

## یک الگوریتم خوشه بندی فازی مبتنی بر Leach برای افزایش طول عمر شبکه های حسگر

بیسیم

شاهین شاهی بیگ<sup>۱\*</sup>، بهرنگ برکتین<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کامپیوتر، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد ایران

۲- عضو هیات علمی، گروه کامپیوتر، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد ایران

s.shahibeig@gmail.com

Behrang.Barekatin@gmail.com

### خلاصه

خوشه بندی گره های حسگر یکی از روش های کارا در کاهش مصرف انرژی شبکه های حسگر می باشد. در روش های خوشه بندی، گره های حسگر در چند خوشه دسته بندی می شوند. در هر خوشه گره ای دارای نقش سرخوشه می باشد. گره های عضو خوشه داده های جمع آوری شده از محیط هدف را برای سرخوشه خود ارسال کرده و سرخوشه وظیفه انتقال این داده ها به ایستگاه پایه را برعهده دارد. از این رو انتخاب سرخوشه و نحوه توزیع خوشه ها تاثیر بسزایی در مصرف انرژی شبکه دارد. انتخاب تصادفی سرخوشه ها می تواند منجر به توزیع نامتعادل خوشه ها و بار مصرف انرژی در سطح شبکه شود که این وضعیت سبب افزایش مصرف انرژی و کاهش طول عمر شبکه می شود. روش های غیر احتمالی برای خوشه بندی گره های حسگر در شبکه های حسگر بیسیم یکی از روش های مناسب برای انتخاب سرخوشه و تشکیل خوشه می باشد. در روش های غیر احتمالی انتخاب سرخوشه و تشکیل خوشه بر اساس اطلاعات محلی انجام می شود که از توزیع غیر یکنواخت و تصادفی خوشه ها در شبکه جلوگیری می کند. در این مقاله یک الگوریتم خوشه بندی فازی مبتنی بر الگوریتم Leach برای حل مشکل توزیع خوشه ها در شبکه حسگر ارائه شده است. برای این کار ما با استفاده از یک روش فازی تکاملی که ترکیبی از روش خوشه بندی فازی K-Mode و الگوریتم ژنتیک چند هدفه می باشد استفاده کرده ایم. در روش پیشنهادی دو هدف فشردگی و تفکیک پذیری خوشه ها به عنوان اهداف الگوریتم در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه سازی طرح پیشنهادی در نرم افزار متلب نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری برای افزایش طول عمر شبکه در مقایسه با الگوریتم های شناخته شده ای مانند LEACH از خود نشان می دهد. همچنین ما برای سنجش کیفیت خوشه های تشکیل شده در روش پیشنهادی در مقابل خوشه های تشکیل شده توسط LEACH از شاخص های سنجش خوشه بندی Dunn و Silhouette استفاده کرده ایم که در این آزمون نیز روش پیشنهادی عملکرد بهتری را از خود نشان داده است.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر بیسیم، خوشه بندی، LEACH، خوشه بندی فازی

\* Corresponding author:

Email: s.shahibeig@gmail.com

PhoneNumber: 9163028656

## ۱. مقدمه

پیشرفت در تکنولوژی های ارتباطی بیسیم در سال های اخیر منجر به رشد و پیدایش انواع شبکه های بیسیم با کاربرد های مختلف شده است [۱]. شبکه های حسگر بیسیم یکی از انواع شبکه های کامپیوتر می باشند که برای سنجش و بررسی محیط های فیزیکی مورد استفاده قرار می گیرند و در کاربرد هایی نظیر کاربرد های صنعتی، نظامی، مراقبت از سلامت و کاربرد های سنجش و نظارت از راه دور استفاده می شوند [۲]. شبکه حسگر متشکل از یک ایستگاه پایه و تعداد زیادی گره با اندازه کوچک بوده که مجهز به تجهیزات مخابراتی بیسیم، واحد حسگر متناسب با کاربرد، پردازشگر مرکزی، باتری و حافظه جانبی می باشد [۳]. گره های حسگر برای سنجش پارامتر های مورد نیاز در محیط هدف توزیع شده و اطلاعات جمع آوری شده از محیط را با همکاری یکدیگر به ایستگاه پایه ارسال می کنند و ایستگاه پایه اطلاعات جمع آوری شده را به کاربر نهایی ارسال می کند. در این شبکه ها ایستگاه پایه خود می تواند به عنوان دروازه به انواع شبکه های دیگر مانند اینترنت عمل کند که در این صورت طیف کاربرد ها و خدماتی که شبکه حسگر به کاربران ارائه می کند، گسترده تر و منعطف تر خواهد شد [۴]. در بسیاری از کاربرد های شبکه حسگر، گره ها برای تامین انرژی مورد نیاز برای فعالیت های سنجشی، پردازشی و ارتباطی خود از باتری با ظرفیت ذخیره سازی انرژی محدود استفاده می کنند. و با توجه به نوع محیط هدف امکان شارژ و تعویض باتری گره ها بسیار پر هزینه و یا غیر ممکن می باشد. از اینرو بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر این شبکه ها یکی از مسائل پر اهمیت در این زمینه می باشد و بسیاری از تحقیقات و پژوهش های انجام شده در سال های اخیر بر روی روش های افزایش طول عمر این شبکه ها متمرکز بوده است [۳، ۵]. خوشه بندی گره های حسگر به عنوان یکی از موثر ترین روش ها در کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه های حسگر شناخته شده است [۶]. در خوشه بندی گره های شبکه به چندین خوشه دسته بندی می شوند. در هر خوشه گره ای نقش سرخوشه یا CH را برعهده داشته و سایر گره های خوشه را گره های عضو خوشه (CMS) می گویند. گره های عضو خوشه وظیفه جمع آوری داده های محیط و ارسال آن ها به سرخوشه مربوط به خود را برعهده دارند. گره سرخوشه پس از جمع آوری اطلاعات جمع آوری شده توسط گره های عضو، آن ها را به ایستگاه پایه ارسال می کند. خوشه بندی گره های حسگر با انجام پردازش محلی بر روی داده های جمع آوری شده توسط اعضا منجر به کاهش ترافیک شبکه و در نتیجه آن مصرف انرژی در گره های حسگر می شود. خوشه بندی گره ها با ارائه ساختار سلسله مراتبی (Hierarchical) مقیاس پذیری بیشتری را در مقابل روش های مسیریابی و جمع آوری داده تخت (Flat) به همراه دارد [۳]. انتخاب تصادفی گره های CH و توزیع غیر یکنواخت خوشه ها در سطح گره های شبکه باعث توزیع نا عادلانه بار مصرف انرژی در شبکه و مرگ گره ها می شود.

