نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، ص. ۱۶۶-۱۴۵

Water Management in Agriculture
Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2024, 145-166

مقاله علمی -مروری

مروری بر مدیریت هوشمند آب در استقرار کشاورزی پایدار مبتنی بر اینترنت اشیاء

معین توسن[۱]، عباس خاشعی سیوکی[۲]، علی ماروسی[۳] و محمدرضا قریب[۴*]

چکیده

پیشـــرفت‌های اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات و اینترنت اشـــیاء، فرصـــت‌های جدیدی را برای نظارت و کنترل به‌روز زیر ساخت‌های کشاورزی فراهم نموده‌اند. در این زمینه، فناوری مدیریت هو شمند آب آبیاری، داده‌ها و ابزارهایی را برای کمک به کاربران برای صرفه‌جویی در م صرف آب ایجاد کرده ا ست. این تحقیق به برر سی نقش اینترنت ا شیا در بهبود مدیریت منابع آب اختصاص دارد. پیشرفت‌های قابل‌توجه در فناوری نیمر ساناها و تنوع در حسگرها و د ستگاه‌های هو شمند، امکان جمع‌آوری دقیق بسیاری از داده‌ها را در را ستای بهینه سازی م صرف آب و مدیریت منابع فراهم کرده ا ست. حسگرهای فرا صوتی و جریان آب، به همراه شتاب‌سنج‌ها جهت تشخیص نشت، در این سامانه‌ها نقش اساسی دارند. از نظر کنترل و اتصال، پلتفرم‌های نرم‌افزاری متن‌باز مانند Arduino و Raspberry Pi گزینه‌های محبوب برای واحدهای کنترل بشمار می‌روند. همچنین برای ذخیره‌سازی و پردازش بهینهٔ داده‌ها از پلتفرم‌های ابری ا ستفاده می‌گردد. این تحقیق ن شان می‌دهد ا ستفاده از اینترنت ا شیا به‌عنوان یک راهکار نوین و هوشـــمند، قابلیت بهبود مدیریت و بهره‌وری منابع آب را افزایش می‌دهد. با این‌حال، چالش‌های متعددی ازجمله هزینه و مصـــرف انرژی، حفظ حریم شخصی و امنیت داده‌ها و محدودیت‌های ارتباطات بی‌سیم، نیازمند بهینه‌سازی و توسعهٔ بیشتر این سامانه‌ها را به شکلی جدی مطرح می سازند. این پژوهش به‌عنوان یک پایهٔ ا سا سی برای تحقیقات دانشگاهی و صنعتی در زمینهٔ بهینه سازی سامانه‌های مدیریت آب در کشاورزی با استفاده از فناوری اینترنت اشیا است.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی، سامانه‌های کنترلی، سنسورها، فناوری اطلاعات و ارتباطات، مدیریت منابع آب

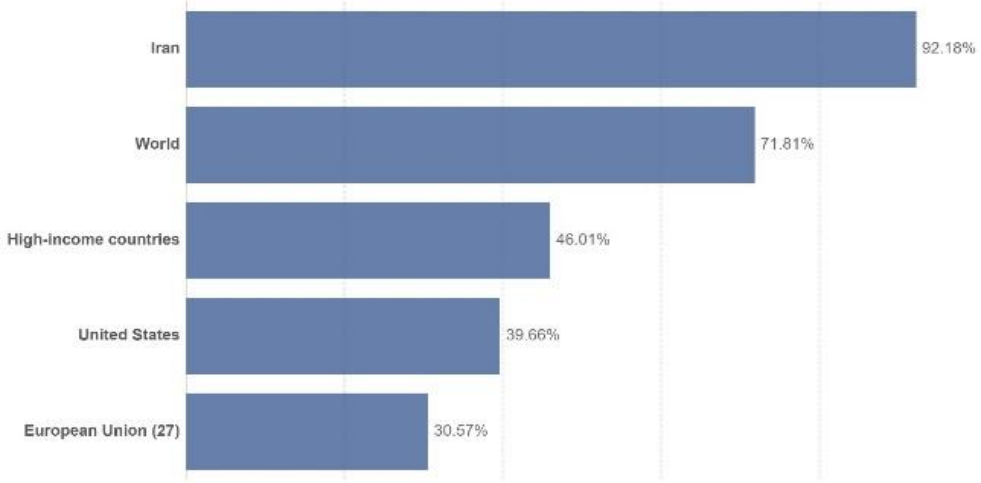
مقدمه

با افزایش تقاضا برای آب، کمبود آب به‌عنوان چالش اساسی در سراسر جهان در حال گسترش است (Kavusi et al., 2020). پیش‌بینی می‌شود که در آینده، انسان‌های بیشتری با کمبود آب مواجه شوند، به‌طوری‌که انتظار می‌رود این تعداد، از ۹۳۳ میلیون نفر در سال ۲۰۱۶ به حدود ۲ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ افزایش یابد (He et al., 2021)؛ در این زمینه گفته می‌شود که ۸۷ کشور از ۱۸۰ کشور دنیا تا سال ۲۰۵۰ با کم‌آبی مواجه خواهند شد (Baggio et al., 2021). نرخ استخراج آب شیرین در بسیاری از مناطق جهان از نرخ تغذیهٔ طبیعی بیشتر است. مصرف آب معمولاً بسته به نوع بخش و نیاز آن متفاوت است. شکل (۱)، درصد مصرف آب در بخش کشاورزی را به‌عنوان درصدی از کل مصرف آب (که مجموع آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شهری است) را نشان می‌دهد.

نظارت بر مصـــرف آب در بخش‌های مختلف به‌منظور مدیریت بهتر یکی از جنبه‌های جوامع هوشمند است که در چند سال اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده اســـت (Tabatabaei et al.,

[۱] دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران
[۲] استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران
[۳] استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران
[۴] دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، ایران (*نویسنده مسئول: m.gharib@torbath.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

2022). توسعهٔ این مفهوم نوآورانه برای بهبود مصرف آب در کشاورزی عمدتاً به پیشرفت‌های اخیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) و به‌ویژه اینترنت اشیا برمی‌گردد. در واقع چالش بزرگ و جهانی در حوزهٔ آب، اطمینان یافتن از "کمیت" و "کیفیت" مناسب آب برای همهٔ مردم است؛ موضوعی که به نظر می‌رسد بسیار ساده باشد، اما درعین‌حال برآوردن هم‌زمان این دو فرآیند در زندگی واقعی بسیار دشوار است.



شکل ۱- درصد مصرف آب در بخش کشاورزی نسبت به کل مصرف آب (بانک جهانی، ۲۰۱۹)

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که علم در این چالش به بن‌بست نرسیده و به لطف دانش‌های جدید ارائه شده توسط حوزهٔ فناوری اطلاعات، به‌ویژه هوش مصنوعی (AI) و مدل‌های یادگیری ماشین(ML) ، روش‌ها و راه‌حل‌هایی نوین برای حل این مشکلات توسعه یافته‌اند. هوش مصنوعی (AI) که بر اساس مدل‌های آماری و به‌اصطلاح با داده‌های بزرگ آموزش داده می‌شود، به الگوریتم‌هایی با توانایی انجام وظایف با قابلیت استنتاج اشاره دارد، درحالی‌که یادگیری ماشین (ML) به‌صورت سامانه‌های هوشمندی عمل می‌کنند که می‌توانند در مرحلهٔ آموزش، داده‌های تازه دریافت شده را یاد گرفته و با آن تطبیق داده شوند (Sajitha et al., 2024). اجرای سامانه‌های آبیاری هنوز در اکثر کشورهای جهان سنتی و دستی است که باعث کاهش راندمان آب می‌گردد؛ بنابراین، شیوه‌ها و فعالیت‌های فعلی در زمینهٔ کشاورزی، مبتنی بر پایداری منابع آب نیست (Tosan & Maroosi, 2024). کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب شیرین در جهان است به‌طوری‌که تا ۷۰ درصد از کل مصرف را به خود اختصاص می‌دهد (Tosan & Maroosi, 2024).

شیوه‌های مدیریت کشاورزی باید در دسترس بودن و کیفیت آب شیرین را به‌طور درازمدت مورد بازنگری قرار دهد و درعین‌حال همچنان آب را برای تولید محصولات کشاورزی در آب‌وهوای گرم و خشک تأمین نماید (Tosan & Beyranvand, 2023). در عصر مدرن، استفاده از هوش مصنوعی در سامانه مدیریت هوشمند آب پیامدهای متعددی برای بهبود تأمین آب و ارائه خدمات کارآمد دارد (Akbarpour et al., 2024). با توسعهٔ AI و ML و فناوری‌های IoT انتظار می‌رود که مدل‌های هوشمندی برای غلبه بر پیچیدگی و چالش‌ها در سامانه‌های مدیریت آب (Salam, 2024) و سامانه‌های تأمین و توزیع آب (Kotwal et al., 2024) ایجاد گردد.

مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کاربردهای مختلف مدیریت آب مانند تصفیهٔ فاضلاب، کنترل آلودگی آب، کشاورزی هوشمند، بهینه‌سازی مصرف آب، خودکارسازی انتقال آب بحرانی، کیفیت آب، نظارت بر سطح آب و روش‌های نوین کشاورزی مبتنی بر آب مانند آکواپونیک و

هیدروپونیک استفاده شده‌اند (Capetillo-Contreras et al., 2024; Pérez-Beltrán et al., 2024).

بیشتر مدل‌های یادگیری ماشین مورد استفاده در حوزهٔ مدیریت آب عبارت‌اند از؛ شبکه‌های عصبی مصنوعی (Tosan & Maroosi, 2024)، سامانه استنتاج فازی عصبی – تطبیقی (Mokarram et al., 2024) شبکه‌های عصبی بازگشتی (Riyadh et al., 2024)، جنگل تصادفی (Ma et al., 2024) و رگرسیون بردار پشتیبان (Yao et al., 2024).

استفاده از حسگرها در خطوط انتقال و توزیع آب، امکان مدیریت هوشمند مصرف آب را فراهم نموده و از طرفی نشتی آب در بخش‌های مختلف سامانه توزیع را نظارت می‌کند. این سنسورها، اطلاعات مصرف آب را به یک سامانه متمرکز انتقال می‌دهند که اطلاعات مصرف آب را ذخیره می‌نماید، نتیجه‌گیری در مورد نشت احتمالی آب‌های ممکن را انجام داده و هشدارهای لازم را به کاربر یا سامانه ارسال می‌کند. به‌طورکلی، جمع‌آوری دائم اطلاعات در مورد سطح، جریان و فشار آب نقشی کلیدی دارد تا بهترین استراتژی مدیریت عملیاتی را شناسایی کرده و از طریق نظارت گسترده‌تر بر منابع آب به یک راهکار کارآمد و با هزینهٔ مناسب برسد (Tosan et al., 2024)(Maiolo et al., 2019).

با توجه به بررسی نقش کلیدی این ابزارهای پیشرفته در صرفه‌جویی منابع آب، مقالهٔ حاضر، مروری از کاربرد سامانه‌های نوآورانه را ارائه می‌نماید تا از استفادهٔ گسترده از فناوری‌های هوشمند و پایدار در مدیریت آب حمایت کند؛ بنابراین، هدف اصلی این مقاله ارائه‌ی یک دید کلی ارزشمند به پژوهشگران و تصمیم‌گیران در زمینهٔ اهمیت پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند و پایدار در حوزهٔ مدیریت منابع آب است. نوآوری مقالهٔ حاضر در مقایسه با بررسی‌های دیگر این است که این مطالعه به‌طور اساسی بر نظارت و مدیریت هوشمند آب با تحقیق در سامانه‌ها و راهکارهای مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT)، به همراه تکنولوژی‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین (AI/ML)، برای اندازه‌گیری سطح آب، نظارت بر مصرف آب و شناسایی نشت و تلفات آب در کشاورزی تمرکز دارد.

