کشاورزی هوشمند مبتنی بر فناوری اطلاعات، اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر

سید صالح حسینی هرندی [۱]، علیرضا کلباسی نیا[۱]، مهرنوش جعفری[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی مهندسی بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه صنعتی اصفهان (m.jafari@iut.ac.ir)

چکیده

نیاز به ارتقاء کمی و کیفی مواد غذایی، کشاورزی را تبدیل به یک صنعت پیشرفته نموده و کشاورزان را ناچار ساخته تکنولوژی‌های جدید علمی از قبیل ماهواره‌ها، حسگرهای خاک و گیاه، فناوری نرخ متغیر و فناوری اطلاعات را وارد حوزه تولید محصولات نمایند تا مدیریت بهینه تولیدات کشاورزی حاصل شود. در بین تکنولوژی‌های موجود، اینترنت اشیاء و تکنولوژی شبکه‌های حسگر به کشاورزان امکان مدیریت دقیق محصولات و نهاده‌های کشاورزی را می‌دهند. در مقاله حاضر به مبحث اینترنت اشیاء از نظر ملزومات ساختاری، تکنولوژی‌های ارتباطی و موارد کاربرد آن در کشاورزی پرداخته می‌شود. در حقیقت اینترنت اشیاء هدفی به غیر از بهره‌گیری از اینترنت برای کنترل وسایل و دستگاه‌ها ندارد. اینترنت اشیاء آینده ارتباطات است که دستگاه‌های موجود را به دستگاه‌های هوشمند تبدیل می‌نماید. همچنین به موضوع شبکه‌های حسگر به دلیل موارد متعدد استفاده در کشاورزی دقیق اشاره شده است. بعلاوه در مقاله حاضر چالش‌ها و آینده پیش روی این شاخه از علم بررسی می‌گردد.

کلمات کلیدی: *اینترنت اشیاء، شبکه‌های حسگر، برچسب هوشمند، فناوری ارتباط حوزه نزدیک*

*نویسنده مسئول: m.jafari@iut.ac.ir

کشاورزی هوشمند مبتنی بر فناوری اطلاعات، اینترنت اشیاء و شبکه حسگر

مقدمه

به دلیل نیاز روزافزون بشر به مواد غذایی استفاده از تکنولوژی‌های جدید در راستای ارتقاء بهره‌وری و تولید بیشتر محصولات کشاورزی، همواره مورد توجه بوده است. امروزه تکنولوژی‌های جدید علمی از قبیل ماهواره‌ها، حسگرهای سنجش پارامترهای محیطی و محصولات کشاورزی، فناوری نرخ متغیر و فناوری اطلاعات به کمک کشاورزان آمده تا امکان مدیریت بهینه تولیدات کشاورزی مهیا گردد. علاوه بر استفاده از تکنولوژی‌های علمی، تکنولوژی اطلاعات[1] در کشاورزی نیز حوزه جدیدی است که توجه محققین را به خود جلب نموده است.جهت استفاده بهینه از تکنولوژی‌هایی نظیر ماهواره‌ها، شبکه‌های حسگر و مدیریت داده‌های خروجی از حسگرهای بلادرنگ، ورود به حوزه تکنولوژی اطلاعات اجتناب‌ناپذیر است [۲].

در طی سالیان گذشته دانشمندان در رابطه با بهره‌گیری از اینترنت اشیاء و زیرمجموعه آن‌که همان تکنولوژی شبکه‌های حسگر است، اشتیاق زیادی نشان داده‌اند. در بحث اینترنت اشیاء هدف استفاده از اینترنت برای کنترل وسایل و دستگاه‌هاست و همان‌طور که از نامش پیداست، مجموعه‌ای است از اشیاء که از طریق تکنولوژی‌های متفاوت ارتباطی از قبیل شبکه‌های بی‌سیم[2] ، سامانه بازشناسی با امواج رادیویی[3]، بلوتوث[4] ، فناوری ارتباط حوزه نزدیک[5] و فناوری تکامل بلندمدت[6] که استاندارد ارتباطی در بین تلفن‌های همراه است، با هم مرتبط شده‌اند. درنتیجه این دستگاه‌ها می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و برحسب وظایفی که برای هر کدام از دستگاه‌ها تعریف شده، عمل نمایند.

بر کسی پوشیده نیست که اینترنت امروزه بر کلیه ابعاد زندگی بشری تاثیر قابل ملاحظه‌ای گذاشته است. اما مبحث اینترنت اشیاء موضوع جدیدی است که برای اولین بار در دهه ۱۹۹۰ مطرح شد. ازآنجاکه اینترنت اشیاء حوزه رو به رشد نوینی است و همانند سایر شاخه‌های دانش و فناوری پویاست، در نتیجه آگاهی از زمینه‌های کاربرد این تکنولوژی در علوم مختلف حائز اهمیت است. بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهره‌گیری از تکنولوژی اینترنت اشیاء در حوزه کشاورزی دقیق و آشنایی با چالش‌های پیش رو می‌تواند برای پژوهشگران راهگشا باشد.

در مقاله حاضر سعی شده فناوری اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر بیان شده و همچنین به پژوهش‌های انجام شده در رابطه با بهره‌گیری از این تکنولوژی‌ها در حوزه کشاورزی دقیق اشاره گردد. این مقاله در چهار بخش تدوین شده است. در بخش اول به ساختار فناوری اینترنت اشیاء اختصاص داده شده و به بایدها و ملزومات موردنیاز برای پیاده‌سازی این فناوری اشاره می‌گردد. در بخش دوم به مبحث ساختار و تکنولوژی شبکه‌های حسگر، در بخش سوم به پژوهش‌های گذشته، و در بخش چهارم به بیان دورنما و آینده این شاخه از علم پرداخته شده است.

فناوری اینترنت اشیاء

در اواسط دهه هشتاد میلادی، تلفن تنها وسیله ارتباط از راه دور بود. اما با گذشت زمان و ظهور تکنولوژی‌های جدید واژه اینترنت بوجود آمد و ارتباطات بستر جدیدی پیدا کرد.

تعریف

1 - Information Technology
2 - Wireless Sensor Networks (WSN)
3 - Radio-frequency Identification (RFID)
4 - Bluetooth
5 - Near-field communication (NFC)
6 - Long Term Evolution (LTE)

امروزه مفهوم اینترنت به اینترنت اشیاء تغییر پیدا کرده است. اینترنت اشیاء تکنولوژی استفاده از اینترنت در جهت کنترل دستگاه‌هاست. مفهوم اولیه آن در دانشگاه MIT در سال ۱۹۹۰ پایه‌گذاری شد و اولین کاربرد آن در سال ۱۹۹۹، کنترل یک دستگاه قهوه‌جوش به کمک اینترنت بود. سپس در همان سال اولین دستگاه کنترل شونده به روش اینترنت اشیاء تولید شد. این دستگاه در حقیقت لوستری بود که با اینترنت خاموش و روشن می‌شد[۱۶].

با تحول اینترنت از گذشته تا به امروز پنج فاز تکاملی در حوزه اینترنت قابل تعریف است. دوره پیش از اینترنت، که در این دوره ارتباطات از طریق تلفن ثابت یا SMS امکان‌پذیر بود. در مرحله دوم اینترنت وارد فاز اینترنت محتوا شد که ارسال پیام‌های بزرگ از طریق ایمیل و پیوست فایل‌ها در درون آن میسر شد. مرحله سوم، شامل اینترنت خدمات می‌شد که در این دوره تمرکز بر بهره‌وری و تجارت الکترونیک بود. در مرحله چهارم، اینترنت به کمک ارتباط بین انسان‌ها آمد و شبکه‌های اجتماعی همانند Facebook یا Skype پا به عرصه ظهور گذاشتند. در آخرین فاز که اکنون در آن به سر می‌بریم مرحله اینترنت اشیاء است. در حال حاضر دستگاه‌ها از طریق اینترنت قابلیت اتصال به هم را دارند و می‌توانند فعالیت‌های مختلفی را در ارتباط با یکدیگر انجام دهند [۱۶].

اجزاء تشکیل‌دهنده

الگو و مدل پذیرش شده برای تکنولوژی اینترنت اشیاء این است که هر دستگاهی می‌تواند با دیگر وسایل ارتباط برقرار کند- هر دستگاه قابل شناسایی است (به کمک آدرس منحصربه‌فرد)- هر دستگاه قابلیت عملکرد متقابل دارد. در نتیجه بر اساس این الگو، سه لایه برای هر شبکه‌ای متشکل از تعدادی دستگاه که به هم متصل شده‌اند، تعریف می‌گردد: ۱- لایه حس کننده، ۲- لایه شبکه و ۳- لایه کاربرد.

در لایه اول شاهد تکنولوژی‌هایی از قبیل شبکه‌های حسگر، برچسب‌های هوشمند و کلیه دستگاه‌ها و عملگرها با قابلیت ارتباط بی‌سیم هستیم. در لایه دوم، فاصله بین درگاه‌های اینترنت و اشیاء پر می‌شود. با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های ارتباطی نظیر Zigbee، z-wave، ارتباطات حوزه نزدیک و بلوتوث، دستگاه‌ها که در اینجا به عنوان یک گره ارتباطی در نظر گرفته می‌شوند، به یکدیگر مرتبط می‌گردند.

