Journal of Operational Research in its Applications
Vol.23, NO.2, Summer 2026
ISSN: 2251-7286
DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316

Predicting the Number of Packages Arriving at the Post Office Using Time Series, Regression, and Neural Networks

Z. Naji Azimi[1*], F. Bargchi[2], H. Razavi[3], M. Estiri[4]
[1] *Professor, Department of Management, Faculty of Economics and Business Administration, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[2] *M.Sc., Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.*
[3] *Associate Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*
[4] *PhD Student, Industrial Management, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

Research Paper

Received: 15 January 2026
Accepted: 11 June 2026

Abstract: Demand forecasting is a key component in management decision-making, because customer demand for goods and services is not constant over time and fluctuates under the influence of various factors. This issue is more important in government organizations; in this regard, the post office, as one of the government service organizations, is directly faced with high demand volumes and significant fluctuations, especially in the field of postal parcel distribution. Therefore, providing an accurate and reliable forecasting model for the number of incoming postal parcels plays an important role in improving human resource planning, operation scheduling, and cost control. Accordingly, the main objective of this research is to introduce and evaluate a suitable model for predicting the number of postal parcels arriving at the post office. The innovation of this research is in identifying and considering new event-driven and environmental variables such as the impact of pandemics including COVID-19 and its resulting restrictions, online sales festivals, exhibition events, and school reopening. In this research, the General Post Office of Khorasan Razavi Province was selected as the study case. Historical data related to the number of incoming postal packages for 18 consecutive months was extracted on a daily basis, and the forecasting process was carried out using three common forecasting approaches including time series analysis, regression analysis, and artificial neural network. The results of comparing the performance of the models show that the feedforward neural network model, when the weekend is removed from the data, has the lowest error rate compared to other models. After that, the ARIMA time series model and finally the regression model with time series components are ranked next.

Introduction: Demand forecasting is a fundamental component in the management and planning of organizations, because its results directly affect decisions related to capacity planning, resource allocation, employee task design, infrastructure development, and cost control. In real environments, demand is always accompanied by uncertainty, and even the most accurate and costly forecasting models cannot fully correspond to reality. Therefore, the main goal of organizations is not to achieve a completely error-free forecast, but to use a model

* *Corresponding Author: znajiazimi@um.ac.ir*

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

Journal of Operational Research in its Applications
Vol.23, NO.2, Summer 2026
ISSN: 2251-7286
DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316

with acceptable accuracy, appropriate stability, and applicability in operational conditions; a model that can lead to increased efficiency and reduced organizational costs. Demand changes have become one of the main challenges for managers in service organizations today. Increased market dynamics, changing customer behavior, and environmental shocks have caused short-term and long-term planning to require constant revision. In such circumstances, demand forecasting is a key lever for improving organizational performance and reducing unwanted fluctuations in planning. The Post Office, as one of the most important government service organizations, is directly confronted with changes in the volume of demand for postal services. The expansion of e-commerce, changing consumer purchasing patterns, and the increasing dependence of businesses on logistics services have led to a significant growth in postal parcel delivery. Accurate forecasting of postal demand is of particular importance, because a portion of postal items must reach customers within specific time frames and in accordance with specific occasions, and any delay can lead to dissatisfaction and a decrease in public trust.

Materials and Methods: The present study is classified as applied research in terms of its purpose. In this framework, the principles, tools, and methods developed in the scientific literature on demand forecasting and time series analysis are used to provide a practical and applicable solution in a real service organization. In terms of data collection, the present study is classified as descriptive research due to the use of real historical data. Therefore, the present study is considered descriptive-survey and correlational in terms of method. Regression analysis, time series models, and neural networks are also used to explain and predict the relationships between variables and evaluate their predictive power. The data collection method in this study is based on a combination of quantitative data and qualitative information. The subject of this study is the General Post Office of Khorasan Razavi Province. This office acts as the main center for receiving, processing, and distributing all incoming postal packages to the province and plays a pivotal role in the regional postal service chain. In the data analysis section, after preparing, cleaning, and initially reviewing historical data, various forecasting methods are used, including regression analysis with time series components, ARIMA time series models, and neural network-based models. In summary, the methodology of the present study, relying on its applied nature, descriptive-correlation approach, use of real organizational data, and simultaneous application of several forecasting methods, attempts to provide a coherent, scientific, and reliable framework for forecasting postal package demand and improving planning and resource allocation processes in a large service organization.

Results and Discussion: The findings of this study are the result of analyzing real data on the number of postal packages received by the General Post Office of Khorasan Razavi Province and comparing the performance of three common forecasting approaches, including time series analysis, regression analysis, and artificial neural networks. The data used were extracted daily and in consecutive intervals for 18 months and, after performing the necessary preprocessing, were used to fit and evaluate the models. The results of the initial analyses showed that the demand for postal services in the period under study has non-stationary behavior, a clear trend, and significant seasonal patterns. Also, short-term fluctuations and cross-sectional shocks were observed in the data, which indicate the impact of environmental, economic, and event-related factors on the number of postal packages received. Additional studies based on literature review and expert interviews indicated that variables such as restrictions due to the COVID-19 pandemic, online sales festivals, special calendar events, school reopenings, exhibitions, exchange rate fluctuations, inflation rates, and changes in imports can play an important role in increasing or decreasing the volume of demand for postal services.

Conclusions: The final comparison of time series, regression analysis, and feedforward neural network models indicates that although all three approaches are capable of forecasting postal service demand, the feedforward neural network model has a significant advantage in terms of accuracy and stability of performance. This conclusion indicates that in dynamic and unstable

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

Journal of Operational Research in its Applications
Vol.23, NO.2, Summer 2026
ISSN: 2251-7286
DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316

environments such as postal services, where demand is affected by diverse and nonlinear factors, the use of intelligent models can lead to significant improvements in forecast accuracy and, consequently, improved management decisions.

Keywords: Demand Forecasting, Postal Services, Time Series, Regression, Artificial Neural Network.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیست و سوم، شماره دوم (پیاپی ۸۹)،تابستان ۰۵، ص ص ۱۷۶-۱۵۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱
DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316

پیش‌بینی تعداد بسته‌های وارده به اداره پست با استفاده از سری زمانی، رگرسیون و شبکه عصبی

زهرا ناجی عظیمی[1*]، فائزه برقچی[2]، حمیده رضوی[3]، مجید استیری[4]
۱-استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲-کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳-دانشیار، گروه مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴-دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

رسید مقاله: ۲۵ دی ۱۴۰۴
پذیرش مقاله: ۲۱ خرداد ۱۴۰۵

چکیده

پیش‌بینی تقاضا یکی از مولفه‌های کلیدی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به‌شمار می‌آید، زیرا تقاضای مشتریان برای دریافت کالا و خدمات در طول زمان ثابت نبوده و تحت تاثیر عوامل گوناگون دچار نوسان می‌شود. این مساله در سازمان‌های دولتی از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ چرا که این سازمان‌ها معمولاً با محدودیت‌های جدی در زمینه استخدام نیروی انسانی، بودجه و منابع مواجه بوده و ناگزیرند از طریق جابه‌جایی کارکنان، اضافه‌کاری و برون‌سپاری‌های محدود، پاسخگوی تغییرات تقاضا باشند. علاوه بر این، بحران‌های اقتصادی و شوک‌های محیطی، فشار مضاعفی بر منابع مالی سازمان‌های دولتی وارد کرده و امکان به‌کارگیری نیروی انسانی مازاد را عملاً غیرممکن ساخته است. در این میان، اداره پست به‌عنوان یکی از سازمان‌های دولتی خدماتی، به‌طور مستقیم با حجم بالای تقاضا و نوسانات قابل‌توجه آن، به‌ویژه در حوزه توزیع بسته‌های پستی، مواجه است. ازاین‌رو، ارایه یک مدل پیش‌بینی دقیق و قابل اتکا برای تعداد بسته‌های پستی وارده، نقش مهمی در بهبود برنامه‌ریزی نیروی انسانی، زمان‌بندی عملیات و کنترل هزینه‌ها ایفا می‌کند. بر همین اساس، هدف اصلی این پژوهش معرفی و ارزیابی مدلی مناسب برای پیش‌بینی تعداد بسته‌های پستی وارده به اداره پست است. نوآوری این تحقیق در شناسایی و لحاظ نمودن متغیرهای رویدادمحور و محیطی جدیدی نظیر تاثیر بیماری‌های همه‌گیر از جمله کووید-۱۹ و محدودیت‌های ناشی از آن، فستیوال‌های فروش اینترنتی، رویدادهای نمایشگاهی و بازگشایی مدارس است؛ متغیرهایی که در اغلب پژوهش‌های پیشین به‌طور صریح مورد توجه قرار نگرفته‌اند. در این پژوهش، اداره کل پست استان خراسان رضوی به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب شد. داده‌های تاریخی مربوط به تعداد بسته‌های پستی وارده طی ۱۸ ماه متوالی به‌صورت روزانه استخراج گردید و با استفاده از سه رویکرد متداول پیش‌بینی شامل تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، تجزیه و تحلیل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی، فرآیند پیش‌بینی انجام شد. نتایج حاصل از مقایسه عملکرد مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی پیشخور، در حالتی که روز تعطیل آخر هفته از داده‌ها حذف می‌شود، کمترین میزان خطا را نسبت به سایر مدل‌ها داراست. پس از آن، مدل سری زمانی آریما و در نهایت مدل رگرسیون با مولفه‌های سری زمانی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که پیش‌بینی دقیق تعداد بسته‌های پستی در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند ابزار مؤثری برای برنامه‌ریزی نیروی انسانی، تعیین میزان اضافه‌کاری و استفاده بهینه از منابع محدود در سازمان‌های خدماتی، به‌ویژه اداره پست، فراهم آورد و به ارتقای کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی منجر شود.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی تقاضا، خدمات پستی، سری زمانی، رگرسیون، شبکه عصبی مصنوعی.

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی:znajiazimi@um.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

۱ مقدمه

پیش‌بینی تقاضا یکی از مولفه‌های بنیادین در مدیریت و برنامه‌ریزی سازمان‌ها محسوب می‌شود، زیرا نتایج آن به‌طور مستقیم بر تصمیم‌گیری‌های مرتبط با برنامه‌ریزی ظرفیت، تخصیص منابع، طراحی وظایف کارکنان، توسعه زیرساخت‌ها و کنترل هزینه‌ها اثرگذار است. در محیط‌های واقعی، تقاضا همواره با عدم‌قطعیت همراه بوده و حتی دقیق‌ترین و پرهزینه‌ترین مدل‌های پیش‌بینی نیز نمی‌توانند انطباق کامل با واقعیت داشته باشند. ازاین‌رو، هدف اصلی سازمان‌ها نه دستیابی به پیش‌بینی کاملاً بدون خطا، بلکه استفاده از مدلی با دقت قابل قبول، پایداری مناسب و قابلیت اجرا در شرایط عملیاتی است؛ مدلی که بتواند منجر به افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های سازمانی شود [۱]. تغییرات تقاضا امروزه به یکی از چالش‌های اصلی مدیران در سازمان‌های خدماتی تبدیل شده است. افزایش پویایی بازار، تغییر رفتار مشتریان و بروز شوک‌های محیطی موجب شده است که برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌طور مداوم نیازمند بازنگری باشند. در چنین شرایطی، پیش‌بینی تقاضا به‌عنوان یک اهرم کلیدی برای بهبود عملکرد سازمان و کاهش نوسانات ناخواسته در برنامه‌ریزی مطرح می‌شود [۲]. تخمین کمتر از مقدار واقعی تقاضا می‌تواند منجر به ناتوانی در پاسخگویی به نیاز مشتریان، کاهش سطح خدمات و نارضایتی آنان شود؛ در مقابل، تخمین بیش از حد نیز موجب افزایش هزینه‌های غیرضروری و ناکارایی در استفاده از منابع خواهد شد [۳].

