# ساخت یک "گلدان هوشمند" با استفاده از فناوری اینترنت اشیا مبتنی بر ابر و شبیه‌سازی آن در ifogsim

زهرا دهقانی پور[1]*، سلمان گلی بیدگلی[2]
[1]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، ایران
zahradehghanipour@gmail.com
[2] هیئت علمی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، ایران
salmangoli@gmail.com

**چکیده**: امروزه استفاده از فناوری اینترنت اشیا به‌منظور ترغیب کاربران به انجام فعالیت‌های روزمره جایگاه ویژه‌ای یافته است. اینترنت اشیا، در حوزه‌های مختلف آموزشی، پزشکی، فرهنگی و شهری کاربرد دارد. از طرف دیگر، از اینترنت اشیا و قابلیت‌های آن به‌عنوان ابزاری در جهت توسعه کشاورزی می‌توان نام برد. بدین منظور در این مقاله، ضمن معرفی مختصر اینترنت اشیا، معماری یک گلدان هوشمند نیز معرفی می‌شوند. همچنین این سیستم در ifogsim شبیه‌سازی‌شده است و ضمن نمایش توپولوژی آن، مصرف انرژی در مقیاس بزرگ‌تر را بررسی می‌کنیم. طراحی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری این سیستم، ضمن فراهم آوردن امکان استفاده از قابلیت‌های اینترنت اشیا و ابرهای محاسباتی، می‌تواند به توسعه فرهنگ حفظ محیط‌زیست و آموزش‌های این حوزه کمک کند.

**کلیدواژه‌ها:** گلدان هوشمند، اینترنت اشیا، ابر محاسباتی، ifogsim

## ۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی، مردم تمایل بیشتری به استفاده از اینترنت پیداکرده‌اند. افراد کارهای روزمره خود مانند ورزش، لباسشویی، تماشای تلویزیون و غیره را با استفاده از اینترنت انجام می‌دهند. از سوی دیگر در صنعت کشاورزی نیز بسیاری از فن‌آوری‌ها در صنایع تکامل‌یافته به‌گونه‌ای که می‌توان بر اساس رنگ و نژاد گیاه، نظارت بهتری بر رشد گیاهان داشته و گیاهان با بهره‌وری بیشتری را پرورش داد[۱].

دنیای هوشمند به‌عنوان دورانی تصور می‌شود که در آن اشیا (به‌عنوان‌مثال ساعت‌ها، تلفن‌های همراه، رایانه‌ها، اتومبیل‌ها، اتوبوس‌ها و قطارها) می‌توانند به‌صورت خودکار و هوشمندانه به‌صورت مشترک در خدمت مردم باشند. زمینه‌سازی برای دنیای هوشمند، اینترنت اشیا همه‌چیز را در دنیای هوشمند به هم متصل می‌کند[۲].

از طرفی اینترنت اشیا بعد جدیدی در زمینه کشاورزی هوشمند و دامنه کشاورزی می‌دهد. با استفاده از محاسبات مه و شبکه مبتنی بر WiFi در اینترنت اشیا، می‌توان پایگاه‌های کشاورزی و کشاورزی مستقر در مناطق روستایی را به‌طور مؤثر متصل کرد[۳].

با گسترش زندگی آپارتمان‌نشینی تمایل افراد به نگهداری گل‌های آپارتمانی بیشتر شده است، از سوی دیگر زندگی شهری و مشغله‌های آن ممکن است آن‌ها را از رسیدگی به این گیاهان غافل کند ازاین‌رو درصدد برآمدیم تا با کمک فناوری اینترنت اشیا و ابر یک گلدان هوشمند طراحی کنیم که بتوان از راه دور و در صورت نیاز گیاهان را آبیاری کند.

ترکیب این دو مسئله در قالب اینترنت اشیا می‌تواند راهکار جدیدی برای جلب‌توجه انسان‌ها به مقوله محیط‌زیست و لزوم حفاظت از درختان و گیاهان و توسعه آن‌ها را ایجاد کند.

