

به حداکثر رساندن طول عمر شبکه حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات و منطق فازی

پیام محمدی^۱، تورج محمدپور^{۲*}، حمید توکلایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نرم افزار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت اله آملی، گروه کامپیوتر، آمل، ایران.

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت اله آملی، گروه کامپیوتر، آمل، ایران.

۳- عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت اله آملی، گروه کامپیوتر، آمل، ایران.

نویسنده مسئول: *Mohammadpour.Touraj@gmail.com

خلاصه

شبکه حسگر بی سیم، شبکه ای متشکل از تعداد زیادی گره کوچک است که در هر گره تعدادی حسگر وجود دارد. ویژگی‌های متفاوت شبکه‌های حسگر بیسیم مثل منابع تغذیه محدود، تراکم، پهنای باند کم، اندازه‌های کوچک حافظه و انرژی محدود، شبکه را آسیب پذیر می‌سازد. عمر محدود باتری این شبکه‌ها، مصرف انرژی در شبکه‌های بیسیم را به یکی از چالش‌های اصلی تبدیل کرده است. یکی از روش‌های صرفه جویی در مصرف انرژی استفاده از خوشه بندی گره‌های حسگر است. روش‌های خوشه بندی باعث می‌شوند که انتقال داده‌ها با انرژی کمتری صورت گیرد. الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی گروه ذرات روش محاسباتی تکاملی مبتنی بر جمعیت جواب‌ها است. مانند سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری، الگوریتم مذکور ابزار بهینه سازی است که می‌تواند برای حل انواع مختلفی از مسایل بهینه سازی به کار گرفته شود. روش‌های انتخاب سرخوشه یکی از عواملی است که بر میزان انرژی کل تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و منطق فازی برای انتخاب سرخوشه استفاده شده است. روش کار به این شکل است که ابتدا شبکه حسگر با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات خوشه بندی می‌شود، بعد از یک دوره زمانی مشخص با استفاده از سیستم منطق فازی، انتخاب سرخوشه از سر گرفته خواهد شد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که کارایی روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های سلسله مراتب خوشه بندی سازگار دارای انرژی کم (LEACH)، الگوریتم خوشه بندی سازگار با تایمر انتظار (ACAWT)، مکانیزم انتخاب سرخوشه با استفاده از منطق فازی (CHEF) بهتر است.

کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بی سیم ، منطق فازی ، خوشه بندی ، الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات ، انتخاب سرخوشه

1. مقدمه

در بیشتر کاربردهای شبکه حسگر، از روش‌های خوشه بندی برای کاهش مصرف انرژی استفاده می‌شود. در شبکه‌های خوشه ای، گره‌ها یا به صورت گره عضو یا گره سرخوشه تعریف می‌شوند [1]. گره‌های عضو، مسئول ارسال داده حس شده به گره سرخوشه هستند و گره سرخوشه مسئول جمع آوری، پردازش و ارسال این داده به ایستگاه پایه است. با توجه

جناب دکتر تورج محمدپور، استاد راهنما، عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت اله آملی، گروه کامپیوتر، آمل، ایران.*

Email: Mohammadpour.touraj@gmail.com

به نقش گره سرخوشه، مصرف انرژی در گره های سرخوشه خیلی بیشتر از گره های عضو است. زمانی که یک گره سرخوشه در خوشه همه انرژی خود را مصرف کند، داده حس شده توسط گره های عضو در آن خوشه قابل پردازش نمی باشند و بی فایده می شوند [2]. برای متوازن کردن مصرف انرژی و افزایش طول عمر خوشه ها و شبکه ها، یک الگوریتم خوشه بندی پیشنهاد دادیم که در آن نقش گره های سرخوشه بر اساس پارامترهای انرژی، مرکزیت، فاصله تا ایستگاه پایه، تعداد گام ها و چگالی به صورت پویا تغییر می کند. در سیستم پیشنهادی، برای استنباط اینکه کدام گره باید به عنوان گره سرخوشه انتخاب شود، از سیستم استنتاج منطق فازی توزیع شده استفاده کردیم. سیستم پیشنهادی کاملاً توزیع شده است، به طوری که هر گره شامل موتور استنتاج منطق فازی است و برای انجام یک استنباط (استنتاج) دقیق از اطلاعات خود و همسایگانش استفاده می کند. الگوریتم های موجود از موتور منطق فازی به صورت متمرکز استفاده می کنند، اما ما از موتور منطق فازی به صورت توزیع شده استفاده کردیم. همچنین در این روش برای بار اول جهت انتخاب سرخوشه از الگوریتم PSO استفاده شده است. بنابراین الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات می تواند برای رسیدن به یک راه حل کارآمد و سریع بسیار موثر باشد [3]. توجه داشته باشید که رویکردهای فرااکتشافی بسیاری برای حل مسائل بهینه سازی همچون الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی کلونی مورچگان، تکامل تفاضلی و ... وجود دارد. اگرچه الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات مزایای زیر را بیشتر از این الگوریتم ها داراست: 1. به راحتی قابل پیاده سازی در سخت افزار و نرم افزار است. 2. این الگوریتم راه حل های با کیفیت بالا تولید می کند که ناشی از دسترسی آن به فضای بهینه محلی است. 3. این الگوریتم سریع تر از دیگر الگوریتم های فرااکتشافی همگرا می شود.

