



## ارائه متدی جهت بهبود مسیریابی شبکه ناهمگن با استفاده از دو ایستگاه پایه و به کارگیری الگوریتم کرم شب تاب

نفیسه محمودی، دانشجو کارشناسی ارشد نرم افزار دانشگاه صنعتی قم، [mahmoudi.n@qut.ac.ir](mailto:mahmoudi.n@qut.ac.ir)<sup>1</sup>

محبوبه شمسی، استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم، [shamsi@qut.ac.ir](mailto:shamsi@qut.ac.ir)<sup>2</sup>

عبدالرضا رسولی کناری، استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم، [rasouli@qut.ac.ir](mailto:rasouli@qut.ac.ir)<sup>3</sup>

### چکیده

محیط اینترنت اشیا شامل اشیا و دستگاه هایی با سطوح مختلف انرژی که از طریق شبکه با یکدیگر در ارتباط هستند. مسئله اصلی کاهش مصرف انرژی در گره هایی با انرژی محدود است و در ارتباط با اینترنت اشیا، شبکه های حسگر بی سیم برای انتقال داده ها نقش بسیار مهم دارند. حسگرها یک جز اصلی در حوزه اینترنت اشیا هستند و گره های حسگر داده ها را جمع آوری می کنند و به صورت دوره ای به ایستگاه پایه ارسال می کنند و انتقال داده های چرخه ای موجب افزونگی قابل ملاحظه ای و مصرف انرژی زیادی در طول انتقال می شود. 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 با دو گره ایستگاه پایه 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 نشان می دهد که پروتکل پیشنهادی طول عمر شبکه را در محیط ناهمگن با دو گره ایستگاه پایه 30% نسبت به HY-IOT<sup>4</sup> افزایش می دهد.

واژه های کلیدی: مسیریابی، اینترنت اشیا، الگوریتم کرم شب تاب، سرخوشه، انرژی مصرفی.

<sup>1</sup>دانشگاه صنعتی قم، بلوار شهید سردار خداکرم

<sup>2</sup>دانشگاه صنعتی قم، بلوار شهید سردار خداکرم

<sup>3</sup>دانشگاه صنعتی قم، بلوار شهید سردار خداکرم

<sup>4</sup>Hybrid energy aware clustered protocol for IOT heterogeneous network



## 1- مقدمه

محیط IOT دارای بسیاری از اشیا متنوع مانند حسگرها، محرکها، تلفنهای همراه، دوربینها و... هستند و این موارد در ویژگیهای مانند انرژی در دسترس، نوع اتصال و دسترسی به اینترنت ناهمگن هستند. در ارتباط با اینترنت اشیا، شبکههای حسگر بی سیم برای نظارت و انتقال دادهها نقش بسیار مهم و حیاتی دارند. از آنجایی که گرههای حسگر متشکل از یک شبکه، انرژی کافی ندارند، این مشکل پیش میآید پس از استقرار، انرژی خود را دوباره شارژ کنند. تلاشهای تحقیقاتی در مورد خوشه‌بندی IOT به ویژه از کارهای گسترده در زمینه WSN سود می‌برد و WSN از خوشه‌بندی پشتیبانی کرده، که یکی از اهداف مهم IOT است. با این حال، خوشه‌بندی برای IOT کمی متفاوت از خوشه‌بندی سنتی WSN است. در واقع، به دلیل طبیعت فرصت طلبانه و معماری باز آن، خوشه‌بندی IOT نیاز به همکاری چندین اپراتور و تعامل پویا بین شی‌ها، در مقایسه با خوشه‌بندی WSN دارد. از آن جا که خوشه‌بندی با هدف کمینه کردن انرژی یک مساله NP-Hard است [1]. در پروتکل‌های مسیریابی WSN خوشه‌ای برای هدایت انتخاب خوشه‌ها و کشف بهترین مسیر برای صرفه‌جویی در انرژی گره‌ها از الگوریتم‌های فراابتکارانه مانند الگوریتم کرم شب تاب می‌توانیم استفاده کنیم. هنگامی که گره‌ها برای نقش سرخوشه رقابت می‌کنند، سنسورها عموماً به دنبال یک رویکردی هستند که در آن اولویت به دستگاه‌هایی با مقدار انرژی باقی مانده بالاتر یا فاصله کمتر از ایستگاه پایه داده شود، این معیارها به شدت بر روی دسترسی و هزینه‌های ارتباطی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، مهم است که رویکرد خوشه‌بندی به چه صورت انجام شود تا در نهایت طول عمر و انرژی مصرفی شبکه بهبود پیدا کند. در ادامه به پروتکل‌های مبتنی بر خوشه‌بندی و کارهای مرتبط پیشین پرداختیم.

