

## ارائه پروتکلی جدید برای مسیریابی در اینترنت اشیاء مبتنی بر خوشه بندی

هاجر خسروی<sup>۱</sup>، سیده مینا سلیمی<sup>۲</sup>، بابک نوری مقدم<sup>۲</sup>، سید محمدعلی سلیمی<sup>۴</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه مقدس اردبیلی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، رشت، ایران

۳- استاد یار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، اردبیل، ایران

۴- کارشناسی ارشد نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، اردبیل، ایران

### چکیده

در اینترنت اشیاء دستگاه‌های مختلف امکان برقراری ارتباط به صورت بیسیم به منظور رهگیری و کنترل از طریق اینترنت را دارا می‌باشند. به عبارتی، اشیاء به صورت مستقل می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و به تبادل اطلاعات بپردازند. بحث مسیریابی در حوزه اینترنت اشیاء ابعاد بسیار گسترده‌ای دارد که به دلیل وابستگی بالای آن به سخت‌افزار و نرم‌افزار، چالش‌های متنوعی را رغم زده است. چالش‌هایی چون سربار محاسباتی، پیچیدگی‌های الگوریتمیک، قابلیت اطمینان، تحمل‌پذیری خطای سخت‌افزاری و بسیاری از چالش‌های دیگر تاثیرات خود را در مسیریابی و انتقال داده از مبدا تا مقصد پیام خواهد گذاشت. در سال‌های اخیر کارهای متعددی برای پروتکل‌های مسیریابی در حوزه اینترنت اشیاء انجام شده است. در این مقاله پروتکلی جدید برای مسیریابی در اینترنت اشیاء مبتنی بر خوشه‌بندی ارائه شده است که هدف از روش پیشنهادی کاهش مصرف انرژی و میزان حجم ارتباطات بین گره‌های شبکه است. روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده که نتایج حاصل از پیاده‌سازی با پارامترهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند که روش پیشنهادی علاوه بر عملکرد و توان عملیاتی بالا، میانگین انرژی مصرفی را نسبت به الگوریتم‌های دیگر کاهش داده و انرژی را میان گره‌ها به طور متعادلتر مصرف می‌کند.

**کلمات کلیدی:** اینترنت اشیاء، مسیریابی، خوشه‌بندی، مصرف انرژی، شبکه حسگر.

### ۱. مقدمه

اینترنت اشیاء (IoT) مفهومی جدید در دنیای فناوری و ارتباطات است در حقیقت اینترنت اشیاء یک شبکه ارتباطی برای حس کردن، کنترل و ادغام اشیاء هوشمند و غیر هوشمند است. اینترنت اشیاء با فناوری جدید فعال مانند محاسبات ابری، شبکه بر پایه نرم افزار و غیره، بسیاری از برنامه‌های کاربردی جدیدی را فراهم می‌کند. محیط اینترنت اشیاء دارای بسیاری از دستگاه‌های متفاوت (اشیاء) از جمله حسگرها، تلفن‌های همراه، شناسایی با فرکانس رادیویی و سایر موارد است [1]. اینترنت اشیاء میلیاردها دستگاه را قادر می‌سازد تا با اتصال به شبکه برای جمع‌آوری و تبادل اطلاعات به صورت بی درنگ

برای ارائه خدمات هوشمند، با یکدیگر در ارتباط باشند. بنابراین، اینترنت اشیا اجازه می‌دهد که دستگاه‌های متصل را کنترل کرد [2]. از آنجا که انتقال داده در اینترنت اشیا امری ضروری است، مسیریابی در لایه شبکه برای فراهم کردن ارتباط داده‌ها در معماری اینترنت اشیا که هسته فناوریهای اصلی است، دارای اهمیت می‌باشد. روند تحویل اطلاعات در تکنولوژی اینترنت اشیا به این صورت است که به اشیا مورد نظر یک شناسه منحصر به فرد و یک کد اینترنتی داده شده که اطلاعات لازم را برای پایگاه دادهی مربوطه تحویل می‌دهد. اطلاعاتی که توسط ابزارهای مختلف از قبیل لپ‌تاپها و انواع کامپیوترها و گوشی موبایل قابل مشاهده خواهند بود. رویکرد اساسی یک پروتکل مسیریابی انتخاب مسیر مناسب از تعداد مسیرهای مختلف در دسترس است که مبتنی بر پارامترهای موجود و قابل استفاده، کارآمدترین باشد؛ مسیری که انرژی کمتری را در بین مسیرهای موجود داشته باشد میتواند در افزایش طول عمر شبکه مؤثر باشد. بر این اساس، مدیریت انرژی و افزایش عملکرد شبکه از اهداف ضروری برای برآورده ساختن نیازهای اینترنت اشیا برای برنامه‌های کاربردی و خدمات ناهمگن است. گرچه در مسیریابی و مصرف انرژی نقش دارند. در برخی موارد گرجهایی وجود دارند که تلاش میکنند از منابع شبکه به نفع خود استفاده کنند، این گره که خودخواه نامیده میشود مصرف انرژی در مسیریابی را افزایش میدهد. با توجه مطالب بیان شده یکی از رویکردها برای حل این مشکلات بهره‌گیری از روشهای خوشه‌بندی و اجتناب از گرجهایی با حجم ارتباطات بالا در فرآیند مسیریابی است. در روشهای قبلی جهت خوشه‌بندی از تعداد همسایهها و فاصله بین گرچه استفاده شده است که در این تحقیق تمرکز بیشتر ما بر ارائه یک پروتکل جدید برای مسیریابی در لایه شبکه اینترنت اشیا مبتنی بر خوشه‌بندی و استفاده از پارامترهای بیشتر است. پارامترهای در نظر گرفته شده جهت فرآیند خوشه بندی، تعداد بسته‌های ارسالی/دریافتی هر گره و واریانس فاصله بین سرخوشهها است. استفاده از پارامترهای مورد نظر در روش پیشنهادی به این صورت است که اگر تعداد بسته‌های ارسالی و دریافتی یک گره بیشتر باشد بهتر است که گره مورد نظر سرخوشه باشد تا برای ارتباط با شبکه یک گره دیگر (سرخوشه) را مشغول نکند و خود به عنوان سرخوشه مستقیماً مبدا و مقصد باشد. همچنین هرچه واریانس فاصله بین سرخوشهها کمتر و سطح پوشش بیشتر باشد در این حالت توزیع سرخوشهها متوازن بوده و عملکرد کل شبکه بهتر خواهد بود.

## ۲. کارهای مرتبط

مسیریابی در اینترنت اشیا ابعاد بسیار گسترده‌ای دارد که به دلیل وابستگی بالای آن به سخت افزار، نرم افزار و سیستم عامل درون‌ساز شده چالشهای متنوعی را نیز رزم زده است. مواردی چون سربار محاسباتی، پیچیدگیهای الگوریتمیک، امنیت، قابلیت اطمینان، تحملپذیری خطای سخت افزاری، خطای داده و بسیاری از چالشهای دیگر تأثیرات خود را در مسیریابی و انتقال داده از مبدا تا مقصد پیام خواهد گذاشت. چالشهایی که در تأمین کیفیت خدمات مسیریابی اینترنت اشیا مطرح شده اکثراً ناشی از عدم توازن، عدالت، هوشمندی در مسیریابی و کنترل توپولوژی است.

