ارائه روشی ترکیبی هارمونی جهت مسیریابی پویا در شبکه‌های حسگر بیسیم

فاطمه شبیه[۱]، جلیل عظیم پور[۲]، مرضیه دادور[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه نرم‌افزار کامپیوتر، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران Shabih.fatemeh@gmail.com

۲- گروه نرم‌افزار کامپیوتر، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایرانJalil@azimpour.ir

۳- گروه هوش مصنوعی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران Marziye.dadvar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۸

چکیده

شبکه‌های حسگر بیسیم دارای تعداد زیادی گره حسگر با انرژی محدود می‌باشند که در یک منطقه محدود جغرافیایی پراکنده شده‌اند. با توجه به محدودیت منابع در شبکه‌های حسگر بیسیم، افزایش طول عمر این شبکه‌ها با کاهش مصرف انرژی همواره مورد توجه است. انرژی گره‌ها بیشتر برای ارسال اطلاعات به ایستگاه مرکزی مصرف می‌شود. در مسیریابی پی‌درپی بر مبنای خوشه‌بندی، این مسئولیت بر عهده سرخوشه‌ها است و این امر موجب افزایش مصرف انرژی در سرخوشه‌ها می‌شود. در سال‌های اخیر برای دیرتر تمام شدن انرژی سرخوشه‌ها، پروتکل‌های خوشه‌بندی و مسیریابی‌های زیادی پیشنهاد شده است. هدف این پژوهش، ترکیب خوشه‌بندی و مسیریابی در راستای افزایش طول عمر این نوع شبکه‌هاست. برای خوشه‌بندی از الگوریتم ژنتیک با تعداد خوشه‌های ثابت و برای مسیریابی از الگوریتم جستجوی هارمونی استفاده شده است. از آنجاییکه سرخوشه‌ها انرژی بیشتری نسبت به دیگر گره‌ها برای ارسال اطلاعات مصرف می‌کنند، هدف الگوریتم ژنتیک کاهش تعداد سرخوشه‌ها در جهت افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. در سفارشی کردن الگوریتم جستجوی هارمونی برای مسیریابی، سه معیار همسایگی، کاهش مصرف انرژی و توزیع مناسب مصرف انرژی در نظر گرفته شده است. الگوریتم هارمونی پیشنهادی با برقراری توازن مناسب بین معیارهای ذکرشده باعث تولید مسیرهای بهینه‌تری خواهد شد. در نهایت تغییر سرخوشه‌ها در هر دور مسیریابی باعث ایجاد توازن مصرف انرژی بین گره‌های هر خوشه خواهد شد. نتایج حاصل شده از آزمایشات، حاکی از برتری ۲/۱٤٪ الگوریتم پیشنهادی در ارسال پیام و همچنین افزایش ۲٤/۸٤٪ طول عمر شبکه نسبت به پروتکل DEEC می‌باشد.

کلید واژه: شبکه‌های حسگر بیسیم، طول عمر شبکه، خوشه‌بندی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی هارمونی

۱. مقدمه

یکی از ابزارهای کسب اطلاعات محیطی که تحقیقات گسترده‌ای را نیز به خود معطوف کرده، شبکه‌های حسگر بیسیم است(۱). با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در این نوع شبکه‌ها، گره‌های حسگر به تعداد زیاد و اندازه کوچک، هنوز هم برای تامین انرژی خود، متکی به باتری‌هایی با توان اندک هستند. معمولا به دلیل به کارگیری این نوع شبکه‌ها در محیط‌های خشن و غیرقابل دسترس، امکان شارژ مجدد یا تعویض گره‌های حسگر وجود ندارد؛ بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائل در شبکه‌های حسگر بیسیم، مسئله مدیریت بهینه انرژی است. همچنین از آنجا که کارایی شبکه‌های حسگر بیسیم، به شدت به طول عمر شبکه و پوشش شبکه‌ای آن وابسته است، پروتکل‌های ارائه شده در این نوع شبکه‌ها، باید افزایش طول عمر شبکه را مورد توجه قرار دهند. بنا به تعریف، مدت زمان به پایان رسیدن انرژی اولین گره از ابتدای شروع به کار شبکه،

طول عمر شبکه[1] نامیده می‌شود(۲۹). جهت افزایش طول عمر شبکه، باید دو معیار کاهش مصرف انرژی و توزیع صحیح مصرف انرژی بین گره‌های حسگر را مد نظر قرار داد. از آنجا که پروتکل‌های مسیریابی، کارایی شبکه را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهند، نیاز به ارائه الگوریتم‌های مسیریابی انرژی آگاه[2] برای افزایش طول عمر شبکه از طریق برقراری توازنی مناسب بین دو معیار ذکرشده، به خوبی احساس می‌شود. در حال حاضر، مسیریابی انرژی آگاه، یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در شبکه‌های حسگر بیسیم محسوب می‌گردد (۲).

شبکه‌های حسگر بیسیم به دلیل هزینه کم و ارتباطات آسان، امروزه در بسیاری از کاربردها برای فعالیت‌های نظارتی در محیط‌های مختلف استفاده می‌شوند. حسگرها در این شبکه‌ها از یک منبع تغذیه محدود استفاده می‌کنند که پس از اتمام آن، به دلیل غیرقابل تجدید بودن این منابع، عمر شبکه به پایان می‌رسد. برای استفاده بیشتر و افزایش عمر این نوع شبکه‌ها ، محققان همواره به دنبال روش‌هایی هستند که بتوان به وسیله آنها مصرف انرژی را کاهش داد. بنابراین انرژی موجود در هر گره باید به عنوان یک اولویت اصلی در طراحی پروتکل‌های مسیریابی در نظر گرفته شود. بیشتر انرژی مصرفی این شبکه‌ها صرف انتقال داده‌ها می‌شود. فاصله ارتباطی طولانی بین حسگرها و ایستگاه مرکزی[3] در یک شبکه حسگر بیسیم انرژی زیادی را مصرف می‌کند و همچنین طول عمر شبکه را نیز کاهش می‌دهد(۱۰). انرژی گره‌ها بیشتر برای ارسال اطلاعات به ایستگاه مرکزی مصرف می‌شود. در مسیریابی پی در پی بر مبنای خوشه‌بندی، این مسئولیت بر عهده سرخوشه‌ها می‌باشد که این امر موجب افزایش مصرف انرژی در سرخوشه‌ها می‌شود. با توجه به محدودیت‌های ذاتی شبکه‌های حسگر بیسیم یا بنا به محل قرار گرفتن گره‌های حسگر نسبت به ایستگاه مرکزی، نمی‌توانند به صورت مستقیم با یک پرش با ایستگاه مرکزی ارتباط برقرار کنند در نتیجه نیازمند مسیرهای چند پرشه تا ایستگاه مرکزی می‌باشند.

در ادامه این مقاله به بررسی برخی از جدیدترین کارهای انجام شده در بخش دوم می‌پردازیم، در بخش سوم پیش‌فرض‌های پژوهش بیان شده، در بخش چهارم پروتکل پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک(۱۳) و هارمونی(۱۱) مطرح شده و عملگرهای لازم جهت توزیع مصرف انرژی بین گره‌ها ارائه می‌شود. نتایج حاصل از ارزیابی پروتکل پیشنهادی در بخش پنجم آورده شده و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات در بخش ششم ذکر شده است.

