دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

# مروری بر روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی

وحید حسینی[1*]، علیرضا پور عباس تیمور آبادی[2]

[1*] عضو هیئت علمی،گروه کامپیوتر،دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران، صندوق پستی- ۱۹۳۹۵۳۶۹
V.hosseini1@yahoo.com
[2] دانشجوی کارشناسی، گروه کامپیوتر، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران، صندوق پستی- ۱۹۳۹۵۳۶۹
Alirezapourabbas81@gmail.com

## چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم از گره‌های حسگر کوچک تشکیل شده‌اند که برای دریافت اطلاعات از محیط اطرافشان در آن محیط پخش می‌شوند از مشخصات این حسگرها عمر باطری کم و مصرف انرژی زیاد آن می‌باشد که نتیجه‌ی کاهش طول عمر شبکه را به دنبال دارد و البته در صورتی که ایستگاه پایه در نقطه‌ی دوری قرار داشته باشد و مساحت شبکه بزرگ و تعداد گره‌های مورد استفاده کم باشد عمر حسگرها زودتر کم می‌شود برای افزایش کیفیت و بهره‌وری این نوع شبکه‌ها علاوه بر افزایش کیفیت حسگرها می‌توان با مسیردهی درست و کارا که در مصرف انرژی نقش اصلی را بازی می‌کند طول عمر این نوع شبکه‌ها را افزایش داد. تا به امروز پروتکل‌های مختلفی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم طراحی شده‌اند که هر کدام به شیوه‌ای نحوه ارسال داده‌ها را مشخص می‌کنند تا از تلف شدن انرژی جلوگیری کرده و طول عمر شبکه را افزایش دهند.. از آنجاکه ارتباطات بیشترین سهم را در مصرف انرژی دارد، مسیریابی کارآمد یک راه حل موثر برای این مساله است. در این تحقیق به مروری بر روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم تکاملی پرداختیم.

## واژه‌های کلیدی

شبکه‌های حسگر بی‌سیم،مسیریابی،مصرف انرژی، الگوریتم‌های تکاملی.

