پنجمین کنفرانس ملی فناوری‌های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر
۳۰ شهریور ماه ۱۴۰۱ - اصفهان
پایگاه استنادی علوم جهان اسلام
۰۱۲۲۰-۹۰۱۳۵

طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت هوشمند و بهینه گلخانه با کمک اینترنت اشیاء

زهرا ظفرزاده، دانشجوی کارشناسی مهندسی کامپیوتر، zahra.zafarzade1378@gmail.com[1]
احسان عطائی دادوی، استادیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی کامپیوتر، ataie@umz.ac.ir[2]

چکیده

امروزه با رشد جمعیت، نقش گیاهان درگروه مواد غذایی و تولیدات گیاهیِ با کیفیت، از اهمیت بالایی برخوردار است. تولید و تکثیر این گیاهان هم احتیاج به نگهداری و مراقب منظم دارد. از طرفی بحران آب نیز مسئله‌ای حیاتی است، که احتیاج به مدیریت و استفاده بهینه دارد. بنابراین استفاده از گلخانه هوشمند مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء می‌تواند دغدغه‌ی نگهداری با کیفیت از گیاهان تامین کننده زنجیره غذایی یا گیاهان زینتی را مرتفع و استفاده بهینه از منابعی همچون آب را فراهم کند. در این مقاله گلخانه هوشمندی مبتنی بر چهار اصل آبیاری خودکار، سیستم روشنایی در محیط تاریک، بررسی و بهبود کیفیت هوا، و سیستم اطفای حریق بنا شده است. این راهکار با بهره‌گیری از اینترنت اشیاء برای عملکرد بهتر، مدلی از گلخانه هوشمند را ارائه می‌دهد که به کشاورزان کمک می‌کند تا بدون استفاده از بازرسی مکرر و روش‌های مرسوم و قدیمی که احتیاج به صرف انرژی زیاد دارند، با استفاده از حسگرهای هوشمند و به صورت خودکار، تغییرات میزان نور، دما، میزان رطوبت خاک، رطوبت فضای گلخانه، سطح آب موجود در منبع و کیفیت هوا را رصد کرده و براساس آن بهترین تصمیم را بگیرند و اجرا نمایند. همچنین این سیستم در زمان بروز آتش‌سوزی و کیفیت بد هوای ناشی از نشت گاز که می‌تواند از بخاری یا منابع دیگر باشد، با ارسال ایمیل[3] کاربر را آگاه می‌کند تا از بروز خسارات بیشتر جلوگیری کند. پیاده‌سازی این راهکار بصورت پایلوت نشان داد که راهکار پیشنهادی نسبت به روش‌ها مرسوم و مبتنی بر نظارت و دخالت انسانی، با کارآمدی بیشتری عمل می‌نماید.

کلمات کلیدی: گلخانه هوشمند، اینترنت اشیاء، آبیاری هوشمند، روشنایی هوشمند، اطفای حریق، تهویه هوشمند.

---

[1] دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران
[2] دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران
[3] Email

www.SID.ir

۱- مقدمه

اینترنت اشیاء[۴] (IoT) را می‌توان به عنوان چتری از مفاهیم، پروتکل‌ها و فناوری‌های مختلف دید [۱]. شرکت IBM اینترنت اشیاء را مفهومی از اتصال فیزیکی چیزها به اینترنت و سایر دستگاه‌ها تعریف می‌کند؛ همچنین عنوان می‌کند که اینترنت اشیاء به گستره رو به رشد دستگاه‌های متصل به اینترنت که هر روز حجم عظیمی از اطلاعات را جذب یا تولید می‌کند، اشاره دارد [۲]. همه دستگاه‌ها در این پارادیم باید شناسه‌های یکتا داشته باشند و از فناوری‌های تعبیه‌شده برای تشخیص و جمع‌آوری داده‌های مربوط به خود و محیطشان و انتقال آن داده‌ها به دستگاه‌ها یا میزبان‌های دیگر استفاده کنند. سپس این داده ها باید تجزیه و تحلیل شوند تا تصمیمات هوشمندانه‌تری را ارائه دهند [۳،۱]. عبارت «چیزهای هوشمند[۵]» گاهی اوقات با عبارات مشابه از جمله شیء هوشمند، دستگاه اینترنت اشیا، نقطه پایانی[۶] اینترنت اشیا، دستگاه نقطه پایانی، حسگر هوشمند، دستگاه هوشمند، گره[۷]/چیز هوشمند یا چیز، به‌جای یکدیگر استفاده می‌شود. صرف نظر از اصطلاح مورد استفاده، یک شیء هوشمند شیئی است با وسایل الکترونیکی تعبیه شده که می‌تواند داده‌ها را از طریق شبکه بدون هیچ گونه تعامل انسانی مبادله کند [۴،۲]. یک چیز هوشمند معمولی از چندین جزء، شامل یک واحد پردازش، یک منبع تغذیه، یک دستگاه ارتباطی و مبدل‌ها تشکیل شده است [۳].

امروزه کشاورزی به یک رقابت تبدیل شده است. با از بین رفتن منابع خاک، کاهش ذخایر آبی، افزایش مصرف آب، و شرایط غیرقابل پیش‌بینی آب و هوا، کشاورزان باید سعی در تولید محصولات باکیفیت‌تر و بیشتر، با منابع محدودتری نمایند. کشاورزی هوشمند شبکه‌ای از مانیتورها، دوربین‌ها و حسگرها و عملگرها است که همگی می‌توانند با هم کار کنند تا به کشاورز کمک کنند تا کار خود را به طور مؤثرتری انجام دهد. این مجموعه خودکفا خواهد بود تا بتوانند بدونِ یا با کمترین نیاز به دخالت انسان با یکدیگر تعامل داشته باشند. به بیان دیگر، ابزارها با آگاهی از لحظه و انگیزه ارتباط با ابزارهای دیگر در طرح، از پیش، برنامه ریزی شده‌اند [۱].

یکی از راه‌های تولید محصولات کشاورزی در همه فصول، استفاده از محیط‌های بسته و تحت کنترلی با نام عمومی *گلخانه* است، اما نه به روش سنتی. به دلیل ساختار بسته گلخانه، حشرات و آفات نمی‌توانند به راحتی داخل شوند و در نتیجه نیاز به حشره کش ها و آفت کش‌ها کاهش می‌یابد. گلخانه‌های هوشمند[۸] یکی از کاربردهای کشاورزی هوشمند می‌باشند که ضمن محافظت از محصولات در برابر شرایط آب و هوایی نامطلوب، تنظیم و کنترل دقیقی را فراهم می‌کنند. این گلخانه‌ها درک وسیع و سریعی از شرایط پیرامونی دارند، می‌توانند مسائل را قبل از رخ دادن پیش‌بینی کنند و در مورد نحوه اجتناب از آنها تصمیمات آگاهانه بگیرند [۵].