۲. مروری بر تحقیقات انجام شده

در ادامه، به معرفی چند تحقیق مشابه در خصوص مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم‌های فرااکتشافی می‌پردازیم. یائو و همکاران (۲۵) به منظور رفع مشکل تولید کروموزوم‌های نامعتبر در هنگام استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم (WSN)، یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته با نام ROS_IGA ارائه دادند. در این الگوریتم با توجه به موقعیت و همسایگی گره‌ها در شبکه‌های حسگر بیسیم و استفاده از اپراتورهای ترکیب و جهش معقولی اطمینان حاصل می‌کند که توپولوژی شبکه مناسبی برای ارتباط میان گره‌ها فراهم کند. علاوه بر این، ROS_IGA عوامل بسیاری، از قبیل انرژی باقیمانده از گره‌های حسگر، فاصله و مصرف انرژی بین گره‌های مجاور و تاخیر ارتباطات را به منظور انتخاب مسیریابی مناسب در نظر می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ROS_IGA افزایش سرعت همگرایی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های حسگر بیسیم را تضمین می‌کند. در تحقیقی که توسط خان و همکاران (۱۵) با عنوان تاثیر پارامترهای اساسی در بهره‌وری انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم انجام شد از یک پروتکل معروف در زمینه شبکه‌های حسگر بیسیم مبتنی بر خوشه‌بندی استفاده می‌کند که به صورت تصادفی و دوره‌ای در هر خوشه گره‌ای را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند. با این تفاوت که در پروتکل مذکور میانگین انرژی خوشه‌ها محاسبه شده و محل جایگیری مسیریاب در نزدیکی سرخوشه‌ی با انرژی بالاتر قرار می‌گیرد. این پروتکل موازنه انرژی را معیاری برای جایگیری مسیریاب

[1] Life Time Network
[2] Energy Aware
[3] Base Station

در نظر می‌گیرد. زون-زین و همکاران (۲٤) در تحقیق خود یک الگوریتم مسیریابی موردی با انرژی کارآمد برای شبکه‌های حسگر بیسیم، نحوه ارسال داده به مسیریاب را مورد بررسی قرار دادند. این الگوریتم با محدود کردن تعداد گام‌های ارسالی، سعی در کم کردن مصرف انرژی حاصل از انتقال داده توسط حسگرهای میانی دارد. با این حال، تنها برای آن دسته از کاربردها مناسب است که تحمل تاخیر را داشته باشند. تحقیقی تحت عنوان مدل و پروتکل مسیریابی انرژی کارآمد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در شبکه‌های حسگر بیسیم توسط جینهووا و همکاران (١٤) مطرح شد. یکی از چالش برانگیزترین قسمت‌های قدرت مسیریاب متحرک در جمع‌آوری داده‌ها، اداره‌ی موثر سربار پیغام‌های کنترلی اضافه شده توسط مسیریاب می‌باشد. در نگاه اول همه‌پخشی محل کنونی مسیریاب سیار در کل شبکه، طبیعی‌ترین راه‌حل برای پیگیری حرکت مسیریاب به نظر می‌رسد. این‌گونه رویکردها مسیریاب‌گرا بوده و کارایی آن جمع‌آوری داده‌ها در شبکه است. این پروتکل برای کاهش پیغام کنترلی پیشنهاد شده است.

بیرادار و همکاران (۵) در تحقیقی با عنوان حمایت همسایگان قابل اعتماد چند پخشی مبتنی بر مسیریابی ژنتیک در شبکه حسگر بیسیم، یک ساختار پخش داده‌ای دو لایه جهت تسریع ارسال داده پیشنهاد کردند. پروتکل چند پخشی فضایی-زمانی پیشنهاد شده، یک منطقه تحویل داده در مقابل مسیریاب سیار بوجود می‌آورد. پیغام‌های کنترلی به گره‌های بیدار در منطقه تحویل داده، به صورت سیل‌آسا پخش می‌شود. در پژوهش دیگری که توسط نظیر و همکاران (۱۸) با عنوان پروتکل مسیریابی موردی جهت طولانی‌تر شدن عمر شبکه در شبکه‌های حسگر بیسیم خوشه‌ای ارائه شد، سربار ارتباطات را با پیشنهاد یک مدل محدود شده‌ی پخش سیل‌آسا کاهش داده‌اند. مسیریابی‌ها فقط زمانی به‌روز می‌شوند که توپولوژی تغییر کند. در این روش فرض شده که مسیریاب با سرعت ثابت و در مسیری ثابت حرکت می‌کند، که این امر باعث محدود کردن کاربردهای آن می‌گردد و عیب محسوب می‌شود. تحقیق دیگری با استفاده از شبکه‌های عصبی توسط نهرا و همکاران (۱۹) ارائه شده است. این تحقیق با استفاده از خوشه‌بندی گره‌های حسگر، سعی در افزایش طول عمر شبکه دارد. همچنین در تحقیق نیانشنگ و همکاران (۲۰)، تلاش شده است یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک و اجتماع مورچگان در راستای تعادل مصرف انرژی در کل شبکه ارائه شود.

یک مدل فازی جدید برای مسیریابی فازی آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم توسط ماریام یوسف و همکارش (۲۸) ارائه شده است. در این تحقیق از چند پارامتر نظیر : مقدار انرژی ارسال، انرژی باقیمانده، نرخ مصرف انرژی، اندازه صف و وزن به‌عنوان متغییرهای فازی ورودی استفاده کرده است. این پارامترها در مسیریابی شبکه‌های حسگر بیسیم، مقدار ثابتی دارند که باعث عدم قابلیت انعطاف پروتکل‌های مسیریابی می‌شود. خروجی این سیستم مقدار هزینه‌ی بین دو نود را مشخص می‌کند. که می‌تواند برای انتخاب نود مقصد بکار رود. یان و همکاران (۲۷) یک مسیریابی انرژی آگاه در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات مطرح کردند. در این تحقیق، با استفاده از یک الگوریتم ازدحام ذرات چندمرحله ای، محدودیت‌هایی مانند اتصال و همه پخشی در نظر گرفته شده است. کلاوسن و همکاران (۸) تحقیقی با عنوان بهینه‌سازی حالت لینک با پروتکل مسیریابی ژنتیک مطرح کردند و به معرفی الگوریتم بهینه‌سازی مسیریابی حالت لینک پرداختند. این الگوریتم نسخه بهبود یافته‌ی الگوریتم حالت لینک سنتی است. روش مسیریابی حالت لینک به این صورت است که، هر گره هویت تمام گره‌های متصل به خودش را به همه گره‌های دیگر می‌فرستد. براساس اطلاعات اتصال، هر گره نقشه توپولوژی را ایجاد می‌کند. در نهایت، با استفاده از نقشه توپولوژی به ساخت جدول مسیریابی می‌پردازد.

در سال ۲۰۰۰ الگوریتمی تحت عنوان LEACH توسط هینزلمن و همکاران(۱۲) ارائه شد که جایگاه ویژه‌ای بین پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر پیدا کرد و تاکنون بهینه‌سازی‌های فراوانی بر مبنای این الگوریتم انجام شده است.

HEED توسط یونیس و فهمی(٢٦) مطرح شد و از ترکیب انرژی باقیمانده و هزینه ارتباطات به‌عنوان معیاری برای انتخاب گره‌های سرخوشه استفاده می‌کند. نکته قابل توجه در طراحی HEED این است که این الگوریتم فرض می‌کند که گره‌ها از نظر مصرف انرژی با هم متفاوت بوده و سرخوشه‌ها به خوبی در کل شبکه توزیع شده‌اند.