**۱. مقدمه**

شبکه‌های حسگر از تعدادی گره تشکیل شده است ارتباط میان این گره‌ها به صورت خود مختار صورت می‌گیرد، این بدین معناست که گره‌ها نیازی به کنترل از بیرون ندارند و کل شبکه یک ساختار خودسازمان دهنده دارد. وظیفه‌ای که گره‌های حسگر به عهده دارند معمولاً در قالب چند تعریف کلی نظارت و پایش محیطی خلاصه می‌گردد. در برخی کاربردها گره‌های حسگر بخشی از ساختار یک سیستم کنترلی یکپارچه می‌باشند. معمولاً در اکثر کاربردهای شبکه‌های حسگر تعداد گره‌های حسگر زیاد می‌باشد و این یکی از جنبه-های تمایز مهم با شبکه‌های موردی می‌باشد. معمولاً تعداد گره‌های حسگر بسته به کاربرد مابین ده‌ها تا هزاران گره می‌باشد. از ویژگی-های گره‌ها می‌توان به ارزانی، کوچکی سادگی و محدودیت‌های سخت‌افزاری آنها اشاره کرد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم، شبکه هایی از ابزارهای خودمختار توزیع شده‌ای هستند که می‌توانند به صورت مشارکتی تغییرات محیطی خود را حس کنند یا به صورت فیزیکی بر محیط پیرامون نظارت داشته باشند. از آنجا که گره‌ها دارای محدودیت انرژی هستند یکی از مهمترین چالش‌های شبکه‌های حسگر انرژی محدود گره‌ها می‌باشد. از مهمترین مواردی که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم باعث مصرف انرژی می‌شوند الگوریتم مسیریابی می‌باشد. یک الگوریتم مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم میتواند باعث گردد که طول عمر شبکه کم یا زیاد شود. در این مقاله به بررسی الگوریتم-های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از جنبه میزان مصرف انرژی در گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه می‌پردازیم. با پیشرفت فناوری و دانش در حوزه‌های حسگرها و باتری‌ها شبکه‌های بی‌سیم و همچنین مؤلفه‌های سخت‌افزاری محاسبه‌گر از یک سو و تکامل مدل‌های شبکه‌ای توزیع شده و ساختارها و الگوریتم‌های مربوط به آن از سویی دیگر این تصور به ذهن آدمی رسید که فعالیت‌های نظارتی و پایشی خویش را، به ویژه در محیط‌های پیچیده و نامناسب به سیستم‌های خودمختار واگذار نماید. یکی از برجسته‌ترین سیستم‌های مطرح شده در این راستا شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. هدف این شبکه‌ها عمدتاً در پایش و نظارت محیط که به اصطلاح به آن حس کردن گفته می‌شود خلاصه شده است. اطلاعات حس شده توسط حسگرهای پراکنده در محیط در نهایت توسط گره حفره جمع‌آوری شده و از طریق ابر ارتباطاتی واسط به کاربر پایانی ارسال می‌شود. این شبکه‌ها به صورت خود مختار فعالیت می‌کنند. استفاده مقرون به صرفه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم خیلی مهم می‌باشد چرا که جایگزینی و شارژ مجدد باتری‌ها در گره‌ها ممکن است غیر عملی گران و خطرناک باشد. در خیلی از شبکه‌ها عمر متوسط شبکه در حدود چند ماه و یا سال در حد یک آرزو می‌باشد. مسیریابی به بدست آوردن یک مسیر برای یک پیام از یک گره منبع به یک گره مقصد اطلاق می‌شود. در روش‌های مسیریابی پیشگیرانه، جداول مسیریابی ایجاد می‌شود و هنگامی که مسیرها استفاده می‌شوند بدون آنکه درباره‌ی آن‌ها تفکری شود ذخیره می‌شوند. در روش‌های مسیریابی واکنشی مسیرها هر موقع که لازم بشود محاسبه می‌شوند. در شبکه‌های با آرایش متراکم، جداول مسیریابی احتیاج به فضای حافظه‌ای بسیار بزرگ دارند و در نتیجه ترکیبی از دو روش پیشگیرانه و واکنشی در مسیریابی برای چنین شبکه‌هایی مفید می‌باشد. راه-حل ممکن دیگر این است که شبکه را به سلسله مراتب‌هایی خوشه‌بندی کنیم. برای نگهداری انرژی در اغلب زمان‌ها گره‌های حسگر نوعی در حالت خواب باقی می‌مانند، و به صورت دوره‌ای به حالت فعال در می‌آیند تا داده‌های حس شده را بدست آورند و آن‌ها را ارسال سازند در یک زمان‌بندی سختگیرانه باید زمانی که یک گره باید بیدار شود، محیط را حس کند و نقل و انتقال یا (جابجایی مکانی) داشته باشد باید کاملاً مشخص باشد تا تضمین کند که عمر شبکه حداکثر گردد. از آن جهت که گره‌های شبکه باید عمل صحیحی را در زمان درست انجام دهند مهم‌ترین هدف در شبکه های حسگر بیسیم زمان‌بندی است. طراحی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل برخی از محدودیت‌های شبکه از قبیل انرژی، پهنای باند، محدودیت واحد پردازش و ذخیره‌سازی دارای چالش‌هایی می-باشد. مهمترین هدف در طراحی این شبکه‌ها انتقال اطلاعاتبه همراه افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. طراحی پروتکل‌های مسیریابی از چندین فاکتور در شبکه تأثیر می‌پذیرد. قبل از بهینه کردن ارتباطات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم باید بر این فاکتورها غلبه کرد. شبکه-های حسگر با چالش‌های زیادی روبرو هستند و همین امر پتانسیل‌های تحقیقاتی را در این حوزه بسیار افزایش داده است. یکی از مهم-ترین چالش‌های پیش‌رو در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسئله افزایش طول عمر شبکه حسگر است. این مسئله بیشتر وابسته به مصرف بهینه از انرژی محدود ذخیره شده در باتری‌های گره‌های حسگر موجود در شبکه حسگر می‌باشد. از اینرو با مطالعه و بررسی راه‌کار ارائه شده توسط محققین برای مصرف انرژِی بهینه در شبکه‌های حسگر می‌توان طول عمر شبکه را افزایش داد. الگوریتم‌های تکاملی در همین

راستا برای بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از ساز و کارهای مختلف معرفی شده‌اند که در بخش‌های آتی با به بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی خواهیم پرداخت.

**۲. شبکه‌های حسگر بی‌سیم**

قبل از ارائه ساختار کلی ابتدا تعدادی از تعاریف کلیدی را ذکر می‌کنیم.

**حسگر :** وسیله‌ای که وجود شی رخداد یک وضعیت یا مقدار یک کمیت فیزیکی را تشخیص داده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. حسگر انواع مختلف دارد مانند حسگرهای دما، فشار، رطوبت، شتاب سنج، مغناطیس سنج و... [۱].

**کارانداز** : با تحریک الکتریکی یک عمل خاصی مانند باز و بسته کردن یک شیر یا قطع و وصل یک کلید را انجام می‌دهد [۱].

**گره حسگر:** به گره‌ای گفته می‌شود که فقط شامل یک یا چند حسگر باشد [۱].

**گره کارانداز:** به گره‌ای گفته می شود که فقط شامل یک یا چند کارانداز باشد [۱].

**گره حسگر:** به گره‌ای گفته می‌شود که مجهز به حسگر و کار انداز باشد [۱].

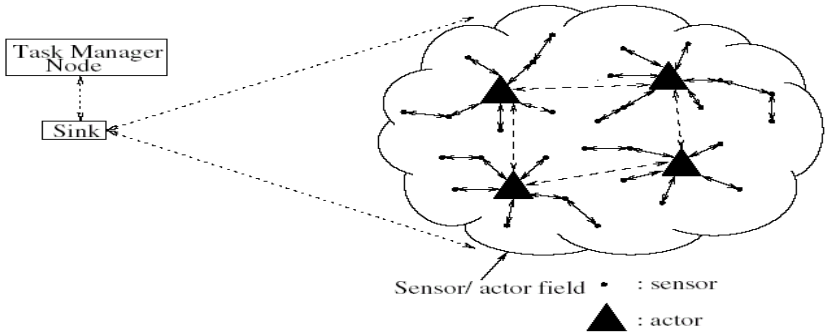
**شبکه حسگر :** شبکه‌ای که فقط شامل گره‌های حسگر باشد. این شبکه نوع خاصی از شبکه حسگراست. در کاربردهایی که هدف جمع آوری اطلاعات و تحقیق در مورد یک پدیده می‌باشد کاربرد دارد. مثل مطالعه روی گردبادها [۱].