مقاله مروری پروتکل‌های مسیریابی را براساس ساختار شبکه، توپولوژی، قابلیت اعتماد و مدل‌های ارتباطی دسته‌بندی کرده است. پروتکل‌هایی که در دسته ساختار شبکه هستند به 3 گروه سلسله‌مراتبی، مبتنی بر مکان و مسطح تقسیم می‌شوند. در پروتکل‌های سلسله‌مراتبی گره‌ها شبکه را به مجموعه‌ای از خوشه‌ها سازماندهی می‌کنند و گره دارای حداکثر انرژی سرخوشه می‌شوند. سرخوشه‌ها بصورت دوره‌ای داده‌ها را از گره‌های عضو خوشه خود جمع‌آوری می‌کنند، آن را فشرده می‌کنند و سپس داده‌های جمع‌آوری شده خود را به ایستگاه پایه تحویل می‌دهند. مانند ... LEACH, TEEN, SEP, DFCA, Z-SEP, ... در مطالعه‌ای مسیریابی مبتنی بر ترکیب ACO (بهینه‌سازی ترکیبی مورچگان) و PSO (بهینه‌سازی ازدحام ذرات) تکنیکی برای ایجاد کوتاه‌ترین مسیر بین سرخوشه‌های 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 جمع‌آوری 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 [2]. در تحقیق Neuro-Fuzzy برای تشکیل خوشه و مسیریابی کارآمد در WSN مبتنی بر IOT ارائه می‌دهد. در ابتدا الگوریتم خوشه‌بندی k-means را برای گروه‌بندی 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 [3]. در پژوهشی یک پروتکل انتخاب خوشه انرژی کارآمد را معرفی می‌کند در هر خوشه 2 سرخوشه انتخاب می‌شود و این 2 سرخوشه نقش‌های مختلفی دارند. سرخوشه اول انتقال اطلاعات به گره ایستگاه پایه را انجام می‌دهد و سرخوشه دوم دریافت اطلاعات از گره‌های میانی و انتقال به سرخوشه اول را انجام می‌دهد. ابتدا مرکز خوشه و سپس فاصله گره تا مرکز خوشه را بدست آورده است و 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 اما این پروتکل فقط برای شبکه‌های همگن ارائه شده است [4]. در تحقیق پروتکل EKMT که براساس الگوریتم K-Means معرفی 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 اما مشکل این پروتکل این است که در فرآیند انتقال داده تاخیر دارد [5]. در مطالعه‌ای یک پروتکل آگاه با انرژی ناهمگن برای شبکه پیچیده IOT با سطح ناهمگونی چندگانه واقع در مناطق مختلف ارائه کرده‌است. منطقه اول شامل گره‌های منظم است، از الگوریتم LEACH در انتخاب سرخوشه که شبیه به منطقه همگن استفاده کرده‌است. فاز انتخاب سرخوشه پروتکل LEACH به این صورت است که هر گره یک عدد تصادفی بین 0 و 1 تولید می‌کند و آن را با آستانه انتخاب تابع خوشه‌ای مقایسه می‌کند و گره‌ای سرخوشه می‌شود اگر تعداد تولید شده آن کمتر از آستانه انتخاب تابع خوشه‌ای باشد [6]. 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. فاز انتخاب سرخوشه SEP به این صورت است که از دو احتمال وزنی برای گره‌های معمولی و پیشرفته استفاده می‌کند و هر گره معمولی و پیشرفته که بخواد به عنوان سرخوشه انتخاب شود، در هر دور یک عدد تصادفی بین 0 و 1 تولید می‌کند، اگر آن عدد کوچکتر مساوی آستانه انتخاب تابع خوشه‌ای خود بود، در این صورت آن گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود [7]. 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 [8]. 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. در این پژوهش یک پروتکل IOT آگاه با انرژی ناهمگن ترکیبی برای شبکه پیچیده IOT با سطوح ناهمگونی چندگانه و دو گره ایستگاه پایه ارائه شده‌است که برای انتخاب سرخوشه‌ها و تشکیل خوشه‌ها از الگوریتم کرم شب تاب بهره می‌برد. آزمایش‌ها عملکرد امیدوار کننده پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل‌های معمول را نشان می‌دهد.

