

گلخانه‌های هوشمند

ربابه اصغری

عضو هیئت علمی مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
رایانامه: fariba2022@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ چاپ: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳

صص: ۱۳-۲۵

چکیده

گلخانه هوشمند گلخانه‌ای است که با انواع سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مرتبط باهم، اغلب از راه دور و خودکار مدیریت می‌شود. در واقع، اطلاعاتی شدن ابزارها و فرایندها بزرگ‌ترین ویژگی گلخانه‌های هوشمند است. از طریق انواع ابزارها و روش‌های جمع‌آوری، و با استفاده از ابزارهای ارتباطی، داده‌های مختلف به سامانه یا سکوی نرم‌افزاری ارسال می‌شود. وظیفه این نرم‌افزارها تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری یا تصمیم‌سازی است. به همین دلیل، مانند همه سامانه‌های اطلاعاتی از سخت‌افزار، نرم‌افزار و ابزارهای ارتباطی تشکیل شده است. سایر ابزارها در گلخانه‌های هوشمند نیز با استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی مختلف، از جمله انواع حسگرها، عمدتاً خودکار هستند. کار اصلی حسگرها جمع‌آوری داده از محیط است. از ابزارهایی مثل دوربین، ماهواره و پهپاد نیز در محیط‌های مختلف استفاده می‌شود. حسگرها و دوربین‌ها بر روی انواع خودروها و ماشین‌های کشاورزی نیز نصب می‌شوند تا داده‌ها و اطلاعات لازم برای تحلیل، تصمیم‌گیری و اجرا جمع‌آوری شود. نکته اغلب مغفول این است که هوشمندسازی در درجه اول به توسعه زیرساخت‌ها، به ویژه زیرساخت‌های آموزشی و پژوهشی، در کل کشور نیازمند است. اصلاح ساختارهای اجتماعی و اقتصادی نیز یکی از این زیرساخت‌هاست. توجه به روابط بین‌بخشی و درون‌بخشی به هنگام هوشمندسازی به این دلیل مهم است که قرار است همه بخش‌های پراکنده و توزیع‌شده با کمک فناوری اطلاعات و ارتباطات به هم متصل و حتی یکپارچه شوند. در هوشمندسازی نه فقط ضعف‌ها و نیازها برجسته می‌شوند بلکه باید به راه‌حل‌های علمی و فنی یکپارچه و مرتبط نیز تبدیل شوند. به این ترتیب، هم کارکرد هر بخش و اجزای آن و هم کارکرد و کارایی کل نظام ارتقا می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: گلخانه‌های هوشمند، حسگرها، کشاورزی هوشمند، هوشمندسازی، مدیریت.

مقدمه

افزایش سریع جمعیت و گسترش شهرنشینی سبب شده است تا تقاضا برای مواد غذایی نیز به همان نسبت افزایش یابد. کاهش زمین‌های قابل کشت نیز نتیجه ناگزیر افزایش جمعیت، شهرنشینی و فرهنگ و زندگی صنعتی حاصل از آن است. تغییرات اقلیمی و آسیب‌های ناشی از آن بر زیست‌بوم^۱ کشاورزی، تخریب خاک و آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله عواملی هستند که بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر منفی داشته و تأمین امنیت غذایی را دشوار کرده است.

تأمین نیاز غذایی جامعه در الگوهای سنتی کشاورزی به زمین، آب، انرژی و منابع انسانی بیشتری نیاز دارد که تهیه آن‌ها با توجه به شرایط موجود کره زمین ناممکن است. استفاده هر چه بیشتر از فناوری، از جمله راه‌حل‌های جوامع برای کاهش این مسائل و نتایج منفی ناشی از آن‌ها بوده است. از میان انواع فناوری‌ها باید بر فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی در دهه‌های اخیر تأکید ویژه‌ای داشت. این دسته از فناوری‌ها فرایند ماشینی‌سازی و خودکارسازی انواع فرایندهای کاری و حرفه‌ای را بیش‌ازپیش افزایش داده‌اند تا حدی که ابزارها و فرایندهای کاری نیز اطلاعات محور شده‌اند. هوشمندسازی شاید نقطه اوج کاربرد فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی در انواع کنش‌های انسانی و ابزارهای انسان‌ساز در همه حوزه‌های علمی، فنی، صنعتی، کشاورزی، و غیره است. کشاورزی هوشمند یکی از این حوزه‌هاست. گلخانه‌های هوشمند زیرمجموعه همین کشاورزی هوشمند است که در دهه‌های اخیر، مانند دیگر حوزه‌ها، از فناوری‌های نوین اطلاعاتی و ارتباطی برای بهبود تولید انواع محصولات گلخانه‌ای استفاده می‌کند. یعنی، با بهره‌گیری از ابزارهای هوشمند، مصرف انواع منابع تولید، مثل آب، انرژی، نیروی انسانی و غیره کاهش می‌یابد. در هوشمندسازی، با بهینه کردن فرآیندهای کاشت، داشت و برداشت، کمیت و کیفیت محصول افزایش می‌یابد.

کشت محصولات کشاورزی در محیط‌های گلخانه‌ای

هوشمند و در خارج از زمین زراعی، از دیگر موضوعات مهم در حوزه کشاورزی است. نظارت بر شرایط آب و هوایی و تسهیل دسترسی به محصولات در محل مصرف، از جمله نکات برجسته این روش است. در این مقاله، گلخانه‌های هوشمند و سامانه‌های نظارت بر آن‌ها معرفی می‌شود. سامانه نظارت عمدتاً شامل حس‌گرها، عملگرها، نمایشگر ال‌سی‌دی و ریزناظرهاست. از امکانات دیگر مانند فن، بخاری و سایر تجهیزات نیز استفاده می‌شود. اما نکته مهم، نظارت خودکار و هوشمند این ابزارها و شرایط محیطی است. مثلاً دمای بالا یا پایین، رطوبت، غلظت دی‌اکسید کربن، هوادهی، آبیاری و تبخیر آب از چالش‌های اصلی تولیدکنندگان در گلخانه‌های سنتی است. برای دستیابی به حداکثر بازدهی گلخانه و ایجاد محیط بهینه برای مصرف انرژی و دیگر منابع حیاتی، باید بر شاخص‌های مختلف نظارت داشت (ملیت و همکاران، ۲۰۲۱؛ ریحانا و همکاران، ۲۰۲۰).

