آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

چکیده

امروزه علی‌رغم تصوری که ممکن است مردم از کشاورزی با فرآیندی پیچیده، زمانبر و پر هزینه داشته باشند، اما واقعیت امر این است که صنعت کشاورزی امروزی دارای ساز و کار داده‌محور، دقیق، هوشمندتر و حتی آسان‌تر در مقایسه با گذشته تبدیل شده است. همه این موارد به کمک مفهوم تازه‌ای به‌نام اینترنت اشیاء در صنعت کشاورزی شکل گرفته است. اینترنت اشیاء شبکه‌ای عظیم از انسان‌ها و اشیاء است که گسترش روز افزون اینترنت و کاهش هزینه‌های آن، زمینه را برای به‌وجود آوردن اینترنت اشیاء فراهم نموده است. چنین تغییراتی، موجب شکل‌گیری انقلابی بزرگ در زمینه صنعت کشاورزی شده و در پی آن روش‌های کشاورزی موجود را متزلزل ساخته و می‌تواند فرصت‌های جدیدی را در حال و آینده ایجاد نماید. تعیین کاربرهای اینترنت اشیاء در تعیین چشم‌انداز آن نقش مؤثری خواهد داشت. اما پیاده‌سازی اینترنت اشیاء با چالش‌هایی همراه بوده و همچنین برای ادامه کار خود نیازمند استانداردهایی می‌باشد. تاکنون در زمینه چالش‌های اینترنت اشیاء و راه‌های رفع آن تحقیقات زیادی انجام شده است. همچنین استانداردهایی برای اینترنت اشیاء تعریف شده است. در این مطالعه جامع قصد بر این است که در ابتدا به بررسی مفهوم و کاربردهای اینترنت اشیاء در کشاورزی و آبیاری پرداخته و سپس چالش‌ها و راه‌های رفع آن‌ها، معماری‌ها و استانداردهای مطرح‌شده در زمینه اینترنت اشیاء را بررسی کنیم. همچنین این پژوهش پتانسیل حسگرهای بی‌سیم و اینترنت اشیاء در کشاورزی و همچنین چالش‌هایی که انتظار می‌رود در هنگام ادغام این فناوری با شیوه‌های کشاورزی سنتی با آن مواجه شود را برجسته می‌سازد. از طرفی دیگر، دستگاه‌های اینترنت اشیاء و تکنیک‌های ارتباطی مرتبط با حسگرهای بی‌سیم که در کاربردهای کشاورزی با آن مواجه می‌شوند و حسگرهایی که برای کاربردهای خاص کشاورزی در دسترس هستند، همانند آماده‌سازی خاک، وضعیت محصول، آبیاری، تشخیص حشرات و آفات، و چگونگی استفاده از این فناوری توسط تولیدکنندگان که به‌آن‌ها کمک خواهد کرد تا مراحل کشت، از کاشت تا برداشت، بسته‌بندی و حمل را به‌آسانی انجام دهند، توضیح داده شده است. معماری‌ها و پلتفرم‌های پیشرفته مبتنی بر اینترنت اشیاء که در آبیاری هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز هر جا که مناسب باشد برجسته می‌شوند. در نهایت، بر اساس این بررسی کامل، روندهای فعلی و آتی اینترنت اشیاء در آبیاری هوشمند را شناسایی کرده و چالش‌های پژوهشی بالقوه را برجسته خواهیم نمود.

کلمات کلیدی: کشاورزی هوشمند، حسگرها، سنجش از دور، مدیریت مزرعه.

Smart Irrigation Based on the IoT

Abstract

Today, despite the idea that people may have about agriculture, it is a complex, time-consuming, and expensive process. Still, the reality is that today's agriculture industry is data-driven, accurate, smarter, and even easier. It has changed more compared to the past. All these cases have been formed with the help of a new concept called the Internet of Things in the agricultural industry. The Internet of Things is a huge network of people and things and the increasing expansion of the Internet and the reduction of its costs have provided the ground for the creation of the Internet of Things. Such changes have caused a great revolution in the field of agricultural industry, which has shaken the existing agricultural methods and can create new opportunities in the present and future. Determining the users of the Internet of Things will play an effective role in determining its prospects. However, the implementation of the Internet of Things is associated with challenges, and the Internet of Things needs standards to continue its work. So far, a lot of research has been done on the challenges of the Internet of Things and ways to solve them. Also, standards have been defined for the Internet of Things. In this article, we intend to examine the concept and applications of the Internet of Things in agriculture and irrigation, then the challenges and ways to solve them, and the architectures and standards proposed in the field of the Internet of Things. Also, this paper highlights the potential of wireless sensors and IoT in agriculture, as well as the challenges that are expected to be faced when integrating this technology with traditional agricultural practices. On the other hand, IoT devices and communication techniques related to wireless sensors encountered in agricultural applications and sensors available for specific agricultural applications, such as soil preparation, crop status, irrigation, insect and pest detection, as well as How to use this technology by the producers, which will help them to carry out the stages of cultivation, from planting to harvesting, packaging and transportation, has been explained. Advanced IoT-based architectures and platforms used in smart irrigation are also highlighted wherever appropriate. Finally, based on this comprehensive review, we identify the current and future trends of the Internet of Things in smart irrigation and

highlight potential research challenges.

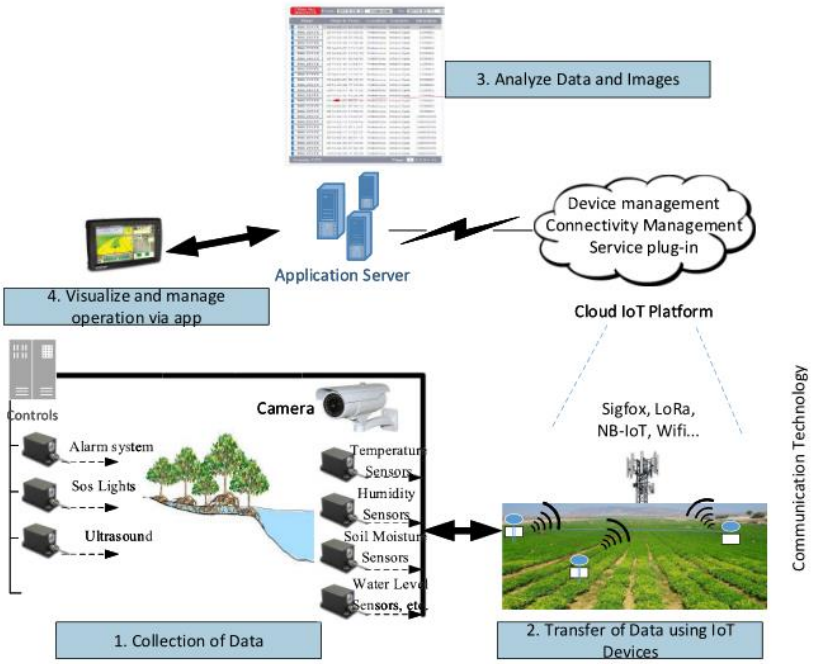
Keywords: Smart Farming, Sensors, Remote Sensing, Farm Management.

۱– مقدمه

آب یک منبع بسیار ارزشمند است که باید از آن به درستی استفاده شود. کشاورزی یکی از حوزه‌هایی است که آب زیادی مصرف می‌کند. در کشاورزی سنتی، کشاورزان برای بررسی زمان و میزان آب مورد نیاز مزارع خود باید حتماً در مزرعه حضور پیدا می‌کردند که این نیازمن صرف زمان و تلاش زیادی است؛ خصوصاً زمانی که نیاز باشد یک کشاورز چندین مزرعه را آبیاری نماید اما امروزه کشاورزان این امکان را دارند که کارهای کشاورزی را در کنار دیگر فعالیت‌هایشان مدیریت نمایند (Pourgholam-Amiji, 2021; Obaideen et al., 2022). خودکارسازی در سیستم آبیاری، کار کشاورز را بسیار آسان‌تر می‌کند. سیستم آبیاری خودکار مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT[1]) یک راه‌حل مطمئن برای کشاورزان است که حضور در مزرعه را کاهش می‌دهد. علاوه بر این با استفاده از تلفن همراه خود می‌توانند وضعیت رطوبت و دمای مزرعه را کنترل کرده و مصرف آب مورد نیاز برای آبیاری مزارع را به‌خوبی مدیریت نمایند (Dokhande et al., 2019; Okolie et al., 2023).

اینترنت اشیاء، به‌عنوان یکی از فناوری‌های اصلی برای بهبود و حتی تغییر شکل زندگی بشر طی سال‌های اخیر در جهان مطرح شده و برخی از کشورهای بزرگ جهان توسعه این فناوری را به‌عنوان موتور محرک رشد اقتصادی خود انتخاب نموده‌اند. پیش‌بینی‌های مختلفی وجود دارد ولی بر اساس برخی مطالعات برآورد می‌گردد تا سال ۲۰۲۵–۲۰۲۰ جهان به اهداف کمی نظیر ۵۰ میلیارد اشیای متصل به یکدیگر، چهار میلیارد نفر متصل به یکدیگر، چهار هزار میلیارد دلار فرصت درآمدزایی، ۲۵ میلیون اپلیکیشن کاربردی، ۲۵ میلیارد سیستم‌های یکپارچه هوشمند و ۵۰ هزار میلیارد گیگابایت داده تولیدشده در حوزه اینترنت اشیاء خواهد رسید (Rivera & Goasduff, 2014; Morfino & Rampone, 2020). IoT، کاربرد خود را در حوزه‌های مختلفی از جمله ارتباط صنایع، شهر هوشمند، خانه هوشمند، انرژی هوشمند، ارتباط ماشین، کشاورزی هوشمند، ارتباط ساختمان‌ها، مراقبت‌های بهداشتی، تدارکات، در میان سایر حوزه‌ها پیدا کرده است. IoT قصد دارد با استفاده از اینترنت، دنیای فیزیکی را با دنیای مجازی ادغام کند. IoT به‌عنوان یک سیستم از دستگاه‌های محاسباتی مرتبط به هم، ماشین‌های مکانیکی و دیجیتال، اشیا، حیوانات، یا افرادی که با شناسه‌های منحصربه‌فرد و توانایی انتقال داده‌ها در یک شبکه بدون نیاز به تعامل انسان–انسان یا انسان–کامپیوتر فراهم می‌شوند، تعریف شده است (Elijah et al., 2018). در سال‌های آتی، تقاضای برای غذا، به‌شدت افزایش خواهد یافت. این امر همراه با کاهش منابع طبیعی، زمین‌های قابل کشت، شرایط آب و هوایی غیرقابل‌پیش‌بینی، امنیت غذایی را به یک نگرانی عمده برای اکثر کشورها تبدیل می‌کند. پیش‌بینی می‌شود که نصب دستگاه‌های IoT در بخش کشاورزی از ۳۰ میلیون در سال ۲۰۱۵ به ۷۵ میلیون تا سال ۲۰۲۰ افزایش یابد (Wolfert et al., 2017; Elijah et al., 2017). شکل (۱) اکوسیستم اینترنت اشیا را نشان می‌دهد. چهار جزء اصلی برای هر برنامه IoT که ضروری هستند، شامل حسگرهای دما، رطوبت هوا، رطوبت خاک و سطح آب می‌باشند.

[1] Internet of Things



شکل ۱- تصویری از اکوسیستم اینترنت اشیا برای کشاورزی (Okolie et al., 2023)

از طرفی، کشاورزی هوشمند، یک اصطلاح جدید در زمینه کشاورزی نیست، توسعه اولیه کشاورزی دقیق در سال ۱۹۹۲ میلادی در شهر مینیاپلیس[1] آغاز شد و پس از آن به‌عنوان یک موضوع تحقیقاتی در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفت. این اصطلاح با عنوان سیستم مدیریت مزرعه مبتنی بر اطلاعات و تکنولوژی برای شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و مدیریت تغییرپذیری در زمینه‌های مختلف جهت بهینه‌سازی استفاده از دارایی‌های موجود و حفاظت از زمین به کار می‌رود (Goel and Bindal, 2018). کشاورزی هوشمند به شیوهای نوین از کشت، نگهداری و برداشت محصولات کشاورزی و گیاهان، مبتنی بر تکنولوژی و فرآیندهای خودکار و هوشمند اشاره دارد. هوشمند کردن فعالیت‌های مزرعه می‌تواند کشاورزی سنتی را از حالت دستی و ثابت به حالت هوشمند و پویا منتقل کند و منجر به تولید بالاتر و با نظارت کمتر انسانی شود. کشاورزی هوشمند با استفاده از نهاده‌هایی مانند آب، کود، سموم دفع آفات، نظارت بر دام‌ها، پیش‌بینی آفت و بیماری‌ها، باعث بهبود بهره‌وری در کشاورزی می‌شود (Vaitheeka and Kumar, 2018). کشاورزی هوشمند بیشتر برای نشان دادن کاربرد راه‌حل‌های اینترنت اشیاء (IoT) در کشاورزی استفاده می‌شود. به‌کارگیری راه‌حل‌های IoT برای کشاورزی به‌طور مداوم در حال رشد است. از آنجا که فناوری همچنان در حال رشد توسعه است، فرصت‌های فراوانی برای ایجاد مشاغل در زمینه اینترنت اشیاء در کشاورزی، وجود خواهد داشت. ساختن محصولات IoT برای کشاورزی در سال‌های آینده می‌تواند تغییرات چشمگیری در این حوزه ایجاد کند. فناوری‌ها و IoT پتانسیل تغییر و تحول در بخش‌های مختلف کشاورزی را دارند (Khriji et al., 2021).

آبیاری هوشمند، اصلی‌ترین و مهم‌ترین مؤلفه کشاورزی هوشمند است که می‌تواند نقش کلیدی در افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، چه از طریق افزایش عملکرد یا از طریق کاهش آب مصرفی ایجاد کند. سیستم‌های مدیریت آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا می‌توانند در دستیابی به منابع بهینه آب در چشم‌انداز کشاورزی دقیق کمک کنند. کمبود آب در حال حاضر بر یک بخش از جهان تأثیر می‌گذارد و در طول زمان با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به آب شیرین بخش وسیع‌تری از جهان را در برمی‌گیرد. به دلیل کمبود سیستم‌های آبیاری هوشمند، کشورهای درحال‌توسعه در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته برای دستیابی به عملکرد مشابه، آب

1. Minneapolis

بیشتری مصرف می‌کنند. به‌عنوان مثال، هند حدود چهار درصد از منابع آب شیرین جهان را برای خدمت به ۱۷ درصد جمعیت جهان دارد؛ با این حال برای بعضی از محصولات اصلی کشاورزی دو الی چهار برابر بیشتر از کشورهایی مانند چین و ایالات‌متحده آمریکا آب مصرف می‌کند (Aayog, 2016). بنابراین نیاز به ایجاد استراتژی‌های هوشمند مبتنی بر فن‌آوری‌های پیشرفته و سیستم‌های مدیریتی برای استفاده مؤثر از آب وجود دارد (Rajurkar et al., 2017).

از مزایای اینترنت اشیاء (IoT) در آبیاری می‌توان این‌گونه بیان کرد که سیستم‌های آبیاری هوشمند از طریق واحدهای حسگر مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT)، نیاز آبیاری را به‌طور دقیق تخمین زده و با ثبت دمای محصول و رطوبت خاک، از وارد شدن تنش به گیاه جلوگیری کرده و بدین ترتیب امکان دستیابی به حداکثر محصول (با حداقل آب مصرفی) و توسعه پایدار را فراهم می‌کنند. بنابراین، آبیاری دقیق (PI) یک راه‌حل کارآمد برای مقابله با کمبود منابع اساسی مانند غذا، آب، واحدهای زمینی و بازده محصول می‌باشد (Subashini et al., 2018; Jalilvand et al., 2019; Bodkhe et al., 2022; Munir et al., 2021). همچنین باید بیان کرد که اینترنت اشیاء (IoT)، پتانسیل فوق‌العاده‌ای در سنجش زمینی پارامترها، کنترل از راه دور مزرعه، برنامه زمانی کار برای ماشین‌آلات و تدوین راهبردهای مناسب و دقیق برای سیستم‌های آبیاری دارد و می‌تواند پیوند قوی بین کشاورزان، مشاوران و مدیران ایجاد کند. هدف IoT در بخش آبیاری هوشمند و امنیت کشاورزی، ارائه تحقیقات و الگوهای مناسب برای ترویج تولید پایدار کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آب، محصولات سالم و سودآور است (Shi et al., 2019; Salam, 2020; Serra and Espírito-Santo., 2021). در دنیای صنعتی و مکانیزه امروزی، درختان، گیاهان و فضای سبز، شریان‌های اصلی حیات شهرها هستند و آبیاری یکی از نیازهای اولیه و اساسی در نگهداری آن‌ها است. حال استفاده از روش‌های نوین و پیشرفته آبیاری به‌عنوان روشی مؤثر و ضروری می‌تواند در کاهش مشکل بحران کم‌آبی و اثرات خشک‌سالی مفید باشد و با جلوگیری از هدر رفت آب‌های موجود به بهترین روش آبیاری باغات و زمین‌های کشاورزی دست یابد. علاوه بر موارد فوق، هزینه نیروی کارگری نیز افزایش‌یافته که خود نیاز به مدیریت بیشتر و به‌کارگیری کمتر نیروی کارگری را می‌طلبد. هوشمندسازی روش‌های مختلفی همچون بهره‌گیری از انواع حسگرها، پهپادها، سنجش‌ازدور و اینترنت اشیاء برای هوشمندسازی سیستم‌های آبیاری ارائه شده است. بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند آبیاری علاوه بر بهبود عملکرد گیاهان، موجب کاهش تلفات آب و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی خواهد شد.

