مجله ترویجی سبزیجات گلخانه‌ای، جلد هفتم، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۳، صفحات: ۹-۱۶

هوشمندسازی گلخانه‌های تجاری در ایران؛ نیازمندی‌ها و فرصت‌ها

سعید سهیلی وند*[۱]، سید مجید عزیزی[۱]، عنایت رضوانی خورشیدی[۲]، احسان شکری[۱]، ثریا دانشور تیکمه‌داش[۳]

۱ - استادیار پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

۲- استادیار موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

۳- مدیرعامل شرکت هوشمند نگاشت رستاک، کرج

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Soheilivand@abrii.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹**

چکیده

در کشورهای پیشرفته، گلخانه‌های هوشمند، یک فناوری کاملا آشنا و کاربردی است. با این وجود در کشور ما بدلیل عدم اطلاع از مزایا و امکانات آن و ترس از هزینه‌های ناشناخته آن، این تکنولوژی هنوز بطور گسترده در گلخانه‌ها پیاده‌سازی و بومی نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه در وهله اول آشنایی کلی با مفاهیم اصلی گلخانه‌های هوشمند است که به زبان بسیار ساده شامل معرفی انواع مختلف سنسورها و شبکه ارتباطی آنها با هم، با سرور و برنامه‌های کاربردی موبایل می‌باشد و در مرحله بعد هزینه‌های پیاده‌سازی این تکنولوژی با بهره‌مندی از بهترین امکانات آن (که کمتر از ۱۰ درصد هزینه‌های احداث یک گلخانه است)، بررسی خواهد شد. در ادامه مثال‌هایی از کاهش هزینه‌های مختلف با صرفه‌جویی در مصرف آب، نهاده‌ها، انرژی، نیروی انسانی و بالا رفتن راندمان تولید مورد بحث قرار خواهد گرفت و در پایان به منظور ترویج، ورود اولیه و بهره‌مندی گلخانه‌داران از مزایای عملی و کاربردی گلخانه‌های هوشمند، تجربیات و پیشنهاداتی ارائه خواهد شد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیاء (IoT: Internet of Things)، گلخانه مدرن، سنسور، داده‌کاوی، سیم‌کارت

متن مقاله

بیان مساله:

بالا بردن بازدهی و سودهی در تولید با سرمایه‌گذاری منطقی بر روی تکنولوژی‌های جدید و به روز نگه داشتن آن، یک هدف اساسی برای هر واحد تولیدی است. در سال‌های اخیر ظهور گلخانه‌های هوشمند در دنیا تاییدی بر این گفته می‌باشد. طراحی گلخانه هوشمند که یک سیستم بسته است، نسبت به دیگر سیستم‌های باز در کشاورزی مانند زراعت و باغبانی، به خاطر ماهیت خاص آن، آسانتر، کنترل شده‌تر و دست‌یافتنی‌تر است. در این مطالعه علاوه بر بحث بر روی مفاهیم پایه‌ای گلخانه‌های هوشمند، با بررسی مزایا و جنبه‌های اقتصادی آن بر آشنایی و ترویج این تکنولوژی در بین گلخانه‌داران تاکید خواهد شد.