در طرح پیشنهادی این مقاله استفاده از یک روش فازی تکاملی برای خوشه بندی گره های حسگر مطرح شده است که در آن با استفاده از روش خوشه بندی فازی K-Mode و الگوریتم ژنتیک انتخاب گره های سرخوشه به صورت غیر تصادفی و با در نظر گرفتن پارامتر مرکزیت گره به عنوان ورودی سیستم فازی در نظر گرفته می شود. در این روش گره ها همگن فرض شده اند اما در مورد نحوه توزیع آن ها در محیط هیچ گونه فرضی در نظر گرفته نشده است و گره ها می توانند به صورت تصادفی در محیط توزیع شوند. این روش مبتنی بر LEACH می باشد و همانند آن خوشه بندی را به صورت پویا انجام می دهد و گره های سرخوشه در هر راند تغییر می کنند. همچنین فرض شده است که گره ها می توانند توان ارتباطی متفاوتی داشته باشند و قدرت سیگنال خود را متناسب با فاصله گره مقصد تنظیم کنند که برای حفظ پیوستگی شبکه ضروری است.

ساختار این مقاله در ادامه به صورت زیر است: در بخش دو مروری کوتاه بر الگوریتم های خوشه بندی ارائه شده برای شبکه های حسگر خواهیم داشت. در بخش سه روش پیشنهادی ارائه شده است و در بخش چهار مدل شبکه و شبیه سازی

طرح پیشنهادی و نتایج آن قرار دارد و در بخش پنج نتیجه گیری و پیشنهاد هایی برای کار های آتی جهت ادامه این راه آورده شده است.

## ۲. مروری بر کار های گذشته

در ادامه مروری بر چند پروتکل مطرح در زمینه خوشه بندی شبکه های حسگر خواهیم داشت. LEACH ارائه شده در [۷] برای بهبود مشکلات موجود در پروتکل های مسیریابی و جمع آوری داده رایج که از معماری شبکه Flat استفاده می کنند ارائه شد. برای کاهش افزونگی داده ها از روش متراکم سازی داده ها در سرخوشه ها استفاده می کند. برای این منظور گره های شبکه را به گروه هایی تقسیم می کند. این گره ها به وسیله گره هایی که به عنوان رهبر یا سرخوشه انتخاب شده اند تشکیل می شوند. گره سرخوشه نقش هماهنگ کننده در خوشه را بر عهده دارد. سرخوشه داده های دریافتی از اعضاء را متراکم و به ایستگاه پایه ارسال می کند. با توجه به این که مصرف انرژی در ارتباطات شبکه های حسگر وابسته به سایز داده ها و فاصله تا مقصد می باشد، LEACH با کاهش حجم داده ها و ارسال به گره سرخوشه که در فاصله ای کوتاه از اعضا قرار دارد مصرف انرژی را به صورت کارا کاهش داده است. از طرفی با توجه به این که تنها گره سرخوشه مسئول ارسال داده ها به ایستگاه پایه هست، از حجم ارتباطات مستقیم با ایستگاه پایه به طور چشم گیری نسبت به پروتکل های با ساختار تخت کاسته شده است. در LEACH برای جلوگیری از مصرف سریع انرژی، سرخوشه ها به صورت پویا انتخاب می شوند و نقش گره سرخوشه در هر راند به طور تصادفی در بین گره های شبکه عوض می شود. عملکرد LEACH به راند هایی تقسیم می شود و هر راند به دو فاز راه اندازی و فاز حالت ماندگاری تقسیم می شود. در فاز راه اندازی انتخاب سرخوشه و تشکیل خوشه انجام می شود و عملیات جمع آوری داده ها و ارسال به آن ها به ایستگاه پایه در فاز حالت ماندگاری انجام می شود. انتخاب سرخوشه در این پروتکل به صورت تصادفی با اختصاص یک مقدار به نام آستانه انجام می شود.

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

در فاز راه اندازی تمامی گره ها مقدار آستانه را محاسبه کرده و سپس با مقایسه این مقدار با عدد تصادفی تولید شده بین صفر و یک تعیین می کنند که برای راند جاری سرخوشه خواهند بود یا خیر. اگر عدد تصادفی تولید شده توسط گره کوچک تر از مقدار آستانه باشد این گره برای راند جاری به عنوان سرخوشه انتخاب می شود. گره ای که در راند صفر به عنوان سرخوشه انتخاب شده تا  $1/p$  راند بعد نمی تواند به عنوان سرخوشه انتخاب شود. گره هایی که در راند جاری به عنوان سرخوشه انتخاب می شوند پیام اعلان سرخوشه شدن را به صورت فراگیر برای گره های همسایه ارسال می کند. گره های همسایه با محاسبه فاصله خود تا گره های سرخوشه بر اساس قدرت سیگنال دریافتی، نزدیکترین گره را به عنوان سرخوشه انتخاب کرده و پیام درخواست عضویت را به گره مربوطه ارسال می کنند. مشکل عمده LEACH این هست که در این پروتکل انتخاب سرخوشه ها به صورت تصادفی انجام می شود، و توزیع سرخوشه ها در شبکه به صورت غیر یک نواخت و تصادفی انجام می شود. در PEGASIS [۸] برای جمع آوری داده ها بر خلاف LEACH که از خوشه بندی گره ها استفاده می کند، از ساخت یک زنجیر در بین تمامی گره ها جهت جمع آوری داده ها استفاده می شود. برای ساخت این زنجیر فرض می شود که گره ها از موقعیت مکانی ایستگاه پایه و سایر گره ها اطلاع دارند و با استفاده از یک روش حریصانه ساخت زنجیر از دورترین گره شبکه نسبت به ایستگاه پایه شروع شده و به نزدیکترین گره به ایستگاه ختم می شود. هر گره داده هایی را که از محیط جمع آوری کرده را به نزدیکترین گره همسایه نسبت به گره سرخوشه ارسال کرده تا پس از متراکم سازی به گره سرخوشه یا نزدیکترین همسایه آن ارسال شود. گره ای که مسئول ارتباط با ایستگاه

