



راه های کاهش مصرف آب در صنایع گوشت و شیلات با استفاده از تکنولوژی هوش مصنوعی

امیرحسین ابراهیمی^۱

۱- دانشجوی دکترای بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

علیرضا بیعوض^۲

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد شبکه های کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

چکیده

کاهش مصرف آب در صنایع گوشت و شیلات از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این صنایع به مقدار زیادی آب برای فرآوری، شستشو و نگهداری محصولات نیاز دارند. تکنولوژی هوش مصنوعی می تواند با تحلیل داده ها، بهینه سازی فرایندها و خودکارسازی سیستم های مصرف آب، نقش مهمی در کاهش مصرف این منبع ارزشمند ایفا کند. ابزارهای تحلیل داده مانند یادگیری ماشین **Machine Learning** و مدل سازی پیش بینی **Predictive Modeling** می توانند داده های مصرف آب را پردازش کرده و الگوهای بهینه سازی را پیشنهاد دهند. به عنوان مثال، یک کارخانه فرآوری گوشت می تواند با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی، میزان آب مصرفی برای شستشو را با توجه به نوع محصول و میزان آلودگی تنظیم کند. همچنین، سیستم های کنترل خودکار **Automated Control Systems** مانند حسگرهای هوشمند و شیرهای آب خودکار در کارخانجات صنایع غذایی می توانند با تشخیص نشتی ها و تنظیم میزان جریان آب، از هدررفت جلوگیری کنند. در این مقاله، روش های مختلف استفاده از هوش مصنوعی برای کاهش مصرف آب در این صنایع بررسی شده و چالش های پیاده سازی آن مورد بحث قرار می گیرد.

کلید واژه: گوشت و شیلات، مصرف آب، هوش مصنوعی، صنایع غذایی

۱-مقدمه

صنایع گوشت و شیلات به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنایع غذایی، وابستگی زیادی به منابع آبی دارند. مصرف بالای آب در این صنایع نه تنها هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد، بلکه باعث فشار بر منابع آبی و آلودگی محیط‌زیست نیز می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند به کاهش مصرف آب و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید کمک کند (Perea et al., ۲۰۱۹). چالش‌های موجود در صنایع گوشت و شیلات شامل مصرف بی‌رویه آب، افزایش هزینه‌های تأمین و تصفیه آب، تأثیرات زیست‌محیطی و کاهش منابع آبی، مشکلات بهداشتی ناشی از آلودگی آب مصرفی در فرآوری محصولات می‌باشد. تکنولوژی هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های مربوط به مصرف آب، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین Machine Learning مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی ANNs، درخت تصمیم Decision Trees، جنگل تصادفی Random Forests و الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک Genetic Algorithms برای بهینه‌سازی مصرف آب استفاده کند. همچنین، سیستم‌های هوشمند مدیریت منابع می‌توانند با بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی Predictive Modeling و تحلیل سری‌های زمانی Time Series Analysis، روند مصرف آب صنایع گوشت و شیلات را پیش‌بینی کرده و الگوهای بهینه‌سازی ارائه دهد (Kim & MacKinnon, ۲۰۱۸). روش‌های استفاده از این تکنولوژی برای جلوگیری از هدر رفت منابع آبی در کارخانجات گوشت و شیلات خصوصاً در کشوری مانند ایران که دارای تنش آبی می‌باشد، در این صنایع شستشوی اولیه مواد خام، فرآیندهای فرآوری و بسته‌بندی نگهداری و سردسازی محصولات تمیزکاری تجهیزات و محیط کارخانه میزان مصرف آب را به شدت کاهش داده و تأثیرات زیست‌محیطی مخرب صنایع گوشت و شیلات را که از پرمصرف‌ترین صنایع غذایی هستند به حداقل می‌رسانند. پساب‌های صنعتی این بخش شامل مواد آلاینده‌ای هستند که نیاز به تصفیه دارند. استفاده غیر بهینه از آب باعث افزایش هزینه‌های تولید و کاهش پایداری زیست‌محیطی می‌شود (Bozari, ۲۰۱۴).

