مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال پنجم، شماره ۴۵، فروردین ۱۴۰۲
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

طراحی یک سیستم مدیریت سریع و کم هزینه مبتنی بر IoT برای آبیاری هوشمند

عاطفه موسویان [۱] ، طالب خفایی [۲] ، مهدی صادق زاده [۳]

[۱] گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوشهر، بوشهر، ایران (نویسنده مسئول)
[۲] استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوشهر، بوشهر، ایران
[۳] استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، ماهشهر، ایران

چکیده

کشاورزی سهم عمده‌ای در اقتصاد جهان دارد و بیشتر مردم برای امرار معاش خود به آن وابسته هستند. این امر آب را به منبع مهمی تبدیل می‌کند که باید با استفاده از آخرین فناوری‌های موجود حفظ شود. امروزه، اینترنت اشیاء قابلیت خود را به کشاورزی هوشمند نیز گسترش داده است. در این تحقیق یک سیستم خودکار و کم هزینه برای آبیاری هوشمند بر اساس یک رویکرد مسیریابی انرژی-اگاه مبتنی بر فازی ارائه شده است. علاوه بر این، بر اساس اطلاعات دریافت شده از حسگرها (نظیر دما، رطوبت خاک و غیره)، یک شبکه عصبی برای تعیین بهترین برنامه آبیاری آموزش داده شده است. کاربر موجود در سیستم میتواند با موبایل، رایانه همراه و غیره بر فرایند جمع‌آوری اطلاعات نظارت داشته باشد و کار مدیریت آبیاری محصولات کشاورزی را انجام دهد. سیستم پیشنهادی با هوشمندی، هزینه کم و قابل حمل بودن، مناسب بودن آن را برای گلخانه، مزارع و غیره اثبات می‌کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نتایج بهتری در مقایسه با پروتکل LEACH و همچنین الگوریتم WSN-IoT در معیارهای مختلف نظیر طول عمر شبکه و انرژی مصرفی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء، آبیاری هوشمند، کشاورزی هوشمند، مسیریابی داده ها، پروتکل .OSPF

مقدمه

کشاورزی در بسیاری از کشورها نقش مهمی ایفا می‌کند و نیاز به تبدیل شدن آن به یک صنعت هوشمند وجود دارد [۱]. در حال حاضر صنعت کشاورزی با استفاده از فنآوری‌های مدرن هوشمند به منظور یافتن راه‌حلی برای بهره‌وری موثر از منابع در حال پیشرفت است. این امر آب را به منبع مهمی تبدیل کرده که باید با استفاده از آخرین فنآوری‌های موجود در حفظ آن تلاش شود. اینترنت اشیاء (IoT) به غیر صنعت، توانایی خود را در کشاورزی هوشمند نیز توسعه داده است [۲]. امروزه IoT به عنوان شکل جدید استفاده از اینترنت در میان کاربران شناخته شده است [۲]. در فناوری IoT تمامی اشیاء با داشتن یک آدرس اینترنتی منحصر به فرد قابلیت اتصال به اینترنت را دارند. این نسل جدید از اینترنت کاربردهای بسیاری در حوزه‌های مختلف دارد که یکی از کاربردهای آن حوزه کشاورزی و هوشمندسازی زمین‌های آبی است [۳].

کشاورزی مدرن و هوشمند با استفاده از تجهیزات ارتباطی متصل شده به یکدیگر و همچنین استفاده از فناوری‌های جدید نظیر IoT، حاصل خواهد شد. کشاورزی هوشمند مزایی نظیر کارایی بالا و پیشرفته، زمین زراعی بهینه سازی شده، دقت برنامه‌ریزی بالا و غیره دارد. استفاده از فناوری‌های موجود در کشاورزی هوشمند سبب شده تا امکان سودآوری بیشتری برای کشاورزان فراهم شده، جذابیت صنعت کشاورزی نیز افزایش یافته و اینگونه ابزارهایی در اختیار کشاورز قرار خواهد گرفت میتواند به آنها در برابر مشکلات و چالش‌های پیشرو در آینده، کمک کند [۴]. یک دستگاه آبیاری هوشمند با حسگرهای مختلفی در ارتباط است و بر اساس اطلاعاتی که از حسگرها دریافت می‌کند آبیاری را مدیریت می‌کند. این حسگرها میتوانند به دستگاه مرکزی اطلاعاتی مثل بارانی بودن یا نبودن هوا و دمای محیط و همچنین میزان رطوبت خاک و یا شدت وزش باد را اطلاع دهند. مزیتی که این سیستم نسبت به کنترل‌های آبیاری تایمر دارد میزان تأثیر آن در مصرف آب است. زیرا فقط و فقط وقتی آبیاری انجام می‌شود که درختان و گیاهان شما به آب نیاز داشته باشند [۵].

با ظهور اینترنت اشیاء و تحول دیجیتالی در مناطق روستایی، میتوان بوسیله کنترل از راه دور آبیاری، رطوبت خاک، نظارت بر رشد محصولات و همچنین اقدامات پیشگیرانه برای تشخیص آسیب‌ها را هوشمندسازی کرد. استفاده از این فناوری اجازه دسترسی به کشاورزی هوشمند را فراهم می‌کند [۵]. مدیریت از راه دور فعالیت‌های کشاورزی با فن‌آوری‌های جدید، زمینه جدیدی برای فعالیت‌های تحقیقاتی است. در این مقاله یک سیستم مدیریت سریع و کم هزینه برای آبیاری هوشمند از طریق حسگرهای بی‌سیم و اینترنت اشیاء پیکربندی شده است. واحد استخراج اطلاعات شامل مجموعه‌ای از حسگرهای بی‌سیم برای سنجش فعالیت‌های کشاورزی و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پارامترهای آبیاری است [۶]. بر اساس اطلاعات دریافت شده از حسگرها (نظیر دما، رطوبت خاک و غیره)، یک شبکه عصبی برای تعیین بهترین برنامه آبیاری آموزش داده می‌شود. کاربر موجود در سیستم میتواند با موبایل، رایانه همراه و غیره به یک شبکه اینترنتی متصل شده و بر فرایند جمع‌آوری اطلاعات از طریق اینترنت اشیاء و نظارت بر محصولات کشاورزی مدیریت کند. علاوه بر این، یک الگوریتم مسیریابی سریع مبتنی بر فازی برای انتقال اطلاعات طراحی شده است که به توزیع مصرف انرژی در شبکه کمک می‌کند. تاکید روش پیشنهادی بر روی تجزیه و تحلیل پروتکل مسیریابی گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم (WSN) برای ارسال اطلاعات از سیستم سخت افزاری به نرم افزار واسط نظیر برنامه کاربردی تلفن همراه می‌باشد [۳].