اینترنت اشیا سیستمی مجتمع از دستگاه‌های محاسباتی به‌هم‌پیوسته، ماشین‌های مکانیکی و دیجیتال، اشیاء و سنسورها است که با ایجاد شناسه‌های منحصربه‌فرد و امکان انتقال داده از طریق شبکه، بدون نیاز به دخالت انسان ارائه می‌شود.

چالش‌های مهم در حوزه کشاورزی در اینترنت اشیا، عدم تعیین دقیق میزان رطوبت خاک است که باعث پوسیدگی ریشه گیاه می‌شود. راه اساسی برای حل مشکلات فوق، توسعه آبیاری هوشمند با کمک سنسور است[۵] ,[۴]. بسته به نیاز بخش کشاورزی و به‌ویژه باغ‌های شهری، پیشنهادات زیادی با ساختار سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مختلف مطرح‌شده است که در آن

استفاده از فناوری‌های بی‌سیم و حسگرهای هوشمند برجسته می‌شود.

در بازار، تجهیزات و پلتفرم‌های تجاری متعددی وجود دارد که از فناوری اینترنت اشیاء استفاده‌شده در باغ‌های شهری استفاده می‌کند، مانند PlantLink که از یک سنسور و یک ایستگاه پایه تشکیل‌شده است که به روتر وصل می‌شود تا بتواند ذخیره و پردازش داده‌ها را در سمت سرور ابر انجام دهد[۶].

به‌طور مشابه، Bitponics "دستیار باغبانی شخصی" است که برای تسهیل باغبانی هیدروپونیک طراحی‌شده است به این صورت که سنسورهای موجود در باغ را به ابر متصل کرده و از راه دور بر آن نظارت می‌کند. Bitponics از شبکه‌ای از سنسورهای متصل استفاده می‌کند که در مخزن سیستم هیدروپونیک قرارگرفته‌اند و pH، دما و رطوبت را کنترل می‌کنند. داده‌ها به‌صورت بی‌سیم به ابر ارسال می‌شوند و توسط رایانه‌ها، تبلت ها و تلفن‌های هوشمند قابل‌مشاهده هستند[۷].

بر اساس مفهوم گلخانه شهری، یک GrowCube شامل یک سیستم هوایی پویا و مستقل طراحی‌شده است که این سیستم مواد مغذی را در فواصل منظم بر روی گیاهان اسپری می‌کند و از طریق برنامه‌های کاربردی موبایل و وب کنترل می‌شود[۸].

ازاین‌رو از مهم‌ترین دستاوردهای این مقاله می‌توان به طراحی و اجرا یک گلدان هوشمند مبتنی برابر و شبیه‌سازی آن در ifogsim اشاره کرد. در راستای کمک به محیط‌زیست، این گلدان هوشمند کاربر را ترغیب می‌کند تا گیاهان خود را از راه دور کنترل و آبیاری کند. در این گلدان هوشمند با کمک سنسور رطوبت مقدار دقیق رطوبت خاک مشخص‌شده و وضعیت آن به کاربر اعلام می‌گردد. همچنین لازم به ذکر است این گلدان به کاهش مصرف آب هم کمک خواهد کرد.

در ادامه مقاله در بخش ۲ به معرفی اینترنت اشیا پرداخته، سپس در بخش ۳ به معرفی سخت‌افزار و نرم‌افزار گلدان هوشمند می‌پردازیم. در بخش ۴ گلدان هوشمند را در ifogsim شبیه‌سازی کرده و توپولوژی آن را بررسی می‌کنیم و درنهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه می‌شوند.