گلخانه هوشمند و مزایای آن چیست و چه نیازی به استفاده از آن است؟

در واقع گلخانه هوشمند، یک گلخانه مدرن است که از تکنولوژی اینترنت اشیاء بهره‌مند است. سنسورها پارامترهای مختلفی را اندازه‌گیری کرده و داده‌ها توسط سیستم شبکه به سرور کامپیوتری یا ریزپردازنده ارسال می‌شوند و پس از ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها، برای واکنش به شرایط موجود و پایدار کردن شرایط گلخانه، دستورات به دستگاه‌ها و اجزای تاثیرگذار (مانند پمپ آب، سیستم خنک‌کننده و ...) صادر می‌شود. این فرایند بی‌وقفه و بطور خودکار در حال انجام بوده تا بتوان بهترین بازدهی را از یک سیستم به دست آورد. لازم به یادآوری است که نهایت اتوماسیون در گلخانه‌های سنتی، استفاده از یک سنسور دمایی و یک فن یا سیستم گرم‌کننده در یک مدار بسته ساده است که برحسب دمای گلخانه، سیستم خنک کننده یا گرمایی، روشن یا خاموش می‌شود. در حالیکه، در یک گلخانه هوشمند که بر پایه تکنولوژی اینترنت اشیاء است، کنترل سیستم پیچیده‌تر بوده و پیچیدگی اجزای تشکیل دهنده، به واسطه تعداد بالای سنسورها و تنوع انواع حسگرها، امکان ارسال داده‌ها در بستر اینترنت، ثبت‌داده‌ها و آنالیز آنها در سرور کامپیوتری، قابلیت رصد و کنترل از راه دور مجموعه گلخانه، و مدیریت و برآورد دقیق‌تر تولید و کاهش هزینه‌های آن (حتی برای پیش‌بینی دوره‌های کشت بعد)، براساس داده‌های ثبت شده، به راحتی وجود دارد (شکل ۱) (هوک و همکاران، ۲۰۲۰). در ادامه به تفکیک، اجزای اصلی این سیستم و مشخصات کلی آنها، به زبان ساده پرداخته خواهد شد.

شکل ۱. بررسی وضعیت گلخانه هوشمند و مدیریت آن با استفاده از یک تلفن همراه (تصویر سمت راست) و از طریق داشبورد وب سایت (تصویر سمت چپ)

اجزای اصلی گلخانه‌های هوشمند چیست؟

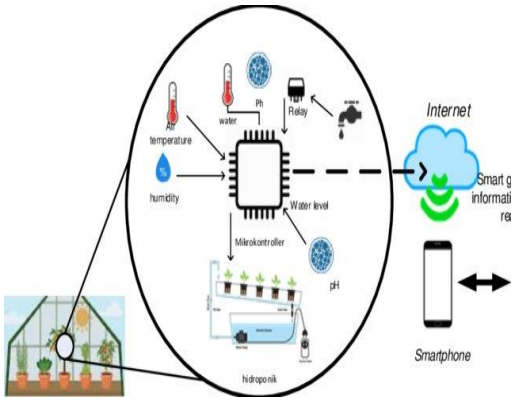
بطور کلی اجزای اصلی گلخانه هوشمند در دو بخش مهم قابل بررسی هستند:

۱- انواع حسگرها (سنسورها) در کنترل گلخانه هوشمند

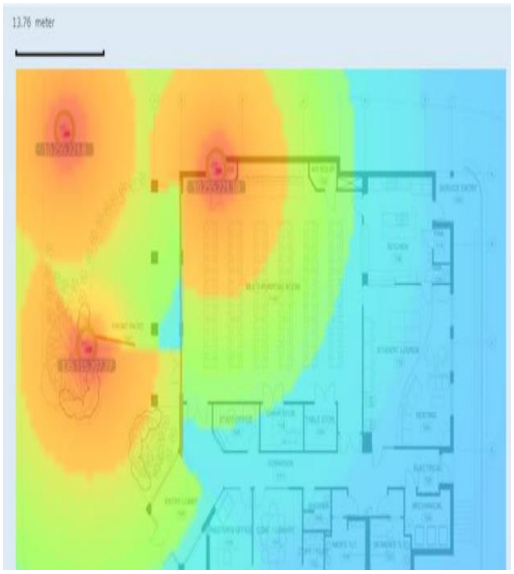
حسگرها به عنوان جزء اصلی سیستم‌های هوشمند می‌باشند و می‌توانند شامل مجموعه‌ای از سخت‌افزارها و نرم‌افزارها باشند که قادرند پارامترهای فیزیکی مانند دما، رطوبت، شدت نور، فشار، حرکت و .... را پس از تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی، بصورت

