

بهبود مسیریابی مبتنی بر خوشه بندی شبکه ناهمگن اینترنت اشیا

با به کارگیری الگوریتم کرم شب تاب

نفیسه محمودی^۱

محبوبه شمسی^۲

عبدالرضا رسولی کناری^۳

^۱دانشجو کارشناسی ارشد نرم افزار دانشگاه صنعتی قم mahmoudi.n@qut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم shamsi@qut.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم rasouli@qut.ac.ir

چکیده: برنامه های کاربردی متنوع اینترنت اشیا با چالش های بسیاری روبرو هستند. در محیط اینترنت اشیا سطوح مختلف ناهمگنی وجود دارد که اشیا از طریق اینترنت به یکدیگر متصل هستند. چالش اصلی کاهش مصرف انرژی در گره هایی با انرژی محدود و همچنین برای دستگاه هایی با انرژی قابل شارژ که برای محاسبات سبک نیاز حیاتی است. در ارتباط با اینترنت اشیا، شبکه های حسگر بی سیم برای نظارت بر داده ها و انتقال داده ها نقش بسیار مهم و حیاتی دارند. به منظور بهینه سازی ارتباط ها و صرفه جویی در منابع انرژی نیاز به توپولوژی مناسبی مانند خوشه بندی است. بنابراین رویکردی برای انتخاب سرخوشه مناسب لازم است تا هزینه های ارتباطی و انرژی مصرفی را کاهش دهد. الگوریتم های الهام گرفته از طبیعت توانایی های موثر برای حل چالش های مسیریابی خوشه بندی شبکه بی سیم را نشان داده اند. این مقاله یک پروتکل ارتباطی خوشه بندی آگاه انرژی ترکیبی کارآمد برای اینترنت اشیا برای مقایسه با پروتکل های موجود مهیا می کند و از الگوریتم کرم شب تاب برای انتخاب سرخوشه و تشکیل خوشه استفاده می کند. در مقایسه با پروتکل های معمول انتخاب سرخوشه کارآمد، مصرف انرژی بهتر و در نتیجه، طول عمر شبکه و همچنین نرخ انتقال بسته ها را به ایستگاه پایه افزایش می دهد. شبیه سازی بر روی مجموعه داده نشان می دهد که پروتکل پیشنهادی در محیط ناهمگن ۳۵٪ و در محیط همگن ۳۰٪ طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل (HY-IOT (Hybrid energy aware clustered protocol for IOT heterogeneous network افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: اینترنت اشیا، انرژی مصرفی، طول عمر شبکه، مسیریابی، خوشه بندی، الگوریتم کرم شب تاب.

۱. مقدمه

اینترنت اشیا به زبان ساده، ارتباط سنسورها و دستگاه ها با شبکه ای است که از طریق آن می توانند با یکدیگر و با کاربران تعامل کنند. اینترنت اشیا به طور گسترده ای در زمینه هایی مانند صنعت، درمان های پزشکی و زندگی هوشمند کاربرد دارد. محیط IOT^۱ دارای بسیاری از اشیا متنوع مانند حسگرها، محرک ها، تلفن های همراه، دوربین ها و ... هستند. این موارد در ویژگی های مانند انرژی در دسترس، نوع اتصال و دسترسی به اینترنت ناهمگن هستند [1]. در ارتباط با اینترنت اشیا، شبکه های حسگر بی سیم برای نظارت بر داده ها و انتقال داده ها نقش بسیار مهم و حیاتی دارند. از آنجایی که گره های حسگر متشکل از یک شبکه انرژی کافی ندارند، این مشکل است پس از استقرار، انرژی خود را دوباره پر کنند. بنابراین چگونگی استفاده از انرژی محدود، برای به حداکثر رساندن طول عمر شبکه مهیا شده است. تلاش های تحقیقاتی در مورد خوشه بندی IOT به ویژه از کارهای گسترده در زمینه WSN^۲ سود می برد، به خصوص از آنجا که سنسورها جزء اساسی IOT هستند. WSN به دلایل مختلف نامزدهای بسیار جذابی برای پیاده سازی مفهوم IOT نام گذاری کرده اند که دو مورد را ذکر می کنیم. دلیل اول WSN از ایده دستگاه های توزیع شده پشتیبانی می کنند که دستگاه ها می توانند با یکدیگر همکاری کنند تا مشکلات مربوط به علاقه مندی های مشترک را حل کنند. در این همکاری، حسگرها را می توان به عنوان هر شی واقعی IOT در نظر گرفت. دلیل دوم، WSN از خوشه بندی پشتیبانی می کنند، که یکی از اهداف مهم IOT است. با این حال، خوشه بندی برای IOT کمی متفاوت از خوشه بندی سنتی WSN است [2].

در واقع، به دلیل طبیعت فرصت طلبانه و معماری باز آن، خوشه بندی IOT نیاز به همکاری چندین اپراتور و تعامل پویا بین شی ها، در مقایسه با خوشه بندی WSN دارد. از آن جا که خوشه بندی با هدف کمینه کردن انرژی یک مساله NP-Hard است [3]، در پروتکل های

مسیریابی WSN خوشه ای برای هدایت انتخاب خوشه ها و کشف بهترین مسیر برای صرفه جویی در انرژی گره ها از الگوریتم های فراابتکارانه مانند الگوریتم کرم شب تاب می توانیم استفاده کنیم. هنگامی که گره ها برای نقش سرخوشه رقابت می کنند، سنسورها عموماً به دنبال یک رویکردی هستند که در آن اولویت به دستگاه هایی با مقدار انرژی باقی مانده بالاتر یا فاصله کمتر از ایستگاه پایه داده شود، این معیارها به شدت بر روی دسترسی و هزینه های ارتباطی تاثیر می گذارد. به منظور این رویکرد ما در این پژوهش یک پروتکل IOT آگاه با انرژی ناهمگن ترکیبی برای شبکه پیچیده IOT با سطوح ناهمگنی چندگانه ارائه شده است که برای انتخاب سرخوشه ها و تشکیل خوشه ها از الگوریتم کرم شب تاب بهره می برد. آزمایش های گسترده عملکرد امیدوار کننده پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل های معمول را نشان می دهد. روند پژوهش به ترتیب ذیل است: بخش ۲ زمینه ای از پروتکل های مبتنی بر خوشه بندی و کارهای مرتبط پیشین را فراهم می کند. بخش ۳ پروتکل پیشنهادی را تعریف می کند. بخش ۴ شبیه سازی و نتایج آن را نشان می دهد.