اینترنت اشیاء می‌تواند به طور قابل توجهی به رفع چالش‌های مربوط به کشاورزی و ایجاد بستر لازم برای هوشمندسازی گلخانه‌ها از طرق مختلف کمک کند: درک بهتر شرایط خاص کشاورزی، مانند شرایط آب و هوایی و محیطی که می‌تواند از ظهور آفات و علف‌های هرز جلوگیری کند مانند تنظیم دمای مناسب برای گلخانه‌ها. کنترل پیچیده‌تر و از راه دور عملیات گلخانه، پردازش و آمایش توسط محرک‌ها[۹] و ربات‌ها، به عنوان مثال، کاربرد دقیق تهویه هوا، پر شدن خودکار منبع آب، آبیاری خودکار [۵]. داده‌ها در این فناوری از گیرنده‌ها دریافت و تحلیل می‌شوند و متناسب با آن بهترین پاسخ در اسرع وقت داده می‌شود. به طور مثال برای اینکه به گیاهان در حد نیازشان آبرسانی شود، نه بیشتر و نه کمتر، از حسگرهای سنجش رطوبت خاک استفاده می‌شود و طبق برنامه ریزی، متناسب با مقدار رطوبت مصرفی گیاهان، آبیاری به صورت خودکار اجرا خواهد شد.

در این مقاله، یک سیستم مدیریت هوشمند گلخانه‌ی مبتنی بر اینترنت اشیاء ارائه و پیاده‌سازی شده است. هدف اصلی این پژوهش، مدیریت گیاهان در فضای بسته مثل خانه یا گلخانه است که با استفاده از حسگرهای رطوبت خاک، سطح آب منبع، رطوبت و دمای هوا،

---

[۴] Internet of Things
[۵] Smart things
[۶] End point
[۷] Node
[۸] Smart greenhouse
[۹] Actuators

www.SID.ir

تشخیص نور، تشخیص دود، نشت گاز و تشخیص آتش‌سوزی نظارت می‌شود و اطلاعات در پلتفرم[۱۰] و برنامه تلفن همراه برای کشاورز یا کاربر به نمایش در خواهد آمد. این سیستم، با استفاده از حسگرهای مستقر در خاک، آب مورد نیاز محصول را تجزیه و تحلیل می‌کند و با بهره‌گیری از روش آبیاری قطره‌ای تلاش دارد تا میزان هدر رفت آب را کاهش دهد و از محصول محافظت کند. حسگر رطوبت به صورت هوشمند میزان رطوبت خاک را اندازه‌گیری می‌کند و بر اساس داده‌های دریافتی، بدون دخالت انسانی، به طور خودکار گیاه را آبیاری می‌کند. همچنین حسگر سطح آب با اندازه‌گیری میزان آب موجود در منبع تشخیص می‌دهد که، آیا مقدار آب موجود در منبع مناسب است یا خیر. در صورت کم بودن مقدار آب، به صورت خودکار منبع پر می‌شود و زمانی که آب موجود در منبع به حد نصاب برسد، پمپاژ آب درون منبع متوقف می‌شود. حسگرهایی برای کیفیت هوا و تشخیص آتش‌سوزی نیز تعبیه شده است که این‌ها اطلاعات حیاتی مانند کیفیت نامطلوب هوا که می‌تواند ناشی از نشت گاز باشد یا هشدارهای مربوط به آتش‌سوزی که بسیار حساس هستند را تشخیص می‌دهند. این اطلاعات حساس باید به کاربر به صورت ویژه‌ای اطلاع داده شوند؛ مانند تماس، پیام یا ایمیل که در این مقاله از سرویس ایمیل پلتفرم thinger.io استفاده شده است و بالافاصله بعد از تشخیص چنین علائمی که از درجه اهمیت بالایی برخوردارند، عملگرها اجرا می‌شوند تا امنیت گلخانه فراهم شود. نسخه پایلوت پیاده‌سازی شده طرح پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

ادامه این مقاله بصورت زیر سازمان یافته است: بخش ۲، شامل مروری بر تعدادی از کارهای پژوهشی مرتبط با پژوهش حاضر خواهد بود. در بخش ۳، به ویژگی‌های سیستم هوشمند پیشنهادی و بررسی هر یک از زیرسیستم‌های آن پرداخته خواهد شد. بخش ۴، مدل استقرار سیستم ارائه شده را در قالب ارتباط بین اجزا نرم‌افزاری و سخت‌افزاری توصیف می‌نماید. در بخش ۵، طراحی جزئی اجزا مختلف شامل سنسورها، محرک‌ها، بردها و سایر اجزاء مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در نهایت بخش ۶ شامل نتیجه‌گیری و جمع‌بندی خواهد بود.

شکل ۱-نمونه آزمایشگاهی گلخانه هوشمند

۲- مروری بر پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت تولیدات گیاهی و دغدغه‌های غذایی و محیط زیستی، تحقیقات زیادی در زمینه مدیریت هوشمند گلخانه صورت گرفته و مقالات زیادی نوشته شده است. در [۶] به تاثیرات اینترنت اشیاء در حوزه کشاورزی هوشمند در کشور هند پرداخته و ایده‌هایی با هدف بهبود بهره‌وری از زمان و منابعی همچون آب و محصولات ارائه شده است. همچنین بیان می‌کند با نظارت بر خاک و محصول گیاهی، می‌توان از بروز آفت جلوگیری کرد. در صورت بروز آفت هم ایده‌ای برای سم‌پاشی بدون دخالت کشاورز را پیشنهاد می‌دهد. به این ترتیب، کشاورزان می‌توانند به سرعت به هر تغییر قابل توجهی در آب و هوا، رطوبت، کیفیت هوا، یا وضعیت هر محصول یا خاک در مزرعه واکنش نشان دهند.

[۱۰] Platform

www.SID.ir

در [۷] یک ایده نوآورانه برای کنترل و نظارت بر شرایط محیطی مانند دما، رطوبت خاک، رطوبت هوا و شدت نور مرتبط با گلخانه با استفاده از فناوری حسگر و دستگاه‌های اینترنت اشیاء ارائه شده است. سیستم انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر برای تغذیه برد آردوینو از طریق باتری قابل شارژ و پنل‌های PV خورشیدی استفاده می‌شود. گلخانه استفاده شده در این پژوهش، دارای نقطه گرمایش کافی یا دمای بالا در داخل خود است که به همین علت به آن گرمخانه گفته شده است. این سازه‌ای است که در آن سقف‌ها و دیوارها عمدتا از مواد شفاف مانند ورق اکریلیک، شیشه، پلاستیک، فایبر شیشه و غیره ساخته شده است که در آن گیاهانی که نیاز به شرایط آب و هوایی تنظیم شده دارند، رشد می‌کنند. دمای داخل گلخانه نباید کمتر از درجه معینی باشد و همچنین رطوبت زیاد منجر به تراکم بخار آب در سطوح مختلف گلخانه، تعرق محصول و تبخیر آب مرطوب خاک شود. بنابراین با طراحی سیستم کنترل دما، رطوبت هوا، رطوبت خاک و شدت نور که از طریق شبکه‌ای بی‌سیم به برد آردوینو مدل UNO متصل می‌شوند، داده‌ها دریافت بررسی و دستورات به صورت خودکار اعمال می‌شوند و اطلاعات گلخانه بر روی سایت، برنامه اندروید و نمایشگر، نشان داده می‌شود.