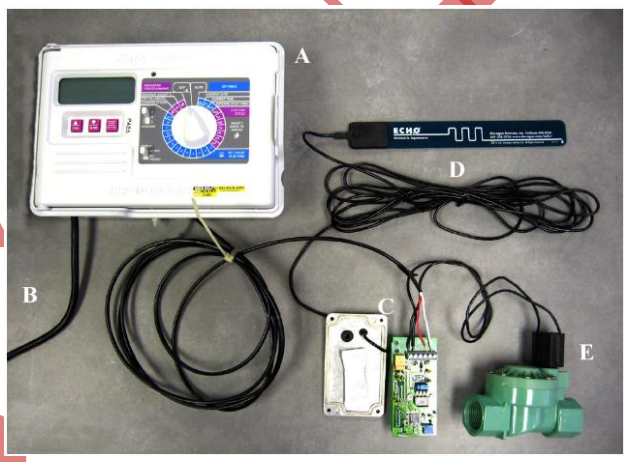
۲- پیشینه پژوهش

در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه به دلیل شهرنشینی و صنعتی شدن، انتظار می‌رود آب آبیاری در دسترس، در آینده نزدیک کاهش یابد (Playan & Mateos, 2006; Levidow et al., 2014). آبیاری در بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب و منبع آلودگی بالقوه در بسیاری از کشورها است. همچنین به دلیل آبیاری بیش‌ازحد باعث رهاسازی مواد شیمیایی کشاورزی از طریق آبشویی و رواناب در محیط‌زیست می‌شود. تولید گلخانه‌ای سبزیجات در دهه‌های اخیر به‌ویژه در مناطق دارای شرایط مناسب آب و هوایی مانند منطقه مدیترانه اهمیت زیادی یافته است (Baudoin et al., 2013; Pourgholam-Amiji, 2021). تولید سبزیجات گلخانه‌ای می‌تواند تأثیرات زیست‌محیطی را نسبت به کشت فضای باز کاهش دهد (Stanghellini, 2014). در مورد تولید سبزیجات، آبیاری بهینه می‌تواند به بهبود کیفی و کمی منجر شود، در حالی که آبیاری بیش‌ازحد و یا کمتر می‌تواند رشد موفق محصول را به خطر بیندازد. علاوه بر تأثیر مستقیم بر عملکرد محصول، روش‌های آبیاری بر محیط‌زیست نیز تأثیر می‌گذارند (Pardossi et al., 2009).

امروزه طراحی سیستم آبیاری هوشمند با به‌کارگیری سنسورهای مختلف رطوبتی به‌منظور آبیاری کاملاً خودکار امکان‌پذیر شده است. از جمله استفاده از شبکه حسگر بی‌سیم در زمینه کشاورزی از سال ۲۰۰۵ در تاکستان‌های ایتالیا شروع شد و سپس سایر کشورها نیز کارهایی را در این زمینه انجام داده‌اند. اولین مکان آزمایشی در نوامبر ۲۰۰۵ در یک تاکستان شیب‌دار در مزرعه‌ای در ناحیه کیانتی

ایتالیا انتخاب شد. در این تاکستان ۶۹ گره با تعداد ۲۴ حسگر بکار گرفته شد که توزیع گره‌ها در دو مرحله انجام شد. در گام اول، یک گره تعبیه شد تا یک آزمایش یک‌هفته‌ای انجام شود. مهم‌ترین نتیجه‌ای که حاصل شد در رابطه با مسیریابی چند جهشی بود. در گام دوم هفت گره دیگر در منطقه تعبیه شد که از تعداد برخوردها کاسته شده و در نتیجه بر کارایی شبکه تأثیر مثبتی گذاشت. در حال حاضر این شبکه به مکان آزمایشی دائمی تبدیل شده است که تاکنون اطلاعات بسیاری را از تاکستان در پایگاه داده خود ذخیره نموده و در اختیار متخصصان کشاورزی قرار داده شده است (Wang et al., 2011).

در زمینه سیستم آبیاری قطره‌ای نیمه‌خودکار برای گوجه‌فرنگی بر پایه سنسور اندازه‌گیری رطوبت خاک و مدت‌زمان کارکرد ثابت آبیاری در ایالت فلوریدا تحقیقاتی توسط (2005) انجام شد. در این پژوهش از سخت‌افزار کنترل زمان سنسور رطوبت‌سنج مدل ECH2O و شیر سلونوئیدی در سیستم کنترل آبیاری استفاده شد (شکل ۱). در ابتدا رطوبت و زمان آبیاری به‌ترتیب برای شروع آبیاری و مدت‌زمان کار پمپ به سخت‌افزار کنترل زمان داده می‌شود. رطوبت در قسمتی از مزرعه توسط حسگر اندازه‌گیری شده و این داده به واحد کنترل ارسال و پس از پردازش چنانچه با مقدار رطوبت تعیین‌شده برابر باشد، آبیاری شروع و شیر سلونوئیدی باز می‌شود. مدت‌زمان آبیاری تا زمان داده‌شده به سخت‌افزار ادامه می‌یابد و پس از اتمام آن خاموش می‌گردد. نتایج این شیوه کنترل آبیاری در محصول گوجه‌فرنگی نشان داد که مصرف آب به میزان ۳۰ درصد کاهش یافته و عدم توجه به پارامترهای تأثیرگذار بر محل قرارگیری حسگر از قبیل الگوی توزیع رطوبت در خاک و بخش ریشه تعیین محل دقیق آن در مزرعه نیازمند بررسی است. همچنین استفاده از انواع حسگر به دلیل واسنجی خاص در اتصال به واحد کنترل باعث محدودیت استفاده از انواع سنسورهای رطوبت‌سنج در سیستم می‌شود.



شکل ۱- نمایی از تجهیزات سیستم نیمه‌خودکار آبیاری برای گوجه‌فرنگی (Muñoz-Carpena & Dukes, 2005)

(A: سخت‌افزار کنترل زمان، B: منبع تغذیه، C: سنسور رطوبت‌سنج، D: پردازشگر زمان، E: شیر سلونوئیدی)

ساخت و ارزیابی سیستم‌های هوشمند آبیاری توسط Jyothipriya & Saravanabava. (2013) بر روی محصولاتی نظیر خیار، بادمجان، لوبیا، گوجه‌فرنگی و کدو در طول دوره رشد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج ارزیابی سیستم در مصرف آب حاکی از آن بود که مصرف آب ۴۷–۵۷ درصد بدون تأثیری بر عملکرد محصول، کاهش یافت. ساخت سیستم آبیاری هوشمند ساده و ارزان‌قیمت با هدف بهینه نمودن مصرف آب با استفاده از سنسورهای رطوبت خاک WATERMARK، موضوع پژوهشی بود که توسط Algeeb et al. (2010) انجام شد. این سیستم تنش خاک، دمای خاک و وضعیت باران را اندازه‌گیری کرده و داده‌ها را برای مراجعات بعدی در یک فایل ثبت می‌کند. نتایج حاکی است که می‌تواند از پارامترهای رطوبتی خاک در جهت هوشمند کردن سیستم‌های آبیاری با هزینه پایین استفاده کرد. همچنین این سیستم هوشمند کنترل آبیاری برای دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و مزارعی که کنترل محتوای

آب–خاک مورد نیاز است، مناسب می‌باشد. این سیستم می‌تواند برای مطالعه نیاز آبی برای محصولات مورد استفاده قرار گیرد تا آبیاری به‌طور مؤثر برنامه‌ریزی شود.

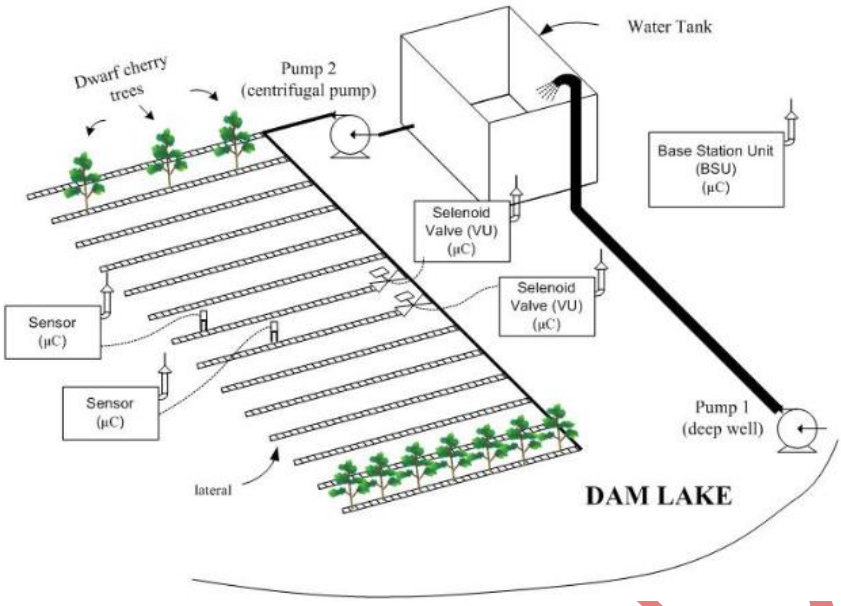
سیستم آبیاری هوشمند برای آبیاری گل‌های خانگی (شمعدانی، اسطوخدوس و نعناع) توسط Angelopoulos et al. (2011) انجام شد که قادر به اجرای عملیات آبیاری به‌صورت هوشمند در گلخانه بود. شکل (۲) نمای ساخته‌شده این سیستم را نشان می‌دهد. در این سیستم از یک مرکز کنترل جهت پردازش داده‌های دریافتی از سنسور رطوبت‌سنج مدل EC-5 (شکل ۳) و ارسال فرمان قطع و وصل شیرهای سلونوئیدی (شکل ۴) جهت باز و بسته نمودن مسیر آب در لوله‌های آبیاری و یک شیر کنترل فشار آب استفاده شد. نیاز آبی متفاوت گل‌ها باعث شده بود که برای هر گلدان از یک شیر سلونوئیدی و یک سنسور مجزا استفاده نماید. نحوه عملکرد سیستم بدین ترتیب بود که سنسور رطوبت‌سنج در هر گلدان میزان رطوبت هر گلدان متفاوت بوده و همین امر باعث باز و بسته شدن شیرهای سلونوئیدی در زمانه‌ای متفاوت می‌شود. با باز و بسته شدن شیرهای سلونوئیدی در زمان‌های مختلف، فشار در لوله‌های آبده تغییر می‌کند. شیر کنترل فشار با بالا رفتن و کاهش فشار در لوله‌های آبده مقدار فشار آب را کنترل تا مانع از به وجود آمدن خسارت به لوله‌ها و سیستم گردد. ارزیابی‌ها نشان داده‌اند علاوه بر اینکه می‌توانند از رطوبت اطراف ریشه گیاه جهت کنترل هوشمند آبیاری استفاده نمایند، حتی توانایی کنترل هوشمند آبیاری گل‌های خانگی با نیاز آبی متفاوت بدون نیاز به مراقبت نیز امکان‌پذیر می‌باشد. مطلوب بودن نتایج آزمایشگاهی این پژوهش در کنترل خودکار چند گلدان نشان‌دهنده آن است که امکان اجرای سیستم برای مزارعی که از نظر شاخص‌های خاک به چند قطعه تقسیم می‌شود، وجود دارد. استفاده از پمپی با دبی مطلوب برای حالتی که هر چهار گلدان در یک زمان آبیاری می‌شوند، سیستم را مجاب به استفاده از یک شیر کنترل فشار نموده است که باید به‌صورت مداوم فشار درون لوله‌های آبده را تنظیم نماید. طراحی صحیح سیستم آبیاری می‌تواند راهکاری در این زمینه باشد. در پژوهش ایشان که سیستم خودکار آبیاری بر روی فضای سبز اجرا شده است، با طراحی صحیح مانع استفاده از شیر کنترل فشار شده و هر قطعه به‌صورت جداگانه آبیاری می‌شود. این بدین معنا است که تا زمانی که قطعه یک آبیاری نشود، قطعه دو آبیاری نخواهد شد. در واقع تا اتمام آبیاری قطعه یک، هیچ داده‌ای از سایر سنسورهای دیگر دریافت نمی‌شود. این کار باعث می‌شود که در سیستم از پمپ با دبی کم استفاده و شیر کنترل فشار از مدار سیستم حذف شود.

شکل ۲- نمایی از سیستم آبیاری هوشمند برای گل‌های خانگی (Angelopoulos et al., 2011)

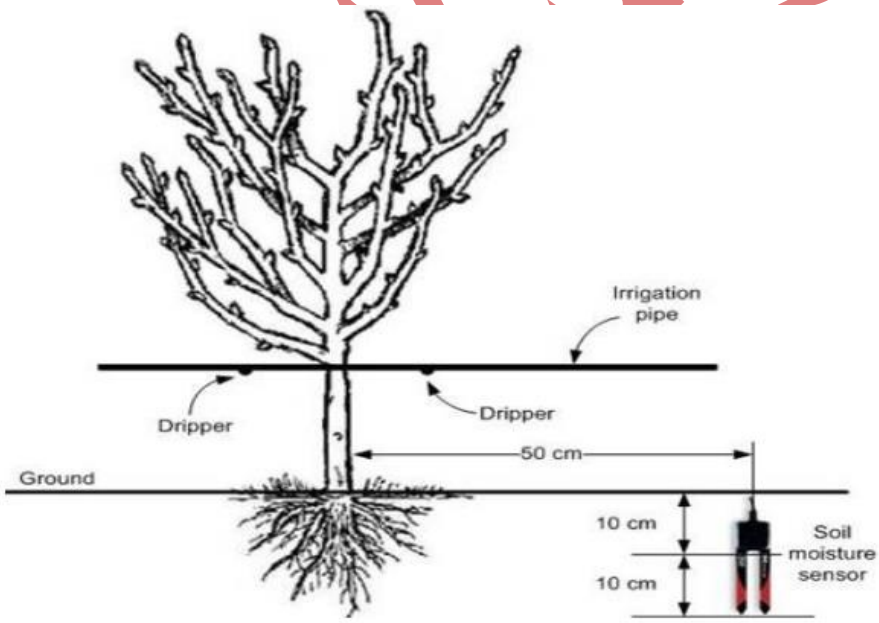
شکل ۳- سنسور رطوبت خاک EC-5 (Angelopoulos et al., 2011)

شکل ۴- نمایی از شیرهای سلونوئیدی (Angelopoulos et al., 2011)

در آزمایشی در کشور ترکیه از شبکه حسگرهای بی‌سیم در کنترل هوشمند آبیاری قطره‌ای درختان گیلاس پاکوتاه و پایش زمان واقعی محتوای آب–خاک استفاده شد. در مزرعه مورد آزمایش درختان گیلاس به‌صورت ردیفی کشت شدند. بنابراین در هر ردیف کشت از یک سنسور رطوبت‌سنج و شیر سلونوئیدی مجهز به بی‌سیم استفاده شد. در شکل (۵) با توجه به الگوی پخش ریشه درخت گیلاس، حسگر در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از تنه درخت و عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گرفته است. شکل (۶)، تعیین دقیق محل قرارگیری سنسور تابعی از پیاز رطوبتی و الگوی پخش ریشه می‌باشد. در این مطالعه جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از ایستگاه‌های بی‌سیم انرژی خورشیدی به‌منظور کنترل دریچه‌های آبیاری انجام شد. سیستم طراحی‌شده دارای سه واحد به نام‌های واحد ایستگاه پایه (BSU)، واحد شیر (VU) و واحد حسگر (SU) بودند. سیستم آبیاری به‌دست‌آمده نه‌تنها از تنش رطوبتی درختان و شوری جلوگیری کرد، بلکه استفاده بهینه از منابع آب شیرین را نیز فراهم نمود. علاوه بر این، روش آبیاری توسعه‌یافته نیاز به کار برای آبیاری غرقابی را برطرف می‌کند. سیستم طراحی‌شده برای کنترل آبیاری قطره‌ای درختان گیلاس پاکوتاه در منطقه‌ای به مساحت دو هکتار در مرکز آناتولی اعمال شد (Dursun & Ozden, 2011).



شکل ۵- نمای کلی از سیستم هوشمند آبیاری طراحی‌شده برای درختان گیلاس (Dursun & Ozden, 2011)

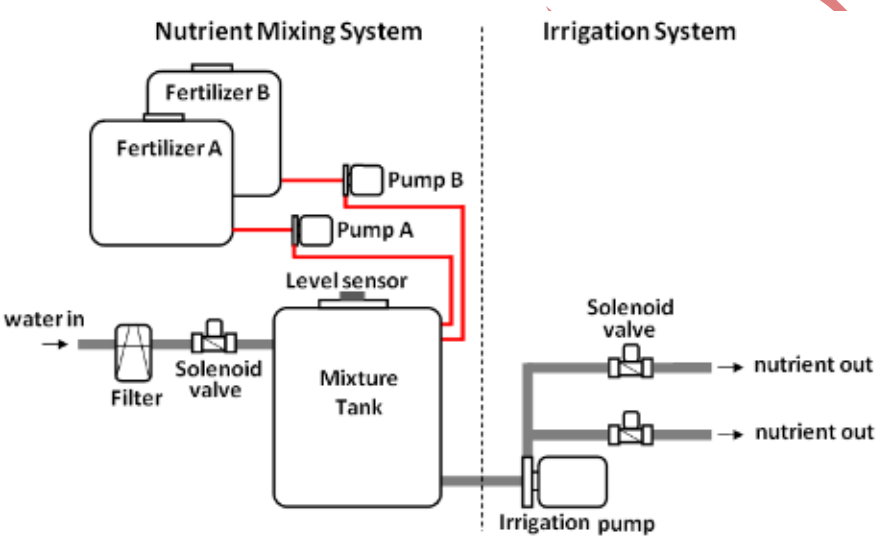


شکل ۶- محل قرارگیری سنسور رطوبت خاک و فاصله آن نسبت به ریشه گیاه در درختان گیلاس (Dursun & Ozden, 2011)

در پروژه‌ای از سیستم کنترل کوددهی خودکار با انرژی خورشیدی برای کشت طالبی در گلخانه استفاده شد. هدف از انجام این پروژه، ارائه راه‌حل کم‌هزینه برای کنترل دقیق مقدار اختلاط کود و آب آبیاری به کشاورزان محلی در مالزی بود. در این پژوهش از یک مقدار هدایت الکتریکی (EC[1]) از پیش تعریف‌شده به‌عنوان ورودی واحد استفاده شد که تمام فرآیندهای خودکار در کشت طالبی را با استفاده از سیستم کوددهی کنترل می‌کند. سیستم‌های توسعه‌یافته کاملاً از سیستم انرژی خورشیدی تغذیه می‌شدند و کارایی آن برای کنترل فرآیند اختلاط مواد مغذی و تزریق محلول‌های غذایی با توجه به سرعت رشد گیاهان و در عین حال نظارت بر

[1] Electrical Conductivity

پارامترهای کلیدی در فرآیند کوددهی مورد آزمایش قرار گرفتند. این سیستم با استفاده از سه مخزن پلی‌اتیلن استوانه‌ای توسعه یافت. کودها در دو مخزن ۳۰ لیتری قرار گرفتند و مخزن ۶۰ لیتری دیگر برای اختلاط کود و آب آبیاری تعبیه شد. شکل (۷)، نمایی از نحوه عملکرد سیستم اختلاط کود و آب آبیاری را نشان می‌دهد. پمپ‌های تزریق کود (پمپ A و پمپ B) با دبی ۵۵ لیتر در ساعت با ولتاژ شش ولت و پمپ آبیاری دارای با دبی ۲۵۰ لیتر در ساعت با ولتاژ ۱۲ ولت بودند. از سه شیر برقی ۱۲ ولتی در این سیستم برای کنترل جریان آب به مخزن اختلاط و کنترل استفاده شد. نتایج ارزیابی سیستم توسعه‌یافته نشان داد که سیستم قادر است سطح EC و مواد مغذی روزانه را برای هر گیاه حفظ کند. این سیستم می‌تواند به‌عنوان نمونه اولیه برای کشاورزان مالزیایی برای کنترل و نظارت خودکار سیستم تحویل مواد مغذی مورد استفاده قرار گیرد. با بهره‌برداری کامل از انرژی خورشیدی، این سیستم قادر است در مکان‌های روستایی و دورافتاده نصب شود تا هزینه‌ها کاهش یافته و عملکرد بهتری برای سایر محصولاتی که با استفاده از سیستم‌های کود دهی کشت می‌شوند، تولید شود (Salih et al., 2011).



