

بهینه‌سازی مصرف انرژی اینترنت اشیاء با استفاده از سیستم فازی در ساختمان های هوشمند

زهرا ترتیبیان^{۱*}، مجید حق پرست^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی تهران دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر واحد یادگار امام خمینی (ره) شهری

۲- دانشگاه آزاد اسلامی تهران دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر واحد یادگار امام خمینی (ره) شهری

*z.tartibian@gmail.com

ارسال: دی ماه ۱۴۰۰ پذیرش: بهمن ماه ۱۴۰۰

چکیده

اینترنت اشیا یک شبکه جهانی است که امکان وجود مجازی اشیاء فیزیکی را در زندگی ما فراهم می کند. اینترنت اشیا بر اساس ایده نصب دستگاه های تعبیه شده در اشیاء روزمره است. پیشرفت های مستمر در سیستم های اینترنت اشیا منجر به ایجاد پروتکل های جدید شده است که به طور خاص بر پایه شبکه های حسگر بی سیم طراحی شده اند. بدلیل محدودیت باتری در گره های اینترنت اشیا، صرفه جویی در مصرف انرژی اولویت اصلی بوده و موجب افزایش طول عمر و کارایی این شبکه هاست. در این تحقیق، یک مدل انتقال داده برای مسیریابی داده ها در میان گره های اینترنت اشیا در ساختمان هوشمند پیشنهاد می شود. روش پیشنهادی بر اساس خوشه بندی اشیاء هوشمند و سیستم فازی بوده، هدف آن بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا می باشد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی موجب بهبود مصرف انرژی و کمینه شدن آن در هنگام استفاده از آنها و در طول چرخه انتقال اطلاعات در یک ساختمان هوشمند می شود.

کلمات کلیدی: اینترنت اشیاء، بهینه سازی مصرف انرژی، ساختمان هوشمند، سیستم فازی.

۱- مقدمه

اینترنت اشیا^۱ یک شبکه گسترده از اشیاء فیزیکی همانند دستگاه ها، ماشین ها، ساختمان ها و سایر وسایل دیگر است که درون آن ها حسگرها، اتصالات شبکه، نرم افزار به صورت یک سامانه کوچک تعبیه شده است [۱]. این سامانه های تعبیه شده^۲ در اشیاء فیزیکی باعث جمع آوری داده ها از محیط پیرامون و همچنین تبادل آنها با یکدیگر می شود. اینترنت اشیا باعث یکپارچه شدن دنیای فیزیکی بر پایه سامانه های کامپیوتری می شود و در نتیجه باعث افزایش کارایی، دقت و همچنین بهبود اقتصادی می شود. حسگرها و فعال کننده ها در اینترنت اشیا به صورت کلی تر و با نام سیستم های سایبر- فیزیکی شناخته می شوند [۲]. می توان عنوان کرد که در این نوع سیستم ها انواع خانه های هوشمند، نقل و انتقالات و شهرهای هوشمند وجود دارد [۳]. اینترنت اشیا شامل قسمت های مختلف همانند سنسورها، نرم افزار و سخت افزار ارتباطی بین آنها از طریق فرکانس رادیویی است [۴]. اگر مجموعه این قسمت ها به عنوان یک سیستم تعبیه شده در نظر گرفته شود، هر کدام از این سیستم ها از طریق شبکه های سیمی و بی سیم باهم ارتباط برقرار می کنند.

¹ Internet of things (IoT)

² Embedded systems

برقراری ارتباط میان اشیاء در دنیای فیزیکی باعث آگاهی بلادرنگ از دنیای واقعی و پاسخ‌دهی به رویدادهای اضطراری با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده می‌شود [۵].

پیشرفت روزافزون ساختمان‌های هوشمند و همچنین سرعت نوآوری در این زمینه، تحقیقات متعددی را برای پیاده‌سازی انواع برنامه‌های کاربردی به همراه داشته است [۶]. مانند مدیریت انرژی، ساده‌سازی مدیریت ساختمان، بهبود آسایش ساکنین، مدیریت هشدار واکنشی، امنیت شخصی، حفاظت از دارایی‌ها، مدیریت رویدادهای مزاحم و غیره. برای مثال، چارچوب‌های ساختمان‌های هوشمند اشیای آینده، با کنترل هوشمندانه گرمایش و تهویه مطبوع زندگی انسانها را متحول می‌کند و چنین ساختمانی می‌تواند به سرعت به مسائل احتمالی واکنش نشان دهد [۷]. یکی از اهداف مهم خانه‌های هوشمند، برقراری کنترل بیشتر و امنیت هوشمند در یک خانه یا حتی یک ساختمان بزرگ است. در واقع با استفاده از فناوری اینترنت اشیاء و برنامه‌های کاربردی وب‌محور و یا موبایل‌محور مبتنی بر این فناوری، می‌توان دستگاه‌ها و وسایل موجود در یک خانه هوشمند را در قالب اشیاء تحت نظارت و کنترل بیشتر خود درآورد [۸].

به طور کلی، یک گره اینترنت اشیاء دارای منابع محدودی مانند قابلیت پردازش و انرژی عرضه شده است [۹]. اگر یک گره اینترنت اشیاء نیاز به استفاده در محیطی بدون اتصال مستقیم برق داشته باشد، برای عملکرد خود به باتری نیاز دارد. برای پرداختن به این موضوع، تحقیقات زیادی در مورد چگونگی کاهش مصرف باتری در شبکه‌های حسگرهای بی‌سیم^۱ به عنوان یک فناوری سنجش با محدودیت‌های باتری انجام شده است، و چندین الگوریتم و روش برای افزایش کارآمد استفاده از باتری توسعه داده شده است. WSN ممکن است به عنوان بخشی از فناوری اینترنت اشیاء برای توسعه پلتفرم‌های مختلف اینترنت اشیاء استفاده شود. توسعه الگوریتم‌های مسیریابی مختلف مانند مسیریابی فرصت‌طلب [۱۰] و الگوریتم‌های حریم‌ناهی [۱۱] می‌تواند مصرف انرژی را در شبکه‌های حسگر بهبود بخشد. علاوه بر توسعه پروتکل‌های مسیریابی، تکنیک‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر رویکرد دیگری برای کمک به کاهش مصرف انرژی حسگر برای افزایش طول عمر شبکه است [۱۲].

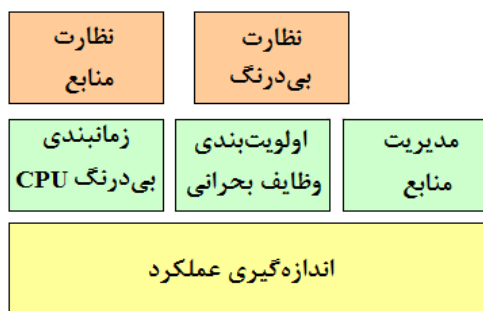
یکی از روش‌های کارا برای کاهش مصرف انرژی در مرحله انتقال اطلاعات در اینترنت اشیاء، روش خوشه‌بندی اشیاء است. در خوشه‌بندی هر خوشه دارای یک گره به نام سر خوشه است که مسئول هماهنگی عملیات شبکه و جمع‌آوری داده‌ها از گره‌های حسگر است. سرخوشه همچنین بسته‌های داده اضافی و ناخواسته را حذف می‌کند که منجر به کاهش سربار و تداخل می‌شود. همچنین با به حداقل رساندن اندازه مسیریابی و تعداد گره‌ها، پیچیدگی مسیریابی را کاهش می‌دهد. و مکانیسم خوشه‌بندی پایداری و مقیاس‌پذیری شبکه‌های حسگر را افزایش می‌دهد. مزیت دیگر مکانیسم خوشه‌بندی، متعادل کردن بار است که وظایف شبکه را با گره‌های عضو با توجه به انرژی و حافظه باتری به اشتراک می‌گذارد [۱۳].