پایه است، پس از دریافت این داده‌ها به طور مستقیم اقدام به ارسال داده‌ها به ایستگاه پایه می‌کند. از مشکلات این الگوریتم می‌توان به تاخیر زیاد در ارسال داده‌ها، جمع‌آوری شده از محیط تا ارسال به ایستگاه پایه اشاره کرد که با افزایش تعداد گره‌ها به  $N$  گره و زمان تاخیر در هر گره به میزان  $T$  این تاخیر در تحویل داده‌ها به میزان  $T \times N$  افزایش پیدا می‌کند. همچنین نحوه تشکیل زنجیر یکی از مشکلات این دسته از الگوریتم‌ها می‌باشد که با پیچیدگی فراوان همراه است. پروتکل خوشه‌بندی دولایه ارائه شده در [۹] انتخاب سرخوشه را بر اساس انرژی باقی مانده در گره‌ها و فاصله آن‌ها تا ایستگاه پایه انجام می‌دهد در این پروتکل گره‌های حسگر بر اساس فاصله تا ایستگاه پایه به دو لایه با فاصله‌های از پیش تعیین شده نسبت به ایستگاه پایه تقسیم شده و در هر لایه گره‌های حسگر اقدام به تشکیل خوشه می‌کنند. نحوه تشکیل خوشه در هر لایه و جمع‌آوری اطلاعات و ارسال آن‌ها به BS همانند LEACH می‌باشد. این پروتکل نیز همانند LEACH از معیارهای مناسبی برای تشکیل خوشه استفاده نمی‌کند و کیفیت خوشه‌های تشکیل شده را در اولویت قرار نمی‌دهد. پروتکل MR-LEACH ارائه شده در [۱۰] عملیات‌های خود را در سه فاز انجام می‌دهد، Cluster Formation، Cluster Discovery، Scheduling. در فاز Cluster Formation تمامی گره‌ها پیام HELLO را برای گره‌های موجود در برد ارتباطی خود ارسال می‌کند. هر گره جدولی را برای نگهداری ID گره، انرژی باقی مانده در گره‌های همسایه و وضعیت گره‌های همسایه تشکیل می‌دهد. این جدول در ابتدای هر راند تشکیل می‌شود. گره‌ای که دارای بیشترین انرژی در بین گره‌های همسایه باشد خود را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند. در پروتکل EADC ارائه شده در [۱۱] انتخاب سرخوشه در آن بر اساس میانگین انرژی گره‌های همسایه و انرژی باقی مانده در خود گره می‌باشد، گره سرخوشه از ارسال پیامی شامل انرژی باقی مانده و شماره شناسایی خود برای گره‌های همسایه جهت ساخت خوشه‌هایی با سایز یکسان استفاده می‌کند که منجر به ایجاد تعادل در مصرف انرژی در خوشه می‌گردد. اما مشکل این پروتکل این است انتخاب سرخوشه در آن به صورت تصادفی بوده و برای بدست آوردن انرژی گره‌های همسایه و فاصله آن‌ها نیاز به ارسال پیام‌هایی بین گره‌ها در هر راند دارد و برای خوشه‌بندی وضعیت سایر خوشه‌ها در نظر گرفته نمی‌شود که این خود می‌تواند منجر به خوشه‌بندی غیر بهینه و می‌تواند مصرف انرژی را به شبکه تحمیل می‌کند. در [۱۲] به منظور افزایش طول عمر شبکه و بهبود پوشش الگوریتم LEACH چهارگانه (Q-LEACH) معرفی شده است. این مدل به منظور بهبود برخی ویژگی‌های شبکه مانند فرآیند خوشه‌بندی، دوره پایداری، طول عمر شبکه برای رسیدن به عملکرد بهینه ارائه شده است. بر اساس این رویکرد گره‌های حسگر در محیط مستقر شده و شبکه به چهار ربع تقسیم بندی می‌شود. با این تقسیم بندی می‌توان به پوشش بهتری از شبکه دست یافت. دسته‌بندی چهارگانه حسگرها همچنین باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه می‌شود. از طریق این تقسیم بندی موقعیت‌های بهینه سرخوشه‌ها نیز مشخص می‌شود. علاوه بر آن بار ارسال داده از دیگر گره‌ها نیز کاهش می‌یابد. در روش معمول LEACH اندازه هر خوشه به صورت اختیاری انتخاب می‌شود و ممکن است یک یا بیشتری از گره‌های هر خوشه در فاصله دوری از مرکز خوشه قرار گرفته باشند که در این صورت گره‌های دورتر انرژی خود را سریع‌تر از دست می‌دهند و بنابراین عملکرد شبکه کاهش می‌یابد. این در حالی است که در Q-LEACH شبکه به زیر شبکه‌هایی تقسیم بندی می‌شوند و انتخاب سرخوشه‌ها با ماهیت قطعی تری انجام می‌پذیرد. بنابراین، گره‌ها در مکان‌های مناسب تری نسبت به سرخوشه‌ها قرار گرفته و این کار باعث افزایش کارایی شبکه از لحاظ طول عمر می‌شود. برای هر قسمت مفهوم خوشه‌بندی تصادفی ارائه شده در LEACH برای انتخاب دسته‌ها استفاده می‌شود که باعث می‌شود مشکلات موجود در آن به این روش نیز منتقل شود.

