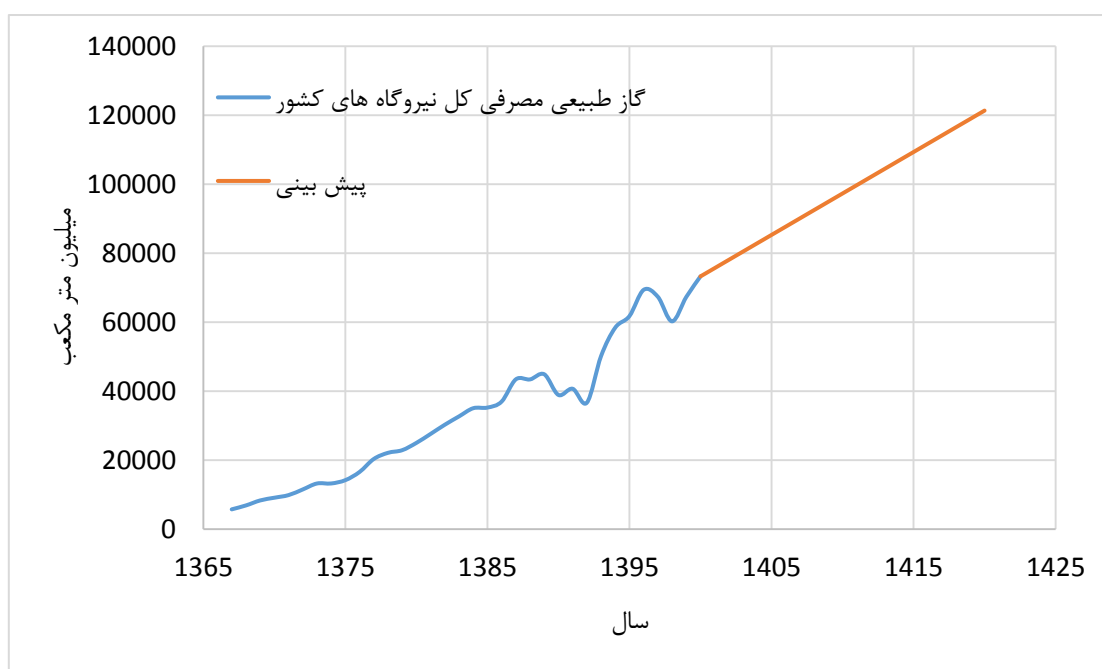
شکل ۴. نمودار مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت در ایران

بخش نیروگاه‌ها نیز یکی از مصرف‌کنندگان مهم گاز طبیعی در ایران محسوب می‌شود. با توجه به اینکه نیروگاه‌ها تأمین‌کننده اصلی برق هستند و گاز طبیعی به عنوان خوراک اصلی و منبع تأمین انرژی این نیروگاه‌ها شناخته می‌شود، اهمیت ویژه‌ای دارد. بدون شک، برق نقش حیاتی در زندگی روزمره ما ایفا می‌کند و هرگونه اختلال در تأمین برق می‌تواند تأثیرات منفی گسترده‌ای بر جامعه و اقتصاد داشته باشد.

مطالعه و بررسی میزان مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌ها از چند جهت مهم است. نخست، این مطالعات به ما امکان می‌دهند تا برنامه‌ریزی دقیقی برای تأمین پایدار و بهینه گاز طبیعی داشته باشیم. همچنین، می‌توان با استفاده از داده‌های دقیق، استراتژی‌های مؤثری برای کاهش هدررفت انرژی و افزایش بهره‌وری تدوین کرد.

علاوه بر این، تحلیل دقیق مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌ها می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید برق منجر شود که در نهایت به سود اقتصاد کشور است. همچنین، با پیش‌بینی صحیح مصرف گاز طبیعی، می‌توان تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف غیر بهینه انرژی را کاهش داد و به حفاظت از محیط زیست کمک کرد.