این چالش‌ها در سازمان‌های خدماتی دولتی نمود بیشتری دارد، زیرا این سازمان‌ها معمولاً با محدودیت‌های جدی در جذب نیروی انسانی، بودجه و انعطاف‌پذیری عملیاتی مواجه هستند. در چنین سازمان‌هایی، نوسانات روزانه و حتی ساعتی تقاضا می‌تواند برنامه‌ریزی نیروی انسانی را با دشواری‌های قابل توجهی روبه‌رو سازد. هدف اصلی مدیریت در این سازمان‌ها، پاسخگویی مناسب به تغییرات تقاضا با حداقل هزینه و حداکثر رضایت مشتریان است؛ هدفی که بدون بهره‌گیری از ابزارهای علمی پیش‌بینی، دستیابی به آن دشوار خواهد بود [۴]. اداره پست به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سازمان‌های خدماتی دولتی، به‌طور مستقیم با تغییرات حجم تقاضای خدمات پستی مواجه است. گسترش تجارت الکترونیک، تغییر الگوهای خرید مصرف‌کنندگان و افزایش وابستگی کسب‌وکارها به خدمات لجستیکی، موجب رشد چشمگیر ارسال بسته‌های پستی شده است. پیش‌بینی دقیق تقاضای پستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا بخشی از مرسولات پستی باید در بازه‌های زمانی مشخص و متناسب با مناسبت‌های خاص به دست مشتریان برسند و هرگونه تاخیر می‌تواند منجر به نارضایتی و کاهش اعتماد عمومی شود [۵].

در استان خراسان رضوی، شیوع ویروس کووید-۱۹ و اعمال محدودیت‌های ناشی از آن موجب رونق قابل توجه تجارت الکترونیک و افزایش حجم بسته‌های پستی شد. طبق اظهارات خبرگان اداره پست استان، این منطقه به یکی از قطب‌های اصلی خریدهای اینترنتی کشور تبدیل‌شده و افزایش قابل توجهی در ترافیک بسته‌های پستی را تجربه کرده است. در عین حال، به دلیل دولتی بودن ساختار سازمان و محدودیت در استخدام نیروی جدید، پاسخگویی به این افزایش تقاضا عمدتاً از طریق جابه‌جایی کارکنان و برون‌سپاری محدود انجام می‌شود که خود چالش‌های مدیریتی متعددی به همراه دارد. ازاین‌رو، وجود یک مدل پیش‌بینی دقیق می‌تواند نقش مهمی در

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

بهبود برنامه‌ریزی نیروی انسانی، کاهش تاخیرها و کنترل هزینه‌های عملیاتی ایفا کند. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر پیش‌بینی تعداد بسته‌های پستی وارده به اداره کل پست خراسان رضوی با استفاده از روش‌های رگرسیون با مولفه‌های سری زمانی، مدل‌های سری زمانی ARIMA و شبکه‌های عصبی مصنوعی است. نوآوری اصلی این پژوهش در شناسایی و به‌کارگیری متغیرهای رویدادمحور جدید و مقایسه هم‌زمان عملکرد روش‌های کلاسیک و نوین پیش‌بینی به‌منظور شناسایی مدلی با کمترین میزان خطا نهفته است.

۲ مرور ادبیات

مرور ادبیات نشان می‌دهد که پیش‌بینی تقاضا در حوزه خدمات پستی و لجستیکی از دیرباز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات اولیه عمدتاً از مدل‌های سری زمانی کلاسیک نظیر ARIMA و روش‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی حجم خدمات استفاده کرده‌اند. این رویکردها به دلیل سادگی، تفسیرپذیری و نیاز کمتر به داده‌های پیچیده، در شرایطی که تقاضا دارای الگوهای نسبتاً پایدار بوده است، عملکرد مناسبی از خود نشان داده‌اند [۶]. با این حال، افزایش نوسانات تقاضا، رشد تجارت الکترونیک و پیچیده‌تر شدن سیستم‌های خدماتی موجب شده است که محدودیت‌های مدل‌های کلاسیک بیش از پیش نمایان شود. این مدل‌ها عموماً در شناسایی روابط غیرخطی، اثرات متقابل متغیرها و واکنش به تغییرات ساختاری ناگهانی با چالش مواجه هستند [۷]. در نتیجه، توجه پژوهشگران در سال‌های اخیر به سمت روش‌های پیشرفته‌تر، به‌ویژه روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، معطوف شده است.

در این میان، شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل توانایی در یادگیری الگوهای پیچیده و غیرخطی، در بسیاری از مطالعات عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی در پیش‌بینی تقاضا ارایه داده‌اند. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این مدل‌ها، به‌ویژه در سیستم‌های خدماتی پویا و ناپایدار که رفتار تقاضا تحت تاثیر عوامل متعددی قرار دارد، از دقت پیش‌بینی بالاتری برخوردار هستند [۸]. افزون بر این، مطالعات جدید بر کارایی مدل‌های ترکیبی و شبکه‌های عصبی پیشخور و بازگشتی در پیش‌بینی سری‌های زمانی تاکید داشته و آن‌ها را به‌عنوان رویکردهایی کارآمد برای مدل‌سازی داده‌های وابسته به زمان در محیط‌های واقعی معرفی کرده‌اند [۹].

با وجود این پیشرفت‌ها، بررسی انتقادی ادبیات نشان می‌دهد که تمرکز اصلی بسیاری از پژوهش‌های پیشین همچنان بر داده‌های تاریخی بوده و نقش متغیرهای رویدادمحور و محیطی کمتر به‌صورت نظام‌مند در مدل‌ها لحاظ شده است. عواملی نظیر بیماری‌های همه‌گیر، فستیوال‌های فروش اینترنتی، رویدادهای نمایشگاهی، تغییرات تقویمی خاص و بازگشایی مدارس می‌توانند موجب تغییرات ناگهانی و قابل توجه در الگوی تقاضای خدمات پستی شوند؛ در حالی که این عوامل در اغلب مدل‌های پیش‌بینی پیشین یا نادیده گرفته شده‌اند یا صرفاً به‌صورت ضمنی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این خلأ پژوهشی ضرورت توسعه مدل‌هایی را برجسته می‌سازد که بتوانند اثر این متغیرهای رویدادمحور را به‌طور صریح و کمی در فرآیند پیش‌بینی تقاضا وارد کنند.

در مطالعات داخلی نیز شواهد قابل توجهی مبنی بر کارایی روش‌های پیشرفته تحلیلی ارایه شده است. پژوهش‌هایی که به حل مسایل تخصیص منابع، خوشه‌بندی داده‌ها و تحلیل سیستم‌های پیچیده با بهره‌گیری از

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

روش‌های یادگیری ماشین پرداخته‌اند، نشان می‌دهند که به‌کارگیری این رویکردها می‌تواند دقت تحلیل، قدرت تبیین و کیفیت تصمیم‌گیری مدیریتی را به‌طور معناداری افزایش دهد [۱۰]. همچنین برخی مطالعات داخلی با استفاده از مدل‌های سری زمانی، کارایی این روش‌ها را در تحلیل داده‌های وابسته به زمان و پیش‌بینی روندهای آتی در حوزه‌های خدماتی و عملیاتی تایید کرده‌اند [۱۱]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب روش‌های کلاسیک و نوین می‌تواند بستر مناسبی برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی دقیق‌تر در سازمان‌های خدماتی، از جمله خدمات پستی، فراهم آورد.

۳ روش‌ها

در این پژوهش، روش‌شناسی تحقیق به‌گونه‌ای طراحی شده است که با ماهیت مساله، اهداف پژوهش و نوع داده‌های در دسترس هم‌خوانی کامل داشته باشد و امکان دستیابی به نتایج معتبر و قابل اتکا را فراهم سازد. با توجه به اینکه مساله اصلی این پژوهش، پیش‌بینی تقاضای بسته‌های پستی با هدف بهبود برنامه‌ریزی منابع، کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی عملیاتی در اداره کل پست استان خراسان رضوی است، تحقیق حاضر از نظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی قرار می‌گیرد. در این چارچوب، از اصول، ابزارها و روش‌هایی که در ادبیات علمی حوزه پیش‌بینی تقاضا و تحلیل سری‌های زمانی توسعه یافته‌اند، برای ارایه راه‌حلی عملی و قابل اجرا در یک سازمان خدماتی واقعی استفاده می‌شود.

از منظر نحوه گردآوری داده‌ها تحقیق حاضر با توجه به استفاده از داده‌های تاریخی واقعی در دسته تحقیقات توصیفی قرار می‌گیرد. تحقیقات توصیفی خود شامل انواع مختلفی از جمله پیمایشی، همبستگی، پس‌رویدادی، اقدام‌پژوهی و مطالعه موردی هستند. در این پژوهش، از یک‌سو با تحلیل داده‌های تاریخی و بررسی روندها، الگوها و نوسانات تقاضا سروکار داریم و از سوی دیگر، روابط میان متغیرها از طریق مدل‌های رگرسیونی و سری زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بنابراین تحقیق حاضر از نظر روش، توصیفی–پیمایشی و همبستگی محسوب می‌شود. استفاده از تحلیل رگرسیون، مدل‌های سری زمانی و شبکه‌های عصبی نیز در راستای تبیین و پیش‌بینی روابط موجود میان متغیرها و ارزیابی قدرت پیش‌بینی آن‌ها انجام می‌گیرد.

روش گردآوری داده‌ها در این پژوهش مبتنی بر ترکیبی از داده‌های کمی و اطلاعات کیفی است. داده‌های کمی شامل اطلاعات تاریخی تعداد بسته‌های پستی وارده به اداره کل پست استان خراسان رضوی است که به‌صورت روزانه و برای یک بازه زمانی مشخص (۱۸ ماه متوالی) استخراج شده‌اند. این داده‌ها مبنای اصلی تحلیل‌های آماری، سری زمانی و مدل‌سازی پیش‌بینی را تشکیل می‌دهند. در کنار آن، داده‌های کیفی از طریق مصاحبه با خبرگان و کارشناسان اداره کل پست استان گردآوری شده است. این مصاحبه‌ها با هدف شناسایی متغیرهای موثر بر نوسانات تقاضای پستی، درک بهتر شرایط عملیاتی، محدودیت‌های سازمانی و تفسیر نتایج کمی انجام شده‌اند و نقش مکملی در غنای تحلیل‌ها و افزایش اعتبار نتایج پژوهش ایفا می‌کنند.

مورد مطالعه این تحقیق، اداره کل پست استان خراسان رضوی است. این اداره به‌عنوان مرکز اصلی دریافت، پردازش و توزیع تمامی بسته‌های پستی وارده به استان عمل می‌کند و نقش محوری در زنجیره خدمات پستی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

منطقه دارد. تمامی بسته‌های پستی مربوط به استان، اعم از بسته‌های مربوط به شرکت‌های فروش اینترنتی طرف قرارداد با اداره پست و سایر مرسولات، ابتدا به اداره کل ارسال شده و سپس فرآیند توزیع آن‌ها در سطح استان انجام می‌پذیرد. حجم بسته‌های پستی وارده به این مرکز دارای نوسانات قابل توجهی است و به‌طور تقریبی در بازه‌ای بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ بسته در روز متغیر است. این نوسانات، که تحت تاثیر عواملی همچون مناسبت‌های خاص، رشد تجارت الکترونیک، شرایط اقتصادی و محدودیت‌های محیطی قرار دارند، ضرورت به‌کارگیری روش‌های علمی و دقیق پیش‌بینی تقاضا را دوچندان می‌سازد.