ادامه این مقاله به شرح زیر است: بخش ۲ به پیش‌زمینه و انگیزه مرتبط است. برخی از جدیدترین کارهای انجام شده در بخش ۳ بررسی شده است. در بخش ۴ روش پیشنهادی مبتنی بر اینترنت اشیاء برای ایجاد یک سیستم آبیاری هوشمند ارائه می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی روش پیشنهادی در بخش ۵ آورده شده و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادها در بخش ۶ بیان می‌شود.

پیش‌زمینه و انگیزه

امروزه کامپیوترها و بنابراین اینترنت تقریباً به طور کامل برای دریافت اطلاعات به انسان وابسته هستند. این مفهوم هسته اصلی فناوری هوشمند است و میتواند برای مدیریت صحیح آبیاری در باغ‌ها، گلخانه‌ها، مزارع و زمین‌های کشاورزی استفاده شود. کشاورزی هوشمند یک دامنه کاملاً تثبیت شده است و ترکیب فناوری با تجربه کشاورزان مزایای بی شماری دارد: از جمله بهبود سلامت محصولات، بهداشت بهتر، ردیابی سریع‌تر، مدیریت آب و غیره. آب یکی از مهمترین منابع در مورد کشاورزی است [۷]. مقدار زیادی آب، تقریباً ۱۰۰ برابر بیشتر از مصرف شخصی در کشاورزی مصرف می شود و تقریباً ۷۰ درصد از آب رودخانه و زیرزمینی در آبیاری استفاده می‌شود و این امر انسان را به بزرگترین مصرف کننده منابع آبی تبدیل کرده است [۸]. علاوه بر این، تقریباً نیمی از آب در کشاورزی‌های سنتی به دلیل تبخیر از بین می‌رود. این امر منجر به یک کار گسترده در رابطه با استفاده کارآمد از این منبع محدود شده است. کارهای زیادی توسط گروه‌های مختلف تحقیقاتی در حوزه کشاورزی هوشمند انجام شده و در حال انجام است. بطوریکه اغلب فناوری اینترنت اشیاء و شبکه‌های حسگر بی‌سیم را برای مدیریت مصرف آب پیشنهاد می‌دهند.

پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در زمینه اینترنت اشیاء و هوشمندسازی آبیاری در کشاورزی برای افزایش کیفیت تولید محصولات کشاوری و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب انجام شده است. کریشنان و همکاران (۲۰۲۰)، منطق فازی مبتنی بر سیستم آبیاری هوشمند با استفاده از اینترنت اشیاء را پیشنهاد دادند [۹]. در این مقاله کنترل کننده منطق فازی برای محاسبه پارامترهای ورودی (به عنوان مثال رطوبت خاک، دما و رطوبت) و تولید خروجی وضعیت موتور استفاده می‌شود. کارار و همکاران (۲۰۲۰)، IoT و سیستم کنترل پمپاژ آب مبتنی بر شبکه عصبی را برای آبیاری هوشمند پیشنهاد دادند [۱۰]. این مقاله با هدف صرفه جویی در مصرف آب هدر رفته در فرآیند آبیاری با استفاده از اینترنت اشیاء بر اساس مجموعه حسگرها و شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP) انجام شده است. الگوریتم یادگیری ماشین مانند شبکه عصبی MLP نقش مهمی در حمایت از تصمیم کنترل اتوماتیک سیستم آبیاری مبتنی بر IoT، مدیریت مصرف آب به طور مؤثر ایفا می‌کند.

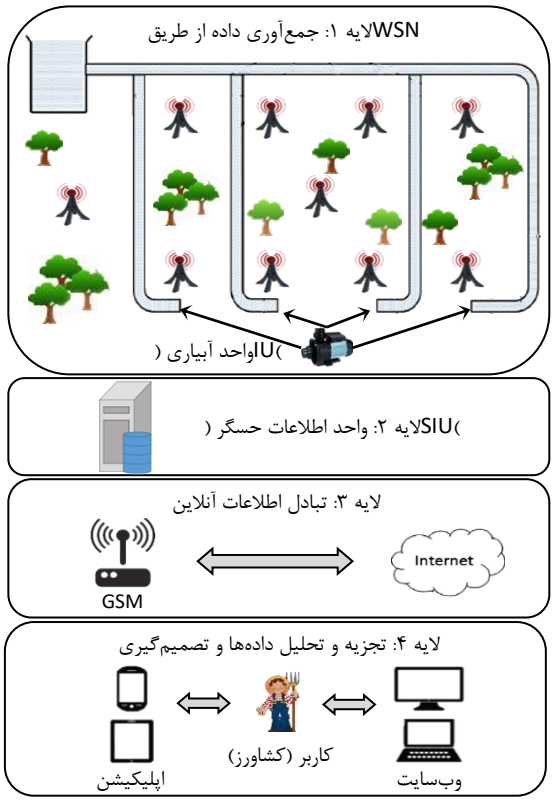
تیگلائو و همکاران (۲۰۲۰)، یک سیستم آبیاری هوشمند مبتنی بر شبکه بی‌سیم کم هزینه را با نام Agrinex پیشنهاد دادند [۱۱]. این کار جایگزینی برای روش‌های نظارت موجود در اراضی کشاورزی در حالی فراهم می‌کند که یک مکانیسم آبیاری برای کمک به اقدامات حفاظت از منابع با استفاده از یک حسگر بی‌سیم و شبکه تحریک کننده ارائه می‌دهد. سیستم Agrinex دارای یک پیکربندی شبیه به شبکه از گره های درون میدانی است که هم به عنوان حسگر برای رطوبت خاک، دما و رطوبت عمل می کند و هم محرک روی دریچه ای است که آبیاری قطره را تنظیم می‌کند. موسوی و همکاران (۲۰۲۰)، رویکردی برای بهبود امنیت اینترنت اشیاء را با استفاده از الگوریتم‌های رمزنگاری برای سیستم‌های آبیاری هوشمند ارائه دادند [۱۲]. این مقاله یک الگوریتم رمزنگاری ترکیبی جدید مبتنی بر رمزنگاری پرچین، رمزنگاری بیضوی-منحنی و الگوریتم هش امن را برای محافظت از اطلاعات حساس در سیستم‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر IoT پیشنهاد می‌کند. نتایج بدست آمده اثربخشی این مدل و استحکام را برای محرمانه بودن مبتنی بر تحلیل محرمانه بودن تأیید می‌کند.