**میدان حسگر:** ناحیه کاری که گره‌های شبکه حسگر در آن توزیع می‌شوند [۱].

**چاهک**[۱]**:** گرهی که جمع آوری داده‌ها را به عهده دارد. و ارتباط بین گره‌های حسگر و گره مدیر وظیفه[۲] را برقرار می‌کند [۱].

**گره مدیر وظیفه:** گرهی که یک شخصی بعنوان کاربر یا مدیر شبکه از طریق آن با شبکه ارتباط برقرار می‌کند. فرامین کنترلی و پرس و جو ها از این گره به شبکه ارسال شده و داده‌های جمع آوری شده به آن بر می‌گردد.

**شبکه حسگر:** شبکه‌ای متشکل از گره‌های حسگر و کار انداز یا حسگر/کارانداز است که حالت کلی شبکه‌های مورد بحث می باشد. به عبارت دیگر شبکه حسگرشبکه ای است با تعداد زیادی گره که هر گره می‌تواند در حالت کلی دارای تعدادی حسگر و تعدادی کارانداز باشد. در حالت خاص یک گره ممکن است فقط حسگر یا فقط کارانداز باشد. گره‌ها در ناحیه ای که میدان حسگر نامیده می‌شود با چگالی زیاد پراکنده می‌شوند. یک چاهک پایش کل شبکه را بر عهده دارد. اطلاعات بوسیله چاهک جمع‌آوری می‌شود و فرامین از طریق چاهک منتشر می‌شود. در شکل (۱) گویا این امر می‌باشد که مدیریت وظایف می‌تواند متمرکز یا توزیع شده باشد بسته به اینکه تصمیم گیری برای انجام واکنش در چه سطحی انجام شود دو ساختار مختلف خودکار و نیمه خودکار وجود دارد. که ترکیب آن نیز قابل استفاده است [۴].




**شکل(۱): ساختار کلی شبکه حسگر** [۱].

---

۱ Sink

۲ Task Manager Node

## ۳. انواع پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم

با توجه به کاربردهای وسیع شبکه های حسگر بی‌سیم و انواع مختلف این نوع شبکه‌ها، تفکیک و جداسازی آن می‌تواند کمک بسیار مهمی در امر طراحی پروتکل مسیریابی داشته باشد.

دو هدف از گروه‌بندی پروتکل‌ها عبارتند از ارائه یک چارچوب برای شبکه‌های حسگر بیسیم جهت بررسی و مقایسه‌ی پروتکل‌های مسیریابی و انتقال داده‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم و هدف دوم دستیابی به یک بینش جدید برای پروتکل‌های مسیریابی و انتقال آن‌ها و پیشنهاد برای تحقیقات آینده می‌باشد. در حالت کلی پروتکل‌های مسیریابی برای شبکه های حسگر بی‌سیم به هفت گروه تقسیم می‌شوند [۲و۳] :

### ۱،۳. مسیریابی داده محور

استقرار تصادفی گره‌های حسگر انتخاب یک مجموعه خاص از گره‌های حسگر را سخت می‌سازد و دچار تردید می‌کند. زمانی که گره‌های حسگر داده‌هایشان را به چاهک ارسال می‌کنند، داده‌ها معمولاً با افزونگی قابل توجهی منتقل می‌شوند این مسئله از نظر مصرف انرژی بسیار ناکار آمد می‌باشد. لذا یک راه حل می‌تواند این باشد که گره‌های میانی داده‌ها را تجمیع کرده و به چاهک ارسال کنند. بنابراین پروتکل‌های مسیریابی قادر به انتخاب مجموعه‌ای از گره‌های حسگر و استفاده از آن‌ها جهت جمع‌آوری داده‌ها می‌باشند. این نظریه منجر به مسیریابی داده محور می‌گردد چرا که یک الگوی ارتباطی جدید لازم است تا ویژگی داده‌ها را مشخص کند.

### ۲،۳. مسیریابی سلسله مراتبی

در سال‌های گذشته پروژه‌های تحقیقاتی زیادی در رابطه با خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح گردیده است. در معماری سلسله مراتبی که یک پروتکل ارتباطی انرژی کارآمد می‌باشد، گره‌های حسگر داده‌های حس شده را به سرخوشه خود در فاصله کوتاه ارسال می‌کنند. گره‌ای با انرژی بالا می تواند به عنوان سرخوشه انتخاب شود که داده ها را از اعضای خوشه جمع‌آوری کرده و به چاهک کند. این فرایند نه تنها میتواند مصرف انرژی را کاهش دهد بلکه بخاطر تجمیع داده ها توسط ارسال میسرخوشه، بار ترافیک متعادل گشته و مقیاس پذیری بهبود می یابد.