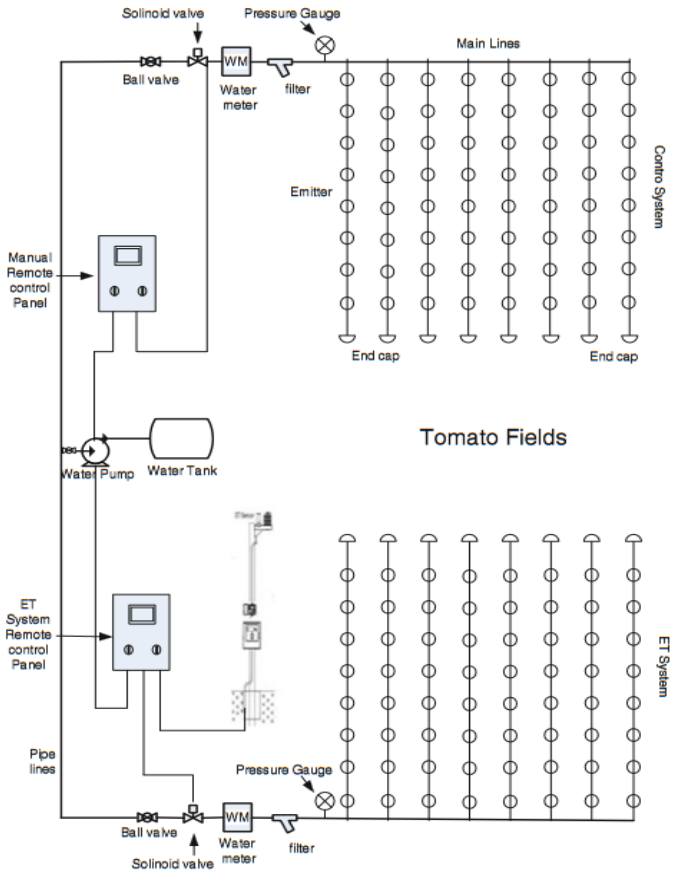
شکل ۷- نحوه عملکرد سیستم آبیاری توأم با کوددهی به‌صورت خودکار (Salih et al., 2011)

در آزمایشی که تحت عنوان سیستم آبیاری هوشمند گندم با استفاده از فناوری شبکه حسگرهای بی‌سیم در عربستان سعودی توسط Atta et al. (2011) انجام شد، روش سیستم آبیاری هوشمند آن‌ها بدین‌صورت بود که در ابتدا نیاز آبی گیاه گندم مشخص و سپس بر اساس دور آبیاری، زمان‌بندی آبیاری را به سیستم کنترل ارسال می‌کرد (شکل ۸). سیستم بر اساس یک سنسور رطوبت‌سنج، رطوبت اطراف گیاه را دریافت و بر اساس این دو مقوله قطره‌چکان‌های را جهت آبیاری به کار می‌انداخت. بر اساس این سیستم، آن‌ها مصرف آب را برای گندم در طول مرحله رشد مدیریت نموده و کاهش مصرف آب را گزارش کردند. بنابراین سیستم پیشنهادی ارزان، قابل‌اعتماد و ساده بوده و تأثیر سیستم ساخته‌شده بر رشد گیاهان و خاک مورد مطالعه قرار گرفت و افزایش راندمان آب مصرفی پایش شد.

شکل ۸- سیستم آبیاری هوشمند ریزمقیاس (آزمایشی) برای گیاهان گلدانی (Atta et al., 2011)

Al-Ghobari & Mohammad, (2011) دو سیستم کنترل هوشمند و کنترل دستی آبیاری قطره‌ای برای دو محصول گندم و گوجه‌فرنگی مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. این آزمایش در مزارع دانشکده علوم غذایی و کشاورزی دانشگاه ملک سعود، ریاض عربستان انجام شد. در سیستم دستی کنترل آبیاری با استفاده از نظارت بر عوامل گیاهی و خاک صورت گرفت. در سیستم آبیاری هوشمند از یک ایستگاه هواشناسی مزرعه‌ای که مجهز به انواع حسگرهای بادسنج، میزان بارندگی روزانه دمای محیط و رطوبت‌سنج بود، برای نظارت بر شرایط محیطی مزرعه استفاده شد. در سیستم هوشمند آبیاری بر اساس اندازه‌گیری عوامل ذکرشده به‌صورت هوشمند صورت گرفت. محل قرارگیری حسگر برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق ۲۶ سانتی‌متری از سطح خاک بود. در این آزمایش فقط از یک حسگر رطوبت‌سنج در یک قسمت از مزرعه استفاده گردید. با استفاده از این حسگر و داده‌های هواشناسی تأثیرگذار بر تبخیر–تعرق، اقدام به ارزیابی سیستم هوشمند و دستی در جهت کاهش مصرف آب با توجه عملکرد دو محصول شد. نتایج حاکی از آن بود که هیچ تفاوتی بین عامل‌های رشد گیاهی وجود نداشت و آنچه به‌عنوان یک اختلاف معنی‌دار در بین دو سیستم هوشمند و دستی وجود داشت، مصرف آب بود که در سیستم هوشمند میزان مصرف آب برای دو محصول گندم و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱۸ و ۲۷ درصد پایین‌تر از سیستم دستی گزارش شد. شکل (۹) سیستم‌های آبیاری اجراشده در کنترل مصرف آب برای محصول گندم را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از ایستگاه هواشناسی در هوشمندسازی سیستم آبیاری بر دقت و بازدهی این سیستم افزوده است.

ویرایش شده



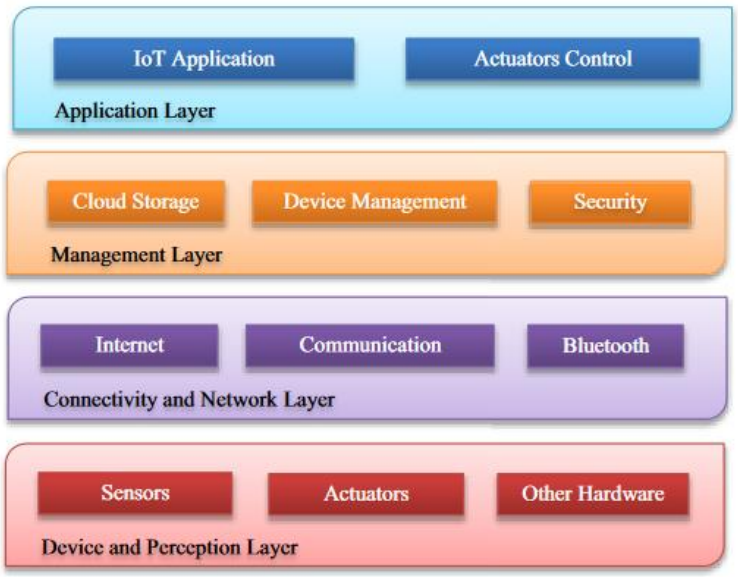
شکل ۹- نمونه یک سیستم آبیاری سنتی و هوشمند برای مزرعه گوجه‌فرنگی (Al-Ghobari & Mohammad, 2011)

در مطالعه‌ای O'Shaughnessy & Evett (2010) یک برنامه زمان‌بندی آبیاری خودکار را بر اساس اندازه‌گیری مستقیم آب خاک پیشنهاد دادند که آب را به‌صورت معقول‌تر از سیستم آبیاری دستی استفاده می‌کند. Gutiérrez et al. (2014) یک سیستم آبیاری خودکار با استفاده از شبکه حسگر بی‌سیم و ماژول GPRS[1] (سرویس بسته امواج رادیویی) برای صرفه‌جویی در آب آبیاری پیشنهاد کردند. در این سیستم یک شبکه از حسگرهای رطوبت خاک با کنترل‌کننده در یک مزرعه برای نظارت بر زمان واقعی و کنترل آبیاری نصب شده بود. Jaguey et al. (2015) روشی برای تشخیص میزان رطوبت نسبی خاک ارائه دادند. در این روش از پردازش عکس‌های گرفته‌شده از خاک کمک گرفته شد. به‌طوری که عکس‌ها توسط یک تلفن همراه گرفته و با توجه به رنگ خاک، میزان رطوبت آن تخمین زده می‌شود. همان‌طور که مشخص است، دقت این روش کم است. Roopae et al. (2017) یک سیستم نظارت آبیاری هوشمند مبتنی بر تصویربرداری حرارتی را پیشنهاد کردند. تکنیک پیشنهادی از دوربین تصویربرداری حرارتی بر روی هواپیماهای بدون سرنشین استفاده می‌کند. تصاویر حرارتی کاربرد بالقوه‌ای در بسیاری از عملیات مرتبط با کشاورزی دارد که می‌توان به ارزیابی قابلیت جوانه‌زنی بذر، تخمین میزان رطوبت خاک، تخمین تنش آبی محصول، برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین بیماری‌ها و گیاهان آسیب‌دیده، تخمین عمر میوه، ارزیابی رسیدگی میوه و سبزیجات اشاره کرد. استفاده از این فناوری برای نمایش دمای تاج جهت تشخیص تنش در گیاهان و تخمین در هدایت روزنه برای کمک به برنامه‌ریزی در روش‌های آبیاری مورد بررسی بسیاری از محققان قرار گرفته است (Leinonen & Jones, 2004).

[1] General Packet Radio Service

Rajalakshmi & Mahalakshmi, (2016) سیستم هوشمند آبیاری را با استفاده از حسگرهای رطوبت، خاک رطوبت، هوا، نور و دما توسعه دادند. در این سیستم داده‌ها توسط حسگرها جمع‌آوری می‌شوند، سپس به‌صورت بی‌سیم به مرکز کنترل ارسال می‌شوند و اگر میزان رطوبت یا دما از حد معینی کمتر باشد آبیاری انجام می‌شود. اطلاعات نیز به‌طور مداوم برای تلفن همراه کشاورز ارسال می‌شود. به این ترتیب کشاورز قادر است تا از راه دور بر شرایط مزرعه خود نظارت داشته باشد. این سیستم در مناطقی که آب کمیاب است، بسیار سودمند می‌باشد و تا ۹۲ درصد در مصرف آب کارآمدتر از روش‌های سنتی و معمولی می‌باشد. Nikolidakis et al. (2015) از حسگرهای الکترومغناطیسی برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک استفاده کردند. این حسگرها برای نظارت بر محصول و آبیاری هوشمند استفاده می‌شوند و به‌طور مداوم وضعیت مزرعه را سنجش و اطلاعات را به مرکز کنترل ارسال می‌کنند؛ بر این اساس تصمیم‌گیری برای آبیاری خودکار در زمان لازم اتخاذ می‌شود. با این روش به میزان ۵۳ درصد در مصرف آب در آبیاری بارانی صرفه‌جویی شد.

در سال ۲۰۱۹ یک سیستم آبیاری هوشمند (SWS[1]) توسط Munir et al. (2019) ارائه شد. این سیستم با استفاده از برنامه انروید برای مصرف هوشمند آب در باغ‌های کوچک و مزارع در مقیاس متوسط، به کشاورزان کمک می‌کند. داده‌های مربوط به گیاهان و شرایط محیطی مانند سطح رطوبت خاک، شدت نور، رطوبت هوا، دمای هوا ضبط می‌شوند. سیستم پیشنهادی داده‌ها را با استفاده از روش منطق فازی برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه آبیاری پردازش می‌کند. نتایج حاصل از سیستم پیشنهادی نشان می‌دهد که این روش یک روش کارآمد و ایمن برای اجرای فرآیند آبیاری گیاهان می‌باشد. سیستم پیشنهادی دارای چهار لایه است که در شکل (۱۰) نشان داده شده است که عبارت‌اند از لایه کاربردی، لایه مدیریت، لایه شبکه ارتباطات و لایه سخت‌افزار که تمام این لایه‌ها برای داشتن یک سیستم آبیاری هوشمند با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند.

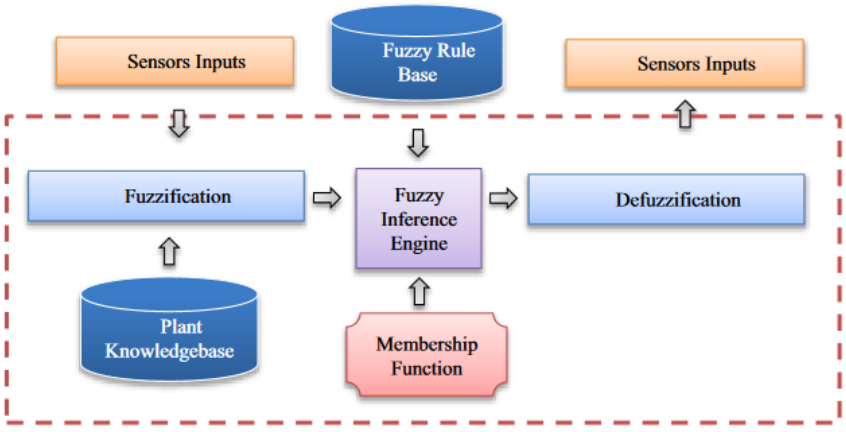


شکل ۱۰- معماری یک سیستم آبیاری کاملاً هوشمند (Munir et al., 2019)

در سال ۲۰۱۸ یک سیستم آبیاری هوشمند با استفاده از روش منطق فازی توسط Izzuddin et al. (2018) طراحی گردید. که مراحل کلی این سیستم در شکل (۱۱) نشان داده شده است. ورودی‌های سیستم کنترل منطق فازی از سنسور رطوبت، دما و نور و

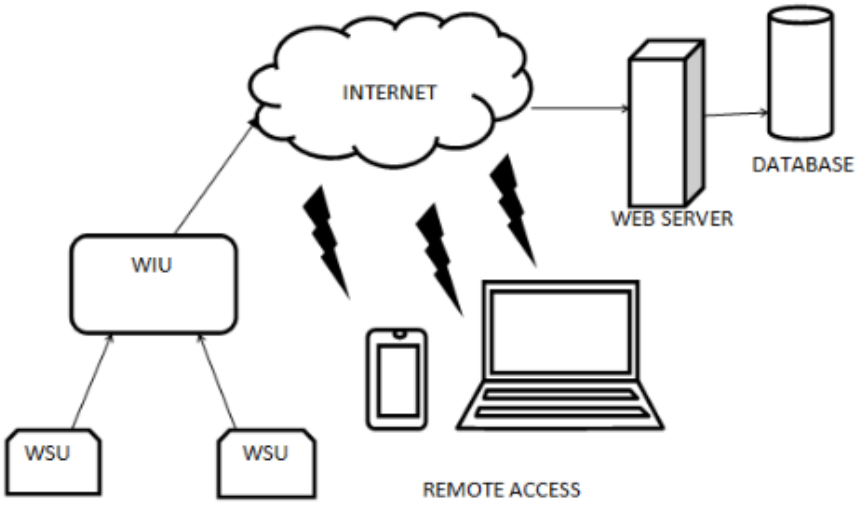
1. Smart Water System

خروجی این سیستم شامل لامپ و پمپ آب بود. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و SIMULINK انجام گرفت. نتیجه خروجی در نرم‌افزار MATLAB و SIMULINK با یکدیگر برابر بودند.



شکل ۱۱- کنترل‌کننده منطق فازی برای سیستم آبیاری هوشمند (Izzuddin et al., 2018)

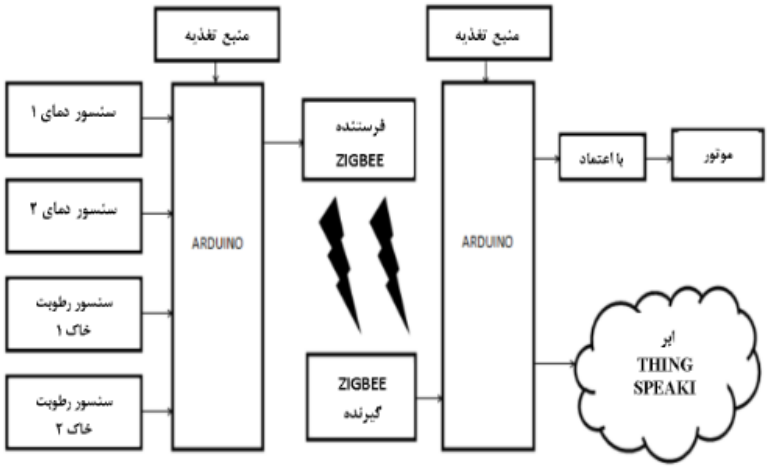
در سال ۲۰۱۹ یک سیستم آبیاری هوشمند توسط Bagaria (2019) پیشنهاد گردید که بر اساس ارتباطات بی‌سیم و از طریق میکروکنترلرها و تکنولوژی zigbee کار می‌کند. هدف از راه‌حل پیشنهادشده، کاهش مصرف آب و بهبود عملکرد و کیفیت محصول بود. او توانست بهره‌وری محصول را با استفاده از صرفه‌جویی در مصرف آب افزایش دهد. این سیستم از یک میکروکنترلر و یک ماژول فرکانس رادیویی (RF) و تعدادی سنسور رطوبت خاک و دما تشکیل شده است. اجزای حیاتی مورد نیاز برای راه‌حل پیشنهادشده در شکل (۱۲) نشان داده شده است. این مدل شامل یک واحد سنجش بی‌سیم (WSU[1]) و یک واحد اطلاعات بی‌سیم (WIU[2]) می‌باشد.