۲. مروری بر کارهای پیشین

مقاله مروری پروتکل های مسیریابی را براساس ساختار شبکه، توپولوژی، قابلیت اعتماد و مدل های ارتباطی دسته بندی کرده است. پروتکل های سلسله مراتبی گره ها شبکه را به مجموعه ای از خوشه ها سازماندهی می کنند. در این پروتکل ها، گره ها به خوشه ها مرتب می شوند و گره دارای حداکثر انرژی سرخوشه می شوند. سرخوشه ها بصورت دوره ای داده ها را از گره های عضو خوشه خود جمع آوری می کنند، آن را فشرده می کنند و سپس داده های جمع آوری شده خود را به ایستگاه تحویل می دهند. مانند LEACH, TEEN, SEP, DFCA از Z-SEP هستند [4]. در پژوهشی پروتکل EKMT را که براساس الگوریتم K-Means معرفی

محیط همگن محیطی است که همه‌ی گره‌ها دارای انرژی یکسانی هستند ولی در محیط ناهمگن انرژی گره‌ها متفاوت است. محیط IOT دارای بسیاری از دستگاه‌های متنوع است که در انرژی، دسترسی به اینترنت و ... ناهمگن هستند. اگر چه، محیط IOT دارای بسیاری از دستگاه‌های ناهمگن است که در مناطق توزیع می‌شود. اما در هر یک از این مناطق معمولاً یک نوع دستگاه به علاوه چند نوع دیگر قرار دارد. بسیاری از پروتکل‌های توسعه یافته به طور موثر از دستگاه‌های همگن یا دستگاه‌های ناهمگن پشتیبانی می‌کنند. محیط ناهمگن IOT که در این مقاله ارائه شده، شامل دو منطقه می‌باشد. منطقه اول دارای گره‌های superior همراه با گره‌های پیشرفته است که در برنامه‌های IOT به برخی از تلفن‌های همراه، کنترل کننده‌های هوشمند مربوط می‌شود. منطقه دوم اکثراً گره‌های معمولی و برخی از گره‌های پیشرفته را دارد. در برنامه‌های کاربردی IOT، معمولاً این نوع از گره‌ها به عنوان نوعی از سنسورها و محرک‌ها استفاده می‌شود. پروتکل پیشنهادی یک ترکیب سازگار SEP و LEACH را فراهم می‌کند. در منطقه‌ای که شامل گره‌های پیشرفته و معمولی از الگوریتم SEP و در منطقه‌ای که شامل گره‌های superior و پیشرفته از الگوریتم LEACH برای مسیریابی استفاده می‌شود. از آن جایی که خوشه‌بندی با هدف کمینه کردن انرژی یک مساله NP-Hard است برای انتخاب سرخوشه‌ها در هر یک از مناطق از الگوریتم کرم شب تاب بهره می‌بریم. هریک از گره‌ها سرخوشه‌ها را براساس تابع هدف که متناسب با فاصله و روشنایی، انتخاب می‌کنند. هر سر خوشه داده‌ها را از گره‌های عضو خود جمع آوری می‌کند و سپس آن را به ایستگاه پایه انتقال می‌دهد. انتخاب سر خوشه مهمترین گام است، زیرا بر عمر و عملکرد شبکه کل تاثیر می‌گذارد. در ادامه به شرح پروتکل‌های پایه SEP و LEACH پرداختیم و انتخاب سرخوشه هر الگوریتم را بررسی کردیم.

۱.۳. پروتکل‌های پایه استفاده شده

- LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH یکی از مهم ترین پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی است و بسیاری از نسخه‌های اصلاح شده آن توسعه یافته است و اهداف اصلی زیر را دنبال می‌کنند: افزایش طول عمر شبکه، کاهش مصرف انرژی گره‌های حسگر و کاهش تعداد پیام‌های ارتباطی و برای رسیدن به این اهداف، گره‌ها خود را به خوشه‌ها سازماندهی می‌کنند. فاز انتخاب سرخوشه به این صورت که هر گره در هر دور یک عدد تصادفی بین ۱ و ۱۰ تولید می‌کند اگر آن عدد کوچکتر مساوی $T(n)$ بود در این صورت آن گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در معادله ۱، p احتمال هر گره به عنوان سرخوشه شود که مقدار ثابت ۰.۱ دارد، r نشان دهنده دور جاری و مقدار G نشان دهنده این است که گره در $\frac{1}{p}$ دور قبلی سرخوشه نشده است [9]. این پروتکل انرژی برابر برای تمام گره‌ها در نظر می‌گیرد، در مواردی مانند دستگاه‌های ناهمگن IOT ناپایداری در شبکه فراهم می‌کند و مشکل دیگر این پروتکل انتخاب سرخوشه تصادفی است که ممکن است گره‌ای با انرژی باقی مانده کم به عنوان سرخوشه انتخاب شود و سرخوشه به سرعت بمیرد.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p+(r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

- SEP (Stable Election Protocol)

SEP به عنوان یک پروتکل ناهمگون آگاه شناخته می‌شود. در پروتکل انتخاب پایدار (SEP) دو نوع مختلف از گره‌ها به عنوان گره‌های معمولی و گره‌های پیشرفته وجود دارد. این گره‌ها انرژی اولیه متفاوت دارند. گره‌های پیشرفته بیشتر به عنوان سرخوشه‌ها نسبت به گره‌های طبیعی انتخاب می‌شوند، زیرا گره‌های پیشرفته نسبت به گره‌های معمولی انرژی بیشتری دارند. فاز انتخاب سرخوشه به این صورت است که از دو احتمال وزنی برای گره‌های معمولی و پیشرفته استفاده می‌کند. هر گره معمولی که بخواهد به عنوان سرخوشه انتخاب شود، در هر دور یک عدد تصادفی بین ۱ و ۱۰ تولید می‌کند، اگر آن عدد کوچکتر مساوی $T(n)$ (معادله ۱) بود، در این صورت آن گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. انتخاب سرخوشه گره‌های