٣. پیش‌فرض‌های پژوهش

تشکیل خوشه‌ها، انتساب نقش‌های مربوطه به گره‌ها و تعیین مسیر انتقال داده، توسط ایستگاه مرکزی صورت می‌گیرد. ایستگاه مرکزی، گرهی (معمولا خارج از شبکه) فرض می‌شود که هیچ‌گونه محدودیتی در منابع انرژی و پردازشی ندارد. هر گره حسگر می‌تواند با گره‌هایی که در برد رادیویی‌اش قرار دارد، انتقال داده داشته باشد. توان حسگرها متغیر و حداکثر برد رادیویی گره‌های حسگر، یکسان است. ایستگاه مرکزی در مورد سطح انرژی و موقعیت گره‌های شبکه از دانش کافی برخوردار است (برای مثال فرض می‌شود که هر یک از گره‌ها دارای GPS باشند). ایستگاه مرکزی همچنین به ازای هر خوشه، جدولی برای دستیابی چندگانه با تقسیم زمانی (TDMA)[1] ایجاد کرده و این جدول را به سرخوشه‌ها تاثیر می‌دهد(٩). این جدول برای زمان‌بندی انتقال داده‌های گره‌های حسگر به کار می‌رود و نیز به گره‌های حسگر امکان می‌دهد تا رسیدن برش زمانی مربوط به خود، آنتن رادیویی خود را خاموش کرده و انرژی خود را ذخیره کنند. بنابراین، هزینه انرژی که برای تشکیل خوشه‌ها لازم است تنها برای ایستگاه مرکزی مطرح بوده و هیچ بسته کنترلی توسط گره‌های شبکه ارسال نمی‌گردد. پروتکل مسیریابی و مسیر حرکت داده‌ها بین گره‌ها توسط ایستگاه مرکزی برای هر سرخوشه تعیین می‌شود. بنابراین هزینه انرژی برای مسیریابی به عهده ایستگاه مرکزی می‌باشد و گره‌های حسگر نقشی در یافتن مسیر حرکت بسته داده‌ها نخواهند داشت.

٤. روش پیشنهادی

پروتکل پیشنهادی شامل پنج فاز است. فاز اول، راه اندازی مقدماتی و مقداردهی اولیه به گره‌ها می‌باشد. در فاز دوم، گره‌ها با توجه به محدوده جغرافیایی در خوشه‌هایی قرار خواهند گرفت. در اینجا از الگوریتم ژنتیک برای خوشه‌بندی گره‌ها استفاده می‌شود. در فاز سوم، الگوریتم مسیریابی مبتنی بر هارمونی جهت، انتقال اطلاعات از سرخوشه‌ها به ایستگاه مرکزی ارائه داده می‌شود. فاز چهارم مربوط به انتقالات بین داده‌ها می‌باشد. در طی انتقالات شبکه، انرژی سرخوشه‌ها کم شده و در نهایت از بین می‌روند. یک راه حل این است که همه گره‌های حسگر داخل یک خوشه به‌وسیله چرخش سرخوشه تغییر کنند. این عمل منجر به توازن مصرف انرژی همه گره‌ها شده و از این رو طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. تعیین سرخوشه در طی انتقالات داده در شبکه در فاز پنجم به‌روزرسانی می‌شود. شبه کد پروتکل پیشنهادی در شکل ١ نشان داده شده است.

[1] Time Division Multiple Access

Dynamic Routing Protocol

Startup phase :

Initialize D matrix with distances between nodes, E vector with residual energy nodes, Er and ER matrix for to show energy consumption in the send and receive data.

Clustering phase (Genetic Algorithm) :

Chromosomes representation (zeros indicative cluster heads and other numbers indicate the cluster members).

Population initialization.

Repeat until termination condition

Use the roulette wheel to select one parent.

Operator actions mutation(mute1 & mute2).

Calculated the fitness of chromosomes based on eq. (3,3).

Accept the new individual (solution) if better.

Find the best solution.

End

Clustering nodes based on the best chromosome.

Routing phase (Harmony Algorithm) :

Applied this phase for each cluster heads.

Define fitness function , HMCR , PAR & HMS.

Generate Harmony Memory(HM) with random harmonies (and heuristic).

For each iteration

For each HM

Calculate weight for each solution based on eq. (3,7).

For each index in HM row

If rand(0,1) < HMCR

using HMC

else If rand(0,1) < PAR

using PA (eq. (3,6))

else

using RND.

End

End

Accept the new harmony (solution) if better.

End

End

Find the best solution and data transmission by this route.

Transmission data phase :

Send data from regular nodes to cluster heads.

Combine data and remove duplicate data by cluster heads.

Constructed data packet and send to station base.

The remaining energy calculation nodes by station base.

Cluster heads update phase (LEACH) :

For each cluster heads

Selective the best cluster using eq. (3,8).

End

Repeat routing phases and cluster heads update phase until the network lifetime.

شکل ۱ : شبه کد پروتکل پیشنهادی

٤-١. فاز راه‌اندازی

در استقرار اولیه، ایستگاه مرکزی (BS) یک سیگنال با حداکثر سطح توان در محدوده جغرافیایی انتقال می‌دهد. همه گره‌هایی که این پیام را می‌شنوند به عنوان گره‌های دردسترس ایستگاه مرکزی در نظر گرفته می‌شوند. در طول فاز راه‌اندازی، هر گره در شبکه که پیام ایستگاه مرکزی را دریافت کرده باشد، میزان انرژی فعلی خود را در شبکه پخش می‌کند. ایستگاه مرکزی برای هر گره مقدار انرژی آن را دریافت کرده و می‌تواند براساس توان سیگنال، فاصله بین خود و گره را محاسبه کند. به منظور راحتی کار فرض می‌کنیم هر گره مختصات مکانی خود را می‌داند و آن را برای ایستگاه مرکزی می‌فرستد. مختصات مکانی با توجه به محدوده جغرافیایی به صورت دو بعدی با (x,y) نمایش داده می‌شود. با توجه به ثابت بودن موقعیت ایستگاه مرکزی $(0,0)$، دردسترس بودن موقعیت سایر گره‌ها، فاصله بین هر جفت گره توسط ایستگاه مرکزی با توجه به رابطه فاصله اقلیدسی تعیین می‌شود.

بنابراین ماتریس D فاصله بین هر جفت گره را نشان می‌دهد. در اینجا به هر گره یک شماره واحد اختصاص داده و از این پس گره‌ها با این شماره معرفی می‌شوند. با توجه به یک گره اضافی (ایستگاه مرکزی) ابعاد ماتریس D یک واحد بیشتر از تعداد کل گره‌های شبکه می‌باشد. سطر و ستون اول این ماتریس فاصله ایستگاه مرکزی با گره‌های شبکه را نشان می‌دهد. ماتریس فاصله‌ها (D) به فرم رابطه زیر می‌باشد.

$$D = \begin{bmatrix} d_{0,0} & d_{0,1} & \dots & d_{0,n} \\ d_{1,0} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n,0} & \dots & \dots & d_{n,n} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

در این رابطه ایستگاه مرکزی با سطر و ستون صفر نشان داده شده و n تعداد کل گره‌های شبکه می‌باشد. ابعاد ماتریس D در اینجا $D_{(n+1),(n+1)}$ می‌باشد. با توجه به ثابت بودن مکان گره‌ها، مقادیر این ماتریس در طول عمر شبکه ثابت و تغییر نخواهد کرد. لازم به ذکر است که محاسبه فواصل، توسط ایستگاه مرکزی انجام شده و سایر گره‌ها انرژی برای محاسبه فاصله مصرف نمی‌کنند.

گره‌ها برای ارسال و دریافت اطلاعات نیازمند مصرف انرژی هستند. انرژی مصرفی برای دریافت اطلاعات با توجه به حجم داده دریافت شده ثابت است. اما انرژی لازم برای ارسال اطلاعات علاوه بر حجم داده مورد نظر به فاصله تا گره دریافت کننده نیز وابسته است. ماتریس E_r انرژی لازم برای ارسال اطلاعات بین هر جفت گره را مشخص می‌کند. شیوه محاسبه انرژی مصرفی در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد. رابطه زیر مشخصات ماتریس E_r را نشان می‌دهد که در آن ایستگاه مرکزی با سطر و ستون صفر مشخص شده است.

$$\begin{bmatrix} e_{0,0} & e_{0,1} & \dots & e_{0,n} \\ e_{1,0} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{n,0} & \dots & \dots & e_{n,n} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

بردار E توسط ایستگاه مرکزی و بعد از دریافت میزان انرژی فعلی هر گره ایجاد می‌شود. عناصر بردار E به تعداد گره‌های شبکه بوده و مقدار هر عنصر میزان انرژی فعلی آن گره را مشخص می‌کند. با توجه به اینکه میزان انرژی هر گره در طول فعالیت شبکه تغییر خواهد کرد، بنابراین مقادیر بردار انرژی توسط ایستگاه مرکزی در هر انتقال داده به‌روزرسانی می‌شود. بردار انرژی به صورت رابطه زیر می‌باشد.

$$E = [e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n] \qquad (۳)$$

در مرحله نهایی فاز راه‌اندازی ماتریس D ، E_r و E به تمامی گره‌های شبکه ارسال می‌شود تا هر گره همسایگان خود را بشناسد.