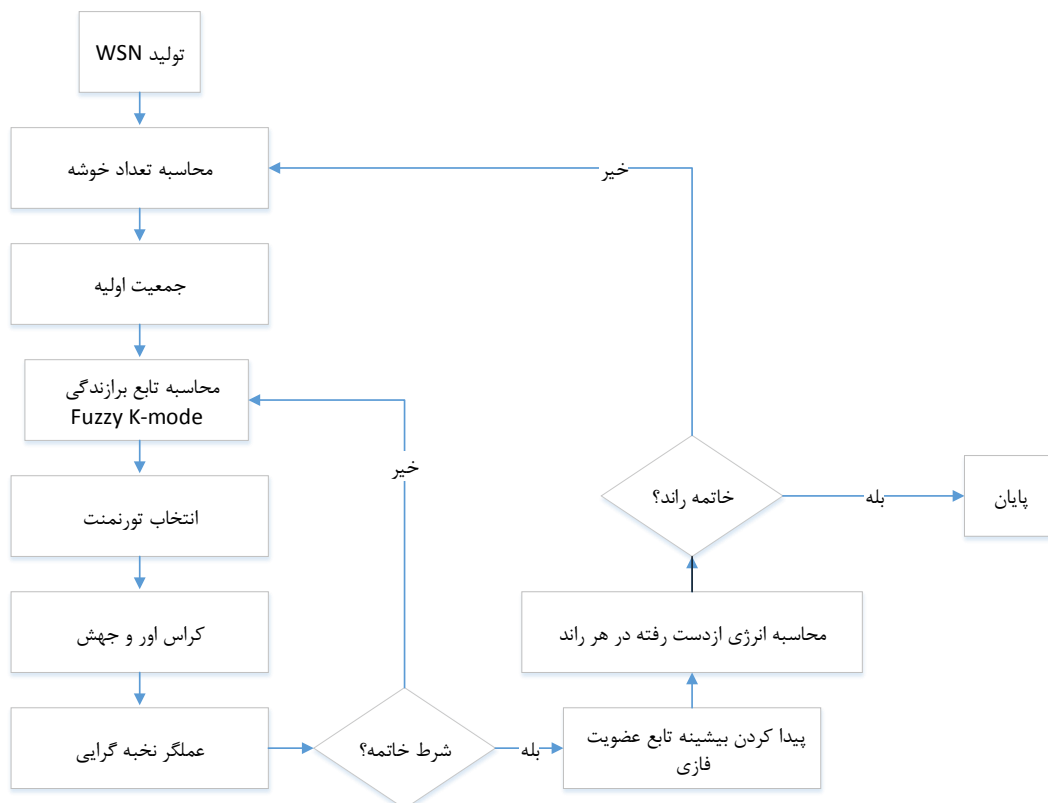
### ۳. روش پیشنهادی

در این قسمت روش پیشنهادی ارائه خواهد شد. برای غلبه بر مشکلات الگوریتم LEACH ما از روش خوشه‌بندی فازی برای تشکیل خوشه‌ها استفاده می‌کنیم. ورودی‌های سیستم فازی مرکزیت گره‌ها می‌باشد. به این دلیل که اگر

یک گره در فاصله‌ی کمتری نسبت به سایر گره‌ها داشته باشد، مابقی گره‌ها انرژی کمتری برای ارسال داده به آن گره مصرف می‌کنند. مرکزیت با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود و به صورت مجموع فاصله تمام گره‌ها تا گره مرکزی تعریف می‌شود. هر چه این مقدار کمتر باشد، گره مرکزیت بیشتری دارد. ما اندازه مرکزیت گره‌های درون خوشه را براساس مرکزیت درجه گره استفاده می‌کنیم.

$$centrality(n_i) = \sum_{i=1}^n d(n_i, CH) \quad (2)$$

که در آن  $n$  تعداد گره درون خوشه می‌باشد و  $d$  فاصله گره از  $CH$ . هرچه یک گره به مرکز نزدیک تر باشد، سیگنال‌های زیادی از آن عبور کرده تا به یک سرخوشه برسند و بهتر است این گره به عنوان سرخوشه شود. بر اساس روند سرخوشه نشدن گره‌ها و مصرف کمتر انرژی در آن‌ها، شانس یک گره برای سرخوشه شدن افزایش می‌یابد. با استفاده از مدل فازی، تاریخچه داده‌های اصلی از حالت عددی به داده‌های کیفی تبدیل می‌شود و میزان تعلق هر گره به هر خوشه محاسبه می‌شود و گره‌ای که بیشترین مقدار عضویت را به یک خوشه داشته باشد به عنوان سرخوشه معرفی خواهد شد. در زیر الگوریتم پیشنهادی آورده شده است.



شکل ۱ - الگوریتم پیشنهادی

برخلاف LEACH که تعداد خوشه‌ها از ابتدا تا انتهای عمر شبکه ثابت در نظر گرفته می‌شود، در الگوریتم پیشنهادی تعداد خوشه‌ها با استفاده از فرمول (۳) مانند [۱۳] به صورت پویا محاسبه می‌شود و با توجه به تعداد گره باقیمانده در هر راند متفاوت خواهد بود و نقش موثری در بهبود مصرف انرژی خواهد داشت و به توزیع یک نواخت خوشه‌ها متناسب با تعداد گره‌های موجود در شبکه کمک خواهد کرد.

$$\text{optimumNumCluster} = \text{round} \left( \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \frac{\sqrt{L \times W}}{d^2} \right) \quad (3)$$

