مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۷- شماره ۲ - سال ۱۴۰۱

www.ElitesJournal.ir

سیستم هوشمند پایش کشاورزی با استفاده از اینترنت اشیاء

رسول بصراوی[1*]، سید رضا تقی زاده[2]، مریم امینی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش تجارت الکترونیک، دانشکده آموزش های الکترونیکی، دانشگاه شیراز، استان فارس، ایران

۲- گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکده آموزش های الکترونیکی، دانشگاه شیراز، استان فارس، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار گرایش مالی، دانشگاه آپادانا، شیراز، استان فارس، ایران

*rasoulbasravi@gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۱۴۰۱ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۱

چکیده

سرعت توسعه اینترنت اشیاء[1] و بطور کلی اینترنت نیازمند بهبود مستمر بازار، دستگاه‌ها و دانش متخصصین در این رابطه می‌باشد. ظهور سنسورها و نرم‌افزارهای مختلف که قادر به خواندن اطلاعات هستند باعث بهبود شرایط زندگی و استفاده حداکثری از منابع می شوند. کاربر می تواند نظارت و مدیریت بر محیط اطراف خود و همچنین نیازهای روزانه خود را با استفاده از سیستم های مختلفی که توسط اینترنت اشیاء حمایت می شوند انجام دهد. یکی از زمینه های کاری امیدبخش در خصوص اینترنت اشیاء، کاربرد آن در کشاورزی هوشمند می باشد. از این رو ترکیب اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی[2] باعث ایجاد یک فرآیند پایدار در جهت بهبود فرآیند کشت و کار، استفاده بهینه از پارامترهای هواشناسی و در نهایت بهبود روند آبیاری می شود. یکی از رایج ترین تنش ها در زمینه کشاورزی که در اثر ناکافی بودن در تامین آب مورد نیاز گیاه به وجود می آید تنش خشکی می باشد، این پدیده هنگامی رخ می دهد که خاک از نظر آب در دسترس گیاه فقیر بوده و یا سرعت تبخیر و تعرق بالا باشد در این صورت به دلیل عدم تعادل آب در گیاه و خاک، پدیده کمبود آب و تنش خشکی رخ می دهد. از این رو گسترش اینترنت اشیاء با استفاده از سنسورهایی همچون کنترل دما، رطوبت و شدت نور می تواند به دستیابی میزان رطوبت یکنواخت برای بستر کاشت در فضای اطراف گیاه در گلخانه کمک کند. به منظور پیاده سازی کشاورزی هوشمند با استفاده از بکارگیری سنسورهای متعدد در راستای بررسی نقش اینترنت اشیاء به منظور پیش بینی زودهنگام در خصوص مدیریت و جلوگیری از ایجاد تنش و آسیب به محصولات گلخانه ای بسیار حائز اهمیت می باشد، و برای دستیابی به این مهم، نیاز به مدل های هوش مصنوعی برای پیش بینی های مدنظر در کمترین زمان می باشد. در این گزارش به بررسی این مهم پرداخته شده است که بکارگیری یک سیستم اینترنت اشیای هوشمند چگونه می تواند به افزایش کیفیت عملیات مرتبط با کشاورزی کمک کند. همچنین به بررسی این مورد پرداخته شده است که بر اساس دیتاهای صادر شده در بازه های زمانی

[1] Internet of Thing (IoT)
[2] Artificial Intelligence (AI)

مشخص از سنسورهای کنترل دما، رطوبت و شدت نور با استفاده از مدل تحلیلی منطق فازی[1] چگونه می‌توان سیستم آبیاری گلخانه را کنترل کرد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء، تنش خشکی، مدل منطق فازی، سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری.

۱– مقدمه

اینترنت اشیا مفهوم جدیدی در دنیای فناوری و ارتباطات به شمار می آیند و برای نخستین بار در سال **۱۹۹۹** توسط کوین اشتون مورد استفاده قرار گرفت و جهانی را توصیف کرد که در آن هر چیزی از جمله اشیای بی جان برای خود هویت دیجیتال داشته باشند و به کامپیوترها اجازه دهند آنها را سازماندهی و مدیریت کنند اینترنت در حال حاضر همه مردم را به هم متصل می کند ولی با اینترنت چیزها تمام اشیا به هم متصل می‌شوند. اینترنت اشیا به طور کلی به بسیاری از اشیا و وسایل محیط پیرامونمان که به شبکه اینترنت متصل شده و توسط نرم‌افزارهای موجود در تلفن های هوشمند و تبلت قابل کنترل و مدیریت هستند اشاره دارد.

اینترنت اشیا به زبان ساده ارتباط حسگرها و دستگاه ها با شبکه ای است که از طریق آن می‌توانند با یکدیگر و با کاربرانشان تعامل کنند این مفهوم می تواند به سادگی ارتباط یک گوشی هوشمند با تلویزیون باشد یا به پیچیدگی نظارت بر زیرساخت های شهری و ترافیک برای نمونه می توان به یخچال های هوشمند که به اینترنت متصل اند و شما را از موجودی و تاریخ انقضاء مواد خوراکی داخل یخچال باخبر می سازند اشاره نمود[۱].

دیدگاه اینترنت اشیا بر این عقیده استوار است که پیشرفت های ثابت فناوری و غیر میکرو الکترونیک ارتباطات و اطلاعات سال های اخیر در آینده امتداد خواهد یافت در حقیقت به دلیل اندازه کوچک این شبکه کاهش قیمت شان و مصرف اندک انرژی پردازنده‌ها ارتباطات و دیگر قطعات الکترونیکی به صورت روز افزون در دستگاه‌های عادی ادغام می گردند.

لوازم هوشمند نقش کلیدی در نسخه اینترنت اشیا ایفا می کند زیرا آنها شامل فناوری ارتباطات و اطلاعات ای هستند که پتانسیل تکامل کاربرد این دستگاه را دارند لوازم هوشمند با استفاده از حسگرها محیط شان را می‌شناسند و از طریق قابلیت های شبکه بندی آنها قادر به برقراری ارتباط با هم هستند و به سرویس‌های اینترنتی دسترسی دارند و با افراد ارتباط برقرار می‌کنند یجیتالی دستگاه‌ها به دلیل روش عملیات طبیعی دستگاه‌های هوشمند را بهبود می‌بخشد که با افزودن قابلیت های دستگاه های دیجیتالی انجام می شود بنابراین ارزش افزوده عمده‌ای در بردارند نشانه‌های این پیشرفت اینک موجودند: دستگاه هایی از قبیل دستگاههای بافت، دوچرخه های ورزشی، مسواک شارژی، دستگاه های شستشو، مترسنج های برقی و فتوکپی‌های کامپیوتری که مجهز به رابط های شبکه نیز هستند[۲].

در واقع اینترنت اشیا شما را قادر می سازد تا از اشیا مورد استفاده خود را از راه دور و به کمک زیرساخت های اینترنتی مدیریت و کنترل کنید.

امروزه با گسترش جمعیت جهان و نیاز به تامین غذا برای انبوه جمعیت از یک سو و کمبود آب، انرژی و زمینهای قابل کشت از سوی دیگر روش‌های سنتی کشاورزی دیگر پاسخگوی نیاز غذایی جمعیت جهان نیست و به همین دلیل کشاورزی هوشمند بسیار مورد توجه قرار گرفته است در این میان حوزه اینترنت اشیا و برنامه‌های کاربردی بر مبنای آن نقش محوری در کشاورزی هوشمند بر عهده دارند و ارائه راهکارهای مبتنی بر اینترنت اشیا نهایتاً به ایجاد ارزش افزوده برای مشتریان و کشاورزان می‌انجامد. ادغام کشاورزی با اینترنت اشیا می تواند آن را فعالیتی بسیار کارآمد و سودمند کنند آبیاری خودکار مبتنی بر حسگر آب و خاک باعث بهینه شدن آبیاری در منطقه ریشه گیاه شده و به دنبال آن رشد سریع گیاه را نیز به دنبال دارد این طرح مدیریت درستی بر منابع آب دارد همچنین می تواند باعث صرفه جویی قابل توجهی آب در مقایسه با آبیاری سنتی شود[۳].

کمبود آب در حال حاضر بر یک بخش از جهان تاثیر می گذارد و در طول زمان با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به آب شیرین بخش وسیعی از جهان را در بر می گیرد.

[1] Fuzzy logic

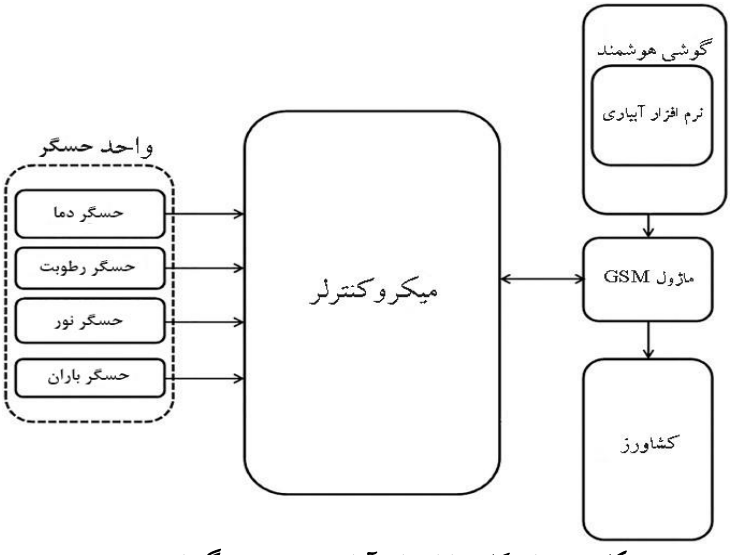
بخش کشاورزی به ویژه آبیاری بخش عمده ای از آب شیرین را مصرف می‌کند به دلیل کمبود سیستم های آبیاری هوش مصنوعی کشورهای در حال توسعه در مقایسه با کشورهای توسعه یافته برای دستیابی به عملکرد مشابه بیشتری مصرف می‌کنند به عنوان مثال حدود ۴ درصد از منابع آب شیرین جهان را برای خدمت به ۱۷ درصد جمعیت جهان دارد. با این حال برای بعضی از محصولات اصلی کشاورزی ۲ تا ۴ برابر بیشتر از سایر کشورها مانند چین و ایالات متحده آمریکا آب مصرف می کند.

