Review Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 14
No. 4 (56)

Received:
2025-01-04

Accepted:
2025-01-30

Pages: 143-161

Application of Intelligent Models in Water Resources Management

Yaser Sabzevari [1] and Saeid Eslamian[2]*

1) Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
2) Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
*Corresponding author email: saeid@iut.ac.ir

Abstract:

Water resources are one of the most important elements of humanity and are among the factors of progress in various regions. The management of these important resources is an essential and challenging matter in today's world that includes various components. Matters related to the conservation of water resources, water withdrawal, planning of existing water resources and their very appropriate distribution among different consumption sectors are among these components. One of the key components in the optimal use of existing water resources is the proper management of existing water resources using advanced technologies. Water management includes matters related to the conservation of water resources, water withdrawal, planning of existing water resources and their very appropriate distribution among consumers. Water management methods must be fully considered so that water resources remain sustainable in the long term. Available freshwater resources are very limited and of this small amount, approximately 97% of it is saline and not suitable for drinking. The problem of pollution also affects existing water. Various sectors affect water resources, including: agriculture, drinking, industry. Water from different sources needs to be used in an efficient manner that is not available in traditional water management methods. Existing methods for water use are not very cost-effective. Along with the pressure on resources from these sectors, there is also a lack of interest in implementing the latest information and communication technologies. Machine learning algorithms have the potential to expand the learning process exponentially with a specific goal. Modern water management is needed in fields such as agriculture, water supply, industry, hydroelectric power generation, livestock production, etc. Hence, the study and application of modern methods such as machine learning is essential for improving water resource management. This study discussed various challenges and opportunities related to the implementation of deep neural networks for the water management process. Therefore, this study provides a suggestion in the direction of future research activities on the challenges and issues of implementing water management with deep neural networks.

Keywords: Artificial Intelligence, Intelligent Models, Deep Learning, Internet of Things, Water Resources Management

مقاله مروری

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال چهاردهم
شماره ٤ (٥٦)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۱۱/۱۱

صفحات: ۱٦۱-۱٤۳

کاربرد مدل‌های هوشمند در مدیریت منابع آب

یاسر سبزواری[۱] و سعید اسلامیان[۲*]

۱) گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی؛ دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲) گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی؛ دانشگاه صنعتی اصفهان.
* ایمیل نویسنده مسئول: saeid@iut.ac.ir

چکیده:
منابع آب، یکی از مهم‌ترین عناصر حیاتی بشر و از جمله عوامل پیشرفت در مناطق مختلف به شمار می‌رود. مدیریت این منابع مهم، امری ضروری و چالش برانگیز در دنیای امروز بوده که مولفه‌های مختلفی را شامل می‌شود. امور مربوط به حفظ منابع آب، برداشت آب، برنامه‌ریزی منابع آب موجود و توزیع بسیار مناسب آن بین بخش‌های مختلف مصرف ازجمله این مولفه‌ها هستند. یکی از مولفه-های کلیدی در استفاده بهینه از منابع آب موجود، مدیریت صحیح منابع آب موجود با استفاده از فناوری های پیشرفته است. مدیریت آب شامل امور حفظ منابع آب، برداشت آب، برنامه‌ریزی منابع آب موجود و توزیع بسیار مناسب آن بین مصرف کنندگان است. شیوه‌های مدیریت آب باید به طور کامل در نظر گرفته شده تا منابع آب در دراز مدت پایدار بماند. منابع آب شیرین در دسترس بسیار محدود بوده و از این میزان اندک نیز تقریباً ۹۷ درصد آن، شور بوده و برای آشامیدن مناسب نیست. مشکل آلودگی، آب موجود را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بخش‌های مختلفی منابع آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد، از جمله: کشاورزی، شرب، صنعت. آب از منابع مختلف باید به شیوه‌ای کارآمد استفاده شده که در روش‌های مدیریت سنتی آب وجود ندارد. روش‌های موجود برای استفاده از آب چندان مقرون به صرفه نیستند. در کنار فشار بر منابع از جانب این بخش‌ها، تمایلی هم به اجرای آخرین فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات وجود ندارد. الگوریتم‌های یادگیری ماشین این پتانسیل را دارند که فرآیند یادگیری را به صورت تصاعدی با یک هدف خاص گسترش دهند. مدیریت به شیوه نوین آب در زمینه‌هایی مانند کشاورزی، تامین آب، صنعت، تولید برق آبی، تولیدات دامی و... مورد نیاز است. از این رو مطالعه و کاربرد روش‌های نوین مانند یادگیری ماشین برای بهبود مدیریت منابع آب ضروری است. این مطالعه چالش‌ها و فرصت‌های مختلف در رابطه با اجرای شبکه‌های عصبی عمیق برای فرآیند مدیریت آب را مورد بحث قرار داد. بنابراین، این مطالعه، پیشنهادی در راستای جهت‌گیری‌های آینده برای فعالیت‌های تحقیقاتی آتی در مورد چالش‌ها و مسائل اجرای مدیریت آب با شبکه‌های عصبی عمیق ارائه می‌کند.

کلید واژه‌ها: هوش مصنوعی، مدلهای هوشمند، یادگیری عمیق، اینترنت اشیا، مدیریت منابع آب

مقدمه

منابع آب یکی از مهم‌ترین منابع حیات و توسعه بشر است. یکی از مولفه‌های کلیدی در استفاده بهینه از منابع آب موجود، مدیریت صحیح منابع آب موجود با استفاده از فناوری‌های پیشرفته است. مدیریت آب شامل امور حفظ منابع آب، برداشت آب، برنامه‌ریزی منابع آب موجود و توزیع بسیار مناسب آن بین مصرف کنندگان است. شیوه‌های مدیریت آب باید به طور کامل در نظر گرفته شده تا منابع آب در دراز مدت پایدار بماند. منابع آب شیرین در دسترس بسیار محدود بوده و از این میزان اندک نیز تقریباً ۹۷ درصد آن، شور بوده و برای آشامیدن مناسب نیست. مشکل آلودگی، آب موجود را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بخش‌های مختلفی منابع آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد، از جمله: کشاورزی، شرب، صنعت و معدن (Berthet et al., 2021). آب از منابع مختلف باید به شیوه‌ای کارآمد استفاده شده که در روش‌های مدیریت سنتی آب وجود ندارد. روش‌های موجود برای استفاده از آب چندان مقرون به صرفه نیستند (Koech and Langat, 2018). در کنار فشار بر منابع از جانب این بخش‌ها، تمایلی هم به اجرای آخرین فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT[1]) وجود ندارد. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی این پتانسیل را دارند که فرآیند یادگیری را به صورت تصاعدی با یک هدف خاص گسترش دهند. مدیریت به شیوه نوین آب در زمینه‌هایی مانند کشاورزی، تامین عمومی، صنعت، معدن، تولید برق آبی، فرهنگ آبی و تولیدات دام مورد نیاز است.

در کشاورزی، چالش‌های کلیدی با توجه به روش‌های دسترسی به آب، استفاده کارآمد از آب و شیوه‌های پایدار برای صرفه‌جویی و برداشت آب است. بخش صنعت نیز دومین بخش بزرگ مصرف کننده آب و همچنین یکی از بالاترین منابع آلاینده آب می‌باشد. صنعت، آب را از منابع زیرزمینی یا سطحی می‌گیرد. انتخاب به عوامل مختلفی مانند در دسترس بودن آب زیرزمینی، در دسترس بودن آب سطحی، هزینه و تقاضای آب شیرین بستگی دارد. تقاضا برای آب توسط صنایع/کارخانه‌ها/معدن با افزایش شهرنشینی در حال رشد است. به طور همزمان، دفع فاضلاب بدون تصفیه مناسب در منابع طبیعی افزایش یافته که باز هم باعث آلودگی آب‌های بدون آلودگی می‌شود. به دلیل عدم وجود سیاست‌های کافی مدیریت آب، روش‌های نظارتی مؤثری برای صنایع به منظور نگهداری تصفیه خانه ذخیرسازی (STP[2]) و استفاده از این آب تصفیه‌شده ضروری است.

خشکسالی طولانی مدت نیز یکی از مسائل مهمی‌است که عموم مردم در کلان شهرها با آن مواجه هستند. مدیریت تامین آب در فصل کم آبی یکی از وظایف سخت مسئولان آب کلان-شهرها است. این چالشی است که راه را برای مداخله تکنیک-های هوشمند هموار می‌کند. زیرساخت توزیع آب مدل‌سازی شده توسط الگوریتم‌های هوشمند، از توزیع کارآمد تامین آب سالم و پایدار برای عموم مردم پشتیبانی می‌کند. مدل ساخته شده با تکنیک‌های هوشمند، ابزار هوشمندی را توصیه می‌کند که آب کمتری مصرف می‌کنند، محدودیت‌هایی را برای میزان مصرف آب در خانه‌ها اعمال کرده و تعرفه‌هایی را برای مصرف آب اعمال می‌کنند. کیفیت آب با سه دسته از ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی ارزیابی می‌گردد. برخی از شاخص‌های کیفی (آلاینده) آب عبارتند از کلروفیل، pH، اکسیژن محلول، محتویات فلزات سنگین، کلرید و سرب. سیستم‌های هوشمند مانند اینترنت اشیا (IoT[3])، یادگیری عمیق و الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می‌توانند برای فرآیندی مانند مدیریت نشت، نظارت بر جریان، استفاده بیش از حد، آلودگی و ابداع استراتژی‌هایی برای استفاده قابل قبول از آب مورد استفاده قرار گیرند(Ray et al., 2021). هوش مصنوعی (AI[4]) به طور فزاینده‌ای در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب به کار می‌رود. یکی از موضوعات کلیدی استفاده از هوش مصنوعی برای بهبود کارایی و پایداری مدیریت منابع آب است. به عنوان مثال، پیشنهاد استراتژی‌های مدیریت تطبیقی مبتنی بر هیدروژئولوژی، بارش، کاربری زمین و سایر عوامل برای تضمین مدیریت پایدار آب ضروری است. مدل‌های پیش‌بینی هیبریدی، نیز برای پیش‌بینی مؤثر سری‌های زمانی هیدرولوژیکی برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر منابع آب استفاده می‌شوند. ارزیابی ریسک مبتنی بر شبیه‌سازی تصادفی به عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل خطرات تخصیص منابع آب در شرایط نامشخص معرفی شده است.

Balist et al., (2021) از مفاهیم و داده‌های خدمات اکوسیستم در خاک، اقلیم و کاربری زمین برای مدل سازی عرضه و تقاضای منابع آب در حوضه رودخانه سیروان استفاده کرد. تحقیقات آن‌ها اطلاعاتی را برای برنامه ریزی منابع آب در سطوح حوضه و زیرحوضه به دست آورد و زیرحوضه‌هایی را شناسایی کرد که با کمبود آب و تنش مواجه هستند. این امر اهمیت مدیریت اکوهیدرولوژیکی را در پرداختن به چالش‌های منابع آب در سطح محلی نشان می‌دهد و بر نیاز به استراتژی‌های مدیریت منابع آب پایدار برای تضمین سلامت اکوسیستم و رفاه انسان در درازمدت تأکید می‌کند. Zhou (2022) یک الگوریتم استاندارد جستجوی فاخته (ISCSA) را برای حل مشکلات تخصیص منابع آب چند هدفه در منطقه ژیانگ‌ژیانگ، چین معرفی کرد. ISCSA شامل مقداردهی اولیه آشفته و یک الگوریتم اختلال گاوسی برای غلبه بر اشکالات الگوریتم جستجوی فاخته استاندارد، مانند زمان جستجوی طولانی و سقوط در بهینه محلی بود. نتایج نشان داد که ISCSA در یافتن طرح‌های تامین آب چندهدفه بهینه و پیش بینی تخصیص منابع آب برای مناطق فرعی موثر است.

Azami et al., (2024) کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت منابع آب را بررسی کردند. این مطالعه به بررسی مختصر امکانات، کاربردها و چالش‌های هوش مصنوعی در مدیریت منابع آبی پرداخت. لذا در پژوهش حاضر استفاده از مدل‌ها و فرآیندهای هوش مصنوعی، از جمله شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین و به ویژه یادگیری عمیق به منظور پیش بینی و بهینه سازی مصرف و توزیع آب، به عنوان یک راهکار موثر مطرح شد.

Yousefi et al., (2018) سیستم هوشمند تخصیص منابع آب را به منظور کاهش تأثیرات کمبود آب در مخزن سد شهر بوکان را مورد مطالعه قرار دادند. به این منظور، ابتدا نسبت کمبود ماهانه آب برای دو بخش شرب و کشاورزی برای دوره تاریخی ۱۳۷۴-۱۳۹۲ محاسبه شده و با استفاده از روش خوشه بندی K-means به پنج سطح طبقه بندی شد تا آستانه‌های کمبود آب در مخزن مشخص شود. سپس، با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی بهره برداری از مخزن پرداخته شد و میزان آیش بهینه برای هر سال زراعی (۱۳۸۶-۱۳۹۲) تعیین شد. همچنین، به منظور بررسی تأثیر میزان راندمان آبیاری و اعمال نیاز زیست محیطی بر میزان آیش مورد نیاز، شش سناریو اعمال شد و در هر بار اجرا، سه راندمان آبیاری ۳۵/۵، ۴۵ و ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری، به آیش کمتری نیاز است و با اعمال این آیش سیستم تا حد قابل قبولی می‌تواند نیاز پایین دست خود را تحویل دهد. در نتیجه باید اقدامات افزایش راندمان آبیاری در دستور کار مدیران آب قرار گیرد. همچنین در صورت در نظر نگرفتن نیاز زیست محیطی پایین دست مخزن، با اینکه میزان آیش مورد نیاز کمتر است، بدیهی است که برای دست یابی به مدیریت پایدار و همچنین حفظ دریاچه ارومیه، باید نیاز زیست محیطی نیز در مسائل بهره برداری از مخزن در نظر گرفته شود.