### ۳،۳. مسیریابی مبتنی بر موقعیت

موقعیت گره‌های حسگر در اغلب موارد مورد توجه قرار می‌گیرد زیرا بدیهی است که هر چه فاصله ارسال افزایش باید انرژی مورد نیاز برای ارسال داده نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین اطلاعات مربوط به موقعیت گره برای محاسبه فاصله بین دو گره خاص مورد نیاز است تا مصرف انرژی تخمین زده شود.

### ۴،۳. مسیریابی مبتنی بر مسیر

پروتکل‌های مبتنی بر مسیر یه نسبت تعداد مسیرهای استفاده شده برای ارتباطات یه دو نوع تک مسیر و چند مسیر تقسیم‌بندی می‌شوند در مسیریابی تک مسیر هر گره میدا داده‌ها را در کوتاه‌ترین و بهینه‌ترین مسیر به چاهک ارسال می‌کند. در صورت خرابی مسیر الگوریتم کشف مسیر با صرف مقداری انرژی مجدداً اجرا می‌شود تا مسیر دیگری اتخاذ شود و باعث کاهش انرژی گره‌ها و طول عمر شبکه گردد. در نوع چند مسیر هر گره $K$ مسیر کوتاه به چاهک را مشخص می‌کند سپس بار داده بطور مساوی بین مسیرها تقسیم می‌گردد یا اینکه چندین راه از مسیر انتخاب خواهد شد و یا اینکه یک مسیر یه عنوان مسیر اصلی برای ارسال انتخاب شده و باقی مسیرهای ایجاد شده یعنوان جایگزین مسیر اصلی خواهند بود و هر زمان که مورد نیاز باشند استفاده خواهند شد الگوریتم کشف مسیر تنها زمانی اجرا خواهد شد که تمام مسیر موجود خراب شوند؛ در غیر این صورت از مسیرهای جایگزین به جای مسیر اصلی استفاده خواهد شد. تعادل بار ارسال داده بدون وقفه تحویل داده مطمئن تحمل خطا، کاهش تراکم، کاهش تأخیر انتها به انتها و... از مزایای مسیریابی چند مسیر می‌باشد. الگوریتم‌های مسیریابی چند مسیر را می‌توان به چهار گروه پروتکل‌های مسیریابی چند مسیر غیر مجزا، چند مسیر گره مجزا، چند مسیر لینک مجزا و چند مسیر ناحیه مجزا طبقه‌بندی کرد که بطور مختصر در زیر توضیح داده شده‌اند.

- **پروتکل‌های مسیریابی چند مسیر غیر مجزا**

یک گره یا یک لینک می‌تواند بیش از یک بار در تعدادی مسیرها استفاده شود.

- **پروتکل‌های مسیریابی چند مسیر گره مجزا**

هیچ گره‌ای نمی‌تواند در قسمتی از مسیرهای دیگر باشد.

- **پروتکل‌های مسیریابی چند مسیر لینک مجزا**

هیچ لینکی اجازه ندارد که در قسمتی از مسیرهای دیگر باشد. اما گره یکسان در مسیرهای مختلف مجاز است.

- **پروتکل‌های مسیریابی چند مسیر محیط مجزا**

اگر دو گره مجزا نزدیک هم باشند بطوریکه احتمال تداخل وجود داشته باشد، گره‌ها برای دسترسی به رسانه مشترک یا هم رقابت خواهند داشت. این امر موجب کاهش عملکرد پروتکل شده بطوری که پروتکل تک مسیره بهینه‌تر خواهد بود. اما پروتکل محیط مجزا به این مشکل غالب می‌آید [۴].

### ۵،۳. مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس

در این نوع مسیریابی علاوه بر حداقل رساندن مصرف انرژی در نظر گرفتن نیازهای کیفیت سرویس از نظر تأخیر قابلیت اطمینان و تحمل پذیری خطا یرای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ضروری است. تحمل‌پذیری خطا و قابلیت اطمینان حسگرها پارامترهای ضروری بوده تا شبکه همچنان عملکرد درستی داشته باشد و یا وجود برخی از خرابی‌های حسگرها اطلاعات دقیقی به چاهک ارائه دهد. مسیریابی انتقال پی درپی SAR یکی از اولین پروتکل‌های مسیریابی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که به معرفی مفهوم کیفیت سرویس در تصمیم‌گیری‌های مسیریابی می‌پردازد.

### ۶،۳. مسیریابی مبتنی بر پویایی

یعضی از برنامه‌های کاربردی گره‌های حسگر را ملزم به تحرک می‌کنند تا بتوانند یک وظیفه حسی را انجام دهند قابلیت تحرک ، چالش-هایی جدیدی برای مسیریابی و انتشار داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بوجود می‌آورد که نتیجه آن پیچیدگی‌های پیاده‌سازی و تحلیل مسیریابی افزایش می‌یابد.