لازم به ذکر است که کشاورزی یکی از مهم‌ترین محرکهای اقتصادی خصوصاً در کشورهای در حال توسعه می باشد. بنابراین این کشورها برای برون رفت از بحران های اقتصادی باید سراغ بخش کشاورزی خود برود با توجه به شرایط کشور محدودیت منابع و نهادهای کشاورزی از مشکلات مهم در این حوزه است که شامل آب خاک (مربوط به تغذیه گیاه) می باشد و استفاده از کودها، بحث مربوط به کنترل آفات و بیماری می باشد.

بنابراین نیاز به ایجاد استراتژی های هوشمند مبتنی بر فناوری های پیشرفته و سیستم های مدیریتی برای استفاده موثر از آب وجود دارد راه حل های مختلفی برای اینترنت اشیا در بسیاری از ابعاد چشم انداز کشاورزی بسیار مفید است و این راه حل های هوشمند می‌تواند در آبیاری هوشمند با استفاده بهینه از آب سودمند باشد. مدیریت آبیاری بر عملکرد محصول تاثیر می‌گذارد در مورد تولید سبزیجات آبیاری بهینه می‌تواند به بهبود کیفی و کمی منجر شود در حالیکه آبیاری بیش از حد و یا کمتر می‌توانند رشد موفق محصول را به خطر می‌اندازد.

۲- مواد و روش ها

هوشمند سازی سامانه های آبیاری برخلاف سامانه های آبیاری سنتی، آب تنها به میزان نیاز گیاه و خاک تأمین می شود که می توان گفت بزرگترین مزیت هوشمند سازی است. خودکارسازی سامانه های آبیاری عبارت است از استفاده از ابزار، روش و فناوری های مختلف برای زمانبندی آبیاری، به عبارتی تفاوت خودکارسازی با هوشمند سازی در این است که در هوشمند سازی تمامی کارها به صورت هوشمند و بدون انجام هیچگونه فعالیتی از سمت کشاورز یا کارگر انجام می شود اما در خودکارسازی بر اساس زمانی که به توزیع کننده های آب داده می شود، آبیاری صورت می گیرد بر اساس شکل ۱ به عباراتی هوشمند سازی، یک قدم جلوتر از خودکارسازی است.



شکل ۱- شمای کلی سامانه های آبیاری مبتنی بر حسگرهای هوشمند

۲-۱- حسگرهای مورد استفاده در کشاورزی

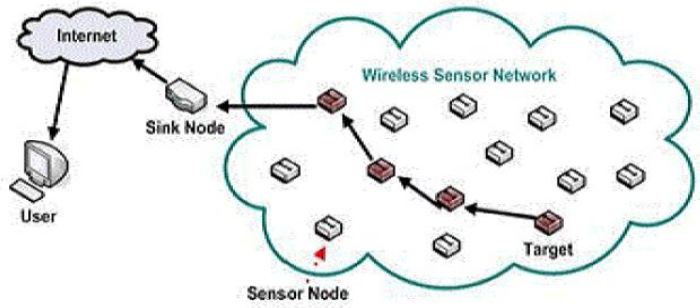
اینترنت اشیاء، مهمترین ابزار کنترل عوامل مختلف در کشاورزی نامیده می شود. اینترنت اشیاء می تواند با ارتباط، اجرا ،کنترل، تعامل، بهینه سازی ما را در رسیدن به اهداف کشاورزی دقیق یاری کند. ما با سیستم های نوین و تحت بستر اینترنت به یک

کشاورزی سریع-دقیق و سالم با استفاده از مکانیابی، ارتباط، صدور فرمان، سنجش، جمعآوری اطلاعات و غیره پرداخته ایم و نهایتا در افزایش تولید و کیفیت انواع محصول کشاورزی تبدیلی-دامی و در نهایت غذایی به بهرهوری خواهیم رسید.

اساس ماجرا این است که دستگاهها (یا اشیا) در یک پلتفرم بزرگ با کمک حسگرهای مختلف به گردآوری اطلاعات پرداخته و از طریق ترکیبی از تکنولوژیهای ارتباطی زمان خود (به طور مثال زمانی RFID و زمانی Wi-Fi) با یکدیگر به تبادل داده بپردازند. از سوی دیگر، موضوع رایانش ابری مطرح است. این مفهوم دست در دست اینترنت اشیا دارد؛ زیرا بخش عظیمی از دادههای شبکه بزرگ مورد نظر ما، بر روی برنامه های ذخیرهسازی ابری قرار دارد. آنالیز این دادهها هم عمدتا بر روی سرورهایی پرقدرت، خارج از دستگاههای ما صورت می گیرد. به همین خاطر، آینده ی اینترنت اشیا در گروی پیشرفتهای هر چه بیشتر در حوزه رایانش ابری است.

کشاورزی دقیق یک استراتژی مدیریتی است که جزئیات و اطلاعات مربوط به هر قسمت از مزرعه را به کار گرفته و مدیریت دقیقی بر نهاده ها اعمال می کند. هدف کشاورزی دقیق، آنالیز داده های مرتبط و جمع‌آوری با تنوع ویژگی‌های خاک و شرایط متفاوت تولید محصول، جهت بالا بردن بهره‌وری از نهاده‌های مصرفی در قسمت‌های کوچکی از زمین زراعی است. یکی از روش‌های جدید در گردآوری این اطلاعات، استفاده از شبکه حسگرهای بیسیم است.

پیشرفت‌های اخیر در زمینه ساخت مدارهای مجتمع الکترونیکی و مخابرات بیسیم، توانایی طراحی و ساخت سنسورهایی را با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربری‌های گوناگون ایجاد کرده است. این سنسورهای کوچک که توانایی انجام اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی، آنالیز و ارسال آن اطلاعات را دارند، سبب پیدایش ایده هایی برای ایجاد و گسترش شبکه های موسوم به شبکه حسگرهای بیسیم (WSN) شده اند. تحولات اخیر درزمینهی شبکه های حسگر امکان پیدایش کشاورزی دقیق را ایجاد کرده اند. به طورکلی، شبکه های حسگر یک دید جدید در کشاورزی هستند. برای به وجود آمدن و گسترش یک شبکه حسگر از چندین واحدهای پایه بنام گره حسگر استفاده می شود که در یک مکان به طور گسترده پخش شده و به گرد آوری مطالب از محیط می پردازند. به عبارت دیگر یک شبکه حسگر بیسیم (WSN) شکل ۲، در بر گیرنده بسیاری از گرههای حسگر با قابلیت ارتباطات رادیویی است. لزوماً مکان قرار گرفتن گرههای حسگر، مشخص نیست و از قبل تعیین شده، این خصوصیت ها ممکن می سازد که بتوانیم آنها را در مکانهای غیرقابل دسترس و یا خطرناک رها کنیم.

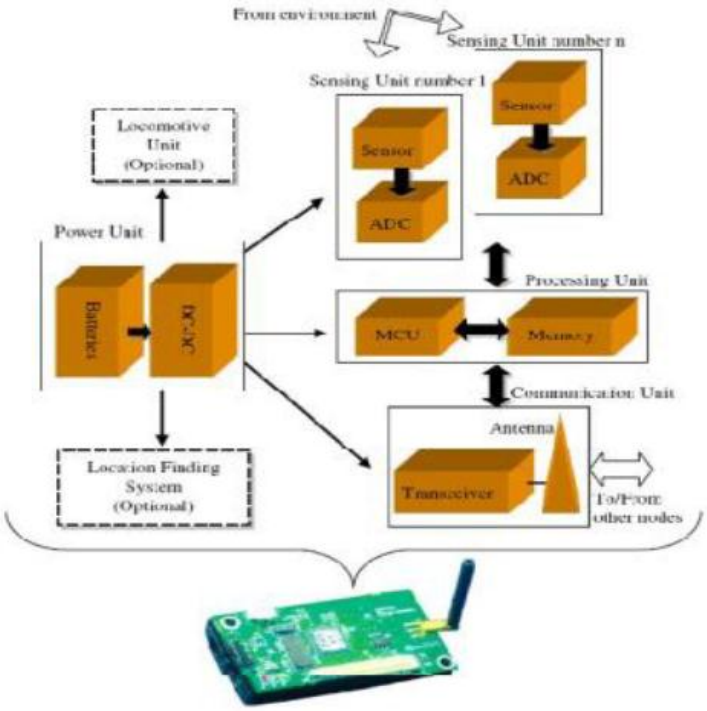


Wireless sensor networks

شکل۲- ساختار یک شبکه حسگر بیسیم

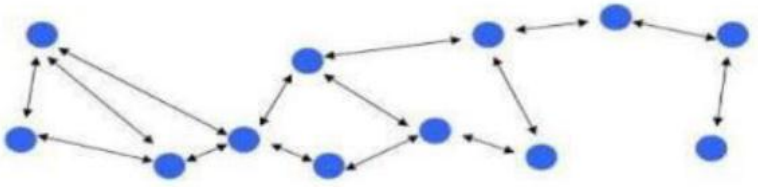
یک گره WSN شامل حسگرها، مبدل انرژی DC به DC، مبدل آنالوگ به دیجیتال، فرستنده و گیرنده رادیویی، میکروکنترلرو منبع انرژی کوچک می باشد. هر گره می تواند با استفاده از پارامترهای مرتبط با پدیده های مختلف فیزیکی که می توانند به سیگنالهای الکتریکی تبدیل شوند، از یک یا چند حسگر پشتیبانی کند. به بیان دیگر،گره شبکه هر کدام خودسامانده و خودراهبر هستند و از چند ماژول تشکیل شده اند. ماژول حسگری است که از یک یا چند حسگر که بسته به کمیت یا کمیت های مورد پایش تشکیل شده اند. ماژول آنالیز ابتدایی که یک پردازنده کوچک و یا میکروکنترلر است، تابه جای فرستادن تمامی اطلاعات خام به مرکز یا به گرهای که مسئول نتیجه گیری اطلاعات، آنالیز است، در ابتدا خود یک سری آنالیزهای

ابتدایی و آسان را روی اطلاعاتی که به دست آورده است، انجام دهد و سپس داده های نیمه آنالیز شده را برای ارسال آماده کند. ماژول ارتباطی که یک وسیله ارتباط بیسیم مانند گیرنده و فرستنده رادیویی است، شکل ۳. ماژول توان که منبع انرژی است، معمولا یک باتری می باشد. ماژول حافظه که اختیاری است و محلی برای نصب کارت حافظه جهت ذخیره داده هاست شکل زیر ساختار یک گره حسگر را نشان می دهد.



