

Integrating Knowledge Management and Machine Learning for Water Treatment Optimization: A Case Study at Koot Amir Water Treatment Plant

Hadi Alhaei¹ , Mansoor Koohi Rostami²  , and Seyed Mohammad Ashrafi³ 

1. Department of Information Science and Knowledge, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: hadi_alhaei@yahoo.com
2. Corresponding author, Department of Information Science and Knowledge, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.rostami@scu.ac.ir
3. . Department of Civil Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ashrafi@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 28 October 2024
Received in revised form 13 December 2024
Accepted 25 December 2024
Available online 30 December 2024

Keywords:

knowledge management,
conceptual model,
machine learning,
koot amir water treatment plant,
performance optimization

ABSTRACT

Objective: In recent years, optimal operation of water treatment plants has faced numerous challenges, including fluctuations in water quality, rising operational costs, and the need for rapid and intelligent decision-making. In this context, the use of advanced knowledge management technologies, data mining, and artificial intelligence has emerged as powerful tools for optimizing operational processes. This study aims to evaluate the impact of machine learning algorithms on optimizing the performance of the Koot Amir water treatment plant in Ahvaz, with an emphasis on the role of knowledge management.

Method: This applied research adopts a data-driven approach. The study population comprises 40,000 records of real operational and qualitative data collected over five years from the Koot Amir treatment plant. After collection, the data underwent preprocessing and normalization and were divided into training (70%) and testing (30%) datasets. Three machine learning models—Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), and Support Vector Machine (SVM)—were evaluated for predicting water quality and optimizing chemical usage. Data analysis and modeling were performed using Python, SPSS, and Excel.

Results: The evaluation results revealed that the Artificial Neural Network model achieved the highest performance, with 94.7% accuracy and a determination index of 0.91 in predicting water quality changes. The Random Forest model also demonstrated strong capabilities, with 92.1% accuracy and a determination index of 0.88, effectively identifying complex water quality patterns. The Support Vector Machine model showed lower performance, with 89.3% accuracy and higher error rates. Implementing knowledge management using these models facilitated improved prediction of effluent water quality and enhanced the transfer of operational knowledge to plant operators.

Conclusions: This study demonstrates that integrating knowledge management with machine learning is an effective strategy for optimizing the performance of water treatment plants and can serve as a model for similar facilities. The adoption of advanced technologies holds significant potential for improving predictive capabilities and knowledge transfer in data-driven organizations.

Cite this article: Alhaei, H., Koohi Rostami, M., & Ashrafi, M. (2024). Integrating knowledge management and machine learning for water treatment optimization: A case study at Koot Amir Water Treatment Plant. *Academic Librarianship and Information Research*, 58 (4), 1-22. <http://doi.org/10.22059/jlib.2025.391697.1774>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jlib.2025.391697.1774>

Introduction

In recent years, the operation of water treatment plants has encountered a multitude of challenges that have necessitated the adoption of innovative approaches. Among these challenges are the increasing variability in water quality due to environmental and anthropogenic factors, escalating operational costs, and the pressing need for rapid, informed decision-making in response to dynamic conditions. Traditional methods of operation, which often rely on the experience and intuition of plant operators, are increasingly insufficient to address these complexities. As a result, there is a growing recognition of the importance of integrating advanced information technologies into the operational framework of water treatment facilities.

The application of knowledge management, data mining, and artificial intelligence (AI) technologies has emerged as a transformative approach to optimizing the performance of water treatment plants. Knowledge management enables the systematic capture, organization, and dissemination of operational knowledge, ensuring that valuable expertise is not lost but rather institutionalized within the organization. Data mining techniques facilitate the extraction of actionable insights from vast and complex datasets, while AI and machine learning models provide the capability to predict future trends and automate decision-making processes.

The primary objective of this study is to assess the impact of machine learning algorithms on the operational optimization of the Kot Amir Water Treatment Plant in Ahvaz, with a particular emphasis on the role of knowledge management. By leveraging these advanced technologies, the study aims to enhance the efficiency, reliability, and cost-effectiveness of water treatment processes, ultimately contributing to improved water quality and resource management.

Methods

This research adopts an applied, data-driven approach, focusing on the real-world operational data collected from the Kot Amir Water Treatment Plant. The study population comprises 40,000 records of quality and operational parameters, systematically collected over a five-year period. These parameters include key indicators such as turbidity, pH, temperature, electrical conductivity, chloride concentration, water hardness, and chemical consumption rates (e.g., ferric chloride, alum, and polymer). The research process was organized into several distinct phases. First, the raw data were gathered from the plant's operational logs, ensuring that the dataset was comprehensive and representative of actual plant conditions. Subsequently, the data underwent a rigorous preprocessing stage, which involved cleaning, normalization, and outlier removal to ensure data integrity and consistency. The preprocessed data were then partitioned into training (70%) and testing (30%) sets to facilitate the development and validation of predictive models. Three prominent machine learning algorithms were selected for evaluation: Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), and Support Vector Machine (SVM). These models were chosen for their proven effectiveness in handling complex, nonlinear relationships within large datasets. The models were trained and validated using the

partitioned datasets, and their performance was assessed based on several key metrics, including accuracy, root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and the coefficient of determination (R^2). Data analysis and model development were conducted using Python (with libraries such as Scikit-learn, Pandas, and Matplotlib), SPSS, and Excel.

Results

The evaluation of the machine learning models yielded significant insights into their predictive capabilities and operational utility. The Artificial Neural Network (ANN) model demonstrated the highest performance, achieving an accuracy of 94.7% and a determination coefficient (R^2) of 0.91 in predicting changes in water quality. This high level of accuracy indicates that the ANN model is highly effective in capturing the complex relationships and patterns inherent in the operational data. The Random Forest (RF) model also performed admirably, with an accuracy of 92.1% and a determination coefficient of 0.88. The RF model's ability to handle diverse and interacting variables made it particularly suitable for identifying complex patterns in water quality data. In contrast, the Support Vector Machine (SVM) model, while still effective, exhibited a lower accuracy of 89.3% and a higher error rate, suggesting that it is less robust in the context of this application. Beyond their predictive performance, the implementation of these models within a knowledge management framework provided additional operational benefits. The models enabled the early detection of anomalies and trends in water quality, allowing plant operators to intervene proactively and prevent potential issues. Furthermore, the systematic documentation and analysis of operational data facilitated the transfer of knowledge from experienced operators to new personnel, thereby enhancing the overall competence and resilience of the workforce.

Conclusions

The findings of this study underscore the transformative potential of integrating knowledge management and machine learning in the operation of water treatment plants. By adopting these advanced technologies, facilities such as the Kot Amir Water Treatment Plant can achieve significant improvements in water quality, operational efficiency, and cost-effectiveness. The study demonstrates that machine learning models, particularly Artificial Neural Networks and Random Forests, are highly effective tools for predicting water quality and optimizing chemical usage. Moreover, the integration of these models within a knowledge management system enables the continuous improvement of operational practices and the sustainable transfer of expertise within the organization.

The successful application of these technologies at Kot Amir Water Treatment Plant serves as a valuable model for other water treatment facilities facing similar challenges. The adoption of data-driven decision-making and knowledge management practices can empower organizations to respond more effectively to the complexities of modern water treatment, ultimately contributing to the protection of public health and the sustainable management of water resources.

Author Contributions

This study is the result of the first author's doctoral thesis.

In this study, the first author was responsible for preparing the study text, compiling, analyzing the data, and drawing conclusions.

The second author was responsible for guiding the study from the beginning to the conclusion.

The third author served as a consultant in this study, and all processes related to the water sector were supervised by the third author.

Data Availability Statement

Not applicable

Acknowledgements

This study was derived from the first author's doctoral dissertation and was financially supported by Shahid Chamran University of Ahvaz. Therefore, the Vice Chancellor for Research of Chamran University is gratefully acknowledged.

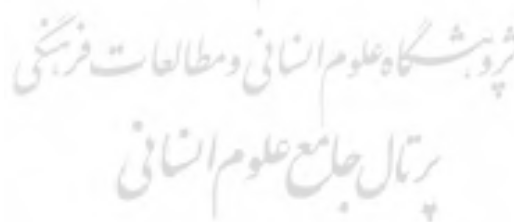
The authors would like to thank Dr. Mahdiah Khazanehha for his artificial intelligence analysis of the text of this article and for providing valuable comments.

Funding

The study was not funded

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



ادغام مدیریت دانش و یادگیری ماشین برای بهینه سازی عملکرد تصفیه آب: مطالعه موردی در تصفیه خانه کوت امیر

هادی الهایی^۱، منصور کوهی رستمی^۲، و سید محمد اشرفی^۳

۱. گروه علم اطلاعات و دانش شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: hadi_alhaei@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علم اطلاعات و دانش شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.rostami@scu.ac.ir
۳. گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ashrafi@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰ کلیدواژه ها: مدیریت دانش، مدل مفهومی، یادگیری ماشین، تصفیه خانه کوت امیر، بهینه سازی عملکرد.	هدف: در سال های اخیر، بهره برداری بهینه از تصفیه خانه های آب با چالش های متعددی از جمله نوسانات کیفیت آب، افزایش هزینه های عملیاتی و نیاز به تصمیم گیری سریع و هوشمند مواجه شده است. در این راستا، استفاده از فناوری های نوین مدیریت دانش، داده کاوی و هوش مصنوعی به عنوان ابزارهای توانمند برای بهینه سازی فرایندهای عملیاتی اهمیت یافته است. هدف این پژوهش، ارزیابی تأثیر الگوریتم های یادگیری ماشین بر بهینه سازی عملکرد تصفیه خانه کوت امیر اهواز با تأکید بر نقش مدیریت دانش بوده است. روش پژوهش: این پژوهش از نوع کاربردی و با رویکرد داده محور انجام شده است. جامعه پژوهش شامل بیش از ۴۰،۰۰۰ رکورد داده های واقعی ثبت شده طی پنج سال از پارامترهای کیفی و عملیاتی تصفیه خانه کوت امیر بود. داده ها پس از گردآوری، پیش پردازش و نرمال سازی شدند و در قالب دو مجموعه آموزشی (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) مورد استفاده قرار گرفتند. سه مدل یادگیری ماشین شامل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، جنگل تصادفی (RF) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای پیش بینی کیفیت آب و بهینه سازی مصرف مواد شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. از برنامه نویسی Python و نرم افزارهای SPSS و Excel برای تحلیل و مدل سازی داده ها استفاده شد. یافته ها: نتایج ارزیابی مدل ها نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۹۴٫۷ درصد و شاخص تعیین ۰٫۹۱، بهترین عملکرد را در پیش بینی تغییرات کیفیت آب داشته است. مدل جنگل تصادفی نیز با دقت ۹۲٫۱ درصد و شاخص تعیین ۰٫۸۸، توانایی بالایی در شناسایی الگوهای پیچیده کیفیت آب نشان داد. مدل ماشین بردار پشتیبان با دقت ۸۹٫۳ درصد و خطای بالاتر، عملکرد کمتری داشت. پیاده سازی مدیریت دانش با استفاده از این مدل ها منجر به پیش بینی بهبود کیفیت آب خروجی و چگونگی تسهیل انتقال دانش عملیاتی به اپراتورها می گردد. نتیجه گیری: نتایج نشان می دهد که ادغام مدیریت دانش و یادگیری ماشین، راهکاری مؤثر برای بهینه سازی عملکرد تصفیه خانه های آب است و می تواند به عنوان الگویی برای سایر تأسیسات مشابه مورد استفاده قرار گیرد. بهره گیری از فناوری های نوین، می تواند در پیش بینی و انتقال دانش در سازمان های داده محور مؤثر باشد.