## ۳.۱ خوشه بندی

فرض کنید  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ، یک مجموعه از  $n$  شی در حوزه ویژگی های گسسته باشد. هر شی  $x_i$  که  $i = 1, 2, \dots, n$  توسط یک مجموعه از  $p$  ویژگی  $A_1, A_2, \dots, A_p$  توصیف می شود. فرض کنید  $DOM(A_j)$  که  $1 \leq j \leq p$  دامنه ای از ویژگی  $j$  ام و شامل دسته بندی  $q_j$  متفاوت باشد و لذا  $DOM(A_j) = \{a_j^1, a_j^2, \dots, a_j^{q_j}\}$ . پس آمین شی گسسته به صورت  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}]$  تعریف می شود که  $1 \leq j \leq p, x_{ij} \in DOM(A_j)$ . مرکز خوشه در FCM توسط مُد های هر خوشه در خوشه بندی K-Means فازی جایگزین می شود. مُد های تعریف شده به این صورت است. فرض کنید  $C_i$  یک مجموعه ای از اشیاء گسسته و متعلق به خوشه  $i$  باشد. مُد  $C_i$  یک بردار  $m_i = [m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ip}]$  که  $1 \leq j \leq p, m_{ij} \in DOM(A_j)$  به طوری که معیار (۴) به حداقل برسد.

$$D(m_i, C_i) = \sum_{x \in C_i} D(m_i, x) \quad (4)$$

که  $D(m_i, x)$  میزان عدم شباهت بین  $m_i$  و  $x$  است.  $m_i$  الزاماً یکی از اعضای مجموعه  $C_i$  نیست. الگوریتم خوشه بندی K-Mode فازی روی داده  $X$  با  $K$  خوشه برای به حداقل رساندن معیار (۵) است:

$$J_m(U, Z : X) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n u_{ik}^m D(z_i, x_k) \quad (5)$$

برای خوشه بندی فازی احتمالاتی، شرایط  $0 \leq u_{ik} \leq 1$ ،  $0 \leq i \leq K$ ،  $0 \leq k \leq n$  در نظر گرفته شده است و

$$0 \leq \sum_{k=1}^n u_{ik} \leq n, \quad 1 \leq i \leq K \quad \text{همچنین} \quad \sum_{i=1}^K u_{ik} = 1, \quad 1 \leq k \leq n$$

$m$  توان فازی و  $U = [u_{ik}]$  ماتریس خوشه بندی فازی  $K \times n$  و  $u_{ik}$  درجه عضویت  $k$  امین شی گسسته در خوشه  $i$  ام است.  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$  نمایش دهنده مراکز خوشه (مُد) ها است.

الگوریتم K-Means فازی جزء استراتژی بهینه سازی متناوب است. که شامل تکرار برآورد ماتریس خوشه بندی و محاسبه مراکز خوشه جدید (مُد) ها می باشد. با  $K$  مُد تصادفی اولیه شروع می شود و پس از آن، در هر تکرار، عضویت فازی روی هر نقطه داده در هر خوشه توسط معادله (۶) می شود.

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^K \left( \frac{D(z_j, x_k)}{D(z_i, x_k)} \right)^{\frac{1}{m-1}}}, \quad 1 \leq i \leq K, \quad 1 \leq k \leq n \quad (6)$$

اگر مقادیر عضویت، ثابت باشد شرط خاتمه‌ی الگوریتم زمانی است که هیچ بهبود قابل توجهی در مقدار  $J_m$  وجود نداشته باشد. در نهایت، هر شی به خوشه‌ای که در آن مقدار عضویت حداکثری است، اختصاص داده می‌شود. با این وجود این روش خوشه بندی دارای مشکلاتی می‌باشد از جمله این که این الگوریتم به شدت به انتخاب اولیه‌ی مد‌ها بستگی دارد و الگوریتم اغلب در بهینه محلی به دام می‌افتد. بنابر این در روش پیشنهادی از الگوریتم بهینه سازی تکاملی ژنتیک برای پوشش معایب این روش خوشه بندی استفاده کرده ایم. برای این کار کروموزوم را به صورت یک دنباله از مقادیر ویژگی‌ها برای نمایش  $K$  تا مد هر خوشه در نظر گرفته ایم. اگر هر شی گسسته  $p$  ویژگی داشته باشد  $\{A_1, A_2, \dots, A_p\}$ ، طول کروموزوم  $K \times p$  خواهد بود. که در آن اولین موقعیت  $P$  (ژن) نشان دهنده  $P$ - بعد از مد خوشه اول است، دومین موقعیت  $P$  نشان داد مد خوشه دوم است و این روند تا آخرین مد ادامه پیدا خواهد کرد. فرض کنید  $P = 3$  و  $K = 3$  باشد. پس، کروموزوم به صورت زیر است:

$$c_{11} \quad c_{12} \quad c_{13} \quad c_{21} \quad c_{22} \quad c_{23} \quad c_{31} \quad c_{32} \quad c_{33}$$

که نمایش دهنده مد خوشه  $(c_{11}, c_{12}, c_{13}), (c_{21}, c_{22}, c_{23}), (c_{31}, c_{32}, c_{33})$  است.  $c_{ij}$   $j$  امین ویژگی از  $i$  امین مد خوشه است.  $c_{ij} \in \text{DOM}(A_j), 1 \leq i \leq K, 1 \leq j \leq p$ .

جمعیت اولیه،  $K$  تا مد خوشه‌ی اولیه در هر کروموزوم کد گذاری و به صورت  $K$  شی تصادفی از مجموعه داده گسسته انتخاب می‌شود. این فرایند برای هر یک از کروموزوم‌ها در جمعیت تکرار می‌شود. در این مقاله دو تابع فشردگی سراسری و تفکیک پذیری دو تابع هدف برای تابع ارزیابی هستند که به طور موازی در نظر گرفته می‌شوند. فشردگی طبق فرمول (۷)، بیان کننده‌ی این موضوع است که عناصر موجود در داخل یک خوشه تا چه اندازه مشابه هستند. هر چه مقدار واریانس عناصر کم تر باشد، فشردگی خوشه بیشتر خواهد بود.

$$\pi = \sum_{i=1}^K \frac{\sigma_i}{n_i} = \sum_{i=1}^K \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m D(z_i, x_k)}{\sum_{k=1}^n u_{ik}} \quad (7)$$

تفکیک پذیری به این معنا است که خوشه‌ها چقدر از هم مجزا هستند. یکی از روش‌های تعیین تفکیک پذیری، محاسبه‌ی فواصل بین خوشه‌ای می‌باشد برای محاسبه‌ی تابع برازندگی تفکیک پذیر فازی Sep، فرض کنید مد  $z_i$  روی خوشه‌ی  $i$  ام، مرکز یک مجموعه فازی  $\{z_j | 1 \leq j \leq K, j \neq i\}$ . بنابر این درجه‌ی عضویت هر  $z_j$  به  $z_i$  که  $j \neq i$  به با استفاده از (۸) محاسبه می‌شود.