مهم‌ترین مساله در این تحقیق، بهبود میزان مصرف انرژی در چرخه انتقال داده‌ها می‌باشد. اکثر وظایف ارتباطی و محاسباتی باید در مدت زمان محدودی به اتمام برسند تا از عواقب نامطلوب پیشگیری شود، چرا که کاربردهای اینترنت اشیاء بسیار حساس به زمان و حیاتی هستند. بنابراین یکی از مسائل مهم و چالش‌برانگیز تحقیقاتی این است که پشتیبانی بی‌درنگ در شبکه‌های اینترنت اشیاء با مقیاس بزرگ تضمین شود. به این ترتیب، مرکز ارتباطات ممکن است به طور موثری نظارت کارآمد بر مامورین را بهبود دهد. سرویس‌های ابری می‌توانند برای کاربران لایه‌ی بالایی، برنامه‌های کاربردی از قبیل شبکه اجتماعی را برای نظارت بر ماموران، تحلیل داده‌های محیطی و تحلیل شبکه و غیره فراهم کنند. محاسبات ابری نقش مهمی را در ارائه‌ی محاسبات با کارایی بالا و پشتیبانی از انواع مختلف بسترهای سیستم عامل ایفا می‌کند.

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، در بالاترین لایه، به طور عمده دو ماژول وجود دارد: ماژول نظارت بی‌درنگ و ماژول نظارت منابع. در لایه میانی، روش‌های اولویت‌بندی برای رسیدگی به پاسخ‌های اورژانسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پایین‌ترین لایه، اندازه‌گیری عملکرد می‌تواند در داخل سرور یا سرویس‌گیرنده‌ی ابری بر اساس داده‌های بی‌درنگ جمع‌آوری شده

¹ Wireless sensor network

توسط حسگر انجام شود. برخی از وظایف شامل ایجاد ماشین‌های مجازی، مدیریت منابع مجازی، بهبود زمان محاسباتی، کاهش زمان انتقال و برآورده نمودن نیازهای کیفیت سرویس هستند.



شکل ۱- لایه بندی محیط

با ظهور روش ابر محور جدید، مرکز داده به شبکه‌های مجازی شده‌ی سرور تبدیل شده است که توسط مجازی‌سازی با کمک سخت‌افزار پشتیبانی می‌شوند. بنابراین نیاز فزاینده‌ای به الگوریتم جدیدی برای مدیریت منابع و زمان‌بندی بی‌درنگ وجود دارد تا تقاضاهای در حال افزایش کاربران را برآورده نماید.

با توجه به اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در سازمان‌ها و ساختمان‌های هوشمند [۱۴] در این تحقیق، یک مدل انتقال داده برای مسیریابی داده‌ها در میان گره‌های اینترنت اشیا در ساختمان هوشمند پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی براساس خوشه بندی اشیای هوشمند و سیستم فازی عمل می‌کند. هدف روش پیشنهادی بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا می‌باشد.

در ادامه در بخش ۲ تحقیق‌های پیشین در مورد کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا مرور می‌شود؛ در بخش ۳ روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از منطق فازی و خوشه بندی شرح داده می‌شود؛ در بخش ۴ روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در بخش ۵ جمع بندی و پیشنهاد کارهای آتی ذکر می‌شود.

۲- مرور کارهای پیشین

برای کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر گره بی‌سیم در اینترنت اشیا، الگوریتم‌ها و مدل‌های مختلفی مانند مسیریابی حریمانه، مسیریابی فرصت‌طلب، روش‌های انتقال داده و خوشه‌بندی توسعه داده شده‌اند. این بخش برخی از استراتژی‌های خوشه بندی در شبکه‌های بی‌سیم را مورد بحث قرار می‌دهد و کارایی انرژی را تحلیل می‌کند.

در [۱۵] لایه‌های پروتکل Z-Wave را تجزیه و تحلیل کرده و یک دستگاه ضبط بسته‌های رادیویی و نرم‌افزار مربوط به آن به نام Z-Force را طراحی می‌کنند، تا پیام‌های Z-Wave را از بین ببرند. این دستگاه ما را قادر می‌سازد تا لایه‌های مختلفی از پروتکل Z-Wave را رمزگشایی کرده و اجرای رمزنگاری و ارجاع داده را بررسی کنیم. در این طرح می‌توان از راه دور برای باز کردن قفل درب‌ها بدون اطلاع از کلیدهای رمزگذاری استفاده کرد. همچنین در این مقاله رمزنگاری سمت سرور ابری انجام می‌گیرد که عملاً بار کاری سرویس‌دهنده را افزایش می‌دهد، اطلاعات بصورت یکپارچه روی یک رسانه ذخیره‌سازی خانه هوشمند، ذخیره می‌شوند که در صورت مورد حمله قرار گرفتن سرور ابری، کل اطلاعات فاش خواهند شد. در صورتی که در روش پیشنهادی اطلاعات به بخش‌های کوچکتری شکسته شده و روی چندین رسانه توزیع می‌شوند. بدین شکل ریسک از بین رفتن اطلاعات کاهش می‌یابد و با مورد حمله قرار گرفتن یک سرور، کل اطلاعات فاش نخواهد شد. همچنین برای واکنشی اطلاعات نیز چون اطلاعات همزمان از چندین سرور واکنشی می‌شوند سرعت نیز بالا می‌رود. رمزنگاری مبتنی بر ویژگی در سرورهای ابری در خانه هوشمند صورت گرفته است. در رمزنگاری مبتنی بر ویژگی کل اطلاعات رمز نمی‌شوند و فقط ویژگی که از اطلاعات استخراج شده است رمزنگاری

می‌گردد. چون رمزنگاری سمت سرور صورت می‌گیرد، در حین انتقال اطلاعات در بستر شبکه از سیستم سرویس گیرنده به سرور ذخیره‌سازی امنیت اطلاعات به خطر می‌افتد و اخلاص گران می‌تواند با استراق سمع به اطلاعات کاربر دسترسی پیدا کند. در [۱۶] یک مدل مفهومی برای شبکه هوشمند با استفاده از اینترنت اشیا ارائه شده است. برنامه‌ها و دستگاه‌ها به عنوان اشیا در نظر گرفته شده‌اند. هر شی یک آدرس IP مشخص مبتنی بر پروتکل ارتباطی 6LoWPAN دارد. مزیت اینکار، استفاده از پروتکل‌های ارتباطی سریعتر نسبت به پروتکل‌هایی مانند Zigbee، بلوتوث، وای‌فای، وای‌مکس، LTE و PLC است. کار صورت گرفته در این مقاله یک مدل مفهومی است که در حال پیشرفت است و نویسندگان این مقاله آن را در منطقه مسکونی اجرایی کرده‌اند. در شبکه‌های بی‌سیم، طرح‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه راه‌حل مؤثری برای افزایش عملکرد شبکه ارائه می‌کنند که معمولاً گره‌های حسگر را به گروه‌های مختلف تقسیم می‌کند [۱۷].

هاینزلن و همکاران [۱۸] پروتکل سلسله‌مراتب خوشه‌بندی تطبیقی کم انرژی لیچ^۱ را ارائه کرد که در آن سر خوشه‌ها به‌طور تصادفی در هر دور چرخش می‌گردند تا از مصرف انرژی یکنواخت اطمینان حاصل شود. با این حال، سر خوشه‌ها مستقیماً با ایستگاه مبدا ارتباط برقرار می‌کردند که برای انتقال داده‌ها به باتری بیشتری نیاز داشت.

یک لیچ چندگام^۲ تقویت شده در [۱۹] ارائه شد که در آن سر خوشه‌ها بر اساس انرژی باقیمانده انتخاب شدند و ارتباطات بین خوشه‌ها از سطح پایین تر سر خوشه به بالاتر انجام شد. با این حال، شکست ارتباطی به دلیل توزیع غیر یکنواخت سر خوشه‌ها رخ داد. انتخاب سر خوشه دوگانه در [۲۰] ارائه شد، به نام DL-LEACH که هدف آن افزایش طول عمر شبکه با کاهش بار سر خوشه بود. با این حال، چرخش تصادفی سر خوشه‌ها ممکن است باعث توزیع غیر یکنواخت سر خوشه‌ها شود.

در [۲۱]، یک روش تشکیل خوشه ثابت شامل دو سر خوشه برای تجمیع داده‌ها و انتقال داده‌ها معرفی شد و همچنین، سر خوشه‌ها در داخل خوشه چرخانده شدند تا از مصرف انرژی ثابت اطمینان حاصل شود. روش انتخاب دو سر خوشه در [۲۲] نیز مصرف انرژی را بین دو سر خوشه در انتقال داده تقسیم می‌کند. این امر باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه و کاهش تعداد گره‌های مرده در سراسر انتقال داده آن می‌شود.