استناد: الهایی، هادی؛ کوهی رستمی، منصور؛ و اشرفی، سید محمد (۱۴۰۳). ادغام مدیریت دانش و یادگیری ماشین برای بهینه سازی عملکرد تصفیه آب: مطالعه موردی در تصفیه خانه کوت امیر. *تحقیقات کتابداری و اطلاع رسانی دانشگاهی*، ۵۸ (۴)، ۲۲-۱.

<http://doi.org/10.22059/jlib.2025.391697.1774>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تهران.

مقدمه

با گسترش شهرنشینی، افزایش آلودگی‌های صنعتی و تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری از منابع آبی و به ویژه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با چالش‌های گسترده‌ای مواجه شده است (بهرام‌نیا و دریکوند، ۱۳۹۷). تصفیه‌خانه‌ها به عنوان نهادهای حیاتی در تضمین سلامت محیط‌زیست، باید بتوانند در شرایط متغیر و بعضاً بحرانی، عملکردی پایدار و مؤثر ارائه دهند. در این میان، نقش فناوری‌های نوین در بهبود تصمیم‌گیری، کاهش خطاهای انسانی و پیش‌بینی رفتار سیستم بسیار برجسته شده است (یوسفیان، فقیهی، ابوالحسن، دانشفرد و الله، ۲۰۲۲؛ سلماسی و دیگران، ۱۳۹۹).

کنترل کیفیت آب، به ویژه در استان‌هایی با شرایط اقلیمی خاص مانند خوزستان، اهمیت ویژه‌ای دارد. روش‌های آزمایشگاهی کنونی برای ارزیابی کیفیت آب، به خصوص در شرایط بحرانی، زمان‌بر و پرهزینه هستند و این موضوع می‌تواند منجر به تأخیر در تصمیم‌گیری و افزایش هزینه‌های عملیاتی شود (داسیلویرا بارسلو و دسوزا، ۲۰۲۲؛ کولی و شادری، ۲۰۱۳). در این راستا، استفاده از مدل‌های مفهومی، تکنیک‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین به عنوان راهکاری مؤثر در مواجهه با چالش‌های کنترل کیفیت آب مطرح شده است. این روش‌ها امکان تحلیل حجم بالایی از داده‌های جمع‌آوری‌شده از ایستگاه‌های مختلف را فراهم کرده و پیش‌بینی‌های دقیق و به‌موقعی از وضعیت آینده کیفیت آب ارائه می‌دهند (شمس و دیگران، ۲۰۲۴).

مدیریت دانش به عنوان یکی از ارکان اصلی ارتقای کارایی سازمان‌ها، می‌تواند با شناسایی و تسهیم دانش ضمنی و صریح درون سازمانی، بستری مناسب برای بهبود فرایندهای بهره‌برداری فراهم کند (لاهوره، ۲۰۲۳). از سوی دیگر، داده‌کاوی و هوش مصنوعی، به ویژه الگوریتم‌های یادگیری ماشین، ابزارهایی هستند که با تحلیل حجم بالایی از داده‌های عملیاتی، توان پیش‌بینی، طبقه‌بندی و تصمیم‌سازی را در اختیار مدیران و کارشناسان بهره‌بردار قرار می‌دهند (قصوری، ۱۴۰۱؛ آروا، ۲۰۲۳).

در صنعت آب، داده‌کاوی و یادگیری ماشین برای تحلیل مصرف آب، شناسایی نشت، مدیریت کیفیت آب، بهینه‌سازی عملیات و پیش‌بینی تقاضا به کار گرفته می‌شوند (دوگان و بیران، ۲۰۲۱). با گسترش نقش مدیریت دانش و فناوری‌های هوشمند، سازمان‌ها بر توسعه فرایندهای نظام‌مند برای دستیابی، کنترل و تسهیل دسترسی به دانش سازمانی متمرکز شده‌اند (اشنایدراجانز و دیگران، ۲۰۲۰). این رویکردها با ادغام تکنیک‌های هوش مصنوعی و داده‌کاوی، امکان بهره‌برداری از داده‌های حجیم و تبدیل آنها به دانش عملیاتی را فراهم می‌کنند. مهمترین کاربردهای مدیریت دانش در سازمان‌ها:

- تسهیل نوآوری از طریق اشتراک‌گذاری دانش بین کارکنان و تلفیق ایده‌های متنوع (لاهوره، ۲۰۲۳).
- کاهش زمان و هزینه‌های عملیاتی با دسترسی سریع به اطلاعات دقیق و اجتناب از فعالیت‌های تکراری (جمالی‌فر و سیدعمار، ۲۰۲۱).
- بهبود تصمیم‌گیری مبتنی بر اطلاعات به‌روز و تحلیل‌های پیشرفته (محرابی و دیگران، ۲۰۲۳).
- جلوگیری از تکرار خطاها با مستندسازی تجربیات و درس‌آموخته‌های گذشته (کلامی و دیگران، ۱۴۰۱؛ محرابی و دیگران، ۲۰۲۳).

پیوند مدیریت دانش با هوش مصنوعی و داده‌کاوی، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا از طریق تحلیل الگوهای پنهان در داده‌ها، به پیش‌بینی روندها، کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی و بهینه‌سازی فرایندها دست یابند این ادغام همچنین به افزایش رقابت‌پذیری، ارتقای بهره‌وری و تسریع در نوآوری منجر می‌شود (کلامی و دیگران، ۱۴۰۱).

در عصر حاضر، سازمان‌ها و نهادهای خدماتی مانند تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، با حجم عظیمی از داده‌های خام مواجه هستند که به دلیل نبود زیرساخت‌های تحلیلی مناسب، اغلب بدون استفاده باقی می‌مانند. این داده‌ها شامل اطلاعات مربوط به کیفیت آب، پارامترهای شیمیایی، میزان مصرف انرژی، وضعیت تجهیزات، هزینه‌های عملیاتی و... هستند که در صورت پردازش و تحلیل صحیح، می‌توانند به منبعی غنی برای تصمیم‌گیری‌های دقیق و هوشمند تبدیل شوند. در مناطقی مانند اهواز که با مشکلات جدی در حوزه تأمین و مدیریت منابع آب مواجه‌اند، تدوین مدل‌های هوشمند استخراج دانش می‌تواند به ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌ها و

بهبود کیفیت آب خروجی کمک کند. این مدل‌ها با تحلیل داده‌ها و ارائه راهکارهای مؤثر، موجب کاهش هزینه‌های عملیاتی، صرفه‌جویی در زمان و افزایش طول عمر تأسیسات تصفیه‌خانه‌ها می‌شوند و در نهایت نقش مهمی در ارتقای سلامت و کیفیت زندگی مردم ایفا می‌کنند (فشارکی، شیرازی و بخشی، ۱۳۸۹).

از سوی دیگر، پیچیدگی و ناپایداری فرایندهای تصفیه، وابستگی شدید به شرایط محیطی و انسانی و نیاز روزافزون به کاهش هزینه‌ها و ارتقای بهره‌وری، ایجاب می‌کند که ابزارهای نوین مانند داده‌کاوی، یادگیری ماشین و مدیریت دانش در بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها به کار گرفته شوند.

در این میان، تصفیه‌خانه کوت امیر اهواز به عنوان یکی از مراکز حساس و بزرگ در تأمین سلامت شهری، با چالش‌هایی نظیر کیفیت متغیر آب ورودی، استهلاک تجهیزات، مصرف بالای مواد شیمیایی و نبود نظام هشدار سریع در تشخیص اختلالات روبه‌روست. استفاده از داده‌کاوی در تحلیل الگوهای عملکرد گذشته و الگوریتم‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی رفتار سیستم، می‌تواند پاسخی علمی و کاربردی به این نیازها باشد و همچنین یکی از مهمترین تصفیه‌خانه‌های کشور است که به دلیل شرایط جغرافیایی خاص و بار آلودگی بالای ورودی، همواره با چالش‌هایی در بهره‌برداری و کنترل کیفیت مواجه بوده است. این مطالعه با هدف تلفیق مدیریت دانش و ابزارهای تحلیل داده‌محور، تلاشی است برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی، و ارتقای سطح هوشمندی فرایندهای تصمیم‌گیری در این تصفیه‌خانه است. لازم به ذکر است که پژوهش حاضر ضرورت خود را در پر کردن خلأ موجود میان داده‌های حجیم و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی دقیق با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند و ساختارمند به اثبات می‌رساند.