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱ روش‌های کاهش مصرف آب با استفاده از هوش مصنوعی

بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و شستشو بر اساس داده‌های مصرف آب. این فرآیند شامل به‌کارگیری روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی Artificial Neural Networks - ANN، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم Decision Tree - DT است که می‌توانند با تحلیل داده‌های مصرف آب، الگوهای بهینه‌سازی را شناسایی کنند، ابتدا داده‌های مربوط به میزان مصرف آب در مراحل مختلف تولید (شستشو، پیش‌فرآوری، فرآوری و بسته‌بندی) گردآوری می‌شود. منابع داده می‌توانند شامل حسگرهای اندازه‌گیری لحظه‌ای، گزارش‌های مصرف روزانه و سوابق تاریخی تولید باشند. پایش مداوم و ثبت پارامترهای کلیدی شامل دما، فشار، سرعت جریان آب و حجم آب مورد استفاده در هر مرحله، مبنای تحلیل و مدل‌سازی قرار می‌گیرند (Khoza, ۲۰۲۱). پس از آموزش مدل‌ها، نتایج پیش‌بینی شده با داده‌های واقعی مقایسه می‌شوند تا دقت مدل و میزان انحراف مشخص گردد. بر اساس این تحلیل، راهکارهای اصلاحی برای هر مرحله از فرآیند تولید ارائه می‌شود و در این مرحله، می‌توان سناریوهای مختلف (مانند کاهش شستشو یا زمان‌بندی متفاوت برای استفاده از آب) را شبیه‌سازی و تأثیر آن‌ها بر مصرف آب و کیفیت محصول را بررسی نمود. حسگرهای هوشمند با قابلیت اندازه‌گیری جریان آب در نقاط کلیدی فرآیند تولید نصب می‌شوند و داده‌های خود را به سامانه مرکزی گزارش می‌کنند، داده‌های دریافت‌شده از حسگرها به‌صورت مداوم توسط مدل‌های یادگیری ماشین پایش گردیده و در صورت تشخیص الگوی مصرف غیرعادی، هشدار نشتی صادر می‌شود. این اقدام سریع باعث پیشگیری از هدررفت آب می‌شود (Morchid et al., ۲۰۲۴).

۲-۲ استفاده از ربات‌های مجهز به حسگر و سیستم‌های کنترلی

در بخش‌هایی از فرآیند تولید که نیاز به شستشوی مداوم دارد، ربات‌های خودکار با حسگرهای تشخیص میزان رطوبت و آلودگی استفاده می‌شوند. ربات با توجه به داده‌های دریافتی، میزان و زمان‌بندی بهینه آب‌پاشی را تعیین می‌کنند تعامل ربات‌ها و سامانه کنترلی (که از داده‌های پیش‌بینی مدل‌های هوش مصنوعی بهره می‌گیرد) موجب کاهش چشمگیر مصرف آب می‌گردد، زیرا تنها در مواقع لزوم و به میزان کافی آب مصرف خواهد شد. با استفاده از ربات شست و شو دهنده اتوماتیک که این ربات دارای حسگرهای رطوبت‌سنج و آنالیز آلودگی است که در خطوط شستشوی مداوم به کار گرفته می‌شود. می‌تواند با تحلیل داده‌های مربوط به دمای محیط، غلظت آلودگی و زمان شستشو، میزان پاشش آب را تنظیم کند. با استفاده از کتابخانه‌هایی مانند TensorFlow، PyTorch یا OpenCV، می‌توان الگوریتم‌های یادگیری ماشین Machine Learning و بینایی کامپیوتری Computer Vision را پیاده‌سازی کرد (Jin et al., 2025). این امر برای تشخیص نوع آلودگی و رطوبت حیاتی است. ربات هوشمند دارای سنسور با استفاده از حسگرهای طیف‌سنج (برای تشخیص نوع آلودگی)، رطوبت‌سنج و حتی حسگرهای دمایی، الگوی بهینه شستشو و ضدعفونی را بر اساس نوع محصول و درجه آلودگی به‌روز می‌نماید در بخش‌هایی از صنایع غذایی که استانداردهای صنعتی سخت‌گیرانه داریم، استفاده از PLCها Programmable Logic Controllers برای کنترل جریان آب، دما و فشار متداول است زبان‌های برنامه‌نویسی مبتنی بر IEC 61131-3 مانند Ladder Diagram، Structured Text، Function Block Diagram در این کنترل‌کننده‌ها به کار می‌روند برای پیاده‌سازی منطق کنترلی ساده و پایدار، PLCها بهترین گزینه محسوب می‌شوند، اما برای الگوریتم‌های پیشرفته‌ی هوش مصنوعی معمولاً سرعت و قدرت محاسباتی کافی ندارند و با سیستم‌های بالادستی (مثل سرور یا مازول جداگانه برای ML) ترکیب می‌شوند (et al., 2024). ربات هوشمند فرایند CIP به‌طور ویژه برای خطوط تولید غذایی طراحی شده و از فرایند Cleaning-In-Place (CIP) پشتیبانی می‌کند. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، فشار و دبی آب را براساس داده‌های لحظه‌ای تغییر داده و ضمن کاهش مصرف آب، الزامات بهداشتی را رعایت می‌کند. میتوان به کمک دوربین‌های هوشمند و حسگرهای چندطیفی، ابتدا سطح آلودگی را شناسایی و دسته‌بندی می‌کند. سپس بر اساس خروجی مدل‌های یادگیری ماشین، میزان آب و مواد شوینده را بهینه‌سازی می‌نماید. این رویکرد منجر به حفظ کیفیت محصول و کاهش محسوس هدررفت آب می‌شود (Dhage, B. & Dhage, A., 2024).