در لایه سوم، که مهم‌ترین لایه است مسائل متعددی باید مرتفع شده تا در انتها عملکرد مورد انتظار حاصل گردد. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها اختصاص یک آدرس منحصربه‌فرد به هر دستگاه است. در حال حاضر جدیدترین بستر برای آدرس‌دهی اینترنتی نظام آدرس‌دهی IPv6 است. IPv6 آخرین نسخه پروتکل اینترنت است که دستگاه‌ها را از طریق اینترنت شناسایی می‌کند. هر دستگاهی که از اینترنت استفاده می‌کند از آدرس آی پی منحصربه‌فرد خود به‌منظور برقراری ارتباط اینترنتی بهره می‌برد. دومین مشکلی که باید حل شود پردازش حجم زیادی از داده‌های گردآوری‌شده توسط حسگرهاست تا بتوان بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده، دستگاه‌ها در جهت مطلوب عمل نمایند [۲۶].

فناوری‌های ارتباطی

در اینترنت اشیاء از فناوری‌های متفاوتی برای ارتباط بین وسایل استفاده می‌شود. از آن جمله می‌توان به سامانه بازشناسی با امواج رادیویی، z-wave و Zigbee، تکنولوژی تکامل درازمدت، تکنولوژی ارتباط حوزه نزدیک، تکنولوژی باند فوق وسیع[1]، ارتباط ماشین به ماشین[2] و شبکه‌های شخصی بی‌سیم کم قدرت[3] اشاره نمود.

1 - Ultra Wide Band (UWB)
2 - Machine to Machine (M2M)
3 - Low-power Wireless Personal Area Network

- **سامانه بازشناسی با امواج رادیویی (RFID)**

در این نوع تکنولوژی از محدوده فرکانس رادیویی امواج الکترومغناطیس استفاده شده تا داده‌های مرتبط به یک کالا را منتقل نمایند. بر روی هر شیء یک شناسه RFID چسبانده شده که در واقع این برچسب از یک تراشه کوچک به همراه یک آنتن ساخته شده است. وظیفه اولیه یک شناسه RFID، ذخیره داده و ارسال آن به یک بررسی کننده[1] است. تراشه موجود در شناسه‌های RFID از حافظه‌ای با قابلیت فقط خواندنی و یا خواندنی / نوشتنی به‌منظور ذخیره و بازیابی داده و در برخی موارد تغییر داده استفاده می‌نماید. شناسه‌های RFID شامل دو دسته می‌شوند: شناسه‌های فعال و شناسه‌های غیرفعال. شناسه‌های فعال به آن دسته از شناسه‌های RFID اطلاق می‌شود که بر روی بورد اصلی آنان یک باطری نصب شده باشد. در زمانی که لازم است شناسه RFID داده ذخیره شده در درون خود را برای داده خوان ارسال نماید، از این منبع برای کسب توان لازم جهت انتقال داده استفاده می‌شود. بدین دلیل، شناسه‌های فعال قادر به برقراری ارتباط با داده خوان‌هایی می‌باشند که دارای قدرت کمتری بوده و همچنین می‌توانند اطلاعات را تا محدوده بیشتری ارسال نمایند. علاوه بر این، شناسه-های فعال عموماً دارای حافظه‌های زیادی نیز می‌باشند (به عنوان نمونه تا ۱۲۸ کیلوبایت). شناسه‌های فعال در مقام مقایسه نسبت به شناسه-های غیرفعال بزرگ‌تر بوده و از پیچیدگی بیشتری نیز برخوردارند[۱۰].

- **Zigbee و z-wave**

این دو پروتکل، هر دو از جمله استانداردهای ارتباطی بی‌سیم کم مصرف برای شبکه‌های اتوماسیون خانگی هستند. پروتکل z-wave در سال ۱۹۹۹ و توسط شرکت Zensys بوجود آمد، از این تکنولوژی به طور گسترده در خانه‌های هوشمند استفاده می‌شود. ارتباط بین دو گره که از تکنولوژی z-wave برای ارسال داده بهره می‌برند نباید بیشتر از ۳۰ متر باشد [۱۷].

Zigbee و z-wave مشابه‌اند. تنها تفاوت آن‌ها در این است که در z-wave اطلاعات تا حداکثر بین ۴ گره قابل انتقال است. حال‌آنکه برای Zigbee چنین محدودیتی وجود ندارد. Zigbee هم یک پروتکل ارتباطی است که برای ارسال داده با نرخ پایین استفاده و به‌منظور بهره‌گیری در شبکه‌های شخصی و کوچک بکار می‌رود.

- **تکنولوژی تکامل درازمدت (LTE)**

LTE استانداردی برای فناوری پهنای باند بی‌سیم 4G است که ظرفیت و سرعت شبکه را برای کاربران تلفن همراه افزایش می‌دهد. بارگذاری و بارگیری داده‌هایی که از تکنولوژی LTE استفاده می‌کنند با تاخیرکم همراه است. حسگرها و دستگاه‌های موجود در شبکه اینترنت اشیاء با کمک فناوری LTE به یکدیگر وصل شده و با هم ارتباط می‌گیرند [۲۹].

- **تکنولوژی ارتباط حوزه نزدیک (NFC)**

ارتباط حوزه نزدیک گونه‌ای وسیله ارتباطی بی‌سیم بین دو دستگاه در مجاورت یکدیگر است که در فاصله‌های کوتاه (حدود ۲۰ سانتی‌متر) کاربرد دارد. فناوری NFC در حقیقت یک ارتباط RFID است که رمزگذاری شده و برد کوتاه دارد و همچنین کم مصرف می-باشد. این تکنولوژی در باند فرکانسی ۱۳/۵۶ MHz توانایی تبادل اطلاعات با سرعت ۴۲۴ Kb/s (به صورت میانگین) را دارد. در ارتباط دو دستگاه به روش NFC برخلاف بلوتوث نیازی به جفت سازی نیست. ازآنجاکه این پروتکل ارتباطی توانایی ارتباط از فواصل دور را ندارد، درنتیجه روش ارتباطی ایمنی است. تکنولوژی ارتباطات حوزه نزدیک جایگزینی برای انتقال اطلاعات و فایل‌ها بین دو دستگاه

1- Reader

موبایل توسط بلوتوث است، که برخلاف بلوتوث زمانی را برای جستجوی دستگاه‌های نزدیک صرف نمی‌کند و به سادگی و با نزدیک کردن دستگاه دوم قابل استفاده است [۷].

- **تکنولوژی باند فوق وسیع (UWB)**

UWB تقریباً دو دهه قدمت دارد. این سیستم ارتباطی نوع متفاوتی از انتقال داده با توان مصرفی پایین و پهنای باند وسیع است. UWB می‌تواند مقدار زیادی از اطلاعات را در فاصله‌ای تا حدود ۱۰ متر با توان مصرفی بسیار کم حمل کند. به دلیل بلند بودن بورد ارتباطی، این نوع تکنولوژی در بسیاری از کاربردها جایگزین بلوتوث شده است [۱۶].

- **ارتباط ماشین به ماشین (M2M)**

M2M به ارتباط بین رایانه‌ها، پردازنده‌ها، حسگرهای هوشمند، عملگرها یا تلفن‌های همراه اطلاق می‌شود. ارتباطات ماشین به ماشین به کمک شبکه باعث شده ماشین‌ها بتوانند اطلاعاتی را از خود و شرایطی که در آن قرار گرفته‌اند به سایر ماشین‌ها انتقال دهند. ماشین‌های دیگر حاضر در شبکه می‌توانند با استفاده از این اطلاعات به یک دانش در مورد عملکرد خود نسبت به سایر ماشین‌ها و محیطی که در آن قرار دارند دست یابند. ارتباطات ماشین به ماشین می‌تواند موجب یادگیری در ماشین‌ها و ایجاد تعامل بین آن‌ها گردد [۱۶]. در مهر و موم‌های اخیر بهره‌گیری از این تکنولوژی با سرعت زیادی رو به افزایش است. هر ارتباط ماشین به ماشین از پنج قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از:

۱- **ماشین**: که در اینترنت اشیاء به آن «شیء» گفته می‌شود، معمولاً دارای حسگرهایی برای به دست آوردن اطلاعات از محیط است. ماشین‌ها در تکنولوژی M2M باید ارزان، کم‌مصرف و کوچک باشند.

۲- **ارتباطات:** پس از جمع‌آوری اطلاعات، دستگاه باید آن‌ها را از طریق یک کانال ارتباطی (که معمولاً با برد کوتاهی دارد) به منبع مشخص ارسال کند. ارسال این اطلاعات می‌تواند از طریق بلوتوث، Zigbee، NFC، RFID و مشابه آن انجام شود. برای انتقال داده در مسافت‌های طولانی‌تر از شبکه‌هایی مانند LTE و UWB می‌توان استفاده کرد.

۳- **سرور**: در برخی از پیاده‌سازی‌های ماشین به ماشین به یک سرور جهت جمع‌آوری و آنالیز داده نیاز است. این سرورها معمولاً به یک ابر[1] متصل هستند.

۴- **فضای ذخیره‌سازی:** اطلاعاتی که توسط دستگاه‌ها در تکنولوژی ارتباطی ماشین به ماشین تولید می‌شود بسیار زیاد است و معمولاً برای ذخیره آن‌ها از فضاهای ابری استفاده می‌شود. همچنین، هر دستگاه (معمولاً) خود به یک فضا برای ذخیره موقت اطلاعات نیاز دارد که این فضا بسیار کوچک است.