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، تحقیقات متعدد داخلی و خارجی به بررسی تأثیر فناوری‌های نوین، به ویژه داده‌کاوی، یادگیری ماشین و مدیریت دانش در بهبود عملکرد سیستم‌های تصفیه آب و فاضلاب پرداخته‌اند. در این میان، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به دلیل توانایی در کشف الگوهای پنهان، پیش‌بینی دقیق پارامترها و ارائه راهکارهای بهینه، توجه بسیاری از پژوهشگران را جلب کرده‌اند. در ادامه، به برخی از مهمترین مطالعات در این زمینه اشاره می‌شود:

۱. مطالعات داخلی

سلیمان‌پور و دیگران (۱۳۹۷) به بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از داده‌کاوی درخت تصمیم در دشت کازرون پرداختند. این مطالعه نشان داد که کل جامدات محلول و مقدار کلسیم بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب دارند. در مطالعه‌ای دیگر آوند و دیگران (۱۳۹۸) به بررسی تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و آماری در منطقه یاسوج-سی سخت پرداختند. مدل جنگل تصادفی با دقت ۹۲٪ بهترین عملکرد را در تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی نشان داد. رضایا و دیگران (۱۴۰۰) به بررسی حذف کدورت از آب با استفاده از گرافن اکساید و مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی، نتایج نشان داد که افزایش غلظت گرافن اکساید باعث افزایش بازدهی حذف کدورت می‌شود و شبکه عصبی مصنوعی با دقت بالایی قادر به مدل‌سازی این فرایند است. نجف‌زاده و لطفی داش بلاغ (۱۴۰۰) کاربرد مدل‌های بهینه عصبی فازی در تخمین شاخص کیفی آب رودخانه کارون پرداختند و نتایج نشان دادند مدل ترکیبی GT-ANFIS-PSO عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت و شاخص کیفی آب در بازه ۲۰ تا ۵۸٫۴ قرار داشت. خوش‌روش و دیگران (۱۴۰۲) به ارزیابی شاخص کیفیت آب زیرزمینی GQI در دشت‌های خان‌میرزا لردگان، بروجن اردل و کیار پرداختند و نتایج اکثر نمونه‌ها در طبقه با کیفیت قابل قبول قرار داشتند و برای شرب مناسب بودند.

۲. مطالعات خارجی

رزمان و دیگران (۲۰۰۳) به طراحی و تجزیه و تحلیل سیستم پایش و فیلتر کیفیت آب برای انواع مختلف آب در مالزی پرداختند نتایج نشان دادند این سیستم از حسگرهایی برای اندازه‌گیری pH، کدورت، دما، رسانایی الکتریکی و پتانسیل اکسیداسیون-

کاهش استفاده می‌کند و امکان مانیتورینگ بلادرنگ را فراهم می‌کند. در مطالعه‌ای دیگر حسین و دیگران (۲۰۲۳) به بررسی الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی شاخص کیفیت آب در منطقه سند پاکستان پرداختند و نتایج حاکی از ماشین‌بردار پشتیبان با دقت پیش‌بینی ۹۳,۳۳٪ بهترین عملکرد را در پیش‌بینی کیفیت آب نشان داد. در سال‌های اخیر، پژوهشگران متعددی در سطح بین‌المللی به بررسی کاربرد داده‌کاوی و هوش مصنوعی در مدیریت دانش و بهینه‌سازی سیستم‌های آب و فاضلاب پرداخته‌اند.

Maier و دیگران (۲۰۱۰) در یک مطالعه مروری جامع، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را در مدل‌سازی سیستم‌های آب مورد بررسی قرار دادند و به چالش‌های آموزش این مدل‌ها در شرایط واقعی، مانند نبود داده‌های کافی، نویز داده‌ها و پیچیدگی فرایندهای تصفیه اشاره کردند. آنها تأکید کردند که اگرچه شبکه‌های عصبی ابزار قدرتمندی برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی سیستم‌های آب هستند؛ اما برای افزایش دقت و قابلیت اعتماد آنها باید به بهبود داده‌ها و روش‌های آموزش توجه ویژه‌ای شود. Wu و دیگران (۲۰۱۴) در کشور چین با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و نزدیک‌ترین همسایه (KNN)، موفق شدند پارامترهای کلیدی کیفیت آب شامل BOD و COD را در تصفیه‌خانه‌های شهری با دقت بالا پیش‌بینی کنند. نتایج آنها نشان داد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به‌طور مؤثری جایگزین روش‌های سنتی آزمایشگاهی شوند و امکان پیش‌بینی سریع و دقیق را برای مدیران تصفیه‌خانه‌ها فراهم آورند.

Sharma و دیگران (۲۰۱۷) در هند، با طراحی مدلی مبتنی بر جنگل تصادفی (RF)، موفق به پیش‌بینی نوسانات کیفیت پساب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شدند. این مدل به ویژه در داده‌های غیرخطی عملکرد بسیار مطلوبی داشت و توانست با دقت بالایی تغییرات ناگهانی کیفیت پساب را شناسایی کند. این یافته‌ها نشان‌دهنده توانایی بالای مدل‌های یادگیری ماشین در مدیریت و کنترل کیفیت آب فاضلاب است.

در پژوهشی توسط Zhou و دیگران (۲۰۱۸) به بررسی ترکیب مدیریت دانش و یادگیری ماشین در صنایع آب و فاضلاب پرداختند. آنها بر ضرورت طراحی داشبوردهای هوشمند برای جمع‌آوری، تحلیل و نمایش داده‌های کیفیت آب تأکید کردند و بیان داشتند که این داشبوردها می‌توانند با ارائه اطلاعات بلادرنگ و تحلیل‌های پیشرفته، مدیران را در تصمیم‌گیری‌های سریع و اثربخش یاری دهند. در مطالعه‌ای دیگر، Ramos و دیگران (۲۰۲۰) در پرتغال با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی، به استخراج دانش پنهان از داده‌های سیستم اسکادای تصفیه‌خانه‌ها پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تحلیل داده‌های عملیاتی تصفیه‌خانه‌ها می‌تواند به شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی و بهینه‌سازی فرایندهای بهره‌برداری منجر شود.

با بررسی پیشینه‌های موجود، می‌توان شکاف‌های زیر را در زمینه مدیریت دانش با داده‌کاوی و هوش مصنوعی در صنعت آب شناسایی کرد:

۱. **کمبود مطالعات جامع در زمینه پیاده‌سازی مدل‌های مدیریت دانش در تصفیه‌خانه‌های آب:** بیشتر مطالعات به بررسی جنبه‌های خاصی از کیفیت آب یا استفاده از الگوریتم‌های خاص یادگیری ماشین پرداخته‌اند؛ اما یک مدل جامع که تمام جنبه‌های مدیریت دانش را در یک تصفیه‌خانه پوشش دهد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.
۲. **نیاز به بررسی عوامل سازمانی و انسانی:** مطالعات کمی به بررسی چالش‌های سازمانی و انسانی در پیاده‌سازی مدل‌های مدیریت دانش پرداخته‌اند. عواملی مانند مقاومت در برابر تغییر، نیاز به آموزش کارکنان و ایجاد فرهنگ یادگیری سازمانی می‌توانند تأثیر زیادی بر موفقیت این مدل‌ها داشته باشند.
۳. **کمبود مطالعات موردی در شرایط اقلیمی خاص:** بیشتر مطالعات در شرایط اقلیمی و جغرافیایی خاص انجام شده‌اند و نتایج آنها ممکن است به سایر مناطق قابل تعمیم نباشد. نیاز به انجام مطالعات موردی در مناطق با شرایط اقلیمی خاص مانند خوزستان وجود دارد تا مدل‌های مناسب با این شرایط توسعه داده شوند.
۴. **نیاز به استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته‌تر یادگیری ماشین:** با پیشرفت فناوری‌های یادگیری ماشین، الگوریتم‌های جدیدی مانند شبکه‌های عصبی عمیق و یادگیری تقویتی می‌توانند در تحلیل داده‌های صنعت آب مورد استفاده قرار گیرند و دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش دهند.

۵. کمبود مطالعات اقتصادی: مطالعات کمی به بررسی جنبه‌های اقتصادی پیاده‌سازی مدل‌های مدیریت دانش پرداخته‌اند. ارزیابی هزینه‌ها و منافع این مدل‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در مورد پیاده‌سازی آنها کمک کند. پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف‌ها، نقش مدیریت دانش را در بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه کوت امیر با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی و هوش مصنوعی بررسی می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه بهره‌گیری از این رویکردهای هوشمند می‌تواند به بهبود کیفیت آب خروجی، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش کارایی تصفیه‌خانه منجر شود.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی با رویکرد داده‌محور و کمی است و هدف آن بررسی تأثیر الگوریتم‌های یادگیری ماشین بر بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه کوت امیر اهواز است. داده‌های مورد استفاده از اطلاعات واقعی ثبت‌شده در تصفیه‌خانه طی یک دوره زمانی پنج ساله به‌دست آمده‌اند و با استفاده از ابزارهای تحلیل پیشرفته، بررسی و مدل‌سازی شده‌اند.

جامعه پژوهش

جامعه پژوهش در این مطالعه شامل داده‌های ثبت‌شده کیفیت آب تصفیه‌خانه کوت امیر شرکت آب جنوب شرق خوزستان شامل ۴۰۰۰۰ هزار رکورد است. این داده‌ها از طریق مراجعه حضوری به این شرکت و دریافت اطلاعات در فرمت‌های مختلف گردآوری شدند. بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، جامعه پژوهش داده‌های مربوط به ۵ سال تصفیه‌خانه کوت امیر بود.

پژوهش به صورت مرحله‌ای به شرح زیر انجام شد:

۱. گردآوری داده‌های عملیاتی: شامل پارامترهای کیفیت آب (مانند کدورت، دما، pH، هدایت الکتریکی، کلور، سختی آب، مصرف مواد شیمیایی (کلورفریک، زاج، پریستول)، حجم ورودی و خروجی و داده‌های تجهیزات بهره‌برداری؛
۲. پیش‌پردازش داده‌ها: شامل پاک‌سازی داده‌ها، حذف مقادیر پرت، نرمال‌سازی و دسته‌بندی مقادیر. این مرحله برای یکدست‌سازی داده‌های دریافتی در فرمت‌های مختلف ضروری بود تا امکان تحلیل مؤثر و شناسایی الگوهای موجود فراهم شود؛
۳. انتخاب الگوریتم‌های یادگیری ماشین مناسب: شامل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، جنگل تصادفی (RF) و ماشین بردار پشتیبان (SVM)؛
۴. آموزش و ارزیابی مدل‌ها: با استفاده از داده‌های تصفیه‌خانه و مقایسه عملکرد آنها بر اساس معیارهایی مانند دقت، میانگین مربعات خطا (RMSE)، و سرعت پردازش؛
۵. تحلیل نتایج: جهت استخراج دانش و ارائه پیشنهادهای بهینه‌سازی عملکرد عملیاتی در سطح مدیریت تصفیه‌خانه.

