

بهینه سازی مصرف آب و انرژی با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا

سهیل رحیمی پردنجانی¹ Soheilrahimi0991@gmail.com

محمد صالح غفاری جوفانی² mg323105@gmail.com

¹ دانشجوی کارشناسی مهندسی حرفه ای نرم افزار دانشگاه ملی مهارت پسران شهرکرد

² دانشجوی کارشناسی مهندسی حرفه ای نرم افزار دانشگاه ملی مهارت پسران شهرکرد

چکیده: در دنیای امروز و با پیشرفت های شتابان فناوری، به کارگیری سامانه های هوشمند در بخش کشاورزی و به ویژه گلخانه ها، به عنوان یک راهکار حیاتی برای تولید پایدار و متراکم محصول مطرح است. با توجه به چالش های فزاینده جهانی نظیر بحران کمبود آب و لزوم مدیریت بهینه مصرف انرژی و هزینه های عملیاتی، هوشمندسازی گلخانه ها بر پایه معماری اینترنت اشیا (IoT) و شبکه های حسگر بیسیم (WSN) اهمیت دوچندانی یافته است. یکی از چالش های اساسی در این زمینه، نیاز به جمع آوری و انتقال بلادرنگ داده های حیاتی محیطی (مانند دما، رطوبت و نور) با حداقل تأخیر و بالاترین سرعت ممکن است. چالش دیگر، مدیریت دقیق منابع مصرفی مانند آب در سیستم آبیاری و کنترل پرهزینه سیستم های سرمایشی، به ویژه در مناطق گرم و خشک و نیمه خشک، جهت حفظ شرایط اقلیمی بهینه برای رشد گیاهان می باشد. در راستای غلبه بر این چالش ها، این مجموعه تحقیقات بر روی توسعه و به کارگیری چندین رویکرد نوآورانه متمرکز شده اند. برای بهینه سازی انتقال داده و انرژی، از پروتکلی مانند CMT-SCTP در معماری IoT استفاده شده است که با تسهیل انتقال همزمان داده ها از چند مسیر و اولویت بندی جریان های داده، منجر به کاهش تأخیر و بهبود کارایی انرژی در بستر شبکه حسگر می شود.

کلید واژه ها: اینترنت اشیا (IoT)، سنسورها، شبکه های حسگر بیسیم، گلخانه های هوشمند، مدیریت آب

مقدمه

در دنیای پیشرفته امروز با رشد تکنولوژی و افزایش قدرت جمع آوری داده ها، بشر با حجم عظیمی از داده ها سر و کار دارد. اینترنت اشیا یکی از راهکارهای معرفی شده در این زمینه است که میتواند سرویس های زیادی را در اختیار کاربران و سازمان های مختلف همانند سازمان های کشاورزی و صنعتی قرار داده است. از طرفی دیگر، با کاهش شدید سطح آب دریاچه ها و پایین رفتن آب پشت سد، زنگ خطر جدی خشکسالی و بحران کمبود آبی در کشور به صدا در آمده است. با توجه به این هشدارها مدیریت منابع آبی از اهمیت ویژه ای برخوردار است و مسئولین و مردم باید با بکار گیری از روش های نوین و صرفه جویی در مصرف آب از این بحران به خوبی عبور کنند. یکی از این شیوه ها میتواند بهینه سازی لوله های انتقال آب و استفاده از لوله پلیاتیلن در زیر ساخت ها و یا استفاده کشاورزان از روشهای بهینه آبیاری قطره ای مثل نوار آبیاری برای صرفه جویی در مصرف آب مزارع و کشت زارهای خود باشد. به کارگیری اینترنت اشیا نیز می تواند در کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و گلخانه ای مورد استفاده قرار گیرد. [1]

1. مطالب اصلی

برای رشد و نمو گیاهانی که نیاز به شرایط آب و هوایی تنظیم شده دارند، بهترین گزینه استفاده از گلخانه‌هاست. با توجه به اینکه کشت گلخانه‌ای در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است، این موضوع اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. ماهیت تولید گیاه در خارج از فصل کشت به ما این امکان را می‌دهد که از گلخانه‌ها برای پرورش انواع گیاهان در تمام فصول سال استفاده کنیم. اما علی‌رغم تمامی مزیت‌های کشت گلخانه‌ای، با توجه به گسترش جمعیت، تغییرات آب و هوایی، کمبود منابع آب و انرژی، کشت سنتی با چالش‌های زیادی برای تأمین نیازهای روزافزون غذایی مواجه است.