٤-٢. فاز خوشه بندی

در این پروتکل کل شبکه به چندین خوشه تقسیم شده و در هر کدام از خوشه‌ها یک گره به عنوان سرخوشه[1] (CH) انتخاب می‌شود. وظیفه سرخوشه جمع‌آوری داده‌های ارسالی

[1] Cluster Heads

از گره‌های آن خوشه، حذف داده‌های تکراری، ترکیب داده‌ها و ارسال این داده‌ها به ایستگاه مرکزی می‌باشد. در این پروتکل انتخاب یک گره در هر خوشه به عنوان سرخوشه و ترکیب داده‌ها، به میزان زیادی در افزایش مقیاس‌پذیری و طول عمر شبکه موثر است. در اینجا ما از یک الگوریتم ژنتیک ساده برای مسئله خوشه‌بندی گره‌های حسگر استفاده می‌کنیم. هدف ما در واقع کاهش مجموع کل فاصله‌های ارتباطی بین حسگرها و در نهایت افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. الگوریتم ژنتیک از ایستگاه مرکزی برای عمل خوشه‌بندی استفاده می‌کند که در نتیجه مصرف انرژی شامل حسگرها نخواهد شد. در اینجا ما از کدگذاری عدد صحیح برای نمایش کروموزوم‌ها (راه‌حل‌ها) استفاده می‌کنیم. یعنی هر گره به عنوان یک بیت از کروموزوم معرفی می‌شود. گره‌های سرخوشه را با صفر و اعضای خوشه ها (گره‌های معمولی) را با شماره گره سرخوشه نمایش می دهیم. در واقع تمام گره‌ها با شاخص i ، اعضای خوشه‌ای هستند که سرخوشه آن گره i می‌باشد. ساختار کروموزوم پیشنهادی را در شکل۲ مشاهده می‌کنید.

۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
2	0	4	0	6	0	2	4	6	2

شکل ۲ : ساختار کروموزوم پیشنهادی

تعداد بیت‌های صفر (تعداد سرخوشه‌ها) با در نظر گرفتن انرژی مصرفی، فاصله گره تا ایستگاه مرکزی و مجموع فاصله اعضا خوشه از بین تمام گره‌های معمولی[1] انتخاب می‌شوند. در واقع شماره بیت‌های سرخوشه‌ها در بردار، معرف خوشه‌ها و اعضای آنها می‌باشند. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی عملگر انتخاب، چرخ رولت و تکامل جمعیت براساس دو عملگر جهش انجام می‌شود. عملگر جهش ابتدایی به احتمال α و با احتمال نرخ جهش(M_r) به هر یک از بیت‌های کروموزوم (غیر از سرخوشه‌ها) اعمال شده و در نتیجه، یک شماره خوشه جدید به صورت تصادفی (از بین خوشه‌های موجود) به گره تعلق می‌گیرد.

عملگر جهش دیگری به احتمال $1-\alpha$ یک گره معمولی را انتخاب و به‌عنوان سرخوشه جدید خوشه جاری برمی‌گزینند. در واقع اپراتور جهش ابتدایی گره‌ها را بین خوشه‌ها جابه‌جا می‌کند و اپراتور جهش دوم سرخوشه‌ها را بین گره‌های معمولی جابه‌جا می‌کند. توجه داشته باشید که تعداد خوشه‌ها ثابت فرض شده است. در اینجا نکته‌ای وجود دارد که حائز اهمیت است. گره‌ها توان ارسال اطلاعات محدودی دارند و فقط به گره‌هایی که در برد رادیویی‌شان قرار دارند، می‌توانند داده ارسال کنند. بنابراین این قید در ساخت کروموزوم‌ها باید رعایت شود.

معیار ارزیابی کروموزوم‌ها مهم‌ترین بخش الگوریتم ژنتیک در مسئله حاضر است. Fitness یک کروموزوم برای به حداقل رساندن مصرف انرژی و طولانی کردن عمر شبکه به کار می‌رود. پس به همین منظور ما می‌بایست مجموع فاصله های ارسالی را کاهش دهیم. رابطه زیر برای محاسبه ارزیابی یک کروموزوم پیشنهاد شده است. این رابطه بهبود یافته تابع ارزیابی استفاده شده در (۲) می‌باشد.

[1] Regular Nodes

$$F = \sum_{i=1}^{M}[(c_1 \times D_i) + (c_2 \times E_i) + \sum_{j=1}^{m_i}(c_1 \times d_{ij}) + c_2 \times (e_{ij} + e_{ji})] \quad (٤)$$

در معادله بالا M تعداد سرخوشه‌ها (تعداد صفرهای کروموزوم)، D_i فاصله سرخوشه i ام تا ایستگاه مرکزی، E_i انرژی مورد نیاز برای ارسال اطلاعات از سرخوشه i ام به ایستگاه مرکزی، m_i تعداد گره‌های عضو سرخوشه i ام، d_{ij} فاصله سرخوشه i ام از j مین گره معمولی، e_{ij} انرژی مصرف شده برای دریافت پیام از j مین گره معمولی به i مین سرخوشه و e_{ji} انرژی مصرف شده برای ارسال پیام از j مین گره معمولی به i مین سرخوشه. c_1 و c_2 دو عدد ثابت بین (0,1) برای نشان دادن اهمیت هر یک از معیارهای فاصله و انرژی مصرفی می‌باشند.

انرژی مصرف شده برای انتقال پیام از سرخوشه به ایستگاه مرکزی و همچنین فاصله بین گره‌ها برای ارسال اطلاعات، از فاکتورهای اصلی برای کمینه کردن می‌باشد. در بخش‌های بعدی در مورد انرژی‌ها و شیوه محاسبه آنها بحث خواهیم کرد. انرژی مصرفی کمتر، فاصله ارسالی کوتاه‌تر باعث کاهش مقدار fitness هر کروموزوم می‌شوند. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی سعی می‌کند با کاهش مقدار تابع ارزیابی، یک راه حل مناسب پیدا کند. بعد از پیکربندی شبکه توسط الگوریتم ژنتیک، ایستگاه مرکزی جزئیات کامل شبکه را به تمامی گره های حسگر به صورت پخش همگانی ارسال می‌کند. پیامی که ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند شامل : تعداد سرخوشه‌ها، اعضای مرتبط با هر سرخوشه و تعداد انتقال‌ها برای این پیکربندی می‌باشد.

٤-٣. پروتکل مسیریابی مبتنی بر هارمونی

با توجه به محدودیت‌های ذاتی شبکه‌های حسگر بیسیم یا بنا به محل قرار گرفتن گره‌های حسگر نسبت به ایستگاه مرکزی نمی‌توان به صورت مستقیم با یک پرش با ایستگاه مرکزی ارتباط برقرار کرد، در نتیجه نیازمند مسیرهای چند پرشه تا ایستگاه مرکزی می‌باشد. در این تحقیق جهت افزایش طول عمر شبکه، سه معیار کاهش مصرف انرژی، فاصله و توزیع صحیح مصرف انرژی بین گره‌های حسگر را مد نظر قرار داده‌ایم. هدف ما در این فاز، معرفی الگوریتم جستجوی هارمونی به عنوان یک الگوریتم فرااکتشافی موفق، برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم، در راستای افزایش طول عمر در این نوع شبکه‌ها می‌باشد. در این تحقیق، جهت کاهش مصرف انرژی در طول مسیر، با در نظر گرفتن یک الگوی مصرف انرژی مناسب، سعی شده است کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدا و گره مقصد، البته با کمترین تعداد گام، مد نظر قرار گیرد. همچنین جهت کنترل توزیع مناسب مصرف انرژی در طول مسیر، به انرژی باقیمانده گره‌ها توجه شده است. بنابراین هر چقدر انرژی مصرف شده در مسیر، کمتر و انرژی باقیمانده گره‌های شرکت کننده در مسیریابی بیشتر باشد، به این معنی است که انرژی مصرف شده، بین گره‌های پرانرژی‌تری توزیع خواهد شد. الگوی مصرف انرژی مطابق (۳) و از رابطه زیر برای گره‌های ارسال و دریافت‌کننده محاسبه می‌شود.