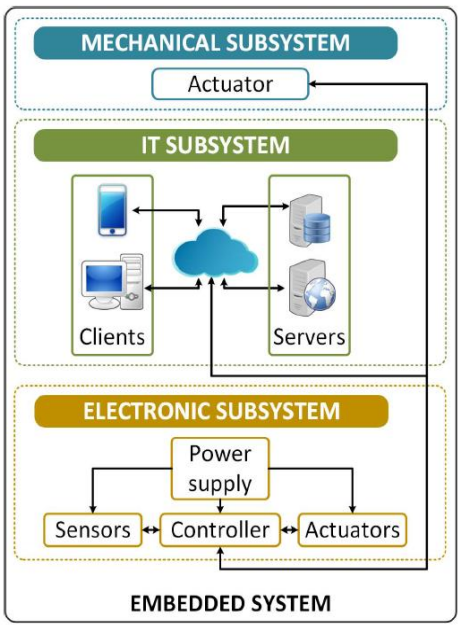
## ۲- اینترنت اشیا

اینترنت اشیا به‌طورکلی به شبکه‌ای از اشیا شامل وسایل محیط پیرامونمان که به شبکه اینترنت متصل شده و توسط اپلیکیشن‌های موجود در تلفن‌های هوشمند و تبلت اشاره دارد که قابل‌کنترل و مدیریت هستند. اینترنت اشیا به زبان ساده، ارتباط سنسورها و دستگاه‌ها با شبکه‌ای است که از طریق آن می‌توانند با یکدیگر و با کاربرانشان تعامل کنند. این مفهوم می‌تواند به‌سادگی ارتباط یک گوشی هوشمند با تلویزیون یا به پیچیدگی نظارت بر زیرساخت‌های شهری و ترافیک باشد[۹].

در اینترنت اشیا، هر لایه توسط توابع آن و دستگاه‌های مورداستفاده در آن لایه تعریف می‌شود. در مورد تعداد لایه‌ها در اینترنت اشیا نظرات مختلفی وجود دارد. بااین‌حال، بر اساس نظر بسیاری از محققان، اینترنت اشیا به‌طور عمده در سه لایه عمل می‌کند که تحت عنوان لایه‌های ادراک، شبکه و کاربرد نامیده می‌شوند[۱۰]. در ادامه در شکل ۱یک مدل لایه‌بندی مبتنی برابر [۱۱] را بررسی خواهیم کرد.

لایه اول "زیر سیستم مکانیکی" محرک‌ها قرار دارند که امکان ارتباط با هر دولایه دیگر را دارا هستند.

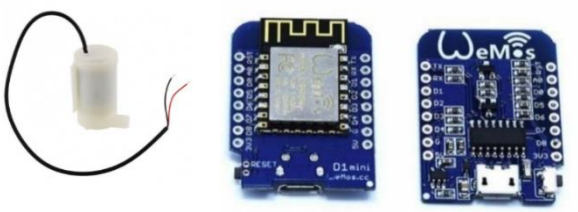
لایه دوم "زیرسیستم الکترونیکی" از مجموعه‌ای از سنسورها، برد کنترلی و محرک‌ها تشکیل‌شده است. سنسور می‌تواند کمیت‌هایی مانند فشار، حرارت، رطوبت، دما و ... را به کمیت‌های الکتریکی پیوسته (آنالوگ) یا غیر پیوسته (دیجیتال) تبدیل کند[۱۲].




شکل ۱ – مدل لایه‌بندی مبتنی بر ابر مناسب سیستم‌های تعبیه‌شده

برد کنترلی مجموعه‌ای از مدارهای الکتریکی بوده که انواع مختلف برد ازجمله آردوینو و رزبری پای وجود دارد [۱۳] که در این مقاله برای ساخت گلدان هوشمند همان‌طور که در شکل ۲ – الف مشاهده می‌شود از برد آردوینو مدل ویموس دی یک مینی

استفاده‌شده است. محرک یکی از اجزای دستگاه است که حرکت و کنترل مکانیسم یا سیستم را بر عهده دارد. محرک نیاز به سیگنال کنترل و منبع انرژی دارد. به‌عنوان‌مثال همان‌طور که در شکل ۲ - ب مشاهده می‌شود برای آب دادن به گیاه از موتور پمپ آب مینیاتوری برای پمپ کردن آب و آبیاری گیاه در موقع لزوم استفاده می‌شود.