انتخاب احتمالی سر خوشه با انرژی باقیمانده گره حسگر در [۲۳] برای افزایش بهره‌وری انرژی شبکه‌ها و جلوگیری از شکست اولیه شبکه مورد بحث قرار گرفت. یونس و همکاران [۲۴] پروتکل خوشه‌بندی هیبریدی کارآمد توزیع شده انرژی (HEED) را مورد بحث قرار داد که در آن یک استراتژی مشترک بر اساس هزینه ارتباطی و انرژی باقیمانده برای انتخاب سر خوشه‌ها استفاده شد. با این حال، فرآیند خوشه‌بندی با انتخاب تصادفی تعداد ثابتی از تکرارها خاتمه یافت که منجر به تعداد ناکافی سر خوشه برای کل ناحیه حس‌گر می‌شد، در نتیجه برخی از گره‌های حسگر ممکن است از پوشش سر خوشه خارج شوند و به‌طور خود به‌خود زندگی کنند که به عنوان گره‌های ایزوله نامیده می‌شوند. این گره‌ها به‌طور مداوم سر خوشه‌ها را جستجو می‌کنند یا مستقیماً با ایستگاه پایه ارتباط برقرار می‌کنند که باعث مصرف انرژی بالا می‌شود. به دلیل مسئولیت اضافی آنها برای انتقال داده‌ها به ایستگاه پایه زمانی که سر خوشه‌ها به ایستگاه پایه نزدیک هستند، سر خوشه‌ها انرژی باتری خود را سریعتر از سایر گره‌ها تخلیه می‌کنند [۲۵]. ملائی و همکاران [۲۶] یک خوشه بندی نابرابر را برای کاهش مشکل هات اسپات پیشنهاد کرد و یک بار ترافیک متعادل در میان گره‌های حسگر ارائه داد. مسیریابی مبتنی بر خوشه با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام کرم درخشان در [۲۷] معرفی شد، که در آن اندازه خوشه و انتخاب گره مسیریابی پرش بعدی عمدتاً بر اساس اتلاف انرژی و انرژی باقی‌مانده بود و در نتیجه اتلاف انرژی یکنواخت را تضمین می‌کرد.

در [۲۸] یک تابع انتخاب ارسال گره بعدی برای متعادل کردن ارسال داده به سمت ایستگاه پایه توسعه داده شده است. عوامل متعددی مانند انرژی باقیمانده گره و موقعیت جغرافیایی ملاحظاتی هستند که برای ارسال موثر داده‌ها به گره بعدی در این روش در نظر

¹ LEACH

² Multi hop-LEACH

گرفته شد. تکنیک پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های مسیریابی مانند الگوریتم دکسترا مقایسه شده است و می‌تواند طول عمر شبکه را بهبود بخشد.

انتخاب تصادفی سرخوشه در میان سایر گره‌های کاندید ممکن است گره‌ای با منبع تغذیه کم انتخاب کند و بار کاری اضافی را به آن اضافه کند. به عنوان بهبود این رویکرد، عوامل دیگری در فرآیند انتخاب سرخوشه مانند سطح توان، انرژی موجود و موقعیت جغرافیایی آن در نظر گرفته شده است. انتخاب سرخوشه‌ای که سطح انرژی باقیمانده آن را در میان گره‌های کاندید در نظر می‌گیرد در [۲۹] مورد مطالعه قرار گرفته است. این روش طول عمر شبکه را افزایش داده و طول عمر گره را با در نظر گرفتن سطح انرژی موجود آن به عنوان عاملی در فرآیند انتخاب سرخوشه بهبود می‌بخشد.

به منظور رسیدگی به مسئله عدم قطعیت، از سیستم استنتاج فازی^۱ (FIS) برای استنتاج تصمیم با اطلاعات جزئی استفاده می‌شود، زیرا منطق فازی درجه‌ای از مقادیر حقیقی را به ارمغان می‌آورد [۳۰]. در [۳۱]، نویسندگان از یک منطق فازی برای انتخاب سرخوشه بر اساس فاصله، درجه گره و انرژی باقیمانده استفاده کردند. با این حال، تعداد بهینه سرخوشه برای پوشش کل منطقه حسگر تضمین نشد.

گجار و همکاران [۳۲] یک خوشه‌بندی نابرابر آگاه از انرژی و ارتباطات بین خوشه‌ای مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها به نام FAMACROW ارائه کردند که از یک استراتژی مشترک شامل انرژی باقیمانده، تعداد گره‌های همسایه، کیفیت پیوند برای انتخاب سرخوشه استفاده می‌کرد. با این حال، تعداد زیادی از بسته‌های کنترلی در طول تشکیل خوشه و مسیریابی بین خوشه‌ای رد و بدل می‌شوند. توزیع غیر یکنواخت سرخوشه‌ها باعث تشکیل خوشه‌های همپوشانی می‌شود که با مشکل تداخل و برخورد ناشی از انتقال همزمان داده‌ها در طول ارتباطات درون خوشه‌ای مواجه می‌شود [۳۳].

انتخاب سرخوشه توزیع شده مبتنی بر زمان انتظار در [۳۴] مورد بحث قرار گرفت تا با اطمینان از در دسترس بودن پیوند برای همه گره‌های حسگر مستقر شده، فاصله دو پرش بین سرخوشه‌ها تضمین شود. یک قانون ثابت با تشکیل خوشه مبتنی بر پارامتر تک، و مسیریابی برای تشکیل توپولوژی شبکه به طور موثر کافی نبود زیرا به پارامترهای متعدد بستگی دارد [۳۵]. از متون، بدیهی است که سیستم منطق فازی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف مانند انرژی باقیمانده، چگالی گره، اتصال و حافظه و غیره، برای انتخاب سرخوشه‌های مناسب، به طور موثر تصادفی بودن داده‌ها را کنترل می‌کند. در [۳۶]، ایستگاه پایه^۲ منطق استنتاج فازی را به اطلاعات جمع‌آوری شده در سطح جهانی از میدان سنجش برای تولید راه حل‌های بهینه اعمال کرد.

۳- روش پیشنهادی

ابتدا به صورت دقیق ویژگی‌هایی از مدل سیستم که در پیاده‌سازی استفاده می‌شود معرفی می‌شود. برای پروتکل پیشنهادی فرض می‌کنیم که یک شبکه بزرگ با تراکم بالا و پایگاه داده غالباً ایستا در اختیار داریم. همه اشیا در شبکه متجانس هستند و خصوصیات فیزیکی یکسان، ظرفیت انرژی یکسان و برد انتقال یکسانی در زمان استقرار یافتن در شبکه دارند. هر شی در شبکه از مکان جغرافیایی خود و پایگاه اصلی آگاه است. عملیات با استفاده از رویکرد منطق فازی انجام می‌شود. در این تحقیق یک روش در شبکه اینترنت اشیا بر اساس منطق فازی ارائه شده است که شامل سه فاز اصلی است.

فاز اول: در این مرحله اطلاعات سنسورهای شبکه اینترنت اشیا در خوشه‌ها گروه‌بندی می‌شوند و برای هر خوشه یک سرخوشه انتخاب می‌شود. هر سرخوشه در ابتدا فاصله بین خود را با اطلاعات اشیا بر اساس تعویض توپولوژی بسته‌ها تخمین می‌زند. فاز دوم: در این مرحله سرخوشه‌ها داده‌های مربوط به اعضای خود را جمع‌آوری می‌کنند. و طی آن انرژی مربوط به هر داده محاسبه می‌شود. سپس سرخوشه سطح انرژی را بر اساس تخمین میزان صحت آنها تعیین می‌کند.