گلخانه‌های هوشمند و ویژگی آن‌ها

گلخانه هوشمند گلخانه‌ای است که با استفاده از انواع سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مرتبط به هم، اغلب از راه دور و تا حد ممکن خودکار مدیریت می‌شود (شکل ۱). در واقع، اطلاعاتی شدن ابزارها و فرایندها، بزرگ‌ترین ویژگی گلخانه‌های هوشمند است. با استفاده از انواع روش‌های جمع‌آوری، داده‌های مختلف گردآوری و با ابزارهای ارتباطی به سکوی نرم‌افزاری ارسال می‌شود. وظیفه اصلی این سکو، تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری یا تصمیم‌سازی است. این سکو، مانند همه سامانه‌های اطلاعاتی دارای سخت‌افزار، نرم‌افزار و ابزارهای ارتباطی است. سایر ابزارهای استفاده‌شده در گلخانه‌های هوشمند کم‌وبیش شبیه ابزارهای سنتی ماشینی هستند، با این تفاوت که عمدتاً با فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی مختلف، خودکار شده‌اند: مثل انواع شیرها و دریچه‌های آب، سامانه سرمایش و گرمایش، قطره‌چکان، آبیاری بارانی، و سایر تجهیزات خودکار.



شکل ۱. گلخانه هوشمند

گسترده‌تر نیز مطرح است. در گلخانه‌های هوشمند، انواع روش‌های مبارزه با آفات و بیماری‌های کشاورزی در دسترس است. اما ممکن است گلخانه‌داران از بهترین زمان درمان گیاه و روش‌های آن اطلاعات کافی نداشته باشند. سامانه‌های هوشمند و متصل به انواع نظام‌های یادگیری و پایگاه‌های اطلاعاتی، نه تنها می‌توانند بسیاری از این اطلاعات و چالش‌ها و سازوکار حل آن‌ها را در زمان نیاز در اختیار کشاورزان قرار دهد بلکه با کمک انواع نرم‌افزارها و سخت‌افزارها و به شکل خودکار، هوشمند، و با کمترین هزینه و دخالت نیروی انسانی می‌توانند بخش زیادی از راه‌حل‌ها را نیز اجرا کنند.

افزایش ایمنی و پیشگیری از سرقت، به‌ویژه در گلخانه‌هایی با محصولات خاص و ارزشمند (با ارزش مالی بالا و غیره) نیز مطرح است. شبکه‌های نظارت سنتی، حتی با دوربین‌های مداربسته، پرهزینه است و بسیاری از مزایا و کارکردهای سامانه‌های هوشمند را ندارند. انواع حس‌گرهای اینترنت اشیا در گلخانه‌های هوشمند، با اتصال به سامانه‌های هشدار و عملکرد خودکار، زیرساختی مقرون‌به‌صرفه و کارآمد برای نظارت بر محیط و شناسایی فعالیت‌های مشکوک به‌شمار می‌آیند.

تفاوت ماشینی‌شدن، خودکارسازی و هوشمندسازی گلخانه‌ها

به ابزارهای ساخت بشر که فعالیت‌های او را تسهیل می‌کنند ماشین گفته می‌شود؛ از بیل و کلنگ گرفته تا تراکتور که ابزارهایی

در گلخانه‌های هوشمند می‌توان شرایط خرداقلیم ایدئال را حفظ کرد. حس‌گرهای اینترنت اشیا به کشاورزان و متخصصان اجازه می‌دهند تا داده‌ها را از نقاط مختلف و با جزئیات بی‌سابقه جمع‌آوری کنند. آن‌ها اطلاعات دقیقی در مورد عوامل آب و هوایی از جمله دما، رطوبت، میزان تابش نور و دی‌اکسید کربن در سراسر گلخانه فراهم می‌کنند. با تحلیل این داده‌ها می‌توان دما، تهویه داخل گلخانه و نیز روشنایی را برای حفظ بهترین شرایط رشد گیاه و افزایش بهره‌وری انرژی تنظیم کرد. انواع حس‌گرهای حرکت / شتاب نیز درهای باز و بسته را نظارت و مدیریت می‌کنند. براساس نیازهای واقعی گیاه و تضمین حداکثر عملکرد، آبیاری و کوددهی بهینه‌سازی می‌شود. برای مثال، اطلاعات آب حجمی خاک نشان می‌دهد که آیا در تنش آبی است یا خیر؟ اطلاعات مرتبط با شوری خاک نیز درک درستی درباره کم و کیف کوددهی گیاه ایجاد می‌کند. براساس این داده‌ها، سامانه‌های آبیاری و سم‌پاش می‌توانند خودکار روشن شوند تا نیازهای محصول را در زمان مناسب برطرف کنند و درعین حال مداخله دستی نیز کاهش می‌یابد.

در این گلخانه‌ها می‌توان بر عفونت محصولات نظارت کرد تا از شیوع بیماری پیشگیری شود. آلودگی محصول چالش دائمی کشاورزی است. هر بیماری باعث از بین رفتن گیاه و نیز خسارات مالی هنگفت خواهد شد. آثار مخرب زیست‌محیطی، ایمنی تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان و شیوع برخی از بیماری‌های

خود کارسازی یا هوشمندسازی، باید به این نکته توجه شود (ثابت، محمدپور، ۱۴۰۰).