$$E_r(l,d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\varepsilon_{fs}d^2 & , \quad d < d_0 \\ lE_{elec} + l\varepsilon_{mp}d^4 & , \quad d \geq d_0 \end{cases} \quad (٥)$$

$$E_R(l,d) = (E_{elec} * l) \quad (٦)$$

که در آن E_r، انرژی مصرفی برای گره ارسال‌کننده اطلاعات است. E_{elec}، انرژی لازم برای ارسال یا دریافت یک بیت اطلاعات می‌باشد. ε_{mp} و ε_{fs} انرژی لازم جهت تقویت سیگنال ارسالی در طول مسافت مورد نظر است. l، طول پیام (داده) ارسالی می‌باشد. d، فاصله تا گره دریافت‌کننده اطلاعات است. d_0 یک حدآستانه برای ارسال پیام بر حسب فاصله می‌باشد. E_R، انرژی مصرفی برای گره دریافت‌کننده اطلاعات می‌باشد. E_{elec} بر حسب nJ/bit (نانو ژول) است و یک nJ برابر 10^{-9} ژول می باشد. ε_{mp} و ε_{fs} بر حسب pJ/bit (پیکو ژول) است و یک pJ برابر 10^{-12} ژول می‌باشد.

برای تحقق سه معیار کاهش مصرف انرژی، کاهش فاصله

و افزایش انرژی باقیمانده گره‌های حسگر شرکت‌کننده در مسیریابی، شبکه حسگر بیسیم را به صورت یک گراف و برای هر گره، یک شماره منحصر به فرد در نظر می‌گیریم. با توجه به پراکندگی سرخوشه‌ها در فضای جغرافیایی لازم است برای همه سرخوشه‌ها به صورت مجزا مسیر پیدا شود. برای مشخص کردن ساختار حافظه هارمونی، هر سطر از ماتریس حافظه هارمونی را یک مسیر بین مبدا و مقصد در نظر گرفته، به گونه‌ای که درایه‌های هر سطر شماره گره‌های گراف باشد. تعداد سطرهای ماتریس حافظه هارمونی با توجه به مقدار HMS در نظر گرفته می‌شود. تعداد ستون‌های این ماتریس با توجه به اینکه حداکثر طول یک مسیر n (تعداد کل گره‌ها) است، لذا حداکثر تعداد ستون‌های ماتریس هارمونی n+1 در نظر گرفته می‌شود که ستون آخر ماتریس، جهت ذخیره‌سازی مقدار تابع برازندگی برای هر سطر می‌باشد. واضح است که اولین گره راه‌حل موقت، یعنی گره مبدا (سرخوشه) در طول مسیریابی تغییر نخواهد کرد. همچنین گره مقصد در مسیریابی ایستگاه مرکزی می‌باشد که برای همه مسیریابی‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود. در بهترین حالت سرخوشه با یک گام به ایستگاه مرکزی می‌رسد، در این حالت تعداد ستون این مسیر در ماتریس هارمونی ۲ خواهد بود.

طبق الگوریتم جستجوی هارمونی، ابتدا باید تمام سطرهای حافظه هارمونی به صورت تصادفی تولید شوند. توجه به این نکته چنان اهمیت دارد که پس از تولید هر مسیر، باید میسر بودن مسیر و عدم وجود دور در طول مسیر، رعایت شده باشد. میسر بودن یک مسیر بدین معناست که گره‌های یک مسیر در هر گام باید در برد رادیویی یکدیگر قرار داشته باشند. همچنین عدم وجود دور در یک مسیر تضمین کننده عدم اتلاف بیهوده انرژی و گم شدن بسته می‌باشد. به منظور بهبود راه‌حل‌های تولید شده اولیه و تسریع در همگرایی الگوریتم، در اینجا با ایجاد تغییراتی، سعی در بهبود الگوریتم اصلی داریم. برای انتخاب گره بعدی در مسیر، از بین گره‌های امکان‌پذیر گره‌ای را انتخاب می‌کنیم که انرژی بیشتر و فاصله کمتری از گره فعلی داشته باشد. گره‌های امکان‌پذیر در هر گام از مسیر با توجه به گره فعلی و براساس دو شرط میسر بودن مسیر و عدم وجود دور در طول مسیر مشخص می‌شوند. در این نوشتار PD_i لیست گره‌های امکان‌پذیر مربوط به گره i می‌باشند. توجه داشته باشید که انتخاب بهترین گره بعدی در هر گام باعث ایجاد بهترین راه‌حل محلی به روش حریصانه می‌شود. لذا برای اضافه کردن معیار تصادفی بودن مسیرهای حافظه هارمونی و همچنین عدم تولید مسیرهای تکراری، به هر یک از گره های PD_i وزنی اختصاص داده و با استفاده از چرخ رولت گره بعدی را انتخاب می‌کنیم. چرخ رولت که یکی از متداول‌ترین روش‌های انتخاب می‌باشد، گره‌ها را براساس وزنشان به صورت صعودی مرتب می‌کند، سپس یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ تولید کرده و اولین گره‌ای که توزیع تجمعی وزن آن بیشتر یا مساوی عدد تولید شده باشد، انتخاب می‌گردد. w_{kj} وزن بین گره k و j مین عضو PD_i است (k گره جاری است) و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$w_{kj} = \frac{E_j}{D_j + D_{kj}} \qquad (۷)$$

در این رابطه E_j انرژی باقیمانده j مین عضو PD_i ، D_j فاصله گره j از ایستگاه مرکزی و D_{kj} فاصله بین گره k و j مین عضو PD_i می‌باشد. در این روش وزن‌دهی، هرچه وزن یک گره بیشتر باشد، ارزش آن نیز بیشتر است. در نظر گرفتن انرژی باقیمانده و همچنین فاصله تا گره بعدی باعث ایجاد توزیع مناسب مصرف انرژی در مسیریابی خواهد شد. فاصله تا ایستگاه مرکزی نیز، در واقع فاصله تا هدف را مشخص می‌کند. چون فاصله در مخرج کسر قرار دارد، هر چه کمتر باشد میزان وزن محاسبه شده بیشتر خواهد بود. در هر گام از مسیریابی اگر ایستگاه مرکزی در برد رادیویی گره جاری قرار داشته باشد، مسیریابی با انتخاب ایستگاه مرکزی به عنوان گره پایانی خاتمه می‌یابد.

پس از تولید سطرهای حافظه هارمونی، میزان برازندگی هر سطر تعیین، و در آخرین درایه ذخیره می‌شود. FH_{HM}^{k} میزان برازندگی سطر (راه‌حل) k ام از حافظه هارمونی بوده و از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$FH_{HM}^{k} = \frac{\sum_{i\,\varepsilon\,HM} E_i}{\sum_{(i,j)\,\varepsilon\,HM} \omega D_{ij} + E_r^{ij} + E_R^{ij}} \quad (۸)$$

در این رابطه HM گره‌های شرکت‌کننده در مسیر(راه‌حل)، E_i میزان انرژی باقیمانده گره i ام مسیر، (i,j) یک یال از مسیر، D_{ij} فاصله بین دو گره i و j از مسیر، E_r^{ij} انرژی مصرفی برای ارسال اطلاعات از گره i به گره j و E_R^{ij} انرژی مصرفی گره j برای دریافت اطلاعات از گره i می‌باشد. ω ثابت عددی بین (0,1) است که میزان تاثیر فاصله نسبت به انرژی را مشخص می‌کند. با در نظر گرفتن تابع برازندگی به صورت بیان شده، سه معیار کاهش مصرف انرژی، کاهش فاصله و توزیع مناسب مصرف انرژی، جهت یافتن راه حل مناسب در نظر گرفته شده است. با توجه به قرار گرفتن مجموع انرژی باقیمانده گره‌های شرکت‌کننده در صورت کسر، بنابراین مسئله ما ماکسیمم کردن تابع هدف می‌باشد.