در مطالعه [3] یک پروتکل مسیریابی سبز کارآمد انرژی برای اینترنت اشیا چندرسانه‌های ارائه شده است. هدف این مقاله، طراحی یک نسخه RPL ارتقا یافته برای اینترنت اشیا چند رسانه‌های است که در آن اطلاعات حس شده، ضرورتاً توسط دستگاههای چند رسانه‌های ارائه میشوند. پروتکل پیشنهادی، انتشارهای آثار کربن و مصرف انرژی را در طول تلفیق شرایط لازم کیفیت سرویس ویژه برنامه‌ی کاربردی را به حداقل میرساند. در مطالعه دیگری در مرجع [4]، یک پروتکل مسیریابی ارائه شده است که مصرف انرژی در وسایل ناهمگن را در نظر خواهد گرفته است. همچنین یک کنترل کننده SDN نیز در شبکه معرفی شده که به عنوان یک مدیر متمرکز خدمت نموده و شبکه امنی را به وسیله محروم ساختن دسترسی گرجهای خودخواهی که در شبکه حاضر هستند، فراهم میکند. در [5] مقاله یک پروتکل جدید مسیریابی تحرک و انرژی کارآمد مبتنی بر پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های کم توان دارای تلفات (استاندارد RPL) ارائه شده است. برخلاف RPL که برای شبکه‌های با منابع کم و براساس دستگاههای استاتیکی طراحی شده پروتکل پیشنهادی امکان نگهداری بهتر انرژی و حفظ اتصال در



گره‌های متحرک را فراهم میکند. مقاله [6]، یک طرح ارائه شده که تاخیر انتها به انتها را کاهش میدهد طرح پیشنهادی یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی است که برای شبکه‌های مش بیسیم در حوزه اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. روش ارائه شده کیفیت هر مسیر و طول عمر گره‌ها را در نظر می‌گیرد. همچنین از تداخل کانال ایستگاه مش و اطلاعات مربوط به صف را برای رسیدگی به چالش‌های کشف مسیر استفاده میکند. مقاله [7] یک طرح مسیریابی چندکاناله چندگامی کارآمد آگاه از انرژی برای ارتباطات دستگاه به دستگاه در شبکه مش اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. در روش ارائه شده یک نقشه محیط رادیویی از طریق حسگرهای طیفی حاصل شده که استفاده از طیف فضایی-زمانی را ضبط میکند. از نقشه محیط رادیویی برای طرح مسیریابی چندگامی استفاده میکند که شامل موارد: بهترین مسیر، بهترین کانال‌های موجود در هر گام در طول مسیر و قدرت انتقال مطلوب برای هر گام است. روش ارائه شده در این مقاله برای حفظ ارتباطات دستگاه به دستگاه موازی از یک مدل تخصیص مسیر تئوری بازی استفاده میکند که این مورد موارد ذیل را تضمین می‌کند: ذخیره انرژی دستگاه، بهینه‌سازی نرخ داده انتها به انتها، همگرایی سریع و تخصیص مسیرومنصفانه میان ارتباطات دستگاه به دستگاه. در مطالعه دیگری [8] یک ساختار خوشه مبتنی بر قانون عصبی فازی و پروتکل مسیریابی برای انجام مسیریابی کارآمد در شبکه‌های حسگر بی سیم مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه شده است. آزمایشات انجام شده در این کار تحقیقاتی با استفاده از مدل پیشنهادی، ثابت شده است که الگوریتم ارائه شده، عملکرد بهتر شبکه را از لحاظ معیارهایی مانند انرژی، نسبت تحویل بسته، تاخیر و طول عمر شبکه ارائه میدهد. مقاله [9] یک پروتکل جدیدی به نام IoT-AODV پیشنهاد شده است. که رویکرد ارائه شده در سناریوهای مختلف با استفاده از شبیه‌ساز NS2 مورد پیاده‌سازی قرار گرفته شده است. برای پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی، از فرآیند یادگیری آستانه توان برای محاسبه پارامترها استفاده شده است. معیارهای در نظر گرفته شده جهت تحلیل نتایج حاصل از پیاده‌سازی شامل موارد: سربار مسیریابی، نرخ تحویل بسته، نرخ گم شدن بسته و تاخیر انتها به انتها. مقاله [10] یک الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه برای پیدا کردن سرخوشه بهینه برای پروتکل مسیریابی کارآمد انرژی در شبکه اینترنت اشیا ارائه شده است. انتخاب گره سرخوشه با یک تابع برازندگی انجام میشود که این تابع برازندگی معیارهایی مانند فاصله، تاخیر، طول عمر لینک و انرژی را در نظر می‌گیرد. الگوریتم مورد نظر با استفاده از نرم افزار متلب پیاده‌سازی شده و با الگوریتم‌های دیگر کلونی زنبور مصنوعی، الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مورد تحلیل قرار گرفته شده است. مقاله [11] طراحی و پیاده‌سازی یک پروتکل مسیریابی کارآمد انرژی برای اینترنت اشیا را بیان میکند. روش پیشنهادی در این مقاله از سیستم استنتاج فازی برای ادغام معیارهای آگاه از انرژی استفاده کرده است که با این کار طول عمر شبکه افزایش یافته است. نتایج با استفاده از نرم افزار متلب پیاده‌سازی شده و عملکرد بهتر برای سناریوی داده شده را نشان میدهد. در مطالعه دیگری [12] یک الگوریتم مسیریابی خوشه‌بندی کارآمد انرژی برای شبکه‌های حسگر بیسیم در حوزه اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. در این مطالعه با توجه به توزیع ترافیک غیریکنواخت، یک طرح تشکیل خوشه ای نامناسب برای ایجاد تعادل بار و بهره‌وری انرژی ارائه شده و همچنین برای تعادل مصرف انرژی درون هر خوشه یک میکانیزم چرخش سرخوشه توزیع شده پیشنهاد شده است. در مرجع [13] یک الگوریتم مسیریابی درختی جدید برای انتخاب سرخوشه کارآمد در شبکه‌های اینترنت اشیا ارائه شده است. در روش پیشنهادی با ایجاد یک درخت سلسله مراتبی از سرخوشه‌ها توانسته ۸۵٪ مصرف انرژی را کاهش دهد. در مقاله [14] یک مسیریابی احتمالاتی کارآمد انرژی مبتنی بر مدل منطق فازی برای اینترنت اشیا جهت کنترل ارسال بسته‌های درخواست مسیر برای افزایش طول عمر شبکه و کاهش گم شدن بسته ارائه شده است. کنترلگر منطق فازی، توصیفگرهای ورودی در معیارهای مسیریابی را برای بهینه‌سازی عملکرد شبکه را پذیرش میکند. الگوریتم پیشنهادی مسیریابی احتمالاتی کارآمد انرژی با استفاده از قوانین استنتاج فازی جهت ادغام معیارهای آگاه از انرژی جهت انتخاب مسیر بهینه را اتخاذ میکند.

