Journal of Agricultural Mechanization, 9 (3):1-14 (2024)

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en

Review Paper

An Overview of Product Performance Prediction Using Artificial Algorithms

Adel Taheri hajivand[1], Kimia Shirini[2], Sina Samadi Gharehveran[3]

1- Department of Biosystems, Faculty of Agricultural, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Department of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Department of Electrical Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

***Keywords*:**
Algorithms,
Artificial Intelligence,
Performance,
Product,
Machine Learning,
Sugarcane

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Artificial intelligence (AI) plays an essential role in enhancing productivity, reducing costs, and improving service delivery across various sectors, especially in agriculture. This paper offers a comprehensive review of recent advancements in AI applications for predicting agricultural product performance. Emphasizing the potential of AI, specifically machine learning (ML) algorithms, in precision agriculture, the study highlights its impact on crop yield prediction for crops such as rice, wheat, sugarcane, and soybean. The paper explores the benefits that AI brings to farmers' decision-making by enabling accurate yield predictions, addressing the urgent need for optimized resource utilization, and meeting increasing food demands.

Materials and Methods

The study focuses on the application of various machine learning algorithms, including supervised and unsupervised learning methods, to predict agricultural product performance. Algorithms such as regression, decision trees, support vector machines, and advanced models like artificial neural networks (ANNs) were analyzed. Several tools, including TensorFlow, Keras, and Scikit-Learn, were employed for model development and testing. These tools facilitated data handling and modeling processes, enabling the extraction of significant patterns from large agricultural datasets through data mining. This approach offers insights into critical factors affecting crop yields and helps refine AI models for more accurate predictions.

Results and Discussion

The performance of multiple machine learning algorithms was assessed by evaluating their ability to predict crop yield across various crops. Artificial neural networks, random forest, and support vector machine models demonstrated the highest accuracy in predicting crop performance, making them particularly suited for applications in precision agriculture. Despite the promising results, challenges remain, such as ensuring high-quality data, improving model interpretability, and adapting algorithms to specific agricultural contexts. Addressing these challenges can enhance the models' practical application in real-world scenarios, allowing farmers to make more informed decisions based on precise yield forecasts.

How to cite:
Taheri hajivand, A. Shirini, K. Samadi Gharehveran, S. (2024). *An Overview of Product Performance Prediction Using Artificial Algorithms.* Journal of Agricultural Mechanization, 9 (3):1-14.
https://doi.org/10.22034/jam.2024.61899.1276.

Received: May 31, 2024; Revised: September 7, 2024; Accepted: October 23, 2024

* Corresponding author: a.taheri@tabrizu.ac.ir

Conclusion

This review underscores the effectiveness of AI-based models, particularly ANNs, random forests, and support vector machines, in predicting agricultural yield with high accuracy. By addressing limitations in data quality, model interpretability, and environmental adaptation, AI models have the potential to revolutionize agriculture, enabling farmers to manage resources more effectively and make data-driven decisions to maximize crop yields. The ongoing improvement of AI tools and techniques is essential for addressing the challenges in precision agriculture and meeting the global food demands of the future**.**

Acknowledgement

The authors would like to express their gratitude to the University of Tabriz for providing the resources needed to conduct this research.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir

مقاله مروری

مروری بر پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی

عادل طاهری حاجی‌وند*[۱]، کیمیا شیرینی[۲]، سینا صمدی‌قره ورن[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

۱-گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز- ایران
۲- گروه مهندسی کامپیوتر - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز- ایران
۳-گروه مهندسی برق- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز- ایران

* مسئول مکاتبه E-mail: a.taheri@tabrizu.ac.ir

چکیده

هوش مصنوعی در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت کشاورزی کاربردهای گسترده‌ای دارد که به طور چشمگیری به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود خدمات کمک می‌کند. این مقاله مروری جامع بر تحقیقات اخیر در زمینه پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. طیف گسترده‌ای از روش‌های یادگیری ماشین، ابزارها، داده‌کاوی، چالش‌ها و محدودیت‌های موجود و مجموعه داده‌هایی را که برای پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف استفاده شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها با تمرکز بر طیف گسترده‌ای از محصولات، از جمله برنج، گندم، نیشکر و سویا بر اهمیت پیش‌بینی عملکرد محصول در کشاورزی دقیق و تصمیم‌گیری کشاورزان تأکید می‌کند. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین شامل روش‌های نظارت‌شده و نظارت‌نشده، مانند رگرسیون، درخت‌های تصمیم‌گیری، ماشین‌های بردار پشتیبان و مدل‌های عمیق مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، در این تحقیقات مورد بحث قرار گرفته‌اند. ابزارهای متعددی مانند TensorFlow، Keras و Scikit learn برای توسعه و آزمایش این مدل‌ها به کار گرفته شده‌اند. داده‌کاوی به استخراج الگوهای معنی‌دار از داده‌های وسیع کشاورزی کمک می‌کند. همچنین، چالش‌ها و محدودیت‌های موجود مانند کیفیت داده‌ها، تفسیر مدل‌ها و نیاز به تطبیق با شرایط خاص حوزه کشاورزی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با مقایسه معیارهای عملکرد مدل‌های مختلف یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر ماشین‌بردار پشتیبان برای پیش‌بینی عملکرد محصول مناسب‌تر هستند و دقت بالایی دارند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های یادگیری ماشین، عملکرد، محصول کشاورزی، هوش مصنوعی

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش تقاضای جهانی برای محصولات کشاورزی و نیاز به بهره‌وری بیشتر از منابع محدود طبیعی، ضرورت استفاده از فناوری‌های پیشرفته در کشاورزی را بیش از پیش آشکار کرده است. هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان یکی از این فناوری‌های نوین، قابلیت‌های فراوانی را برای حل چالش‌های پیچیده این صنعت ارائه می‌دهد.(Gheibi et al., 2023) یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مسائل در کشاورزی، پیش‌بینی عملکرد محصول است که نقش محوری در برنامه‌ریزی‌های دقیق و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک ایفا می‌کند (shirini et al., 2023).

پیش‌بینی دقیق عملکرد محصول می‌تواند کشاورزان را در مدیریت بهتر منابع، کاهش هزینه‌های تولید، و افزایش بهره‌وری یاری دهد. مدل‌های سنتی آماری که برای این منظور استفاده می‌شدند، در مواجهه با داده‌های حجیم و پیچیده کنونی محدودیت‌های زیادی دارند (Taheri et al., 2024). در مقابل، الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی مصنوعی توانسته‌اند با استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیل داده، دقت و کارآیی بیشتری را ارائه دهند (Sattari et al., 2024). این الگوریتم‌ها با تجزیه و تحلیل داده‌های متنوعی همچون الگوهای آب‌وهوایی، وضعیت خاک، ژنتیک محصولات، و مدیریت کشاورزی، توانایی بهتری در پیش‌بینی عملکرد محصول نشان داده‌اند.(Taheri et al., 2024) با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در این زمینه، چالش‌های زیادی همچنان باقی است؛ از جمله مسائل مرتبط با کیفیت داده‌ها، پیچیدگی مدل‌ها، و تطبیق آن‌ها با شرایط خاص مناطق مختلف کشاورزی می‌باشد (Abdullahi et al., 2024). این مقاله مروری جامع بر تحقیقات انجام‌شده در این حوزه ارائه می‌دهد و به بررسی روش‌های مختلف پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌پردازد. هدف این مطالعه، دسته‌بندی و تحلیل انتقادی روش‌های موجود و شناسایی چالش‌ها و فرصت‌هایی است که می‌تواند به بهبود دقت و کارایی پیش‌بینی‌ها در کشاورزی کمک کند. هدف این پژوهش بررسی تحقیقات انجام شده با استفاده از ابزار داده‌کاوی و یادگیری ماشین در حوزه تخمین علمکرد برخی محصولات کشاورزی است.