مواد و روش‌ها

(مروری بر فناوری‌های مدیریت هوشمند آب)

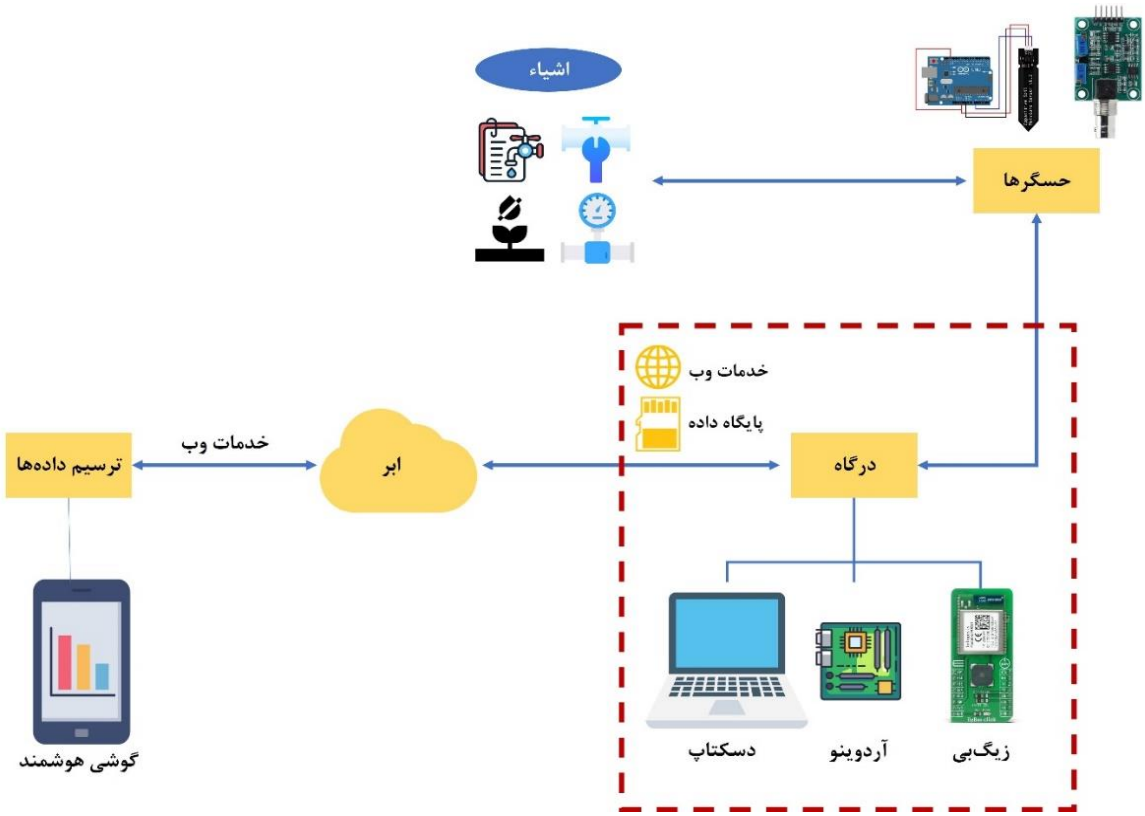
در این مقاله ضمن معرفی چالش‌های اساسی مرتبط با افزایش جمعیت، فعالیت‌های کشاورزی و تغییرات اقلیمی، به بررسی نیازها و اهداف اصلی پژوهشگران در زمینهٔ مدیریت هوشمند منابع آب پرداخته شده است. در ابتدا به اهمیت بهره‌گیری از تکنولوژی‌های مدیریت هوشمند منابع آب از طریق فناوری‌های پیشرفتهٔ اینترنت اشیاء (IoT) اشاره شد. سپس به‌طور ویژه بر اهمیت کاهش هدر رفت آب تمرکز شده و تکنولوژی‌های پیشرفته جهت پایش هوشمند مخازن ذخیره آب و بهینه‌سازی مصرف آب مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به ارائهٔ مروری از تکنیک‌های پایش آب پرداخته شد. این تکنیک‌ها از روش‌های مبتنی بر شبکهٔ حسگرهای بی سیم (WSN) تا نظارت مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) را شامل می‌شوند. سپس به تفصیل روش‌های نظارت بر سطح آب، کنترل نشت آب و پر کردن خودکار مخازن ذخیرهٔ آب مورد ارزیابی قرار گرفت.

در ادامه به‌صراحت به چالش‌ها و روندهای فعلی در زمینهٔ سخت‌افزار، سرورهای ابری و امنیت سایبری مرتبط با اینترنت اشیاء اشاره شد. این بحث با هدف آشنایی با چالش‌های مرتبط با پیاده‌سازی این تکنولوژی‌ها ارائه شد. در بخش پایانی مقاله، به تکنولوژی‌های نوآورانه برای نظارت، کنترل و مدیریت سطح آب، مصرف آب و نشت آب در بخش کشاورزی پرداخته شد و ارزیابی از قابلیت‌ها و پایداری این تکنولوژی‌ها در صرفه‌جویی منابع آب با تأکید بر کاهش تلفات فنی آب و سوء مدیریت انسانی ارائه شد. در پایان، پیشنهادها و جهت‌گیری‌هایی برای جوامع تحقیقاتی مرتبط ارائه شدند، ازجمله افزایش امنیت سایبری IoT، کاهش اثرات بیوفیلم‌ها، معرفی تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و بهینه‌سازی هزینه کلی سامانه‌ها.

اینترنت اشیا

اینترنت اشیا به‌عنوان قابلیتی توصیف می‌شود که به‌طور یکپارچه اشیاء را در اطراف یک محیط به هم متصل کرده و نوعی تبادل پیام را بین آن‌ها انجام می‌دهد. اینترنت اشیا مفهومی است

که در آن اشیا می‌توانند داده‌ها را از طریق شبکه، بدون نیاز به تعامل انسان به انسان یا از انسان به رایانه منتقل کنند. این قابلیت می‌تواند اشیائی را که با هم کار می‌کنند به‌نوعی به‌هم متصل نماید تا درخواست‌های مصرف‌کننده را به شیوه‌ای یکپارچه انجام دهند (Okoli & Kabaso, 2024). توسعهٔ اینترنت اشیا از هم‌افزایی اینترنت، فناوری بی‌سیم و سامانه¬های میکروالکترومکانیکی (MEMS) آغاز می‌گردد. اینترنت اشیا این شبکهٔ کوچک را در میان دستگاه‌های سامانهٔ خود ایجاد می‌نماید. همچنین از قدرت محاسبات برای انتقال داده‌ها به محیط اطراف استفاده می‌کند (Gai et al., 2023). این دستگاه‌ها می‌توانند به شکل سامانه‌های تعبیه شده همچون ابزارها، حسگرها و ریزتراشه‌های آنالیز داده باشند. شکل (۲) گردش کار یک سامانه اینترنت اشیا در مدیریت منابع آب در حوزه کشاورزی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - گردش کار یک سامانه اینترنت اشیا در مدیریت منابع آب

معماری اصلی IoT شامل سه لایه است: لایه فیزیکی، لایه شبکه و لایه برنامه. در لایه فیزیکی، حسگرها داده‌ها را از محیط خارجی جمع‌آوری و تبدیل می‌کنند. داده‌های حساس به زمان می‌توانند به‌صورت همزمان پردازش‌شده و یا در ابر جمع‌آوری یا ذخیره شوند(Yasin et al., 2021) ؛ به‌طور خاص، داده‌ها در لایه شبکه جمع‌آوری‌شده و برای پردازش داده تبدیل می‌شوند (Ageed et al., 2020). درنهایت، لایه برنامه مسئول ارائه خدمات خاص به کاربر است. ابزارآلات IoT که در این اشیاء جانمایی شده‌اند به‌طوری کلی در دو دستهٔ سوئیچ‌ها (که دستور به یک‌چیز می‌فرستند) و سنسورها (که داده‌ها را جمع‌آوری کرده و آن‌ها را به‌جای دیگری ارسال می‌کنند) قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها اطلاعات مربوط به عناصر فیزیکی را به اشتراک می‌گذارند و جمع‌آوری داده‌ها، از طریق فناوری‌های محاسباتی ارزان، داده‌های بزرگ، فضای ابری و فناوری‌های تلفن همراه با مداخلهٔ کم انسانی

انجام می‌شود. بدین ترتیب، دنیای فیزیکی با دنیای دیجیتال درهم‌آمیخته می‌شود و دنیای هایپر اتصالات را ایجاد می‌نماید که با سیستم‌های دیجیتالی، هر تعامل بین اشیاء متصل را ثبت، نظارت و تنظیم می‌کند (Kopetz et al., 2011; Li et al., 2015; Cui, 2016). سامانهٔ معمول IOT با ایجاد یک حلقهٔ بازخوردی مداوم عمل می‌کند. با توجه به نوع سامانهٔIoT ، تجزیه‌وتحلیل می‌تواند با مداخلهٔ فیزیکی و یا به کمک تکنولوژی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین(AI/ML) ، به‌صورت دائمی یا به‌مدت طولانی صورت گیرد. ادغام پارادایم IoT در فرآیندهای مدیریت آب می‌تواند چندین مزیت فراهم آورد؛ ازجمله بهبود زیرساخت‌های مدیریت آب با افزایش کارایی، کاهش هزینهٔ انرژی و مداخلهٔ انسانی؛ کاهش هزینه‌های مدیریت آب؛ بهبود بهره‌وری دارایی‌ها، همچون حسگرها و اتصالات[1]؛ و درنهایت افزایش بهره‌وری کل سامانه. بدین ترتیب، مدل‌های کسب‌وکار جدید و موجود بر پایهٔ سه رکن اصلی IoT (اینترنت‌محور؛ کاربری اشیا؛ رویکرد دانش‌محور) گسترش یافته است (Robles et al., 2015) با پیشرفت فناوری‌های IoT، زیرساخت‌های هوشمند به‌صورت فزاینده خود نظارت (self-monitoring)، خود ارتباط (self-communication) و به‌ویژه خود مدیریتی (self-management) شده‌اند و چندین عامل این گذار ازجمله پایداری، مدیریت منابع، اقتصاد، توسعه سریع فناوری اطلاعات و پیشرفت سامانه‌های محاسباتی و ارتباطی را فراهم کرده‌اند (Cui, 2016). گلوریا و همکاران یک سیستم مدیریت پایدار آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) برای مزارع و باغات بدون مداخله انسان توسعه داده‌اند. این مدل از داده‌های بزرگ، برای مدیریت تأمین آب به باغات استفاده نموده است. نتایج نشان می‌دهند که مدل پیشنهادی با استفاده از شبکهٔ IoT و تحلیل پارامترهایی نظیر سطح آب، دما و رطوبت تا ۳۰–۲۶ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرده است (Glória et al., 2020). در این زمینه، برخی از کارهای تحقیقاتی مهم به‌همراه نقاط ضعف و قوت آن‌ها در جدول (۱) ارائه‌شده‌اند.

جدول ۱ – برخی از تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ مدیریت منابع آب در کشاورزی

منبع	نقاط قوت	نقاط ضعف
آپایدین و همکاران (۲۰۲۰)	مدلی کارآمد و مؤثر برای جریان سیلاب	دقت پایین و صرفاً آزمایشگاهی
بیک و همکاران (۲۰۲۰)	استفاده از شبکه عصبی کانولوشن برای پیش‌بینی سطح آب	استفاده از داده‌های محدود
ویج و همکاران (۲۰۲۰)	استفاده از حافظه طولانی کوتاه‌مدت[2] برای نظارت بر کیفیت آب پیشنهاد سامانهٔ هوشمند اینترنت اشیاء برای اتوماسیون کشاورزی	عدم استفاده از داده‌های پیوسته، پایگاه دادهٔ محدود، به کنترل سطح آب و کنترل نشت متمرکز نشده است.
دامور و همکاران (۲۰۱۷)	کاهش هدررفت آب با استفاده از فناوری اینترنت اشیاء (IoT)	
لی و همکاران (۲۰۲۰)	تعیین چارچوبی جدید برای سیستم‌های هوشمند نظارت بر سطح آب	
یواراج و همکاران (۲۰۱۹)	تشخیص نشتی آب در لوله‌های اصلی تأمین آب	بر نظارت هوشمند مخازن ذخیره‌سازی آب تمرکز نشده است.
علی و همکاران (۲۰۱۹)	امکان‌پذیری استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) برای نظارت بر نشت	
شلتامی و همکاران (۲۰۱۶)	نظارت بر نشت در لوله‌های تأمین آب با استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN)	
جان و همکاران (۲۰۲۱)	نظارت مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) بر کیفیت آب در مخازن سطحی و زیرزمینی	

[1] Hyperconnections

[2] LSTM

فناوری‌های اینترنت اشیا برای مدیریت هوشمند آب

استفاده از حسگرها امکان نظارت آنی بر داده های هیدرولیکی، نظارت خودکار و ارائهٔ هشدار توسط پلتفرم ابری را در صورت وقوع رخدادهایی مانند نشتی یا مصرف بیش از حد فراهم می‌کنند. کاربرد اصلی سامانه‌های هوشمند آب، کنترل از راه دور شیرها و پمپ‌هاست (Gonçalves et al., 2020) که می‌توانند فشار، جریان و مصرف آب در آن‌ها را اندازه‌گیری نمایند (Mohd Ismail et al., 2019). حسگرهای هوشمند از سامانه‌های مدیریت هوشمند جدیدی که توسط فناوری‌های دیجیتال فراهم شده‌اند، برخوردارند تا راهکارهایی با دوام و کارایی بیشتر منابع را فراهم آورند. به‌طورکلی، امکان دارد تشخیص نشت و مکان‌یابی آن برای نظارت بر مصرف آب، با استفاده از حسگرهای صوتی و شتاب‌سنج‌ها که به‌طور معمول در زیرساخت‌های توزیع آب استفاده می شوند، شامل شود (Islam et al., 2023)(Kodali et al., 2017). در زمینهٔ اندازه‌گیری فشار نیز می‌توان از فناوری های اینترنت اشیاء مانند فلومترهای الکترومغناطیسی و فلومترهای فراصوتی و حسگرها استفاده کرد (Quadar et al., 2021؛Mezzera et al., 2018). علاوه بر این، ضرورت تجزیه‌وتحلیل حجم زیادی از داده‌ها درحالی‌که باعث بهبود کارایی کلی سامانه‌ها گردیده است، توجه صنعت آب را به سمت ابزارهای دیجیتال پیشرفته‌ای چون دوقلوهای دیجیتال عملیاتی جلب کرده است (Zekri et al., 2022). دوقلوهای دیجیتال (DT) می‌توانند به‌عنوان ترکیبی از مدل‌ها و داده‌های پیوسته ایجاد شوند که ممکن است نمایندهٔ دیجیتالی از یک بخش خاص در یک سامانه آب باشند.