از طرف دیگر، مصرف بالای انرژی در گلخانه‌ها، به ویژه در فصل سرما، یکی از مواردی است که نیاز اساسی به بررسی‌های علمی دارد. بنابراین، مزیت‌های فراوان شرایط کنترل شده‌ی گلخانه‌ها برای تولید محصول در خارج از فصل از یک سو، و مشکلات کشت سنتی از سوی دیگر، باعث شده است که بررسی روش‌های مدیریت بهینه گلخانه مورد توجه بسیاری از گلخانه‌داران قرار گیرد [2].

در گلخانه‌های سنتی، مدیریت عواملی مانند آفت‌کش‌ها، کوددهی و آبیاری عمدتاً به تجربه کشاورزان وابسته است. اگرچه این تجربه در تولید گلخانه‌ای ارزش زیادی دارد، اما دقت لازم را به ویژه در تنظیم شاخص‌هایی چون دما، رطوبت، نورپردازی و سایر عوامل محیطی تضمین نمی‌کند؛ تعیین و تنظیم دقیق این موارد تنها با اتکا به تجربه دشوار است. بدین منظور، گلخانه هوشمند بر بستر اینترنت اشیا (IoT) به سرعت وارد فضای کشاورزی شده است. این گلخانه‌ها با هدف کنترل دقیق محیط محصول، جمع‌آوری داده‌های مفید و ارائه روش‌های کشاورزی خودکار عمل می‌کنند. در حقیقت، با معرفی گلخانه هوشمند به عنوان یک سازه کارآمد و مفید و جایگزینی آن با سازه‌های قدیمی گلخانه‌ها، بهره‌وری تولید به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند [3].

به طور کلی، گلخانه هوشمند یک سیستم پیچیده است که در آن گیاهان می‌توانند به وسیله سنسورهای هوشمند، حجم زیادی از داده‌ها را ارسال کنند. تجزیه و تحلیل این داده‌ها برای ارائه اطلاعات مفید در مورد وضعیت فعلی گلخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، می‌توان از این داده‌ها برای ایجاد آمار و الگوها استفاده کرد که ممکن است برای افزایش تولید در آینده و بهینه‌سازی فرآیندها مفید باشد. در زمینه کشت محصولات، وضعیت سه عامل اصلی آب، خاک و هوا در کنار پارامترهای خارجی دیگری همچون نور، دما و رطوبت، تأثیر کلیدی در رشد و پرورش محصول دارند. به همین دلیل، پایش تخصصی و مستمر این عوامل توسط سنسورها، اهمیت بالایی در مدیریت هوشمند گلخانه دارد [4].

1-1 ساختار گره حسگر بی سیم

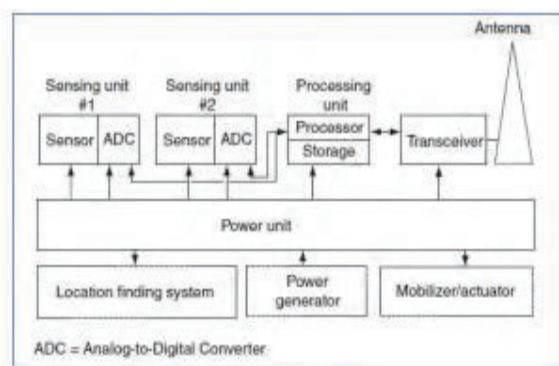
۱. کنترلر (Controller) کنترلر (معمولاً یک میکروکنترلر) می‌تواند داده‌ها را پردازش کند و یک قطعه کد مشخص (برنامه اصلی گره) را اجرا نماید.