۵- **رابط و رابط کاربری:** برای برقراری ارتباط و مدیریت داده‌های ارسال شده باید برنامه ارتباط با کاربر جداگانه‌ای وجود داشته باشد [۲۸].

۶-

- **شبکه‌های شخصی بی‌سیم کم قدرت:**

شبکه‌های شخصی بی‌سیم کم قدرت، شبکه‌های رایانه‌ای هستند که ارتباطات وسایل اطراف یک فرد را تأمین می‌کنند. برد یک شبکه شخصی عموماً چند متر بیشتر نیست. در جدول ۱ به فرکانس و برد برخی از تکنولوژی‌های ارتباطی اشاره شده است.

1 - Cloud

جدول ۱. فرکانس‌ها و برد برخی از تکنولوژی‌های ارتباطی مورد استفاده در مبحث اینترنت اشیاء [۱۶]

Technology	Standard	Year of discovery	Downlink/Uplink	Range (in metres)	Operating frequency (in MHz)
RFID	Wireless	1973	100 kbps	2	0.125–5876
IEEE 802.15.4	6loWPAN	2003	250 Kbps	30	826 & 915
Z-Wave	Wireless	2013	100 kbit/s	30	868.42 & 908.42
LTE	3GPP, LTE and 4G	1991	100 Mbps	35	400–1900
LoRa	Wireless	2012	0.3 37.5 (kb/s)	3000–5000	169, 433 & 868 (Europe) & 915 (North America)
NFC	ISO 18092	2004	106, 212 or 424 Kbits	< 0.2	13.56
UBW	IEEE 802.15.3	2002	11–55 Mbps	10–30	2400
M2M	Open to all communication protocols	1973	50–150 Mbps	5–20	1–20
6loWPAN	Wireless	2006	250 Kbps	30	915

رایانش ابری[1]

در سامانه‌های IoT از تعداد زیادی حسگر استفاده می‌شود، در نتیجه در هر لحظه سامانه با حجم زیادی از داده روبه‌رو است. این داده‌ها نیاز به پردازش داشته تا امکان اتخاذ تصمیمات مناسب میسر گردد. ذخیره‌سازی و پردازش این حجم زیاد داده در رایانه‌های شخصی امکان‌پذیر نبوده و نیاز است که کاربر از ابر یا Cloud که شبکه‌ای بزرگ و متصل به سرورهای قدرتمند است به جای رایانه‌های شخصی کمک بگیرد. به این روش، داده‌ها در سرور پردازش شده و نتایج حاصل از پردازش به رایانه‌های شخصی انتقال داده می‌شود. بدون استفاده از ابر، مقایسه و پردازش داده‌ها در سطوح وسیع امکان‌پذیر نمی‌باشد. در حال حاضر شرکت‌های بزرگ رایانه‌ای، امکان رایانش ابری را برای کاربران فراهم می‌نمایند.

شبکه‌های حسگر

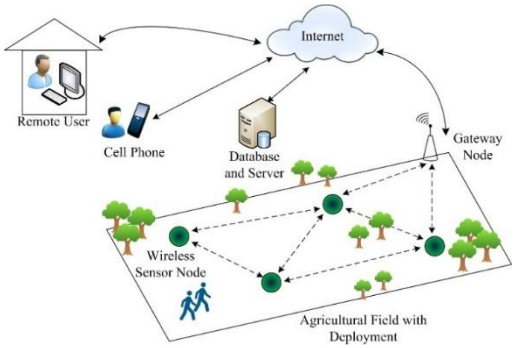
در طول دهه گذشته، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به حوزه‌ای غنی، با معرفی طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی و به تازگی به عنوان یک بخش جدایی‌ناپذیر در مفهوم اینترنت اشیاء تبدیل شده است.

تعریف شبکه‌های حسگر

شبکه‌های حسگر نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که به طور معمول، از تعداد زیادی گره ارزان قیمت تشکیل شده، که ارتباط بین این گره‌ها به صورت بی‌سیم است. هدف اصلی در این شبکه‌ها، جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد محیط پیرامون حسگرها است. نحوه عملکرد کلی این شبکه‌ها به این صورت است که گره‌ها اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری می‌کنند و سپس آن‌ها را به سمت گیرنده اصلی ارسال می‌نمایند [۱].

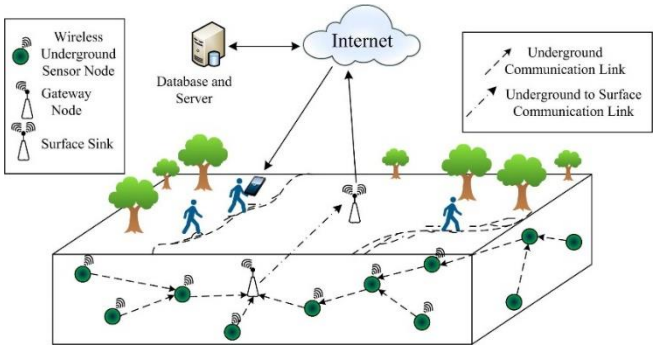
شبکه‌های حسگر بی‌سیم در حوزه‌ی کشاورزی به دو دسته زمینی[2] و زیرزمینی[3] تقسیم می‌شوند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زمینی، حسگرها که گره[4] خوانده می‌شوند، بر روی زمین مستقر شده‌اند (شکل ۱). پیشرفت در حوزه الکترونیک تولید حسگرهای کوچک، هوشمند و البته کم‌هزینه را قادر ساخته است. از این حسگرها تنها برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده نمی‌شود بلکه می‌توانند به عنوان داده ورودی یک سیستم کنترلی بکار روند. به عنوان مثال این حسگرها می‌توانند برای تنظیم زمان‌بندی در یک سامانه آبیاری هوشمند مورد استفاده قرار گیرند. در اینگونه سامانه‌ها گره آخر به یک پمپ آب متصل است و وظیفه تصمیم‌گیری را برعهده دارد [۱۲].

1- Cloud Computing
2- TWSNs: Terrestrial wireless sensor networks
3 -WUSNs: Wireless underground sensor networks
4 - Nodes



شکل ۱. شبکه حسگر بی‌سیم زمینی [۲۲]

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرزمینی، حسگرهای بی‌سیم در داخل خاک کاشته می‌شوند. به دلیل ضعیف شدن فرکانس‌های ارتباطی، به تعداد بیشتری گره برای پوشش مساحت مورد نظر، نیاز است (شکل ۲). در اینگونه شبکه‌ها اطلاعات از حسگرها به دریافت کننده‌های زیر زمین و سپس از طریق دریافت‌کننده‌ها به سینک[1] روی زمین انتقال می‌یابند. از اینترنت برای ذخیره اطلاعات در پایگاه‌هایی در فواصل دورتر بهره گرفته می‌شود [۲۲].

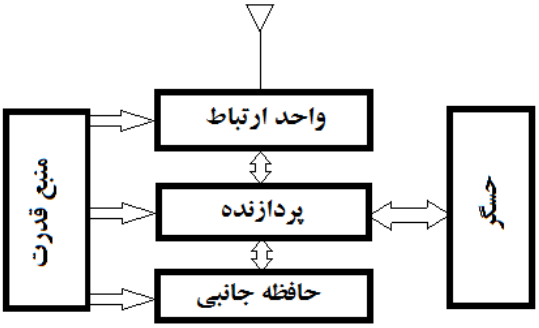


شکل ۲. شبکه حسگر بی‌سیم زیرزمینی [۲۲]

اجزاء تشکیل‌دهنده

واحد پایه یک شبکه حسگر،گره خوانده می‌شود. با توجه به عملکرد متفاوت شبکه‌های حسگر، هر گره می‌تواند با توجه به وظایف تعریف شده از اجزای متنوعی تشکیل شده باشد. در حالت کلی هر گره از یکسری اجزاء تشکیل شده است که عبارت‌اند از واحد پردازش مرکزی، فرستنده_گیرنده رادیویی، منبع تغذیه که می‌تواند باطری یا سلول‌های خورشیدی یا ترکیب هر دو باشد و وظیفه‌اش تأمین انرژی مورد نیاز گره است، یک یا تعدادی حسگر که داده‌های مورد نظر را جمع‌آوری می‌کنند، انواع حافظه‌های جانبی، در صورت نیازGPS و سایر اجزایی که بسته به کاربردهای متفاوت می‌تواند در هر گره گنجانده شود (شکل۳) [۱].

1 - Sink



شکل ۳. ساختار یک گره حسگر بی‌سیم[۱]

- **واحد پردازنده مرکزی**

واحد پردازنده مرکزی مانند مغز برای گره است. قدرت محاسباتی گره تنها بستگی به قابلیت‌های پردازنده مرکزی دارد. از فاکتورهای مهم در انتخاب واحد پردازنده مرکزی حسگر، میزان توان مصرفی و پشتیبانی آن از حالت‌های متنوع کاری است. غالباً از میکروکنترلرها به عنوان پردازنده مرکزی استفاده می‌شود.

- **فرستنده _ گیرنده رادیویی**

فرستنده - گیرنده رادیویی یکی از اجزای با اهمیت در گره‌ها بوده و بسته به کاربردهای مختلف، می‌تواند تنوع بسیاری داشته باشد. در انتخاب فرستنده_گیرنده‌ها، مهم‌ترین مشخصه برد مورد نیاز برای ارتباط بین گره‌های شبکه است. در شبکه‌هایی با گره‌های نزدیک به هم، می‌توان از فرستنده‌های کم مصرف استفاده کرد ولی توان مصرفی در فرستنده_گیرنده‌ها با بردهای بیشتر، به شدت افزایش پیدا می‌کند و باید در آن‌ها از مکانیزم‌های کنترل توان دقیق‌تری استفاده کرد [۱].