۲- مروری بر منابع

پیش‌بینی عملکرد محصول از اهمیت بالایی برخوردار است و یکی از مهم‌ترین موضوعات در کشاورزی دقیق است که برای نقشه برداری عملکرد، برآورد عملکرد، تطابق عرضه محصول با تقاضا و مدیریت محصول برای افزایش بهره‌وری، استفاده می‌شود (Iakos et al., 2018). روش‌های زیادی برای افزایش و بهبود کیفیت محصول وجود دارد.(Taherihajivand et al.,2024) روش‌های داده‌کاوی برای پیش‌بینی عملکرد محصول مفید هستند. به‌طورکلی داده‌کاوی دانش حاصل از رویکردها و روش‌های مختلف را تحلیل کرده و به شکل اطلاعات سودمندی خلاصه می‌کند. یکی از اصلی‌ترین اهداف مدل‌های پیش‌بینی عملکرد محصول، برآورد میزان تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان تابعی از شرایط آب وهوایی، شرایط خاک و استراتژی‌های مدیریت محصول است. تحقیقات بسیاری برای توسعه روشهای مؤثر برای پیش‌بینی عملکرد محصول انجام شده است؛ اما تمرکز آن‌ها همیشه بر تکنیک‌های آماری بوده و از رویکردهای یادگیری ماشین کارهای زیادی انجام نشده است. پیش‌بینی عملکرد محصول به عوامل مختلفی از جمله جغرافیای منطقه، آب‌وهوا دما، رطوبت، بارندگی، نوع خاک و ترکیبات خاک بستگی دارد (Cai et al., 2019). پیش‌بینی عملکرد محصول مشکل است؛ زیرا به عوامل به‌هم‌وابسته بسیار زیادی بستگی دارد، علاوه بر این عملکرد محصول تحت‌تأثیر تصمیم‌گیری‌های کشاورزان همانند برنامه‌های آبیاری، مدیریت آفات و استفاده از کودهای شیمیایی، تناوب زراعی و آماده‌سازی زمین و عوامل غیرقابل‌کنترل مثل بازار است (González et al., 2014). مجموعه‌های مختلفی از این عوامل در مدل‌های پیش‌بینی مختلف و برای محصولات مختلف استفاده شده است.

در تحقیق (Oliveira et al., 2017) از روش‌های داده‌کاوی برای پیش‌بینی عملکرد سالانه محصولات استفاده شده است. در این تحقیق عملکرد محصولات اصلی مناطق مختلف استان ماهاراشترا در هند بررسی شده‌اند. این محصولات شامل برنج، جوار، گندم، زردچوبه، پنبه، پیاز، نیشکر و دانه‌های روغنی شامل بادام‌زمینی، آفتاب‌گردان و سویا است. مجموعه‌داده‌های استفاده شده به‌طورکلی سه دسته هستند: متغیرهای آب و هوای شامل حداکثر و حداقل دما، بارندگی، رطوبت و میانگین تابش و متغیرهای مربوط به خاک میزان شوری خاک و pH آن و متغیرهای مربوط به زمین منطقه تحت آبیاری و منطقه زیر کشت. روش تحقیق به دو بخش اصلی خوشه‌بندی و طبقه‌بندی تقسیم می‌شود. ابتدا با روش خوشه‌بندی k-means مناطق مختلف خوشه‌بندی می‌شوند و از روش‌های طبقه‌بندی شامل رگرسیون خطی، نزدیک‌ترین همسایگی و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های مختلف داده‌کاوی می‌توان اطلاعات مربوط به عملکرد محصول را پیش‌بینی کرد که به سازمان‌های دولتی برای تصمیم‌گیری‌های بهتر و اتخاذ سیاست‌های مختلف کمک می‌کند و همین‌طور برای کشاورزان به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر و افزایش تولیداتشان مفید است.

مطالعه (Gupta et al., 2020) یک مرور سیستماتیک از ادبیات موجود در زمینه پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین ارائه می‌دهد. آن‌ها از پایگاه‌های داده الکترونیکی برای شناسایی و بررسی مقالات مرتبط استفاده کرده‌اند. از میان ۵۶۷ مقاله مرتبط، ۵۰ مقاله بر اساس معیارهای خاصی انتخاب شده است. مقالات انتخاب‌شده از نظر الگوریتم‌های به‌کاررفته، مجموعه‌داده‌ها و ویژگی‌های آن‌ها، پیشنهادهای آینده‌پژوهی و معیارهای ارزیابی مورد

تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج این تحلیل نشان داد که ویژگی‌هایی مانند دما، بارندگی و نوع خاک بیش از سایر ویژگی‌ها در پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده شده‌اند. همچنین، شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان پرکاربردترین الگوریتم و معیار ریشه میانگین مربعات خطا به‌عنوان رایج‌ترین معیار ارزیابی شناخته شده‌اند.

در تحقیق (Gopal et al., 2019) میزان تولید محصولات کشاورزی با کمک روش‌های داده‌کاوی برآورد شده است. رویکردهای آماری و داده‌کاوی این تحقیق برای تخمین محصولات شامل: الگوهای ردیابی و طبقه‌بندی داده‌های کشاورزی، تحلیل بر مبنای خوشه‌بندی، قواعد هم‌نشینی و ماشین بردار پشتیبان است. در این تحقیق برای تحلیل و پیش‌بینی تولید محصول مدل رگرسیون خطی چندگانه برای ۳۸۲ رکورد موجود به کار برده شده است. مجموعه‌داده‌ها شامل پارامترهای سال، فصل، محصولات و مساحت زیر کشت است. محصولات مورد بررسی لپه، جو، ذرت و سیب‌زمینی هستند.

در تحقیق (Sirsat et al., 2019) سیستم بهینه پیش‌بینی محصول با کمک روش‌های داده‌کاوی پیشنهاد شده است. در این تحقیق برنامه مبتنی بر وب توسعه داده شده که به کشاورزان برای انتخاب مناسب‌ترین محصول برای کشت کمک می‌کند. این سیستم در مقایسه با سیستم‌های قبلی بهتر است و پارامترهای بیشتری را جهت انتخاب محصول بررسی می‌کند. پارامترهای مورد بررسی شامل رنگ خاک، رطوبت خاک، میزان pH خاک، فصل، بارندگی، دما و آبیاری است. بر مبنای این پارامترها و با کمک روش درخت تصمیم الگوریتم ID۳ سیستم مناسب‌ترین محصول را پیشنهاد می دهد.

در تحقیق (Sellam et al., 2016) مدل یادگیری ماشین جمعی برای پیش‌بینی عملکرد محصول استفاده شده است. در این تحقیق از مجموعه داده‌های هواشناسی شامل: میانگین دما، تراکم ابر، دمای روزانه، حداکثر و حداقل دما، تبخیر و تعرق بالقوه، تبخیر و تعرق محصول، فشار بخار و بارندگی و داده‌های مربوط به مقدار تولید محصولات برنج، پنبه، نیشکر، بادام‌زمینی و ماش سیاه استفاده شده است. در این تحقیق روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و بیز ساده و روش‌های جمعی AdaSVM و AdaNaive برای پیش‌بینی عملکرد محصولات استفاده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که برای مجموعه‌داده‌های تحلیل شده روش AdaSVM و روش AdaNaive نسبت به روش‌های ماشین بردار پشتیبان و بیز قابل‌قبول‌تر هستند.

در تحقیق (Veenadhari et al., 2014) روش‌های متنوعی برای پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی ارائه شده است. روش‌های داده‌کاوی k میانگین،k نزدیک‌ترین همسایگی KNN ، شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN، و ماشین بردار پشتیبان در حوزه کشاورزی برای تخمین برآورد محصول به کار گرفته شده‌اند.

در تحقیق (Charoen et al., 2018) عملکرد محصول بر مبنای داده‌های موجود با روش جنگل تصادفی پیش‌بینی شده است. در این تحقیق داده‌های هواشناسی و مقدار تولید محصول برنج مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد الگوریتم جنگل تصادفی برای پیش‌بینی دقت بالایی دارد. این الگوریتم برای پیش‌بینی‌های بزرگ محصول در برنامه‌ریزی کشاورزی مناسب است و به کشاورزان برای تصمیم‌گیری در مورد محصولات کمک می‌کند.

در تحقیق (Ramesh et al., 2015) پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی با استفاده از روش های داده‌کاوی شامل خوشه‌بندی K میانگین،k نزدیکترین همسایه، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان مدل‌هایی با دقت و توانایی بالا برای پیش‌بینی ارائه شده است. پارامترهای بررسی شده، میزان تولید، بارندگی و مساحت زیر کشت بوده است.

در تحقیق (Ferraro et al., 2009) مدل آماری مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر در یکی از استان‌های کشور هند توسعه داده شده است. داده‌های استفاده شده در این تحقیق داده‌های هواشناسی شامل حداکثر و حداقل دما، رطوبت نسبی در صبح و عصر و مجموع بارندگی به صورت دو هفته‌ای و داده‌های عملکرد محصول می‌باشد. برای تحلیل‌ها از مدل رگرسیون استفاده شده است و نتایج نشان می دهد که مدل پیش‌بینی قادر به توضیح ٪۸۷ تغییرات در عملکرد نیشکر است و امکان پیش‌بینی نیشکر با موفقیت دو ماه قبل از برداشت وجود دارد.