### ۷،۳. مسیریابی مبتنی بر مذاکره

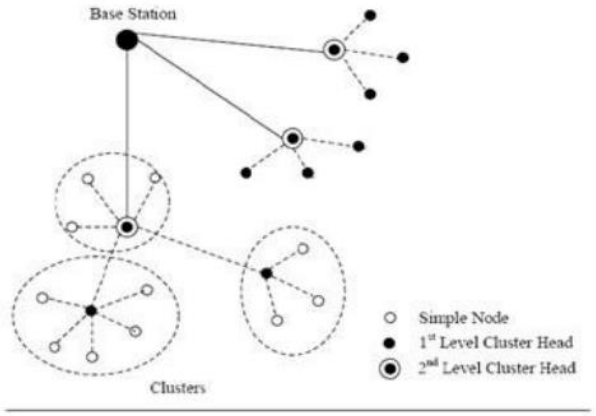
این پروتکل از راه‌های سطح بالا یه نام ابر داده استفاده می‌کند تا از انتقال اطلاعات اضافی جلوگیری نماید.

## ٤. پروتکل‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم

### ۱،۴. پروتکل TEEN

TEEN یک پروتکل سلسله مراتبی است. این پروتکل برای زمان‌هایی طراحی شده است که قرار می‌باشد یک حالت ناگهانی در شبکه بوجود بیابد. لذا باید به سرعت وضعیت را حس کرده و داده را ذخیره و ارسال

کند. نحوه خوشه‌بندی در این پروتکل به این صورت می‌باشد که گره‌هایی که در نزدیکی هم می‌باشند تشکیل خوشه می‌دهند و این کار را برای یک مرحله ی دیگر هم انجام می‌دهند که در نهایت به ایستگاه پایه می‌رسد. بعد از تشکیل خوشه‌ها سرخوشه‌ها دو مقدار آستانه را به اعضای خود می‌فرستند که به نام‌های آستانه نرم و آستانه سخت مشهورند. نحوه خوشه‌بندی این پروتکل را در شکل (۲-۶) مشاهده می‌کنید. گره‌ها بعد از حس کردن مقدار حس شده را یا آستانه سخت می‌سنجند که اگر از این مقدار بیشتر باشد داده را ارسال می‌کنند و اگر از این مقدار کمتر باشد به اینصورت می‌شود که اگر مقدار بدست آمده از مقدار نمونه‌گیری قبلی بیشتر از مقدار آستانه نرم باشد داده را ارسال می‌کند. برای ارسال داده‌ها به ایستگاه پایه هر گره داده‌های خود را به سرخوشه می‌دهد و سرخوشه نیز بر حسب فاصله از ایستگاه پایه یا مستقیم و یا از طریق سرخوشه‌های دیگر داده‌ها را به ایستگاه پایه منتقل می‌کنند [۵].



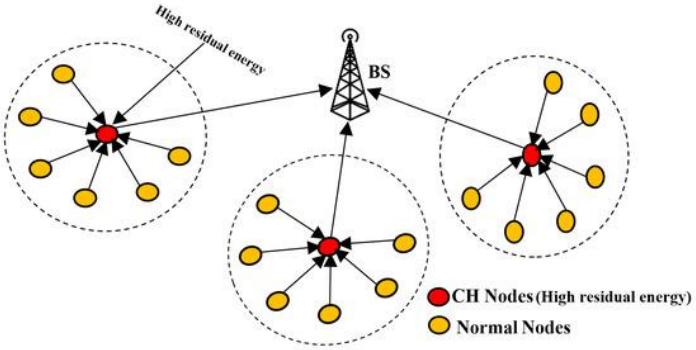

**شکل (۲): نحوه خوشه بندی در پروتکل TEEN [۵].**

### ۲,۴. پروتکل LEACH

در این پروتکل خوشه‌های شبکه به سه صورت تصادفی، تطبیقی و خود پیکربندی شده تشکیل می‌شوند.
شرح این ویژگی‌ها به صورت زیر است :

۱) **تصادفی:** در هر دور چند گره به صورت تصادفی خود را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند و از قبل گره‌ای بعنوان سرخوشه انتخاب نمی‌شود.
۲) **تطبیقی:** گره‌ای که در یک دور سرخوشه شد نمی‌تواند در چند دور دیگر سرخوشه شود. که این باعث می‌شود که تقریباً همه-ی گره‌ها حداقل یکبار سرخوشه شوند.
۳) **خود پیکربندی شده :** گره‌ها در این پروتکل بدون عامل خارجی پیکربندی می‌شوند که این باعث افزایش مقیاس‌پذیری می-گردد.