¹ Fuzzy Inference System

² Base station

فاز سوم: در این مرحله بر اساس منطق فازی بهترین اطلاعات برای عمل تجمیع انتخاب می‌شوند. سطح اعتماد، میزان فاصله و انرژی هر شی به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند و بر اساس آنها قوانین فازی شکل می‌گیرند. بعد از بکارگیری قوانین فازی خروجی تحت عناوین بهترین شی یا شی عادی و یا بدترین شی مشخص می‌شوند. لازم به ذکر است که سرخوشه سعی در یافتن بهترین شی و شی عادی خواهند بود و تا حد امکان از انتخاب بدترین شی خودداری کند. در نهایت بعد از تجمیع داده‌ها از تمامی سرخوشه‌ها، داده‌ها به منابع ارسال می‌شوند.

برای محاسبه انرژی مصرفی تبادل اطلاعات در روش‌های مورد ارزیابی از رابطه‌های (۱) و (۲) استفاده می‌گردد [۱۶].

$$E_{Tx} = E_{elec} + E_{fs}d^2 \quad (1)$$

$$E_{Rx} = lE_{elec} \quad (2)$$

که در آن مقدار E_{Tx} انرژی مصرفی برای ارسال اطلاعات و مقدار E_{Rx} انرژی مصرفی برای دریافت اطلاعات می‌باشد. مقدار d بیانگر فاصله بین گره‌ها و متغیر l اندازه بسته‌ی ارسالی است و E_{elec} و E_{fs} نیز دارای مقادیر ثابتی هستند. در روش پیشنهادی از منطق فازی برای تعیین گره واسط مناسب برای انتقال داده توسط سرخوشه‌ها به مرکز استفاده می‌گردد. مراحل روش پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد، که تا به پایان رسیدن انرژی همه‌ی گره‌های شبکه به صورت حلقه‌وار تکرار می‌گردد.

۳-۱- تعیین سرخوشه

برای تعیین سرخوشه، هر گره در ابتدا به صورت تصادفی عددی را در بازه ۰ تا ۱ تولید می‌نماید. اگر عدد تولید شده کمتر از حد آستانه T بود آن گره به عنوان گره کاندیدا خود را به گره‌های همسایه خود به شعاع R معرفی می‌نماید. شعاع R با منطق فازی تعیین می‌گردد. هر گره کاندیدا در شرایطی پیامی را از گره کاندیدای دیگر دریافت می‌کند که انرژی آن بیشتر از خود گره باشد. گره مذکور از سرخوشه شدن انصراف می‌دهد. در پایان گره‌هایی که انصراف نداده‌اند به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند.

۳-۲- خوشه‌بندی

در این مرحله هر گره به خوشه نزدیکترین سرخوشه به خود الحاق شده و داده‌های خود را به آن سرخوشه می‌فرستد.

۳-۳- انتخاب گره واسط برای ارسال داده سرخوشه‌ها با منطق فازی

برای اینکه انرژی شبکه سریع‌تر کاهش نیابد، هر سرخوشه می‌تواند داده‌های خود را به گره دیگری با کمترین اتلاف انرژی در شبکه ارسال نماید و آن گره داده‌ها را تا مرکز ارسال کند. در روش پیشنهادی انتخاب گره واسط از میان همه‌ی گره‌های زنده در شبکه که دارای شرایط ایده‌آل هستند، با در نظر گرفتن دو معیار انرژی و اختلاف فاصله توسط منطق فازی صورت می‌گیرد. شرایط ایده‌آل و سیستم فازی تعریف شده در ادامه آورده شده است.

شرایط ایده‌آل به عنوان گره واسط، انتخاب گرهی است که با انتخاب آن انرژی کل شبکه کاهش نیابد. انرژی مصرفی برای ارسال اطلاعات به گره واسط با در نظر گرفتن روابط کاهش انرژی گره‌های ارسالی با رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} E_{ijBS} &= E_{Tx}(l, d(si, sj)) + E_{Rx}(l) + E_{Tx}(l, d(sj, BS)) \\ &= l(E_{elec} + E_{fs}d^2(si, sj)) + lE_{elec} + l(E_{elec} + E_{fs}d^2(sj, BS)) \\ &= 3lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS)) \end{aligned} \quad (3)$$

که در این رابطه E_{ijBS} انرژی مصرف شده برای ارسال داده از گره i از طریق گره واسط j برای رسیدن به ایستگاه پایه را نشان می‌دهد. $d(si, sj)$ فاصله گره i تا گره j را نشان می‌دهد و $d(si, BS)$ نشان دهنده فاصله گره i تا ایستگاه پایه است. انرژی مصرفی برای ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه به صورت مستقیم توسط سرخوشه از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} E_{iBS} &= E_{Tx}(l, d(si, BS)) + l(E_{elec} + E_{fs}d^2(si, BS)) \\ &= lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, BS)) \end{aligned} \quad (4)$$

اختلاف این دو مقدار انرژی مصرفی باید بیشتر از صفر باشد تا انرژی کل شبکه با انتخاب گره واسط کاهش نیابد. رابطه ۵ این اختلاف را محاسبه کرده است.

$$\begin{aligned} 3E_{elec} + lE_{fs}(d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS)) - lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(s_i, BS)) &> 0 \\ 2lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS) - d^2(s_i, BS)) &> 0 \\ (d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS) - d^2(s_i, BS)) &> - (2E_{elec} / E_{fs}) \end{aligned} \quad (5)$$

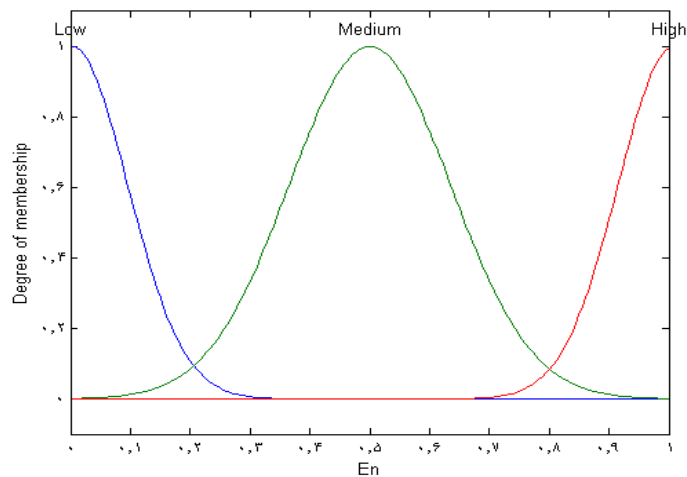
در نتیجه از بین همه گره‌های زنده گره‌هایی که شرایط فوق بر روی آنها صادق باشد به عنوان کاندیدا برای انتخاب گره واسط انتخاب می‌شوند. سپس با منطق فازی که در ادامه آورده شده است بهترین گره به عنوان واسط انتخاب می‌شود.

۳-۴- سیستم فازی پیشنهادی

سیستم فازی پیشنهادی دارای دو ورودی و یک خروجی می‌باشد. قابل ذکر است که ورودی‌ها با توجه به اطلاعات کل شبکه به اعدادی بین صفر و یک نرمال‌سازی می‌شوند.

۳-۴-۱- ورودی‌های سیستم

- ورودی اول: ورودی اول انرژی گره منتخب می‌باشد. به مراتب گرهی که دارای بیشترین مقدار انرژی باشد می‌تواند کاندیدای مناسبی برای انتخاب شدن به عنوان گره واسط توسط سرخوشه متناظر باشد. تابع عضویت مربوط به این معیار با در نظر گرفتن سه مقدار کلامی کم، متوسط و زیاد در شکل ۲ نشان داده شده است.