۲. حافظه (Memory) مقداری حافظه برای ذخیره داده‌ها و برنامه برای هر گره لازم است. معمولاً انواع مختلفی از حافظه برای داده‌ها و برنامه‌ها استفاده می‌شود.

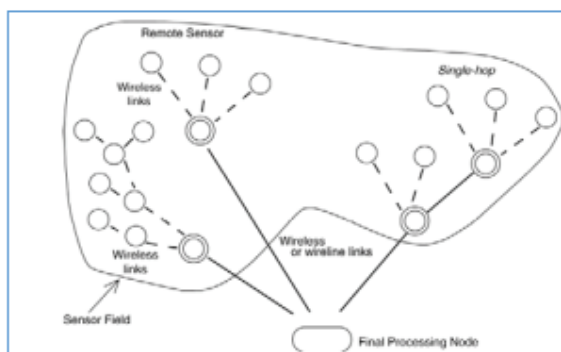
۳. حسگرها و کاراندازها (Sensors & Actuators) حسگرها و کاراندازها واسطه بین گره و محیط هستند. حسگرها پارامترهای محیط را مشاهده می‌کنند و کاراندازها برای کنترل و اعمال تغییر در محیط (مانند باز و بسته کردن دریچه‌ها یا روشن کردن پمپ) به کار می‌روند.

۴. واحد ارتباطی (Communication Unit) برای ایجاد شبکه با استفاده از گره‌ها، نیاز است که گره‌ها بتوانند اطلاعات را به صورت بی سیم دریافت و یا ارسال کنند. این واحد مسئول ایجاد ارتباطات شبکه‌ای است.

۵. منبع تغذیه (Power Source) وجود نوعی منبع تغذیه (مانند باتری) در هر حسگر لازم است. در برخی کاربردها، همچنین لازم است تجهیزاتی برای شارژ مجدد باتری با کمک منابع محیطی (مانند صفحات خورشیدی) نیز در داخل گره وجود داشته باشد [5].



شکل (2) ساختار داخلی یک گره حسگر



شکل (1) ساختار کلی شبکه حسگر بی سیم

2-1 سیستم سرمایشی تبخیری پد و فن

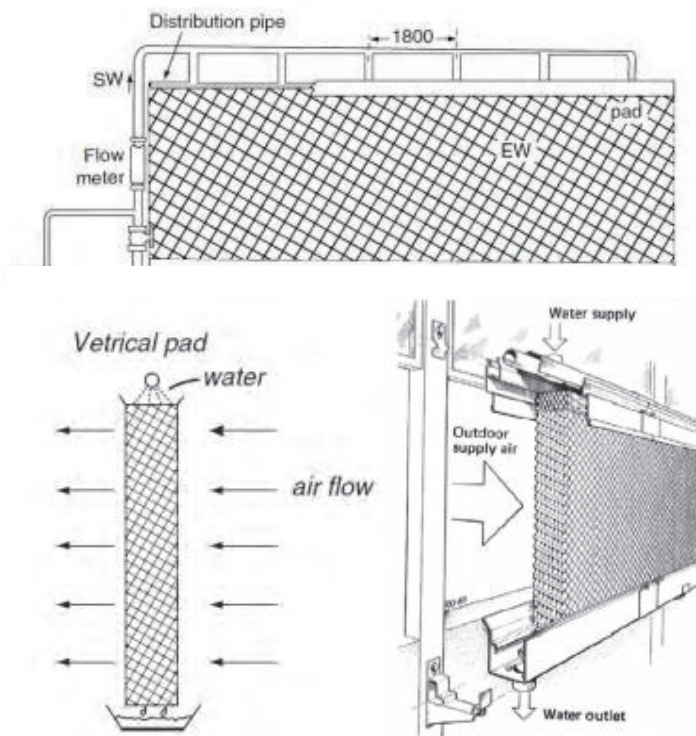
سیستم‌های سرمایش تبخیری (Evaporative Cooling) با استفاده از پد سلولزی، یک روش کارآمد برای خنک کردن فضای گلخانه در مناطق خشک هستند. در این روش، هوای خشک بیرون از طریق پد سلولزی مرطوب عبور می‌کند. هنگامی که هوا از پد عبور می‌کند، تبخیر آب صورت می‌گیرد. این فرآیند تبخیر، انرژی حرارتی (گرمای محسوس) را از هوا جذب می‌کند (اثر خنک‌کنندگی). در نتیجه، هوای مرطوب و خنک‌شده به داخل سالن گلخانه هدایت می‌شود. در نهایت، این هوای مرطوب توسط فن‌های تخلیه به بیرون رانده می‌شود تا فرآیند تهویه و خنک‌سازی ادامه یابد.