شکل ۱۲- مدل معماری سیستم پیشنهادی آبیاری هوشمند (Bagaria, 2019)

1. Wireless Sensor Unit
2. Wireless Information Unit

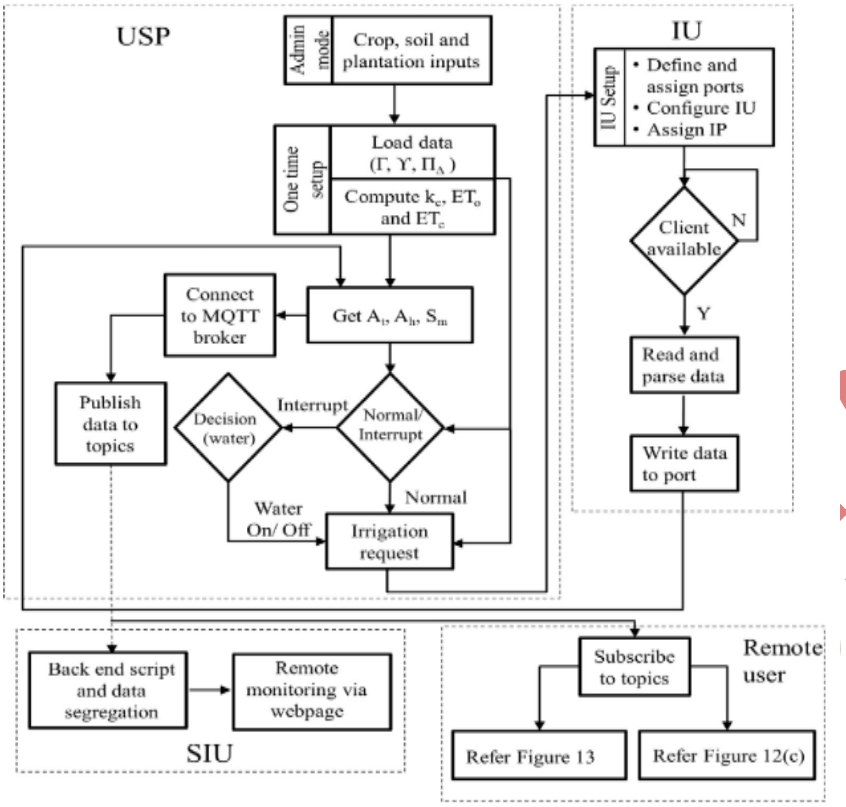
سیستم آبیاری هوشمند متشکل از دو جزء واحد حسگر و واحد اطلاعات می‌باشد. هر دو این واحدها از طریق فرستنده‌های zigbee به یکدیگر متصل می‌شوند که امکان انتقال داده‌های دما و سنسورهای رطوبت خاک را فراهم می‌کند. در شکل (۱۳) سازمان‌دهی سیستم به‌طورکلی نشان داده شده است.



شکل ۱۳- سازمان‌دهی یک سیستم آبیاری هوشمند (Bagaria, 2019)

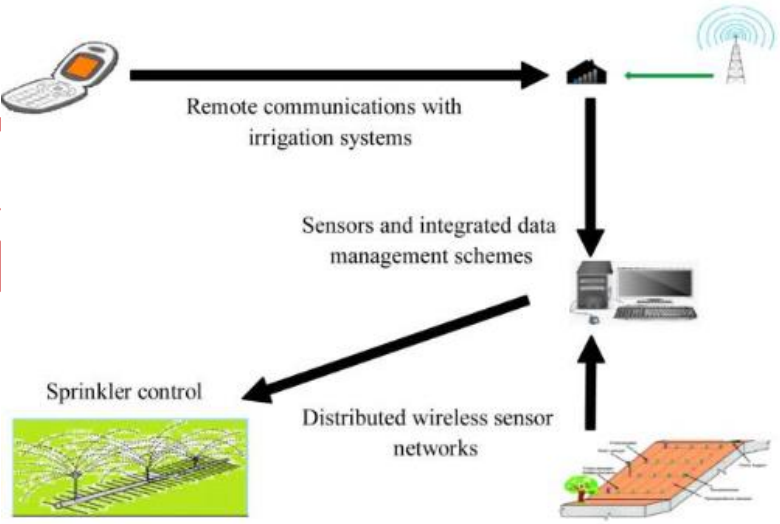
در سال ۲۰۱۹ یک سیستم آبیاری هوشمند کم‌هزینه مبتنی بر شبکه عصبی توسط Nawandar & Satpute (2019) پیشنهاد گردید. سیستم پیشنهادی، کم‌هزینه و قابل‌حمل بوده و برای گلخانه‌ها، مزارع و غیره مفید است. نمای کلی سیستم در شکل (۱۴) نشان داده شده است. سیستم آبیاری اتوماتیک دارای سه ماژول است: (۱) قطب سنسور متحد (USP[1])، (۲) واحد آبیاری (IU[2]) و (۳) واحد اطلاعات سنسور (SIU[3]) برای دستیابی به کاربر (برای به دست آوردن اطلاعات لازم برای محاسبه نیاز آبی مزارع از USP استفاده می‌شود؛ USP حسگرها را کنترل می‌کند و مسئول تصمیم‌گیری و ارسال درخواست به IU است؛ IU مسئول تحلیل و نوشتن اطلاعات ورودی از USP برای روشن / خاموش کردن پمپ آب برای منطقه مورد نیاز می‌باشد.USP اطلاعات سنسور را به SIU می‌فرستد. SIU داده‌های سنسور را ذخیره می‌کند).

1. Unified Sensor Pole
2. Irrigation Unit
3. Sensor Information Unit



شکل ۱۴- جریان کار سیستم آبیاری هوشمند کم‌هزینه مبتنی بر شبکه عصبی (Nawandar & Satpute, 2019)

در سال ۲۰۱۸ یک سیستم آبیاری آبپاش کنترل از راه دور توسط Zhu et al. (2018) طراحی شد. در این طراحی، تکنیک‌های مورد استفاده برای به دست آوردن اطلاعات لازم برای آبیاری توضیح داده شده است. رابطه بخش‌های مختلف در شکل (۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۵- رابطه فناوری مدیریت آبیاری با سنسور مستقل (Zhu et al., 2018)

خدمات ترویجی و مشاوره‌ای برای کشاورزان و سایر کاربران مدت‌هاست که به‌عنوان ابزار ارزشمندی برای بهبود فعالیت‌های تولید کشاورزی شناخته شده است. هدف این سرویس، بهبود انتشار اطلاعات در مورد بهترین شیوه‌ها در تولید محصولات کشاورزی، بازاریابی، استراتژی‌های آبیاری، درآمد و رفاه به کشاورزان در جوامع فقیر و دورافتاده است (Stokke, 2019). با پیشرفت استفاده از تلفن‌های هوشمند با برنامه‌های کاربردی و خدمات وب برای انتشار اطلاعات کشاورزی، خدمات ترویج کشاورزی کارآمدتر شده‌اند تا مشکلات کشاورزان را به‌موقع و مؤثر برطرف کنند (Khan et al., 2020; Manonmani et al., 2017). در یکی از این مطالعات، کیوسک[1] هوشمند کشاورزی انعطاف‌پذیر و کاربرپسندی مبتنی بر اپلیکیشن اندروید ارائه شد که می‌تواند ارتباط بین کشاورزان و کارشناسان را تسهیل کند. از دیگر ویژگی‌های جالب این برنامه می‌توان به پیش‌بینی آب‌وهوا و اطلاعات مدیریت بیماری محصول اشاره نمود (Patel et al., 2014).

به همین ترتیب، Vuolo *et al* (2015) ادغام داده‌های مشاهده زمینی را برای تخمین نیاز آبی محصولات، درحالی‌که خدمات مشاوره آبیاری مبتنی بر ماهواره و نقشه را به کشاورزان ارائه می‌دهد، با استفاده از یک برنامه تلفن همراه به نام WebGis برای بهینه‌سازی مدیریت آبیاری پیشنهاد دادند. برنامه تلفن همراه برای کشاورزان با هدف انتشار اطلاعات در مورد خریدوفروش محصولات کشاورزی و کاربرد کود و آفت‌کش و همچنین مدیریت محصول در مالی آفریقا ایجاد و آزمایش شد. یک روش طراحی کاربرمحور برای توسعه برنامه استفاده شد که ۸۹/۶۶ درصد از کاربران با اثربخشی نمونه اولیه طراحی موافق بودند (Maiga et al., 2021). همچنین یک سرویس مشاوره آبیاری آنلاین، با رابط کاربری هوشمند که کشاورز را قادر می‌سازد تا استراتژی‌های آبیاری را اتخاذ کند و مصرف آب محصول را کاهش دهد، پیشنهاد شد (Hillyer et al., 2010).

در مطالعات دیگر، یک برنامه هیدرولوژیکی یکپارچه ارائه شد که از داده‌های زمان واقعی از خدمات ماهواره‌ای مانند گزارش‌های آب‌وهوا، تصاویر شاخص پوشش گیاهی و قابلیت GIS برای برنامه‌ریزی آبیاری آنلاین مقرون‌به‌صرفه برای به حداکثر رساندن عملکرد محصول و کاهش مصرف آب و استرس گیاه استفاده می‌کند (Jones et al., 2020). همان‌طور که توسط Okonkwo et al., (2021) گزارش شده است، استفاده از دستیارهای مکالمه مجازی، مانند Chabot مبتنی بر یادگیری ماشین، به خودکارسازی تعامل کشاورزی–مشاوره‌ای بین کشاورزان کمک کرده است.

جدول (۱) سایر کارهای قبلی را در مورد کاربرد برنامه‌های موبایل و وب برای مدیریت هوشمند آبیاری خلاصه می‌کند. لایه‌ای از معماری آبیاری مبتنی بر یادگیری ماشین، با راه‌حل‌های کشاورزی دیجیتال، در شکل (۱۶) نشان داده شده است. این معماری شامل داده‌های گرفته‌شده توسط پهپاد و ماهواره (مانند تصاویر گیاهی و شاخص پوشش گیاهی)، اطلاعات خاک (رطوبت خاک، نوع خاک) و اطلاعات آب‌وهوا از یک ایستگاه هواشناسی در محل، پایگاه داده آنلاین آب‌وهوا (تبخیر–تعرق مرجع، دمای هوا، تابش خورشیدی، رطوبت هوا و غیره) است. داده‌های جمع‌آوری‌شده را می‌توان بر روی یک سرور ابری ادغام‌شده با یک مدل یادگیری ماشینی ذخیره کرد که می‌تواند به‌طور پیش‌بینی‌کننده تصمیمات آبیاری و برنامه‌ریزی برای مزارع تحت آبیاری را توصیه کند. برای تشریح بهتر این بحث، شکل (۱۷) نیز ورودی‌ها، فرآیندها و خروجی‌های حاصل از کشاورزی هوشمند را خلاصه می‌کند (Ayaz et al., 2019).

جدول ۱- خلاصه کارهای قبلی در مورد کاربرد اپلیکیشن‌های موبایل و وب برای مدیریت هوشمند آبیاری در مزرعه

کشور مبدأ	نوع سیستم			ویژگی‌ها	نام برنامه	منابع
	Webpage	**Ios**	**Android**			
Germany	✓	✓	✓	تخمین آب‌وهوا و تبخیر برای راهنمایی تصمیمات آبیاری	Agrowetter	Agrowetter Irrigation Advice, 2021

[1] Kiosk

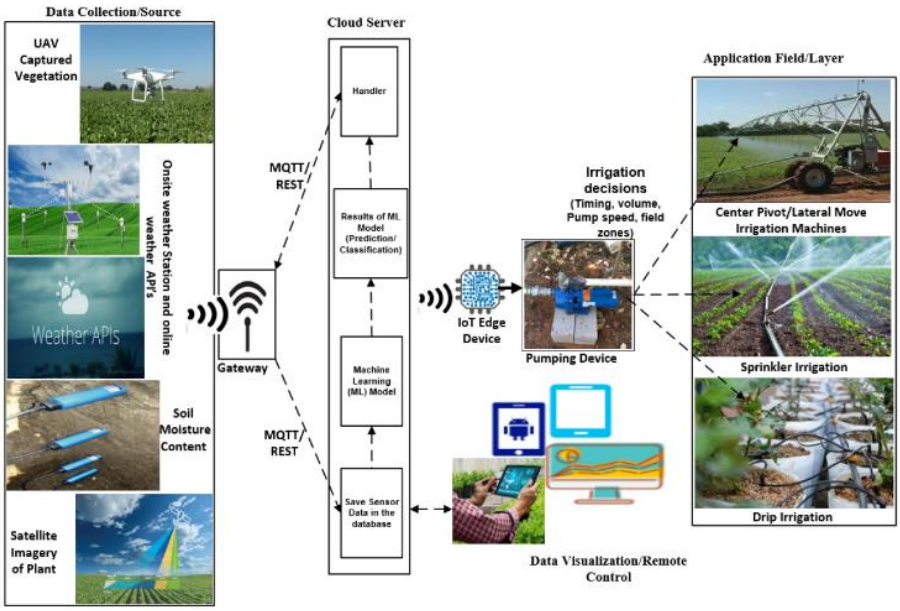
Vellidis et al., 2016	Cotton app	برنامه تعاملی با کاربری آسان برای برنامه‌ریزی آبیاری با نرخ متغیر. این برنامه زمانی که RZSWD از ۴۰ درصد فراتر رفت به کاربر اطلاع می‌دهد و بارش و سایر متغیرهای آب‌وهوا را برای کاربران نمایش می‌دهد.	✓	✓	×	Georgia and Florida, USA
Ogidan et al., 2019	Smart irrigation app	نمونه اولیه آزمایشگاهی، کاربرپسند، کنترل از راه دور، روشن/خاموش در زمان واقعی پمپ‌های آبیاری و همچنین قابلیت ثبت اطلاعات	✓	×	×	Ondo State, Nigeria
Migliaccio et al., 2013	Sprinkler irrigation app	منبع داده‌های آنلاین آب‌وهوا، اطلاعات خاک، برنامه‌ریزی آبیاری. برنامه‌ای که برای پیش‌بینی آب‌وهوا برای برنامه‌ریزی تایمر برای آبیاری خودکار چمن بارانی استفاده می‌شود.	✓	×	✓	Florida, USA
Migliaccio et al., 2016	Citrus Smart Irrigation	برنامه‌ریزی بهینه آبیاری برای آووکادو، مرکبات، توت‌فرنگی، چمن شهری و سبزیجات	✓	✓	×	Florida, USA
Dahnill et al., 2021	iChilli app	برنامه نظارت و کنترل از راه دور برای مدیریت کودآبیاری	✓	×	×	Malaysia
Brunel et al., 2019	Apex mobile application	اپلیکیشن تشخیص تنش آب، این برنامه را می‌توان در مزرعه یا مقیاس درون مزرعه‌ای برای پایش زمانی یا مکانی-زمانی وضعیت آب انگور استفاده نمود.	✓	✓	×	France
Vuolo et al., 2015	WebGIS application	پیش‌بینی آب‌وهوا، کوددهی، نقشه‌های آبیاری	✓	✓	✓	Austria
Perea et al., 2017	Multiplatform (Irrifresa) app	برنامه‌ریزی آبیاری مبتنی بر ET_o برای رشد توت‌فرنگی	✓	×	✓	Spain
Pérez-Castro et al., 2017	CFertigUAL app	استفاده آسان، برنامه مدیریت کوددهی	✓	×	×	Spain
Zaragoza et al., 2020	REUTIVAR app	پیش‌بینی آب‌وهوا، برنامه‌ریزی آبیاری، تجزیه‌وتحلیل کیفیت خاک و آب	✓	×	✓	Spain
Fatkhulloev et al., 2019	Hygrometry app	تخمین سریع و دقیق مصرف آب	✓	✓	×	Uzbekistan

وبر آبیاری تشنه

Andales et al., 2014	eRAMS App	برنامه زمان‌بندی آبیاری بارانی، به‌روزرسانی روزانه آب‌وهوا	✓	✓	✓	Colorado, USA
Riezzo et al., 2013; Todorovic et al., 2016	Hydro-Tech decision support	استفاده از بیلان آب مزرعه و بهینه‌ساز دینامیک برای مدیریت کودآبیاری	✓	×	✓	Italy
Simionesei et al., 2020; Simionesei et al., 2020	IrrgaSys decision support system	پیش‌بینی آب‌وهوا، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس بیلان آب خاک، سنجش‌ازدور	✓	×	✓	Portugal
Dahane et al., 2019	Web irrigation frame-work	برآورد نیاز آبیاری با استفاده از مدل Turq و Rawls	×	×	✓	Algeria
Vaishali et al., 2017	app integrated smart	کنترل از راه دور آبیاری، نظارت بر گیاه	✓	×	✓	India
Maiga et al., 2021	Agro Mali app	خدمات مشاوره کشاورزی	✓	×	×	Mali, Africa
Sheikh et al., 2021; Cheema et al., 2019	Smart decision support system	حمایت از کشاورزان بی‌سواد برای تصمیم‌گیری در زمینه آبیاری	✓	×	✓	Pakistan
Mbabazi et al., 2017	Smart Avocado app	برنامه‌ریزی آبیاری از یک مدل بیلان آب-خاک یک‌بعدی استفاده می‌کند.	✓	×	×	USA
Vellidis et al., 2014	Smart-phone irrigation sensor	از دوربین گوشی هوشمند برای ثبت تصویر خاک، تجزیه‌وتحلیل تصویر برای تخمین رطوبت یا خشکی خاک استفاده می‌کند، که برای آبیاری محصول کدوتنبل استفاده می‌شود.	✓	×	×	Mexico
Andales et al., 2017	WISE online Irrigation manager	از خاک، گیاه و آب‌وهوا برای تخمین کمبود آب روزانه خاک استفاده می‌کند.	×	✓	✓	Kansas, USA
Dantas et al., 2021	SWAMP Farmer app	استفاده از مدل نیاز آبی مبتنی بر ابر، برآورد نیاز آبیاری، پایش رطوبت خاک و نقشه راه دور	✓	✓	×	Brazil