در [۸] مدلی مبتنی بر اینترنت اشیاء برای رسیدن به رشد بهینه گیاهان و سودآوری در این زمینه ارائه شده است. آب درون منبع از طریق منابع بزرگتری مانند چاه، رودخانه و یا برداشت آب باران تهیه می‌شود. سطح آب درون منبع توسط سنسور اولتراسونیک[۱۱] سنجیده می‌شود؛ هرگاه آب درون منبع از حد نصاب کمتر شود، از طریق ماژول GSM به کاربر اطلاع داده می‌شود و با دستور کاربر، پمپ آب برای مکش آب به درون منبع روشن می‌شود و با توجه به حد آستانه تعیین شده، پمپ متوقف می‌شود. حسگر رطوبت خاک میزان رطوبت را می‌سنجد و هرگاه کمتر از حد معین بود آبیاری قطره‌ای آغاز می‌شود. هر زمان که شدت نور برای فتوسنتز کم باشد، چراغ‌های روشنایی و رشد گیاه روشن می‌شوند و در نهایت منجر به رشد سریع‌تر گیاه می‌شود. همواره رطوبت و دمای هوا در گلخانه نظارت می‌شود و هر زمان که دما زیاد شد یا رطوبت هوا خیلی کم شد، سیستم مه‌پاش فعال می‌شود تا رطوبت مورد نیاز تامین شود و دما پایین‌تر بیاید. همچنین ایده‌ای برای حذف واسطه در بازار طرح می‌کند، به این صورت که هرگاه محصولات در انبار جمع‌آوری شوند، کشاورز با استفاده از برچسب RFID مختص آن محصول، موجودی آن را در سایت به‌روز رسانی کند و همچنین به مشتریان ویژه، ایمیلی بابت به‌روز رسانی محصولات بفرستد.

در [۹]هدف، ایجاد یک دستگاه نظارت برنامه ریزی شده با استفاده از حسگرها و ارسال هشدارها و پیام‌های ایمیل به تلفن همراه است. چارچوب پیشنهادی دارای تخمینی است که برای شناسایی سطوح نور، دما، رطوبت هوا و رطوبت خاک مجهز است. در این مقاله از حسگرهای مختلف و ماژول ESP8266 برای ارسال اعلان‌ها و پیام‌های ایمیل استفاده می‌شود. کاربر می‌تواند از طریق تلفن همراه از وضعیت گلخانه باخبر شود. در [۱۰] مدلی متفاوت برای جلوگیری از یخزدگی گیاهان در گلخانه با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی[۱۲] ارائه شده است. این مقاله استفاده بهینه از منابع و کنترل دما را یک عامل کلیدی برای افزایش بهره‌وری می‌داند. هر زمان که هوا بیش از حد تعیین شده گرم شود، تهویه فعال می‌شود. در این روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه[۱۳] (MLP) با تابع آموزشی الگوریتم پس انتشار لونبرگ مارکارد[۱۴]، برای کنترل هوشمند یخزدگی در گلخانه‌های منطقه مرکزی مکزیک طراحی و اجرا شده است. پارامترهای اصلی شامل دمای هوای خروجی، رطوبت نسبی هوای خارج، سرعت باد، شار تابش خورشید و رطوبت نسبی هوا در داخل به عنوان متغیرهای ورودی هستند. نتایج نشان داد که پیش بینی دمای اطمینان، با ضریب تعیین ۰,۹۵۴۹ و ۰,۹۵۹۰، برای تابستان و زمستان است.

در [۱۱] یک رویکرد روش‌شناختی سه مرحله‌ای به منظور طراحی، اجرا و اعتبارسنجی راه‌حلی برای آبیاری هوشمند توت‌فرنگی در گلخانه‌ها ارائه شده است. مباحث اصلی که به آن توجه شده است: ۱-یک مقیاس کوچک توسعه داده می‌شود که راه‌حل‌های آبیاری هوشمند را بر روی انواع گیاهان آزمایش و ارزیابی می‌کند تا بینش مفیدی برای استقرار در مقیاس بزرگ‌تر به‌دست آورد. ۲-یک معماری شبکه مرجع را معرفی می‌کند، به‌ویژه آبیاری هوشمند را هدف قرار می‌دهد. توزیع داده‌های لبه[۱۵] را برای گلخانه‌های توت‌فرنگی مد نظر قرار می‌دهد. ۳-با

---

[۱۱] Ultrasonic
[۱۲] Neural network models
[۱۳] Multi-Layer Perception
[۱۴] Levenberg-Marquardt backpropagation
[۱۵] Edge

www.SID.ir

اتخاذ معماری مرجع پیشنهادی، یک سیستم در مقیاس کامل را در یک محیط گلخانه توت‌فرنگی واقعی در یونان پیاده سازی می‌کند و عملکرد آن را با آبیاری معمولی توت‌فرنگی مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که طراحی آن‌ها به طور قابل‌توجهی از رویکرد مرسوم، هم از نظر تغییرات رطوبت خاک و هم از نظر مصرف آب، بهتر عمل می‌کند.

هدف در [۱۲] کنترل هوشمند سرما از دیدگاه کشاورزی هوشمند است که با بهره‌گیری از اینترنت اشیاء و یک ایستگاه هواشناسی با شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[۱۶] پیشنهاد شده است. علاوه بر این، یک سیستم مدیریت آبیاری ضد یخبندان هوشمند ارائه شده است. ایستگاه اقلیم شناسی و آبیاری یخبندان ضد بلایای اکولوژیکی، از طریق یک وب‌سایت با سیستم زیست محیطی تعامل دارند و امکان اتصال بهم، کسب و نظارت بر اطلاعات را در زمان واقعی از طریق سیستم‌های تلفن‌همراه (GSM/GPRS) و خدمات اینترنت (TCP/IP) فراهم می‌کنند. این سیستم با استفاده از پنل‌های خورشیدی انرژی موردنیاز خودش را تامین می‌کند. ANN می‌تواند برای پیش بینی بهینه دمای داخل گلخانه‌ها استفاده شود و یک سیستم خبره فازی (FES) فعال شدن پمپ آب را کنترل می‌کند. متغیرهای ورودی ANN شامل رطوبت نسبی، دمای هوای بیرون، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی هوای داخل است. کنترل فازی و ANN امکان پیش‌بینی دمای داخلی گلخانه و دمای زمین زراعی را فراهم می‌کند که برای فعال کردن سیستم توزیع آب ضد یخبندان استفاده می‌شود. مدل‌های ANN پیش‌بینی دما را از طریق روش ضریب تعیین تحلیل واریانس (ANOVA) ارائه می‌دهند. مقادیر r^2 دما در فصل تابستان ۹۰،۲۳ و ۹۱،۳۰ و برای فصل زمستان ۹۴،۲۸ و ۹۵،۲۲ بوده است. حافظه تداخل فاز، فعال‌سازی سیستم آبیاری ضد یخبندان را با پنج خروجی برای کنترل حضور یخبندان اقلیمی کنترل می‌کند: بدون یخبندان، یخبندان احتمالی، یخ زدگی خفیف ، شدید یخبندان شدید و یخبندان سخت.