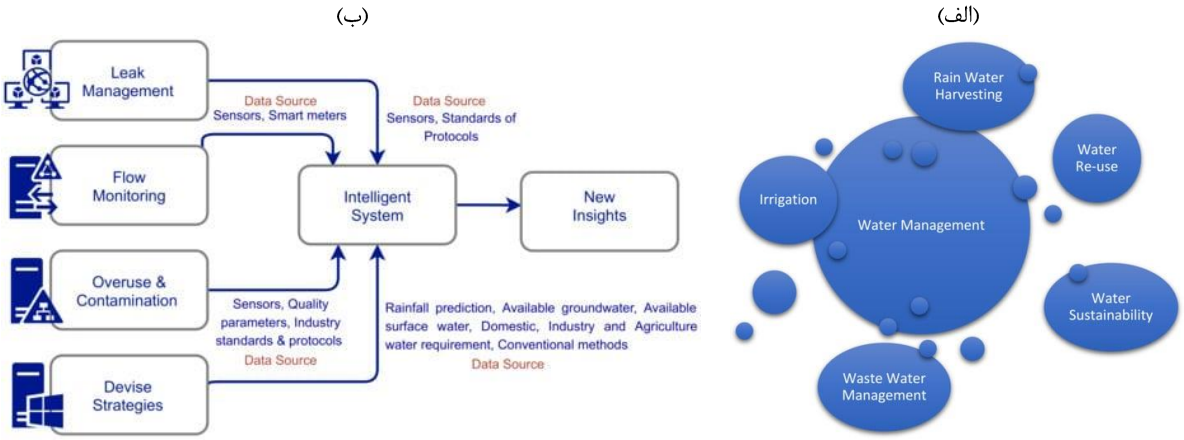
استراتژی‌های مدیریتی مختلفی برای بهبود بهره‌وری آب و تشکیل آب‌های زیرزمینی پیشنهاد شده است. Yan et al., (2021) بر موضوع بهره برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در حوضه رودخانه لیائو غربی، یک منطقه کلیدی تولید مواد غذایی در چین تمرکز کرد. استراتژی‌های مدیریت تطبیقی آن‌ها بر اساس هیدروژئولوژی، بارش، استفاده از زمین و سایر عوامل ایجاد شده‌اند و پایه‌ای علمی‌برای مدیریت پایدار آب در دشت تانگلیائو فراهم می‌کنند. با تعیین آستانه‌های سطح آب زیرزمینی در هر یک از ۲۱ منطقه مدیریتی، تحقیقات آن‌ها پتانسیل استراتژی‌های مدیریت اکوهیدرولوژیکی مؤثر را در پرداختن به چالش‌های حیاتی منابع آب نشان داد. Zhang et al., (2022) با استفاده از مدل Hydrus-2D تأثیر آبیاری قطره‌ای تحت مالچ را بر تغذیه آب زیرزمینی در یک منطقه کشاورزی نیمه خشک در چین بررسی کرد. نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای در زیر مالچ باعث افزایش عمق نفوذ و میزان نفوذ تجمعی شد که برای تغذیه آب‌های زیرزمینی مفید بود. یافته‌ها نشان می‌دهد که آبیاری قطره‌ای در زیر مالچ روشی مؤثر برای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی و تشکیل آب‌های زیرزمینی در مناطق نیمه‌خشک کشاورزی است. Reddy et al., (2022) یک مدل هوش مصنوعی ترکیبی و نیمه توزیع شده برای پیش بینی رواناب پیشنهاد کرد. El Mezouari et al., (2022) یک شبکه عصبی مصنوعی ترکیبی (ANN^{δ}) و الگوریتم ژنتیک توسعه‌یافته را برای بهینه‌سازی وزن برای بهبود پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی پیشنهاد کرد. این روش با استفاده از داده‌های یک چاه نظارتی در کالیفرنیا تأیید شد و عملکرد امیدوارکننده‌ای را نشان داد. این مطالعه بر اهمیت استفاده از موتورهای هوش مصنوعی برای بهبود مدیریت منابع آب و شیوه‌های برنامه ریزی در مواجهه با کمبود و تقاضای فزاینده آب تاکید کرد. Tabatabaei et al., (2022) به طراحی و پیاده سازی سیستم مدیریت هوشمند زمانبندی آبیاری محصولات کشاورزی با استفاده از گره‌های حسگر بی‌سیم پرداختند. در این مقاله، یک سیستم هوشمند بهینه آبیاری قطره‌ای برای محصولات کشاورزی با هدف طراحی و توسعه سیستم کنترل با استفاده از گره‌های حسگر ارائه می‌شود که بخش نرم افزاری پروژه بر اساس اجزای سخت افزاری طراحی و توسعه یافته است. مولفه سخت افزاری شامل جعبه کنترل است که برای جمع آوری داده‌های مربوط به میزان رطوبت خاک از طریق حسگرهای رطوبت خاک برای نظارت بر محیط کاشت گیاه استفاده می‌شود. مولفه دوم یک برنامه به زبان C++، که برای تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به رطوبت خاک به منظور مدیریت بهتر و تعیین زمانبندی مناسب برای آبیاری قطره‌ای است. این سیستم در مرکز نوآوری مجتمع آموزش عالی سراوان واقع در استان سیستان و بلوچستان بصورت پایلوت اجرا و آزمایش شده است. نتایج نشان داد که مدیریت هوشمند زمانبندی آبیاری، علاوه بر بهبود هزینه‌های آب مصرفی موجب افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی می‌شود.

Pour Tabari et al., (2010) یک مدل هوشمند تعیین رفتار تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی با لحاظ نمودن وضعیت دینامیکی سیستم آبخوان را مورد مطالعه قرار دادند. این تحقیق با توجه به خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان و مقادیر اندازه گیری شده برای پارامترهای کمی‌آبخوان، مدل کمی‌عددی آبخوان تهیه شده و سپس با استفاده از نتایج آن و به کارگیری مدل شبیه ساز شبکه عصبی دینامیکی، تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی برای افق برنامه ریزی به صورت معادلاتی ارائه گردید. میزان کل تغذیه و تخلیه آبخوان و تراز سطح آب زیرزمینی در گام زمانی قبل به عنوان پارامترهای ورودی و تراز سطح آب

زیرزمینی در انتهای دوره شبیه سازی به عنوان پارامتر خروجی در مدل شبیه ساز استفاده شد. به منظور تدوین مدل شبیه ساز، چهار مرحله در نظر گرفته شد که عبارت اند از تدوین مدل شبیه سازی آبخوان و واسنجی نمودن آن، تولید مجموعه داده‌های ورودی- خروجی برای آموزش مدل شبیه ساز، آموزش مدل شبیه ساز برای ساختارهای گوناگون، صحت سنجی و استخراج مدل شبیه ساز برتر برای برقراری ارتباط با مدل بهینه سازی. نتایج ارائه شده نشان دهنده کارایی مدل پیشنهادی به منظور شبیه سازی و پیش بینی رفتار تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در مقایسه با مدل‌های شبکه عصبی استاتیکی بود. از نظر استراتژی پیش بینی، Feng et al. (2021) یک مدل پیش‌بینی هیبریدی ایجاد کرد که از SSA[۶] برای تعیین ترکیبات پارامترها و روش معکوس تعمیم‌یافته مور-پنروز[۷] برای به دست آوردن ماتریس وزن برای پیش‌بینی سری‌های زمانی دقیق هیدرولوژیکی استفاده کرد. روش پیشنهادی بر اساس چندین شاخص ارزیابی عملکرد، از سایر انواع ELM[۸] بهینه‌سازی شده با الگوریتم تکاملی در هر دو مرحله آموزش و آزمایش بهتر عمل کرد. این مطالعه پتانسیل روش پیشنهادی را به عنوان یک ابزار یادگیری ماشینی تکاملی موثر برای برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم منابع آب نشان داد. Naik et al. (2022) یک رویکرد جدید برای پیش‌بینی نمایه سطح آب کانال‌های ترکیبی مختلف با دشت‌های سیلابی همگرا با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP۹) پیشنهاد کرد. مدل‌ها با استفاده از داده‌های تجربی ساخته شدند و یک معادله جدید برای محاسبه نیمرخ سطح آب با استفاده از پارامترهای هندسی و جریان غیربعدی ابداع شد. یافته‌ها نشان داد که پروفایل سطح آب مشتق‌شده از GEP با داده‌های تجربی همبستگی بالایی داشت و می‌توان آن را برای مطالعه جریان کانال ترکیبی قابل اعتماد در نظر گرفت.

Kanneganti et al., (2022) یک مدل یادگیری ماشینی را برای تخمین نرخ جریان ورودی فاضلاب عبوری در لوئیزویل، کنتاکی، بر اساس انواع داده‌های مختلف، از جمله شاخص‌های مرتبط با مدفوع، داده‌های آب و هوا، و جمعیت‌شناسی منطقه ایجاد کرد. این الگوریتم به دقت ۹۱/۷ درصد دست یافت و نظرات پذیرفته شده در حال حاضر را با پیشنهاد اینکه متغیرهایی مانند بارش و اندازه جمعیت برای تخمین جریان فاضلاب مهم‌تر هستند، به چالش کشید. این مطالعه پتانسیل هوش مصنوعی را در حمایت از کاربردهای بهداشت عمومی‌اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب نشان داد. Xu et al. (2022) تغییرات بارندگی در پکن، چین را طی ۵۰ سال گذشته تجزیه و تحلیل کرد و رابطه نزدیکی بین توسعه شهری و کاهش بارندگی و افزایش دما یافت. یافته‌های آن‌ها بر نیاز فوری به تحقیق در مورد بارندگی و دما در مناطق شهری به‌سرعت در حال توسعه، به‌ویژه با توجه به تأثیر بالقوه بر در دسترس بودن منابع آب و خدمات اکوسیستم، تأکید کرد. Jun et al. (2022) تأثیر تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی را بر محیط زیست محیطی در حوضه رودخانه شیانگ، استان گانسو بررسی کرد. این مطالعه تغییرات دما، بارش، منابع آب یخبندان و سطحی، الگوهای چشم‌انداز، و عوامل طبیعی و انسانی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. این مطالعه نشان داد که گرم شدن آب و هوا و فعالیت‌های غیرقانونی انسانی دلایل اصلی وخامت محیط زیست منطقه‌ای هستند که منجر به کاهش منابع آب پایین‌دست و انتقال پوشش گیاهی چشم‌انداز به مناطق پرخطر می‌شود. عوامل انسانی نقش غالبی در تغییرات رواناب در حوضه داشتند، و این مطالعه بینش‌های ارزشمندی را برای اقدامات متقابل سازگاری انسانی برای کاهش زوال اکولوژیکی و تضمین توسعه پایدار مناطق از نظر اکولوژیکی شکننده ارائه کرد.

Fan et al. (2021) رابطه بین اقدامات اکوهیدرولوژی و تأثیر آنها بر انواع مختلف بلایا را که می‌تواند اثرات مخربی بر جوامع آسیب پذیر داشته باشد، بررسی کرد. یافته‌های آن‌ها اهمیت مدیریت آب، هیدرولوژی و اکولوژی را در کاهش بلایای اجتماعی و محافظت در برابر حوادث برجسته کرد. Li et al. (2022b) تحقیقاتی را در مورد عملکرد تولید ازن الکتروشیمیایی (EOP۱۰) الکترولیز الکترولیت پلیمری جامد (SPE۱۱) برای ضدعفونی و استریل کردن انجام داد. آن‌ها پیکربندی الکترود و شرایط عملیاتی را بهینه کردند و دریافتند که الکترودهای BDD-4.9 با ضخامت ۰/۵۴ میلی متر و سرعت جریان آب ۶۳ L/h برای EOP ایده‌آل هستند. Wang et al., (2022) روشی را برای شناسایی مقاطع عرضی با خطاهای عمق سنجی بزرگ در رودخانه‌ها پیشنهاد کرد. آن‌ها از مدل‌های مسیریابی جریان رو به جلو و معکوس برای به دست آوردن دو مرحله مختلف آب استفاده کردند و تغییرات فضایی تفاوت‌های بین آن‌ها را برای تعیین کمیت تأثیر خطاهای عمق سنجی مقایسه کردند. این روش در یک مورد رودخانه فرضی آزمایش و تأیید شد و در مورد رودخانه ژوجیانگ اعمال شد و نشان داد که می‌تواند به طور موثر مقاطع عرضی با خطاهای عمق سنجی بزرگ را شناسایی کند و دقت شبیه‌سازی جریان آب را بهبود بخشد.



شکل ۱. الف- مدیریت آب و پارامترهای آن، ب- سیستم‌های هوشمند برای مدیریت آب (Krishnan et al., 2022)

روش‌های مختلفی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود. Zhao et al., (2020) تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی مربوط به فرآیند تصفیه فاضلاب را بررسی کردند. نویسندگان همچنین در مورد کاربردهای هوش مصنوعی مورد استفاده برای مدیریت فاضلاب و هزینه و تدارکات موجود در کل فرآیند بحث کردند. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و یادگیری فدرال (FL) دو روش اصلی موثر هوش مصنوعی مورد استفاده در فرآیند تصفیه فاضلاب هستند.