ویراستاری پایه

GS Campos et al., 2019	Smart & Green app	از بیلان آب‌وهوا با عملکرد ثبت محصول برای مدیریت هوشمند آبیاری استفاده می‌کند. این چارچوب شامل خدمات ارتباط فیزیکی و یک لایه کاربردی است.	✓	✓	×	Brazil
Rusdi et al., 2021	WebGIS app	نمایش اطلاعات سمت سرور، نمایش عملکرد آبیاری در زمان واقعی، GPS برای ردیابی مکان	✓	×	✓	Indonesia
Zajac et al., 2022	Irrigation meter calculator	رابطه‌ای ارائه می‌کند که میزان رطوبت خاک را بر اساس سنسورهای watermark نصب‌شده در اعماق مختلف خاک تخمین می‌زند.	×	✓	×	Kansas State University
Zhang et al., 2022	Distributed monitoring system	نظارت و کنترل در زمان واقعی برای پشتیبانی از مدیریت تولید هیدروپونیک و آبزی‌پروری واقعی	✓	×	✓	Tongzhou, Beijing
Abioye et al., 2022; Dong, 2022	Wise mobile app	کاربر می‌تواند به اطلاعات دسترسی پیدا کرده و بارگذاری کند، کمبود رطوبت خاک و گزارش‌های آب‌وهوا را مشاهده کند.	✓	×	✓	Colorado, USA
Gonçalves et al., 2022	AWD app	یک سرور Node.js برای ذخیره داده‌ها و تولید هشدارها استفاده شد و یک سرویس گیرنده وب به‌عنوان داشبورد برای نشان دادن تمام پارامترهای AWD، مانند سطح آب و زمان کارکرد پمپ، با استفاده از برنامه تلفن هوشمند یا رابط آنلاین استفاده شد.	✓	✓	✓	Bangladesh/ Canada
Talekar et al., 2021	Blynk app	برنامه تلفن همراه مبتنی بر تلفن هوشمند برای نظارت و کنترل از راه دور آبیاری	✓	✓	×	India
Abi Saab et al., 2019	Bluleaf app	برنامه برای زمان‌بندی برنامه‌ریزی آبیاری و نیاز آبیاری گندم با استفاده از داده‌های خاک، گیاه و آب‌وهوا	✓	×	×	Lebanon/ Italy
Ogubuike et al., 2021	Masa app	برنامه مشاوره و بازاریابی مبتنی بر یادگیری ماشین برای کشاورزان	✓	✓	✓	Canada



شکل ۱۶- لایه‌های معماری آبیاری مبتنی بر یادگیری ماشین با یک راه‌حل کشاورزی دیجیتال (Ayaz et al., 2019)

شکل ۱۷- برخی از ورودی‌های کلیدی، فرآیندهای درگیر و خروجی‌های احتمالی کشاورزی هوشمند (Ayaz et al., 2019)

۳- آبیاری هوشمند

سیستم آبیاری هوشمند را می‌توان پرکاربردترین و جالب‌ترین ابزار[1] اینترنت اشیاء در کشاورزی هوشمند دانست. این سیستم قابلیت

1. Gadget

آن را دارد تا میزان رطوبت خاک را سنجیده و در صورت لزوم و به‌اندازه‌ی مورد نیاز، خاک را آبیاری نماید. سیستم آبیاری هوشمند وظیفه‌ی کوددهی هوشمند خاک را در کنار آبیاری به دوش می‌کشد و هر دو را بی‌نقص و بدون نیاز به دخالت دست انجام می‌دهد. حتی می‌تواند به سیستم هواشناسی نیز متصل شود و با توجه به شرایط جوی، عملیات آبیاری صورت گیرد. به‌روزرسانی سیستم‌های آبیاری هوشمند باعث کاهش مصرف آب می‌شود. یک سیستم آبیاری هوشمند، قابل‌برنامه‌ریزی بوده و دارای سیستم‌های تنظیم زمان است و به‌طور خودکار خاموش و روشن می‌شود. این سیستم‌ها دارای تجهیزاتی هستند که در زمان بارش باران، مانع از کار آب‌پاش‌ها می‌شوند. آبیاری هوشمند شامل توانایی نظارت بر شرایط آب و هوایی محلی و سطح رطوبت زمین است. در واقع سیستم‌های آبیاری هوشمند برنامه‌های آبیاری خودکاری را با توجه به نیاز واقعی گیاه تنظیم می‌کنند. فناوری آبیاری هوشمند روی سیستم‌های آبیاری نصب می‌شود و مصرف آب را بین ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. سیستم‌های آبیاری هوشمند به WiFi متصل هستند و می‌توانند با یک دستگاه هوشمند کنترل شوند (Ogidan et al., 2019; Ragab, 2022).

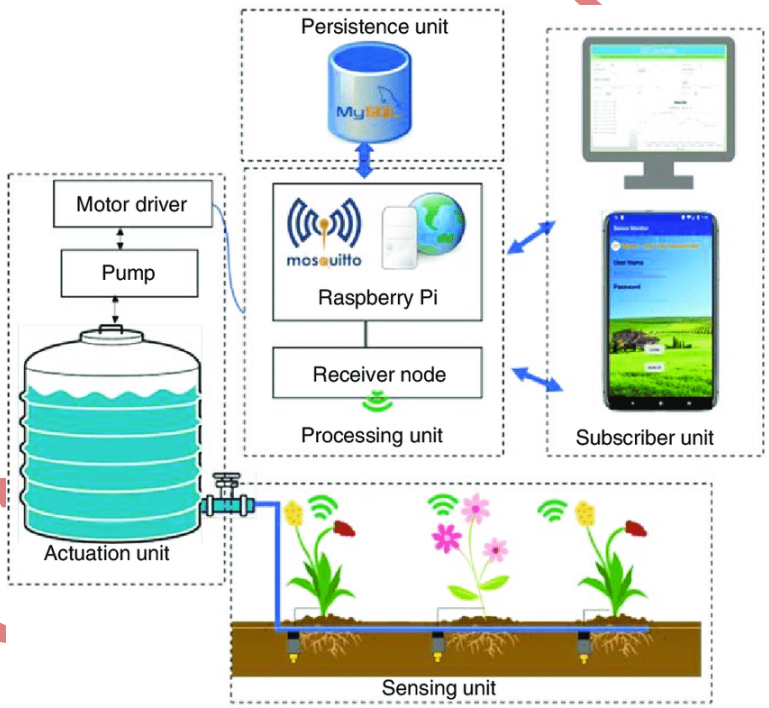
آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء عبارت است از مدیریت صحیح آب، افزایش بهره‌وری در تولید، حفاظت از محیط‌زیست و صرفه‌جویی در مصرف آب که با استفاده از فناوری‌های نوین انجام می‌شود. زمانی که مدیریت آبیاری باغچه، مزرعه و باغ را به‌صورت خودکار و بدون دخالت انسان انجام دهند، آبیاری هوشمند می‌گویند و اگر بخشی از کار به صورت دستی یا با برنامه از پیش تعیین‌شده انجام شود، آن را آبیاری خودکار می‌نامند. بهره‌وری از طریق آبیاری مناسب اراضی کشاورزی به‌طور متوسط می‌تواند در حفظ و افزایش کیفیت خاک در نتیجه به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی ناشی از اعمال و بیش‌ازحد آب کمک بسزایی بکند. با پیشرفت فن‌آوری و با ساخت حسگرهای پیشرفته آب و خاک می‌توان بر عملکرد خودکار سیستم‌های آبیاری نظارت صحیحی داشت. آبیاری هوشمند مبتنی بر حسگر آب و خاک باعث بهینه شدن آبیاری در منطقه ریشه گیاه شده و به دنبال آن رشد سریع گیاه را به دنبال دارد (Leh et al., 2019; Mustafa et al., 2021). از مزایای دیگر آبیاری هوشمند راحتی و آسان بودن آن می‌باشد. این سیستم سازگار با نیازهای گیاه و درخت می‌باشد و مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری به شرایط آب‌وهوا در طول فصل و شرایط خود گیاه بستگی دارد. این طرح نه‌تنها مدیریت درستی بر منابع آب و خاک دارد بلکه به صرفه‌جویی قابل‌توجه منابع آب در مقایسه با آبیاری سنتی منجر خواهد شد. یک سیستم آبیاری هوشمند از اجزایی شامل حسگرها، مرکز کنترل شیرهای برقی لوله‌ها و اتصالات تشکیل می‌شود. یک دستگاه آبیاری هوشمند با حسگرهای مختلفی در رابطه است و بر اساس اطلاعاتی که از حسگرها دریافت می‌کند، آبیاری را مدیریت می‌کند. این حسگرها می‌توانند به دستگاه مرکزی اطلاعاتی مثل بارانی بودن یا نبودن هوا و دمای محیط و همچنین میزان رطوبت خاک و یا شدت وزش باد را اطلاع دهند. مزیتی که این سیستم نسبت به کنترل‌های آبیاری تایمر دارد میزان تأثیر آن در مصرف آب است؛ زیرا فقط و فقط وقتی آبیاری انجام می‌شود که درختان و گیاهان به آب نیاز داشته باشند (Krishnan et al., 2020; Hundal et al., 2023). روش‌ها، تکنیک‌ها و ابزار گوناگونی در این روش به کار گرفته می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: ۱) عکس‌برداری از خاک مزرعه و پردازش عکس‌های گرفته‌شده و تخمین میزان رطوبت خاک با توجه به رنگ آن، ۲) استفاده از دوربین‌های تصویربرداری حرارتی که بر روی هواپیماهای بدون سرنشین قرار می‌گیرد، برای عکس‌برداری از مزرعه و تعیین وضعیت گیاه و رطوبت خاک و تشخیص زمان آبیاری از روی تصاویر ثبت‌شده توسط دوربین و ۳) به‌کارگیری سیستم نظارت بر آبیاری مزرعه بر اساس اینترنت و شبکه حسگر بی‌سیم هستند.

این روش دو مرحله کلی دارد: ابتدا اطلاعات مربوط به دما، باد، رطوبت خاک و غیره توسط حسگرها جمع‌آوری می‌شود. در مرحله بعد اطلاعات از طریق واحد کنترل به پایگاه داده ارسال می‌شود. در این روش از شبکه حسگرهای رطوبت خاک با کنترل‌کننده در یک مزرعه برای نظارت بر زمان واقعی و مدیریت آبیاری استفاده می‌شود (García et al., 2020; Obaideen et al., 2022).

هر سیستم آبیاری هوشمند از سه بخش اصلی ۱) واپایشگر مرکزی هوشمند (اطلاعات مختلفی که از سنسورها و سایر اجزای سیستم به دست می‌آید، به کنترل مرکزی فرستاده می‌شوند. این اطلاعات ذخیره و سپس تجزیه‌وتحلیل شده و بر اساس آن آبیاری زمین بدون دخالت دست انجام می‌گیرد) ۲) سنسورها (وظیفه سنسورها جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای کنترلر است. سنسور

رطوبت خاک، باد و باران، رطوبت هوا، تعریق گیاه، دما و غیره، تعدادی از مهم‌ترین سنسورهای مورد استفاده در طراحی سیستم آبیاری هوشمند هستند که اطلاعات را از محیط دریافت کرده و برای کنترلر مرکزی می‌فرستد) و ۳) بخش هواشناسی (این بخش، اطلاعات مربوط به آب‌وهوا را برای کنترلر مرکزی ارسال می‌کند. همچنین در صورت تغییر شرایط جوی و نیاز به قطع موقت سیستم آبیاری اعلام خطر می‌کند)، تشکیل شده است (Rawal, 2017; Dagar et al., 2018).

برخی از امکانات هوشمندسازی سیستم آبیاری شامل کاهش یا قطع آبیاری بر اساس پیش‌بینی باران، تنظیم برنامه برای آبیاری خودکار مزارع و باغ‌ها، کنترل از راه دور سیستم آبیاری با استفاده از تلفن همراه، تنظیم میزان فشار آب مورد نیاز برای هر منطقه کشاورزی، استفاده از فرمان‌های صوتی برای کنترل سیستم آبیاری باغچه، اضافه کردن سنسورهای مختلف برای شناخت بهتر نیازهای گیاهان، ارسال اعلان خطر هنگام مشاهده هرگونه خطا مانند نشت لوله‌ها و غیره، تشخیص بهترین زمان آبیاری با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از سنسورها و مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده است. در شکل (۱۹) به اجزای یک سیستم آبیاری کاملاً هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء اشاره شده است.



شکل ۱۹- شماتیکی از اجزای یک سیستم آبیاری کاملاً هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء (Dagar et al., 2018)

در یک سیستم آبیاری هوشمند، وظیفه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز بر عهده سنسورهای مختلف است. به این ترتیب اطلاعاتی مانند میزان رطوبت خاک، دمای محیط و غیره جمع‌آوری شده و به واپایشگر مرکزی که درواقع یک برد الکتریکی کوچک است، فرستاده می‌شود. کنترلر از قبل برای شرایط مختلف برنامه‌ریزی شده است و اتصالات و تجهیزات موجود در سیستم مانند لوله‌های آبیاری، سیستم آبیاری قطره‌ای و غیره همه تحت فرمان آن هستند. همچنین کاربر می‌تواند تنظیمات از پیش تعیین‌شده کنترلر را تا حدی تغییر دهد. برای مثال می‌تواند محدوده دما و یا رطوبتی را تعیین کند که با رسیدن به آن آستانه، سیستم آبیاری روشن و یا خاموش شود. باید توجه داشت که برای خودکارسازی آبیاری هوشمند نیازی نیست که حتماً یک باغ یا مزرعه بزرگ داشته باشید. هوشمندسازی سیستم آبیاری نه پیچیده است و نه هزینه سرسام‌آوری دارد. به علاوه در طولانی‌مدت هزینه دستگاه‌های هوشمند و

راه‌اندازی آن‌ها با صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه قبوض جبران می‌شود. هزینه پیاده‌سازی این سیستم، به مواردی مانند میزان نیاز شما به هوشمندسازی، مساحت باغ یا زمین کشاورزی و تجهیزات به‌کاررفته مربوط می‌شود.

با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور و همچنین بحران آب در سال‌های اخیر، متخصصان و مسئولان به مدیریت آبیاری در بخش کشاورزی به‌طور ویژه توجه کرده‌اند. مدیریت آبیاری بر اساس نیاز محصول و با توجه به توزیع غیریکنواخت باران در اراضی کشاورزی دشوار است. در بافت‌های مختلف خاک و در شرایط آب‌وهوایی متفاوت، روش‌های آبیاری متنوعی برای تولید محصولات کشاورزی وجود دارد. با درک کلی از سیستم اینترنت اشیاء و قدرت رایانش ابری، آبیاری اراضی کشاورزی در هر زمان با استفاده از ابزارهای کم‌هزینه امکان‌پذیر می‌شود. در سیستم آبیاری هوشمند، با استفاده از پردازش اطلاعات دریافتی از حسگرهای دما و رطوبت تعبیه‌شده در گیاه و خاک و هوا، انجام عملیات آبیاری در مناسب‌ترین زمان فراهم می‌شود. این سیستم از حسگرهایی ساخته‌شده است که اطلاعات رطوبت و دمای هوا و از همه مهم‌تر رطوبت خاک را جمع‌آوری و به پلتفرم ابری منتقل می‌کنند (Dlodlo & Kalezhi., 2015; Tzounis et al., 2017; Shi et al., 2019; Cays, 2021). اطلاعات ارسالی توسط عملیات یادگیری ماشین (ML) و هوش مصنوعی (AI) پردازش می‌شوند. سپس کشاورز از طریق برنامه‌های اینترنتی یا تلفن همراه از زمان و نحوه آبیاری مطلع می‌شود.

بنابراین سیستم آب‌رسانی و آبیاری هوشمند سیستمی است که می‌تواند با برنامه‌های از پیش تعریف‌شده توسط کاربر، گیاه یا گیاهانی را در هر نوع توپوگرافی زمین متناسب با نوع نیاز آن گیاه آبیاری کند. از مزیت‌هایی که باعث می‌شود تا این سیستم در آبیاری انواع زمین‌ها و گلخانه‌ها، باغات، فضای سبز و غیره مورد استفاده قرار گیرد؛ اولاً صرفه‌جویی بالای آب و ثانیاً انعطاف‌پذیری این نوع دستگاه‌ها با شرایط گوناگون زمین و منطبق شدن با نوع نیاز گیاه در مصرف آب است. همچنین با نصب سیستم در فضاهای سبز می‌توان پخش‌کننده‌های آب نصب‌شده در محیط (سیستم قطره‌ای و بارانی) را نیز کنترل نمود. در بخش فضای سبز و باغداری می‌توان با مجهز کردن زمین‌ها به سیستم‌های آبیاری و نصب سیستم هوشمند آبیاری روی تجهیزات آبیاری تحت‌فشار، فرآیند هوشمندسازی و مکانیزه کردن آبیاری را انجام داد. با نصب ایستگاه‌های سیستم هوشمند آبیاری و تقسیم زمین موردنظر به چندین واحد آبیاری، می‌توان فرآیند آبیاری را حتی با سرانه کم آب (حقابه) انجام داد.

به‌وسیله سیستم هوشمند آبیاری و برقراری ارتباط بی‌سیم ایمن و بدون نویز، هیچ‌گونه محدودیتی در مساحت زمین یا باغ تحت پوشش سیستم هوشمند آبیاری وجود نخواهد داشت. این سیستم‌ها کاربر را قادر می‌سازد تا به‌راحتی فضای سبز یا زمین موردنظر را در هر زمانی که تمایل داشتند، آبیاری کند و از آسیب دیدن گیاهان بر اثر بی‌آبی یا کم‌آبی ممانعت به عمل آورند (Sharma et al., 2016; Elijah et al., 2018; Hossein Motlagh et al., 2020; Cays, 2021). به دلیل آبیاری منظمی که سیستم انجام می‌دهد، با کمترین آب بیشترین بهره‌وری حاصل می‌شود. با توجه به وضعیت فعلی آب کشور و این نکته که بخش زیادی از مصرف و هدر رفت آب در بخش کشاورزی است، استفاده از راه‌حل‌های هوشمندسازی سیستم‌های آبیاری می‌تواند یک راه‌حل مطمئن و مطلوب برای برون‌رفت از بحران آب و مدیریت مناسب آن باشد. بنابراین با استفاده از هوشمندسازی سیستم‌های آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌توان به مزایای همچون تجهیز مزرعه به سنسورهای هواشناسی، دما و رطوبت خاک و انواع پارامترهای جوی، برآورد نیاز آبی محصول کشاورزی با حداقل مصرف آب، محاسبه خودکار نیاز آبی محصول کشاورزی بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده و نوع گیاه و مدیریت شبکه آبیاری بر اساس نیاز آبی به‌دست‌آمده در تعیین مقدار آب موردنیاز و عملیات آبیاری دست‌یافت (Munir et al., 2021; Khriji et al., 2021).