در بخش تحلیل داده‌ها، پس از آماده‌سازی، پاک‌سازی و بررسی اولیه داده‌های تاریخی، از روش‌های مختلف پیش‌بینی شامل تجزیه و تحلیل رگرسیون با مولفه‌های سری زمانی، مدل‌های سری زمانی آریما و مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی استفاده می‌شود. هدف از به‌کارگیری هم‌زمان این روش‌ها، مقایسه عملکرد آن‌ها از نظر دقت پیش‌بینی و میزان خطا و در نهایت شناسایی مدلی است که بیشترین انطباق را با ویژگی‌های تقاضای پستی در اداره کل پست استان خراسان رضوی داشته باشد. این رویکرد تطبیقی، ضمن افزایش اعتبار نتایج، امکان ارایه پیشنهادهای کاربردی و مبتنی بر شواهد علمی را برای مدیران سازمان فراهم می‌سازد.

در مجموع، روش‌شناسی تحقیق حاضر با تکیه بر ماهیت کاربردی، رویکرد توصیفی–همبستگی، استفاده از داده‌های واقعی سازمانی و به‌کارگیری هم‌زمان چندین روش پیش‌بینی، تلاش می‌کند چارچوبی منسجم، علمی و قابل اتکا برای پیش‌بینی تقاضای بسته‌های پستی و بهبود فرآیندهای برنامه‌ریزی و تخصیص منابع در یک سازمان خدماتی بزرگ ارایه دهد.

۳-۱ ارایه مدل

گام‌های انجام این پژوهش در شکل ۱ آمده است.

٤ یافته‌ها

در این بخش، یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌ها و اجرای مدل‌های مختلف پیش‌بینی ارایه می‌شود. تمرکز اصلی بر شناسایی الگوهای رفتاری تقاضای خدمات پستی، ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف پیش‌بینی و مقایسه دقت آن‌ها در شرایط واقعی عملیاتی است. داده‌های مورد استفاده شامل مشاهدات روزانه تعداد بسته‌های پستی وارده بوده که پس از انجام مراحل پیش‌پردازش، مبنای تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی قرار گرفته‌اند. نتایج این بخش تصویری جامع از رفتار تقاضا و میزان توانایی هر یک از رویکردهای مورد بررسی در پیش‌بینی آن ارایه می‌کند.

یافته‌های ارایه‌شده در این بخش به‌گونه‌ای سازمان‌دهی شده‌اند که ابتدا ویژگی‌های آماری و زمانی داده‌ها بررسی شود و سپس نتایج حاصل از به‌کارگیری روش‌های مختلف شامل سری‌های زمانی، تحلیل رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی گزارش گردد. در نهایت، با مقایسه نتایج مدل‌ها، نقاط قوت و محدودیت‌های هر رویکرد تبیین شده و مبنایی برای استخراج جمع‌بندی نهایی از یافته‌های پژوهش فراهم می‌شود.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

٤-١ متغیرهای مدل

در این تحقیق هدف پیش‌بینی تعداد بسته‌های پستی وارداتی به اداره پست است؛ برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی تقاضا پستی، ابتدا عوامل موثر بر تغییر بر تقاضای مرسولات پستی وارده، براساس ادبیات تحقیق شامل متغیرهای تعداد روزهای تعطیل عمومی، روزهای آخر هفته و در نظر گرفتن تعداد روزهای کاری در تعطیلات [۱۲] متغیرهای دلار، نرخ تورم و واردات [۱۳]، متغیرهای اعیاد و مناسبت ها و تعطیلات [۱۲]، روز هفته و تعطیلات رسمی [۱۴]، استخراج شد. اما در کنار آن از طریق مصاحبه با خبرگان شاخص‌های جدیدی نیز شناسایی و معرفی می‌گردند. از جمله شاخص‌های جدید شناسایی‌شده فستیوال‌های فروش اینترنتی سایت دیجی‌کالا، رویدادهای نمایشگاه بین المللی مشهد، بازگشایی مدارس و محدودیت‌های ناشی از کرونا هستند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

٤-١-١ استخراج داده‌ها و کدگزاری آن‌ها

داده‌های مربوط به متغیرهای شناسایی‌شده و تعداد بسته‌های پستی وارده به اداره پست به صورت روزانه برای ۱۸ ماه متوالی استخراج شدند. برخی از داده‌های مربوط به متغیرهای مستقل به صورت صفرویک وارد مدل می‌شوند، برای مثال در متغیر روزهای تعطیلات رسمی، صفر به معنای عدم تعطیلی رسمی و یک به معنای تعطیلی رسمی در تاریخ مذکور است. در متغیرهای آخر هفته، مناسبت‌های شمسی، مناسبت‌های قمری، محدودیت‌های کرونایی، فستیوال قروش در دیجیکالا، عید نوروز، سال نو میلادی، نمایشگاه بین‌المللی مشهد، بازگشایی مدارس، انتخابات شورا شهر و جمعه سیاه به صورت صفر و یک وارد مدل شده‌اند. متغیر روز هفته به صورت یک تا هفت و متغیر متوسط قیمت دلار براساس متوسط کمترین و بیشترین مبلغ دلار در هر روز و متغیرهای نرخ تورم و متوسط ارزش واردات کشور به صورت سهم هر روز از نرخ ماهانه محاسبه گردیده‌اند.

٤-١-٢ بررسی همبستگی و میزان اهمیت متغیرهای مستقل

روابط خطی بین متغیرها بر اساس آزمون همبستگی پیرسون بررسی شده است. ضریب همبستگی پیرسون از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\rho(X,Y) = \operatorname{corr}(X,Y) = \frac{E\left[\left(X-E(X)\right)\left(Y-E(Y)\right)\right]}{\left[V(X)V(Y)\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad (1)$$

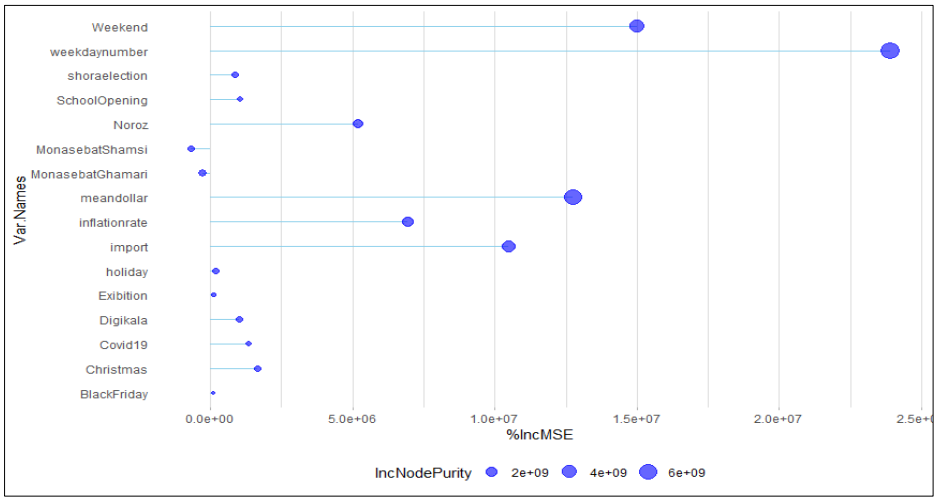
صورت کسر کوواریانس بین دو متغیر X و Y محسوب می‌شود. منظور از E نیز، امید ریاضی دو متغیر تصادفی X و Y است. این ضریب بین ۱- تا ۱ است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. نتیجه آزمون پیرسون نشان می‌دهد که رابطه خطی مستقیم و معنی‌داری بین نرخ دلار و میزان واردات کشور و تعداد بسته‌های پستی وارده وجود دارد. همچنین روابط خطی مستقیم و معنی‌داری بین نرخ دلار، میزان وادرات و نرخ تورم وجود دارد. آخر هفته، آخر ماه، نوروز، سال نو میلادی و روز هفته رابطه خطی معکوس معنی‌داری با تعداد بسته های پستی دارند. یعنی تعداد بسته‌های پستی در روزهای آخر هفته، روز تعطیل آخر هفته، در ماه‌های آخر سال، در نوروز و سال نو میلادی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این در حالی‌ست که متغیرهای دیجی کالا، ایام باز شدن مدارس و انتخابات شورا رابطه خطی مستقیم معنی‌داری با تعداد بسته‌های پستی دارند.

میزان اهمیت متغیرها در پیش‌بینی تعداد بسته‌های پستی بر اساس مدل جنگل تصادفی[1] و با استفاده از معیار میانگین مربع خطا[2] و معیار دیگری به نام نودپیوریتی[3] مشخص می‌شود. معیار میانگین مربع خطا برای داده‌های کمی مناسب است. معیار نود پیوریتی برای داده‌های کیفی مناسب است و بر اساس جمع مربع باقیمانده‌ها[4] ساخته می‌شود. در نمودار ذیل، طول خطوط نشان دهنده میزان میانگین مربع خطا می‌باشد که هر چه بلندتر باشد اهمیت

[1] Random Forest
[2] MSE
[3] Node Purity
[4] Residual Sum of Squares (RSS)

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

آن متغیر بیشتر است. طول خط برای یک متغیر بدین معنی‌ست که با حذف آن متغیر چه میزان خطای مدل افزایش می‌یابد. نقاط انتهای خطوط میزان نود پیوریتی را نشان می‌دهد با تفسیری مشابه تفسیر مذکور. هر چه نقاط بزرگتر باشند نشان‌دهنده اهمیت بیشتر متغیر است.



شکل۲. میزان اهمیت متغیرهای مستقل در پیش‌بینی متغیر وابسته

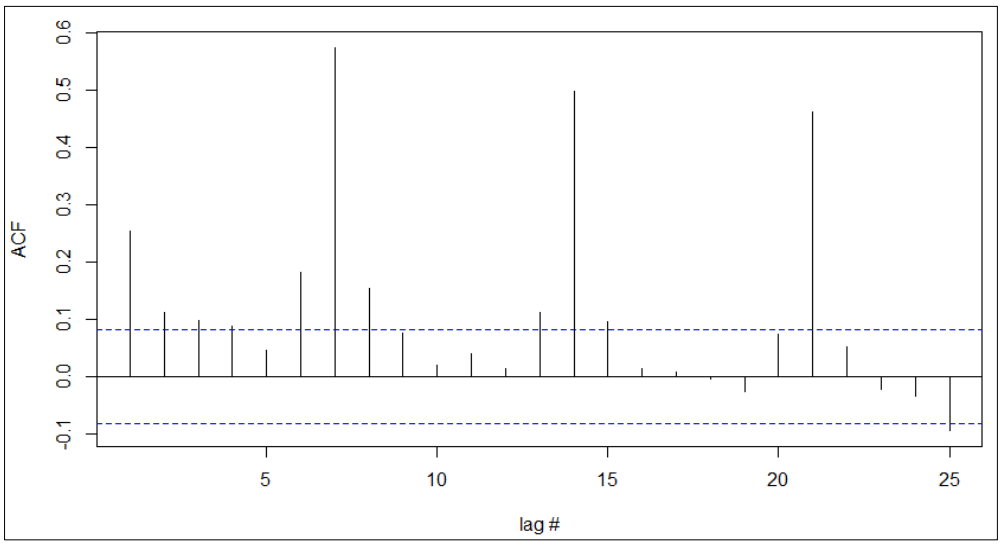
همان‌طور که در نمودار شکل۲ قابل مشاهده است، به‌ترتیب متغیرهای روز هفته، آخر هفته، قیمت دلار، میزان واردات کشور، نرخ تورم و تعطیلات نوروز بیشترین اهمیت را در مدل پیش بینی تعداد بسته‌های پستی دارند.