شکل ۲– الف: برد آردوینو مدل ویموس دی یک مینی ب: موتور پمپ آب مینیاتوری

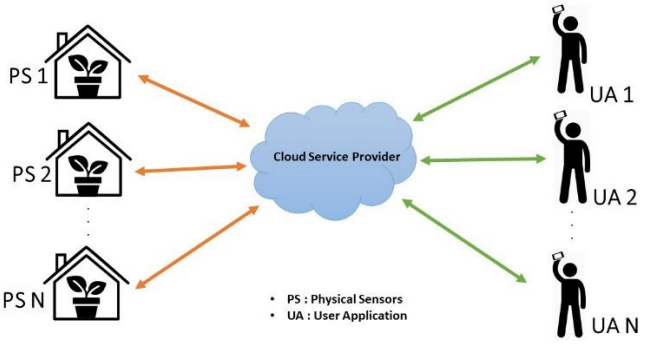
لایه سوم "زیرسیستم فناوری اطلاعات" اجازه می‌دهد تا سیستم از طریق مجموعه‌ای از ابزارها و پروتکل‌های ارتباطی با اینترنت ارتباط برقرار کند. علاوه بر این به کاربران امکان می‌دهد با استفاده از یک برنامه تلفن همراه یا وب وضعیت گیاه خود را متوجه شوند.

در حوزه مباحث فناوری اطلاعات سیستم‌های اطلاعاتی یک سازمان زمانی می‌توانند مؤثر و کارآمد باشند که باهم تعامل و ارتباط مناسبی داشته باشند. امروزه یکپارچه‌سازی یکی از جهت‌گیری‌های اصلی و از اهداف مهم مدیران فناوری اطلاعات سازمان‌ها است و به‌وفور در ادبیات سیستم و فناوری اطلاعات مورداستفاده قرار می‌گیرد. این جهت‌گیری، یکپارچه‌سازی را به نیازی غیرقابل‌تردید بدل کرده است. یکی از راه‌های برقراری ارتباط، استفاده از API ها است.

API یک رابط یا پروتکل ارتباطی بین قسمت‌های مختلف یک برنامه کامپیوتری است که برای ساده‌سازی اجرا و نگهداری نرم‌افزار در نظر گرفته‌شده است. API ممکن است برای یک سیستم مبتنی بر وب، سیستم‌عامل، سیستم پایگاه داده، سخت‌افزار رایانه یا کتابخانه نرم‌افزار باشد. مشخصات API می‌تواند اشکال مختلفی به خود بگیرد، اما اغلب شامل مشخصات مربوط به روال‌ها، ساختار داده‌ها، کلاس‌های شی، متغیرها یا تماس‌های از راه دور است. اخیراً، این اصطلاح غالباً برای اشاره به نوع خاصی از رابط بین مشتری و سرور استفاده‌شده است که به‌عنوان قرارداد بین هر دو توصیف‌شده است به‌گونه‌ای که اگر مشتری درخواست را با فرمت خاصی انجام دهد، آن را انجام می‌دهد. همیشه پاسخ را در یک قالب خاص دریافت می‌کند یا یک عمل تعریف‌شده را آغاز می‌کند. این‌یک شکل تخصصی از API است که گاهی اوقات به‌عنوان یک WEB API تعریف می‌شود[۱۴] .

## ۳- معرفی گلدان هوشمند

گلدان هوشمند یک برنامه کراس پلتفرم است (بدین معنا که از هر دستگاهی از قبیل موبایل، تبلت و کامپیوتر قابل‌اجراست). این برنامه طوری طراحی‌شده که طبق شکل ۳ کاربران با کمک آن می‌تواند مراقب گیاهان خانه خود از راه دور باشند. هدف این برنامه تشویق کاربران به نگهداری از گیاهان به‌منظور ارتقا سلامت روح و جسم است.