در یک بررسی مشابه، Nourani et al., (2021) استفاده از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS)، رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) و شبکه عصبی پیشخور (FFNN) برای تعیین BOD و COD تصفیه خانه فاضلاب تبریز (WWTP) را بررسی کردند. آن‌ها همچنین میانگین متحرک یکپارچه اتورگرسیو (ARIMA) را برای پیش‌بینی پساب‌ها برای افتراق قابلیت مدل‌های غیرخطی و خطی در پیش‌بینی پیاده‌سازی کرد. علت عمده آلودگی آب به دلیل وجود فلزات سنگین مانند آرسنیک، کروم، سرب، جیوه و غیره است که ممکن است به دلیل پساب صنعتی یا روان آب‌های کشاورزی در آب‌های سطحی و زیرزمینی باشد. استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای تشخیص فلزات سنگین به دلیل پیچیدگی در انتخاب روش پیش‌بینی، تنظیم متغیرها و بهینه‌سازی فرآیند آموزش، فرآیندی طاقت‌فرسا است. Bhagat et al., (2020) تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی را که ممکن است برای تشخیص فلزات سنگین از منبع آب مناسب باشند، بررسی کردند. نویسندگان همچنین چالش‌های هر روش و راه حل‌های ممکن را فهرست می‌کنند. میکروفیلتراسیون یکی از فرآیندهای کارآمد تصفیه بیولوژیکی فاضلاب است. بیوراکتورهای غشایی (MBR) یک راه موثر برای تشخیص و حذف معلق ارائه می‌کنند.

کمالی و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد بیوراکتورهای غشایی را با اجرای تکنیک‌های هوش مصنوعی تجزیه و تحلیل می‌کند. علاوه بر این، نویسندگان همچنین پیشنهاد می‌کنند که ترکیب الگوریتم‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی و MBR راهی بهینه برای کاهش آلاینده‌های منبع آب خواهد بود. در یک بررسی تحقیقاتی مشابه، Viet et al., (2022) اجرای مدل‌های هوش مصنوعی همراه با MBR را بررسی کرد که عملکرد بهتری نسبت به فرآیند بیولوژیکی موجود تصفیه فاضلاب ارائه می‌دهد. وجود نیتروژن آلی و آمونیاک به سطح پساب یک منبع آب می‌افزاید. Manu et al., (2017) از ANFIS و SVM برای بررسی نسبت دقت در فرآیند کاهش نیتروژن کجلدال۱۲ در تصفیه فاضلاب استفاده کرد. پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی هوش مصنوعی و فرآیند آموزش عبارت بودند از نیتروژن کجلدال، مواد جامد کل (TS)، COD، آمونیاک و pH که به‌صورت فصلی از تصفیه‌خانه فاضلاب در Mangalore به صورت زنده ثبت می‌شد. نرخ خطا برای پیش‌بینی نیتروژن کجلدال توسط SVM بهتر از مدل ANFIS بود و بنابراین نویسندگان با پیشنهاد استفاده از SVM نتیجه‌گیری کردند که کارایی بیشتری در پیش‌بینی عناصر کمیاب ارائه می‌دهد. تبخیر آب یکی از پارامترهای اصلی برای کمبود آب به ویژه در مناطق گرمسیری است. سلطانی و همکاران (۲۰۲۲) چگونگی تأثیر تبخیر سطحی بر اتلاف آب توسط یک سامانه خورشیدی شناور در حوضچه فاضلاب را با استفاده از یک الگوریتم هوش مصنوعی مورد بحث قرار دادند. همه متغیرهای مستقل در شبیه سازی به عنوان ورودی برای شبکه عصبی استفاده می‌شوند و متغیر وابسته اندازه حوضچه است. شبکه عصبی بهترین مدل برای پیش‌بینی سطح آب است که با ۳۵ نورون در لایه پنهان ساخته شده است و ۹ ورودی و یک خروجی دارد. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت، ضریب همبستگی ۰/۹۹۹ و میانگین مربع خطا ۴/۶۴۶۵۸×۱۰۲۰ به

دست آورد. جدیدترین تکنیک برای تخریب و جذب طیف گسترده ای از آلاینده‌های فاضلاب، فناوری نانو، به ویژه نانوذرات سنتز سبز است. آنالیزهای XRD، SEM و EDAX برای مشخصه‌سازی نانو آهن صفر ظرفیت سنتز سبز (GT-nZVI) که از چای سیاه نرم استخراج می‌شود، استفاده شد.

در عصر مدرن، استفاده از هوش مصنوعی در سیستم مدیریت هوشمند آب پیامدهای متعددی برای بهبود تامین آب و ارائه خدمات کارآمد دارد (Jenny et al., 2020). توسعه AI[۱۳]، DL[۱۴] و ML[۱۵] با فناوری‌های IoT انتظار می‌رود که مدل‌های هوشمند را برای غلبه بر پیچیدگی و چالش‌ها در سیستم‌های مدیریت آب(Alam et al., 2022) و سیستم‌های تامین و توزیع آب (Nasser et al., 2020) تعبیه کند. مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کاربردهای مدیریت آب مانند تصفیه فاضلاب، کنترل آلودگی آب، کشاورزی هوشمند، بهینه‌سازی مصرف آب، خودکارسازی آب بحرانی، کیفیت آب، نظارت بر سطح آب و کشاورزی مبتنی بر آب مانند آکواپونیک و هیدروپونیک نشان داده شده‌اند (Lowe et al., 2022, Akhund et al., 2022, Jain et al., 2021). بیشتر مدل‌های ML مورد استفاده در حوزه مدیریت آب عبارتند از ANN (Gaya et al., 2017)، ANFIS (Okoji et al., 2022)، شبکه‌های عصبی بازگشتی RNNs (Zanfei et al., 2022)، جنگل تصادفی RF (Phasinam et al., 2022) و رگرسیون بردار پشتیبان SVR (Roshni et al., 2022).

Emami and Choopan (2020) از روشهای نوین هوش مصنوعی در بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت سلماس استفاده کردند. در این تحقیق با به کارگیری دو مدل RBF[۱۶] و GFF شبکه عصبی مصنوعی به پیشبینی و برآورد کیفیت آبهای زیرزمینی دشت سلماس پرداخته شد. برای این منظور ، از دادههای کیفی آب زیرزمینی مربوط به دشت سلماس در دوره آماری ۱۵ ساله (۹۵-۱۳۸۱) استفاده گردید و نتایج بر اساس استانداردهای ویلکاکس، شولر و پایپر مورد بررسی قرار گرفت. ۵۰ درصد دادههای موجود به منظور آموزش شبکه و از ۲۵ درصد دادهها برای صحت سنجی دو مدل استفاده شد. لذا از ۲۵ درصد باقیمانده دادههای موجود برای آزمایش شبکه استفاده گردید. به کارگیری متغیرهای آماری مناسب و کاربردی نشان داد مدل RBF قابلیت بالایی در برآورد و پیشبینی کیفیت آب زیرزمینی دارد، همچنین ضریب همبستگی در این مدل برابر ۳۳/۵ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۲۹/۰۱٪ به دست آمد. همچنین نتایج استفاده از دیاگرامهای مختلف نشان میدهد نمونهها دارای سختی و خورندگی کم می‌باشند. مدیریت آب در بخش کشاورزی نقشی حیاتی برای رشد اقتصاد کشور ایفا می‌کند.(Maroli et al., (2021 در مطالعه‌ای، مسائل موجود را که در سیستم مدیریت تامین آب روستایی هند تحت‌تاثیر قرار گرفته و پیش‌بینی آن از طریق ادغام تکنیک‌های اینترنت اشیا، مورد مطالعه قرار دادند. علاوه بر این، سیستم سوء مدیریت منابع آب در دولت هند با استفاده از موارد استفاده مختلف بررسی شد. در نهایت، نویسندگان راه‌حل‌های مناسبی را برای کاهش اتلاف منابع آب به سازمان دولتی با استفاده از فرمول‌بندی سیستم مدیریت آب مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه کردند. برای یک شهر به خوبی سازماندهی شده، شبکه توزیع آب برای تامین فشرده آب ضروری است. چارچوب انتقال آب تضمین می‌کند که آب از شبکه توزیع شده برای خانوارها تامین شده است (Radhakrishnan et al., 2018). چارچوب انتشار آب به گونه‌ای برنامه ریزی شده است که با هزینه ناچیز، تقاضا برآورده شود. به دلیل شهرنشینی، تقاضای تامین آب و فشار برای انتقال آن‌ها در حال افزایش است. این باعث آسیب و نشت در خطوط لوله فعلی می‌شود و علاوه بر آن نیاز به خطوط لوله اضافی برای رفع نیاز دارد. محسنی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای بر روی نرم افزار Bentley WATERGEMS برای مطالعه سیستم توزیع آب در ماهاراشترا، هند کار کردند. این نرم افزار به کاربران کمک کرد تا روند پیشرفت آب در هر خط لوله، سطح آب هر مخزن و افزایش سرعت جریان آب را بررسی کنند. با این حال، نویسندگان برنامه ای برای پیشبرد این کار به عنوان تحقیق برای مدیریت سیستم جریان آب در حال حاضر تا سال ۲۰۵۰ دارند.

کاربرد IoT در مدیریت منابع آب

در کشاورزی، مدیریت هوشمند آب برای آبیاری دقیق برای بهبود تولید محصول و کاهش هزینه‌ها و در عین حال کمک به پایداری زیست محیطی حیاتی است. Kamienski et al., (2019) پلت فرم مدیریت هوشمند آب (SWAMP[۱۷]) با استفاده از اینترنت اشیا در برزیل را مورد بحث قرار می‌دهد. SWAMP که یک پلت فرم اینترنت اشیا است، آبیاری دقیق را در کشاورزی ایجاد می‌کند که بر چالش‌های مختلف مانند مدل اطلاعات، پیچیدگی، استقرار، سازگاری و پیچیدگی تمرکز دارد. چهار مدل SWAMP توسط سازگاری استفاده می‌شود تا تنوع کافی برای درک سطح ویژگی و عمومیت برای چندین جزء نرم افزار فراهم شود. چندین مؤلفه از فناوری‌های بی سیم و فرمت‌های حسگر باید مورد بررسی قرار گیرند. در سیستم‌های اینترنت اشیا، «یک اندازه برای همه» برای کشاورزی دقیق که نیازمند یافتن چندین راه برای پیکربندی و اتصال اجزای نرم‌افزار در استقرارهای مبتنی بر مه است، کاربرد ندارد. Oberascher et al., (2021) راه حل‌های هوشمند برای تمرکززدایی زیرساخت‌های آب با استفاده از حسگرهای کم

هزینه را در مطالعه خود مورد بحث قرار دادند. مفهوم بشکه باران هوشمند (SRB[۱۸]) برای جمع‌آوری آب باران بهبودیافته از سنسورهای ارزان‌قیمت اینترنت اشیا استفاده می‌کند. SRB از یک بشکه باران استاندارد تشکیل شده است که با یک دریچه رهاسازی کنترل از راه دور و یک دستگاه حسگر سطح آب تقویت شده است. استفاده از بشکه‌های باران با ظرفیت‌های بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ لیتر به مقاوم سازی زیرساخت‌ها، یعنی موجود در مقیاس بزرگ کمک می‌کند.

پتانسیل چارچوب اینترنت اشیا برای مدیریت تامین آب در یک شهر هوشمند در مطالعه Gautam et al., (2021) مثال زده شده است. مدیریت کارآمد یک منبع آب از طریق استفاده از یک برنامه IoT برای خودکار کردن عملکرد یک موتور در هر خانه مورد بحث قرار گرفته است. در مقایسه با کنتورهای هوشمند قبلی، این فناوری از سنسور اولتراسونیک ضد آب استفاده می‌کند.

Peace et al., (2020) از اینترنت و فناوری‌های حسگر برای بهبود تجهیزات آبیاری برای فعال کردن کنترل دقیق آبیاری کشاورزی و استفاده مؤثر از آب برای آبیاری استفاده کرد. در رواندا، مزایای استفاده کارآمد از آب ناشی از استقرار فناوری اینترنت اشیا، غلبه بر موانعی مانند عدم دسترسی کشاورزان به تجهیزات و همچنین عدم مدیریت آبیاری، اتصال نادرست اینترنت و برق را ضروری می‌کند. سیستم کم هزینه پیشنهادی کنترل آبیاری را به صورت خودکار بر اساس نیازهای فصلی و روزانه زمانی که سنسورهای سیستم به درستی کار می‌کنند، فراهم می‌کند. نویسندگان استفاده از MCP و SARSA کم‌هزینه را برای آبیاری برنج مبتنی بر اینترنت اشیا در رواندا توصیف کردند (Peace et al., 2021).

Nie et al., (2020) طرحی را برای مدیریت آب برای شهرهای هوشمند از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و اینترنت اشیا با استفاده از رویکرد کنترل کننده نظارتی و جمع آوری داده (SCADA) پیشنهاد کردند. تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها جمع‌آوری داده‌های عظیم از حسگرهای اینترنت اشیا مستقر در چندین مکان را برای ردیابی کیفیت، وضعیت فیزیکی و استفاده از دستگاه‌ها امکان پذیر می‌کند. این تحقیق سیستم‌سازی و گزینه‌های ذخیره‌سازی مدرن برای Big Data و IoT و همچنین راه‌هایی برای تجزیه و تحلیل و تجسم داده‌ها را تجزیه و تحلیل کرد. این مطالعه نشان می‌دهد که اطلاعات زیادی در مورد فاضلاب و تامین آب وجود دارد. این بدان معناست که برای پردازش این داده‌ها به موقع و مقرون به صرفه به منابع تکنولوژیکی بیشتری نیاز است. مزیت IoT و Big Data این است که بسته به اطلاعاتی که در دسترس است می‌توان چندین مدل برای بخش‌های زیادی ساخت. این مدل‌ها ابزارهای حیاتی برای ارزیابی، اجرا و برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع آب جاری در طول زمان هستند. این امر پیش بینی را هنگام استفاده از یک مدل مناسب بهبود می‌بخشد. Gonçalves et al., (2015) با استفاده از تجزیه و تحلیل طیفی داده‌های بزرگ، بیشترین فرکانس چرخه‌های از دست دادن آب را شناسایی کردند. توزیع آب مستلزم جمع آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و تجسم حسگرهای اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ برای مدیریت و بهبود فرآیندهای توسعه آن‌ها است. این پیاده سازی در نظر دارد با کنترل فعال مصرف آب برای شرکت‌ها و مشتریان، سطوح بهتری از تامین آب پایدار تولید کند.