## ۱.۱.۲. کارهای مرتبط

در این بخش به مطالعه و ارزیابی برخی پروتکل‌های مسیریابی پایه مورد استفاده قرار می‌گیرند، پرداخته می‌شود. اکثر روش‌های ارائه شده برای مسیریابی اینترنت اشیا جهت بهبود مصرف انرژی از پروتکل‌های پایه به عنوان پروتکل‌های استاندارد جهت مقایسه نتایج روش خود با آنها استفاده می‌کنند.

### ۱.۱.۲. روش (LEACH)

در پروتکل LEACH [15] نقش سرخوشه به صورت دوره‌ای در میان گره‌های شبکه منتقل می‌شود تا انرژی مصرفی توزیع شود. عملکرد LEACH بر اساس دوران است، یک سرخوشه در هر دور انتخاب می‌شود. برای این انتخاب، تعدادی از گره‌هایی که سرخوشه نشده‌اند و در صدی از سرخوشه‌ها استفاده می‌شوند. هنگامیکه سرخوشه در فاز راهاندازی تعریف می‌شود، برنامه TDMA را برای انتقال در خوشه خود ایجاد می‌کند. این زمانبندی به گره‌ها اجازه می‌دهد که اتصال خود را تا زمانی که کار نمی‌کنند غیرفعال کنند. سرخوشه مسیریاب به سینک است و همچنین مسئول جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد. همانطور که سرخوشه کنترل حسگرها را در یک منطقه بسته انجام می‌دهد، جمع‌آوری اطلاعات انجام شده توسط این رهبر امکان حذف افزونگی را می‌دهد. ایده اصلی در LEACH تشکیل یک خوشه بر اساس قدرت سیگنال حسگرها است. بعضی از گره‌ها به صورت تصادفی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند و یک گره به سرخوشه بر اساس قدرت سیگنال دریافت شده توسط آن گره از سرخوشه اختصاص داده می‌شود. سرخوشه‌ها باید کار بسیار بیشتری نسبت به گره‌های معمولی انجام دهند، بنابراین آنها انرژی بیشتری را از بین می‌برند و ممکن است سریع بمیرند. به منظور حفظ یک شبکه پایدار، سرخوشه‌ها در هر دور به چرخش ادامه می‌دهند. بنابراین، یک گره که به سرخوشه تبدیل شده است ممکن است فرصتی برای تبدیل به سرخوشه شدن دوباره قبل از یک فاصله زمانی تعیین شده‌ای را نداشته باشد.

### ۲.۱.۲. پروتکل خوشه‌بندی (LEACH-C)

نسخه متمرکز پروتکل LEACH، پروتکل LEACH-C است [16]. این طرح نیز بر اساس دوران زمانی است که به مرحله فاز تنظیمات و فاز ثابت تقسیم می‌شود. در مرحله تنظیم، حسگرها ایستگاه مرکزی را از موقعیت و سطح انرژی خود مطلع می‌کنند. با استفاده از این اطلاعات، ایستگاه مرکزی ساختار خوشه‌ها و خوشه‌ی مکاتبه‌کننده را تعیین می‌کند. از آنجایی که ایستگاه مرکزی دارای دانش کاملی از وضعیت شبکه است، ساختار خوشه‌های حاصل از LEACH-C به عنوان بهینه‌سازی نتایج LEACH در نظر گرفته می‌شود. در این پروتکل جهت تعیین سرخوشه از معادله زیر استفاده می‌شود:

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

در معادله فوق  $P$  برابر درصد مورد نظر سرخوشه‌های می باشد،  $G$  مجموعه گره‌هایی است که در آخرین  $1/P$  دور، سرخوشه نبوده‌اند. با استفاده از این حد آستانه\*، هر گره در هر  $1/P$  دور، در یکی از دوره‌ها سرخوشه می‌شود. در اولین دور همه گره‌ها با احتمال  $P$  می‌توانند سرخوشه شوند ولی هر گره بعد از سرخوشه شدن حداقل به تعداد  $1/P$  دور نمی‌تواند سرخوشه شود. در دوره‌های بعدی احتمال انتخاب شدن گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب نشده‌اند افزایش پیدا می‌کند تا جایی که در دور  $1/P - 1$  ام  $T$  برابر  $1$  خواهد شد.

\* Threshold

### ۳.۱.۲. پروتکل (SEP)

پروتکل SEP [17] نسخه‌ی بهبود یافته‌ی از LEACH است که در آن ناهمگونی شبکه‌ها در نظر گرفته شده است. در SEP برخی از گره‌های انرژی بالا به عنوان گره‌های پیشرفته نامگذاری شده‌اند و احتمال گره‌های پیشرفته برای تبدیل به سرخوشه شدن نسبت به گره‌های غیر پیشرفته بیشتر است. مزیت اصلی این روش در این است که نیازی به هیچ دانش سراسری درباره انرژی در هر دوره انتخاب نیست. محدودیت روش پیشنهادی SEP این است که انتخاب سرخوشه‌ها در میان دو نوع گره، پویا نیست در نتیجه گره‌هایی که از گره‌های قدرتمند دور هستند، ابتدا از بین می‌روند.

### ۴.۱.۲. پروتکل cb-IoT

در این پروتکل [18] در محیط شبکه تعدادی گره وجود دارد که برای هر گره همسایه‌ها معلوم است گره‌ی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود که تعداد همسایه‌هاش از تعداد همسایه‌های، همسایه خود بیشتر باشد. در فاز راه اندازی شبکه، هر گره تعداد همسایه‌های خود را به گره‌هایی که در همسایه خود است، اطلاع می‌دهد. هر گره با اطلاع از تعداد همسایه‌های خود، فرایند مربوط به سرخوشه انتخاب می‌شود. پس از انتخاب گره سرخوشه، فرآیند مربوط به انتخاب گره رله انجام می‌شود. برای مثال اگر گره‌ی زیرخوشه سرخوشه A باشد و برداردیویی خود به سرخوشه B برسد، به عنوان گره رله انتخاب می‌شود.

### ۵.۱.۲. پروتکل Hy-IoT

در روش HY محیط شبکه را به دو قسمت تقسیم می‌کند یک قسمت حساس و قسمت دیگر عادی؛ قسمت حساس با LEACH و قسمت عادی با SEP خوشه‌بندی می‌شود. و براساس خوشه‌بندی ارسال اطلاعات بین گره‌های حسگر و ایستگاه پایه صورت می‌گیرد [19].  
جداول ۱ و ۲ به ترتیب مزایا و معایب و ارزیابی هریک از پروتکل‌های مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مزایا و معایب پروتکل‌های خوشه‌بندی