تحقیق (Cai et al., 2019) از رویکرد داده‌محور برای پیش‌بینی عملکرد محصول گندم در استرالیا بر اساس داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای استفاده کردند. این تحقیق یک چارچوب مدل‌سازی روباست برای ادغام داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی را برای پیش‌بینی عملکرد محصول در مقیاس‌های بزرگ مکانی تدوین می‌کند. روش رگرسیون، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی استفاده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای بهترین عملکرد برای پیش‌بینی محصول را دارند و هم‌چنین روش‌های غیر خطی از روش‌های خطی عملکرد بهتری دارند.

در تحقیق (Charoen et al., 2019) از دستگاه‌های اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌های کشاورزی و ذخیره‌سازی آن‌ها در فضای ابری استفاده شده است. تجزیه و تحلیل کلان‌داده‌های مبتنی بر ابر برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود مثال الزامات کوددهی، تحلیل محصولات، الزامات موجودی و بازار برای محصول سپس بر مبنای روش‌های داده‌کاوی پیش‌بینی‌هایی انجام می‌شود.

هدف نهایی این تحقیق افزایش تولید محصول و کنترل هزینه‌های تولیدی کشاورزی با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از پیش‌بینی است. مدل هوشمند کشاورزی پیشنهادی در این تحقیق عملکرد محصول را پیش‌بینی می‌کند و تصمیم‌گیری در مورد توالی بهتر محصول بر اساس توالی گذشته محصول در همان مزرعه را با توجه به اطلاعات فعلی مواد مغذی خاک انجام می‌دهد.

در تحقیق (Rajeswari et al., 2017) تأثیر پارامترهای آب و هوای بر میزان بهره‌وری محصول سویا بررسی شده است. در این تحقیق از روش‌های درخت تصمیم ID۳ برای پیش‌بینی تأثیر پارامترهای آب و هوای استفاده شده است. پارامترهای در نظر گرفته شده شامل میزان بارندگی، تبخیر، دما و رطوبت نسبی است. نتایج نشان می‌دهد که بین میزان عملکرد سویا و عوامل اقلیمی هم‌بستگی وجود دارد. تحلیل‌های درخت تصمیم نشان می‌دهد که بهره‌وری و عملکرد محصول سویا به طور عمده تحت‌تأثیر رطوبت نسبی، دما و بارندگی است.

در تحقیق (Veenadhari et al., 2014) رویکرد یادگیری ماشین برای پیش‌بینی رشد محصول بر اساس پارامترهای آب و هوایی استفاده شده است. در این تحقیق نرم‌افزاری با عنوان " Crop Advisor" با کمک الگوریتم C۵.۴ تأثیر پارامترهای آب و هوایی بر عملکرد محصول را بررسی می‌کند و پارامتری که بیشترین تأثیر را بر عملکرد محصول انتخاب شده دارد را مشخص می‌کند.

در پژوهش (Ravi & Baranidharan, 2020) مدلی برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی ارائه شد. برای مدل‌سازی از داده‌های چهار ایالت جنوبی در کشور هند که از نظر آب و هوای مشابه هستند شامل متغیرهای مساحت کشت شده، میزان بارندگی، حداقل و حداکثر دما و میزان تولید برنج در بازه زمانی ۲۰۱۴ ۲۰۰۰ استفاده شده است. الگوریتم‌های استفاده شده رگرسیون خطی، رگرسیون بردار پشتیبان، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و XGBoost هستند. مدل‌های ارائه شده با معیارهای ضریب تعیین، حداقل مربعات خطا و حداقل قدرمطلق خطا ارزیابی شدند. از بین الگوریتم‌های ارائه شده الگوریتم XGBoost بر اساس معیار ضریب تعیین با مقدار ۰.۹۳۹۱ و سطح صحت ٪۹۳.۹۱ بهترین مدل برای پیش‌بینی است.

تحقیق (Zaki Dizaji et al., 2019) عوامل مؤثر بر میزان تولید نیشکر را با کمک روش‌های داده‌کاوی بررسی کرده‌اند. آن‌ها با درنظرگرفتن متغیرهای واریته محصول، کود شیمیایی نیتروژن، کود شیمیایی فسفر، سن گیاه، تعداد دفعات آبیاری، نسبت سطح سم‌پاشی محصول، بافت خاک، هدایت الکتریکی خاک و مصرف آب در هکتار، از درخت تصمیم CHAID و CART برای مدل‌سازی استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو مدل متغیر واریته محصول مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر پیش بینی عملکرد نیشکر است.

تحقیق (Zaki Dizaji et al., 2023) عوامل مؤثر بر میزان تولید نیشکر را با الگوریتم‌های درخت تصمیم QUEST و C۰۵ مدل‌سازی کردند. متغیرهای مورد استفاده به دو دسته متغیرهای پیش‌گویی کننده و متغیر هدف تقسیم شده‌اند. عملکرد مزارع به‌عنوان متغیر هدف و سایر متغیرها شامل واریته محصول، ماه برداشت، کود شیمیایی نیتروژن، کود شیمیایی فسفر، سن گیاه، تعداد دفعات آبیاری، نسبت سطح سم‌پاشی محصول، بافت خاک، هدایت الکتریکی خاک و مصرف آب در هکتار، زهکشی، مدیریت مزرعه، طول فصل زراعی و مساحت مزرعه، متغیرهای پیشگویی‌کننده هستند. نتایج نشان می‌دهد که متغیر واریته محصول در هر دو مدل درخت تصمیم‌گیری مهم‌ترین متغیر مستقل در مدل‌سازی است. در این پژوهش از مدل‌های مبتنی بر تولید قانون استفاده شده است که می‌تواند در برنامه‌ریزی تولید استفاده شوند.

در تحقیق (Everingham et al., 2016) مدلی برای پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی و رگرسیون جنگل تصادفی ارائه شده است. در این پژوهش از سه دسته مجموعه‌داده شامل شاخص‌های پیش‌بینی شده زیست‌توده با کمک شبیه‌سازی سیستم‌های تولیدی کشاورزی (APSIM)، متغیرهای آب و هوای مشاهده شده و شاخص‌های پیش‌بینی آب و هوا فصلی و عملکرد محصول برای سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ در منطقه ای در شمال شرقی استرالیا (شهرک تولی) استفاده شده است. برای مدل طبقه‌بندی متغیر پاسخ به دو دسته عملکرد بیشتر از میانه و عملکرد پایین‌تر از میانه تقسیم شده است. در هر دو مدل‌سازی از الگوریتم جنگل تصادفی برای بررسی میزان اهمیت متغیرها استفاده شده است و روش انتخاب ویژگی روبه‌جلو برای بهینه‌سازی مدل‌های جنگل تصادفی به کاربرد شده است. نتایج نشان می‌دهد که دقت مدل طبقه‌بندی ٪۸۶.۳۶ برای زمانی که پیش‌بینی در ماه سپتامبر سال قبل از برداشت است و این دقت می‌تواند تا ٪۹۵.۴۵ بهبود یابد اگر پیش‌بینی در ژانویه سال برداشت انجام شود. معیار R squared برای مدل رگرسیون جنگل تصادفی از مقدار ٪۶۶.۷۶ در ماه سپتامبر سال قبل از برداشت به مقدار ٪۷۹.۲۱ بهبود می‌یابد اگر پیش‌بینی در ماه مارس سال برداشت انجام شود.