شکل۳- ساختار یک گره حسگر

بر اساس شکل ۴، یک شبکه سنسور معمولاً یک شبکه بیسیم اقتضایی را تشکیل می‌دهد. در این نوع شبکه که شامل مجموعه ای از گره های توزیع شده اند و با همدیگر به طور بیسیم ارتباط دارند. نودها می توانند کامپیوتر مسیریاب و میزبان باشند. نودها به طور مستقیم بدون هیچگونه نقطه دسترسی با همدیگر ارتباط برقرار می کنند و سازمان ثابتی ندارند و بنابراین در یک توپولوژی دلخواه شکل گرفته اند. شکل زیر شماتیک شبکه اقتضایی را نشان می دهد.



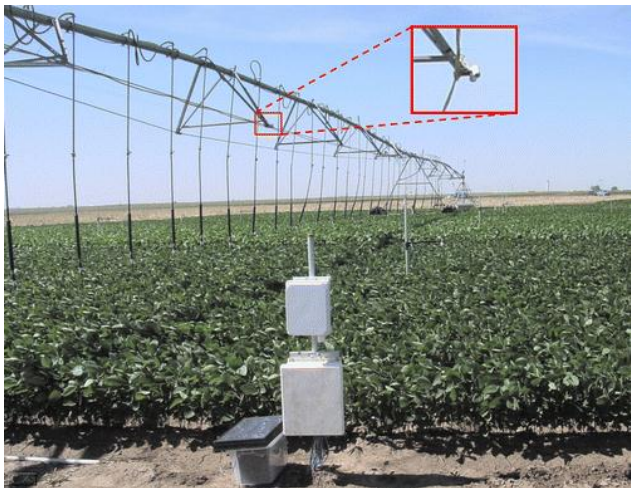
شکل ۴- شماتیک شبکه اقتضایی

در این دوران شبکه های حسگر -کارانداز های بیسیم نیز گسترش یافته اند که هر گره علاوه پایش عوامل، قادر به کنترل آنها نیز می باشد. این نوع شبکه ها که به آنها شبکه حس/کار نیز اطلاق می شود، به شدت با محیط فیزیکی در تعامل هستند، به وسیله ی حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و از طریق کار اندازها باز خورد نشان می دهد که پتانسیل استفاده از آنها را در سیستم های کنترل بلادرنگ مانند تجهیزات پخش نرخ متغیر سنسور مبنا نشان می دهد [۴-۵].

۲-۲- حسگرهای گیاهی

از آنجاکه اولین تأثیر رطوبت در خاک، بلافاصله در خود گیاه ظاهر می شود، لذا تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص گیاهی مثل دمای پوشش سبز گیاه یا پتانسیل آب برگ که وضعیت آبی گیاه را نشان می دهد، در مقایسه با روشهای غیرمستقیم (از قبیل

رطوبت خاک، مکش خاک به وسیله تانسیومتر و غیره) دقیقتر است. حتی در مواردی ممکن است رطوبت موجود در خاک زیاد باشد ولی به دلایلی مانند شوری آب یا خاک، این رطوبت برای گیاه قابل استفاده نیست که این تنش بلافاصله توسط شاخص های گیاهی نمایان می شود. دمای پوشش سبز گیاهان با تعرق رابطه دارد و تحت تأثیر باد، رطوبت نسبی هوا، تشعشع دریافتی و به خصوص رطوبت موجود در خاک است و با دماسنج مادون قرمز (شکل ۵) به طور دقیق قابل اندازه گیری است. در این روش دمای پوشش سبز گیاه هر دقیقه اندازه گیری می شود. هر موقع مجموع این اندازه گیری ها از دمای آستانه تعیین شده بیشتر شد، آبیاری صورت خواهد گرفت. دماسنج های مادون قرمز قابلیت نصب روی سامانه های متحرک آبیاری مانند سنترپیوت و لینیر را دارا هستند که در شکل زیر نمونه ای از آن نشان داده شده است.



شکل ۵- دماسنج های مادون قرمز نصب شده روی سامانه سنترپیوت

۲-۲-۱- حسگر سنجش رطوبت خاک

شکل ۶ نمونه از حسگر رطوبت خاک را نشان می دهد حسگر رطوبت خاک یکی از اصلی ترین اجزای اتوماسیون کشاورزی می باشد با استفاده از این حسگر میتوانیم به صورت پیوسته و ریشه گیاه را رصد نموده و با استفاده از این اطلاعات مصرف آب را مدیریت نماییم. از بهترین و ارزانترین حسگرها می‌توان HIH4000 را برای اندازه گیری رطوبت نام برد.

شکل ۶- نمونه حسگر رطوبت خاک

۲-۲-۲- حسگر سنجش سرعت باد

حسگر سرعت سنج را جهت سنج باد از حسگرهای مهم در کشاورزی می باشد و استفاده از این حسگر می‌تواند برای داشتن کشاورزی دقیق بسیار موثر واقع شود در مزارعی که دستگاههای آبیاری بارانی خطی و حرفه ای نصب می باشد برای بالا بردن بهره‌وری و راندمان از این حسگر می‌توان استفاده کرد. به این صورت که در شرایط باد شدید از مصرف بیهوده آب جلوگیری کرده و به صورت خودکار اب را قطع می کند.

۲-۲-۳- حسگر تبخیر و تعرق

حسگر تبخیر و تعرق می‌تواند در شرایط بسیار خشک مانند ظهرها که دمای هوا به شدت بالا میرود از آبیاری جلوگیری کند وزمان هایی را برای آبیاری مجاز بداند که شرایط تبخیر و تراکم مناسب باشد کارکرده این حسگرها به این صورت است که مثلاً وقتی رطوبت هوا از یک حداقلی کمتر شد که معمولا در شرایط خشک اتفاق می‌افتد شیر قطع و وصل را به حالت قطع در می آورد.

۲-۲-۴- حسگر باران

وقتی باران می بارد نیاز به آبیاری نیست.

۲-۲-۵- حسگر دما

در فصل زمستان یا در زمان یخبندان آبیاری درختان کار بیهوده ای است.

۲-۲-۶- حسگر نور خورشید

بهتر است آبیاری زمانی انجام شود که آفتاب نباشد تا از میزان تبخیر آب کاسته شود مثلاً آبیاری چمن در آفتاب شدید باعث صدمه جدی به آنها خواهد **شد.**

۲-۲-۷- حسگر اسیدیته خاک

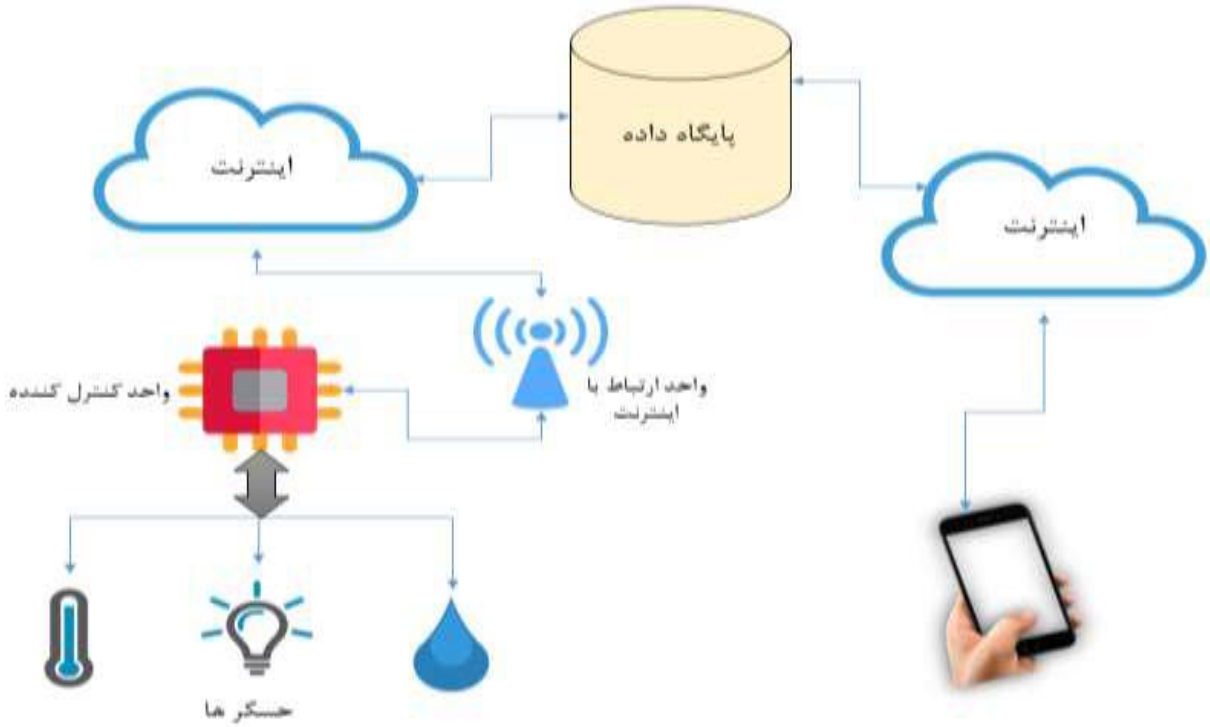
میزان اسیدی یا بازی بودن خاک را اندازه گیری می کند این نوع حسگر به این صورت عمل می کند که با کاهش رطوبت خاک بر افزایش غلظت املاح در واحد حجم خاک خاک افزایش می یابد لذا می توان زمان آبیاری بر اساس حد بالای اسیدیته تنظیم کرد.