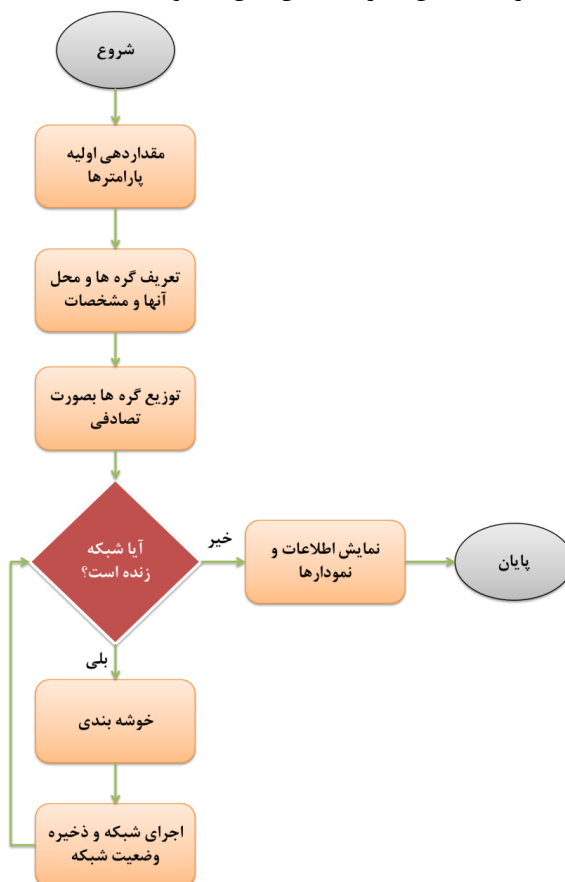
پروتکل	مزایا	معایب
LEACH	عدم نیاز به داشتن اطلاعات درباره شبکه	انتخاب سرخوشه‌ها به صورت تصادفی و شانس برابر برای تمام گره‌ها و بدون در نظر گرفتن میزان انرژی باقیمانده
LEACH-C	توزیع یکنواخت سرخوشه‌ها	مناسب نبودن برای شبکه‌های خیلی بزرگ به دلیل استفاده از ارتباطات تک گامه
SEP	کاهش مصرف انرژی	مناسب نبودن برای شبکه‌های خیلی بزرگ و کنترل سربار زیاد است
Cb-IoT	داشتن کمترین پیچیدگی	مناسب نبودن برای شبکه‌های خیلی بزرگ به دلیل استفاده از ارتباطات تک گامه
Hy-IoT	مقیاس‌پذیر بودن	داشتن پیچیدگی بالای الگوریتم

جدول ۲- مقایسه و ارزیابی پروتکل‌های خوشه‌بندی نسبت به همدیگر

پروتکل	میزان پیچیدگی	توزیع گره‌ها	تأخیر	انرژی کارآمدی	مقیاس پذیری	کنترل سر بار
LEACH	خیلی کم	تصادفی	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم
LEACH-C	کم	تصادفی	خیلی کم	کم	خیلی کم	متوسط
SEP	کم	تصادفی	متوسط	کم	خیلی کم	زیاد
Cb-IoT	کم	تصادفی	متوسط	کم	متوسط	متوسط
Hy-IoT	زیاد	تصادفی	متوسط	متوسط	زیاد	کم

### ۳. روش پیشنهادی

روش پیشنهادی جهت خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه از روش ترکیبی با در نظر گرفتن پروتکل‌های LEACH-C و SEP استفاده میکند با این تفاوت که در روش پیشنهادی پس از انتخاب سرخوشه، فرآیند مربوط به حذف تعدادی سرخوشه با استفاده از دو معیار واریانس فواصل و تعداد بسته‌های ارسال و دریافت انجام میشود. بنابراین در روش ارائه‌شده در دو مرحله صورت می‌گیرد مرحله خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه و مرحله دوم حذف تعدادی از سرخوشه در محیط شبکه است. در ادامه تشریح روش پیشنهادی با جزئیات کامل همراه با مثال بیان میشود.



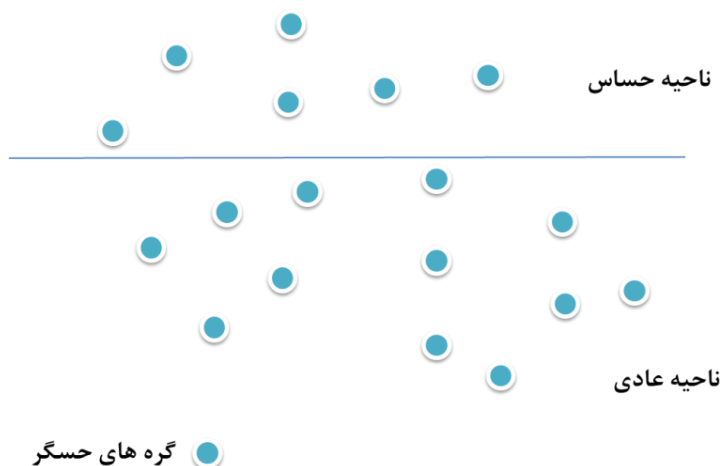
شکل ۱- فلوچارت کلی از الگوریتم پیشنهادی

### ۱.۳. نحوه خوشه بندی در روش پیشنهادی

قبل از تشریح روش پیشنهادی محیط شبکه با تعداد گره (اشیاء) ایجاد میشود هر شی که به عنوان گره در نظر گرفته شده به صورت تصادفی در محیط شبکه پخش میشوند تا فرآیند مربوط به خوشه‌بندی روش پیشنهادی اعمال شود. در ادامه جهت خوشه‌بندی گرهها ابتدا محیط شبکه به دو قسمت تقسیم میشود قسمت اول حساس و قسمت دوم عادی نامیده میشود. پس از ناحیه‌بندی شبکه، هر ناحیه به صورت مجزا خوشه‌بندی می‌شود قسمت اول با استفاده از الگوریتم LEACH-C و قسمت دوم با استفاده از الگوریتم SEP خوشه‌بندی میشود. با فرآیند خوشه‌بندی برای هر ناحیه، سرخوشهها مشخص میشوند در ادامه تعدادی سرخوشه با استفاده از دو معیار واریانس فواصل و تعداد بستههای ارسال و دریافت حذف می‌شود. به این صورت که برای هر خوشه دو معیار مورد نظر محاسبه میشود و اگر یکی از شرطها برقرار نباشد سرخوشه مورد نظر حذف میشود. به عبارتی برای هر سرخوشه، اگر واریانس فواصل کوچکتر از نرمال واریانس باشد و همچنین تعداد بستههای ارسال و دریافت بیشتر از نرمال ارسال و دریافت باشد؛ بدین صورت شرایط برقرار بوده و سرخوشه حذف نمیشود اما اگر یکی از شرایط برقرار نباشد، سرخوشه حذف شده و تبدیل به گره عادی در شبکه میشود.

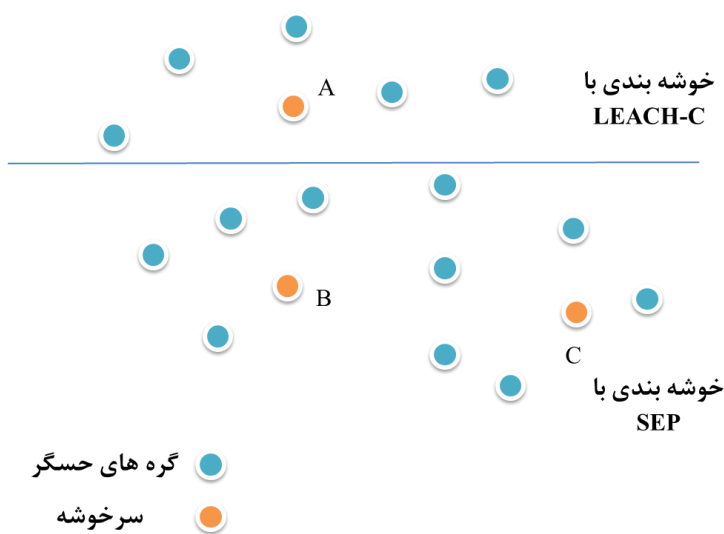
#### ۱.۱.۳. تشریح روش پیشنهادی در قالب یک مثال

در این بخش روش پیشنهادی بیان شده در قالب یک مثال بیان میشود؛ بنابراین محیط شبکه با تعدادی گره مشخص در شکل ۲ فرض میشود که در محیط مورد نظر شبکه به دو قسمت تقسیم بندی شده است.