سطح آب

نظارت بر سطح آب در مخزن یک پارامتر ضروری در نظارت هوشمند بر مخازن ذخیرهٔ آب در نظر گرفته می‌شود. ازآنجایی‌که مخازن سیمانی و قابل‌حمل هر دو در ظرفیت‌ها و ارتفاع های مختلفی وجود دارند، اندازه‌گیری دقیق سطح آب ممکن است به دلیل محدودیت‌های ناشی از برد سنسورها چالش‌برانگیز باشد. بر اساس تحقیقات انجام‌شده، برخی از دستگاه‌های رایج برای نظارت بر سطح عبارت‌اند از حسگر آب، حسگر شناور مغناطیسی، حس‌گر اولتراسونیک و حسگرهای تشخیص نور و برد (LIDAR) (Gunde et al., 2017؛ Damor and Sharma, 2017؛ Gupta et al., 2020؛ Dissanayaka et al., 2019؛ Natividad et al., 2019؛ Charles et al., 2018).

در زمینهٔ نظارت بر سطح آب در مخازن، اخیراً استفاده از سنسورهای گسسته به‌منظور نصب در نقاط مختلف داخل یک مخزن موردتوجه قرار گرفته است. این سنسورها اغلب در نقاط مختلف نصب می شوند تا اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت سطح آب را فراهم کنند. بااین‌حال، نصب تعداد زیادی از این سنسورها ممکن است هزینه و زمان بالایی را به دنبال داشته باشد. به‌منظور بهبود این مشکل، محققان از حسگرهای فاصله (مجاورت) بهره برده‌اند که از فناوری‌های مختلفی مانند مثلث سازی مادون‌قرمز، لیزر، اولتراسونیک، LED-TOF و ... استفاده می‌نمایند (Ahumada et al., 2021).

این حسگرها با استفاده از امواجی مانند امواج لیزری، مادون قرمز یا صوتی، فاصله اشیاء نزدیک را اندازه‌گیری می‌کنند. ابتدا امواجی ارسال می شود و سپس حسگر منتظر دریافت امواج بازگشتی از اشیاء هدف می‌ماند. با تحلیل شدت یا زمان صرف شده برای بازگشت امواج، فاصله اشیاء هدف اندازه‌گیری می‌شود. با این روش، حسگرهای مجاورت/فاصله به‌عنوان ابزارهای قابل‌اعتماد برای اندازه‌گیری سریع و دقیق، موقعیت‌یابی، یا کشف مواد جامد یا مایع در کاربردهای مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرند.

ازجمله انواع حسگرها، LIDAR به دلیل محدوده بالاتر اندازه‌گیری نسبت به سایر حسگرها بهبود قابل‌ملاحظه‌ای ارائه داده است. بااین‌حال، به دلیل هزینه بالای تجهیزاتLIDAR ، توصیه می‌شود که از این دستگاه‌ها تنها در مواردی که ارتفاع ذخیره آب بیشتر از ۴ متر باشد، استفاده شود. به‌طورکلی، حسگرهای مجاورت/فاصله به‌عنوان ابزارهای قابل‌اعتماد و کارآمد در کاربردهای مختلف نظارت و اندازه‌گیری مورداستفاده قرار می‌گیرند (Koski et al., 2023).

بررسی میزان مصرف منابع نقش حیاتی در مدیریت هوشمند آب ایفا می‌کند. به‌طورکلی، این امکان وجود دارد با نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب در یک مخزن آب، چه در برنامه‌های شخصی و چه در کاربردهای تجاری بتوان به این هدف دست‌یافت. این دستگاه‌ها به‌طور عمومی شامل یک فرستنده که سیگنال التراسونیک را تولید می‌کند و یک عنصر گیرنده که موج بازتابی را دریافت می‌کند می‌باشند (Getu et al., 2017). فاصلهٔ بین موقعیت حس‌گر و سطح آب به نسبت تأخیر بین انتشار و دریافت بسته موج التراسونیک است (Kawarkhe et al., 2019).

در این زمینه، مین‌الله و همکاران یک برنامه اندرویدی بر اساس اینترنت اشیاء (IoT) برای مانیتورینگ سطح آب مخازن آب توسعه داده‌اند (Min-Allah et al., 2018). سامانه به کاربر این امکان را می‌دهد که با استفاده از یک سنسور التراسونیک متصل به مخزن آب، سطح آب را نظارت کرده و در صورت کاهش زیر یک سطح آستانه یا خالی بودن، هشداری را فعال کند. معماری این سامانه مانیتورینگ هوشمند مخازن آب به سه لایه اصلی تقسیم می‌شود: (۱) لایه فیزیکی (گره‌ها و فناوری‌های ارتباطی که داده‌ها را جمع‌آوری و به لایه سرویس ارسال می‌کنند)؛ (۲) لایه سرویس (برنامه/منطق کسب‌وکار، ابزارهای مختلف برای تجزیه‌وتحلیل داده)؛ (۳) و لایه ارائه (اطلاعات را به کاربر نمایش می‌دهد و امکان تعامل با سامانه را برای کاربر فراهم می‌کند). در این سامانه پیشنهادی، لایه فیزیکی محیط فیزیکی است (منبع آب و سنسور التراسونیک مرتبط که داده‌ها را به سرور ابر ارسال می‌کند). سپس داده‌ها از طریق یک برنامه اندرویدی نمایش داده می‌شوند که ویجت‌های مختلفی را فراهم می‌کند که هم‌زمان با به‌روز شدن داده‌ها به‌صورت دائم، به‌روز می‌شوند.

کاوارخه و همکاران جلوگیری از تلفات آب از مخزن با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری را با استفاده از یک موتور خودکار بررسی کردند (Kawarkhe et al., 2019). اگر سطح آب کمتر از ۲۰٪ از ارتفاع مخزن شود، میکروکنترلر یک سیگنال به رله ارسال کرده و موتور را روشن می‌کند. به‌جای اینکه، اگر سطح آب برابر یا بیشتر از ۸۰٪ باشد، رله به‌طور خودکار خاموش شده و موتور هم خاموش می‌شود. در هر دو حالت، یک پیام به کاربر ارسال می‌شود: در اولین حالت "هشدار: سطح ۲۰٪ است" و در دومین حالت "هشدار: سطح ۸۰٪ است". تکنولوژی‌های Raspberry نیز توسط سیوایا و همکاران استفاده شده‌اند (Sivaiah et al., 2018). این مطالعه یک سامانه مانیتورینگ آب مبتنی بر اینترنت اشیاء با استفاده از یک سنسور التراسونیک پیشنهاد می‌دهد. داده‌های اندازه‌گیری شده به‌وا سطه Wi-Fi داخلی Raspberry pi به ابر ارسال می‌شوند و خواندن داده‌ها به‌صورت دائمی (هر ۲۰ ثانیه) انجام می‌شود. کاربر می‌تواند دستگاه‌ها را به‌صورت مستقیم از داشبورد تلفن همراه مشاهده کرده و سطح آب را مشاهده کند. پرومال و همکاران یک سامانه نظارت بر آب مبتنی بر اینترنت اشیاء ارائه دادند که سطح آب را به‌صورت دائمی اندازه‌گیری می‌کند، از استانداردهای ارتباطی IEEE802.11[1] استفاده کرده و یک دروازه بی‌سیم را در شبکه مصرف‌کننده یکپارچه کرده است (Perumal et al., 2015). سرور داده‌های نظارت بر آب را که توسط دروازه فوریت شده‌اند جمع‌آوری کرده، آن‌ها را در یک پایگاه داده برای تجزیه‌وتحلیل ذخیره کرده و در یک داشبورد وب مشاهده می‌کند.

خان و همکاران در تحقیقات خود یک سامانه هوشمند اندازه‌گیری سطح آب با استفاده از یک میکروکنترلر Arduino Mega 2560، یک سنسور فراصوتی برای شناسایی سطح مخزن آب، یک فلومتر، یک ماژول Wi-Fi، یک نمایشگر و یک واحد پمپ‌زنی ارائه داده‌اند (Khan et al., 2021). این سامانه با تنظیم واحد پمپ بر اساس سطح آب، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب ناکافی و انرژی الکتریکی می‌شود. جدول (۲) خلاصه‌ای از اجزای اصلی مورد نظر در سیستم‌های مورد بررسی برای نظارت هوشمند بر سطح آب ارائه می‌دهد.

[1] IEEE 802 (LAN) بخشی از مجموعه استانداردهای فنی شبکه محلی

جدول ۲ - اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ سیستم‌های نظارت هوشمند بر سطح آب

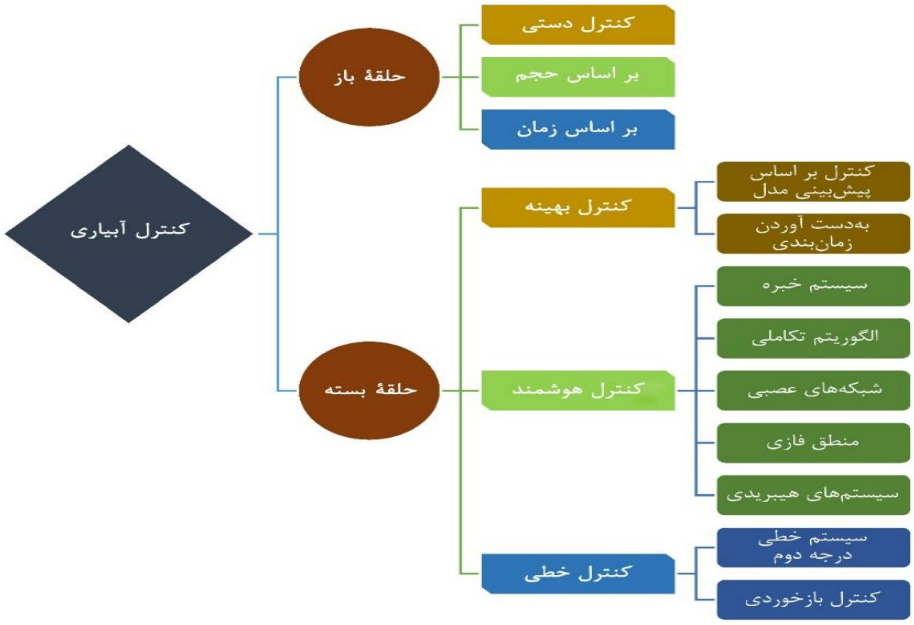
منبع	اجزاء سخت‌افزاری	اجزاء نرم‌افزاری
کاوارخه و همکاران (۲۰۱۹)	سنسور فراصوتی؛ میکروکنترلر	محیط توسعه آردوینو (Arduino IDE)؛ مودم GSM
مین‌الله و همکاران (۲۰۱۸)	سنسور فراصوتی؛ Arduino؛ ماژول Wi-Fi ESP8266	Firebase؛ برنامه اندروید
دوتا و همکاران (۲۰۱۷)	سنسور فراصوتی HC SR04؛ پمپ؛ Arduino Uno/Pro Mini (تابلوی مدار یکپارچه بر پایه ATmega328)؛ ماژول Wi-Fi ESP8266؛ رله	ماژول بلوتوث HC-05؛ سرور دروازه ابری (fog gateway server)؛ پلتفرم ابر (cloud platform)
شاه و همکاران (۲۰۱۷)	سنسور فراصوتی؛ ESP8266 به‌عنوان میکروکنترلر	ابر Firebase؛ برنامه اندروید

مصرف آب

راهبردهای کنترلی آبیاری از دیدگاه مهندسی مکانیک در شکل ۲ تعریف شده‌اند. از سنتی‌ترین روش‌های کنترل دستی آبیاری تا پیشرفته‌ترین کنترل هوشمند، هدف تغییر نمی‌کند. تأمین آب مطابق با نیاز محصول نه‌تنها کیفیت را افزایش می‌دهد بلکه باعث صرفه‌جویی نیز می‌گردد (Rinza et al., 2022). علاوه بر این، مهم است که چه محصولی انتخاب شده و در کجا کشت می‌گردد. بر این اساس، ما قادر خواهیم بود که در مورد استفاده از تکنیک‌های آبیاری تصمیم‌گیری نماییم (Bazaluk et al., 2022؛ Jha et al., 2022). وجود مقادیر بیش‌ازحد یا کمتر از حد انتظار آب در مزرعه مطلوب نیست.

