Archive of SID

کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت‌اشیاء

غلامرضا فرخی[**]
دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
farrokhi_ghr@yahoo.com

محبوبه گاپله[*]
دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
m_gapeleh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۱
تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۸/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶

چکیده

امروزه با افزایش جمعیت جهان و نیاز به تأمین غذا از یک طرف و کمبود آب، انرژی و زمین‌های قابل کشت از طرف دیگر، کشاورزی سنتی دیگر پاسخگوی نیاز غذایی جمعیت جهان نیست از این‌رو کشاورزی هوشمند بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. اینترنت‌اشیاء یک فناوری نوین است که قادر به ارائه راه‌حل‌های بسیاری برای مدرنیزاسیون کشاورزی می‌باشد. فناوری اینترنت‌اشیاء اطلاعات قابل اطمینانی در مورد بذری که باید کشت شود، میزان بذر، بهترین زمان کاشت و برداشت و همچنین پیش‌بینی میزان محصولی که برداشت می‌شود به کشاورز ارائه می‌دهد. در این مقاله، با مطالعه تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده از طریق جمع‌آوری داده‌ها با روش کتابخانه‌ای و مطالعه منابع علمی در زمینه فناوری اینترنت‌اشیاء و همچنین زیرساخت‌های لازم جهت استقرار و نیز پتانسیل و ظرفیت‌های این فناوری در حوزه کشاورزی پرداخته شده است. در پژوهش حاضر به مرور مزایای بکارگیری اینترنت‌اشیاء در بخش کشاورزی هوشمند از جمله افزایش عملکرد محصول ناشی از برنامه‌ریزی مناسب زمان کاشت بذر، برداشت محصول، بهینه‌سازی مصرف آب پرداخته شده است. همچنین برنامه‌ریزی جهت به‌کارگیری روش‌های مناسب آبیاری با توجه به میزان آب مورد نیاز هر گیاه و هر منطقه آب و هوایی، شناسایی به‌هنگام آفات و بیماری‌های گیاهی و اعلام هشدارهای لازم به کشاورز جهت تصمیم‌گیری و انجام اقدامات لازم برای دفع آفات با بهره‌مندی از اطلاعات دریافتی از حسگرهای مستقر در مزرعه از دیگر مزایایی است که در این پژوهش به آن پرداخته شده است.

واژگان کلیدی

اینترنت‌اشیاء؛ شبکه‌های حسگر بی‌سیم؛ کشاورزی دقیق؛ کشاورزی هوشمند؛ نظارت آنلاین.

۱- مقدمه

تعاریف مختلفی برای اینترنت‌اشیاء (IoT)[1] ارائه شده است. در اینترنت‌اشیاء، حسگرهایی به اشیاء متصل می‌شود تا بتوان آنها را از راه دور کنترل و نظارت نمود و در نهایت اطلاعات جمع‌آوری شده توسط آنها در کامپیوتر یکپارچه‌سازی می‌شود [۱]. فناوری اینترنت‌اشیاء به سرعت در حال رشد است و پیش‌بینی می‌شود که در آینده یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در منطق کسب و کار و نیز در تمام صنایع باشد. اینترنت‌اشیاء، منجر به افزایش کارایی و دقت، توأم با سود اقتصادی بیشتر و کاهش مداخلات انسانی می‌شود.

برنامه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء می‌توانند بین انسان‌ها، بین انسان‌ها و اشیاء، بین اشیاء و اشیاء توسعه پیدا کنند. الگوی فناوری اینترنت‌اشیاء مبتنی بر این اصل است: "هر شیئی شناسایی می‌شود، ارتباط برقرار می‌کند و با اشیاء دیگر تعامل برقرار می‌کند" [۲].

در حال حاضر حدود ۴/۶ بیلیون دستگاه متصل وجود دارد (به استثنای گوشی‌ها، تبلت‌ها و لپ‌تاپ‌ها) و همچنین براساس گزارش موبایل اریکسون انتظار می‌رود که در ۵ سال آینده این تعداد به ۱۵/۳ بیلیون افزایش یابد. براساس گزارش هوش تجارت داخلی، تا سال ۲۰۲۰ تعداد دستگاه‌های متصل به اینترنت‌اشیاء به ۳۴ بیلیون دستگاه در سراسر جهان می‌رسد. برنامه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء در هر صنعت از جمله برنامه‌های کاربردی برای خانه‌های هوشمند، ساختمان‌های هوشمند، حمل و نقل، بهداشت و مراقبت شخصی، خرده‌فروشی، کشاورزی هوشمند، صنعت ساخت و ساز یافت می‌شود [۳]. با توجه به توسعه سریع اینترنت‌اشیاء، این فناوری در هر صنعتی که وارد شود همراه با کسب سود و منفعت خواهد بود [۴]. اینترنت‌اشیاء امکان دسترسی سریع به دستگاه‌های متصل‌شده را از هر نقطه از دنیا و در هر زمانی فراهم می‌سازد. ضمن اینکه مداخلات انسانی را به حداقل ممکن کاهش می‌دهد و همین مسأله انجام بسیاری از کارهای غیرممکن را ممکن می‌سازد و کارایی را تا حد امکان افزایش می‌دهد [۵]. در تحقیقی که توسط نارش و مناسوامی

1. Internet of Things

[*] نویسنده مسئول- مربی گروه کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفرش، ایران
[**] مربی گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تفرش، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۱۹) انجام گردید یک سیستم کشاورزی هوشمند مبتنی بر فناوری اینترنت‌اشیاء ارائه شد که نتایج تحقیق افزایش عملکرد تولید، کارایی مصرف آب و استفاده از سموم را نشان می‌دهد [۶].

۲- هدف پژوهش

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیرات بکارگیری فناوری اینترنت‌اشیاء در حوزه کشاورزی هوشمند می‌باشد.

۳- سؤال پژوهش

فناوری اینترنت‌اشیاء چه تأثیراتی در کشاورزی هوشمند خواهد داشت؟

۴- روش پژوهش

این پژوهش یک پژوهش مروری می‌باشد و برای گردآوری داده‌ها از روش کتابخانه‌ای و مطالعه اسناد و منابع علمی در زمینه فناوری اینترنت‌اشیاء، پتاسیل و ظرفیت این فناوری در حوزه کشاورزی و کاربردهای فناوری اینترنت‌اشیاء در کشاورزی هوشمند استفاده گردیده است. در نهایت برای تحلیل کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت‌اشیاء این اسناد و منابع بررسی و تحلیل گردید.