داده انتقال دهند (رحمان و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین مشخصه‌ترین ویژگی یک سنسور، عملکرد و سنجش نوع پارامتر فیزیکی است که می‌تواند آن را از محیط دریافت کند و بر همین اساس سنسورهای مختلفی وجود دارد که در یک گلخانه مدرن می‌توانند استفاده شوند (رجاز، ۲۰۱۵). از مهمترین آنها می‌توان به سنسورهای دمایی، رطوبت‌سنج، تشخیص سطح آب و دبی آب و کنترل شیر برقی، تشخیص شدت و نوع طیف نور، تشخیص مواد و محلول‌های غذایی، تشخیص میزان و نوع گازهای موجود در ترکیب هوا، تشخیص حرکت و سیستم‌های دوربین امنیتی، تشخیص آتش و اعلان حریق اشاره کرد (شکل ۲). همچنین با آنالیز و خلاصه‌سازی اطلاعات در نمودارها و گراف‌ها درک نتایج، بسیار ساده‌تر و گویاتر شده و موفقیت‌ها و موانع تولید به وضوح مشخص خواهد شد. در ادامه به اختصار به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

سنسورهای دمایی می‌توانند در گلخانه‌ها، با اهدافی چون اندازه‌گیری دمای هوای گلخانه و فضای باز اطراف آن (خارج گلخانه)، اندازه‌گیری میزان دمای دمنده توسط سیستم گرمایشی، اندازه‌گیری دمای خاک و اندازه‌گیری دمای آب آبیاری استفاده شوند. به دلیل امکان تغییر ناگهانی در دمای یک گلخانه با بروز انواع مشکلات، سنسورهای دمایی یکی از مهمترین سنسورهای قابل استفاده و جز اصلی‌ترین سنسورها در گلخانه‌های هوشمند هستند. سنسورهای دمایی از بُعد مدیریت انرژی و بهینه مصرف کردن آن نیز حائز اهمیت هستند.



شکل ۲. قابلیت‌های گلخانه مدرن و هوشمند و سیستم مونیتورینگ و کنترل آن توسط حسگرهای رطوبت، دما، سطح آب، پی اچ آب و خاک و وضعیت پمپ آب (تصویر بالا) و نقشه دمایی براساس داده های سنسورها در نقاط مختلف سازه (تصویر پایین)



حفظ رطوبت هوای گلخانه نیز مانند حفظ رطوبت خاک، در یک حد بهینه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای رصد لحظه‌ای رطوبت نیز سنسورهایی وجود دارد که در گلخانه هوشمند، به عنوان حسگر رطوبت‌سنج شناخته شده است. کاربرد این سنسور می‌تواند به دو صورت تشخیص و اندازه‌گیری رطوبت هوا و رطوبت خاک باشد که هر یک از آنها، پارامترهای مهمی در رسیدن به یک تولید پایدار هستند. مقدار رطوبت مورد نیاز بر حسب نوع محصول و مرحله رشدی آن متفاوت است و علاوه بر این که بر فرایندهای فیزیولوژی گیاه تاثیر دارد، در

کنترل و یا توسعه بیماری‌ها و آفات داخل گلخانه نیز اثر می‌گذارد (کومار و همکاران، ۲۰۲۰). سیستم آبیاری در گلخانه یک سیستم یکپارچه و مکانیزه می‌باشد. حضور مخزن‌های آب در ابتدای مدار امکان برنامه‌ریزی برای دوره‌های آبیاری و اضافه کردن محلول‌های غذایی و یا حتی سموم مختلف آفت‌کش را در داخل مخزن‌ها، امکان‌پذیر می‌سازد. سنسورهای مختلفی برای سنجش سطح مایعات برای پی بردن به سطح آب و میزان ذخیره شده در مخزن وجود دارد. ترکیب اطلاعات سطح آب مخازن و دستور به شیرهای برقی این امکان را می‌دهد که علاوه بر ثبت میزان آب مصرفی، کنترل دقیقی بر اضافه کردن کودها یا سموم طبق برنامه رژیم غذایی یا کنترل آفات داشت.