LEACH از روش ترکیب داده‌های هر خوشه و ارسال داده‌ی قشرده شده به ایستگاه پایه استفاده می‌کند. بدین ترتیب هم تعداد ارسال و دریافت‌ها در شبکه کاهش می‌یابد و هم داده‌های زاید که به علت نزدیکی حسگرهای یک خوشه به یکدیگر ایجاد می‌شوند پیش از ارسال به ایستگاه پایه حذف می‌گردند. هدف این پروتکل ایجاد توازن در مصرف انرژی در گره ها است [۶]. پروتکل LEACH مصرف انرژی را با خوشه‌بندی و انتخاب پویای خوشه ها توزیع می‌کند، بدین ترتیب که حسگرها به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شوند که هر ناحیه دارای یک سرخوشه است و پس از اتفاق یک رویداد حسگرهای هر ناحیه اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال می‌کنند و سرخوشه این اطلاعات را مستقیم به ایستگاه پایه می‌رساند . در شکل (۳) نحوه خوشه‌بندی در پروتکل LEACH را مشاهده می‌کنید.




**شکل (۳): خوشه‌بندی در پروتکل LEACH [۶].**

الگوریتم LEACH به انتخاب شدن سرخوشه‌ها به صورت تصادفی و با یک احتمال ثابت تاکید دارد. تمام گره‌ها از احتمالی یکسان برای سرخوشه شدن برخوردارند گره‌ها همگن فرض می‌شوند (گره‌ها دارای انرژی اولیه یکسانی هستند. حسگرها در گروه‌ها یا خوشه‌هایی دسته‌بندی می‌شوند و هر گروه یک سردسته دارد که هر ناحیه از طریق سرخوشه با ایستگاه پایه به صورت مستقیم ارتباط برقرار می‌کند. به این ترتیب هم تعداد ارسال و دریافت‌ها در شبکه کاهش می‌یابد و هم داده‌های زاید که به علت نزدیکی حسگرهای یک خوشه به یکدیگر تولید می‌شوند حذف می‌شوند عملکرد پروتکل از دوره‌هایی متشکل از چندین دور تشکیل شده است. احتمال بهینه سرخوشه شدن گره‌ها برابر p است و ثابت در نظر گرفته می‌شود تعداد بهینه خوشه‌ها بر اساس توزیع مناسب بین تمام حسگرها و کمینه نمودن مصرف انرژی انتخاب می‌شود.

**۵. کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بیسیم**

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 شبکه ها از یک منبع تغذیه محدود استفاده می‌کنند که پس از اتمام آن به دلیل غیر قابل تجدید بودن این منابع، عمر شبکه به پایان می‌رسد. برای استفاده بیشتر و افزایش عمر این نوع شبکه‌ها، محققان همواره به دنبال روش-هایی هستند که بتوان به وسیله آنها مصرف انرژی را کاهش داد. بنابراین لحاظ نمودن الگوریتم‌های ذخیره انرژی در طراحی شبکه‌های حسگر با عمر طولانی، امری حیاتی است. امروزه روش‌های مدیریت پویای توان که به کاهش مصرف انرژی شبکه های حسگر بیسیم می-پردازند از بالاترین اهمیت برخوردار می‌باشند. در ادامه‌ی این بخش به بررسی روش‌های کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود و جدیدترین روش‌هایی که در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند مورد بررسی قرار می‌گیرد و نقاط ضعف و قوت آنها بیان می-شود. شبکه‌های حسگر بی‌سیم، شبکه‌ای از سنسور گره‌های توزیع شده می‌باشد که مجهز به حس کردن محاسبات انرژی و ماژول‌های ارتباطی می‌باشد که برای مانیتورینگ یک پدیده خاص مانند زیست محیطی داده‌ها و یا ردیابی اشیاء می‌باشد [۷].

گره ها در چنین شبکه‌هایی با مشخصه‌های زیر سر و کار دارند :

۱) **محدودیت انرژی**
۲) **محدودیت پردازش**
۳) **محدودیت حافظه**

مهم‌ترین هدف شبکه‌های حسگر مدیریت منطقی منابع انرژی است. برخی از مصارف ممکن است سودمند باشند. تعدادی از مصارف سودمند انرژی به صورت فهرست‌وار در ذیل آمده است:

۱) ارسال با دریافت داده
۲) پردازش پرس‌وجوهای درخواستی
۳) ارسال داده‌ها و پرس‌وجوها به گره‌های همسایه مصرف انرژی در ارسال و دریافت داده بیش از سایر عملیات است.

به عنوان مثال، مصرف انرژی برای انتقال یک بیت داده روی کانال‌های بی‌سیم معادل با انرژی لازم برای اجرای هزاران سیکل[۳] دستورالعمل در سطح پردازش کننده می‌باشد.

اما برخی از مصارف انرژی در گرهی حسگر سودمند نمی‌باشد که لازم است آنها را به خوبی بشناسیم. تعدادی از مصارف انرژی پراتلاف و بیهوده به صورت فهرست وار در ذیل به آنها اشاره شده است.

۱) **گوش کردن غیر فعال**؛ یعنی گوش دادن به کانال غیر فعال برای دریافت ترافیک احتمالی

۲) **تصادم (برخورد[۴])**؛ یعنی وقتی یک گره بیش از یک بسته در زمان واحد دریافت کند، حتی در صورتی که دریافت دو بسته تنها تا اندازه‌ای با هم همزمان باشند همه بسته‌هایی که باعث برخورد می‌شوند، باید دور انداخته شوند و مجدداً ارسال گردند که ارسال مجدد، مصرف انرژی را افزایش می‌دهد [۸].