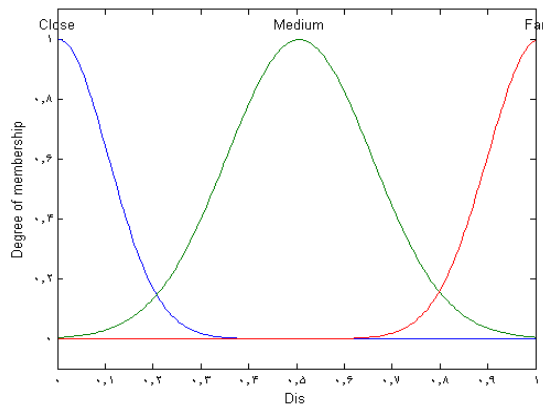


شکل ۲- تابع عضویت ورودی اول (انرژی گره)

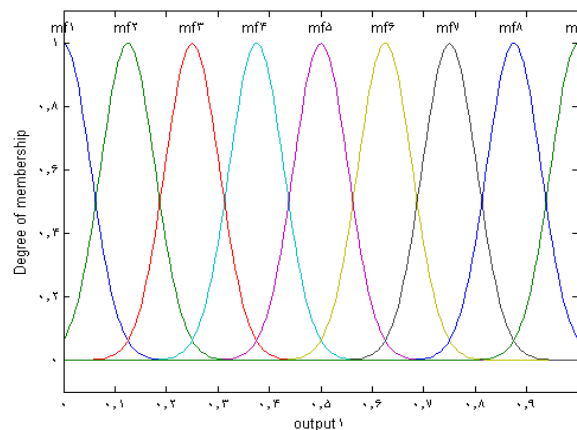
- ورودی دوم: ورودی دوم اختلاف فاصله‌ها می‌باشد. با توجه به مواردی که مطرح شد. ورودی دوم به صورت رابطه (۶) تعریف می‌گردد.

$$(d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS) - d^2(s_i, BS)) \quad (6)$$

که در آن s_i گره سرخوشه و s_j گره واسط و BS مرکز است. تابع عضویت ورودی دوم نیز در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- تابع عضویت ورودی دوم (اختلاف فاصله‌ها)



شکل ۴- تابع عضویت خروجی سیستم

۳-۴-۲- خروجی سیستم

خروجی سیستم میزان برتر بودن گره برای انتخاب شدن به عنوان گره واسط است. بازه تعریف شده برای خروجی [۰ ۱] می‌باشد. تابع عضویت مربوط به آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

۳-۴-۳- قوانین فازی

قوانین فازی به صورت منطقی به صورت ذیل تعریف شده‌اند:

1. *If (En is Low) and (Dis is Far) then (output1 is mf1) (1)*
2. *If (En is Low) and (Dis is Medium) then (output1 is mf2) (1)*
3. *If (En is Low) and (Dis is Close) then (output1 is mf3) (1)*
4. *If (En is Medium) and (Dis is Far) then (output1 is mf4) (1)*
5. *If (En is Medium) and (Dis is Medium) then (output1 is mf5) (1)*
6. *If (En is Medium) and (Dis is Close) then (output1 is mf6) (1)*
7. *If (En is High) and (Dis is Far) then (output1 is mf7) (1)*
8. *If (En is High) and (Dis is Medium) then (output1 is mf8) (1)*
9. *If (En is High) and (Dis is Close) then (output1 is mf9) (1)*

ارسال داده‌ها به مرکز از طریق گره واسطی که هر سرخوشه با در نظر گرفتن منطق فازی انتخاب کرده است صورت گرفته و مطابق آن کاهش انرژی گره‌ها (ارسال و دریافت) صورت خواهد گرفت.

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

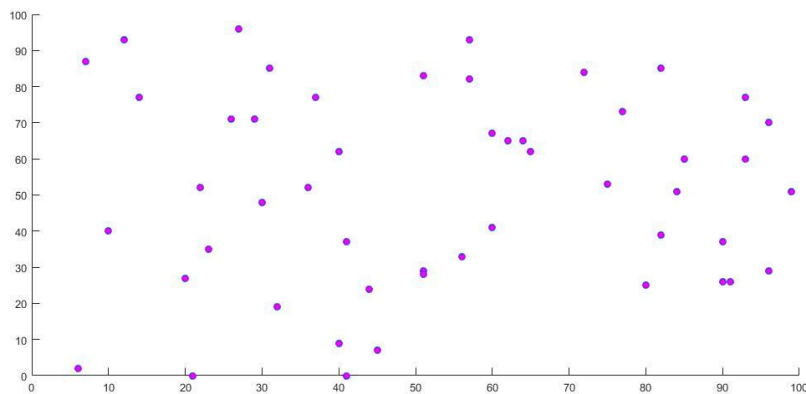
برای شبیه‌سازی و ارزیابی امنیت اطلاعات در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء و مبتنی بر منطق فازی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. همچنین نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج روش‌های مشابه مقایسه شده است. مقادیر پارامترهای بسیار زیاد متأثر می‌شوند؛ این پارامترها به شدت به همگرایی بهتر بستگی دارند. در این پژوهش پارامترهای در نظر گرفته شده در هنگام انتقال اطلاعات به مرکز و یا بین اشیاء عبارتند از:

- Etx, Erx: به ترتیب انرژی مصرف شده برای انتقال و دریافت داده‌ها در گره‌ها (نودها).
 - Eelec: انرژی موجود در هر گره.
 - Dij: فاصله بین گره i و گره j.
 - Fij: نرخ ارسال داده بین دو گره.
 - CS, CR, CB: به ترتیب هزینه گره ایستگاه پایه، گره حسگر و گره تقویت کننده.
- مشخصات ظرفیت پردازشی مربوط به تعریف مرکز در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات و ظرفیت پردازشی مرکز

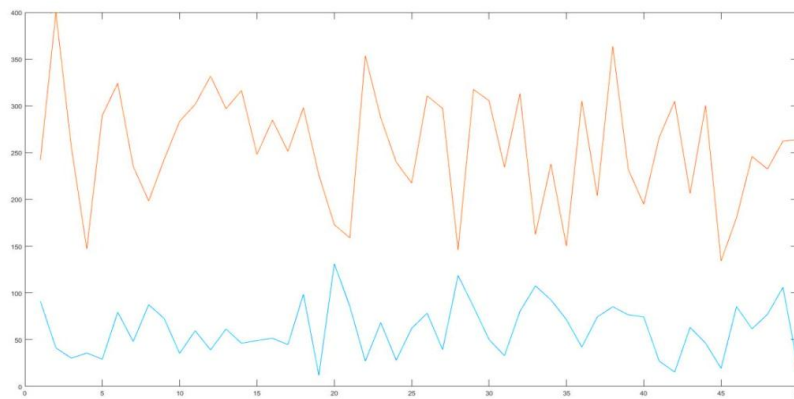
<i>System Architecture</i>	<i>x86</i>
<i>Operating System</i>	<i>Linux</i>
<i>Time zone this resource</i>	<i>10.0</i>
<i>MIPS</i>	<i>12000</i>
<i>RAM</i>	<i>10000</i>
<i>Storage</i>	<i>100000</i>

الگوریتم پیاده‌سازی شده در دو حالت انتقال اطلاعات همه گره‌ها (اشیاء) به مرکز اطلاعات و انتقال اطلاعات از یک گره به گره دیگری آزمایش شده و مصرف انرژی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. اشیاء در فضای پیاده‌سازی به صورت تصادفی قرار می‌گیرند. شکل (۵) نمونه قرار گرفتن اشیاء در فضای مختصات را نشان می‌دهد.



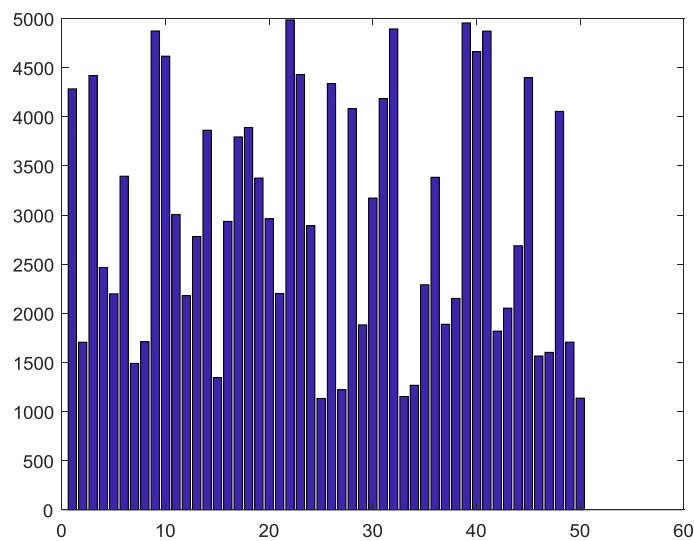
شکل ۵- قرارگیری اشیاء در فضای مختصات

شکل (۶) مصرف انرژی را در دو حالت عادی و بهترین حالت انتخاب شده با استفاده از الگوریتم منطق فازی جهت انتقال اطلاعات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود انرژی موجود در اشیاء هنگام استفاده از الگوریتم منطق فازی برای انتقال اطلاعات در بین اشیاء و به مرکز را نشان می‌دهد که به مقدار زیادی کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۶- مصرف انرژی در اشیاء

همچنین شکل (۷) حجم داده تولید شده در اشیاء را نشان می دهد.