در همین رابطه، تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند آبیاری علاوه بر بهبود عملکرد گیاهان، موجب کاهش تلفات آب و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی خواهد شد. همچنین امروزه دسترسی به اینترنت و گوشی‌های هوشمند و سایر فناوری‌های وابسته در اکثر روستاها امکان‌پذیر شده است و قشر جوان به‌صورت گسترده‌ای از

این امکانات استفاده می‌کنند که استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند باعث جذب قشرهای مختلف به این صنعت خواهد شد (Amro, 2020; Munir et al., 2021; Cranmer et al., 2022). به‌طورکلی می‌توان دلایل مهم نوسازی و هوشمندسازی سیستم‌های آبیاری مبتنی بر IoT را در موارد زیر خلاصه کرده و نتایج این مطالعه را بدین‌صورت شرح داد:

۱. بهره‌وری آب را به‌طور ساده می‌توان به‌صورت مقدار محصول تولیدشده بخش بر مقدار آب مصرفی تعریف کرد. با استفاده از مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری می‌توان امکان تولید محصول بیشتر با مصرف آب کمتر را فراهم کرد. با استفاده از سیستم-های هوشمند آبیاری بهره‌وری آب تا بیش از ۵۰ درصد قابل‌افزایش خواهد بود.
۲. نوسازی سیستم‌های آبیاری باعث بهبود زندگی روستایی می‌شود. حفظ منابع آبی در مناطق روستایی باعث می‌شود تا جمعیت در این منطقه تثبیت و از مهاجرت‌ها کاسته شود. این امر باعث افزایش ارزش اجتماعی آب خواهد شد.
۳. بهبود مدیریت فنی سیستم‌های آبیاری باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌شود. به‌روزرسانی این سیستم‌ها از شسته شدن نمک‌ها و مواد مغذی به‌طور مؤثری جلوگیری خواهد کرد.
۴. ورود فناوری‌های جدید به عرصه کشاورزی منجر به جذاب‌تر شدن این فعالیت‌ها خواهد شد که خود نیز رقابت برای رسیدن به جدیدترین سیستم‌ها را در بین کشاورزان افزایش خواهد داد.
۵. نکته حائز اهمیت دیگر افزایش تولید محصول با مصرف آب کمتر است که خود سود اقتصادی بیشتر را برای کشاورز به ارمغان خواهد آورد.
۶. تجاری‌سازی، توسعه و بهبود فضای کسب‌وکار و ایجاد اشتغال‌های نوپا و پایدار نیز از دستاوردهای مهم حاصل از هوشمندسازی است.
۷. جلوگیری از سرعت رو به رشد بحران آب و همچنین تلفات آب در بخش کشاورزی، از دیگر مزیت‌های هوشمندسازی سیستم-های آبیاری است که از این طریق می‌توان گامی مهم در راستای کشاورزی پایدار برداشت.

استفاده از IoT در سیستم آبیاری، این امکان را به کشاورزان می‌دهد که بدون دخالت انسان‌ها و با کمترین درصد خطا، آبیاری انواع گیاهان با شرایط گوناگون را به خوبی انجام دهد. از مزایای آبیاری هوشمند می‌تواند به مواردی هم‌چون نظارت از راه دور، هوشمندسازی آبیاری، افزایش بازده محصول، استفاده بهینه از باران و هدر نرفتن آب، حذف آبیاری زودهنگام مزارع کشاورزی، کاهش مشکلات کشاورزان در زمینه آبیاری، صرفه‌جویی در انرژی و منابع و نیروی انسانی، کاهش هزینه‌های مربوط به آبیاری و کشاورزی، حذف مشکلات مربوط به سیستم آبیاری قطره‌ای و بارانی، تأمین آب کافی برای ادامه زنگی در موابع نیاز گیاه، حذف نظارت برای اندازه‌گیری و تشخیص میزان رطوبت خاک و آبیاری به‌موقع محصولات و کاهش ضررهای ناشی از عدم آبیاری به موقع، اشاره نمود (Vaitheeka & Kumar, 2018; Dokhande et al., 2019).

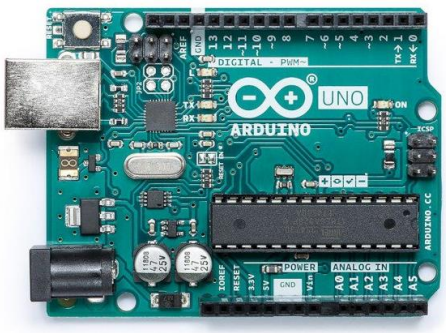
۴– تجهیزات و فناوری‌های مهم آبیاری هوشمند

طی چند دهه اخیر کشاورزی از یک عملیات کوچک و متوسط به فعالیتی صنعتی و تجاری تبدیل شده است. این تغییر به شرکت‌های بزرگ این امکان را می‌دهد تا مانند سایر صنایع در کشاورزی نیز فعالیت کنند. بر این اساس، تمام امور کشاورزی می‌تواند با به‌کارگیری راه‌حل اینترنت اشیاء می‌تواند خودکار، برنامه‌ریزی و مدیریت شود. پیش‌بینی می‌شود طی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ بازار جهانی کشاورزی هوشمند رشد ۱۹/۳ درصد در سال را تجربه کند و در سال ۲۰۲۲، به ۲۳/۱۴ میلیارد دلار برسد (Ayaz et al., 2019). تقاضا برای افزایش عملکرد محصول، افزایش به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات در کشاورزی و تغییرات سریع آب و هوایی جهانی از مهم‌ترین عواملی است که باعث رشد بالا بازار شده است. تولیدکنندگان بازار محصولات، راه‌حل‌های متنوعی را ارائه می‌دهند، که بیشترین بر اساس حسگرها و ارتباطات کارآمد برای طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی است. فناوری‌ها و تجهیزات اصلی که در حال حاضر برای این منظور در دسترس هستند در ادامه بحث می‌شود.

مفهوم اینترنت اشیا، (IoT) شروع ورود به تمام بحث‌های مربوط به آبیاری هوشمند، کشاورزی دقیق، خودکاری‌سازی سیستم‌ها و تمام سیستم‌های کنترل از راه دور بوده و یک مجموعه به‌هم‌پیوسته را تشکیل می‌دهد. هرکدام از این اجزا بدون وجود دیگری، معنی نداشته و خروجی هر بخش، ورودی بخش دیگر را تشکیل می‌دهد. در نتیجه استفاده از ابزارهای مزرعه‌ای نظیر حسگرها، شبکه حسگرهای بی‌سیم، روش‌های سنجش‌ازدور و ماهواره‌ها، رایانش ابری، استفاده از پهپادها و غیره به‌عنوان یک وسیله در جهت نیل به هدف ارتباط بین IoT و سیستم‌های هوشمند آبیاری در مزارع به شمار می‌روند. بنابراین ادغام کشاورزی با IoT می‌تواند آن را فعالیتی بسیار کارآمد و سودآور کند.

برای طراحی یک سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر IoT می‌توان از مجموعه حسگرهای مستقل[1] برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده کرد. این مجموعه می‌تواند شامل: چهار حسگر اصلی شامل رطوبت خاک، دمای خاک، دما و رطوبت محیط و حسگر اشعه ماوراءبنفش تشکیل شود. دیگر حسگرها که بنا به نیاز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند، شامل: حسگر سنجش سرعت باد، تبخیر–تعرق، باران، نور خورشید، دمای برگ، pH خاک و هدایت الکتریکی آب باشند. خروجی این حسگرها نیز در یک میکروکنترلر متن‌باز [2] که برنامه‌نویسی شده است، خوانده خواهد شد (شکل ۲۰). داده‌های خوانده‌شده در یک پایگاه داده که متصل به وب‌سایت نیز می‌باشد، ذخیره می‌شود. در کشت و صنعت‌ها می‌توان از چندین حسگر مستقل استفاده کرد و داده‌های این حسگرها را به‌وسیله فناوری زیگ-بی[3] به پایگاه داده منتقل کرد.

زیگ‌بی نمونه‌ای از یک شبکه هوشمند است که بین کمپانی‌های معتبر ارائه‌کننده خدمات برد کوتاه با هزینه کم و با مشخصه دسته‌ای از پروتکل‌های ارتباط سطح بالا است که از فرستنده و گیرنده‌های دیجیتال کم‌مصرف مبتنی بر استاندارد IEEE802 برای شبکه‌های شخصی بی‌سیم با نرخ ارسال داده پایین استفاده می‌کنند. این فناوری به کمک رادیوهای دیجیتال کوچک و کم‌مصرف از آن، برای مصارفی چون خودکارسازی خانگی، کشاورزی دقیق و هوشمند، جمع‌آوری داده‌های دستگاه‌های پزشکی و سایر نیازهای با پهنای باند کم برای پروژه‌های کوچک‌مقیاس که به ارتباط بی‌سیم نیاز دارند، استفاده می‌شود. در توضیح اهمیت مفهوم نوظهور اینترنت اشیاء همین بس که با استفاده از فناوری IoT، کشاورزان می‌توانند در هر زمان و در هر مکان تنها با استفاده از یک گوشی هوشمند به مزرعه خود متصل شوند و تمام عملیات از شروع تا پایان را زیر نظر داشته باشند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای نظارت بر مزرعه استفاده می‌شوند و از میکروکنترلرها (واپایشگرهای کوچک) برای کنترل و خودکارسازی فرایندهای کشاورزی استفاده می‌کنند.



شکل ۲۰- نمونه‌ای از یک میکروکنترلر متن‌باز (Ayaz et al., 2019)

در توضیح اهمیت مفهوم نوظهور اینترنت اشیاء همین بس که با استفاده از فناوری IoT، کشاورزان می‌توانند در هر زمان و در هر مکان تنها با استفاده از یک گوشی هوشمند به مزرعه خود متصل شوند و تمام عملیات از شروع تا پایان را طیر نظر

1. Standalone
2. Open Source Micro-Controller
3. Zigbee

داشته باشند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای نظارت بر مزرعه استفاده می‌شوند و از میکروکنترلرها (واپایشگرهای کوچک) برای کنترل و اتوماسیون فرایندهای کشاورزی استفاده می‌کنند. از طرفی، شبکه حسگرهای بی‌سیم متشکل از مجموعه حسگرهایی با قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف، محاسبات و ارسال اطلاعات که برای نظارت بر شرایط فیزیکی در محیط قرار می‌گیرند، است. بخش‌های مختلف اینترنت اشیاء (IoT) در جدول (۲) آمده است. IoT ترکیبی از چندین فناوری است که به‌وسیله آن حسگرها، عملگرها و سایر نقش‌های یک پروژه به‌صورت هوشمند به یکدیگر متصل می‌شوند. در IoT تمامی عملگرها باید هویت منحصربه‌فرد داشته و با سایر ساختارها در تعامل باشد. اینترنت اشیاء نیز می‌تواند در بخش‌های مختلف کشاورزی مانند: مراحل مختلف کاشت، داشت، برداشت، فرآوری و مدیریت منابع آب حضور داشته باشد که هرکدام از فناوری‌های فوق با توجه به شرایط اقتصادی و محیطی و بسته به نوع فعالیت استفاده می‌شوند. سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء قادر خواهند بود تا ۶۷ درصد در مصرف آب نسبت به آبیاری سنتی صرفه‌جویی کنند. آبیاری هوشمند قادر خواهد بود بدون کاهش در عملکرد محصول، مصرف آب را تا ۵۹ درصد کاهش دهد. آبیاری قطره‌ای مبتنی بر حسگرها در برخی محصولات همچون موز با کاهش ۲۰ درصدی آب، عملکرد گیاه را تا ۱۵ درصد بهبود می‌بخشد. کارایی مصرف آب در سیستم‌های هوشمند با استفاده از داده‌های هواشناسی تا ۲۰ درصد افزایش یافته است (Sharma et al., 2016).

جدول ۲- بخش‌های مختلف یک سیستم مبتنی بر اینترنت اشیاء

نام زیرمجموعه	فناوری‌های در دسترس
حسگرها و عملگرها	رطوبت خاک، دمای خاک، دما و رطوبت محیط، حسگر اشعه ماوراءبنفش، سرعت باد، تبخیر-تعرق، باران، نور خورشید، دمای برگ، pH خاک، هدایت الکتریکی آب، سطح آب، ضریب دی‌الکتریک، شوری، فتوسنتز، فشار و غیره
فناوری‌های ارتباطی	Zigbee, 6LoWPAN, Near Field, Communication (NFC), Bluetooth, Mobile Networks (2G, 3G, 4G), Radio Frequency Identification (RFID)
فناوری پردازش ابری	سرویس‌های زیرساختی (IaaS)، پلتفرم (Paas)، نرم‌افزاری (SaaS)

به‌عنوان یک مطالعه موردی، جدول (۳) مقدار تخمینی آب مصرفی در طی یک دوره رشد گیاه برنج در سیستم‌های مختلف آبیاری در کشور هند را نشان می‌دهد (Barkunan et al., 2019). همان‌طور که قابل مشاهده است، آبیاری قطره-ای هوشمند مبتنی بر IoT، مقدار قابل‌توجهی از آب را ذخیره کرد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اگر برای آبیاری سنتی نیاز به ۱۰۰ درصد آب باشد، آنگاه مقدار آب مورد نیاز برای سیستم آبیاری قطره‌ای و آبیاری قطره‌ای هوشمند به ترتیب مقدار ۶۷/۳۵ و ۵۸/۵۷ درصد خواهد بود

جدول ۳- مقدار تخمینی آب مصرفی در سیستم‌های مختلف آبیاری

مرحله رشد	آبیاری سنتی (mm)	آبیاری قطره‌ای (mm)	آبیاری قطره‌ای هوشمند (mm)
آماده‌سازی زمین	۳۰۰-۲۰۰	۳۰۰-۲۰۰	۳۰۰-۲۰۰
کشت	۴۵۰-۴۰۰	۴۰۰-۳۰۰	۳۵۰-۳۰۰
گلدهی	۴۵۰-۴۰۰	۲۰۰-۱۰۰	۱۵۰-۱۰۰
رشد کامل	۱۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۲۵-۱۰
مجموع	۱۳۵۰-۱۱۰	۱۰۰۰-۶۵۰	۸۲۵-۶۱۰
میانگین	۱۲۲۵	۸۲۵	۷۱۷/۵

حسگرهای بی‌سیم یکی از مهم‌ترین تجهیزات کشاورزی هوشمند هستند که در حال حاضر در بازار موجود است، این حسگرها در زمان جمع‌آوری اطلاعات در مورد شرایط کشاورزی و سایر اطلاعات، نقش اصلی را ایفا می‌کنند. حسگرهای بی‌سیم را می‌توان در هرکجا که مورد نیاز باشد، به‌صورت مستقل مورد استفاده قرار داد. برحسب کاربردهای مورد نیاز، حسگرها را می‌توان تقریباً با تمام ابزارهای پیشرفته کشاورزی و ماشین‌آلات سنگین ادغام کرد. در جدول (۴)، انواع حسگرها با توجه به رویه و هدف کار و مزایایی که ارائه می‌دهند، مورد بحث قرار گرفته است (Goel & Bindal, 2018).

جدول ۴- انواع حسگرها و کاربرد آن‌ها.

انواع حسگرها	کاربرد و اهداف	منابع
حسگرهای آکوستیک	حسگرهای آکوستیک یک دستگاه متفاوت در مدیریت مزرعه از جمله کشت خاک، از بین بردن علف‌های هرز، برداشت میوه و غیره ارائه می‌دهند. مهم‌ترین مزیت این فناوری کم‌هزینه بودن این راه‌حل و پاسخ‌دهی سریع آن است، خصوصاً در مقایسه با قابل‌حمل بودن تجهیزات. این کار با اندازه‌گیری تغییرات مکانی در زمان تعامل با سایر مواد، به‌عنوان مثال ذرات خاک، کار می‌کند. حسگرهای آکوستیک معمولاً برای پایش و ردیابی آفات و طبقه‌بندی انواع بذرها با توجه به طیف‌های جذب صدا مورد استفاده قرار می‌گیرند.	Gasso-Tortajada et al., 2010
حسگرهای نوری	این حسگرها از پدیده بازتاب نور استفاده می‌کنند و به اندازه‌گیری مواد آلی خاک، رطوبت و رنگ خاک، وجود مواد معدنی و ترکیب آن‌ها، مقدار رس و غیره کمک می‌کنند. این حسگرها توانایی خاک را بر اساس بازتاب نور در قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی آزمایش می‌کنند. تغییرات رخ‌داده در بازتابش موج به نشان دادن تغییرات چگالی خاک و سایر پارامترها کمک می‌کند. از حسگرهای نوری مبتنی بر فلورسانس برای ارزیابی پایه گیاه، به‌ویژه برای نظارت بر بلوغ میوه استفاده می‌شود. علاوه بر این هنگام ادغام حسگرهای نوری با پراکندگی ماکروویو می‌توان از آن برای توصیف سایبان‌های بیشه مانند زیتون و سایر محصولات مشابه استفاده کرد.	Molina et al., 2011
حسگرهای فوق‌العاده صوتی	این نوع حسگر به دلیل هزینه پایین آن، قابلیت به‌کارگیری آن در انواع کاربردها و سهولت استفاده و قابلیت تنظیم مانند نرخ نمونه‌برداری یکی از انتخاب‌های خوب محسوب می‌شوند. کاربردهای رایج عبارت‌اند از: کنترل مخزن، اندازه‌گیری فاصله اسپری (به‌عنوان مثال، کنترل ارتفاع و پهنای بوم به‌منظور پوشش یکنواخت اسپری، تشخیص شیء و اجتناب از برخورد) و نظارت بر سایبان محصول. این حسگرها در صورت ترکیب با دوربین می‌توانند برای ردیابی علف‌های هرز نیز استفاده شوند. در این شرایط ارتفاع گیاهان با استفاده از حسگرهای فوق صوتی مشخص می‌شود و دوربین میزان پوشش علف‌های هرز و محصول را تعیین می‌کند.	Pajares et al., 2013
حسگرهای نوری الکتریکی	حسگرهای نوری الکترونیکی می‌توانند انواع گیاهان را از هم متمایز کنند. از این‌رو، از آن‌ها برای شناسایی علف‌های هرز، علف‌کش‌ها و سایر گیاهان ناخواسته، به‌ویژه در محصولاتی با ردیف‌های گسترده کمک می‌کنند. زمانی که یک حسگر نوری الکترونیکی با اطلاعات موقعیت مکانی ترکیب می‌شود، حسگر می‌تواند توزیع و وضوح علف‌های هرز را ترسیم کند. حسگرهای نوری الکترونیکی قادر به تفکیک بین پوشش گیاهی و خاک از طریق طیف بازتاب آن‌ها هستند.	Andújar et al., 2009
حسگرهای جریان هوا	این حسگرها قادر به اندازه‌گیری نفوذپذیری هوا در خاک و درصد رطوبت و شناسایی ساختار خاک برای تشخیص انواع مختلف خاک هستند. اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در یک مکان یا به‌صورت منعطف، درحالی‌که در حال حرکت است، انجام داد به‌عنوان مثال، در یک موقعیت ثابت یا در حالت سیار قابل استفاده است. خروجی مورد نظر، فشار مورد نیاز برای واردکردن مقدار از پیش تعیین‌شده هوا در یک عمق مشخص در داخل زمین را مشخص می‌کند. این روش از خواص مختلف خاک، از جمله فشردگی، ساختار و میزان رطوبت، تولید امضای شناسایی منحصربه‌فرد پیروی می‌کند.	Ayaz et al., 2019