## 2- روش پیشنهادی

محیط IOT دارای بسیاری از دستگاه‌های متنوع است که در انرژی، دسترسی به اینترنت و ... ناهمگن هستند. اگرچه، 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. محیط ناهمگن IOT که در این پژوهش 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 که در برنامه‌های کاربردی IOT معمولاً این نوع از گره‌ها به عنوان نوعی از سنسورها و محرک‌ها استفاده می‌شود و در هر منطقه یک گره ایستگاه پایه قرار دارد. 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 کمینه‌کردن 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 و هر سرخوشه داده‌ها را از گره‌های عضو خود جمع‌آوری و سپس آن را به ایستگاه پایه نزدیکتر انتقال می‌دهد.

### 2-1- انتخاب سرخوشه

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 2 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 جمع‌آوری و به گره ایستگاه پایه نزدیک‌تر ارسال می‌کنند. انتخاب سرخوشه در هر دو منطقه براساس الگوریتم کرم شب تاب انجام می‌شود.



## 2-2- فاز برپاسازی

فرض می‌کنیم شبکه دارای  $n$  کرم شب تاب است که هر کرم شب تاب دارای مجموعه ای 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  $\beta$  نشان دهنده قدرت هر کرم شب تاب در جذب کرم شب تاب دیگر است.  $\beta$  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 4،  $\gamma$  ضریب جذب روشنایی و  $r$  فاصله بین دو شی و  $\beta_0$  جذابیت اولیه است.  $r$  بر اساس فاصله اقلیدسی بین دو شی مانند معادله 5 محاسبه می‌شود که در معادله 5،  $x_i, y_i$  مختصات شی  $i$  و  $x_j, y_j$  مختصات شی  $j$  است.

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

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  $\beta$  هر کرم شب تاب محاسبه می‌شود، (معادله 4) 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 4، 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 تابی با جذابیت بیشتر پیدا می‌کند. در هر تکرار، سرخوشه‌ای در همسایگی و با بیشترین جذابیت پیدا خواهد شد. اگر کرم شب تابی 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 6،  $x_i$  موقعیت قبلی کرم شب تاب و قسمت دوم فرمول جذابیت کرم شب تاب و  $\alpha$  نرخ جهش و  $\epsilon_i$  یک مقدار تصادفی است.

## 2-3- 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 جمع آوری شده را به سرخوشه در طول زمان اختصاص داده شده انتقال می‌دهد. سپس فاصله هر یک از سرخوشه‌ها تا هر دو ایستگاه پایه براساس فاصله اقلیدسی طبق معادله 7 محاسبه می‌شود و هر سرخوشه داده‌های جمع آوری شده خود را به ایستگاه پایه‌ای با فاصله کمتر ارسال می‌کند. در زمان دریافت و ارسال اطلاعات، انرژی مصرفی گره‌ها براساس دو مدل انتشار کانال طبق معادله 8 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.

$$r_{ij} = \sqrt{(c_i - b_j)^2 + (c_i - b_j)^2} \quad (7)$$

که در معادله 7  $c_i$  مختصات گره سرخوشه و  $b_j$  مختصات گره ایستگاه پایه است.

$$E_{tx}(L, D) = \begin{cases} 1) L.E_{elec} + L.E_{fs}.d^2 & \text{if } d < d_0 \\ 2) L.E_{elec} + L.E_{amp}.d^4 & \text{if } d \geq d_0 \end{cases} \quad (8)$$



که در معادله 8،  $L$  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 و  $d_0 = \frac{\sqrt{E_{fs}}}{E_{amp}}$  است.

### 3- شبیه سازی

برای شبیه سازی پروتکل پیشنهادی از برنامه Matlab2017 استفاده شده است. پروتکل پیشنهادی را با پروتکل های موجود LEACH SEP.HY-IOT در محیط ناهمگن IOT مقایسه کردیم. یک محیط ناهمگن IOT که شامل 2 منطقه است منطقه اول اکثرا گره های معمولی و برخی از گره های پیشرفته و منطقه دوم دارای گره های superior همراه با گره های پیشرفته است که گره های معمولی دارای انرژی اولیه 0,15، گره های پیشرفته 2 برابر و گره های superior 4 برابر گره های معمولی انرژی دارند و 2 گره ایستگاه پایه در محیط قرار دارد.