۵- اینترنت‌اشیاء

اینترنت‌اشیاء تغییرات بزرگی را در کشاورزی ایجاد کرده و جایگاه برجسته‌ای در آن به‌دست آورده است. اینترنت‌اشیاء یک شبکه مشترک از اشیاء است که می‌توانند از طریق اینترنت بدون هیچ‌گونه کمک و یا تعامل انسانی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند [۷]. اهمیت کشاورزی در دهه‌های آینده، بیشتر از همیشه خواهد بود. طبق گزارش سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد، جهان نیاز به افزایش ۷۰ درصدی در تولید مواد غذایی در سال ۲۰۵۰ دارد تا بتواند نیاز جمعیت ۹/۶ میلیارد نفری جهان را تأمین کند [۸]. صنعت کشاورزی مسئول تأمین غذا است. برای پاسخگویی به این تقاضا، فناوری‌های زیادی با اینترنت‌اشیاء تطبیق یافته‌اند. کشاورزی هوشمند می‌تواند به کاهش تلفات، استفاده بهینه از کود و در نتیجه افزایش عملکرد محصول و در عین حال جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک کند. فناوری اینترنت‌اشیاء می‌تواند هزینه را کاهش و بهره‌وری کشاورزی را افزایش دهد.

فناوری اینترنت‌اشیاء از سه لایه تشکیل شده است؛ لایه حسگر (ادراک)، لایه شبکه (انتقال داده) و لایه کاربرد (ذخیره و دستکاری داده‌ها). با وجود پیشرفت‌های زیادی که در فناوری اینترنت‌اشیاء اتفاق افتاده این فناوری همچنان در حال تحول است و تلاش می‌شود تا این فناوری شکل نهایی خود را بدست آورد [۹]. همانطور که واژه «اینترنت» در اصطلاح «اینترنت‌اشیاء» نشان می‌دهد، قابلیت شبکه یکی از ویژگی‌های اصلی دستگاه‌های اینترنت‌اشیاء محسوب می‌شود. همانطور که می‌دانیم اینترنت عمدتاً به ارتباط میان افراد اشاره دارد درحالی‌که فناوری اینترنت‌اشیاء به برقراری ارتباط میان اشیاء تمرکز دارد و بسیاری از ارتباطات در این فناوری به صورت ماشین با ماشین (M2M) است.

۵-۱- لایه اول: لایه ادراک (حسگر)

لایه ادراک پایین‌ترین لایه است. در این لایه از فناوری‌هایی مانند شبکه حسگرهای بی‌سیم (WSN)[1] و شناسایی با استفاده از امواج رادیویی (RFID)[2] استفاده می‌شود.

۵-۲- لایه دوم: لایه شبکه

وظیفه این لایه تأمین امکانات شبکه‌ای مورد نیاز است. این لایه امکان مبادله حجم بالای داده‌هایی که در فناوری اینترنت‌اشیاء توسط حسگرهای بی‌سیم و دستگاه‌های هوشمند تولید می‌شود را فراهم می‌کند [۱۰].

۵-۳- لایه سوم: لایه کاربرد

وظیفه تجزیه و تحلیل داده‌های دریافتی، کنترل امنیت و دسترسی به داده‌ها، مدل‌سازی فرایندها و مدیریت دستگاه‌ها، مدیریت جریان داده‌ها و اطلاعات و همچنین یکپارچه‌سازی مکانیزم‌های دستیابی به اطلاعات به عهده این لایه است. نشانی‌دهی منحصربفرد هر یک از اشیاء متصل‌شده در فناوری اینترنت‌اشیاء بسیار حائز اهمیت است. نکته‌ای که در اینجا باید مدنظر قرار گرفته شود این است که اضافه‌کردن دستگاه‌ها و یا شبکه‌های جدید به اینترنت‌اشیاء نباید روی کارایی شبکه، عملکرد سایر دستگاه‌ها و قابلیت اعتماد انتقال داده‌ها در شبکه و موارد مشابه تأثیر بگذارد. یکی از چالش‌های بزرگ فناوری اینترنت‌اشیاء، ناهمگنی است. چشم‌انداز فناوری اینترنت‌اشیاء این است که بیلیون‌ها دستگاه با تنوع بسیار زیاد از نظر مشخصات فنی، قدرت محاسباتی دستگاه بتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. میان‌افزار به‌عنوان یک پل ارتباطی، امکان مبادله اطلاعات بین حسگرهای ناهمگن با شبکه مورد استفاده را فراهم می‌کند [۱۱].

۶- نیاز به دیجیتالی‌کردن کشاورزی

در کشاورزی سنتی با توجه به اینکه بسیاری از مسائل قابل پیش‌بینی نیست و همچنین عدم دسترسی مناسب کشاورز به اطلاعات دقیق نمی‌توان جلوی بسیاری از خسارات و تلفات را گرفت و همین امر باعث کاهش بهره‌وری می‌شود. راه‌حل کشاورزی سنتی نمی‌تواند پاسخگوی نیاز غذایی امروز مردم جهان باشد. اینترنت‌اشیاء نقش حیاتی در تأمین نیاز رو به رشد مواد غذایی در کشاورزی ایفا می‌کند و نتیجه بکارگیری این فناوری، بهبود بهره‌وری در استفاده مؤثر از منابع (مانند خاک، کود و آفت‌کش‌ها)، نظارت بر دام، پیش‌بینی آفات و بیماری‌ها، قابلیت اسکن ذخایری مانند مخزن آب، نظارت بر محصولات خواهد بود [۱۲]. کشاورزی هوشمند با کاهش هزینه، بهره‌وری را افزایش می‌دهد. کشاورزان از

1. Wireless Sensor Network
2. Radio Frequency Identification

www.SID.ir

Archive of SID

فناوری‌های مختلف از جمله حسگرها، هواپیماهای بدون سرنشین، آبیاری هوشمند، نقشه‌برداری، تراکتورهای خودراهبرد و GPS، استفاده می‌کنند تا بتوانند به تولید کارآمدتر و پایدارتری در کشاورزی دست یابند. در دهه‌های آینده برای افزایش تولید مواد غذایی، فشارهای سنگینی بر روی مزارع کشاورزی وارد خواهد آمد. حوزه کشاورزی با بکارگیری اینترنت‌اشیاء نقش مهمی در تغییرات دهه‌های اخیر خواهد داشت. اینترنت‌اشیاء گام‌های بزرگی برداشته و نقش برجسته‌ای در کشاورزی به منظور بهبود تولید از طریق کاهش هزینه و فراهم‌سازی امکان نظارت بر مزرعه از راه دور خواهد داشت [۱۳]. در کشاورزی هوشمند علاوه بر نظارت بر محصول، نظارت بر آب و هوا و آبیاری هوشمند، بسیاری از فعالیت‌های دیگر کشاورزی به راحتی با استفاده از اینترنت‌اشیاء قابل انجام خواهد بود (شکل ۱). در کشاورزی هوشمند، داده‌های محیطی زمین‌های کشاورزی با استفاده از حسگرها، میکروکنترلرها، فرستنده‌ها، هواپیماهای بدون سرنشین و غیره، دریافت، پردازش و به دقت اندازه‌گیری می‌شوند [۱۴].