در [۱۳] بیان شده است که استفاده از اینترنت اشیاء در این سیستم گلخانه‌ای می‌تواند دما، رطوبت، رطوبت خاک، آبیاری و کوددهی گیاهان موجود در گلخانه را به صورت خودکار و در زمان واقعی کنترل کند و کشاورزان می‌توانند از راه دور گیاهان را کنترل کنند. این سیستم از یک میکروکنترلر به عنوان مرکز کنترل، حسگرهای مورد استفاده را نظارت و کنترل می‌کند. حسگر رطوبت خاک و حسگر دمای هوا، به عنوان پارامترهای ورودی استفاده می‌شوند و داده‌ها را برای پردازش به میکروکنترلر ارسال می‌کنند و منجر به اجرای عملگرهایی مانند فن، پمپ آب می‌شوند.

اگرچه منابع متعددی به ارائه راهکار یا پیاده‌سازی روش‌های مدیریت هوشمند گلخانه با استفاده از اینترنت اشیاء پرداخته‌اند، اما هر یک دارای معایب و کاستی‌هایی در کنار مزایای مربوطه نیز می‌باشند. به طور خلاصه، ویژگی‌های مقالات مورد مطالعه در این بخش، در جدول ۱ از جنبه‌های مختلف مقایسه شده‌اند. با بررسی این ویژگی‌ها و تشخیص کمبودهای آنان که عمدتا در حیطه‌ی کنترل محیط گلخانه بوده است، در این مقاله سعی شده است تا ویژگی‌هایی مهم و کارا به مدل پیشنهادی اضافه شود تا بهره‌وری از گیاهان را به حداکثر رسانده و شرایط و امنیت گلخانه را بتوان بهتر مدیریت و تامین کرد.

جدول ۱-مقایسه ویژگی‌های پژوهش‌های مورد بررسی

مقاله / ویژگی	مقاله جاری	مقاله [۶]	مقاله [۷]	مقاله [۸]	مقاله [۹]	مقاله [۱۰]	مقاله [۱۱]	مقاله [۱۲]	مقاله [۱۳]
تشخیص رطوبت خاک	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
کنترل پمپ آبیاری به صورت خودکار	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
تشخیص میزان آب درون منبع	✓			✓					
پمپاژ آب درون منبع درصورت نیاز	✓			✓					

[۱۶] Artificial Neural Network

www.SID.ir

تشخیص تاریکی	✓		✓	✓	✓				
روشن و خاموش شدن خودکار لامپ‌ها	✓		✓	✓	✓				
نظارت بر کیفیت هوا	✓	✓							✓
نظارت بر دمای بیشینه هوا	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
روشن و خاموش کردن خودکار تهویه	✓		✓	✓	✓	✓			✓
نظارت بر دمای کمینه هوا		✓	✓	✓		✓	✓	✓	
سیستم گرمایشی خودکار			✓	✓		✓	✓	✓	
نظارت بر رطوبت هوا	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
تامین رطوبت هوا(مه پاشی)			✓	✓	✓				
حذف رطوبت مازاد هوا			✓	✓					
تشیخیص آتش سوزی	✓								
اطفای حریق(آبپاشی سقفی)	✓								
فعال شدن چراغ هشدار به صورت خودکار	✓								
فعال شدن آژیر خطر به صورت خودکار	✓								
اطلاع رسانی از طریق ایمیل	✓			✓	✓		✓	✓	
اطلاع رسانی از طریق پیام/تماس (سیمکارت)					✓		✓		
تشخیص میزان محصول برداشتی		✓			✓				
ارسال اطلاعات محصولات برای مشتری با تگ RFID					✓				
سم پاشی هوشمند		✓							✓
استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی				✓			✓		
نمایش اطلاعات در پلتفرم	✓		✓						
نمایش اطلاعات در برنامه گوشی هوشمند	✓	✓	✓						
نمایش اطلاعات بر روی نمایشگر در گلخانه	✓		✓						
استفاده از انرژی تجدید پذیر			✓				✓		

www.SID.ir

۳- سیستم پیشنهادی

در این روش از دو میکروکنترلر[۱۷] ESP8266 استفاده شده است. که هم پایه‌های آنالوگ دارد و هم دیجیتال. یکی از علل انتخاب این میکروکنترلر، داشتن ماژول WiFi است که برای ارسال اطلاعات حسگرها، وضعیت عملگرها و ارسال ایمیل برای کاربر استفاده می‌شود. از صفحه نمایش OLED

برای نمایش اطلاعاتی نظیر ساعت، تاریخ، وضعیت رطوبت خاک و میزان آب درون منبع استفاده می‌شود. تمامی اطلاعات و وضعیت عملگرها و آن چه حسگرها رصد کرده‌اند در پلتفرم و برنامه گوشی به نمایش در خواهد آمد. ویژگی‌های اصلی این سیستم را می‌توان اینگونه بصورت خلاصه بیان کرد:

- ✓ نظارت مداوم بر رطوبت خاک و آبیاری گیاهان به صورت خودکار
- ✓ نظارت بر کیفیت هوا
- ✓ نظارت بر دمای گلخانه
- ✓ روشن شدن خودکار تهویه هوا و خاموش شدن آن به هنگام کیفیت نامطلوب هوا یا دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد محیط
- ✓ تشخیص آتش سوزی و آب‌پاشی سقفی به صورت خودکار هنگام تشخیص آتش‌سوزی برای مهار کردن آتش
- ✓ فعال شدن چراغ هشدار و آژیر هشدار زمان تشخیص آتش سوزی یا نشت گاز
- ✓ اطلاع رسانی شرایط بحرانی مانند نشت گاز و آتش‌سوزی از طریق ارسال ایمیل
- ✓ نظارت بر میزان آب درون منبع و افزایش خودکار آن در صورت نیاز
- ✓ نظارت بر وضعیت روشنایی محیط و روشن شدن خودکار محیط در صورت تاریکی و پتانسیل تعمیم آن به لامپ‌های رشد گیاه
- ✓ نمایش اطلاعاتی مانند: تاریخ و ساعت، وضعیت رطوبت خاک، آب درون منبع و روشنایی بر روی نمایشگر(مناسب برای بازدید میدانی)

در ادامه، هر یک از زیرسیستم‌های سیستم پیشنهادی را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