الگوریتم WSN-IoT توسط نواندر و ساتپوت (۲۰۱۹) ارائه شد که یک ماژول کم هزینه و هوشمند مبتنی بر IoT برای ایجاد یک سیستم آبیاری هوشمند است [۱۳]. از جمله قابلیت‌های این نرم افزار حالت مدیر برای تعامل با کاربر، انجام فقط یکبار تنظیمات برای تخمین برنامه آبیاری، تصمیم‌گیری مبتنی بر شبکه عصبی برای پشتیبانی هوشمند و نظارت بر داده‌های از راه دور می‌باشد. علاوه بر این، این سیستم از MQTT و HTTP استفاده می‌کند تا کاربر را در مورد وضعیت فعلی محصولات و شرایط آبیاری حتی از یک مکان دور نیز مطلع کند. الومار و الازام (۲۰۱۸)، یک سیستم آبیاری هوشمند با استفاده از کنترلر IoT و منطق فازی پیشنهاد دادند [۱۴]. هدف از این مقاله، ارائه سیستم آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء است که در کاهش فرکانس آبیاری و در عین حال افزایش میزان تولید از طریق استفاده از منطق فازی کمک می‌کند. این سیستم از یک کنترلر فازی ممدانی تشکیل شده است که شناسه‌های محیطی یعنی رطوبت خاک و دمای بیرون را از طریق حسگرهای خاص به دست می‌آورد، سپس برای کنترل جریان آب از طریق پمپ آب، یکسری قوانین فازی اعمال می‌کند و زمان و فرکانس مناسب را برای آبیاری ارائه می‌دهد.

روش پیشنهادی

این مقاله یک سیستم نظارت بر محصول و آبیاری هوشمند بر اساس منطق فازی و شبکه عصبی را ارائه می‌دهد. با در نظر گرفتن نیازهای گیاه و خاک، سیستم آبیاری هوشمند پیشنهادی، بهره‌برداری موثر از آب را حاصل می‌کند. برای اینکار پارامترهای مرحله رشد گیاه، دمای محیط، رطوبت محیط، رطوبت خاک، نرخ تبخیر، ضریب رشد محصول، نیاز آبی محصول، زمان کاشت محصول، حداکثر و حداقل دما، موقعیت جغرافیایی، میزان بارش باران، روش آبیاری و نوع محرک مکانیکی مورد توجه است که از WSN دریافت می‌شود. این پارامترها به طور کلی نیاز آبی یک محصول را تعیین می‌کنند که با استفاده از آنها بدون هیچ گونه مداخله انسانی میتوان سیستم آبیاری هوشمند و خودکار را توسعه داد. در سیستم آبیاری هوشمند پیشنهادی، نظارت مستمر بر محیط، خواندن داده‌های حسگر، اتصال به کارگزار برای انتشار اطلاعات، تصمیم گیری در مورد حالت آبیاری، تصمیم گیری در مورد میزان آب خروجی، انتقال تصمیم به واحد آبیاری (IU)، بازخورد تصمیم از واحد آبیاری انجام می‌شود. شکل (۱) یک معماری مفهومی از روش پیشنهادی را نشان می‌دهد که از چهار لایه تشکیل شده است.

لایه اول مرتبط با جمع آوری داده‌ها از طریق یک WSN با تعداد گره‌های ثابت است. گره‌های استفاده شده در این بخش قابلیت جمع-آوری پارامترهای تعریف شده برای آبیاری را از طریق حس محیط دارند. این گره‌ها قابلیت تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال دارند و از پروتکل فرکانس رادیویی برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کنند. علاوه بر تجهیزات مربوط به WSN، در اینجا منبع آب از طریق IU در دسترس است که میتواند تصمیم‌گیری‌های ارسال شده اعمال کند. لایه دوم شامل واحد اطلاعات حسگر (SIU) است که وظیفه پردازش داده‌ها و ارتباط با دستگاه‌های متصل به اینترنت را بر عهده دارد. همچنین، SIU میتواند ارتباط و تبادل داده داشته باشد. لایه سوم شامل یک مودم GSM متصل به اینترنت است که SIU از طریق آن میتواند اطلاعات دریافت شده از WSN را به سرور (یا برنامه کاربردی) ارسال کند. بنابراین، تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط سرور انجام می‌شود و اینکار معماری سیستم را ساده می‌کند. لایه چهارم شامل سرور یا یک پلتفرم برنامه کاربردی است که کاربر (کشاورز) میتواند داده‌های آن را مشاهده و مدیریت کند. برنامه کاربردی میتواند یک آپ یا وب-سایت باشد که از طریق تلفن همراه یا کامپیوتر شخصی اجرا می‌شود.