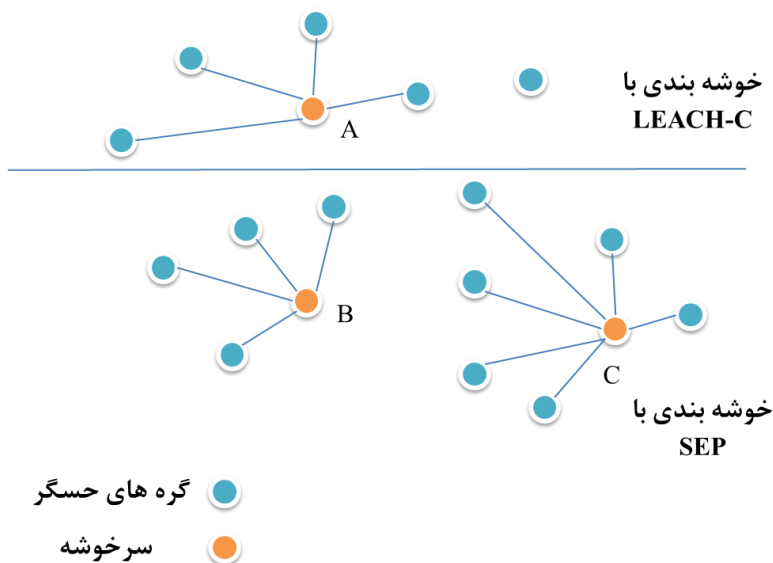
شکل ۲- ناحیه بندی شبکه در روش پیشنهادی

که با خوشه‌بندی هر ناحیهها توسط الگوریتم LEACH-C (برای ناحیه حساس) و SEP (برای ناحیه عادی)، تعدادی گره سرخوشه مشخص میشود. در شکل ۳ فرض میشود که تعداد سه سرخوشه (A, B و C) وجود دارد.



شکل ۳- خوشه بندی ناحیه های با روشهای LEACH-C و SEP

در ادامه بیان می شود که سرخوشه حذف میشود همانطور که قبلا بیان شد برای حذف سرخوشه دو معیار واریانس فواصل و تعداد بستههای ارسال و دریافت در نظر گرفته میشود. با عدم برقراری یکی از معیارها، سرخوشه حذف میشود. جهت حذف یا عدم حذف سرخوشه به این صورت عمل میشود که ابتدا برای هر سرخوشه، دو معیار مورد نظر محاسبه میشود جهت محاسبه معیار فواصل واریانس؛ ابتدا نرمال واریانس برای گام قبلی محاسبه شده سپس فواصل واریانس برای هر سرخوشه محاسبه میشود اگر واریانس فواصل کوچکتر از نرمال واریانس باشد؛ شرط اول برقرار است و همچنین جهت محاسبه معیار تعداد بستههای ارسال و دریافت، ابتدا نرمال بستههای دریافت محاسبه شده؛ سپس برای هر سرخوشه اگر تعداد بستههای ارسال و دریافت بیشتر از نرمال ارسال و دریافت باشد شرط دوم نیز برقرار بوده و سرخوشه حذف نمی‌شود. برای بیان دقیق مورد بیان شده شکل ۴ را در نظر بگیرید.



شکل ۴- فرآیند مربوط به انتخاب و حذف سرخوشه



با در نظر گرفتن گام قبلی، ابتدا برای فواصل هر خوشه (فاصله هر گره با سرخوشه)، واریانس محاسبه شده و سپس از مقادیر بدست آمده متوسط‌گیری میشود تا نرمال واریانس بدست آید. با افزایش گام زمانی (گام فعلی)، برای هر سرخوشه فواصل هر خوشه محاسبه میشود سپس بررسی میشود که واریانس فواصل بدست آمده کوچکتر از نرمال واریانس است یا نه؛ همچنین با در نظر گرفتن گام قبلی، برای هر سرخوشه در حالت متوسط تعداد ۱۰۰ بسته ارسال و دریافت شده است و در گام فعلی برای هر سرخوشه بررسی میشود آیا تعداد بسته ارسال و دریافتی بیشتر از ۱۰۰ است یا نه.

#### ۴. ارزیابی نتایج پیاده سازی

وجود یک پروتکل مسیریابی کارآمد مبتنی بر خوشه‌بندی می‌تواند طول عمر شبکه را افزایش دهد. خوشه‌بندی یکی از موارد مهم برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم بکار برده میشود. خوشه‌بندی در انتخاب یک مسیر کارآمد می‌تواند به کاهش زمان انتقال بسته از گره مبدأ و در نتیجه کاهش مصرف انرژی کمک کند. در فصل قبل، با در نظر گرفتن خوشه‌بندی گرهما (اشیاء)، به ارائه یک پروتکل نوین جهت بهبود مصرف انرژی برای مسیریابی در اینترنت اشیا مبتنی بر خوشه‌بندی پرداخته شد. در این فصل از پایاننامه به تحلیل و ارزیابی نتایج روش ارائه شده با روشهای LEACH-، LEACH، SEP، C، Hy-IOT و cb-IOT پرداخته میشود. جهت تحلیل نتایج از ۵ پارامتر، مجموع بسته تحویلی، مجموع بسته‌های گم شده، توان گذردهی، انرژی مصرفی و همچنین انرژی باقی مانده استفاده شده است. روش پیشنهادی را با در نظر گرفتن پارامترهای ذکر شده توسط نرم افزار Matlab به دقت شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده کارآمد بودن روش پیشنهادی پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه در این فصل است. روش ارائه شده دارای عملکرد بهتری از جمله کارایی بهتر، کاهش انرژی مصرفی و کاهش زمان ارسال اطلاعات از یک گره منبع به مقصد نسبت به روشهای دیگر می‌باشد.

#### ۱.۴. پارامترهای شبیه سازی

سناریوی در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی روش ارائه شده و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی با سایر روشها با تعداد ۲۰۰ گره انجام شده است. جدول ۳ پارامترهای شبیه‌سازی و مقادیر آنها در محیط شبیه‌سازی را نشان میدهد. انرژی اولیه تمامی گرهما شبکه محدود است و همگی گرهما در یک محیط به صورت تصادفی پراکنده شده‌اند.