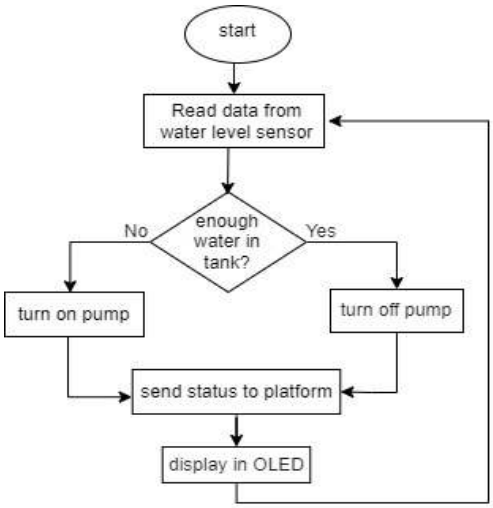
۳-۱ زیرسیستم آبیاری

۳-۱-۱ مدیریت سطح آب در منبع

[۱۷] Microcontroller

www.SID.ir

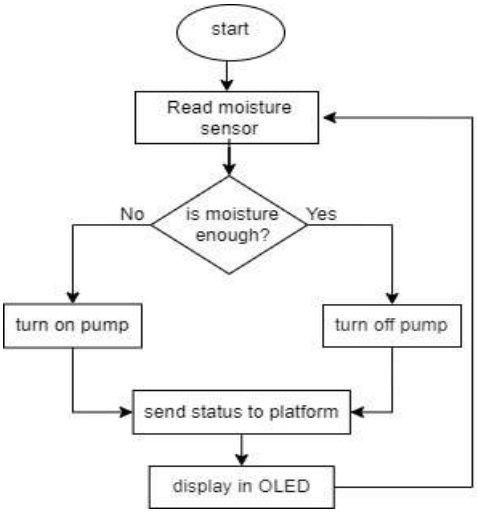
برای استفاده بهینه از آب، از آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنیم. این یک روش آبیاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب است. آبی که از منابعی مانند کانال، برداشت آب باران، چاه لوله‌ای و غیره به دست می‌آید، امکان استفاده مستقیم در مزارع را ندارد؛ در عوض ابتدا در یک مخزن زیرزمینی ذخیره می‌شود. مخزن مجهز به حسگر سطح آب است که سطح آب را به طور مداوم اندازه‌گیری می‌کند و هر زمان که سطح آب از حد آستانه‌ای پایین‌تر بیاید، به طور خودکار دستور پمپاژ را از طریق رله[۱۸] به پمپ می‌دهد و آب را از منبع اصلی مکش می‌کند و هر زمان مقدار آب درون منبع گلخانه به حد مجاز رسید، رله دستور خاموش شدن پمپ را صادر می‌کند. در این سناریو می‌توان برای افزایش میزان آب منبع، از شیر برقی که قابلیت تنظیم دارد هم استفاده کرد. روندنمای این سیستم در شکل ۲ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۲-روندنما سیستم مدیریت اندازه آب منبع

۲-۱-۳ آبیاری گیاه

برای آبیاری گیاهان نیز به کمک حسگرهای رطوبت که در گلخانه مستقر می‌شوند و رطوبت خاک را اندازه‌گیری می‌کنند، هرگاه میزان رطوبت از حد آستانه کمتر باشد دستور پمپاژ آب از طریق رله به پمپ صادر شده و آبیاری انجام می‌شود و هر زمان میزان رطوبت به حد نصاب برسد رله دستور قطع پمپ را صادر می‌کند. شکل ۳ نشان‌دهنده روندنمای این سیستم است.



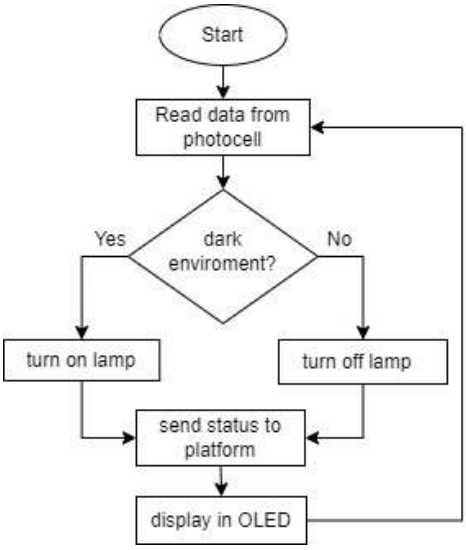
شکل ۳-روندنما سیستم آبیاری گیاه

[۱۸] Relay

www.SID.ir

۳-۲ زیرسیستم روشنایی

از حسگر فتوسل[۱۹] برای تشخیص تاریکی استفاده می‌شود؛ این حسگر دارای پتانسیومتر برای تنظیم حساسیت در تشخیص نور است. به محض تاریک شدن فضا و کمتر شدن مقدار روشنایی از حد مجاز، LED ها با سیگنال ارسال شده از طریق حسگر فتوسل روشن می‌شود. همچنین می‌توان به جای لامپ یا LED های معمولی از لامپ‌های مخصوص رشد گیاه استفاده کرد. شکل ۴ روندنمای این سیستم می‌باشد.



شکل ۴-روندنما سیستم روشنایی

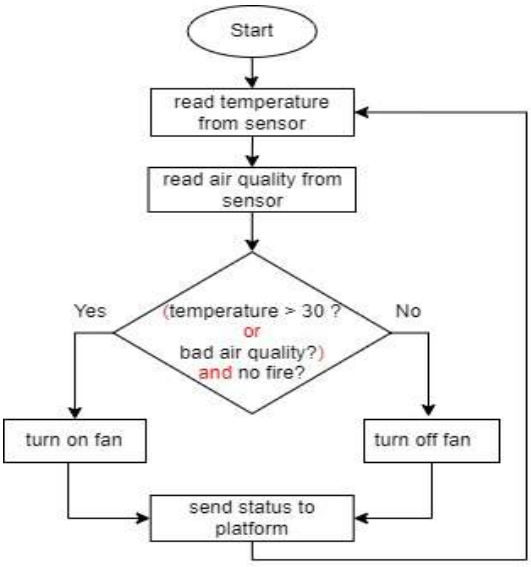
۳-۳ زیرسیستم تعویض هوا

دمای هوای توسط ماژول DHT11 بررسی می‌شود و اگر از حد مجاز بیشتر باشد -که اصولا طبق استاندارد های نگهداری گیاهان در گلخانه، نباید بیش از ۳۰ درجه باشد- فن خنک کننده به صورت خودکار توسط رله روشن شده و تا رسیدن دما به حد مطلوب به تعویض هوای محیط ادامه می‌دهد. میزان کیفیت هوا و نشت گاز نیز با حسگرهای سری MQ قابل رصد است و در صورتی که میزان آلاینده هوا از حد تعیین شده بیشتر شود، فن برای تعویض هوا روشن می‌شود. و اگر بعد از گذشت دو دقیقه همچنان کیفیت هوا با توجه به حد آستانه تولید شده نامطلوب باشد، ایمیلی ارسال شده و خطر نشت گاز به کاربر اطلاع داده می‌شود.

نکته‌ی قابل ملاحظه در مورد روشن شدن فن این است که اگر آتش‌سوزی رخ دهد و در همان حال شرایط روشن شدن فن که دما و آلاینده بیش از حد هستند، فراهم شود، فن روشن نخواهد شد؛ زیرا با تعویض هوا توسط فن هنگام آتش‌سوزی، شدت آتش‌سوزی و در پی آن خسارات ناشی از آن بیشتر خواهد شد. در شکل ۵ روندنمای این سیستم به نمایش درآمده است.