حسگرهای الکتروشیمیایی	این حسگرها بیشتر برای ارزیابی ویژگی‌های مورد نظر خاک برای تجزیه‌وتحلیل میزان مواد مغذی خاک مانند PH استفاده می‌شود. تجزیه‌وتحلیل استاندارد وضعیت شیمیایی خاک، که در غالب موارد گران و زمان‌بر است، را می‌توان به‌راحتی با این حسگرها جایگزین کرد. به بیان دقیق‌تر مواد مغذی ماکرو و میکرو در خاک، شوری و PH به‌کارگیری این نوع از حسگرها اندازه‌گیری می‌شوند.	Yew et al., 2014
حسگرهای الکترومغناطیسی	حسگرهای الکترومغناطیسی برای ثبت رسانایی الکتریکی و پاسخ الکترومغناطیسی گذرا، شناسایی پاسخ الکتریکی و تنظیم کاربردهای با سرعت متغیر در شرایط واقعی استفاده می‌شوند. حسگرهای مبتنی بر این فناوری از مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری قدرت ذرات خاک در هدایت یا تجمع بار الکتریکی استفاده می‌کنند، که بیشتر با دو روش زیر انجام می‌شود: تماسی یا غیرتماسی. نیترات‌های باقی‌مانده و مواد آلی موجود در خاک را نیز می‌توان با استفاده از حسگرهای الکترومغناطیسی اندازه‌گیری نمود.	Yunus et al., 2010
حسگرهای مکانیکی	حسگرهای مکانیکی مقاومت مکانیکی خاک (تراکم) را ارزیابی می‌کنند، این حسگرها وارد خاک می‌شوند یا بخشی از خاک برداشته می‌شود و نیروی ارزیابی‌شده توسط فشارسنج‌ها یا بار سلول‌ها را ثبت می‌کنند. از واحد فشار برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک استفاده می‌شود که درواقع نسبت نیروی مورد نیاز برای وارد شدن به محیط خاک با استفاده از قسمت جلوی ابزار است که با خاک درگیر است.	Theopoulos et al., 2018
حسگرهای مبتنی بر شار گردابی	از این نوع حسگرها می‌توان برای تعیین کمیت تبادل دی‌اکسید کربن، بخار آب، متان یا گازهای دیگر و انرژی بین سطح زمین و جو استفاده نمود. این روش راه‌حلی دقیق برای اندازه‌گیری شارهای انرژی سطح جو و رد شارهای گاز در انواع اکوسیستم‌ها، از همه مهم‌تر، کاربردهای کشاورزی ارائه می‌دهد. در حال حاضر، حسگرهای مبتنی بر این فناوری به دلیل دقت بالا و توانایی اندازه‌گیری شار مداوم در مناطق وسیع به سایر گزینه‌های مشابه مانند اتاق بسته ترجیح داده می‌شوند.	Pascale et al., 2017
حسگرهای ردیابی و تنظیم نور	این فناوری به‌طور گسترده‌ای در طیف وسیعی از کاربردهای کشاورزی مانند نقشه‌برداری و تقسیم‌بندی زمین، تعیین نوع خاک، مدل‌سازی سه‌بعدی مزرعه، نظارت بر فرسایش و از دست دادن خاک و پیش‌بینی عملکرد استفاده می‌شود. معمولاً از LiDAR[1] (ردیابی و تنظیم نور) برای به دست آوردن اطلاعات پویای اندازه‌گیری سطح برگ درخت میوه استفاده می‌شود و هنگامی‌که این حسگر با GPS ترکیب شود، می‌تواند یک نقشه سه‌بعدی ایجاد کند. علاوه بر این، این فناوری اغلب هنگام برآورد زیست‌توده انواع محصولات زراعی و درختان مورد استفاده قرار می‌گیرد.	del-Moral-Martínez et al., 2016

۵- نتیجه‌گیری

اینترنت اشیاء به سرعت درحال‌توسعه است و برنامه‌ها و خدمات نوین بسیاری با استفاده از این فناوری در حال شکل‌گیری ا ست. بر اساس برآوردها، از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲، ارزش محصولات اینترنت اشیاء از ۱ تا ۱۵ تریلیون دلار است که این سود نا شی از ا فزایش درآمد و کاهش هزینه‌ها به علت کاربرد این فناوری است (Miraz et al., 2015; Soumyalatha, 2016). حصول این ارزش‌افزوده در اینترنت اشیاء به علت افزایش دقت و انعطاف‌پذیری در تولید است. سود اقتصادی بالای این فناوری، باعث تشویق سرمایه‌گذاران به سرمایه‌گذاری در این حوزه شده است. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که اینترنت اشیاء بتواند در آ ینده نزد یک، ت حولات اسا سی در همه حوزه‌ها به‌ویژه بخش کشاورزی ایجاد کند. در حال حاضر، شرکت‌های توسعه اینترنت اشیاء در منزل، سرمایه‌گذاری منا سبی در این حوزه داشته‌اند. انتظار می‌رود اینترنت اشیاء در کشاورزی، فرآیند تولید را از بسیاری جنبه‌ها بهبود بخشد. با توجه به شرایط موجود و قابل پیش‌بینی در آینده، اطلاع‌رسانی روزآمد از وضعیت محصول باعث اعمال مدیریت‌های منا سب و به هن گام می شود. چ نین

1. Light Detection and Ranging

مدیریتی می‌تواند مصرف نهاده‌ها را بهینه‌سازی کند، خسارت‌های کمی و کیفی وارده به محصول را کاهش دهد و عملکرد را به وضعیت مطلوب نزدیک نماید. بنابراین، توصیه می‌شود این فناوری در بخش کشاورزی توسعه یابد. بااین‌حال، برای توسعه مناسب و پایدار این فناوری، باید زیرساخت صحیح و متناسب با شرایط حوزه کشاورزی کشور طراحی و پیاده سازی شود (Nagajayanthi, 2022). همچنین، پیش از توسعه این فناوری باید به موارد زیر توجه داشت:

- برگزاری دوره‌های آموزشی معرفی اینترنت اشیاء و مزایای آن برای بهره‌برداران و فرهنگ‌سازی برای استفاده از این فناوری.
- تأمین تجهیزات و امکانات موردنیاز (نظام‌های جمع‌آوری داده از جمله انواع حسگرها، سیستم‌های تصویربرداری، شبکه، و غیره).
- تهیه نرم‌افزارهای موردنیاز با تکیه بر توان متخصصان داخلی.
- ترغیب بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در این حوزه.
- تربیت کارشناسان برای بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و پشتیبانی از سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء.

در هوشمندسازی سیستم‌های آبیاری برخلاف سیستم‌های آبیاری سنتی، آب مصرفی تنها به میزان نیاز گیاه و خاک تأمین می‌شود که می‌توان گفت بزرگ‌ترین مزیت هوشمندسازی آبیاری می‌باشد. در تعریف، خودکارسازی سیستم‌های آبیاری عبارت است از استفاده از ابزارهای مختلف جهت زمان‌بندی آبیاری، به عبارتی تفاوت خودکارسازی با هوشمندسازی در این است که در هوشمندسازی آبیاری بر اساس نیاز گیاه صورت می‌گیرد اما در خودکارسازی بر اساس زمانی که به خروجی‌ها و توزیع‌کننده‌های سیستم آبیاری داده می‌شود، آبیاری صورت می‌گیرد. حال این سؤال مطرح می‌شود که دلایل کارآمدی این سیستم‌های هوشمند و مبتنی بر اینترنت اشیا، (IoT) چیست؟ ارتباط با نقاط مختلف جهان از طریق ابزارهای ارتباطی، دسترسی سریع به اطلاعات، بهره‌وری زمان و فعالیت انسانی و ارتباط کارآمد، پاسخ این سؤال خواهد بود.

REFERENCES

Aayog, N. I. T. I. (2015). Raising agricultural productivity and making farming remunerative for farmers.

Abbasi- Kesbi, R., Nikfarjam, A., & Nemati, M. (2020). Developed wireless sensor network to supervise the essential parameters in greenhouses for internet of things applications. *IET Circuits, Devices & Systems*, *14*(8), 1258-1264.

Abdalla, Z. F., El-Sawy, S., El-Bassiony, A. E. M., Zhaojun, S., Okasha, A., Bayoumi, Y., ... & Prokisch, J. (2022). Is the Smart Irrigation the Right Strategy under the Global Water Crisis? A Call for Photographical and Drawn Articles. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, *6*(2022), 207-221.

Abioye, E. A., Hensel, O., Esau, T. J., Elijah, O., Abidin, M. S. Z., Ayobami, A. S., ... & Nasirahmadi, A. (2022). Precision irrigation management using machine learning and digital farming solutions. *AgriEngineering*, *4*(1), 70-103.

Agrowetter Irrigation Advice. Geisenheim Research Centre. Available online: https://www.dwd.de/DE/leistungen/agrowetter prognose/agroprog.html (accessed on 21 September 2021).

Algeeb, A., Albagul, A., Asseni, A., Khalifa, O., & Jomah, O. S. (2010). Design and fabrication of an intelligent irrigation control system. *Advances In Sensors Signals And Materials*, *2*, 370-375.

Al-Ghobari, H. M., & Mohammad, F. S. (2011). Intelligent irrigation performance: evaluation and quantifying its ability for conserving water in arid region. *Applied Water Science*, *1*(3), 73-83.

Alves, R. G., Maia, R. F., & Lima, F. (2023). Development of a Digital Twin for smart farming: Irrigation management system for water saving. *Journal of Cleaner Production*, 135920.

Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Bahl, S., Garg, S. B., Shamoon, A., & Garg, J. (2022). Significant applications of smart materials and Internet of Things (IoT) in the automotive industry. *Materials Today: Proceedings*, *68*, 1542-1549.

Amro, A. (2020). IoT Vulnerability Scanning: A State of the Art. *Computer Security*, 84-99.

Andales, A. A. (2014, February). Colorado irrigation scheduler. In *Proceedings of the 26th Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, CO* (pp. 26-32).

Andales, A. A. (2017, February). Tactical irrigation management using the wise online tool. In *Proceedings of the 29th Annual Central Plains Irrigation Conference, Burlington, CO, USA* (pp. 21-22).

Angelopoulos, C. M., Nikoletseas, S., & Theofanopoulos, G. C. (2011, October). A smart system for garden watering using wireless sensor networks. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobility management and wireless access* (pp. 167-170).

AshifuddinMondal, M., & Rehena, Z. (2018). Iot based intelligent agriculture field monitoring system. In *2018 8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (pp. 625-629). IEEE.

Atta, R., Boutraa, T., & Akhkha, A. (2011). Smart irrigation system for wheat in Saudi Arabia using wireless sensors network technology. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, *1*(6), 478-482.

Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE access*, *7*, 129551-129583.

Bagaria, R. (2019). Smart Irrigation and Farm Field monitoring System using Internet of Things. In *Proceedings of International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM), Amity University Rajasthan, Jaipur-India*.

Barkunan, S. R., Bhanumathi, V., & Sethuram, J. (2019). Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. *Computers & Electrical Engineering*, *73*, 180-193.

Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., ... & Duffy, R. (2013). *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: principles for mediterranean climate areas*. Fao.

Bersani, C., Ruggiero, C., Sacile, R., Soussi, A., & Zero, E. (2022). Internet of Things Approaches for Monitoring and Control of Smart Greenhouses in Industry 4.0. *Energies*, *15*(10), 3834.

Biswas, A. K., & Tortajada, C. (2019). Water crisis and water wars: myths and realities. *International Journal of Water Resources Development*, *35*(5), 727-731.

Bodkhe, U., Tanwar, S., Bhattacharya, P., & Kumar, N. (2022). Blockchain for precision irrigation: Opportunities and challenges. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, *33*(10), e4059.

Bröring, A., Echterhoff, J., Jirka, S., Simonis, I., Everding, T., Stasch, C., ... & Lemmens, R. (2011). New generation sensor web enablement. *Sensors*, *11*(3), 2652-2699.

Brunel, G., Pichon, L., Taylor, J., & Tisseyre, B. (2019). Easy water stress detection system for vineyard irrigation management. In *Precision agriculture'19* (pp. 112-120). Wageningen Academic Publishers.

Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M. D., & Miller, G. L. (2010). Sensor-based automation of irrigation on bermudagrass during dry weather conditions. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *136*(3), 184-193.

Cays, J. (2021). The Energy Essential: Physical Forces Animate All Things. In *An Environmental Life Cycle Approach to Design* (pp. 15-38). Springer, Cham.

Cheema, S. M., Khalid, M., Rehman, A., & Sarwar, N. (2019). Plant irrigation and recommender system–iot based digital solution for home garden. In *Intelligent Technologies and Applications: First International Conference, INTAP 2018, Bahawalpur, Pakistan, October 23-25, 2018, Revised Selected Papers 1* (pp. 513-525). Springer Singapore.

Cranmer, E. E., Papalexi, M., tom Dieck, M. C., & Bamford, D. (2022). Internet of Things: Aspiration, implementation and contribution. *Journal of Business Research*, *139*, 69-80.

Dagar, R., Som, S., & Khatri, S. K. (2018). Smart farming–IoT in agriculture. In *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (pp. 1052-1056). IEEE.

Dahane, A., Kechar, B., Meddah, Y., & Benabdellah, O. (2019, October). Automated irrigation management platform using a wireless sensor network. In *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)* (pp. 610-615). IEEE.

Dahnill, D. P., Hood, Z., Adam, A., Ab Razak, M. Z., & Ismail, A. G. (2021). Drip irrigation detection for power outage-prone areas with internet-of-things smart fertigation managemant system. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *12*(7).

Dantas, R. A. S., da Gama Neto, M. V., Zyrianoff, I. D., & Kamienski, C. A. (2020, November). The swamp farmer app for iot-based smart water status monitoring and irrigation control. In *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)* (pp. 109-113). IEEE.

Dlodlo, N., & Kalezhi, J. (2015). The internet of things in agriculture for sustainable rural development. In *2015 international conference on emerging trends in networks and computer communications (ETNCC)* (pp. 13-18). IEEE.

Dokhande, A., Bomble, C., Patil, R., Khandekar, P., Dhone, N., & Gode, C. (2019). A review paper on IOT based smart irrigation system. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT)*, 191-196.

Dong, Y. (2022). Irrigation Scheduling Methods: Overview and Recent Advances. *Irrigation and Drainage-Recent Advances*.

Dursun, M., & Ozden, S. (2011). A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. *Scientific Research and Essays*, *6*(7), 1573-1582.

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of things Journal*, *5*(5), 3758-3773.

Evans, R. G., Iversen, W. M., & Kim, Y. (2011). Integrated decision support, sensor networks, and adaptive control for wireless site-specific sprinkler irrigation. *Applied engineering in agriculture*, *28*(3), 377-387.

Falkenberg, N. R., Piccinni, G., Cothren, J. T., Leskovar, D. I., & Rush, C. M. (2007). Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton. *Agricultural water management*, *87*(1), 23-31.

Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2019). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming. *Ieee Access*, *7*, 156237-156271.

Fatkhulloev, A., Gafarova, A., & Hamraqulov, J. (2019, November). The importance of mobile applications in the use of standard water measurements. In *2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* (pp. 1-3). IEEE.

García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors*, *20*(4), 1042.

Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and electronics in agriculture*, *155*, 41-49.

Gonçalves, J. M., Nunes, M., Ferreira, S., Jordão, A., Paixão, J., Eugénio, R., ... & Bahcevandziev, K. (2022). Alternate Wetting and Drying in the Center of Portugal: Effects on Water and Rice Productivity and Contribution to Development. *Sensors*, *22*(10), 3632.

Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolás, E., Nortes, P. A., Alarcón, J. J., Intrigliolo, D. S., & Fereres, E. J. P. A. (2013). Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agriculture*, *14*(6), 660-678.

GS Campos, N., Rocha, A. R., Gondim, R., Coelho da Silva, T. L., & Gomes, D. G. (2019). Smart & green: An internet-of-things framework for smart irrigation. *Sensors*, *20*(1), 190.

Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2013). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, *63*(1), 166-176.

Hedley, C. B., Roudier, P., Yule, I. J., Ekanayake, J., & Bradbury, S. (2013). Soil water status and water table depth modelling using electromagnetic surveys for precision irrigation scheduling. *Geoderma*, *199*, 22-29.

Hillyer, C. C., & Sayde, C. (2010). A web based advisory service for optimum irrigation management. In *5th National Decennial Irrigation Conference Proceedings, 5-8 December 2010, Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona USA* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Hossein Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the energy sector. *Energies*, *13*(2): 494.

Hundal, G. S., Laux, C. M., Buckmaster, D., Sutton, M. J., & Langemeier, M. (2023). Exploring Barriers to the Adoption of Internet of Things-Based Precision Agriculture Practices. *Agriculture*, *13*(1), 163.

Işık, M. F., Sönmez, Y., Yılmaz, C., Özdemir, V., & Yılmaz, E. N. (2017). Precision irrigation system (PIS) using sensor network technology integrated with IOS/Android application. *Applied Sciences*, *7*(9), 891.

Izzuddin, T. A., Johari, M. A., Rashid, M. Z. A., & Jali, M. H. (2018). Smart irrigation using fuzzy logic method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *13*(2), 1819-6608.

Jagüey, J. G., Villa-Medina, J. F., López-Guzmán, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2015). Smartphone irrigation sensor. *IEEE Sensors journal*, *15*(9), 5122-5127.

Jalilvand, E., Tajrishy, M., Hashemi, S. A. G. Z., & Brocca, L. (2019). Quantification of irrigation water using remote sensing of soil moisture in a semi-arid region. *Remote Sensing of Environment*, *231*, 111226.