Gonçalves et al., (2020) یک معماری برای مدیریت مستقل آب پیشنهاد می‌کند که به آن آب رفلکسی[۱۹] می‌گویند. این سیستم از فرآیندهای تجاری اعلامی، پردازش رویداد پیچیده (CEP[۲۰]) و اینترنت اشیا برای تنظیم تامین آب استفاده می‌کند. دستگاه‌های اینترنت اشیا راه حل‌های کم هزینه و کارآمدی را برای کنترل توزیع آب و همچنین نظارت بر آن در زمان واقعی ارائه می‌دهند. زبان‌های فرآیند تجاری اعلامی‌در مطالعه Goedertier et al., (2015) انعطاف‌پذیری و دقت مورد نیاز برای طراحی سیستم‌هایی با رفتار غیرقابل پیش‌بینی را می‌دهند. طبق مطالعه Flouris et al., (2017) فناوری پردازش رویداد پیچیده (CEP) می‌تواند جریان‌های داده عظیمی‌را که توسط حسگرها در اینترنت اشیا تولید می‌شود، مدیریت کند. علاوه بر این، تمام قوانین بیان شده در یک زبان فرآیند تجاری اعلامی‌ممکن است با زبان‌های CEP بیان شود. آب رفلکسی بر روی یک پلت فرم منبع باز با نام FIWARE ساخته شده است. مجموعه گسترده‌ای از APIها برای توسعه برنامه‌های کاربردی شهر هوشمند توسط REFlex ارائه شده است. نویسندگان همچنین استفاده عملی از REFlex Water را با استفاده از یک سیستم توزیع آب واقعی که در شهری در برزیل ایجاد شده است، ارائه کرده اند. این سناریو اکنون در سراسر سیستم تامین آب برزیل اعمال می‌شود.

کشورها در تلاش هستند تا کشاورزی را با ادغام فناوری‌های متنوع برای بهبود عملکرد آن پایدارتر کنند. اهداف توسعه پایدار (SDGs[۲۱]) از طریق آبیاری SMART که از اینترنت اشیا و سیستم‌های حسی استفاده می‌کند، پرداخته می‌شود (Obaideen and Yousef, 2022). اینترنت اشیا و اتوماسیون با روش‌های کشاورزی ادغام شده اند تا کارایی کل فرآیند را افزایش دهند. سیستم‌های آبیاری عامل مهمی‌در ایجاد سیستم‌های آبیاری بهینه است که می‌تواند استفاده از تلاش‌های تحقیق و توسعه مداوم را با هدف بهبود پایداری عملیات بهبود بخشد. بر اساس یک مطالعه، سیستم‌های حسی درک کشاورزان از محصولات خود را بهبود بخشید، پیامدهای زیست محیطی را کاهش داد و به کشاورزان در حفظ منابع کمک کرد. کمبود آب شامل کمبود آب، کمبود آب و همچنین بحران آب است. اینترنت اشیا هزینه کلی

فناوری را کاهش می‌دهد و امکان مدیریت سیستم نظارت بر فرآیند آبیاری را باز می‌کند. نظارت بر زمان واقعی برای فعال‌سازی آبیاری و کشاورزی دقیق نیز با استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN۲۲) تسهیل می‌شود.

برای تمام سیستم‌های شهری، مدیریت آب‌های زیرزمینی بسیار مهم است. بنابراین داده‌ها باید در صورت درخواست در اختیار تصمیم گیرندگان و ذینفعان مختلف قرار گیرد. به منظور جمع آوری، تجزیه و تحلیل و به اشتراک گذاری داده‌های آب زیرزمینی برای اهداف مختلف، تحقیق Seno et al., (2018) یک چارچوب مفهومی‌را پیشنهاد می‌کند که در عمل قرار گرفته است. داده‌هایی که به طور مداوم از چندین منبع جمع آوری شده و در قالبی مشترک پردازش می‌شوند، تحت دسترسی کنترل شده در دسترس قرار می‌گیرند. چهار جزء اصلی سیستم عبارتند از Retriever، Collector، API Management Service و Watchdog. مزیت اصلی این سیستم این است که امکان دریافت هر گونه داده مکانی-زمانی همراه با متا داده مرتبط را فراهم می‌کند. این سیستم به سازگاری، استانداردسازی و به اشتراک گذاری داده‌ها در بخش مدیریت آب کمک می‌کند و به ذینفعان اجازه می‌دهد تا به جای بازیابی و دستکاری داده‌ها بیشتر بر تجزیه و تحلیل داده‌ها تمرکز کنند. این فناوری تحت آزمایش‌های دقیق قرار گرفته است و در موارد مرتبط متعددی پیاده سازی شده است. با استفاده از این روش، جدیدترین داده‌ها و همچنین سوابق گذشته به طور مداوم برای پرس و جوهای فوری و تجزیه و تحلیل عمیق تر در دسترس هستند.

منابع آب منازل مسکونی در معرض آلودگی ناشی از بقایای لوله و گل و لای هستند که باعث کدر شدن، طعم و بوی بد آب می‌شود. یکی از عناصر کلیدی برای تعیین کیفیت آب، کدورت است. مطالعه Ibrahim et al., (2018) یک سیستم مقرون به صرفه را بر اساس یک دستگاه تشخیص نور برای اندازه‌گیری کدورت آب پیشنهاد می‌کند. سه جزء معماری سیستم عبارتند از رابط کاربری، دستگاه دروازه و سنجش کدورت. یک میکروکنترلر با خروجی‌های دیجیتال می‌تواند بارهای بزرگتر را کنترل کند. هنگامی‌که سطح کدورت به یک نقطه خاص برسد، سیستم فرآیند فیلتر و تمیز کردن آب را آغاز می‌کند. در دو محیط مجزا که تاریکی و نور محیط هستند، ولتاژ خروجی ثبت شده از سیستم توسعه‌یافته در مقابل کل جامد معلق (TSS۲۳) در یک نمونه آب نمودار و بررسی می‌شود. برای هر دو آشکارساز ۹۰ درجه و ۱۸۰ درجه، کدورت‌سنج‌هایی نصب شد و مشخص شد که روند نمودار پیش‌بینی‌شده با افزایش کل جامدات معلق کاهش می‌یابد و روندهای یک کدورت‌سنج تجاری را شبیه‌سازی می‌کند. Vijayakumar (2021) با استفاده از یک سرویس Thingspeak.io، برای تحلیل داده‌ها به دست آمده استفاده کردند. با در نظر گرفتن یافته‌های فوق، طراحی برای یک سیستم نظارت بر کیفیت آب مبتنی بر وب در زمان واقعی و کم هزینه در یک محیط IoT پیشنهاد شد.

از طرق مختلف، آب برای زندگی روزمره حیاتی است. فن آوری‌هایی که به مسائل مربوط به آب می-پردازند شامل مدیریت تطبیقی، سنجش از راه دور، یکپارچه سازی اطلاعات جهانی و غیره است. Chellaswamy et al., (2018) از سیستم مدیریت آب سد (IoT-DWM) مبتنی بر اینترنت اشیا برای کاهش هدر رفت آب استفاده کردند. IoT-DWM همچنین شامل بسیاری از عناصر، از جمله بخش شبکه اینترنت اشیا، بخش حسگر میدان و بخش کنترل سد است. داده‌ها را می‌توان توسط چندین حسگر تنظیم شده در منطقه مزرعه کشاورزی نظارت کرد و داده‌ها به سرور منتقل می‌شود. کنترل کننده سد داده‌های واقعی را برای مکان خاص به دست می‌آورد و تقاضای آب را محاسبه می‌کند. نیاز آبی بر اساس محصول کاشته شده در آن مکان متفاوت است. هنگام پیش‌بینی نیاز آب، کنترل‌کننده چندین نقطه داده مانند انواع محصول در آن مکان، دما، رطوبت و سرعت باد را در نظر می‌گیرد. استفاده از IoT-DWM برای شبیه سازی تقاضای آب منجر به عملکرد بیشتر، صرفه جویی قابل توجه در آب و کاهش کمبود آب می-شود. در نتیجه تنظیم خودکار اهرم کنترل جریان توسط کنترل کننده بسته به آب و هوا، مقدار قابل توجهی از آب سد صرفه جویی می‌شود. Nandhini et al., (2017) مدیریت موثر آب و سیستم تشخیص نفوذ را با استفاده از اینترنت اشیا توسعه دادند. سیستم آبیاری خودکار برای اندازه گیری پارامترهای خاک از جمله رطوبت خاک، pH و رطوبت مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر تشخیص داده شده سنسور فشار روی داشبورد نمایش داده می‌شود. با کمک سنسور PIR، سیستم تشخیص نفوذگر انجام می‌شود و پرندگان از رسیدن به مزرعه کشاورزی منع می‌شوند. یک کانال ارتباطی بین کشاورز و مزرعه کشاورزی با استفاده از ماژول GSM ایجاد شده است. کشاورز از طریق پیامک از وضعیت فعلی مزرعه مطلع می‌شود و از طریق داشبورد به کشاورزان کمک می‌کند تا نیروی انسانی و زمان خود را کاهش دهند.

برای بررسی عرضه و تقاضای آب لوله کشی در تایوان، از مدیریت هوشمند آب (IWM) استفاده شده است. هدف تحقیق Li et al., (2017) ارتقای مدیریت آب است. این سیستم با استفاده از فناوری SCADA که از حسگرها در زیرساخت توزیعی استفاده می‌کند، دارایی‌ها را مدیریت کرده، تخلیه را نظارت می‌کند، کیفیت را ارزیابی می‌کند و نشت آب را تشخیص می‌دهد. نویسندگان نمونه اولیه‌ای را برای نظارت هوشمند بر آب در مناطق شهری از طریق نصب کنتور آب

هوشمند پیشنهاد کردند. با این حال، شارژ آب بالاتر عامل انگیزشی برای توسعه آن نیست. این کشور دارای توزیع آب ناهموار و پیشرفته ICT است. از این رو، یک منطقه ایده آل برای تطبیق فناوری اینترنت اشیا است. شهرهای هوشمند یک موضوع رو به رشد هستند که در آن کاربرد و تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها عوامل کلیدی موفقیت هستند. سه مرحله برای نشان دادن مدیریت هوشمند آب مورد استفاده قرار می‌گیرد: (۱) انتخاب روش انتقال داده. (۲) نصب تجهیزات ارتباطی و ایجاد پایگاه داده ابری. و (۳) پیاده سازی برنامه‌های کاربردی ارزش افزوده از طریق داده‌های بزرگ. با مدیریت هوشمندانه سیستم آبرسانی که راه را برای استفاده بهینه از منابع آب هموار می‌کند، می‌توان در مصرف آب و انرژی صرفه جویی کرد. آب جزء حیاتی زندگی و پایداری موجودات زنده است. جمعیت شهرها در عصر مدرن به سرعت در حال افزایش است زیرا افراد بیشتری از روستاها به مناطق شهری مهاجرت می‌کنند. Shevale et al., (2018) یک استراتژی مبتنی بر اینترنت اشیا را برای رسیدگی به نیاز به نظارت بر کیفیت آب پیشنهاد کردند. داده‌ها از طریق حسگرها جمع‌آوری می‌شوند و در زمان واقعی از طریق داشبورد ابری در دسترس قرار می‌گیرند. سیستم پیشنهادی از حسگرهای مختلفی از جمله سنسور سطح آب، سنسور pH، سنسور جریان آب و شیر کنترل آب، علاوه بر Raspberry Pi که به عنوان کنترل‌کننده برجسته سیستم عمل می‌کند، استفاده می‌کند. یک میکروکنترلر داده‌های حسگر را قبل از ارسال به ابر با استفاده از یک ماژول ارتباطی بی سیم بررسی می‌کند. تامین آب با کیفیت مناسب برای هر خانه، کسب و کار و سایر موسسات با مقدار مناسب از مزایای این سیستم است که می‌تواند در پیاده سازی شهر هوشمند مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده از اینترنت اشیا و هوش مصنوعی برای مدیریت موثر آب

