

eISSN: 2981-1554

Original Article (Mixed)

Predicting the products needed by e-commerce customers using machine learning algorithms in Kalleh Meat Products Company

Ahmad Firouzi¹ , Hamidreza Razavi² , Saeid Emamgholizadeh³ ,

Seyed Hesameddin Motavalli⁴ , Mohammadreza Razavi⁵ 

1- Master of Business Administration graduate, Faculty of Humanities and Social Sciences, Shomal University, Amol, Iran

2- Associate Professor, Department of Management, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Shomal, Amol, Iran

3- Associate Professor, Department of Management, Faculty of Humanities and Social Sciences, Shomal University, Amol, Iran

4- Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Humanities and Social Sciences, Shomal University, Amol, Iran

5- Department of Accounting, Faculty of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran

Receive:

29 December 2025

Revise:

16 May 2026

Accept:

09 July 2026

Abstract

This research aimed to predict the products required by e-commerce customers in Kalleh Meat Products Company using machine learning algorithms. The present research was conducted with an applicable and quantitative approach in terms of purpose. The data used included historical information on online purchases of Kalleh Company customers, which included the variables "product price", "past weight purchase volume", "product type", "past purchase frequency" and "past Rial purchase amount". To predict the "required product" as an output variable, four machine learning algorithms including artificial neural network, random forest, decision tree and K-nearest neighbor were implemented and evaluated with the criteria of Accuracy, Precision, Recall and F1-Score. The results of the model evaluation showed that the artificial neural network algorithm achieved the highest score in all evaluation criteria (Precision: 95.1%, Accuracy: 94.2%, Recall: 95.9% and F1-Score: 95.5%). The results showed that the artificial neural network has the best performance in predicting the products needed by customers; the research models were implemented and validated in the Python version 3.x programming environment and using the specialized libraries Scikit-learn and Keras based on TensorFlow. After that, the random forest, decision tree and K-nearest neighbor algorithms were used, respectively. Also, the analysis of the importance of the variables showed that "past weighted purchase volume" and "past purchase frequency" had the greatest impact on the model's prediction. The proposed model based on the artificial neural network has the ability to become an accurate and efficient product recommendation system for the Kale company. Implementing this model can lead to optimized inventory management, increased customer satisfaction, and ultimately sales growth by accurately predicting future customer demand.

Keywords:

demand forecasting, machine learning, recommender system, e-commerce, artificial neural network, customer satisfaction

Please cite this article as (APA): Firouzi, A, Razavi, H, Emamgholizadeh, S, Motavalli, S H and Razavi, M. (2026). Predicting the products needed by e-commerce customers using machine learning algorithms in Kalleh Meat Products Company. *New Approaches in Management and Marketing*, 5(2), 272-295.



<https://doi.org/10.22034/jnamm.2026.569389.1240>



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by Research Center of Resource Management Studies and Knowledge-Based Business. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Publisher: Research Center of Resource Management Studies and Knowledge-Based Business

Corresponding Author: Hamidreza Razavi

Email: hr.razavi1@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Accurately predicting customer purchasing behavior is recognized as one of the most central capabilities of market-oriented organizations in the era of digital transformation, because in order to achieve sustainable competitive advantage, companies must predict future customer needs and allocate their resources to the production and distribution of products that are most likely to be purchased; otherwise, they will face phenomena such as accumulation of low-demand inventories, increased holding costs, lost sales opportunities, and ultimately reduced profitability (Bhavishya et al., 2025). This challenge is even more critical in industries with perishable and time-sensitive products such as meat products, because any forecast error not only leads to direct financial losses, but also to damage to brand reputation and reduced customer trust (Satyanarayana et al., 2025; Jauhar et al., 2025). With the rapid expansion of e-commerce and the development of digital infrastructure, a huge amount of transactional big data including purchase records, order frequency, product type, prices, and purchase time has been generated, which has provided a suitable platform for the application of advanced data analysis methods (Wen & Liu, 2026; Jain, 2025). In the meantime, machine learning algorithms are known as powerful analytical tools in the field of demand forecasting and recommender systems due to their ability to identify hidden patterns and nonlinear relationships (Syamsuri et al., 2025). Despite the large volume of transaction data in the e-commerce system of Kale Meat Products Company, no data-driven model has been designed to predict the products needed by customers, and managers often face shortages of high-demand products or overproduction of low-demand products. Therefore, the main objective of this study is to design and evaluate a model based on machine learning algorithms to predict the products needed by customers in the e-commerce platform of Kale Company and to identify the best algorithm in terms of accuracy, precision, recall, and F1 score.

Theoretical Framework

The theoretical foundations of this study are based on the intersection of e-commerce, consumer behavior, and machine learning. Machine learning enables the extraction of complex patterns from large data and data-driven decision-making (Breiman, 2001). Algorithms such as support vector machines are used in the analysis of customer behavioral data due to their ability to model nonlinear relationships (Cortes & Vapnik, 1995).

Customer Buying Behavior in E-Commerce (Digital RFM Model)

E-commerce platforms are a huge source of customer behavioral data (Kechri et al., 2025). Past purchasing patterns are considered the strongest predictor of future behavior (Li & Hu, 2026). The RFM model analyzes customer behavior based on purchase recency, purchase frequency, and transaction value (Gupta & Agarwal, 2024). In this study, past purchase frequency and past purchase amount are adapted from this theoretical structure. Customers with higher purchase frequency have stronger behavioral attachment to the brand (Fang et al., 2025). The financial volume of transactions reflects the customer lifetime value (Akter et al., 2025). Combining these variables allows for dynamic personalization (Vuppala & Prasad, 2026).

Supply Chain: Demand Forecasting in Perishable Food Industries

Meat products face logistical challenges due to their high perishability (Jauhar et al., 2025). Maintaining a safe inventory is costly due to the risk of expiration (Padmanabhan et al., 2025). The imbalance between supply and demand creates the bullwhip effect (Letto & Orsini, 2025). Predictive logistics emphasizes the shift from push to pull mode based on

actual demand (Thiel et al., 2023). In this study, past weighted purchase volume and product type are entered into the model as supply chain indicators.

Analytical Tools: Recommender Systems and Python Computing Platform
Recommender systems play a key role in guiding customer choices (Koren et al., 2009). The entire data pipeline is developed in Python. Artificial neural networks extract hidden patterns of transactions (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Random forest is predicted using decision trees and criteria such as Gini impurity (Da, 2025). K-nearest neighbor algorithm also operates based on behavioral similarity.

Research methodology

The present study is applicable in terms of purpose, quantitative in nature, and based on a data mining approach. The statistical population includes all online customers of Kale Company, and a sample of 15 thousand purchase records (after cleaning and preprocessing) was extracted from the company's online shopping transaction database by simple random method. The dependent variable "customer's required product" was defined as binary (select/not select the target product) and the independent variables included product price, past purchase weight volume, product type, past purchase frequency and past purchase amount in Rials. Four classification algorithms including Artificial Neural Network (ANN), Random Forest, Decision Tree and K-Nearest Neighbor (KNN) were implemented using Python 3.x and Scikit-learn and Keras libraries (based on TensorFlow). The implementation process included data preprocessing (cleaning, normalization of quantitative variables and encoding of nominal variables), data splitting into training (80%) and test (20%) parts, training the models using cross-validation to avoid overfitting, and finally evaluating the performance of the models on the test data. The evaluation was performed using the criteria of accuracy ($\text{Accuracy} = \frac{\text{TN} + \text{TP}}{\text{TN} + \text{FP} + \text{TP} + \text{FN}}$), precision ($\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{FP} + \text{TP}}$), recall ($\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{FN} + \text{TP}}$) and F1 score ($\text{F1} = \frac{2(\text{Precision} \times \text{Recall})}{\text{Precision} + \text{Recall}}$). In order to check the stability of the results, each algorithm was run in 15 consecutive iterations.

Research findings

The results of implementing four machine learning algorithms on the data of 15 thousand online customers of Kale Company are presented in Table 1. As can be seen, the artificial neural network algorithm obtained the highest values in all four criteria of precision, accuracy, recall and F1 score; and is recognized as the superior algorithm. After that, random forest, decision tree and K-nearest neighbor are in the next ranks, respectively.

Table 1 Comparison of machine learning algorithms used in the present study

Algorithms	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Decision Tree	0.94	0.92	0.958	0.938
random forest	0.946	0.932	0.958	0.945
artificial neural network	0.951	0.942	0.959	0.955
K-nearest neighbor	0.931	0.912	0.944	0.922

In addition to comparing the main performance, the stability of the results was checked in 15 consecutive repetitions. The results showed that the accuracy of all four algorithms had a slight and stable improvement process; so that the artificial neural network reached 94.3% accuracy in the first iteration to 95.1% in the 15th iteration, and the random forest improved from 93.9% to 94.6%, which indicates proper convergence and the lack of strong dependence of the results on the randomness of the data. The confusion matrix also showed that the

artificial neural network and the random forest have the lowest type 1 and type 2 errors. In the ranking of the input variables based on the analysis of the importance of features in the artificial neural network algorithm, the variable "weight or weighted volume of purchase" had the greatest impact on the prediction with an approximate share of 35%, followed by "past purchase times" (28%), "product type" (18%), "product price" (12%) and "previous purchase amount in riyals" (7%). This ranking in random forest and decision tree algorithms was also observed to be almost the same, which indicates the high validity of the findings.