[۱۹] Photocell sensor

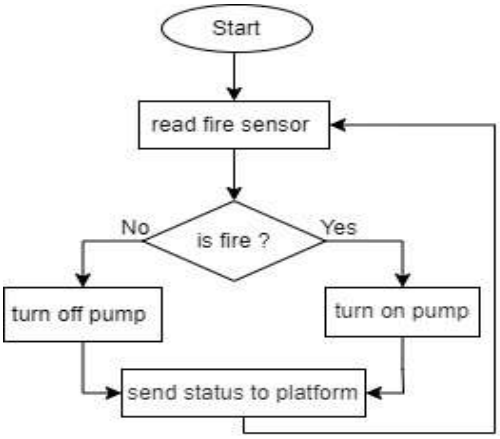
www.SID.ir



شکل ۵-روندنما سیستم تعویض هوا

۳-۴ زیرسیستم اطفای حریق

سیستم اطفای حریق یکی از ارکان مهم در حفظ امنیت محیط گلخانه می‌باشد. سنسور تشخیص شعله به کار رفته در این سیستم، آتش‌سوزی را تشخیص می‌دهد و بلافاصله آژیر و چراغ خطر در محیط فعال شده و دستور آبپاشی سقفی از طریق رله به پمپ ارسال می‌شود و بعد از گذشت یک دقیقه اگر همچنان حسگرهای تشخیص آتش، آتش‌سوزی را تشخیص دهند برای کاربر ایمیل با مضمون *خطر رخ داد آتش‌سوزی در محیط* ارسال شده و پیشنهاد تماس با آتش‌نشانی داده می‌شود. شکل ۶ روندنمای سیستم اطفای حریق را نمایش می‌دهد.



شکل ۶-روند نما سیستم اطفای حریق

۳-۵ پلتفرم

در اکثر موارد، یک پلتفرم مجموعه‌ای از نرم‌افزار و سخت‌افزار می‌باشد که ممکن است دربرگیرنده محیطی عملیاتی، فضاهای ذخیره‌سازی، قدرت محاسباتی، امنیت، ابزارهای توسعه و بسیاری از عملکردهای رایج باشد. پلتفرم‌ها برای پشتیبانی از بسیاری از برنامه‌های کاربردی کوچکتر که در واقع مشکلات کسب و کار را حل می‌کنند طراحی شده‌اند. این سیستم عامل‌ها، واقعا مفید هستند؛ زیرا بسیاری از عملکردهای رایج را از منطق برنامه‌هایی خاص حذف می‌کنند. همچنین بسیاری از نیازهای تکنولوژیکی، اساسا یکسان هستند. توسعه دهندگان نرم‌افزار

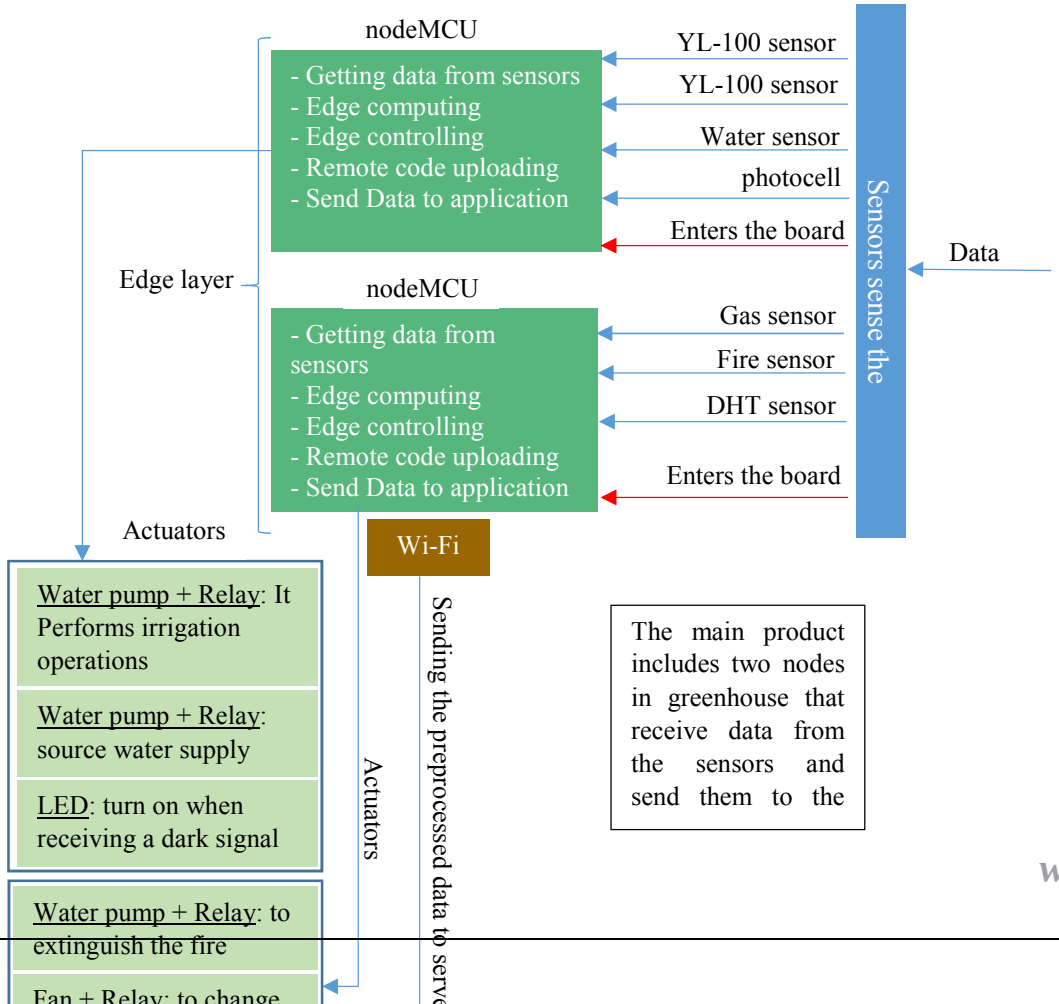
www.SID.ir

فقط می‌خواهند بر روی مشکل خاصی که در مورد آن کار می‌کنند، تمرکز کنند و از ویژگی‌های رایج پلتفرم‌ها مانند شمارش میزان انرژی، ذخیره سازی یا امنیت استفاده کنند. یک پلتفرم خوب به طور چشمگیری هزینه‌های توسعه و نگهداری برنامه‌ها را کاهش می‌دهد. در اینترنت اشیاء، پلتفرم‌ها برای گسترش برنامه‌هایی که کار نظارت، مدیریت و کنترل دستگاه‌های متصل به هم را انجام می‌دهند، طراحی شده‌اند. سیستم عامل‌های IoT باید مشکلاتی مانند ارتباط و استخراج داده‌ها را از تعداد فراوانی دستگاه که گاهی اوقات در مکان‌هایی ناخوشایند با وضعیت ارتباطی نامناسب قرار دارند، حل کنند.

در این پژوهش از پلتفرم متن‌باز thinger.io [۱۴] استفاده شده است. با استفاده از این پلتفرم در سیستم پیشنهادی، کشاورز قادر است تا در هر لحظه وضعیت گلخانه را نظارت کند. اطلاعاتی نظیر وضعیت آب درون منبع، روشنایی،رطوبت خاک، رطوبت هوا، دما، پمپ آبیاری گیاه، پمپ تامین آب منبع، فن، پمپ اطفای حریق و مقادیر حسگرهای کیفیت هوا و تشخیص شعله در پلتفرم و برنامه گوشی قابل مشاهده هست. با این امکانات کشاورز علاوه بر رصد کردن وضعیت گلخانه می‌تواند از عملکرد درست فن‌ها و پمپ‌ها نیز مطلع شود. همچنین هرگاه حسگر یا عملگری از سیستم خارج شود، کشاورز از طریق پلتفرم متوجه آن می‌شود و عیب‌یابی و رفع نقص با سرعت بالایی انجام خواهد شد.