در تحقیق Baek et al., (2020)، نویسندگان حافظه کوتاه مدت-بلند مدت (LSTM۲۴) را با یک مدل یادگیری عمیق مجموعه و یک شبکه عصبی کانولوشنال (CNN۲۵) برای شبیه سازی کیفیت آب و سطح آب در حوضه رودخانه ناکدونگ کره جنوبی اتخاذ کرده اند. پارامترهای کیفی آب در نظر گرفته شده محتوای کربن آلی، فسفر و نیتروژن بود. CNN مقدار NSE قابل قبول ۰/۹۳۳ را تولید کرد و سطح آب در فصل بارانی بالا و در سایر فصول کم است. LSTM مقدار ۰/۷۵ را تولید کرد که در محدوده "عملکرد بسیار خوب" قرار دارد. علاوه بر این، نویسندگان این تکنیک را برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی مانند اکسیژن محلول، کلروفیل، باکتری‌های مدفوع و جلبک‌ها به کار گرفتند. Jan et al., (2021) یک مدل مبتنی بر اینترنت اشیا را برای شبیه‌سازی سطح آب و کیفیت آب به کار گرفته‌اند. در این سیستم از سنسور LV-MAXSONAR-EZ1 برای نظارت بر کیفیت آب، DS18B20، SKU SEN0219 برای نظارت بر CO2، دما و سنسور KE SEN0189 برای کدورت استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی بر روی کیت توسعه E1-SoC FPGA مستقر شده است. پارامترهای خروجی عملکرد مانند کدورت، CO2 و دما پایش شدند. با این حال، این مدل سطوح pH را مشخص نکرده است. Chang et al., (2019) یک پلت فرم یکپارچه سازی انفورماتیک آبی (IHIP) را بر اساس یک مدل یادگیری ماشینی توسعه دادند که برای پیش بینی آنلاین سیل و طغیان در عمق سیل منطقه‌ای استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی هشدارهای مربوط به سیل ناگهانی و طغیان را در مناطق تهدید منطقه منتشر می‌کند. این سیستم شامل پنج ماژول مانند دسترسی به داده‌ها، سرویس دهنده، زیرسیستم عملکردی، یکپارچه سازی داده‌ها و برنامه کاربر نهایی است. نقشه‌های گوگل با یک مدل پیشنهادی ادغام شدند تا تصمیم گیری اولیه در مورد پیش بینی سیل و هشدار به جوامع را افزایش دهند. Sayari et al., (2021) یک سیستم مبتنی بر هوش مصنوعی را پیشنهاد کرده‌اند که شامل SVR، ANFIS، رگرسیون خطی چند متغیره (MLR۲۶)، روش گروهی مدیریت داده (GMDH) و ANN برای پیش‌بینی سیستم آبیاری آب نفوذی است. مدل پیشنهادی بهینه ساز الگوریتم کرم شب تاب (FA) از پارامترهای ورودی مانند زمان پیشروی در انتهای شیار (AT)، نرخ جریان (IQ)، طول شیار (FL)، زمان فرصت نفوذ (IT) و سطح مقطع استفاده می‌کند. جریان ورودی (CI). عملکرد سیستم پیشنهادی بر اساس ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مربع (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، شاخص توافق (IA) و شاخص کارایی نش - ساتکلیف (NSE) ارزیابی شد. مدل‌های بهینه ساز الگوریتم کرم شب تاب دقت RMSE را به ترتیب در GMDH، MLPNN، ANFIS و SVR به میزان ۱، ۴، ۵ و ۴۷ درصد بهبود دادند. Jadhav et al., (2016) مدل پیش‌بینی خودکار کیفیت آب را بر اساس چارچوبی متشکل از میکروکنترلر PIC، حسگرها، سیستم سرور نظارت و ایستگاه پایه معرفی کرده‌اند. مدل پیشنهادی از پارامترهایی مانند دما، کدورت و pH برای تجزیه و تحلیل کیفیت آب استفاده می‌کند. سیستم جهانی ارتباطات سیار (GSM) برای جمع آوری داده‌ها از ایستگاه‌های پایه استفاده شد. سیستم GSM سیگنال‌های هشدار را از طریق سرویس پیام کوتاه (SMS) به مرکز مدیریت ارسال می‌کند که کیفیت آب در سطح مورد انتظار نباشد. با این حال، مدل پیشنهادی محدود به اندازه‌گیری کیفیت آب است و بر چالش‌های مهم دیگر مانند نشت آب و قطع آب متمرکز نیست. Shah (2017) یک سیستم IoT هوشمند را توسعه داده اند که شامل حسگرهای مختلف برای جریان آب، شیر تامین آب، pH و کنترل کننده هسته تمشک است. مدل پیشنهادی سیستم

ذخیره آب را با استقرار یک رابط وب کنترل/نظارت می‌کند. رابط وب مدیریت یکنواخت تامین آب را به تمام نقاط تامین آب تضمین می-کند. با این حال، این مدل برای استقرار در سیستم تامین آب بلادرنگ با ویژگی‌های مختلف گران است. Yang et al., (2016) یک مدل هوشمند برای پیش‌بینی ریسک در فناوری پردازش رویداد پیچیده (CEP۲۷) مبتنی بر سیستم‌های مدیریت تامین آب پیشنهاد کرده‌اند. این مدل همچنین امکان کنترل دستگاه را از راه دور برای تامین آب در زمان واقعی فراهم می‌کند. با این حال، مقیاس پذیری و انعطاف پذیری را در یک سناریوی بلادرنگ فراهم نمی‌کند.

Allen et al., (2013) پلتفرم WaterWise را برای مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده از سیستم هوشمند IoT به کار گرفتند. پلت فرم پیشنهادی از وظایف مختلفی از جمله تشخیص آنلاین نشت آب، نشت لوله، تقاضای آب و پیش‌بینی آب هیدرولیک و اندازه‌گیری کیفیت آب پشتیبانی می‌کند. پلت فرم توسعه یافته برای نشان دادن مدیریت هوشمند تامین آب استفاده می‌شود. با این حال، این مدل از پیش بینی پویا در بروز هر گونه مشکل در مدیریت آب پشتیبانی نمی‌کند. Marjani et al., (2017) یک مدل لایه‌ای را توسعه دادند که شامل یک لایه کاربردی، لایه ارتباطی اطلاعات و لایه درک دستگاه است. این مدل بر توسعه سیستم مدیریت تامین آب موثر برای خودکارسازی مدیریت آب برای مصارف خانگی تمرکز دارد. لایه اول اطلاعات مربوط به آب مانند کیفیت، نشت آب و میزان آب مصرفی را برای نقاط مختلف اتصال ذخیره می‌کند. لایه دوم برای به دست آوردن داده‌ها استفاده می‌شود و لایه سوم شبکه‌های حسگر هستند که برای تشخیص نشتی استفاده می‌شوند. در کار مشابه Wu et al., (2017)، یک راه حل مبتنی بر اینترنت اشیا برای تشخیص خودکار نشت لوله آب پیاده سازی کردند. مدل پیشنهادی شامل چندین دستگاه اینترنت اشیا و خدمات ابری برای تشخیص کارآمد نشت لوله است. این مدل با استقرار سنسورها در مکان‌های استراتژیک، میزان نشت و هدر رفتن آب توسط نشت را پیدا می‌کند.

Saraiva et al., (2020) مدل‌های تشخیص خودکار یادگیری عمیق یکپارچه را با U-net و CNN پیشنهاد کردند. هدف اصلی سیستم پیشنهادی یافتن وضوح زمانی و سیستم تصویربرداری فضایی بالا است که سیستم‌های آبیاری مرکز محوری را ترسیم می‌کند. سیستم پیشنهادی از تصاویر ماهواره ای Palnetscope با وضوح فضایی بالا بر روی سیستم U-net اصلاح شده استفاده می‌کند. U-Net از کتابخانه TensorFlow و پلت فرم ابری گوگل برای آموزش تصاویر استفاده می‌کند. پارامترهای تولید شده از مدل‌های پیشنهادی فراخوانی ۸۸ درصد و دقت ۹۹ درصدی است. با این حال، این مدل برای آموزش و تقسیم بندی ۲۴ ساعت طول می‌کشد. Figueiredo et al., (2021) مدلی برای نظارت و کنترل یک سیستم توزیع آب از راه دور در یک شهر هوشمند با استقرار یک راه حل دیجیتال آب WaterWise ارائه کردند. مدل پیشنهادی شامل چندین مرحله از دستیابی به داده‌ها و مدیریت برنامه است. در مرحله اول داده‌ها از طریق سنسورها جمع آوری شده و به لایه بعدی ارسال می‌شوند. برای رسیدن به ارسال و دریافت داده‌ها از MOSCA، Eclipse Ponte استفاده می‌شود. فاز دوم مسئول یکپارچه سازی داده-ها است که شامل داده‌های شخص ثالث مانند اطلاعات آب و هوا می‌باشد. Apache Flink برای تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده و شناسایی رویدادهای زمان واقعی استفاده می‌شود. Cassandra و PostgreSQL برای ذخیره داده‌ها استفاده می‌شوند. پشته Apache Spark برای بهبود مدیریت آب استفاده می‌شود. هوش مصنوعی به دلیل سهولت استفاده، سازگاری و استفاده از داده‌های تاریخی برای پیش بینی الگوهای مصرف انرژی در آینده تحت محدودیت، می-تواند خروجی انرژی کشاورزی و پیامدهای زیست محیطی را پیش بینی کند. Nabavi-Pelesaraei et al., (2018) در یک کار تحقیقاتی خروجی انرژی تولید شالیزار و تاثیرات زیست محیطی را در ایران با استفاده از ANN و ANFIS پیش بینی می‌کند. در شالیزارهای مزرعه، انتشار گازهای گلخانه‌ای کانون گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتروفیکاسیون است. در کودهای کشاورزی، انتشار گازهای گلخانه ای نیز آب را آلوده می‌کند. کمپوست یک کود آلی توصیه شده است. کمپوست از شسته شدن در آب‌های زیرزمینی یا نهرها جلوگیری می‌کند. میکروارگانیسم‌های کمپوست می‌توانند فلزات سنگین را در خاک بچسبانند و از شسته شدن در آب جلوگیری کنند. بهترین مدل پیش بینی انرژی ۱۲-۶-۸-۱ ANN است. انرژی خروجی پیش‌بینی‌شده با استفاده از رویکرد یادگیری ترکیبی، با R در محدوده ۰/۸۶ تا ۰/۹۹۷ برای پیامدهای زیست‌محیطی تعیین شد. نتایج به‌دست‌آمده ثابت می‌کند که ANFIS چند سطحی یک تکنیک سودمند برای تعیین بازده انرژی در مقیاس بزرگ و محاسبه موثر شاخص‌های محیطی تولید کشاورزی است.

پیش‌بینی بازده رسوب معلق (SSY۲۸) نقش مهمی‌در مدیریت و طراحی منابع آب دارد. بسیاری از مکانیسم‌های پیچیده، پیش‌بینی دقیق رسوب را با استفاده از مدل‌های سنتی بسیار چالش برانگیز می‌سازند. Yadav et al., (2017) مطالعه‌ای در حوضه رودخانه گوداوری، هند با یک مدل هوش مصنوعی بسیار تعمیم‌یافته، کاملاً خودکار، قوی و دقیق برای پیش‌بینی SSY انجام داد. یک مدل هوش مصنوعی که برای پیش‌بینی SSY مناسب است، الگوریتم ژنتیک (GA) همراه با ANN (GA-ANN) است. پارامترهای ANN به یکباره با

کمک GA ساده می‌شوند. تخلیه روزانه آب و سطح آب برای آموزش GA-ANN و تعیین SSY در Polavaram، که در بخش پایین دست رودخانه است، استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل بین مدل GA-ANN، مدل رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و مدل منحنی رتبه‌بندی رسوب (SRC) انجام شد تا مشخص شود هر مدل چقدر خوب عمل می‌کند. GA-ANN دارای کمترین بایاس (۰/۰۲) و حداکثر ضریب همبستگی (۰/۹۲۷) از همه مدل‌های مقایسه شده است. در مقایسه با مدل‌های معمولی‌تر، مدل GA-ANN پیش‌بینی بهتری از SSY ارائه می‌دهد. به دلیل نشت آب و میزان آلودگی زیاد، مدل‌سازی خرابی لوله‌های آب یکی از موضوعات محبوب برای دو دهه بوده است. از آنجایی که بین وقوع شکست و عواقب آن فاصله زمانی وجود دارد، تشخیص فرآیندهای شکست دشوار است. در دو دهه اخیر، تکنیک‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و ارزیابی زوال شبکه توزیع آب محبوبیت پیدا کرده‌اند. ادبیات فاقد تحلیل دقیق مدل‌سازی زیرساخت‌های آب با استفاده از هوش مصنوعی و ML است. Dawood et al., (2020) در تلاش برای درک شکاف‌های اطلاعاتی و محدودیت-ها دو هدف را دنبال کرد. ابتدا، یک استراتژی سیستماتیک برای انجام یک بررسی جامع ادبیات شرح داده شده است. مدل‌سازی زوال مبتنی بر هوش مصنوعی برای سیستم‌های آب شهری، از جمله رویکردها، مشارکت‌ها، اشکالات، مقایسه‌ها و نقدها بررسی می‌شود. دوم، جهت‌گیری‌ها و مشکلات تحقیقاتی جدید برای کمک به ایجاد یک دستور کار پر جنب و جوش برای خراب شدن لوله آب شناسایی می‌شوند. امروزه آب برای توسعه اجتماعی-اقتصادی و محیط‌های سالم مهم است. منابع آبی که در کاهش فقر و پیش برد عدالت موثر و کارآمد هستند. تغییرات آب و هوایی با افزایش عدم اطمینان، مشکلات مدیریت منابع آب را تشدید خواهد کرد. آینده تمدن در گرو مدیریت منابع آب پایدار است. محدودیت‌های هیدرولیکی، دینامیک تصادفی و اثرات غیرخطی، برنامه‌ریزی اکولوژیکی آب را دشوار می‌کند. Xiang et al., (2021) برنامه ریزی منابع آب پویا هوشمند تطبیقی (AIDWRP) را برای محیط‌های آب شهری پایدار پیشنهاد می‌کند. نوعی هوش مصنوعی که برای شبیه سازی توسعه پایدار آب استفاده می‌شود، هوش تطبیقی است. تصمیم گیری مبتنی بر داده و بهره وری آب زمانی افزایش می‌یابد که تکنیک‌های هوش مصنوعی عددی با توانایی‌های فکری انسان ترکیب شوند. فرآیند تصمیم گیری مارکوف (MDP[۲۹]) در AIDWRP برای بهینه سازی روش‌های برنامه ریزی و مدیریت زیست محیطی برای مدیریت پویای منابع آب با مصرف سالانه و محدودیت‌های مکانی آزاد شده استفاده می‌شود. در نتیجه، اقتصاد محلی به گونه‌ای مؤثرتر عمل می‌کند که عرضه و تقاضا برای منابع آب کاهش می‌یابد.