سنسور تشخیص نور در انواع مختلف، در اینترنت اشیا استفاده می‌شود که یکی از مجهزترین آنها قابلیت تشخیص طیف نور و شدت آن را دارد. برای بررسی اثرات تابش نور و و نوع پراکندگی و یا همگنی آن در فضای گلخانه از این نوع سنسورها استفاده می‌شود. همچنین این امکان وجود دارد که مدت زمان روشن و خاموش بودن، تعیین شدت تابش نور و نوع طیف منابع نوری، از راه دور بدون حضور اپراتور در محل، کنترل شود. ثبت و گزارش چنین سنسورهایی در سیستم گلخانه هوشمند، باعث تایید مدت زمان تابش و نوع نور تابیده شده خواهد بود (مورای، ۲۰۱۸). یکی از سنسورهای متداول، حسگر تشخیص گاز، آتش و دود و اعلان حریق است که این سیستم طوری طراحی می‌شود که بلافاصله با احساس گاز (مانند مونواکسید کربن)، دود و یا آتش، یک پیغام هشدار به ناظر گلخانه فرستاده و بطور اتوماتیک اقدام به خاموش کردن آتش کند. این سیستم می‌تواند طوری برنامه‌ریزی شود که قبل از گسترش آتش‌سوزی اعلان‌ها و اخطارهای لازم را با تماس به تلفن همراه به مسئول گلخانه اعلام نماید. از دیگر سیستم‌های هوشمند می‌توان به سیستم‌های حساس به حرکت و دوربین‌های امنیتی اشاره کرد. حضور دوربین‌ها علاوه بر بحث امنیتی یک تصویر واقعی در هر زمان، در اختیار ناظر و مدیر گلخانه و یا مشاوران تخصصی آن، از راه دور و از طریق وب سایت یا تلفن همراه در اختیار قرار می‌دهد.

۲- شبکه ارتباطی سنسورها با مرکز دریافت، آنالیز و ذخیره‌سازی داده‌ها

در کشاورزی و بخصوص گلخانه‌های مدرن مبتنی بر اینترنت اشیا، پروتکل‌های ارتباطی و برنامه‌های کاربردی مختلفی مطرح است. با این حال، بطور کلی از دو روش ارتباط با سیم و ارتباط بی‌سیم استفاده می‌شود. در ارتباطات با سیم با اینکه تبادل داده‌ها از امنیت بالاتری برخوردار است، ولی محدودیت در جابجایی مکان سنسورها، در نقاط مختلف گلخانه، نسبت به حالت بی‌سیم، بیشتر است. البته در حالت بی‌سیم، استفاده از وای‌فای، هزینه راه‌اندازی و اجرای سیستم را کمتر خواهد کرد. معمولا در طراحی شبکه ارتباطی اینترنت اشیاء بدین صورت عمل می‌شود که سنسور، اطلاعات موجود را از محیط جمع‌آوری کرده و به یک ایستگاه پایه ارسال می‌کند. ایستگاه پایه چنین داده‌هایی را به یک سرور کامپیوتر راه دور و یا یک میکروکنترلر موجود در گلخانه منتقل می‌کند، جایی که داده‌ها تجزیه و تحلیل و ذخیره می‌شوند و دستورات لازم برحسب مورد برای دستگاه‌ها (سیستم فن‌ها و خنک‌کننده‌ها، سیستم گرمایش، پمپ آب و شیرهای برقی، باز و بسته کردن پنجره‌ها و سایر موارد) صادر می‌شود (هوک و همکاران، ۲۰۲۰).

با اینکه ماهیت استفاده از فناوری اینترنت اشیاء ارسال داده‌ها در بستر اینترنت است، ولی در مواردی که امکان استفاده از اینترنت جهانی در دسترس نباشد، می‌توان از این فناوری بصورت محلی (local) در داخل گلخانه استفاده کرد. بنابراین این امکان وجود دارد که از دو روش ارتباط "در محل" و "اینترنت جهانی" و یا هر دو با هم بهره‌مند شد. در سیستم محلی بدون اینکه داده‌ها به شبکه جهانی