جدول ۳- پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی روش پیشنهادی

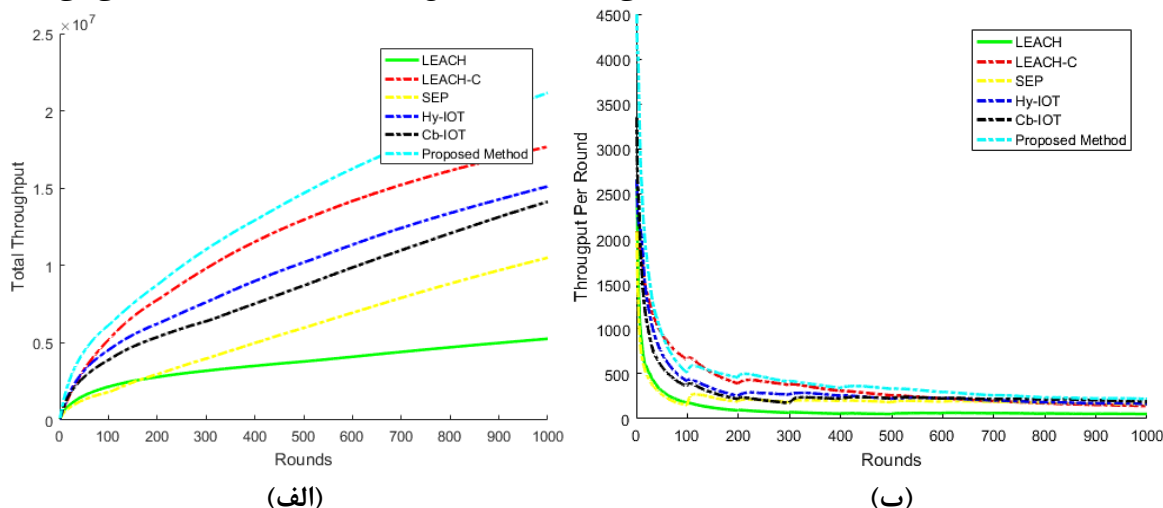
مقادیر	پارامترهای در نظر گرفته شده
۲۰۰	تعداد گرهما(اشیا)
۴۰۰*۴۰۰ متر	محیط شبکه
ثابت	گره‌های حسگر
1000	گام زمانی
500 Byte	اندازه‌ی بسته
۱ مگابایت	پهنای باند

## ۲.۴. نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج بدست آمده حاصل از شبیه‌سازی مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد:

### ۱.۲.۴. پروتکل توان عملیاتی

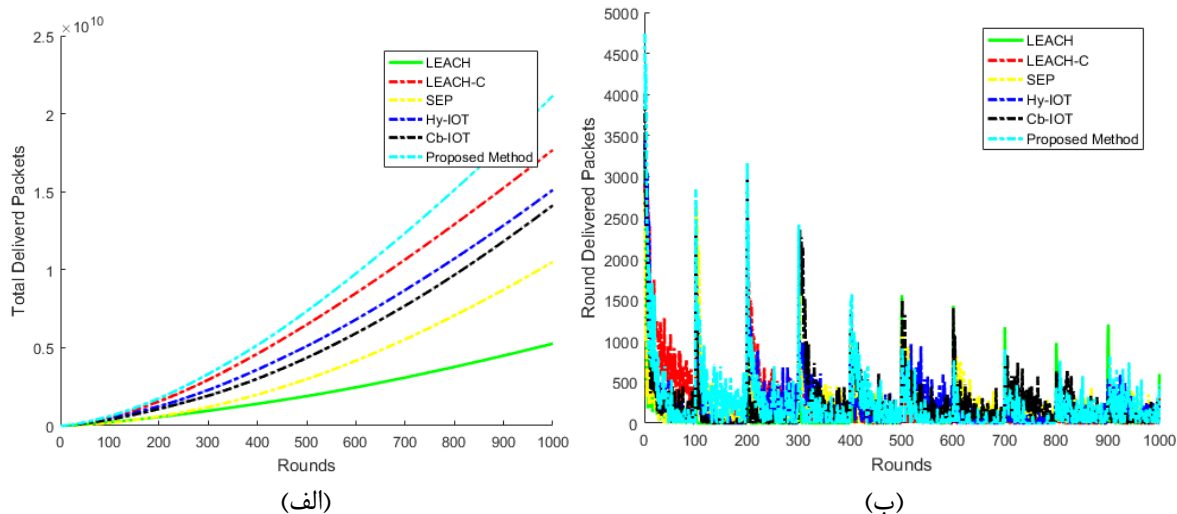
همانطور که بیان شد توان گذردهی یک پارامتر مهم در ارزیابی روش پیشنهادی است که نرخ برآورد اطلاعات برای تحویل به ایستگاه پایه را نشان می‌دهد. توان عملیاتی تعداد بسته‌های ورودی به ایستگاه پایه در هر میلی ثانیه می‌باشد. شکل ۵ مقایسه مجموع توان عملیاتی (الف) و توان عملیاتی در هر دوره (ب) برای روش پیشنهادی و روشهای (LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و cb-IOT) را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده در تمامی دوره‌ها، معیار توان عملیاتی یا گذردهی روش ارائه شده بهتر از روشهای LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و cb-IOT بدست آمده است. بیشترین کاهش توان گذردهی که در روشهای دیگر رخ داده است، استفاده از گره‌های بیشتر برای ارسال بسته‌های اطلاعاتی به ایستگاه پایه است. زمانی که افزایش تعداد گره‌ها و نیز انتخاب سرخوشه‌های مختلف زیاد باشد، تغییرات در توپولوژی شبکه بیشتر شده و در نتیجه بسته‌های بیشتری ارسال می‌گردد که این موضوع باعث کاهش بیشتر توان گذردهی می‌شود.



