نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۶-۴۷

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 2, Autumn and Winter 2021, 47-66

مقاله علمی- مروری

مزایا، کاربردها و چالش‌های مربوط به اینترنت اشیاء در آبیاری

مسعود پورغلام آمیجی[1*]

چکیده

صنعت کشاورزی در سال‌های اخیر، با استفاده از فناوری‌های ارتباطات و اطلاعات به‌ویژه اینترنت اشیاء پیشرفت چشمگیری داشته است. این سیستم که مجموعه‌ای از ابزارهای متصل‌به‌هم است، می‌تواند در زمینه‌های مختلف، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز در بهینه‌سازی عملکرد را به سهولت و با سرعت و دقت کامل انتقال دهد. کشاورزان می‌توانند اطلاعات مربوطه را با استفاده از تلفن‌های هوشمند و اینترنت در هر زمان و مکان دریافت کنند. به مجموعه این فرایندهای هوشمند، پیشرفته و پیچیده که در راستای تسهیل در کلیه امور کشاورزی و آبیاری گرد هم آمده‌اند، اینترنت اشیاء گفته می‌شود. اینترنت اشیا، فناوری جدیدی است که به‌عنوان یک شبکه جهانی از ماشین‌آلات و دستگاه‌های قادر به تعامل با یکدیگر، تصور می‌شود. همچنین اینترنت اشیاء به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زمینه‌های فناوری آینده شناخته‌شده و موردتوجه بسیاری از صنایع قرارگرفته است. این سیستم که احساس، هوش و توانایی فکر کردن، به‌خاطرسپردن، تصمیم گرفتن و واکنش به محیط فیزیکی را از مغز انسان الهام می‌گیرد، از سه قسمت انواع حسگرها، شبکه ارتباطی واحدهای پردازش اطلاعات و درگاه‌های هوشمند و واحد مدیریت داده و پردازش تشکیل شده است. این پژوهش که با استفاده از مطالعه کتابخانه‌ای وسیع و با استفاده از اطلاعات معتبر بین‌المللی به انجام رسیده، از پیشینه تا کاربردهای اینترنت اشیاء را دنبال کرده و تمامی اجزای کوچک تا بزرگ مربوط به این رویکرد در مزرعه را موردبررسی قرار داده است. سپس کاربرد این مفهوم در علوم آبیاری به‌ویژه در خودکارسازی و هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری در مزرعه بررسی‌شده است. درنهایت ابزارهای رایج نظیر حسگرهای درون مزرعه‌ای، شبکه حسگرهای بی‌سیم، ماهواره‌ها و استفاده از پهپادها که به‌عنوان یک وسیله در جهت نیل به هدف ارتباط بین اینترنت اشیاء و سامانه‌های هوشمند آبیاری در مزارع به شمار می‌روند، معرفی و مزایا، کاربردها و چالش‌های پیش روی فعلی و آتی اینترنت اشیاء در آبیاری بیان شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری هوشمند، امنیت شبکه و داده‌ها، کشاورزی دقیق، ماهواره و پهپاد، مدیریت زنجیره تأمین.

مقدمه

بر همگان واضح و مبرهن است که اهمیت کشاورزی در دهه‌های آینده، بیشتر از همیشه خواهد بود. طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد، جهان نیاز به افزایش ۷۰ درصدی در تولید مواد غذایی در سال ۲۰۵۰ میلادی دارد تا بتواند نیاز جمعیت ۹/۶ میلیارد نفری جهان را تأمین کند (FAO and UNICEF., 2020). برای پاسخگویی به این تقاضا، فناوری‌های زیادی با IoT[2] تطبیق یافته‌اند. اینترنت اشیاء (IoT) یک شبکه مشترک از اشیاء است که می‌توانند از طریق اینترنت بدون هیچ‌گونه کمک و یا تعامل انسانی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. کشاورزی هوشمند مبتنی بر IoT می‌تواند به کاهش تلفات، استفاده بهینه از کود و درنتیجه افزایش عملکرد محصول و درعین‌حال جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک کند. فناوری IoT می‌تواند هزینه‌های مزرعه را کاهش و

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
(* نویسنده مسئول: Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶
DOR: 20.1001.1.24764531.1399.7.2.4.3

[2] Internet of Things

بهره‌وری کشاورزی را افزایش دهد و در صرفه‌جویی مصرف آب کمک شایانی نماید (Salam., 2020; Cays, 2021). مفهوم IoT، مفهومی جدید در دنیای فناوری و ارتباطات به شمار می آید و برای نخستین بار در سال ۱۹۹۹ توسط کوین اشتون[1] مورداستفاده قرار گرفت و جهانی را توصیف کرد که در آن هر چیزی، ازجمله اشیای بی‌جان، 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 می‌کند ولی با اینترنت چیزها تمام اشیاء به هم متصل می‌شوند. مفهوم IoT به‌طورکلی به بسیاری از اشیاء و وسایل محیط پیرامونمان که به شبکه اینترنت متصل شده‌اند و توسط نرم‌افزارهای موجود در تلفن‌های هوشمند و تبلت که قابل‌کنترل و مدیریت هستند، اشاره دارد. IoT به زبان ساده، ارتباط حسگرها و دستگاه‌ها با شبکه‌ای است که از طریق آن می‌توانند با یکدیگر و با کاربرانشان تعامل کنند (Ashton, 1999). مدیریت آب، یک راه‌حل مؤثر و بسیار مهم برای تأمین تقاضای روزافزون جهان است. آبیاری دقیق (PI[2])، به‌عنوان یک مفهوم پیشرفته در کشاورزی، نویدبخش خوبی برای بهبود کارایی استفاده از آب و همچنین حفظ یا افزایش عملکرد محصول است. آبیاری دقیق خود نیازمند فناوری‌های پیشرفته مختلفی مانند اینترنت اشیاء (IoT)، شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN[3]) و رایانش ابری[4] است (Shi et al., 2019; Hossein Motlagh et al., 2020; Khriji et al., 2021). بنابراین فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیاء (IoT) می‌توانند پتانسیل قابل‌توجهی در برنامه‌های کاربردی کشاورزی هوشمند (SF[5]) و کشاورزی دقیق (PA[6]) فراهم کرده و امکان دستیابی به داده‌های زیست‌محیطی در هر زمان را تأمین کنند. دستگاه‌های اینترنت اشیاء مانند هواپیماهای بدون سرنشین را می‌توان در برنامه‌های مختلف مربوط به مدیریت محصولات با ثبت تصاویر با وضوح مکانی و زمانی بالا مورد بهره‌برداری قرارداد (Subashini et al., 2018; Barkunan et al., 2019; Munir et al., 2021). انتظار می‌رود این فناوری‌ها، انقلابی بزرگ در کشاورزی و بخش آبیاری ایجاد کنند و تصمیم‌گیری های مدیریتی را از چند ماه یا چند هفته، به‌روز و ساعت تغییر داده و نوید کاهش چشمگیر هزینه و افزایش عملکرد را بدهند. چنین فناوری‌هایی امکان استفاده مؤثر از نهاده‌های مزرعه را فراهم کرده و از چهار بخش کشاورزی دقیق پشتیبانی می‌کنند؛ یعنی اعمال صحیح، در مکان مناسب، در زمان مناسب و با مقدار مناسب (Tsouros et al., 2019; Cays, 2021).

از مزایای اینترنت اشیاء (IoT) در آبیاری می‌توان این‌گونه بیان کرد که سامانه‌های 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., 2020; 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 سامانه‌های 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

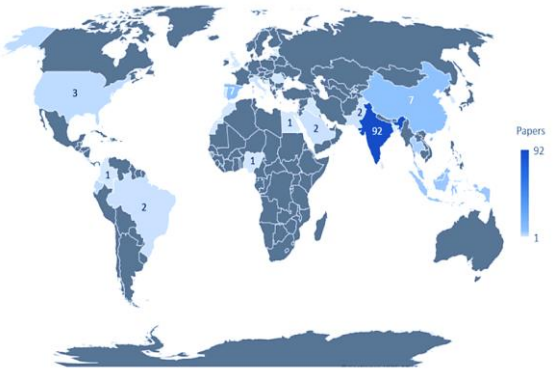
[1] Kevin Ashton
[2] Precision irrigation
[3] Wireless Sensor Network
[4] Cloud Computing
[5] Smart Farming
[6] Precision Agriculture

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. هدف این گزارش بررسی مفهوم اینترنت اشیاء و روش‌های مختلف هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری و عملکرد آن‌ها از جنبه‌های مختلف است. روش‌های مختلفی همچون بهره‌گیری از انواع حسگرها، پهپادها، سنجش‌ازدور و اینترنت اشیاء برای هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری ارائه‌شده است. بهره‌گیری از سامانه-های هوشمند آبیاری علاوه بر بهبود عملکرد گیاهان، موجب کاهش تلفات آب و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی خواهد شد.