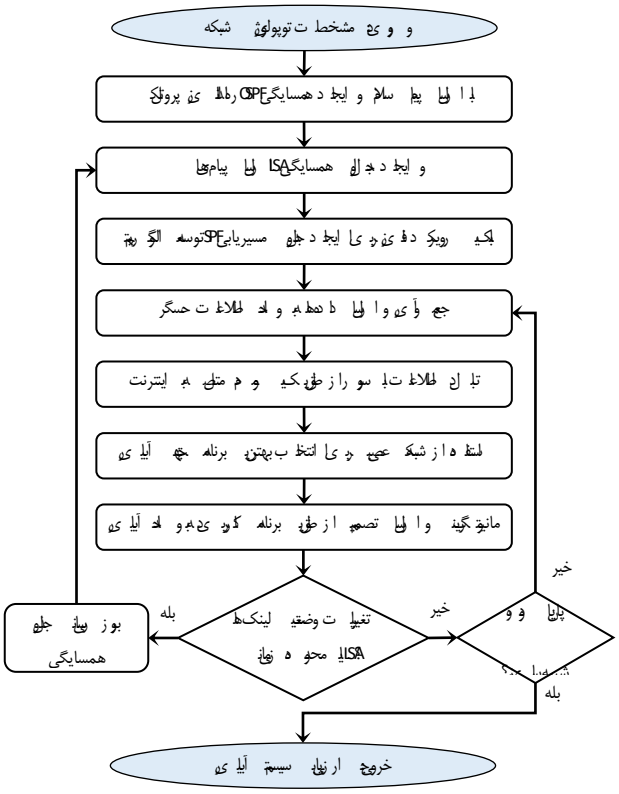


شکل (۱): معماری سیستم آبیاری پیشنهادی

در این تحقیق یک سیستم مدیریت سریع و کم هزینه برای آبیاری هوشمند از طریق اینترنت اشیاء طراحی شده است. برای جمع آوری داده‌ها از تعدادی حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود. این حسگرها اطلاعاتی نظیر اندازه دما، رطوبت خاک، حرارت، میزان نور، اندازه‌گیری یخزدگی و غیره را در دسترس قرار می‌دهند. این داده‌های برای سنجش فعالیت‌های کشاورزی و مدیریت بهتر سیستم آبیاری استفاده می‌شود. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده یک شبکه عصبی برای تعیین بهترین برنامه آبیاری آموزش داده می‌شود. در اینجا از یکسری ورودی–خروجی‌های واقعی برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود که این اطلاعات توسط یک شخص خبره فراهم خواهد شد. کاربر موجود در سیستم میتواند با موبایل، رایانه همراه و غیره به یک شبکه اینترنتی متصل شده و بر فرایند جمع‌آوری اطلاعات از طریق اینترنت اشیاء و نظارت بر محصولات کشاورزی مدیریت کند. علاوه بر این، یک الگوریتم مسیریابی سریع مبتنی بر فازی برای انتقال اطلاعات طراحی می‌شود. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی در ابتدای راه‌اندازش جدول مسیریابی را برای همه حسگرها ایجاد کرده و تنها در صورت غیر فعال شده یک حسگر (تغییر همسایگی) جدول مسیریابی بروزرسانی می‌شود. مراحل اصلی روش پیشنهادی در فلوچارت شکل (۲) نشان داده شده است.

پروتکل مسیریابی پایه برای پیاده‌سازی سیستم آبیاری پیشنهادی، OSPF است. در این پروتکل، الگوریتم SPF برای مسیریابی استفاده می‌شود و تنها مبتنی بر پهنای باند است [۱۵]. در این مقاله فرایند مسیریابی در پروتکل OSPF توسط

یک سیستم فازی بهبود داده شده است. در اینجا مشخصات توپولوژی شبکه بر اساس یکسری پارامترهای استاندارد بـه عنـوان ورودی در نظر گرفته می‌شود.



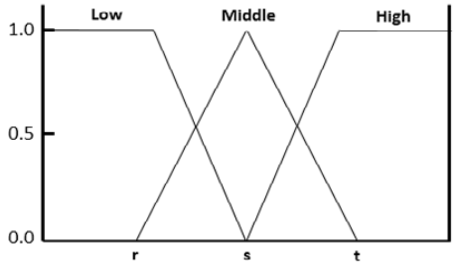
شکل (۲): فلوچارت روش پیشنهادی

شبکه مورد نظر یک شبکه WSN است و شامل یکسری گره حسگر با قابلیت ارسال داده‌ها است. این گره‌ها در واقع عملگرهای اینترنت اشیاء هستند. در ابتدا پروتکل OSPF بر اساس WSN راه‌اندازی می‌شود. اینکار بر اساس ارسال پیام «سلام» و ایجـاد جدول همسایگی انجام می‌گیرد. سپس وضعیت ارتباطات بین گره‌های حسگر از طریق ارسال پیام LSA مشخص شده و بر این اساس جدول همسایگی شبکه ایجاد می‌شود. هر گره‌ای که پیام LSA را دریافت کـرد، جـدول همسـایگی خـود را بروزرسـانی کرده و بر اساس آن یک پیام LSA به سایر گره‌های همسایه ارسال می‌کند. همسایگی در اینجا بر اسـاس یـک فاصـله آسـتانه مشخص می‌شود. در مرحله بعد جدول مسیریابی برای هر گره ایجاد می‌شود. اینکار با توسعه الگوریتم SPF با یک رویکرد فازی برای هر گره انجام می‌شود. پروتکل OSPF جدول همسایگی را بطور متناوب بر اساس پیام‌های LSA تغییر مـی‌دهـد. بـا ایـن حال، تنها در دو مورد LSA ارسال می‌شود: ۱- تغییرات وضعیت لینک‌ها (برای مثال اتمام انرژی یک گره) و ۲- یـک محـدوده زمانی مشخص شده (برای مثال هر t ثانیه). بنابراین، در صورت بروز تغییرات هر گره جـدول همسـایگی خـود را بـروز کـرده و تغییرات را با ارسال LSA به همسایگان خود اطلاع می‌دهد.

۱-۱- رویکرد فازی برای ایجاد جدول مسیریابی

سیستم مسیریابی پیشنهادی بدین صورت است که گره مبدا ابتدا به عنوان گره جاری مسیر ($node_c$) در نظر گرفته می‌شود. سپس بر اساس $node_c$ همه گره‌های کاندید گره بعدی مشخص می‌شوند. یعنی، $Candid(node_c) = \{node_1, node_2, \dots, node_{z1}\}$ جائیکه $z1$ تعداد گره‌های کاندید را برای گره جاری $node_c$ نشان می‌دهد. در اینجا، گره‌های همسایه به عنوان گره‌های کاندید در نظر گرفته می‌شوند. در مرحله بعد بر اساس یک سیستم فازی مبتنی بر قانون، برای هر گره از مجموعه گره‌های کاندید، میزان تاثیر انتخاب آن محاسبه می‌شود. سپس یک گره از بین گره‌های کاندید به عنوان گره بعدی مسیر انتخاب می‌شود، این انتخاب بر اساس ضریب تاثیر و با تکنیک چرخ رولت انجام می‌شود. با فرض انتخاب گره $node_1$، این گره به عنوان گره جاری در نظر گرفته می‌شود، یعنی، $node_c = node_1$. این فرایند برای گره جاری تکرار شده تا درنهایت گره مقصد انتخاب شود.