می‌کند. که در این الگوریتم گره‌هایی که کم‌ترین فاصله اقلیدسی را تا مرکز خوشه دارد به عنوان سرخوشه تخصیص پیدا می‌کنند. در دور بعد اگر انرژی باقی مانده سرخوشه کمتر از مقدار آستانه بود سرخوشه دیگری براساس فاصله گره از مرکز خوشه تعیین می‌شود. الگوریتم EKMT توان عملیاتی و انرژی مصرفی شبکه بهبود می‌دهد. مشکل این پروتکل این است که در فرآیند انتقال داده تاخیر دارد [5]. در تحقیقی پروتکل UCATD به عنوان الگوریتم بهبود یافته K-Means برای ایجاد خوشه‌بندی نابرابر ارائه می‌دهد تا انرژی مصرفی گره‌ها را متعادل کند. این الگوریتم ابتدا تعداد خوشه‌های بهینه را بدست می‌آورد. منطقه‌ای که دارای بیشترین گره است به عنوان اولین مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود. گره‌ها در هر خوشه، انتخابات را برای سرخوشه با توجه به فاکتورهای فاصله و انرژی باقی مانده انجام می‌دهند. این الگوریتم یک درخت ادغام را با حداقل تاخیر ایجاد می‌کند. پروتکل UCATD با تشکیل درخت ادغام تاخیر انتقال پروتکل EKMT را بهبود می‌دهد. از مزایای این روش افزایش طول عمر شبکه، توان عملیاتی، حل مشکل حفره انرژی و ساخت درخت ادغام بهینه برای جلوگیری تاخیر انتقال است. مشکل این روش این است که ضمانت QoS پیچیده تر می‌شود [4]. در مطالعه‌ای مسیریابی مبتنی بر ترکیب ACO (بهینه سازی ترکیبی مورچگان) و PSO (بهینه سازی ازدحام ذرات) تکنیکی برای ایجاد کوتاهترین مسیر بین سر خوشه‌های موجود و ایستگاه پایه معرفی کرده است. در ابتدا، خوشه‌ها بر اساس انرژی باقیمانده شکل می‌گیرند، سپس تجمیع داده‌ها بر مبنای ACOPSO ترکیبی در جهت افزایش جمع آوری داده‌های بین خوشه‌ای است. در این تکنیک، درخت پوشا بر پایه حداقل هزینه (کوتاهترین مسیر) بین سرخوشه‌ها و ایستگاه پایه تشکیل شده است. طول عمر شبکه، توان عملیاتی و انرژی باقی مانده گره‌ها را بهبود می‌بخشد. اما به اولویت بسته‌ها توجهی نشده است [3]. در مطالعه‌ای یک رویکرد جدید خوشه‌بندی ASFICA مبتنی بر کرم شب تاب برای برنامه‌ها کاربردی IOT ارائه می‌دهد. ابتدا برای هر یک از گره‌ها جذابیت اولیه محاسبه می‌شود و معیار جذابیت براساس انرژی باقی مانده، فاصله و نوع رویداد است. سپس هر یک از گره‌ها سرخوشه‌ها مناسب را با جذابیت بیشتر جستجو می‌کند. اگر گره‌ای به خوشه‌ای با جذابیت بالا و فاصله زیاد بپیوندد آن خوشه گره را می‌ترساند تا دور شود. در نهایت خوشه‌های کوچک با سایر خوشه‌های همسایه ادغام می‌شود. این کار موجب بهبود اندازه خوشه و تعداد اعضای خوشه می‌شود. از معایب این روش عدم بررسی تاثیر QoS بر روی جذب خوشه‌ها است [2]. در پژوهشی یک پروتکل انتخاب خوشه انرژی کارآمد را معرفی می‌کند در هر خوشه، ۲ سرخوشه انتخاب می‌شود. این ۲ سرخوشه نقش‌های مختلفی دارند. سرخوشه اول انتقال اطلاعات به گره ایستگاه پایه را انجام می‌دهد. سرخوشه دوم دریافت اطلاعات از گره‌های میانی و انتقال به سرخوشه اول را انجام می‌دهد. ۲ سرخوشه هم زمان انتخاب می‌شود ابتدا مرکز خوشه و سپس فاصله گره تا مرکز خوشه را بدست می‌آورد. گره‌ای با کم‌ترین فاصله به عنوان سرخوشه دوم و دیگری به عنوان سرخوشه اول انتخاب می‌شود. این تقسیم وظایف بین دو سرخوشه موجب بهبود مصرف انرژی و طول عمر شبکه و توان عملیاتی می‌شود. این پروتکل فقط برای شبکه‌های همگن ارائه شده است [7]. در تحقیقی Neuro-Fuzzy برای تشکیل خوشه و مسیریابی کارآمد در WSN مبتنی بر IOT ارائه می‌دهد. در ابتدا الگوریتم خوشه‌بندی k-means را برای گره‌بندی گره‌ها فراخوانی می‌کند. انتخاب سرخوشه براساس فاصله و انرژی انجام می‌شود. سپس براساس قوانین فازی سرخوشه‌ها داده‌ها خود را به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. این پروتکل میزان انرژی مصرفی و طول عمر شبکه را بهبود داد اما در این پروتکل انرژی اولیه گره‌ها را یکسان در نظر گرفته و سطوح مختلف انرژی لحاظ نکرده است [8]. در مطالعه‌ای یک پروتکل آگاه با انرژی ناهمگن برای شبکه پیچیده IOT با سطح ناهمگونی چندگانه واقع در مناطق مختلف ارائه کرده است. منطقه اول شامل گره‌های منظم است، از الگوریتم LEACH در انتخاب سرخوشه که شبیه به منطقه همگن استفاده کرده است. از سوی دیگر، منطقه دوم شامل گره‌های معمولی و پیشرفته است، از الگوریتم SEP در انتخاب سرخوشه که شبیه به منطقه ناهمگن استفاده کرده است. HY-IOT طول عمر شبکه و توان عملیاتی بر اساس سطح ناهمگونی افزایش می‌دهد. مشکل این پروتکل این است که انتخاب سرخوشه براساس احتمالات وزنی گره‌ها و به طور تصادفی در هر منطقه است و معیارهای مختلف دیگر را برای انتخاب سرخوشه در نظر نگرفته است [11]. این پروتکل به دلیل اینکه سطوح مختلف ناهمگونی را در مدل خود در نظر گرفته است و به محیط واقعی اینترنت اشیا شبیه‌تر است به عنوان پروتکل پایه انتخاب کردیم و فاز انتخاب سرخوشه را با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب بهبود دادیم.