در شکل ۵، ابتدا نمودار مصرف گاز طبیعی در بخش نیروگاهی در ایران طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۰ به تصویر کشیده شده است. سپس، پیش‌بینی میزان مصرف گاز طبیعی تا سال ۱۴۲۰ ترسیم شده است. مصرف گاز طبیعی در این بخش از ۵۷۳۰/۰ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۶۸ به ۷۳۲۷۷/۸ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۰۰ رسیده است. درخور یادآوری است که ظرفیت نیروگاه‌ها نیز در این ۳۲ سال از ۹۴۷۷/۰ مگاوات به ۶۰۸۳۰/۸ مگاوات رسیده است. بر اساس نتایج پیش‌بینی‌های این مطالعه، میزان مصرف گاز طبیعی در نیروگاه با شرط آنکه ظرفیت نیروگاه‌ها نیز به ۸۶۱۰۳/۵ مگاوات برسد، در سال ۱۴۲۰ به ۱۲۱۳۵۶ میلیون متر مکعب خواهد رسید.



شکل ۵. نمودار مصرف گاز طبیعی در بخش نیروگاهی در ایران

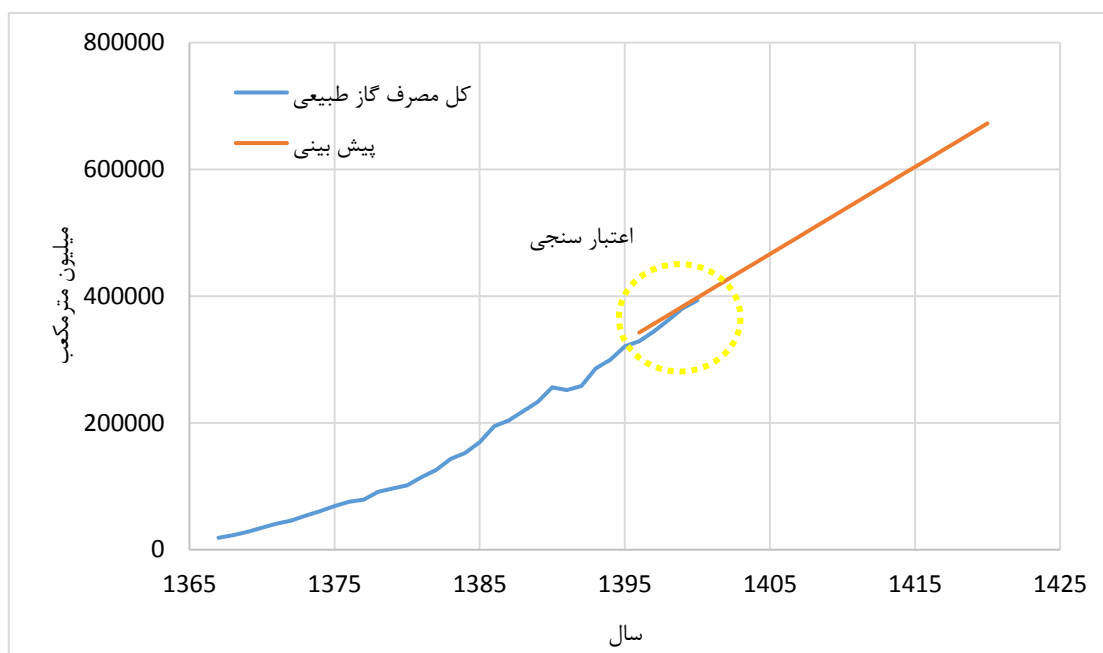
در جدول ۱، نتایج پیش‌بینی میزان تقاضای گاز طبیعی در سال ۱۴۲۰ به طور خلاصه ارائه شده است. این جدول شامل داده‌های مهمی است که تغییرات و روندهای مصرف گاز طبیعی در آینده را نشان می‌دهد. علاوه بر این، در این جدول میزان رشد و افزایش تقاضای گاز طبیعی در ایران در سال ۱۴۲۰ نسبت به سال ۱۴۰۰ به‌وضوح نمایش داده شده است.

جدول ۱. خلاصه داده‌های مصرف گاز طبیعی و نتایج پیش‌بینی

میلیون متر مکعب	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۲۰	درصد افزایش
کل مصرف (همه بخش‌ها)	۳۹۳,۲۱۸	۶۹۰,۳۱۳	۴۳/۰۴
مصرف بخش خانگی	۶۹,۴۹۷	۱۱۳,۵۸۴	۳۸/۸۱
مصرف بخش صنعت	۳۹,۱۰۶	۷۳,۶۷۹	۴۶/۹۲
مصرف بخش نیروگاه‌ها	۷۳,۲۷۷	۱۲۱,۳۵۶	۳۹/۶۲

در تمام پیش‌بینی‌هایی که با استفاده از روش ARIMA و با هوش مصنوعی نرم‌افزار Minitab Statistical انجام شده است، مقدار p-value که شاخصی کلیدی برای ارزیابی میزان صحت و دقت انتخاب پارامترها است، کمتر از ۰/۰۵ محاسبه شده است. این مقدار نشان‌دهنده صحت، دقت و عملکرد قابل اعتماد مدل در تحلیل و پیش‌بینی داده‌ها است.