Mercier-Laurent (2021) بررسی می‌کند که چگونه هوش مصنوعی ممکن است به پایداری کمک کند. یکی از بزرگترین دغدغه‌ها در حال حاضر توسعه پایدار است. پایداری و توسعه دو معیار متقابل هستند. ابتکارات فعلی برای رسیدگی به بحران جهانی از طریق فعالیت‌های فردی تأثیر کمتری نسبت به پیش بینی‌ها دارد. ابتکارات نوآوری در محیط زیست بیشتر بر تحرک هوشمند، استفاده کارآمد از انرژی و آب و بازیافت زباله متمرکز است، اما این ابتکارات نیاز به تکامل رفتاری و شناختی را در نظر نمی‌گیرند. بازار فناوری اطلاعات در نتیجه ایده‌هایی مانند شهرهای هوشمند، نوآور، سبز و خردمند که برای حمایت از فناوری‌های موجود توسعه یافته‌اند، در حال تغییر است. اکثر خدمات شامل پردازش داده‌ها با استفاده از تکنیک‌های آماری و بهینه سازی است. این مقاله نشان می‌دهد که چگونه استفاده از رویکردها و تکنیک‌های هوش مصنوعی همراه با استدلال خوب می‌تواند به یافتن راه‌هایی برای حل بحران سیاره کمک کند.

Chang et al., (2021) سیستم Omni IoT را مستقر کرد که یک سیستم مدیریت فرهنگ قفس هوشمند، یک سیستم تغذیه هوش مصنوعی و تجزیه و تحلیل تصویر زیر آب است. سیستم Omni IoT متشکل از یک سیستم ابری، حسگرها، autogiros، ROVs، یک پلت فرم زیر آب و ضد آب و یک سیستم ارتباطی است که امکان جمع آوری سریع حجم عظیمی‌از داده‌ها در مورد ماهی و تغذیه را فراهم می‌کند. مدیران می‌توانند از داده‌های بزرگ برای مراقبت از محیط زیست و میزان مصرف غذای ماهی استفاده کنند. در چارچوب محاسبات هوش مصنوعی، می‌توان از مقادیر انبوه داده نیز برای بررسی تصاویر موجودات دریایی و ماژول‌های سیستم تغذیه هوش مصنوعی استفاده کرد. تجزیه و تحلیل عکس، بدون مزاحم، در زمان واقعی و وضعیت به‌روز که فناوری پردازش تصویر زیر آب ارائه دهد می‌تواند برای شرکت‌های آبزی پروری بسیار مفید باشد. برنامه تغذیه هوش مصنوعی بر اساس حجم پاشش پاشیده شده توسط رقابت برای ماهی است. بر اساس نتایج، نویسندگان تاکید کردند که پس از افزودن هوش مصنوعی به سیستم تغذیه خودکار، مقدار غذای هدر رفته به نصف کاهش یافت. برای نظارت بر محیط زیست، اکتشاف و دفاع، اینترنت اشیاء زیر آب (IoUT) در دهه گذشته محبوبیت پیدا کرده است. سیستم‌های IoUT سنتی از ML برای اطمینان از قابلیت کاربرد، کارایی و به موقع بودن استفاده می-کنند. مطالعه Victor et al., (2022) نشان می‌دهد که حریم خصوصی و امنیت چقدر برای چارچوب‌های IoUT حیاتی هستند. یادگیری فدرال (FL) یک سیستم یادگیری ماشینی ایمن و غیرمتمرکز است که به مشکلات IoUT کمک می‌کند. این مطالعه کاربرد FL در IoUT، مشکلات آن، موضوعات حل نشده و جهت‌های تحقیقاتی آینده را توصیف می‌کند. Glória

et al., (2020) یک مدیریت آب آبیاری پایدار مبتنی بر اینترنت اشیا را برای مزارع کشاورزی و باغ‌ها بدون دخالت انسان توسعه داده‌اند. سیستم پیشنهادی از مدیریت کارآمد تامین آب با صرفه جویی در ضایعات آب همراه با سایر منابع طبیعی پشتیبانی می‌کند. این مدل از داده‌های بلادرنگ برای مدیریت تامین آب به باغ‌ها استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی با استفاده از شبکه اینترنت اشیا با تجزیه و تحلیل پارامترهایی مانند سطوح رطوبت خاک، دما و رطوبت، تا ۲۶ تا ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی می‌کند.

کاربردهای IoT و DL در جنبه‌های مختلف در مدیریت آب

مدل‌های یادگیری عمیق اخیر برای پیش‌بینی کیفیت آب

مدل‌های مختلف DL و ML مکانیسم‌هایی را برای تعیین کیفیت آب مورد استفاده برای اهداف متنوع ارائه می‌دهند. این بخش به کاربردها، زیرساخت‌ها و مدل‌های مختلف برای تعیین کیفیت آبی می‌پردازد که قرار است برای مصارف مختلف استفاده شود. افزایش آلودگی آب در سرتاسر جهان عاملی خطرناک برای کیفیت آب است. اندازه‌گیری این آلاینده‌ها با مدل‌های Machine Learning و Auto-ML با کاربردهای فعلی امکان‌پذیر است. با این حال، آنها نیاز به پس زمینه و مدل سازی صحیح ریاضی دارند. از این رو، مدل‌های یادگیری عمیق برای اندازه‌گیری کیفیت آب ترجیح داده می‌شوند، زیرا پارامترهای درگیر با اندازه‌گیری‌های کیفیت آب عمدتاً داده‌های سری زمانی هستند. تحقیقات اخیر در مورد یادگیری عمیق بر تکنیکی به نام "Bi-LSTM" تمرکز دارد. این مدل با داده‌های سری زمانی کار می‌کند و از این رو برای ارزیابی دوره‌ای کیفیت آب مفید است. این کار با جمع آوری داده‌های ماهانه گزارش کیفیت برای حدود شش سال در رودخانه یامونا، دهلی نو (۲۰۱۳-۲۰۱۹) انجام می‌شود. مدل Bi-LSTM نه تنها بر آموزش تمرکز دارد، بلکه به طور عمده بر انتساب ارزش گمشده نیز تمرکز دارد. این تخمین برای به حداقل رساندن خطاهای اندازه گیری بسیار مهم است. اولین مرحله از Bi-LSTM شامل تعیین چگونگی نسبت دادن مقادیر از دست رفته است. مرحله دوم شامل ایجاد نقشه‌های ویژگی از داده‌های ورودی است. مرحله سوم شامل آموزش است. مرحله چهارم شامل ارائه یک تابع ضرر بهینه است که خطاهای یادگیری را به حداقل می-رساند. تجزیه و تحلیل تجربی در سطوح BOD و COD انجام شده است. سطوح COD نتایج MSE، RMSE، MAE و MAPE را به ترتیب ۰/۰۱۵، ۰/۱۱۷، ۰/۱۱۵ و ۲۰/۳۲ برای منطقه Palla ارائه می‌کنند. تجزیه و تحلیل BOD نشان می‌دهد که مقادیر MSE، RMSE، MAE و MAPE به ترتیب ۰/۱۰۷، ۰/۱۰۸، ۰/۱۲۴ و ۱۸/۲۲ است. با توجه به تحلیل مقایسه، مدل پیشنهادی از نظر بهترین دقت پیش‌بینی با کمترین میزان خطا از همه مدل‌های دیگر فراتر است. استفاده از حسگرهای هوشمند در اندازه گیری کیفیت آب راه حل‌های سطح بعدی را برای کاربردهای اندازه گیری کیفیت آب فراهم می‌کند (Khullar et al., 2022).

تحقیق Nemade et al., (2022) از حسگرهای هوشمند برای جمع‌آوری پارامترهای کیفیت آب استفاده می‌کند. سپس، مقادیر از دست رفته و نقاط پرت در داده‌های حسگر با فرآیند تمیز کردن داده‌ها حذف می‌شوند. بعداً، ویژگی‌ها برای ارائه یادگیری با تکنیک G-SMOTE استخراج می‌شوند. این مدل از تکنیک تنظیم پارامترهای فوق با یک مدل چند کلاسه یادگیری عمیق با شبکه عصبی MDLNN استفاده می‌کند. این مدل یادگیری افزایشی داده‌های دیده نشده را فراهم می‌کند. این مدل از دست دادن اعتبار ۰/۰۴۱۵٪ و دقت ۹۹/۳۴٪ را ارائه می‌دهد. Prasad et al., (2022) پیشنهاد می‌کند که استفاده از تکنیک‌های یادگیری عمیق خودکار برای تعیین کیفیت آب نتایج بهتری به دست می‌دهد. یادگیری عمیق خودکار (Auto DL) یکی از جدیدترین و امیدوارکننده ترین فناوری‌ها است. این فناوری شامل تفسیر ساده و ایجاد مدل احتمالاً با حداقل مقدار کدگذاری است. زمان اجرا نیز در مقایسه با تکنیک‌های یادگیری عمیق معمولی کمتر است. دقت اندازه گیری داده‌های باینری در مدل‌های معمولی برای یادگیری عمیق بیش از ۱/۸ درصد از مدل Auto-DL است و دقت در مورد مدل-های داده چند کلاسه، حدود ۱ درصد بیشتر از مدل Auto-DL است. دقت مدل DL معمولی حدود ۹۸-۹۹ درصد و برای مدل Auto DL حدود ۹۶-۹۸ درصد است. با این حال، یافتن مدل DL مناسب را به طور خودکار آسان می-کند و پیچیدگی زمانی را در رسیدن به چنین مدل‌هایی در زمان واقعی کاهش می‌دهد. بنابراین، Auto-DL انعطاف پذیری بیشتری را در کاربرد عملی مشکل در زمان واقعی فراهم می‌کند.

چالش عمده در تعیین کیفیت آب، تغییر آلاینده‌ها در آب به دلیل وقوع ناگهانی سیل، باران‌های شدید، مخلوط آب زهکشی، ضایعات صنعتی و فاضلاب است. این ویژگی‌های مختلف تحت اندازه گیری را با تغییر ناگهانی آنها تحت تأثیر قرار می-دهد. این تغییرات ناگهانی ممکن است کیفیت داده‌ها و اندازه گیری-ها را کاهش دهد. اگر تغییر در حین آموزش تجربه شود، بر کارایی تمرین نیز تاثیر می‌گذارد.

کاربردهای اخیر یادگیری عمیق در مورد مدیریت آب باران

پیش بینی بارندگی نقش حیاتی در برداشت و مدیریت آب دارد. آب باران منبع اولیه برای کشاورزی و همچنین برای آب آشامیدنی برای بشر است. پیش بینی بارندگی برای همه در سراسر جهان ضروری و جالب می‌شود. این پیش‌بینی برای

سازمان‌های دولتی نیز بسیار مهم است، زیرا آن‌ها از نیروگاه‌ها در فصول بارندگی از طریق مبدل‌های هیدرولیک استفاده می‌کنند، زمانی که سدها با آب باران پر می‌شوند. کار انجام شده توسط Bhattacharyya et al., (2021) بر داده‌های بارندگی ارائه شده توسط بخش اندازه شناسی در آندرا پرادش، هند متمرکز است که بیش از یک سال ثبت شده است. ویژگی‌ها با استفاده از تقسیم برای شکل دادن به داده‌های آموزشی و آزمایشی تقسیم می‌شوند. این سیستم حول دو مدل ML و یک مدل DL ساخته شده است. مدل‌های ML مدل رگرسیون خطی و SVM و مدل DL CNN بود. در نهایت، هنگام آزمایش دقت، شبکه عصبی ۷۷٪/۱۷ و سپس مدل Linear با ۴۸٪/۸ و SVM با ۳۲٪/۵ قرار گرفتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که حتی در یک مجموعه داده‌های نامنظم مانند داده‌های بارندگی، الگوریتم‌های یادگیری عمیق، پیش‌بینی را بسیار بهتر از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی با دقت بالا انجام می‌دهند و به نظر می‌رسد برای این منظور مناسب‌تر هستند.