بحث و نتیجه گیری

در صنایع گوشت و شیلات، دمای پایین برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها بسیار مهم است. به همین دلیل از آب (گاه همراه با یخ یا در برج‌های خنک‌کننده) برای پایین نگه‌داشتن دما و تضمین کیفیت محصول استفاده می‌شود. در برخی مراحل فراوری مانند پوست‌کنی، پاک‌سازی بافت‌های اضافی، یا جدا کردن استخوان و فلس، استفاده از آب برای تسهیل فرایند و پیشگیری از آلودگی متقابل (Cross-Contamination) ضروری است. شستشو و تمیزکاری اولیه ماهی، میگو، گوشت گاو و مرغ به‌طور مستقیم حجم بالایی از آب را به خود اختصاص می‌دهد. علاوه بر آن، در بسیاری از موارد، برای حذف خونابه و سایر ضایعات، از جریان مداوم آب استفاده می‌شود. به‌دلیل حساسیت بالای این محصولات به آلودگی میکروبی و رعایت استانداردهای بهداشتی (به‌ویژه در شیلات و گوشت مرغ‌داری یا دام‌پروری)، سطوح تجهیزات و محیط‌های کاری باید چندین بار در روز ضدعفونی شوند. این امر به مصرف قابل توجه آب منجر می‌شود. این کار نیز باعث مصرف بالای آب می‌گردد. لذا نیازمند روش‌های نوینی برای جلوگیری از هدر رفتن آب مصرفی در صنایع غذایی می‌باشیم، استفاده از ربات‌های هوشمند در صنایع غذایی، به‌ویژه در فرایند شستشوی مداوم یا چرخه‌های Cleaning-In-Place (CIP)، راهکاری نوین و کارآمد برای کاهش مصرف آب، افزایش سرعت عملیات و تضمین کیفیت محصول نهایی است. همان‌طور که مطرح شد، برای پیاده‌سازی یک سیستم رباتیک کارا و انعطاف‌پذیر، به ترکیبی از زبان‌ها و چارچوب‌های برنامه‌نویسی نیاز داریم تا بتوانیم جوانب مختلف ربات (سخت‌افزار، حسگرها، هوش مصنوعی و کنترل) را با یکدیگر همگام کنیم. در لایه‌های پایین سخت‌افزاری، زبان‌های C و C++ به دلیل سرعت واکنش، امنیت و پشتیبانی از کتابخانه‌های سخت‌افزاری، گزینه‌های مناسبی هستند. در عین حال، برای هوش مصنوعی، بینایی

کامپیوتری و تحلیل داده‌ها، پایتون Python با کتابخانه‌های گسترده‌ای مانند TensorFlow، PyTorch و OpenCV پیشنهاد می‌شود. با استفاده از ROS (Robot Operating System)، می‌توان ماژول‌های مختلف ربات را به صورت ماژولار توسعه داد و به همراه الگوریتم‌های یادگیری ماشین، رطوبت، آلودگی و دمای محیط را به صورت لحظه‌ای ارزیابی کرد. ترکیب این اطلاعات با داده‌های دریافتی از حسگرهای ربات، امکان صدور فرمان‌های بهینه برای پاشش آب یا مواد شوینده را فراهم می‌سازد و باعث کاهش مصرف آب و انرژی می‌شود. در بخش‌های کنترلی پیشرفته یا محیط‌های دارای استانداردهای سخت‌گیرانه، PLCها و زبان‌های مبتنی بر IEC ۶۱۱۳۱-۳ به دلیل پایداری و قابلیت اطمینان بالا به کار می‌روند. از سوی دیگر، MATLAB/Simulink نیز در مرحله طراحی، شبیه‌سازی و تست کنترلرهای دقیق می‌تواند بسیار مفید باشد.