علاوه بر این، در فرایند اعتبارسنجی نتایج، از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شده که یکی از روش‌های استاندارد برای ارزیابی کیفیت مدل‌های پیش‌بینی است. در شکل ۶، نموداری که پیش‌بینی‌ها را برای مصرف کل گاز طبیعی ایران نشان می‌دهد، ارائه شده است. میزان خطای پیش‌بینی‌ها کمتر از ۵ درصد بوده که این امر بیانگر عملکرد دقیق و قابل اطمینان مدل در تحلیل داده‌های مربوط به مصرف انرژی است. این تحلیل‌ها و نتایج حاکی از کاربرد موفقیت‌آمیز روش ARIMA همراه با هوش مصنوعی در ارزیابی داده‌های مصرف انرژی در مقیاس کلان است. این یافته‌ها می‌توانند مبنای علمی مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت انرژی و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در زمینه مصرف گاز طبیعی ارائه دهند.



شکل ۶. نمودار اعتبارسنجی متقابل پیش‌بینی کل مصرف گاز طبیعی

نتیجه‌گیری

با توجه به جایگاه برجسته گاز طبیعی در سبد انرژی ایران و روند افزایشی مصرف این حامل انرژی در سال‌های اخیر، این پژوهش با تکیه بر منابع و اطلاعات موجود و بهره‌گیری از روش‌های سری زمانی به پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در ایران تا سال ۱۴۲۰ پرداخته است. نتایج حاصل از این تحقیق، که با استفاده از روش ARIMA و با جزئیات شرح داده شده در بخش‌های پیشین (جدول ۱-۱) به دست آمده، نشان می‌دهد با اطمینان ۹۵ درصد، مصرف گاز طبیعی در ایران به طور میانگین بیش از ۴۳ درصد افزایش خواهد یافت. چنین رشدی در مصرف گاز طبیعی می‌تواند پیامدهای منفی متعددی به همراه داشته باشد. از یک طرف، تأمین پایدار این حامل انرژی با چالش‌هایی مواجه خواهد شد که ممکن است به محدودیت‌هایی در عرضه منجر شود. از طرف دیگر، افزایش مصرف می‌تواند فشارهای اقتصادی بر کشور وارد کند و در عین حال بر رفاه عمومی و آسایش جامعه تأثیر منفی بگذارد.

بر همین اساس، نتایج این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کمک کند تا با آگاهی از پیش‌بینی‌های ارائه شده، تصمیمات استراتژیک و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت خود را برای تدوین راهبردهای پایدار و بهینه در تأمین گاز طبیعی اتخاذ کنند. از این طریق، می‌توان ضمن کاهش مخاطرات ناشی از افزایش مصرف، به تحقق توسعه پایدار و ارتقای رفاه اقتصادی جامعه نیز دست یافت.

پیشنهاد می‌شود در ادامه، با توجه به پیش‌بینی‌های ارائه‌شده، پژوهش‌های جامع‌تری در چندین زمینه کلیدی انجام گیرد. ابتدا لازم است تأثیر افزایش مصرف گاز طبیعی بر ذخایر موجود و توازن عرضه و تقاضا به‌دقت بررسی شود. چنین مطالعاتی می‌تواند شامل تحلیل ظرفیت زیرساخت‌های موجود برای تأمین پایدار گاز طبیعی و ارزیابی توانایی پاسخ‌دهی به تقاضای روبه‌رشد باشد. علاوه بر این، مطالعه اثرات اجتماعی افزایش مصرف گاز طبیعی ضروری است. این بررسی می‌تواند شامل پیامدهای احتمالی بر سطح زندگی و رفاه عمومی جامعه، تأثیر بر سیاست‌گذاری‌های اجتماعی و همچنین تحلیل الگوهای مصرف در گروه‌های مختلف جمعیتی باشد.