گلخانه‌های خود کار و هوشمند نیز سطوح مختلفی دارند: از هوشمندسازی برخی از ابزارهای خاص و محدود گرفته تا هوشمند کردن کل یک گلخانه و ابعاد و اندازه آن. بنابراین، در کاربرد واژه هوشمندسازی برای انواع گلخانه‌ها باید به این نکته مهم توجه داشت و به راحتی این اصطلاح را برای هر گلخانه‌ای استفاده نکرد. در واقع، گلخانه هوشمند گلخانه‌ای است که همه فرایندهای مرتبط با نظارت و مدیریت شاخص‌های اساسی آن به صورت خود کار و با دریافت داده‌هایی که با استفاده از انواع حسگرها جمع‌آوری شده است مدیریت می‌شود. در یک سامانه مجهز به انواع سخت‌افزارها و نرم‌افزارها، این داده‌ها تحلیل شده و بازخورد یا نتیجه آن به تجهیزات و ابزارهای خود کار دیگر در بخش‌های مختلف گلخانه منتقل می‌شود. به عبارت دیگر، برای شناسایی مشکلات جاری در گلخانه از این داده‌ها استفاده می‌شوند. به این ترتیب، عملیات تهویه مطبوع، روشنایی، آبیاری، سم‌پاشی و غیره براساس نیاز انجام می‌شود. به دلیل محدودیت‌های شدید منابع آبی، این مسئله در کشورهایی مانند ایران اهمیت بسزایی دارد. در بخش‌های وسیعی از کشور، امکان کشت طبیعی وجود ندارد یا کشاورزی سنتی با آسیب‌های زیست‌محیطی غیرقابل جبرانی همراه است. به همین دلیل، گسترش گلخانه‌های هوشمند و خود کار می‌تواند برای صنعت کشاورزی و خود کفایی در تولید محصولات کشاورزی حیاتی باشد.

اجزای گلخانه‌های هوشمند

حسگرها یکی از سخت‌افزارها یا فناوری‌های پر کاربرد اطلاعاتی و ارتباطی در گلخانه‌های هوشمند است. وظیفه اصلی حسگرها جمع‌آوری خود کار داده‌ها از محیط است. از ابزارهایی مثل دوربین عکاسی و فیلم‌برداری نیز برای پایش محیط استفاده

آشنا در کشاورزی است. با دقت در توسعه و کارکرد ماشین‌ها متوجه می‌شویم که بیش‌ازپیش در حال خود کاری هستند. در هر حال، به همه این ابزارها ماشین می‌گویند. به عبارت دیگر، ماشین‌های خود کار حاصل بهبود همان ماشین‌های ساده و ترکیب آن‌ها با کارکردهای مختلف و خود کار است. ماشین‌های هوشمند را باید همان ماشین‌های ساده یا خود کاری تلقی کرد که برخی از توانایی‌های مغزی انسان را نیز شبیه‌سازی می‌کنند. مثلاً، هم‌زمان با برداشت می‌توانند تعداد، وزن، رنگ، اندازه و برخی دیگر از ویژگی‌ها را محاسبه و اعلام کنند. ساده‌ترین ابزارهای هوشمند حسگرهای رطوبت و خاک هستند. ماشین‌های هوشمند پیشرفته‌تر می‌توانند از راه دور سطح زیر کشت، میزان برداشت، و حتی آفات و بیماری‌ها را شناسایی و اعلام کنند. علاوه بر انجام فعالیت‌های اشاره‌شده، انواع پهپادها همچنین می‌توانند در سم‌پاشی، حمل و نقل و بسیاری از فعالیت‌های دیگر کشاورزی نیز راهگشا باشند. در همه این موارد، آن‌ها می‌توانند داده‌های جزئی و کلی مرتبط با آن فعالیت‌ها را نیز ثبت کنند، انتقال دهند، پردازش کنند و حتی تصمیم‌گیری کنند. همین ویژگی تولید و پردازش خود کار داده‌هاست که آن‌ها را هوشمند می‌کند. به عبارت دیگر، در همه این موارد، سطوح خود کارسازی و نیز یکپارچه‌سازی اقدامات و کارکردها در فرایندهای مختلف کشاورزی است که متفاوت است. باید اشاره کرد که ماشین‌های هوشمند در حال ارتقای خود کارسازی تا سطوحی از هوش یا کارکرد مغز انسان‌ها هستند. به این ترتیب، میزان مداخله فیزیکی و حتی ذهنی انسان در کارکرد ماشین‌ها و فرایندهای گوناگون تولید و غیره را کاهش می‌دهند.

تحولات اشاره‌شده نشان می‌دهد که تعیین مرز بین خود کارسازی و هوشمندسازی در ماشین‌های پیشرفته تا حدی دشوار است. اغلب ماشین‌های هوشمند، خود کار نیز هستند. حتی باید گفت که بیشتر ماشین‌های خود کار پیشرفته، هوشمند نیز هستند. تفاوت بیشتر در سطوح ماشینی‌سازی، خود کارسازی، هوشمندسازی، و کم و کیف آن‌هاست. در ارزیابی کم و کیف

این امکان گسترده را برای همه حوزه‌ها فراهم کرده است که بتوانند ابزارها و نرم‌افزارهای مختلف را به هم متصل و از راه دور آن‌ها را نظارت و مدیریت کنند. این ابزارها و سامانه‌ها در کشاورزی، باغبانی، دامداری و سایر زمینه‌ها نیز پرکاربردند. اتصال ابزارها، مزارع، گلخانه‌ها، و غیره به انواع پایگاه‌ها و نرم‌افزارهای کاربردی این امکان را برای کشاورزان، صنعتگران، بازاریابان، مصرف‌کنندگان و غیره فراهم آورده است که به یکدیگر و دانش هم، که در نقاط مختلف جهان پراکنده است، متصل شوند. با استفاده از این اجزای پراکنده اما متصل به هم و با استفاده از انواع فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی می‌توان از تولید تا مصرف یک گل یا هر محصول دیگر را مدیریت کرد. گویی همه این اجزای پراکنده در سطح محلی و جهانی به هم و به کالاهای در حال رشد و مصرف متصل‌اند. شناسنامه گیاه از تولید تا مصرف در تراشه کوچکی ذخیره شده و همه از آن مطلع‌اند، حتی وقتی در خودرو یا هواپیما به سوی خریدار یا مصرف‌کننده در آن‌سوی جهان در حال انتقال باشد. در ادامه برخی از اجزای گلخانه‌های هوشمند به ویژه حس‌گرها و سکوی نظارت به‌طور مختصر معرفی می‌شود.