سطح توسعه کاربرد اینترنت اشیاء در کشاورزی

اینترنت اشیاء (IoT) فناوری جدیدی است که روز به روز در حال گسترش بوده و کشورهای زیادی در حال استفاده از آن هستند. در همین راستا، پراکندگی مقالات منتشرشده در کشورهای مختلف که نشان از استفاده آن‌ها از فناوری IoT است، در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کشورهایی که اینترنت اشیاء (IoT) را برای آبیاری استفاده کردند، کشورهایی هستند که منبع اقتصادی عمده آن‌ها از بخش کشاورزی تأمین می‌شود. هند کشوری با بیشترین تعداد مقاله با مجموع ۹۲ مقاله، ۵۷/۵ درصد از کل مقاله است. چین و اسپانیا هرکدام با هفت مقاله مساوی هستند. کاستاریکا، اکوادور، اندونزی، تایلند و ایالات‌متحده آمریکا بین سه تا شش مقاله دارند. بقیه کشورهایی که اینترنت اشیاء (IoT) را برای آبیاری بررسی کرده‌اند، دارای یک یا دو مقاله هستند. این آمار مربوط به اواسط سال ۲۰۱۹ می‌باشد (García et al., 2020).

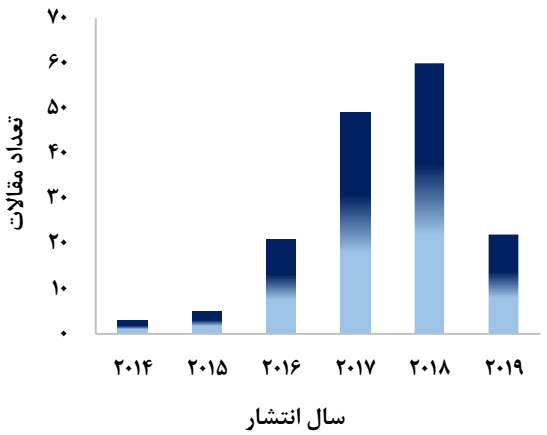
نکته قابل‌توجه این است که از پنج کشور با بیشترین مساحت زمین کشاورزی (چین، ایالات‌متحده آمریکا، استرالیا، برزیل و قزاقستان) فقط یک کشور در پنج کشور برتر از نظر مدیریت آب قرار دارد. هند که کشوری با بیشترین تولید مقاله است و سیستم‌های اینترنت اشیاء (IoT) را برای مدیریت آب ارائه می‌دهد، از نظر مساحت زمین‌های کشاورزی در رده هفتم قرار دارد. با توجه به شش کشور برتر از نظر مقالات منتشرشده در رابطه با سامانه‌های آبیاری مبتنی بر IoT، سه کشور هند، چین و اسپانیا جز مناطقی هستند که کمبود آب زیاد و متوسط دارند (شکل ۱). باز هم کشورهایی با مناطق تحت تأثیر کمبود آب وجود دارند که از اینترنت اشیاء (IoT) در آبیاری و کشاورزی استفاده می‌کنند و مقالات کمتری منتشر کرده‌اند (مانند ایالات‌متحده آمریکا). بااین‌حال، این بدان معنا نیست که در این کشورها هیچ کوششی برای کاهش استفاده از آب در کشاورزی انجام نمی‌شود. ممکن است که در این کشورها عمده تلاش‌ها توسط بنگاه‌های اقتصادی انجام شود و یافته‌های آن‌ها به‌طور مستقیم ثبت اختراع‌شده و درجایی منتشر نشده باشد. درمجموع بیشتر مقالات توسط نویسندگانی است که جز کشورهای درحال‌توسعه هستند (García et al., 2020).



شکل ۱- تعداد مقالات منتشرشده با استفاده اینترنت اشیاء برای آبیاری در جهان

ازنظر تعداد مقالات منتشرشده در سال‌های مختلف با استفاده از IOT در بحث آبیاری و به‌طورکلی کشاورزی، می توان به شکل (۲) مراجعه کرد. این شکل حاکی از توسعه این فناوری بوده و نشان می‌دهد که علاقه به این موضوع در

طول سال‌های اخیر افزایش‌یافته است. مقادیر کمتر مقالات برای سال ۲۰۱۹ به دلیل ناتمام ماندن سال انتخاب مراحل مقالات است. بنابراین، همه مقالات انجام‌شده در سال ۲۰۱۹ منتشرنشده است. همچنین می‌توان متصور بود که تعداد مقالات زیادی در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ انجام شده باشد و از روند رو به رشد شکل (۲) می‌توان آن را تخمین زد (García et al., 2020).



شکل ۲- تعداد مقالات منتشرشده با استفاده از اینترنت اشیا برای آبیاری در سال‌های مختلف در جهان

مفهوم نوظهور اینترنت اشیاء

مفهوم اینترنت اشیا، (IoT) شروع ورود به تمام بحث‌های مربوط به آبیاری هوشمند، کشاورزی دقیق، خودکارسازی سامانه‌ها و تمام سامانه‌های کنترل از راه دور است و یک مجموعه به‌هم‌پیوسته را تشکیل می‌دهد. هرکدام از این اجزا بدون وجود دیگری، معنی ندارد و خروجی هر بخش، ورودی بخش دیگر را تشکیل می‌دهد. درنتیجه استفاده از ابزارهای مزرعه‌ای نظیر حسگرها، شبکه حسگرهای بی‌سیم، روش‌های سنجش‌ازدور و ماهواره‌ها[1]، فناوری رایانش ابری، استفاده از پهپادها (پرنده هدایت‌پذیر از راه دور- UAV[2]) و غیره به‌عنوان یک وسیله در راستای نیل به هدف ارتباط بین IoT و سامانه های هوشمند آبیاری در مزارع به شمار می‌روند. بنابراین ادغام کشاورزی با IoT می‌تواند آن را فعالیتی بسیار کارآمد و سودآور کند. برای طراحی یک سامانه آبیاری هوشمند مبتنی بر IoT می‌توان از مجموعه حسگرهای مستقل[3] برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده کرد. این مجموعه می‌تواند شامل چهار حسگر اصلی نظیر 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 و تعرق، باران، نور خورشید، دمای برگ، pH خاک و هدایت الکتریکی آب هستند. خروجی این حسگرها نیز در یک میکروکنترلر متن‌باز[4] که برنامه‌نویسی شده است، خوانده خواهد شد. داده‌های خوانده‌شده در یک پایگاه داده که متصل به وب‌سایت نیز است، ذخیره می‌شود. در کشت و صنعت‌ها می‌توان از چندین حسگر مستقل استفاده کرد و داده‌های این حسگرها را به‌وسیله فناوری زیگ‌بی[5] به پایگاه داده منتقل کرد. زیگ‌بی نمونه‌ای از یک شبکه هوشمند است که بین کمپانی های 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 اتوماسیون فرایندهای کشاورزی استفاده می‌کنند.

[1] Remote Sensing and Satellites
[2] Unmanned Aerial Vehicle
[3] Standalone
[4] Open Source Microcontroller
[5] Zigbee

ابزار، روش و فناوری‌های مربوط به اینترنت اشیاء

هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری برخلاف سامانه‌های آبیاری سنتی، آب تنها به میزان نیاز گیاه و خاک تأمین می‌شود که می‌توان گفت بزرگ‌ترین مزیت هوشمند سازی است. خودکارسازی سامانه‌های آبیاری عبارت است از استفاده از ابزار، روش و فناوری‌های مختلف برای زمان‌بندی آبیاری، به عبارتی تفاوت خودکارسازی با هوشمند سازی در این است که در هوشمند سازی تمامی کارها به‌صورت هوشمند و بدون انجام هیچ‌گونه فعالیتی از سمت کشاورز یا کارگر انجام می‌شود اما در خودکارسازی بر اساس زمانی که به توزیع‌کننده‌های آب داده می‌شود، آبیاری صورت می‌گیرد. به عباراتی هوشمند سازی، یک‌قدم جلوتر از خودکارسازی است.