۴- مدل استقرار سیستم

نقشه پیاده‌سازی و مدل استقرار سیستم، درک بهتری از ارتباط سخت‌افزار و نرم‌افزار در این ایده می‌دهد. در شکل ۱۱ نقشه پیاده‌سازی ایده نمایش داده شده است. توضیحات بیشتر در مورد مولفه‌ها و اتصالات این معماری در بخش بعدی ارائه شده است. خاطر نشان می‌سازد که راهکار پیشنهادی، بر مبنای مدل استقرار نشان داده شده در شکل ۱۱ بصورت پایلوت نیز پیاده‌سازی شده است.

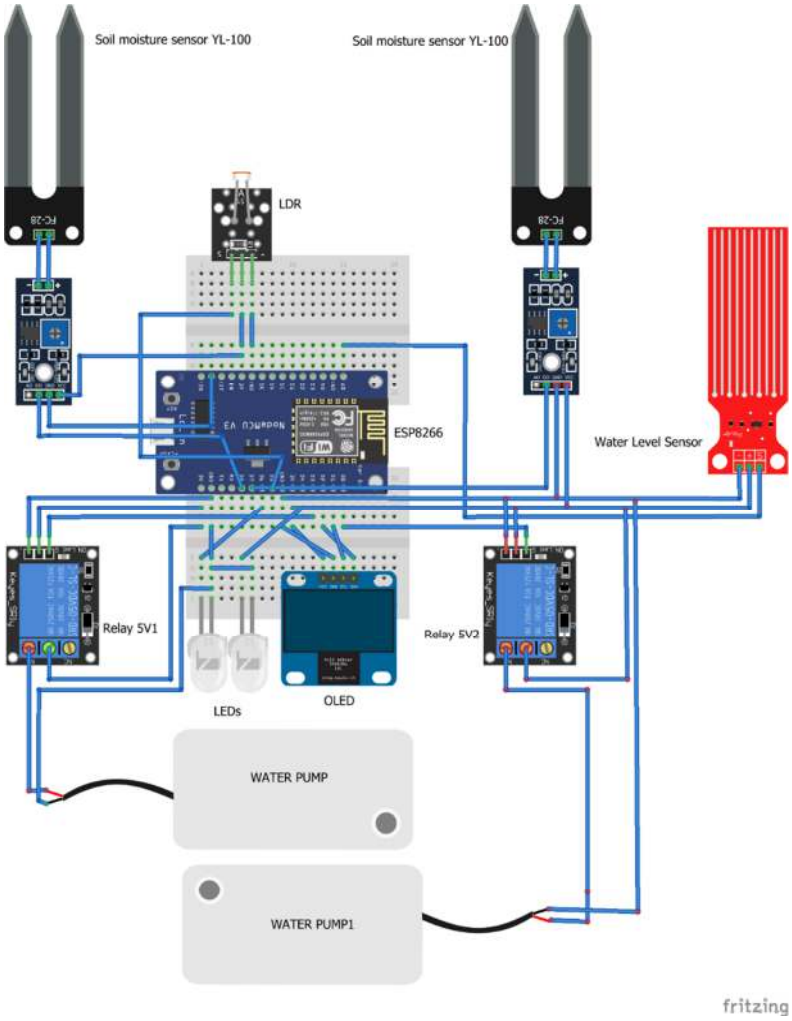


www.SID.ir

۵- طراحی برد با نرم‌افزار

در این بخش، طراحی بردهای اول و دوم و نحوه اتصال آن‌ها به حسگرها و عملگرها با استفاده از نرم‌افزار Fritzing [۱۵] نمایش داده شده است. در شکل ۱۲ نحوه‌ی اتصال حسگرها و عملگرها از طریق NodeMCU در برد اول قابل مشاهده است. عملکرد این مجموعه شامل موارد زیر است: ۱-سنجش رطوبت خاک و آبیاری گیاه بدین صورت که از طریق ماژول‌های دو بخشی YL-100 میزان رطوبت خاک بررسی می‌شود؛ با برد الکتریکی این ماژول می‌توان از طریق پتانسیومتر تعبیه شده در برد، میزان حساسیت سنجش رطوبت را تنظیم کرد و در صورت نیاز با استفاده از ماژول رله (Relay 5v1)، دستور آبیاری به پمپ (WATER PUMP) داده خواهد شد. ۲-نظارت بر میزان آب درون منبع و پمپاژ آب درون منبع در صورت نیاز؛ بدین صورت که حسگر سطح آب همان‌طور که از نامش برمی‌آید، میزان سطح آب را با حدی که برایش تعیین شده مقایسه می‌کند. هرگاه میزان آب درون منبع از حد تعیین شده کمتر شود، رله دوم (Relay 5V2) دستور آبیاری را به پمپ (WATER PUMP1) می‌دهد. ۳-تامین روشنایی هنگام تاریک شدن محیط؛ بدین صورت که ماژول LDR تاریکی محیط را تشخیص می‌دهد همچنین می‌توان از طریق پتاسیومتر حساسیت تشخیص تاریکی را تنظیم کرد و هرگاه محیط از حد تعیین شده تاریک‌تر باشد، لامپ‌ها (LEDs) روشن می‌شوند. ۴-نمایش وضعیت رطوبت خاک، میزان آب درون منبع، وضعیت روشنایی، تاریخ و ساعت بر روی نمایشگر OLED.