برخی از انواع حس‌گرهای گلخانه

حس‌گر دما و رطوبت

دمای بالا یا پایین و میزان خشکی و رطوبت، یکی از موانع رشد و نمو گیاه است. مثلاً رطوبت بالا، کپک و دیگر انواع آفت‌ها در گلخانه‌ها را شایع می‌کند. بر همین اساس، با تنظیم دقیق دما و رطوبت می‌توان بهترین محیط رشد گیاه را فراهم کرد (شکل ۲). برای این منظور، به حس‌گری نیاز است که اطلاعات دقیقی درباره دما و رطوبت بدهد. گزینه‌های زیادی در دسترس است که می‌توان از بین آن‌ها و متناسب با نیاز مواردی را انتخاب کرد. اغلب، حس‌گری مناسب است که بتواند دما و رطوبت را هم‌زمان بررسی کند (جورجینا و همکاران، ۲۰۲۱).

می‌شود. برای جمع‌آوری اطلاعات در محیط‌های بزرگ یا دور از دسترس و پرخطر، ممکن است حسگرها و نیز دوربین‌ها بر روی ابزارهای دیگری مثل ماهواره و پهپاد نصب شوند. همین حسگرها و دوربین‌ها روی انواع خودروها و ماشین‌های پرکاربرد در حوزه کشاورزی نصب می‌شوند تا داده‌ها و اطلاعات لازم را برای تحلیل، تصمیم‌گیری و اجرا گرد آورند. خودکارسازی در کارکرد انواع ماشین‌های سنتی کاشت، داشت، برداشت، و نیز سایر فرایندها کاربرد دارد. با استفاده از حسگرها و دوربین‌های مختلف، این ابزارها می‌توانند داده‌ها را جمع‌آوری و از طریق ابزارهای ارتباطی مختلف به نرم‌افزارهای گوناگون، و برعکس، ارسال کنند. ابزارهای ارتباطی ممکن است سیمی یا بی‌سیم باشند. تلفن، ماهواره و اینترنت نیز بخشی از ابزارهای ارتباطی است. وظیفه اصلی این ابزارها انتقال داده‌های دریافتی از ابزارها، حس‌گرها، دوربین‌ها، افراد و غیره به سکو یا نرم‌افزار تحلیلیگر و برعکس است.

انواع نمایشگر نیز داده‌ها و اطلاعات را نمایش می‌دهند. بیشتر این نمایشگرها با استفاده از صفحه کلید یا به صورت لمسی امکان تعامل کاربر با نرم‌افزار و اجرای دستورات مربوط را فراهم می‌کنند.

سکوی نرم‌افزاری مجموعه‌ای از نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای متصل به هم است که وظیفه اصلی آن‌ها دریافت و ذخیره داده‌ها، پردازش و تحلیل داده‌ها، نمایش اطلاعات، و نیز ارسال آن‌ها به ابزارها و نرم‌افزارهای دیگر است.

نکته مهم در همه انواع فناوری‌ها و سامانه‌های اطلاعاتی و ارتباطی این است که به‌طور گسترده و روزافزونی در حال تجمع هستند. یعنی حسگر، دوربین، ابزارهای ارتباطی، نرم‌افزار تحلیلیگر و غیره روی یک تراشه یا ابزارهای کوچک تجمع شده‌اند. به همین دلیل، تفکیک آن‌ها به صورت سخت‌افزاری، نرم‌افزار و ابزارهای ارتباطی جدا از هم اغلب دشوار است. مثل تلفن همراه یا لپ‌تاپ، و حتی تراشه‌های کوچک و کوچک‌تری که هزاران کارکرد جدا از هم را یکپارچه کرده‌اند. امروزه اینترنت اشیا



شکل ۲. حس گر دما و رطوبت

همین داده‌ها برای خود کارسازی نورهای مکمل و هدایت نور به بخش‌های مختلف گلخانه‌ها استفاده کرد. حس گر نور ابزار مناسبی برای ارزیابی گیاهان در معرض نور است (شکل ۳). معمولاً از دو نوع حس گر برای اندازه‌گیری نور گلخانه‌ها استفاده می‌شود: (۱) تابش کل، که معمولاً واحد انرژی نامیده می‌شود و (۲) تابش فعال نورساختی^۱.

حس گر اندازه‌گیری کل، همه نور حاصل از تابش خورشید با استفاده از یک صفحه سطحی دریافت کننده نور را اندازه‌گیری می‌کند. این حس گر معمولاً برای اندازه‌گیری کل نور تاییده از خورشید، که در محدوده طول‌موج‌های ۰٫۳ تا ۳ میکرون هستند، استفاده می‌شود. اگر این حس گر افقی و به سمت پایین نصب شود، تابش بازتابی را اندازه‌گیری می‌کند. در نتیجه، برای اندازه‌گیری تابش پراکنده می‌توان حلقه محافظ نور پراکنده را به مقدار تابش بازتابی افزود.

حس گر دما و رطوبت را می‌توان به یک نظارت کننده خارجی متصل کرد. طبیعی است که تابش مستقیم نور خورشید دما یا رطوبت گلخانه را بیش از اندازه افزایش می‌دهد. در این وضعیت، حس گر دما و رطوبت مقدار آن را در سکوی عمومی بارگذاری می‌کند. سکوی عمومی پس از مشاهده و پردازش این داده‌ها، به نظارت کننده فن گلخانه یا سایر تجهیزات مرتبط با سرمایش، گرمایش و هر چیز مرتبط دیگر پیامی ارسال می‌کند تا مثلاً مکش، هواکش یا غیره را تنظیم کند.