این سیستم دارای اجزای زیر می باشد:

- پد یا پوشال
- پمپ تزریق آب
- مخزن ذخیره آب
- لوله های انتقال آب و فیلترها
- ناودان و سیستم تخلیه آب
- قاب
- فن

تجهیزات مهم این سیستم، شامل پد سلولزی و فن‌ها است. قاب نگه‌دارنده پد سلولزی باعث می‌شود که پد به بهترین شکل ممکن در سرتاسر دیواره گلخانه قرار گیرد. پد سلولزی، نقش مهم‌ترین واسطه را در سیستم سرمایش تبخیری ایفا می‌کند. در واقع، عایق‌بندی

صحیح گلخانه و عدم نشت هوا از مسیرهای ناخواسته، باعث می‌شود که هوا منحصراً از طریق پدها به داخل سالن وارد شود. این مسئله مستقیماً منجر به افزایش راندمان سیستم فن و پد می‌گردد [6].



شکل (3) شماتیک یک سیستم پد و فن

امروزه استفاده از تجهیزاتی مانند کامپیوترهای سیار، دستیارهای دیجیتال شخصی، تلفن‌های هوشمند و ... که دارای بیش از یک واسط شبکه هستند، بسیار رایج شده است. روش‌هایی که امکان دستیابی همزمان کاربر به شبکه از طریق چند واسط را فراهم آورند، به سرعت در حال گسترش هستند. یکی از پروتکل‌های لایه انتقال که از این خصوصیات پشتیبانی می‌کند، پروتکل کنترل جریان انتقالی (SCTP) است که از دو خصوصیت چندجریانی (Multistreaming) و چندخانگی (Multihoming) پشتیبانی می‌کند.

۱. چندجریانی (Multistreaming)

خصوصیت چندجریانی به توانایی پروتکل SCTP برای انتقال موازی داده‌ها درون چندین جریان مستقل اشاره دارد. این ویژگی امکان انتقال همزمان اطلاعات مختلف بدون مسدود شدن یکدیگر را فراهم می‌کند.

۲. چندخانگی (Multihoming)

یک میزبان (Host) چندخانه است، اگر بتوان به آن بیش از یک آدرس IP اختصاص داد. میزبان چندخانه، امکان دستیابی همزمان به شبکه را با بیش از یک واسط شبکه فراهم خواهد آورد.

۳. مدیریت مسیر در SCTP

پروتکل SCTP امکان ایجاد چندین مسیر مستقل بین دو میزبان ارتباطی را فراهم نموده است.

نحوه استفاده از مسیرها:

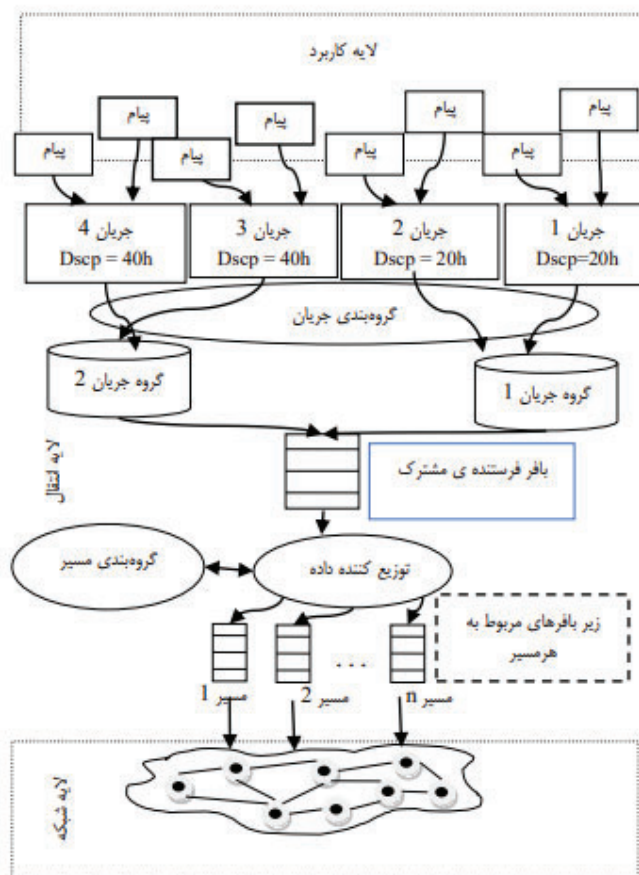
- مسیر اصلی: (Primary Path) پروتکل SCTP اولیه، فقط از یکی از مسیرها به عنوان مسیر اصلی برای انتقال داده‌ها بین میزبان مبدأ و مقصد استفاده می‌کند.
- مسیر پشتیبان: (Backup Path) از سایر مسیرها به عنوان مسیر پشتیبان برای ارسال مجدد داده‌های فقدان شده، یا در هنگامی که مسیر اصلی دچار شکست شود، استفاده خواهد شد [7].

2. تأثیر ناهمگنی پارامترهای کیفیتی مسیر بر بروز تحویل نامرتب داده در SCTP-CMT

CMT برای کاربردهایی که به پهنای باند زیاد و تأخیر کم نیاز دارند روش بسیار ایده آلی است. در SCTP-CMT اولیه، داده‌ها با توجه به اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام و بدون در نظر گرفتن کیفیت متفاوت هر مسیر روی همه‌ی مسیرهای در دسترس توزیع خواهند شد و این قضیه منجر به دریافت حجم عظیمی از داده‌های نامرتب در طرف گیرنده خواهد شد. دریافت نامرتب داده‌ها در طرف گیرنده باعث بروز مشکلاتی از جمله ارسال مجدد داده‌های سریع نالزم، مسدود شدن بافر گیرنده، کاهش اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام و اع مهال ترافیک زیاد حاصل از پیامهای تأیید گزینشی، به شبکه خواهد شد [8]. انتقال همزمان داده‌ها از چند مسیر در محیطی که تأخیر، پهنای باند و نرخ فقدان مسیرهای موجود میان دو میزبان چ نهد خا ننه تفاوت‌های فاحشه‌ی دارد، باعث بروز مشکلات زیادی در تحویل داده‌ها در گیرنده خواهد شد. طرف گیرنده حجم زیادی از داده‌های نامرتب را دریافت می‌کند و به دلیل ناهمگنی پارامترهای کیفیتی مسیر، داده‌های نامرتب را دریافت می‌کند. تحویل نامرتب داده‌ها در طرف گیرنده باعث پر شدن ظرفیت بافر گیرنده شده و به دلیل اینکه داده‌های دریافتی در طرف گیرنده برای تحویل به الیه‌ی بال تر تکمیل نشده اند بافر گیرنده مسدود خواهد شد [9].