پیشرفته به این صورت است که ابتدا p_{adv} که احتمال انتخاب گره پیشرفته به عنوان سرخوشه است، طبق معادله ۲ محاسبه می‌شود که در معادله ۲، p مقدار ثابت ۰.۱ است، α مقدار انرژی بیشتر گره‌های پیشرفته و m درصد گره‌ها پیشرفته است.

$$p_{adv} = \frac{p}{1 + \alpha \times m} (1 + \alpha) \quad (2)$$

سپس هر گره پیشرفته یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ تولید می‌کند اگر آن عدد تصادفی کوچکتر مساوی $T(s_{adv})$ باشد در این صورت آن گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در معادله ۳، p_{adv} احتمال هر گره پیشرفته به عنوان سرخوشه شود، r نشان دهنده دور جاری و مقدار G' نشان دهنده این است که گره در $\frac{1}{p}$ دور قبلی سرخوشه نشده است [10].

$$T(s_{adv}) = \begin{cases} \frac{p_{adv}}{1 - p_{adv} \times (r \bmod \frac{1}{p_{adv}})} & \text{Sadv} \in G' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

از مزایای پروتکل SEP بالاترین میزان ثبات شبکه را حتی پس از افزایش تراکم گره ارائه می‌دهد زیرا گره‌های پیشرفته که با انرژی بیشتر به عنوان سرخوشه عمل کرده است و برای محیط‌های ناهمگن IOT مناسب است. مشکل این پروتکل این است گره معمولی دور، انرژی بیشتری برای انتقال به ایستگاه پایه مصرف می‌کند.

۲.۳ الگوریتم کرم شب تاب

سرخوشه‌ها وظیفه جمع‌آوری داده‌های اعضای خوشه خود و ارسال به ایستگاه پایه را دارند بنابراین باید گره‌ای به عنوان سرخوشه انتخاب شود که انرژی خود را دیرتر از دست بدهد تا طول عمر شبکه بهبود یابد. تمام پروتکل‌های مبتنی بر خوشه بندی دارای ۲ مرحله برپاسازی و پایداری است. در فاز برپاسازی هر یک از گره‌ها سرخوشه خود را براساس الگوریتم کرم شب تاب انتخاب می‌کنند و در نهایت خوشه‌ها تشکیل می‌شوند. در فاز پایداری هریک از اعضا خوشه داده خود را به گره‌های سرخوشه ارسال می‌کنند و گره‌های سرخوشه داده‌های اعضای خوشه خود را تجمیع و به گره ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. انتخاب سرخوشه در هر دو منطقه براساس الگوریتم کرم شب تاب انجام می‌شود.

• فاز برپاسازی

فرض می‌کنیم شبکه دارای n کرم شب تاب است که هر کرم شب تاب دارای مجموعه‌ای از راه حل‌ها $x_{ir} = \{i = 0 \dots m\}$ است. که هر x_{ir} یک کاندید همسایه سرخوشه با مقدار تابع روشنایی است. هر کرم شب تاب دارای یک احتمال برای تبدیل به سرخوشه است که مطابق با روشنایی کرم شب تاب است. که در این مقاله روشنایی متناسب با انرژی است. جذابیت β نشان دهنده قدرت هر کرم شب تاب در جذب کرم شب تاب دیگر است. β بستگی به فاصله و روشنایی دارد. در این مورد، جذابیت هر شی به صورت معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (4)$$

که در معادله ۴، γ ضریب جذب روشنایی و r فاصله بین دو شی و β_0 جذابیت اولیه است. بر اساس فاصله اقلیدسی بین دو شی مانند معادله ۵ محاسبه می‌شود. که در معادله ۵ x_i, y_i مختصات شی i ، x_j, y_j مختصات شی j است.

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5)$$

از الگوریتم کرم شب تاب استدلال می‌شود: ۱- همه کرم شب تاب‌ها به صورت یک دست به وجود می‌آیند یعنی هر کرم شب تاب به کرم شب تاب دیگر بدون توجه به جنس خود جذب می‌شود. ۲- جذابیت متناسب با روشنایی است، بنابراین هر یک از کرم شب تاب‌ها به سوی یک همسایه حرکت می‌کند که روشن‌تر است. ۳- شدت روشنایی هر کرم مشخص کننده نمایی از تابع هدف مساله می‌باشد. بنابراین مراحل تشکیل خوشه به این صورت است که جمعیت اولیه بین حد بالا و پایین که مختصات محیط به صورت تصادفی تولید می‌شود سپس در هر لحظه از فرایند خوشه‌بندی، مقدار جذابیت β هر کرم شب تاب محاسبه می‌شود، (معادله ۴) نباید کمتر از ضریب جذب اولیه باشد. این نشان دهنده این واقعیت است که این جذابیت به طور پیوسته محو می‌شود. بنابراین، تمام کرم شب تاب‌ها باید با استفاده از معادله ۴، جذابیت اولیه خود را محاسبه کنند. در مرحله بعد، هر شی به طور مداوم کاندید مورد نظر سرخوشه خود را جستجو می‌کند که به آن بپیوندد یا اینکه خودش را به عنوان

سرخوشه اعلام می‌کند. در صورت شکست، کرم شب تاب با جذابیت بیشتر پیدا می‌کند. در هر تکرار، سرخوشه‌ای در همسایگی و با بیشترین جذابیت پیدا خواهد شد.

اگر کرم شب تاب بخواهد به سمت کرم شب تاب پر نورتر حرکت کند، در این صورت موقعیت جدید کرم شب تاب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$x_{i+1} = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon_i \quad (6)$$

که در معادله ۶، x_i موقعیت قبلی کرم شب تاب و قسمت دوم فرمول جذابیت کرم شب تاب و α نرخ جهش و ϵ_i یک مقدار تصادفی است.

• فاز پایداری

بعد از مرحله انتخاب سرخوشه و تشکیل خوشه، اعضای خوشه داده‌ها خود را به سرخوشه انتخابی ارسال می‌کنند. هر سرخوشه زمانبندی TDMA را برای هر یک از اعضای خوشه خود اجرا می‌کند. در فاز پایداری هر گره داده جمع‌آوری شده را به سرخوشه در طول زمان اختصاص داده شده انتقال می‌دهد. سپس انتقال داده‌ها از سرخوشه‌ها به گره ایستگاه پایه شروع می‌شود. سرخوشه‌ها داده‌های جمع‌آوری شده از اعضای خوشه را به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. این استراتژی، اتلاف انرژی کمتر به ویژه در گره‌های انرژی محدود را تضمین می‌کند. در زمان دریافت و ارسال اطلاعات، انرژی مصرفی گره‌ها براساس دو مدل انتشار کانال طبق معادله ۷ محاسبه می‌شود. اگر فاصله بین دو گره کمتر از فاصله آستانه d_0 باشد، برای محاسبه انرژی از مدل اول استفاده می‌شود در غیر این صورت از مدل دوم برای محاسبه انرژی بهره می‌بریم.

$$E_{tx}(L, D) = \begin{cases} L \cdot E_{elec} + L \cdot E_{fs} \cdot d^2 & \text{if } d < d_0 \\ 2 \cdot L \cdot E_{elec} + L \cdot E_{amp} \cdot d^4 & \text{if } d \geq d_0 \end{cases} \quad (7)$$

که در معادله ۷، L اندازه بسته داده، E_{elec} انرژی مصرفی هر بیت برای اجرای فرستنده یا گیرنده، E_{fs} انرژی مصرفی مدل اول، E_{amp} انرژی مصرفی در تقویت کننده توان، d فاصله بین دو گره $d_0 = \frac{\sqrt{E_{fs}}}{E_{amp}}$ است. طبق فرمول اگر فاصله بین دو گره زیاد باشد ما نیاز به یک تقویت کننده داریم. شبه الگوریتم فاز انتخاب سرخوشه در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.