حس گر نور

روشنایی مناسب می‌تواند رشد و نمو گیاه را به حداکثر ممکن برساند. در عین حال، مصرف انرژی را نیز به حداقل میزان کاهش دهد. با اندازه‌گیری نور می‌توان بر میزان رشد گیاه افزود و از



شکل ۳. حس گر نور

1. Photosynthesis

است. ۹۵ درصد از وزن خشک محصولات، از نورساخت به دست می‌آید. بنابراین، دی‌اکسید کربن عاملی مهم در عملکرد محصول است. تصور کنید که گلخانه برای مدت طولانی بسته است، گردش هوای آن نسبتاً مسدود است و نمی‌توان به موقع دی‌اکسید کربن دریافت کرد. با طلوع آفتاب، به دلیل تسریع نورساخت گیاهان، غلظت دی‌اکسید کربن در داخل گلخانه به شدت کاهش می‌یابد و گاهی به زیر نقطه جبران دی‌اکسید کربن (۰,۰۰۸٪ - ۰,۰۱٪) می‌رسد. در چنین شرایطی، گیاهان گلخانه به سختی می‌توانند نورساخت طبیعی داشته باشند. این موضوع بر رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارد و عملکرد آن‌ها را کم می‌کند. بنابراین، استفاده از حس‌گرهای دی‌اکسید کربن (شکل ۴) برای نظارت بر غلظت دی‌اکسید کربن در گلخانه‌ها بسیار حیاتی است. در حال حاضر، فناوری مادون قرمز غیرپراکنده، متداول‌ترین حس‌گر دی‌اکسید کربن است (الیویرا و همکاران، ۲۰۱۷).

تابش فعال نورساختی، منبع اصلی انرژی برای تشکیل زیست‌توده است: سرعت نورساخت مؤثر گیاهان در محل تابش را نظارت می‌کند و مستقیماً بر رشد، نمو، عملکرد و کیفیت گیاهان تأثیر می‌گذارد. حس‌گر تابش فعال نورساختی در واقع از حس‌گر نورالکتریکی استفاده می‌کند و می‌تواند برای اندازه‌گیری تابش فعال نورساختی در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر استفاده شود. وقتی نور وجود دارد، یک علامت یا علامت ولتاژ، متناسب با شدت تابش، تولید می‌شود. پوشش گردوغبار برای کاهش جذب گردوغبار، از تداخل عوامل محیطی با اجزای داخلی جلوگیری می‌کند و می‌تواند میزان تشعشع مؤثر نورساختی را با دقت بیشتری اندازه‌گیری کند (الیویرا و همکاران، ۲۰۱۷).

حس‌گر دی‌اکسید کربن

دی‌اکسید کربن نوعی ماده خام برای نورساخت گیاهان سبز



شکل ۴. حس‌گر دی‌اکسید کربن

حس‌گر رطوبت بستر کشت

میزان آب موجود در خاک نیروی محرکه رشد گیاه است. وقتی محتوای آب در خاک نسبتاً زیاد است، آب همراه با مواد مغذی بستر وارد گیاه می‌شود. با این حال، با ناکافی بودن محتوای آب در خاک، غلظت آن در ریشه گیاه کمتر از محیط رشد پیرامونی است. این مسئله باعث می‌شود که فعالیت اصلی ریشه بیشتر به محیط خاک منتهی شود و عناصر موجود در بستر وارد گیاه شوند. کم بودن میزان آب در دسترس گیاه بر رشد آن تأثیر

با توجه به مساحت گلخانه باید حس‌گر دی‌اکسید کربن را انتخاب و نصب کرد. در مساحت‌های نسبتاً کوچک می‌توان تجهیزات را در مرکز گلخانه نصب کرد تا با یک دستگاه بر کل گلخانه نظارت داشت. مساحت‌های نسبتاً زیاد دو یا چند حس‌گر لازم دارند. نصب حس‌گر بر روی دیوار مناسب‌تر است. البته بیشتر گلخانه شرایط نصب خوبی ندارند. در این صورت، بهتر است حس‌گر را بر روی لوله‌ای فولادی تعبیه کرده و در گلخانه نصب کرد.

می‌گذارد. نظارت بر رطوبت خاک گلخانه (شکل ۵) می‌تواند به افزایش محصول کمک کند (الیویرا و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۵. حس گر رطوبت بستر کشت

گیاهان و در نتیجه بر رشد و نمو طبیعی گیاهان تأثیر می‌گذارد. عدم تعادل اسید و باز خاک می‌تواند دسترسی به مواد مغذی بستر کشت را کاهش دهد و بر حاصلخیزی بستر تأثیر بگذارد. بنابراین، لازم است برای رشد محصولات گلخانه، پی‌اچ بستر کشت با حس گر نظارت شود (شکل ۶). در صورت نامناسب بودن این شاخص می‌توان با کوددهی درست، بستر آن را اصلاح کرد تا حاصلخیزی آن بهتر شود.

برای نظارت بهتر بر شاخص‌های مختلف بستر کشت می‌توان از حس گرهای چندکاره بستر استفاده کرد. بنابراین، با یک حس گر می‌توان بر دمای بستر کشت، رطوبت، رسانایی، پی‌اچ و مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم (کود ان پی کا) هم‌زمان نظارت کرد (ملیت و همکاران، ۲۰۲۱).

توصیه می‌شود حس گر رطوبت خاک با میله فولادی ضدزنگ انتخاب شود. زیرا بدون نگرانی از آسیب دیدن حس گر می‌توان آن را برای نظارت طولانی‌مدت در بستر کشت قرار داد یا دفن کرد. حس گر رطوبت بستر کشت به یک نظارت‌کننده متصل است. سکوی نظارت پس از تشخیص کم یا زیاد شدن رطوبت خاک، علامتی به نظارت‌کننده ارسال می‌کند تا سامانه آبیاری قطره‌ای را روشن یا خاموش کند.