Jonard, F., Weihermuller, L., Jadoon, K. Z., Schwank, M., Vereecken, H., & Lambot, S. (2011). Mapping field-scale soil moisture with L-band radiometer and ground-penetrating radar over bare soil. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *49*(8), 2863-2875.

Jones, A. S., Andales, A. A., Burzynski, A., Chávez, J. L., David, O., Fletcher, S. J., ... & Smith, G. E. (2020, January). Integrative Hydrometeorological Applications with Precipitation, Soil Moisture, and Water Vapor Using Phone Apps, GIS, and Data Assimilation. In *100th American Meteorological Society Annual Meeting*. AMS.

Jyothipriya, A. N., & Saravanabava, T. P. (2013). Design of embedded systems for drip irrigation automation. *Int. J. Engr. Sci. Invention*, *2*(4), 34-37.
Kelly, B. F. J., Acworth, R. I., & Greve, A. K. (2011). Better placement of soil moisture point measurements guided by 2D resistivity tomography for improved irrigation scheduling. *Soil Research*, *49*(6), 504-512.
Khan, N. A., Qijie, G., Sertse, S. F., Nabi, M. N., & Khan, P. (2020). Farmers' use of mobile phone-based farm advisory services in Punjab, Pakistan. *Information Development*, *36*(3), 390-402.
Khriji, S., El Houssaini, D., Kammoun, I., & Kanoun, O. (2021). Precision irrigation: an IoT-enabled wireless sensor network for smart irrigation systems. *In Women in precision agriculture* (pp. 107-129). Springer, Cham.
Kim, Y., Evans, R. G., & Iversen, W. M. (2008). Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, *57*(7), 1379-1387.
Kodali, R. K., Jain, V., & Karagwal, S. (2016). IoT based smart greenhouse. In *2016 IEEE region 10 humanitarian technology conference (R10-HTC)* (pp. 1-6). IEEE.
Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., & Thong, P. H. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119902.
Kseneman, M., Gleich, D., & Potočnik, B. (2012). Soil-moisture estimation from TerraSAR-X data using neural networks. *Machine Vision and Applications*, *23*(5), 937-952.
Leh, N. A. M., Kamaldin, M. S. A. M., Muhammad, Z., & Kamarzaman, N. A. (2019). Smart irrigation system using internet of things. In *2019 IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)* (pp. 96-101). IEEE.
Leinonen, I., & Jones, H. G. (2004). Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of experimental botany*, *55*(401), 1423-1431.
Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, *146*, 84-94.
Levorato, A. (2017). The Internet of Things in the agroindustrial sector: John Deere case study.
Li, Z., Wang, J., Higgs, R., Zhou, L., & Yuan, W. (2017). Design of an intelligent management system for agricultural greenhouses based on the internet of things. In *2017 IEEE international conference on computational science and engineering (CSE) and IEEE international conference on embedded and ubiquitous computing (EUC)* (Vol. 2, pp. 154-160). IEEE.
Li, Z., Wang, J., Higgs, R., Zhou, L., & Yuan, W. (2017). Design of an intelligent management system for agricultural greenhouses based on the internet of things. In *2017 IEEE international conference on computational science and engineering (CSE) and IEEE international conference on embedded and ubiquitous computing (EUC)* (Vol. 2, pp. 154-160). IEEE.
Li, Z., Wang, N., Hong, T., Franzen, A., & Li, J. (2011). Closed-loop drip irrigation control using a hybrid wireless sensor and actuator network. *Science China Information Sciences*, *54*(3), 577-588.
Maiga, J., Suyoto, S., & Pranowo, P. (2021, March). Mobile app design for sustainable agriculture in Mali-West Africa. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1098, No. 3, p. 032037). IOP Publishing.
Maiga, J., Suyoto, S., & Pranowo, P. (2021, March). Mobile app design for sustainable agriculture in Mali-West Africa. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1098, No. 3, p. 032037). IOP Publishing.
Mani Sai Jyothi, P., & Nandan, D. (2020). Utilization of the internet of things in agriculture: possibilities and challenges. *Soft Computing: Theories and Applications*, 837-848.
Manonmani, R., & Rose, R. S. (2017). Participatory GIS for irrigation management in periyar main canal command area—A case study of kumaram village, madurai district. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, *3*, 865-875.
Mbabazi, D., Migliaccio, K. W., Crane, J. H., Fraisse, C., Zotarelli, L., Morgan, K. T., & Kiggundu, N. (2017). An irrigation schedule testing model for optimization of the Smartirrigation avocado app. *Agricultural Water Management*, *179*, 390-400.
Migliaccio, K. W., Andreis, J. D., Fraisse, C., Morgan, K. T., & Vellidis, G. (2013). Smartirrigation Apps: Urban Turf: AE499, 10/2013. *EDIS*, *2013*(9).
Migliaccio, K. W., Morgan, K. T., Vellidis, G., Zotarelli, L., Fraisse, C., Rowland, D. L., ... & Zurweller, B. A. (2015). Smartphone apps for irrigation scheduling. In *2015 ASABE/IA Irrigation Symposium: Emerging Technologies for Sustainable Irrigation-A Tribute to the Career of Terry Howell, Sr. Conference Proceedings* (pp. 1-16). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Miraz, M. H., Ali, M., Excell, P. S., & Picking, R. (2015). A review on Internet of Things (IoT), Internet of everything (IoE) and Internet of nano things (IoNT). *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 219-224.

Munir, M. S., Bajwa, I. S., & Cheema, S. M. (2019). An intelligent and secure smart watering system using fuzzy logic and blockchain. *Computers & Electrical Engineering*, *77*, 109-119.

Munir, M. S., Bajwa, I. S., Ashraf, A., Anwar, W., & Rashid, R. (2021). Intelligent and smart irrigation system using edge computing and IoT. *Complexity*, *2021*.

Muñoz-Carpena, R., & Dukes, M. D. (2005). Automatic Irrigation Based on Soil Moisture for Vegetable Crops: ABE356/AE354, 6/2005. *EDIS*, *2005*(8).

Mustafa, M., Abbas, A., Bsoul, Q., & Shabbir, A. (2021). Smart Irrigation System Based on the Internet of Things and the Cloud.

Nagajayanthi, B. (2022). Decades of Internet of Things Towards Twenty-first Century: A Research-Based Introspective. *Wireless Personal Communications*, *123*(4), 3661-3697.

Navarro, E., Costa, N., & Pereira, A. (2020). A systematic review of IoT solutions for smart farming. *Sensors*, *20*(15), 4231.

Nawandar, N. K., & Satpute, V. R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Computers and electronics in agriculture*, *162*, 979-990.

Nikolidakis, S. A., Kandris, D., Vergados, D. D., & Douligeris, C. (2015). Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, *113*, 154-163.

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*, 100124.

Ogidan, O. K., & Afia, K. R. (2019, September). Smart irrigation system with an android-based remote logging and control. In *2019 IEEE AFRICON* (pp. 1-4). IEEE.

Ogubuike, R., Adib, A., & Orji, R. (2021, October). Masa: AI-adaptive mobile app for sustainable agriculture. In *2021 IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)* (pp. 1064-1069). IEEE.

Okolie, C. C., Danso-Abbeam, G., Groupson-Paul, O., & Ogundeji, A. A. (2023). Climate-Smart Agriculture Amidst Climate Change to Enhance Agricultural Production: A Bibliometric Analysis. *Land*, *12*(1), 50.

Okonkwo, C. W., & Ade-Ibijola, A. (2021). Chatbots applications in education: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *2*, 100033.

O'Shaughnessy, S. A., & Evett, S. R. (2010). Canopy temperature based system effectively schedules and controls center pivot irrigation of cotton. *Agricultural Water Management*, *97*(9), 1310-1316.

Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., ... & Balendonck, J. (2009). Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors*, *9*(4), 2809-2835.

Patel, V. B., Thakkar, R. G., & Ahuja, D. S. (2014). Agricultural android application. *Int. J. Comput. Sci. Technol*, *5*, 326-328.

Patil, V. C., Al-Gaadi, K. A., Biradar, D. P., & Rangaswamy, M. (2012). Internet of things (Iot) and cloud computing for agriculture: An overview. *Proceedings of agro-informatics and precision agriculture (AIPA 2012), India*, 292-296.

Perea, R. G., García, I. F., Arroyo, M. M., Díaz, J. R., Poyato, E. C., & Montesinos, P. (2017). Multiplatform application for precision irrigation scheduling in strawberries. *Agricultural Water Management*, *183*, 194-201.

Pérez-Castro, A., Sánchez-Molina, J. A., Castilla, M., Sánchez-Moreno, J., Moreno-Úbeda, J. C., & Magán, J. J. (2017). cFertigUAL: A fertigation management app for greenhouse vegetable crops. *Agricultural water management*, *183*, 186-193.

Peters, R. T., & Evett, S. R. (2008). Automation of a center pivot using the temperature-time-threshold method of irrigation scheduling. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *134*(3), 286-291.

Playán, E., & Mateos, L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural water management*, *80*(1-3), 100-116.

Pourgholam-Amiji, M. (2021). The Benefits, Applications, and Challenges of the IoT in Irrigation. *Water Management in Agriculture*, *7*(2), 47-66.

Rajalakshmi, P., & Mahalakshmi, S. D. (2016). IOT based crop-field monitoring and irrigation automation. In *2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)* (pp. 1-6). IEEE.

Rajurkar, C., Prabaharan, S. R. S., & Muthulakshmi, S. (2017, March). IoT based water management. In *2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2)* (pp. 255-259). IEEE.

Rayhana, R., Xiao, G., & Liu, Z. (2020). Internet of things empowered smart greenhouse farming. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, *4*(3), 195-211.

Riezzo, E. E., Zippitelli, M., Impedovo, D., Todorovic, M., Cantore, V., & Buono, V. (2013). Hydro- Tech: an integrated decision support system for sustainable irrigation management (II): software and hardware architecture. *CIGR Proceedings*, *1*(1), 443-486.

Roopaei, M., Rad, P., & Choo, K. K. R. (2017). Cloud of things in smart agriculture: Intelligent irrigation monitoring by thermal imaging. *IEEE Cloud computing*, *4*(1), 10-15.

Rowshon, M. K., Amin, M. S. M., Lee, T. S., & Shariff, A. R. M. (2009). GIS-integrated rice irrigation management information system for a river-fed scheme. *Water resources management*, *23*(14), 2841-2866.

Rusdi, J. F., Salam, S., Abu, N. A., Sunaryo, B., Naseer, M., Rismayadi, D. A., ... & Shanono, N. M. (2021, April). Field reporting irrigation system via smartphone. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1807, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.

Salam, A. (2020). Internet of things in agricultural innovation and security. In *Internet of Things for Sustainable Community Development* (pp. 71-112). Springer, Cham.

Salih, J. M., Adom, A. H., & Shaakaf, A. M. (2012). Solar Powered automated fertigation control system for cucumis melo L. cultivation in green house. *APCBEE procedia*, *4*, 79-87.

Samreen, T., Ahmad, M., Baig, M. T., Kanwal, S., & Nazir, M. Z. (2023). Remote Sensing in Precision Agriculture for Irrigation Management. *Environmental Sciences Proceedings*, *23*(1), 1-4.

Serra, P. M. D., & Espírito-Santo, A. (2021). Sourcing power with microbial fuel cells: A timeline. *Journal of Power Sources*, *482*, 228921.

Sharma, D., Bhondekar, A. P., Ojha, A., Shukla, A. K., & Ghanshyam, C. (2016). A technical assessment of IOT for Indian agriculture sector. *Int. J. Comput. Applic*.

Sheikh, J. A., Cheema, S. M., Ali, M., Amjad, Z., Tariq, J. Z., & Naz, A. (2021). IoT and AI in precision agriculture: Designing smart system to support illiterate farmers. In *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conferences on Software and Systems Engineering, and Artificial Intelligence and Social Computing, July 16-20, 2020, USA* (pp. 490-496). Springer International Publishing.

Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. (2019). State-of-the-art internet of things in protected agriculture. *Sensors*, *19*(8), 1833.

Simionesei, L., Ramos, T. B., Palma, J., Oliveira, A. R., & Neves, R. (2020). IrrigaSys: A web-based irrigation decision support system based on open source data and technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, *178*, 105822.

Simionesei, L., Ramos, T. B., Palma, J., Oliveira, A. R., & Neves, R. (2020, March). IrrigaSys–a decision support system for irrigation management in the Sorraia Valley region, Portugal. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 9488).

Singh, T., Verma, A., & Singh, M. (2021). Development and implementation of an IOT based instrumentation system for computing performance of a tractor-implement system. *Journal of Terramechanics*, *97*, 105-118.

Sinha, B. B., & Dhanalakshmi, R. (2022). Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey. *Future Generation Computer Systems*, *126*, 169-184.

Soumyalatha, S. G. H. (2016, May). Study of IoT: understanding IoT architecture, applications, issues and challenges. In *1st International Conference on Innovations in Computing & Net-working (ICICN16), CSE, RRCE. International Journal of Advanced Networking & Applications* (Vol. 478).

Stanghellini, C. (2013). Horticultural production in greenhouses: efficient use of water. In *International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034* (pp. 25-32).

Stočes, M., Vaněk, J., Masner, J., & Pavlík, J. (2016). Internet of things (iot) in agriculture-selected aspects. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, *8*(665-2016-45107), 83-88.

Stokke, A. F. (2019). *The use of mobile phones in the extension and advisory service in Rwanda* (Doctoral dissertation).

Subashini, M. M., Das, S., Heble, S., Raj, U., & Karthik, R. (2018). Internet of things based wireless plant sensor for smart farming. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, *10*(2), 456-468.

Talekar, P. S., Kumar, A., Kumar, A., Kumar, M., & Hashmi, M. I. (2021). Smart irrigation monitoring system using Blynk app. *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol*, *6*, 1353-1355.

Todorovic, M., Riezzo, E. E., Buono, V., Zippitelli, M., Galiano, A., & Cantore, V. (2016). Hydro-Tech: An automated smart-tech Decision Support Tool for eco-efficient irrigation management. *Int. Agric. Eng. J*, *25*(2), 44-45.

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems engineering*, *164*, 31-48.

Vaishali, S., Suraj, S., Vignesh, G., Dhivya, S., & Udhayakumar, S. (2017, April). Mobile integrated smart irrigation management and monitoring system using IOT. In *2017 international conference on communication and signal processing (ICCSP)* (pp. 2164-2167). IEEE.

Vaitheeka, N., & Kumar, S. M. (2018). Cognitive intelligence of internet of things (IoT) in agriculture industry-a primer study on smart farming. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, *118*(20), 1835-1841.

Vellidis, G., Liakos, V., Andreis, J. H., Perry, C. D., Porter, W. M., Barnes, E. M., ... & Migliaccio, K. W. (2016). Development and assessment of a smartphone application for irrigation scheduling in cotton. *Computers and Electronics in Agriculture*, *127*, 249-259.

Vellidis, G., Liakos, V., Perry, C., Tucker, M., Collins, G., Snider, J., ... & Barnes, E. (2014, January). A smartphone app for scheduling irrigation on cotton. In *Proceedings of the 2014 Beltwide Cotton Conference, New Orleans, LA, USA* (Vol. 7).

Vuolo, F., Essl, L., & Atzberger, C. (2015). Costs and benefits of satellite-based tools for irrigation management. *Frontiers in Environmental Science*, *3*, 52.

Zajac, Z., Gomez, O., Gelati, E., van der Velde, M., Bassu, S., Ceglar, A., ... & Fumagalli, D. (2022). Estimation of spatial distribution of irrigated crop areas in Europe for large-scale modelling applications. *Agricultural Water Management*, *266*, 107527.

Zaragoza, C. A., Perea, R. G., García, I. F., Poyato, E. C., & Díaz, J. A. R. (2020). Open source application for optimum irrigation and fertilization using reclaimed water in olive orchards. *Computers and electronics in agriculture*, *173*, 105407.

Zhang, S., Guo, Y., Li, S., Ke, Z., Zhao, H., Yang, J., ... & Zhang, Z. (2022). Investigation on environment monitoring system for a combination of hydroponics and aquaculture in greenhouse. *Information Processing in Agriculture*, *9*(1), 123-134.

Zhu, X., Chikangaise, P., Shi, W., Chen, W. H., & Yuan, S. (2018). Review of intelligent sprinkler irrigation technologies for remote autonomous system. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, *11*(1), 23-30.

Smart Irrigation Based on the IoT; a Comprehensive and State-of-the-art Review

Extended Abstract

Introduction:
Today, despite the idea that people may have about agriculture, it is a complex, time-consuming, and expensive process, but the reality is that today's agriculture industry is data-driven, accurate, smarter, and even easier. It has changed more compared to the past. All these cases have been formed with the help of a new concept called the Internet of Things in the agricultural industry.

Definition and Applications:
The Internet of Things is a huge network of people and things and the increasing expansion of the Internet and the reduction of its costs have provided the ground for the creation of the Internet of Things. Such changes have caused a great revolution in the field of agricultural industry, which has shaken the existing agricultural methods and can create new opportunities in the present and future. Determining the users of the Internet of Things will play an effective role in determining its prospects. However, the implementation of the Internet of Things is associated with challenges, and the Internet of Things needs standards to continue its work.

Objectives:
So far, a lot of research has been done on the challenges of the Internet of Things and ways to solve them. Also, standards have been defined for the Internet of Things. In this article, we intend to examine the concept and applications of the Internet of Things in agriculture and irrigation, then the challenges and ways to solve them, and the architectures and standards proposed in the field of the Internet of Things. Also, this paper highlights the potential of wireless sensors and IoT in agriculture, as well as the challenges that are expected to be faced when integrating this technology with traditional agricultural practices.

Results:
On the other hand, IoT devices and communication techniques related to wireless sensors encountered in agricultural applications and sensors available for specific agricultural applications, such as soil preparation, crop status, irrigation, insect and pest detection, as well as How to use this technology by the producers, which will help them to carry out the stages of cultivation, from planting to harvesting, packaging and transportation, has been explained. Advanced IoT-based architectures and platforms used in agriculture are also highlighted wherever appropriate. Finally, based on this comprehensive review, we identify the current and future trends of the Internet of Things in agriculture and highlight potential research challenges.

Conclusion:
Now the question arises, what are the reasons for the efficiency of these intelligent systems based on the Internet of Things (IoT)? Communication with different parts of the world through communication tools, quick access to information, efficiency of time and human activity, and efficient communication will answer this question.

Keywords: Smart Irrigation, Sensors, Remote Sensing, Farm Management.

بایگانی شده