سیستم فازی طراحی شده بر اساس پارامترهای «انرژی باقیمانده گره کاندید»، «فاصله گره کاندید از گره جاری»، «فاصله گره کاندید از SIU» و «پهنای باند لینک بین گره جاری و گره کاندید» میزان تاثیر هر گره کاندید را تعیین می‌کند. در اینجا پارامترهای ورودی شامل ۱- انرژی (ER)، ۲- فاصله (DS) و ۳- پهنای‌باند (BW) می‌باشد (پارامترهای فاصله گره کاندید از گره جاری و فاصله گره کاندید از SIU به صوت میانگین در نظر گرفته شده است). ابتدا مقادیر این پارامترها بر اساس مقدار حداکثر، نرمال شده و سپس بر اساس مجموعه فازی ذوزنقه‌ای با سه حالت (Low، Middle و High) فازی‌سازی می‌شوند. شکل (۳) مجموعه فازی ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. خروجی سیستم فازی نیز ضریب تاثیر می‌باشد که توسط مجموعه فازی ذوزنقه‌ای مدل‌سازی می‌شود.



شکل (۳): فازی‌سازی پارامترهای ورودی سیستم فازی

خروجی بر اساس پایگاه قوانین فازی که توسط شخص خبره طراحی شده تعیین می‌گردد، جائیکه درجه عضویت هر الگوی ورودی با استفاده از عملگر ضرب- ممدانی محاسبه می‌شود. قوانین فازی در نظر گرفته شده در جدول (۱) نشان داده شده است.

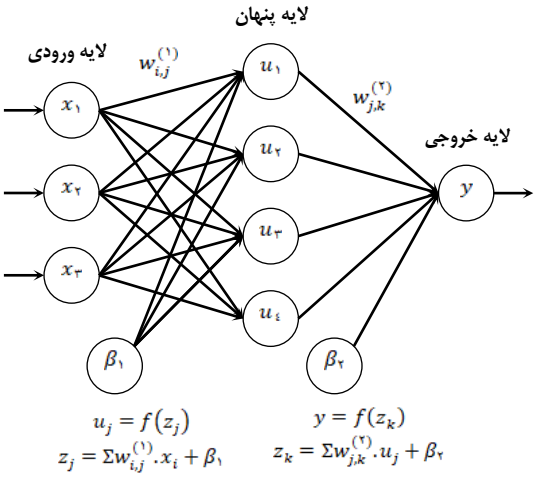
جدول (۱): پایگاه قوانین فازی استفاده شده در الگوریتم مسیریابی

شماره قانون	ورودی سیستم			خروجی سیستم
	انرژی	فاصله	پهنای باند	ضریب تاثیر
۱	Low	Low	Low v Mid	Low
۲	Low	Low	High	Mid
۳	Low	High v Mid	Low v Mid v High	Low
۴	Mid v High	Low	Low	Mid
۵	Mid	Low	Mid v High	High
۶	Mid	Mid	Low v Mid	Mid
۷	Mid v High	High	Low v Mid	Low
۸	Mid	High	High	Mid
۹	High	Low	Mid v High	High
۱۰	High	Mid	Low v Mid	Mid
۱۱	High v Mid	Mid v High	High	High
۱۲	High	High	Mid	Mid

۲-۱- انتخاب بهترین برنامه آبیاری با شبکه عصبی

در اغلب تحقیقات برای کار تصمیم‌گیری در مورد نوع آبیاری از یک حدآستانه استفاده می‌شود. برای مثال، اگر دما کمتر از ۵- شد، احتمال یخزدگی وجود دارد و آبیاری انجام شود. با این حال، پارامترهای مورد بررسی اغلب شامل دمای محیط، رطوبت، محتوای آب-خاک هستند که رابطه ساده‌ای را برای تصمیم‌گیری فراهم نمی‌کنند. بنابراین، در این مقاله تلاش شده است که از مدل شبکه عصبی بجای آستانه استفاده شود، جائیکه میتواند بر اساس شرایط گذشته بهترین تصمیم را برای شرایط فعلی داشته باشد. در اینجا، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده توسط اینترنت اشیاء یک شبکه عصبی برای تعیین بهترین برنامه آبیاری، آموزش داده می‌شود. برای اینکار از یکسری ورودی-خروجی‌های واقعی برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود که این اطلاعات توسط یک شخص خبره فراهم شده است. ورودی‌های در نظر گرفته شده در این سیستم شامل دمای محیط، رطوبت محیط، رطوبت خاک، نرخ تبخیر، ضریب رشد محصول، نیاز آبی محصول، زمان کاشت محصول و میزان بارش باران هستند. علاوه بر این، خروجی سیستم نوع برنامه آبیاری است که شامل آبیاری قطره‌ای تحت فشار کم، آبیاری قطره‌ای تحت فشار بالا، آبیاری بارانی تحت فشار کم، آبیاری بارانی تحت فشار بالا، آبیاری سطحی تحت فشار کم و آبیاری سطحی تحت فشار بالا می‌باشد.