۲-۲-۸- حسگر اندازه گیری دمای برگ

برای تشخیص میزان تشنگی گیاه استفاده می شود.

۲-۲-۹- حسگر اندازه گیری هدایت الکتریکی آب

در شکل ۷ یک مدل آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیا و نحوه ارتباطات و اجزای آن ارائه شده است پارامترهای محیطی مانند دما و نور محیط خاک هوا و غیره توسط حسگرها اندازه گیری شده و به واحد کنترل ارسال می شود واحد در نزدیکی حسگرها قرار دارد واحد کنترل کننده تجزیه و تحلیلی روی این مقادیر انجام داده و آنها را از طریق شبکه اینترنت در یک پایگاه داده ذخیره می کند. به عبارت دیگر اطلاعات به صورت به روز و لحظه ای در این پایگاه ذخیره می شوند که کاربر می‌تواند از راه دور از طریق شبکه اینترنت بین آنها دسترسی پیدا کند همچنین واحد کنترل کننده می تواند برنامه آبیاری را از این پایگاه داده دریافت نماید یعنی کاربر از راه دور می تواند این برنامه آبیاری را تنظیم نماید و همچنین در حالت خودکار واحد کنترل کننده می‌تواند بر اساس برنامه مشخصی عمل کند.



شکل۷- نحوه ارتباط بین حسگرها، واحد کنترل کننده، پایگاه داده و تلفن همراه هوشمند در مدل آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

خروجی این حسگرها در یک میکروکنترلر متن باز که برنامه نویسی شده است، خوانده خواهد شد. داده‌های خوانده شده در یک پایگاه داده که متصل به وبسایت نیز است، ذخیره می شود. در کشت و صنعت‌ها می‌توان از چندین حسگر مستقل استفاده کرد و داده‌های این حسگرها را به وسیله فناوری زیگبی به پایگاه داده منتقل کرد. زیگبی نمونه‌ای از یک شبکه هوشمند است که بین کمپانی‌های معتبر ارائه کننده خدمات برد کوتاه با هزینه کم و با مشخصه دسته ای از پروتکلهای ارتباط سطح بالا است که از فرستنده و گیرنده های دیجیتال کم مصرف مبتنی بر استاندارد برای شبکه های شخصی بیسیم با نرخ ارسال داده IEEE802 پایین استفاده می کنند. این فناوری به کمک رادیوهای دیجیتال کوچک و کم مصرف از آن، برای مصارفی چون خودکارسازی خانگی، کشاورزی دقیق و هوشمند، جمع آوری داده های دستگاه های پزشکی و سایر نیازهای با پهنای باند کم برای پروژه های کوچک مقیاس که به ارتباط بیسیم نیاز دارند، استفاده می شود. در توضیح اهمیت مفهوم نوظهور اینترنت اشیاء همین بس که با استفاده از فناوری IoT کشاورزان می توانند 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. شبکه های حسگر بیسیم برای نظارت بر مزرعه استفاده می شوند و از میکروکنترلرها (واپایشگرهای کوچک) برای کنترل و اتوماسیون فرایندهای کشاورزی استفاده می کنند. [۶]

۲-۳- شبکه حسگرهای بیسیم

شبکه حسگرهای بیسیم (WSN) متشکل از مجموعه حسگرهایی با قابلیت اندازه گیری پارامترهای مختلف، محاسبات و ارسال اطلاعات است که برای نظارت بر شرایط فیزیکی در محیط قرار می گیرند. بخشهای مختلف اینترنت اشیاء (IoT) در جدول ۱ آمده است. IoT ترکیبی از چندین فناوری است که به وسیله آن حسگرها، عملگرها و سایر نقشهای یک پروژه به صورت هوشمند به یکدیگر متصل می شوند. در IoT تمامی عملگرها باید هویت منحصربه فرد 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 حضورداشته باشد که هرکدام از فناوری های فوق با توجه به شرایط اقتصادی و محیطی و بسته به نوع فعالیت استفاده می شوند. سامانه های مبتنی بر اینترنت اشیاء قادر خواهند بود تا ۶۷ درصد در مصرف آب نسبت به آبیاری سنتی صرفه جویی

کنند. آبیاری هوشمند قادر است که بدون کاهش در عملکرد محصول، مصرف آب را تا ۵۹ درصد کاهش دهد .همچنین آبیاری قطره ای مبتنی بر حسگرها در برخی محصولات همچون موز با کاهش ۲۰ درصدی آب، عملکرد گیاه را تا ۱۵ درصد بهبود بخشید .کارایی مصرف آب در سامانه های هوشمند با استفاده از داده های هواشناسی تا ۲۰ درصد افزایش یافته است. به عنوان یک مطالعه موردی، جدول ۲ مقدار تخمینی آب مصرفی در طی یک دوره رشد گیاه برنج در سامانه های مختلف آبیاری در کشور هند را نشان می دهد. [۷] همانطور که قابل مشاهده است، آبیاری قطرهای هوشمند مبتنی بر IoT ، مقدار قابل توجهی از آب را ذخیره کرد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که اگر برای آبیاری سنتی نیاز به ۱۰۰ درصد آب باشد، آنگاه مقدار آب موردنیاز برای سامانه آبیاری قطرهای و آبیاری قطرهای هوشمند به ترتیب مقدار۶۷/۳۵ و ۵۸/۵۷ درصد خواهد بود.

جدول ۱- بخشهای مختلف یک سامانه مبتنی بر اینترنت اشیاء [۸]

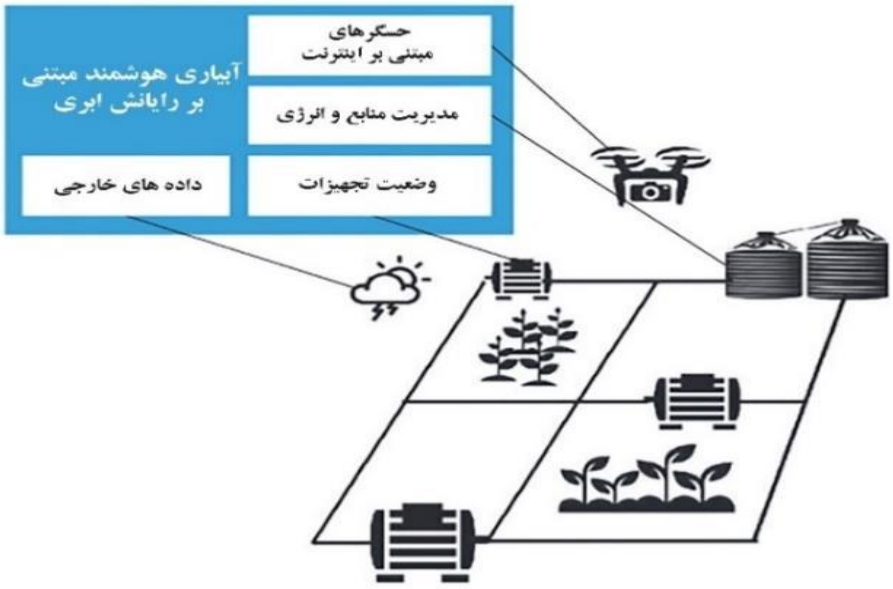
نام زیرمجموعه فناوریهای در دسترس	نام زیرمجموعه فناوریهای در دسترس
حسگرها و عملگرها	رطوبت خاک، دمای خاک، دما و رطوبت محیط، سرعت باد، تبخیر و تعرق، باران، نور خورشید، دمای برگ، PH خاک، هدایت الکتریکی آب، سطح آب، ضریب دی الکتریک، شوری، فتوسنتز، فشار و غیره
فناوریهای ارتباطی	Zigbee, 6LoWPAN, Near Field, Communication (NFC), Bluetooth, Mobile Networks (2G, 3G, 4G), Radio Frequency Identification (RFID)
فناوری پردازش ابری	سیستم های زیرساختی (IaaS)، پلتفرم (Pass)، نرم افزار (SaaS)

جدول ۲- مقدار تخمینی آب مصرفی در سامانه های مختلف آبیاری [۷]

مرحله رشد	آبیاری سنتی(میلیمتر)	آبیاری قطرهای(میلیمتر)	آبیاری قطرهای هوشمند (میلیمتر)
آماده سازی 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	۱۳۵۰-۱۱۰۰	۱۰۰۰-۶۵۰	۸۲۵-۶۱۰
میانگین	۱۲۲۵	۸۲۵	۷۱۷/۵

۲-۴- فناوری رایانش ابری

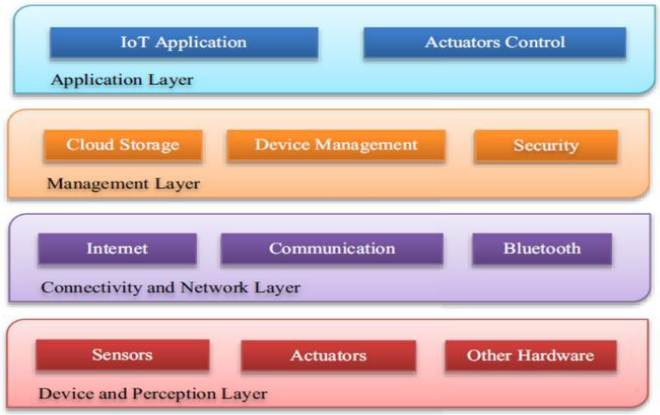
رایانش ابری در حقیقت بستر جمع آوری اطلاعات و انجام محاسبات در فناوری اینترنت اشیاء است. اصلی ترین بخشهای رایانش ابری در شکل ۸ نشان داده شده است. ممکن است اطلاعات ارسالی از حسگرها و عملگرها حجیم باشند (به خصوص در امر پردازش تصویر) و همینطور محاسبات و تحلیل سنگین برای بررسی داده ها اهمیت وجود رایانش ابری را افزایش می دهد. رایانش ابری کشاورز را قادر خواهد ساخت تا وضعیت، شرایط کاری و عملکرد تجهیزات در محیط مزرعه را به صورت آنلاین بررسی کند [۹] همچنین رایانش ابری وضعیت تولید مزرعه را در هر زمان به کشاورز گزارش داده و باعث خواهد شد تا کشاورز از وقوع هرگونه چالش در محیط مزرعه باخبر شود و اقدامات لازم را انجام دهد [۱۰].