در ادامه ما در قسمت دوم شبکه حسگر بیسیم را توضیح می دهیم، سپس الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات و سیستم منطق فازی را در بخش های سه و چهار توضیح خواهیم داد. در بخش پنجم روش پیشنهادی ارائه می شود، سپس در روش پیشنهادی، مسئله خوشه بندی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات و انتخاب سرخوشه با استفاده از سیستم منطق فازی توضیح داده می شود. در قسمت ششم، پیاده سازی روش پیشنهادی را ارائه می دهیم و در قسمت هفتم روش پیشنهادی را با دیگر الگوریتم ها مقایسه می کنیم. نتیجه گیری حاصل از انجام این تحقیق در قسمت هشتم و پیشنهاد جهت کارهای آتی در قسمت نهم توضیح داده خواهد شد.

2. شبکه حسگر بیسیم

پیشرفت های اخیر در ساخت مدارات مجتمع در اندازه های کوچک از یک سو و توسعه ی فناوری ارتباطات بیسیم از سوی دیگر زمینه ساز طراحی شبکه های حسگر بی سیم شده است. شبکه حسگر بیسیم، شبکه ای متشکل از تعداد زیادی گره کوچک است که در هر گره تعدادی حسگر و یا کارانداز وجود دارد. شبکه حسگر به شدت با محیط فیزیکی تعامل دارد. از طریق حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و از طریق کاراندازها واکنش نشان می دهد. ارتباط بین گره ها به صورت بیسیم است. هر گره به طور مستقل و بدون دخالت انسان کار می کند و نوعاً از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است و دارای محدودیت هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، منبع تغذیه و ... می باشد. این محدودیت ها مشکلاتی را به وجود می آورد که منشا بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در این زمینه است [4].

در بسیاری از برنامه های کاربردی شبکه های حسگر، برای کاهش مصرف انرژی از تکنیک های خوشه بندی استفاده می شود. در شبکه های خوشه ای، گره به عنوان گره عضو یا ریشه تعریف شده است. در حالی که گره عضو مسئول ارسال داده های خود به گره ریشه هستند، گره ریشه مسئول جمع آوری، پردازش و ارسال این اطلاعات به ایستگاه پایه است. برای متوازن کردن مصرف انرژی و افزایش طول عمر خوشه ها و شبکه ها، از یک الگوریتم خوشه بندی توزیع شده استفاده می شود [1].

3. الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات

الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی انبوه ذرات روش محاسباتی تکاملی مبتنی بر جمعیت جوابها است. مانند سایر الگوریتم های فرا ابتکاری، الگوریتم مذکور ابزار بهینه سازی است که می تواند برای حل انواع مختلفی از مسایل بهینه سازی به کار گرفته شود. این الگوریتم از جدیدترین روش های فرا ابتکاری است که با الهام گیری از رفتار اجتماعی گروهی از پرندگان مهاجر که در تلاش برای دستیابی به مقصد ناشناخته ای هستند، توسط کندی و ابرهات در سال 1995 میلادی توسعه داده شده است. در الگوریتم PSO، جمعیت جوابها، گروه نامیده می شود و هر جواب مانند یک پرنده در گروهی از پرندگان است و ذره نام دارد و شبیه کرموزوم در الگوریتم ژنتیک است. تمامی ذرات دارای مقدار شایستگی هستند که با استفاده از تابع شایستگی محاسبه می گردند و تابع شایستگی ذرات باید بهینه گردد. جهت حرکت هر ذره توسط بردار سرعت آن ذره معین می شود. برخلاف الگوریتم ژنتیک، در فرایند تکاملی الگوریتم مذکور، پرندگان جدیدی از نسل قبل (جواب های جدید از جواب های قبلی) ایجاد نمی گردد، بلکه هر پرنده رفتار اجتماعی خود را با توجه به تجربیاتش و رفتار سایر پرندگان گروه تکامل بخشیده و مطابق آن حرکت خود را به سوی مقصد بهبود می دهد. به عبارت دیگر، در این الگوریتم عملگرهای تکاملی چون تقاطع (Crossover) و جهش (Mutation) وجود ندارد [5].