در پژوهش (Oliveira et al., 2017) روشی برای پیش‌بینی میزان شکر استخراج شده از نیشکر برداشت شده در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۱ ارائه شده است. هر مشاهده مربوط به یک بلوک از زمین‌های زراعی نیشکر است. از ۵۳ ویژگی برای ساخت مدل پیش‌بینی استفاده کردند، این ویژگی‌ها در ۴ گروه شامل مواد فیزیکی و شیمیایی خاک، شرایط آب و هوای، فعالیت‌های کشاورزی و اطلاعات مرتبط با محصول نیشکر است. سه تکنیک مختلف یادگیری ماشین، رگرسیون بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و درخت‌های رگرسیون، در محیط نرم‌افزار R برای پیش‌بینی استفاده شده است. از الگوریتم ریلیف برای انتخاب ویژگی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در بین سه مدل پیش‌بینی بر اساس معیار میانگین قدر مطلق خطا، مدل جنگل تصادفی با کمترین مقدار ۲.۰۲ بهترین روش برای پیش‌بینی می‌باشد. (Oliveira et al., 2017)

در مطالعه (Bocca et al., 2016) مدلی برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر با تمرکز بر مهندسی ویژگی‌ها، انتخاب ویژگی‌ها و تنظیم هایپرپارامترها ارائه شد. زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌ها با الگوریتم ریلیف انتخاب شده و از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، درخت رگرسیون، شبکه عصبی مصنوعی، درختان رگرسیون تقویت شده استفاده شده است. تنظیم هایپرپارامترهای مدل با روش

جست‌وجوی شبکه‌ای به همراه اعتبارسنجی متقابل با ۱۰ لایه انجام شده است. از معیار میانگین قدرمطلق خطا برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شده است. در نهایت ۶۶ مدل از ترکیب روش‌های یادگیری و انتخاب ویژگی‌ها ایجاد شده که در بین آنها الگوریتم جنگل تصادفی بهترین عملکرد را داشته است.

در پژوهش (Thuankaewsing et al., 2015) راه‌حلی برای مسئله زمان‌بندی برداشت نیشکر، برای گروهی از تولیدکنندگان که نیشکر کارخانه شکر در کشور تایلند را تأمین می‌کردند، ارائه شد. برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. ویژگی‌های انتخاب شده برای ساخت مدل پیش‌بینی شامل، طبقه محصول، مهارت کشاورزی، واریته محصول، نوع خاک، مقدار آب مصرفی، سن گیاه، میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه، متوسط بارندگی روزانه و مجموع بارندگی روزانه از زمان جوانه‌زنی است.

(Charoen et al., 2018) مدلی برای پیش‌بینی درجه عملکرد نیشکر بر اساس مدل‌های یادگیری ماشین ارئه دادند. آن‌ها از داده‌های کارخانه شکر تایلند استفاده نمودند. این داده‌ها شامل ویژگی‌های مزرعه (نوع خاک، مساحت مزرعه، درجه عملکرد سال قبل) ویژگی‌های نیشکر (کلاس و نوع آن)، روش و میزان آبیاری، میزان بارش، روش‌های مبارزه با آفات و بیماری و میزان کوددهی است. دو الگوریتم جنگل تصادفی و درخت های تقویت‌کننده گرادیان برای طبقه‌بندی استفاده شدند. همچنین دو روش غیر یادگیری ماشینی (پیش بینی مقادیر مطابق با مقدارهای واقعی سال گذشته و پیش‌بینی بر اساس نظر کارشناس) با الگوریتم‌های یادگیری ماشین مقایسه شدند که عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین از هر دو روش بهتر بوده است. صحت مدل‌های ارائه شده به ترتیب برابر با، ٪۷۱.۸۳، ٪۷۱.۶۴، ٪۵۱.۵۲ و ٪۶۵.۵۰ برای جنگل تصادفی، درختان تقویت‌کننده گرادیان، پیش بینی بر اساس مقدارهای واقعی سال قبل و پیش‌بینی بر اساس نظر کارشناس می‌باشد.

(Charoen et al., 2019) مدلی برای پیش‌بینی درجه عملکرد محصول نیشکر با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی ارائه دادند. سه طبقه عملکرد پایین، عملکرد متوسط و عملکرد بالا، برای درجه عملکرد تخصیص دادند. مجموعه داده استفاده شده در این پژوهش ۱۲۵۲۱ مشاهده می باشد که برای مدل‌سازی یه دو بخش داده‌های آموزش و تست تقسیم شده و سهم هر یک به ترتیب ۸۷۶۵ و ۳۷۵۶ می‌باشد. متغیرهای ورودی الگوریتم جنگل تصادفی شامل سن گیاه، واریته محصول، نوع آب مصرفی (بارندگی، کانال آبیاری) نوع کود مصرفی، نوع خاک و مساحت کشت شده می‌باشد. همچنین متغیر عملکرد محصول به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شده است. مدلسازی در محیط برنامه‌نویسی پایتون انجام شده است (Rajamani et al.,2023). در این پژوهش از روش انتخاب ویژگی مستقیم به همراه تنظیم هایپر پارامتر برای آموزش دسته‌بند جنگل تصادفی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که دقت روش پیشنهادی ٪۷۱.۸۸ می‌باشد. و همچنین نتایج با نتیجه دو مدل پیش‌بینی عملکرد محصول که روش‌های یادگیری ماشین نبودند مقایسه شده و باز هم بهترین عملکرد را داشته است.

(Medar et al., 2019) با فرض اینکه مدل‌های یادگیری ماشین پایداری بیشتری نسبت به مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد محصول دارند، عملکرد محصول نیشکر را با دو رویکرد یادگیری ماشین و مدل منطقه زراعی (AZM) برآورد کردند. هدف این مطالعه شناسایی و رتبه‌بندی متغیرهای موثر بر عملکرد نیشکر و همچنین توسعه مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی می‌باشد (Zahiri et al.,2024) . برای این منظور از سه تکنیک جنگل تصادفی، بوستینگ و ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است. مدل‌سازی الگوریتم‌ها در نرم‌افزارR انجام شده است. برای استفاده از الگوریتم‌ها از پکیج کارت (آموزش رگرسیون و طبقه‌بندی) استفاده شده است، این پکیج مجموعه‌ای از توابع است که برای ساده‌سازی فرآیندهای خلق مدل پیش‌بینی به‌کار برده می‌شود و شامل ابزارهای متنوعی مثل انتخاب اتوماتیک پارامتر برای روش های مختلف داده‌کاوی مثل انتخاب تعداد ایده‌آل درخت برای جنگل تصادفی و غیره می‌باشد. مجموعه داده‌های این مطالعه مربوط به ۱۸ پایگاه داده کارخانه شکر تحت شرایط آب و هوای و خاک متفاوت در ایالت سائوپائولو برزیل می‌باشد. سه دسته داده عملکرد محصول، آب و هوای و مدیریت محصول برای مدل‌سازی الگوریتم‌ها سازمان دهی شدند و ٪۷۰ از آن‌ها که شامل ۹۲۸۷ نمونه می باشد برای آموزش و ٪۳۰ از آن‌ها برای مدل تست و اعتبارسنجی که شامل ۳۹۸۰ نمونه می‌باشد، استفاده شدند. نتایج نشان می‌دهد که هر سه الگوریتم عملکرد مشابهی داشتند و در سه متغیر سن گیاه (متغیر مدیریت محصول) بیشترین اهمیت را داشته و مهم‌ترین متغیر است. در نهایت خطای RMSE برای الگوریتم‌های داده‌کاوی به طور میانگین بین ۲۰.۰۳و ۱۹.۷۰ t ha 1 می‌باشد و با تفاوت کمی الگوریتم جنگل تصادفی کم‌ترین میزان خطا و برای مدل شبیه‌سازی AZM، 34 tha می‌باشد.

تحلیل پایگاه‌های داده تولید محصول می‌تواند برای کشف و فهم عوامل موثر بر آن مفید باشد. این داده‌ها نیازمند روش‌های انعطاف‌پذیر و پایدار برای مواجه با روابط خطی، غیر خطی بین داده‌ها و داده‌های گمشده و نامتعادل هستند. در پژوهش (Ferraro et al., 2009) تغییرات در عملکرد نیشکر در ۶ مزرعه در شمال آرژانتین در بازه زمانی ۵ساله (۲۰۰۵ ۱۹۹۹) بررسی شده است. برای کاوش تغییرپذیری در عملکرد نیشکر از روش‌های آماری ناپارامتریک استفاده شده است. برای این منظور درخت‌های رگرسیون و طبقه‌بندی (CART)برای بررسی تغییرات در عملکرد نیشکر (عملکرد نی در هکتار و تناژ شکر در هکتار) و تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی بر آن به‌کارگرفته‌شده است.

برای ساخت مدل متغیر هدف عملکرد نی در هکتار و شکر در هکتار با کمک روش خوشه‌بندی k میانگین به ۳ دسته طبقه‌بندی‌شده است، سپس درخت‌های تصمیم طبقه‌بندی برای خوشه‌های ایجاد شده

پیاده‌سازی شده است. متغیر عضویت مزرعه (۶ مزرعه موجود) در پیش‌بینی عملکرد نی در هکتار مهم‌ترین متغیر و متغیر واریته محصول در پیش‌بینی عملکرد شکر در هکتار بیشترین اهمیت را داشته‌اند (Qiu et l.,2020).