اما در اینجا مسئله، مشکلاتی است که ممکن است حتی زمانی که همه‌چیز را درست انجام می‌دهیم رخ دهد. با توجه به اینکه می‌توان آبیاری را در مزرعه با استفاده از هر روشی که در شکل (۳) نشان داده شده است کنترل کرد، اما کارها همیشه آن‌طور که انتظار می‌رود ادامه نمی‌یابد. هر چه منطقه بزرگ‌تر باشد، کنترل هر نقطه از سامانه‌های کنترل دشوارتر است. ممکن است به دلیل خطاهای نصب، نقص در عملکرد دینامیکی سامانه‌های آبیاری، شرایط آب‌وهوایی، آسیب‌های ناشی از موجوداتی که در مزرعه تحت کنترل نیستند، یا آسیب به سامانه‌های آبیاری توسط افراد آگاه یا ناخودآگاه، آبیاری مطابق انتظار پیش نرود. در چنین مواردی ممکن است آب مصرفی در نقطهٔ آبیاری نرمال باشد، اما نقطهٔ آبیاری جابجا شده و گیاه آسیب ببیند؛ بنابراین لازم است در فواصل زمانی معین، نشتی آب در میدان را با سامانه‌های سیار اسکن کرد. حتی اگر بتوان مشکلات را با روش‌های نمونه‌گیری تشخیص داد، انتظار می‌رود زمان واکنش پس از بروز مشکلات حداقل باشد. واکنش دیرهنگام ممکن است در برخی موارد باعث خسارات جبران‌ناپذیری شود. از طرفی افزایش تعداد نقاط نمونه‌برداری به‌منظور کاهش تلفات باعث ایجاد هزینه‌های غیرضروری می‌شود (Sauer et al., 2010).

خودکارسازی عملیات کشاورزی به‌طورکلی موجب بهبود عملکرد محصول و کاهش مصرف آب و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن می‌گردد. برادران و تواضعی یک سامانهٔ مبتنی بر اینترنت اشیا را برای مدیریت یک سامانه آبیاری و تأمین آب برای محصولات صرفاً در صورت نیاز راه‌اندازی کردند. سامانهٔ کنترلی طراحی‌شده شامل یک سامانهٔ حلقه بسته بود که بر اساس داده‌های نظارت‌شده توسط حسگرهای اینترنت اشیا در این زمینه بود و رطوبت و دمای خاک را ارزیابی می‌کرد (Baradaran and Tavazoei, 2022). علاوه بر این، محققان سامانه‌هایی را ارزیابی کردند که هدفشان مدیریت سامانه‌های آبیاری با بهره‌برداری از فناوری‌های اینترنت اشیا و الگوریتم‌های یادگیری ماشین بود (Loukatos ؛ Abdullah et al., 2021؛Arrieta et al., 2020 et al., 2022).



شکل ۳ - طبقه‌بندی راهبردهای کنترلی آبیاری

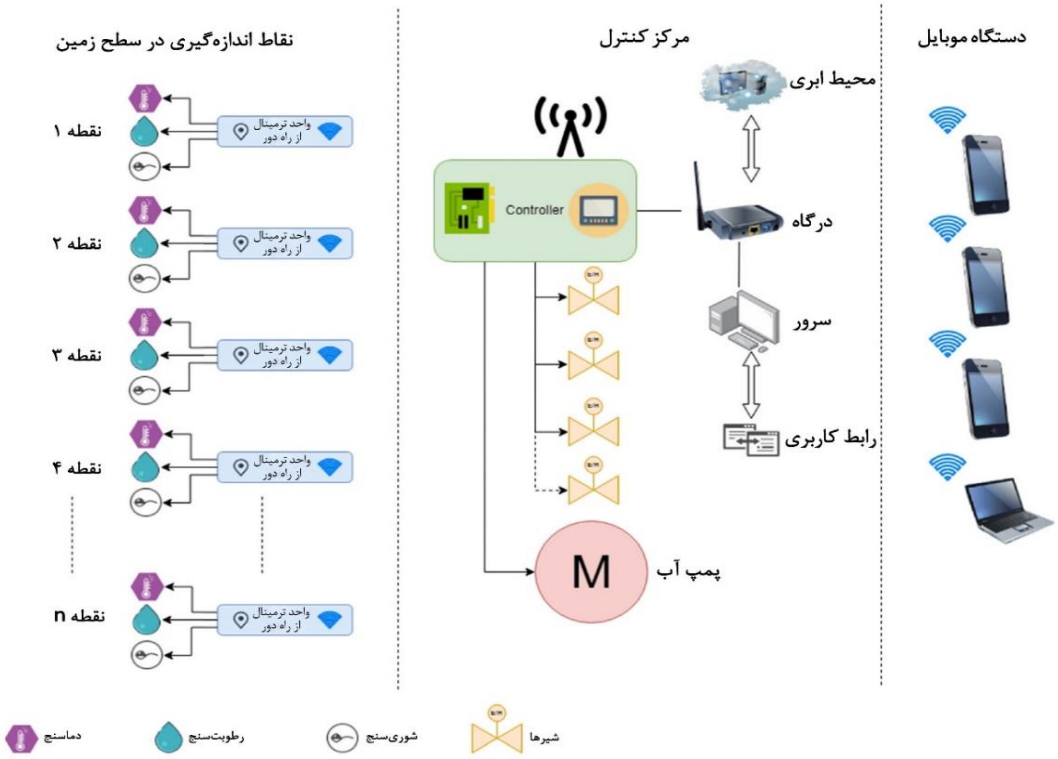
اکثر روش‌های پیشنهادی برای آبیاری هوشمند مبتنی بر اطلاعات حسگر (مبتنی بر اینترنت اشیا) هستند. این روش‌ها از اطلاعاتی در مورد دمای هوا، رطوبت خاک و رطوبت هوا استفاده می‌کنند. بارکنان و همکاران یک سامانه آبیاری قطره‌ای را پیشنهاد کردند که در آن داده‌های رطوبت خاک با استفاده از یک ماژول GSM و یک میکروکنترلر برای کشاورز ارسال می شود (Barkunan et al., 2019). درنهایت کشاورز از طریق گوشی هوشمند تصمیمات لازم را برای آبیاری می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند مصرف آب را به ترتیب ۴۱/۵ درصد و در روش‌های قطره‌ای ۱۳ درصد کاهش دهد. این روش برای زمین‌های کشاورزی کوچک مؤثر است و در زمین‌های بزرگ کارایی چندانی ندارد.

یکی از رویکردهای پیشنهادی، سامانهٔ کنترل فازی برای آبیاری با استفاده از سنجش‌ازدور است (Mendes et al., 2019). سامانهٔ کنترل فازی پارامترهای ورودی مانند رطوبت، دما و رطوبت خاک را محاسبه می‌کند و حالت موتور (روشن/خاموش) را تعیین می‌کند. در هنگام بارندگی سامانه خاموش می‌شود، بنابراین باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و برق می‌گردد. نتایج سنجش‌ازدور نیز نشان می‌دهد که مصرف آب و برق بهبودیافته است.

آبیاری در سامانه‌های مدرن به هر دو صورت حلقه‌های باز و بسته انجام می‌شود. در حلقه‌های باز، آبیاری بر اساس زمان یا حجم در اختیار سامانه قرار می‌گیرد. اینکه آیا آبیاری در مزرعه به‌درستی انجام می‌شود، یا توسط کارکنان تعیین می‌شود و یا توسط سنسورهای موجود در مزرعه تضمین می‌شود. این‌که آیا آبیاری کافی در این سامانه‌ها، چه به‌صورت زمانی و چه حجمی انجام شود، بیشتر بر اساس محصول، روش نمونه‌برداری و استفاده از تجربه است. در حلقه‌های بسته، منطق فازی (Krishnan et al., 2020; Mohapatra et al., 2016)، کنترل آبیاری PID(Goodchild et al., 2018)، شبکه‌های عصبی (Capraro et al., 2008; Anguraj et al., 2021; Kashyap et al., 2021)، سامانه‌های خطی مرتبهٔ دوم (Abioye et al., 2021)، الگوریتم‌های تکاملی (Ikudayisi et al., 2015) و سامانه‌های ترکیبی برای کنترل آبیاری استفاده می‌شوند و کارآمدترین آبیاری را تضمین کنید. در این سامانه‌ها آبیاری با توجه به شرایط گیاه، خاک و آب و هوا انجام می‌شود. علاوه بر این، در صورت نیاز از

آب زهکشی در آبیاری استفاده می‌شود و دقت آبیاری کنترل می‌گردد. در این نوع سامانه‌ها مکانیسم‌های طبیعی برای جلوگیری از هدر رفت آب غیرضروری وجود دارد. بااین‌حال، این مکانیسم‌ها اهمیت ثانویه‌ای خواهند داشت، زیرا زمانی که گیاه سیگنال آب ناکافی را نشان دهد، آبیاری در اولویت قرار می‌گیرد.

به این دلایل، کنترل آبیاری، چه توسط یک سامانه حلقه باز یا بسته، باید نه‌تنها با استفاده از الگوریتم‌ها، بلکه توسط مکانیسم‌های کنترلی اجراشده در دورترین نقاط پایانی (ترمینال‌ها) نیز انجام شود. این به معنای استفاده از حسگرها در بسیاری از نقاط میدان است. سنسورهای مورد استفاده می‌توانند به‌طور مداوم رطوبت خاک، تعادل pH و نسبت نمک را کنترل کنند و می‌توانند سامانه را مطلع کنند و خطاها را تشخیص دهند. این دستگاه‌ها امروزه به‌طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال در سامانه شکل (۴)، یک سامانه کنترل مرکزی و واحدهای انتهایی از راه دور، داده‌های حاصل از RTU ها مانند نمک خاک، pH و رطوبت را ارزیابی می‌کنند و دریچه‌ها و موتورهای خود را بر اساس پارامترهای تعیین شده توسط سرور یا پانل کار می‌کنند. روی کنترلر علاوه بر این، پارامترهای کنترلر و مقادیر RTU (واحد ترمینال راه دور) در محیط ابری ذخیره می‌شود که توسط دستگاه‌های تلفن همراه قابل دسترسی است و در صورت لزوم، افراد مجاز می‌توانند از خارج از میدان مداخله کنند.



شکل ۴ – سامانه کنترل داده‌های نظارتی

ختری در پژوهش خود تأمین آب برای محصولات کشاورزی را با استفاده از منطق فازی بهینه کرد (Khatri et al., 2018). این مطالعه همچنین روندها و توسعه بخش کشاورزی بر اساس استفاده از سامانه‌های خبره را ترسیم می‌کند. در (Upadhya et al., 2020)، آن‌ها تخمین عملکرد محصول مبتنی بر منطق فازی را با در نظر گرفتن سه پارامتر ورودی، یعنی دما، رطوبت و رطوبت مورد مطالعه قرار دادند. با قرار دادن این پارامترها در محاسبات فازی، یک مقدار واضح از بازده به دست آمد.