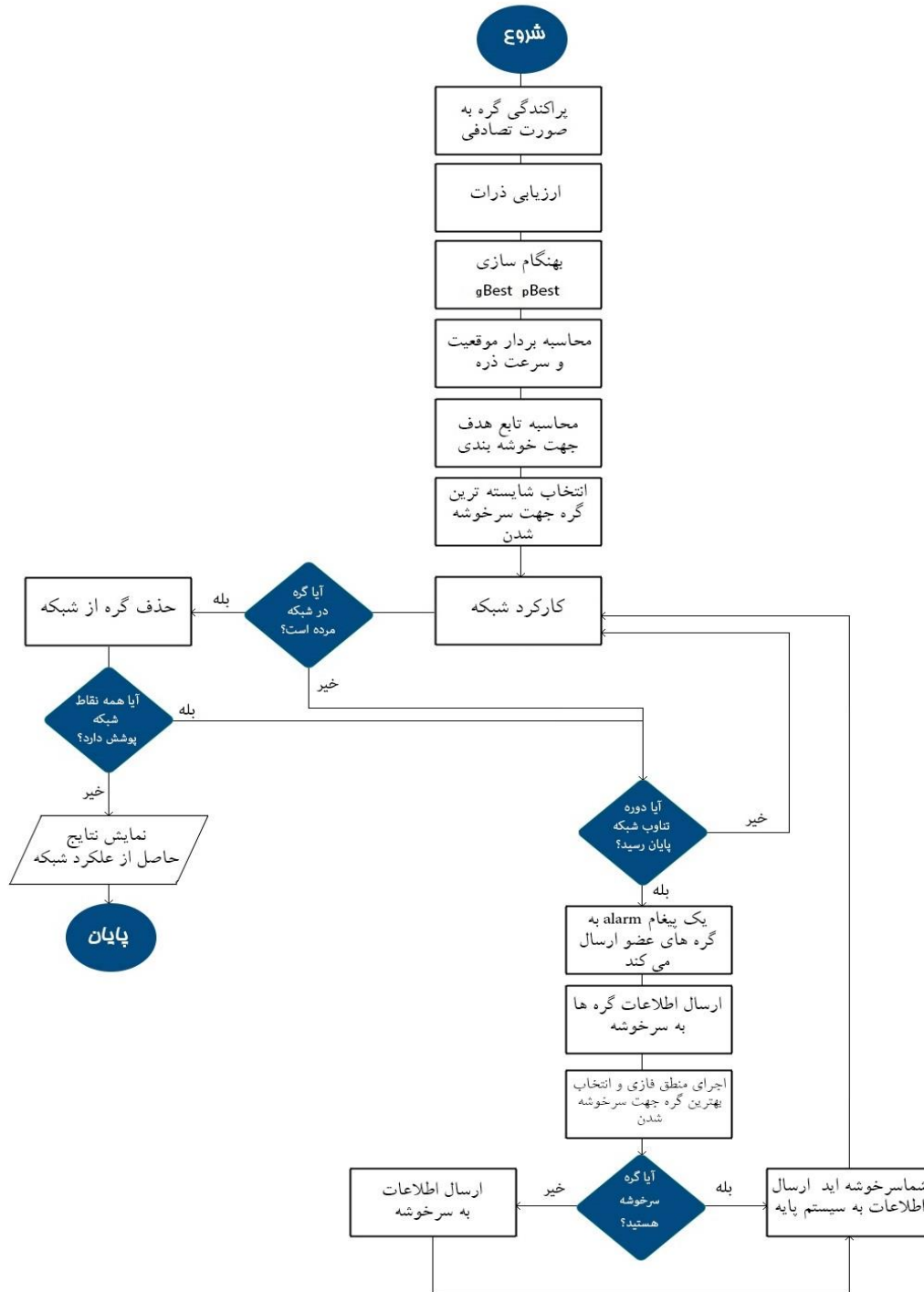
4. منطق فازی

مفاهیم نادقیق بسیاری در پیرامون ما وجود دارند که آنها را به صورت روزمره در قالب عبارتهای مختلف بیان می کنیم. به این جمله دقت کنید: "هوا خوب است". هیچ کمیتی برای خوب بودن هوا مطرح نیست تا آن را اندازه بگیریم بلکه این یک حس کیفی است. در واقع مغز انسان با در نظر گرفتن عوامل گوناگون و بر پایه تفکر استنتاجی جملات را تعریف و ارزش گذاری می نماید که الگوبندی آنها به زبان و فرمول های ریاضی اگر غیرممکن نباشد کاری بسیار پیچیده خواهد بود. منطق فازی فناوری جدیدی است که شیوه هایی را که برای طراحی و مدلسازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره جایگزین می سازد [6]. واژه فازی در فرهنگ لغت آکسفورد به صورت مبهم، گنگ و نادقیق تعریف شده است. با حرکت به سوی عصر اطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می کند. بنابراین ما به فرضیه ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکلی سیستماتیک فرموله کرده و آن را به همراه سایر مدل های ریاضی در سیستم های مهندسی قرار دهد [2].