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{l=1, l \neq j}^K \left( \frac{D(z_j, x_l)}{D(z_j, x_i)} \right)^{\frac{1}{m-1}}}, i \neq j \quad (8)$$

لذا، تفکیک پذیری فازی با فرمول (۹) محاسبه می‌شود.

$$\text{Sep} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1, j \neq i}^K \mu_{ij}^m D(z_i, x_j) \quad (9)$$

فشرده‌گی خوشه‌ها با کمینه‌سازی  $\pi$  میسر می‌شود. در مقابل، برای به دست آوردن خوشه‌های تفکیک شده، تفکیک پذیر فازی  $Sep$  باید بیشینه‌گردد. لذا این دو هدف توابع بهینه‌سازی برای الگوریتم تکاملی محسوب می‌شود. بنابراین این

سعی می‌شود توابع  $\pi$  و  $\frac{1}{Sep}$  توسط الگوریتم تکاملی کمینه‌شود.

هدف خوشه بندی چند هدفه، بهینه‌سازی همزمان بیش از یک هدف و افزایش عملکرد توسط انتخاب این اهداف است. انتخاب دقیق اهداف می‌تواند نتایج قابل قبولی تولید کرده و در حالی که انتخاب نابخردانه اهداف باعث بروز نتایج بد می‌شود. همچنین در روش پیشنهادی از عملگر انتخاب، Tournament و عملگر Crossover تک نقطه‌ای استفاده شده است.

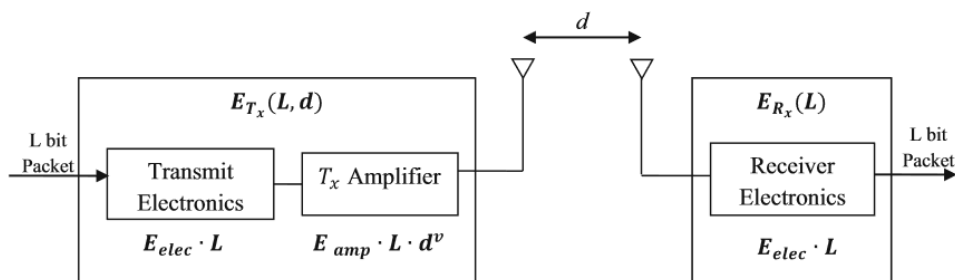
#### ۴. شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی طرح پیشنهادی از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۳ استفاده شده است. نمودارهای بدست آمده حاصل ۱۵ بار اجرای الگوریتم می‌باشد. در این طرح گره‌های شبکه به صورت همگن فرض شده و دارای قابلیت‌های یکسانی هستند و به صورت تصادفی در یک محیطی به ابعاد  $100m \times 100m$  توزیع شده‌اند. مدل مصرف در این مقاله همانند مدل مصرف انرژی در پروتکل LEACH می‌باشد. هرگره برای ارسال  $I$  بیت داده به فاصله  $d$  از خود به اندازه  $E_s$  انرژی مصرف می‌کند که طبق رابطه (۱۰) بدست می‌آید.

$$E_s = \begin{cases} IE_{elect} + I\epsilon_{fs}d^2 & d > d_{co} \\ IE_{elect} + I\epsilon_{mp}d^4 & d \leq d_{co} \end{cases} \quad (10)$$

که در آن  $E_{elect}$  انرژی لازم برای فعال‌سازی مدارات الکترونیکی فرستنده است.  $d_{co}$  یک حد آستانه است.  $\epsilon_{fs}$  و  $\epsilon_{mp}$  انرژی فعال‌سازی تقویت‌کننده توان برای دو وضعیت چند مسیره و فضای باز است. در صورت بیشتر بودن فاصله از آستانه  $d_{co}$ ، با تنظیم تقویت‌کننده توان، فرستنده از مدل چند مسیره می‌توان استفاده نمود. در غیر این صورت از مدل فضای باز برای کانال استفاده می‌شود. همچنین مقدار انرژی برای این  $I$  بیت، در گره گیرنده صرف می‌شود از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