شکل ۵- مقایسه نتایج معیار توان عملیاتی برای روش ارائه شده و روشهای دیگر

### ۲.۴.۲. مجموع بسته های تحویلی

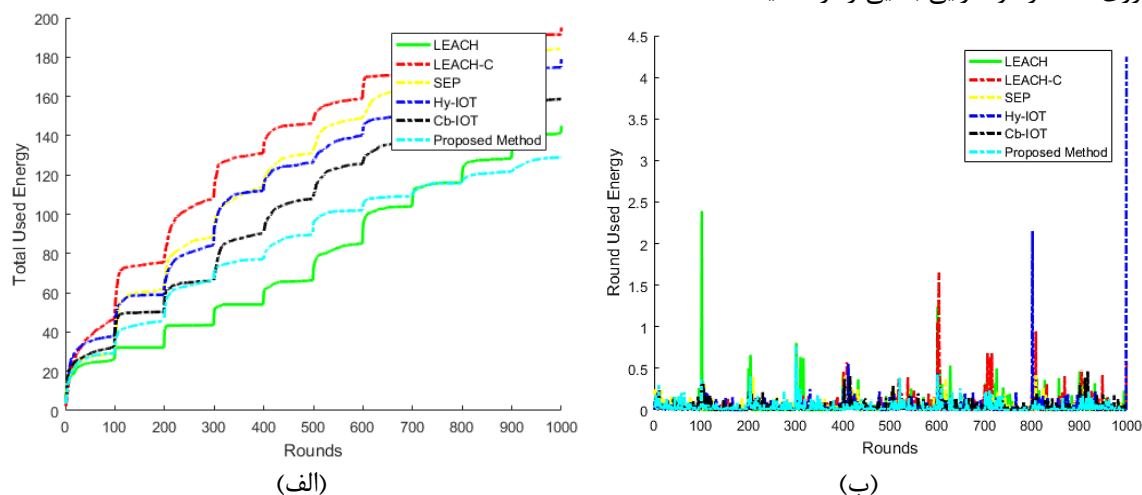
شکل ۶ مقایسه مجموع بسته‌های تحویلی (الف) و مجموع بسته‌های تحویلی در هر دوره (ب) برای روش ارائه شده و روشهای (LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و cb-IOT) را نشان می‌دهد. مجموع بسته‌های تحویل داده شده عبارت است از بسته‌های دریافت شده نسبت به بسته‌های ارسال شده در محیط شبکه است. مسلماً هرچقدر این میزان درصد بالاتر باشد برآیند بهره‌وری شبکه بهتر است. مجموع بسته‌های ارسالی روش ارائه شده نسبت به روشهای LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و cb-IOT بهتر بوده و میتواند تعداد بسته‌های بیشتری به ایستگاه پایه تحویل دهد. دلیل اینکه از نظر معیار نرخ تحویلی برای پروتکل پیشنهادی بهتر بوده این است که مسیرهای بهتری با ایجاد خوشه‌بندی کارآمد مشخص شده و بسته‌های کمتری از دست رفته است و استفاده از مسیرهای نامناسب سبب میشود که نرخ تحویلی بسته‌ها رضایت بخش نباشد.



شکل ۶- مقایسه معیار بسته‌های تحویل داده شده در روش پیشنهادی و روشهای دیگر

#### ۳.۲.۴. مجموع انرژی مصرفی

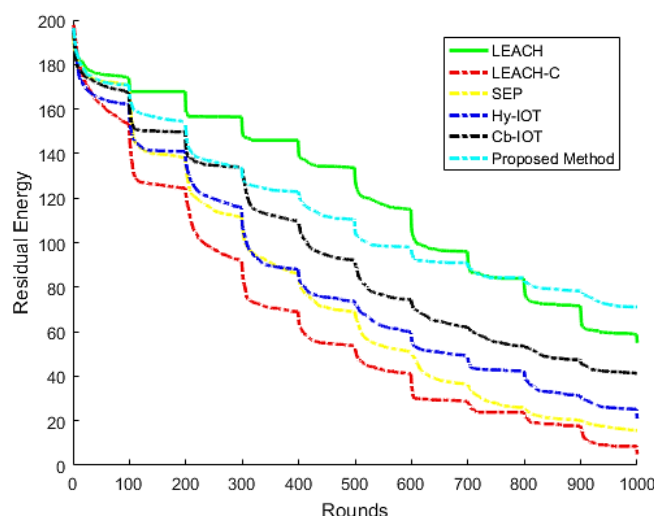
شکل ۷ مقایسه مجموع انرژی مصرفی (الف) و انرژی مصرفی در هر دوره (ب) برای پروتکل پیشنهادی و پروتکل‌های LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و Cb-IOT را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج پروتکل پیشنهادی و پروتکل LEACH در اکثر گامهای زمانی نسبت به پروتکل‌های LEACH-C, SEP, Hy-IOT و Cb-IOT بهتر بوده و مجموع انرژی مصرفی در گرهمها کمتر میباشد. افزایش انرژی باقیمانده با افزایش تعداد گرهمهای شبکه به علت کاهش محدوده انتقال در شبکه‌های با چگالی بیشتر است. با توجه به موارد بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی، با حداقل مصرف انرژی، عملکرد و کارایی بالایی را ارائه میکند.



شکل ۷- مقایسه معیار انرژی مصرفی در روش پیشنهادی و سایر روشها

#### ۴.۲.۴. انرژی باقی مانده

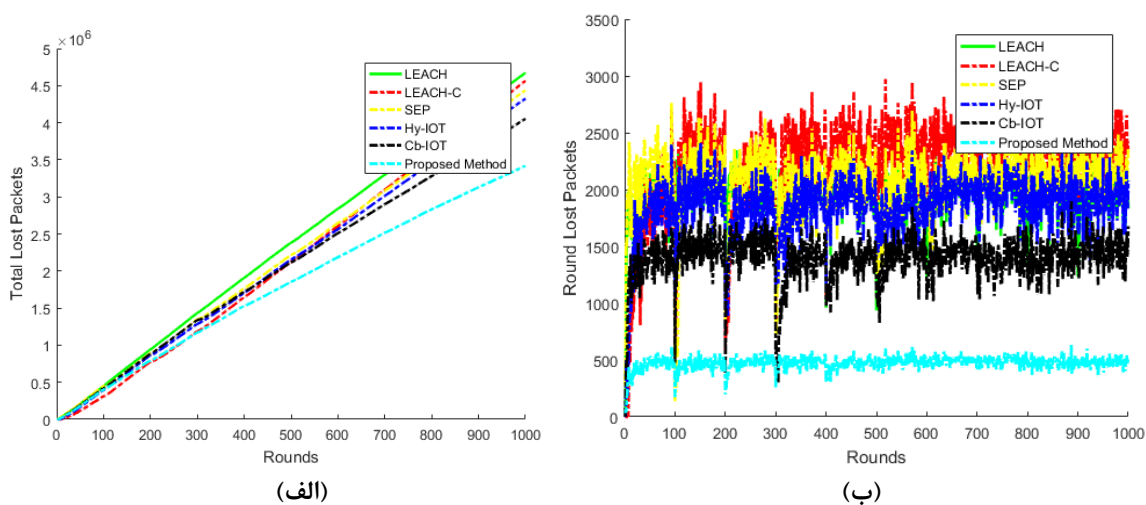
معیار انرژی باقی مانده یک پارامتر مهم در حوزه مسیریابی شبکه، بخصوص مسیریابی اینترنت اشیا است که کاهش این معیار می‌تواند عملکرد و کارایی شبکه را افزایش داده و طول عمر شبکه را بهبود بخشد. شکل ۸ مقایسه معیار انرژی باقی مانده برای روش ارائه شده و سایر روشها را نشان میدهد در مراحل اولیه اجرای شبکه روشهای (LEACH-C, LEACH, SEP و Hy-IOT و cb-IOT) انرژی زیادی از دست می‌دهند که این مورد برای روش ارائه شده و پروتکل LEACH کمتر است. در پروتکل LEACH مقدار انرژی باقی مانده تا گام زمانی ۷۰۰ از روش پیشنهادی بیشتر است اما از گام زمانی ۷۰۰ به بعد مقدار انرژی باقی مانده روش پیشنهادی کاهش زیادی نداشته و این مقدار برای پروتکل LEACH بیشتر شده است. همانطور که در معیار قبلی بیان شد این کاهش چشمگیر انرژی برای سایر روشها به دلیل ناکارآمد بودن فرآیند مسیریابی است ولی برای روش ارائه شده و روش LEACH از اول اجرای شبکه انرژی کمتر مصرف میکنند زیرا همه گرهها زنده هستند و فقط نیاز به گرفتن اطلاعات از گرههای دیگر در محیط شبکه هستند.