Selection cluster head with firefly algorithm

INPUT : generate an initial population of fireflies(CH) X_i

1. Check initial population
2. While ($t < \text{Max generation}$)
3. for $i=1 : n$
4. for $j=1 : n$
5. if ($I_j > I_i$)
6. move firefly i toward j ;
7. end if
8. Vary β with distance r via $\exp(-\gamma r)$
9. Evaluate new solutions and update light intensity;
10. end for j
11. end for i
12. Rank fireflies and find the current best;
13. end while
14. Calculation distance CH to BS;
15. Calculation energy
16. end

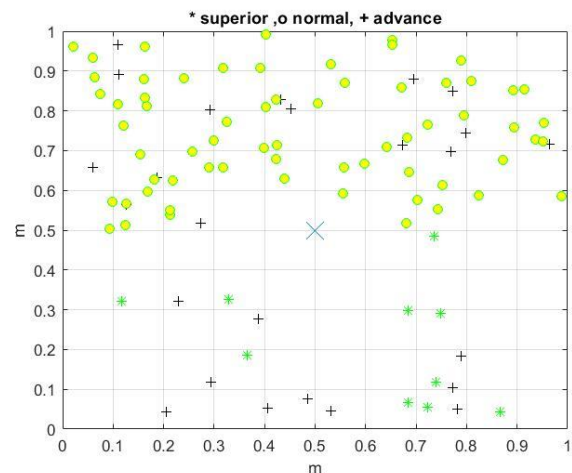
شکل ۱: شبه الگوریتم فاز انتخاب سرخوشه

۴. شبیه سازی

برای شبیه سازی پروتکل پیشنهادی از برنامه Matlab2017 استفاده شده است. پروتکل پیشنهادی را با پروتکل‌های موجود LEACH, SEP, HY-IOT در محیط ناهمگن IOT مقایسه کردیم. یک محیط ناهمگن IOT که شامل ۲ منطقه است منطقه اول اکثراً گره‌های معمولی و برخی از گره‌های پیشرفته و منطقه دوم دارای گره‌های superior همراه با گره‌های پیشرفته است که گره‌های معمولی دارای انرژی اولیه ۰.۱۵، گره‌های پیشرفته دو برابر و گره‌های superior چهار برابر گره‌های معمولی انرژی دارند.

• شبیه سازی پارامترها

منطقه‌ای با مختصات $X \times Y$ و ابعاد 1×1 متر در نظر گرفته شده است و ۱۰۰ گره در مناطق بر اساس معیار انرژی توزیع شده است. ۲۰ درصد از گره‌ها پیشرفته و superior و ۸۰ درصد از گره‌ها معمولی هستند و گره ایستگاه پایه در مرکز قرار دارد. منطقه دارای ۲ ناحیه است. ناحیه اول دارای مختصات $0 \leq X \leq 1$ و $0 \leq Y \leq 0.5$ که شامل ۲۰ گره پیشرفته و superior و ناحیه دوم دارای مختصات $0 \leq X \leq 1$ و $0.5 \leq Y \leq 1$ که شامل ۸۰ گره پیشرفته و معمولی است. در منطقه اول ۱۰ گره پیشرفته و ۱۰ گره superior و در منطقه دوم ۱۰ گره پیشرفته و ۷۰ گره معمولی توزیع شده است. شکل ۲ یک نمونه از توزیع تصادفی گره‌ها در مناطق را نشان می‌دهد. پارامترهای شبیه سازی و رادیویی که در شبیه سازی استفاده شده است در جدول ۱ نمایش داده‌ایم. انتخاب سرخوشه توسط الگوریتم کرم شب تاب انجام می‌شود و ۵ درصد گره‌ها به عنوان سرخوشه است و تعداد تکرار الگوریتم کرم شب تاب ۵ و حداکثر دور ۱۷۰۰۰ در نظر گرفتیم.



شکل ۱: یک نمونه از توزیع تصادفی گره‌ها در ۲ منطقه را نشان می‌دهد.

جدول ۱ پارامترهای شبیه سازی

پارامترها	مقدار
اندازه شبکه	100m × 100m
تعداد گره‌ها	100
سایز پاکت	4000bit
انرژی اولیه	0.15j
E_{elec} انرژی انتقال و دریافت	5nj/bit
E_{fs} انرژی تقویتی برای فاصله کوتاه	10pj/bit/m ²
EDA انرژی برای تجمیع داده‌ها	5nj/bit/signal
E_{amp} انرژی تقویتی برای فاصله زیاد	0.013 pj/bit/m ⁴
p_{opt} احتمال	0.1
α نرخ جهش	0.5
β ضریب جذب اولیه	0.2
γ ضریب جذب روشنایی	1

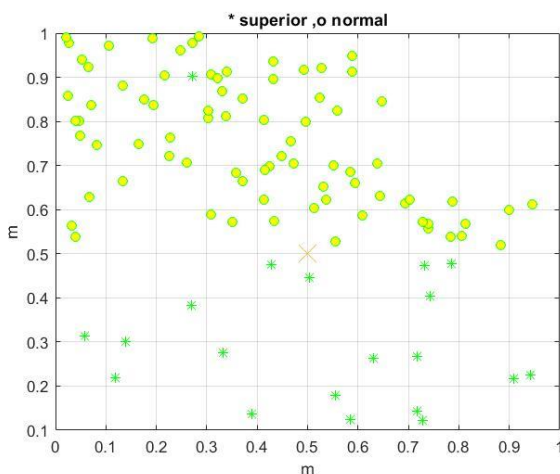
• معیارهای ارزیابی

معیارهای عملکردی که پروتکل پیشنهادی را ارزیابی می‌کند به صورت زیر تعریف می‌شود: طول عمر شبکه: مدت زمان اجرای شبکه از مرگ گره اول تا مرگ گره آخر را نشان می‌دهد. انرژی باقی مانده: انرژی از دست رفته گره‌ها در هر دور را نشان می‌دهد. توان عملیاتی: مجموع تعداد بسته‌هایی که توسط گره ایستگاه پایه با موفقیت دریافت شدند.