کشاورزی نقش قابل توجهی در رشد اقتصادی هر کشوری دارد که وابسته به شرایط آب و هوای و محیطی است (Fleiss et al., 2013). برخی از این عوامل که کشاورزی به آن وابسته است خاک، آب‌وهوا، کودهای شیمیایی، سیل، دما، بارندگی، نوع محصولات، حشرات و علف‌های هرز است، عملکرد محصول به این عوامل وابسته است و به همین دلیل پیش‌بینی آن مشکل است. برای پیش‌بینی وضعیت محصول در این تحقیق مطالعه‌ای توصیفی بر داده‌های گذشته محصول، با استفاده از تکنیک‌های متنوع یادگیری ماشین انجام گرفته است (Hammer et al., 2020) (vanni et al., 2024). در این تحقیق سه مجموعه داده مربوط به ایالت کارناتاکا، داده‌های بارندگی، داده‌های خاک و داده‌های عملکرد محصول با هم ادغام شده و به دو قسمت ۸۰ درصد از داده های برای آموزش و ۲۰ درصد آن‌ها برای تست تقسیم شده است. برای پیش‌بینی از سه الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم استفاده شده است.

پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در محیط اسپایدر پایتون انجام شده است. عملکرد الگوریتم‌ها با سه معیار صحت، میانگین مربعات خطا و اعتبارسنجی متقابل با مقدار k =۱۰ ، مقایسه شده‌اند. براین‌اساس نتایج نشان می‌دهد که درخت تصمیم با بیشترین صحت ٪۹۹ و کمترین میانگین مربعات خطا است. مدل پیشنهادی می‌تواند برآورد دقیق عملکرد محصول را در سه دسته پایین، متوسط و بالا نشان دهد (Sutha et al.,2023)

در تحقیق (Kumar et al., 2015) مدل‌هایی بر مبنای شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد محصول نیشکر در کشور هند ارائه شده است. مدل‌سازی با تقسیم‌بندی‌های مختلف الگوهای آموزشی و ترکیبات مختلف پارامترهای شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام‌گرفته است. تعداد نورون‌ها در لایهٔ پنهان، و الگوریتم‌های آموزشی مختلف برای شبکه عصبی در نظر گرفته شده است. مجموعه‌داده‌های استفاده شده در این پژوهش مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ ۱۹۵۰ عملکرد نیشکر است.

مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با سه نرخ یادگیری متفاوت ۰/۰۱ ، ۰/۰۰۱ ، ۰/۰۰۰۱ چهار مقدار پارامترerror goals ، یعنی ۰/۰۱ ، ۰/۰۰۵ ، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۵، تعداد چهار نوع متفاوت تعداد نورون‌ها در لایه پنهان ۱۰ ،۱۵ ،۲۰ ،۲۵، پنج نوع استراتژی مختلف تقسیم‌بندی داده و ۹ الگوریتم یادگیری پس انتشار یعنی گرادیان کاهشی با نرخ یادگیری وفقی (GDA) الگوریتم‌های شیب توام CGF , CGP , CGB , SCG و الگوریتم های شبه نیوتن BFG , OSS الگوریتم لونبرگ مارکوات و الگوریتم پس انتشار ارتجاعی(RP)، توسعه داده شده‌اند (Gharehveran et al., 2024). از معیار مجذور میانگین مربعات خطا برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها استفاده شده است (Sattari et al.,2024). نتایج نشان می‌دهد که بهترین شبکه با یک‌لایه پنهان شامل ۱۰ نورون می‌تواند مجذور میانگین مربعات کمتری معادل با ۴/۰۳ ٪ داشته باشد این مقدار زمانی حاصل می‌شود که ۱۰ درصد از رکوردها داده‌های تست باشد و ۱۰ گره در لایه پنهان باشد، نرخ یادگیری ۰/۰۰۱ و مقدار error goals، ۰/۰۱ تنظیم شده باشد و همچنین الگوریتم آموزش CGB برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده باشد. این مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر در هند استفاده شود. شایان ذکر است که امکان تعریف مجدد الگوهای آموزشی و در نظر گرفتن ۲ لایه پنهان در معماری شبکه برای دستیابی به عملکرد بهتر وجود دارد.

(Cai et al., 2019) هدف این پژوهش شناسایی و بررسی تاثیر کودهای شیمیایی بر عملکرد محصول نیشکر می‌باشد. برای این تحقیق از روش‌های رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. مجموعه داده‌ها مربوط به یک دوره ۷ ساله ۲۰۱۸ - ۲۰۱۲ منطقه‌ای در ایالت ماهاراشترا درکشور هند می‌باشد. برای شناسایی ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی داده‌ها در محیط ژوپیتر پایتون مصورسازی شده‌اند. مدل‌سازی رگرسیون چند متغیره با توجه به زمان کاشت نیشکر در این منطقه سه مدل توسعه داده شده‌است. در مدل سوم که زمان کاشت نیشکر از ماه ژانویه تا فوریه می‌باشد، کمترین میزان خطای پیش‌بینی را دارد.

در تحقیق (Medar et al., 2019)، رویکرد جدیدی برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر در ایالت کارناتاکا کشور هند با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی بلندمدت (LTTS) ویژگی‌های آب‌وخاک، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین ارائه شده است. چرخه عمر کشت نیشکر در این منطقه تقریباً ۱۲ ماه با شروع کشت در سه فصل می‌باشد. در این مطالعه رویکرد پیش‌بینی عملکرد نیشکر به سه مرحله تقسیم شده است در مرحله اول متغیرهای خاک و آب‌وهوا برای مدت زمان چرخه عمر کشت نیشکر پیش‌بینی شده است و در مرحله بعد این متغیرهای پیش‌بینی شده به‌عنوان متغیرهای ورودی در الگوریتم رگرسیون ماشین بردار پشتیبان در نظر گرفته شده و مقدار شاخص NDVI پیش‌بینی شده و سپس در مرحله سوم عملکرد نیشکر با الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان و متغیر ورودی NDVI پیش‌بینی شده، پیش‌بینی شده است. پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در محیط پایتون انجام شده است. نتایج این رویکرد با داده‌های گذشته تأیید شده است و نتایج نشان می‌دهد رویکرد پیشنهادی با موفقیت مدل‌سازی متغیرهای خاک و آب و هوای در ۲۴ مرحله LTTS با صحت ٪۸۵.۲۴ و برای دمای خاک با به‌کارگیری الگوریتم لاسو ، میزان صحت ۸۵/۳۷۲ ٪ برای پیش‌بینی دما با الگوریتم نایوبیز و همچنین دقت ۷۷/۴۶ ٪ برای رطوبت خاک، و صحت۸۹/۹۷ ٪ برای پیش‌بینی NDVI با الگوریتم SVR و در نهایت پیش‌بینی عملکرد محصول با صحت ۸۳/۴۹ ٪ با الگوریتم SVR به‌دست‌آمده است. لیست مروری مقاله‌های پژوهشی داخلی و خارجی

به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) خلاصه شده است. این جدول‌ها مقاله‌های بررسی شده در پژوهش را به همراه روش‌های یادگیری ماشین، ابزارها و مجموعه‌داده‌های استفاده شده برای پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف را نشان می‌دهند.

۳- دسته‌بندی محصولات مورد بررسی

در این مقاله ، محصولات مختلف کشاورزی بر اساس مقالات داخلی و خارجی دسته‌بندی شده‌اند تا به تحلیل دقیق‌تری از کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد محصول برسیم. در اینجا، دسته‌بندی محصولات مورد بررسی به شرح زیر است:

۳-۱- محصولات با اهمیت اقتصادی بالا

زعفران: این محصول به‌ویژه در ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Bashiri et al., 2016). مقالات بررسی شده شامل پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین هستند که به بهینه‌سازی تولید و مدیریت منابع زعفران کمک می‌کنند (ali hoseeini et al., 2023).

نیشکر: به‌عنوان یکی از محصولات کلیدی برای تولید شکر و محصولات جانبی، نیشکر نیز در بسیاری از مقالات داخلی و خارجی مورد بررسی قرار گرفته است (Shingade et al.,2024). تحلیل‌های انجام شده شامل پیش‌بینی عملکرد نیشکر با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم، شبکه‌های عصبی مصنوعی، و جنگل تصادفی می‌باشند (Sharma et al.,2024).