- **حافظه جانبی**

دو نوع حافظه اصلی در یک گره وجود دارد: حافظه مربوط به پردازنده و حافظه جانبی. در صورتی که مقدار حافظه موجود درCPU برای نگهداری اطلاعات مورد نظر کافی نباشد، که معمولاً چنین است می‌توان از حافظه‌های جانبی برای ذخیره اطلاعات موجود در هر گره استفاده کرد.

- **حسگر**

عمل اصلی در شبکه‌های حسگر، یعنی عمل جمع‌آوری اطلاعات بر عهده حسگر است. انواع گوناگونی از حسگرها طراحی شده‌اند که بسیاری از آن‌ها مبدل آنالوگ به دیجیتال داخلی دارند[۳].

- **منبع تغذیه**

معمولاً گره‌ها هنگامی که در محیط قرار می‌گیرند، از دسترس خارج شده به نحوی که با تمام شدن منبع انرژی آن‌ها، عملاً گره‌ها بلا استفاده می‌گردند. لذا منبع تغذیه در ساخت گره‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در حالت کلی، از دو نوع منبع تغذیه قابل شارژ و غیرقابل شارژ می‌توان استفاده کرد. در صورتی که شرایط محیطی گره‌ها اجازه بدهد می‌توان از سایر انرژی‌ها مانند انرژی حرکتی یا انرژی خورشیدی نیز برای تأمین توان مورد نیاز گره‌ها یا جهت شارژ کردن باطری‌ها بهره گرفت. در تغذیه گره‌ها می‌توان

گره‌ها را به کمک انواع رگولاتور و تقویت‌کننده‌های ولتاژ- جریان شارژ کرد. عامل اصلی در انتخاب رگولاتورها، بازده بالا و دامنه نسبتاً وسیع ولتاژ ورودی است تا بتوان از منابع انرژی حداکثر استفاده نمود[۱].

توپولوژی شبکه

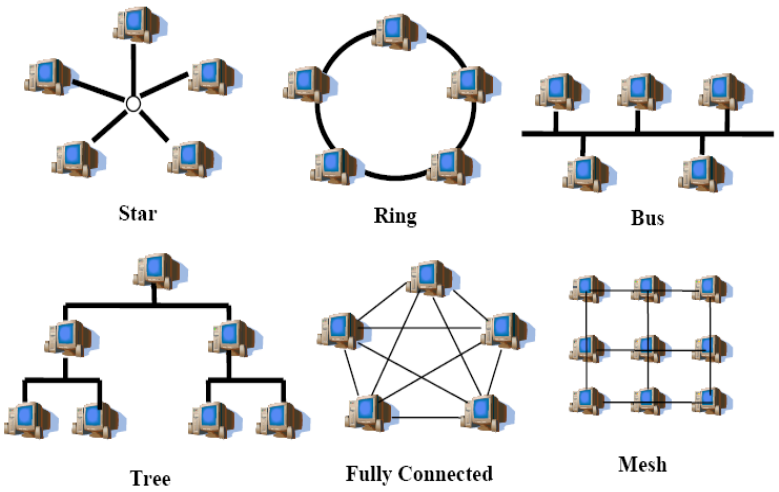
توپولوژی‌های اصلی شبکه در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. این توپولوژی‌ها شامل متصل[1]، مش، ستاره، حلقه، درخت و باس[2] می‌باشد. یک شبکه ممکن است از تعداد زیادی زیر شبکه که هرکدام یکی از این توپولوژی‌ها را داراست تشکیل شود.

در شبکه‌ی متصل، با اضافه شدن یک گره تعداد ارتباط‌ها به طور نمایی افزایش می‌یابد. مسیریابی در این شبکه‌ها به دلیل وجود ارتباطات زیاد بین گره‌ها به توان محاسباتی بالایی نیاز دارد.

در شبکه مش، داده هر گره تنها به همسایه‌های آن انتقال می‌یابد. این توپولوژی برای شبکه‌های بسیار بزرگ که در نواحی جغرافیایی وسیع قرار دارند مناسب است.

در شبکه ستاره، همه گره‌ها اطلاعاتشان را به یک گره مرکزی می‌فرستند. بنابراین گره مرکزی باید توانایی دریافت و ارسال داده‌های بیشتری را داشته باشد. اگر یک گره از بین برود مشکلی پیش نمی‌آید، ولی اگر گره مرکزی از بین برود شبکه دیگر کارایی نخواهد داشت.

در توپولوژی نوع حلقه همه گره‌ها وظیفه یکسانی دارند و گره سرگروه یا راهنما وجود ندارد. اگر حلقه در جایی قطع شود ارتباط بین گره‌ها از بین می‌رود [۱۸].



شکل ۴. توپولوژی‌های شبکه‌های حسگر

ویژگی‌های برجسته شبکه‌های حسگر بی‌سیم

- **توانایی تصمیم‌گیری هوشمند:** شبکه‌های حسگر، شبکه‌هایی چند گامی[3] هستند. این چند گامی بودن به آن‌ها کمک کرده تا با یک تلاش جمعی و با بهره‌گیری از پردازنده‌های ساده درون خود بجای ارسال داده خام دریافت شده از محیط، پردازش مختصری بر روی داده‌ها انجام دهند و محاسبات محلی را تنها به کمک گره‌های نزدیک خود انجام دهند. این عمل

[1] - Fully connected
[2] - Bus
3 - Multi-hop

یعنی ارسال داده‌های کمتر و ارسال داده‌های پردازش شده بجای ارسال داده‌های خام و در نتیجه ترافیک شبکه کاهش می-یابد.

- **توپولوژی پویا:** برای حفظ ظرفیت باطری، گره‌ها در اکثر اوقات در وضعیت "خوابیده[1]" قراردارند و به‌منظور افزایش طول عمر شبکه، توپولوژی شبکه طوری طراحی می‌شود که حداقل تعداد گره در حالت فعال باقی بمانند.
- **تحمل خطا:** ازآنجاکه گره‌ها در محیط پراکنده‌اند ممکن است آسیب فیزیکی ببینند یا تداخل در بین ارسال داده‌ها بوجود آید. برای اینکه شبکه حسگر قابل اطمینان باشد باید خرابی یک گره روی شبکه تاثیری نگذارد. استفاده از تعداد زیادی گره در شبکه، آرایش مجدد شبکه حسگر و ایجاد همپوشانی در ناحیه‌ای که حسگر در آنجا خصوصیات محیطی را اندازه‌گیری می‌کند، نمونه‌هایی از فن‌های افزایش تحمل خطا یا قابلیت اطمینان شبکه می‌باشند.
- **پذیرش ناهمگونی گره‌ها:** به صورت پیش فرض، در تعریف شبکه‌های حسگر فرض بر این است که تمامی گره‌ها از حسگرهایی با خصوصیات یکسان ساخته شده باشند. اما در بسیاری از شبکه‌ها گره‌ها از نظر قدرت پردازش، حافظه، قابلیت سنجش، واحد فرستنده و گیرنده و سایر ویژگی‌ها می‌توانند ناهمگن باشند.
- **امنیت اطلاعات:** شبکه‌های حسگر با رمزنگاری داده‌ها و محدود کردن دسترسی اطلاعات، امکان دستیابی به داده‌ها را برای کاربران تأیید نشده، میسر نمی‌سازد[۱۲].
-

کاربرد اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر در کشاورزی

اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر در کشاورزی غالباً برای برآورده شدن یکی از اهداف در ذیل آمده استفاده می‌گردند:

- تعیین ویژگی‌های خاک، گیاه و شرایط آب و هوایی
- مدیریت کشت چندین گیاه در یک قطعه زمین
- اعمال نهاده‌های تولید از قبیل کود، بذر وسم به صورت نرخ متغیر در نقاط مختلف مزرعه
- مدیریت منابع آب کشاورزی
- مدیریت موثر مبارزه با آفات و بیماری‌ها
- پاسخ به احتیاجات متفاوت گیاه در شرایط آب و هوایی متفاوت[۸] .
-

کاربرد در گلخانه‌ها

در حال حاضر به دلیل تغییرات شدید آب‌وهوا و محدودیت منابع آب کشاورزی، ترجیح کشاورزان تولیدات محصولات کشاورزی درون گلخانه‌ها است. در گلخانه اگرچه محیط کنترل‌شده‌ای برای رشد گیاه مهیاست اما برای داشتن محصولاتی با کیفیت بالاتر، نمایش و کنترل پارامترهای محیطی داخل گلخانه امری ضروری است. در این راستا استفاده از اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر برای اندازه‌گیری و کنترل متغیرهای محیطی مفید می‌باشد. مطالعات متعددی در زمینه بهره‌گیری از تکنولوژی اینترنت اشیاء در راستای مدیریت پارامترهای تاثیرگذار بر رشد گیاه در درون گلخانه انجام شده است.