۶-۱- بهره‌وری

کشاورزی هوشمند یک کلمه مبهم و در عین حال محبوب در میان کشاورزان است. اینترنت‌اشیاء در هوشمندتر، کارآمدتر و اقتصادی‌تر کردن کشاورزی نقش کلیدی دارد. امروزه با توجه به کمبود آب و محدودیت‌های موجود در مصرف انرژی و زمین‌های قابل کشت، افزایش بهره‌وری عملکرد در هر هکتار از زمینی که به تولید مواد غذایی اختصاص داده شده، بسیار ضروری است. کشاورزان با مسائل و چالش‌های زیادی مواجه هستند به نحوی که کشاورزی سنتی دیگر پاسخگوی نیاز جهانی به افزایش تولید مواد غذایی نیست. کشاورزان به منظور غلبه بر مشکلات کشاورزی و افزایش بهره‌وری، تکنیک‌های مختلف مبتنی بر اینترنت‌اشیاء را در زمین‌های زراعی موجود به‌کار می‌گیرند. فناوری اینترنت‌اشیاء به جمع‌آوری اطلاعات در مورد شرایطی مانند آب و هوا، رطوبت، درجه حرارت و میزان باروری خاک کمک می‌کند. نظارت آنلاین بر محصول می‌تواند امکان شناسایی به موقع علف‌های هرز، تعیین سطح آب، تشخیص آفات، ورود حیوانات و حشرات مهاجم به مزرعه و همچنین رشد محصولات کشاورزی را فراهم کند. اینترنت‌اشیاء سیستم‌های کشاورزی هوشمند را قادر می‌سازد تولید محصول خود را به حداکثر برسانند، سیستم‌ها را برای عملیات روزمره کشاورزی خودکار سازند و امکان نظارت آنلاین و بلادرنگ بر فعالیت‌های کشاورزی و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تصمیم‌گیری هوشمند را فراهم می‌سازد.

۶-۲- کنترل آفات

هر محصول به شرایط آب و هوایی متفاوتی نیاز دارد و باید در زمان مناسب اقدامات نظارتی برای آن انجام شود. محصول باید از آفات و علف‌ها دور نگهداشته شود. محصول سالم حداکثر عملکرد را تولید می‌کند و در غیر اینصورت کشاورزان زیان مالی بزرگی را متحمل خواهند شد. تشخیص به موقع آفت و بیماری در گیاهان بسیار ضروری است. حسگرهای کنترل آفات، پارامترهای محیطی و رشد آفات را مانیتور می‌کنند [۱۵]. با استقرار اینترنت‌اشیاء مجهز به حسگرهای کنترل آفت، کشاورزان می‌توانند اطلاعات کامل مربوط به حمله آفات را دنبال کنند. براساس داده‌های دریافتی، آفت‌کش‌ها به‌طور خودکار در مزرعه اسپری می‌شوند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم بر توسعه آفات نظارت می‌کنند و براساس رشد آفات، سیستم میزان مواد شیمیایی مورد نیاز را اندازه‌گیری کرده و به‌طور خودکار آن را فعال و از این طریق سلامتی محصول را حفظ و از ورود مقدار زیاد سم به اکوسیستم گیاهان جلوگیری می‌کند.

شکل ۱- مزایای فناوری اینترنت‌اشیاء در کشاورزی

۶-۳- حفاظت و نگهداری از محصولات

در کشاورزی به‌منظور تضمین حداکثر عملکرد محصول، فعالیت‌های بسیاری لازم است انجام شود و این مسأله کاملاً وابسته به آبیاری مناسب براساس شرایط آب و هوایی، مدیریت آفات و بیماری‌ها، مدیریت محصول و سایر موارد می‌باشد. در کشاورزی سنتی، کشاورزان در کنار مسأله آبیاری مناسب و سایر فعالیت‌ها، گاهی اوقات با حوادثی مانند خشکسالی، سیل یا حمله آفت نیز مواجه می‌شوند. به‌منظور غلبه بر چنین مشکلاتی، لازم است که کشاورزان دقت زیادی داشته باشند و تصمیم‌گیری‌های به موقع و درست نقش بسیار مهمی در میزان بهره‌وری و تولید محصول خواهد داشت. فناوری اینترنت‌اشیاء دقت لازم را تضمین می‌کند. اینترنت‌اشیاء با جمع‌آوری بلادرنگ داده‌های دریافتی از حسگرها و تجزیه و تحلیل آنلاین آنها می‌تواند تلفات را کاهش دهد، همچنین با جلوگیری از آبیاری زیاد و یا کم به مدیریت هزینه‌های آب کمک می‌کند. علاوه بر این، دستگاه‌های اینترنت‌اشیاء بی‌سیم تعبیه‌شده و سیستم‌های مانیتور خاک، به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا میزان رطوبت خاک را اندازه‌گیری، همچنین مصرف انرژی، آفات و بیماری‌ها را در زمان بلادرنگ مدیریت کنند. فناوری هوشمند، انجام این فعالیت‌ها را از راه دور تسهیل

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند. با استقرار و بکارگیری حسگرهای از راه دور، کشاورزان می‌توانند با توجه به درجه حرارت خاک، رطوبت، شرایط آب و هوایی، برای کشت، آبیاری و زمان برداشت برنامه‌ریزی کنند. در چنین محیط ایده‌آلی، کشاورزان می‌توانند سلامت محصول را حفظ و بهره‌وری را افزایش دهند.