اینترنت و سرور دوردست ارسال شود، بطور محلی و در دامنه جغرافیایی که گلخانه در آن واقع است، داده‌ها رد و بدل، تحلیل و ذخیره می‌شوند و کنترل بصورت محلی یا بصورت اتوماتیک و یا دستی از طریق کامپیوتر، تبلت و تلفن همراه بصورت شخصی داخل گلخانه انجام می‌شود. البته این امکان وجود دارد که داده‌های سنسورها در داخل گلخانه توسط یک ریزپردازنده آنالیز شده و دستورات لازم بطور خودکار برای کنترل گلخانه، توسط آن داده شود و اطلاعات بدون استفاده از اینترنت جهانی و تنها با ارسال و دریافت پیامک از طریق تلفن همراه، انتقال یافته و به مسئول، مدیر و یا مشاوران ارسال شوند و کل سیستم گلخانه بدون اتصال به اینترنت، از راه دور و تنها با استفاده از یک تلفن همراه، کنترل شود. این حداقل حتی می‌تواند توسط یک اینترنت گوشی همراه و یا ماژول‌های سیم کارت‌خور اینترنت اشیاء اجرا شود. چرا که مزیت اصلی استفاده از سروهای ابری و یا معمولی در قابلیت دسترسی به اطلاعات از هر نقطه‌ای از جهان و مدیریت و کنترل گلخانه هوشمند در هر زمان و مکانی است (روئیز-گارسیا و همکاران، ۲۰۰۹).

هزینه احداث گلخانه هوشمند چگونه برآورد می‌شود و آیا توجیه اقتصادی دارد؟

مسلما برآورد هزینه احداث تا بهره‌برداری یک گلخانه برحسب نوع گلخانه (تونلی، ایرانی، اسپانیایی، هلندی یا شیشه‌ای) و شرایط حاکم بر آن و نوع مصالحی که برای آن برای هر متر مربع استفاده می شود، متغییر است. بطور کلی هزینه‌های اصلی احداث گلخانه شامل هزینه ساخت سازه، هزینه زمین و مجوزها، هزینه تجهیزات و سیستم‌ها، هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت و در نهایت در صورت هوشمندسازی، هزینه هوشمندسازی آن است. مسلم است که نمی‌توان بدلیل تنوع بسیار گلخانه‌ها و نوع محصول تولیدی آنها (گیاهان آپارتمانی و تزئینی، شاخه‌بریده، هیدروپونیک یا خاکی، سبزی و صیفی، تکثیر، پیوندی، قلمه و نشاء، تولیدات کشت بافتی و اتاقک‌های رشد)، هزینه مشخص و ثابتی را ارائه داد. با این‌حال و براساس اطلاعات مربوط به شرکت‌های سازنده گلخانه و صرفا جهت مقایسه هزینه‌های متداول ساخت و تجهیز گلخانه با هزینه‌های هوشمندسازی گلخانه، یک مورد تخمینی در جدول ۱ آورده شده است. بدین ترتیب با توجه به برآوردهای جدول ۱ مشخص می‌شود که هزینه هوشمندسازی یک گلخانه جز هزینه های پایین احداث یک گلخانه بوده و کمتر از ۱۰ درصد آن است. دلیل اصلی آن به خاطر ماهیت گلخانه است که یک محیط ذاتا قابل کنترل است و کلیه تجهیزات برای کنترل و مدیریت عوامل مختلف حتی قبل از هوشمندسازی در سازه آن تعبیه شده است. بنابراین فقط با الحاق سیستم هوشمند سازی بر روی تجهیزات به راحتی می توان کل مدیریت گلخانه را بصورت کاملا هوشمند و از راه دور انجام داد.

توصیه‌های ترویجی

برای روشنتر شدن مفهوم، ترویج و درک بهتر مزایا، برخی از موارد مربوط به صرفه‌جویی اقتصادی در منابع و تأثیرات مالی در گلخانه‌های هوشمند نسبت به گلخانه‌های متداول در ادامه ارائه شده است (بینایی و همکاران، ۲۰۲۴؛ کارانیسا و همکاران، ۲۰۲۲):

۱. صرفه‌جویی در آب: اجرای عملیات آبیاری با بهینه‌سازی زمان‌بندی و شیوه‌های صرفه‌جویی در آب در گلخانه‌های هوشمند می‌تواند حداقل منجر به ۱۷٪ کاهش در مصرف کل آب شود. گلخانه‌های هوشمند مدرن‌تر که از تکنیک‌های پیشرفته آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای کنترل شده در تلفیق با جمع‌آوری آب‌های باران و ... استفاده می‌کنند، می‌توانند تا ۸۰-۹۰٪ صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به روش‌های متداول آبیاری داشته باشند. این

بازدهی بالا با حداقل کردن تبخیر و رواناب و بررسی دقیق رشد و نمو و رصد متناوب وضعیت گیاه و به دلیل تحویل به موقع آب و مواد غذایی مستقیماً به ریشه‌های گیاه قابل استحصال است.