از جمله تحقیقات صورت گرفته می‌توان به تحقیقی که در آن سامانه‌ای برای مدیریت هوشمند انرژی و کنترل شرایط محیطی گلخانه ساخته شد، اشاره نمود. نور، دما، رطوبت نسبی و تجمع دی‌اکسید کربن داخل گلخانه و دمای بیرون به نمایش در می‌آمد. دو عدد

1 - Sleep-Mode

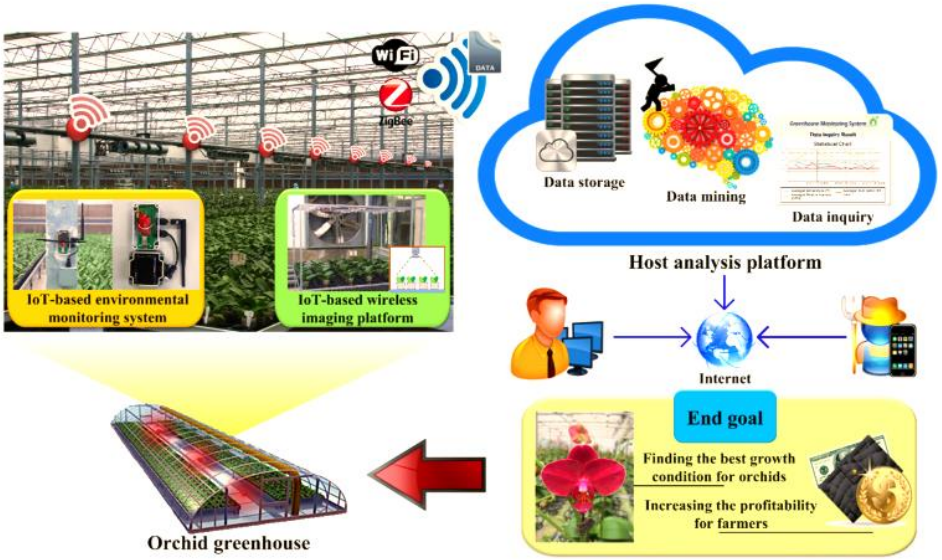
کنترل‌کننده فازی تناسبی و تناسبی-مشتقی جهت کنترل شرایط آب و هوایی مطلوب داخل گلخانه طراحی شد. این کنترل‌کننده‌ها واحد گرمایشی، باز شدن و بستن اتوماتیک پنجره‌ها و کرکره‌ها، نور مصنوعی و مه سازها را کنترل می‌کردند [۱۷].

در پژوهش دیگری در یک گلخانه ۷۰ در ۱۵۰ متری، ۵۰ گره (حسگر) قرار داده شد. ازآنجاکه جهت و سرعت جریان باد در خارج گلخانه بر روی عملکرد فن‌ها تاثیر گذار بود، یک شبکه حسگر طراحی شد که پارامترهای محیطی در داخل و خارج گلخانه را حس کند. در داخل گلخانه دما و رطوبت خاک و دما و رطوبت نسبی هوا و در خارج گلخانه دمای هوا، سرعت و جهش وزش باد اندازه‌گیری می‌شد. دو دمای مطلوب تعیین شد، یکی برای روز و دیگری برای شب. در طول روز کنترل دمای گلخانه با استفاده از باز شدن دریچه‌های تهویه انجام می‌شد و در طول شب افزایش دمای گلخانه به‌وسیله سیستم گرمایش قطع و وصلی کنترل می‌گردید [۹].

در پژوهشی دیگر که به تازگی منتشر شده، اثر زمان روشنایی بر رشد گیاه کلم چینی[1] را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش یک شبکه حسگر ایجاد شد که پارامترهای محیطی از قبیل، دما، رطوبت، و دی‌اکسید کربن را اندازه‌گیری می‌کرد. در این پژوهش برنامه ارتباط با کاربر در واقع یک اپ موبایل بود و از یک میکروکنترلر برای ارسال فرمان‌های کنترلی به عملگرها و از دو تکنولوژی ارسال داده Zigbee و Wifi استفاده شد [۱۳].

در رابطه با بهره‌گیری از اینترنت اشیاء به‌منظور پایش شرایط محیطی درون گلخانه‌های گل‌های زینتی نیز در مهر و موم‌های گذشته پژوهشی صورت گرفته است. این سیستم از سه زیر سیستم اصلی تشکیل شده بود. اولین زیر سیستم، یک سامانه نظارت محیطی مبتنی بر IoT ، زیر سیستم دوم یک پلتفرم تصویربرداری بی‌سیم مبتنی بر IoT و دیگری سیستم عامل آنالیز میزبان[2] (HAP) بود (شکل ۵). زیر سیستم اول برای اندازه‌گیری پارامترهای محیطی (مانند دما، رطوبت نسبی و روشنایی) ساخته شد و در گلخانه ارکیده نصب گردید. این سیستم نظارتی از ۱۲ گره حسگر بی‌سیم و یک دروازه تشکیل شده بود. کلیه حسگرهای بی‌سیم وظیفه داشتند پارامترهای محیطی را بر اساس یک برنامه ثابت اندازه‌گیری نموده و گزارش داده‌های قرائت شده را از طریق پروتکل Zigbee به دروازه[3] منتقل نمایند. داده‌ها در دروازه منظم شده و سپس توسط Wi-Fi به HAP انتقال می‌یافتند. هر پلتفرم تصویربرداری از یک بورد رزبری پای[4] به همراه یک دوربین تصویربرداری تشکیل شده بود که وظیفه‌ی ضبط تصاویر ارکیده و انتقال آن‌ها به HAP را برعهده داشت. هدف این سامانه مبتنی بر تکنولوژی IoT تخمین شرایط بهینه برای رشد گیاه ارکیده در درون گلخانه بود [۳۰].

1 - Brassica chinensis
2 - Host Analysis Platform
3 - Gate
4 - Raspberry Pi

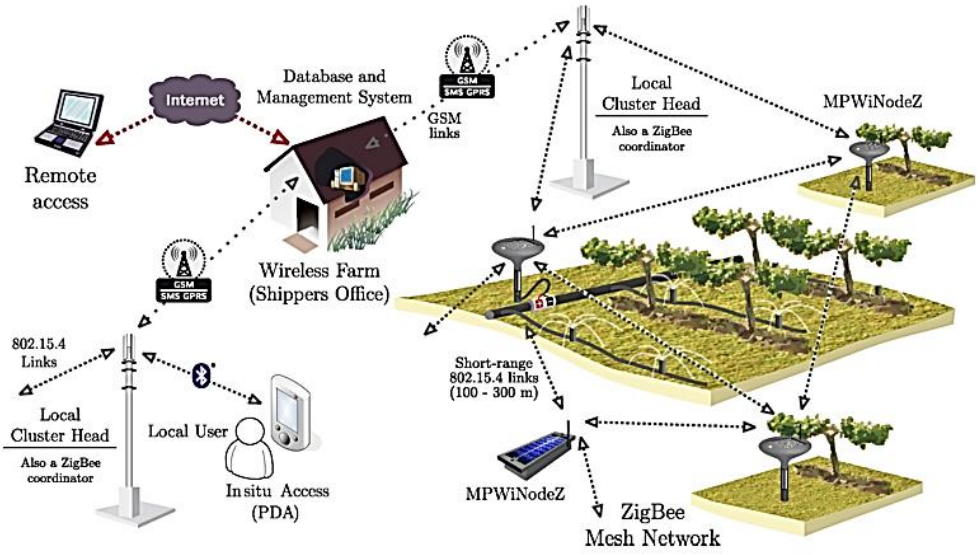


شکل ۵. تصویر کلی سامانه نصب شده در گلخانه‌ی ارکیده [۳۰]

کاربرد در تاکستان‌ها

در کشورهای پرتغال و اسپانیا به دلیل وجود تاکستان‌های بزرگ با شرایط آب و هوایی و توپوگرافی متفاوت و پیچیده، طراحی شبکه-ای از حسگرها جهت اندازه‌گیری پارامترهای محیطی و آب‌وهوایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چندین تحقیق در زمینه استفاده از شبکه‌های حسگر در این مناطق انجام شده که از آن جمله می‌توان به تحقیقی که توسط مورایس و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد، اشاره کرد [۱۹]. در این پژوهش، پلتفرم جدیدی به نام MPWiNodeZ ارائه شد که مشخصه اصلی آن در مدیریت انرژی مصرفی حسگر بود. این پلتفرم از سه منبع انرژی متفاوت که عبارت بودند از : انرژی خورشیدی، انرژی جنبشی آب درون لوله‌های آبیاری و انرژی باد، بهره می‌برد. این پلتفرم علاوه بر اینکه توانش را از این منابع تأمین می‌کرد، داده‌هایی درباره شدت تابش نور خورشید، سرعت باد و جریان آب آبیاری در اختیار قرار می‌داد (شکل ۶).

در تحقیق دیگری ۶۵ گره در زمینی به مساحت ۱ جریب در کانادا نصب شد. هر گره شامل یک بورد حسگر، یک پردازش کننده مرکزی، یک فرستنده رادیویی و دو عدد باطری بود. گره‌ها بر روی داربست‌های نگهدارنده درختان و به فاصله ۲۰ فوت از یکدیگر نصب شدند. سیگنال‌های رادیویی از یک گره به گره دیگر و درنهایت به کامپیوتر مرجع انتقال می‌یافت. نرم‌افزار راه‌انداز شبکه TinyOS بود که بهترین مسیر را جهت انتقال داده‌ها انتخاب می‌کرد. هر ۵ دقیقه یک‌بار دما، رطوبت و شدت تابش نور خورشید اندازه‌گیری می‌شد. هدف از این تحقیق عبارت بود از اجتناب از یخ‌زدگی درختان، مدیریت آبیاری و انتخاب زمان مناسب برداشت [۶].