٤-۲ سری زمانی بسته‌های پستی

ابتدا ویژگی‌های آماری سری زمانی همچون خودهمبستگی[1] ، ثابت بودن میانگین و واریانس در طول زمان مورد بررسی قرار گرفت. خودهمبستگی، روشی برای بیان وابستگی زمانی در ساختار سری زمانی است. و میزان همبستگی بین مشاهدات متوالی را بررسی می‌کند. برای بررسی خودهمبستگی سری زمانی از آزمون لانگ-باکس استفاده شد. براساس آزمون لانگ-باکس[2] فرض صفر مبنی بر وجود نداشتن خودهمبستگی در متغیر بسته‌های پستی رد شد. لذا با اطمینان ۹۵ درصد می‌توان ادعا نمود که سری زمانی بسته‌های پستی ارسالی خود همبسته است. سپس تابع خودهمبستگی[3] محاسبه و در نمودار شکل ۳ رسم گردیده است. تابع ACF به تشخیص پارامتر مدل سری زمانی اتورگرسیو[4] (AR) کمک می کند.

[1] Autocorrelation
[2] Box-Ljung
[3] Autocorrelation Function (ACF)
[4] Autoregressive

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]



شکل۳. نمودار ACF سری زمانی بسته‌های پستی

نمودار شکل ۳ و آزمون لانگ-باکس نشان می‌دهد که سری زمانی بسته‌های پستی خودهمبستگی دارد. در نمودارACF نیز مشاهده می‌شود که بیشترین همبستگی سری زمانی با ۷ روز قبل است.

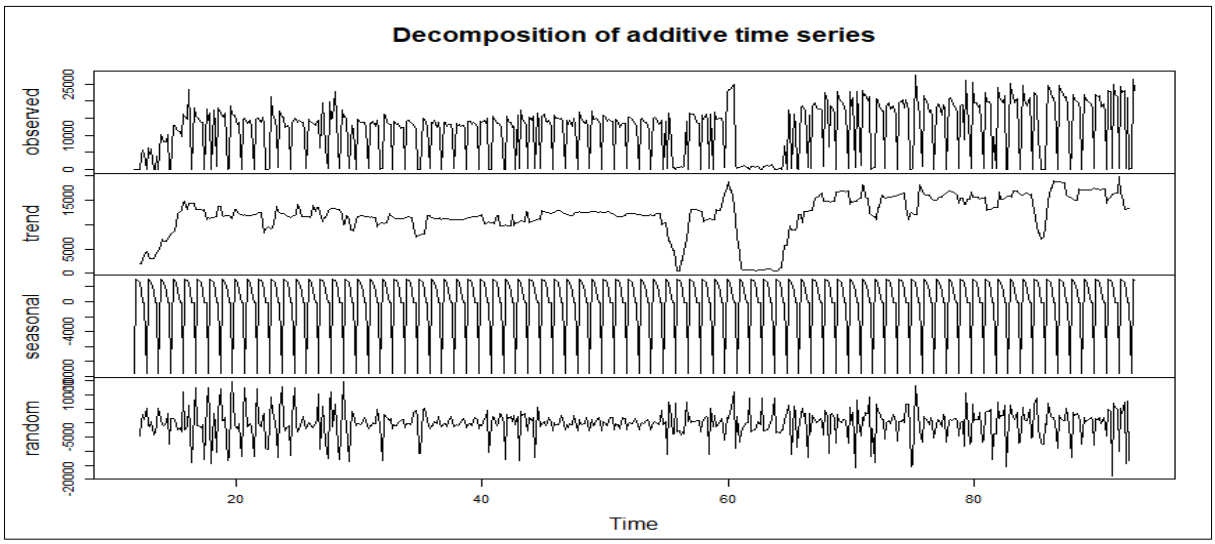
آزمون دیکی فولر تعمیم یافته[1](ADF) برای بررسی مانا بودن سری زمانی مورد استفاده قرار گرفت. مانایی سری زمانی ثابت بودن میانگین و واریانس سری زمانی در طول زمان است. همچنین همبستگی بین دو مقدار سری زمانی در t و t+k به زمان بستگی نداشته باشد. در صورتی که سری‌های زمانی ایستا[2] باشد می‌توان از مدل اتورگرسیو استفاده نمود. فرض صفر در این آزمون دیکی فولر تعمیم یافته، وجود ریشه واحد (نامانایی سری زمانی) می‌باشد. با توجه به اینکه P-Value کمتر از ۰/۰۱ به دست آمده است، لذا فرض صفر رد می‌شود و سری زمانی مورد بررسی ماناست. مانایی سری زمانی به این معناست که متغیر، شوک‌های وارده در طول زمان را در خود حل می‌کند.

٤-۲-۱ مولفه‌های سری زمانی

قبل از انجام مدل پیش‌بینی باید به استخراج مولفه‌های سری زمانی، روند[3] و تغییرات فصلی[4] و پرداخت. دو ساختار کلی برای تجزیه وجود دارد شامل تجزیه جمع‌پذیر[5] و تجزیه ضربی[6]. در تجزیه جمع‌پذیر سری زمانی به صورت جمعی از سه فاکتور روند، تغییرات فصلی و تغییرات تصادفی در نظر گرفته می‌شود؛ $x_t = Trend + Seasonal + Random$. که در شکل ۴ به خوبی نمایش داده شده است.

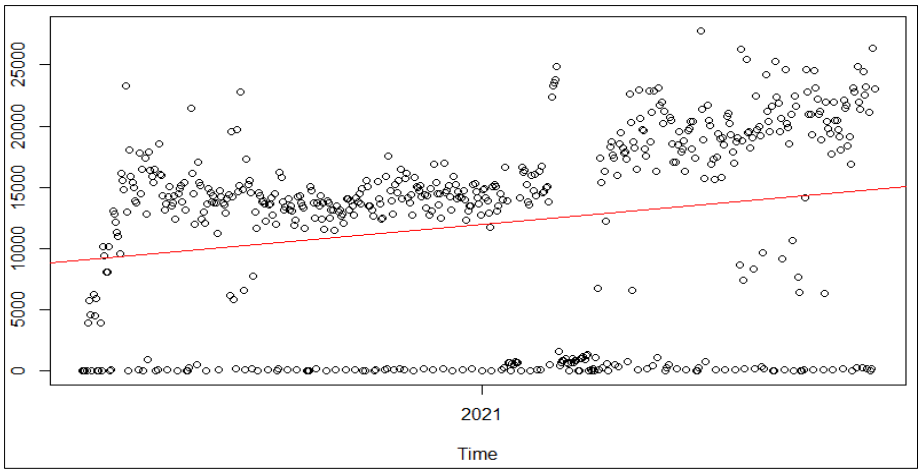
[1] augmented Dicky Fuller
[2] Stationary Series
[3] Trend
[4] Seasonality
[5] Additive Decomposition
[6] Multiplicative Decomposition

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]



شکل ٤. تفکیک(تجزیه جمع پذیر) مولفه‌های سری زمانی

برای تشخیص روند، مدل رگرسیونی بین متغیر وابسته و زمان برآورد شد.



شکل ٥. نمودار پراکنش تعداد بسته های پستی و زمان

٤-٢-٢ مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی

به علت استفاده از داده‌های سری زمانی و همچنین وجود روند و تغییرات فصلی در داده‌ها از مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی استفاده شد. تغییرات فصلی و روند به عنوان متغیر مستقل به همراه متغیرهای مستقل شناسایی شده وارد مدل رگرسیون گردیدند. مقدار (P-Value =۰/۰۰۰<۰/۰۵) برای مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی برازش یافته روی داده‌ها به‌دست آمد که به معنای معنی‌داری مدل است. روند و تغییرات فصلی تاثیر معنی‌داری در مدل دارند و اثر باقی متغیرهای مستقل در مدل غیر معنی‌دار است. برای صحت مدل از معیار خطای جذر میانگین مربعات باقیمانده‌ها استفاده شد. فرمول محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا به صورت زیر است:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - x_i'\right)^2}{N}} \quad (2)$$

RMSE تفاوت مقدار پیش بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی می‌باشد. که در آن x_i مقدار واقعی و x'_i مقدار پیش بینی شده می‌باشد. در تجزیه و تحلیل رگرسیون از RMSE برای نشان دادن فاصله بین خط رگرسیون و نقاط برازش شده استفاده می‌شود. و سعی داریم آن را تا حد توان کمینه نمائیم. هر چه مقدار RMSE کمتر باشد آنگاه دقت برازش مدل بالاتر است. محدوده RMSE/ز صفر تا بی‌نهایت قابل تغییر است. که برای داده‌های آموزشی و آزمایشی به ترتیب ۴۸۸۹/۲ و ۴۸۹۵/۴ به دست آمده است.

یکی دیگر از معیارهای بررسی صحت مدل رگرسیون نزدیکی دو مقدار ضریب تعیین R^2 و ضریب تعیین تعدیل شده Adj R^2 می‌باشد شاخص ضریب تعیین، نسبتی از واریانس بر حسب متغیر وابسته است، که از متغیر(های) مستقل قابل پیش‌بینی باشد.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} = \frac{SSR}{SST} \quad (3)$$

مجموع توان دوم خطاها زمانی که از متغیر مستقل استفاده نشود را با SST نمایش می‌دهند. همچنین پارامتر SSR را مجموع توان دوم رگرسیون می‌نامند که نشان دهنده کاهش در مجموع توان دوم خطاها به خاطر استفاده از متغیر(های) مستقل است. هر چه مقدار SSR بزرگتر باشد بهتر است و اگر SSR=۰ باشد رابطه رگرسیونی اصلا کاربرد ندارد. SSE نیز مجموع توان دوم خطاها است، زمانی که از متغیرهای مستقل استفاده شود.

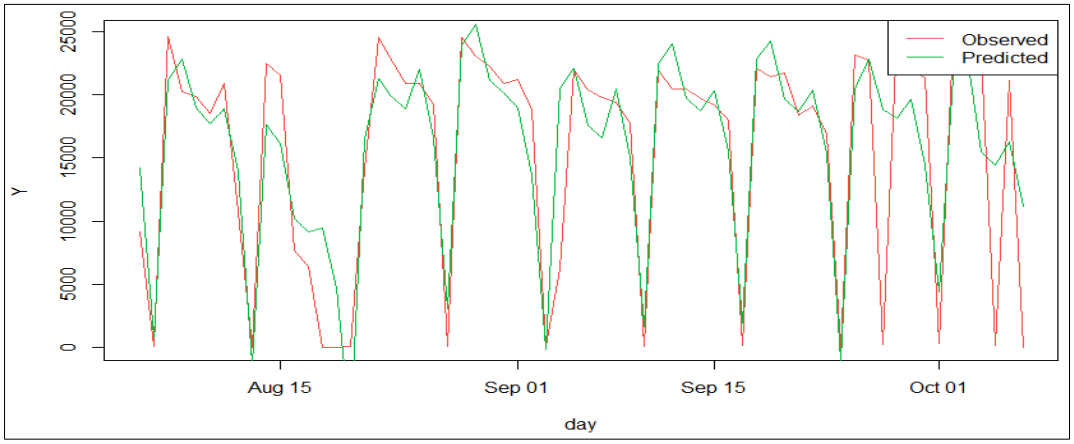
$$SSR = SST - SSE \quad (4)$$

مقدار R^2 همواره بین صفر و یک می‌باشد. اگر R^2=۰ باشد آنگاه استفاده از متغیرهای مستقل هیچ تاثیری بر برآورد خط رگرسیونی ندارد. همچنین اگر R^2=۱ باشد آنگاه SSR=SST است یا به عبارتی SSE =۰ است یعنی زمانی‌که از متغیرهای مستقل استفاده کنید هیچ خطایی وجود ندارد که این بهترین حالت ممکن است. با اجرای مدل در R، مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده، تقریبا برابر می‌باشند و براساس آن می‌توان ادعا نمود که ۵۵ درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای معنی‌دار در مدل (روند و تغییرات فصلی) توضیح داده می‌شود. تعداد داده‌های آموزشی[1] و آزمایشی[2] به ترتیب ۵۰۰ و ۷۰ است. بازه زمانی ۱۳۹۹/۰۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۰۵/۱۰ مربوط به داده آموزشی و بازه زمانی ۱۴۰۰/۰۵/۱۱ تا ۱۴۰۰/۰۷/۱۸ مربوط به داده آزمایشی می‌باشد. مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از این مدل برای داده‌های آزمایشی در شکل ۶، به‌خوبی مشاهده می‌شود.