شکل ۸- ساختار آبیاری هوشمند مبتنی بر رایانش ابری

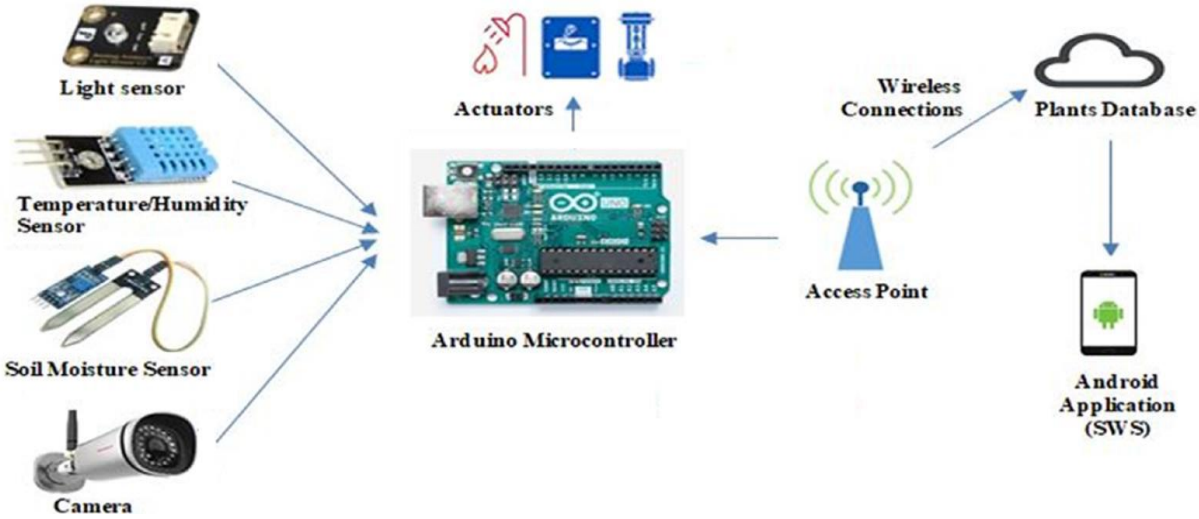
۳- نتایج و بحث

در سال ۲۰۱۹ یک سیستم آبیاری هوشمند (SWS) توسط Munir و همکاران ارائه گردیده است. این سیستم با استفاده از برنامه Androidبرای مصرف هوشمند آب در باغهای کوچک و مزارع در مقیاس متوسط، به کشاورزان کمک می کند. داده های مربوط به گیاهان و شرایط محیطی مانند سطح رطوبت خاک، شدت نور، رطوبت هوا، دمای هوا ضبط می شوند. سیستم پیشنهادی، داده ها را با استفاده از روش منطق فازی برای تصمیم گیری در مورد برنامه آبیاری پردازش می کند. نتایج حاصل از سیستم پیشنهادی نشان می دهد که این روش یک روش کارآمد و ایمن برای اجرای فرآیند آبیاری گیاهان می باشد. سیستم پیشنهادی صفدر منیر و همکاران دارای چهار لایه است که در شکل ۹ نشان داده شده است که عبارتند از: لایه کاربردی ، لایه مدیریت، لایه شبکه، لایه سخت افزار. تمام این لایه ها برای داشتن یک سیستم آبیاری هوشمند با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند [۹].



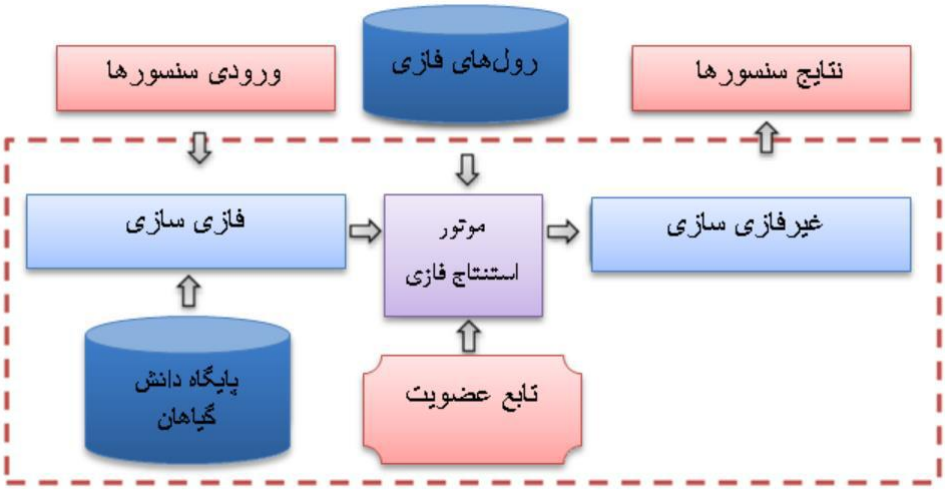
شکل۹- معماری ۴ لایه تکنولوژی IoT

شکل ۱۰، اجزای فیزیکی سیستم پیشنهادی را نشان داده است.



شکل ۱۰-اجزای فیزیکی سیستم پیشنهادی آبیاری هوشمند

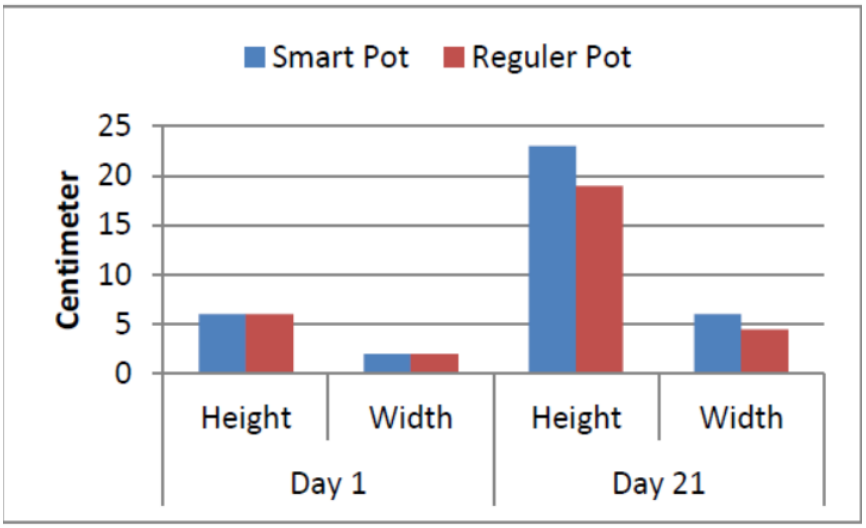
شکل ۱۱، مراحل کلی یک سیستم منطق فازی را نشان داده است.



شکل ۱۱- کنترل کننده منطقی فازی برای سیستم هوشمند آبیاری

در سال ۲۰۱۸ یک سیستم آبیاری هوشمند با استفاده از روش منطق فازی توسط Izzuddin و همکاران طراحی گردید. ورودی های سیستم کنترل منطق فازی از سنسور رطوبت، دما و نور و خروجی این سیستم شامل لامپ و پمپ آب بود. شبیه سازی با استفاده از نرم افزار MATLAB و SIMULINK انجام گرفت. نتیجه ی خروجی در نرم افزار MATLAB و SIMULINK با یکدیگر برابر بودند [۱۱].

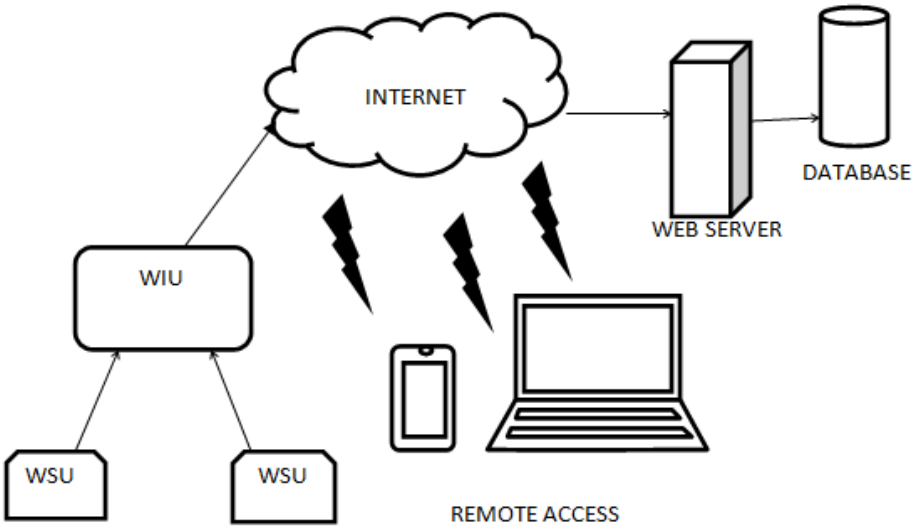
در سال ۲۰۱۹ یک گلدان هوشمند با استفاده از منطق فازی توسط Karimah و همکاران طراحی و آزمایش گردید. ورودی های سیستم از ۳ سنسور، دما، رطوبت هوا و رطوبت خاک تشکیل شده و خروجی سیستم دارای دو حالت روشن/خاموش بود. نتیجه کار به این شکل بود که در گلدان هوشمند، اسفناج کاشته شده بعد از ۲۱ روز، دارای طول ۲۳ سانتی متر و عرض برگ اسفناج به ۶ سانتی متر رسید. در حالی که در گلدان معمولی، اسفناج کاشته شده بعد از ۲۱ روز، دارای طول ۱۹ سانتی متر و عرض برگ اسفناج به ۴/۴ سانتی متر رسید. در شکل ۱۲ نتایج حاصل از اندازه گیری ارتفاع گیاهان نشان داده شده است. در این آزمایش شاهد برتری گلدان هوشمند نسبت به گلدان معمولی بودیم [۱۲].