شکل ۶. شبکه جمع‌آوری داده از مزرعه بر اساس تکنولوژی Zigbee [۱۹]

کاربرد در آبیاری

برای اندازه‌گیری رطوبت در محل ریشه از تانسیومتر استفاده می‌شود. اما سرعت پاسخ تانسیومتر کافی نبوده و هیسترزیسی بین داده‌های مرحله خیس شدن خاک و خشک شدن وجود دارد. برای بدست آورن پاسخ زمانی کوتاه‌تر از حسگرهای TDR و FD استفاده می‌شود اما تأمین توان برای این حسگرها جهت استفاده در شبکه‌های حسگر و برای طولانی مدت دشوار است. بنابراین توسط سان و همکاران (۲۰۰۹) یک حسگر اندازه‌گیر رطوبت خاک که با انرژی خورشید کار می‌کرد و رطوبت را بر اساس خاصیت دی‌الکتریک خاک اندازه‌گیری می‌نمود، طراحی و ساخته شد. سه عدد از این حسگر در مزرعه قرار داده شد (شکل ۷) [۲۴].

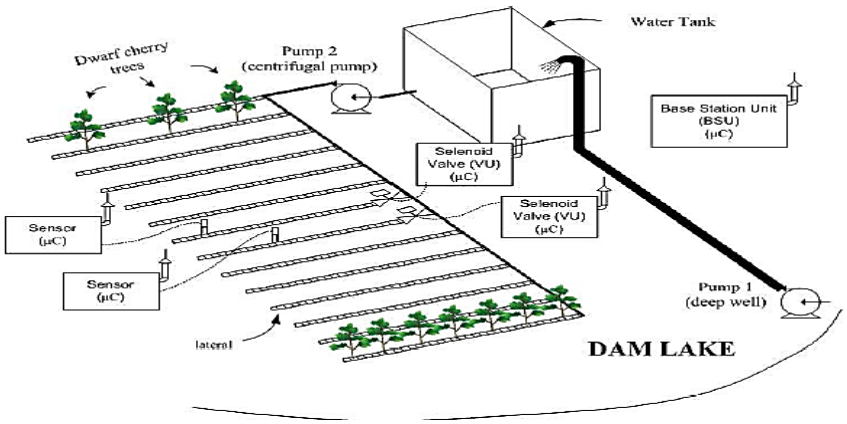
این حسگر از اجزاء زیر تشکیل شده بود:

۱. صفحه خورشیدی به قطر ۱۷۰ میلی‌متر
۲. یک شافت از جنس فولاد ضدزنگ به قطر ۱۰ میلی‌متر و طول ۶۰۰ میلی‌متر
۳. یک حسگر اندازه‌گیری محتوای رطوبت خاک
۴. دوحسگر دما
۵. یک حسگر نوری
۶. ماژول ارتباط بی‌سیم
۷. میکروکنترلر
۸. حافظه جانبی

شکل ۷. حسگر نصب شده در مزرعه چغندرقند [۲۴]

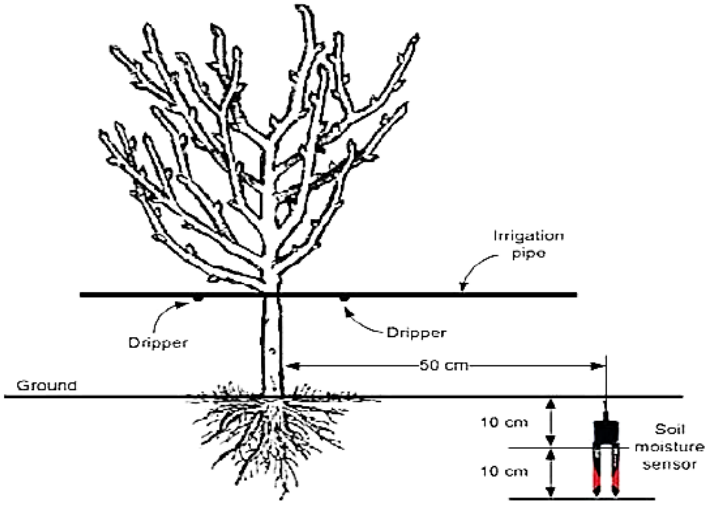
این حسگر در زمین بایر، مزرعه ذرت و مزرعه چغندرقند مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه‌های متفاوت صفحه خورشیدی جهت حداقل نمودن اندازه حسگر مورد بررسی قرار گرفت [۲۴].

در تحقیق دیگری یک شبکه حسگر/عملگر برای کنترل آبیاری قطره‌ای ۱۰۰۰ درخت گیلاس طراحی شد. آبیاری با دو پمپ خورشیدی انجام می‌شد. یکی از پمپ‌ها آب را از رودخانه به سمت مخزن پمپاژ می‌کرد و دیگری آب را از مخزن به سمت شبکه آبیاری هدایت می‌کرد (شکل ۸). شبکه از سه واحد مجزا تشکیل شده بود. واحد ایستگاه اصلی، واحد شیرآلات و واحد حسگرها. همه شیرآلات، حسگرها و وسایل الکترونیکی به نحوی انتخاب شدند که حداقل مصرف انرژی را داشته باشند [۱۱].



شکل ۸. شماتیک شبکه آبیاری اتوماتیک [۱۱]

حسگرهای رطوبت در عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک و به فاصله ۵۰ سانتی‌متری از درخت نصب شدند (شکل ۹). این شبکه مانع ایجاد تنش رطوبتی در گیاه شده و مصرف بهینه آب را ممکن می‌ساخت.



شکل ۹. مکان نصب حسگر رطوبت [۱۱]

در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۶ صورت پذیرفت یک سیستم آبیاری خورشیدی با سامانه پایشی از راه دور طراحی و ساخته شد. این سامانه از اینترنت و تکنولوژی ارتباطی 3G بهره می‌گرفت و پارامترهای اندازه‌گیری شده را به صورت آنی برای کاربران ارسال و ذخیره می‌کرد. این سامانه امکان خاموش و روشن کردن مستقل از یکدیگر ۸ دستگاه برای کاربر میسر می‌ساخت. بدین ترتیب با شماره-گیری کدهای مخصوص از طریق تلفن همراه یا ثابت، کاربر می‌توانست تجهیزات آبیاری را در مزارع وسیع و دور از دسترس کنترل نماید[۳۱].

در پژوهش دیگری که اخیراً انجام شده از تکنولوژی RFID و کد QR برای پایش اطلاعات سیستم‌های آبیاری یک ناحیه آبیاری وسیع در کره جنوبی استفاده شد. در این پژوهش اطلاعات مخازن آب، کانال‌های آب، گیج‌های اندازه‌گیری از طریق تکنولوژی ارسال داده Zigbee به پایگاه داده‌ها ارسال می‌شد. به برخی دستگاه‌های سنجش برچسب RFID و یا کد QR چسبانده شده بود و کاربر می-توانست بدون نزدیک شدن به حسگر و از فاصل دور داده‌های حسگر را بخواند [۲۱].

کاربرد در دامداری‌ها

در زمان‌هایی که دام‌ها در فضای باز نگهداری می‌شوند و چرا می‌کنند، نمایش موقعیت هر دام در محیط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از شبکه‌های حسگر در این شرایط با چالش‌هایی روبه‌روست که عبارت‌اند از: ۱- حسگرها باید ارزان باشند (چون باید از تعداد زیادی حسگر استفاده کرد پس هزینه ساخت هر حسگر اهمیت زیادی پیدا می‌کند)، ۲- حسگرها باید مدیریت انرژی کارآمدی داشته باشند (که به شبکه اجازه عمر طولانی‌تری را می‌دهد) و ۳- شبکه باید قابلیت حرکت داشته باشد[۱۴].

یکی از مرسوم‌ترین روش‌های موقعیت‌یابی در طبیعت استفاده از GPS است [۲۳ و ۴]، اما این روش مکان‌یابی، مصرف انرژی و هزینه بالایی دارد و در نتیجه مناسب نمایش حرکت دام‌ها در چراگاه نمی‌باشد [۱۴].

به عنوان جایگزین GPS جهت نمایش موقعیت دام در چراگاه، الگوریتم‌های متفاوتی وجود دارد که در آن‌ها موقعیت نسبی نقاط متحرک (دام‌ها) به نسبت یک سری نقاط با موقعیت معلوم که لنگر[1] خوانده می‌شوند تعیین می‌گردد. برای تخمین فاصله بین دام و لنگر از

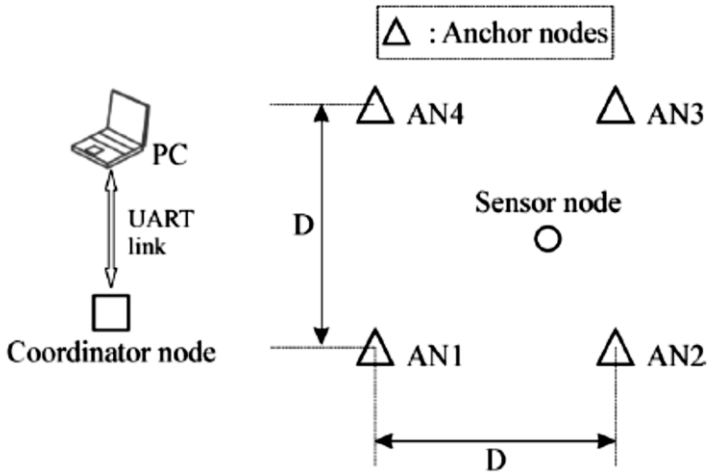
1- Anchor

سه الگوریتم استفاده می‌شود: ۱- تکنیک مبتنی بر تشخیص زاویه دریافت پیام ارسالی[1] (AOA)، ۲- تفاوت زمانی دریافت پیام[2] (TDOA) و ۳- روش‌هایی بر اساس قدرت سیگنال ارتباطی[3].