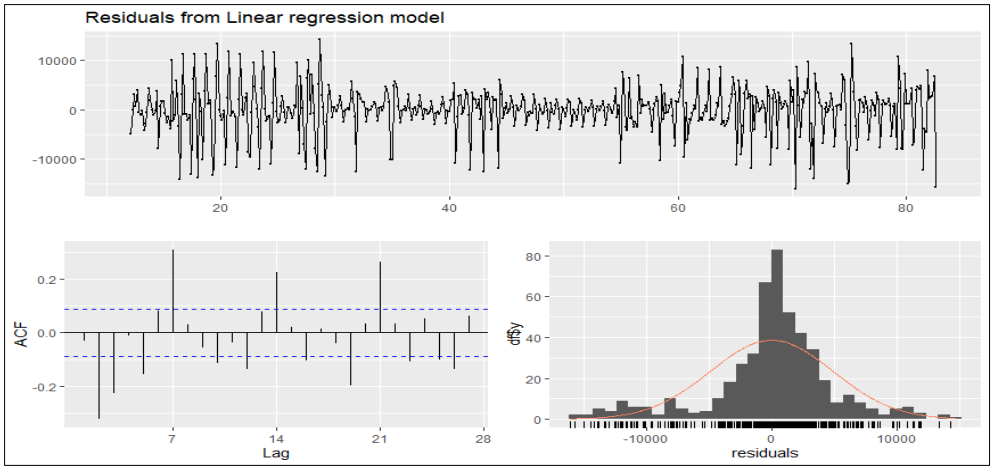
[1] Training
[2] Testing

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]



شکل ٦. نمودار مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی



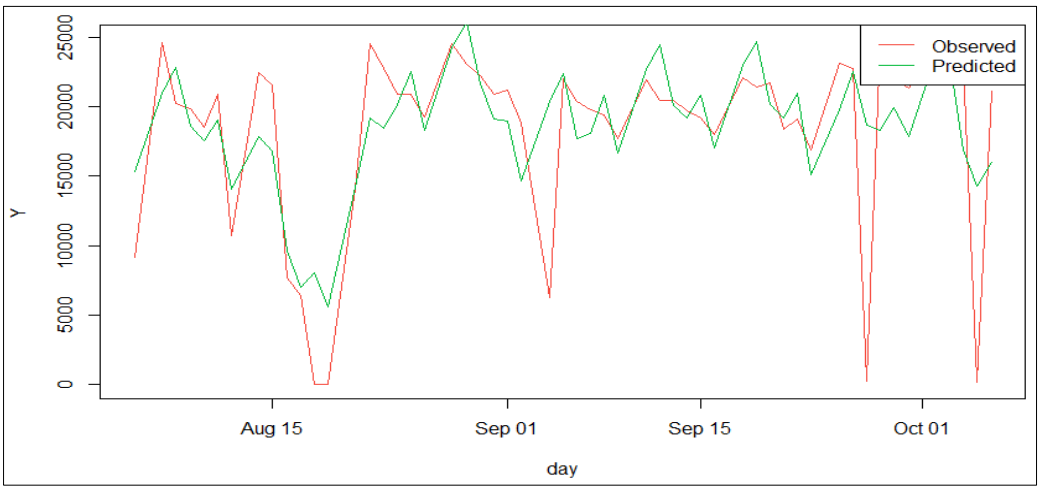
شکل ۷. بررسی توزیع باقیمانده‌ها در مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی برازش یافته روی داده‌های تمام روزهای هفته

توزیع باقیمانده‌ها و خودهمبستگی باقیمانده‌ها در شکل ۷ ، نشان داده شده است. توزیع باقیمانده‌ها با توزیع نرمال فاصله دارد. در صورتی که در حالت مطلوب باید توزیع باقیمانده‌ها تا حد امکان به توزیع نرمال نزدیک باشد. همچنین باقیمانده‌ها نباید خودهمبسته باشند که نمودار ACF سمت چپ شکل ۷، نشان از خودهمبستگی باقیمانده‌ها در بسیاری از لگ‌ها دارد.

با حذف روزهای جمعه از داده‌ها، میزان خطای RMSE برای مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی روی داده‌های آموزشی و آزمایشی به‌ترتیب مقادیر ۴۴۲۵/۳ و ۴۷۸۳/۵ به دست آمد. مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای داده‌های آزمایشی درشکل ۸ نشان داده شده است.

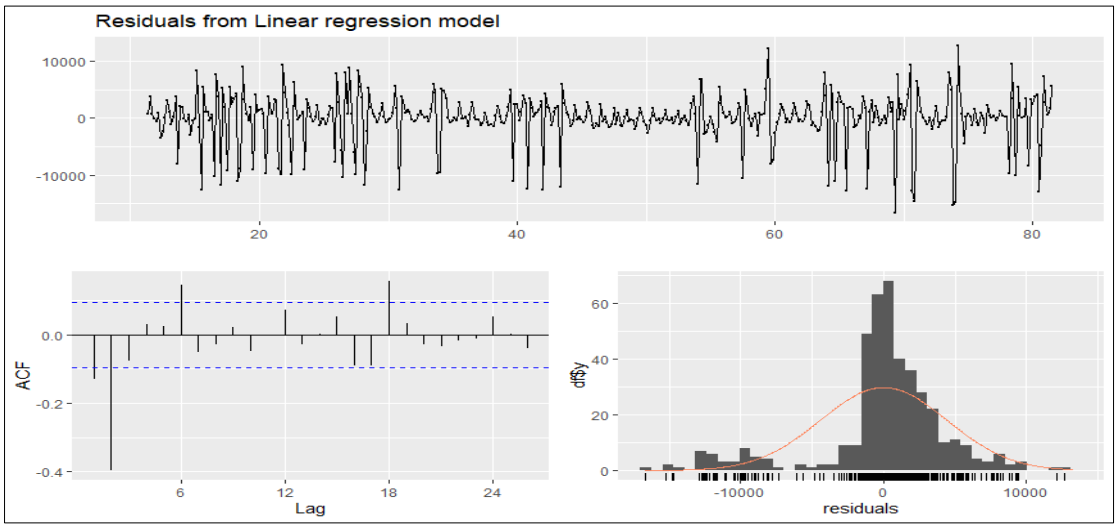
[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]



شکل ۸. نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری‌زمانی با حذف روزهای جمعه از داده‌ها

وضعیت باقیمانده‌ها در حالت حذف روزهای جمعه از داده‌ها در نمودار هیستوگرام شکل ۹، نشان داده شده است. فاصله توزیع باقیمانده‌ها از توزیع نرمال در حالت حذف روزهای جمعه بیشتر شد. اما خودهمبستگی باقیمانده‌ها کاهش یافت، به طوری که باقیمانده‌ها در لگ اول و دوم خودهمبستگی دارند.



شکل ۹. بررسی توزیع باقیمانده‌ها در مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی با حذف روزهای جمعه از داده‌ها

۳-۲-٤ مدل‌های سری زمانی

یکی از مدل‌های سری زمانی، مدل ARIMA(p,d,q) است که از سه بخش تشکیل شده است. قسمت اول، خودهمبسته بودن داده‌ها را مشخص و مدل‌بندی می‌کند. قسمت دوم یکپارچگی و قسمت سوم نیز میانگین متحرک است که برای هموارسازی مقادیر سری‌زمانی به کار می‌رود. مدل سری زمانی توسط تابع Auto.Arima در R انجام شد. تابع Auto.Arima بهترین مدل معنی‌دار برازش یافته را ارایه می‌دهد. نتایج در جدول ۱، آورده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

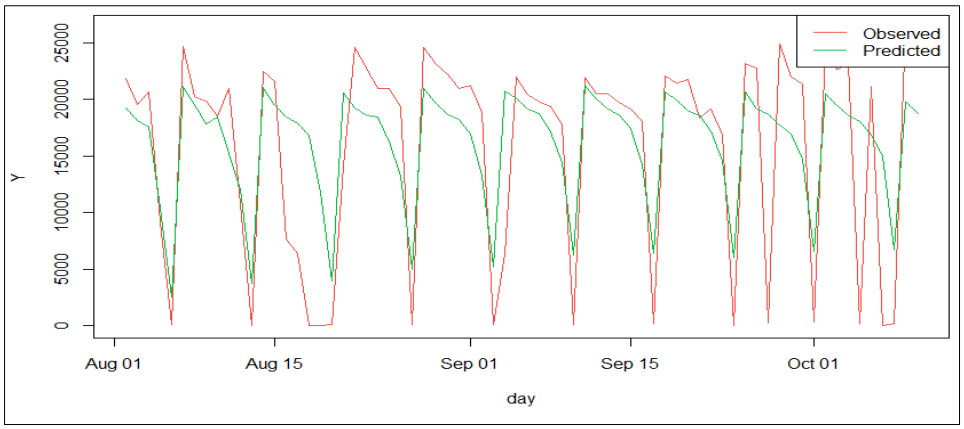
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

جدول ۱. مدل سری زمانی $ARIMA(2,1,3)(2,0,0)[7]$

Parameters	Estimate	AIC	Train RMSE	Test RMSE
AR1	-1.364	10024.68	5351.81	6962.96
AR2	-0.750			
MA1	0.649			
MA2	-0.460			
MA3	-0.810			
SAR1	0.362			
SAR2	0.170			
Dollar	-0.003			
Inflation Rate	1803.97			
Import	4.210			
Noruz	1921.91			
Christmas	-4135.52			
Covid19	2498.34			
Digikala	688.31			
Holiday	-22.23			
Exibition	837.60			

میزان خطای RMSE برای داده‌های آموزشی و آزمایشی در مدل سری زمانی به‌دست آمده به‌ترتیب مقادیر ۵۳۵۱/۸ و ۶۹۶۳/۰ است. جملات AR1 و AR2 درمدل فوق نشان ازخودهمبستگی[1] مرتبه اول ودوم، y_{t-1} و y_{t-1}، دارد. به‌عبارتی تغییرات متغیر وابسته در روز t به مقدار متغیر در زمان‌های t-۱ و t-۲ بستگی دارد. جملات MA1، MA2 و MA3 در مدل نیز به‌ترتیب نشان از میانگین متحرک مرتبه اول، دوم و سوم دارد. در کل میانگین متحرک نشان می‌دهد مقدار پیش‌بینی برای زمان بعدی به صورت میانگین مقدارهای قبلی خواهد بود.

در نمودار شکل ۱۰، مقادیر پیش‌بینی شده با روش سری زمانی و مقادیر واقعی داده‌های آزمایشی مقایسه می‌شوند.