5. روش پیشنهادی

عملکرد طرح پیشنهادی به این شرح است: ابتدا شبکه حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات خوشه بندی می شود و بهترین گره جهت سرخوشه شدن انتخاب می شود، سپس بعد از گذشت زمان تعریف شده، برای خوشه بندی بعدی از سیستم استنتاج فازی استفاده می گردد. در جزئیات کار این سیستم که در فلوچارت شکل (1-5) رسم شده، ابتدا شبکه حسگر بیسیم را ایجاد می کنیم. به صورت تصادفی گره ها را قرار می دهیم. در این سیستم یک دوره قرار است با الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات کار شود و

بعد از گذشت مدت زمانی که از عمر شبکه گذشت، (در دوره های بعدی) از سیستم منطق فازی جهت انتخاب سرخوشه استفاده می شود. پس اول خوشه بندی و نحوه انتخاب سرخوشه با الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات مشخص می شود. شبکه مدت زمانی را کار می کند. این مدت زمان بستگی به طول عمر باتری گره های حسگر و محیطی که شبکه در آن قرار گرفته است دارد و دست خود طراح شبکه است. در هنگامی که این زمان فرا رسید در پارت زمانی بعدی یک پیام Alarm به گره های عضو ارسال می شود. این پیام برای تمام گره های عضو خوشه ارسال می شود و از تمام گره های خوشه دریافت داده می کند. سیستم منطق فازی در این قسمت با در نظر گرفتن داده های دریافت شده و پارامترهای مشخص شده، سرخوشه را انتخاب می کند.



شکل 5-1: فلوچارت الگوریتم انتخاب سرخوشه با الگوریتم PSO و منطق فازی

5.1. مسئله خوشه بندی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات

در این روش فرا ابتکاری تعدادی از گره ها به عنوان یک جمعیت اولیه در نظر گرفته شده و با استفاده از روش بهینه سازی PSO و با در نظر گرفتن پارامتر فاصله تا مرکز، خوشه بندی و انتخاب شایسته ترین گره جهت سرخوشه شدن، اعمال می گردد. این تابع هدف ضربی خطی از فاصله درون خوشه ای گره تا بقیه گره ها و فاصله تا سیستم پایه در آن گره است. هرچه میزان فاصله کمتر باشد، اولویت آن گره برای سرخوشه شدن بیشتر است.

$$\text{Objective Function} = \sum_{j=1}^k \sum_{x \in C_j} d(x, m_j) = \sum_{i=1}^n \min d(x_i, m_j)$$

5.2. الگوریتم انتخاب سرخوشه جدید مبتنی بر منطق فازی

هدف مرحله فازی سازی تعیین درجه نگاشت ورودی ها به مجموعه های فازی با استفاده از توابع عضویت است. پنج ورودی به نام های انرژی گره، مرکزیت، فاصله تا ایستگاه پایه، تعداد گام ها، چگالی گره و یک خروجی به نام احتمال وجود دارد. انرژی گره (NE): باقیمانده انرژی در دسترس در هر گره است. مرکزیت (C): برابر فاصله یک گره تا بقیه گره ها در یک درخت است. فاصله تا ایستگاه پایه (DBS): فاصله از گره تا ایستگاه پایه است. تعداد گام ها (NoH): تعداد گره های میانی بین گره ریشه و گره عضو است. چگالی گره (ND): تعداد گره های همسایه یک گره است. احتمال (P): گرهی که دارای بالاترین احتمال برای انتخاب شدن به عنوان گره ریشه است.