۲. صرفه‌جویی در انرژی: بهینه‌سازی شرایط میکروکلیمایی در گلخانه‌های هوشمند می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در هزینه‌های انرژی شود، به طوری که برخی مطالعات کاهش تا ۵۰٪ در هزینه‌های گرمایش و سرمایش را نسبت به سیستم‌های سنتی نشان می‌دهند. در طراحی‌های انرژی‌کارآمد و پیشرفته از طریق استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر یکپارچه، مانند پنل‌های خورشیدی در گلخانه‌های هوشمند می‌توان منجر به ۷۷٪ کاهش در مصرف سالانه انرژی شد.

۳. کاهش هزینه نیروی کار: اتوماسیون در گلخانه‌های هوشمند هزینه‌های نیروی کار را با خودکار کردن وظایفی مانند آبیاری، کوددهی و نظارت بر شرایط محیطی به شدت کاهش می‌دهد که بسته به سطح اتوماسیون پیاده‌سازی‌شده می‌تواند منجر به کاهش نیاز به نیروی کار تا حدود ۵۰-۳۰ درصد شود.

۴. تأثیر اقتصادی کلی: ترکیب صرفه‌جویی در هزینه‌های آب و انرژی، همراه با افزایش تولیدات به دلیل شرایط رشد بهینه، می‌تواند قابلیت اقتصادی گلخانه‌های هوشمند را افزایش دهد. نتایج نشان می‌دهند که فناوری‌های هوشمند می‌توانند کارایی منابع را با کاهش اشتباهات انسانی، ضایعات و هزینه‌های عملیاتی به طور قابل توجهی بهبود بخشند و در کل به یک شیوه کشاورزی پایدارتر کمک کنند.

با توجه به موارد ذکر شده، بطور خلاصه، از مزایای استفاده از اینترنت اشیاء در گلخانه‌های هوشمند می‌توان به حفظ و مصرف بهینه آب، انرژی، کود و سم، بالا بردن درآمد و بهره اقتصادی، افزایش امنیت و اطمینان از تولید پایدار، کنترل و مدیریت از راه دور، قابلیت اتوماسیون و خودکار کردن عملیات گلخانه‌ای، ثبت داده‌ها، تحلیل و گزارش‌گیری، ایجاد زیرساخت برای استفاده از تکنولوژی‌های نوینی همچون یادگیری ماشین و هوش مصنوعی اشاره کرد. در مکان‌هایی با دسترسی محدودتر می‌توان از اینترنت گوشی همراه و یا حتی سیستم شبکه محلی (داخل گلخانه) برای تبادل داده و مدیریت در محل گلخانه، چه بصورت اتوماتیک و چه بصورت دستی استفاده کرد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۹). بحث هزینه‌ها یکی دیگر از چالش‌ها در توسعه و استفاده از فناوری اینترنت اشیاء می‌باشد. البته می‌توان قدم‌های اول را برای داشتن یک گلخانه هوشمند با هزینه کم و قابل قبول با استقرار سامانه رصد و پایش شرایط گلخانه شروع کرد که قادر است تا اطلاعات و وضعیت لحظه‌ای گلخانه را به یک گوشی همراه به صورت پیامک ارسال کرده و یا به سرور کامپیوتر ارسال کند و در قدم‌های بعدی، بر حسب نیاز اقدام به گسترش این تکنولوژی کرد (شکل ۳). همین کار در تحقیقی که صورت گرفته به راحتی امکان‌پذیر بوده و انواع داده‌ها به صورت متناوب و پیوسته به یک سرور داخل کشور ارسال و به راحتی در هر زمان و مکانی قابل دسترس هستند (رجوع به سایت https://www.bioiots.ir). حتی می‌توان با ارسال پیامک هم از وضعیت لحظه‌ای گلخانه با خبر شد (بدون نیاز به اینترنت) و هم اینکه دستورات خاموش و روشن و یا کم و زیاد کردن را به تجهیزات گلخانه ارسال کرده و تایید آن را دوباره با پیامک دریافت کرد.