سامانه امیدوارکننده دیگری برای ارزیابی تنش خشکی در محصولات توسط راموس و همکاران پیشنهاد شد (Ramos-

Giraldo et al., 2020). نویسندگان سامانه‌ای را آزمایش کردند که از حسگرهای اینترنت اشیا و الگوریتم یادگیری ماشینی برای ارزیابی تنش خشکی از طریق تصاویر به‌دست‌آمده با دوربین استفاده می‌نماید. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که سامانه به‌دقت ۷۴ درصد در ارزیابی تنش خشکی برای محصولات سویا و ذرت دست‌یافت. علاوه بر این، نویسندگان یک راه‌حل کارآمد را توسعه دادند که اطلاعات محیط، محصولات و خاک را با یک الگوریتم یادگیری ماشین ترکیب می‌کند که اجازه می‌دهد کنترل به‌طور فزاینده‌ای اصلاح شود (Borrero et al., 2020). جدول (۳) اجزای اصلی مدنظر در سیستم‌های هوشمند برر سی شده برای نظارت بر مصرف آب را نشان می‌دهد

جدول ۳ - اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ سیستم‌های نظارت هوشمند بر مصرف آب

منبع	اجزاء سخت‌افزاری	اجزاء نرم‌افزاری
سانتوس و همکاران (۲۰۲۱)	کنتورهای آب؛ wattmeter	Wi-Fi؛ برنامه اندروید
رای و همکاران (۲۰۲۰)	سنسور جریان آب YF-S201؛ NodeMCU	پلتفرم ابری ThingSpeak؛ ابزارهای یادگیری ماشین
سورش و همکاران (۲۰۱۷)	سنسور مبتنی بر اثر هال آب‌سنج همراه با ماژول رابط الکترونیکی (EIM) که بر پایه یک برد SBC Arduino با استفاده از اترنت و حافظه فلش اضافی طراحی‌شده است.	شبکه TCP/IP یا Wi-Fi یا بلوتوث یا روتر GSM/3G/4G یا فیبر نوری؛ اپلیکیشن تلفن همراه (Smartphone App)
تامیلسلوان و همکاران (۲۰۱۸)	سنسور جریان آب با اثر هال YF-S201؛ شیرهای الکترومغناطیسی؛ مدار رله؛ Arduino Ethernet SHIELD V1	اپلیکیشن تلفن همراه
یانگ و همکاران (۲۰۱۵)	سنسور نرخ جریان/دما آب	واحد نظارت بی‌سیم محلی (جمع‌آورنده‌های داده بی‌سیم، روتر Wi-Fi و گیتوی Wi-Fi)؛ سرور مرکزی از راه دور؛ شبکه Wi-Fi منزل و اینترنت؛ نرم‌افزار سرور از راه دور (Visual Studio 2012 و Microsoft SQL Server 2014)

تشخیص نشت

در اینجا توزیع آب در مناطق روستایی با هدف کاربری کشاورزی در نظر گرفته شده است. از این‌رو، نشت در خطوط لوله باید در نظر گرفته شود تا از تلفات در طول شبکه جلوگیری شود. مناطق خشک و بیابانی، برای بهره‌برداری کشاورزی نیاز به تأمین آب دارند؛ لذا لوله باید برای انتقال آب از مناطق تولید به مناطق توزیع نصب شود. به‌عنوان یک ملاحظهٔ اساسی و به‌روز، در سامانه‌های انتقال و توزیع آب صرف‌نظر از نوع آبی که باید توزیع شود (آب شیرین، فاضلاب و ...)، یک سامانه نظارت قوی برای تشخیص نشتی الزامی است.

پروژهٔ موسوم به Wireless Water Sentinel در سنگاپور، برای نظارت مستمر از راه دور سامانه توزیع آب، یک سامانهٔ ابتکاری متشکل از گره‌های حسگر مستقر در سراسر سامانه توزیع آب ایجاد نمود که داده‌ها را از طریق اینترنت به سرور بایگانی در یافت نموده و انتقال می‌دهد و می‌توانند با استفاده از تجزیه‌وتحلیل موجک، گذرا را در ردیابی‌های فشار برای تشخیص و مکان‌یابی نشت تشخیص دهد (Allen et al., 2011).

نشت آب در شبکه توزیع و انتقال آب به‌طور متداول اتفاق می‌افتد (Covelli et al., 2016)؛ بنابراین، پیشگیری از نشتی و شناسایی انفجاری امری حیاتی برای محدود کردن تلفات آب است. در این زمینه، برای جلوگیری از دست دادن آب و کاهش خطرات عمومی، انواع مختلفی از تکنیک‌ها برای تشخیص و اندازه‌گیری نشتی در سامانه‌های لوله‌کشی آب پیشنهاد شده است (Hunaidi et al., 2000). این دستگاه‌ها که اغلب به شبکه

متصل هستند می‌توانند اطلاعات را به‌صورت دائمی انتقال دهند، کلیه داده‌ها را کنترل کرده و م صرف نامتعارف آب و ه شدارهای مرتبط با نشتی و میکرونشتی را شناسایی کنند.

تاکنون، چندین روش تشخیص نشتی ارائه شده است و به گزارش (Zhang et al., 1997)، آن‌ها را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد: (i) روش‌های بیولوژیکی — به‌عبارت‌دیگر روش‌های معمول تشخیص نشتی بر اساس تجربیات افراد؛ (ii) روش های مبتنی بر نرم‌افزار که از نرم‌افزار های مختلف برای تشخیص نشتی در یک خط لوله استفاده می‌کنند؛ (iii) روش‌های مبتنی بر سخت‌افزار که در نظر گرفتن استفاده از دستگاه‌های سخت‌افزار مختلف برای تشخیص و مکان‌یابی نشتی را در نظر می‌گیرند. روش‌های مبتنی بر نرم‌افزار می‌توانند به تغییرات جریان یا فشار، تعادل جرم یا حجم، مبتنی بر مدل پویا و تجزیه‌وتحلیل نقاط فشار تقسیم شوند. روش‌های مبتنی بر سخت‌افزار می‌توانند بر اساس اصول دستگاه‌ها به چهار نوع تقسیم شوند: دستگاه‌های تصویری، دستگاه‌های صوتی، دستگاه‌های نمونه‌برداری گاز و محرک‌های موج فشار. با توجه به این طبقه‌بندی اصلی، چندین مطالعه که روش‌های مبتنی بر نرم‌افزار را پیشنهاد داده‌اند در ادبیات یافت شدند (Ghazali et al., 2011؛ Duan et al., 2011). درحالی‌که روش تعادل حجم، به گزارش والی و همکاران، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های کامپیوتری است که توسعه‌یافته است (Whaley et al., 1992).

علاوه بر این، همان‌طور که توسط ژانگ اشاره شده است، برای نظارت مداوم بر یک خط لوله، یک روش دیگر به نام ATMOS PIPE وجود دارد که یک تکنیک آماری برای تشخیص نشتی خط لوله است (Zhang et al., 2000). در یک مطالعه دیگر، سلام و همکاران یک سامانه آنلاین کامپیوتری برای تشخیص نشتی با تجزیه‌وتحلیل فشار از نرم‌افزار EPANET با استفاده از روش شبکه عصبی تابع پایه‌ای توسعه دادند (Salam et al., 2014). به‌طور مشابه، در ادبیات، چندین روش مبتنی بر سخت‌افزار یافت شد. اکثر مطالعات به روش‌های صوتی یا مبتنی بر ارتعاشات اختصاص داده‌اند (Dewi et al., 2017؛ Ismifaizul et al., 2018؛ El-Zahab et al., 2017؛ Dziyauddin et al., 2018). مطالعات ژانگ و همکاران روش‌های مشاهده بصری را در نظر گرفته‌اند، درحالی‌که هونایدی و همکاران از روش های رادار زیرزمینی[1] استفاده نموده‌اند (Palermo et al., 2022).

پژوهشگران به تکنیک‌های ارتعاشی برای تشخیص نشتی با استفاده از شتاب سنج یا فرا صوت جهت اندازه‌گیری سیگنال ارتعاش لوله آب علاقه زیادی نشان داده‌اند (Chamran et al., 2015). در این زمینه، مطالعهٔ الذهاب و همکاران یک مدل برای یک سامانه نظارت به‌صورت دائمی بر اساس شتاب‌سنج‌های بی سیم ارائه کرد (El-Zahab et al., 2017). شتاب سنج‌ها در خارج لوله‌ها نصب شده‌اند. تجزیه و تحلیل سیگنال ارتعاش هر حسگر شتاب‌سنج برای تعیین شاخص نظارت ارزیابی شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده از تحقیق با استفاده از تکنیک ماشین‌های بردار پشتیبان[2] ارزیابی شدند. یک آستانه نشتی تعیین شد به‌گونه‌ای که اگر سیگنال به بالاتر از آستانه افزایش یافت، وضعیت نشتی شناسایی می‌شد. آزمایش‌ها بر روی لوله‌های چدنی یک اینچ و لوله‌های PVC یک و دو اینچ با استفاده از نشتی‌های واحد انجام شد و نتایج نشان دادند که مدل‌های توسعه یافته نتایج قابل قبولی با دقت ۹۸,۲۵٪ در تمایز بین وضعیت نشتی و عدم نشتی دارند. یک رویکرد جالب نیز رویه غیرمستقیم به این مسئله است که از طریق اندازه‌گیری و نظارت بر فشار و دما، به مکان‌یابی نشتی کمک می‌کند. در این زمینه، صادقیون و همکاران یک حسگر برای تشخیص نشت به‌صورت دائم در لوله‌ها بر اساس اندازه‌گیری تغییرات غیرمستقیم فشار و دما در لوله‌های پلاستیکی طراحی و ساخته‌اند (Sadeghioon et al., 2014). در طول کمپین اندازه‌گیری، حسگرهای فشار نسبی و دما آزمایش‌های نشت را ضبط و تغییرات روزانه فشار را نیز ثبت کردند. یک شبکه حسگر بی سیم مبتنی بر سامانه‌های میکروالکترومکانیک[3] توسعه یافته است (Nwalozie Gerald

[1] GPR
[2] SVM
[3] MEMS

et al., 2014). این سامانه از شتاب‌سنج‌های MEMS برای اندازه‌گیری ارتعاشات ناشی از جریان روی سطح یک لوله برای ارزیابی تغییر فشار آب به دلیل نشت استفاده می‌کند؛ بنابراین، این مطالعه پیشنهاد کرد از شتاب‌سنج‌های نصب‌شده بر روی سطح خارجی لوله به‌جای حسگرهای فشار (که نصب آن‌ها به‌طورکلی تجاوزی است) استفاده شود. این روش سامانه نظارتی غیرتجاوزی با هزینه پایین برای نظارت بر لوله‌های لوله‌گذاری ارائه می‌دهد. کاوارخه و همکاران یک سامانه تشخیص نشت برای لوله‌ها با استفاده از دو حسگر جریان طراحی کردند (Kawarkhe et al., 2019). اگر جریان اندازه‌گیری شده توسط اولین و دومین حسگر برابر نباشد، یک نشت تشخیص داده می‌شود؛ بنابراین، GSM پیام را به کاربر ارسال می‌کند. جهت در نظر گرفتن گستردگی کاربردهای IOT در این حوزه و روش‌های مختلف مورد بحث، در جدول (۴) اجزای اصلی سیستم‌های شناسایی نشت آب گزارش شده‌اند.

جدول ۴ - اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ سیستم‌های نظارت هوشمند بر مصرف آب

منبع	اجزاء سخت‌افزاری	اجزاء نرم‌افزاری
چمران و همکاران (۲۰۱۳)	سنسورهای صوتی؛ تبدیل‌کننده فرستنده فراصوتی؛ تبدیل‌کننده گیرنده فراصوتی؛ میکروکنترلر Arduino	Wi-Fi؛ نرم‌افزار LabVIEW
آلمیدا و همکاران (۲۰۱۴)	هیدروفون‌های ۸۱۰۳ توسط Bruel and Kjaer، ژئوفون‌های SM-24 توسط Ion؛ شتاب‌سنج‌های ۴۳۸۳ و ۴۳۸۴ توسط Bruel and Kjaer؛ آمپلی‌فایرهای شارژ ۲۶۳۵ توسط Bruel and Kjaer	سیستم اکتساب داده DATS از Prosig
چمران و همکاران (۲۰۱۵)	تبدیل‌کننده فراصوتی هوا از نوع MA40S4R - V	صفحه نمایش LCD؛ بی‌سیم
دادو و همکاران (۲۰۱۷)	سنسورهای آب؛ سنسور فراصوتی؛ میکروکنترلر Arduino Mega 2560؛ پمپ آب؛ شیرهای الکترومغناطیسی؛ رله ۱۲ ولت	محیط توسعه Arduino (Arduino IDE)؛ مودم GSM؛ بی‌سیم؛ برنامه اندروید تلفن همراه

نتایج و بحث

(چالش‌های فعلی و جهت‌گیری‌های آینده)

بر اساس نتایج این مطالعه، پلتفرم های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در دهه‌های گذشته پیشرفت کرده‌اند و چالشی را برای توسعه‌دهندگان اینترنت اشیا ایجاد کرده‌اند تا رسانه‌های مناسب را در حین اجرای یک پروژه هدف انتخاب کنند. تجربه گسترده یا بررسی سریع اما جامع راه‌حل‌ها و پیشرفت‌های معاصر در این زمینه ممکن است به حل مشکل کمک کند. با توجه به آخرین پیشرفت‌ها در صنعت نیمرساناها[1]، جهان ما اکنون تحت تسلط دستگاه‌های الکترونیکی، مانند سنسورهای قابل حمل، تبلِت‌ها، تلفن‌های همراه، Wi-Fi و ... است که ضمن صرفه‌جویی در مصرف انرژی، قابلیت حمل داشته و گزینه‌ای قابل‌اطمینان بشمار می‌روند. به‌نظر می‌آید که اجزای حیاتی یک سامانه مدیریت آب مبتنی بر IoT اصولاً به واحدهای سخت‌افزاری و واحدهای نرم‌افزاری قابل‌تقسیم می‌باشند. ازآنجایی‌که توسعهٔ یک سامانه سخت‌افزاری مستلزم صرف هزینه است، توسعه‌دهندگان اینترنت اشیا باید بهترین گزینه را برای سخت‌افزارهای موردنظر انتخاب کنند تا تعادل بین هزینه و عملکرد به خطر نیفتد. علاوه بر این، پلتفرم‌های نرم‌افزاری در طول دهه‌های گذشته پیشرفت‌ها، بهبودها و تغییرات قابل‌توجهی را پشت سر گذاشته‌اند. برای مثال، زبان‌ها و پلتفرم‌های توسعهٔ نرم‌افزار جدید در چند دهه گذشته راه‌اندازی شده‌اند.