همچنین ارسال همزمان داده‌ها از طریق مسیرهایی که پارامترهای کیفیتی متفاوتی دارند، باعث تأخیر در دریافت داده‌هایی خواهد شد که روی مسیرهای کندتر در حال حرکت هستند. طرف گیرنده فرض خواهد نمود که داده‌های دریافت نشده دچار فقدان شده‌اند. پس طرف گیرنده از طرف فرستنده تقاضای ارسال مجدد داده‌های فوق را خواهد نمود. در حالی که داده‌های فوق روی مسیرهای کندتر در حال حرکت به طرف گیرنده هستند. ارسال مجدد داده‌های سریع نالزم ترافیک زیادی را به شبکه اعمال نموده و باعث هدر رفتن پهنای باند شبکه و افت شدید اندازه پنجره ازدحام خواهد شد و در ارسال همزمان داده‌ها از چند مسیر مادامی که در طرف گیرنده داده‌ای خارج از نوبت دریافت شود، طرف گیرنده توسط پیامهای تأیید گزینشی دریافت آن را اعلام نموده و آن داده را در بافر خود نگهداری می‌نماید تا داده‌های قبل از آن دریافت شوند. ارسال زیاد پیامهای تأیید گزینشی یکی از نتایج تحویل نامرتب داده‌ها در طرف گیرنده است و این پیام‌ها سربار زیادی را به شبکه اعمال خواهد نمود [10].

شکل (4) معماری ساختار پیشنهادی ارائه شده در این مقاله را نشان داده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که در SCTP-CMT اولیه از یک بافر فرستنده مشترک استفاده شده بود ولی در این مقاله برای ارزیابی بهتر کیفیت هر مسیر، بافر فرستنده مشترک به چندین زیربافر تقسیم شده و متناسب با ظرفیت انتقال هر مسیر، به آن مسیر یک زیربافر اختصاص داده شده است [11].



(4) عملیات گروه بندی جریان ها و گروه بندی مسیرها در انتقال همزمان از چند مسیر

3. معماری پیشنهادی

در این تحقیق، جهت کاهش مصرف آب در طول مسیر آبیاری در محیط گلخانه‌ای، با در نظر گرفتن تعدادی از گره‌های حسگر بیسیم همراه با دستگاه‌های اینترنت اشیا که نقش کنترل و باز و بسته کردن شیر آب برای انتقال آب در مسیر مشخص شده را دارند، سعی شده است از بین چندین ارتباط موجود بین نقاط مختلف محیط گلخانه‌ای، مسیری انتخاب شود که منجر به انتخاب سرخوشه‌هایی شود که در آنها دستگاه‌های اینترنت اشیا مستقر شده و کنترل آبرسانی را برعهده داشته باشد. در روش پیشنهادی برای شبکه‌ی اینترنت اشیا که در محیط گلخانه مستقر خواهند شد، یک ایستگاه پایه مرکزی در نظر گرفته شده است که دستگاه‌های اینترنت اشیا و گره‌های شبکه حسگر بیسیم با آن در تعامل هستند و برای برقراری ارتباط با یکدیگر، از این ایستگاه پایه استفاده خواهند کرد. از آنجاییکه هر گره در شبکه حسگر بیسیم با توزیع یکنواخت در محیط شبکه پخش شده هستند در فاصله نابرابری با ایستگاه مرکزی قرار دارند و به دلیل برد کوتاهی که هر گره دارد، باید از گره‌های دیگر برای ارسال اطلاعات و داده‌های خود به ایستگاه پایه استفاده نمایند. به عبارت دیگر با چندگام، اطلاعات و داده‌ها بین گره‌ها و ایستگاه پایه مرکزی منتقل میشوند. مسیری که توسط این ارتباط بین دستگاه‌های اینترنت اشیا در محیط گلخانه‌ای تعیین میشوند، برای لوله‌کشی و آبرسانی در این محیط استفاده میشود.

4. چالش ها و محدودیت ها

- بحران آب و خشکسالی: خشکسالی های متوالی و کمبود آب به یک پدیده غالب تبدیل شده است، به طوری که کشاورزی پرمصرف ترین بخش در این زمینه است [12].
- شرایط آب و هوایی سخت: شرایط خشک و بیابانی حاکم بر بسیاری از کشورها (از جمله ایران) مدیریت کنترل شرایط محیطی گلخانه ها را با چالش های زیادی روبرو می سازد.
- افزایش جمعیت و نیاز به تولید بیشتر: با پیش بینی رسیدن جمعیت جهان به ۱۰ میلیارد نفر تا سال ۲۰۴۰، انسان در آینده مجبور به تولید غذای بیشتر با انرژی کمتر خواهد بود.
- اثرات دمای بالا بر محصول: دمای زیاد در تابستان (که در داخل گلخانه تا ۱۱ درجه سانتی گراد بیشتر از محیط بیرون است) اثرات زیان باری مانند عدم استحکام ساقه، کاهش اندازه گل، تأخیر در گلدهی و مرگ جوانه را در پی دارد [13].