• نتایج شبیه سازی

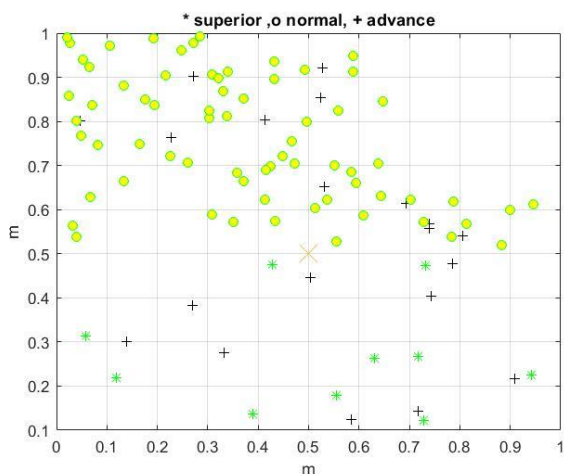
شبیه سازی بر روی مجموعه داده اشیا واقعی شهر Statander که براساس گزارش مالکیت 2017 Globle Web Index از ۵۰۰۰۰ کاربر جمع‌آوری شده است، انجام شده است [11]. پروتکل پیشنهادی را بر روی ۱۰۰ داده private_static_devices که مربوط به حسگرهای خانه است، مورد آزمایش قرار دادیم و اندازه‌گیری طول عمر شبکه، توان عملیاتی و انرژی باقی مانده برای ارزیابی مقایسه عملکرد پروتکل‌های مختلف (SEP, LEACH, HY-IOT) استفاده می‌شود.

اولین سناریو شبیه سازی، گره‌های همگن را در هر دو منطقه با ایستگاه پایه در مرکز در نظر می‌گیرد. شکل ۳ توزیع ۱۰۰ شی را در محیط 1×1 نشان می‌دهد. گره‌هایی که در ناحیه اول در مختصات $0 \leq X \leq 1$ و $0 \leq Y \leq 0.5$ قرار گرفته‌اند به عنوان گره superior و گره‌هایی که در ناحیه دوم در مختصات $0 \leq X \leq 1$ و $0.5 \leq Y \leq 1$ قرار گرفته‌اند به عنوان گره معمولی در نظر گرفته شده است. گره‌های superior ۴ برابر گره‌های معمولی انرژی دارند. شکل ۴، ۵، ۶ به ترتیب طول عمر شبکه، انرژی باقی مانده و توان عملیاتی وقتی که موقعیت گره ایستگاه پایه را در $(x=0.5, y=0.5)$ مورد آزمایش قرار دادیم، نشان می‌دهد. با توجه به شبیه سازی، طول عمر شبکه پروتکل پیشنهادی نسبت به LEACH, SEP, HY-IOT بیشتر است و نسبت به HY-IOT ۳۰ درصد بهبود داشته است. به دلیل اینکه انتخاب سرخوشه پروتکل پیشنهادی بر اساس الگوریتم کرم شب تاب است و دو عامل همسایگی و انرژی برای انتخاب سرخوشه در نظر می‌گیریم در نهایت انتخاب سرخوشه نسبت به الگوریتم‌های LEACH, SEP, HY-IOT بهبود پیدا می‌کند در نتیجه گره‌ها دیرتر می‌میرند و طول عمر شبکه افزایش پیدا می‌کند. انرژی گره‌ها در الگوریتم پیشنهادی طبق شکل ۵ دیرتر از الگوریتم دیگر به پایان رسیده است به دلیل اینکه انتخاب سرخوشه بهینه‌تر و فاصله بین گره‌های خوشه و اعضای خوشه کمتر است و انرژی کمتر مصرف می‌شود. توان عملیاتی پروتکل پیشنهادی نسبت به LEACH, SEP, HY-IOT بهتر عمل کرده است. در الگوریتم پیشنهادی تعداد بسته‌هایی که موفقیت آمیز به مقصد رسیده است طبق شکل ۶ نسبت به الگوریتم HY-IOT افزایش یافته است. زیرا مسیریابی بهتر گره‌ها و نزدیکی گره‌ها به سرخوشه باعث ارسال بیشتر بسته‌ها به ایستگاه پایه می‌شود. شبیه سازی سناریو اول تاثیر همگنی را بر عملکرد شبکه با استفاده از پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل‌های موجود نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی در محیط همگن هم به خوبی عمل می‌کند.