۶-۴- ردیابی زنجیره تأمین مواد غذایی

کشاورزی مدرن روز به روز تمایل بیشتری برای صنعتی‌شدن پیدا می‌کند. بنابراین، برای اطمینان از ایمنی و کیفیت غذا لازم است استانداردهایی ایجاد شود. این نیاز منجر به افزایش توجه به سیستم‌های ردیابی زنجیره تأمین مواد غذایی شده است. فناوری‌های اینترنت‌اشیاء راه‌حل‌های بسیاری برای کمک به ساخت، پشتیبانی و نگهداری چنین سیستم‌هایی ارائه می‌کند. تحولات اخیر در تجارت الکترونیکی موجب تقویت فعالیت‌های پژوهشی مختلف در بخش زنجیره تأمین شده است. RFID رایج‌ترین فناوری مبتنی بر اینترنت‌اشیاء در زنجیره تأمین مواد غذایی (FSC)[1] است. برچسب‌های RFID، که به‌عنوان بارکدهای پیشرفته عمل می‌کنند، ردیابی محصولات کشاورزی را امکان‌پذیر می‌کنند. یک مسأله رایج در اینترنت‌اشیاء، ماهیت توزیع‌شده آن و جریان ناهمگام و ناهمگن اطلاعات است. تحقق زیرساخت‌های مبتنی بر اینترنت‌اشیاء منجر به مجازی‌سازی زنجیره‌های عرضه می‌شود، زیرا در این فناوری دیگر نیازی به مجاورت فیزیکی نیست. سیستم‌های کاملاً خودکار، طرح‌های هوشمند و استدلال خودکار مبتنی بر پدیده‌های اندازه‌گیری شده و هوش‌مصنوعی را پیشنهاد می‌کنند. امروزه روش‌های مختلفی برای سازماندهی یک سیستم اطلاعات مدیریت FSC، همچنین طراحی سیستمی که سود اقتصادی را به حداکثر برساند، براساس راه‌حل مبتنی بر اینترنت‌اشیاء ارائه شده است.

۷- کاربرد اینترنت‌اشیاء در حوزه کشاورزی هوشمند

اینترنت‌اشیاء با بهره‌گیری از طیف وسیعی از تکنیک‌ها، کشاورز را قادر می‌سازد با چالش‌هایی که در این حوزه وجود دارد روبرو شود و به این طریق صنعت کشاورزی را بسیار توانمند کرده است. با استفاده از فناوری اینترنت‌اشیاء، کشاورزان می‌توانند در هر زمان و در هر مکان تنها با استفاده از یک گوشی هوشمند به مزرعه خود متصل شوند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای نظارت بر مزرعه استفاده می‌شوند و از میکروکنترلرها برای کنترل و اتوماسیون فرایندهای کشاورزی استفاده می‌شود [۱۶]. از دوربین‌ها و حسگرهای بی‌سیم برای مشاهده مزرعه از راه دور در قالب تصاویر و ویدئو استفاده می‌شود. همچنین یک کشاورز می‌تواند با استفاده از یک تلفن هوشمند در هر زمان و از هر کجای دنیا از شرایط فعلی زمین کشاورزی که از فناوری اینترنت‌اشیاء استفاده می‌کند مطلع شود. فناوری‌های اینترنت‌اشیاء می‌توانند هزینه را کاهش و بهره‌وری را افزایش دهند [۱۷]. حسگرهای هوشمند به منظور نظارت، آبیاری، مدیریت آفات، پیش‌بینی آب و هوا برای اطمینان از کیفیت نهایی محصول کاشته‌شده استفاده می‌شوند. مجموعه دیگری از فناوری‌های اینترنت‌اشیاء وجود دارد که از آنها برای ردیابی شرایط تجهیزات کشاورزی؛ سیستم آبیاری هوشمند با توجه به اطلاعات مرتبط با درجه حرارت و رطوبت؛ تشخیص و ردیابی آفات برای تنظیم سریع سیستم کنترل آفات استفاده می‌شود. برنامه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء که شامل کشاورزی دقیق[2]، نظارت بر محصول، نظارت بر مزرعه، ردیابی وسایل نقلیه کشاورزی، نظارت بر دامداری، نظارت بر مخازن و سایر موارد است از اهمیت زیادی برخوردارند. به‌عنوان مثال حسگرهای خاک، کشاورزان را از شرایط غیرطبیعی و نامنظم خاک مانند اسیدیته بالا آگاه می‌کنند، و این فرصت را به کشاورز می‌دهد که برای حل مشکل، تصمیم مناسبی بگیرد و تولید محصول را بهبود دهد. در ادامه برخی از کاربردهای اینترنت‌اشیاء مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۷-۱- کشاورزی دقیق

اساس مفهوم کشاورزی دقیق، فناوری اطلاعات است که امروزه در کشورهای پیشرفته از فناوری اینترنت‌اشیاء برای جمع‌آوری و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی در بخش‌های کشاورزی، منابع‌طبیعی و محیط‌زیست فعالیت‌های گسترده‌ای صورت می‌پذیرد. کشاورزی دقیق به بهینه‌سازی و بهبود فرایندهای کشاورزی به منظور حصول اطمینان از حداکثر بهره‌وری کمک می‌کند و برای این منظور به اندازه‌گیری دقیق، سریع، قابل اعتماد و توزیع‌شده نیاز دارد تا اطلاعات دقیقی از وضعیت فعلی مزرعه به‌دست آورد و با بهره‌مندی از ماشین‌آلات اتوماتیک در جهت بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی و استفاده از مواد شیمیایی برای کنترل آفات و بهبود عملکرد گیاهان حرکت می‌کند. کشاورزی دقیق، عمدتاً شامل پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده از مزرعه به منظور تولید محصولات کارآمد می‌باشد [۱۸]. در کشاورزی دقیق کشاورزان اطلاعات را با استفاده از حسگر جمع‌آوری و آنها را برای پیش‌بینی شرایط آتی، تحلیل می‌کنند. داده‌های جمع‌آوری‌شده به برنامه‌ریزی فعالیت‌های کشاورزی کمک می‌کند، همچنین به کشاورزان کمک می‌کند تا اطلاعاتی در مورد اینکه چه بذری باید کاشته شود، میزان کود مورد نیاز، بهترین زمان برداشت و میزان عملکرد مورد انتظار داشته باشد. همچنین با پیاده‌سازی اینترنت‌اشیاء، کشاورزان می‌توانند مزرعه را با استفاده از حسگرها مانیتور کنند تا میزان رطوبت خاک، رشد محصول و میزان خوراک دام را تعیین کنند. حسگرها را می‌توان از راه‌دور مدیریت و از آنها برای کنترل تجهیزات آبیاری استفاده کرد. داده‌هایی که از منابع مختلف مانند حسگرها، ایستگاه‌های هواشناسی و غیره به‌دست می‌آیند در ابر جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل می‌شوند. کاربر می‌تواند با استفاده از گوشی هوشمند از راه دور با این سیستم ارتباط برقرار کند و تصمیمات مناسب را اتخاذ نماید (شکل ۲).