شکل ۸- مقایسه معیار انرژی باقی مانده در روش پیشنهادی و سایر روشها

#### ۵.۲.۴. مجموع بسته های گم شده

در فرآیند مسیریابی اگر انتقال بستههای اطلاعاتی بین گرههای شبکه با موفقیت انجام پذیرد تعداد بستههای گم شده در محیط شبکه کاهش مییابد. شکل ۹ مقایسه مجموع بستههای گم شده (الف) و بستههای گم شده در هر دوره (ب) برای روش ارائه شده و روشهای (LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و cb-IOT) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از این معیار، مجموع بستههای گم شده برای روش ارائه شده بهتر از روشهای دیگر عمل کرده است. به عبارتی با افزایش دورها تعداد بستههای گم شده برای روشهای (LEACH, LEACH-C, SEP, Hy-IOT و cb-IOT) بیشتر از روش ارائه شده است به عنوان مثال در دور ۶۰۰ تعداد بستههای گم شده روش ارائه شده مقدار  $2 \times 10^6$  را نشان میدهد در حالی که برای سایر روشها این مقدار بیشتر میباشد.



شکل ۹- مقایسه معیار مجموع بسته‌های گم شده در روش پیشنهادی و سایر روشها

## ۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله، یک پروتکل جدید برای مسیریابی اینترنت اشیا مبتنی بر خوشه‌بندی پیشنهاد شد. در روش پیشنهادی جهت فرآیند خوشه‌بندی از معیارهای تعداد بسته‌های ارسالی / دریافتی هر گره و واریانس فاصله بین سرخوشه‌ها استفاده شده است و با توجه به این موضوع، پارامتر انرژی استفاده شده بطور چشمگیری کاهش یافته و این مورد باعث افزایش عمر شبکه می‌شود. نتایج پیاده‌سازی و آزمایش‌های صورت گرفته در این مقاله نشان دهنده این است که پروتکل پیشنهادی از نظر پارامترهای کاهش مصرف انرژی و نرخ حجم ارتباطات بین گره‌ها در مقایسه با روشهای مبتنی بر خوشه‌بندی LEACH، LEACH-C، SEP، Hy-IOT و Cb-IOT می‌باشد. با در نظر گرفتن روشهای ارائه شده جهت افزایش عملکرد مسیریابی در زمینه اینترنت اشیا، مطالعه بر روی نحوه انتخاب سرخوشه مناسب با توجه به پارامترهای مهم شبکه از قبیل انرژی باقی مانده و قدرت سیگنال میتوان راه گشای علمی در جهت افزایش کارایی برای مسیریابی در حوزه اینترنت اشیا باشد. بنابراین برای کار آتی میتوان روش پیشنهادی را با در نظر گرفتن معیارهای بیان شده و مبتنی بر خوشه‌بندی انجام داده که از طریق یک تابع شایستگی (با در نظر گرفتن الگوریتمهای فرا اکتشافی از جمله؛ الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب تاب، الگوریتم بهینه‌سازی جنگل و غیره) مبادرت به انتخاب مناسب گرههایی به عنوان سرخوشه با یک معیار چندگانه نسبت به تمامی گرههای موجود در شبکه نموده تا منجر به افزایش طول عمر شبکه شود. همچنین به عنوان یک چشم انداز آتی دیگر میتوان پروتکل پیشنهادی را با سایر پارامترهای متفاوت (مانند میانگین تعداد گام برای هر درخت پوشا) توسعه داده و ارزیابی کرد.

## ۶. مراجع

- [1] Bera, S., Misra, S., & Vasilakos, A. V. (2017). Software-defined networking for internet of things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), 1994-2008.
- [2] Sadek, R. A. (2018). Hybrid energy aware clustered protocol for IoT heterogeneous network. *Future Computing and Informatics Journal*, 3(2), 166-177.
- [3] Alvi, S. A., Shah, G. A., & Mahmood, W. (2015). Energy efficient green routing protocol for internet of multimedia things. In 2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP) (pp. 1-6). IEEE.
- [4] Kharkongor, C., Chithralekha, T., & Varghese, R. (2016). A SDN Controller with Energy Efficient Routing in the Internet of Things (IoT). *Procedia Computer Science*, 89, 218-227.
- [5] Bouaziz, M., Rachedi, A., & Belghith, A. (2017). EC-MRPL: An energy-efficient and mobility support routing protocol for Internet of Mobile Things. In 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (pp. 19-24). IEEE.
- [6] Li, J., Silva, B. N., Diyan, M., Cao, Z., & Han, K. (2018). A clustering based routing algorithm in IoT aware Wireless Mesh Networks. *Sustainable cities and society*, 40, 657-666.
- [7] Debroy, S., Samanta, P., Bashir, A., & Chatterjee, M. (2019). SpEED-IoT: Spectrum aware energy efficient routing for device-to-device IoT communication. *Future Generation Computer Systems*, 93, 833-848.
- [8] Thangaramya, K., Kulothungan, K., Logambigai, R., Selvi, M., Ganapathy, S., & Kannan, A. (2019). Energy aware cluster and neuro-fuzzy based routing algorithm for wireless sensor networks in IoT. *Computer Networks*, 151, 211-223.
- [9] Benzakour, M., Jamali, A., & Naja, N. (2018). An Adaptive Routing Protocol for the IoT Environment. In *The Proceedings of the Third International Conference on Smart City Applications* (pp. 823-836). Springer, Cham.
- [10] Dhumane, A. V., & Prasad, R. S. (2019). Multi-objective fractional gravitational search algorithm for energy efficient routing in IoT. *Wireless networks*, 25(1), 399-413.
- [11] Santiago, S., & Arockiam, L. (2017). A novel fuzzy based energy efficient routing for Internet of Things. In 2017 International Conference on Algorithms, Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET) (pp. 1-4). IEEE.
- [12] Wang, Z., Qin, X., & Liu, B. (2018). An energy-efficient clustering routing algorithm for WSN-assisted IoT. In 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) (pp. 1-6). IEEE.
- [13] Bounceur, A., Bezoui, M., Lounis, M., Euler, R., & Teodorov, C. (2018). A new dominating tree routing algorithm for efficient leader election in IoT networks. In 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (pp. 1-2). IEEE.
- [14] Shah, B. (2018). Fuzzy Energy Efficient Routing for Internet of Things (IoT). In 2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (pp. 320-325). IEEE.
- [15] Kour, H. (2012). Hierarchical routing protocols in wireless sensor networks. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 6(1), 47-52.

- [16] Mehta, R., Pandey, A., & Kapadia, P. (2012). Reforming clusters using C-LEACH in wireless sensor networks. In 2012 International Conference on Computer Communication and Informatics (pp. 1-4). IEEE.
- [17] Smaragdakis, G., Matta, I., & Bestavros, A. (2004). SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. Boston University Computer Science Department.
- [18] Sadek, R. A. (2018). Hybrid energy aware clustered protocol for IoT heterogeneous network. *Future Computing and Informatics Journal*, 3(2), 166-177.
- [19] Li, J., Silva, B. N., Diyan, M., Cao, Z., & Han, K. (2018). A clustering based routing algorithm in IoT aware Wireless Mesh Networks. *Sustainable cities and society*, 40, 657-666.