Conclusion

The findings of this research are consistent with previous research. Turatti (2025) showed that deep learning models have a high ability to analyze big data and predict online shopping behavior, which is confirmed by the accuracy of 1.95% of the artificial neural network in the current research. Iseal & Michael (2025) also considered analytical models based on behavioral data to be effective for estimating the probability of purchase. Mirasçı & Aksoy (2025) reported the use of machine learning models in the optimization of effective purchasing strategies, and the random forest in the current research showed a good performance with an accuracy of 94.6%. Esmeli & Gokce (2025) emphasized the importance of explainable models and the ranking of the input variables in the current research is considered a step towards clarifying the model. Also, Karimi & Mahmoodi Ranai (2025) confirmed the positive impact of artificial intelligence adoption on business performance, which reinforces the necessity of implementing the proposed model. Darvish et al. (2026) also introduced machine learning algorithms as key technologies. Due to the superior performance of the artificial neural network as well as the acceptable and stable performance of the random forest, these two algorithms are proposed as the main options for the implementation of the intelligent recommender system in Calais. Such a system can reduce perishable product waste, optimize warehouse inventory, increase sales conversion rates, and improve customer satisfaction. For future research, it is suggested to test the proposed model in similar companies, add new variables such as demographic characteristics and purchase time patterns to the model, use more advanced deep learning approaches (such as LSTM and attention-based models), and perform sensitivity analysis on the architecture of the artificial neural network (number of layers, neurons, activation functions) to increase the accuracy and stability of the model.

eISSN: 2981-1554

علمی پژوهشی (آمیخته)

پیش‌بینی محصولات مورد نیاز مشتریان تجارت الکترونیک از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شرکت فرآورده‌های گوشتی کاله

احمد فیروزی¹ ID، حمیدرضا رضوی² ID، سعید امامقلی زاده³ ID، سید حسام الدین متولی⁴ ID، محمدرضا رضوی⁵ ID

- 1- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه شمال، آمل، ایران
- 2- دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه شمال، آمل، ایران
- 3- دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه شمال، آمل، ایران
- 4- استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه شمال، آمل، ایران
- 5- گروه حسابداری، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف پیش‌بینی محصولات مورد نیاز مشتریان تجارت الکترونیک در شرکت فرآورده‌های گوشتی کاله و با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین انجام شد. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و با رویکردی کمی انجام گرفت. داده‌های مورد استفاده، شامل اطلاعات تاریخی خرید مشتریان آنلاین شرکت کاله بود که متغیرهای «قیمت محصول»، «حجم خرید وزنی گذشته»، «نوع محصول»، «دفعات خرید گذشته» و «میزان خرید ریالی گذشته» را در بر می‌گرفت. برای پیش‌بینی «محصول مورد نیاز» به عنوان متغیر خروجی، چهار الگوریتم یادگیری ماشین شامل شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی، درخت تصمیم و K-نزدیک‌ترین همسایه پیاده‌سازی و با معیارهای دقت (Accuracy)، صحت (Precision)، فراخوانی (Recall) و F1-Score ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی با کسب بالاترین امتیاز در تمامی معیارهای ارزیابی (دقت: 95,1٪، صحت: 94,2٪، فراخوانی: 95,9٪ و F1-Score: 95,5٪)، نتایج نشان داد شبکه عصبی مصنوعی بهترین عملکرد را در پیش‌بینی محصولات مورد نیاز مشتریان دارد؛ مدل‌های پژوهش در محیط برنامه‌نویسی Python نسخه 3.8 و با بهره‌گیری از کتابخانه‌های تخصصی Scikit-learn و Keras مبتنی بر TensorFlow پیاده‌سازی و اعتبارسنجی شدند. پس از آن، به ترتیب الگوریتم‌های جنگل تصادفی، درخت تصمیم و K-نزدیک‌ترین همسایه قرار گرفتند. همچنین، تحلیل اهمیت متغیرها نشان داد که «حجم خرید وزنی گذشته» و «دفعات خرید گذشته» بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی مدل داشته‌اند. مدل پیشنهادی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی، قابلیت تبدیل به یک سیستم توصیه‌گر محصول دقیق و کارآمد را برای شرکت کاله دارد. پیاده‌سازی این مدل می‌تواند با پیش‌بینی دقیق تقاضای آینده مشتریان، به بهینه‌سازی مدیریت موجودی، افزایش رضایت مشتری و در نهایت رشد فروش شرکت منجر شود.

تاریخ دریافت: 08 دی 1404
تاریخ بازنگری: 26 اردیبهشت 1405
تاریخ پذیرش: 18 تیر 1405

کلیدواژه‌ها:

پیش‌بینی تقاضا،
یادگیری ماشین،
سیستم توصیه‌گر،
تجارت الکترونیک،
شبکه عصبی مصنوعی،
رضایت مشتری

لطفاً به این مقاله استناد کنید (APA): فیروزی، احمد، رضوی، حمیدرضا، امامقلی زاده، سعید، متولی، سید حسام الدین و رضوی، محمدرضا. (1405). پیش‌بینی محصولات مورد نیاز مشتریان تجارت الکترونیک از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شرکت فرآورده‌های گوشتی کاله. فصلنامه رویکردهای نوین در مدیریت و بازاریابی، 5 (2)، 272-295.



<https://doi.org/10.22034/jnamm.2026.569389.1240>



Authors retain the copyright and full publishing rights.
Published by Research Center of Resource Management Studies and Knowledge-Based Business.
This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

ناشر: مرکز پژوهشی مطالعات مدیریت منابع و کسب و کار دانش محور

نویسنده مسئول: حمیدرضا رضوی

ایمیل: hr.razavi1@gmail.com

مقدمه

پیش‌بینی دقیق رفتار خرید مشتریان به عنوان یکی از محوری‌ترین توانمندی‌های سازمان‌های بازارمحور در عصر تحول دیجیتال شناخته می‌شود. شرکت‌ها برای دستیابی به مزیت رقابتی پایدار ناگزیرند نیازهای آتی مشتریان را پیش‌بینی کرده و منابع خود را به تولید و توزیع محصولاتی اختصاص دهند که بیشترین احتمال خرید را دارند؛ در غیر این صورت با پدیده‌هایی نظیر انباشت موجودی‌های کم تقاضا، افزایش هزینه‌های نگهداری، از دست رفتن فرصت‌های فروش و در نهایت کاهش سودآوری مواجه خواهند شد (Bhavishya et al, 2025). این چالش در صنایع دارای محصولات فسادپذیر و حساس به زمان، نظیر فرآورده‌های گوشتی، بسیار حیاتی‌تر است، زیرا هرگونه خطای پیش‌بینی نه تنها زیان مالی مستقیم، بلکه آسیب به اعتبار برند و کاهش اعتماد مشتری را به دنبال دارد (Satyanarayana et al, 2025; Jauhar et al, 2025).

در گذشته، محدودیت در دسترسی به داده‌های جامع و ساختاریافته و نیز ضعف ابزارهای تحلیلی، پیش‌بینی دقیق رفتار مشتریان را با دشواری مواجه ساخته بود. اما با گسترش سریع تجارت الکترونیک و توسعه زیرساخت‌های دیجیتال، حجم عظیمی از کلان‌داده‌های تراکنشی شامل سوابق خرید، فراوانی سفارش‌ها، نوع محصولات، قیمت‌ها، زمان خرید و حتی امتیازات بازخورد مشتریان تولید شده است که بستری مناسب برای به‌کارگیری روش‌های پیشرفته تحلیل داده فراهم کرده است (Wen & Liu, 2026; Jain, 2025). این تحول، امکان گذار از تصمیم‌گیری شهودی به تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد را در حوزه مدیریت موجودی و بازاریابی فراهم ساخته است.

در این میان، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به دلیل توانایی در شناسایی الگوهای پنهان، روابط غیرخطی و وابستگی‌های پیچیده میان متغیرها، به عنوان ابزارهای تحلیلی قدرتمند در حوزه پیش‌بینی تقاضا و سیستم‌های توصیه‌گر شناخته می‌شوند (Syamsuri et al, 2025). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که مدل‌های مبتنی بر جنگل تصادفی¹ می‌توانند با دقت بالایی محصولات مورد انتظار هر مشتری را بر اساس تاریخچه خرید وی پیش‌بینی کنند. با این حال، بیشتر این پژوهش‌ها در صنایع کالاهای بادوام یا خرده‌فروشی عمومی انجام شده و در صنعت فرآورده‌های گوشتی که با ویژگی‌هایی نظیر فسادپذیری بالا، نوسان تقاضا و حساسیت زنجیره تأمین همراه است، شکاف پژوهشی قابل توجهی وجود دارد.

شرکت فرآورده‌های گوشتی کاله به عنوان یکی از بازیگران اصلی صنعت غذایی کشور، با فروش گسترده محصولات خود از طریق کانال‌های آنلاین مواجه است. با وجود حجم بالای داده‌های تراکنش در سامانه تجارت الکترونیک این شرکت، تاکنون مدل داده‌محوری برای پیش‌بینی محصولات موردنیاز مشتریان طراحی و پیاده‌سازی نشده است. در نتیجه، مدیران اغلب با کمبود موجودی محصولات پرمقاضی (منجر به از دست رفتن فروش) یا مازاد تولید محصولات کم تقاضا (منجر به ضایعات و هزینه‌های نگهداری) مواجه می‌شوند. با توجه به ارزش چند میلیارد دلاری بازار گوشت قرمز و فرآورده‌های گوشتی در کشور و تشدید رقابت در فضای آنلاین، فقدان یک سیستم پیش‌بینی دقیق، به یک تهدید راهبردی تبدیل شده است. بنابراین، مسئله اصلی پژوهش حاضر این است که چگونه می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، محصولات مورد نیاز هر مشتری را در بازه زمانی کوتاه‌مدت پیش‌بینی کرد و کدام الگوریتم از نظر

¹ Random Forest

شاخص‌های دقت¹، صحت²، فراخوانی³ و امتیاز افیک⁴ عملکرد بهتری در بافت داده‌های شرکت کاله ارائه می‌دهد. بر این اساس، سؤال اصلی تحقیق عبارت است از: پیش‌بینی محصولات مورد نیاز مشتریان تجارت الکترونیک با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شرکت فرآورده‌های گوشتی کاله چگونه است؟

مبانی نظری

مبانی نظری پژوهش حاضر بر تقاطع مفاهیم تجارت الکترونیک، رفتار مصرف‌کننده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین استوار است، به گونه‌ای که یادگیری ماشین به عنوان زیرشاخه‌ای از هوش مصنوعی امکان استخراج الگوهای پیچیده از داده‌های حجیم را فراهم می‌کند و از طریق ساخت مدل‌های پیش‌بینی، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را در محیط‌های کسب و کار تسهیل می‌سازد (Breiman, 2001). الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظیر ماشین بردار پشتیبان به دلیل توانایی در مدل‌سازی روابط غیرخطی میان متغیرها، در تحلیل داده‌های رفتاری مشتریان و پیش‌بینی ترجیحات خرید کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند و دقت بالایی در مسائل پیش‌بینی از خود نشان داده‌اند (Cortes & Vapnik, 1995).