استفاده از AOA و TDOA

به تجهیزات سخت‌افزاری زیادی و مصرف انرژی بالایی نیاز دارند [۱۴]. ولی فن‌های بر اساس قدرت سیگنال ارتباطی، از نشانگر قدرت سیگنال دریافتی (RSSI)[4] و یا نشانگر کیفیت ارتباط (LQI)[5] استفاده می‌کند. این دو شاخص به همراه اطلاعات فرستاده شده توسط ماژول ارتباطی بی‌سیم، ارسال می‌گردند، بنابراین به تجهیزات اضافی نیازی نیست.

در تحقیقی که در زمینه نمایش حضور دام در چراگاه انجام شد از چهار لنگر برای تعیین موقعیت یک نقطه متحرک استفاده شد (شکل ۱۰). گره متحرک از میکروکنترلر، فرستنده رادیویی و باطری تشکیل شده بود. عمر باطری در این شرایط ۳ روز تخمین زده شد. گره متحرک داده‌ها را تحت استاندارد Zigbee می‌فرستاد. در استاندارد IEEE 802.15.4 که مخصوص تکنولوژی Zigbee است ذکر شده، هر داده‌ای که ارسال می‌شود باید LQI آن داده نیز به صورت عددی بین ۱ تا ۲۵۵ محاسبه و گزارش شود. فاصله لنگرها از هم ۸۰ متر بود که این فاصله معادل ۳۵ درصد حداکثر محدوده ارتباطی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که خطای موقعیت‌یابی در حدود ۲۰ متر بود و این خطا که برای نمایش دام در چراگاه مناسب است[۱۴].



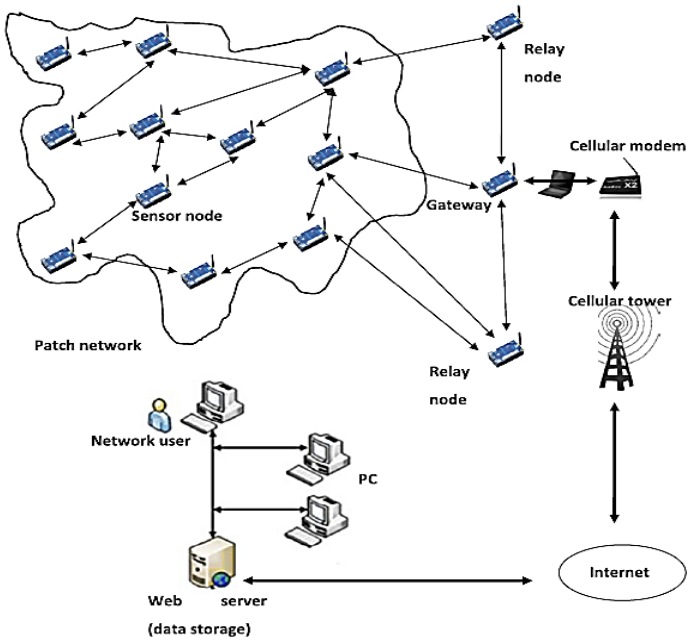
شکل ۱۰. شماتیک شبکه Zigbee بکار برده شده [۱۴]

علاوه بر تعیین موقعیت دام در چراگاه، زمان چرای دام نیز یکی از فاکتورهای مهم در ارزیابی عملکرد دام (تولیدات دامی) می‌باشد. طراحی و ساخت سیستم نمایش پارامترهای رفتاری دام (از قبیل توزیع مکانی حیوان، سرعت حرکت و یا حرکت سر) و ارتباط دادن این پارامترها به مدهای حالت حیوان (مثل زمان چرا، زمان خوابیدن، ایستادن و حرکت کردن) موضوع تحقیقات بسیاری بوده است.

در تحقیقی که توسط ندیمی و همکاران (۲۰۱۲) انجام گرفت یک شبکه حسگر متحرک نوع اد-هاک[6] طراحی شد (شکل ۱۱) و در این تحقیق بر روی یک گله گوسفند انجام شد. گوسفندان نسبت به گاوها حرکت سریع‌تری دارند و مدهای رفتاری آن‌ها به سرعت تغییر

1 - Angel of arrival (AOA) of the received message
2 - Time difference of arrival (TDOA)
3 - Link signal-strength-based techniques
4 - Received strength-based indication (RSSI)
5 - Link quality indicator (LQI)
6 -Ad-hoc

می‌کند. روی هر کدام از گوسفندان یک حسگر دما و یک شتاب سنج نصب شد. شتاب سنج‌ها حرکت سر حیوان را حس می‌کردند. حیوانی که فعال است در حین چرا و یا راه رفتن بوده و در نتیجه سر خود را تکان می‌دهد و حیوانی که غیرفعال است، خوابیده و یا بی حرکت ایستاده، در نتیجه سیگنالی از شتاب سنج متصل به سر آن دریافت نمی‌شود. در نتیجه با ثبت حرکت سر حیوان می‌توان به مدهای رفتاری او پی برد و با استفاده از شبکه عصبی پارامترهای اندازه‌گیری شده را به مدهای رفتاری حیوان ارتباط داد [۲۰].



شکل ۱۱. معماری شبکه حسگر بی‌سیم [۲۰]

کاربرد در کنترل آفات

تخمین میزان حشرات در گلخانه با استفاده از تله‌های چسبنده کار وقت‌گیر و پرهزینه‌ای است. هر کدام از این تله‌های چسبنده باید توسط کارگر مورد بررسی قرار گیرند. استفاده از وسایل تصویربرداری بی‌سیم راه‌حل مناسبی برای رفع این مشکل است. برای ایجاد یک شبکه حسگر بی‌سیم باید چندین ایستگاه اندازه‌گیری در مزرعه وجود داشته باشد. یک روش پایش این است که تعداد حشرات به دام افتاده در هریک از این ایستگاه‌ها شمارش شده و عدد شمارش شده به ایستگاه اصلی فرستاده شود. این روش به سخت‌افزار و توان مصرفی بالایی نیاز دارد. اما راه‌حل ساده‌تر آن است که از هر یک از ایستگاه‌ها عکس‌برداری شده و عکس‌ها به صورت بی‌سیم به ایستگاه اصلی انتقال داده شوند. ایستگاه اصلی داده‌ها را پردازش کرده و تعداد حشرات گیر افتاده در تله‌ها را محاسبه می‌کند. در یک پژوهش، برای تخمین میزان آفات به روش شبکه حسگر، در روبه‌روی هر تله‌ی چسبنده یک گره قرار داده شد. هر گره متشکل از یک دوربین، یک فرستنده رادیویی و یک میکروکنترلر بود.

در این تحقیق از شبکه گره‌هایی که پروتکل Zigbee را پشتیبانی کرده و Tmote خوانده می‌شوند، استفاده شد. در زمانی که فرستنده رادیویی روشن است مصرف انرژی این وسیله بین ۱/۲ تا ۲۳ میلی‌آمپر است. سیستم عامل Tmote، TinyOS بود و انتقال اطلاعات از یک گره به گره دیگر به روش شبکه‌بندی (مش) انجام می‌شد.

دوربین‌ها در فاصله ۴۰۰ میلی‌متری تله‌ها نصب شدند. هر۱۲ ساعت یک‌بار از تله‌ها عکس‌برداری می‌شد. در این تحقیق مکانیزمی برای خاموش کردن دوربین و فرستنده رادیویی بعد از گرفتن و فرستادن عکس تعبیه نشده بود. بنابراین عمر هر گره ۳۴ ساعت بود که در نتیجه باید باطری‌ها بعد از این زمان عوض می‌شدند[۲۵].

موانع و مشکلات کاربرد شبکه‌های حسگر

استفاده از شبکه‌های حسگر برخلاف پتانسیل بالایی که دارند هنوز در ابتدایی‌ترین مراحل می‌باشد. از موانع و مشکلات موجود برسر توسعه شبکه‌های حسگر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استانداردسازی شبکه‌های حسگر هنوز تکمیل نشده است.
- مشکلات امنیتی این شبکه‌ها باید حل شود.
- منبع تغذیه و تأمین توان همواره یکی از مشکلات این شبکه‌ها است.
- هنوز دیدگاهی در رابطه با مشکلات احتمالی پیش روی وجود ندارد.
- پیچیدگی و هزینه بالای این شبکه‌ها توسعه سریع آن‌ها را با مشکل روبه‌رو کرده است [۲۷].