حسگرهای درون مزرعه‌ای

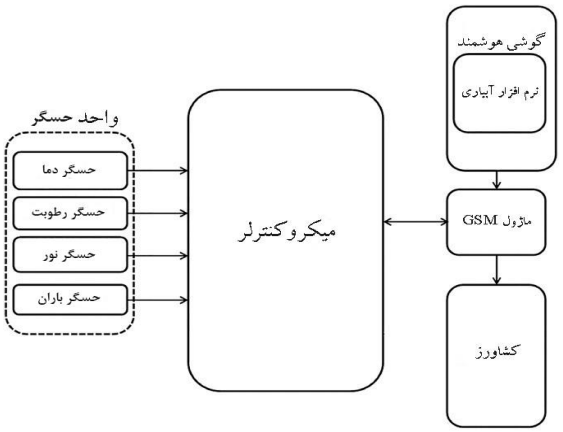
آبیاری زمانی مؤثر خواهد بود که علاوه بر نیاز گیاه، شرایط محیطی هم باید به‌طور مداوم پایش شود زیرا عواملی مانند دما، رطوبت، بارندگی و مقدار رطوبت خاک، مقدار آب موردنیاز برای یک آبیاری مؤثر را تعیین خواهند کرد. حسگرهایی که در این زمینه استفاده می‌شوند باید پارامترهایی همچون دما و رطوبت را بررسی کنند. شکل (۳) شمای کلی از یک سامانه آبیاری هوشمند بر اساس حسگرهای مختلف را نشان می‌دهد (Barkunan et al, 2019). سامانه‌های مبتنی بر حسگرها به‌طورکلی از سه واحد تشکیل می‌شوند که شامل واحد حسگرها، واحد میکروکنترلر و واحد کاربری می‌باشد. اطلاعات محیطی به میکروکنترلر ارسال‌شده و در این واحد پس از پردازش، توسط شبکه ارتباطی تلفن همراه[1] به کشاورز اطلاع داده می‌شود.

حسگرهای رطوبتی

حسگرهای تشخیص رطوبت خاک معمولاً در نزدیک ریشه گیاهان فرو برده می‌شوند. این حسگرها رطوبت را هرچند دقیقه و یا ساعت پایش کرده و آن را به میکروکنترلر ارسال می‌کنند.

[1] Global System for Mobile (GSM)

در بخش میکروکنترلر این داده‌ها با آستانه‌هایی که از قبل تعیین‌شده است، مقایسه می‌شوند. درصورتی‌که این مقادیر از آستانه بیشتر یا کمتر باشند، به کشاورز از طریق پیامک اطلاع می‌دهد.



شکل ۳- شمای کلی سامانه‌های آبیاری مبتنی بر حسگرهای هوشمند

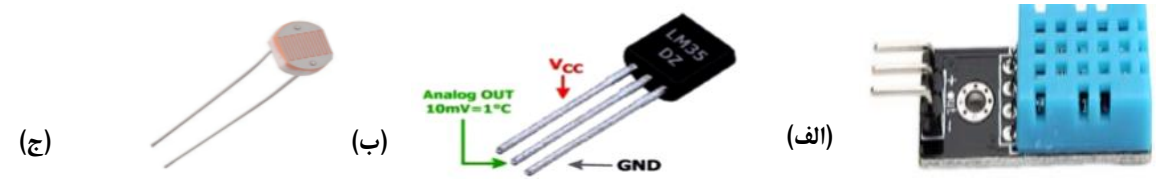
حسگرهای رطوبتی به‌طورمعمول ثابت دی‌الکتریک خاک را برداشت می‌کنند. بعضی از حسگرهای رطوبتی به‌طور هم‌زمان دما و رطوبت را پایش می‌کنند (شکل ۴-الف).

حسگرهای دما

حسگرهای دما با دریافت دمای جو و تبدیل این پارامتر فیزیکی به یک ولتاژ الکتریکی اطلاعات را به میکروکنترلر ارسال می‌کنند. شکل (۴-ب) نمونه یک حسگر دمایی است که قادر به اندازه‌گیری دما از ۵۵- تا ۱۵۰+ درجه سلسیوس است.

حسگرهای نور

حسگرهای نوری نیز با تبدیل انرژی نور به یک مقاومت الکتریکی، میزان شدت نور را به سامانه مخابره می‌کنند (شکل ۴-ج). این نوع حسگرها به‌طورمعمول رسانایی خود را با کاهش مقاومت هنگام زیادشدن شدت نور، افزایش می‌دهند و بدین‌صورت تغییرات نوری محیطی بررسی می‌شود (Barkunan et al, 2019).



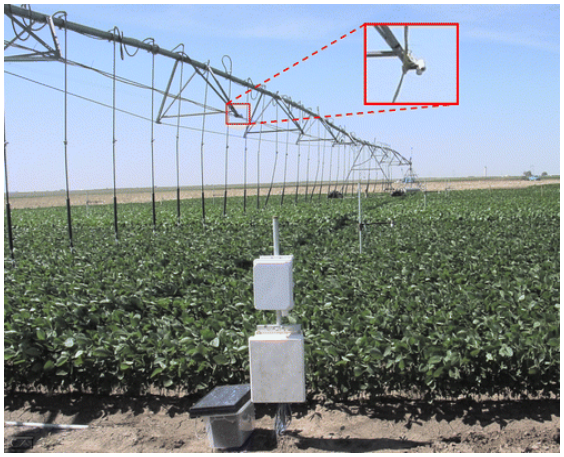
شکل ٤- الف) نمونه یک حسگر رطوبت و دما (مدل DHT11) هر پنج دقیقه مقدار دما و رطوبت خاک را برداشت می‌کند، ب) نمونه یک حسگر دمایی و ج) نمونه یک حسگر نوری

حسگرهای گیاهی

از آنجاکه اولین تأثیر رطوبت در خاک، بلافاصله در خود گیاه ظاهر می‌شود، لذا تعیین زمان آبیاری بر اساس شاخص گیاهی مثل دمای پوشش سبز گیاه[1] یا پتانسیل آب برگ که وضعیت آبی گیاه را نشان می‌دهد، در مقایسه با روش‌های غیرمستقیم (از قبیل رطوبت خاک، مکش خاک به‌وسیله 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 قابل‌استفاده نیست که این تنش بلافاصله توسط شاخص‌های گیاهی نمایان می‌شود. دمای پوشش سبز گیاهان با تعرق رابطه دارد و تحت تأثیر باد، رطوبت نسبی هوا، تشعشع دریافتی و به‌خصوص رطوبت موجود در خاک است و با دماسنج مادون‌قرمز به‌طور دقیق قابل‌اندازه‌گیری است. در این روش دمای پوشش سبز گیاه هر دقیقه اندازه‌گیری می‌شود. هر موقع مجموع این اندازه‌گیری‌ها از دمای آستانه تعیین‌شده بیشتر شد، آبیاری صورت خواهد گرفت (Subashini et al., 2018; Zhang et al., 2021). دماسنج‌های مادون‌قرمز قابلیت نصب روی سامانه‌های متحرک آبیاری مانند سنترپیوت[2] و لینیر[3] را دارا هستند که در شکل (۵) نمونه‌ای از آن نشان داده‌شده است (Peters & Evett., 2008). در تحقیقاتی نیز از ابزاری مانند دندرومتر[4] با استفاده از تغییرات قطر روزنه‌ها، تغییرات غلظت شیره گیاهان را به دست آورند که این منجر به تعیین نیاز آبی و غذایی گیاه در زمان‌های مختلف می‌شود.

[1] Canopy Temperature
[2] Center Pivot
[3] Linear
[4] Dendrometers

جریان شیره‌ای[5]، کنترل‌کننده مقدار آبیاری در این روش است (Romero et al, 2008).



شکل ٥- دماسنج‌های مادون قرمز نصب‌شده روی سامانه سنترپیوت (Peters & Evett, 2008)

شبکه حسگرهای بی‌سیم

شبکه حسگرهای بی‌سیم (WSN) متشکل از مجموعه حسگرهایی با قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف، محاسبات و ارسال اطلاعات است که برای نظارت بر شرایط فیزیکی در محیط قرار می‌گیرند. بخش‌های مختلف اینترنت اشیاء (IoT) در جدول (۱) 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

[5] Sap Flow

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 حضورداشته باشد که هرکدام از فناوری‌های فوق با توجه به شرایط اقتصادی و محیطی و بسته به نوع فعالیت استفاده می‌شوند.

سامانه‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء قادر خواهند بود تا ۶۷ درصد در مصرف آب نسبت به آبیاری سنتی صرفه‌جویی 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 سامانه‌های هوشمند با استفاده از داده‌های هواشناسی تا ۲۰ درصد افزایش یافته است (Sharma et al., 2016).

به‌عنوان یک مطالعه موردی، جدول (۲) مقدار تخمینی آب مصرفی در طی یک دوره رشد گیاه برنج در سامانه‌های مختلف آبیاری در کشور هند را نشان می‌دهد (Barkunan et al., 2019). همان‌طور که قابل‌مشاهده است، آبیاری قطره‌ای 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 موردنیاز برای سامانه آبیاری قطره‌ای و آبیاری قطره‌ای هوشمند به ترتیب مقدار ۶۷/۳۵ و ۵۸/۵۷ درصد خواهد بود.