برای بهینه سازی حافظه هارمونی و یافتن مسیری مناسب برای انتقال اطلاعات از سرخوشه‌ها به ایستگاه محلی سه پارامتر "استفاده از متغیرهای موجود" ، " ایجاد اندکی تغییر در متغیرها" و "ایجاد یک متغیر به صورت تصادفی" برای تک تک درایه‌های حافظه اعمال می‌شوند. در ادامه توضیحاتی در خصوص سه پارامتر HMC، PA و RND الگوریتم هارمونی آورده شده است.

- HMC : این پارامتر متغیرهای مناسبی که در طول تکرارهای پیشین تولید شده را مد نظر قرار می‌دهد. در اینجا برای انتخاب یکی از گره‌های تولید شده پیشین در درایه i ام، از درایه‌های موجود در ستون i ام حافظه هارمونی یکی را به صورت تصادفی انتخاب کنیم به طوری که دو شرط اساسی رعایت شود.

- PA : چنانچه نیاز به تولید یک درایه از طریق پارامتر PA باشد، ابتدا باید لیست گره‌هایی را که با توجه به دو شرط ذکر شده برای انتخاب امکان‌پذیر هستند را استخراج نمود. سپس با استفاده از معیار وزن که از رابطه (۷) محاسبه می‌شود، از لیست استخراج شده یک گره را با استفاده از عملگر چرخ رولت برای گام جاری انتخاب می‌کنیم. با استفاده از معیار وزن، توزیع مصرف انرژی مد نظر قرار گرفته شده و در نهایت این کار به افزایش طول عمر شبکه می‌انجامد.

- RND : در این پارامتر یک گره برای درایه مورد نظر با رعایت دو شرط اساسی به صورت تصادفی تولید می‌شود. دقت شود که درایه معادل راه‌حل موقت در سطر اصلی، نمی‌تواند جز انتخاب‌ها باشد. در این شرایط ممکن است هیچ انتخابی برای ارضا دو شرط اساسی وجود نداشته باشد و در نهایت بن بست به وجود آید. در این حالت، یک گام به عقب برمی‌گردیم، یعنی درایه ما قبل را دوباره تولید کرده و به تولید ادامه مسیر می‌پردازیم.

تولید گره‌های راه حل موقت تا زمان رسیدن به مقصد (ایستگاه مرکزی)، ادامه پیدا می‌کند. یعنی برای هر گره از مسیر، احتمالات بالا بررسی می‌شود. پس از اتمام تکرار الگوریتم هارمونی، بهترین مسیر تولید شده با توجه به مقدار تابع برازندگی، برای هر یک از سرخوشه‌ها ارسال می‌شود. توجه داشته باشید برای هر سرخوشه با استفاده از الگوریتم هارمونی مسیر بهینه جستجو می‌شود.

٤-٤. انتقالات داده ها

فاز چهارم مربوط به انتقالات بین داده‌ها می‌باشد. در این فاز گره‌های معمولی اطلاعات خود را به سرخوشه‌های خود ارسال می‌کنند. سرخوشه‌ها با استفاده از تکنیک‌های خاصی داده‌های دریافت شده را ترکیب و اطلاعات تکراری را حذف کرده، سپس اطلاعات را در قالب یک بسته به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کنند. در این مرحله انرژی مصرفی برای هر انتقال از میزان انرژی باقیمانده هر گره کسر خواهد شد. با توجه به مطالب گفته شده و با فرض ارسال L بیت توسط هر گره معمولی به سرخوشه k ام، کل انرژی تلف شده در شبکه در طول یک دور ارسال بسته را با E_{round}^{k} نمایش می‌دهیم و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$E^k_{round} = ($

در این رابطه N_k تعداد گره‌های خوشه k ام، E_{DA} مقدار انرژی مورد نیاز بر حسب ژول برای ترکیب داده‌ها توسط سرخوشه می‌باشد. E_T انرژی مصرفی برای ارسال اطلاعات و E_R انرژی مصرفی برای دریافت اطلاعات می‌باشد که با توجه به روابط (۵) و (٦) محاسبه می‌شوند. توجه داشته باشید که تمام گره‌های یک خوشه داده‌های خود را به سرخوشه ارسال می‌کنند، لذا انرژی مصرفی برای دریافت داده‌ها توسط سرخوشه در N ضرب می‌شود.

٤-۵. به‌روزرسانی سرخوشه‌ها

LEACH یکی از شناخته شده‌ترین الگوریتم‌های دسته‌بندی صرفه‌جویی انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم است که سرخوشه‌ها را براساس قدرت سیگنال دریافتی تشکیل می‌دهد و از این سرخوشه‌های محلی به عنوان ارسال‌کننده اطلاعات به ایستگاه مرکزی استفاده می‌نماید. در طی انتقالات شبکه، انرژی سرخوشه‌ها کم شده و در نهایت از بین می‌روند. به همین دلیل LEACH همه گره‌های حسگر را داخل یک خوشه به‌وسیله چرخش سرخوشه تغییر می‌دهد. این عمل منجر به توازن مصرف انرژی همه گره‌ها شده و از این رو طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. در این فاز سعی داریم بر مبنای پروتکل LEACH سرخوشه‌هایی را انتخاب کنیم که باعث کاهش مصرف انرژی گره‌های حسگر به میزان قابل توجهی خواهند شد. در اینجا برای انتخاب سرخوشه‌ها علاوه بر اینکه باید به چرخش سرخوشه بین سایر گره‌ها توجه کرد، باید معیار فاصله تا ایستگاه مرکزی نیز برای انتخاب سرخوشه‌ها لحاظ شود.

در این پژوهش برای انتخاب سرخوشه جدید بعد از هر ارسال اطلاعات میزان انرژی باقیمانده برای هر گره توسط ایستگاه مرکزی محاسبه می‌شود. برای توزیع مساوی بار انرژی، تنها گره‌هایی از هر خوشه می‌توانند به عنوان سرخوشه انتخاب شوند که انرژی باقیمانده آنها از میانگین انرژی اعضا خوشه بیشتر باشد. در این نوشتار این گره‌ها را با NE نمایش می‌دهیم. حال برای انتخاب سرخوشه از بین اعضا NE، گره‌ای را که نسبت به ایستگاه مرکزی فاصله کمتری دارد و همچنین باعث کاهش مجموع فاصله‌های ارسالی می‌شود را انتخاب می‌کنیم. از رابطه زیر برای انتخاب بهترین سرخوشه استفاده می‌شود.

$$q_k = arg \min_{\mathrm{i}=\{\mathrm{NE}_k\}} \left\{ D_i + \sum_{j=1}^{|N_k|} d_{ij} \right\} \qquad (۱۰)$$

در رابطه بالا q_k بهترین گره از بین گره‌های NE در خوشه k ام می‌باشد که در انتقالات بعدی به عنوان سرخوشه انتخاب خواهد شد. $\mathrm{Arg}\ \min_{i=\{NE_k\}}\{\}$ کوچکترین مقدار از بین اعضا NE در خوشه k ام می‌باشد. D_i فاصله i مین گره عضو NE از ایستگاه مرکزی، $|N_k|$ تعداد اعضای خوشه k ام می‌باشد. d_{ij} نیز فاصله بین i مین گره از NE تا j مین گره از N_k (اعضا خوشه k) بوده که از رابطه (۱) بدست می‌آید. با استفاده از این رابطه در هر تکرار سرخوشه به‌صورت چرخشی بین اعضای خوشه انتخاب می‌شود و این عمل باعث عدم اتمام زودرس انرژی سرخوشه‌ها خواهد شد. با توجه به اینکه در رابطه بالا معیار فاصله تا ایستگاه مرکزی نیز لحاظ شده است، انتقالات اضافی کمتری در روند کار به وجود خواهد آمد.