4-1. چالش های فنی و شبکه ای در سامانه های هوشمند (IoT/WSN)

- انتقال داده با سرعت بالا و تأخیر کم: یکی از چالش های اصلی در گلخانه های هوشمند، رساندن اطلاعات حیاتی (نظیر میزان رطوبت خاک، دما و نور) با تأخیر کم و سرعت بالا به مرکز اصلی داده جهت تجزیه و تحلیل است [14].
- مصرف انرژی دستگاه های IOT: دستگاه های اینترنت اشیا دارای هزینه فعال بودن و هزینه مصرف انرژی هستند که باید مدیریت شود [12].
- پیچیدگی کابل کشی در گلخانه های هوشمند بزرگ: در گلخانه های مدرن در مقیاس بزرگ، نیاز به نقاط اندازه گیری متعدد برای ردیابی پارامترهای آب و هوایی محلی وجود دارد؛ کابل کشی سیستم اندازه گیری را گران، آسیب پذیر و جابجایی آن را پس از نصب دشوار می سازد.
- حفظ حریم خصوصی و امنیت داده ها (در استفاده از رایانش ابری): در سیستم های آبیاری هوشمند مبتنی بر رایانش ابری، ترافیک شبکه، چالش های امنیتی و نظارتی مرتبط با به اشتراک گذاری داده ها با اشخاص ثالث، باعث می شود که کشاورزان کنترل داده های خود را از دست بدهند.

نتیجه گیری

کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) و شبکه های حسگر بی سیم، راهکار حیاتی برای مقابله با چالش های جهانی نظیر کمبود منابع و نیاز روزافزون به تولید خارج از فصل محصولات گلخانه ای است. در این سیستم ها، انتقال قابل اعتماد و با تأخیر کم داده های حیاتی از حسگرها به سیستم های کنترلی، نیازمند یک پروتکل لایه انتقال چندمسیره کارآمد است. پروتکل SCTP-CMT اگرچه با هدف تأمین پهنای باند بالا و تحمل پذیری در برابر خطا از طریق انتقال همزمان داده ها از چند مسیر طراحی شده، اما در محیط های ناهمگن (Heterogeneous) که مسیرها از نظر پارامترهای کیفیتی همچون تأخیر، پهنای باند و نرخ فقدان، تفاوت فاحشی دارند، با مشکل جدی تحویل نامرتب داده ها مواجه می شود. این نامرتبی، زنجیره ای از مشکلات از جمله مسدود شدن بافر گیرنده، کاهش اندازه پنجره ازدحام و اعمال ترافیک سنگین ناشی از ارسال مجددهای سریع ناالزم و پیام های تأیید گزینشی (SACK) را در پی دارد که راندمان سیستم را به شدت کاهش داده و سربار شبکه و مصرف انرژی را افزایش می دهد. در راستای بهبود این معضلات، در این مقاله مکانیزمی مبتنی بر گروه بندی مسیرها و تقسیم بافر فرستنده ارائه شد. این مکانیزم با تقسیم بافر فرستنده مشترک به زیربافرهای اختصاصی و تخصیص آن ها متناسب با ظرفیت و کیفیت هر مسیر، توانست توازن بهتری در توزیع داده ها ایجاد کرده و تحویل نامرتب داده ها را به حداقل رساند. در نتیجه، این بهینه سازی عملکردی، قابلیت اطمینان سیستم انتقال

داده را افزایش داده و به‌طور مستقیم به کاهش ترافیک اضافی و کاهش مصرف انرژی در زیرساخت گلخانه‌های هوشمند کمک می‌کند و بدین ترتیب، پایداری و کارایی سیستم‌های کشاورزی هوشمند مبتنی بر IoT را تضمین می‌نماید.