جدول ۱- بخش‌های مختلف یک سامانه مبتنی بر اینترنت اشیاء (Sharma et al., 2016)

نام زیرمجموعه	فناوری‌های در دسترس
حسگرها و عملگرها	رطوبت خاک، دمای خاک، دما و رطوبت محیط، حسگر اشعه ماوراء بنفش، سرعت باد، تبخیر و 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)

جدول ۲- مقدار تخمینی آب مصرفی در سامانه‌های مختلف آبیاری (Barkunan et al., 2019)

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

روش سنجش‌ازدور و ماهواره‌ها

در چند دهه اخیر سنجش‌ازدور به‌عنوان یک روش مؤثر برای نظارت بر زمین‌های تحت آبیاری مورداستفاده قرارگرفته است. مطالعات با استفاده از مشاهدات سنجش‌ازدور برای تخمین آبیاری معمولاً سه هدف اصلی را دنبال می‌کنند:

۱. تهیه نقشه آبیاری
۲. کمی کردن مقدار آبیاری
۳. تعیین زمان آبیاری (Jalilvand et al., 2019).

نظر به این‌که امنیت غذائی با توجه به رشد روز افزون جمعیت بسیار موردتوجه است، به‌دست آوردن اطلاعات وسعت و توزیع

مناطق تحت آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. سنجش‌ازدور ماهواره‌ای بر اساس سیگنال‌های مادون‌قرمز بازتاب شده از سطح زمین نوع پوشش گیاه و نیازهای آبی گیاه را مشخص می‌کند (Ozdogan et al., 2010; Bodkhe et al., 2020).

مزایای سنجش‌ازدور

ماهیت دیجیتال داده‌های ماهواره‌ای باعث می‌شود که برای استفاده در سامانه‌های مختلف مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نسبتاً آسان باشد و همین‌طور برداشت داده‌های سنجش‌ازدور نسبت به روش‌های سنتی مانند عکس‌برداری هوائی کم‌هزینه‌تر و نیاز به‌وقت کم‌تری داشته باشد (Ozdogan et al., 2010). همچنین به خاطر برداشت اطلاعات به‌صورت وسیع کاربران قادر خواهند بود به‌صورت عینی تأثیرات آبیاری را در مزرعه و خارج از مزرعه مشاهده و اقدامات لازم مدیریتی را اجرا نمایند (Montgomery et al., 2015).

آبیاری قطره‌ای هوشمند مبتنی بر حسگرهای مختلف، ۴۱/۴۳ درصد نسبت به آبیاری سنتی در مصرف آب صرفه‌جویی می‌کند (Barkunan et al., 2019; Jalilvand et al., 2019; Serra & Espírito-Santo., 2021).

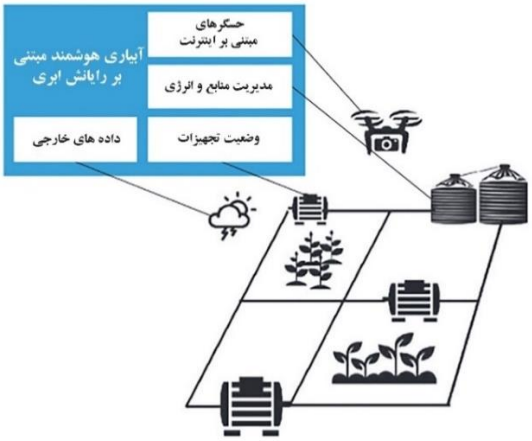
معایب و محدویت‌های سنجش‌ازدور

معمولاً برداشت تصاویر ماهواره‌ای در مساحت‌های بزرگ مورداستفاده قرار می‌گیرند و قدرت برداشت تصاویر برای مساحت‌های کوچک دشوار است. همچنین جدا کردن زمین‌های آبیاری شده از زمین‌های غیر آبیاری در مناطق مرطوب به دلیل همپوشانی قابل‌توجه در مرزهای طیفی آن‌ها دشوار است. اطلاعات ماهواره‌ها به دلیل گردش به دور زمیظان، ممکن است گاهاً در زمان ایده‌آل ثبت نشوند.

قابلیت دسترسی به داده‌ها نیز در مناطقی با پوشش ابر مکرر، مانند مناطق مرطوب استوایی و نیمه استوایی دشوار است (Montgomery et al, 2015; Jalilvand et al., 2019; Serra & Espírito-Santo, 2021).

فناوری رایانش ابری

رایانش ابری در حقیقت بستر جمع‌آوری اطلاعات و انجام محاسبات در فناوری اینترنت اشیاء است. اصلی‌ترین بخش‌های رایانش ابری در شکل (۶) نشان داده شده است. ممکن است اطلاعات ارسالی از حسگرها و عملگرها حجیم باشند (به‌خصوص در امر پردازش تصویر) و همین‌طور محاسبات و تحلیل سنگین برای بررسی داده‌ها اهمیت وجود رایانش ابری را افزایش می‌دهد. رایانش ابری کشاورز را قادر خواهد ساخت تا وضعیت، شرایط کاری و عملکرد تجهیزات در محیط مزرعه را به‌صورت برخط[1] بررسی کند (Munir et al., 2021). 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 (Khriji et al., 2021).



شکل ٦- ساختار آبیاری هوشمند مبتنی بر رایانش ابری

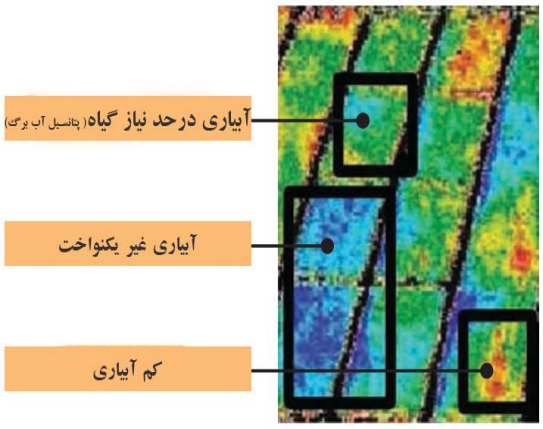
پهپادها

پهپاد، اختصار پرنده هدایت‌پذیر از راه دور است. نام‌های لاتین آن quad copter، drone و UAV[2] است. نوآوری پهپاد در سال ۱۹۰۰ برای اهداف نظامی ابداع شد. اخیراً اهداف دیگر غیرنظامی از قبیل نظارت بر آتش‌سوزی جنگل، کنترل ترافیک،

[1] Online
[2] Unmanned Aerial Vehicle

گشت مرزی، فیلم‌برداری، کشاورزی و غیره باعث استفاده روزافزون از این وسیله شده است. بیشترین سرمایه‌گذاری در جهان درزمینه ساخت و تجهیز پهپادها را وزارت دفاع ایالت متحده آمریکا انجام داده است. فناوری تصویربرداری هوایی یا ماهواره‌ای مدت‌هاست که برای مصارف بسیاری مورداستفاده قرار می‌گیرند، اما پهپادهای امروزی با توجه به اینکه در ارتفاع پایین‌تری پرواز می‌کنند، می‌توانند این امکانات را با وضوح و کیفیتی بسیار بالاتر و ارزان‌تر فراهم آوردند. هم‌چنین پهپاد می تواند انسان را از ورود به مناطق دشوار و خطرناک حفظ کند (Muchiri & Kimathi., 2016; Tsouros et al., 2019; Radoglou-Grammatikis et al., 2020).

روش‌هایی نیز به برداشت تصاویر حرارتی از سطح مزرعه توسط پهپادها پرداختند. تصویربرداری حرارتی می‌تواند روشی مناسب برای شناسایی پارامترهای کلیدی در راستای برنامه‌ریزی آبیاری است. از مزایای مهم این روش دید گسترده آن است که می‌تواند در هر لحظه نقاط مختلف زمین را به‌صورت یکپارچه بررسی و وضعیت رطوبت و نیاز آبی گیاه را به کاربر مخابره کند. پهپادها باعث کاهش استفاده از حسگرهای حرارتی و رطوبتی در مزرعه خواهند شد (Tsouros et al., 2019). در شکل (۷) پردازش تصویر بر اساس واکنش‌های روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ انجام شده است.