[1] Semiconductor

همان‌طور که توسط اسماعیل و همکاران گزارش‌شده است، حسگرها، محرک‌ها و دستگاه‌های هوشمند سنجش متشکل از اجزای اصلی سخت‌افزاری برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده می شوند و تکنولوژی ارتباطات برای اتصال عناصر کلی سامانه استفاده می‌شود؛ درحالی‌که پلتفرم ابر داده‌ها را ذخیره کرده و پردازش و تحلیل می‌نماید (Ismail et al., 2022). بر اساس این تقسیم‌بندی اصلی، حسگرهای فراصوتی در بررسی مطالعاتی که بر سامانه‌های توسعه‌یافته برای پایش سطح آب طراحی شده است، بیشترین استفاده را دارند. این نوع حسگر امواج فراصوتی را به سطح آب ارسال می‌کند (Shah et al., 2017). در این دستگاه‌ها، HCSR04 که از یک فرستنده فراصوتی، گیرنده و مدار کنترلی تشکیل شده است، معمولاً برای اندازه‌گیری فاصله بدون تماس از ۲ تا ۴۰۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود (Sivaiah et al., 2018). حسگر دیگری که در سامانه‌های پایش مصرف آب استفاده می شود، حسگر جریان آب بر اساس اثر هال است که YF-S201 یکی از پرکاربردترین موارد به شمار می‌رود. این نوع حسگر دارای یک حسگر پین‌ویل برای اندازه‌گیری مقدار آب حرکت کننده است و همچنین حسگر هال اثر مغناطیسی با هر چرخش، یک پالس الکتریکی خروجی می‌دهد (Ray et al., 2020). همان‌طور که توسط گیکواد گزارش شده است، این حسگر دارای نرخ جریان کاری از ۱ تا ۳۰ لیتر در دقیقه است (Gaikwad et al., 2021). دستگاه‌های هوشمند اندازه‌گیری مصرف آب نیز در سامانه‌های مانیتورینگ مصرف آب پراکنده‌اند. درنهایت، با تحلیل سامانه‌های تشخیص نشت، شتاب‌سنج‌ها بیشترین استفاده را داشتند. در این زمینه، شتاب سنج‌ها به دلیل توانایی استفاده از آن‌ها به‌عنوان یک سامانه کامل تشخیص نشت برای شناسایی سیگنال‌های لرزشی ارسالی توسط نشت‌ها، توجه پژوهشگران را جلب کرده‌اند (El-Zahab et al., 2018). علاوه بر این، همان‌طور که در تحقیقات عاددجی گزارش شده است، استفاده از شبکه‌های حسگر بی سیم – که در مطالعات مختلف این مرور موردنظر قرار گرفته‌اند – نمی‌تواند نادیده گرفته شود (Adedeji et al., 2017).

واحد کنترل معمولاً هسته سخت‌افزاری تمامی سامانه‌های مانیتورینگ و کنترل است؛ از بررسی انجام‌شده در اینجا، ماژول‌های Wi-Fi ESP، Raspberry Pi و Arduino در دسته‌های مختلف خود به‌عنوان پرکاربردترین گزینه‌ها معرفی شدند. به‌طورکلی، کلیهٔ Arduino Shields به‌طور خاص برای مبتدیان طراحی شده‌اند تا پیچیدگی اتصال اجزا را برطرف نموده و منابع سخت‌افزاری بیشتری اضافه کنند. Arduino به‌دلیل ویژگی‌های خود گسترده‌پذیری یافته است: یک پلتفرم مستقل، نسبت به سایر میکروکنترلرها هزینهٔ پایین‌تری داشته، سخت‌افزار و نرم‌افزارها متن‌باز بوده و برنامه‌نویسی از طریق Arduino IDE ساده است.

همچنین بر اساس بررسی‌های این مطالعه، یک عنصر مهم دیگر در سامانه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا، پلتفرم ابر است که به همراه پلتفرم‌های داده بزرگ، برای ذخیره داده‌های مقیاس بزرگ از طریق سامانه‌های مدیریت پایگاه داده، پیش‌پردازش، تحلیل آماری و تجسم داده مناسب است (Saad et al., 2020). این پلتفرم‌ها تحلیل منطقی و کنترل کاملی را بر روی عملکرد دستگاه‌های اینترنت اشیا انجام می‌دهند (Jan et al., 2022). برخی از آن‌ها همچنین برنامه‌های کاربردی ارائه می‌دهند که اجزای اینترنت اشیا را از طریق دستگاه‌های همراه نظارت و کنترل می‌کنند (Singh et al., 2020). پس از گسترش دستگاه‌های اینترنت اشیا، چندین پلتفرم ابری اینترنت اشیا توسعه یافتند. به‌عنوان‌مثال، پلتفرم ابر ThingSpeak یک پلتفرم داده باز اینترنت اشیا است که به‌راحتی می‌تواند دستگاه‌ها را به‌تنهایی تنظیم کند تا داده‌ها را از طریق پروتکل‌های استاندارد اینترنت اشیا ارسال کند و داده‌های حسگر را به صورت دائمی ارائه دهد (Ray et al., 2020). بررسی پیرامون استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند برای بهینه‌سازی استفاده از راهکارهای پایدار برای سامانه‌های جمع‌آوری آب تجزیه و تحلیل شده است. این مطالعات نشان می‌دهند که بهینه‌ترین کارایی سامانه‌های جمع‌آوری سنتی با امکانات هوشمند.

بنابراین این مرور مؤلفه‌های اصلی اینترنت اشیا برای نظارت و کنترل سامانه‌های هوشمند مدیریت آب را شناسایی کرد. بااین حال، با تحلیل عمیق مشخص می‌گردد که هر

تکنولوژی مزایا و محدودیت هایی دارد که باید برای افزایش کاربرد این سامانه‌ها برطرف شوند. هزینهٔ استقرار، مصرف انرژی، نگهداری، حفظ حریم شخصی و امنیت، پوشش اتصال، پیچیدگی و سهولت عمل همچنان چالش‌های باز است. در این زمینه، تو سعه آیندهٔ د ستگاه‌های کم‌هزینه با کارایی انرژی بالاتر ب سیار حیاتی است تا به‌اندازه کافی شرایط برای امکان افزایش کاربردهای اینترنت ا شیا در بخش مدیریت آب فراهم گردد. طبق گزارش خان و همکاران، یک جنبهٔ دیگر که در آینده همچنان مو ضوع تحقیق برای تحقیقات دان شگاهی و صنعتی خواهد بود، حفظ حریم شخصی و امنیت است (Khanh et al., 2022). همان‌طور که در (Vijayan et al., 2020) گزارش شده است، حجم داده‌های جمع‌آوری‌شده در سامانه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا مانند آن‌هایی که در این مرور مورد بررسی قرار گرفته‌اند بسیار بزرگ است و در مقابل تهدیدهای سایبری، به‌ویژه در زمان انتقال به سرور داده، آسیب‌پذیر است. علاوه بر این، همان‌طور که پیش‌تر بحث شد، پروتکل ارتباطی بی‌سیم متداول محدودیت‌هایی در خصوص نیاز انرژی برخی تکنولوژی‌ها و همچنین مسافت ارتباطی که می‌تواند پوشش دهد، دارد (Adedeji et al., 2019). به‌علاوه، چالش اصلی دیگر پیچیدگی سامانه‌های هوشمند آب مرتبط با فعالیت‌های ن صب، عملیات و نگهداری ا ست (Ray et al., 2020)؛ سایر موارد شامل نیاز به توسعه سامانه‌های هوشمند مدیر یت آب برای تطابق و تکرار پذیری بیشتر در زمینه ها و مکان‌های مختلف ا ست (Saad et al., 2020). درنتیجه، با توجه به ت مام این ب حث، یک تجز یه و تحل یل عمیق از م قالات موردبررسی، به خوانندگان در شناسایی چالش‌های اصلی، توصیه‌های مرتبط و جهت‌های آینده برای کاربردهای IoT در مدیریت هوشمند آب کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و فعالیت‌های ک شاورزی به همراه تغییرات اقلیمی، یک چالش جدی در خصوص دسترسی به منابع آب ایجاد کرده است. پدیدهٔ کمبود آب در حال افزایش است و یکی از اثرات زیست‌محیطی جهانی را تشکیل می‌دهد؛ بنابراین، نظارت بر مصرف آب و مدیریت مناسب این منبع محدود، یکی از اهداف اصلی پژوهشگران علوم مختلف در سال‌های اخیر بوده است. مدیریت صحیح آب می‌تواند با کاهش هدر رفت و مدیریت تأمین، است فادهٔ بهینه از این منبع را فراهم کند. چندین م طالعه بر تکنولوژی‌های ا صلی برای کاهش هدررفت آب تمرکز دا شته‌اند. بیشتر آن‌ها بر مدیریت هوشمند این منبع از طریق فناوری‌های پیشرفته اینترنت اشیا (IoT) متمرکز می‌باشند. این مقاله یک دیدگاه جامع از سامانه‌های نوآورانه برای مدیریت هو شمند منابع آب ارائه می‌دهد. ک شورهای پی شرفته، برای کاهش اثرات بحران آب، درگیر ابداع راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه و قابل‌اعتماد مبتنی بر اینترنت ا شیا (IoT) برای نظارت بر منابع آب ه ستند. این مطالعه اطلاعات مفیدی پیرامون پایش هوشمند مخازن که اغلب برای ذخیره آب ا ستفاده می شود، گردآوری نموده ا ست. در این مقاله، مروری بر تکنیک‌های پایش آب، از طریق شبکه حسگرهای بی‌سیم (WSN) تا نظارت مبتنی بر اینترنت اشیا (مانیتورینگ هو شمند) ارائه شده ا ست. در این چارچوب، نظارت بر سطح آب، نشت آب و پر کردن خودکار مخازن ذخیره آب در نظر گرفته شده است. درنها یت، چالش ها و رو ند های فعلی در سخت‌افزار، سرورهای ابری و امنیت سایبری مرتبط با اینترنت اشیا شرح داده شده است. بحث ارائه‌شده در اینجا کمک ارزشمندی به تلاش‌های جاری برای رسیدگی و کاهش اثرات بحران آب ارائه می‌دهد. به‌طور خاص، ما بر تکنولوژی‌های نوآورانه برای نظارت، کنترل و مدیریت سطح آب، مصرف آب و نشت آب در بخش کشاورزی شروع کردیم. این مرور جامع نشان داد که ارزیابی قابلیت تکنولوژی‌های نوآورانه و پایدار در صرفه‌جویی منابع با کاهش از د ست رفتن فنی آب و سوء مدیریت انسانی چقدر مهم است. برای کارهای آینده و جهت‌گیری‌ها، نویسندگان جوامع تحقیقاتی مرتبط را برای افزایش امنیت سایبری IoT، کاهش اثرات بیوفیلم‌ها، معرفی تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و بهینه‌سازی هزینه کلی سامانه پیشنهاد می‌کنند.

منابع

Abioye, E.A., Abidin, M.S.Z., Aman, M.N., Mahmud, M.S.A. and Buyamin, S. 2021. A Model Predictive Controller for Precision Irrigation Using Discrete Lagurre Networks. Comput. Electron. Agric. 181: 105953.

Adedeji, K.B., Nwulu, N.I. and Clinton, A. 2019. IoT-Based Smart Water Network Management: Challenges and Future Trend. In Proceedings of the 2019 IEEE AFRICON. Accra, Ghana. 25–27 September 2019.

Adedeji, K.B., Hamam, Y., Abe, B.T. and Abu-Mahfouz, A.M. 2017. Towards Achieving a Reliable Leakage Detection and Localization Algorithm for Application in Water Piping Networks: An Overview. IEEE Access. 5. 20272–20285.