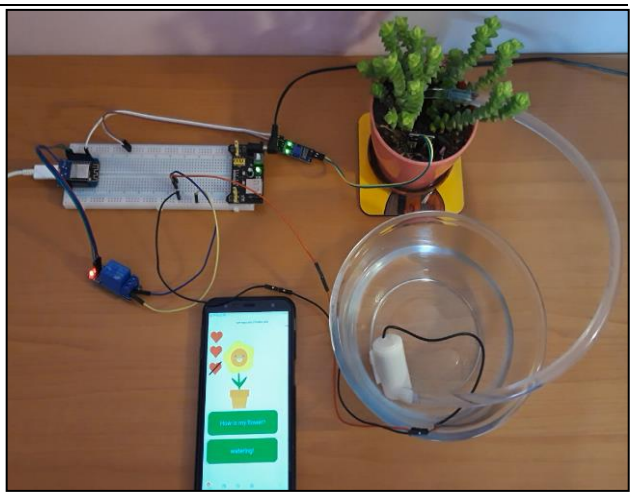

شکل ۳– معماری کلی گلدان هوشمند

این برنامه به دو قسمت اساسی سخت‌افزار و نرم‌افزار تقسیم می‌شود که در ادامه در بخش ۳-۱ به بررسی قطعات سخت‌افزاری و در بخش ۳-۲ به بررسی قسمت نرم‌افزاری کار می‌پردازیم.

### ۳-۱- سخت‌افزار

برای ساخت سخت‌افزار که در خانه کنار گلدان قرار می‌گیرد (همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده‌شده است) به‌صورت زیر عمل می‌کنیم، ابتدا با کمک یک سنسور رطوبت خاک (YL-۶۹)، رطوبت خاک را (که عددی بین ۰-۱۰۲۴ است) دریافت می‌کنیم.

سپس با کمک بِرد بُرد به بُرد آردوینو ویموس دی یک مینی که در شکل ۲ نشان داده‌شده است متصل می‌کنیم و با Arduino Studio و API های ابر Thinger این مقدار را از سنسور می‌خوانیم.



شکل ۴ –بخش سخت افزار گلدان هوشمند

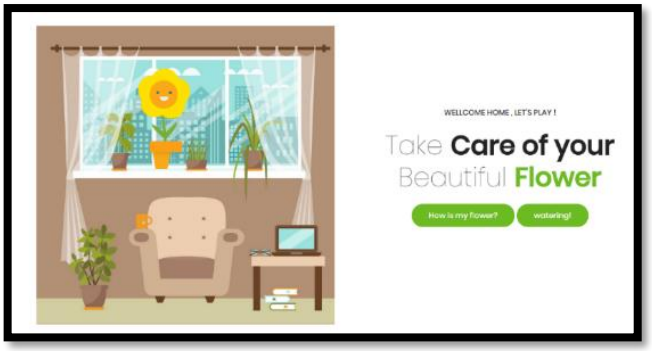
Thinger یک پلتفرم است که اجازه اتصال همه‌چیز را به اینترنت می‌دهد. یکی از مزایای این ابر دسترسی آسان به API های تعبیه‌شده است، بنابراین می‌توان اشیا را کدگذاری کرده و به‌راحتی از طریق وب تعامل کرد. علت انتخاب این ابر برای ساخت گلدان هوشمند هم همین امر بوده است[۱۵].

برای خواندن مقدار از سنسور رطوبت خاک با کمک متد GET در زبان PHP و API ابر Thinger[1] و با اطلاعاتی از قبیل مشخصات برد، نام کاربری استفاده‌شده در سایت Thinger و شیء مشخص‌شده از قبل (که در اینجا سنسور رطوبت خاک است) مقدار رطوبت را از برد Arduino که به اینترنت متصل است درخواست کنیم و بخوانیم.

برای آبیاری گیاه با کمک متد POST در زبان PHP و API ابر Thinger[2] یک مقدار True به برد Arduino که به اینترنت متصل است می‌فرستیم، برد هم یک سیگنال مثبت به یک رله ۵ ولت تک کانالِ می‌فرستد سپس پمپ آب مینیاتوری (که در شکل ۳ قابل‌مشاهده است و طبق شکل ۴ به رله متصل است) شروع به آبیاری گیاه می‌کند. نحوه‌ی اسمبل کردن این اشیا در آدرس گفته‌شده[3] قابل‌مشاهده است.

### ۲-۳- نرم‌افزار

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با کمک زبان‌های Html/Css/Php اقدام به طراحی یک سایت کردیم.