اعمال قوانین فازی: قوانین فازی به ورودی های فازی شده اعمال می شود. برای محاسبه مقادیر درجات پارامترهای خروجی احتمال، از فرمول زیر استفاده کردیم:

$$P = NE + (2 - C) + (2 - DBS) + (2 - NoH) + ND$$

در این فرمول P برابر احتمال، NE انرژی گره، C مرکزیت، DBS فاصله تا ایستگاه پایه، NoH تعداد گام ها، ND چگالی گره است. از این فرمول با توجه به این حقیقت استفاده شده است که در حالی که افزایش انرژی باقیمانده و چگالی گره، تاثیر مثبت بر احتمال دارد، افزایش مقادیر مرکزیت، فاصله تا ایستگاه پایه و تعداد گام ها تاثیر منفی بر احتمال دارد. ما برای هر درجه از پارامترهای ورودی، مقادیر 0، 1 و 2 را به ترتیب به نام پایین، متوسط و بالادر نظر گرفتیم. به طور مشابه، برای هر درجه از پارامترهای ورودی نیز مقادیر 0، 1 و 2 را برای نزدیک، میانه و دور در نظر گرفتیم.

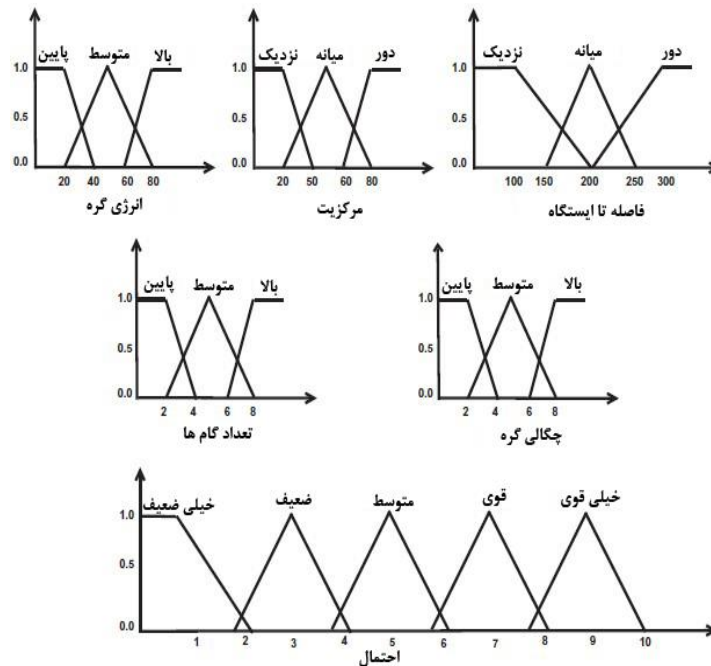
تجمع خروجی ها: خروجی همه قوانین جمع می شود تا یک خروجی استاندارد بدست آید. بر اساس قوانین فازی، متغیر خروجی فازی احتمال بدست می آید. احتمال بالاتر به معنی این است که گره شانس بیشتری برای ریشه شدن دارد.

غیرفازی سازی: این مرحله، تبدیل متغیر خروجی فازی احتمال به یک خروجی منفرد است. ما از مرکز محیط (COA) به عنوان روش غیرفازی سازی استفاده کردیم که در آن، کنترلر منطق فازی ابتدا محیط تحت توابع عضویت در محدوده متغیر خروجی را محاسبه می کند. سپس کنترلر منطق فازی از معادله زیر برای محاسبه مرکز هندسی این محیط استفاده می کند:

$$COA = (\int f(x) * x dx) / \int f(x) dx$$

در این رابطه X مقدار متغیر زبانی، و X_{min} و X_{max} نماد محدوده متغیر زبانی هستند.

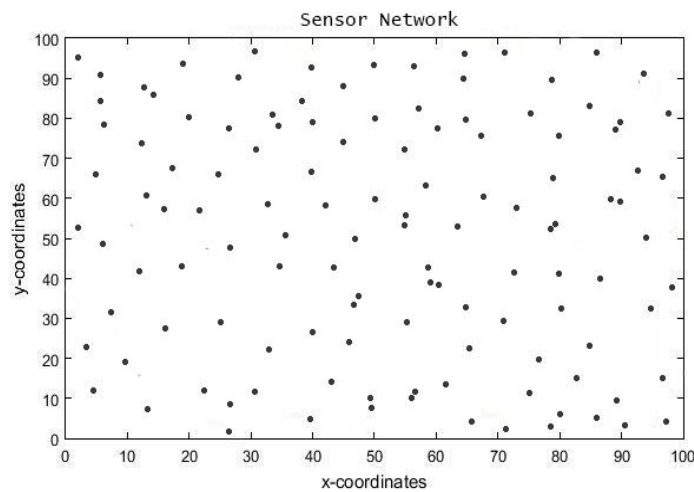
در شکل 2-5 پنج پارامتر ورودی به نام‌های انرژی گره، مرکزیت، فاصله تا ایستگاه پایه، تعداد گام‌ها، چگالی گره و یک خروجی به نام احتمال نمایش داده شده است.