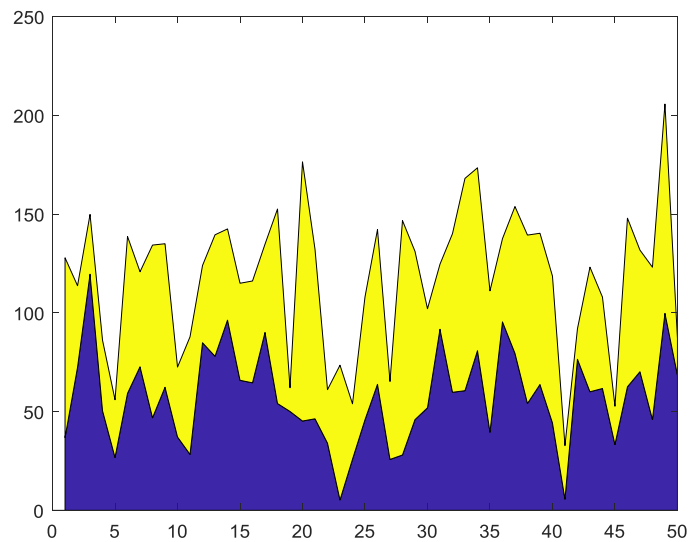


شکل ۷- حجم داده ایجاد شده در هر شیء

داده موجود در هر شیء برای ارسال به مرکز به صورت تصادفی در ابتدای شروع شبیه سازی ایجاد می شود (شکل ۷). در حالت دیگر آزمایش روش پیشنهادی جهت کاهش مصرف انرژی، مجدداً می توان گره ها را به دو حالت گره های عادی^۱ و گره های تقویت کننده^۲ در نظر گرفت. در اینجا منظور از گره های تقویت کننده، گره های حسگری است که انرژی مازاد دارد؛ در واقع گره تقویت کننده در هنگام اجرای الگوریتم بر روی تابع هزینه الگوریتم منطق فازی عملگر مثبت است و باعث افزایش انرژی شیء تقویت کننده می شود. انتخاب گره حسگر (معمولی) و تقویت کننده نیز در برنامه به صورت تصادفی انجام می شود. در این آزمایش نیز به مانند آزمایش قبلی مجموع تعداد اشیاء ۵۰ عدد است و مشخصات مرکز نیز ثابت است. شکل (۸) نمودار بهبود انرژی را نسبت به حالت عادی نشان می دهد. رنگ زرد حالت عادی و رنگ بنفش نیز کاهش انرژی مصرف شده در حالت استفاده از الگوریتم منطق فازی برای انتقال اطلاعات را نشان می دهیم.

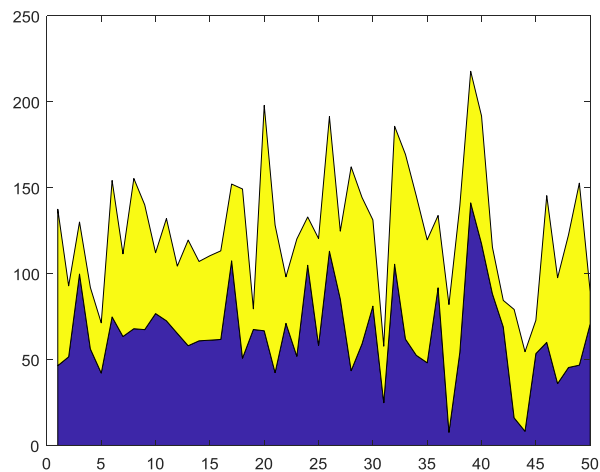
¹ Sensor Nodes

² Booster Nodes



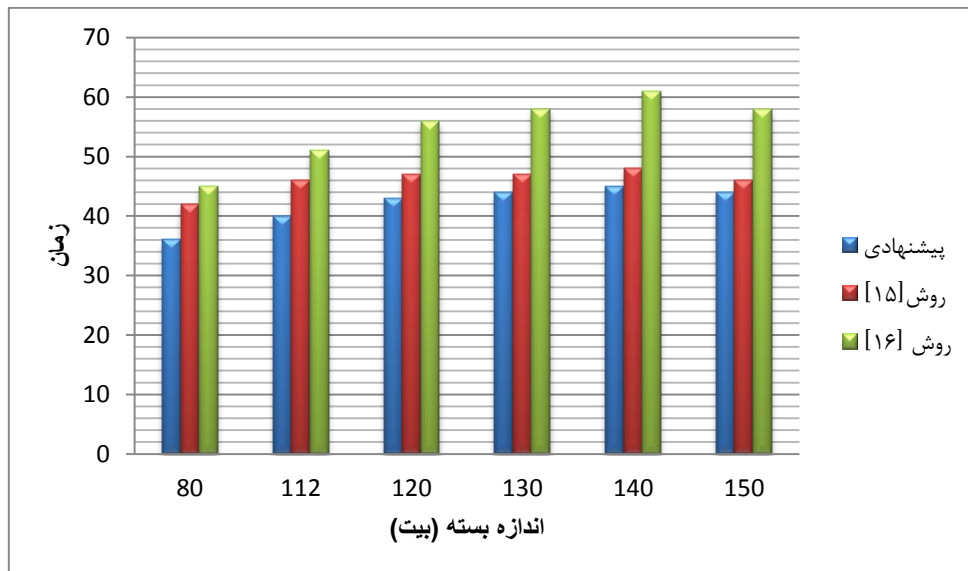
شکل ۸- مقایسه کاهش مصرف انرژی دو روش عادی و منطق فازی

حالت دیگر آزمایش، روش پیشنهادی یکسان در نظر گرفتن دو پارامتر E_{tx} , E_{rX} است. این دو پارامتر را می‌توان به عنوان یک پارامتر در نظر گرفت و برای هر شیء مقدار آن به صورت تصادفی انتخاب شود. در این حالت آزمایش نیز الگوریتم منطق فازی نسب به حالت عادی انتقال نیز بهینه‌تر است. شکل (۹) مقایسه این دو روش را نشان می‌دهد.



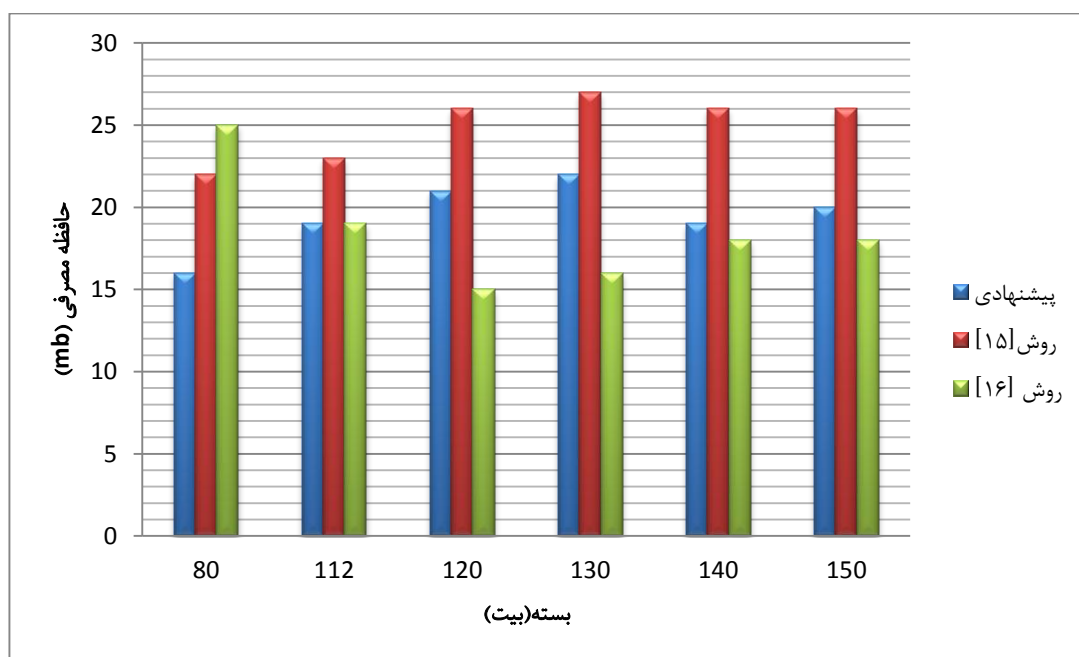
شکل ۹- مقایسه در حالت یکسان بودن مقدار انرژی مصرف شده برای انتقال و دریافت داده‌ها

در آزمایشی دیگر معیار زمان اجرا ارزیابی می‌شود. این معیار مدت زمانی که طول کشیده است تا درخواست‌های احراز هویت در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء به طور کامل انجام شود مورد مقایسه قرار گرفته است، در هر مرحله اندازه بسته‌ها بیشتر شده است که در شکل ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد.