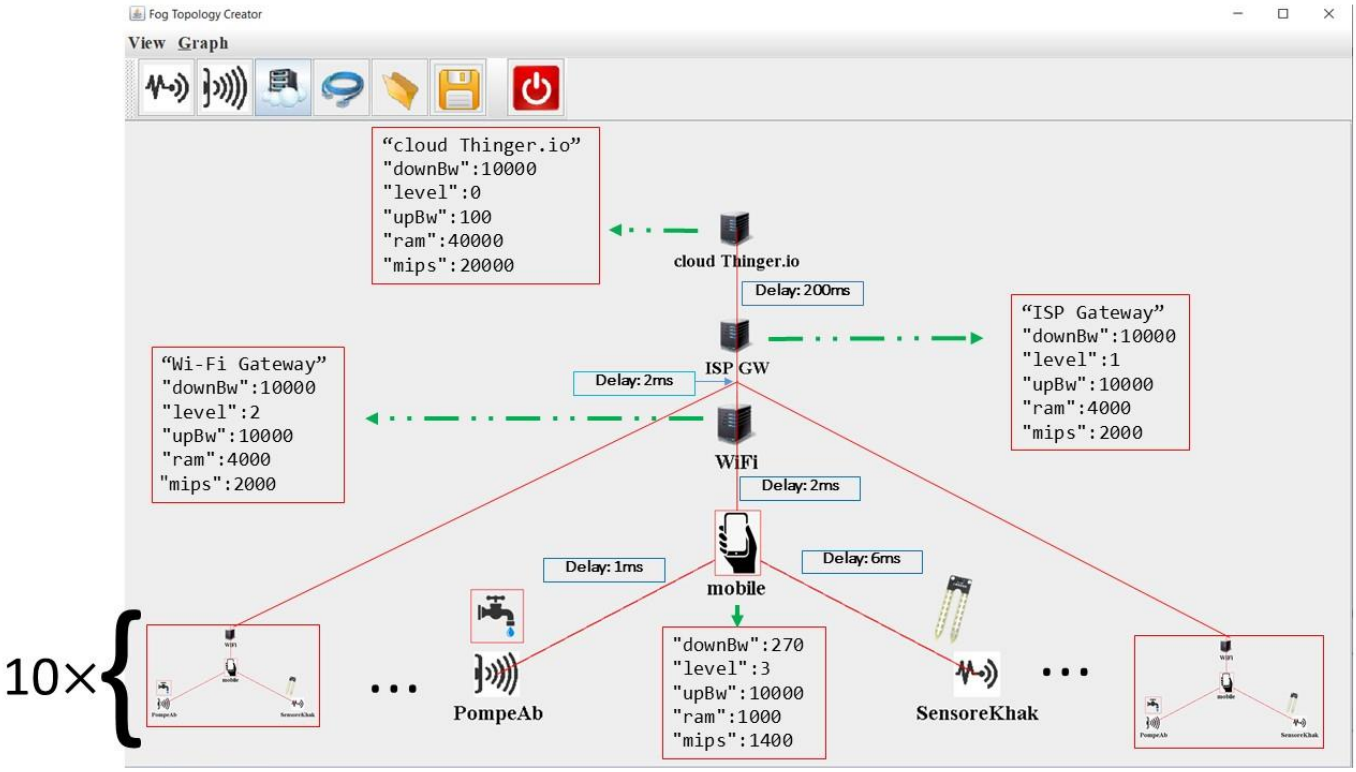

شکل ۵ – سایت گلدان هوشمند

این سایت ریسپانسیو طراحی‌شده به این جهت که طراحی کاربری مناسبی هم برای گوشی هم لپ‌تاپ و هم تبلت داشته باشد.
در این سایت دو گزینه اصلی قابل‌مشاهده است. گزینه " How is my flower?" یک درخواست به ابر می‌فرستد و میزان رطوبت خاک را دریافت می‌کند و به کاربر اعلام می‌کند. اگر این مقدار عددی بین ۰-۳۰۰ باشد، به این معناست که خاک گیاه بسیار خشک‌شده است و باعث می‌شود یکی از سه شانس زندگی از دست برود. اگر این مقدار عددی بین ۳۰۰-۶۰۰ باشد یعنی وقت آبیاری گیاه است و با زدن گزینه‌ی"Watering!" با کمک API ابر Thinger یک سیگنال مثبت به یک رله ۱۲ ولت تک کانالِ می‌فرستیم سپس این رله که به یک پمپ آب مینیاتوری مطابق شکل ۳ متصل است شروع به آبیاری گیاه می‌کند و اگر این مقدار عددی بین ۶۰۰-۱۰۲۴ باشد بدین معناست که وضعیت گیاه خوب است و نیاز به آبیاری ندارد.