شرکت نستله Nestlé با اجرای برنامه "به صفر رساندن مصرف آب" در کارخانه‌های خود از سیستم‌های بازیافت آب پیشرفته که باعث کاهش ۲۵٪ مصرف آب در فرآیندهای تولید از سال ۲۰۲۰ با استفاده از سنسورهای هوشمند برای مدیریت مصرف آب شد. شرکت یونیلور Unilever با پیاده‌سازی تکنولوژی دیجیتال واتر و استقرار سیستم‌های پایش آنلاین مصرف آب، توانسته است با بهره‌گیری از روش‌های بازیافت و تصفیه آب مبتنی بر فناوری‌های نوین، به کاهش ۳۰٪ مصرف آب در واحدهای تولیدی خود دست یابد. شرکت تیسون فودز Tyson Foods با پیاده‌سازی سیستم‌های رباتیک در خطوط فرآوری گوشت و استفاده از تکنولوژی پیشرفته CIP توانسته است با به کارگیری سیستم‌های بازیافت آب هوشمند، مصرف آب را به میزان ۱۲٪ به ازای هر واحد تولید کاهش دهد. شرکت کرافت هاینز Kraft Heinz با به کارگیری سیستم‌های اتوماسیون در شستشو و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین در فرآیندهای تولید، از سیستم‌های پایش مصرف آب در زمان واقعی استفاده می‌کند و با اتکا به IoT بهینه‌سازی مصرف آب را در خطوط تولید خود به شکل مؤثری پیاده‌سازی کرده است. کمپانی دانونه Danone با اجرای پروژه واتر استوارد و به کارگیری سیستم‌های پیشرفته تصفیه و بازیافت آب، از فناوری‌های نوین در خطوط تولید لبنیات استفاده می‌کند و به این ترتیب موفق شده است مصرف آب را در فرآیندهای تولید خود به میزان ۲۰٪ کاهش دهد. در انتها رویکرد ترکیبی در انتخاب زبان و چارچوب نرم‌افزاری، همراه با پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین و کنترل هوشمند، منجر به بهبود بهره‌وری خطوط تولید در صنایع غذایی، کاهش هزینه‌ها و حفظ کیفیت فرآورده‌های غذایی می‌شود. به کارگیری این سامانه‌های رباتیک در کنار مدل‌های پیش‌بینی‌کننده و حسگرهای هوشمند، به شرکت‌های فعال در حوزه صنایع غذایی کمک می‌کند تا هرچه بیشتر به سمت تولید سبز و پایدار حرکت کنند.

منابع

- Boziaris, I. S. (Ed.). (۲۰۱۴). Seafood processing: technology, quality and safety. John Wiley & Sons.
- Channi, H. K., Kumar, P., & Dhingra, A. (۲۰۲۴). Application of PLC in the Mechatronics Industry. Computational Intelligent Techniques in Mechatronics, ۱۸۵-۲۰۹.
- Dhage, B., & Dhage, A. (۲۰۱۶, September). Automation of CIP Process in dairy industries using programmable controllers and SCADA. In ۲۰۱۶ International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT) (pp. ۳۱۸-۳۲۳). IEEE.
- Jin, G., Jiang, Z., Sun, Y., Liu, Z., Liu, S., & Wu, F. (۲۰۲۵). Intelligent clean-in-place (CIP) system in beverage (healthy water) cleaner production. Food Control, ۱۶۸, ۱۱۰۸۷۷.
- Kim, D. H., & MacKinnon, T. (۲۰۱۸). Artificial intelligence in fracture detection: transfer learning from deep convolutional neural networks. Clinical radiology, ۷۳(۵), ۴۳۹-۴۴۵.

Khoza, S. C. (۲۰۲۱). Predicting process performance in the manufacturing and agricultural sectors using machine learning techniques (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).

Morchid, A., Oughannou, Z., El Alami, R., Qjidaa, H., Jamil, M. O., & Khalid, H. M. (۲۰۲۴). Integrated internet of things (IoT) solutions for early fire detection in smart agriculture. Results in Engineering, ۲۴, ۱۰۳۳۹۲.

Perea, R. G., Poyato, E. C., Montesinos, P., & Díaz, J. A. R. (۲۰۱۹). Optimisation of water demand forecasting by artificial intelligence with short data sets. Biosystems engineering, ۱۷۷, ۵۹-۶۶.



Ways to Reduce Water Consumption in Meat and Fisheries Industries Using Artificial Intelligence Technology

Amirhossein Ebrahimi^۱

^۱-PhD Student in Food Biotechnology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

Alireza Biavaz^۲

^۲-Master's Student in Computer Networks, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

Abstract

Reducing water consumption in the meat and fisheries industries is of great importance, as these industries require large amounts of water for processing, washing, and storing products. Artificial intelligence technology can play an important role in reducing the consumption of this valuable resource by analyzing data, optimizing processes, and automating water consumption systems. Data analysis tools such as machine learning and predictive modeling can process water consumption data and suggest optimization patterns. For example, a meat processing plant can use artificial intelligence algorithms to adjust the amount of water used for washing according to the type of product and the level of contamination. Also, automated control systems such as smart sensors and automatic water taps in food factories can prevent waste by detecting leaks and adjusting the water flow rate. In this article, different methods of using artificial intelligence to reduce water consumption in these industries are examined and the challenges of its implementation are discussed.

Keyword: Meat and fisheries, Water consumption, Artificial intelligence, Food industry