حس گر پی‌اچ بستر کشت

تأثیر پی‌اچ خاک بر رشد محصول عمدتاً در ظاهر و شکل، سوخت‌وساز مواد، رشد و نمو، کیفیت و عملکرد گیاهان آشکار می‌شود. خاک بیش از حد اسیدی یا قلیایی تا حدودی بر رشد ریشه



شکل ۶. حس گر پی‌اچ بستر کشت

حس گر سرعت و جهت باد

حس گرهای سرعت و جهت باد معمولاً در خارج از گلخانه و در فضای باز نصب می‌شود (شکل ۷). با افزایش سرعت باد از آستانه پیش‌بینی شده، سکوی نظارت علامتی به نظارت کننده ارسال می‌کند تا دریچه‌ها را ببندد. در نتیجه، از آسیب ناشی از

شدت باد جلوگیری می‌شود. بادسنج سه فنجان‌ی رایج‌ترین روش اندازه‌گیری سرعت باد است. باد فنجان را حول یک محور عمودی می‌چرخاند و از تعداد چرخش‌ها در یک بازه زمانی مشخص، برای تعیین سرعت باد استفاده می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۷. حس گر سرعت و جهت باد

حس گر بارش

باران‌سنج متداول‌ترین حس گر برای اندازه‌گیری میزان بارش است (شکل ۸). این حس گر در خارج از گلخانه نصب می‌شود.

سکوی نظارت، با اندازه‌گیری میزان بارش به مقدار پیش‌بینی شده، با بستن یا محدود کردن دریچه‌های سقف یا جمع کردن سقف، از مشکلات ناشی از بارش جلوگیری می‌کند (ملیت و همکاران، ۲۰۲۱).



شکل ۸. حس گر بارش

سکو یا پایانه نظارت بر محیط گلخانه

سکو یا پایانه همان نرم‌افزار نظارت کننده و هدایت گر گلخانه است (شکل ۹). در واقع، پس از جمع‌آوری انواع داده‌ها با استفاده از حس گرها و سایر ابزارها، به مرکز یا نرم‌افزار پردازش داده نیاز است. این سکوی نظارتی می‌تواند داده‌های حس گرهای مختلف را جمع‌آوری، ذخیره و تجزیه و تحلیل کند. کاربران سامانه‌ها

می‌توانند داده‌ها و نتایج پردازش آن‌ها را در رایانه، تلفن همراه و سایر ابزارهای مشابه مشاهده کنند. با توجه به اطلاعات مورد نیاز برای مدیریت گلخانه، آن‌ها می‌توانند تجهیزات زیادی را به این سکو متصل کنند تا مدیریت علمی، هوشمند و کارآمد گلخانه تسهیل شود (ریتاردت و همکاران، ۲۰۲۰؛ ناواندار و ستپوت، ۲۰۱۹؛ مارتینس و همکاران، ۲۰۲۰)



شکل ۹. سکوی نظارت در گلخانه هوشمند

نظارت، از حس گرهای استفاده می‌شود که داده‌های آن در Cloud ThingSpeak ذخیره می‌شود. با استفاده از یک برنامه تلفن همراه و شبکه اینترنت، این داده‌ها قابل مشاهده است. در محل گلخانه تیز از یک نمایشگر استفاده می‌شود. با استفاده از یک برنامه تلفن همراه به نام ThingView (مشاهده اشیاء) یا ThingSpeak (صحبت با اشیاء) می‌توان داده‌ها را از راه دور نیز ارزیابی کرد. با استفاده از پایانه کاربر و تلفن همراه هوشمند می‌توان اطلاعات محیطی و در لحظه را مشاهده کرد و به آن دسترسی داشت.

برنامه کاربردی اینورتر (Invertor) نیز پایانه مناسبی است. این پایانه به کاربر امکان می‌دهد تا به برنامه کاربردی، برخط و ویژه تلفن همراهی با نام block-based از راه دور دسترسی داشته و بر پروژه‌های موجود بر روی آن نظارت کند. این برنامه برای اطمینان از نظارت خودکار و دستی بر گلخانه‌ها کاربرد دارد (لئو و همکاران، ۲۰۲۲).

بحث و نتیجه‌گیری

هوشمندسازی روند ضروری و ناگزیر در همه بخش‌ها و در همه جهان است: از کشاورزی و صنعت گرفته تا آموزش، خدمات و دیگر حوزه‌ها. سودآوری و مزایای تولید گلخانه‌ای به خصوص در گلخانه‌های نوین قابل توجه است. زیرا در آن‌ها امکان چندکشتی و نظارت بر شرایط محیطی وجود دارد.

سامانه‌های نظارت بر گلخانه‌ها براساس نوع محصول و گلخانه بسیار متنوع است. در واقع، این سامانه‌ها براساس نیاز کاربر و محصولات کشت شده انتخاب و برنامه‌ریزی می‌شوند. انتخاب حس گرها براساس نوع محصول، در ایجاد حس اعتماد به اطلاعات جمع‌آوری شده و برنامه‌ریزی برای نظارت بر گلخانه اهمیت زیادی دارد. مثلاً حس گرهای بی‌سیم در گلخانه سبزی و صیفی از اجزای حیاتی اینترنت اشیا است. نظارت بر دامنه تغییرات تضمین می‌کند که داده‌های حس گرهای بی‌سیم قابل اطمینان هستند یا خیر؟ البته عوامل متعددی بر دریافت اطلاعات صحیح از محیط گلخانه نقش دارند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بین اندازه محصول کشت شده، نوع حس گر استفاده شده و درستی اطلاعات آن ارتباط مستقیمی وجود دارد (کریک و همکاران، ۲۰۲۲).