شکل ۷- نمونه‌ای از تصویربرداری مزارع توسط پهپادها

انواع پهپادها

پهپادها به دودسته اصلی تقسیم می‌شوند؛ پهپاد با چند پروانه[1] (شکل ۸) و پهپاد با بال‌های ثابت[2] (شکل ۹) که هرکدام از آن‌ها کاربردهای مختلفی دارد. برای اطلاعات بیشتر می‌توان به سوروس و همکاران، ردوگلو و گرامتیکیس، منیر و همکاران و کریجی و همکاران رجوع کرد (Tsouros et al., 2019; Radoglou-Grammatikis et al., 2020; Munir et al., 2021; Khriji et al., 2021). پهپادهای با بال ثابت نسبت به پهپادهای با چند پروانه، سیستم پرواز ساده‌تری دارند و در ارتفاع بالاتری پرواز می‌کنند. به همین دلیل می‌توانند سطح بیشتری را پوشش دهند. از دیگر مزایای آن این است که زمان بیشتری در آسمان پرواز می‌کنند. این پهپادها ظرفیت ترابری بالاتری دارند و مقدار بار بیشتری حمل کنند (Muchiri & Kimathi., 2016)؛ بنابراین می‌توان سنسورهای بیشتری بر آن‌ها نصب کرد و اطلاعات بیشتری در هر پرواز به‌دست آورد. بااین‌حال به دلیل اینکه ارتفاع پرواز آن‌ها نسبت به پهپادهای چند پروانه بالاتر است وضوح تصاویر در آن‌ها پایین‌تر است. همچنین این پهپادها گران‌تر هستند. قیمت پهپادهای با بال ثابت حدود ۲۵۰۰۰-۵۰۰۰ دلار و پهپادهای چند پروانه حدود ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰ دلار می‌باشد (Milics., 2019).

شکل ۸- پهپاد با چند پروانه

[1] Multi Rotor
[2] Fixed Wing

شکل ۹- پهپاد با بال ثابت

انواع دوربین و سنسورها

با توجه به نوع کاربرد پهپاد، از دوربین‌ها و سنسورهای متفاوتی می‌توان استفاده کرد (Park et al., 2017).

دوربین با وضوح بالا

این دوربین‌ها قادر به گرفتن تصاویر با طول موج مرئی (RGB, Red, Green, Blue) هستند، همچنین برخی از این سنسورها مجهز به گرفتن تصاویر مادون‌قرمز نزدیک (NIR) نیز هستند. حداقل میزان وضوح برای کاربرد در کشاورزی ۱۲ مگاپیکسل است.

دوربین‌های چند طیفی (MS[1])

این دوربین‌ها قادر به گرفتن تصاویری هستند که با طول‌موج مرئی دیده نمی‌شود. همچنین شامل طول‌موج‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک، مادون‌قرمز حرارتی هستند. البته با توجه باندهای طیفی که دوربین پوشش می‌دهد، قابلیت ثبت طول‌موج‌ها مختلف است.

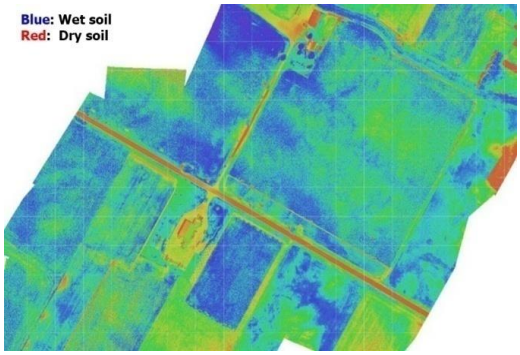
دوربین‌های حرارتی (T[2])

این دوربین‌ها دمای تصاویر را نشان می‌دهند. به‌عنوان‌مثال با استفاده از این دوربین‌ها می‌توان نشت آب در زمین را شناسایی کرد.

[1] Multi Spectral
[2] Thermal

شکل ۱۰- دوربین با وضوح‌بالا

شکل ۱۱- دوربین چند طیفی

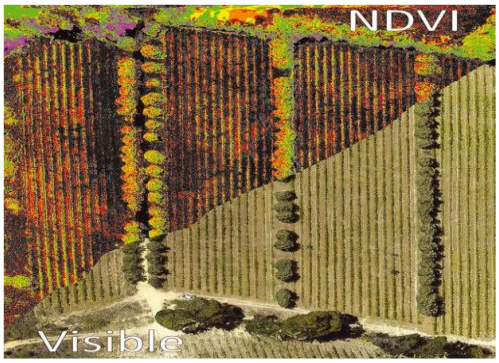


شکل ۱۲- عکس گرفته‌شده با دوربین حرارتی

دوربین‌های شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI[3])

این دوربین سلامتی گیاه را نشان می‌دهند. قسمت‌هایی که به رنگ قرمز هستند تنش واردشده به گیاه را نشان می‌دهد و قسمت‌های سبزرنگ حاکی از شادابی و سلامت گیاه است.

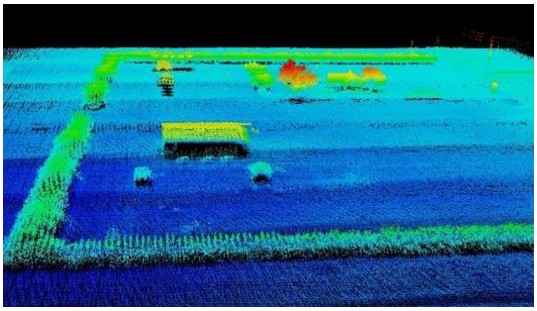
[3] Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۱۳- مقایسه تصویر دوربین NDVI و تفاوت آن با تصویر مرئی

دوربین‌های لیدار (LIDAR[1])

این دوربین‌ها برای اندازه‌گیری فاصله است و می‌تواند نقشه عوارض زمین، ارتفاع گیاه و غیره را به‌دست آورد. این سنسورها بسیار گران هستند.



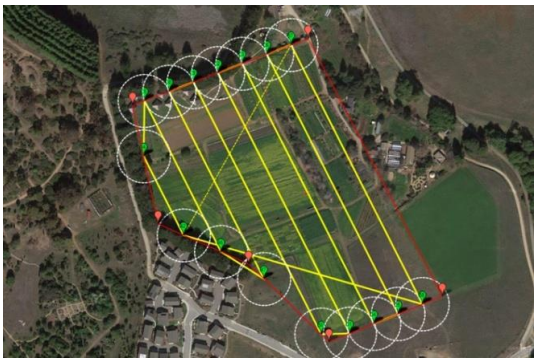
شکل ۱٤- عکس گرفته‌شده توسط دوربین LIDAR

روش کار پهپاد

فرآیند جمع‌آوری اطلاعات با پهپاد شامل سه مرحله اساسی است (Park et al., 2017; Tsouros et al., 2019) که عبارتند از:

برنامه‌ریزی پرواز

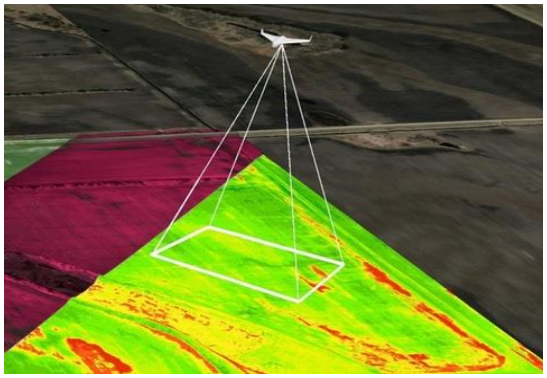
اکثر پهپادهای جدید شامل یک نرم‌افزار پرواز هستند که با مشخص‌کردن محدوده زمین در محیط گوگل ارث، نرم‌افزار به‌صورت خودکار نقشه پرواز را ایجاد و کوتاه‌ترین مسیر پرواز را انتخاب می‌کند و سپس آماده پرواز می‌شود.



شکل ۱۵- مسیر پرواز پهپاد

تصویربرداری

پهپاد به‌صورت اتوماتیک بعد از قرار گرفتن در مسیر پرواز شروع به تصویربرداری می‌کند. پهپاد در هنگام تصویربرداری از GPS[2] استفاده می‌کند. گرفتن تصاویر با وضوح‌بالا برای اهداف کشاورزی باید حداقل ۷۰ درصد هم‌پوشانی داشته باشند. تصویربرداری به‌صورت دستی هم می‌تواند انجام شود.



شکل ۱٦- تصویربرداری پهپاد

پردازش تصاویر

چالش برانگیزترین قسمت، پردازش صدها تصویر است که از دوربین‌ها و سنسورهای مرئی، مادون‌قرمز و حرارتی در هر پرواز به‌دست می‌آید. بدین منظور باید از نرم‌افزارهای موجود استفاده کرد. نرم‌افزارهای متعددی در بازار وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: ENVI، Pix4D، Precision Mapper، Trimble Data Mapper، و غیره که این نرم‌افزارها بسته به

[1] Light Detection and Ranging

[2] Global Positioning System

نیاز آبکون‌های متنوعی دارند، به‌عنوان‌مثال محاسبه شاخص-های گیاهی، نقشه‌های دوبعدی یا سه‌بعدی، نقشه ارتفاعی، ارتفاع گیاه، برآورد تبخیر–تعرق و غیره (Veroustraete., 2015; Tsouros et al., 2019; Radoglou-Grammatikis et al., 2020; Khriji et al., 2021). به‌طورکلی، کاربرد پهپادها در کشاورزی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- آنالیز زمین و خاک.
- شناسایی علف هرز، آفت، قارچ‌ها و کاربرد مواد شیمیایی.
- شناسایی و ارزیابی سلامت گیاه و برآورد شاخص‌های گیاهی.