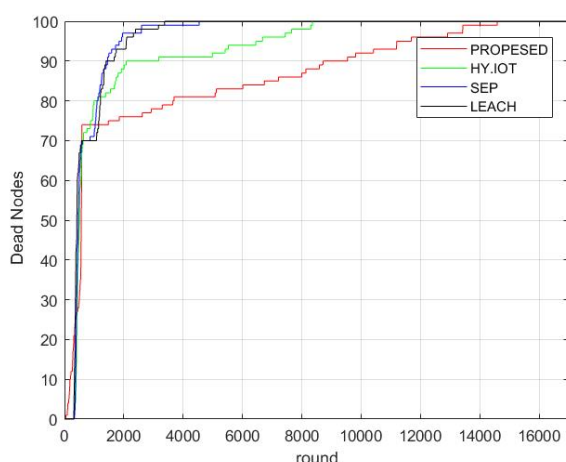


شکل ۳: توزیع ۱۰۰ شی در مناطق همگن

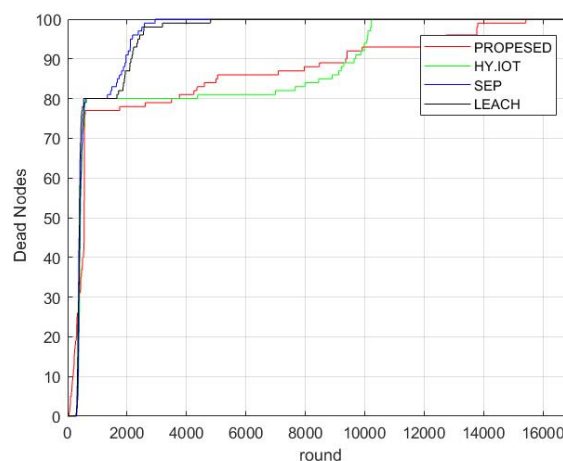
پیشرفته ۲ برابر گره‌های معمولی انرژی دارند. در شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ به ترتیب طول عمر شبکه، انرژی باقی مانده و توان عملیاتی وقتی که موقعیت گره ایستگاه پایه را در $(x=0.5, y=0.5)$ مورد آزمایش قرار دادیم، نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸، طول عمر شبکه پروتکل پیشنهادی نسبت به LEACH، SEP، HY-IOT بیشتر است و نسبت به HY-IOT ۳۵ درصد بهبود داشته است. به دلیل اینکه انتخاب سرخوشه بر اساس احتمالات مختلف با توجه به سطح ناهمگونی منطقه است ولی انتخاب سرخوشه در پروتکل پیشنهادی بر اساس الگوریتم کرم شب تاب است و دو عامل همسایگی و انرژی برای انتخاب سرخوشه در نظر می‌گیریم در نهایت انتخاب سرخوشه نسبت به الگوریتم‌های LEACH، SEP، HY-IOT بهینه می‌شود. در نتیجه گره‌های سرخوشه انرژی خود را دیرتر از دست می‌دهند و طول عمر شبکه بهبود پیدا می‌کند. انرژی گره‌ها در الگوریتم پیشنهادی طبق شکل ۹ دیرتر از ۳ الگوریتم دیگر به پایان رسیده است به دلیل اینکه انتخاب سرخوشه بهینه تر و انرژی گره‌ها دیرتر به پایان می‌رسد. توان عملیاتی پروتکل پیشنهادی نسبت به LEACH، SEP، HY-IOT طبق شکل ۱۰ بهتر عمل کرده است. در نتیجه در الگوریتم پیشنهادی تعداد بسته‌هایی که موفقیت آمیز به مقصد رسیده است نسبت به الگوریتم HY-IOT افزایش یافته است. زیرا مسیریابی بهتر گره‌ها و نزدیکی گره‌ها به سرخوشه باعث ارسال بیشتر بسته‌ها به ایستگاه پایه می‌شود. سناریو ۲ اثر سطوح مختلف ناهمگونی انرژی را بر روی عملکرد شبکه نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی در محیط ناهمگن هم به خوبی عمل می‌کند.



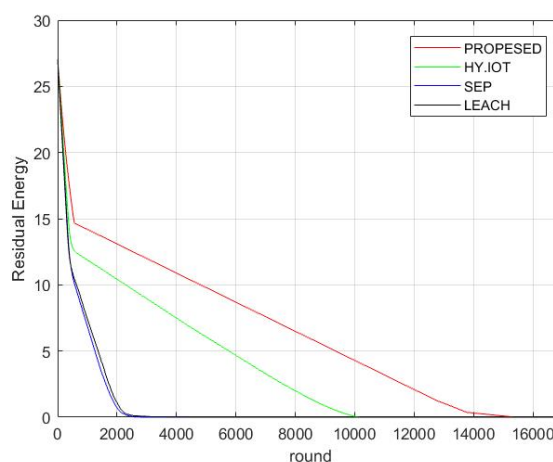
شکل ۷: توزیع گره‌ها در مناطق ناهمگن



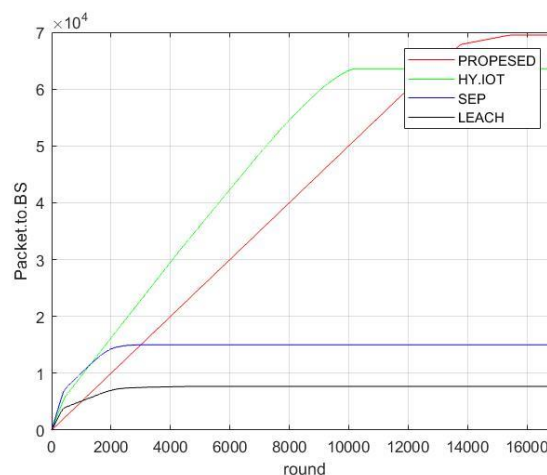
شکل ۸: مقایسه تعداد گره‌های مرده در پروتکل‌های HY-IOT, LEACH, SEP در محیط ناهمگن



شکل ۹: مقایسه تعداد گره‌های مرده در پروتکل‌های HY-IOT, LEACH, SEP در محیط همگن



شکل ۱۰: مقایسه انرژی باقی مانده در پروتکل‌های HY-IOT, LEACH, SEP در محیط همگن



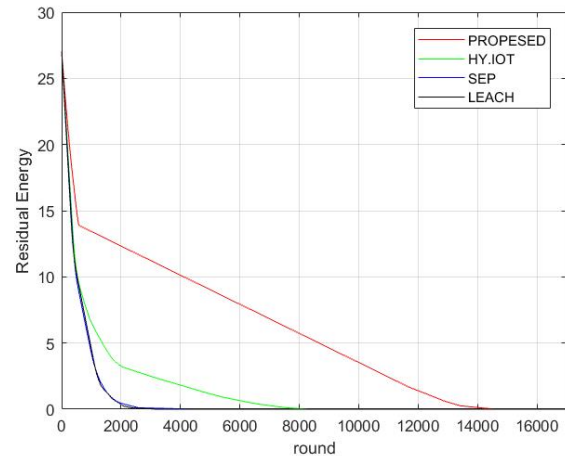
شکل ۱۱: مقایسه توان عملیاتی در پروتکل‌های HY-IOT, LEACH, SEP در محیط همگن

دومین سناریو شبیه سازی، گره‌های ناهمگن را در هر دو منطقه با ایستگاه پایه در مرکز در نظر می‌گیرد. ۲۰ درصد از گره‌ها پیشرفته و superior و ۸۰ درصد گره‌ها معمولی هستند. شکل ۷ توزیع ۱۰۰ شی را در مناطق ناهمگن نشان می‌دهد. گره‌هایی که در ناحیه اول در مختصات $0 \leq X \leq 1$ و $0 \leq Y \leq 0.5$ قرار گرفته‌اند به عنوان گره‌های superior و پیشرفته و گره‌هایی که در ناحیه دوم در مختصات $0 \leq X \leq 1$ و $0.5 \leq Y \leq 1$ قرار گرفته‌اند به عنوان گره‌های معمولی و پیشرفته در نظر گرفته شده است. گره‌های superior ۴ برابر و گره‌های