در این مقاله یک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP-NNs) استفاده شده است که دارای سه لایه ورودی، مخفی و خروجی می‌باشد. ویژگی‌های ورودی مطابق پارامترهای استخراج شده توسط حسگرها برابر I_n است و تعداد خروجی مطابق انواع آبیاری‌های تعریف شده برابر O_n است. علاوه بر این، تعداد لایه‌های پنهان ۱ و تعداد نورون‌های در این لایه ۴ در نظر گرفته شده است. تعداد دوره‌های یادگیری برابر ۱۰۰۰ و تکنیک یادگیری وزن‌ها گرادیان نزولی تعریف شده است. خروجی هر گره با محاسبه مقدار وزنی مقادیر ورودی آن و سپس انجام تابع فعال‌سازی سیگموئید تولید می‌شود. سرانجام، خطای میانگین مربع (MSE) خروجی پیش‌بینی شده که بر اساس تفاوت آن با خروجی واقعی نمونه محاسبه می‌شود. شکل (۴) نمونه‌ای از معماری MLP-NN بر اساس پیکربندی ۳-۴-۱ (یعنی ۳ گره ورودی، ۴ گره در یک لایه پنهان و ۱ گره خروجی) را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمونه‌ای از ساختار شبکه عصبی MLP مورد استفاده

نتایج و مقایسه‌ها

شبیه‌سازی با نرم‌افزار متلب ورژن ۲۰۱۹ انجام شده و همه آزمایش‌ها بوسیله یک لپتاپ ایسوز با پردازنده اینتل core i7 و فرکانس و۳,۰ ، حافظه ۱۶ اعمال می‌شود. شبیه‌سازی روی یک توپولوژی شبکه حسگر بیسیم مبتنی بر اینترنت اشیاء انجام شده است. در آزمایش‌های انجام شده مقادیر تنظیم شده برای پارامترهای روش پیشنهادی به شرح زیر است؛ تعداد دورهای شبیه‌سازی برابر ۵۰۰۰، محدوده زمانی ارسال LSA برابر ۵ دور شبیه‌سازی، اندازه زمین کشاورزی برابر ۱۰۰×۱۰۰ متر، تعداد گره‌های حسگر برابر ۱۰۰، موقعیت گره‌های حسگر به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت، انرژی اولیه گره‌ها برابر ۰,۲ ژول، اندازه بسته‌ها اطلاعاتی برابر ۴ کیلوبایت، اندازه بسته‌های سلام برابر ۲۵ بیت، موقعیت واحد اطلاعات حسگر برابر ۵۰×۵۰ متر و تعداد قوانین فازی برابر ۱۲ می‌باشد.

مدل مصرف انرژی مطابق [۱۳] برای ارسال و دریافت داده‌ها بکار گرفته شده است. در این مدل، در صورتیکه فاصله بین دو گره از فاصله آستانه d_0 بیشتر باشد، گره‌ها با حداکثر سطح توان بسته را ارسال می‌کنند، در غیر این صورت بر اساس میزان فاصله با یک سطح متوسط توان بسته ارسال می‌شود. در این مدل، میزان مصرف انرژی برای گره‌های ارسال کننده (E_{tx}) و گره‌های دریافت کننده (E_{rx}) مطابق روابط (۱) و (۲) اندازه‌گیری می‌شود.

$$E_{tx}(d) = \begin{cases} E_{elec} \times l + \varepsilon_{fs} \times l \times d^2 , & d < d_0 \\ E_{elec} \times l + \varepsilon_{mp} \times l \times d^4 , & d \geq d_0 \end{cases} \quad (۱)$$

$$E_{rx} = E_{elec} * l \quad (۲)$$

در این روابط، E_{elec} انرژی لازم برای ارسال/دریافت یک بیت است. l و d نیز به ترتیب اندازه بسته و فاصله بین دو تا گره ارسال کننده و دریافت کننده می‌باشد. ε_{fs} و ε_{mp} انرژی آمپلی‌فایر برای تقویت سیگنال است. در اغلب تحقیقات آستانه d_0 به صورت رابطه (۳) در نظر گرفته شده است.

(۳)

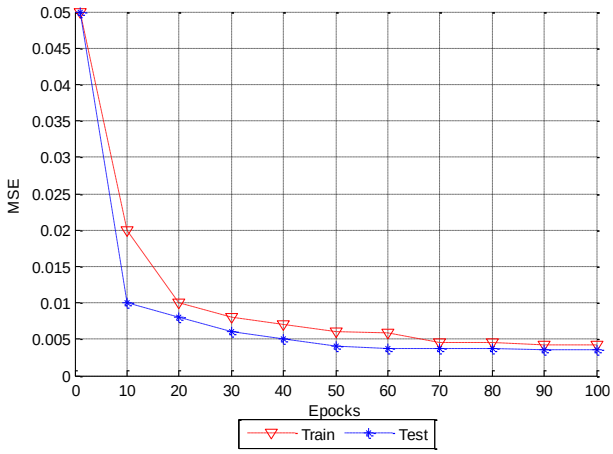
$$d_{.} = \sqrt{\varepsilon_{fs}/\varepsilon_{mp}}$$

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده توسط اینترنت اشیاء یک شبکه عصبی برای تعیین بهترین برنامه آبیاری، آموزش داده شده است. جزئیات پیکربندی شبکه عصبی مطابق جدول (۲) می‌باشد.

جدول (۲): جزئیات پیکربندی شبکه عصبی برای تعیین برنامه آبیاری

پارامترها	مقادیر
ورودی‌ها	۷ ورودی شامل دمای محیط، رطوبت محیط، رطوبت خاک، نرخ تبخیر، ضریب رشد محصول، نیاز آبی محصول، زمان کاشت محصول و میزان بارش باران
پیکربندی لایه مخفی	یک لایه پنهان با ۴ نورون
تعداد دوره‌های یادگیری	۱۰۰۰ دوره
الگوریتم یادگیری	گرادیان نزولی
خروجی‌ها	۶ خروجی شامل آبیاری قطره‌ای با فشار کم، آبیاری قطره‌ای با فشار بالا، آبیاری بارانی با فشار کم، آبیاری بارانی با فشار بالا، آبیاری سطحی با فشار کم و آبیاری سطحی با فشار بالا
تعداد رکوردهای آموزشی	۵۰۰ رکورد
روش ایجاد رکوردها	تصادفی با توزیع یکنواخت، در محدوده ۰ تا ۱ برای هر ویژگی