ابزارهای مورد استفاده

برای تحلیل داده‌ها و ساخت مدل‌های یادگیری ماشین، از نرم‌افزارهای زیر استفاده شد:

- Python (کتابخانه‌های Scikit-learn، Pandas، Numpy، Matplotlib)
- SPSS ورژن ۲۴ برای تحلیل توصیفی و پیش‌بینی داده‌ها و مقایسه آنها
- Excel برای مرتب‌سازی اولیه داده‌های خام.

متغیرهای کلیدی مورد بررسی

جدول ۱. متغیرهای داده‌های مربوط به کیفیت آب در تصفیه‌خانه کوت امیر

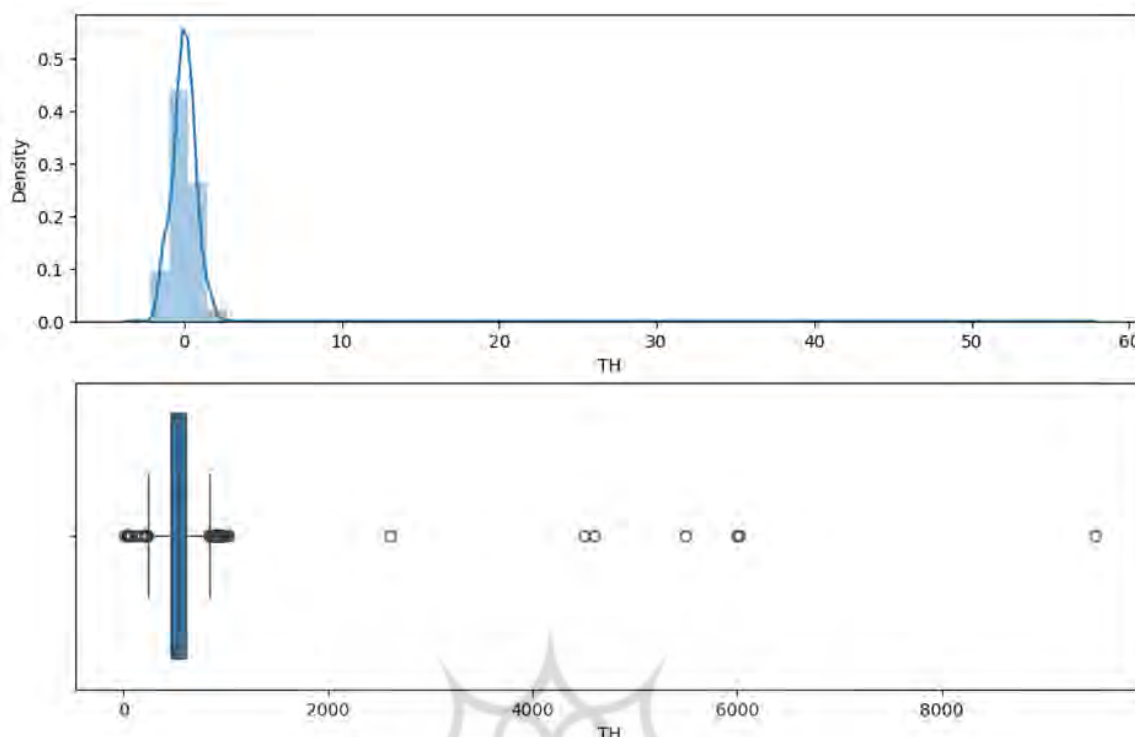
پارامتر	توضیحات
پارامترهای مستقل	
(کدورت) TUB	میزان رسوبات معلق در آب
(تاریخ و زمان) TIME	تأثیر زمان و مکان بر پاکسازی آب
(دما) TEMP	دمای آب در زمان پاکسازی
پل کلاریفایر	سازه‌ای برای برداشت لجن و تسهیل تصفیه
میکسر کلاریفایر	دستگاهی برای هم‌زدن مواد شیمیایی
(دبی جریان آب) Q	حجم آب عبوری در واحد زمان
پارامترهای کنترل کیفیت - تیتراسیون	
(هدایت الکتریکی) EC	غلظت املاح محلول در آب
(کلور) CL	غلظت یون‌های کلر در آب
(سختی آب) TH	میزان کلسیم و منیزیم در آب
پارامترهای آنالیز آب	
ASH	باقی‌مانده‌های معدنی پس از تبخیر
TUB	شاخص کدورت و شفافیت آب
PH	میزان اسیدی یا بازی بودن آب
CA	مقدار کلسیم در آب
MG	غلظت منیزیم در آب
HCO ₃	غلظت بی‌کربنات‌ها در آب
پارامترهای وابسته	
(کلروفیک) Fe(Cl)	ماده منعقدکننده برای کاهش کدورت
(زاج) Alum	کمک منعقدکننده برای ته‌نشینی ذرات
(پریستول) POL	پلیمر کمک منعقدکننده

یافته‌های پژوهش

در این بخش، عملکرد سه الگوریتم یادگیری ماشین شامل شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان بر روی داده‌های تصفیه‌خانه کوت امیر بررسی شده است. هدف، پیش‌بینی کیفیت آب خروجی، مصرف مواد شیمیایی، و شناسایی رفتارهای غیرعادی در بهره‌برداری بوده است.

آماده‌سازی داده‌ها

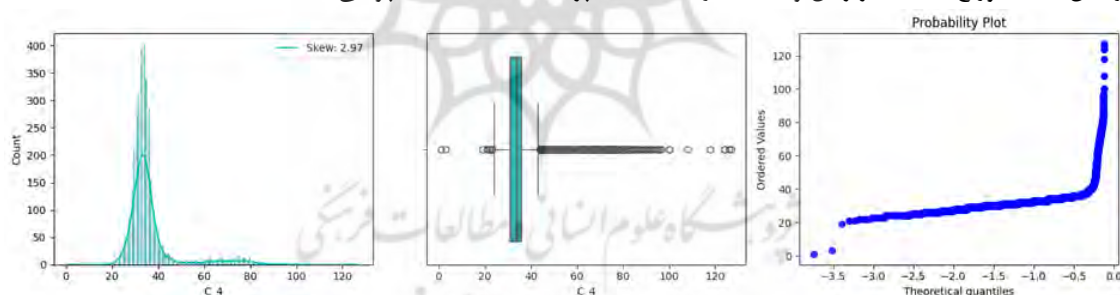
داده‌های جمع‌آوری شده شامل ۴۰۰۰۰ رکورد از پارامترهای بهره‌برداری روزانه طی پنج سال بودند. پس از پاک‌سازی و نرمال‌سازی، داده‌ها به دو دسته آموزشی (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم شدند.



شکل ۱. داده‌های سختی آب بین بازه‌های مختلف بر اساس چگالی و میانگین

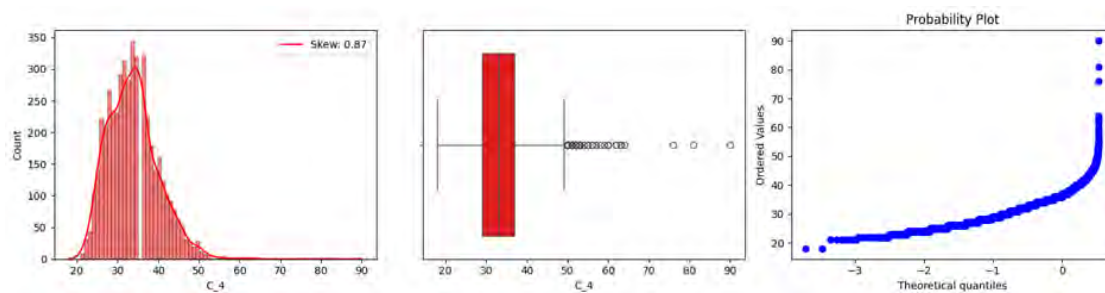
نرمال‌سازی داده‌ها

در سال ۱۴۰۲ توزیع داده‌ها غیرنرمال و داده‌ها دارای داده‌های پرت هستند که باعث چولگی مثبت شده است.



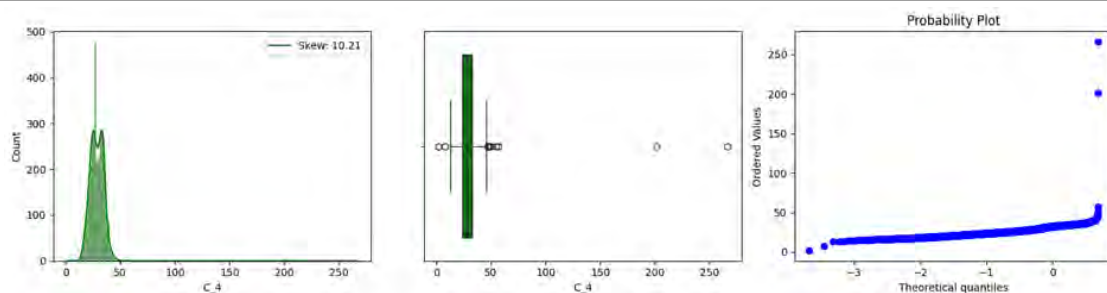
شکل ۲. نمودار توزیع داده‌ها در سال ۱۴۰۲ در تصفیه‌خانه کوت امیر

در سال ۱۴۰۱ توزیع داده‌ها غیرنرمال و داده‌ها دارای داده‌های پرت هستند که باعث چولگی مثبت شده است.