رفتار خرید مشتری در بستر تجارت الکترونیک (مدل RFM دیجیتال⁵)

در عصر حاضر، پلتفرم‌های تجارت الکترونیک به منبعی عظیم از داده‌های رفتاری مشتریان تبدیل شده‌اند که جایگزین روش‌های سنتی و پرسشنامه‌ای سنجش تمایلات مصرف‌کننده گردیده‌اند (Kechri et al, 2025). تبیین تئوریک رفتار خرید در پلتفرم‌های تجارت الکترونیک بر تئوری‌های وفاداری رفتاری و تحلیل سوابق تراکنشی استوار است، چرا که الگوهای خرید گذشته، قوی‌ترین پیش‌بین‌کننده رفتارهای آتی محسوب می‌شوند (Li & Hu, 2026).

یکی از چارچوب‌های بنیادین در مدیریت ارتباط با مشتری داده‌محور مدل RFM است که رفتار مشتری را بر اساس سه شاخص تازگی خرید⁶، دفعات خرید⁷ و ارزش مالی تراکنش‌ها⁸ تحلیل می‌کند (Gupta & Agarwal, 2024). در پژوهش حاضر، مولفه‌های ورودی شامل دفعات خرید گذشته، میزان خرید ریالی گذشته مستقیماً از این ساختار نظری اقتباس شده‌اند تا ثبات رفتاری مشتریان در خرید آنلاین فرآورده‌های گوشتی کاله سنجیده شود. ادبیات نظری نشان می‌دهد مشتریانی که تواتر خرید بالاتری در یک پلتفرم دیجیتال ثبت کرده‌اند، وابستگی رفتاری شدیدی به برند پیدا کرده و ترجیحات کالایی آن‌ها با ضریب اطمینان بالاتری قابل پیش‌بینی است (Fang et al, 2025). از سوی دیگر، شاخص حجم مالی تراکنش‌ها (میزان خرید ریالی) بازتاب‌دهنده ارزش دوره عمر مشتری بوده و به مدل‌های هوش مصنوعی کمک می‌کند تا قدرت خرید و سبد ترجیحی مصرف‌کننده را دقیق‌تر بخش‌بندی کنند (Akter

¹ Accuracy

² Precision

³ Recall

⁴ F1-Score

⁵ Digital RFM model

⁶ Recency

⁷ Frequency

⁸ Monetary

(et al, 2025). تلفیق این متغیرها به عنوان ورودی مدل پیش‌بینی، به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا از رویکرد بازاریابی توده‌ای فاصله گرفته و به سمت سیستم‌های شخصی‌سازی شده پویا حرکت کنند (Vuppala & Prasad, 2026).

زنجیره تأمین: پیش‌بینی تقاضا در صنایع غذایی فسادپذیر

مدیریت زنجیره تأمین در صنایع غذایی، به‌ویژه فرآورده‌های گوشتی، به دلیل ویژگی ذاتی فسادپذیری بالا و طول عمر کوتاه محصولات، با چالش‌های لجستیکی پیچیده‌ای مواجه است (Jauhar et al, 2025). خطا در پیش‌بینی تقاضا در زنجیره‌های تأمین سنتی معمولاً از طریق انبارش کالا و نگهداری موجودی اطمینان جبران می‌شود؛ اما در صنایع غذایی سردگاهی، این استراتژی به دلیل ریسک بالای فساد و انقضای محصول، به شدت هزینه‌بر و غیرممکن است (Padmanabhan et al, 2025). عدم توازن میان عرضه و تقاضا در این لایه، سازمان را دچار پدیده‌ای به نام اثر شلاق چرمی¹ می‌کند؛ پدیده‌ای که در آن نوسانات کوچک در تقاضای مشتری نهایی به تدریج تبدیل به نوسانات بزرگ‌تر در سطح سفارشات و موجودی با حرکت به سمت بالادست زنجیره تأمین می‌شوند (Letto & Orsini, 2025). بر همین اساس، مولفه‌های حجم خرید وزنی گذشته و نوع محصول به عنوان شاخص‌های حیاتی زنجیره تأمین در این تحقیق وارد مدل شده‌اند. تئوری لجستیک پیش‌بینانه² بر این فرض استوار است که برای بهینه‌سازی موجودی انبار، فرآیند زنجیره تأمین باید از حالت فشار³ بر اساس تخمین‌های کلان، به حالت کشش⁴ بر اساس تقاضای واقعی هر مشتری تغییر یابد (Thiel et al, 2023). پیش‌بینی دقیق بر مبنای وزن و نوع فرآورده گوشتی مانع از ایجاد پارادوکس ضایعات (هزینه مازاد تولید) و کمبود کالا (هزینه از دست رفتن فروش و کاهش رضایت مشتری) می‌شود (Letto & Orsini, 2025). با توجه به نوسانات قیمت مواد اولیه و زنجیره تأمین سرد، پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند تقاضامحور به شرکت کاله این امکان را می‌دهد تا برنامه‌ریزی تولید خود را به صورت روزانه پایش کرده و ضایعات زنجیره غذایی را به حداقل ممکن برساند (Sun et al, 2025).

ابزار تحلیلی: سیستم‌های توصیه‌گر و پلتفرم محاسباتی پایتون

سیستم‌های توصیه‌گر⁵ به عنوان ابزارهای نوین تصمیم‌گیری، نقشی کلیدی در هدایت انتخاب‌های مشتری در تجارت الکترونیک بر عهده دارند (Koren et al, 2009). چارچوب ریاضی این سیستم‌ها بر پردازش روابط پیچیده و نگاشت غیرخطی میان ویژگی‌های متعدد استوار است (Payandenick et al, 2026). در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه ابزارهای سنتی مدیریت داده مانند صفحه‌گسترده‌های اکسل توانایی پردازش روابط ابعاد بالا و توابع فعال‌سازی پیچیده را ندارند، کل خط لوله داده در محیط برنامه‌نویسی تخصصی پایتون توسعه یافته است. مبنای نظری ابزار پیاده‌سازی شده، استفاده از نظریه یادگیری آماری از طریق کتابخانه‌های پیشرفته هوش مصنوعی است (Breiman, 2001). مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با الهام از ساختار بیولوژیکی مغز و به کارگیری لایه‌های پنهان، قادرند الگوهای پنهان موجود در

¹ Bullwhip Effect

² Predictive Logistics

³ Push

⁴ Pull

⁵ Recommender Systems

داده‌های ترانکشی کاله را استخراج کنند (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). همچنین جنگل تصادفی یکی از قدرتمندترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین مبتنی بر روش بگینگ¹ است که از مجموعه زیادی از درخت‌های تصمیم تشکیل می‌شود. این الگوریتم با ساخت تعداد زیادی درخت تصمیم بر روی زیرنمونه‌های مختلف داده و ترکیب نتایج آن‌ها از طریق رأی‌گیری (برای مسائل طبقه‌بندی) یا میانگین‌گیری (برای مسائل رگرسیون)، به پیش‌بینی نهایی دست می‌یابد، شاخص‌های ناخالصی جینی² و بهره اطلاعاتی³ به عنوان معیارهای تقسیم در ساخت درخت‌های تصمیم در این الگوریتم به کار می‌روند (Da, 2025). علاوه بر این الگوریتم-K نزدیک‌ترین همسایه (KNN) با مبنا قرار دادن اصل تشابه مشتریان در فضای ویژگی‌های رفتاری، به عنوان روشی مؤثر در پیش‌بینی قصد خرید و دسته‌بندی کاربران تجارت الکترونیک عمل می‌کند (Verma et al, 2025).

پیشینه پژوهش

Darvish et al, 2026 در پژوهشی تحت عنوان «واکاوی هوش مصنوعی در صنعت خودروسازی: تحلیل کتاب‌سنجی، مرور سیستماتیک و افق‌های آتی پژوهش» به واکاوی هوش مصنوعی در صنعت خودروسازی پرداختند و نتیجه گرفتند که مطالعات این حوزه در چهار خوشه اصلی شامل اکوسیستم‌های خودرویی مبتنی بر هوش مصنوعی، فناوری‌های هسته‌ای هوش مصنوعی و امنیت، اتصال‌پذیری و مدیریت منابع، و فناوری‌های پیشرفته وسایل نقلیه قابل دسته‌بندی است. همچنین، یافته‌های آنان نشان داد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به عنوان فناوری‌های کلیدی و محوری در این صنعت ایفای نقش می‌کنند و توسعه این فناوری‌ها مستلزم توجه به چالش‌های امنیتی، مدیریت منابع و نوآوری در معماری‌های هوشمند است.

Turatti, 2025 در پژوهشی تحت عنوان «کاربرد هوش مصنوعی در پیش‌بینی رفتار و روندهای مصرف‌کننده در تجارت الکترونیک» نتیجه گرفتند که الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه مدل‌های یادگیری عمیق، توانایی بالایی در تحلیل داده‌های بزرگ و پیش‌بینی رفتار خرید آنلاین دارند و می‌توانند مزیت رقابتی برای کسب‌وکارهای دیجیتال ایجاد کنند. Mirasçı & Aksoy, 2025 در پژوهشی تحت عنوان «استراتژی‌های خرید مبتنی بر داده: مدل‌های پیش‌بینی قیمت و توسعه استراتژی» به بررسی استراتژی‌های خرید داده‌محور و توسعه مدل‌های پیش‌بینی قیمت پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین می‌تواند به بهینه‌سازی استراتژی‌های خرید و کاهش ریسک تصمیم‌گیری در شرایط نوسان قیمت کمک کند.

Iseal & Michael, 2025 در پژوهشی تحت عنوان «تحلیل رفتار مشتری و پیش‌بینی خرید در تجارت الکترونیک» نتیجه گرفتند که مدل‌های تحلیلی مبتنی بر داده‌های رفتاری کاربران قادرند احتمال خرید را با دقت قابل‌قبولی برآورد کرده و در طراحی سیستم‌های توصیه‌گر مورد استفاده قرار گیرند.