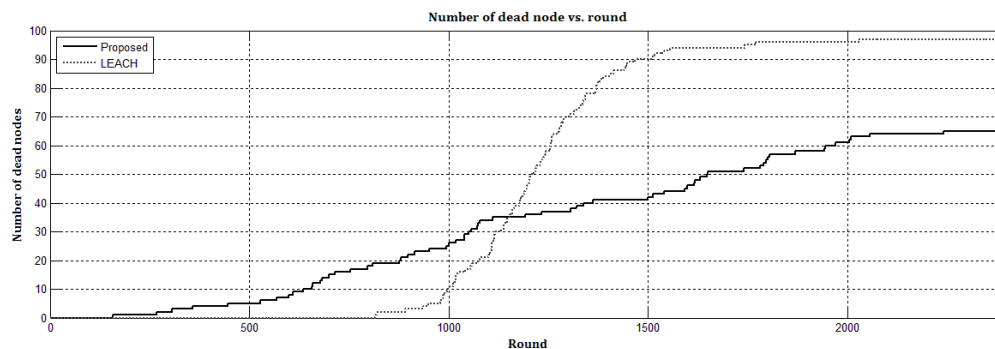
$$E_r = IE_{elect} \quad (11)$$



شکل ۲ - مدل مصرف انرژی در پروتکل Leach

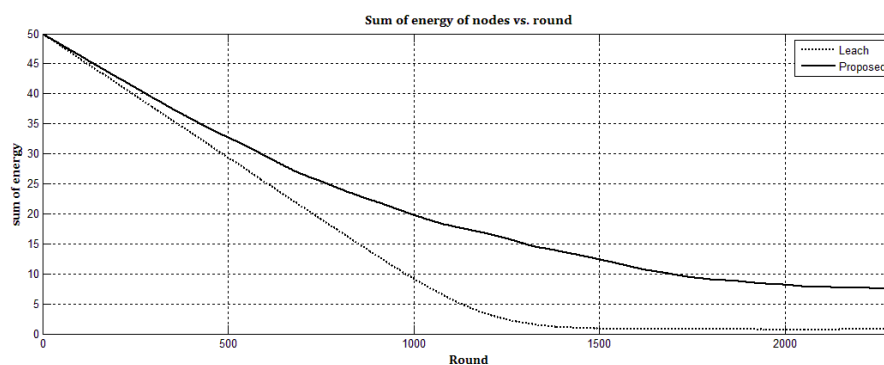


نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی نشان دهنده بهبود عملکرد و افزایش طول عمر شبکه در این طرح نسبت به پروتکل Leach می‌باشد. شکل 3. نشان دهنده نرخ مرگ گره‌ها در مقابل تعداد راند سپری شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پارامترهای مرگ آخرین گره یا LND و زمان مرگ نیمی از گره‌ها یا HND که یکی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در عملکرد شبکه حسگر می‌باشد نسبت به پروتکل LEACH به طور قابل توجه بهبود پیدا کرده است و نرخ مرگ گره‌ها نسبت به LEACH با سرعت و شیب یکنواختی رخ می‌دهد که این مورد برای LEACH بسیار نامطلوب است.



شکل ۳- نمودار میزان مرگ گره‌های حسگر در مقابل تعداد راند ها

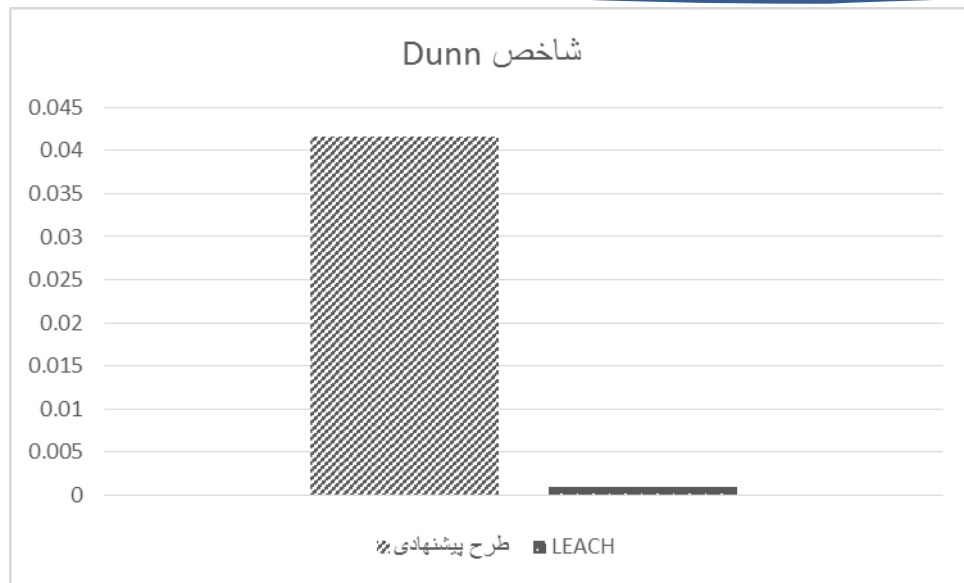
در شکل 4. میزان مصرف انرژی گره‌های شبکه در طرح پیشنهادی و پروتکل LEACH مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان مصرف انرژی در LEACH نسبت به طرح پیشنهادی دارای سرعت بیشتری می‌باشد.



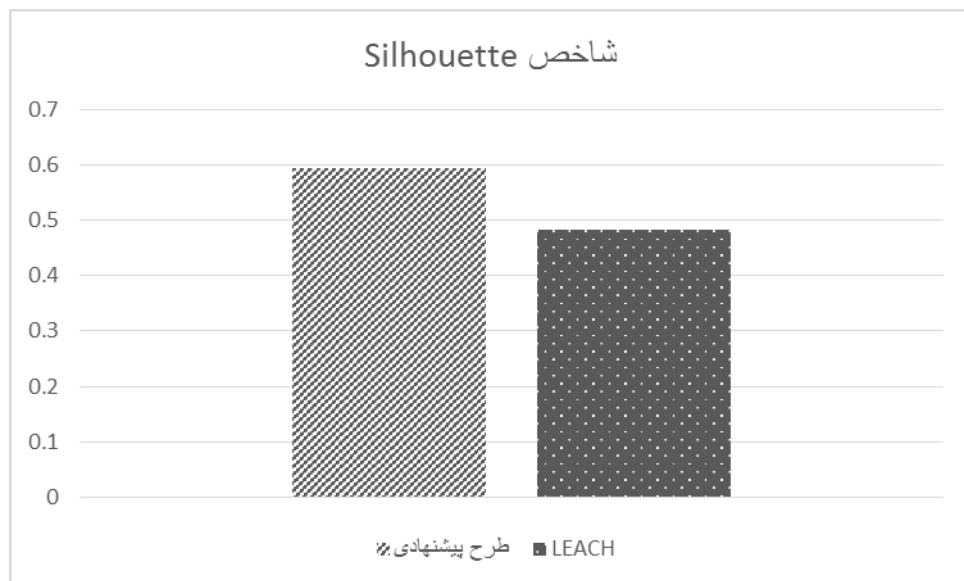
شکل ۴ - نمودار میزان مصرف انرژی گره‌های حسگر نسبت به تعداد راند های سپری شده

### ۳,۲ سنجش کیفیت خوشه‌های تشکیل شده

در این مقاله برای سنجش کیفیت خوشه‌های تشکیل شده طرح پیشنهادی در مقایسه با LEACH از دو معیار Dunn و Silhouette استفاده کرده ایم. همان‌طور که در شکل 5 و شکل 6. مشاهده می‌شود روش پیش‌پیشنهادی دارای ضریب Dunn و Silhouette بالاتری نسبت به LEACH می‌باشد که نشان از کیفیت بالاتر خوشه‌های تشکیل شده در روش پیشنهادی می‌باشد.