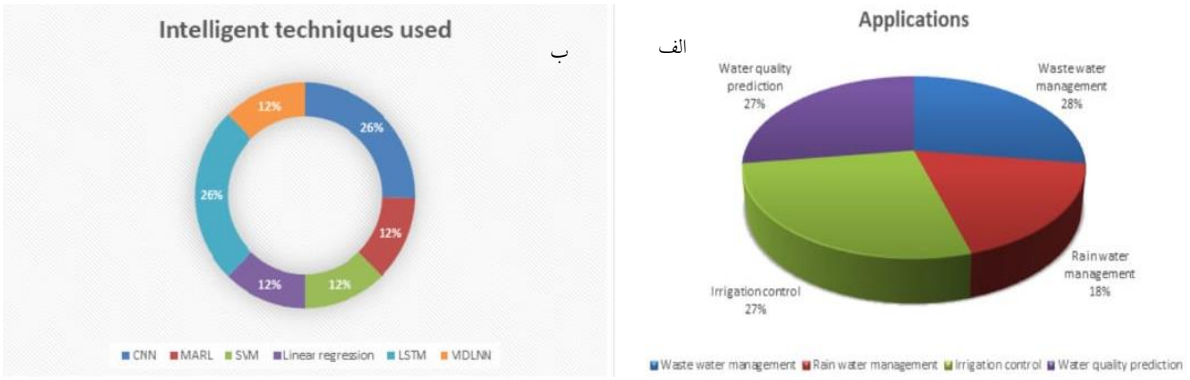
اکثر سیستم‌های جمع آوری آب باران برای حداکثر صرفه جویی در آب طراحی نشده اند. به دست آوردن تاییدیه برای چنین سیستم‌هایی چالش برانگیز است، اما ساخت چنین تاسیسات ذخیره‌سازی مشترک آب باران در محله‌های شهری نیز بسیار مهم است. به دلیل پیچیدگی قابلیت حیات سیستم، بازرسی‌های دستی متعددی مورد نیاز است (Hafizi et al., 2018). به دلیل پیچیدگی قابلیت حیات سیستم، بازرسی‌های دستی متعددی مورد نیاز است. کار پیشنهادی Gaurav et al., (2021) از این فرآیند با ترکیب راه‌حل‌های مبتنی بر بینایی کامپیوتری پشتیبانی می‌کند که کل فرآیند را با اجرای تقسیم‌بندی تصویر پشت بام، تخمین عمق، پیش‌بینی بارندگی و قرار دادن مخزن بهینه با استفاده از یادگیری ماشین و الگوریتم‌های یادگیری عمیق خودکار می‌کند. یک مدل پیش‌بینی غلتکی بر اساس میانگین‌های متحرک خودرگرسیون فصلی (SARIMA) برای پیش‌بینی بارندگی استفاده می‌شود. تکنیک لبه Canny و نگاشت کانتور به مدل تقسیم‌بندی ماسک R-CNN برای محاسبه حجم حوضه پشت بام اضافه شده است. بنابراین، سیستم می‌تواند نقطه سربه سر را برای معیارهای ترکیبی پیش بینی کند و دوام نصب را ارائه دهد.

برداشت و اندازه‌گیری آب باران داده‌های سری زمانی هستند، بنابراین در معرض تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی قرار می‌گیرند. این داده‌ها در یک دوره زمانی طولانی برای تجزیه و تحلیل جمع می‌شوند. از آنجایی که شامل حجم زیادی از داده‌ها است، آموزش کافی برای مدل‌های یادگیری عمیق مورد نیاز است. تغییرات در شرایط آب و هوایی بر ویژگی‌های اندازه گیری تأثیر می‌گذارد، بنابراین کیفیت داده‌ها را به چالش می‌کشد.

استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای اهداف کشاورزی، سایر کاربردهای آب را در سراسر جهان به خطر می‌اندازد. همچنین دسترسی قابل شرب به آب در سراسر جهان را تهدید می‌کند (Ding et al., 2021). طبقات بافت خاک به منظور شناسایی نیازهای آبیاری آن‌ها متنوع است. مدل‌های یادگیری عمیق نقشی حیاتی در ارائه این فرآیند طبقه‌بندی با راه‌حل‌های عملی دارند. این طبقه بندی پیچیده از بافت خاک با استفاده از معماری‌های مختلف و شبکه‌های عصبی انجام شده است. مطالعه پیشنهادی Kurtulmu et al., (2022) یک سیستم سنجش تقریبی را به کار می‌گیرد که از یک دوربین رنگی همراه با سیستم آبیاری هوشمند بینایی کامپیوتری و یادگیری عمیق برای تعیین نیاز آبی سه طبقه بافت خاک تحت شرایط مختلف نور استفاده می‌کند. یک سیستم تصویربرداری نیز برای کاهش حجم کار آموزش تصویر با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنال عمیق مستقر شده است. در این مطالعه از پنج معماری یادگیری عمیق برای شناسایی کلاس‌های بافت آب استفاده می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل‌های یادگیری عمیق نویدهای زیادی برای پیش‌بینی نیاز آبیاری مزرعه تولیدی در شرایط مختلف دارند.

درک نحوه عملکرد سیستم کنترل آبیاری در مقیاس وسیع و سرعت واکنش آن به تنش‌های مختلف برای مدیریت موثر آب ضروری است. Raei et al., (2022) یک مدل یادگیری عمیق را به کار می‌گیرد که سیستم‌های کنترل آبیاری را در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از تصاویر سنجش از دور طبقه بندی می‌کند. این مطالعه یادگیری انتقالی را در اینجا به کار برد تا کارایی آموزشی و عملکرد مدل را بهبود بخشد. این مدل در مقیاس وسیع در مناطق شهری با چهار سیستم آبیاری اعمال می‌شود. برنامه تصویربرداری ملی کشاورزی وزارت کشاورزی ایالات متحده ۸۶۰۰ عکس با کیفیت بسیار بالا را با برچسب مشاهدات واقعی زمین ارائه می‌دهد. یک عملکرد کارآمد در فرآیند تقسیم‌بندی توسط مدل با کلاس‌های مختلف در داده‌های اعتبارسنجی (۷۲-۸۶٪)، داده‌های آموزشی (۹۴-۸۵٪) و داده‌های آزمون (۸۶-۷۰٪) به دست آمد. از آنجا که رویکرد یادگیری عمیق قابل انتقال به مکان‌های دیگر در سراسر جهان است، این مدل انعطاف پذیر است. این مطالعه بینش جدیدی در مورد اثرات یادگیری انتقال، داده‌های آموزشی نامتعادل و اثربخشی توپولوژی‌های مدل مختلف برای تقسیم‌بندی چندین نوع آبیاری ارائه کرد.

تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی بررسی شده در این کار پیشنهادی در نمودار زیر ارائه شده است (شکل ۴). این توزیع نمودار نشان می‌دهد که برنامه‌های کاربردی مدیریت آب ترجیحا از تکنیک‌های یادگیری عمیق مانند CNN یا LSTM (حافظه کوتاه مدت بلند مدت) استفاده می‌کنند. دلیل این امر



شکل ۲. الف- کاربردهای مختلف برای تکنیک‌های مدیریت آب، ب- تکنیک‌های مختلف هوشمند مصنوعی برای مدیریت آب (Krishnan et al., 2022)

این است که در بیشتر موقعیت‌ها، داده‌های آموزشی برای یک برنامه کاربردی مبتنی بر آب، عموماً تصاویر هستند. آموزش یک سیستم با ویژگی‌های مختلف مربوط به داده‌های تصویری و ساخت مدلی برای ارزیابی فرآیندی زمان بر و پیچیده است. این فرآیندها را می‌توان با تکنیک‌های یادگیری عمیق با قدرت دلخواه GPU (واحد پردازش گرافیکی) و نرم افزار مدیریت کرد.

نتیجه گیری

فن آوری‌های نوظهور برای برداشت، مدیریت و بازیافت آب، تقویت مثبتی را برای فرآیندهای حفظ و حفاظت از آب در سطح جهانی فراهم می‌کند. پشتیبانی از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند ماشین و یادگیری عمیق، نقشه راه را برای حفظ منابع آب در آینده فراهم می‌کند. با این رویکرد، مطالعه پیشنهادی بینش‌های مختلفی را در مورد کاربردهای مدیریت آب ارائه می‌کند که حول آخرین مدل‌های شبکه عصبی عمیق با اهمیت و ارتباط آنها با فرآیندهای مختلف مدیریت آب ساخته شده‌اند. این مطالعه همچنین چالش‌ها و فرصت‌های مختلف در رابطه با اجرای شبکه‌های عصبی عمیق برای فرآیند مدیریت آب را مورد بحث قرار می‌دهد، مانند کیفیت داده‌ها و در دسترس بودن در سیستم‌های مدیریت آب مبتنی بر یادگیری عمیق، امنیت در سیستم‌های مدیریت آب مبتنی بر یادگیری عمیق، تجزیه و تحلیل داده‌های آگاه از زمینه در سیستم‌های مدیریت آب مبتنی بر یادگیری عمیق و کارایی آموزش بنابراین، مطالعه پیشنهادی جهت‌گیری‌های آینده را برای فعالیت‌های تحقیقاتی آتی با بینش در مورد چالش‌ها و مسائل باز اجرای مدیریت آب با شبکه‌های عصبی عمیق ارائه می‌کند.

Reference:

Akhund, T.M., Ullah, N., Newaz, N.T., Zaman, Z., Sultana, A., Barros, A., Whaiduzzaman, M. (2022). Iot-based low-cost automated irrigation system for smart farming. In *Intelligent Sustainable Systems*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 83–91.

Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *Chem. Eng. J. 427*, 130011.

Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., Whittle, A.J. (2013). Water distribution system monitoring and decision support using a wireless sensor network. In Proceedings of the 2013 14th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, Honolulu, HI, USA, 1–3 July 2013, pp. 641–646.

Azami, H., Hajatmand, M. and Qanbarabadi, F. 2024, Application of Artificial Intelligence in Water Resources Management, First Biennial International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences, Bushehr, https://civilica.com/doc/2008173. (In Persian)

Baek, S.S., Pyo, J., Chun, J.A. (2020). Prediction of water level and water quality using a CNN-LSTM combined deep learning approach. *Water 12*, 3399.

Balist, J., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R., Nohegar, A. & Geneletti, D. (2021) Modeling the supply, demand, and stress of water resources using ecosystem services concept in Sirvan River Basin (Kurdistan-Iran). Water Supply 22 (3), 2816–2831.

Berthet, A., Vincent, A., Fleury, P. (2021). Water quality issues and agriculture: An international review of innovative policy schemes. *Land Use Policy 109*, 105654.

Bhagat, S.K., Tung, T.M., Yaseen, Z.M. (2020). Development of artificial intelligence for modeling wastewater heavy metal removal: State of the art, application assessment and possible future research. *J. Clean. Prod. 250*, 119473.

Bhattacharyya, D., Swathi, K., Rao, N.T., Ku-mari, N.M.J. (2021). Long term prediction of rainfall in Andhra Pradesh with Deep learning. *J. Med Pharm. Allied Sci. 10*, 3132–3137.

Chang, C.C., Wang, J.H., Wu, J.L., Hsieh, Y.Z., Wu, T.D., Cheng, S.C., Chang, C.C., Juang, J.G., Liou, C.H., Hsu, T.H., et al. (2021). Applying artificial intelligence (AI) techniques to implement a practical smart cage aquaculture management system. *J. Med Biol. Eng. 41*, 652–658.

Chang, L.C., Chang, F.J., Yang, S.N., Kao, I.F., Ku, Y.Y., Kuo, C.L., Amin, I.M.Z.b.M. (2019). Building an intelligent hydroinformatics integration platform for regional flood inundation warning systems. *Water 11*, 9.

Chellaswamy, C., Nisha, J., Sivakumar, K., Kaviya, R. (2018). An IoT based dam water management system for agriculture. In Proceedings of the 2018 International Conference on Recent Trends in Electrical, Control and Communication (RTECC), Johor, Malaysia, 20–22 March 2018, pp. 51–56.

Dawood, T., Elwakil, E., Novoa, H.M., Delgado, J.F.G. (2020). Artificial intelligence for the modeling of water pipes deterioration mechanisms. *Autom. Constr. 120*, 103398.

Ding, L., Yang, Q., Yang, Y., Ma, H., Martin, J.D. (2021). Potential risk assessment of groundwater to address the agricultural and domestic challenges in Ordos Basin. *Environ. Geochem. Health 43*, 717–732.

El Mezouari, A., Fazziki, A. E. & Sadgal, M. (2022). A hybrid artificial neural network: an optimization-based framework for smart groundwater governance. Water Supply 22 (5), 5237–5252.

Emami, S. and Choopan, Y. (2013). Using modern methods of artificial intelligence in investigating the quality of underground water resources (Case study: Selmas plain). Scientific Research Quarterly of Environmental Geology. Year 14, Number 50 Spring 2019. (In Persian)

Fan, G., Xia, J., Song, J., Sun, H. & Liang, D. (2021). Research on application of ecohydrology to disaster prevention and mitigation in China: a review. Water Supply 22 (3), 2946–2958.

Feng, B.-f., Xu, Y.-s., Zhang, T. & Zhang, X. (2021). Hydrological time series prediction by extreme learning machine and sparrow search algorithm. Water Supply 22 (3), 3143–3157.

Figueiredo, I., Esteves, P., Cabrita, P. (2021). Water wise—A digital water solution for smart cities and water management entities. *Procedia Comput. Sci. 181*, 897–904.

Flouris, I., Giatrakos, N., Deligiannakis, A., Garofalakis, M., Kamp, M., Mock, M. (2017). Issues in complex event processing: Status and prospects in the big data era. *J. Syst. Softw. 127*, 217–236.

Gaurav, V., Vinod, V., Singh, S.K., Sharma, T., Pradyumna, K., Choudhary, S. (2021). RainRoof: Automated Shared Rainwater Harvesting Prediction. In *Sustainable Communication Networks and Application*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 105–122.

Gautam, G., Sharma, G., Magar, B.T., Shrestha, B., Cho, S., Seo, C. (2021). Usage of IoT Framework in Water Supply Management for Smart City in Nepal. *Appl. Sci. 11*, 5662.

Gaya, M., Zango, M., Yusuf, L., Mustapha, M., Muhammad, B., Sani, A., Tijjani, A., Wahab, N., Khairi, M. (2017). Estimation of turbidity in water treatment plant using Hammerstein-Wiener and neural network technique. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci. 5*, 666–672.

Glória, A., Dionisio, C., Simões, G., Cardoso, J., Sebastião, P. (2020). Water management for sustainable irrigation systems using internet-of-things. *Sensors 20*, 1402.

Goedertier, S., Vanthienen, J., (2015). Caron, F. Declarative business process modelling: Principles and modelling languages. *Enterp. Inf. Syst. 9*, 161–185.

Gonçalves, R., Soares, J.J.M., Lima, R.M.F. (2020). An IoT-Based Framework for Smart Water Supply Systems Management. *Future Internet 12*, 114.

Hafizi Md Lani, N., Yusop, Z., Syafiuddin, A. (2018). A review of rainwater harvesting in Malaysia: Prospects and challenges. *Water 10*, 506.