¹ Bootstrap Aggregating

² Gini Impurity

³ Information Gain

Esmeli & Gokce, 2025 در پژوهشی تحت عنوان «تحلیل رفتار خرید مصرف کننده پس از افزودن سبد خرید در تجارت الکترونیک با استفاده از هوش مصنوعی قابل توضیح» نتیجه گرفتند که مدل های قابل توضیح علاوه بر پیش بینی دقیق تر رفتار خرید، امکان تفسیرپذیری تصمیمات الگوریتمی را برای مدیران فراهم می کنند.

Çelik & Divanoğlu, 2025 در پژوهشی تحت عنوان «بررسی رفتار خرید آنلاین در نسل های مختلف با استفاده از مدل پذیرش فناوری» با بهره گیری از مدل پذیرش فناوری به بررسی رفتار خرید آنلاین در میان نسل های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد متغیرهایی نظیر ادراک سودمندی و سهولت استفاده تأثیر معناداری بر قصد خرید آنلاین دارند و تفاوت های نسلی در میزان پذیرش فناوری و رفتار خرید مشاهده می شود.

Karimi & Mahmoodi Ranai, 2025 در پژوهشی تحت عنوان «عوامل مؤثر پذیرش هوش مصنوعی در تجارت الکترونیک توسط شرکتهای کوچک و متوسط» به ارزیابی عوامل مؤثر بر پذیرش هوش مصنوعی در تجارت الکترونیک توسط شرکتهای کوچک و متوسط پرداختند. نتایج نشان داد که قابلیت های پویا و جهت گیری کارآفرینانه نقش تسهیل کننده ای در پذیرش هوش مصنوعی دارند. همچنین، این پژوهش تأثیر مثبت پذیرش هوش مصنوعی بر بهبود عملکرد تجاری شرکتهای کوچک و متوسط را تأیید کرد و بر اهمیت توسعه قابلیت های فناورانه و رویکردهای نوآورانه برای بهره برداری مؤثر از هوش مصنوعی تأکید نمود.

Asgari et al, 2024 در پژوهشی تحت عنوان «خوشه بندی ایستگاه های کاری برنامه گردشی شغلی با الگوریتم K-Means) و رتبه بندی مهارت ها به روش AHP» به بررسی و طراحی مدل برنامه گردشی شغلی در سطوح کارگری گروه صنعتی بارز پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که به کارگیری روش های داده کاوی و الگوریتم های یادگیری ماشین در خوشه بندی و تحلیل ساختار شغلی، می تواند به طراحی مدل های بهینه در سطح عملیات سازمان کمک کند.

روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از حیث ماهیت، کمی و مبتنی بر رویکرد داده کاوی است که با بهره گیری از الگوریتم های یادگیری ماشین به پیش بینی محصولات مورد نیاز مشتریان در بستر تجارت الکترونیک شرکت فرآورده های گوشتی کاله می پردازد. طراحی پژوهش به صورت توسعه ای - تبیینی بوده و تمرکز آن بر استخراج الگوهای رفتاری مشتریان از داده های واقعی خرید آنلاین و مدل سازی روابط میان متغیرهای پیش بین و متغیر وابسته است. داده های مورد استفاده در این پژوهش از پایگاه داده تراکنش های خرید آنلاین شرکت کاله استخراج شده است و شامل اطلاعات واقعی مشتریان در بازه زمانی مشخص می باشد. جامعه آماری تحقیق کلیه مشتریان آنلاین شرکت را دربرمی گیرد و از میان آن ها نمونه ای حداقل شامل 10 هزار رکورد خرید به روش تصادفی ساده انتخاب شده است؛ بدین معنا که تمامی مشتریان دارای احتمال یکسان برای ورود به نمونه بوده اند. انتخاب حجم نمونه بالا با توجه به ماهیت الگوریتم های یادگیری ماشین و نیاز آن ها به داده های حجیم جهت افزایش دقت و کاهش بیش برآزش انجام گرفته است.

متغیر وابسته پژوهش «محصول مورد نیاز مشتری» است که به صورت باینری (انتخاب/عدم انتخاب محصول هدف) تعریف شده و متغیرهای مستقل شامل قیمت محصول، حجم وزنی خرید گذشته، نوع محصول، دفعات خرید گذشته و میزان خرید ریالی پیشین می باشند. این متغیرها بر اساس ادبیات رفتار خرید مشتری و مطالعات پیش بینی تقاضا انتخاب شده و

پس از پیش‌پردازش داده‌ها شامل پاک‌سازی، نرمال‌سازی متغیرهای کمی و کدگذاری متغیرهای اسمی، وارد مرحله مدل‌سازی شده‌اند. فرایند تحلیل داده‌ها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون و کتابخانه‌های تخصصی یادگیری ماشین انجام شده است.

به‌منظور پیش‌بینی محصولات موردنیاز مشتریان، چهار الگوریتم دسته‌بندی شامل شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایه، درخت تصمیم و جنگل تصادفی پیاده‌سازی شده‌اند. این الگوریتم‌ها به دلیل کارایی مناسب در مسائل طبقه‌بندی دودویی و توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی انتخاب شده‌اند. داده‌ها به دو بخش آموزش و آزمون تقسیم شده و مدل‌ها بر روی داده‌های آموزشی آموزش داده شده و عملکرد آن‌ها بر روی داده‌های آزمون ارزیابی شده است. برای جلوگیری از سوگیری و افزایش اعتبار نتایج، از اعتبارسنجی متقابل استفاده شده است.

ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس معیارهای استاندارد طبقه‌بندی شامل دقت، صحت، فراخوانی و امتیاز افیک انجام شده است. معیار دقت نسبت نمونه‌های طبقه‌بندی شده صحیح به کل نمونه‌ها را نشان می‌دهد و محاسبه آن به شرح ذیل است:

$$accuracy = \frac{TN+TP}{TN+FP+TP+FN} \quad (1)$$

در رابطه فوق

TN کل موارد منفی صحیح

TP کل موارد مثبت صحیح

FP کل موارد منفی مثبت

FN کل موارد منفی غلط می‌باشد

صت نشانگر مقدار پیشگویانه مثبت در دسته بندی نمونه داده‌ها می‌باشد فرمول آن به شرح ذیل است:

$$Precision = \frac{TP}{FP+TP} \quad (2)$$

معیار بعدی فراخوانی می‌باشد که به عنوان حساسیت یا نرخ مثبت واقعی تعریف می‌شود فرمول آن به شرح ذیل است:

$$Recall = \frac{TP}{FN+TP} \quad (3)$$

و در نهایت معیار نهایی ارزیابی کارایی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در دسته بندی امتیاز افیک می‌باشد که هم صحت و هم فراخوانی را به شکل توام محاسبه کرده و به شرح ذیل می‌باشد:

$$F1\ score = 2 * \frac{Precision*Recall}{Precision+Recall} \quad (4)$$

در فرمول 4 صحت در صورت در فراخوانی ضرب می‌شود اما در مخراج این دو معیار با هم جمع شده و در 2 ضرب می‌شود که نتیجه آن مقدار f1score بوده و هر چه بالاتر باشد نشانگر کارایی بهتر یک الگوریتم است.

در نهایت، الگوریتمی که بالاترین عملکرد را بر اساس مجموعه معیارهای ارزیابی کسب کند، به‌عنوان مدل نهایی پیش‌بینی محصولات موردنیاز مشتریان انتخاب می‌شود. این مدل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌یار هوشمند در سیستم تجارت الکترونیک شرکت کاله جهت شخصی‌سازی پیشنهاد محصول، بهینه‌سازی موجودی و افزایش نرخ تبدیل فروش مورد استفاده قرار گیرد.

یافته‌های پژوهش

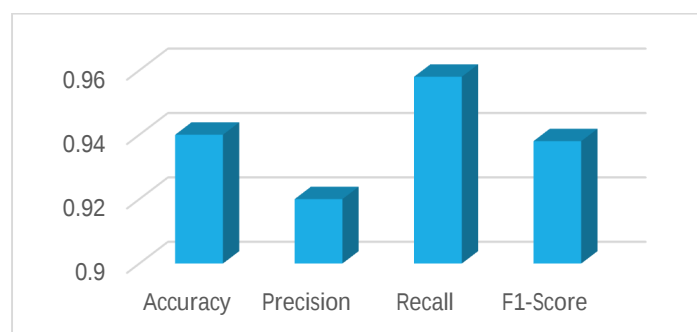
در این بخش به پیاده سازی و ارزیابی مدل یادگیری ماشین ارائه شده پرداخته می‌شود. با استفاده از چهار الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی کاندیدیکترین همسایه، درخت تصمیم و جنگل تصادفی مدل پیاده سازی شده و مقایسه آنها از نظر معیارهای دقت، صحت، فراخوانی و امتیاز افیک صورت می‌گیرد و الگوریتمی که از نظر هر چهار معیار مقدار بالاتری را بدست آورده باشد به عنوان الگوریتم برتر تعیین می‌شود. پیاده سازی الگوریتمها با استفاده از زبان پایتون و کتابخانه‌های مرتبط با الگوریتمهای یادگیری ماشین انجام می‌شود. در ادامه ابتدا متغیرها و داده‌ها معرفی شده و سپس پیاده سازی الگوریتمها انجام می‌شود تا تشخیص داده شود مدل ارائه شده تا چه میزان می‌تواند محصولات مورد نیاز مشتریان را در شرکت کاله پیشنهاد داده و به صورت یک سیستم توصیه گر عمل نماید.

در این بخش چهار الگوریتم درخت تصمیم، جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی و کاندیدیکترین همسایه پیاده سازی شده و مقایسه آنها از نظر چهار معیار دقت، صحت، فراخوانی و امتیاز افیک صورت می‌گیرد چرا که این معیارها مربوط به مسائل دسته بندی بوده و تحقیق حاضر نیز به دنبال دسته بندی محصولات از نظر مورد تقاضا و مورد نیاز بودن مشتریان در شرکت محصولات کاله است. نتیجه مقایسه الگوریتمها در جدول 3 ارائه شده است.