ریزنظارت گر NodeMCU و سایر دستگاه‌های الکتریکی همراه آن، یکی از سامانه‌هایی است که در گلخانه‌های هوشمند استفاده می‌شود. این سامانه یا ریزنظارت گر، یک سکوی قابل توسعه و متن باز با ابزارهای اینترنت اشیا کم‌هزینه و گزینه مناسبی است. البته با توجه به نوع محصول، حس گرها نیز می‌تواند متغیر باشد. از Arduino IDE به عنوان ابزار برنامه‌نویسی این سامانه استفاده می‌شود. برای نظارت آسان بر گلخانه هوشمند، این سکوی با توجه به شاخص‌های پیش‌بینی شده در سامانه، طراحی و پیاده‌سازی می‌شود. در این سامانه از NodeMCU به عنوان ریزناظر اصلی استفاده می‌شود. برای جمع‌آوری و انتقال داده‌های پایش /

نتایج آن‌ها در حوزه‌های گوناگون؛ از یکپارچه‌سازی مدیریت منابع آب و زمین تا اشتراک کار و سرمایه و دانش. همه این موارد به یاری فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی و دانش استفاده از آن‌ها میسر شده است. فناوری‌هایی که خود برای جمع‌آوری، ذخیره، سازمان‌دهی، پردازش و استفاده از اطلاعات و دانش توسعه یافته‌اند. به عبارت دیگر، این دانش و اطلاعات است که دارد چیزها و فرایندها را یکپارچه و هوشمند می‌کند.

هوشمندسازی نقطه اوج استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی برای بهینه‌سازی مدیریت منابع محدود است. گلخانه‌های هوشمند یکی از آن‌هاست. با توجه به گستردگی و وسعت مناطق کشاورزی ایران، مشکلات زیست‌محیطی، بحران‌های آبی، آلودگی خاک به دلیل مصرف بی‌رویه کود و سم و دیگر مسائل و مشکلات موجود، می‌توان امیدوار بود که با توسعه کشت گلخانه‌ای در مناطق کم‌برخوردار و نیز تبدیل گلخانه‌های سنتی به گلخانه‌های نیمه‌پیشرفته در بلندمدت بتوان توسعه صنعت گلخانه‌داری و تأسیس گلخانه‌های تمام‌هوشمند را در ایران شاهد بود.

نکته مهم و اغلب مغفول مانده این است که توسعه کشاورزی و گلخانه‌های هوشمند در درجه اول به توسعه زیرساخت‌های هوشمند در کل کشور، به‌ویژه زیرساخت‌های آموزشی و پژوهشی مرتبط با این حوزه، نیازمند است. اصلاح ساختارهای اجتماعی و اقتصادی نیز یکی از این زیرساخت‌هاست. بنابراین، برای توسعه هر بخش باید به ساختارهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی همان حوزه توجه داشت. برای مثال، در سیاست‌گذاری‌های توسعه برای صنعت و کشاورزی از جمله هوشمندسازی، باید به مواردی از جمله زمین‌های کوچک و پراکنده، سرمایه کم، قیمت بالای زمین، تنوع اقلیمی، روابط بین بخش‌های مختلف کشور و نیز با سایر کشورها، دانش و مدیریت دانش، و غیره توجه داشت. حتی موانع و چالش‌های دسترسی به انواع فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی مرتبط با هوشمندسازی در سطح جهانی، توسعه سخت‌افزارها و نرم‌افزارها با توجه به نیازهای

هم‌چنین می‌توان بر زمان بازاررسانی محصولات نیز نظارت کرد. این توانمندی، از هم‌زمانی و افزایش ناگهانی محصول در برخی از فصل‌های سال، که با افت قیمت و خسارت مالی همراه است، جلوگیری می‌کند. کاهش نیروی کار، مهار بیماری‌ها، مدیریت مصرف سم و کود و غیره به تولید محصولات بهتر و بیشتر می‌انجامد و هزینه‌های تولید را نیز کاهش می‌دهد.

برای هوشمندسازی گلخانه‌ها در ایران، به‌ویژه از سوی گلخانه‌داران و کشاورزان پیشرو، نیز تلاش‌هایی انجام شده است: از آموزش نیروهای متخصص تا افزایش آگاهی درباره اهمیت اقتصادی و زیست‌محیطی آن، و نیز تخصیص هزینه، امکانات و غیره. این کشاورزان و گلخانه‌داران، برای روزآمد کردن اطلاعات خود، با بخش‌های مرتبط با آموزش و پژوهش کشاورزی نیز تعامل‌هایی داشته‌اند اما با توجه به زیرساخت‌های ضعیف موجود در بخش‌های مختلف، هم‌افزایی مثبت زیادی حاصل نشده است. البته در کشت و صنعت‌های بزرگ و با همکاری بخش خصوصی و نیمه‌خصوصی، تعدادی گلخانه هوشمند و پیشرفته در حال فعالیت است. اما مشکلات و محدودیت‌های زیرساختی در این حوزه و بخش‌های مرتبط مانع بزرگ رشد و توسعه متوازن و شایسته، در مقایسه با دیگر کشورهاست.