این نکته حائز اهمیت است که در هر دور مسیریابی امکان به‌روزرسانی سرخوشه و مسیریابی مجدد به دلیل بار محاسباتی بالا وجود ندارد. لذا اگر کمترین انرژی در بین نودهای شرکت‌کننده در مسیریابی از میانگین همه نودهای شبکه کمتر شود، مسیر و سرخوشه به‌روزرسانی خواهند شد.

۵- نتایج و آزمایشات

در شبیه‌سازی انجام شده شبکه حسگر بیسیم را به صورت یک گراف و در فضایی به مساحت 100 × 100 متر مربع با مختصات (50,-50-) ، (50,50) در نظر گرفته‌ایم. حسگرها به صورت تصادفی در این محیط پخش می‌شوند. ایستگاه مرکزی (BS) به عنوان مقصد همه بسته‌های ارسالی به صورت ثابت و در مختصات (0,0) قرار گرفته است. سایر پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۱ نشان داده شده است.

همچنین پارامترهای مربوط به الگوریتم ژنتیک و هارمونی مطابق با جدول۲ تنظیم شده است. در آزمایش انجام شده پروتکل پیشنهادی را نسبت به پروتکل‌های معروف LEACH، SEP، DEEC و LEACH-E با توجه به معیارهای تعداد بسته‌های ارسالی، تعداد نودهای زنده و طول عمر شبکه (FND) مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده‌ایم. نتایج حاصل از مقایسه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱ : پارامترهای توپولوژی شبکه در شبیه‌سازی انجام شده

پارامتر	نماد	مقدار
تعداد گره	N	100
تعداد خوشه‌ها	NC	7
مقدار اولیه انرژی گره‌ها	E	0.5 J
اندازه بسته‌های ارسالی	PacketSize	4000 bit
برد رادیویی	Sense	15m
انرژی لازم برای ارسال یا دریافت یک بیت		50 n J/bit
انرژی لازم جهت تقویت سیگنال ارسالی		0.0013 $pJ/bit/m^4$
حدآستانه فاصله بین دو گره برای ارسال اطلاعات		70m
انرژی لازم جهت تقویت سیگنال ارسالی		10 $pJ/bit/m^2$
انرژی لازم جهت جمع‌آوری داده‌ها توسط سرخوشه		5 nJ/bit/message

جدول ۲ : پارامترهای الگوریتم ژنتیک و هارمونی در شبیه‌سازی انجام شده

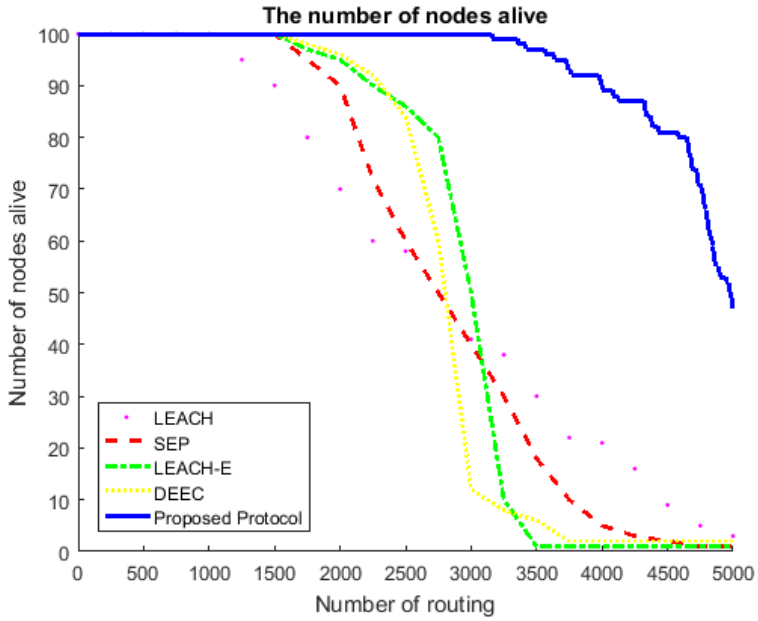
الگوریتم ژنتیک			الگوریتم جستجوی هارمونی		
پارامتر	نماد	مقدار	پارامتر	نماد	مقدار
اندازه جمعیت	nPop	50	حافظه هارمونی	HMS	5
تعداد نسل	Gen	50000	اهمیت فاصله	ω	0.9
نرخ جهش	Mr	0.30	تعداد تکرار	Iteration	10000
اهمیت فاصله	c1	0. 1	نرخ عمگر هارمونی	HMCR	0.7
اهمیت انرژی	c2	0.9	نرخ عمگر هارمونی	PAR	0.85
انتخاب نوع جهش	α	0.6	-	-	-

جدول ۳ : مقایسه پروتکل پیشنهادی بعد از ۵۰۰۰ دور مسیریابی با پروتکل‌های مذکور

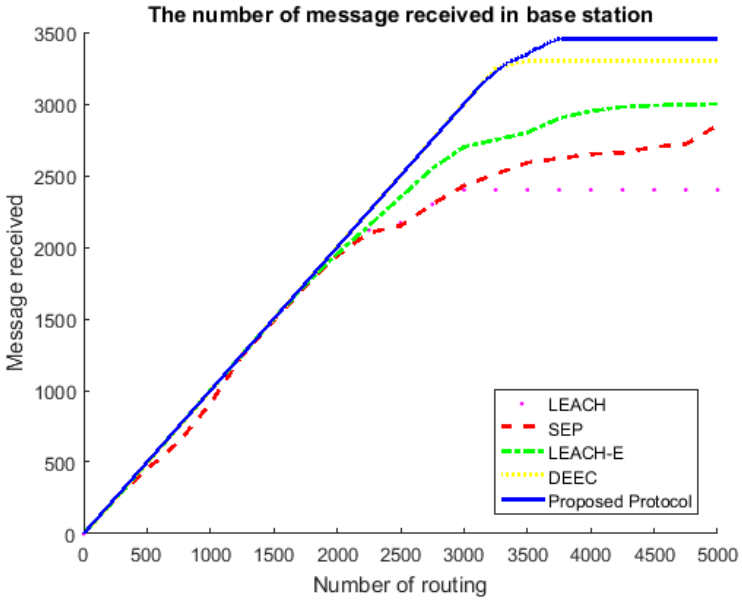
Protocols	FDN	Number of nodes alive	Number of message
LEACH (11)	1010	5	2390
SEP (11)	1580	2	2850
DEEC (19)	1920	4	3350
LEACH-E (19)	1860	2	3010
پروتکل پیشنهادی	3162	47	3457

برای نمایش واضح‌تر عملکرد پروتکل پیشنهادی، تعداد نودهای زنده را نسبت به مسیریابی‌های انجام شده با پروتکل‌های مختلف مقایسه و در شکل ۳ نشان داده‌ایم. شکل ٤ مقایسه تعداد بسته‌های ارسالی بعد از ۵۰۰۰ دور مسیریابی را نشان می‌دهد.

نتایج ارائه شده گویای این واقعیت است که توزیع مصرف انرژی در الگوریتم جستجوی هارمونی، نسبت به سایر الگوریتم‌ها بهتر است. الگوریتم جستجوی هارمونی با صرف انرژی بیشتر، سعی در توزیع مناسب انرژی دارد که در نهایت، منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. هر چند الگوریتم جستجوی هارمونی با فدا کردن میزان انرژی بیشتر، سعی در به تاخیر انداختن مرگ اولین گره و افزایش طول عمر شبکه دارد، اما این امر باعث می‌شود با ادامه حیات شبکه و با فرض عدم جایگزینی گره‌های مرده، روند مرگ دیگر گره‌ها با شتاب بیشتری صورت بگیرد.