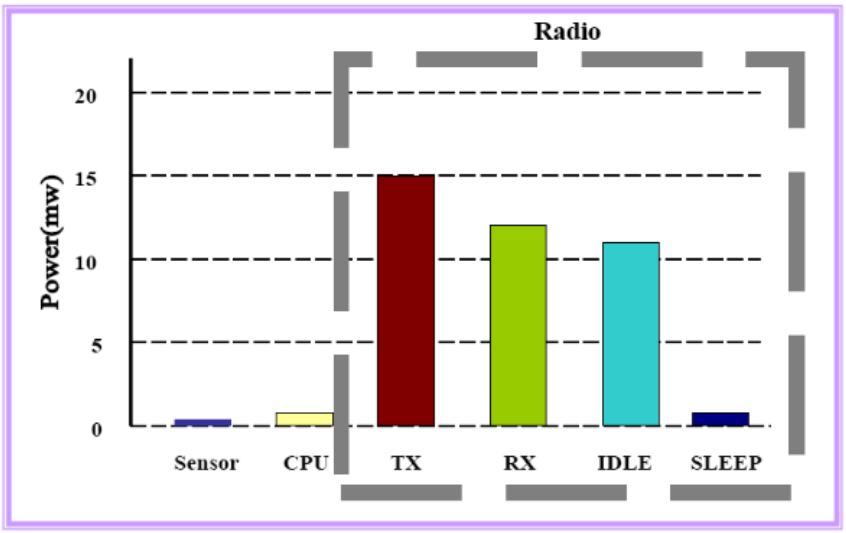
۳) **استراق سمع کردن**؛ یعنی یک گره بسته هایی را دریافت کند که برای سایر گره‌ها فرستاده شده اند.

۴) **سربار بسته‌های کنترلی**؛ بنابراین حداقل تعداد بسته‌های کنترلی باید برای ارسال داده استفاده شوند.

۵) **ارسال پیغام** در حالی که گره مقصد آماده دریافت نیست.

همچنین به منظور مدیریت مصرف انرژی لازم است از میزان مصرف انرژی بخش‌های مختلف یک گره حسگر اطلاع داشته باشیم نکات زیر در مورد مصرف انرژی قسمت‌های مختلف یک گره حسگر قابل توجه هستند و نقش مهمی در به کارگیری روش‌های کاهش مصرف انرژی دارند:

- زیرسیستم ارتباطی دارای مصرف انرژی بسیار بالاتری نسبت به زیرسیستم محاسباتی است. اثبات شده است که ارسال یک بیت اطلاعات ممکن است به اندازه اجرای هزاران دستورالعمل، انرژی مصرف کند.بنابراین بین ارتباطات و پردازش باید مصالحه ای برقرار شود شکل (۴).




**شکل (٤): مقایسه میزان مصرف انرژی در قسمت‌های مختلف گره حسگر، برگرفته از [۸].**

مصرف انرژی رادیویی در حالت‌های پذیرش انتقال و بیکاری تقریباً به یک اندازه است (شکل ۴). در عین حال مصرف انرژی رادیویی حداقل یک مرتبه بزرگی در حالت خواب پایین می‌افتد. بنابراین رادیو باید تا هر وقت که ممکن باشد به حالت خواب (غیرفعال) برود.بر طبق کاربرد خاص، زیرسیستم حسگری، ممکن است منبع قابل توجه دیگر مصرف انرژی باشد. بنابراین مصرف انرژی آن نیز باید کاهش یابد. مهمترین مساله این است که مصرف انرژی گره‌های حسگر را به حداقل برسانیم در عین اینکه نیازهای کاربرد را برآورده سازیم.

---

[۳] Cycle

[٤] collision

امروزه روش‌های مدیریت پویای توان که به کاهش مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بعد از طراحی و قرارگیری آن‌ها می‌پردازند از بالاترین توجه برخوردار بوده و مطالعات تحقیقاتی بسیاری را در سراسر جهان به خود معطوف نموده‌اند. تاکنون روش‌های بسیار زیادی به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم به کار گرفته شده اند. در مواردی این روش‌ها بر اساس اینکه در کدام یک از لایه-های پشته پروتکل طراحی شده اند، طبقه بندی می‌شوند.