بنابراین به نسبت صرف هزینه اندک و ثابت در جهت استقرار سیستم اینترنت اشیاء در گلخانه، می‌توان نظارت و مدیریت دقیقی (حتی با قابلیت نظارت و کنترل تمام وقت از راه دور) بر تولید محصول در دوره‌های مختلف داشت و بازده و سودآوری را تضمین کرده و ارتقاء داد.

انواع هزینه‌ها (بر حسب هزار تومان)	هر متر مربع	درصد از هزینه کل
هزینه ساخت گلخانه ۱۰۰۰ متری (بدون تجهیزات)	۷۰۰-۵۰۰	٪۴۰-۳۹,۱
سیستم آبیاری گلخانه (سیستم توزیع، منبع های ذخیره آب و مواد غذایی و سموم ...)	۱۱۰-۶۰	٪۶,۱-۴,۸
سیستم گرمایش گلخانه (هیتر، تابشی، مرکزی)	۱۴۰-۸۰	٪۷,۸-۶,۴
سیستم سرمایش گلخانه (سیستم فن و پد)	۱۵۰-۱۲۰	٪۹,۶-۸,۴
سیستم مه پاش (Fogger)	۱۲۰-۵۰	٪۶,۷-۴
سیستم ذخیره انرژی (پرده انرژی متحرک و..)	۳۲۰-۲۸۰	٪۲۲,۴-۱۷,۹
تهویه گلخانه (نصب پنجره‌هایی در سقف و اطراف گلخانه)	۹۰-۶۰	٪۵-۴,۸
سیستم اتوماسیون و هوشمندسازی گلخانه	۱۶۰-۱۰۰	٪۸,۹-۸

جدول ۱. تخمینی و مثالی جهت مقایسه هزینه های هوشمندسازی یک گلخانه فرضی

شکل ۳. سنسورهای سنجش رطوبت خاک (تصویر سمت راست) و نمونه‌ای از داده‌های دمایی و رطوبتی هوا و خاک ارسال شده به سرور کامپیوتر با قابلیت نمایش آنلاین وضعیت لحظه‌ای گلخانه (https://www.bioiots.ir) (تصویر سمت چپ)

فهرست منابع

1- Binaei, S., Shabanali Fami, H., Kalantari, K., & Barati, A. (2024). Investigation of Developing Smart Agriculture in Greenhouses of Tehran Province. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *37*(4), 433-450.

2- Hoque, M. J., Ahmed, M. R., & Hannan, S. (2020). An Automated greenhouse monitoring and controlling Sys-tem using sensors and solar power. *European Journal of Engineering and Technology Research*, *5*(4), 510–515.

3- https://www.bioiots.ir (شرکت هوشمند نگاشت رستاک)

4- Ibrahim, H., Mostafa, N., Halawa, H., Elsalamouny, M., Daoud, R., Amer, H., Adel, Y., Shaarawi, A., Khattab, A., & ElSayed, H. (2019). A layered IoT architecture for greenhouse monitoring and remote control. *SN Applied Sciences*, *9*(1), 1–12.

5- Karanisa, T., Achour, Y., Ouammi, A., & Sayadi, S. (2022). Smart greenhouses as the path towards precision agriculture in the food-energy and water nexus: Case study of Qatar. *Environment Systems and Decisions*, *42*(4), 521-546.

6- Kumar, A., Singh, V., & Kumar, S. (2020). IoT enabled system to monitor and control green-house, Materials Today: Proceedings, pp.1-5.

7- Murray, S.C. (2018). Optical sensors advancing precision in agricultural production. *Photonics Spectra*, *51*, 48.

8- Rehman, A., Abbasi, A. Z., & Shaikh, Z. A. (2011). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263–270.

9- Rojas, A. (2015). Smart Agriculture IoT with Cloud Computing. *Rev. Hist. América*, *29*, 37–66.

10- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, J. I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in Agriculture and food industry: State of the Art and current trends. *MDPI Sensors*, 9(6), 4728–4750.