شکل ۱۰. نمودار مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل سری زمانی $ARIMA(2,1,3)(2,0,0)[7]$

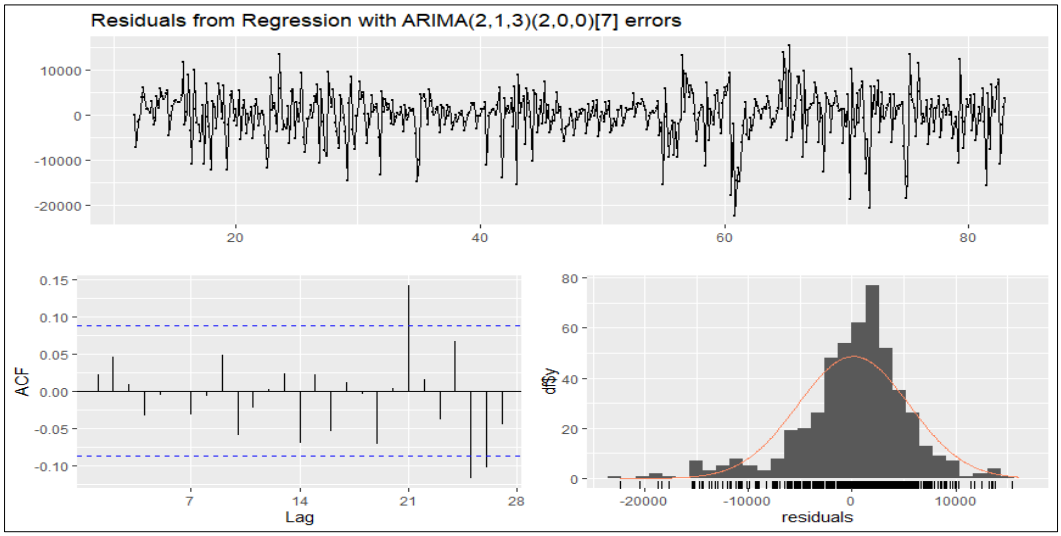
نمودار هیستوگرام شکل ۱۱، نشان می‌دهد، توزیع باقیمانده‌ها با توزیع نرمال فاصله دارد و چوله به راست است.

[1]. Autoregressive

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

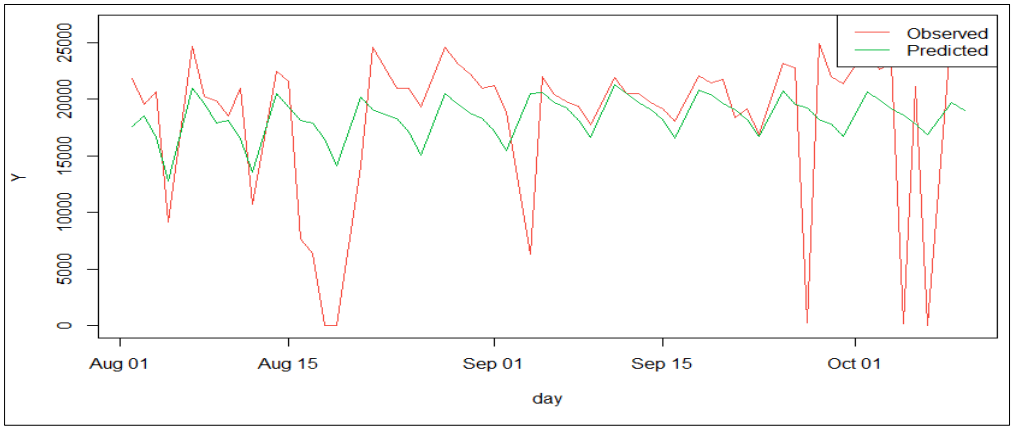
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

نمودار ACF سمت چپ شکل ۱۱، نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها در لگ‌های نسبتا دور خودهمبستگی دارند، (لگ‌هایی که از خطوط آبی بیرون زده‌اند).



شکل ۱۱. بررسی وضعیت باقیمانده‌ها در مدل سری زمانی $\boldsymbol{ARIMA(2,1,3)(2,0,0)[7]}$ برازش یافته روی داده‌های تمام روزهای هفته

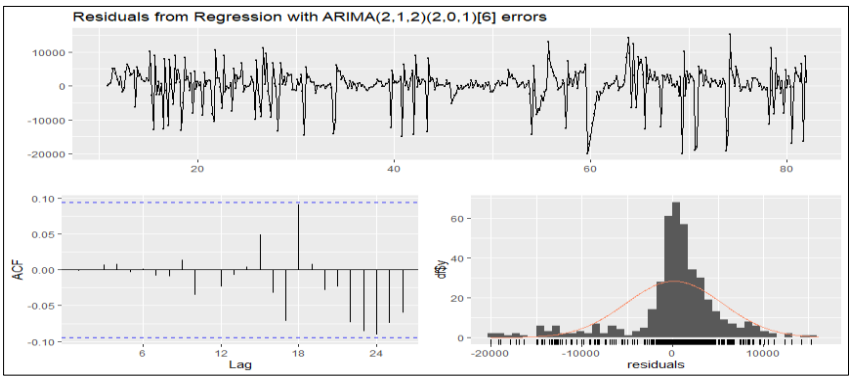
با حذف روزهای جمعه از داده‌ها، مدل سری زمانی $ARIMA(2,1,2)(2,0,1)[6]$ روی داده‌ها برازش یافته است. میزان خطای RMSE برای داده‌های آموزشی و آزمایشی به‌ترتیب مقادیر ۵۳۱۷/۲ و ۶۳۶۱/۱ به دست آمد. مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای داده‌های آزمایشی در نمودار شکل ۱۲، آورده شده است.



شکل ۱۲. نمودار مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل سری زمانی $\boldsymbol{ARIMA(2,1,2)(2,0,1)[6]}$ با حذف روزهای جمعه از داده‌ها

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

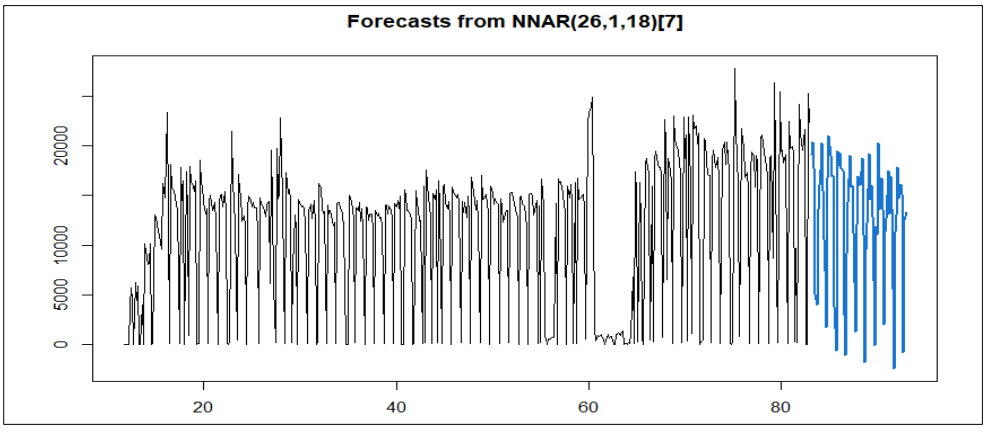


شکل ۱۳. بررسی وضعیت باقیمانده‌ها در مدل سری زمانی $\boldsymbol{ARIMA(2,1,2)(2,0,1)[6]}$ با حذف روزهای جمعه از داده‌ها

همان‌طور که در شکل ۱۳، مشاهده می‌شود، با حذف روزهای جمعه توزیع باقیمانده‌ها از توزیع نرمال فاصله بیشتری گرفت. در مقابل خودهمبستگی باقیمانده‌ها از بین رفت و از این نظر وضعیت باقیمانده‌ها به حالت مطلوب رسید.

٤-۳ شبکه عصبی

مدل شبکه عصبی پیشخور[1] با تابع nnetar در R روی داده‌ها اجرا شد. شبکه عصبی پیشخور یکی از ساده‌ترین انواع شبکه عصبی می‌باشد که به‌صورت بازگشتی نیست. تنها از یک مسیر حرکت می‌کند و رو به جلو است. به‌عبارتی با شروع از گره‌های ورودی و گذر از لایه‌های پنهان به گره‌های خروجی می‌رسد. این مدل شبکه عصبی پیش‌بینی یک قدمی[2] هست و برای پیش‌بینی چند قدم آینده[3] نیز قدم به قدم پیش بینی را انجام می‌دهد. ابتدا نمودارها و میزان خطای مدل شبکه عصبی برازش یافته روی کل داده‌ها (داده‌های شامل کل روزهای هفته) و سپس موارد متناظر برای داده‌ها بدون روزهای جمعه گزارش می‌گردد. شایان ذکر است که تمام رگرسورهای ورودی در مدل‌های پیشین (متغیرهای مستقل) در مدل شبکه عصبی وارد شده‌اند.



شکل ١٤. نمودار مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[7]}$

[1] . Feed Forward Neural Network

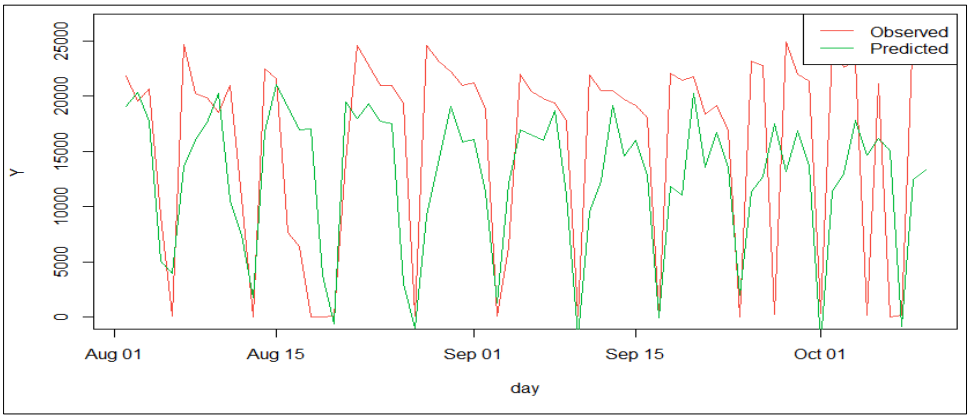
[2] . One-Step Forecasting

[3] . Multi-Step Forecasting

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

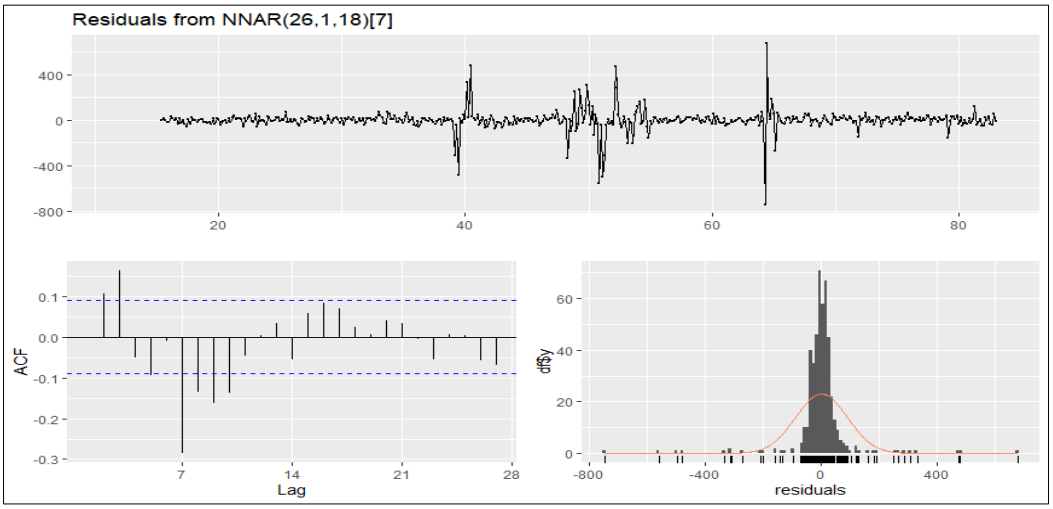
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای داده‌های آزمایشی در نمودار شکل ۱۵ ، نشان داده شده است.