آینده استفاده از اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر

فناوری اینترنت اشیاء تولید محصولات کشاورزی را از بسیاری جهات می‌تواند بهینه سازد. با بهره‌گیری از این تکنولوژی مدل دقیق مدیریت مزارع و گلخانه‌ها، به مدل میکرو دقیق ارتقاء خواهد یافت. بهره‌گیری از منابع و نهاده‌های کشاورزی بهینه گشته و تولید با وضعیت بازار منطبق می‌گردد و با کاهش هزینه‌ها حداکثر سود حاصل خواهد شد. همچنین امنیت و سلامت غذایی در گرو استفاده از شبکه‌های حسگر و برچسب‌های هوشمند خواهد بود. به کمک نظارت و ردیابی دقیق، شرایط بهینه پرورش و انبارداری محصولات کشاورزی معین می‌گردد. آینده و دورنمای اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر در کشاورزی می‌تواند شامل تکامل در حوزه‌ها و کاربردهایی از قبیل ردگیری دقیق محصولات کشاورزی با استفاده از برچسب‌های هوشمند، توسعه شبکه‌های حسگر/عملگر، و همچنین انجام عملیات‌های مختلف کشاورزی به صورت کاملاً خودکار و با استفاده از شبکه ربات‌ها باشد.

همان‌طور که پیش از این بیان شد در حال حاضر در عصر اینترنت اشیاء به سر می‌بریم. علاوه بر اینکه اینترنت و تکنولوژی‌های ارتباطی در حال پیشرفت است و همه روزه شاهد بروز و ظهور نسل جدیدی از شبکه‌های ارتباطی می‌باشیم، دانشمندان در تلاشند تا مفاهیم مرتبط با هوش مصنوعی[1] (AI) را وارد مبحث اینترنت اشیاء نمایند تا دستگاه‌ها بتوانند بدون دخالت انسان تصمیمات لازم را اتخاذ نمایند. شاید فاز بعدی در حوزه اینترنت اشیاء، ترکیب این تکنولوژی با هوش مصنوعی باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی پژوهش‌های گذشته نشان داد:

- اینترنت اشیا یک حوزه رو به رشد در کشاورزی دقیق است.
- این تکنولوژی به کشاورزان کمک می‌کند تا مراحل کاشت، داشت و برداشت محصولات کشاورزی را به گونه‌ای موثر از راه دور کنترل نمایند.
- بهره‌گیری از اینترنت اشیاء و شبکه حسگرها منجر به کاهش هزینه‌های تولید شده و درنتیجه افزایش سود حاصله می‌گردد.
- در مهر و موم‌های آینده شاهد حضور حسگرها، عملگرها و دستگاه‌هایی خواهیم بود که از طریق اینترنت به هم مرتبط خواهند شد. این عمل منجر به کاهش هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد.

1 - Artificial Intelligence

مراجع

۱. نصیری اقبالی، آ. ، روش‌های انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه، دانشگاه امیرکبیر

2. Aqeel-ur-Rehman, Shaikh Z. A. 2009. Smart agriculture, Application of Modern High Performance Networks. Bentham Science Publishers Ltd, pp. 120–129.
3. Aqeel-ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., Shaikh, Z. A. 2014. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. Computer Standards & Interfaces, 36(2):263-270.
4. Barbari, M., Conti, L., Koostra, B. K., Masi, G., Sorbetti Guerri, F., Workman, S. R. 2006. The use of global positioning and geographical information systems in the management of extensive cattle grazing. Biosystems Engineering, 95 (2):271–280.
5. Baronti, P., Pillai, P., Chook, V.W.C., Chessa, S., Gotta, A., Fun Hu, Y. 2007. Wireless sensor networks: a survey on the state of the art and the 802.15.4 and Zigbee standards. Computer Communication, 30:1655–1695.
6. Beckwith, R., Teibel, D., Bowen, P. 2004. Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network. In: Proceedings of the Local Computer Networks, 2004, 29th Annual IEEE International Conference, November 16–18, pp.471–478.
7. Bravo, J., Hervas, R., Nava, S.W., Chavira, G., Sanchez, C. 2007. Towards natural interaction by enabling technologies: a near field communication approach. In: European Conference on Ambient Intelligence, Springer, pp. 338–351.
8. Ceken, C. 2008. An energy efficient and delay sensitive centralized MAC protocol for wireless sensor networks. Computer Standards & Interfaces 30 (1–2): 20–31.
9. Chaudhary, D. D., Nayse, S. P., Waghmare, L. M. 2011. Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), 3(1).
10. Dominikus, S., Aigner, M., Kraxberger, S. 2010. Passive RFID technology for the internet of things. In: Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), pp. 1–8.
11. Dursun, M., Ozden, S. 2011. A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. Scientific Research and Essays, 6(7): 1573-1582.
12. Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., Ángel Porta-Gándara, M. 2014. Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. IEEE Transaction of Instrument and Measurement, 63 (1):166–176.
13. Harun, A. N., Mohamed, N., Ahmad, R., Ani, N. N. 2019. Improved Internet of Things (IoT) monitoring system for growth optimization of Brassica chinensis. Computers and Electronics in Agriculture, 164:104836.
14. Huircan, J. I., Munoz, C., Young, H., Dossow, L.V., Bustos, J., Vivallo, G., Toneatti, M. 2010. Zigbee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields. Computers and Electronics in Agriculture, 74:258–264.
15. Jiang, W. 2015. A diagnostic tool for the causes of packet corruption in wireless sensor networks (Master's thesis). Mid Sweden University, Department of Information and Communication Systems.
16. Khanna, A., Kaur, S. 2019. Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 157: 218–231.
17. Kolokotsa, D., Saridakis, G., Dalamagkidis, K., Dolianitis, S., Kaliakatsos, I. 2010. Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses. Energy Conversion and Management, 51:155–168.

18. Lewis, F. L. 2004. Wireless sensor networks, to appear in Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications. ed. D.J. Cook and S.K. Das, John Wiley, New York.
19. Morais, R., Fernandes, M. A., Matos, S. G., Serodio, C., Ferreira, P.J.S.G., Reis, M.J.C.S. 2008. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. Computers and Electronics in Agriculture, 62: 94–106.
20. Nadimi, E. S., Jorgensen, R. N., Blanes-Vidal, V., Christensen, S. 2012. Monitoring and classifying animal behavior using Zigbee-based mobile ad hoc wireless sensor networks and artificial neural networks. Computers and Electronics in Agriculture, 82: 44-54.
21. Nam, W-H., Kim, T., Hong, E-M., Choi, J-Y., Kim, J-T. 2018. Wireless Sensor Network (WSN) application for irrigation facilities management based on Information and Communication Technologies (ICTs). Computers and Electronics in Agriculture, 143: 185–192.
22. Ojha T., Misra S., Raghuwanshi, N. S. 2015. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. Computers and Electronics in Agriculture, 118: 66–84.
23. Schlecht, E., Hülsebusch, C., Mahler, F., Becker, K. 2004. The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. Applied Animal Behavior Science, 85:185–202.
24. Sun, Y., Li, L., Schulze Lammer, P., Zeng, Q., Lin, J., Schumann, H. 2009. A solar-powered wireless cell for dynamically monitoring soil water content. Computers and Electronics Agriculture, 69:19–23.
25. Tirelli, P., Borghese, N. A., Pedersini, F. , Galassi, G., Oberti, R. 2011. Automatic monitoring of pest insects traps by Zigbee-based wireless networking of image sensors. In: Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2011 IEEE
26. Tzounis, A., Katsoulas, K., Bartzanas, T., Kittas, C. 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Biosytems Engineering, 164:31-48.
27. Wang, N., Zhang, N., Wang, M. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry—recent development and future perspective. Computers and Electronics in Agriculture, 50 (1):1–14.
28. Wu, G., Talwar, S., Johnson, K., Himayat, N., Johnson, K.D. 2011. M2m: from mobile to embedded internet. IEEE Communication Magazine. 49 (4).
29. YangDacheng, W.C.Z. 2010. Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks. Journal of Modern Science and Technology Telecommunication, 7, 005.
30. Liao, M.S., Chen, S.F., Chou, C.Y., Chen, H.Y., Yeh, S.H., Chang, Y.C., Jiang, J.A. 2017. On precisely relating the growth of Phalaenopsis leaves to greenhouse environmental factors by using an IoT-based monitoring system. Computers and Electronic in Agriculture, 136: 125–139.
31. Kabalci, Y., Kabalci, E., Canbaz, R, Calpbinici, A. 2016. Design and implementation of a solar plant and irrigation system with remote monitoring and remote control infrastructures. Solar Energy, 139: 506-517.

Intelligent Agriculture Based on Information Technology, Internet of Objects and Wireless Sensor Networks

Seyyed Saleh Hosseini Harandi [1*], Alireza Kalbasi Nia [1] and Mehrnoosh Jafari [2*]

1. Undergraduate student, Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology
2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract

The increasing demand to improve food quality and quantity, industrialized agriculture and forced farmers to utilize new technologies such as satellites, soil and crop sensors, variable rate and information technology in order to achieve the best agricultural management. Among the existing technologies, internet of things (IoT) and wireless sensor networks have made possible to precisely manage agricultural products and inputs.

In this paper, construction, communication technology, and application of IoT were described. Indeed the functional aspect of IoT is the capability of connecting devices over the Internet. IoT is the future of communication that has transformed Things (Objects) into smarter devices. In addition, Wireless Sensor Networks (WSN) is mentioned because of the diversity of applications in precision agriculture. In addition, in this paper, challenges and future perspective of these technologies were discussed.

Key words: Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN), Radio-Frequency Identification (RFID), Near-Field Communication (NFC)

*Corresponding author
E-mail: m.jafari@iut.ac.ir