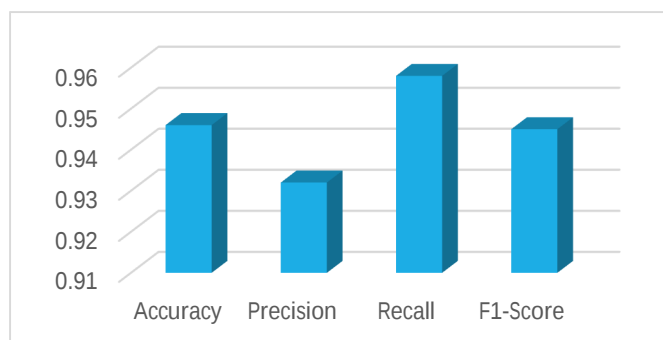
جدول 1. مقایسه الگوریتمهای یادگیری ماشین مورد استفاده در تحقیق حاضر

الگوریتمها	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
درخت تصمیم	0.94	0.92	0.958	0.938
جنگل تصادفی	0.946	0.932	0.958	0.945
شبکه عصبی مصنوعی	0.951	0.942	0.959	0.955
کاندیدیکترین همسایه	0.931	0.912	0.944	0.922

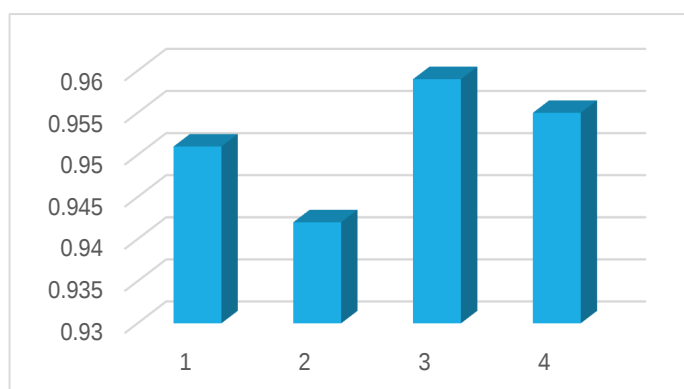
در جدول 1 مقایسه الگوریتمها صورت گرفته و می‌توان تشخیص داد که کدام الگوریتم دارای برتری نسبت به الگوریتمهای دیگر می‌باشد با یک نگاه کلی می‌توان دریافت الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی در موقعیت بهتری از نظر هر چهار معیار می‌باشد اما برای روشن شدن موضوع نتایج در قالب نمودارهای میله‌ای سه بعدی به صورت زیر ارائه شده است.



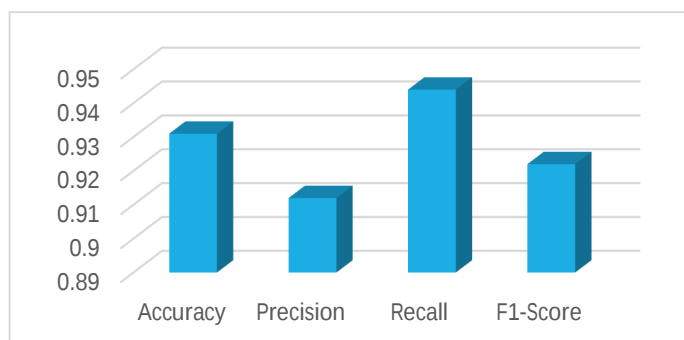
شکل 2 عملکرد الگوریتم درخت تصمیم از نظر چهار معیار



شکل 3 عملکرد الگوریتم جنگل تصادفی از نظر چهار معیار

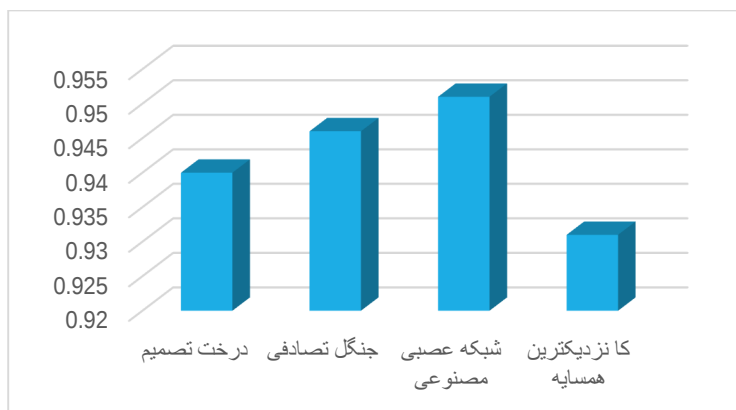


شکل 4 عملکرد الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی از نظر چهار معیار



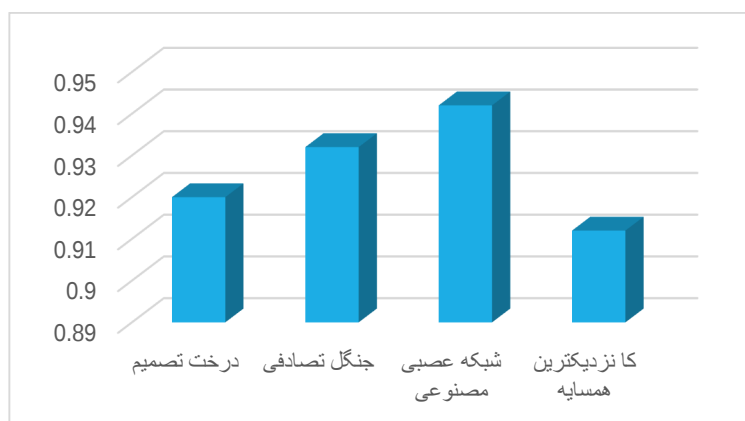
شکل 5 عملکرد الگوریتم کار نزدیکترین همسایه از نظر چهار معیار

در چهار شکل 2 تا 5 صرفاً عملکرد هر الگوریتم از نظر چهار معیار ترسیم شده که نمی‌تواند مبنای مقایسه مناسبی در خصوص عملکرد الگوریتم‌ها باشد در ادامه به تفکیک هر معیار عملکرد الگوریتم بررسی شده است که نتیجه در ادامه ارائه شده است.



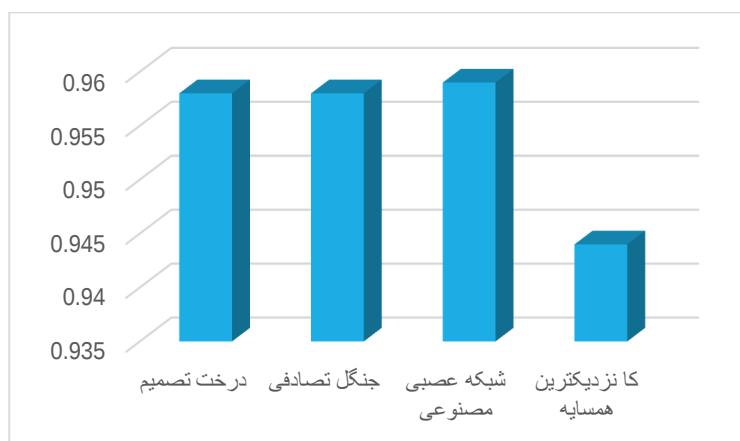
شکل 6 عملکرد الگوریتم‌ها از نظر معیار accuracy

بر اساس شکل 6 می‌توان مشاهده کرد بالاترین میزان دقت یا accuracy مربوط به الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی بوده و پس از آن جنگل تصادفی و سپس درخت تصمیم قرار دارد که عملکرد کا نزدیکترین همسایه دارای ضعیفترین عملکرد می‌باشد.



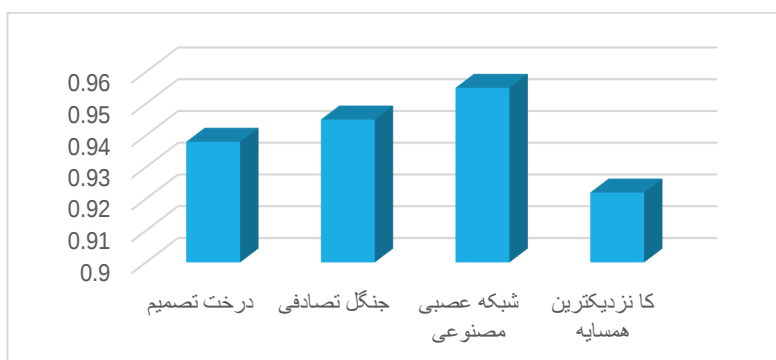
شکل 7 عملکرد الگوریتم‌ها از نظر معیار precision

بر اساس شکل 7 مشاهده می‌شود که همچنان شبکه عصبی مصنوعی بهترین مقدار را در خصوص معیار precision بدست آورده که عملکرد قوی این الگوریتم را در قیاس با سایر الگوریتم‌ها در تحقیق حاضر نشان می‌دهد.



شکل 8 عملکرد الگوریتم‌ها از نظر معیار recall

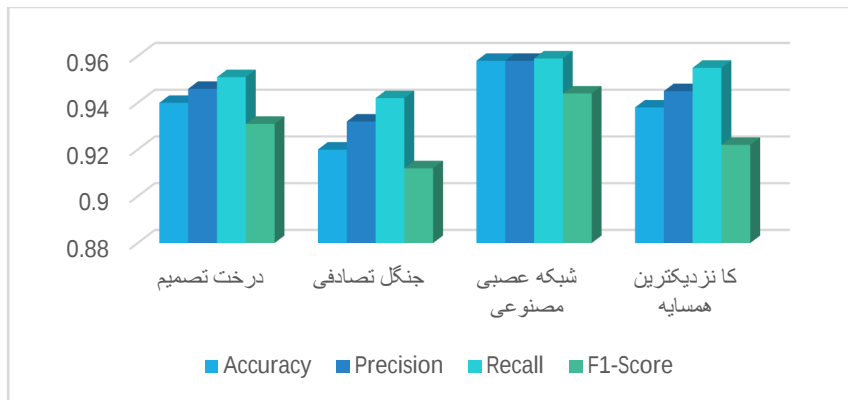
از نظر معیار recall هر چند تفاوت بین الگوریتم‌ها کمتر شده و شباهت بیشترین بین آنان مشاهده می‌شود اما در مجموع الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی دارای برتری اندکی نسبت به الگوریتم‌های جنگل تصادفی و درخت تصمیم و دارای برتری زیاد و محسوسی نسبت به الگوریتم کا نزدیکترین همسایه می‌باشد.