شکل ۱۵. نمودار مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[7]}$

بهترین مدل شبکه عصبی پیشخور برازش یافته توسط تابع nnetar در R، مدل شبکه عصبی خود همبسته $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[7]}$ می‌باشد. خطای RMSE این مدل مقدار ۹۵/۶۳ به دست آمد.

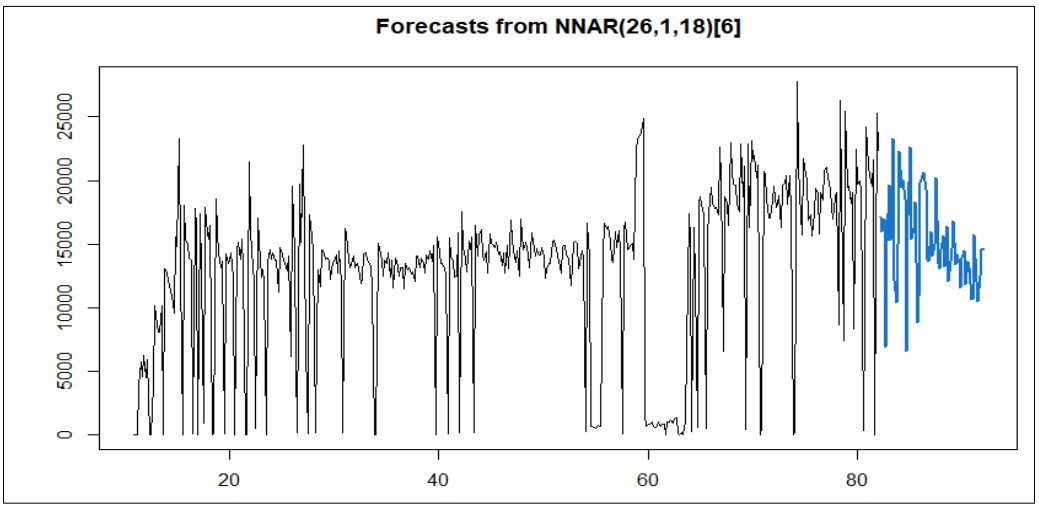


شکل ۱۶. بررسی وضعیت باقیمانده‌ها در مدل مدل شبکه عصبی $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[7]}$ برازش یافته روی داده‌های تمام روزهای هفته

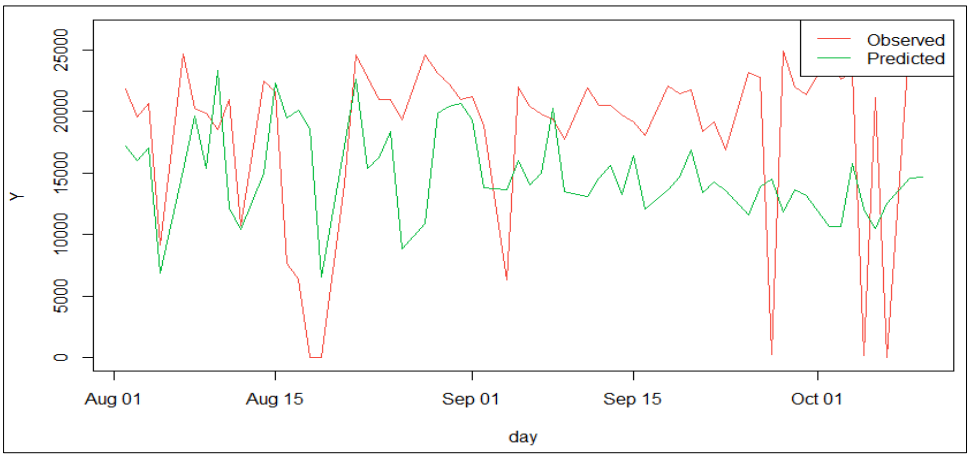
همان‌طور که از نمودار هیستوگرام شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، توزیع باقیمانده‌ها از نظر چولگی (عدم تقارن) به توزیع نرمال نزدیک است. همچنین، نمودار ACF سمت چپ شکل ۱۶ نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها در لگ هفتم خودهمبستگی زیادی دارد. با حذف روزهای جمعه، این مقدار به ۶۲/۴۳ کاهش می‌یابد. مدل و عملکرد آن در شکل ۱۷، به خوبی قابل ملاحظه می‌باشد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

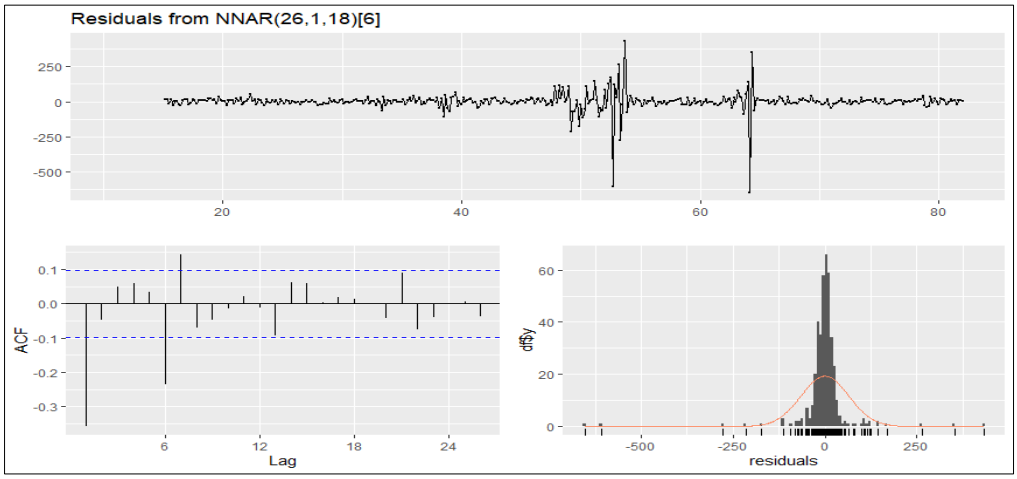
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]



شکل۱۷. نمودار مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی $NNAR(26,1,18)[6]$



شکل ۱۸. نمودار مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[6]}$



شکل ۱۹. بررسی وضعیت باقیمانده‌ها در مدل مدل شبکه عصبی $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[6]}$ برازش یافته روی داده‌های تمام روزهای هفته

همان‌طور که از نمودار هیستوگرام شکل ۱۹، مشاهده می‌شود، توزیع باقیمانده‌ها به توزیع نرمال نزدیک است. نمودار ACF نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها در لگ اول خودهمبستگی زیادی دارد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

٤-٤ جمع‌بندی یافته‌ها

یافته‌های این پژوهش حاصل تحلیل داده‌های واقعی تعداد بسته‌های پستی وارده به اداره کل پست استان خراسان رضوی و مقایسه عملکرد سه رویکرد متداول پیش‌بینی شامل تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، تحلیل رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی است. داده‌های مورد استفاده به‌صورت روزانه و در بازه‌ای متوالی به مدت ۱۸ ماه استخراج شدند و پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، برای برازش و ارزیابی مدل‌ها به کار گرفته شدند.

نتایج تحلیل‌های اولیه نشان داد که تقاضای خدمات پستی در دوره مورد بررسی دارای رفتار غیرایستا، روند مشخص و الگوهای فصلی قابل توجه است. همچنین نوسانات کوتاه‌مدت و شوک‌های مقطعی در داده‌ها مشاهده شد که بیانگر تاثیر عوامل محیطی، اقتصادی و رویدادی بر تعداد بسته‌های پستی وارده می‌باشد. بررسی‌های تکمیلی مبتنی بر مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان حاکی از آن بود که متغیرهایی نظیر محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹، فستیوال‌های فروش اینترنتی، مناسبت‌های خاص تقویمی، بازگشایی مدارس، برگزاری نمایشگاه‌ها، نوسانات نرخ ارز، نرخ تورم و تغییرات واردات می‌توانند نقش مهمی در افزایش یا کاهش حجم تقاضای خدمات پستی ایفا کنند.

در بخش مدل‌سازی سری زمانی، پس از آزمون ایستایی و تعیین ساختار مناسب، چندین مدل آریما مورد برازش قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ARIMA از نظر معیارهای خطا و برازش آماری، عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های سری زمانی دارد و توانسته است الگوهای روند و فصلی موجود در داده‌ها را به‌طور مناسب شناسایی کند. با این حال، تحلیل باقیمانده‌ها نشان داد که در برخی مقاطع زمانی، به‌ویژه در دوره‌های دارای نوسان شدید، توان توضیح‌دهندگی این مدل کاهش می‌یابد.

در مرحله بعد، تحلیل رگرسیونی با لحاظ مولفه‌های سری زمانی انجام شد. نتایج حاصل از برازش مدل رگرسیونی نشان داد که ترکیب مولفه روند و فصلی، بیشترین قدرت تبیین تغییرات تعداد بسته‌های پستی را دارد. این یافته تأیید می‌کند که رفتار تقاضای خدمات پستی علاوه بر وابستگی به زمان، به الگوهای تکرارشونده سالانه و دوره‌ای نیز وابسته است. با این وجود، محدودیت مدل رگرسیونی در مدل‌سازی روابط غیرخطی میان متغیرها موجب شد که دقت پیش‌بینی آن در مقایسه با سایر روش‌ها کمتر باشد.

در نهایت، شبکه عصبی مصنوعی پیشخور برای پیش‌بینی تعداد بسته‌های پستی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل NNAR، به‌ویژه در حالتی که داده‌های مربوط به روزهای تعطیل آخر هفته (جمعه‌ها) از مجموعه داده‌ها حذف شده‌اند، بالاترین دقت پیش‌بینی را ارایه می‌دهد. این مدل با بهره‌گیری از ساختار غیرخطی و توانایی یادگیری الگوهای پیچیده، عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های خطی سری زمانی و رگرسیونی از خود نشان داد. مقدار خطای جذر میانگین مربعات باقیمانده‌ها (RMSE) برای این مدل در داده‌های آزمایشی برابر با ۴۳/۶۲ محاسبه شد که کمترین مقدار خطا در میان مدل‌های مورد بررسی است. همچنین بررسی توزیع باقیمانده‌ها نشان داد که فرض نرمال بودن خطاها تا حد قابل قبولی برقرار است.

مقایسه نهایی مدل‌ها بیانگر آن است که اگرچه هر سه رویکرد قادر به پیش‌بینی تقاضای خدمات پستی هستند، اما مدل شبکه عصبی پیشخور از نظر دقت و پایداری عملکرد، برتری محسوسی دارد. این یافته نشان

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

می‌دهد که در محیط‌های پویا و ناپایدار مانند خدمات پستی، که تقاضا تحت تاثیر عوامل متنوع و غیرخطی قرار دارد، استفاده از مدل‌های هوشمند می‌تواند به بهبود قابل توجه دقت پیش‌بینی و در نتیجه ارتقای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منجر شود.