با توجه به اینکه کشور ایران با محدودیت منابع زیرساختی، به‌خصوص زمین مناسب کشت، آب، و سرمایه روبروست، هوشمندسازی بخش کشاورزی امری ناگزیر است. داشته‌های کشور نیز در مقایسه با بسیاری از کشورها قابل توجه است. مدیریت کارآمد این منابع به توسعه علوم و فنون، به‌ویژه علوم و فنون اطلاعاتی و ارتباطی نیازمند است. امروزه، فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی فرایندهایی را در سطح محلی، منطقه‌ای، ملی و حتی جهانی یکپارچه کرده است که دورماندن از این چرخه حاصلی جز خسارت و حتی نابودی منابع محدود برای کشور در پی ندارد: از یکپارچه‌سازی کاشت و برداشت محصولات کشاورزی و غیرکشاورزی گرفته تا بازاریابی، حمل‌ونقل و توزیع و خود بازار؛ از آموزش و پژوهش بین‌رشته‌ای گرفته تا کاربست

- Rayhana, R.; Xiao, G.; Liu, Z. (2020). Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming. *IEEE Journal Radio Freq. Identif.* 4, 195–211.
- Gorjian, S.; Ebadi, H.; Najafi, G.; Chandel, S.S.; Yildizhan, H. (2021). Recent advances in net-zero energy greenhouses and adapted thermal energy storage systems. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 43, 100940.
- Oliveira, J.; Boaventura-Cunha, J.; Oliveira, P.M. (2017). Automation and Control in Greenhouses: State-of-the-Art and Future Trends. In *Lecture Notes in Electrical Engineering*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin, Germany, 402, 597–606.
- Leithardt, V.; Santos, D.; Silva, L.; Viel, F.; Zeferino, C.; Silva, J. A. (2020). Solution for Dynamic Management of User Profiles in IoT Environments. *IEEE Lat. Am. Trans.* 18, 1193–1199.
- Liu, Y. (2022). Smart Greenhouse Monitoring and Controlling based on NodeMCU, (*IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13 (9), 597-600.
- Kirci, P.; Ozturk, E. & Celik, Y. (2022). A Novel Approach for Monitoring of Smart Greenhouse and Flowerpot Parameters and Detection of Plant Growth with Sensors. *Agriculture*, 12, 1705. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101705>,
- Nawandar, N.K.; Satpute, V.R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Comput. Electron. Agric.* 162, 979–990.
- Martins, J.A.; Ochôa, I.S.; Silva, L.A.; Mendes, A.S.; González, G.V.; Santana, J.D.P.; Leithardt, V.R.Q. (2020). PRIPRO: A Comparison of Classification Algorithms for Managing Receiving Notifications in Smart Environments. *Appl. Sci.* 10, 502.

بومی و خاص، انتقال دانش استفاده از آن‌ها، و حفاظت از حقوق مالکیت فکری نیز از جمله مسائلی است که باید در سیاست‌ها و برنامه‌های راهبردی و نیز تدوین برنامه‌های خاص به آن‌ها توجه شود. زیرا، گلخانه‌های کوچک و موقعیت‌های اقلیمی و فرهنگی متفاوت به الگوهای مختلف توسعه نیازمند است. کم و کیف شبکه‌های حمل و نقل زمینی و هوایی، دسترسی به شبکه‌های اطلاعاتی و ارتباطی، روابط سیاسی و اقتصادی با کشورهای مختلف، و نیز رابطه درون‌بخشی و برون‌بخشی نیز در طراحی سیاست‌های توسعه این بخش با اهمیت است. کمترین خسارت بی‌توجهی یا کم‌توجهی به هر بخش در سیاست‌های کلان و خرد مساوی است با از بین رفتن سرمایه‌های زیرساختی که به شدت محدودند. اهمیت توجه به روابط بین‌بخشی و درون‌بخشی به‌ویژه به هنگام هوشمندسازی صنایع و خدمات به مراتب بیشتر است زیرا در هوشمندسازی قرار است همه بخش‌های پراکنده و توزیع شده با کمک انواع فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی به هم متصل و حتی یکپارچه شوند. به همین دلیل، ضعف در کوچک‌ترین بخش یک شبکه یکپارچه و متصل به هم بر سایر اجزای همان شبکه و نیز شبکه‌های مرتبط تأثیر منفی و پرخسارتی دارد.

در هوشمندسازی نه فقط این ضعف‌ها آشکار می‌شود و به چشم می‌آید بلکه باید تبدیل به انواع راه‌حل‌های علمی و فنی مرتبط به هم شود. به این ترتیب، هم کارکرد هر بخش و اجزای آن ارتقا می‌یابد و هم کارکرد و کارایی کل نظام.

منابع

- ثابت، فرید؛ محمدپور، مسلم (۱۴۰۰). کشاورزی هوشمند. *مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی*. ۷ (۱): ۴۹–۵۹.
- Mellit, a. et al. (2021). Design of a Novel Remote Monitoring System for Smart Greenhouses Using the Internet of Things and Deep Convolutional Neural Networks, *Energies* 14, 5045. <https://www.mdpi.com/journal/energies>
- Wang, T. et al. (2017). Integration of solar technology to modern greenhouse in China: Current status, challenges and prospect. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 70, 1178–1188.

Smart greenhouses

Robaba Asghari

Faculty member of Imam Khomeini Higher Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: fariba2022@yahoo.com

Abstract

A smart greenhouse is a greenhouse that is often remotely and automatically managed with a variety of interconnected hardware and software. Infact, tools and processes are knowledge based and this is the biggest feature of smart greenhouses. Various data are collected through using a variety of tools and methods, and sent to the system or platform via the communication tools and channel. The function of these softwares or platforms is data analysis and decision making. Therefore, like all information systems, it includes hardware, software, and communication tools. Other tools in smart greenhouses are also mainly automated with various information and communication technologies, including a variety of sensors. The main duty of sensors is to collect data from the environment. Tools such as cameras, satellites and drones are also used in different environments. Sensors and cameras are also installed on a variety of vehicle, agricultural machines, etc., to collect data and information necessary for analysis, decision-making, and implementation. The point that is often overlooked is that, smart systems requires the development of its infrastructure through out the country; especially educational and research infrastructure. Reforming social and economic structures is also one of the infrastructures. The importance of paying attention to inter-departmental and intra-departmental relations during smarting is high because all scattered and distributed departments are supposed to be connected and even integrated with the help of information and communication technology. In smarting systems, not only the weaknesses and needs are highlighted, but they must become integrated and related scientific and technical solutions. In this way, both the function of each part and its components are improved, as well as the function and efficiency of the whole system.

Keywords: Smart greenhouses, Sensors, Smart agriculture, Smart systems.