۳-۲- محصولات اصلی کشاورزی

سویا: این محصول به‌دلیل نقش مهم آن در تأمین پروتئین گیاهی و امنیت غذایی جهانی، در مقالات خارجی مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی‌ها شامل مدلسازی عملکرد سویا با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم می‌باشد.

برنج، ذرت و گندم: این محصولات به‌عنوان محصولات اصلی در بسیاری از مناطق جهان، از جمله هند و سایر کشورها، در مقالات مختلف بررسی شده‌اند. مقالات مرتبط شامل پیش‌بینی عملکرد این محصولات با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و داده‌کاوی هستند.

۳-۳- محصولات کشاورزی منطقه‌ای

محصولات کشاورزی منطقه گوداوری شرقی در هند: مقالات بررسی شده به‌طور خاص به تحلیل عملکرد محصولات مختلف در این منطقه پرداخته‌اند (Yang et al.,2024). این تحلیل‌ها شامل استفاده از الگوریتم‌های رگرسیون خطی و خوشه‌بندی بر مبنای تراکم برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی هستند (Varjavand et al.,2024).

۳-۴- محصولات متنوع دیگر

لپه، جو، سیب‌زمینی: این محصولات به‌عنوان بخش مهمی از تولیدات کشاورزی در مقالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این بررسی‌ها به‌ویژه برای تحلیل عملکرد سالانه این محصولات و بهینه‌سازی تولید آن‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف داده‌کاوی و یادگیری ماشین صورت گرفته است.

مقالات بررسی شده به‌طور جامع به تحلیل و پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف کشاورزی با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی پرداخته‌اند. انتخاب این محصولات به‌دلیل اهمیت اقتصادی و استراتژیک آن‌ها در کشاورزی و نیاز به بهینه‌سازی عملکرد برای بهبود بهره‌وری و مدیریت منابع کشاورزی صورت گرفته است.

جدول۱- ارزیابی مقالات داخلی

Table 1. Evaluation Of Internal Articles

ردیف	عنوان مقاله	سال انتشار	محصول	تکنیک	ابزار	دقت
۱	پیش‌بینی عملکرد زعفران با استفاده از روش های داده‌کاوی و تعیین پارامترهای اقلیمی موثر بر آن در سطح استان خراسان رضوی	۱۳۹۶	زعفران	ماشین بردار پشتیبان خطی، رگرسیون خطی، جنگل تصادفی، k نزدیکترین همسایه، شبکه های عصبی مصنوعی	متلب	۸۴٪
۲	طبقه‌بندی اقلیمی و تعیین مناطق کشت زعفران با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی در سطح استان خراسان رضوی	۱۳۹۶	زعفران	شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های رگرسیونی، درخت خطی محلی، درخت تصمیم، آنالیز تشخیص، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، k نزدیکترین همسایه	متلب	۹۴٪
۳	بررسی عوامل موثر بر میزان عملکرد تولید نیشکر با هدف افزایش تولید با استفاده از رهیافت داده‌کاوی	۱۳۹۷	نیشکر	درخت تصمیم CHAID وCART	IBM, SPSS, Modeler 14.2	۷۹٪
۴	مدل‌سازی متغیرهای موثر بر عملکرد نیشکر با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم C5.0 و QUEST	۱۳۹۸	نیشکر	درخت تصمیم C5.0 وQUEST	IBM, Modeler 14.2	۶۹٪

جدول ۲ - ارزیابی مقالات خارجی

Table 2. Evaluation of Foreign Articles

ردیف	عنوان مقاله	سال انتشار	محصول	تکنیک	ابزار	دقت (٪)
۱	An analysis of the factors that influence sugarcane yield in Northern Argentina using classification and regression trees	۲۰۰۹	نیشکر	درختهای تصمیم گیری و طبقه بندی	Matlab	۸۸
۲	A study on pre harvest forecast of sugarcane yield using climatic variables	۲۰۰۹	نیشکر	مدل رگرسیون	Matlab	۸۷
۳	Soybean productivity modelling using decision tree algorithms	۲۰۱۱	سویا	درخت تصمیم	Matlab	۸۸
۴	Mining Techniques and Applications to Agricultural Yield Data	۲۰۱۳		رگرسیون خطی چندگانه، k means	Rapidminer	۹۸
۵	Machine learning approach for forecasting crop yield based on climatic parameters	۲۰۱۴	ذرت، گندم، سویا، برنج	درخت تصمیم C4.5	Rapidminer	۹۷
۶	Analysis of crop yield prediction using data mining techniques	۲۰۱۵	محصولات کشاورزی منطقه گوداوری شرقی در هند	رگرسیون خطی چندگانه – خوشه بندی بر مبنای تراکم	C	۸۸
۷	Sugarcane yield forecasting using artificial neural network models	۲۰۱۵	نیشکر	شبکه های عصبی مصنوعی	Matlab	۹۰
۸	Harvest scheduling algorithm to equalize supplier benefits: A case study from the Thai sugar cane industry	۲۰۱۵	نیشکر	شبکه های عصبی مصنوعی	Matlab	۸۸
۹	Crop Production Ensemble Machine Learning Model for Prediction	۲۰۱۶	برنج، پنبه، نیشکر و بادام زمینی	ماشین بردار پشتیبان NaïveBayes AdaSVM AdNaiveBayse	Rapidminer	۸۹
۱۰	Prediction of Crop Yield using Regression Analysis	۲۰۱۶	برنج	تحلیل رگرسیون	-	--
۱۱	The effect of tuning, feature engineering, and feature selection in datamining applied to rainfed sugarcane yield modelling	۲۰۱۶	نیشکر	جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان،شبکه عصبی مصنوعی،درختهای رگرسیون، درختهای رگرسیون بوستینگ	-	۸۹
۱۲	Accurate prediction of sugarcane yield using a random forest algorithm	۲۰۱۶	نیشکر	جنگل تصادفی رگرسیون و طبقه بندی	Statistical Software R	۹۵
۱۳	From spreadsheets to sugar content modeling: A data mining approach	۲۰۱۷	شکر استحصالی از نیشکر	رگرسیون بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، درختان رگرسیون	Statistical Software R	۹۰
۱۴	A Smart Agricultural Model by Integrating IoT, Mobile and Cloud based Big Data Analytics	۲۰۱۷	تصمیم‌گیری بهترین توالی محصول	درخت تصمیم و قوانین انجمنی	-	--
۱۵	A Model for Prediction of Crop Yield	۲۰۱۷	ذرت خوشه‌ای، ارزن مروارید، ارزن انگشتی، برنج، فلفل قرمز	خوشه بندی k میانگین Association rule mining	-	۹۲
۱۶	Applying Data Mining Technique to Predict Annual Yield of Major Crops of Different Districts in Maharashtra	۲۰۱۷	محصولات اصلی سالانه	k means رگرسیون خطی k nearest neighbor شبکه های عصبی مصنوعی	-	۸۰

۱۷	Sugarcane yield grade prediction using Random Forest and Gradient Boosting Tree techniques	۲۰۱۸	نیشکر	جنگل تصادفی درختان تقویتکننده گرادیان	python	۷۱
۱۸	Predicting yield of the crop using machine learning algorithm	۲۰۱۸	برنج	جنگل تصادفی	Statistical Software R	۸۱
۱۹	Sugarcane yield grade prediction using random forest with forward feature selection and hyper parameter tuning	۲۰۱۹	نیشکر	جنگل تصادفی	python	۷۱
۲۰	Estimation of Major Agricultural Crop with Effective Yield Prediction using Data Mining	۲۰۱۹	لپه، جو، ذرت و سیب‌زمینی	رگرسیون خطی چندگانه	IBM SPSS	۷۸
۲۱	Sugarcane yield prediction through data mining and crop simulation models	۲۰۱۹	نیشکر	جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، بوستینگ	Statistical Software R	--
۲۲	Evaluation of machine learning algorithms for crop yield prediction	۲۰۱۹	نیشکر	درخت تصمیم ماشین بردار پشتیبان k نزدیکترین همسایه	Python Programming Spyder	۹۹
۲۳	Optimum Crop Prediction using Data Mining and Machine Learning techniques	۲۰۱۹	انتخاب محصول مناسب	درخت تصمیم الگوریتم ID۳		
۲۴	Sugarcane crop yield forecasting model using supervised machine learning	۲۰۱۹	نیشکر	تحلیل سری های زمانی رگرسیون بردار پشتیبان	python	۸۸
۲۵	Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine learning approaches	۲۰۱۹	گندم	جنگل تصادفی ماشین بردار پشتیبان شبکه های عصبی مصنوعی و LASSO	-	۸۹
۲۶	A novel approach for efficient crop yield prediction (2019)	۲۰۱۹	برنج	روش ترکیبی رگرسیون خطی چندگانه و شبکه های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان وK نزدیکترین همسایه	-	۹۱
۲۷	Prediction of sugarcane yields from field records using regression modeling	۲۰۱۹	نیشکر	مدل های رگرسیون	python	۸۸
۲۸	Machine learning predictive model of grapevine yield based on agroclimatic patterns	۲۰۱۹	انگور	جنگل تصادفی، رگرسیون lasso و الاستیک نت	Statistical Software R	۷۸
۲۹	Crop yield prediction using XG Boost algorithm	۲۰۲۰	برنج	رگرسیون خطی، رگرسیون بردار پشتیبان، درخت تصمیم، جنگل تصادفی XG Boost		۷۸
۳۰	Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review	۲۰۲۰	مقاله مروری			--