شکل ۳ : تعداد نودهای زنده نسبت به تعداد دورهای مسیریابی



شکل ٤ : نسبت تعداد بسته‌های ارسالی به تعداد دورهای مسیریابی

همانطور که در شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود، پروتکل پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها هم از نظر تعداد نودهای زنده و هم از نظر تعداد بسته‌های ارسالی بعد از ۵۰۰۰ دور مسیریابی برتری خود را حفظ کرده است.

٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بیسیم معرفی شد که اساس آن خوشه‌بندی هوشمند حسگرهای شبکه بر مبنای کاهش فاصله ارتباطی می‌باشد. نتایج آزمایشات انجام شده نشان می‌دهند که روش خوشه‌بندی پیشنهادی برای محاسبه تعداد سرخوشه‌ها و مکان آنها یک راه‌حل کارا و موثر بوده است. همچنین الگوریتم جستجوی هارمونی، جهت مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم و در راستای افزایش طول عمر در این نوع شبکه‌ها معرفی شد. در سفارشی کردن این الگوریتم، از معیارهای کاهش مصرف انرژی و توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره های حسگر که منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌گردند، استفاده شده است. جهت کاهش مصرف انرژی در طول مسیر، با در نظر گرفتن یک الگوی مصرف انرژی مناسب، کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدا و گره مقصد، البته با کمترین تعداد گام، مد نظر قرار می‌گیرد. جهت کنترل توزیع مناسب مصرف انرژی در طول مسیر، متوسط انرژی باقیمانده گره‌ها مد نظر قرار گرفته شد. الگوریتم جستجوی هارمونی با فدا کردن انرژی مصرفی بیشتر، از گره‌های حسگر مناسب‌تری (پرانرژی‌تری) جهت مسیریابی استفاده می‌کند و باعث توزیع مناسب‌تر مصرف انرژی توسط حسگرها می شود.

در این پژوهش تعداد کل گره‌های شبکه به صورت ثابت فرض شده است، در حالیکه می‌توان پروتکل پیشنهاد شده را برای شبکه‌هایی با گره‌های متحرک سفارشی کرد. الگوریتم‌های فرااکتشافی مبتنی بر جمعیت، جهت حل مسائل چندهدفه، عملکرد خوبی دارند، بنابراین در روش پیشنهادی می‌توان قیود دیگری مانند تاخیر انتها به انتها، پهنای باند و مانند آن را نیز مورد بررسی قرار داد. یکی از ضعف‌های پروتکل پیشنهادی ثابت فرض شدن تعداد خوشه‌ها است. لذا با ارائه رویکردی ابتکاری در الگوریتم ژنتیک می‌توان این مشکل را برطرف نمود.

منابع

1. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. Computer networks, 38(4), pp. 393-422.

2. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. IEEE Communications magazine, 40(8), pp. 102-114.
3. Bandyopadhyay, S., & Coyle, E. J. (2003, April). An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks. In INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies (Vol. 3, pp. 1713-1723).
4. Bao, X. R., Zhang, S., & Xue, D. Y. (2008, October). Research and Simulation on Genetic Ant Colony Routing in Wireless Sensor Network. In Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM'08. 4th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
5. Biradar, C., Sunilkumar, & Manvi, S. (2012). Neighbor supported reliable multipath multicast based genetic routing in MANETs. Network and Computer App, vol. 35, no. 3, pp. 1074-1085.
6. Chandra, M. L., Ravi Chandra, P., & Reddy, S. (2015). QFSRD: Orthogenesis Evolution based Genetic Algorithm for QoS Fitness Scope aware Route Discovery in Ad hoc Networks. Global Journal of Computer Science and Technology 15.3.
7. Chiang, C. (1997). Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel. Proc. IEEE SICON'97, pp.197-211.
8. Clausen, T., & Jacquet, P. (2003). Optimized Link State with genetic Routing Protocol (OLSR). IETF, RFC 3626.
9. Djukic, P., & Valaee, S. (2009). Delay aware link scheduling for multi-hop TDMA wireless networks. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 17(3), pp. 870-883.
10. El-Rabbany, A. (2002). Introduction to GPS: the global positioning system. Artech house.
11. Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. Simulation, 76(2), pp. 60-68.
12. Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. (2000, January). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In System sciences, Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on (pp. 10-pp). IEEE.
13. Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. Scientific american, 267(1), pp. 66-72.
14. Jinhua, Z., & Xin Wang, X. (2012). Model and Protocol for Energy-Efficient Routing based genetic algorithm over Mobile Ad Hoc Networks. IEEE Trans.Mobile Computing, vol. 10, no. 11, pp. 2473 –2483.
15. Khan, M. I., Gansterer, W. N., & Haring, G. (2014). The influence of basic parameters on energy efficiency in wireless sensor networks. Vol. 36, no. 9, pp. 965–978.
16. Lee, K. S., & Geem, Z. W. (2015). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization. harmony search theory and practice, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol.194, no.36-38, pp.3902-3933.
17. Minhas, M. R., Gopalakrishnan, S., & Leung, V. C. (2008, November). Fuzzy algorithms for maximum lifetime routing in wireless sensor networks. In Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008. IEEE (pp. 1-6). IEEE.
18. Nazir, B., & Hasbullah, H. (2010). Mobile Routing Protocol (MRP) for Prolonging Network Lifetime in Clustered Wireless Sensor Network. Computer Applications and Industrial Electronics, pp. 624 – 629.
19. Nehra, N. K., Kumar, M., & Patel, R. B. (2009, December). Neural network based energy efficient clustering and routing in wireless sensor networks. In Networks and Communications, 2009. NETCOM'09. First International Conference on (pp. 34-39). IEEE.
20. Niansheng, C., Zhi, L., Zongwu, K., & Xiaoshan, G. (2010, August). A QoS multicast routing algorithm based on genetic algorithm of game selection. In Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science (DCABES), 2010 Ninth International Symposium on (pp. 308-311). IEEE.
21. Qing, L., Zhu, Q., & Wang, M. (2006). Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks. Computer

communications, 29(12), pp. 2230-2237
22. Shankar, T., & Shanmugavel, S. (2014). Energy optimization in cluster based wireless sensor networks. Journal of Engineering Science and Technology 9.2, pp.246-260.
23. Xu, X., Yuruk, N., Feng, Z., & Schweiger, T. A. (2007, August). Scan: a structural clustering algorithm for networks. In Proceedings of the 13th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining (pp. 824-833). ACM.
24. Xun-Xin, Y., & Rui-Hua, Z. (2013). An Energy-Efficient Mobile Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), pp. 1-4.
25. Yao, G. S., Dong, Z. X., Wen, W. M., & Ren, Q. (2016). A Routing Optimization Strategy for Wireless Sensor Networks Based on Improved Genetic Algorithm, 19(2), pp. 221-228.
26. Younis, O., & Fahmy, S. (2004). HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks. IEEE Transactions on mobile computing, 3(4), pp. 366-379.
27. Yuan, P., Ji, C., Zhang, Y., & Wang, Y. (2004, March). Optimal multicast routing in wireless ad hoc sensor networks. In Networking, Sensing and Control, 2004 IEEE International Conference on (Vol. 1, pp. 367-371). IEEE.
28. Yusuf, M., & Haider, T. (2005, September). Energy-aware fuzzy routing for wireless sensor networks. In Emerging Technologies, Proceedings of the IEEE Symposium on (pp. 63-69). IEEE.
۲۹. باطنی, زهره؛ سمیرا بابالو و میثم وکیلی، ۱۳۹۲، کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی، اولین همایش منطقه‌ای شبکه‌های کامپیوتری، قم، دانشکده فنی و حرفه‌ای سما واحد قم.
۳۰. قره جانلو, مسعود؛ مسعود نصرت‌آبادی و محمدحسین یغمایی مقدم، ۱۳۸۸، ارائه‌ی یک روش فازی جهت کاهش مصرف انرژی در پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های حسگر بیسیم، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، تهران، انجمن کامپیوتر، مرکز توسعه فناوری نیرو.