همچنین، ارائه سناریوهای بهینه‌سازی مصرف با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مانند سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی، به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان منابع مکمل و تکنولوژی‌های کاهنده هدررفت انرژی، می‌تواند تأثیر چشمگیری در کاهش مصرف گاز طبیعی داشته باشد. تحلیل دقیق مزایا، هزینه‌ها و قابلیت اجرایی این فناوری‌ها نقش مهمی در اتخاذ استراتژی‌های عملی ایفا خواهد کرد.

منابع

- [1] A. Rode *et al.*, “Estimating a social cost of carbon for global energy consumption,” *Nature*, vol. 598, no. 7880, pp. 308–314, Oct. 2021, doi: 10.1038/s41586-021-03883-8.
- [2] E. M. de Oliveira and F. L. Cyrino Oliveira, “Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods,” *Energy*, vol. 144, pp. 776–788, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.049>.
- [3] L. K. Chu, “The role of energy security and economic complexity in renewable energy development: evidence from G7 countries,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, no. 19, pp. 56073–56093, 2023, doi: 10.1007/s11356-023-26208-w.
- [4] W. Guilian *et al.*, “Forecast of total rural energy demand based on energy consumption intensity,” *Front. Energy Res.*, vol. 10, 2023, doi: 10.3389/fenrg.2022.1021164.
- [5] S. Mahjoub, L. Chrifi-Alaoui, B. Marhic, and L. Delahoche, “Predicting Energy Consumption Using LSTM, Multi-Layer GRU and Drop-GRU Neural Networks,” 2022. doi: 10.3390/s22114062.
- [6] K. B. Debnath and M. Mourshed, “Forecasting methods in energy planning models,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 88, pp. 297–325, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.002>.
- [7] A. Azadeh, S. M. Asadzadeh, M. Saberi, V. Nadimi, A. Tajvidi, and M. Sheikalishahi, “A Neuro-fuzzy-stochastic frontier analysis approach for long-term natural gas consumption forecasting and behavior analysis: The cases of Bahrain, Saudi Arabia, Syria, and UAE,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 11, pp. 3850–3859, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.027>.
- [8] S. Barak and S. S. Sadegh, “Forecasting energy consumption using ensemble ARIMA–ANFIS hybrid algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 82, pp. 92–104, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.03.012>.
- [9] Y. Hang, X. Deyun, and L. Zhentao, “Regional Energy Demand Modeling and Forecasting,” in *2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2009, pp. 599–603. doi: 10.1109/FSKD.2009.177.
- [10] A. Najafi, H. Falaghi, J. Contreras, and M. Ramezani, “Medium-term energy hub management subject to electricity price and wind uncertainty,” *Appl. Energy*, vol. 168, pp. 418–433, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.074>.
- [11] A. Manowska, A. Rybak, A. Dylong, and J. Pielot, “Forecasting of natural gas consumption in poland based on ARIMA-LSTM hybrid model,” *Energies*, vol. 14, no. 24, 2021, doi: 10.3390/en14248597.
- [12] N. Shamsapour, M. Noorollahi, and M. Rezaeifard, “Analysis of economic and environmental policies for global climate change and suggestions for Iran,” *J. Sustain. Energy Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 389–404, 2024, doi: 10.22059/ses.2024.373927.1058.
- [13] Saberi, Zafarian, and Rahiminezhad, “Barname toseye haftom [7th Iran Development Plan System],” *Māhnāmāh-i markaz-i pizhūhish 'hā-yi majlis-i shurā-yi Islāmī [Iran Parlem. Reports]*, vol. 31, no. 3, 2023, [Online]. Available: https://report.mrc.ir/article_9433.html [In Persian]
- [14] Q. Wang, Z. Luo, and P. Li, “Natural Gas Consumption Forecasting Based on Homoheterogeneous Stacking Ensemble Learning,” *Sustain.*, vol. 16, no. 19, 2024, doi: 10.3390/su16198691.
- [15] “Iran Energy Balance Report at 2022,” *Ministry of Energy (Iran)*. [Online]. Available: <https://pep.moe.gov.ir/> [In Persian]
- [16] Ministry of Energy (Iran), “Iran Energy Flowdiagram Report at 2022,” *Ministry of Energy (Iran)*. [Online]. Available: Iran Energy Balance Report at 2022 [In Persian]
- [17] “Four Decade Iran Energy Reports,” *Ministry of Energy (Iran)*. [Online]. Available: <https://pep.moe.gov.ir> [In Persian]