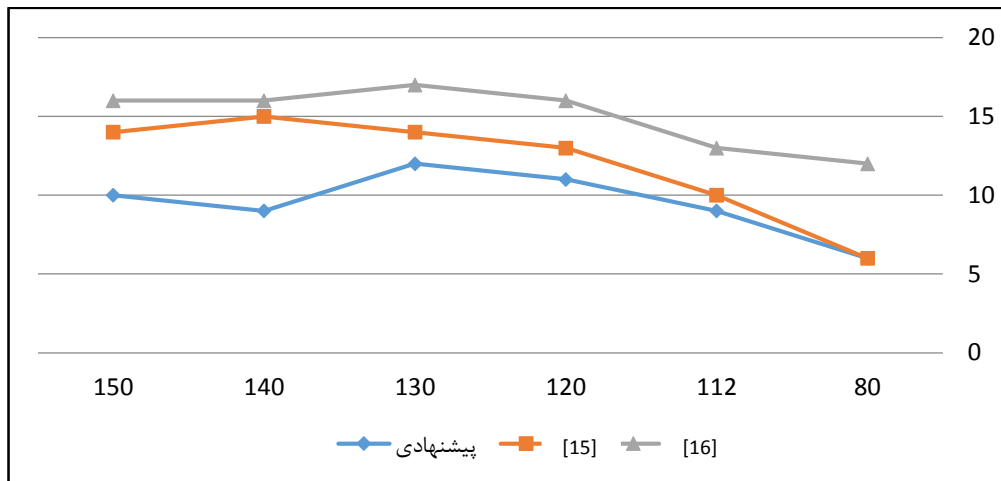
شکل ۱۰- زمان اجرا

همانطور که در شکل ۱۱ در این معیار میزان حافظه مصرفی (برحسب مگابایت) بررسی شده است تا درخواست‌های احراز هویت در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء به طور کامل انجام شود که بر اساس تعداد بسته‌های ارسالی مورد مقایسه قرار گرفته است، نتایج نشان می‌دهد روش [۱۶] به ازای بسته‌های بیشتر کمترین میزان مصرف حافظه را دارد و روش پیشنهادی نتوانسته است به ازای بسته‌های بالا حافظه مصرفی را کاهش دهد.



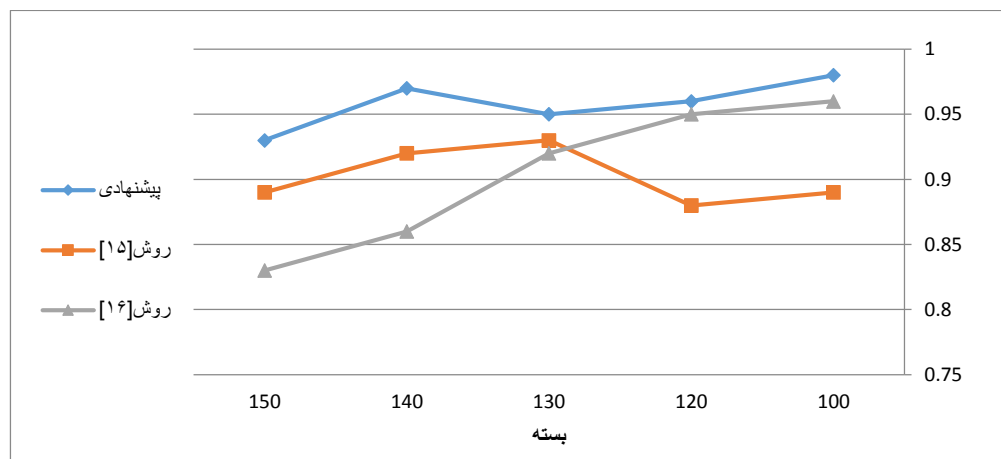
شکل ۱۱- حافظه مصرفی

در آزمایشی دیگر معیار مقدار انرژی مصرفی برای انتقال داده‌ها از مبدا به مقصد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در هر مرحله تعداد بسته‌های مربوط به داده‌ها بیشتر شده است. همانطور که در شکل ۱۲ قابل مشاهده است روش پیشنهادی میزان انرژی مصرفی کمتری نسبت به روش‌های مشابه را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۲- انرژی لازم برای انتقال درخواست

معیار دقت نشان می‌دهد که روش پیشنهادی تا چه حد می‌تواند هویت را در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا به درستی نمایش دهد. در شکل ۱۳ میزان دقت روش پیشنهادی برای ۱۰۰ اثر هویت متفاوت با روش‌های [۱۶] و [۱۵] به ازای بسته‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۱۳- مقایسه معیار دقت

نتیجه شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی از دقت بالاتری نسبت به روش‌های [۱۶] و [۱۵] به ازای بسته‌های مختلف در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا برخوردار می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آتی

مدل مصرف انرژی در شبکه‌های اینترنت اشیا بستگی به سخت‌افزار، پردازش داده و واسط ارتباطی دارد. در این پژوهش از مدل مبتنی بر چرخه و انتقال اطلاعات به ایستگاه پایه و بین اشیا برای مصرف انرژی و شبکه اینترنت اشیا استفاده شد. مهم‌ترین چالش‌های کلیدی در مسیریابی اینترنت اشیا، انرژی هر گره، مقایسه‌پذیری، تحمل خطا و پویایی شبکه است. برای یک ارتباط موفق و انتقال اطلاعات، کیفیت یک گره باید توسط معیارهای مناسبی ارزیابی شود. پارامترهای مختلف در نظر گرفته شده در این پژوهش به ترتیب انرژی مصرف شده برای انتقال و دریافت داده‌ها در گره‌ها، انرژی موجود در هر گره، فاصله بین دو گره، نرخ ارسال داده بین دو گره بود. با توجه به هدف این پژوهش که همان بهینه‌سازی مصرف انرژی در اینترنت اشیا است از الگوریتم فازی برای کمینه کردن مصرف انرژی در هنگام انتقال اطلاعات استفاده شد. دلیل استفاده از الگوریتم منطق فازی برای کمینه کردن مصرف انرژی در اینترنت اشیا، توانایی بهینه‌سازی مسئله با در نظر گرفتن تعداد پارامترهای مختلف است که می‌تواند بر روی عملکرد مسئله تأثیر

- زیادی داشته باشد و هدف بسیاری از مسائل بهینه‌سازی است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از الگوریتم منطق فازی باعث بهبود مصرف انرژی و کمینه شدن آن در هنگام اجرای برنامه و در طول چرخه انتقال اطلاعات می‌شود.
- در مورد کارهای آتی با توجه به نتایج پیاده‌سازی و ادامه تحقیقات در این زمینه موارد زیر پیشنهاد می‌شود:
- پیاده‌سازی عملی روش پیشنهادی در یک محیط هوشمند که از اینترنت اشیاء استفاده می‌شود مانند ساختمان‌های هوشمند.
 - استفاده از روش پیشنهادی در مسیریابی چند پخش، در این زمینه کارهای جدیدتری می‌توان انجام داد برای مثال نحوه انتخاب مسیرها.
 - استفاده از الگوریتم‌های تکاملی دیگر و آزمایش نتایج آن به منظور بهبود کاهش سربارهای موجود و رسیدن به نتایج بهینه بهتر.
 - ترکیب روش پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر مانند الگوریتم‌های مبتنی بر درخت و مطرح کردن آن در زمینه اینترنت اشیاء.
 - ارتقای کیفیت (قابلیت اطمینان، توان عملیاتی و...) خدمات ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء با تأکید بر نقش منطق فازی.