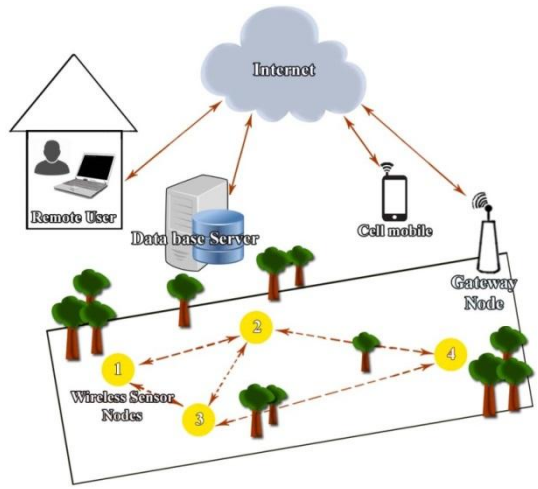
1. Food Supply Chain

2. Precision Agriculture

www.SID.ir

Archive of SID

روش سنتی کشاورزی برای افزایش عملکرد و محافظت از محصولات به ارزیابی مزرعه و گیاهان از نزدیک وابسته است و برای رفع آنها لازم است اقدامات فیزیکی در زمان مناسب انجام شود و همین امر موجب افزایش خطا و کاهش عملکرد می‌شود. اما در کشاورزی دقیق با استفاده از برنامه‌های اینترنت‌اشیاء، بسیاری از اتفاقات را قبل از وقوع پیش‌بینی می‌کند و به کشاورز اجازه می‌دهد براساس اطلاعات جمع‌آوری شده عمل کرده و برنامه‌ریزی کند. فناوری‌های اینترنت‌اشیاء به کشاورزان کمک می‌کند تا کمیت را همراه با کیفیت و پایداری افزایش و هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی را کاهش دهند. کشاورزان همواره با چالش‌هایی مانند کمبود آب و سیل؛ دسترسی محدود به زمین‌های مناسب برای کاشت گیاهان زراعی؛ و مدیریت هزینه‌ها مواجه هستند. پیاده‌سازی سیستم اینترنت‌اشیاء و فناوری‌های مرتبط با آن، می‌تواند باعث کاهش اشتباهات بالقوه کشاورزان و به حداکثر رساندن تولید شود.



شکل ۲- کشاورزی دقیق مبتنی بر فناوری اینترنت‌اشیاء

۷-۲- نظارت بر محصول

حسگرهای اینترنت‌اشیاء قادر به ارائه اطلاعات در مورد رطوبت خاک، درجه حرارت، رطوبت، بارندگی، آفات و تغذیه خاک برای تولید بسیار با ارزش هستند و در طول زمان داده‌های دقیقی برای بهبود روش‌های کشاورزی فراهم می‌کنند. داده‌های جمع‌آوری‌شده از حسگرها این اطمینان را ایجاد می‌کند که تمام عملیات کشاورزی به درستی و به صورت مؤثری اجرا می‌شود. فناوری اینترنت‌اشیاء سیستم نظارت بر محصول را تقویت می‌کند، کشاورزان به راحتی می‌توانند براساس اطلاعات دریافتی فعالیت درست را انجام دهند. در سیستم مزرعه هوشمند مبتنی بر فناوری اینترنت‌اشیاء، حسگرها در مزرعه مستقر می‌شوند. داده‌ها از حسگرها جمع‌آوری می‌شود سپس داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از انتقال بی‌سیم به پایگاه داده وب‌سرور ارسال می‌شود. داده‌ها در قالب نشانه‌گذاری شیء جاوا اسکریپت (JSON)[1] در پایگاه داده سرور کدگذاری می‌شوند. اینترنت اشیاء در کشاورزی منجر به حصول اطمینان از برقراری ارتباط دقیق و به‌موقع داده‌های بلادرنگ می‌شود بنابراین کشاورزان می‌توانند تصمیم‌های مناسب و پویا را در فرایندهای کشاورزی مانند کشت، آبیاری، برداشت بگیرند همچنین کشاورزان قادر خواهند بود اقدامات پیشگیرانه خود را قبل از برنامه‌ریزی کنند. در سیستم نظارت مزرعه هوشمند، حسگرهای مختلفی در زمینه‌های مختلف قرار گرفته‌اند:

- حسگرهایی برای تعیین میزان رطوبت خاک طبق
- حسگرهایی برای کنترل آبیاری آب براساس نیاز گیاه
- حسگرهایی برای شناسایی آفات و میزان کود مورد نیاز
- تعیین زمان بهینه برای کاشت و برداشت
- حسگرهایی برای اطلاع از شرایط آب و هوایی

حسگرها و سایر دستگاه‌ها به منظور دستیابی به بهترین عملکرد در تولید استفاده می‌شوند. ویژگی‌های خاصی که باید در هنگام انتخاب حسگرها مورد توجه قرار گیرد عبارتند از: دقت حسگر و میزان خطای قابل تحمل در داده‌های ارسالی توسط حسگر، شرایط آب و هوایی و رطوبت محیط و نیز شرایط محیطی قابل تحمل توسط حسگر بدون ایجاد خطا در داده‌های دریافتی توسط حسگر، فاصله مجاز بین حسگرها، قیمت و غیره.

یکی از چالش‌هایی که بکارگیری فناوری اینترنت‌اشیاء در کشاورزی با آن مواجه است تجهیزاتی است که در لایه ادراک باید در معرض پدیده‌های مختلف محیطی مانند تابش مستقیم نور آفتاب، دمای بالا، باران یا رطوبت شدید، باد، ارتعاشات و خطرات دیگری که می‌توانند مدارات الکترونیکی را از بین ببرند، قرار بگیرند. حسگرها باید بتوانند با توجه به ظرفیت محدود باتری خود مدت طولانی فعال بمانند، چرا که جایگزینی مکرر باتری حسگرها در مزارعی با مقیاس بزرگ، بسیار دشوار خواهد بود. البته استفاده از انرژی‌های طبیعی (مانند پنل‌های خورشیدی، توربین‌های بادی و غیره) می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز دستگاه‌ها را تأمین کند.

۷-۳- سیستم آبیاری هوشمند

آبیاری مناسب برای کشاورزی بسیار ضروری است، محصولات در هر دو وضعیت آبیاری بیش از حد آب و یا کمبود آب آسیب خواهند دید. تأمین آب در زمان مناسب و به مقدار مناسب برای رشد محصول حیاتی است. فناوری اینترنت‌اشیاء از طریق ادغام سرویس نقشه وب (WMS)[2] و سرویس نظارت حسگر (SOS)[3] کار می‌کند و راه‌حلی برای تأمین نیاز آبی و بهینه‌سازی مصرف آب فراهم کرده است. کشاورزی مبتنی بر اینترنت‌اشیاء، با استفاده از حسگرهای مستقر در خاک، آب مورد نیاز

1. JAVA Script Object Notation
2. Web Map Service
3. Sensor Observation Service

www.SID.ir

Archive of SID

محصول را تجزیه و تحلیل می‌کند و از منابع آب استفاده می‌کند تا میزان هدر رفت آب را کاهش و از محصول محافظت کند.