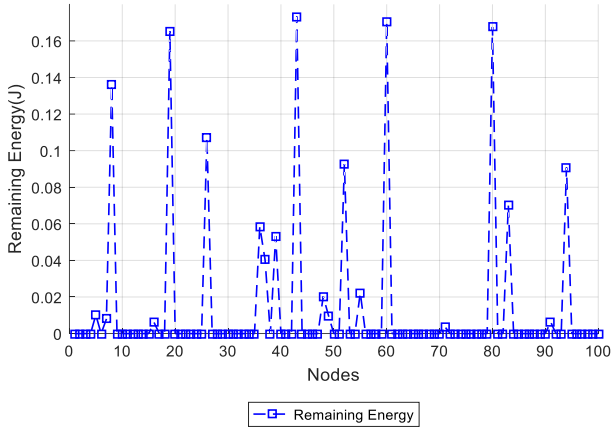
در این بخش آزمایش‌های گسترده‌ای برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی انجام شده است. در ابتدا بررسی همگرایی شبکه عصبی با تعداد ۱۰۰ دوره ارائه شده است. نتایج یادگیری شبکه عصبی را میتوان در شکل (۵) مشاهده کرد، جائیکه خطا بر اساس خطای میانگین مربع (MSE) اندازه‌گیری شده است. در فرایند اعتبارسنجی، بهترین عملکرد در دوره ۸۵ با MSE برابر ۰,۰۰۳۷۶۹۹ حاصل شده است.



شکل (۵): نتایج همگرایی شبکه عصبی

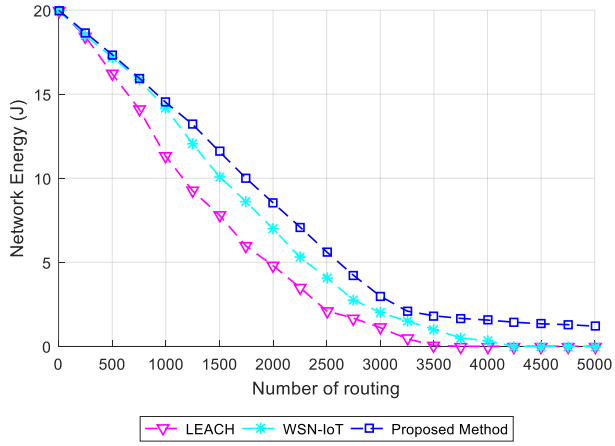
در آزمایش دیگری انرژی باقیمانده شبکه به تفکیک گره‌ها پس از اتمام دورهای مسیریابی در شکل (۶) گزارش شده است. با توجه به انرژی اولیه ۰,۲ ژول برای گره‌ها، نتایج نشان می‌دهد که انرژی اغلب گره‌ها پس از پایان دورهای مسیریابی صفر

یا نزدیک به صفر است. علاوه بر این، واریانس انرژی باقیمانده گره‌ها حدود ۰,۰۳ است و تنها ۶ گره از مجموع ۱۰۰ گره شبکه دارای انرژی بیشتر از ۰,۱ ژول هستند. این نتایج نشان دهنده توزیع مناسب مصرف انرژی در کل شبکه می‌باشد.



شکل (۶): انرژی باقیمانده شبکه به تفکیک گره‌ها

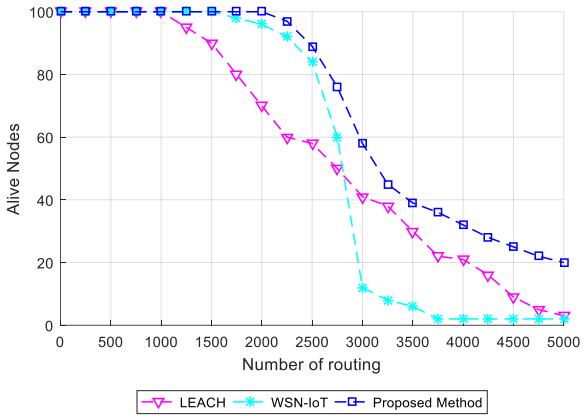
در ادامه انرژی باقیمانده شبکه در روش پیشنهادی نسبت به دورهای مسیریابی در مقابل پروتکل LEACH [۱۶] و الگوریتم WSN-IoT [۱۳] مقایسه شده است. در هر دور مسیریابی انرژی باقیمانده شبکه برابر میانگین انرژی باقیمانده برای همه گره-های شبکه می‌باشد. نتایج این مقایسه در شکل (۷) ارائه شده است. در دور نخست شبیه‌سازی، انرژی شبکه ۲۰ ژول است. در اینجا، روند کاهشی انرژی شبکه در طی دورهای مسیریابی برای همه روش‌ها مشاهده می‌شود. با این حال، روش پیشنهادی شتاب کمتری را در کاهش انرژی نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهد. دلیل برتری روش پیشنهادی بکارگیری تکنیک انرژی-آگاه در مسیریابی و همچنین توزیع مناسب مصرف انرژی است.



شکل (۷): مقایسه انرژی باقیمانده شبکه در روش‌های مختلف

در آزمایش دیگری طول عمر شبکه و تعداد گره‌های زنده بر اساس دورهای مسیریابی در روش‌های مختلف مقایسه شده است. شکل (۸) نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی مرگ اولین گره دور مسیریابی ۲۱۰۹ است. این

معیار برای پروتکل LEACH برابر ۱۰۵۷ و برای الگوریتم WSN-IoT برابر ۱۶۲۵ می‌باشد. بنابراین، روش پیشنهادی طول عمر شبکه بهتری را ارائه داده است. علاوه بر این، پس از اتمام ۵۰۰۰ دور مسیریابی، روش پیشنهادی با تعداد ۲۲ گره زنده نسبت به پروتکل LEACH با ۲ و الگوریتم WSN-IoT با ۴ گره زنده نتایج بهتری را گزارش می‌دهد.



شکل (۸): مقایسه تعداد گره‌های زنده شبکه در روش‌های مختلف

در انتها مقایسه روش‌های مختلف بر اساس نتایج عددی معیارهای مختلف در جدول (۳) پس از اتمام ۵۰۰۰ دور مسیریابی نشان داده شده است. به طور کلی روش پیشنهادی بر اساس معماری اینترنت اشیاء و همچنین الگوریتم مسیریابی انرژی-آگاه مبتنی بر فازی نتایج بهتری در برابر پروتکل LEACH و همچنین الگوریتم WSN-IoT ارائه داده است.