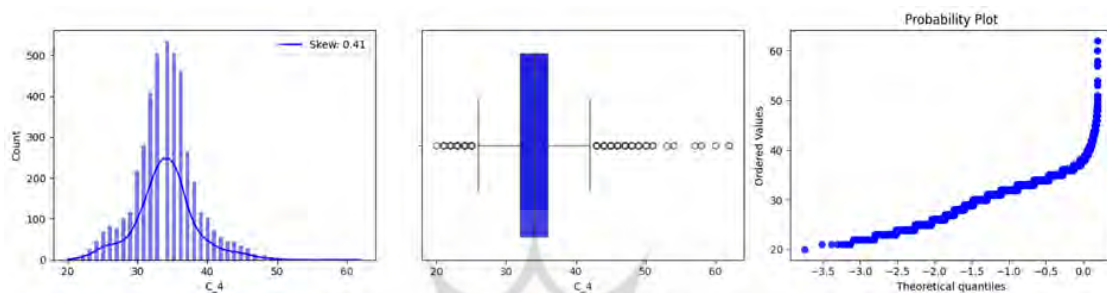
شکل ۳. نمودار توزیع داده‌ها در سال ۱۴۰۱ در تصفیه‌خانه کوت امیر

در سال ۱۴۰۰ توزیع داده‌ها غیرنرمال و داده‌ها دارای داده‌های پرت هستند که باعث چولگی مثبت شدید شده است.



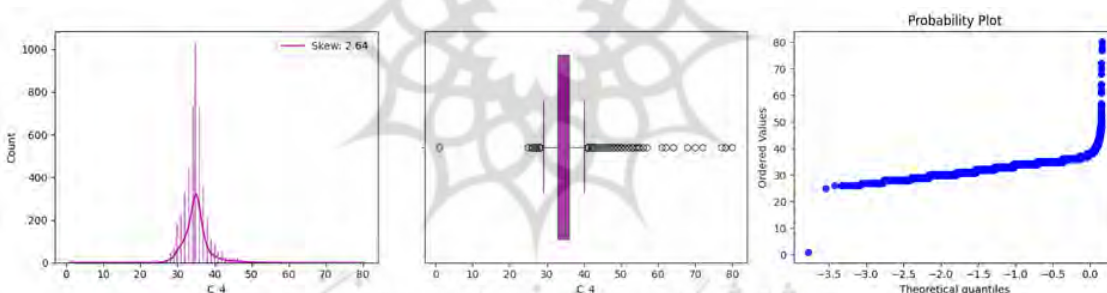
شکل ۴. نمودار توزیع داده‌ها در سال ۱۴۰۰ در تصفیه‌خانه کوت امیر

در سال ۱۳۹۹ توزیع داده‌ها نسبتاً نرمال است.



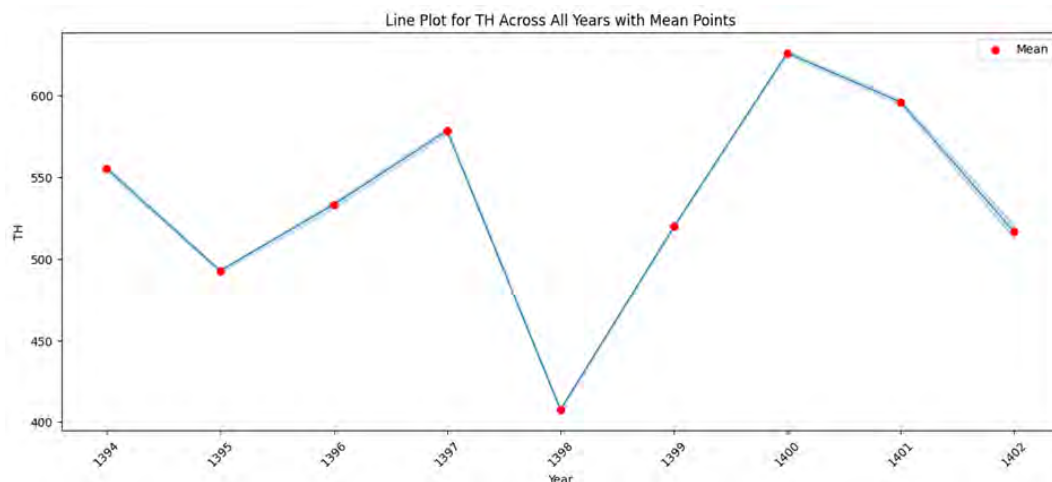
شکل ۵. نمودار توزیع داده‌ها در سال ۱۳۹۹ در تصفیه‌خانه کوت امیر

در سال ۱۳۹۸ توزیع داده‌ها غیرنرمال و داده‌ها دارای داده‌های پرت هستند که باعث چولگی مثبت شده است.



شکل ۶. نمودار توزیع داده‌ها در سال ۱۳۹۸ در تصفیه‌خانه کوت امیر

در این مطالعه سه مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است. توزیع داده‌ها در ۵ سال اخیر در بالارسم شده است. شکل ۷ میانگین سختی آب در سال‌های مختلف را نمایش می‌دهد که در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ بیشترین میزان را داشته و در ۲ سال گذشته کاهش یافته است.



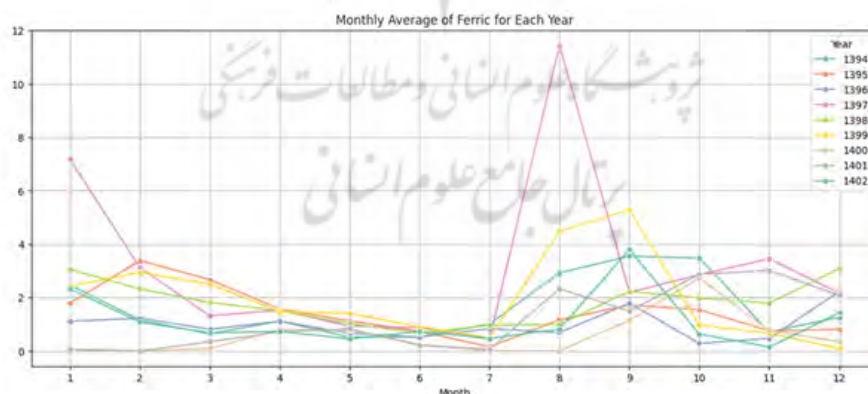
شکل ۷. میانگین سختی آب در سال‌های مختلف در تصفیه‌خانه کوت امیر

مهمترین داده‌های موجود در تصفیه‌خانه کوت امیر داده‌های کلروفیک است. داده‌های کلروفیک به صورت ۲ ساعت یک بار در شرایط نرمال ثبت شده است. محدوده تغییرات کلروفیک ۰ تا ۵ ثبت شده است.

جدول ۲. میزان داده‌های کلر در تصفیه‌خانه کوت امیر

سال	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲
تعداد داده معتبر	۸۴۴۰	۷۹۳۷	۸۷۶۰	۷۸۸۳	۸۶۰۸	۷۶۷۴	۵۹۷۰	۶۷۱۳	۷۶۲۹
میزان داده‌های ثبت نشده	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪	۰٪
میانگین	۱/۶۲	۱/۴۹	۰/۹۷	۳/۱۵	۱/۷۸	۲/۰۶	۰/۷۶	۱/۳۸	۱/۱۷
انحراف معیار	۱/۳۳	۱/۲۶	۰/۹۹	۱۹/۰۲	۱	۸/۹۴	۱/۰۲	۱/۴	۲/۰۲

روند ماهیانه تغییرات میانگین کلر در هر سال نمایش داده شده است. روند افزایش مصرف کلر در نیمه دوم سال و ماه‌های اول و دوم هر سال و همچنین کاهش مصرف در تابستان مشهود است.



شکل ۸. تغییرات میانگین کلر در تصفیه‌خانه کوت امیر

مقایسه میانگین عملکرد سالیانه کلاریفایر ۳ (نمودار نارنجی رنگ) در مقایسه با میانگین تمام کلاریفایرها در تمام سال‌ها (نمودار سبز رنگ) عملکرد نسبتاً خوبی است (شکل ۹).



شکل ۹. مقایسه میانگین عملکرد سالیانه کلاریفایر در تصفیه‌خانه کوت امیر

معیارهای ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از شاخص‌های زیر استفاده شد:

- ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)
- میانگین قدرمطلق خطا (MAE)
- (ضریب تعیین) R^2
- دقت کلی پیش‌بینی

نتایج مدل‌سازی الگوهای هوش مصنوعی

برای تحلیل کیفیت آب، سه مدل یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی، و ماشین بردار پشتیبان مورد بررسی قرار گرفتند.

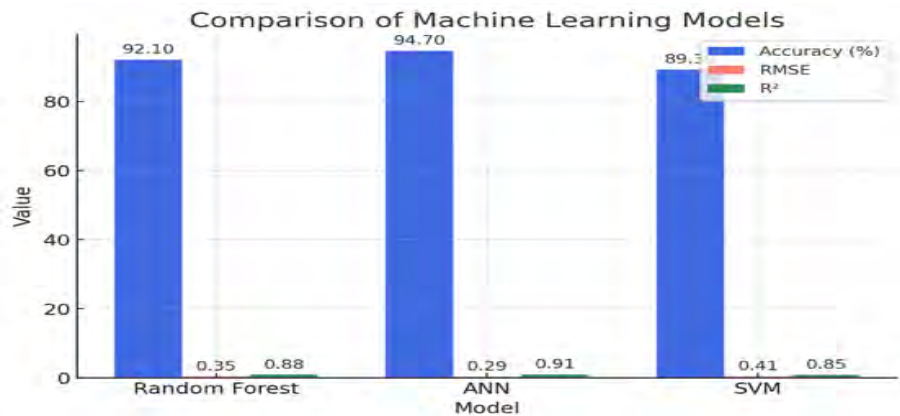
جدول ۳. مقایسه عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین

مدل	دقت (Accuracy)	میانگین خطا (RMSE)	شاخص تعیین (R^2)
جنگل تصادفی (Random Forest)	۹۲/۱۰٪	۰/۳۵	۰/۸۸
شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	۹۴/۷۰٪	۰/۳۹	۰/۹۱
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	۸۹/۳۰٪	۰/۴۱	۰/۸۵

مدل شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۹۴٫۷٪، بهترین عملکرد را نشان داد. مدل جنگل تصادفی نیز با دقت ۹۲٫۱٪، توانایی بالایی در شناسایی الگوهای کیفیت آب داشت. مدل بردار پشتیبان با دقت ۸۹٫۳٪ عملکرد مناسبی داشت، اما خطای بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت. این نمودار مقایسه‌ای نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی بالاترین دقت (۹۴٫۷۰٪) و بهترین شاخص تعیین (۰٫۹۱) را دارد، درحالی‌که مدل ماشین بردار پشتیبان کمترین دقت (۸۹٫۳۰٪) و بیشترین خطای میانگین ($RMSE = 0.41$) را نشان می‌دهد. جنگل تصادفی نیز عملکردی متوسط بین این دو دارد.