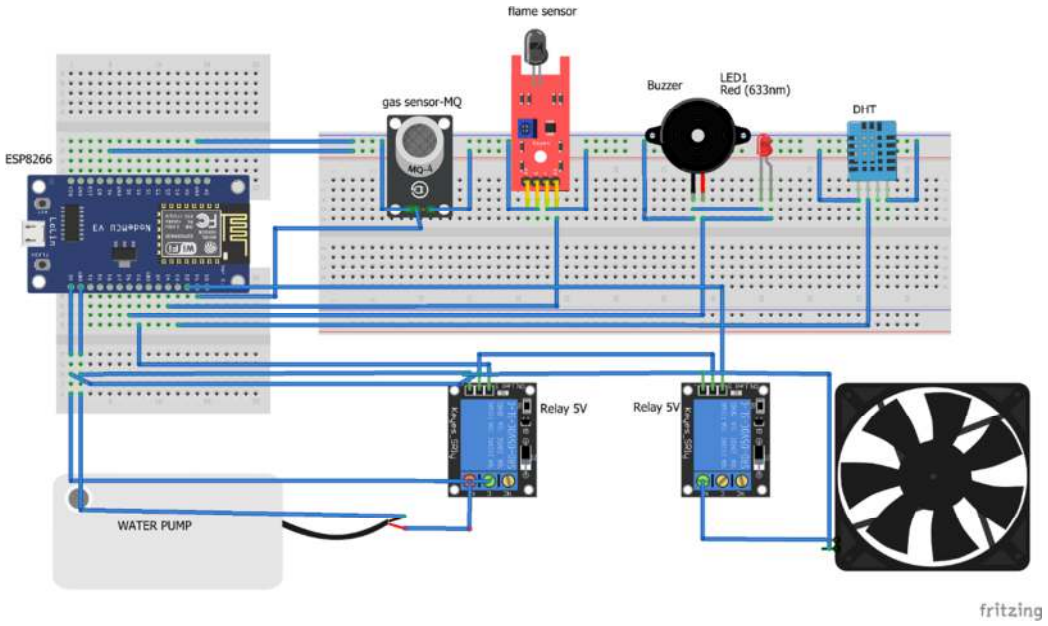
www.SID.ir



شکل ۱۲-شبیه سازی اتصلات به میکروکنترلر اول

در شکل ۱۳ نحوه اتصالات اجزا برد دوم قابل مشاهده است. عمکرد این مجموعه شامل موارد زیر می‌شود: ۱-نظارت بر رطوبت و دمای هوا از طریق حسگر DHT11 و روشن شدن فن از طریق ماژول رله (رله Relay 5v سمت راست در شکل)، زمانی که دما بیشتر از حد مجاز است. ۲-بررسی کیفیت هوا با حسگرکیفیت هوا (gas sensor-MQ)، روشن شدن فن، بازر (Buzzer) و چراغ خطر (LED1) هنگام تشخیص کیفیت بد هوا و ارسال ایمیل. ۳-تشخیص شعله و آتش‌سوزی از طریق ماژول flame sensor. روشن شدن بازر و چراغ خطر و در پی آن از طریق ماژول رله (رله Relay 5v سمت چپ در شکل) دستور آب‌پاشی سقفی را به پمپ (WATER PUMP) می‌دهد و در نهایت ایمیل به کاربر ارسال می‌شود. همچنین در صورتی که فن روشن باشد و آتش‌سوزی رخ دهد، فن خاموش خواهد شد.

www.SID.ir



شکل ۱۳-شبیه‌سازی اتصالات به میکروکنترلر دوم

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، سیستمی مبتنی بر اینترنت اشیاء طراحی و پیاده‌سازی شد که به مدیریت بهینه و هوشمند گلخانه‌ها کمک شایانی می‌نماید. سیستم توسعه داده شده، این امکان را به کشاورزان یا افرادی که در محیط خانگی گل و گیاه پرورش می‌دهند، خواهد داد که با کمترین دخالت، بیشترین رسیدگی را نسبت به گیاهان خود داشته باشند. همچنین از راه دور و نزدیک بتوانند بر وضعیت گلخانه و عملکرد هر یک از زیرسیستم‌های تامین آب و آبیاری، تامین نور در تاریکی، نظارت بر کیفیت هوا و تهویه آن، کنترل شرایط جهت ممانعت از آتش‌سوزی و اقدامات لازم در صورت رخداد آن نظارت کنند. همچنین امکان ارسال اطلاعات در پلتفرم اینترنت اشیاء و نسخه تلفن همراه و اطلاع رسانی از طریق ایمیل نیز در این سیستم فراهم شده است.

از آنجا که حوزه‌ی کشاورزی، یک از بسترهای مناسب برای پذیرش و کاربست فناوری اینترنت اشیاء محسوب می‌شود، در آینده برآنیم تا سیستم ارائه شده در این مقاله را از جنبه‌ها و طرق مختلفی نظیر افزودن مولفه‌های تصمیم‌یاری مبتنی بر یادگیری ماشینی، بررسی هویت افراد برای ورود به گلخانه با استفاده از برچسب RFID یا ارسال اطلاعات محصولات کشاورزی برای مشتریان یا سایت‌های فروش محصولات با استفاده از همین برچسب، استفاده از پروتکل های بهینه برای محیط‌های وسیع‌تر مانند LORA، استفاده از صفحات خورشیدی برای تامین برق تجهیزات، استفاده از ماژول‌های سیم‌کارت برای تماس با کاربر در مواقع ضروری (مانند آتش سوزی، نشت گاز، ورود افراد اهراز هویت نشده به گلخانه و ارسال تصویر گرفته شده از افراد توسط ماژول دوربین) گسترش دهیم.

مراجع

[1] D. Hanes, G. Salgueiro, P. Grossetete, R. Barton, J. Henry; *IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things*, 1st ed. 2017 edition, Cisco Press, June 2017.

[2] F. Firouzi, K. Chakrabarty, S. Nassif; *Intelligent internet of things (from device to fog and cloud),*1st ed. Springer, January 22, 2020.

[3] K. Shameer, M.A. Badgeley, R. Miotto, B.S. Glicksberg, J.W. Morgan, J.T. Dudley; "Translational bioinformatics in the era of real-time biomedical, health care and wellness data streams", *Briefings in bioinformatics*. Vol. 18, No. 1, pp. 105–124,2017.

www.SID.ir

[4] E.K. Choe, N.B. Lee, B. Lee, W. Pratt, J.A. Kientz; "Understanding quantified-selfers' practices in collecting and exploring personal data", in *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Toronto, ACM Press, pp. 1143–1152, 2014.

[5] A. Senthil Kumar, G. Suresh, S. Lekashri, G. Babu Loganathan, R. Manikandan. "Smart agriculture system with E–carbage using IoT." *International Journal of Modern Agriculture*. Vol. 10, No. 1, pp. 928-931, 2021.

[6] O.Priya, R.Sudha; "Impact of Internet of Things (IoT) in Smart Agriculture". *Recent Trends in Intensive Computing*, IOS Press, pp. 40-47, 2021.

[7]اصغری، رحیم؛ خدادوستان، مرضیه؛"کنترل و نظارت خودکار یک سیستم گلخانه هوشمند با استفاده ازفناوری اینترنت اشیا", *ششمین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در آموزش و پژوهش*, محمودآباد، ۱۴۰۰.

[8] K. Ravi, J. Vishal, K. Sumit; "IoT based smart greenhouse", In *2016 IEEE region 10 humanitarian technology conference*.IEEE, pp. 1-6, 2016.

[9] M. Rao, K. Ajit, G. Kumar; "Smart Green House Based on IOT", *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7, pp. 258, 2018.

[10] A.C Miranda, V.M. Castaño; "Smart frost control in greenhouses by neural networks models", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 137, pp 102-114, 2017.

[11] C.M Angelopoulos, G. Filios, S.Nikoletseas, T.P. Raptis; "Keeping data at the edge of smart irrigation networks: A case study in strawberry greenhouses". *Computer Networks*, Vol. 167, 2020.

[12] A.C Miranda, V.M. Castaño-Meneses; Internet of things for smart farming and frost intelligent control in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 176, 2020.

[13] Harun Sujadi, Yayat Nurhidayat. "SMART GREENHOUSE MONITORING SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS", *Engineering and Sustainable Technology (J-ENSITEC),* Vol. 6, No. 1, 2020.

[14] Thinger.io, open source IoT platform, https://thinger.io/

[15] Fritzing, open source software, https://fritzing.org/

www.SID.ir