اینترنت اشیاء؛ رویکردی برای مدیریت آب در مزرعه

یکی از موضوعات سنجش‌ازدور، اشعه الکترومغناطیسی منتشرشده از اشیاء است. دوربین‌های قابل تنظیم پهنای باند می‌توانند بر اساس کاربردهای مختلف، چندین عکس از محدوده‌های گوناگون باند از مرئی تا مادون‌قرمز و حرارتی تولید کنند.

برای سنجش سامانه‌های آبیاری، ایستگاه‌های پروب زمینی گران هستند و فقط می‌توانند معرف محدوده کوچکی از زمین باشند. عکس‌های ماهواره‌ای می‌توانند منطقه‌ی بزرگی را پوشش دهند اما وضوح آن‌ها پایین و سرعت به‌روزرسانی آن کم است. وضوح زمانی و مکانی بالای هواپیماهای بدون سرنشین برای کشاورزی دقیق و برنامه آبیاری مناسب است (Gago et al., 2015; Park et al., 2017; Milics, 2019; Munir et al., 2021).

پهپاد با سنسورهای حرارتی و چند طیفی می‌تواند قسمت-هایی از زمین را که خشک هستند و یا نیاز به بهبود دارند، شناسایی کند. بر اساس عکس‌های حرارتی می‌توان دریافت در کجای زمین آب وجود دارد که می‌تواند ناشی از نشت کانال‌های آبیاری باشد. این تکنولوژی به شناسایی مناطق پستی که مستعد جمع شدن آب هستند و نیاز به زهکشی دارند، کمک می‌کند. با استفاده از تصاویر حرارتی و شناسایی مکان‌های خشک و تر می‌توان به یکنواختی توزیع آب در مزرعه پی برد. دوربین‌های چندمنظوره این امکان را می‌دهد که مشخصات دقیق‌تر فعالیت-های فتوسنتزی محصول به دست آید و همچنین تغییرات پوشش گیاهی در طی فصل رشد ثبت شود زیرا این اطلاعات برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری، بسیار مهم و کلیدی است. پهپادهای مخزن‌دار که می‌تواند ۱۰ لیتر مایع را در خود ذخیره کند با اسکن زمین زیر پای خود و حفظ فاصله مناسب از سطح زمین و محصولات، مقدار آب موردنیاز گیاه را در مکان و مقدار دقیق به‌طور یکنواختی اسپری می‌کند (Veroustraete., 2015; Tsouros et al., 2019; Radoglou-Grammatikis et al., 2020; Khriji et al., 2021).

بر اساس اطلاعات و مطالب بیان‌شده در فوق، کارهای مدیریتی در مزرعه که از طریق پهپادها قابل‌کنترل می‌باشد، به شرح زیر است.

محاسبه تبخیر تعرق

نیاز آبی به‌طورمعمول توسط تبخیر تعرق به‌دست می‌آید. در کشاورزی، مدیریت دقیق آب بر روی این موضوع که چه زمانی و به چه مقداری آب به محصول داده شود تمرکز می‌کند. پهپادها با استفاده از تصاویر حرارتی، مرئی و مادون‌قرمز می-توانند با روش بیلان انرژی، مقدار تبخیر– تعرق را به‌دست آورند. تصاویر حرارتی در برآورد تبخیر–تعرق بسیار حائز اهمیت است، به دلیل اینکه جریان گرما با استفاده از این تصاویر تعیین خواهد شد. همچنین پهپادها می‌توانند از روی تصاویر NDVI، ضریب گیاهی (K_c) را نیز به‌دست آورند. در تحقیقات انجام‌شده بیان می‌شود تبخیر–تعرق به‌دست‌آمده از پهپادها در مقابل ماهواره‌ها از دقت خوبی برخوردار است.

شاخص‌ها بر اساس بازتاب برگ و کنوپی

بازتاب برگ می‌تواند به‌عنوان شاخص عملکرد گیاه استفاده شود، زیرا نور بازتابی به‌طور مستقیم به ترکیب رنگ‌دانه برگ ارتباط دارد. بیشترین شاخصی که برای تخمین پوشش گیاهی و سبز بودن آن استفاده می‌شود، NDVI است.

شاخص تنش آبی گیاه

یکی از شاخص‌های مهم برای به‌دست آوردن اطلاعات مربوط به تشخیص تنش فیزیولوژیکی گیاهی، شاخص تنش

آبی گیاه است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تحقیقات در مورد تنش است، زیرا پیامدهای آن برای بهره‌وری و زمان‌بندی آبیاری اهمیت زیادی دارد. شاخص تنش آبی گیاه، (CWSI[1]) به‌عنوان یک شاخص کارآمد از وضعیت آب گیاه معرفی‌شده است.

کاربرد اینترنت اشیاء در زمینه‌های مختلف

هدف مهم اینترنت اشیاء، (IoT) ایجاد محیط‌های هوشمند مانند کشاورزی هوشمند، خانه هوشمند، سیستم سلامت هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند و غیره با استفاده از فناوری‌های مختلف حسگرها و ابزارها و پروتکل‌های ارتباطی است. به‌طورکلی، استفاده از اینترنت اشیاء در کشاورزی و آبیاری سه مزیت اصلی را ایجاد می‌کند که با آن می‌توان گامی مهم در هوشمند سازی و خودکارسازی سامانه‌ها برداشت. این مزایا عبارت‌اند از:

۱. سنجش و پایش هوشمند
۲. تجزیه‌وتحلیل و برنامه‌ریزی هوشمند
۳. سپس کنترل، مدیریت و بهره‌برداری هوشمند.

جدول (۳) کاربرد اینترنت اشیاء را در زمینه‌های مختلف نشان می‌دهد (Hossein Motlagh et al., 2020; Munir et al., 2021; Khriji et al., 2021; Cays, 2021).

کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

اینترنت اشیاء (IoT) در بخش‌های مختلف صنعت و کسب‌وکار دنیا، انقلاب بزرگی ایجاد کرده است. پیشرفت این فناوری بر تولید عرصه‌های مختلف محصولات کشاورزی و امور دام نیز تأثیر گذاشته است. فناوری اینترنت اشیاء به کشاورزان این امکان را می‌دهد که بااتصال ابزار و تجهیزات مختلف کشاورزی به اینترنت و کنترل هوشمند شرایط کشت، بازده محصولات را به‌طور چشمگیری افزایش و ضایعات آن‌ها را کاهش دهند. کشاورزی هوشمند با استفاده از فناوری شبکه حسگر بی‌سیم توسعه پیداکرده است (Tzounis et al., 2017; Shi et al., 2019). این حسگرها ارزان هستند و شرایط محیطی را با ابزاری ساده تشخیص می‌دهند و برای اهداف مختلف در مزرعه به‌کاربرده می‌شوند. کشاورز با استفاده از حسگرها و ابزارهای مختلف بی‌سیم می‌تواند به اطلاعات مربوط به مراحل مختلف کاشت، داشت، برداشت محصولات، رطوبت خاک، شرایط تغذیه‌ای و عناصر خاک، بیماری‌ها و آفات گیاهی و غیره دست یابد. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده توسط این سیستم، کشاورز می‌تواند با واکنش به‌موقع، عملیات لازم و روش‌های اندازه‌گیری مناسب را به کار گیرد (Dlodlo and Kalezhi., 2015; Elijah et al., 2018; Cays, 2021; Munir et al., 2021). مزایا و کاربردهای اینترنت اشیاء در قالب کلی در جدول (۴) ارائه‌شده است. کاهش مشکلات کشاورزان در زمینه آبیاری، هوشمند کردن آبیاری، استفاده بهینه از باران و هدر نرفتن آب، کاهش هزینه‌های مربوط به آبیاری و کشاورزی، افزایش بازده محصول، صرفه‌جویی در انرژی (تا ۳۵ درصد)، منابع و نیروی انسانی، حذف نظارت برای اندازه‌گیری و تشخیص میزان رطوبت خاک، آبیاری به‌موقع محصولات و کاهش ضررهای ناشی از عدم آبیاری به‌موقع، تأمین آب کافی برای ادامه زندگی گیاه در مواقع نیاز گیاه، حذف آبیاری زودهنگام مزارع کشاورزی، تنظیم ارتفاع مناسب برای جلوگیری از تبخیر سطح و صدمه زدن به گیاهان، کاهش مصرف انرژی، نظارت از راه دور، استفاده از فناوری بی‌سیم، استفاده از ورق‌های عایق در لوله پخش آب برای جلوگیری از گرم شدن لوله انتقال آب و غیره ازجمله مزایای کاربرد رویکرد جدید اینترنت اشیاء در ترکیب با سامانه‌های هوشمند می‌باشد که نیاز است تا جامعه امروزی به این سمت تغییر جهت دهد و از این فناوری در کشاورزی و زندگی روزمره خود استفاده کند (Dlodlo and Kalezhi., 2015; Sharma et al., 2016; Tzounis et al.,