Abdullah, N., Durani, N.A.B., Shari MFBin Siong, K.S., Hau, V.K.W., Siong, K.S., Hau, V.K.W., Siong, W.N. and Ahmad, I.K.A. 2021. Towards Smart Agriculture Monitoring Using Fuzzy Systems. IEEE Access. 9. 4097–4111.

Ageed, Z., Mahmood, M.R., Sadeeq, M.M.A., Abdulrazzaq, M.B. and Dino, H. 2020. Cloud Computing Resources Impacts on Heavy-Load Parallel Processing Cloud Computing Resources Impacts on Heavy-Load Parallel Processing Approaches. IOSR J. Comput. Eng. 22. 30–41.

Ahumada, S., Garcia, G., Knudson, K., Ma, T., Meyer, D., Sivertson, N., Wilder, A., & George, C. (2021). Expansion of Telemetry in Trackless Ride Systems.

Akbarpour, A., Dastourani, M., Tosan, M., & Gharib, M. (2024). Performance analysis of finite element method in groundwater studies based on Web of Science using R Biblioshiny. *Journal of Auifer and Qanat*, *4*(2), 131-148.

Ali, H. and Choi, J.H. 2019. A Review of Underground Pipeline Leakage and Sinkhole Monitoring Methods Based on Wireless Sensor Networking. Sustainability. 11: 4007.

Allen, M., Preis, A., Iobal, M., Srirangarajan, S., Lim, H., Girod, L and Whittle, A. Real-time in-network distribution system monitoring to improve operational efficiency. J. AWWA 2011, 103: 63–75.

Almeida, F., Brennan, M., Joseph, P., Whitfield, S., Dray, S. and Paschoalini, A. 2014. On the Acoustic Filtering of the Pipe and Sensor in a Buried Plastic Water Pipe and its Effect on Leak Detection: An Experimental Investigation. Sensors. 14: 5595–5610.

Apaydin, H., Feizi, H., Sattari, M.T., Colak, M.S., Shamshirband, S. and Chau, K.W. 2020. Comparative analysis of recurrent neural network architectures for reservoir inflow forecasting. Water. 12. 1500.

Arrieta, M.P., Alarcon, Y. and Villa, J.L. 2020. Internet of Things Applied to Agricultural Irrigation Systems in Pasture Grasses. In Proceedings of the 9th International Congress of Mechatronics Engineering and Automation, CIIMA 2020—Conference Proceedings, Cartagena, Colombia, 4–6 November 2020, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA, 2020.

Anguraj, D.K., Mandhala, V.N., Bhattacharyya, D. and Kim, T. 2021. Hybrid Neural Network Classification for Irrigation Control in WSN Based Precision Agriculture. J. Ambient Intell. Hum. Comput. 14. 1–12.

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

Baggio, G., Qadir, M., & Smakhtin, V. (2021). Freshwater availability status across countries for human and ecosystem needs. *Science of the Total Environment*, *792*, 148230.

Baradaran, A.A. and Tavazoei, M.S. 2022. Fuzzy system design for automatic irrigation of agricultural fields. Expert Syst. Appl. 2022, 210, 118602.

Barkunan, S. R., Bhanumathi, V. and Sethuram, J. 2019. Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. Computers & Electrical Engineering, 73: 180–193.

Bazaluk, O., Havrysh, V., Nitsenko, V., Mazur, Y. and Lavrenko, S. 2022. Low-Cost Smart Farm Irrigation Systems in Kherson Province: Feasibility Study. Agronomy. 12: 1013.

Borrero, J.D. and Zabalo, A. 2020. An autonomous wireless device for real-time monitoring of water needs. Sensors. 20: 2078.

Capetillo-Contreras, O., Pérez-Reynoso, F. D., Zamora-Antuñano, M. A., Álvarez-Alvarado, J. M., & Rodríguez-Reséndiz, J. (2024). Artificial intelligence-based aquaculture system for optimizing the quality of water: A systematic analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, *12*(1), 161.

Capraro, F., Patino, D., Tosetti, S. and Schugurensky, C. 2008. Neural Network-Based Irrigation Control for Precision Agriculture. In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Sanya, China, 6–8 April. pp. 357–362.

Chamran, M.K. and Shafie, S. A. 2015. Non-Invasive Air-Coupled V-Type Ultrasonic Leak Detection System. J. Purity Util. React. Environ. 4: 99–107.

Chamran, M.K. and Shafie, S. 2013. Non-invasive application for domestic pipeline monitoring and corrosion detection. In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA), Kuala Lumpur, Malaysia, 25–27 November 2013.

Charles, A., Ayylusamy, C., Raj, J.D., Kumar, K. and Thiruvarasan, K.E. 2018. IOT Based Water Level Monitoring System Using Labview. Int. J. Pure Appl. Math. 118: 9–14.

Covelli, C., Cimorelli, L., Cozzolino, L., Morte, R.D. and Pianese, D. Reduction in water losses in water distribution systems using pressure reduction valves. Water Sci. Technol. Water Supply 2016, 16: 1033–1045.

Cui, X. 2016. The Internet of Things. In Ethical Ripples of Creativity and Innovation, Palgrave Macmillan: London, UK. pp. 61–68.

Daadoo, M. and Daraghmi, Y. A. 2017. Smart Water Leakage Detection Using Wireless Sensor Networks (SWLD). Int. J. Netw. Commun. 7: 1–16.

Damor, P.R. and Sharma, K.J. 2017. IoT based Water Monitoring System: A Review. Int. J. Adv. Eng. Res. Dev 4: 1–6.

Dewi, P., Aziz, A., Fauzan, M., Anuar, M., Mohamad, N., Ismifaizul, M. and Ismail, M. 2017. A study on vibration sensors for water pipeline leakage application. Sci. Int. 29: 1065–1069.

Dissanayaka, R.M.S.M. and Wickramaarachchi, H. 2019. IoT Based Water Level Monitoring System Using NodeMCU. In Proceedings of the 11th Symposium on Applied Science, Business & Industrial Research, Kuliyapitiya, Sri Lanka, 31 March 2019.

Duan, H.F., Lee, P.J., Ghidaoui, M.S. and Tung, Y.K. 2011. Leak detection in complex series pipelines by using the system frequency response method. J. Hydraul. Res. 49: 213–221.

Dutta, J. and Roy, S. 2017. IoT-fog-cloud based architecture for smart city: Prototype of a smart building. In Proceedings of the 2017 7th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering-Confluence, Noida, India, 12–13 January 2017, pp. 237–242.

Dziyauddin, R., Usman, S., Abdullah, H., Mohd Ismail, M.I. 2018. TRIZ Inventive Solution in Solving Water Pipeline Leakage Using Accelerometer Sensor. J. Telecommun. Electron. Comput. Eng. 10: 173–177.

El-Zahab, S., Mohammed Abdelkader, E. and Zayed, T. 2018. An accelerometer-based leak detection system. Mech. Syst. Signal Process. 108. 58–72.

El-Zahab, S. and Zayed, T. 2017. In Leak detection model for pressurized pipelines using support vector machines. In Proceedings of the 6th CSCE-CRC International Construction Specialty Conference 2017—Held as Part of the Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference and General Meeting 2017, Vancouver, BC, Canada, 31 May–3 June 2017. 2: 975–984.

Gai, C., Shen, W., Yang, M., & Yu, J. (2023). PPADT: privacy-preserving identity-based public auditing with efficient data transfer for cloud-based IoT data. *IEEE Internet of Things Journal*, *10*(22), 20065-20079.

Gaikwad, K. IoT based Water Management System using MQTT protocol. In Proceedings of the 2021 5th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli, India, 3–5 June 2021, pp. 408–414.

Getu, B.N. and Attia, H.A. 2017. Automatic water level sensor and controller system. Int. Conf. Electron. Devices Syst. Appl. 1–4.

Ghazali, M.F., Beck, S.B.M., Shucksmith, J.D., Boxall, J.B. and Staszewski, W.J. 2011. Comparative study of instantaneous frequency based methods for leak detection in pipeline networks. Mech. Syst. Signal Processing. 29: 187–200.

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

Gupta, N., Sasi, A, 2020. Deep, A. IoT based Water Level Management System. J. Xidian Univ. 14. 622–633.

Gunde, S., Chikaraddi, A.K., Baligar, V.P. 2017. IoT based flow control system using Raspberry PI. In Proceedings of the 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), Chennai, India, 1–2 August. pp. 1386–1390.

Goodchild, M.S., Jenkins, M.D., Whalley, W.R., Watts, C.W. A 2018. Novel Dielectric Tensiometer Enabling Precision PID-Based Irrigation Control of Polytunnel-Grown Strawberries in Coir. Biosyst. Eng. 165. 70–76.

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

He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water

scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, *12*(1), 4667.

Hunaidi, O., Chu, W., Wang, A., Guan, W. 2000. A Detecting leaks in plastic pipes Commercial leak-noise correlators were generally able to locate leaks in plastic pipe, but modifications could increase their effectiveness. J. Am. Water Work. Assoc. 92. 82–94.

Ikudayisi, A., Adeyemo, J. 2015. Irrigation Water Optimization Using Evolutionary Algorithms. Environ. Econ. 6. 200–2015.

Islam, M. R., Azam, S., Shanmugam, B., & Mathur, D. (2023). An Intelligent IoT and ML-Based Water Leakage Detection System. *IEEE Access*.

Ismifaizul, M., Ismail, M., Dziyauddin, R.A., Ahmad, N.A., Ahmad, N. 2018. Vibration Detection in Water Pipelines Leakage Using Wireless Three-Axis Accelerometer Sensor. Int. J. Adv. Sci. Technol. 112. 137–150.

Ismail, S., Dawoud, D.W., Ismail, N., Marsh, R., Alshami, A.S. 2022. IoT-Based Water Management Systems: Survey and Future Research Direction. IEEE Access. 10, 35942–35952.

Jan, F., Min-Allah, N., Saeed, S., Iqbal, S.Z., Ahmed, R. 2022. IoT-Based Solutions to Monitor Water Level, Leakage, and Motor Control for Smart Water Tanks. Water. 14. 309.

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

Jha, G., Nicolas, F., Schmidt, R., Suvočarev, K., Diaz, D., Kisekka, I., Scow, K. and Nocco, M.A. 2022. Irrigation Decision Support Systems (IDSS) for California's Water–Nutrient–Energy Nexus. Agronomy. 12. 1962.

Kavusi, M., Khashei Siuki, A., & Dastourani, M. (2020). Optimal design of groundwater monitoring network using the combined Election-Kriging method. *Water Resources Management*, *34*, 2503-2516.

Kawarkhe, M.B. and Agrawal, S. 2019. Smart Water Monitoring System Using IOT at Home. IOSR J. Comput. Eng. 21: 14–19.

Kashyap, P.K., Kumar, S., Jaiswal, A., Prasad, M. and Gandomi, A.H. 2021. Towards Precision Agriculture: IoT-Enabled Intelligent Irrigation Systems Using Deep Learning Neural Network. IEEE Sens. J. 21: 17479–17491.

Khatri. V. 2018. Application of Fuzzy logic in water irrigation system. Int. Res. J. Eng. Technol. (IRJET), 5(4): 3372.

Khanh, Q.V., Hoai, N.V., Manh, L.D., Le, A.N. and Jeon, G. 2022. Wireless Communication Technologies for IoT in 5G: Vision, Applications, and Challenges. Wirel. Commun. Mob. Comput. 3229294.

Khan, N., Kumar, P. and Sadistap, S. 2021. IoT enabled embedded ultrasonic sensor based water tank level system with pump switching control. AIP Conf. Proc. 2335. 060004.

Krishnan, R.S., Julie, E.G., Robinson, Y.H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P.H. and Son, L.H. 2020. Fuzzy Logic Based Smart Irrigation System Using Internet of Things. J. Clean. Prod. 252. 119902.

Kopetz, H. 2011. Internet of Things, In Real-Time Systems, Real-Time Systems Series, Springer: Boston, MA, USA. pp. 307–323.

Kodali, R.K. and Sarjerao, B.S. 2017. A low cost smart irrigation system using MQTT protocol. In Proceedings of the 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP). Cochin, India. 14–16 July 2017. pp. 1–5.

Koski, C., Pyry, K., Justus, P., Lingli, Z. and Juha O. 2023. Mapping Small Watercourses from DEMs with Deep Learning—Exploring the Causes of False Predictions" Remote Sensing. 15(11) 2776.

Kotwal, M. V. S., Pati, S., & Patil, J. (2024). Review On Ai And Iot Based Integrated Smart Water Management And Distribution System. *Educational Administration: Theory and Practice*, *30*(4), 594-605.

Li, S., Da Xu, L. and Zhao, S. 2015. The internet of things: A survey. Inf. Syst. Front. 17: 243–259.