شکل 9 عملکرد الگوریتم‌ها از نظر معیار f1score

معیار F1-Score به عنوان شاخص چهارم ارزیابی عملکرد مدل‌ها در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت که ترکیبی از دو معیار صحت و فراخوانی بوده و تعادل میان خطاهای نوع اول و دوم را نشان می‌دهد. پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در محیط برنامه‌نویسی Python نسخه 3.8 و با استفاده از کتابخانه‌های تخصصی یادگیری ماشین شامل Scikit-learn برای الگوریتم‌های درخت تصمیم، جنگل تصادفی و K-نزدیکترین همسایه و کتابخانه Keras مبتنی بر TensorFlow برای طراحی و آموزش شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. فرآیند اجرا شامل مرحله پیش‌پردازش داده‌ها (پاک‌سازی، نرمال‌سازی و کدگذاری متغیرهای اسمی)، تقسیم داده‌ها به دو بخش آموزش (80 درصد) و آزمون (20 درصد)، آموزش مدل‌ها بر روی داده‌های آموزشی و در نهایت ارزیابی عملکرد بر روی داده‌های آزمون بوده است. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با کسب بالاترین مقدار F1-Score نسبت به سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری در ایجاد تعادل میان دقت و فراخوانی داشته است، در حالی که الگوریتم K-نزدیکترین همسایه کمترین مقدار این شاخص

را به دست آورد. این یافته بیانگر آن است که شبکه عصبی مصنوعی در شناسایی صحیح محصولات مورد نیاز مشتریان و در عین حال کاهش پیش‌بینی‌های نادرست، کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی داشته است.



شکل 10 مقایسه تمامی الگوریتم‌ها از نظر هر چهار معیار

شکل 10 دیدی کامل از نتایج حاصل از پیاده سازی مدل ارائه داده و تعیین می‌کند که کدام الگوریتم در یک نگاه الگوریتم برتر می‌باشند. بر اساس نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌توان گفت الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی در تمامی معیارها بالاترین رتبه را بدست آورده و پس از آن الگوریتم جنگل تصادفی و سپس الگوریتم درخت تصمیم و در انتها الگوریتم کا نزدیک‌ترین همسایه قرار دارد که مشابه با نتایج بدست آمده و مقایسه تفکیکی نمودارها در بخشهای پیشین می‌باشد.

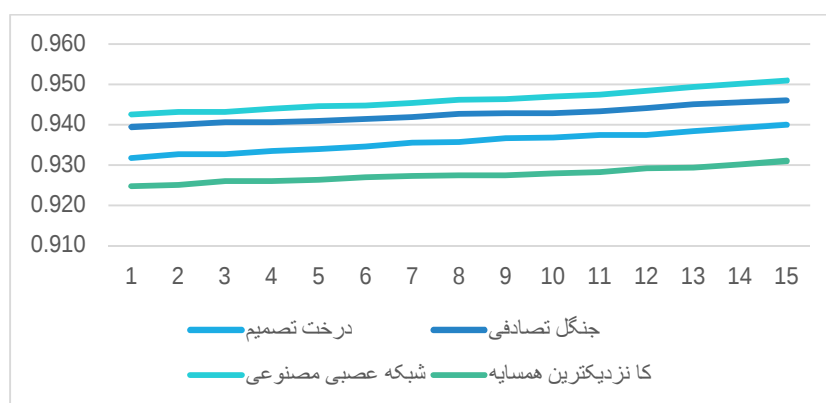
در ادامه به منظور بررسی پایداری نتایج مسئله در تکرارهای مختلف به تفکیک هر الگوریتم بررسی شده و نتیجه پایداری بررسی می‌شود.

جدول 2 بررسی پایداری نتایج

تکرار	درخت تصمیم	جنگل تصادفی	شبکه عصبی مصنوعی	کا نزدیک‌ترین همسایه
1	0.932	0.939	0.943	0.925
2	0.933	0.940	0.943	0.925
3	0.933	0.941	0.943	0.926
4	0.933	0.941	0.944	0.926
5	0.934	0.941	0.945	0.926
6	0.935	0.941	0.945	0.927
7	0.936	0.942	0.945	0.927
8	0.936	0.943	0.946	0.927
9	0.937	0.943	0.946	0.928
10	0.937	0.943	0.947	0.928
11	0.937	0.943	0.948	0.928

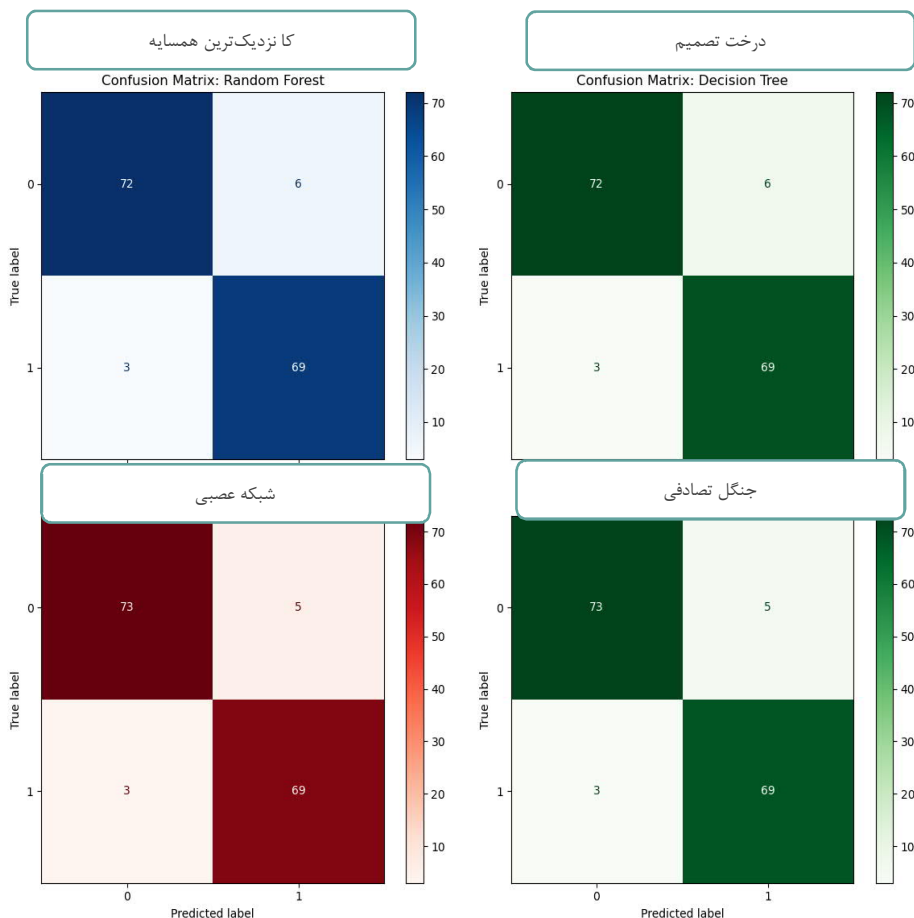
تکرار	درخت تصمیم	جنگل تصادفی	شبکه عصبی مصنوعی	کا نزدیکترین همسایه
12	0.938	0.944	0.948	0.929
13	0.938	0.945	0.949	0.929
14	0.939	0.946	0.950	0.930
15	0.940	0.946	0.951	0.931

در جدول 2 مسئله در تکرارهای مختلف حل شده و اثر تکرارها با توجه به ماهیت تکاملی الگوریتمها بر مقدار دقت بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در هر تکرار میزان دقت نسبت به قبل به تفکیک هر الگوریتم بهبود یافته است به منظور روشن تر شدن نتایج نمودار ذیل بیانگر نتایج حاصل از تست پایداری نتایج به تفکیک هر الگوریتم می‌باشد.



شکل 11 بررسی پایداری نتایج

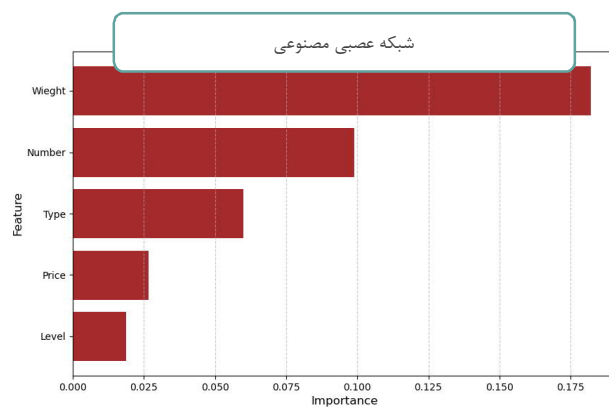
همانگونه که در شکل 11 مشاهده می‌شود با افزایش تکرارها مقدار دقت برای هر الگوریتم بهبود یافته و شبکه عصبی مصنوعی همانگونه که پیشتر نشان داده شد دارای دقت قابل قبول تری نسبت به سایر الگوریتمها می‌باشد. در ادامه ماتریس سردرگمی برای هر الگوریتم ارائه می‌شود بر اساس ماتریس سردرگمی می‌توان به مقایسه‌ای دقیقتر در خصوص عملکرد الگوریتمها در حوزه دسته بندی نتایج دست یافت نتیجه در شکل ذیل ارائه شده است.