شکل 1-5: توابع عضویت

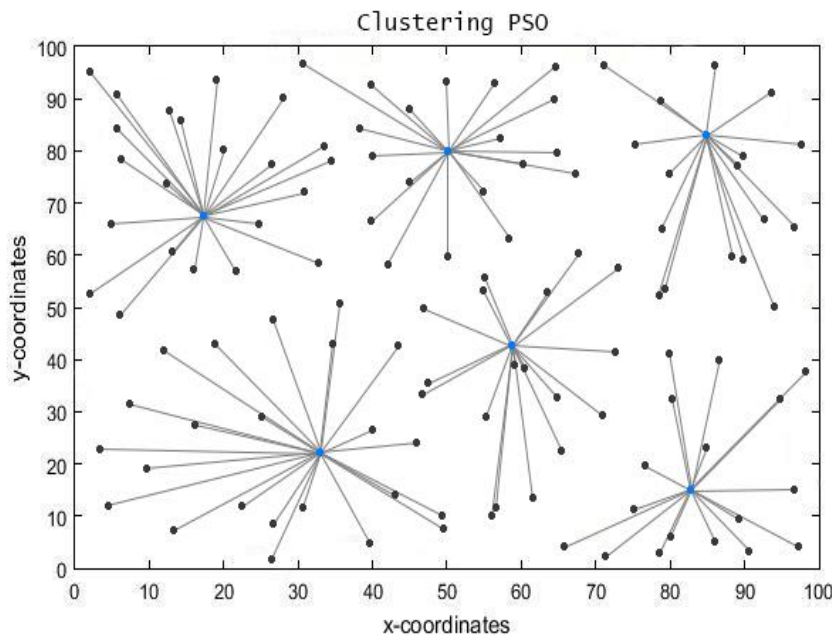
6. نتایج حاصل از پیاده سازی

در این پژوهش ابتدا، شبکه حسگر بیسیم شبیه سازی شده و از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات جهت خوشه بندی و انتخاب سرخوشه استفاده می شود. بعد از گذشت یک دوره زمانی که از طول عمر شبکه میگذرد، حالت خوشه بندی و انتخاب سرخوشه با استفاده از منطق فازی و فازی‌سازی فضای مسئله صورت می‌گیرد. این زمان با در نظر گرفتن چند پارامتر مشخص می شود. قواعد منطق فازی مورد استفاده از نوع ممدانی بوده و باعث افزایش بهینه‌سازی در هنگام خوشه-بندی شده است. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات توانایی انتخاب سرخوشه را از بین جواب‌های موجود دارد. ترکیب این دو باعث بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر یک شبکه حسگر می‌شود. در ادامه، نتایج آزمایش‌های مختلف در نرم افزار متلب شبیه‌سازی و ارائه می‌شود. در ابتدا تعدادی نود (برای مثال 120 عدد) در مکان‌های مختلف و تصادفی در فضای فرضی ما پخش می‌شوند (شکل 6-1):



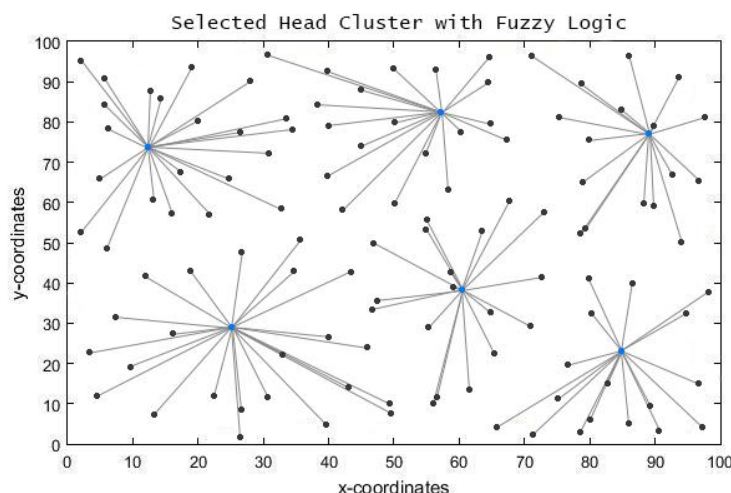
شکل 6-1: تعداد نودها و مکان قرار گیری آن ها به صورت تصادفی

سپس با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات، سرخوشه ها انتخاب شده و شبکه خوشه بندی می شود. در شکل (6-2) تکنیک خوشه بندی و انتخاب سرخوشه در شبکه حسگر بیسیم، با استفاده از الگوریتم PSO نمایش داده شده است. همچنین ارتباط تمام گره های عضو در خوشه، با سرخوشه رسم شده است.