۶- مراجع

1. Al-Ali, A. R., Zualkernan, I. A., Rashid, M., Gupta, R., & Alikarar, M., "A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 63(4), 426-434., 2017.
2. A. Sedik, M. Hammad, F.E. Abd El-Samie, B.B. Gupta, A.A. Abd El-Latif, " Efficient deep learning approach for augmented detection of Coronavirus disease," *Neural Comput. Appl.*, pp. 1-18, 2021.
۳. پدیداران مقدم، فرهنگ، هادی اسدی، " بررسی روشها و تجهیزات هوشمندسازی ساختمان، چهارمین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی، قم، مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت مرتضوی، ۱۳۹۶.
4. Sun, H. C., & Huang, Y. C. , " Optimization of power scheduling for energy management in smart homes.," *Procedia Engineering*, 38, 1822-1827., 2012.
5. Braham, M., Miller, T., Duerr, A. E., Lanzone, M., Fesnock, A., LaPre, L., ... & Katzner, T., "Home in the heat: dramatic seasonal variation in home range of desert Golden Eagles informs management for renewable energy development.," *Biological Conser*, 2015.
6. Arun Kumar, Sharad Sharma, Nitin Goyal, Aman Singh, Xiaochun Cheng, Parminder Singh, "Secure and energy-efficient smart building architecture with emerging technology IoT," *Computer Communications* , vol. 176, p. 207–217, 2021.
7. B. Miles, E.-B. Bourennane, S. Boucherkha, S. Chikhi, , "A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture.," *Comput. Commun.* , vol. 164, p. 148–157, 2020.
8. C.L. Stergiou, K.E. Psannis, B.B. Gupta, , "IoT-based big data secure management in the fog over a 6G wireless network.," *IEEE Internet Things J.* , 2020.
9. S. P. M. L. O. F. G. O. Ever E, "(2019) "On the performance, availability and energy consumption modelling of clustered IoT systems." *Computing*;101(12):1935-1970., 2019.
10. C. N., "A Survey on Opportunistic Routing in Wireless Communication Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*;17(4):2214-2241., 2015.
11. Sangwan A, Singh RP., "Survey on Coverage Problems in Wireless Sensor Networks.," *Wireless Personal Communications*;80(4):1475-1500., 2015.
12. Xu L, Collier R, O'Hare GMP. , "A Survey of Clustering Techniques in WSNs and Consideration of the Challenges of Applying Such to 5G IoT Scenarios.," *IEEE Internet of Things Journal*;4(5):1229-1249., 2017.
13. F. Fanian, M.K. Rafsanjani, , "Cluster-based routing protocols in wireless sensor networks: a survey based on methodology," *J. Netw. Comput. Appl.* 142 111–142., 2019.
14. A. A. A. R. Joe Brown, "Disaggregation of household solar energy generation using censored smart meter data," *Energy & Buildings*, vol. 231, 2021.
15. Mba, L., Meukam, P., & Kemajou, A., "Application of artificial neural network for predicting hourly indoor air temperature and relative humidity in modern building in humid region.," *Energy and Buildings*, vol. 121, pp. 32-42, 2016.

16. Misra, S., Chatterjee, S., & Obaidat, M. S. , "On theoretical modeling of sensor cloud: A paradigm shift from wireless sensor network.," IEEE Systems journal, vol. 11, no. 2, pp. 1084-1093, 2014.
17. P. Neamatollahi, S. Abrishami, M. Naghibzadeh, M. Hossein, Y. Moghaddam, O. Younis, , "Hierarchical clustering-task scheduling policy in cluster-based wireless sensor networks.," IEEE Trans. Ind. Inf. 14 (5) 1876–1885., 2018.
18. W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, , "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks.," IEEE Trans. Wirel. Commun. 1 (4) 660–670. , 2002.
19. S. Al-Sodairi, R. Ouni,, " Reliable and energy-efficient multi-hop leach-based clustering protocol for wireless sensor networks.," Sustain. Comput. 20 (2018) 1–13., 2018.
20. H. Li, J. Liu, , "Double cluster based energy efficient routing protocol for wireless sensor network.," Int. J. Wirel. Inf. Networks 23 (1) (2016) 40–48., 2016.
21. T.S. Panag, J.S. Dhillon, " Dual head static clustering algorithm for wireless sensor networks.," Int. J. Electron.Commun. , vol. 88, pp. 148-156, 2018.
22. Jesudurai SA, Senthilkumar A. , "An improved energy efficient cluster head selection protocol using the double cluster heads and data fusion methods for IoT applications." Cognitive Systems Research;57:101-106.," 2019.
23. J. Wang, J. Cao, B. Li, S. Lee, R.S. Sherratt, "Bio-inspired ant colony optimization based clustering algorithm with mobile sinks for applications in consumer home automation networks," IEEE Trans. Consum. Electron. , vol. 61, no. 4, p. 438–444, 2015.
24. O. Younis, S. Fahmy, "Heed: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," IEEE Trans. Mob. Comput. 3 (4), p. 366–379., 2004.
25. S. Arjunan, P. Sujatha, , "A survey on unequal clustering protocols in wireless sensor networks," J. King Saud Univ. , vol. 31, p. 304–317, 2019.
26. L. Malathi, R.K. Gnanamurthy, K. Chandrasekaran, "Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks," Comput. Electric. Eng., vol. 48, p. 358–370., 2015.
27. Y. Xiuwu, L. Qin, L. Yong, H. Mufang, Z. Ke, X. Renrong, "Uneven clustering routing algorithm based on glowworm swarm optimization," Ad Hoc Netw., vol. 93, pp. 1-8, 2019.
28. Kumar V, Kumar S. , "Energy balanced position-based routing for lifetime maximization of wireless sensor networks," Ad Hoc Networks;52:117-129., 2016.
29. Behera TM, Mohapatra SK, Samal UC, Khan MS, Daneshmand M, Gandomi AH. , "Residual Energy-Based Cluster-Head Selection in WSNs for IoT Application." IEEE Internet of Things Journal;6(3):5132-5139., 2019.
30. A. Mazinani, S.M. Mazinani, M. Mirzaie, , "Fmcr-ct: an energy-efficient fuzzy multi cluster based routing with a constant threshold in wireless sensor network," Alex. Eng. J. , vol. 58, pp. 127-141, 2019.
31. K. Thangaramya, K. Kulothungan, R. Logambigai, M. Selvi, S. Ganapathy, A. Kannan, "Energy aware cluster and neuro-fuzzy based routing algorithm for wireless sensor networks in iot," Comput. Netw. , vol. 151, p. 211–223, 2019.
32. M. S. K. D. S. Gajjar, "Famacrow: fuzzy and ant colony optimization based combined mac, routing, and unequal clustering cross-layer protocol for wireless sensor networks," Appl. Soft Comput. J., vol. 43, p. 235–247., 2016.
33. K. Kalaivanan, V. Bhanumathi, , "Csdgp: cluster switched data gathering protocol for mobile wireless sensor networks," IET Commun. , vol. 13, no. 18, p. 2973–2985., 2019.
34. K. Kalaivanan, V. Bhanumathi, , "Reliable location aware and cluster-tap root based data collection protocol for large scale wireless sensor networks," J. Netw. Comput. Appl. , vol. 118, pp. 83-101, 2018.
35. S.A. Sert, H. Bagci, A. Yazici, "Mofca: multi-objective fuzzy clustering algorithm for wireless sensor networks," Appl. Soft Comput. , vol. 30, pp. 151-165, 2015.
36. M. Mirzaie, S.M. Mazinani, "Adaptive mcfl: an adaptive multi-clustering algorithm using fuzzy logic in wireless sensor network," Comput. Commun. , vol. 111, pp. 56-67, 2017.
37. B. Gupta, M. Quamara,, " An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols," Concurr. Comput. Pract. Exper. , vol. 32, no. 21, 2020.