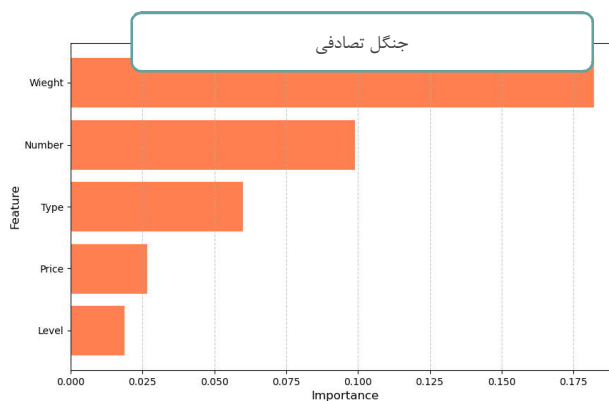
شکل 12 ماتریس در هم ریختگی

در شکل 12 می‌توان مشاهده کرد که شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی دارای عملکرد اندکی بهتر نسبت به دو الگوریتم دیگر می‌باشند نکته جالب توجه این است که شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی نتایج مشابهی را کسب نموده‌اند به این صورت که در قطر اصلی بیشترین مقادیر و در قطر فرعی کمتری حاصل شده که این امر نشانگر عملکرد مثبت این دو الگوریتم است. در خصوص ماتریس سردرگمی باید این نکته تاکید شود که هر چه مقادیر قطر فرعی کمتر و مقادیر قطر اصلی بالاتر باشد نشانگر عملکرد درست الگوریتم می‌باشد که این موضوع بر اساس شکل فوق حاصل شده است.

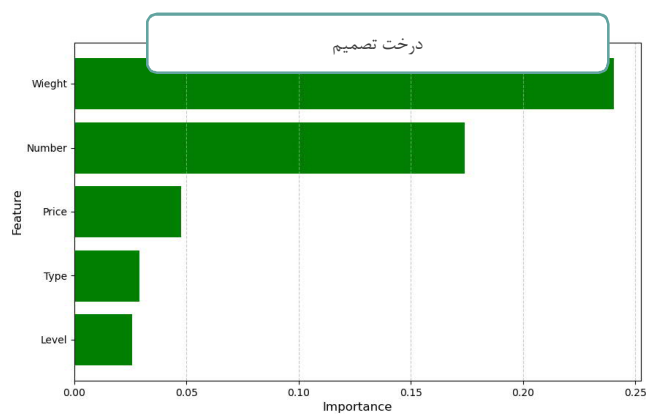
مرحله بعدی در تحلیل صورت گرفته مقایسه متغیرهای ورودی از نظر میزان اثرگذاری می‌باشد در واقع مرحله بعدی به رتبه بندی متغیرها از نظر میزان اثرگذاری بر نتایج و سهمی که آنها از مقدار R بدست آمده حاصل می‌کنند می‌پردازد نتایج در قالب نمودارهای ذیل ارائه گردیده است.



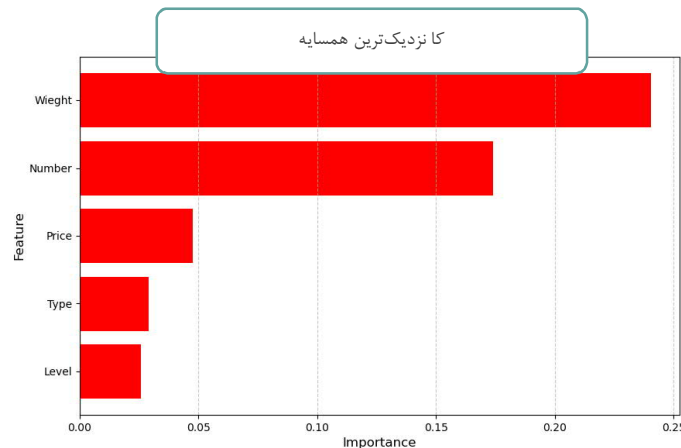
شکل 13 رتبه بندی ویژگیها بر اساس الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی



شکل 14 رتبه بندی ویژگیها بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی



شکل 15 رتبه بندی ویژگیها بر اساس درخت تصمیم



شکل 16 رتبه بندی ویژگیها بر اساس ک نزدیک ترین همسایه

در چهار شکل 13 تا 16 نتایج نسبتاً مشابهی مشاهده می شود که این امر نشانگر درستی عملکرد الگوریتمها می باشد می توان گفت تقریباً نتایج بدست آمده توسط الگوریتمها یکسان است البته با توجه به عملکرد برتر الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نتایج حاصل از این الگوریتم در خصوص رتبه بندی ویژگیها معیار می باشد.

نتایج حاصل از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نشان می دهد وزن یا حجم وزنی خرید بیشترین سهم را در مقدار R بدست آورده و در واقع اثرگذاری بالاتری نسبت به سایر متغیرهای ورودی در تشخیص محصولات مشابه یا سیستم توصیه گر ارائه شده دارد پس از آن دفعات خرید محصول می باشد که عامل تعیین کننده شماره 2 تلقی شده و پس از آن نوع محصول خریداری شده، قیمت محصول و میزان خرید ریالی به ترتیب در مراتب بعدی اهمیت قرار دارند لازم به ذکر است که رتبه بندی صورت گرفته لزوماً بر روی متغیرها ارزشگذاری نمی کند بلکه صرفاً به سهم هر متغیر از مقدار R بدست آمده یا دقتی که الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی در بالاترین سطح بدست آورده اشاره نموده است. نتایج سایر الگوریتمها نیز نشانگر رتبه بندی مشابهی می باشد که به دلیل برتری الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نتایج حاصل از آن کفایت می کند.

بحث و نتیجه گیری

هدف تحقیق حاضر ارائه پیش بینی محصولات مورد نیاز مشتریان تجارت الکترونیک با استفاده از الگوریتمهای یادگیری ماشین در شرکت فرآورده های گوشتی کاله بود. از آنجا که اهمیت سیستم های توصیه گر در فروشگاه های اینترنتی روز به روز بیشتر می شود، طراحی چنین سیستم هایی ضرورتی انکارناپذیر است. الگوریتم های یادگیری ماشین به خوبی قادر به پیاده سازی این مدل و تشخیص محصولات مورد نیاز مشتریان می باشند. با استفاده از سوابق خرید مشتریان جمع آوری شده از شرکت کاله و بر اساس متغیرهای دفعات خرید، نوع محصول، حجم محصول خریداری شده در گذشته، قیمت محصول و میزان هزینه صرف شده برای خریدهای گذشته، پیش بینی محصولات مورد نیاز انجام شد. نتایج نشان داد که از نظر چهار معیار دقت، صحت، فراخوانی و امتیاز F1، الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی با دقت کلی بالای 95 درصد عملکرد قابل توجهی داشت، اما از نظر عملکرد ترکیبی و پایداری پیش بینی، الگوریتم جنگل تصادفی به دلیل

ایجاد تعادل مناسب میان دقت و فراخوانی، به عنوان الگوریتم برتر شناخته می شود. در رتبه بندی متغیرهای ورودی، وزن یا حجم وزنی خرید بیشترین سهم را در مقدار R^2 به خود اختصاص داد و پس از آن به ترتیب دفعات خرید محصول، نوع محصول خریداری شده، قیمت محصول و میزان خرید ریالی در مراتب بعدی اهمیت قرار گرفتند.

مقایسه یافته های این پژوهش با تحقیقات پیشین نشان می دهد که نتایج حاضر نتایج مطالعات پیشین همسو است. Turatti (2025) به کاربرد هوش مصنوعی در پیش بینی رفتار مصرف کننده پرداخت و نتیجه گرفت الگوریتم های هوش مصنوعی به ویژه مدل های یادگیری عمیق توانایی بالایی در تحلیل داده های بزرگ و پیش بینی رفتار خرید آنلاین دارند که یافته فعلی مبنی بر دقت بالای 95 درصد شبکه عصبی مصنوعی (به عنوان یک مدل یادگیری عمیق) کاملاً با این نتیجه همخوانی دارد. همچنین Iseal & Michael (2025) در مطالعه خود بر تحلیل رفتار مشتری و پیش بینی خرید در تجارت الکترونیک نشان دادند مدل های تحلیلی مبتنی بر داده های رفتاری کاربران قادرند احتمال خرید را با دقت قابل قبولی برآورد کنند که تحقیق حاضر با استفاده از متغیرهای رفتاری-تاریخی و دستیابی به دقت بالا، تأییدی بر این یافته است. از طرف دیگر، Mirasçı & Aksoy (2025) در بررسی استراتژی های خرید داده محور و توسعه مدل های پیش بینی قیمت، استفاده از مدل های یادگیری ماشین را برای بهینه سازی استراتژی های خرید مؤثر دانستند. در تحقیق حاضر، جنگل تصادفی که یک مدل یادگیری ماشین است، به عنوان بهترین الگوریتم از نظر عملکرد ترکیبی انتخاب شد که این انتخاب با توصیه Mirasçı & Aksoy (2025) همسو می باشد. در حوزه مدل های قابل توضیح، Esmeli & Gokce (2025) نشان دادند که مدل های هوش مصنوعی قابل توضیح علاوه بر پیش بینی دقیق تر، امکان تفسیرپذیری تصمیمات الگوریتمی را برای مدیران فراهم می کنند. گرچه تحقیق حاضر مستقیماً از مدل های قابل توضیح استفاده نکرده، اما رتبه بندی متغیرهای ورودی (وزن خرید، دفعات خرید، نوع محصول، قیمت و میزان خرید ریالی) گامی در جهت شفاف سازی و تفسیرپذیری مدل محسوب می شود. در بعد پذیرش فناوری، Çelik & Divanoğlu (2025) با بهره گیری از مدل پذیرش فناوری، تأثیر ادراک سودمندی و سهولت استفاده بر قصد خرید آنلاین را تأیید کردند. اگرچه تحقیق حاضر مستقیماً به این متغیرهای ادراکی نپرداخته، اما طراحی یک سیستم توصیه گر دقیق می تواند به افزایش ادراک سودمندی از سوی مشتریان منجر شود. همچنین Karimi & Mahmoodi Ranai (2025) در مطالعه خود بر پذیرش هوش مصنوعی در تجارت الکترونیک توسط شرکت های کوچک و متوسط، نقش قابلیت های پویا و جهت گیری کارآفرینانه را تأیید کرده و بر بهبود عملکرد تجاری ناشی از پذیرش هوش مصنوعی تأکید نمودند. شرکت کاله اگرچه یک شرکت بزرگ است، اما یافته آنان مبنی بر تأثیر مثبت پذیرش هوش مصنوعی بر عملکرد تجاری، ضرورت پیاده سازی مدل پیشنهادی حاضر را تقویت می کند. Darvish et al. (2026) در واکاوی هوش مصنوعی در صنعت خودروسازی، الگوریتم های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق را به عنوان فناوری های کلیدی معرفی کردند و به چالش های امنیتی و مدیریت منابع اشاره نمودند. تحقیق حاضر نیز اهمیت این الگوریتم ها را در صنعت فرآورده های گوشتی نشان داده است. در نهایت، Asgari et al (2024) در طراحی مدل برنامه گردشی شغلی با استفاده از داده کاوی و یادگیری ماشین در خوشه بندی ساختار شغلی، کاربرد روش های مشابه را در حوزه عملیات سازمان نشان دادند. بنابراین، با توجه به مقایسه چندبعدی، الگوریتم جنگل تصادفی برای شرکت فرآورده های گوشتی کاله مناسب ترین گزینه محسوب می شود.