- شبکه عصبی: پراکندگی نسبتاً منظم ولی با نقاط پرت در مقادیر بالا
- جنگل تصادفی: پراکندگی نزدیک به خط یک‌به‌یک، دقت بالا
- بردار پشتیبان: پراکندگی نامنظم‌تر و ضعف در تعمیم‌دهی

- الگوریتم جنگل تصادفی بهترین عملکرد را در شرایط متغیر کیفیت ورودی نشان داد.
- مدل شبکه عصبی در شرایط پایدار عملکرد خوبی دارد ولی در نوسانات شدید ضعیف است.
- الگوریتم بردار پشتیبان نسبت به پارامترهای ورودی حساس است و نیاز به تنظیم دقیق دارد.



شکل ۱۰. مقایسه دقت سه مدل یادگیری ماشین در ۵ سال اخیر در تصفیه‌خانه کوت امیر

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه آب کوت امیر از طریق رویکردی ترکیبی از مدیریت دانش و یادگیری ماشین انجام شد. یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌های تصفیه‌خانه کوت امیر نشان داد که به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند نقش مؤثری در بهبود بهره‌برداری و مدیریت دانش عملیاتی ایفا کند. مقایسه سه مدل به کاررفته در این پژوهش، حاوی نکات مهمی است که در ادامه بررسی می‌شود.

عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی شاخص‌های کیفی

نتایج نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی بهترین عملکرد را در پیش‌بینی پارامترهای وابسته کیفی آب تصفیه‌خانه کوت امیر داشت. این مدل با ساختار ترکیبی درختی، توانست تأثیر متقابل متغیرهای ورودی (پارامترهای مستقل و کنترل کیفیت) را به درستی شناسایی کند و با تحلیل داده‌های مربوط به پارامترهای مستقل (کدورت، زمان، دما، پل کلاریفایر، میکسر کلاریفایر، دبی جریان آب) و پارامترهای کنترل کیفیت (هدایت الکتریکی، کلرور، سختی آب، ASH، PH، کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات‌ها) میزان مصرف مواد منعقدکننده (کلروفریک، زاج، پریستول) را با دقت بالایی پیش‌بینی کند.

مدل ANN نیز عملکرد قابل قبولی داشت، اما نسبت به داده‌های پرت و ناپایدار مربوط به پارامترهای زمان (TIME) و دبی جریان آب (Q) حساس بود. در مقابل، الگوریتم SVM علی‌رغم سادگی، در داده‌های حجیم و غیرخطی عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان داد و نتوانست به خوبی پیچیدگی روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی را مدل‌سازی کند. این امر احتمالاً به دلیل محدودیت این الگوریتم در مقابله با داده‌های دارای ابعاد بالا و روابط غیرخطی پیچیده است.

نقش یادگیری ماشین در کاهش خطای انسانی

یکی از چالش‌های اصلی بهره‌برداری در تصفیه‌خانه‌ها، اتکا به تصمیم‌گیری انسانی مبتنی بر تجربه است که ممکن است منجر به تأخیر در واکنش به تغییرات کیفیت آب شود. در این پژوهش، مدل‌های یادگیری ماشین با تحلیل داده‌های حجیم و متنوع، توانستند الگوهای پنهان را کشف کرده و نقش هشداردهی هوشمند را ایفا کنند. به عنوان نمونه، الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با بهره‌گیری از پارامترهای متعدد کیفیت آب شامل کدورت (TUB)، دما (TEMP)، هدایت الکتریکی (EC)، کلرور (CL)، سختی

آب (TH) و سایر متغیرهای مرتبط، پیش از افزایش میزان اکسیژن محلول در آب خروجی، مصرف بهینه مواد شیمیایی مانند کلروفریک (FeCl) و زاج (Alum) را پیش‌بینی کرد و بدین ترتیب از بروز اختلال در فرایند تصفیه جلوگیری نمود. این قابلیت پیش‌بینی دقیق، می‌تواند امکان تصمیم‌گیری به موقع و کاهش هزینه‌های عملیاتی را فراهم ساخت. در مقابل، مدل شبکه عصبی مصنوعی با وجود عملکرد قابل قبول، به داده‌های پرت و ناپایدار حساس بود و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نیز در مواجهه با داده‌های حجیم و غیرخطی، عملکرد ضعیف‌تری نشان داد. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت انتخاب الگوریتم مناسب و استفاده از داده‌های جامع و یکدست برای بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه‌ها از طریق فناوری‌های هوشمند است.

در مدیریت دانش، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نقش بسیار مهمی در بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه‌ها ایفا می‌کند. مدیریت دانش به معنای جمع‌آوری، سازمان‌دهی و بهره‌برداری نظام‌مند از تخصص و تجربه سازمان است که با به‌کارگیری فناوری‌های نوین مانند داده‌کاوی و یادگیری ماشین، امکان استخراج دانش پنهان از حجم انبوه داده‌ها فراهم می‌شود. این دانش استخراج‌شده می‌تواند در قالب سیستم‌های هشداردهی هوشمند، پیش‌بینی روندها و بهینه‌سازی مصرف منابع به مدیران تصفیه‌خانه کمک کند تا تصمیمات دقیق‌تر و به موقع‌تری اتخاذ نمایند (آوادا و آلاباس، ۲۰۲۳).

در مطالعه حاضر، مدل‌های یادگیری ماشین مانند جنگل تصادفی با تحلیل داده‌های کیفی آب و پارامترهای عملیاتی تصفیه‌خانه کوت امیر، توانستند الگوهای پیچیده و روابط متقابل میان متغیرها را شناسایی کنند و دانش عملیاتی ارزشمندی برای بهبود عملکرد تصفیه‌خانه فراهم آورند. این مدل‌ها با ارائه پیش‌بینی‌های دقیق از کیفیت آب خروجی و مصرف بهینه مواد شیمیایی، به عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت دانش، موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری شده‌اند. همچنین، ایجاد فرهنگ سازمانی یادگیری و به‌کارگیری مستمر فناوری‌های هوشمند در مدیریت دانش، از عوامل موفقیت این رویکرد به شمار می‌آید (آبگون و دیگران، ۱۴۰۳). بدین ترتیب، ادغام مدیریت دانش با یادگیری ماشین، به عنوان راهکاری استراتژیک، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا دانش خود را به صورت مؤثر مدیریت کرده و عملکرد تصفیه‌خانه‌ها را در شرایط پیچیده و متغیر بهبود بخشند (شکری قصابه و چیلشه، ۲۰۱۴).

مزایای مدیریت داده‌محور در تصفیه‌خانه‌ها

- **کاهش اتلاف مواد شیمیایی و انرژی:** با استفاده از تحلیل دقیق داده‌ها و پیش‌بینی بهینه مصرف مواد شیمیایی، میزان استفاده از این مواد به حداقل می‌رسد که علاوه بر کاهش هزینه‌ها، از آلودگی‌های محیط‌زیستی نیز جلوگیری می‌کند. همچنین، بهینه‌سازی فرایندها منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شود.
- **بهبود سرعت واکنش به اختلالات سیستم:** مدل‌های یادگیری ماشین قادرند الگوهای پنهان و نشانه‌های اولیه اختلالات را شناسایی کنند و هشدارهای زودهنگام ارائه دهند (ویلارین و مِرل، ۲۰۲۰). این امر باعث می‌شود تیم بهره‌برداری بتواند سریع‌تر و مؤثرتر به مشکلات واکنش نشان دهد و از بروز بحران‌های جدی جلوگیری کند.
- **تصمیم‌گیری هوشمند و مبتنی بر داده به جای آزمون و خطا:** بهره‌گیری از داده‌های واقعی و مدل‌های پیش‌بینی دقیق، امکان اتخاذ تصمیمات علمی و بهینه را فراهم می‌کند و از تصمیم‌گیری‌های تجربی و آزمون و خطا که ممکن است هزینه‌بر و زمان‌بر باشند، جلوگیری می‌کند (شمس و دیگران، ۲۰۲۴).
- **مستندسازی دانش تولیدشده برای انتقال به اپراتورهای جدید:** مدیریت دانش با ثبت، سازمان‌دهی و ذخیره‌سازی دانش استخراج‌شده از داده‌ها و تجربیات عملیاتی، امکان انتقال سریع و مؤثر این دانش به کارکنان جدید را فراهم می‌کند. این امر موجب حفظ سرمایه فکری سازمان، کاهش خطاهای ناشی از عدم تجربه و تسریع در آموزش نیروی انسانی می‌شود (بادو و میشلی، ۲۰۲۵).

به طور کلی، این مزایا باعث ارتقای بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و افزایش پایداری عملکرد تصفیه‌خانه‌ها می‌شوند و نقش مهمی در بهبود مدیریت دانش سازمانی ایفا می‌کنند.