### ۴- شبیه‌سازی گلدان هوشمند در IFOGSIM

iFogSim مجموعه‌ای برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی تکنیک‌های مدیریت منابع در اینترنت اشیا، لبه‌های شبکه و محاسباتFog است[۱۶] .برای اطمینان از الزامات QoS در چنین شبکه

[1] https://api.thinger.io/v2/users/zahradehghanipour/devices/Arduino/LDR
[2] https://api.thinger.io/v2/users/zahradehghanipour/devices/Arduino/relay
[3] https://drive.google.com/file/d/1xJHRvarejZejaGdXZukxv0_czP4mznmy/view?usp=sharing



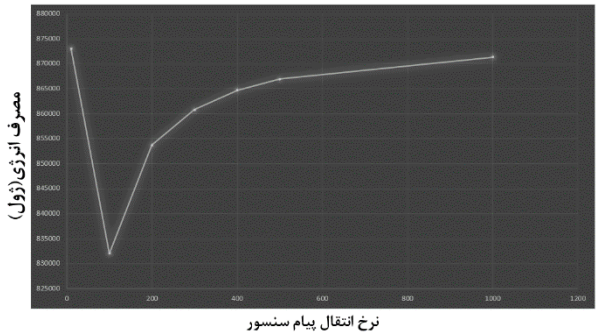

شکل ۶ - توپولوژی شبکه مبتنی بر ابر Thinger.io

های مسافت طولانی، از محاسبات مه استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی مکانیسم پیشنهادی محاسبات، ما از شبیه‌ساز iFogSim استفاده کرده‌ایم [۱۷].

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده‌شده است، این شبیه‌سازی از طریق توپولوژی شبکه مبتنی بر درخت انجام می‌شود. در این شبیه‌سازی تعداد ۱۰ عدد محرک و سنسور در نظر گرفته‌شده است؛ که با تأخیر ۶ و ۱ میلی‌ثانیه بسته‌های خود را به اپلیکیشن می‌فرستند، سپس بسته‌ها با تأخیر ۲ میلی‌ثانیه به wifi می‌رسند و با تأخیر ۲ میلی‌ثانیه به ISPGW و درنهایت با تأخیر ۲۰۰ میلی‌ثانیه به ابر Thinger می‌رسند.

اطلاعات بیشتر از قبیل Downbw، upbw، ram و mips در شکل ۵ قابل‌مشاهده است.

یکی از مسائل مهم در مباحث اینترنت اشیا مصرف انرژی است، ازاین‌رو با کمک این توپولوژی ما انرژی مصرفی این سیستم را بررسی کردیم و همان‌طور که در شکل ۷ قابل‌مشاهده است تقریباً مقدار ثابت ۸۷۵ کیلوژول انرژی در واحد زمان درازای هر تعداد پیام برای ۱۰ نود مصرف خواهد شد.




شکل ۷ – مقدار انرژی مصرفی به ازای ۱۰ گلدان هوشمند

## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک سیستم کنترل مبتنی بر اینترنت اشیا برای تشویق کاربران در نگهداری گیاهان آپارتمانی ارائه‌شده است. این

سیستم با کمک ابر Thinger.io کار می‌کند و کمک می‌کند کاربر از راه دور به مراقبت از گیاهان خویش بپردازد و در صورت لزوم آن را آبیاری کند.

اقتصاد یک کشور درحال‌توسعه عمدتاً به کشاورزی و مزارع مناطق روستایی بستگی دارد و استفاده از رویکردهای سنتی کافی نیست. استفاده از فن‌آوری‌های مدرن مانند اینترنت اشیا با هزینه کم و راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر بسیار مهم است لذا ایجاد چنین سیستم‌های در مقیاس بزرگ‌تر برای کشاورزی و گلخانه‌ها بسیار کارآمد خواهد بود.