در راستای توسعه پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با بهره‌گیری از همان پنج متغیر ورودی، مدل پیشنهادی را در شرکت‌های مشابه یا سایر فروشگاه‌های آنلاین آزمون کرده و نتایج را با یافته‌های این پژوهش مقایسه کنند تا قابلیت تعمیم‌پذیری مدل ارزیابی شود. همچنین می‌توان با افزودن متغیرهایی همچون ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشتریان، الگوهای زمانی خرید، تخفیف‌ها، رفتار مرور صفحات و داده‌های تعاملی، اثر افزایش ابعاد داده بر دقت الگوریتم‌ها را بررسی کرد. از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده از رویکردهای یادگیری عمیق نظیر شبکه‌های عصبی عمیق، شبکه‌های بازگشتی (RNN) یا مدل‌های مبتنی بر توجه برای طراحی سیستم توصیه‌گر استفاده کنند. علاوه بر این، انجام تحلیل حساسیت بر ساختار شبکه عصبی مصنوعی شامل تعداد لایه‌ها، تعداد نوروها، نوع توابع فعال‌سازی و تنظیم ابرپارامترها می‌تواند به بهینه‌سازی معماری مدل و افزایش پایداری و دقت پیش‌بینی کمک کند و در نهایت چارچوبی دقیق‌تر برای توسعه سیستم‌های توصیه‌گر در محیط‌های تجارت الکترونیک ارائه دهد.

Reference

- Akter, J., Roy, A., Rahman, S., Mohona, S., & Ara, J. (2025). Artificial intelligence-driven customer lifetime value (CLV) forecasting: Integrating RFM analysis with machine learning for strategic customer retention. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 7(1), 249-257. <http://dx.doi.org/10.32996/jcsts.2025.7.1.18>
- Asgari, S., Salajeghe, S., & Kamali, M. J. (2024). Clustering of job rotation workstations with the K Means algorithm and ranking skills using the AHP method. *Journal of New Approaches in Management and Marketing*, 3(3), 204-222. <https://doi.org/10.22034/jnamm.2025.548208.1157> (In Persian)
- Bhavishya, S. M., & Anusha, T. (2025). Enhancing Demand Prediction Accuracy in E-commerce With Ensemble Machine Learning. In *International Conference on Intelligent Systems and Digital Transformation (ICISD 2025)* (pp. 527-538). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-866-0_44
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- ÇELİK, R., & DİVANOĞLU, S. U. (2025). Teknoloji Kabul Modeli ile Farklı Nesillere Göre Çevrimiçi Satın Alma Davranışının İncelenmesi. *Iğdir University Journal of Social Sciences/Iğdir Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (38). DOI: 10.54600/igdirsosbilder.1562479
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Da, H. (2025). A prediction method of purchasing intention of e-commerce consumers in network marketing. *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, 26(1-2), 161-173. <http://dx.doi.org/10.1504/ijbidm.2025.143934>
- Darvish, M., Khodadad Hosseini, S. H., Mansourimoayyed, F. and Goudarzi, G. R. (2026). Exploring Artificial Intelligence in the Automotive Industry: A Bibliometric Analysis, Systematic Review, and Future Research Directions. (e243569). *Journal of New Approaches in Management and Marketing*, 5(1), e243569 doi: 10.22034/jnamm.2026.579268.1270 (In Persian)
- Esmeli, R., & Gokce, A. (2025). An analysis of consumer purchase behavior following cart addition in e-commerce utilizing explainable artificial intelligence. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 20(1), 28. <https://doi.org/10.3390/jtaer20010028>
- Fang, J., Sun, H., & Kim, J. (2025). Analyzing sequential purchasing behavior and prioritizing brands in loyalty programs. *Journal of Product & Brand Management*, 34(7), 963-989. <https://doi.org/10.1108/JPBM-12-2023-4870>
- Gupta, A., & Agarwal, P. (2024). Enhancing customer relationship management: Integrating interpurchase time with rfms segmentation for advanced customer insights. In *2024 OPJU International Technology Conference (OTCON) on Smart Computing for Innovation and*

- Advancement in Industry* 4.0 (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OTCON60325.2024.10688087>
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Ietto, B., & Orsini, V. (2025). Optimal Inventory Level Control in the Case of Perishable Goods With Unknown Time-Varying Decay Factor: A Data-Driven Supervised Robust Model Predictive Control Approach. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2025.3579546>
- Iseal, S., & Michael, H. (2025). Customer behavior analysis and purchase prediction in e-commerce. *Sheed Iseal West. Univ.* https://www.researchgate.net/profile/Sheed-Iseal/publication/388779959_Customer_Behavior_Analysis_and_Purchase_Prediction_in_E-Commerce/links/67a5cb55207c0c20fa7c52c6/Customer-Behavior-Analysis-and-Purchase-Prediction-in-E-Commerce.pdf
- Jain, A. M. (2025). Predicting e-commerce purchase behavior using a DQN-inspired deep learning model for enhanced adaptability. *arXiv preprint arXiv:2506.17543*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.17543>
- Jauhar, S. K., Harinath, S., Krishnaswamy, V., & Paul, S. K. (2025). Explainable artificial intelligence to improve the resilience of perishable product supply chains by leveraging customer characteristics. *Annals of Operations Research*, 354(1), 103-142. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-024-06348-z>
- Karimi, K., & Mahmoodi Ranai, E. (2025). Factors affecting the adoption of artificial intelligence in e-commerce by small and medium-sized enterprises. *Journal of New Approaches in Management and Marketing*, 4(1), 62-83. <https://doi.org/10.22034/jnamm.2025.500793.1067> (In Persian)
- Kechri, K., Kleisiari, C., Kyrgiakos, L. S., Vasileiou, M., Tosiliani, D. D., Angelopoulos, V., ... & Vlontzos, G. (2025). Emerging Technologies for Investigating Food Consumer Behavior: A Systematic Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(6), e70340. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.70340>
- Koren, Y., Bell, R., & Volinsky, C. (2009). Matrix factorization techniques for recommender systems. *Computer*, 42(8), 30-37. <https://doi.org/10.1109/MC.2009.263>
- Li, Z., & Hu, J. (2026). Research on analysis and improvement strategies of consumer loyalty on e-commerce platforms based on big data. *International Journal of Information and Communication Technology*, 27(16), 1-21. <https://doi.org/10.1504/IJICT.2026.152149>
- Mirasçı, S., & Aksoy, A. (2025). Data-Driven purchasing strategies: Price prediction models and strategy development. *Expert Systems with Applications*, 266, 125986. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125986>
- Padmanabhan, R., Hadid, M., Alkhiyami, H. W., Elomri, A., & Kerbache, L. (2025). Inventory Management of Perishable Foods in Omnichannel Retail Using Predictive Analytics: A Case Study. *IFAC-PapersOnLine*, 59(10), 691-696. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.09.118>
- Payandenick, M., Wang, Y., Othman, M. K., & Payandenick, M. (2026). ResNetMF: Improving Recommendation Accuracy and Speed with Matrix Factorization Enhanced by Residual Networks. *Acta Informatica Pragensia*, 15(1), 1-21. <http://dx.doi.org/10.18267/j.aip.280>
- Satyanarayana¹, S., Kilaru, S., & Venkatrao, K. (2025, December). Reinforcement Learning Framework for Profit Maximization in Perishable Food Supply Chains. In *Proceedings of the 1st Engineering Data Analytics and Management Conference (EAMCON 2025)* (p. 156). Springer Nature. https://www.google.com/books/edition/Proceedings_of_the_1st_Engineering_Data/ckKIEQAAQB-AJ?hl=en&gbpv=0
- Sun, Q., Yuan, Y., Xu, B., Gao, S., Zhai, X., Xu, F., & Shi, J. (2025). Innovative technologies reshaping meat industrialization: Challenges and opportunities in the intelligent era. *Foods*, 14(13), 2230. <http://dx.doi.org/10.3390/foods14132230>
- Syamsuri, A. R., Arohman, R., Saputra, M. R., Ikhilash, M., & Damanik, S. K. (2025). Integration of machine learning in e-commerce: A systematic literature review on consumer behavior prediction and product recommendation. *Social Sciences Insights Journal*, 3(3), 153-162.

- <http://dx.doi.org/10.60036/sg7wnx04>
- Thiel, D., Hovelaque, V., & David, D. (2024). Simulation model of perishable item picking policies in the buffer stock of a push-pull supply chain. *Decision Making and Analysis*, 2(1), 88-104. <https://dx.doi.org/10.55976/dma.22024129388-104>
- Turatti, R. C. (2025). Application of artificial intelligence in forecasting consumer behavior and trends in E-commerce. *Brazilian Journal of Development*, 11(3), e78442. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n3-039>
- Verma, A., Nagar, C., Haryani, S., & Jain, S. (2025, May). Prediction of E-Commerce Shoppers' Purchasing Intention using Knn Algorithm. In *International Conference on Recent Advancements and Modernisations in Sustainable Intelligent Technologies and Applications (RAMSITA 2025)* (pp. 63-72). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-716-8_6
- Vuppala, K. C., & Prasad, N. M. (2026). A framework for hybrid CRM personalization: combining rule-based logic with machine learning predictions. *International Journal of Data Science and Analytics*, 22(1), 160. <https://doi.org/10.1007/s41060-026-01140-7>
- Wen, Y., & Liu, L. (2026). A prediction method for consumer online purchasing behavior based on big data analysis. *Frontiers in Physics*, 14, 1686157. <https://doi.org/10.3389/fphy.2026.1686157>