^۱. Shokri-Ghasabeh & Chileshe,

^۲. Villarín & Merel

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت دانش در تصفیه‌خانه‌های آب منجر به افزایش بهره‌وری و کاهش ضایعات می‌شود؛ به عنوان مثال، ویلارین و دیگران (۲۰۲۰) بر این موضوع تأکید کرده‌اند. همچنین، اعجاز، اوجالا و دیگران (۲۰۲۴) با بررسی تأثیر داده‌های تحلیلی بر بهبود کیفیت آب، نتیجه گرفتند که استفاده از مدل‌های مفهومی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند به شناسایی مشکلات و بهینه‌سازی فرایندها کمک کند که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همسو است. در این مطالعه، ارزیابی دقیق عملکرد فرایندهای تصفیه آب و ایجاد پایگاه دانش از طریق مصاحبه با اپراتورها و داده‌های تجربی، به درک بهتر روابط بین متغیرهای کیفیت آب کمک کرد. مدل‌های یادگیری ماشین، به ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی، توانستند تغییرات کیفیت آب را با دقت بالا پیش‌بینی کنند. این روش‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی کنترل کیفیت آب که عمدتاً مبتنی بر نمونه‌گیری‌های دوره‌ای هستند، دقت پیش‌بینی را افزایش داده و تأخیر در تصمیم‌گیری‌های عملیاتی را کاهش دادند. سلیمان‌پور و دیگران (۱۳۹۷) نیز با استفاده از درخت تصمیم توانستند فاکتورهای مؤثر بر کیفیت آب را با دقت ۹۰ درصد شناسایی کنند و نشان دادند که TDS و Ca تأثیر بیشتری بر کیفیت آب دارند. رضایا و دیگران (۱۴۰۰) با بررسی ویژگی‌های گرافن اکساید در حذف کدورت و مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی نشان دادند که افزایش غلظت مواد باعث بهبود بازدهی حذف کدورت می‌شود؛ این یافته با تعیین میزان تزریق مواد منعقدکننده در پژوهش حاضر که بر اساس کیفیت آب ورودی و نتایج آزمایشات انجام می‌شود، همخوانی دارد. همچنین، نجف‌زاده و لطفی داش بلاغ (۱۴۰۰) با استفاده از مدل‌های بهینه عصبی فازی ترکیبی (GT-ANFIS-PSO) نشان دادند که مدل‌های ترکیبی دقت پیش‌بینی را افزایش می‌دهند که این موضوع با نتایج مطالعه حاضر در استفاده از مدل همخوانی دارد و همچنین مطالعاتی مانند وو و دیگران (۲۰۱۴) که از الگوریتم‌های SVM و KNN برای پیش‌بینی پارامترهای BOD و COD در تصفیه‌خانه‌های شهری چین استفاده کردند، دقت بالایی در پیش‌بینی کیفیت آب گزارش کرده‌اند. همچنین، پژوهش باقری (۱۴۰۰) با تمرکز بر کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در حذف کدورت، نشان داد که مدل‌های یادگیری ماشین قادر به مدل‌سازی دقیق فرایندهای تصفیه هستند. یافته‌های پژوهش حاضر با این مطالعات هم‌راستا است، به ویژه در تأکید بر کارایی مدل‌های ترکیبی مانند جنگل تصادفی که توانسته‌اند دقت بالاتری در پیش‌بینی و بهینه‌سازی مصرف مواد شیمیایی داشته باشند.

در مجموع، پژوهش حاضر با ترکیب مدیریت دانش و یادگیری ماشین، گامی فراتر از مطالعات صرفاً پیش‌بینی و مدل‌سازی برداشته و به کاربرد عملی این فناوری‌ها در بهبود عملکرد و بهره‌وری تصفیه‌خانه‌های آب پرداخته است. این رویکرد جامع، ضمن همسویی با یافته‌های پیشین، با تأکید بر داده‌های واقعی، شرایط محیطی خاص و مدیریت دانش سازمانی، مدل‌های قابل اتکایی را ارائه داده که می‌توانند به عنوان الگوی موفق در سایر تصفیه‌خانه‌ها و صنایع مشابه به کار گرفته شوند.

پیشنهادهای کاربردی

۱. استفاده رسمی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در واحد بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها؛
۲. طراحی داشبورد مدیریتی جهت پایش بلادرنگ شاخص‌ها و تولید هشدار هوشمند؛
۳. آموزش اپراتورها برای تفسیر داده‌های تحلیلی و مشارکت در تحلیل روندها؛
۴. جمع‌آوری سیستماتیک داده‌ها با هدف افزایش کیفیت ورودی برای مدل‌ها؛ و
۵. گسترش مطالعات مشابه در سایر تصفیه‌خانه‌ها و مقایسه تطبیقی عملکرد الگوریتم‌ها.

پژوهش حاضر با هدف بررسی و به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین در بهینه‌سازی عملکرد تصفیه‌خانه آب کوت امیر انجام گرفت. در این راستا، با استفاده از داده‌های واقعی ثبت‌شده و الگوریتم‌های مختلف، عملکرد سیستم تصفیه تحت شرایط عملیاتی تحلیل شد. نتایج به‌دست‌آمده مؤید آن است که استفاده از روش‌های داده‌محور و هوشمند، می‌تواند دقت پیش‌بینی، سرعت واکنش و پایداری سیستم را به شکل معناداری افزایش دهد. الگوریتم جنگل تصادفی در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان عملکرد بهتری در تحلیل داده‌ها، شناسایی الگوها و پیش‌بینی شاخص‌های کیفی از خود نشان داد. این الگوریتم توانست با کمترین خطا، میزان مصرف مواد شیمیایی و کیفیت پساب خروجی را پیش‌بینی کرده و اطلاعات مهمی برای تصمیم‌گیری

مدیریتی فراهم آورد. این مطالعه نشان داد که یکپارچه‌سازی یادگیری ماشین با پایش داده‌های بهره‌برداری، می‌تواند نقطه عطفی در تحول مدیریت دانش در تصفیه‌خانه‌ها باشد و زمینه‌ساز توسعه داشبوردهای هوشمند و سیستم‌های هشداردهی بلادرنگ گردد.

ملاحظات اخلاقی

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌دارند هیچگونه تضاد منافی در این مطالعه وجود ندارد.

سپاسگزاری

نگارندگان بر خود فرض می‌دانند از خانم دکتر مهدیه خزانه‌ها به خاطر تحلیل هوش مصنوعی متن مقاله حاضر و ارائه نظرهای ارزشمند سپاسگزاری نمایند.

منابع

- آبگون، علی؛ ابراهیمی، کیومرث؛ و حیدری، منصوره (۱۴۰۳). بررسی وقایع آسیب‌زای رودخانه تالار با ارائه یک چارچوب پیشنهادی. علوم و مهندسی آب/بخیزداری/ایران، ۱۸ (۶۶)، ۷۳-۸۷. <http://jwmsei.ir/article-1-1139-fa.html>
- بهرام‌نیا، محمد، و دریکوند، احسان (۱۳۹۷). ارائه مدلی برای ارزیابی کیفیت عملکردی تصفیه خانه های آب. آب و فاضلاب، ۲۹ (۳)، ۹۹-۱۱۴.
- جمالی‌فر، سیدعمار (۱۴۰۰). بررسی مدل‌های مدیریت دانش و استخراج یک مدل جامع (مقاله مروری). پژوهش‌های نوین در مدیریت کارآفرینی و توسعه کسب‌وکار، ۵ (۲)، ۳۲۶-۳۴۶.
- سلماسی، سمانه؛ سهرابی، روح‌الله؛ رهبر، امیرحسین؛ و محمدی، حیدر (۱۳۹۹). مطالعه امکان‌سنجی کسب‌وکار نوپا تفکیک از مبدأ و جمع‌آوری پسماند جامد شهری قابل بازیافت با استفاده از فناوری دیجیتال: مطالعه موردی شهر همدان. اقتصاد شهری، ۵ (۲)، ۱۳۵-۱۴۸.
- کلامی، عبدالحکیم؛ مهرانی، هرمز؛ سعیدی، پرویز، و عباسی، ابراهیم (۱۴۰۱). شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور. آب و توسعه پایدار، ۹ (۱)، ۵۳-۶۰.
- قصوری، علی (۱۴۰۱). بررسی جایگاه مدیریت دانش در تحقق اهداف سازمان. چشم‌انداز حسابداری و مدیریت، ۵ (۵۷)، ۱۴۶-۱۵۳.
- یوسفیان، الهه؛ فقیهی، ابوالحسن، و دانش‌فرد، کرم‌الله، (۱۴۰۰). طراحی الگوی خط‌مشی منسجم حکمرانی آب در ایران. علوم مدیریت/ایران، ۱۶ (۶۴)، ۱-۳۳.
- محرابی، نازیلا، خراشادی‌زاده، سحر و کریمیان، راحله (۱۴۰۲). شناسایی مؤلفه‌های هوش مصنوعی در پیاده‌سازی مدیریت دانش. علوم و فنون مدیریت/اطلاعات، ۹ (۳)، ۳۵۱-۳۹۰.

References

- Alikhani, M. R. and Moeini, R. (2023). Genetic Programming Method in Urban Water Consumption Prediction (Case Study: Najafabad City). *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(3), 87-98. https://jwsd.um.ac.ir/article_44745.html?lang=en . (in Persian)
- Amini, G., Farmani Entezam, H., Jan Sadeqpour, A., Davoodabadi, A. (2018). Identification and extraction of water consumption patterns using data mining method (case study of Qom Water and Wastewater Company). The Second Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering, Isfahan, Iran. <https://civilica.com/doc/855951> . (in Persian)
- Anna, N. E. V., & Mannan, E. F. (2020). Big data adoption in academic libraries: A literature review. *Library Hi Tech News*, 37(4), 1-5. <https://doi.org/10.1108/LHTN-11-2019-0079>
- Arora, S. (2023). *Data mining vs. machine learning: The key difference*. Available at <https://www.cprime.com/resources/blog/data-mining-vs-machine-learning-key-differences-you-should-know/>
- Avand, M. T. , Janizadeh, S. and Farzin, M. (2019). Groundwater Potential Determination on Yasouj-Sisakht area Using Random Forest and Generalized Linear Statistical Models. *Journal of Range and Watershed Managment*, 72(3), 609-623. https://jrwm.ut.ac.ir/article_74595.html?lang=en
- Awdaa, A. A., & Alabbas, S. A. A. Presenting an interactive marketing model with a customer knowledge management approach in the tourism industry.
- Barkdoll, B., Pakdehi, M., Ardestani, M., & Niksokhan, M. H. (2022). Using adaptive hierarchical process for excess chlorine risk assessment in a water distribution network: A case study. Available at <https://doi.org/10.2139/ssrn.4214331>
- Cechinel, M. A. P., Neves, J., Fuck, J. V. R., de Andrade, R. C., Spogis, N., Riella, H. G., ... Soares C. (2024). Enhancing wastewater treatment efficiency through machine learning-driven effluent quality prediction: A plant-level analysis. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104758.
- Cox, C., & Tzoc, E. (2023). ChatGPT: Implications for academic libraries. *College and Research Libraries News*, 84(3), 99. <https://doi.org/10.5860/crln.84.3.99>
- da Silveira Barcellos, D., & de Souza, F. T. (2022). Optimization of water quality monitoring programs by data mining. *Water Research*, 221, 118805. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118805>
- Dogan, A., & Birant, D. (2021). Machine learning and data mining in manufacturing. *Expert Systems with Applications*, 166, 114060. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114060>
- Doña, C., Chang, N.-B., Caselles, V., Sánchez, J. M., Camacho, A., Delegido, J., & Vannah, B. W. (2015). Integrated satellite data fusion and mining for monitoring lake water quality status of the Albufera de Valencia in Spain. *Journal of Environmental Management*, 151, 416-426. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.003>
- Fathabadi, H., Khanedan, R. (2014). Presenting a model for analyzing water consumption patterns using data mining, a case study of Mazandaran province, Sari county. Tarbiat Moalem University, Tehran. <https://elmnet.ir/doc/10791100-10415> (in Persian)
- Ferdowsizadeh, S., Noruzi, A., Ghanbarzadeh, M., & Zadnajaf, K. (2024). Application of long tail theory in digital bookstores. *Library and Information Sciences*, 27(2), 109-138. <https://doi.org/10.30481/lis.2024.445273.2144> (in Persian)