شکل 6-2: خوشه بندی شبکه با استفاده از الگوریتم PSO

اما بعد از اتمام زمان مشخص شده، فاز دوم خوشه بندی با در نظر گرفتن پارامترهای مشخص شده، از منطق فازی برای انتخاب سرخوشه شبکه حسگر استفاده می شود. یعنی فاز دوم همانطور که در شکل (3-4) نشان داده می شود با استفاده از منطق فازی سرخوشه جدید انتخاب می شود.



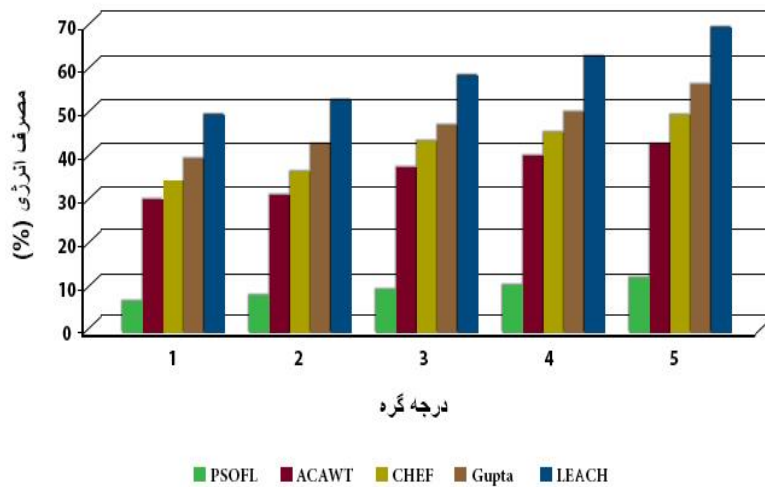
شکل 6-3: خوشه بندی شبکه حسگر بیسیم با استفاده از منطق فازی

برای اطمینان از اینکه الگوریتم ارائه شده بر اساس الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات و منطق فازی به صورت توزیع شده برای خوشه بندی و انتخاب سرخوشهدر شبکه حسگر بیسیم نسبت به الگوریتم دیگر (AWACT) همیشه در حالت بهینه قرار دارد. آزمایش‌های متعددی انجام شده و در تمام آزمایش‌ها و با در نظر گرفتن گره‌های جدید و همچنین مقادیر مختلف برای پارامترها، نتیجه حاصل شده از تمام آزمایش‌ها نشان می‌دهد الگوریتم ارائه شده همه در حالت بهینه نسبت به الگوریتم دیگر بوده و صرفه جویی انرژی در آن صورت می‌گیرد. جدول 1-7 پارامترهای شبیه سازی را نشان می‌دهد.

جدول 1- پارامترهای شبیه سازی

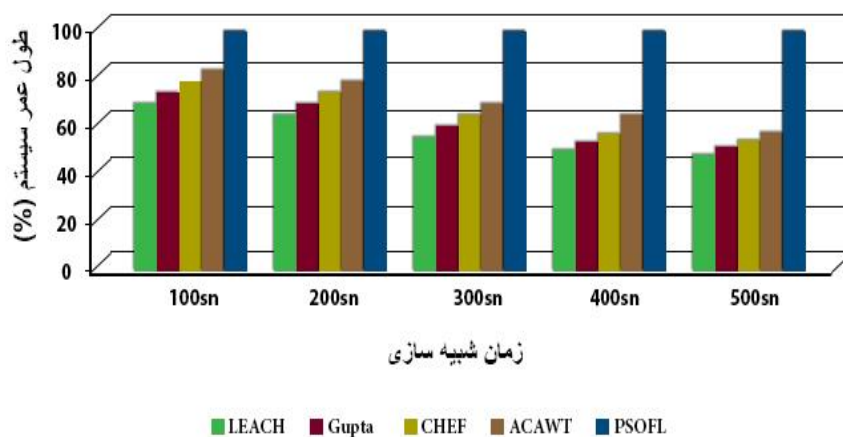
مقدار اولیه - تعداد نودها (N)	حداقل 120
رنج فاصله بین هر گره (R)	20
مقدار ثابت کاهش انرژی	1.24
زمان های شبیه سازی	100, 200, 300, 400, 500S
درجه گره	1 الی 5

ما پایداری گره‌های ریشه (شکل 6-4) را باهم مقایسه کردیم و با مقایسه درصد مصرف انرژی گره‌ها در درجات مختلف (از 1 تا 5) آنها را اندازه گرفتیم. برای هر درجه گره‌ای، از تعداد گره‌های مختلف استفاده نمودیم. همانطور که در شکل مشخص است، با پایدار بودن درصد مصرف انرژی گره‌های ریشه در PSOFL، تفاوت‌های قابل توجهی در الگوریتم‌های دیگر وجود دارد.