همان‌طور که جدول (۱) و (۲)، نشان می‌دهد که متغیرهای ورودی آب و هوای مانند بارندگی، دما، رطوبت و همچنین متغیرهای ورودی غیر آب و هوایی همانند رطوبت خاک، شوری خاک، مواد شیمیایی و آلی خاک، نوع محصول، واریته آن به عنوان متغیرهای ورودی به مدل پیش‌بینی عملکرد محصول داده می‌شوند. در ابتدا داده‌های خام پیش پردازش شده تا داده‌های نویز حذف شده و پاک سازی شود. سپس این ورودی‌های پردازش شده به مدل پیش‌بینی ارائه می‌شوند. با مقایسه معیارهای عملکرد مدل‌های مختلف یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و مدل‌های پیش بینی مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی عملکرد محصول مناسب‌تر هستند و دقت بالایی دارند.

۴- نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت کشاورزی کاربردهای گسترده‌ای دارد که به طور چشمگیری به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود خدمات کمک می‌کند. این مقاله مروری جامع بر تحقیقات اخیر در زمینه پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. بررسی‌ها با تمرکز بر طیف گسترده‌ای از محصولات، از جمله برنج، گندم، نیشکر و سویا بر اهمیت پیش‌بینی عملکرد محصول در کشاورزی دقیق و تصمیم‌گیری کشاورزان تأکید می‌کند.

متغیرهای ورودی آب‌وهوایی مانند بارندگی، دما، رطوبت و همچنین متغیرهای ورودی غیر آب‌وهوایی همانند رطوبت خاک، شوری خاک، مواد شیمیایی و آلی خاک، نوع محصول، واریته آن به‌عنوان متغیرهای ورودی به مدل پیش‌بینی عملکرد محصول داده می‌شوند. با مقایسه معیارهای عملکرد مدل‌های مختلف یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی عملکرد محصول مناسب‌تر هستند و دقت بالایی دارند مناسب است

برای آینده، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتر به سمت توسعه الگوریتم‌های پیشرفته‌تر یادگیری ماشین و یادگیری عمیق حرکت کند، به‌طوری‌که بتوانند با شرایط خاص کشاورزی تطبیق یابند. همچنین، بهبود کیفیت داده‌ها و جمع‌آوری داده‌های بزرگ می‌تواند نقش حیاتی در افزایش دقت پیش‌بینی‌ها ایفا کند. تطبیق مدل‌ها با شرایط اقلیمی و جغرافیایی خاص نیز از جمله نکات مهمی است که می‌تواند به بهبود عملکرد پیش‌بینی کمک کند. به‌علاوه، ادغام هوش مصنوعی با فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا و بلاکچین، می‌تواند افق‌های جدیدی در کشاورزی باز کند و بهره‌وری را افزایش دهد.

در نهایت، توجه به چالش‌های اجتماعی و اخلاقی مرتبط با استفاده از هوش مصنوعی در کشاورزی، نظیر امنیت داده‌ها و تأثیرات بر اشتغال، نیز از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند به تدوین راهکارهای بهینه برای مدیریت این چالش‌ها کمک کند. به این ترتیب، با پیشرفت در این حوزه، می‌توان به‌طور مؤثرتری به نیازهای کشاورزان پاسخ داد و به بهبود عملکرد محصولات کشاورزی کمک کرد.

منابع

Abdullahi, M. U., Olalere, M., Aimufua, G. I., and Egga, B. H. (2024). *Crop Recommendation Predictive Analysis Using Ensembling Techniques*. Journal of Basics and Applied Sciences Research, 2 (1), 162-176. https://doi.org/10.33003/jobasr-2024-v2i1-43.

Ali, A., Hussain, T., tantashutikun, N., hussain, N., & Cocetta, G. (2023). *Application of Smart Techniques, Internet of Things, and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production*. Agriculture, 13 (2), 397. https://doi.org/10.3390/agriculture13020397.

Ali, A., Hussain, T., tantashutikun, N., hussain, N., & Cocetta, G. (2023). *Application of Smart Techniques, Internet of Things, and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production*. Agriculture, 13 (2), 397. https://doi.org/10.3390/agriculture13020397.

Bashiri, M., Marousi, A., Salari, A. and Qudousi, M. (2016). *Climatic Classification and Determination of Areas Prone to Saffron Cultivation Using Data Mining Algorithms at the Level of Razavi Khorasan Province*. Journal of Saffron Agriculture and Technology, 2 (3), 379-392. (In Persian). https://doi.org/10.22048/jsat.2017.60768.1189.

Bocca, F. F. and Rodrigues, L. H. A. (2016). *The Effect of Tuning, Feature Engineering, and Feature Selection in Data Mining Applied to Rainfed Sugarcane Yield Modelling.* Computers and Electronics in Agriculture, 128, 67-76. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.015.

Cai, Y., Guan, K., Lobell, D., Potgieter, A. B., Wang, S., Peng, J., ... and Peng, B. (2019*). Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine learning approaches*. Agricultural and forest meteorology, 274, 144-159. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.010.

Charoen-Ung, P. and Mittrapiyanuruk, P. (2018). *Sugarcane Yield Grade Prediction Using Random Forest and Gradient Boosting Tree Techniques*. 2018 15th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 1-6. IEEE. https://doi.org/10.1109/JCSSE.2018.8457391.

Charoen-Ung, P. and Mittrapiyanuruk, P. (2019). *Sugarcane Yield Grade Prediction Using Random Forest with Forward Feature Selection and Hyper-Parameter Tuning. In Recent Advances in Information and Communication Technology*. Proceedings of the 14th International Conference on Computing and Information Technology (IC2IT 2018), 33-42. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93692-5_4.

de Oliveira, M. P. G., Bocca, F. F., and Rodrigues, L. H. A. (2017). *From Spreadsheets to Sugar Content Modeling: A Data Mining Approach*. Computers and Electronics in Agriculture, 132, 14-20. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.012.

Everingham, Y., Sexton, J., Skocaj, D. and Inman-Bamber, G. (2016). *Accurate Prediction of Sugarcane Yield Using a Random Forest Algorithm*. Agronomy for Sustainable Development, 36, 1-9. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0364-z.

Ferraro, D. O., Rivero, D. E., and Ghersa, C. M. (2009). *An Analysis of the Factors that Influence Sugarcane Yield in Northern Argentina Using Classification and Regression Trees.* Field Crops Research, 112(2-3), 149-157. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.02.014.

Fleiss, J. L., Levin, B., and Paik, M. C. (2013). *Statistical Methods for Rates and Proportions*. John Wiley & Sons.

Applications, 282-306. IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8582-8.ch016.

Rajeswari, S. K. R., K., Suthendran, K., and Rajakumar, K. (2017). *A Smart Agricultural Model by integrating IoT, Mobile and Cloud-Based Big Data Analytics*. In 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2). IEEE. pp. 1-5. https://doi.org/10.1109/I2C2.2017.8321902.

Ramesh, D., and Vardhan, B. V. (2015). *Analysis of Crop Yield Prediction Using Data Mining Techniques*. International Journal of Research in Engineering and Technology, 4 (1), 47-473. https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0401071

Saito, T. and Rehmsmeier, M. (2015). *The Precision-Recall Plot is More Informative than the ROC Plot when Evaluating Binary Classifiers on Imbalanced Datasets*. PloS one, 10 (3), e0118432. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432.