### 3-1- شبیه سازی پارامترها

منطقه ای با مختصات  $X \times Y$  و ابعاد  $100 \times 100$  متر در نظر گرفته شده است و 100 گره در مناطق بر اساس معیار انرژی توزیع شده است. 20 درصد از گره ها پیشرفته و superior و 80 درصد از گره ها معمولی هستند و 2 گره ایستگاه پایه در مختصات  $(x=50, y=20)$ ،  $(x=50, y=80)$  قرار دارد. منطقه دارای 2 ناحیه است. ناحیه اول دارای مختصات  $0 \leq X \leq 100$  و  $0 \leq Y \leq 50$  که شامل 20 گره پیشرفته و superior و ناحیه دوم دارای مختصات  $0 \leq X \leq 100$  و  $50 \leq Y \leq 100$  که شامل 80 گره پیشرفته و معمولی که به طور تصادفی توزیع شده است. در منطقه اول 10 گره پیشرفته و 10 گره superior و در منطقه دوم 10 گره پیشرفته و 70 گره معمولی به طور تصادفی توزیع شده است. پارامترهای شبیه سازی و رادیویی که در شبیه سازی استفاده شده است در جدول 1 نمایش داده شده است. انتخاب سرخوشه توسط الگوریتم کرم شب تاب انجام می شود و 5 درصد گره ها به عنوان سرخوشه است و تعداد تکرار الگوریتم کرم شب تاب 5 و حداکثر دور 17000 در نظر گرفتیم.

جدول 1 پارامترهای شبیه سازی

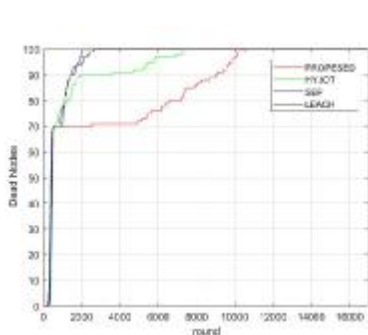
پارامترها	مقدار
اندازه شبکه	100m × 100m
تعداد گره ها	100
سایز پاکت	4000bit
انرژی اولیه	0.15j
$E_{elec}$ انرژی انتقال و دریافت	5nj/bit
$E_{fs}$ انرژی تقویتی برای فاصله کوتاه	10pj/bit/m <sup>2</sup>
EDA انرژی برای تجمیع داده ها	5nj/bit/signal
$E_{amp}$ انرژی تقویتی برای فاصله زیاد	0.013 pj/bit/m <sup>4</sup>
احتمال $p_{opt}$	0.1
نرخ جهش $\alpha$	0.5
ضریب جذب اولیه $\beta$	0.2
ضریب جذب روشنایی $\gamma$	1

### 3-2- نتایج شبیه سازی

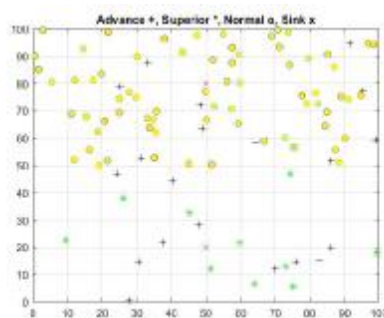
شبیه سازی با پنج آزمایش مشابه با نمونه های مختلف از گره ها که به طور تصادفی مستقرند با پارامترهای مشابه انجام شده است و سپس به منظور اطمینان از نتایج دقیق تر، میانگین گرفته شد. اندازه گیری طول عمر شبکه، توان عملیاتی و انرژی باقی مانده برای ارزیابی مقایسه