با استفاده از حسگرهای رطوبت مستقر در خاک، دریچه‌های آب به آسانی می‌توانند آب‌رسانی را مدیریت کنند. حسگر رطوبت به صورت هوشمند میزان رطوبت خاک را اندازه‌گیری می‌کند و براساس داده‌های دریافتی، بدون هیچ مداخله انسانی، به‌طور خودکار عمل می‌کند. همچنین نشت در لوله‌های آب نیز قابل تشخیص خواهد بود. در مناطق خشک مدیریت آب به صورت کارآمدی عمل می‌کند و ارزش اینترنت‌اشیاء در این زمینه از طریق مدیریت هوشمند منابع محدود آب اثبات می‌شود زیرا با محاسبه زمان‌بندی باز و بست شیر آب و ایجاد راهبرد آبیاری بهینه، میزان هدر رفت آب کاهش می‌یابد. همچنین مصرف غیرمجاز آب نیز قابل تشخیص خواهد بود.

فناوری اینترنت‌اشیاء از طریق نظارت بر سیستم‌های آبیاری به کمک فناوری‌های نظارتی از راه دور به حفظ منابع آبی کمک می‌کند و این یکی از بهترین نمونه‌های کاربرد اینترنت‌اشیاء در کشاورزی است. سیستم آبیاری هوشمند با استفاده از کنتر آب و حسگر کار می‌کند براساس میزان رطوبت خاک به صورت خودکار عمل می‌کند، کنتر هوشمند آب و حسگرها به موتور و زمین مزرعه متصل شده‌اند.

کنترهای هوشمند متصل‌شده میزان سطح آب را اعلام می‌کنند و استفاده از آنها می‌تواند به جلوگیری از آبیاری بیش از حد و یا کم مزرعه کمک کند. حسگرهای هوشمند کمک می‌کنند تا از میزان رطوبت خاک اطلاع داشته باشیم، با استفاده از داده‌های دریافت‌شده می‌توان اقدام به خاموش و یا روشن‌کردن دستگاه نمود. کنتر می‌تواند براساس نیاز به آبیاری و سطح منابع آب، به‌طور خودکار روشن یا خاموش شود. علاوه بر این، حسگرهای هوشمند هنگامی که خطا و یا نشتی در سیستم آبیاری شناسایی می‌کنند، به صورت بلادرنگ به کشاورزان هشدار می‌دهند و به آسانی می‌توانند از تخلیه آب جلوگیری کنند. لی سانبو و همکاران در مرکز آموزشی مهندسی تجهیزات، سیستمی را برای برنامه‌ریزی آبیاری و کنترل دقیق آب طراحی کردند که نتیجه این پژوهش کارایی فناوری اینترنت‌اشیاء در مدیریت مصرف آب را نشان می‌دهد [۱۹].

- **کاربرد اینترنت‌اشیاء در کنترل آفات و بیماری‌ها**

از بدو تاریخ کشاورزی، آفات و بیماری‌های گیاهان خسارات زیادی را به بشر وارد کرده است. در سال ۱۸۵۰ یک بیماری شناخته‌شده به نام «بلایت سیب‌زمینی» منجر به بروز قحطی و از بین‌رفتن یک میلیون نفر ایرلندی شد [۲۰]. امروزه خسارات مستقیم ناشی از آفات و بیماری‌ها منجر به کاهش ۱۶ تا ۱۸ درصدی عملکرد تولید جهانی کشاورزی می‌شود [۲۲ و ۲۱]. پیشرفت سریع اینترنت‌اشیاء رویکردهای مؤثری در برخورد با آفات و بیماری‌های گیاهی ارائه داده است [۲۳].

سیستم کنترل آفات و بیماری‌ها شامل سه مرحله است: سنجش، ارزیابی و درمان. در مرحله اول شناسایی آفت و بیماری از طریق حسگرهای مستقر در مزرعه و یا از طریق دستگاه‌های سنجش از راه دور مانند ماهواره و یا هواپیماهای بدون سرنشین انجام می‌شود. در مرحله دوم داده‌های جمع‌آوری‌شده به مرکز مدیریت مستقر در ابر اینترنت‌اشیاء ارسال می‌شود. مرکز مدیریت ترکیبی است از مدل‌های علمی و الگوریتم‌هایی برای پردازش و تحلیل داده‌ها برای ارائه به سیستم‌های خبره شناسایی آفت و بیماری. این مدل‌ها برای مقابله با انواع آفات و بیماری‌ها برای محصولات مختلف طراحی شده‌اند و شامل سیستم نظارتی، هشداردهنده و حتی پیشنهاددهنده مداخله مناسب است. این اطلاعات به روش‌های مختلفی نظیر پیام‌های متنی یا ایمیل در اولین لحظه وقوع در اختیار کشاورز قرار داده می‌شود.

در آخرین مرحله برای درمان آفت و بیماری از تجهیزات و دستگاه‌های اتوماتیک مجهز مبتنی بر اینترنت‌اشیاء برای اسپری سم و کود استفاده می‌شود [۲۴].

۷-۴- نظارت بر دامداری

سیستم نظارت بر دام شامل سخت‌افزار/ نرم‌افزار مبتنی بر فناوری ابر به منظور نظارت از راه دور بر وضعیت سلامتی دام استفاده می‌شود و به تعیین موقعیت دام کمک می‌کند. این سیستم مجهز به یک سیستم هشداردهنده است. در شرایطی که هر یک از پارامترهای از پیش تعیین‌شده درصد مشخصی از مقدار مجاز خود تجاوز کند از طریق تلفن، پیام یا ایمیل به کاربران هشدار می‌دهد. در نتیجه، کاربران می‌توانند به راحتی در زمان بلادرنگ از خانه‌ها یا دفاتر خود، از طریق تلفن هوشمند، به اطلاعات دسترسی پیدا کنند. سیستم اینترنت‌اشیاء نظارت بر دامداری شامل جاسازی دستگاه‌هایی در بدن حیوانات است که اطلاعات جامعی در مورد بدن آنها و نیز اطلاعات مربوط به سلامت دام را جمع‌آوری می‌کند. سیستم‌های نظارتی دام برای تولید گاو، جوجه گوشتی، گوشت خوک و شیر استفاده می‌شود. برنامه‌های کاربردی بی‌سیم اینترنت‌اشیاء به کشاورزان کمک می‌کند تا اطلاعات مربوط به سلامت و موقعیت دام را جمع‌آوری کنند و به این ترتیب کشاورزان می‌توانند موقعیت، تعداد و سایر اطلاعات مربوط به دام را در دامداری ردیابی کنند. از این سیستم برای کنترل بو و گازهای خطرناک نیز استفاده می‌شود. سیستم نظارت بر دام این اطمینان را می‌دهد که در زمان بلادرنگ حیوانات بیمار شناسایی شوند سپس با جداسازی آنها از گله از گسترش بیماری جلوگیری می‌کند. افزایش کیفیت تولید و عملکرد همچنین حفظ محیط‌زیست از نتایج بکارگیری اینترنت‌اشیاء در دامداری‌ها خواهد بود. کاربردهای جدیدی مانند مرغداری هوشمند، گاوداری هوشمند و صنایع آبزی‌پروری هوشمند در سراسر جهان در حال توسعه است [۲۵].