Ibrahim, S.N., Asnawi, A., Abdul Malik, N., Mohd Azmin, N., Jusoh, A., Mohd Isa, F. (2018). Web based Water Turbidity Monitoring and Automated Filtration System: IoT Application in Water Management. *Int. J. Electr. Comput. Eng. 8*, 2088–8708.

Jadhav, S.B., Pingle, N.S. (2016). Automatic Measurement and Reporting System of Water Quality Based On GSM. *Imp. J. Interdiscip. Res 2*, 657–662.

Jain, H., Buch, M., Babu, P. (2021). Water management system using machine learning. In *Data Engineering and Intelligent Computing*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021, pp. 481–492.

Jan, F., Min-Allah, N., Düştegör, D. (2021). IoT Based Smart Water Quality Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic Applications. *Water 13*, 1729.

Jenny, H., Alonso, E.G., Wang, Y., Minguez, R. (2020). *Using Artificial Intelligence for Smart Water Management Systems*, Asian Development Bank: Mandaluyong, Philippines.

Jun, Z. J., Ming, L. K., Qiang, C. Y., Min, W. & Xin, P. Z. (2022). Impacts of changing conditions on the ecological environment of the Shiyang River Basin, China. Water Supply 22 (6), 5689–5697.

Kamienski, C., Soininen, J.P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., Filev Maia, R., Torre Neto, A. (2019). Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture. *Sensors 19*, 276.

Kanneganti, D., Reinersman, L. E., Holm, R. H. & Smith, T. (2022). Estimating sewage flow rate in Jefferson County, Kentucky, using machine learning for wastewater-based epidemiology applications. Water Supply 22 (12), 8434–8439.

Khullar, S., Singh, N. (2022). Water quality assessment of a river using deep learning Bi-LSTM methodology: Forecasting and validation. *Environ. Sci. Pollut. Res. 29*, 12875–12889.

Koech, R., Langat, P. (2018). Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water 10*, 1771.

Krishnan, S. R., Nallakaruppan, M. K., Chengoden, R., Koppu, S., Iyapparaja, M., Sadhasivam, J., & Sethuraman, S. (2022). Smart water resource management using Artificial Intelligence—A review. *Sustainability*, *14*(20), 13384.

Li, E.Y., Wang, W.H., Hsu, Y.S. (2017). Adopting IoT technology to optimize intelligent water management. In Proceedings of the International Conference on Electronic Business (ICEB), Dubai, United Arab Emirates, 4–8 December 2017, pp. 38–46.

Li, H. Y., Deng, C., Zhao, L., Gong, C. H., Zhu, M. F. & Chen, J. W. (2022b). Ozone water production using a SPE electrolyzer equipped with boron doped diamond electrodes. Water Supply 22 (4), 3993–4005.

Lowe, M., Qin, R., Mao, X. (2022). A review on machine learning, artificial intelligence, and smart technology in water treatment and monitoring. *Water 14*, 1384.

Manu, D., Thalla, A.K. (2017). Artificial intelligence models for predicting the performance of biological wastewater treatment plant in the removal of Kjeldahl Nitrogen from wastewater. *Appl. Water Sci. 7*, 3783–3791.

Marjani, M., Nasaruddin, F., Gani, A., Karim, A., Hashem, I.A.T., Siddiqa, A., Yaqoob, I. (2017). Big IoT data analytics: Architecture, opportunities, and open research challenges. *IEEE Access 5*, 5247–5261.

Maroli, A.A., Narwane, V.S., Raut, R.D., Narkhede, B.E. (2021). Framework for the implementation of an Internet of Things (IoT)-based water distribution and management system. *Clean Technol. Environ. Policy 23*, 271–283.

Mercier-Laurent, E. (2021). Can Artificial Intelligence Effectively Support Sustainable Development? In *IFIP International Workshop on Artificial Intelligence for Knowledge Management*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021, pp. 144–159.

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Wing Chau, K. (2018). Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. *Sci. Total Environ. 631–632*, 1279–1294.

Naik, B., Kaushik, V. & Kumar, M. (2022). Water surface profile in converging compound channel using gene expression programming. Water Supply 22 (5), 5221–5236.

Nandhini, R., Poovizhi, S., Jose, P., Ranjitha, R., Anila, S. (2017). Arduino based smart irrigation system using IoT. In Proceedings of the 3rd National Conference on Intelligent Information and Computing Technologies (IICT '17), Paris, France, 16–17 March 2017, pp. 1–5.

Nasser, A.A., Rashad, M.Z., Hussein, S.E. (2020). A two-layer water demand prediction system in urban areas based on micro-services and LSTM neural networks. *IEEE Access 8*, 147647–147661.

Nemade, B., Shah, D. (2022). An efficient IoT based prediction system for classification of water using novel adaptive incremental learning framework. *J. King Saud-Univ.-Comput. Inf. Sci. 34*, 5121–5131.

Nie, X., Fan, T., Wang, B., Li, Z., Shankar, A., Manickam, A. (2020). Big Data analytics and IoT in Operation safety management in Under Water Management. *Comput. Commun. 154*, 188–196.

Nourani, V., Asghari, P., Sharghi, E. (2021). Artificial intelligence based ensemble modeling of wastewater treatment plant using jittered data. *J. Clean. Prod. 291*, 125772.

Obaideen, K., Yousef, B.A., AlMallahi, M.N., Tan, Y.C., Mahmoud, M., Jaber, H., Ramadan, M. (2022). An Overview of Smart Irrigation Systems Using IoT. *Energy Nexus 7*, 100124.

Oberascher, M., Kinzel, C., Kastlunger, U., Kleidorfer, M., Zingerle, C., Rauch, W., Sitzenfrei, R. (2021). Integrated urban water management with micro storages developed as an IoT-based solution—The smart rain barrel. *Environ. Model. Softw. 139*, 105028.

Okoji, C.N., Okoji, A.I., Ibrahim, M.S., Obinna, O. (2022). Comparative analysis of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and RSRM models to predict DBP (trihalomethanes) levels in the water treatment plant. *Arab. J. Chem. 15*, 103794.

Phasinam, K., Kassanuk, T., Shinde, P.P., Thakar, C.M., Sharma, D.K., Mohiddin, M., Rahmani, A.W. (2022). Application of IoT and cloud computing in automation of agriculture irrigation. *J. Food Qual. 2022*.

Pour Tabari, M.R., Ebadi, T. and Maknoun, R. (2010). Presenting an intelligent model for determining the behavior of changes in the level of underground water, taking into account the dynamic state of the aquifer system. Water and Wastewater Journal, 76 (Winter 2019) 70. (In Persian)

Prasad, D.V.V., Venkataramana, L.Y., Kumar, P.S., Prasannamedha, G., Harshana, S., Srividya, S.J., Harrinei, K., Indraganti, S. (2022). Analysis and prediction of water quality using deep learning and auto deep learning techniques. *Sci. Total. Environ. 821*, 153311.

Radhakrishnan, V., Wu, W. (2018). IoT technology for smart water system. IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications, IEEE 16th International Conference on Smart City. In Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), Exeter, UK, 28–30 June 2018, pp. 1491–1496.

Raei, E., Asanjan, A.A., Nikoo, M.R., Sadegh, M., Pourshahabi, S., Adamowski, J.F. (2022). A deep learning image segmentation model for agricultural irrigation system classification. *Comput. Electron. Agric. 198*, 106977.

Ray, P., Kaluri, R., Reddy, T., Lakshmanna, K. (2021). Contemporary Developments and Technologies in Deep Learning–Based IoT. In *Deep Learning for Internet of Things Infrastructure*, CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 61–82.

Reddy, N., Satya, B. & Pramada, S. K. (2022). A hybrid artificial intelligence and semi-distributed model for runoff prediction. Water Supply 22 (7), 6181–6194.

Roshni, T., Mirzania, E., Hasanpour Kashani, M., Bui, Q.A.T., Shamshirband, S. (2022). Hybrid support vector regression models with algorithm of innovative gunner for the simulation of groundwater level. *Acta Geophys. 70*, 1885–1898.

Saraiva, M., Protas, É., Salgado, M., Souza, C. (2020). Automatic mapping of center pivot irrigation systems from satellite images using deep learning. *Remote Sens. 12*, 558.

Sayari, S., Mahdavi-Meymand, A., Zounemat-Kermani, M. (2021). Irrigation water infiltration modeling using machine learning. *Comput. Electron. Agric. 180*, 105921.

Shah, J. (2017). An internet of things based model for smart water distribution with quality monitoring. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol 6*, 3446–3451.

Shevale, R., Karad, S., Merchant, M., Kardile, A., Mishra, V. (2018). IOT based real time water monitoring system for smart city. *Int. J. Innov. Res. Technol. 3*, 246–251.

Tabatabaei, S., & Nosrati Nahook, H. (2022). Designing and Implementing a Wireless Sensor Node-Based Intelligent Management System for Agricultural Product Irrigation Scheduling and Timing. *Irrigation and Water Engineering*, *13*(2), 391-403. doi: 10.22125/iwe.2022.162683. (In Persian)

Victor, N.C.R., Alazab, M., Bhattacharya, S., Magnusson, S., Maddikunta, P.K.R., Ramana, K., Gadekallu, T.R. (2022). Federated Learning for IoUT: Concepts, Applications, Challenges and Opportunities. *arXiv* arXiv:2207.13976.

Viet, N.D., Jang, D., Yoon, Y., Jang, A. (2022). Enhancement of membrane system performance using artificial intelligence technologies for sustainable water and wastewater treatment: A critical review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 52*, 3689–3719.

Vijayakumar, J. (2021). Turmeric Farm Monitoring System using Wireless Sensor Network with ESP32 Module. In Proceedings of the 2021 Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR), Sathyamangalam, India, 9–10 October 2021, pp. 1–5.

Wang, J., Lei, X., Cai, S. & Zhao, J. (2022). Location identification of river bathymetric error based on the forward and reverse flow routing. Water Supply 22 (5), 5095–5110.

Wu, Y., Kim, K., Henry, M.F., Youcef-Toumi, K. (2017). Design of a leak sensor for operating water pipe systems. In Proceedings of the 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vancouver, BC, Canada, 24–28 September 2017, pp. 6075–6082.

Xiang, X., Li, Q., Khan, S., Khalaf, O.I. (2021). Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environ. Impact Assess. Rev. 86*, 106515.

Xu, C., Sun, Q. & Lu, C. (2022). Analysis of rainfall and temperature characteristics and Its correlation with southern oscillation index in Beijing, China. Water Supply 22 (4), 4544–4557.

Yadav, A., Joshi, D., Kumar, V., Mohapatra, H., Iwendi, C., Gadekallu, T.R. (2022). Capability and Robustness of Novel Hybridized Artificial Intelligence Technique for Sediment Yield Modeling in Godavari River, India. *Water 14*, 1917.

Yan, L., He, X., Lu, C., Sun, Q. & Wu, C. (2021). Groundwater management zones and their groundwater level thresholds in the Tongliao Plain. Water Supply 22 (3), 2586–2595.

Yang, L.I.U., Lei, Z.B., Wu, K.H., Hua, C.A.I., Xuan, L.I., Zhao, X.Y., Tang, Z.M. (2016). Edge-centric Computing for Smart Water Supply: Management and Service. *Destech Trans. Mater. Sci. Eng. 1*, 1–8.

Yousefi, P., Montaseri, M., & Rezaverdinejad, V. (2018). Intelligent Water Resource Allocation System to Mitigating Water Shortage Effects in the Reservoir,Case Study: Bukan Reservoir. *Iranian journal of Ecohydrology*, *5*(2), 343-355. doi: 10.22059/ije.2017.230147.539. (In Persian)

Zanfei, A., Brentan, B.M., Menapace, A., Righetti, M., Herrera, M. (2022). Graph convolutional recurrent neural networks for water demand forecasting. *Water Resour. Res. 58*, e2022WR032299.

Zhang, J., Jing, H., Dong, K., Jin, Z. & Ma, J. (2022). The effect of drip irrigation under mulch on groundwater infiltration and recharge in a semiarid agricultural region in China. Water Supply 22 (4), 4043–4054.

Zhao, L., Dai, T., Qiao, Z., Sun, P., Hao, J., Yang, Y. (2020). Application of artificial intelligence to wastewater treatment: A bibliometric analysis and systematic review of technology, economy, management, and wastewater reuse. *Process Saf. Environ. Prot. 133*, 169–182.

Zhou, K. (2022). Multi-objective water resources optimum allocation scheme based on an Improved Standard Cuckoo Search Algorithm (ISCSA). Water Supply 22 (10), 7893–7903.

یادداشت‌ها

[1] *information and communication technologies*
[2] *storage treatment plant*
[3] *Internet of Things*
[4] *Artificial Intelligence*
[5] *Artificial Neural Network*
[6] *sparrow search algorithm*
[7] *Moore–Penrose generalized inverse method*
[8] *evolutionary algorithm-optimized*
[9] *gene expression programming*
[10] *electrochemical ozone production*
[11] *solid polymer electrolyte*
[12] *Kjeldahl*
[13] *Artificial Intelligence*
[14] *Deep Learning*
[15] *Machine Learning*
[16] *Radial Basis Functions*
[17] *Smart Water Management Platform*
[18] *Smart Rain Barrel*
[19] *REFlex*
[20] *Complex Event Processing*
[21] *Sustainable Development Goals*
[22] *Wireless Sensor System*
[23] *Total Suspended Solids*
[24] *Long Short-Term Memory*
[25] *Convolutional Neural Network*
[26] *Multiply Linear Regression*
[27] *Complex Event Processing*
[28] *suspended sediment yield*
[29] *Markov Decision Process*