Sattari, M. T., Bagheri, R., Shirini, K., and Allahverdipour, P. (2024). *Modeling daily and monthly rainfall in Tabriz using ensemble learning models and decision tree regression*. Scientific Journal of Golestan University, 5(18). (In Persian) https://doi.org/10.30488/CCR.2024.433394.1192.

Sattari, M. T., Shirini, K., and Javidan, S. (2024). *Evaluating the efficiency of dimensionality reduction methods in improving the accuracy of water quality index modeling using machine learning algorithms*. Water and Soil Management and Modelling, 4(2), 89-104. https://doi.org/10.22098/mmws.2023.12434.1241.

Sellam, V., and Poovammal, E. (2016). *Prediction of Crop Yield Using Regression Analysis*. Indian Journal of Science and Technology, 9 (38), 1-5. https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i38/91714.

Sharma, M., Kumar, C. J., and Bhattacharyya, D. K. (2024). *Machine/deep learning techniques for disease and nutrient deficiency disorder diagnosis in rice crops: A systematic review*. Biosystems Engineering, 244, 77-92. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2024.05.014.

Shingade, S. D., and Mudhalwadkar, R. P. (2024). *Analysis of Crop Prediction Models Using Data Analytics and ML Techniques:* A Review. Multimedia Tools and Applications, 83 (13), 37813-37838. https://doi.org/10.1007/s11042-023-17038-6.

Shirini, K., Aghdasi, H. S., & Saeedvand, S. (2024). *A comprehensive survey on multiple-runway aircraft landing optimization problem*. International Journal of Aeronautical and Space Sciences, 1-29. https://doi.org/10.1007/s42405-024-00747-z.

Shirini, K., Hajivand, A. T., & Ghareveran, S. S. (2024). *A novel deep learning-based method for potato leaf disease classification*. 9th Advanced Engineering Days, 9, 462-464.

Shirini, K., Taherihajivand, A., and samadi Gharehveran, S. (2023). *A review of algorithms for solving the project scheduling problem with resource-constrained considering agricultural problems*. Agricultural Mechanization, 8(1), 1-14. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jam.2023.55751.1227.

Sirsat, M. S., Mendes-Moreira, J., Ferreira, C., and Cunha, M. (2019). *Machine Learning predictive model of grapevine*

Gharehveran, S. S., Shirini, K., Khavar, S. C., Mousavi, S. H., & Abdolahi, A. (2024). *Deep learning-based demand response for short-term operation of renewable-based microgrids.* The Journal of Supercomputing, 1-34. https://doi.org/10.1007/s11227-024-06407-z

Gheibi, Y., Shirini, K., Razavi, S. N., Farhoudi, M., & Samad-Soltani, T. (2023). *CNN-Res: deep learning framework for segmentation of acute ischemic stroke lesions on multimodal MRI images*. BMC Medical Informatics and Decision Making, 23(1), 192. https://doi.org/10.1186/s12911-023-02289-y.

González Sánchez, A., Frausto Solís, J., and Ojeda Bustamante, W. (2014). *Predictive Ability of Machine Learning Methods for Crop Yield Prediction*. Journal of Agricultural Engineering Research, 97(3), 423-443. https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4439.

Gopal, P. M. and Bhargavi, R. (2019). *A Novel Approach for Efficient Crop Yield Prediction*. Computers and Electronics in Agriculture, 165, 104968. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104968.

Hajivand, A. T., Shirini, K., Salehi, M., & Meshkini, A. (2024). *A Review of Artificial Intelligence Optimization Algorithms in Scheduling Problems with Constrained Resources in Mechanization*. 9th Advanced Engineering Days (AED), 9, 425-428.

Hajivand, A. T.,Shirini, K., & Ghareveran, S. S. (2024). *Smart Agriculture: Leveraging Information Technology and Human Expertise for Sustainable Farming*. 9th Advanced Engineering Days (AED), 9, 419-421

Hammer, R. G., Sentelhas, P. C., and Mariano, J. C. (2020). *Sugarcane Yield Prediction through Data Mining and Crop Simulation Models*. Sugar Tech, 22 (2), 216-225. https://doi.org/10.1007/s12355-019-00776-z.

Kumar, S., Kumar, V., and Sharma, R. K. (2015). *Sugarcane Yield Forecasting Using Artificial Neural Network Models.* International Journal of Artificial Intelligence and Applications, 6 (5), 51-68. https://doi.org/10.5121/ijaia.2015.6504.

Medar, R. A., Rajpurohit, V. S., and Ambekar, A. M. (2019). *Sugarcane Crop Yield Forecasting Model Using Supervised Machine Learning*. Journal of Intelligent-Systems-and-Applications, 11 (8), 11. https://doi.org/10.5815/ijisa.2019.08.02.

Nematpour Malek Abad, H., and Zaki Dizaji, H. (2023). *Analytical Investigation of Factors Affecting the Sustainability of Livestock Industry Development: A Case Study of Lorestan Province*. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 54 (3), 43-60. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijbse.2024.368363.665531.

Qiu, Y., Zhou, J., Khandelwal, M., Yang, H., Yang, P., & Li, C. (2022). *Performance evaluation of hybrid WOA-XGBoost models to predict ground vibration*. Engineering with Computers, 38 (Suppl 5), 4145-4162. https://doi.org/10.1007/s00366-021-01393-9.

Ravi, & Baranidharan, B. (2020). *Crop yield Prediction using XG Boost algorithm*. Int. J. Recent Technol. Eng, 8(5), 3516-3520. https://doi.org/10.35940/ijrte.D9547.018520.

Rajamani, S. K. and Iyer, R. S. (2023). *Machine Learning-Based Mobile Applications Using Python and Scikit-Learn*. In Designing and Developing Innovative Mobile

yield based on agroclimatic patterns. Engineering in Agriculture. Environment and Food. 12(4), 443-450. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.07.003.

Sutha, K., Indumathi, N., and SHANKARI, S. (2023). *Recommending and Predicting Crop Yield using Smart Machine Learning Algorithm (SMLA)*. Current Agriculture Research Journal, 11(2). http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.11.2.30.

Taheri, H. A., Shirini, K., and Samadi, G. S. (2024). *Weed detection in cereal fields using convolutional neural network based on deep learning*. Agricultural Engineering, 47(1): 129-142. (In Persian). https://doi.org/10.22055/agen.2024.45327.1688.

Taheri hajivand, A., Shirini, K., and Samadi Gharehveran, S. (2024). *Weed detection in fields using convolutional neural network based on deep learning*. Agricultural Engineering, 47(1), 129-142. (In Persian). https://doi.org/10.22055/agen.2024.45327.1688.

Thuankaewsing, S., Khamjan, S., Piewthongngam, K., and Pathumnakul, S. (2015). *Harvest scheduling algorithm to equalize supplier benefits: A case study from the Thai sugar cane industry*. Computers and Electronics in Agriculture, 110, 42-55. https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.10.005.

Vani, P. S. and Rathi, S. (2023). *Improved Data Clustering Methods and Integrated A-FP Algorithm for Crop Yield Prediction.* Distributed and Parallel Databases, 41 (1), 117-131. https://doi.org/10.1007/s10619-021-07350-1.

Varjavand, P. and Khorramian, M. (2024). *Real Water Saving Using Crop Substitution in Cropping Pattern: A Case Study of Khuzestan Province*, Iran. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 150 (6), 05024004. https://doi.org/10.1061/JIDEDH.IRENG-10318.

Veenadhari, S., Misra, B., and Singh, C. D. (2014). *Machine learning approach for forecasting crop yield based on climatic parameters*. In 2014 International Conference on Computer Communication and Informatics IEEE (pp. 1-5). https://doi.org/10.1109/ICCCI.2014.6921718.

Yang, Y., Khorshidi, H., and Aickelin, U. (2024). *A Review on Over-Sampling Techniques in Classification of Multi-Class Imbalanced Datasets: Insights for Medical Problems.* Frontiers in Digital Health, 6, 1430245. https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1430245.

Zahiri, M., Shirini, K., & Samadi Gharehveran, S. (2024). *Network traffic analysis with machine learning for faster detection of distributed denial of service attack*. Journal of Advanced Defense Science & Technology. 14 (4), 67-76. https://dorl.net/dor/20.1001.1.26762935.1402.14.3.1.5.

Zaki Dizaji, H., Bahrami, H., Monjezi, N., and Sheikhdavoodi, M. J. (2019). *Modeling the Variables that Influence Sugarcane Yield using CART and QUEST Decision Tree Algorithms*. Journal of Agricultural Machinery, 9 (2), 469-484. https://doi.org/10.22067/jam.v9i2.469.