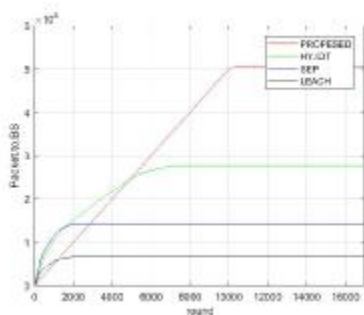
عملکرد پروتکل‌های مختلف (proposed, HY-IOT, SEP, LEACH) استفاده می‌شود. در آزمایش اثر وجود 2 گره ایستگاه پایه در محیط ناهمگن را بررسی می‌کند. 2 گره ایستگاه پایه در موقعیت‌های  $(x=50, y=20)$ ,  $(x=50, y=80)$  قرار دادیم، در منطقه اول 20 گره پیشرفته و superior و در منطقه دوم 70 گره معمولی و 10 گره پیشرفته به طور تصادفی توزیع شده است مانند شکل 1 بخش a در نظر گرفته شده است. فاصله هر یک از گره‌های سرخوشه تا هر دو گره ایستگاه پایه محاسبه می‌شود هر کدام که فاصله کمتری داشته باشند گره سرخوشه داده خود را به آن ایستگاه پایه ارسال می‌کند. در شکل 1 بخش های b, c, d به ترتیب طول عمر شبکه، انرژی باقی مانده و توان عملیاتی مورد آزمایش قرار دادیم، نشان می‌دهد. با توجه به شبیه سازی، طول عمر شبکه و توان عملیاتی پروتکل پیشنهادی نسبت به SEP, LEACH, HY-IOT بیشتر است. طبق شکل 1 بخش b طول عمر شبکه الگوریتم پیشنهادی با 2 گره ایستگاه پایه نسبت به HY-IOT 30% افزایش یافته 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 1 بخش c دیرتر از 3 الگوریتم دیگر به پایان رسیده است به دلیل اینکه انتخاب سرخوشه بهینه‌تر و انرژی گره‌ها دیرتر به پایان می‌رسد. توان عملیاتی پروتکل پیشنهادی نسبت به SEP, HY-IOT LEACH طبق شکل 1 بخش d 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 پایه‌ها می‌شود.



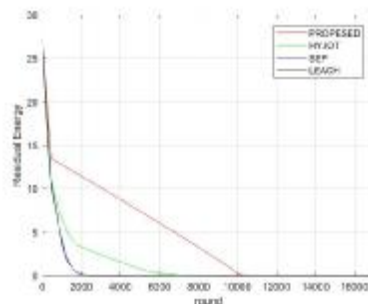
(b)



(a)



(d)



(c)

شکل 1- بخش a توزیع 100 گره در مناطق ناهمگن بخش b طول عمر شبکه بخش c انرژی باقی مانده بخش d توان عملیاتی و موقعیت گره های ایستگاه پایه  $(x=50, y=20)$ ,  $(x=50, y=80)$



اثر وجود 2 گره ایستگاه پایه در هر دو منطقه محیط ناهمگن نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی با قرار دادن 2 گره ایستگاه پایه به خوبی عمل می‌کند. با وجود 2 گره ایستگاه پایه فاصله گره‌های سرخوشه منتخب تا گره‌های ایستگاه پایه کمتر می‌شود در نتیجه انرژی گره‌های سرخوشه دیرتر به پایان می‌رسد و طول عمر شبکه افزایش پیدا می‌کند.

## نتیجه گیری

این تحقیق 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 با وجود 2 ایستگاه پایه 30% بهبود داد. زیرا طبق الگوریتم کرم شب تاب گره‌هایی با انرژی بیشتر و فاصله کمتر به عنوان سرخوشه انتخاب شدند و گره‌های سرخوشه داده‌های جمع آوری شده خود را به ایستگاه پایه نزدیک‌تر ارسال می‌کند در نتیجه گره‌های سرخوشه دیرتر می‌میرند و طول عمر شبکه بیشتر و تعداد بسته‌هایی که با موفقیت به مقصد می‌رسند افزایش پیدا می‌کنند.

## مراجع

- [1] Jabeur, N., et al., *Toward a bio-inspired adaptive spatial clustering approach for IoT applications*. Future Generation Computer Systems, 2017.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [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] Abbasi, A.A. and M. Younis, *A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks*. Computer communications, 2007. 30(14-15): p. 2826-2841.
- [7] Smaragdakis, G., I. Matta, and A. Bestavros, *SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks*. 2004, Boston University Computer Science Department.
- [8] Sadek, R.A., *Hybrid energy aware clustered protocol for IoT heterogeneous network*. Future Computing and Informatics Journal, 2018. 3(2): p. 166-177.