مراجع

1. Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84.
2. صغری، رحیم، خدادوستان، مرضیه، "کنترل و نظارت خودکار یک سیستم گلخانه هوشمند با استفاده از اینترنت اشیا"، کنفران ملی رویکردهای نوین در آموزش و پ وهش، ششمین، 10 مازندران، 25 و 26 آذر 1400
3. حیدری، صفورا، احمدی، محمود، "بررسی تاثیر استفاده از یک سامانه مدیریت هوشمند آبیاری مزارع کشاورزی با استفاده از اینترنت اشیا"، کنفران بین المللی مهندسی فناوری اطلاعات کامپیوتر و مخابرات ایران، دومین، 15، تهران، 15 مرداد 1399
4. امیری، سمیرا، تاا فر، امیرهوشنگ، کریمزادگان مقدم، داود، وحدت، داود، "نقش اینترنت اشیا در کشاورزی هوشمند و بهبود محصولات کشاورزی"، مدیریت اخالر و کسب و کار، نخستین کنفران بین المللی و دومین کنفران ملی، 14، شیراز، مرداد 1399
5. Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. John Wiley & Sons.
6. مزیدی شرف آبادی، م. و شرف آبادی، " مطالعه یک طرح گلخانه (بررسی) سیستم سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع آن"، همایش ملی تهویه و تأسیسات صنعتی، دانشکده صنایع شریف، صفحه 3، سال 1389.
7. قاپله، محبوبه؛ فرخی، غلامرضا. "هوشمندسازی کشاورزی با استفاده از فناوری اینترنت اشیا، فرصت ها و چالش های روبه رو"، سومین کنفرانس بین المللی مهندسی برق و کامپیوتر و مکانیک، تهران، 30 مهر 1399.
8. R.Stewart, Stream Control Transmission Protocol(SCTP), IETF RFC 4960. 2007.
9. t. c.-h. huang chung-ming, multi-path control mechanism for multi-path transmission using stream control transmission protocol(sctp), *Computer Communications*, vol. 30, pp. 3239-3256. 2007.
10. C. L. Cui Xin , Lee Woo Jin, Joo Koh Seok, A New Initialization Mechanism for SCTP Association between Two Multihomed Terminals, presented at the 8th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM) Shanghai, 2012.
11. D. t. Adhari hakim, Becke martin, Rathgeb erwin , Tüxen micheal, Evaluation of Concurrent Multipath Transfer over Dissimilar Paths, presented at the IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications (WAINA), Biopolis, 2011.
12. سجادی کبودی، سیده رویا و میربهاء، امید و رضوانی، مجتبی، ۱۳۹۷، کاهش مصرف آب در محیط های گلخانه ای با استفاده از شبکه حسگر بی سیم و اینترنت اشیا، اولین کنفرانس مهندسی برق و کامپیوتر، قائم شهر
13. اسدی، مهسا و امامی رازلیقی، امین، ۱۳۹۷، تعیین ظرفیت سیستم سرمایش فن و پد و ارایه راهکار جهت کاهش مصرف آب، هزینه و مصرف انرژی گلخانه در فصل گرما، چهارمین کنفرانس بین المللی یافته های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران

14. زنجانی زاده اصفهانی، زهرا سادات و شریفی هرستانی، زهرا و محمدی، شهرام، ۱۴۰۲، ارائه روشی مبتنی بر CMT-SCTP جهت بهینه سازی مصرف انرژی در گلخانه های هوشمند بر پایه معماری اینترنت اشیا، سومین کنفرانس ملی تحقیقات نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، مبارکه
15. طالبی، علی، ۱۴۰۰، ارائه مدل جدید در مدیریت گلخانه های هوشمند با استفاده از اینترنت اشیا، چهارمین کنفرانس ملی فناوریهای نوین در مهندسی برق و کامپیوتر
16. علیرضا جوشن، ۱۴۰۴، تحلیل و بهینه سازی عملکرد شبکه های برق هوشمند با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین: چالش ها و راهکارهای نوین، مجله کهربا شماره ۴۷