شکل ۵ - شاخص اعتبارسنجی Dunn



شکل ۶ - شاخص اعتبارسنجی Silhouette

جدول ۱ - پارامترهای شبیه سازی

مقدار	پارامتر
$100 \times 100 m^2$	مساحت منطقه
۱۰۰	تعداد گره‌ها
۰.۵ J	انرژی اولیه هر گره
50 bit	طول هر پیام
$10^{-12}$	انرژی مصرف شده در فضای باز
$1.3 \times 10^{-15}$	انرژی مصرف شده در هر مسیر
$0.5 \times 10^{-8}$	انرژی مصرف برای ترکیب پیام

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک روش خوشه بندی فازی تکاملی برای خوشه بندی برای شبکه های حسگر بیسیم جهت افزایش طول عمر این شبکه ها ارائه شده است. روش ارائه شده می تواند برای کاربرد های نیازمند پایداری و طول عمر زیاد مورد استفاده قرار بگیرد. در این روش ما فرض کرده ایم که گره های شبکه همگن و پس از توزیع در محیط هدف در جای خود ثابت و بدون حرکت باقی می مانند. در این روش تعداد خوشه ها به صورت پویا تعیین شده و با استفاده از روش خوشه بندی K-Mode با ورودی مرکزیت گره خوشه ها تشکیل می شود سپس دو هدف فشردگی و تفکیک پذیری به عنوان توابع هدف الگوریتم ژنتیک برای جلوگیری از به دام افتادن روش خوشه بندی در وضعیت های خوشه بندی بهینه محلی در نظر گرفته شده که با بررسی میزان فشردگی و تفکیک پذیری خوشه ها بهترین حالت ممکن را از بین جمعیت موجود انتخاب می کند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده در مقایسه با الگوریتم LEACH عملکرد بهتری در پارامترهای LND و HND از خود نشان می دهد همچنین کیفیت خوشه های تشکیل شده در این روش بر اساس معیارهای Dunn و Silhouette از کیفیت بالا تری نسبت به LEACH برخوردار است. برای ادامه این راه به عنوان کارهایی که برای بهبود و توسعه این روش در کارهای آتی می توان انجام داد، استفاده از الگوریتم های سریعتر مانند PSO برای افزایش سرعت خوشه بندی و مسیریابی، ارزیابی پایداری سیستم توسط روش های استاندارد، استفاده از کنترل همروندی و توازن بار در سیستم برای افزایش اطمینان و امنیت همچنین می توان به طراحی معیاری برای زمان تعویض سرخوشه ها پرداخت تا از تعویض آنها در ابتدای هر راند در خوشه ها جلوگیری نمود و سربار تعویض سرخوشه ها در راند های متناوب را کاهش داد. به این ترتیب می توان انرژی که جهت تعویض سرخوشه ها مصرف می شود را ذخیره نمود. همچنین می توان رابطه ای برای تناسب تعداد خوشه ها و تعداد حسگرها و یا رابطه بین تعداد خوشه و اندازه ی محیط را نیز بیان کرد.

1. Akyildiz, I.F., et al., *Wireless sensor networks: a survey*. Computer networks, 2002. **38**(4): p. 393-422.
2. Pantazis, N.A., S.A. Nikolidakis, and D.D. Vergados, *Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey*. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2013. **15**(2): p. 551-591.
3. Liu, X., *A survey on clustering routing protocols in wireless sensor networks*. Sensors, 2012. **12**(8): p. 11113-11153.
4. Abbasi, A.A. and M. Younis, *A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks*. Computer communications, 2007. **30**(14): p. 2826-2841.
5. Aslam, M., et al. *Survey of Extended LEACH-Based Clustering Routing Protocols for Wireless Sensor Networks*. in *High Performance Computing and Communication & 2012 IEEE 9th International Conference on Embedded Software and Systems (HPCC-ICES)*, 2012 IEEE 14th International Conference on. 2012.
6. Al-Karaki, J.N. and A.E. Kamal, *Routing techniques in wireless sensor networks: a survey*. Wireless communications, IEEE, 2004. **11**(6): p. 6-28.
7. Heinzelman, W.R., A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. *Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks*. in *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*. 2000.
8. Lindsey, S. and C.S. Raghavendra. *PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems*. in *Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE*. 2002.
9. Lee, S.-L., J. Park, and J.G. Shon, *A Two-Layer Cluster Head Selection Based on Distance in Wireless Sensor Networks*, in *Computer Science and its Applications*. 2015, Springer. p. 1003-1007.
10. Farooq, M.O., A.B. Dogar, and G.A. Shah. *MR-LEACH: multi-hop routing with low energy adaptive clustering hierarchy*. in *Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), 2010 Fourth International Conference on*. 2010. IEEE.
11. Yu, J., et al., *A cluster-based routing protocol for wireless sensor networks with nonuniform node distribution*. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2012. **66**(1): p. 54-61.
12. Manzoor ,B., et al., *Q-LEACH: A new routing protocol for WSNs*. Procedia Computer Science, 2013. **19**: p. 926-931.
13. Heinzelman, W.B., A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, *An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks*. Wireless Communications, IEEE Transactions on, 2002. **1**(4): p. 660-670.