- Gayton, J. T. (2008). Academic libraries: "Social" or "communal?" The nature and future of academic libraries. *Journal of Academic Librarianship*, 34(1), 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2007.11.011>
- Ghosoori, A. (2022). Investigating the position of knowledge management in achieving the goals of the organization. *Journal of Accounting and Management Vision*, 5(57), 146-153. https://www.jamv.ir/article_148651.html?lang=en (in Persian)
- Hussein, E. E., Jat Baloch, M. Y., Nigar, A., Abualkhair, H. F., Aldawood, F. K., & Tageldin, E. (2023). Machine learning algorithms for predicting the water quality index. *Water*, 15(20), 3540. <https://doi.org/10.3390/w15203540>
- Jayaraman, P., Nagarajan, K. K., Partheeban, P., & Krishnamurthy, V. (2024). Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(1), 100210. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2023.100210>
- Jayaraman, P., Nagarajan, K. K., Partheeban, P., & Krishnamurthy, V. (2024). Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(1), 100210. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2023.100210>
- Jeihouni, M., Toomanian, A., & Mansourian, A. (2020). Decision tree-based data mining and rule induction for identifying high quality groundwater zones to water supply management: A novel hybrid use of data mining and GIS. *Water Resources Management*, 34, 139-154. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02447-w>
- Jenny, H., Alonso, E. G., Wang, Y., & Minguez, R. (2020). *Using artificial intelligence for smart water management systems*. Asian Development Bank. <http://dx.doi.org/10.22617/BRF200191-2>
- Jenny, H., Alonso, E. G., Wang, Y., & Minguez, R. (2020). *Using artificial intelligence for smart water management systems*. Asian Development Bank. <http://dx.doi.org/10.22617/BRF200191-2>
- Khoshravesh M, Hosseini Vardanjani SMR, Takkari Sudjani H, Ghhreman M. (2024). Evaluation of Groundwater Quality using the GQI Index for Drinking Purposes. *J watershed manage res* 15 (2) , 119-1 DOI: [10.61186/jwmr.15.2.1](https://doi.org/10.61186/jwmr.15.2.1) . (in Persian)
- Kolli, K., & Seshadri, R. (2013). Ground water quality assessment using data mining techniques. *International Journal of Computer Applications*, 76(15), 39-45. <https://doi.org/10.5120/13324-0885>
- Lahve, R. (2023). Data mining and its applications for knowledge management: A literature review international. *Journal of Computational Research in Engineering and Scienc*, 1(1), 26-33.
- Lin, H., Cui, J., & Bai, X. (2021). Feature extraction of marine water pollution based on data mining. *Symmetry*, 13(2), 355-368. <https://doi.org/10.3390/sym13020355>
- Lippincott, J. K. (2010). A mobile future for academic libraries. *Reference Services Review*, 38(2), 205-213. <https://doi.org/10.1108/00907321011044981>
- Liu, L., & Liu, W. (2023). The engagement of academic libraries in open science: A systematic review. *Journal of Academic Librarianship*, 49(3), 102711. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2023.102711>
- Mabona, A., Van Greunen, D., & Kevin, K. (2024, May). Integration of artificial intelligence (AI) in academic libraries: A systematic literature review. In *2024 IST-Africa Conference (IST-Africa)* (pp. 1-9). IEEE. <https://doi.org/10.23919/IST-Africa63983.2024.10569288>

- Malekian, A. , Razandi, Y. , Kalighi, S. and Farokhzadeh, B. (2016). Assessment of temporal and spatial changes of groundwater quality using hybrid Boolean, Fuzzy and Geostatistical (Case study: Varamin plain). *Applied Field Crops Research*, 29 (1), 126-135. https://aj.areeo.ac.ir/article_109571.html?lang=en . (in Persian)
- Mohandsadeghi, S Al, Moghan, M., Alikhani, S. (2022). Investigating the position of data mining in the knowledge management process and presenting a conceptual model for knowledge extraction. *Tomorrow's Management*, 14(45), 69. <https://www.magiran.com/paper/1552985> (in Persian)
- Mondejar, M. E., Avtar, R., Diaz, H. L. B., Dubey, R. K., Esteban, J., Gómez-Morales, A., . . . & Prasad, K. A. (2021). Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a smart green planet. *Science of The Total Environment*, 794, 148539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>
- Mozafari, A. , Ali Ahmadi, A. and Mozafari, A. (2022). Identification and Prediction of Consumption Behavior Using Decision Tree and Consumer Value Pyramid. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian)* , 33 (2), 89-106. https://www.wvjournals.ir/article_153332.html?lang=en . (in Persian)
- Naderian, D., Noori, R., Heggy, E., Bateni, S. M., Bhattarai, R., Nohegar, A., & Sharma, S. (2024). A water quality database for global lakes. *Resources, Conservation and Recycling*, 202, 107401. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107401>
- Najafzadeh, M. and Lottfi-Dashbalagh, M. (2021). Application of Optimized Neuro-Fuzzy Models for Estimation of Water Quality Index in Karun River. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(8), 3453-3466. https://ceej.aut.ac.ir/article_3942.html?lang=en . (in Persian)
- Obiuto, N. C., Ninduwezuor-Ehiobu, N., Ani, E. C., Olu-lawal, K. A& , Ugwuanyi, E. D. (2024). Simulation-driven strategies for enhancing water treatment processes in chemical engineering: addressing environmental challenges. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 854-872.
- Ponce Romero, J. M., Hallett, S. H., & Jude, S. (2017). Leveraging big data tools and technologies: addressing the challenges of the water quality sector. *Sustainability*, 9(12), 2160-2169. <https://doi.org/10.3390/su9122160>
- Rana, R., & Bhambri, P. (2025). Ai-driven mcdm tools for optimizing industrial wastewater treatment. *Modern SuperHyperSoft Computing Trends in Science and Technology*, 61-106"
- Razman, N., Wan Ismail, W., Abd Razak, M., Ismail, I., & Jamaludin, J. (2023). Design and analysis of water quality monitoring and filtration system for different types of water in Malaysia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(4), 3789-3800. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04192-x>
- Rezania, N., Hasani Zonoozi , M., Saadatpour, M., (2021). Turbidity Removal from Water Using Graphene Oxide as Coagulant and Modeling with Artificial Neural Network, *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 23(8), 1-17. <https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/838325> . (in Persian)
- Rezvani GhalHari M, Ajami B, Ghoholdouei Milan E, Khalooi M, Mahvi a H. (2022). Evaluation of Groundwater Quality for Drinking Purposes in Kashan Using Water Quality indicators. *Ijhe* 14 (4) :615-6. URL: <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6559-fa.html> . (in Persian)

- Sabzalian, R., Noruzi, A., & Nazari, M. (2021). Study of customer journey map in electronic bookshops. *Academic Librarianship and Information Research*, 55(4), 1-25. <https://doi.org/10.22059/jlib.2022.340459.1599> (in Persian)
- Schniederjans, D. G., Curado, C., & Khalajhedayati, M. (2020). Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. *International Journal of Production Economics*, 220, 107439. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012>
- Shal, T., Ghamrawi, N., & Naccache, H. (2024). Leadership styles and AI acceptance in academic libraries in higher education. *Journal of Academic Librarianship*, 50(2), 102849. <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2024.102849>
- Shams, M. Y., Elshewey, A. M., El-Kenawy, E. S. M., Ibrahim, A., Talaat, F. M., & Tarek, Z. (2024). Water quality prediction using machine learning models based on grid search method. *Multimedia Tools and Applications*, 83(12), 35307-35334. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16737-4>
- Soleimanpour S, Mesbah S, Hedayati B. (2018). Application of CART decision tree data mining to determine the most effective drinking water quality factors (case study: Kazeroon plain, Fars province). *ijhe*. 11 (1) :1-14. URL: <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5881-fa.html> . (in Persian)
- Talebian, M., Ahmadifar, H R., Mirroshandel, S A., Shakeri, M., (2019). Forecasting water consumption using data mining techniques. Third International Conference on Soft Computing, Rudsar. <https://civilica.com/doc/1006133> . (in Persian)
- Villarín, M. C., & Merel, S. (2020). Paradigm shifts and current challenges in wastewater management. *Journal of hazardous materials*, 390, 122139.
- Yang, G. (2019). Marine water quality monitoring and management system model based on data mining. *Journal of Coastal Research*, 94(SI), 11-15. <https://doi.org/10.2112/SI94-003.1>
- Zhang, J., Sheng, Y., Chen, W., Lin, H., Sun, G., & Guo, P. (2021). Design and analysis of a water quality monitoring data service platform. *Computers, Materials and Continua*, 66(01), 389-405. <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012384>