[1] Crop Water Stress Index

2017; Elijah et al., 2018; Shi et al., 2019; Hossein Motlagh et al., 2020; Cays, 2021). با توجه به موارد فوق، مدیریت‌های هوشمند حاصل از کاربرد اینترنت اشیاء (IoT) در کشاورزی و آبیاری به شرح ذیل است:

۱. مدیریت هوشمند نهاده‌های کشاورزی (آبیاری هوشمند، کنترل هوشمند کیفیت خاک، مدیریت هوشمند بذر، کوددهی هوشمند)
۲. مدیریت عوامل خسارت‌زا (کنترل هوشمند علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های گیاهی و شناسایی نوسانات جمعیت عوامل خسارت‌زا)
۳. مدیریت هوشمند شرایط آب‌وهوایی
۴. مدیریت هوشمند تجهیزات و ماشین‌های کشاورزی
۵. کنترل هوشمند رشد محصولات کشاورزی در مزرعه
۶. مدیریت هوشمند گلخانه
۷. مدیریت هوشمند دام
۸. مدیریت هوشمند فروش و بازار محصولات کشاورزی

جدول ۳- کاربرد اینترنت اشیاء در بخش‌های کشاورزی، محیط‌زیست، آب، دامداری و گلخانه

بخش	کاربردها
کشاورزی	مدیریت مزرعه، سیستم کنترل آب گیاهان، کنترل محصولات کشاورزی، مبارزه با عوامل خسارت‌زا، پیش‌بینی آب‌وهوا و غیره
محیط‌زیست	کنترل و نظارت بر آلودگی در مناطق شهری، نظارت بر حوادث بحرانی در مناطق دورافتاده از قبیل آتش‌سوزی در جنگل‌ها، رانش زمین، وقوع بهمن، زمین‌لرزه در مناطق لرزه‌خیز و غیره
آب	کنترل و نظارت بر آب در محیط‌های طبیعی و عمرانی، کنترل کیفیت آب (مانند حضور مواد شیمیایی، آلاینده‌ها و غیره) در رودخانه‌ها یا در زیرساخت‌های توزیع آب، تشخیص نشت آب در لوله‌ها یا مخازن آب، کنترل سطح آب رودخانه‌ها، سدها، مخازن و تشخیص سیل و خشک‌سالی
دامداری	قابلیت ردیابی حیوانات اهلی با نصب سیستم‌های شناسایی دام و طیور، کنترل وضعیت واکسینه شدن دام و پیشگیری از شیوع انواع بیماری‌ها، اطلاعات دقیق از تعداد حیوانات و میزان تولیدات دامی و غیره
گلخانه	کنترل دما و رطوبت خاک، نظارت بر دمای محیط گلخانه با استفاده از حسگرهای بی‌سیم، قابلیت بررسی حرکت مواد غذایی و غیره

جدول ٤- مزایا و کاربردهای مختلف اینترنت اشیاء در کشاورزی

مزایا	کاربردها
افزایش بهره‌وری در آب، خاک، کودها و آفت‌کش‌ها	مدیریت هوشمند نهاده‌های کشاورزی (آب، خاک، بذر، کود و سم)
کاهش هزینه‌های تولید	مدیریت هوشمند عوامل خسارت‌زا (آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز)
افزایش سودآوری	مدیریت هوشمند شرایط اقلیمی
افزایش کمیت، کیفیت و امنیت محصولات کشاورزی	مدیریت هوشمند تجهیزات و ماشین‌آلات کشاورزی
توسعه پایدار	کنترل هوشمند رشد محصولات کشاورزی
امنیت غذایی	سیستم دامداری هوشمند
حفاظت محیط‌زیست	مدیریت هوشمند فروش و بازار محصولات کشاورزی

آبیاری هوشمند و مبتنی بر اینترنت اشیاء

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 ساختمان‌های 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 سامانه 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[1]) و هوش مصنوعی (AI[2]) پردازش می‌شوند. سپس کشاورز از طریق برنامه‌های اینترنتی یا تلفن همراه از زمان و نحوه آبیاری مطلع می‌شود.

بنابراین سامانه 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 سامانه در فضاهای سبز می‌توان پخش‌کننده‌های آب نصب‌شده در محیط (سامانه قطره‌ای و بارانی) را نیز کنترل نمود. در بخش فضای سبز و باغداری می‌توان با مجهز کردن زمین‌ها به سامانه‌های آبیاری و نصب سیستم هوشمند آبیاری روی تجهیزات آبیاری تحت‌فشار، فرآیند هوشمند سازی و مکانیزه کردن آبیاری را انجام داد. با نصب ایستگاه‌های سامانه هوشمند آبیاری و تقسیم زمین موردنظر به چندین واحد آبیاری، می‌توان فرآیند آبیاری را حتی با سرانه کم آب (حقابه) انجام داد.

به‌وسیله سامانه هوشمند آبیاری و برقراری ارتباط بی‌سیم ایمن و بدون نویز، هیچ‌گونه محدودیتی در مساحت زمین یا باغ تحت پوشش سامانه هوشمند آبیاری وجود نخواهد داشت. این سامانه‌ها 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 سامانه 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 هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری می‌تواند یک راه‌حل مطمئن و مطلوب برای برون‌رفت از بحران آب و مدیریت مناسب آن باشد. بنابراین با استفاده از هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌توان به مزایای زیر در تعیین مقدار آب موردنیاز و عملیات آبیاری دست‌یافت (Munir et al., 2021; Khriji et al., 2021):

- 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
- مدیریت شبکه آبیاری بر اساس نیاز آبی به‌دست‌آمده

نتیجه‌گیری کلی

سامانه‌های کشاورزی در ایران اکثراً سنتی بوده و به دلیل دشواری فعالیت‌های کشاورزی بدین شیوه، سطح زیرکشت و تحت مدیریت کشاورزان نسبت به کل زمین‌های قابل‌کشت بسیار پایین است؛ ازاین‌رو هوشمند سازی و مکانیزه کردن سامانه‌های کشاورزی موجب گسترش این صنعت به دلیل آسان‌تر شدن امور کشاورزی خواهد شد. نباید فراموش شود که هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری، نیازمند هزینه‌های بیشتر نسبت به سامانه‌های سنتی است.

آموزش به کشاورزان برای رسیدن به بیش‌ترین عملکرد نیز از دیگر مشکلات این سامانه‌ها است. در وضع فعلی و کشاورزی و آبیاری سنتی در کشور، سامانه‌های هوشمند در مزارع کوچک صرفه اقتصادی نخواهند داشت و این درحالی است که اکثر مزارع کشور به‌صورت خرده مالکی مدیریت می‌شوند. با توسعه

[1] Machine Learning
[2] Artificial Intelligence

سامانه‌های نوین آبیاری نیز می‌توان کارهای خوب و ارزشمندی در زمینه هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء انجام داد.

در همین رابطه، تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که بهره-گیری از سامانه‌های 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 سامانه‌های آبیاری هوشمند باعث جذب قشرهای مختلف به این صنعت خواهد شد.

به‌طورکلی می‌توان دلایل مهم نوسازی و هوشمند سازی سامانه‌های 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 سامانه‌های آبیاری می‌توان امکان تولید محصول بیشتر با مصرف آب کمتر را فراهم کرد. با استفاده از سامانه‌های هوشمند آبیاری بهره‌وری آب تا بیش از ۵۰ درصد قابل‌افزایش خواهد بود.
۲. نوسازی سامانه‌های 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 سامانه‌های آبیاری باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌شود. به‌روزرسانی این سامانه‌ها 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 سامانه‌ها 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 هوشمند سازی است.
۷. جلوگیری از سرعت رو به رشد بحران آب و همچنین تلفات آب در بخش کشاورزی، از دیگر مزیت‌های هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری است که از این طریق می‌توان گامی مهم در راستای کشاورزی پایدار برداشت.