شکل 4-6: مقایسه الگوریتم‌ها از منظر پایداری گره‌های ریشه

شکل 5-6 درصد زمانی که اولین گره حسگر همه انرژی خود را در طول زمان‌های شبیه‌سازی مختلف مصرف کرده است، را نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بنابر کارآمد مکانیزم انتخاب سرخوشه، طول عمر سیستم در PSOFL خیلی بیشتر از الگوریتم‌های دیگر است. طول عمر سیستم در الگوریتم‌ها با پارامتر مصرف انرژی در ارتباط است. با کاهش تعداد پیام‌های ارسالی، مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد و بنابراین طول عمر سیستم افزایش می‌یابد.



شکل 5-6: مقایسه طول عمر سیستم در الگوریتم‌ها در زمان‌های شبیه‌سازی مختلف

7. نتیجه گیری

ویژگی‌های متفاوت شبکه‌های حسگر بیسیم مثل منابع تغذیه محدود، تراکم، پهنای باند کم، اندازه‌های کوچک حافظه و انرژی محدود، شبکه را آسیب پذیر می‌سازد. عمر محدود باتری این شبکه‌ها، مصرف انرژی در شبکه‌های بیسیم را به یکی از چالش‌های اصلی تبدیل کرده است. یکی از روش‌های صرفه جویی در مصرف انرژی استفاده از خوشه بندی گره‌های حسگر است. روش‌های خوشه بندی باعث می‌شوند که انتقال داده‌ها با انرژی کمتری صورت گیرد. روش‌های انتخاب سرخوشه یکی از عواملی است که بر میزان انرژی کل تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و منطق فازی استفاده شده است. قواعد منطق فازی مورد استفاده از نوع ممدانی بوده و باعث افزایش بهینه‌سازی در هنگام تشکیل خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه شده است. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات توانایی انتخاب سرخوشه را از بین جواب‌های موجود دارد. ترکیب این دو باعث بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر یک شبکه حسگر می‌شود. فازی سازی که در روش خوشه بندی و انتخاب ریشه ارائه شده این است که خوشه بندی براساس 5 پارامتر اصلی انرژی، مرکزیت، فاصله تا ایستگاه پایه، تعداد گام‌ها و چگالی گره، بهترین گره برای سرخوشه شدن انتخاب می‌شود.

8. کارهای آتی

در تحقیق‌های بعدی پیشنهاد می‌شود که تعداد سیستم پایه را افزایش داد. جهت بهبود طول عمر گره سرخوشه، برای ارسال اطلاعات به سیستم پایه، باید حتی الامکان فاصله را کم کرد. هنگامی که خوشه بندی انجام شد، سرخوشه بتواند به نزدیک ترین سیستم پایه ارسال اطلاعات کند. با توجه به تعداد گره‌ها و وسعت فضای محیط می‌توان تعریف کرد که چه تعداد سیستم پایه نیاز است. برای انتخاب اینکه کدام خوشه به کدام سیستم پایه ارسال اطلاعات کند پارامتری که در نظر گرفته می‌شود باید فاصله خوشه به سیستم پایه باشد. حل این مسئله هم می‌تواند با الگوریتم‌های تکاملی انجام گیرد. پیشنهاد می‌شود که با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات این عمل صورت گیرد، چرا که معیار موقعیت و سرعت را به راحتی با این الگوریتم می‌توان محاسبه کرد و پیاده‌سازی این الگوریتم ساده، کارا و کم هزینه است.

9. مراجع

- [1] Wen C, Sethares WA. Adaptive decentralized re-clustering for wireless sensor networks. In: IEEE international conference on systems, man, and cybernetics; 2006. p. 2709-16.
- [2] Kazem Sohrabi, Daniel Minoli, Taieb ZnaR. "Wireless Sensor Network". Sorbon University. 2007.
- [3] Md Azharuddin, Prasanta K. Jana . Particle swarm optimization for maximizing lifetime of wireless sensor networks. Dhanbad-826 004 ; 2016.
- [4] M. Demirbas, A. Arora and V. Mittal, "FLOC: a fast local clustering service for wireless sensor networks" in: Proceedings of Workshop on Dependability Issues in Wireless Ad Hoc Networks and Sensor Networks, Florence, pp.23-12, 2004.

- [5] T. A. Runkler, & C.Katz, "Fuzzy clustering by Particle swarm optimization". IEEE international conference on fuzzy systems pp.601-608. Vancouver: Canada July 16-21,2006.
- [6] Zadeh L.A. m. 1965, "Fuzzy sets". Information and Control 8: 338-3.