۷-۵- سیستم نظارت بر آب و هوا

شرایط محیطی و آب و هوا یکی از تأثیرگذارترین عوامل در تولید محصول می‌باشد. براساس سیستم نظارت بر آب و هوا مبتنی بر فناوری

www.SID.ir

Archive of SID

اینترنت‌اشیاء، کشاورزان می‌توانند بهترین زمان برای کاشت، آبیاری و برداشت را تعیین کنند [۲۶].

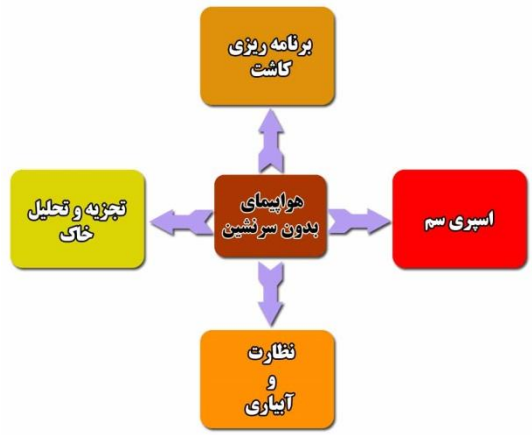
در برنامه‌های کاربردی اینترنت‌اشیاء، مدل‌های پیش‌بینی آب و هوا با استفاده از حسگرها ساخته می‌شوند. با بکارگیری حسگرهای بی‌سیم که در مزرعه قرار می‌گیرند، کشاورزان می‌توانند اطلاعاتی در مورد شرایط آب و هوایی از جمله وضعیت درجه حرارت خاک، رطوبت، درجه حرارت هوا به‌دست آورند. براساس این داده‌ها، کشاورزان می‌توانند برنامه‌ریزی کرده و در صورت لزوم زمان برداشت و زمان آبیاری را برای بهبود عملکرد گیاه تغییر دهند. با سازماندهی و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده، کشاورزان می‌توانند اقدامات پیشگیرانه‌ای را برای برداشت سالم محصولات خود انجام دهند.

۷-۶- هواپیماهای بدون سرنشین هوشمند

کشاورزی دقیق مبتنی بر ترکیب فناوری‌های پیشرفته در مدیریت محصول و مدیریت هوشمند دامداری است تا عملکرد را افزایش دهد. هواپیماهای بدون سرنشین بخشی از راه‌حل فناورانه کشاورزی دقیق هستند. هواپیماهای بدون سرنشین در مزرعه برای تجزیه و تحلیل دقیق خاک استفاده می‌شوند که در برنامه‌ریزی الگوهای کاشت دانه مفید هستند. پس از کاشت، تجزیه خاک با استفاده از هواپیمای بدون سرنشین داده‌هایی را برای مدیریت آبیاری فراهم می‌کند [۲۷].

هواپیماهای بدون سرنشین در کاشت مفید هستند به این صورت که کشاورزان می‌توانند به همراه دانه‌ها، مواد مغذی گیاهی و کود را به خاک برسانند. هواپیماهای بدون سرنشین مزرعه را اسکن و میزان آب مورد نیاز را اسپری می‌کنند و همچنین بر محصولات مزارع نظارت می‌کنند. هواپیماهای بدون سرنشین مدیریت بهتر محصول را تقویت می‌کنند و می‌توانند کارایی تولید را بهبود بخشند [۲۸].

هواپیماهای بدون سرنشین می‌توانند آبیاری را براساس شرایط آب و هوایی انجام دهند. علاوه بر این، هواپیماهای بدون سرنشین متصل می‌توانند برای اسپری آفت‌کش‌ها در زمان شناسایی آفات و علف‌های هرز و نیز نظارت بر محصول در طول زمان استفاده شوند. (شکل ۳)



شکل ۳- کاربرد هواپیمای بدون سرنشین هوشمند در کشاورزی

۷-۷- تراکتورسازی اتوماتیک مجهز به GPS

کشاورزی هوشمند یک مفهوم است که به سرعت در کشاورزی رواج یافته است. ناوبری مبتنی بر GPS برای نظارت لحظه‌ای بر تراکتور به‌کار می‌رود. داده‌های بلادرنگ تولیدشده توسط دستگاه‌های GPS و حسگرهای متصل در مزرعه و در تجهیزات کشاورزی مانند تراکتور، در سیستم‌های مبتنی بر ابر ذخیره شده و کشاورزان می‌توانند در قالب نمودار و گزارش از این داده‌ها برای بهبود عملکرد محصول و استفاده بهینه از آب استفاده کنند. تراکتورهای مجهز به GPS و بدون راننده یکی دیگر از کاربردهای اینترنت‌اشیاء است که نتیجه بکارگیری آن افزایش کارآمدی و کاهش مداخلات انسانی است [۲۹].

۸- نتیجه‌گیری

امروزه با گسترش جمعیت جهان و نیاز به تأمین غذا برای انبوه جمعیت، روش‌های سنتی کشاورزی دیگر پاسخگوی نیاز غذایی جمعیت جهان نیست و از این‌رو راهبرد کشاورزی هوشمند بسیار مورد توجه قرار گرفته است. گرچه در سال‌های اخیر، کشورهای صنعتی با هدف بهبود بهره‌وری به استفاده از روش‌های نوین کشت و برداشت محصولات روی آورده‌اند، اما انتظار می‌رود با هوشمندسازی فرایندها و کشاورزی هوشمند، بیش از پیش بر استفاده بهینه از منابع و افزایش بهره‌وری تمرکز شود.

ارایه راهکارهای مبتنی بر اینترنت‌اشیاء، می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا با اتخاذ تصمیمات هوشمندتر، عملکرد تولید را افزایش و هزینه‌ها را کاهش داده و نهایتاً به ایجاد ارزش‌افزوده برای مشتریان و کشاورزان می‌انجامد. گزارش مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سیاست غذایی نشان می‌دهد که فناوری‌های کشاورزی می‌توانند تولید جهانی محصولات کشاورزی را افزایش دهد. در ده سال آینده، انتظار می‌رود که بازار کشاورزی هوشمند شاهد رشد چهار برابری باشد (تا پایان سال ۲۰۲۶، این بازار به ۴۰ بیلیون دلار خواهد رسید). بخش سخت‌افزاری صنعت در صف نخست این پیشرفت قرار خواهد گرفت و به سهمی بیش از ۵۰ درصد در راه‌حل‌های فناورانه خواهد رسید. در چند سال آینده شاهد استفاده روزافزون از این فناوری و سایر فناوری‌های هوشمند کشاورزی خواهیم بود. با استقرار دستگاه‌های اینترنت‌اشیاء در دنیای کشاورزی، میزان رشد سالیانه ۲۰ درصدی تجربه می‌شود [۳۰].