شکل ۱۲- مشاهده رشد گیاه در ۲۱ روز

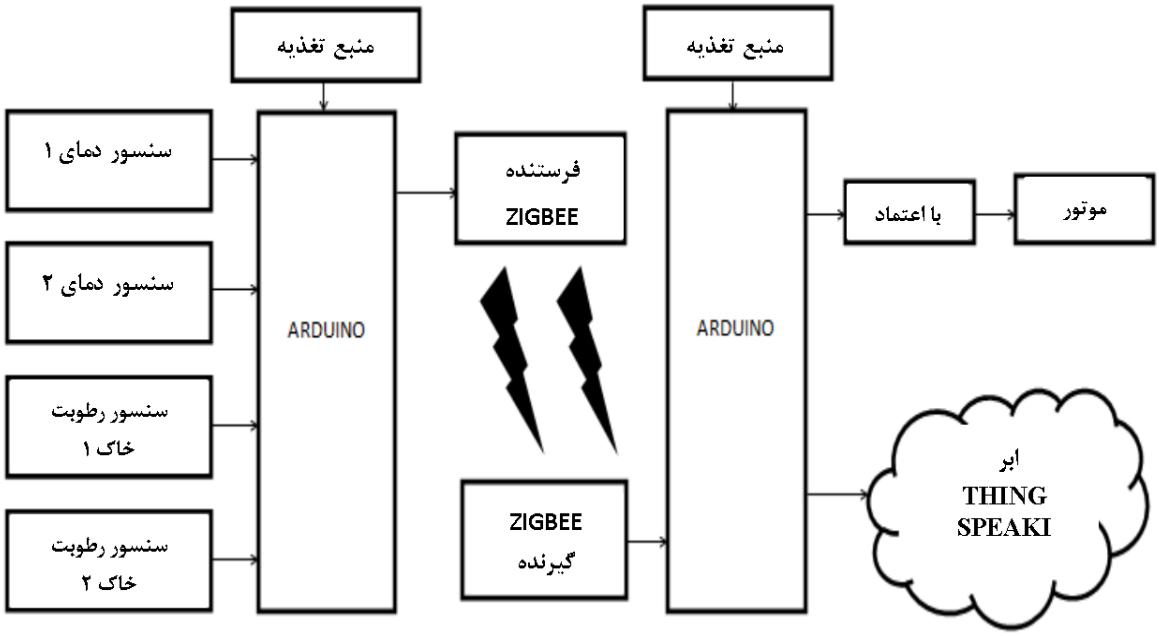
در سال ۲۰۱۸ یک سیستم نظارت در زمینه کشاورزی هوشمند مبتنی بر IoT توسط Mondal و همکاران پیشنهاد گردید. در این سیستم نظارت، رطوبت و دمای خاک رصد می شود. پس از پردازش داده ها در سیستم، اقدامات لازم بدون دخالت انسان براساس داده های پردازش شده، صورت می گیرد [۱۳].

در سال ۲۰۱۹ یک سیستم آبیاری هوشمند توسط Bagaria و همکاران پیشنهاد گردید که براساس ارتباطات بی سیم و از طریق میکروکنترلرها و تکنولوژی zigbee کار می کند. هدف از راه حل پیشنهاد شده، کاهش مصرف آب و بهبود عملکرد و کیفیت محصول می باشد. آنها توانستند بهره وری محصول را با استفاده از صرفه جویی در مصرف آب افزایش دهند. این سیستم، از یک میکروکنترلر و یک ماژول RF و تعدادی سنسور رطوبت خاک و دما تشکیل شده است. اجزای حیاتی مورد نیاز برای راه حل پیشنهاد شده در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این مدل شامل یک واحد سنجش بی سیم (WSU) و یک واحد اطلاعات بی سیم (WIU) می باشد [۱۴].



شکل ۱۳- مدل معماری سیستم پیشنهادی آبیاری هوشمند

سیستم آبیاری هوشمند متشکل از دو جزء، واحد حسگر و واحد اطلاعات می باشد. هر دو این واحدها از طریق فرستنده های zigbeeبه یکدیگر متصل می شوند، که امکان انتقال داده های دما و سنسورهای رطوبت خاک را فراهم می‌کند. در شکل ۱۴ سازمان سیستم به طور کلی نشان داده شده است.

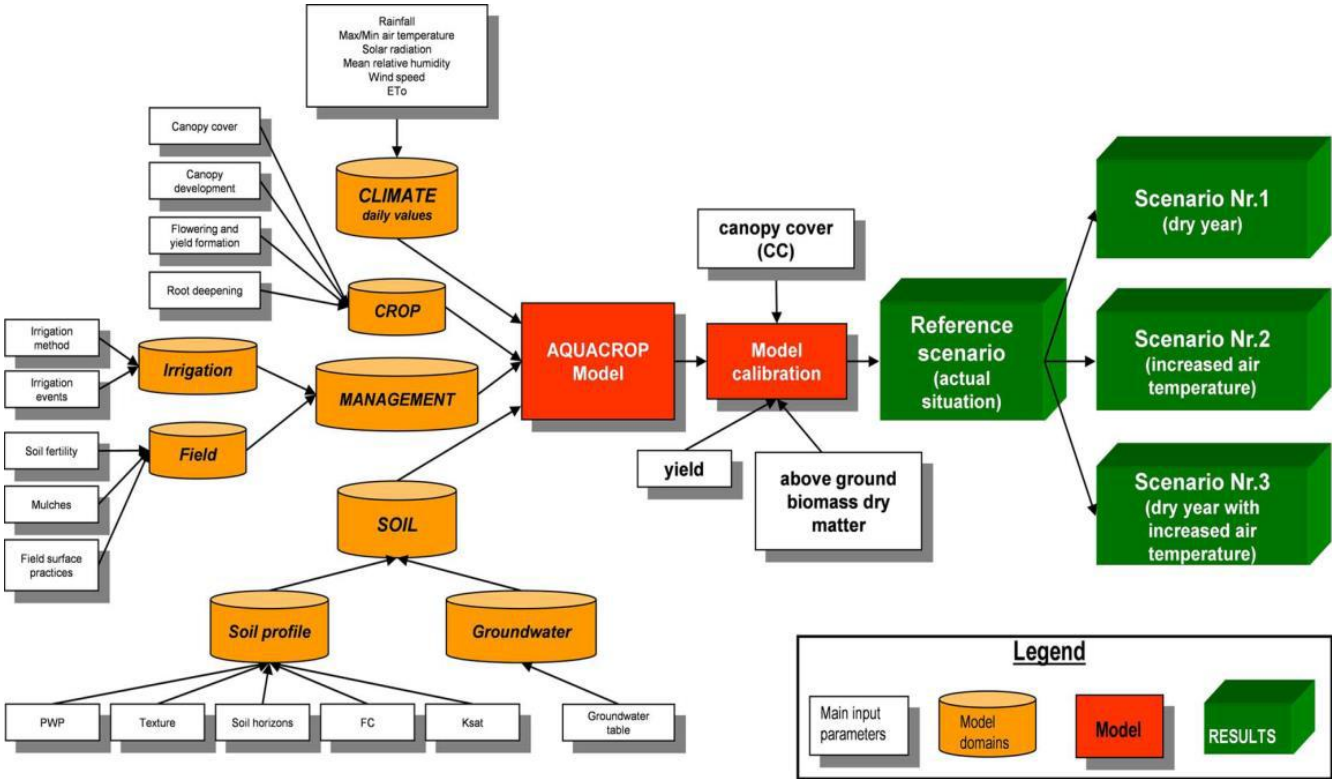


شکل ۱۴- سازمان سیستم آبیاری هوشمند

در سال ۲۰۱۸ یک معماری آبیاری هوشمند مبتنی بر یادگیری ماشین توسط Goap و همکاران برای پیش بینی رطوبت خاک ارائه گردیده است. در معماری این سیستم از الگوریتم SVR و خوشه بندی k-means برای پیش بینی رطوبت خاک استفاده شده است [۱۵].

در سال ۲۰۱۸ یک شبکه حسگر بیسیم (WSN) توسط Kumar و همکاران طراحی گردیده است .هدف اصلی این طراحی کاهش مصرف آب با انجام آبیاری قطرهای و افزایش باروری خاک و بهبود کارایی می باشد. دمای خاک و رطوبت خاک با استفاده از سیستم عامل‌های مبتنی بر وب از طریق دستگاههای فعال IoT در منطقه جغرافیایی خاص به دست می‌آیند. بر اساس پردازش داده های جمع آوری شده آبیاری مزرعه به راحتی کنترل می شود. در این نوع سیستم، مصرف آب تا ۴۵٪ از آبیاری معمولی صرفه جویی شده است. هدف آنها ایجاد کشاورزی هوشمند می باشد [۱۶].