Li, J., Yang, X. and Sitzenfrei, R. 2020 .Rethinking the Framework of Smart Water System: A Review. Water. 12: 412.

Loukatos, D., Lygkoura, K.A., Maraveas, C. and Arvanitis, K.G. 2022. Enriching IoT Modules with Edge AI Functionality to Detect Water Misuse Events in a Decentralized Manner. Sensors. 22: 4874.

Ma, Y., Leonarduzzi, E., Defnet, A., Melchior, P., Condon, L. E., & Maxwell, R. M. (2024). Water table depth estimates over the contiguous united states using a random forest model. *Groundwater*, *62*(1), 34-43.

Maiolo, M., Carini, M., Capano, G., Pantusa, D. and Iusi, M. 2019. Trends in metering potable water. Water Pract. Technol. 14: 1–9.

Mendes, W. R., Araújo, F. M. U. and Er-Raki, S. 2019. Integrating remote sensing data into fuzzy control system for variable rate irrigation estimates. Irrigation-Water Productivity and Operation, Sustainability and Climate Change.

Mezzera, L., Carminati, M., Di Mauro, M., Turolla, A., Tizzoni, M. and Antonelli, M. 2018. A 7-

Parameter Platform for Smart and Wireless Networks Monitoring On-Line Water Quality. In Proceedings of the 2018 25th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS), Bordeaux, France, 9–12 December 2018, IEEE: Bordeaux, France. pp. 709–712.

Min-Allah, N., Farooqui, M., Alwashmi, A., Almahasheer, S., Alsufayyan, M. and Altulaihan, N. 2018. Smart monitoring of water tanks in KSA. In Proceedings of the 2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Las Vegas, NV, USA, 12–14 December 2018, pp. 1044–1047.

Mohapatra, A.G., Lenka, S.K. 2016. Neural Network Pattern Classification and Weather Dependent Fuzzy Logic Model for Irrigation Control in WSN Based Precision Agriculture. Procedia Computer. Sci. 78. 499–506.

Natividad, J. and Palaoag, T. 2019. IoT based model for monitoring and controlling water distribution. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 482: 012045.

Mokarram, M., Pourghasemi, H. R., & Pham, T. M. (2024). Enhancing water quality monitoring through the integration of deep learning neural networks and fuzzy method. *Marine Pollution Bulletin*, *206*, 116698.

Okoli, N. J., & Kabaso, B. (2024). Building a smart water city: iot smart water technologies, In Proceedings of the 2020 International Conference

Ramos-Giraldo, P., Chris Reberg-Horton, S., Mirsky, S., Lobaton, E., Locke, A.M., Henriquez, E., Zuniga, A., Minin, A. 2020. Low-cost Smart Camera System for Water Stress Detection in Crops. In Proceedings of the IEEE Sensors, Rotterdam, The Netherlands, 25–28 October 2020, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA.

Ray, A., Goswami, S. IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. 2020. In Proceedings of the 2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), Mathura, India, 28–29 February. pp. 308–313.

Rinza, J., Ramírez, D.A., Ninanya, J., De Mendiburu, F., García, J., Quiroz, R. 2022. Water Saving Using Thermal Imagery-Based Thresholds for Timing Irrigation in Potatoes under Drip and Furrow Irrigation Systems. Agronomy. 12. 2921.

Riyadh, A., Zayat, A., Chaaban, A., & Peleato, N. M. (2024). Improving chlorine residual predictions in water distribution systems using recurrent neural networks. *Environmental Science: Water Research & Technology*, *10*(10), 2533-2545.

Nwalozie Gerald, C. and Azubogu, A.C. 2014. Design and Implementation of Pipeline Monitoring System Using Acceleration-Based Wireless Sensor Network. Int. J. Eng. Sci. 3. 49–58.

Palermo, S.A., Maiolo, M., Brusco, A.C., Turco, M., Pirouz, B., Greco, E., Spezzano, G. and Piro, P. (GCCE), Osaka, Japan, 27–30 October 2015. pp. 86–87 2022. Smart Technologies for Water. Resource anagement: An Overview Sensors. 22(16): 6225.

Pérez-Beltrán, C., Robles, A., Rodriguez, N., Ortega-Gavilán, F., & Jiménez-Carvelo, A. (2024). Artificial intelligence and water quality: From drinking water to wastewater. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 117597.

Perumal, T. Sulaiman, M.N. Leong, C.Y. 2015. Internet of Things (IoT) enabled water monitoring system. In Proceedings of the 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics applications, and future directions. *Water*, *16*(4), 557.

Mathura, India, 28–29 February 2020, pp. 308–313. on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC).

Quadar, N., Chehri, A., Jeon, G., Ahmad, A. 2021. Smart Water Distribution System Based on IoT Networks, a Critical Review. Smart Innov. Syst. Technol. 189. 293–303.

Ray, A., Goswami, S. 2020. IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System.

Santos, L., Bautista, J.C., Estanque, M.W., Paloa, C.J., Villaran, A.B. 2021. Development of an IoT-based water and power monitoring system for residential building. Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci. 22, 744.

Saad, A., Benyamina, A.E.H., Gamatie, A. 2020. Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions. IEEE Access. 8. 38082–38097.

Sajitha, P., Andrushia, A. D., Anand, N., & Naser, M. Z. (2024). A review on machine learning and deep learning image-based plant disease classification for industrial farming systems. *Journal of Industrial Information Integration*, 100572.

Salam, A. (2024). Internet of things in water management and treatment. In *Internet of things for sustainable community development: Wireless communications, sensing, and systems* (pp. 273-298). Springer.

Salam, A.E.U., Tola, M., Selintung, M., Maricar, F. 2014. On-line monitoring system of water leakage detection in pipe networks with artificial

intelligence. ARPN J. Eng. Appl. Sci. 9. 1817–1822.

Sauer, T., Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Kindermann, G., Obersteiner, M. 2010. Agriculture and Resource Availability in a Changing World: The Role of Irrigation. Water Resour. Res. 46. W06503.

Sadeghioon, A.M., Metje, N., Chapman, D.N., Anthony, C.J. 2014. Smart Pipes: Smart Wireless Sensor Networks for Leak Detection in Water Pipelines. J. Sens. Actuator Netw. 3. 64–78.

Shah, P.P., Patil, A.A., Ingleshwar, S.S. IoT based smart water tank with Android application. In Proceedings of the 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, India, 10–11 February 2017, pp. 600–603.

Singh, M., Ahmed, S. 2020. IoT based smart water management systems: A systematic review. Mater. Today Proc. 46. 5211–5218.

Sivaiah, N., Sowmya, K.P.S., Susmitha, K., Sai, N.A., Suma, N. 2018. Internet of things (Iot) enabled water monitoring system. Iconic Res. Eng. J. 1, 40–43.

Shah, P.P., Patil, A.A., Ingleshwar, S.S. 2017. IoT based smart water tank with Android application. In Proceedings of the 2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, India, 10–11 February 2017. pp. 600–603.

Sheltami, T.R., Bala, A., Shakshuki, E.M. 2016. Wireless sensor networks for leak detection in pipelines: A survey. J. Ambient Intell. Humaniz. Comput. 7. 347–356.

Suresh, M., Muthukumar, U., Chandapillai, J. 2017. A novel smart water-meter based on IoT and smartphone app for city distribution management. In Proceedings of the 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), Cochin, India, 14–16 July 2017.

Tabatabaei, S. M., Dastourani, M., Eslamian, S., & Nazeri Tahroudi, M. (2022). Ranking and optimizing the rain-gauge networks using the entropy–copula approach (Case study of the Siminehrood Basin, Iran). *Applied Water Science*, *12*(9), 214.

Tamilselvan, G.M., Ashishkumar, V., Prasath, S.J., Yusuff, S.M. 2018. IoT Based Automated Water Distribution System with Water Theft Control and Water Purchasing System. Int. J. Recent Technol. Eng. 7, 2277–3878.

Tosan, M., & Beyranvand, Z. (2023). The role of flood analysis in different return periods using empirical relationships for small watersheds in the stability of aquifers. *Journal of Auifer and Qanat*, *4*(1), 169-180.

Tosan, M., & Maroosi, A. (2024). Investigating the performance of artificial rabbit optimization hybrid algorithm (ANN-ARO) in forecasting reference evapotranspiration with limited climatic parameters. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *12*(1), 47-66.

Tosan, M., Dastourani, M., Akbarpour, A., & Gharib, M. R. (2024). Global trend analysis of numerical simulation application in groundwater based on WoS database using VOSviewer and Biblioshiny between 1997 and 2023. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *12*(2), 0-0.

Upadhya S. M. and Mathew. S. 2020. Implementation of fuzzy logic in estimating yield of a vegetable crop. Proc. J. Phys. Conf., vol. 1427. Jan.

Vijayan, D.S., Rose, A.L., Arvindan, S., Revathy, J. 2020. Amuthadevi, C. Automation systems in smart buildings: A review. J. Ambient Intell. Humaniz. Comput. 1–13.

Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., Sharma, A. 2020. IoT and machine learning approaches for automation of farm irrigation system. Procedia Comput. Sci. 167. 1250–1257.

Whaley, R.S., Nicholas, R.E., Van Reet, J.D. 1992. Tutorial on Software Based Leak Detection Techniques. Technical Report.

World Bank. (2019). Water use statistics 2019.

Yao, K., Chen, Y., Li, Y., Zhang, X., Zhu, B., Gao, Z., Lin, F., & Hu, Y. (2024). Water Quality Prediction of Small-Micro Water Body Based on the Intelligent-Algorithm-Optimized Support Vector Machine Regression Method and Unmanned Aerial Vehicles Multispectral Data. *Sustainability*, *16*(2), 559.

Yasin, H.M., Zeebaree, S.R.M., Sadeeq, M.A.M., Ameen, S.Y., Ibrahim, I.M., Zebari, R.R., Ibrahim, R.K., Sallow, A.B. 2021. IoT and ICT based Smart Water Management, Monitoring and Controlling System: A Review. Asian J. Res. Comput. Sci. 8. 42–56.

Yang, S.H., Chen, X., Chen, X., Yang, L., Chao, B., Cao, J. 2015. A case study of internet of things: A wireless household water consumption monitoring system. In Proceedings of the 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Milan, Italy, 14–16 December 2015, pp. 681–686.

Yuvaraj, T., Krishna, N., Manish, P., Naik, P., Varsha, P. 2019. Review Paper on Water Monitoring and Leakage Detection. Int. J. Res. Sci. Innov. (IJRSI). 4, 31.

Zekri, S., Jabeur, N., Gharrad, H. 2022. Smart water management using intelligent digital twins. Comput. Informatics. 41, 135–153.

Zhang, J., Twomey, M. Statistical Pipeline Leak Detection Techniques for All Operating Conditions. In Proceedings of the 26th Environmental Symposium & Exhibition, Long Beach, CA, USA, 27–30 March 2000, pp. 285–290.

Zhang, J. 1997. Designing a Cost Effective and Reliable Pipeline Leak Detection System. Pipes Pipelines Int. 42, 20–26.

Water Management in Agriculture
Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2024, 145-166

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، ص. ۱۶۶-۱۴۵

Overview of Smart Water Management in the Establishment of Sustainable Agriculture Based on the Internet of Things

M. Tosan[1], A. Khashei-Siuki[2], A. Maroosi[3] and M.R. Gharib[4*]

Abstract

Recent advancements in information and communication technology (ICT) and the Internet of Things (IoT) have created new opportunities for real-time monitoring and control of agricultural infrastructures. In this context, smart irrigation water management technology provides data and tools to assist users conserve water. This research focuses on the role of IoT in improving water resource management. Significant advancements in semiconductor technology and the diversity in sensors and smart devices have enabled the precise collection of extensive data to optimize water usage and manage resources effectively. Ultrasonic and water flow sensors, along with accelerometers for leak detection, play a crucial role in these systems. For control and connectivity, open-source software platforms like Arduino and Raspberry Pi are popular options for control units, Additionally, cloud platforms are utilized for efficient data storage and processing. This study demonstrates that IoT as an innovative and intelligent solution, enhances the potential for improved water resource management and efficiency. However, multiple challenges, including cost, energy consumption, data privacy and security, and wireless communications limitations, highlight the need for further optimization and development of these systems. This research serves as a foundational basis for academic and industrial investigations in optimizing water management systems in agriculture through IoT technology.

Keywords: Artificial Intelligence, Control Systems, Information and Communications Technologies, Sensors, Water Resources Management

[1] PhD Candidate of Water Resources, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
[2] Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
[3] Assistant Professor, Computer Engineering Department. University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
[4] Associate Professor, Mechanical Engineering Department, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
(*Corresponding Author Email: m.gharib@torbath.ac.ir)
Received: 24 Nov 2023
Accepted: 25 Dec 2023