علیرغم اینکه مفهوم اینترنت‌اشیاء در کشاورزی جدید است، مزایای کشاورزی هوشمند و قابلیت استفاده از اینترنت‌اشیاء، منجر به افزایش محبوبیت این فناوری در کشاورزی شده است. اینترنت‌اشیاء به کشاورزان کمک می‌کند تا با چالش‌هایی چون کمبود آب مقابله کنند. دسترسی محدود به زمین‌های مناسب برای کشت گیاهان زراعی، مدیریت آبیاری و آفات و همچنین مدیریت هزینه‌ها از طریق اجرای سیستم‌ها و فناوری اینترنت‌اشیاء منجر به کاهش اشتباهات انسانی و به حداکثر رساندن عملکرد با یک روش کارآمد می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بکارگیری اینترنت‌اشیاء در کشاورزی تولید غذا را تا ۷۰٪ افزایش داده و غذای بیش از ۹/۶ بیلیون نفر را تأمین کند و همین امر نشان‌دهنده نقش غیرقابل انکار کشاورزی هوشمند و تأثیر فناوری اینترنت‌اشیاء در افزایش عملکرد تولید محصولات کشاورزی می‌باشد [۳۱].

۹- مراجع

1- "FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)," 2016, Available: http://www.fao.org/home/en.
2- K. Ayush, Suchetha, B., Sushila,. S, Akshay, M., "Implementation of IoT (Internet of Things) and Image processing in smart agriculture," presented at the International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS), 2016.
3- T. Baranwal, Nitika, R., Pateriya, P.K., "Development of IoT based smart security and monitoring devices for Agriculture," presented at the 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), 2016.
4- A. Botta, de Donato, W., Persico, V., Pescape, A., "Integration of cloud computing and internet of things: Asurvey.," Future Generation Computer Systems, vol. 56, p. 7, 2016.
5- D. Burrus, "The Internet of Things Is Far Bigger Than Anyone Realizes," 2016.
6- CEMA. (2016). Available: http://cema-agri.org
7- esri.com. (2016). Farming the Future. Available: http://www.esri.com/library/ebooks/farming-the-future.pdf
8- N. Gondchawar, Kawitkar, R .S, "IoT based Smart Agriculture," International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, vol. 5, no. 6, p. 12, 2016.
9- Q. F. Hassan, Riad, A. M., and Hassan, A. E. , "Understanding Cloud Computing," in Software Reuse in the Emerging Cloud Computing Era, 2012, pp. 204-227.
10- IoTworm.com. (2016). Agriculture Internet of Things (IoT) Technology Applications. Available: http:// IoTworm.com/agriculture-internet-of-things-IoT-technology-applications
11- M. Junyan, Xingshe, Z., Shining, L., Zhigang, L., "Connecting Agriculture to the Internet of Things through Sensor Networks," presented at the IEEE International Conference, 2011.
12- N. Li, Zhang, N., Das, S.K., Thuraisingham, B., "Privacy preservation in wireless sensor networks: A state-of-the-art survey," Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 8, p. 14, 2009.
13- D. Miorandi, Sicari, S., De Pellegrini, F., Chlamtac, I., " Internet of things: Vision, applications and research challenges," Ad Hoc Networks, vol. 10, no. 7, p. 19, 2012.
14- S. Mittal. (2016) IoT ecosystem: How the IoT market will explode by 2020. Available: http://blog.beaconstac.com/2016/03/IoT-ecosystem-IoT-business-opportunities-and-forecasts-for-the-IoT-market
15- M. Mohd Kassim, Mat, I., Harun, A.N., "Wireless Sensor Network in precision agriculture application," presented at the International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), Jeju, South Korea, 2014.
16- MUMBAI, "India set to become water scarce by 2025," 2016, Available: http://www.thehindu.com.
17- M. Naresh, Munaswamy, P., "Smart Agriculture System using IoT Technology," International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), vol. 7, no. 5, p. 5, 2019.
18- G. Nikesh, Complexion, R., "IoT based agriculture," Overall Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, vol. 5, no. 2, p. 5, 2016.
19- A. Nurzaman, Debashis, D., Iftekhar, H., "Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas," IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, vol. 5, no. 6, p. 10, 2018.
20- R. Oberti, Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona, E., Hočevar, M., Baur, J., Pfaff, J., Schütz, .C, "Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot," Journal of Agricultural Engineering vol. 146, no. 2, p. 13, 2016.
21- E.-C. OERKE, "Crop losses to pests," The Journal of Agricultural Science, vol. 144, no. 1, p. 13, 2006.
22- J. R. O'Neill, Irish Potato Famine, ABDO. BDO Publishing Co, 2009.
23- A. Salehi, Jimenez-Berni, J., Deery, D.M., Palmer, D., Holland, E., Rozas-Larraondo, P., Chapman, S.C., Georgakopoulos, D., Furbank, SensorDB, R.T., "A virtual laboratory for the integration, visualization and analysis of varied biological sensor data," Plant Methods, vol. 11, no. 53, p. 14, 2015.
24- S. Savary, Ficke, A., Aubertot, J.-N., and Hollier, C., "Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security," Food Security, vol. 4, no. 4, p. 19, 2012.
25- R. Shahzadi, Ferzund,. J., Tausif, M., Asif Suryani, M., "Internet of Things based Expert System for Smart Agriculture," International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), vol. 7, no. 9, 2016.
26- H. Ted, Florian, G., Florian ,K., Cody ,M., "Internet of Things Fundamentals," Hospitality Technology Next Generation, vol. 1, p. 28, 2018.
27- Topcon, "http://www.topcon.co.jp," 2016.
28- Y. Xi, Schwiebert, L. , Shi, W.S., "Preserving source location privacy in monitoring-based wireless sensor networks," in Proceedings of the 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2006), 2006.
29- W. Xiaohui, Nannan, L., "The application of internet of things in agricultural means of production supply chain management," Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, vol. 6, no. 7, p. 7, 2014.
30- L. Zhang, Dabipi, I., Dabipi, I. K. , Jr, W. L. B., Hassan, Q., Q. Hassan, Ed. Internet of Things Applications for Agriculture. 2018.

www.SID.ir