رهیافت ترویجی

حال این سؤال مطرح می‌شود که دلایل کارآمدی این سامانه‌های هوشمند و مبتنی بر اینترنت اشیاء (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. بااین‌حال، گسترش و بهره‌برداری واقعی از اینترنت اشیا و پهپادها در کشاورزی هوشمند به دلیل چالش‌های پیش روی هنگام انتخاب و استقرار فناوری‌های مربوطه، ازجمله جمع‌آوری داده‌ها و روش‌های پردازش تصویر، همان‌طور که انتظار می‌رفت خیلی خوب نبوده است. مشکل اصلی این است که هنوز هیچ گردش کاری استانداردی برای استفاده از پهپادها در چنین برنامه‌هایی وجود ندارد، زیرا این یک فناوری نسبتاً جدید است. بنابراین با توجه به شرایط فعلی کشور و همچنین بحران آب، بهتر است ما نیز از فناوری‌های جدید استفاده کرده و از کشورهای توسعه‌یافته و پیشگام در هوشمند سازی آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء الگوبرداری صحیح داشته باشیم.

در چند سال اخیر، پیشرفت‌های خوب ولی اندکی در زمینه توسعه کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء در کشور صورت گرفته و شرکت‌های دانش‌بنیان به این بحث ورود کرده‌اند. همچنین کشت و صنعت‌های کشور نیز تمایل به استفاده از این فناوری را نشان داده‌اند. اما همچنان در سطوح

وسیع به اجرا نرسیده‌اند و بیشتر در سطح پروژه‌های کوچک و تحقیقاتی این اتفاق رخ داده است. اگرچه ضعف‌های ساختاری، نرم‌افزاری و سخت‌افزاری به همراه برخی مسائل اجتماعی و اقتصادی در کشور وجود دارد، اما بهتر است این موضوع از یک جایی شروع شود تا با رفع چالش‌ها، گامی بلند در راستای خودکارسازی، هوشمند سازی آبیاری و کشاورزی دقیق صورت گیرد. با توجه به توانایی بالای متخصصان کشور، امکان بومی سازی این فناوری‌ها در کشور وجود داشته و می‌توان با تسهیل-گیری، کشاورزان را ترغیب به فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء با کمترین زمان و هزینه کرد.

برای شروع استفاده از این فناوری‌ها می‌توان از کشت و صنعت‌ها و شبکه‌های آبیاری مدرن این اقدام را آغاز کرد. همچنین در بحث سامانه‌های آبیاری که موردحمایت دولت نیز می‌باشد، قابلیت کاربرد این فناوری وجود داشته و می‌توان به همراه توسعه و احداث سامانه‌های نوین آبیاری برای کشاورز، فناوری‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء را نیز توسعه داد. با گذشت زمان و حصول نتایج مطلوب، دیگر کشاورزان نیز تمایل نشان داده و این موضوع به یک جز جدایی‌ناپذیر سامانه‌های آبیاری تبدیل خواهد شد. با این روش، هم زمین‌های خرد مقیاس و هم بزرگ‌مقیاس را می‌توان تحت پوشش سامانه‌های هوشمند و خودکار مبتنی بر اینترنت اشیاء قرار داد.

با توجه به وضع معیشتی، اقتصادی و اجتماعی کشاورزان و همچنین وضع فرهنگی و سیاسی کشور، در آینده‌ای نه‌چندان دور، بحران آب بیش‌ازپیش جدی شده و امنیت غذایی به خطر خواهد افتاد. لذا با کاربرد فناوری‌های جدید آبیاری-کشاورزی هوشمند و آبیاری دقیق مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌توان سنجش و پایش منظم مزرعه را انجام داد و به‌راحتی مزارع را از راه دور برنامه‌ریزی و کنترل کرد. طبیعتاً کشاورزان هم با مشاهده مصرف کمتر و حصول عملکرد بالاتر، تمایل بیشتری نشان داده و بهبود وضع اقتصادی و معیشتی خود را در گرو استفاده از فناوری‌های نوین به‌جای روش سنتی می‌بینند. با حرکت در این مسیر، افق روشنی پیش روی بخش آبیاری و کشاورزی کشور قرار خواهد داشت.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله برخورد لازم می‌دانم که از زحمات آقای مهندس رضا دلباز و خانم مهندس الهه میرزایی که در انجام پژوهش حاضر به بنده یاری رسانده‌اند، کمال تشکر را داشته باشم.

منابع

Ashton, K. 1999. An Introduction to the Internet of Things (IoT). RFID Journal.

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.

Bodkhe, U., Tanwar, S., Bhattacharya, P. and Kumar, N. 2020. Blockchain for precision irrigation: opportunities and challenges. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. e4059.

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

Dlodlo, N. and 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.

Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y. and 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.

FAO, I. and UNICEF. 2020. The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome.

Gago, J., Douthe, C., Coopman, R., Gallego, P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J. and Medrano, H. 2015. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. Agricultural Water Management. 153: 9-19.

García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J. and 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.

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

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

Khriji, S., El Houssaini, D., Kammoun, I. and 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.

Milics, G. 2019. Application of UAVs in precision agriculture. In International Climate Protection (pp. 93-97). Springer, Cham.

Montgomery, J., Hornbuckle, J., Hume, I. and Vleeshouwer, J. 2015. IrriSAT—Weather based scheduling and benchmarking technology. In Proceedings of the 17th ASA Conference, Hobart, Australia (pp. 20-24).

Muchiri, N., and Kimathi, S. 2016. A review of applications and potential applications of UAV. In Proceedings of Sustainable Research and Innovation Conference (pp. 280-283).

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.

Ozdogan, M., Yang, Y., Allez, G. and Cervantes, C. 2010. Remote sensing of irrigated agriculture: Opportunities and challenges. Remote Sensing. 2(9): 2274-2304.

Park, S., Ryu, D., Fuentes, S., Chung, H., Hernández-Montes, E. and O'Connell, M. 2017. Adaptive estimation of crop water stress in nectarine and peach orchards using high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV). Remote Sensing. 9(8): 828.

Peters, R. T. and 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.

Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T. and Moscholios, I. 2020. A compilation of UAV applications for precision agriculture. Computer Networks. 172: 107148.

Romero, R., Muriel, J. L. and Garcia, I. 2008. Automatic irrigation system in almonds and walnuts trees based on sap flow measurements. In VII International Workshop on Sap Flow 846 (pp. 135-142).

Salam, A. 2020. Internet of Things in Agricultural Innovation and Security. In Internet of Things for Sustainable Community Development (pp. 71-112). Springer, Cham.

Serra, P. M. D. and 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. and Ghanshyam, C. 2016. A technical assessment of IoT for Indian agriculture sector. In 47th Mid-Term Symposium on Modern Information and Communication Technologies for Digital India, Chandigarh, India.

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

Subashini, M. M., Das, S., Heble, S., Raj, U. and 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.

Tsouros, D. C., Bibi, S. and Sarigiannidis, P. G. 2019. A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information. 10(11): 349.

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T. and Kittas, C. 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Biosystems Engineering. 164: 31-48.

Veroustraete, F. 2015. The rise of the drones in agriculture. EC Agriculture. 2(2): 325-327.

Water Management in Agriculture
Vol. 7, No. 2, Autumn and Winter 2021, 47-66

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۶-۴۷

The Benefits, Applications, and Challenges of the IoT in Irrigation

M. Pourgholam-Amiji[1]*

Abstract

The agricultural industry has made significant progress in recent years with the use of communication and information technologies, especially the Internet of Things. This system, which is a set of interconnected tools, can easily and quickly and accurately transfer the data and information needed to optimize performance in a variety of contexts. Farmers can receive the relevant information using smartphones and the Internet at any time and place. The set of these intelligent, advanced, and complex processes that come together to facilitate all of agriculture and irrigation is called the Internet of Things. The Internet of Things is a new technology that is conceived as a global network of machines and devices that can interact with each other. The Internet of Things is also known as one of the most important fields of technology of the future and has been considered by many industries. This system mimics the characteristics of emotion, intelligence, and the ability to think, memorize, make decisions, and react to the physical environment from the human brain. Also, from three parts of different types of sensors, the communication network of information processing units and intelligent and data management and processing units have been formed. The study, conducted using a large library study and using credible international information, traces the IoT from the background to applications and examines all the small to large components of this on-farm approach. Then the application of this concept in irrigation, especially in automation and intelligent irrigation systems in the field was investigated. Finally, common tools such as in-field sensors, wireless sensor networks, satellites, and the use of an unmanned aerial vehicle as a means to achieve the goal of communication between the Internet of Things and intelligent farm irrigation systems, were introduced. Finally, the benefits, applications, and challenges of the present and future of the Internet of Things in irrigation were outlined.

Keywords: Artificial Satellite and Unmanned Aerial Vehicle, Network and Data Security, Precision Agriculture, Smart Irrigation, Supply Chain Management

[1] Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran (*Corresponding Author's Email: Mpourgholam6@ut.ac.ir).
Received: 15 February 2021
Accepted: 16 March 2021