در سال ۲۰۱۸ ساکون و همکاران بر روی بهبود بهرهوری استفاده از آب در کشاورزی، تحقیق و بررسی نمودند. آنها در پروژه خود از مدل شبیه سازی AquaCrop، که یک مدل بهره وری آب در کشاورزی می باشد استفاده نمودند. در شکل ۱۵ مروری بر ساختار مدل، پارامترهای ورودی و مراحل اصلی پردازش نشان داده شده است [۱۷].



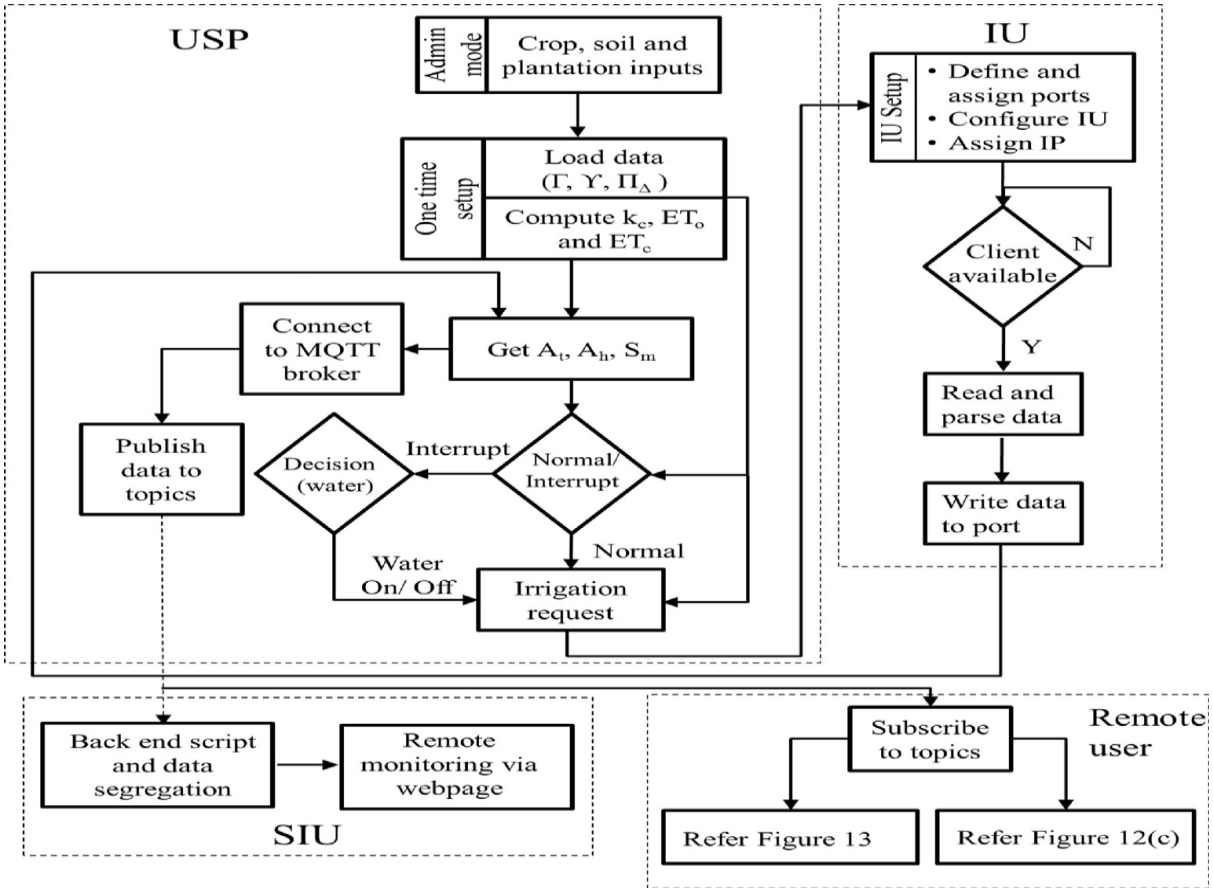
شکل ۱۵- بررسی کلی ساختار مدل، پارامترهای ورودی و مراحل پردازش اصلی

در سال ۲۰۱۹ یک سیستم تصمیم یار آبیاری، توسط Bonfante و همکاران برای بهبود کارآیی مصرف آب در کشاورزی پیشنهاد گردیده است. که براساس سه متدولوژی مختلف، مدیریت آبیاری صورت می پذیرد [۱۸].

- WTens (سنسورهای داخل خاک در مزرعه)
- IRRISAT® (طریق سنجش از راه دور)
- W-Mod (از طریق شبیه سازی)

در سال ۲۰۱۹ یک سیستم بهینه آبیاری محصولات کشاورزی بر اساس یک شبکه حسگر بیسیم (WSN) توسط Muangprathub و همکاران پیشنهاد گردید. این سیستم دارای سه بخش سخت افزار، برنامه وب و برنامه تلفن همراه می باشد. از دستگاههای IoT برای جمع آوری دادهها استفاده می شود. اطلاعات رطوبت خاک و دمای محیط از طریق حسگرها و سرویس وب اصلی هواشناسی به دست می آید [۱۹].

در سال ۲۰۱۹ یک مدل پیشبینی آب و هوای هوشمند با استفاده از دادههای ماهواره LANDSAT و مدل هیدرولوژیکی توسط Corbariو همکاران پیشنهاد گردیده است. در این سیستم، از مدل هیدرولوژیکی و روش کالیبراسیون بر اساس LST استفاده شده است [۲۰].



شکل ۱۶- جریان کار سیستم آبیاری هوشمند کم هزینه مبتنی بر شبکه عصبی

در سال ۲۰۱۹ یک سیستم آبیاری هوشمند کم هزینه مبتنی بر شبکه عصبی توسط Nawandar وSatpute پیشنهاد گردید. سیستم پیشنهادی با هوش، کم هزینه، قابل حمل می باشد و برای گلخانه ها، مزارع و غیره مفید است. نمای کلی سیستم در شکل ۱۶ نشان داده شده است. سیستم آبیاری اتوماتیک دارای سه ماژول است [۲۱]:

۱) قطب سنسور متحد (USP)

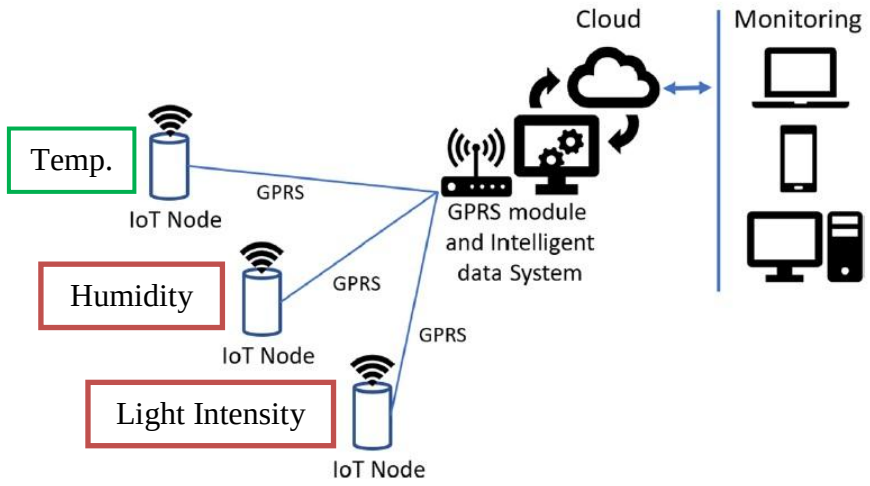
۲) واحد آبیاری (IU)

۳) واحد اطلاعات سنسور (SIU) برای دستیابی به کاربر

- برای به دست آوردن اطلاعات لازم برای محاسبه نیاز آبی مزارع از USP استفاده می شود. USPحسگرها را کنترل می کند و مسئول تصمیم گیری 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 می باشد.
- USP اطلاعات سنسور را به SIU می فرستد. SIU دادههای سنسور را ذخیره می کند.

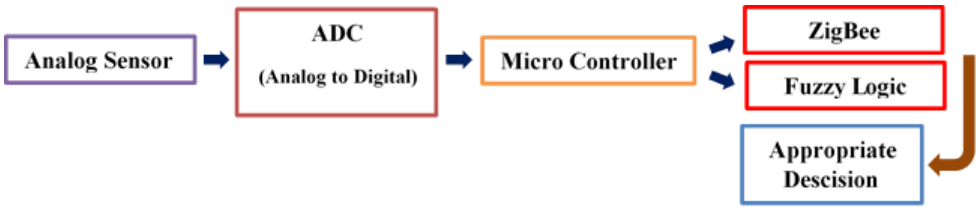
گویلن و همکاران (۲۰۲۰)، یک سیستم نظارتی هوشمند گلخانه ای طراحی کردند که بر اساس سنسورهای هواشناسی شامل کنترل دما، رطوبت و شدت نور می باشد. که در این طرح تحقیقاتی، اطلاعات خروجی را از گره های اینترنت اشیا توسط سرویس بسته امواج رادیویی[1] به سیستم هوش مصنوعی فرستاده و در آنجا عملیات آنالیز دیتاها صورت گرفته و در نهایت توسط مجموعه مانیتورینگ به ناظر گلخانه پیام هشدار در خصوص اتخاذ تصمیم مناسب در زمان مورد نظر را می دهد (شکل ۱۷) [۲۲].