برای کاهش ازدحام در شبکه‌های مقیاس بزرگ، همراه با راه‌حل مسیریابی و محاسبات مه، می‌توان از فناوری‌هایی مانند IEEE ۸۰۲.۱۱n / ac / ah با ظرفیت داده فیزیکی بیشتر استفاده کرد. علاوه بر این، پیکربندی مبتنی بر تخصیص پهنای باند پویا می‌تواند کمک شایانی به این پروژه بکند. اگر نتوانیم مسافت طولانی شبکه بی‌سیم را ایمن کنیم، احتمال حملاتی مانند دست‌کاری اطلاعات زیاد است. از این‌سو امنیت پیاده‌سازی در مقیاس بزرگ‌تر نیاز به‌دقت ویژه‌ای دارد.

## مراجع

[1] A. Sulaiman, M. Dan, S. Alam, and A. S. Garden, “An IoT-based Smart Garden with Weather Station,” *2019 IEEE 9th Symp. Comput. Appl. Ind. Electron.*, pp. 38–43, 2019.

[2] C. Zhu, V. C. M. Leung, L. Shu, and E. C. H. Ngai, “Green Internet of Things for Smart World,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2151–2162, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2497312.

[3] N. Ahmed, D. De, and I. Hussain, “Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 6, pp. 4890–4899, 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2879579.

[4] M. A. Siddique, “Building Automation ( IoT ) by WSN,” vol. 6, no. January, pp. 15–26, 2015.

[5] X. J. Duan, “Research on IOT-based smart garden project,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 608–609, pp. 321–325, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.608-609.321.

[6] “PlantLink.” https://www.plantlink.se (accessed Feb. 28, 2021).

[7] “angel.” https://angel.co/ (accessed Feb. 28, 2021).

[8] “Gardenculture.” https://gardenculturemagazine.com (accessed Feb. 28, 2021).

[9] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.

[10] R. Mahmoud, T. Yousuf, F. Aloul, and I. Zualkernan, “Internet of things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures,” *2015 10th Int. Conf. Internet Technol. Secur. Trans. ICITST 2015*, pp. 336–341, 2016, doi: 10.1109/ICITST.2015.7412116.

[11] G. Carrión, M. Huerta, and B. Barzallo, “Internet of Things (IoT) Applied to an Urban Garden,” *Proc. - 2018 IEEE 6th Int. Conf. Futur. Internet Things Cloud, FiCloud 2018*, pp. 155–161, 2018, doi: 10.1109/FiCloud.2018.00030.

[12] Q. Zhu, R. Wang, Q. Chen, Y. Liu, and W. Qin, “IOT gateway: Bridging wireless sensor networks into Internet of Things,” *Proc. - IEEE/IFIP Int. Conf. Embed. Ubiquitous Comput. EUC 2010*, pp. 347–352, 2010, doi: 10.1109/EUC.2010.58.

[13] J. A. Rossiter, “Raspberry Pi and Arduino boards in control education,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 10, no. PART 1, pp. 132–137, 2013, doi: 10.3182/20130828-3-UK-2039.00003.

[14] J. K. Juntunen, M. Kuorilehto, M. Kohvakka, V. A. Kaseva, M. Hännikäinen, and T. D. Hämäläinen, “WSN API: Application programming interface for wireless sensor networks,” *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, 2006, doi: 10.1109/PIMRC.2006.254073.

[15] N. Sanchez-Pi, L. Martí, Á. L. Bustamante, and J. M. Molina, “How machine learning could detect anomalies on thinger.io platform?,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 887, pp. 259–269, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-94779-2_23.

[16] H. Gupta, A. Vahid Dastjerdi, S. K. Ghosh, and R. Buyya, “iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments,” *Softw. - Pract. Exp.*, vol. 47, no. 9, pp. 1275–1296, 2017, doi: 10.1002/spe.2509.

[17] R. Mahmud and R. Buyya, “Modelling and simulation of fog and edge computing environments using iFogSim toolkit,” *arXiv*, pp. 1–35, 2018, doi: 10.1002/9781119525080.ch17.