جدول (۳): نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه با معیارهای مختلف

روش‌ها	طول عمر شبکه	واریانس انرژی باقیمانده	تعداد بسته‌های ارسالی	میانگین طول مسیر
LEACH	۱۰۵۷	۰,۰۱۲	۲۴۴۶	۳,۴
WSN-IoT	۱۶۲۵	۰,۰۰۵	۲۸۰۱	۳,۱
روش پیشنهادی	۲۱۰۹	۰,۰۰۳	۳۲۰۷	۲,۹

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

جمعیت جهان در حال افزایش است و موجودیت غذایی فعلی برای تغذیه مردم کافی نمی‌باشد. امروزه، کشاورزی سنتی میتواند یکی از دلایل کاهش تولید محصولات غذایی باشد، حتی اگر زمین قابل کشت زیادی در دسترس باشد. بنابراین ادغام فناوری‌های در حال توسعه با کشاورزی و انجام کشاورزی هوشمند ضروری است. علاوه بر این، کشاورزی سهم عمده‌ای در اقتصاد جهان دارد و بیشتر مردم برای امرار معاش خود به آن وابسته هستند. این امر آب را به منبع مهمی تبدیل می‌کند که باید با استفاده از آخرین فناوری‌های موجود حفظ شود. امروزه، اینترنت اشیاء قابلیت خود را به کشاورزی هوشمند نیز گسترش داده است. در این مقاله یک سیستم خودکار و کم هزینه برای آبیاری هوشمند طراحی شد. در اینجا از اینترنت اشیاء برای ساخت دستگاه‌هایی استفاده می‌شود که در سیستم به صورت خودکار با هم ارتباط برقرار می‌کنند و دارای قابلیت‌هایی مانند: حالت مدیر برای تعامل کاربر، تنظیم برنامه آبیاری، تصمیم‌گیری مبتنی بر شبکه عصبی برای پشتیبانی هوشمند و نظارت از راه دور داده‌ها می‌باشد. سیستم پیشنهادی با هوشمندی، هزینه کم و قابل حمل بودن، مناسب بودن آن را برای گلخانه، مزارع و غیره اثبات کرده است.

برای کارهای آینده پیشنهاد می‌شود جهت انتقال اطلاعات بین گره‌های حسگر و واحد پردازش گره‌ها از یک میکروکنترلر با قابلیت اینترنت اشیاء و مجهز به اینترنت استفاده کرد و فرایند انتقال اطاعات را سرعت بخشید. علاوه بر این، استفاده و مقایسه کارایی پروتکل OSPF در مقابل پروتکل‌های جدید دیگر نظیر EIGRP [۱۷] از دیگر پیشنهادهای این تحقیق است.

مراجع

Dasgupta, A., Daruka, A., Pandey, A., Bose, A., Mukherjee, S., & Saha, S. (2019). Smart irrigation: IOT-based irrigation monitoring system. In *Proceedings of International Ethical Hacking Conference 2018* (pp. 395-403). Springer, Singapore.

Zhao, W., Lin, S., Han, J., Xu, R., & Hou, L. (2017, December). Design and implementation of smart irrigation system based on LoRa. In *2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* (pp. 1-6). IEEE.

Vineela, T., NagaHarini, J., Kiranmai, C., Harshitha, G., & AdiLakshmi, B. (2018). IoT based agriculture monitoring and smart irrigation system using raspberry Pi. *Int. Res. J. Eng. Technol*, *5*, 1417-1420.

Srivastava, P., Bajaj, M., & Rana, A. S. (2018, February). Overview of ESP8266 Wi-Fi module based smart irrigation system using IOT. In *2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)* (pp. 1-5). IEEE.

Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., & Krishna, C. R. (2018). An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and electronics in agriculture*, 155, 41-49.

Koduru, S., Padala, V. P. R., & Padala, P. (2019). Smart irrigation system using cloud and Internet of Things. In *Proceedings of 2nd international conference on communication, computing and networking* (pp. 195-203). Springer, Singapore.

Rajkumar, M. N., Abinaya, S., & Kumar, V. V. (2017, March). Intelligent irrigation system—An IOT based approach. In *2017 International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT)* (pp. 1-5). IEEE.

Prabha, R., Sinitambirivoutin, E., Passelaigue, F., & Ramesh, M. V. (2018, March). Design and development of an IoT based smart irrigation and fertilization system for chilli farming. In *2018 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)* (pp. 1-7). IEEE.

Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., & Thong, P. H. (2020). Fuzzy Logic based Smart Irrigation System using Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119902.

Karar, M. E., Al-Rasheed, M. F., Al-Rasheed, A. F., & Reyad, O. (2020). IoT and Neural Network-Based Water Pumping Control System For Smart Irrigation. *arXiv preprint arXiv:2005.04158*.

Tiglao, N. M., Alipio, M., Balanay, J. V., Saldivar, E., & Tiston, J. L. (2020). Agrinex: A Low-Cost Wireless Mesh-based Smart Irrigation System. *Measurement*, 107874.

Mousavi, S. K., Ghaffari, A., Besharat, S., & Afshari, H. (2020). Improving the security of internet of things using cryptographic algorithms: a case of smart irrigation systems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-19.

Nawandar, N. K., & Satpute, V. R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 979-990.

Alomar, B., & Alazzam, A. (2018, November). A Smart Irrigation System Using IoT and Fuzzy Logic Controller. In *2018 Fifth HCT Information Technology Trends (ITT)* (pp. ۱۷۵-۱۷۹). □□□□.

Vetter, B., Wang, F., & Wu, S. F. (1997, October). An experimental study of insider attacks for OSPF routing protocol. In *Proceedings 1997 International Conference on Network Protocols* (pp. 293-300). IEEE.

Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. (2000, January). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In *Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences* (pp. 10-pp). IEEE.

Rakheja, P., Kaur, P., Gupta, A., & Sharma, A. (2012). Performance analysis of RIP, OSPF, IGRP and EIGRP routing protocols in a network. *International Journal of Computer Applications*, 48(18), 6-11.

پانویس ها

[i] Internet of Things

[i] Wireless Sensor Networks

[i] Multi-Layer Perceptron

[i] Irrigation Unit

[v] Sensor Information Unit