[1] GPRS



شکل ۱۷- معماری سیستم اینترنت اشیا در کشاورزی هوشمند

همچنین کسوانی و همکاران (۲۰۲۰)، همانطور که در شکل ۱۸ نمایش داده شده است، با استفاده از اطلاعات سنسورهای هواشناسی که توسط یک مبدل آنالوگ به دیجیتال[1] به یک میکروکنترلر مرکزی ارجاع داده می شوند و به واسطه شبکه بی سیم زیگ بی[2] و توسط مدل تحلیلی منطق فازی دستور باز یا بسته شدن شیر کنترلی آب اصلی (بصورت صفر و یک) برای ناظر گلخانه در زمان مناسب فرستاده می شود [۲۳].



شکل ۱۸- فلوچارت یک سیستم آبیاری هوشمند بواسطه شبکه بی سیم زیگ بی و مدل تحلیلی منطق فازی

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی شناسایی عوامل محیطی موثر قابل کنترل بوسیله اینترنت اشیاء در صنعت کشاورزی پرداخته شده است. نتایج حاصل را به صورت موارد ذیل میتوان جمع بندی کرد:

چند دلیل برای بازده پایین محصولات در کشاورزی وجود دارد؛ مانند بارندگی ناکافی، کمبود برخی پارامترها (پارامترهای مورد نیاز گیاه برای رشد سالم)، عدم آگاهی کشاورزان از نیازهای بموقع محصولات. در نتیجه کشاورز ممکن است نتواند نیازهای محصولات را تأمین کند .این درحالیست که پیاده سازی فناوری در کشاورزی به کشاورز در شناخت نیازهای محصولات و اقدام متناسب با آن کمک می کند. با استفاده از فناوری اینترنت اشیا، حسگرها و داده کاوی در کشاورزی، می توان به کشاورزان در شناخت نیازهای بموقع محصولات کمک کرد و بازده کشاورزی را بالا برد. آب و انرژی، مهمترین ورودی های کشاورزی به شمار می روند و هزینه های آنها می تواند کسب و کار کشاورزی را متوقف سازد. تکنولوژی IoT می تواند با استفاده از نظارت و تغییر حجم آب و نیز زمانبندی، مکان و مدت زمان جریان را بر اساس تجزیه و تحلیل دادههای عملکرد آبیاری در کشاورزی بهبود بخشد و در نتیجه سبب پایین آمدن هزینه ها گردد. مشکلاتی نیز در زمینه استفاده از این

[1] Analog to Digital (ADC)
[2] ZigBee Wireless

فناوری در کشاورزی وجود دارد .اما با وجود همه این موانع و مشکلات، مزایای استفاده از فناوری اینترنت اشیاء بر آن غالب بوده و استفاده از این فناوری روز به روز در حال گسترش می باشد. طبق مطالعات انجام گرفته در این تحقیق، در حالت کلی می توان نتیجه گرفت که تقریبا تمام عوامل محیطی موثر بر رشد گیاه در کشاورزی، از جمله دمای هوا، دمای خاک، میزان رطوبت هوا، رطوبت خاک، میزان نور و سطح تابش خورشید، درجه حرارت، سرعت باد، بارش باران، وجود گازهایی چون CO_2، سطح شوری و هدایت الکتریکی خاک، میزان PH یا اسیدی و قلیایی بودن خاک، میزان مواد معدنی و ترکیبات خاک با استفاده از تکنولوژی اینترنت اشیاء قابل اندازهگیری، نظارت و در نهایت قابل کنترل می باشد.

۵- پیشنهادات

در چند سال آینده شاهد استفاده روزافزون این دست تکنولوژیها و تکنولوژیهای دیگری در زمینه کشاورزی هوشمند خواهیم بود. برای پیشرفت بیشتر این تکنولوژی، سهولت استفاده از آن و بالاتر رفتن کارایی استفاده از آن در کشاورزی، باید به ارائه راهکارها و سنجیدن عملی بودن یا نبودن و در نهایت پیاده سازی راهکارهای عملی پرداخت. در این بخش به ارائه تعدادی راهکار جهت بهبود کارایی تکنولوژی اینترنت اشیاء در کشاورزی پرداخته شده است. این راهکارهای پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

- گسترش استفاده از فناوری هایی با مصرف انرژی پایین، به گونه ای که با حداقل تعداد باتری و دفعات شارژ کار کنند. در چنین فناوری هایی از شبکه های توان پایین برد بالا استفاده می شود.
- استفاده از شبکه هایی با پوشش بالا و کاهش هزینه های بستر سازی در مزارع که منجر به مقرون سازی استفاده از این فناوری خواهد شد.
- ایجاد یک مزرعه تمام دیجیتال، به گونه ای که هر بوته آدرس دیجیتالی و آیپی اختصاصی خودش را داشته باشد و با سایر گیاهان در ارتباط بوده و اطلاعاتش را با آن ها به اشتراک بگذارد. به این ترتیب از طریق اتصال به شبکه داخلی این مزرعه که ماحصل تجمیع حسگرهای مربوط به بوته هاست، می توان وضعیت فعلی و میزان پیشرفت گیاهان را دید.
- بکارگیری حسگرها و اتصال گیاهان با فناوریهای اینترنت اشیاء، که علاوه بر مزیتهایی که امروز به دنبال خواهد داشت، میتواند گامی برای پیشرفت این تکنولوژی در آینده باشد.
- بهینه سازی عملیات کشاورزی روزانه با استفاده از سیستم های متصل به ابر در کشاورزی.
- خودکارسازی کامل در کشاورزی.

۶- منابع

1. Benedict, Sh. 2020. Serverless Blockchain-Enabled Architecture for IoT Societal Applications. IEEE Transactions on Computational Social Systems 7: 1146-1158.

2. Fan, J., Zhang, Y., Wen, W., Gu, Sh., Lu, X. and Guo, X. 2021. The future of Internet of Things in agriculture: Plant high-throughput phenotypic platform. Journal of Cleaner Production 280: 1-15.

3. Gavrilović, N. and Mishra, A. 2020. Software architecture of the internet of things (IoT) for smart city, healthcare and agriculture: analysis and improvement directions. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing 12: 1315-1336.

4. Bassi, A., Bauer, M., Fiedler, M., Kramp, T., van Kranenburg, R., Lange, S. and Meissner, S. 2013. Enabling Things to Talk: Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model. Springer Berlin Heidelberg 163-211.

5. Timpanaro, J.P., Chrisment, I. and Festor, O. 2011. Monitoring the I2P network. Research Report RR – 7844 1-15.

6. Sadowski, S. and Spachos, P. 2020. Wireless technologies for smart agricultural monitoring using internet of things devices with energy harvesting capabilities. Computers and Electronics in Agriculture 172: 1-8.

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

8. Sharma, D., Bhondekar, A. P., Ojha, A., Shukla, A. K. and Ghanshyam, C. 2016. A technical assessment of IoT for Indian agriculture sector. IJCA Proceedings on National Symposium on Modern Information and Communication Technologies for Digital India 1:1-5.

9. Munir, M. S., Bajwa, I. S., Ashraf, A., Anwar, W. and Rashid, R. 2021. Intelligent and Smart Irrigation System Using Edge Computing and IoT. Complexity 2021: 1-16.

10. Khriji, S., El Houssaini, D., Kammoun, I. and Kanoun, O. 2021. Precision Irrigation: An IoT-Enabled Wireless Sensor Network for Smart Irrigation Systems. Women in Precision Agriculture. Springer, Cham: 107-129.

11. Izzuddin, T.A., Johari, M.A., A Rashid, M.Z. and H Jali, M. 2018. SMART IRRIGATION USING FUZZY LOGIC METHOD. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 13(2): 517-522.

12. Karimah, S.A., Rakhmatsyah, A. and Suwastika, N.A. 2018. Smart pot implementation using fuzzy logic. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1192: 1-12.

13. Mondal, Md.A. and Rehena, Z. 2018. IoT Based Intelligent Agriculture Field Monitoring System. 2018 8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence) 625-629.

14. Bagaria, R., Sasikumar, P. and Nandakumar, S. 2019. Smart Irrigation and Farm Field monitoring System using Internet of Things. International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology & Management (SUSCOM-2019) 944-951.

15. Goap, A., Sharma, D., Shukla, A.K. and 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.

16. Kumar, C.K. and Venkatesh, V. 2018. Cloud based soil monitoring and smart irrigation system using IoT and precision farming. International Journal of Pure and Applied Mathematics 119(18): 2011-2020.

17. Saccon, P. 2017. Water for agriculture, irrigation management. Applied Soil Ecology 123: 793-796.

18. Bonfante, A., Monaco, E., Manna, P., De Mascellis, R., Basile, A., Buonanno, M., Cantilena, G., Esposito, A., Tedeschi, A., De Michele, C., Belfiore, O., Catapano, I., Ludeno, G., Salinas, K. and Brook, A. 2019. LCIS DSS—An irrigation supporting system for water use efficiency improvement in precision agriculture: A maize case study. Agricultural Systems 176: 1-14.

19. Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A. and Nillaor, P. 2019. IoT and agriculture data analysis for smart farm. Computers and Electronics in Agriculture 156: 467–474.

20. Corbari, C., Salerno, R., Ceppi, A., Telesca, V. and Mancini, M. 2019. Smart irrigation forecast using satellite LANDSAT data and meteo-hydrological modeling. Agricultural Water Management 212: 283–294.

21. Nawandar, N.K. and Satpute, V.R. 2019. IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. Computers and Electronics in Agriculture 162: 979–990.

22. Guillén, M.A., Llanes, A., Imbernon, B., Martinez Espana, R., Bueno Crespo, A., Cano, J-C. and Cecilia, J.M. 2020. Performance evaluation of edge-computing platforms for the prediction of low temperatures in agriculture using deep learning. The Journal of Supercomputing 77: 818-840.

23. Keswani, B., Mohapatra, A.G., Keswani, P., Khanna, A., Gupta, D. and Rodrigues, J.J.P.C. 2020. Improving weather dependent zone specific irrigation control scheme in IoT and big data enabled self driven precision agriculture mechanism. Enterprise Information Systems 14: 1494-1515.