۵ نتیجه‌گیری

پس از شناخت کلی داده‌ها، نتایج حاصل از سه نوع مدل شامل مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری‌زمانی، مدل‌های آماری سری‌زمانی و شبکه عصبی بررسی شده است. در تمامی مدل‌ها تعداد داده‌های آموزشی[1] و آزمایشی[2] به ترتیب ۵۰۰ و ۷۰ است. بازه زمانی ۱۳۹۹/۰۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۰۵/۱۰ مربوط به داده آموزشی و بازه زمانی ۱۴۰۰/۰۵/۱۱ تا ۱۴۰۰/۰۷/۱۸ مربوط به داده آزمایشی می‌باشد. مدل‌های برازش‌یافته در دوحالت با در نظر گرفتن روز تعطیل آخر هفته و حذف روزهای جمعه از داده‌ها، براساس معیار خطای جذر میانگین مربعات باقیمانده‌ها[3] ارزیابی و مقایسه شدند. اجرای تمامی مدل‌های مذکور و تحلیل داده‌ها توسط کدنویسی در نرم‌افزار R صورت پذیرفته است. با توجه به مقادیر خطای RMSE محاسبه شده برای سه نوع مدل برازش یافته در هر دو حالت با درنظر گرفتن تمام روزهای هفته و حذف روزهای جمعه از داده‌ها، روی داده‌های آموزشی و بررسی عملکرد این مدل‌ها در داده‌های آزمایشی می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبکه عصبی پیشخور $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[7]}$ زمانی که روزهای جمعه را از داده‌ها حذف می‌کنیم با خطای جذر میانگین مربعات باقیمانده‌ها برای داده‌های آزمایشی ۶۲/۴۳ کمترین خطا را داشته است. لذا با توجه به کمترین خطا و وضعیت باقیمانده‌ها که در جدول (۲)، مقایسه گردیده است.

جدول ۲. مقایسه مدل‌های برازش‌یافته

خطای جذر میانگین مربعات باقیمانده‌ها برای داده‌های آزمایشی	مشخصات مدل
٤٨٩٥/٤	مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی برای تمام روزهای هفته
٤٧٨٣/٥	مدل رگرسیونی با مولفه‌های سری زمانی با حذف روزهای جمعه
٦٩٦٣/٠	مدل سری زمانی برای تمام روزهای هفته
٦٣٦١/١	مدل سری زمانی با حذف روزهای جمعه
٩٥/٦٣	مدل شبکه عصبی برای تمام روزهای هفته
٦٢/٤٣	مدل شبکه عصبی با حذف روزهای جمعه

بهترین مدل پیش‌بینی‌کننده برای بسته‌های پستی مدل شبکه عصبی می‌باشد. شایان ذکر است که مدل شبکه عصبی به‌دست آمده، $\boldsymbol{NNAR(26,1,18)[7]}$ دارای ۱۸ لایه پنهان می‌باشد و معادل با مدل سری زمانی $ARIMA(26,0,0)(1,0,0)[7]$ اما با تابع غیرخطی است.

[1] Training
[2] Testing
[3] Root Mean Square Error (RMSE)

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

در برخی روزها در تعداد بسته‌های پستی وارده به اداره کل پست خراسان رضوی، تفاوت چشم‌گیری وجود دارد، بدین منظور اداره می‌تواند از نیروی کار ساعتی استفاده نماید. لازم به ذکر است که در حال حاضر اداره پست برای انجام فعالیت های خود در روزهای کاری شلوغ از برون سپاری در بخش توزیع استفاده می کنند. لذا می‌توان از برون سپاری به نحو مشابه درین بخش نیز استفاده نمود. همچنین به جای استفاده از برون سپاری از جا به جایی نیروها یا اضافه کاری نیروهای آموزش دیده استفاده کند.

متغیرهای روز هفته، آخر هفته همچنین متغیرهای مربوط به نرخ دلار، تورم و نرخ واردات و نیز متغیر فستیوالهای دیجیکالا، ایام تعطیلات رسمی اداره پست و نوروز دارای اهمیت بیشتری نسبت به سایر متغیرهای شناسایی‌شده بودند. اهمیت بیشتر این متغیرها نسبت به سایر متغیرها، لحاظ کردن آنها در برنامه ریزی های آتی را برای اداره پست ملزم می‌سازد. اطلاعات مربوط به متغیرهای با اهمیت تر را از طریق سایت هایی که این متغیرها را پیش بینی می‌کنند، قابل استخراج است، میتوان از اطلاعات به دست آمده در جا به جایی نیرو و برون سپاری های اداره استفاده نمود.

۵-۱ محدودیت‌های تحقیق

مهم‌ترین محدودیت این تحقیق، دسترسی به داده‌های تاریخی برای ۱۸ ماه گذشته بوده است. چرا که هر چه اطلاعات داده های گذشته بیشتر باشد، می‌توان به پیش‌بینی دقیق‌تری دست یافت. اطلاعات در اداره پست نیز به خصوص در تعداد بسته های وارده، هر شش ماه یکبار از سیستم حذف می‌شوند. لذا دقت مدل را می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد.

محدودیت دیگر تحقیق نیز به کوتاه مدت بودن برخی از متغیرها نسبت به دوره زمانی اطلاعات تعداد بسته‌های پستی، مربوط می‌شود. مثلا در یک دوره یک ساله برخی متغیرها فقط یکبار اما به مقدار زیادی بر متغیر وابسته تاثیر می‌گذارند از جمله بازگشایی مدارس و بازه انتخابات شورای شهر که این قضیه از سوی تیم خبرگان نیز تایید شده است، اما در تجزیه و تحلیل رگرسیون از مدل حذف شده‌اند.

۵-۲ پیشنهادات

به محققان پیشنهاد می‌گردد، از رویکردهای نرم و پویایی‌شناسی‌سیستم‌ها [۲۲]، برای استخراج عوامل مؤثر بر تقاضا استفاده نمایند و متغیرهای به‌دست آمده را با متغیرهای شناسایی‌شده در این پژوهش مقایسه نمایند. همچنین پیشنهاد می‌شود نتایج روش‌های دیگر چون رگرسیون بازگشتی و رگرسیون بردار پشتیبان که در مقالات پیشینه پژوهش مورد استفاده قرار گرفته بودند نیز با نتایج این پژوهش مقایسه شود. پیشنهاد دیگر استفاده از روش‌های فازی است، در این پژوهش ما متغیرها را به صفر و یک طبقه بندی نموده بودیم. در برخی از مقالات از روش‌های فازی برای بالا بردن دقت مدل استفاده شده است.

در این تحقیق، دقت سری زمانی کمتر از مدل رگرسیونی بود. اما یکی از روش‌های بهبود دقت مدل‌های

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

سری زمانی، مدل‌سازی هیبریدی است. پیشنهاد می‌شود از مدل میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه (ARIMA) و مدل (DBN) غیر خطی، برای به‌دست آوردن رفتارهای خطی و غیر خطی یک سری زمانی، استفاده شود. با توجه به مقالات، امکان بالا بردن دقت مدل‌های سری زمانی در روش پیشنهادی، بالا است.

منابع

[1]. Wang, Y., Qiu, S., & Chen, Z. (2025). Neural Network Approaches to Temporal Pattern Recognition: Applications in Demand Forecasting and Predictive Analytics. Journal of Banking and Financial Dynamics, 9(11), 19–32.

[2]. Moroff, N. U., Kurt, E., & Kamphues, J. (2021). Demand forecasting and planning in volatile environments: A managerial perspective. *International Journal of Production Economics, 236*, 108111.

[3]. Lau, H. C. W., Lee, C. K. M., Ho, G. T. S., & Ip, W. H. (2013). Demand forecasting in the logistics service industry. *Expert Systems with Applications, 40*(6), 2254–2261.

[4]. Bard, J. F., & Wan, L. I. N. (2005). Workforce scheduling at postal service processing and distribution centers. *Journal of the Operational Research Society, 56*(7), 772–784.

[5]. Munkhdalai, L., Liu, F., Yu, H., & Lee, J. Y. (2020). Demand forecasting for postal services using time series and neural networks. *Applied Soft Computing, 95*, 106519.

[6]. Bard, J. F., Binici, C., & DeSilva, A. (2007). Staff scheduling at the United States Postal Service. *Computers & Operations Research, 34*(12), 3463–3484.

[7]. Zhang, Y., Liu, X., & Wang, J. (2024). Deep learning-based time series forecasting: A comprehensive review. Artificial Intelligence Review, 57(6), 1–36.

[8]. Hussein, M. A., & Al-Khater, K. (2025). Comparative analysis of deep recurrent neural networks for demand forecasting in dynamic systems. Journal of Forecasting.

[9]. Riachy, C. (2025). Assessing socio-economic and pandemic effects in demand forecasting models. Expert Systems with Applications, 238, 121980.

[10]. Mahmoudi, S., & Zafaraniyeh, M. (2023).Solving a bi-level allocation problem using a self-supervised machine learning approach. Tahghigh Dar Amaliat Dar Karbordhaye An, 20(3), 87–107. (In Persian)

[11]. Khademi, M., Tolouei Ashlaghi, A., & Fathi Hafshejani, K. (2024). Presenting a new metaheuristic algorithm to improve data clustering accuracy using the K-means method. *Tahghigh Dar Amaliat Dar Karbordhaye An, 21*(3), 99–116. (In Persian)

[12]. Munkhdalai, L., Park, K. H., Batbaatar, E., Theera-Umpon, N., & Ryu, K. H. (2020). Deep Learning-Based Demand Forecasting for Korean Postal Delivery Service. IEEE Access, 8, 188135-188145. doi:10.1109/ACCESS.2020.3030938

[13]. Amin Naseri, M., & Behnam, F. (2012). Forecasting the demand for rail travel on the Tehran-Mashhad route. Journal of Transportation Research, 9(1 (30)), 15-28. (In Persian)

[14]. Backstrom, S. (2018) .Forecasting Customer Traffic at Postar Service Points. Retrieved from http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-240270.

[15]. Abolghasemi, M., Beh, E., Tarr, G., & Gerlach, R. (2020). Demand forecasting in supply chain: The impact of demand volatility in the presence of promotion. Computers & Industrial Engineering, 142, 106380. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106380 (In Persian)

[16]. Azar, A., Pournasir, M., & Mosafer, H. (2018). Modeling and predicting the efficiency of postal offices in Gilan province using data envelopment analysis and evolutionary approach of GMDH neural networks. Operations Research and Its Applications (Applied Mathematics), 15(3 (58) #m00522), 121-139. (In Persian)

[17]. Bard ,*J. F., & Wan, L. I. N. (2005). Weekly scheduling in the service industry: an application to mail processing and distribution centers. IIE Transactions, 37(5), 379-396. doi:10.1080/07408170590885288

[18]. Júdice, J., Martins, P., & Nunes, J. (2005). Workforce planning in a lotsizing mail processing problem. Computers & Operations Research, 32(11), 3031-3058. doi:https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.04.011

[19]. Knezevic, N., Trubint, N., Macura, D., & Bojovic, N. (2011). A two-level approach for human resource planning towards organizational efficiency of a postal distribution system. Economic computation and economic cybernetics studies and research / Academy of Economic Studies, 45, 155-168 .

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]

[20]. Munkhdalai, L., Munkhdalai, T., Pham, V.-H., Li, M., Ryu, K., & Theera-Umpon, N. (2022). Recurrent Neural Network-Augmented Locally Adaptive Interpretable Regression for Multivariate Time-Series Forecasting. IEEE Access, 10, 1-1. doi:10.1109/ACCESS.2022.3145951

[21]. Tochkov, K. (2015). The efficiency of postal services in the age of market liberalization and the internet: Evidence from Central and Eastern Europe. Utilities Policy, 36, 35-42. doi:https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.09.004

[22]. Zarinbal, M., Izadbakhsh, H., Shahvali, S., HosseinAlizadeh, R., & ZadehLabaf, F. (2020). Forecasting and making policies for Postal Services: system dynamics approach (Iran Post Company as a case study). Scientia Iranica. doi:10.24200/sci.2020.53368.3206

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.71773/jamlu-2026-2-2316]