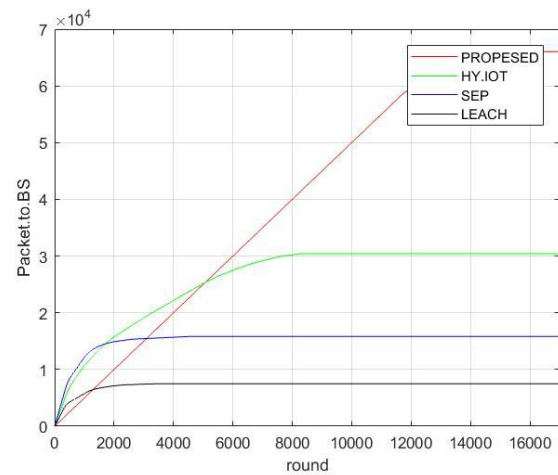
این مقاله یک پروتکل ارتباطی خوشه‌ای IOT پیشنهاد داد. تمرکز اصلی این بود که فرایند انتخاب سرخوشه در شبکه IOT را با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب بهتر کند. پروتکل‌های خوشه بندی سنتی LEACH و SEP و نسخه‌های اصلاح شده آن‌ها بیشتر برای مقابله با شبکه حسگر همگن یا شبکه حسگر ناهمگن استفاده می‌شود. تقریباً در برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی IOT، ناهمگنی انرژی اشیا کاملاً متفاوت است و معماری شبکه IOT دارای گره‌هایی با سطوح مختلف ناهمگونی انرژی است. HY-IOT برای محیط ناهمگن IOT مناسب است اما انتخاب سرخوشه را براساس احتمالات مختلف براساس سطح ناهمگونی انجام می‌دهد که پروتکل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب در فاز انتخاب سرخوشه طول عمر شبکه و میزان انرژی مصرفی و توان عملیاتی را بهبود داد. پروتکل پیشنهادی طول عمر شبکه نسبت به HY-IOT در محیط ناهمگن ۳۵٪ و در محیط همگن ۳۰٪ بهبود داد. زیرا طبق الگوریتم کرم شب تاب گره‌هایی با انرژی بیشتر و فاصله کمتر به عنوان سرخوشه انتخاب شدند در نتیجه گره‌های سرخوشه دیرتر می‌میرند و طول عمر شبکه بیشتر و تعداد بسته‌هایی که با موفقیت به مقصد می‌رسند افزایش پیدا می‌کند.

مراجع:

- [1]. Sadek, R.A., Hybrid energy aware clustered protocol for IoT heterogeneous network. Future Computing and Informatics Journal, 2018. 3(2): p. 166-177.
- [2]. Jabeur, N., et al., Toward a bio-inspired adaptive spatial clustering approach for IoT applications. Future Generation Computer Systems, 2017.
- [3]. Kaur, S. and R. Mahajan, Hybrid meta-heuristic optimization based energy efficient protocol for wireless sensor networks. Egyptian Informatics Journal, 2018. 19(3): p. 145-150.
- [4]. Arora, V.K., V. Sharma, and M. Sachdeva, A survey on LEACH and other's routing protocols in wireless sensor network. Optik, 2016. 127(16): p. 6590-6600.
- [5]. Jain, B., G. Brar, and J. Malhotra, EKMT-k-means clustering algorithmic solution for low energy consumption for wireless sensor networks based on minimum mean distance from base station, in Networking Communication and Data Knowledge Engineering. 2018, Springer. p. 113-123.
- [6]. Feng, X., et al., An unequal clustering algorithm concerned with time-delay for Internet of Things. IEEE Access, 2018. 6: p. 33895-33909.
- [7]. Jesudurai, S.A. and A. Senthilkumar, An improved energy efficient cluster head selection protocol using the double cluster heads and data fusion methods for IoT applications. Cognitive Systems Research, 2019. 57: p. 101-106.
- [8]. Thangaramya, K., et al., Energy aware cluster and neuro-fuzzy based routing algorithm for wireless sensor networks in IoT. Computer Networks, 2019. 151: p. 211-223.
- [9]. Abbasi, A.A. and M. Younis, A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. Computer communications, 2007. 30(14-15): p. 2826-2841.
- [10]. Smaragdakis, G., I. Matta, and A. Bestavros, SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. 2004, Boston University Computer Science Department.
- [11]. <http://www.social-iot.org/index.php?p=downloads>



شکل ۹: مقایسه انرژی باقی مانده در پروتکل‌های SEP, LEACH, HY-IOT, PROPOSED در محیط ناهمگن



شکل ۱۰: مقایسه توان عملیاتی در پروتکل‌های SEP, LEACH, HY-IOT, PROPOSED در محیط ناهمگن

طبق شبیه‌سازی طول عمر شبکه پروتکل پیشنهادی در محیط همگن و ناهمگن در مقایسه با HY-IOT بیشتر است. در محیط همگن گره‌های superior در منطقه ۱ و همه گره‌های معمولی در منطقه ۲ قرار دارد. در پروتکل HY-IOT که معیار انتخاب سرخوشه احتمالات وزنی گره‌ها در هر منطقه است گره‌های superior معمولاً کاندیدهای سرخوشه می‌شوند و فاصله سرخوشه تا اعضای خوشه زیاد است و انرژی بیشتری برای انتقال لازم است و گره‌ها زودتر می‌میرند. در پروتکل پیشنهادی که معیار انتخاب سرخوشه انرژی و فاصله است کاندیدهای سرخوشه انرژی بالاتر و فاصله کمتری از اعضای خوشه دارند، بنابراین گره‌های superior به عنوان سرخوشه می‌شوند که فاصله کمتری از اعضای خوشه داشته باشند به همین دلیل پروتکل پیشنهادی از HY-IOT بهتر عمل کرده است. در محیط ناهمگن در منطقه اول ۱۰ گره پیشرفته و ۱۰ گره superior و در منطقه دوم ۷۰ گره معمولی و ۱۰ گره پیشرفته قرار دارد. طبق معیار انتخاب سرخوشه پروتکل HY-IOT گره‌های سرخوشه اکثراً از منطقه اول انتخاب می‌شوند بنابراین فاصله سرخوشه تا اعضای خوشه که در منطقه ۲، زیاد است و انرژی بیشتری برای انتقال لازم است ولی در پروتکل پیشنهادی گره‌های به عنوان سرخوشه می‌شوند که انرژی بیشتر و فاصله کمتری از اعضای خوشه داشته باشند بنابراین انرژی کمتری برای انتقال لازم است و طول عمر شبکه پروتکل پیشنهادی از HY-IOT بیشتر است.

¹ Internet of thing

² Wireless sensor network