**۶. الگوریتم‌های تکاملی**

الگوریتم‌های تکاملی از مکانیزم‌ها و عملیات ابتدایی برای حل مسئله استفاده می‌کنند و در طی یک سری از تکرارها به راه حل مناسب برای مسئله می‌رسند. این الگوریتم‌ها غالباً از یک جمعیت حاوی راه‌حل‌های تصادفی شروع می‌کنند و در طی هر مرحله تکرار سعی در بهتر کردن مجموعه راه‌حل‌ها دارند. در آغاز کار تعدادی از اعضای جامعه به صورت تصادفی حدس زده شده، سپس تابع هدف برای هر یک از این اعضا محاسبه و نخستین نسل ایجاد خواهد شد. اگر هیچ‌یک از معیارهای خاتمه بهینه‌سازی دیده نشوند، ایجاد نسل جدید آغاز خواهد شد. اعضا بر حسب میزان شایستگی‌شان برای تولید نوزادها انتخاب می‌شوند. این افراد به عنوان والدین محسوب می‌شوند و بازترکیب نوزادها را تولید می‌نمایند. سپس تمامی نوزادها با یک مقدار معینی از احتمال، یعنی همان جهش، تغییر ژنتیکی می‌یابند. اکنون میزان شایستگی (برازندگی) نوزادان تعیین و در اجتماع جایگزین والدین شده و نسل جدید را ایجاد می‌نمایند. این چرخه آنقدر تکرار می‌شود تا یکی از معیارهای پایان بهینه‌سازی کسب شود. تعدادی الگوریتم‌های تکاملی عبارت انداز: **الگوریتم ژنتیک**[۵]، **الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری**،[۶] **روش بهینه‌سازی گروه مورچه‌ها**[۷]، **الگوریتم بهینه‌سازی اصلاح گرانشی**[۸]

**۷. پیشینه تحقیق برای کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌های بیسیم**

در این بخش به مروری بر کارهای پیشین در زمینه کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی می‌پردازیم.

در پژوهش [۹] الگوریتم مسیریابی جهت مصرف بهینه انرژی درشبکه حسگر بیسیم با رویکرد خوشه‌بندی متمرکز مبتنی بر روش بهینه ساز گرگ‌خاکستری ارائه شده است.این پژوهش گره سرخوشه را براساس روش GWO انتخاب می‌کند.GWO یک الگوریتم جدید هوش ازدحامی مبتنی بر رفتار گرگ‌های خاکستری است که ویژگی‌های موثر و نتایج رقابتی را نشان می‌دهد.برای انتخاب سرخوشه‌ها،راهحل‌ها بر اساس میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده و انرژی باقیمانده فعلی هر گره درجه‌بندی می‌شوند.به منظور بهبود بهره وری انرژی،پروتکل پیشنهادی از خوشه‌بندی یکسان در چندین دور متوالی استفاده می‌کند. این به پروتکل اجازه می‌دهد تا انرژی الزم برای اصلاح می‌کند در حالی که گره‌های باقیمانده از ارتباطات تک هاپ استفاده می‌کنند.معیارهای ارزیابی شامل مصرف انرژی،طول عمر و گره‌های زنده می-باشد. همچنین یک الگوریتم مسیریابی دوهاپ جدید برای سرخوشه‌ها ارائه می‌شود که با ایستگاه پایه فاصله زیادی دارند و ثابت می‌شود که روش ارائه شده حداقل و متعادل‌ترین مصرف انرژی را تضمین می‌کند در حالی که گره‌های باقیمانده از ارتباطات تک هاپ استفاده می‌کنند.معیارهای ارزیابی شامل مصرف انرژی،طول عمر و گره‌های زنده می‌باشد.

در پژوهش [۱۰] الگوریتم خوشه‌بندی بهبود مصرف انرژی برای شبکه‌های حسگربیسیم بااستفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی اصلاح شده ارائه شده است.برای محاسبه تعداد بهینه خوشه‌ها،سازماندهی خوشه‌ها و تعیین بهترین سرخوشه در هر دور،یک روش پویا و مستقل از کاربر ارائه می‌شود.بهبود مصرف انرژی و کیفیت پیوند برای محاسبه تعداد بهینه خوشه در نظر گرفته شد. الگوریتم خوشه‌های متراکم با سر خوشه‌های سطح انرژی بالا را سازماندهی می‌کند. سپس، یک کنترل کننده منطق فازی برای شناسایی پارامتر این الگوریتم استفاده می‌شود تا توانایی شناسایی و استخراج روش را در طول فرآیند محاسباتی الگوریتم کنترل کند.

---

[5] Genetic Algorithm

[6] Gray Wolf Optimization

[7] Ants Group Optimization Method

[8] Gravitational Search Algorithm

در پژوهش [۱۱] پروتکل سلسله مراتبی شبکه حسگر بیسیم با خوشه‌بندی چند معیاره فازی و مسیریابی با بهبود مصرف انرژی الهام گرفته زیستی ارائه شده است.در این روش از یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر شبکه توری برای تشکیل خوشه‌های مقاوم استفاده شده است. تصمیم‌گیری چند معباره فازی تطبیقی برای انتخاب سرخوشه استفاده شده است. رویکرد پیشنهاد شده برای انتخاب سرخوشه سه پارامتر گسترده انرژی،کیفیت سرویس و موقعیت را در نظر می‌گیرد. پس از انتخاب سرخوشه،الگوریتم بهینه سازی پنگوئن امپراطور برای یافتن مسیر بهینه برای انتقال داده ازسرخوشه به سینک استفاده می‌شود. روش پیشنهادی مورد ارزیابی و مقایسه با سایر رویکردهای مسیریابی موجود در مورد پارامترهای مصرف انرژی،طول عمر،توان عملیاتی، تأخیر پایان به پایان،نسبت تحویل بسته،تأخیر،تعداد گره‌های غیر فعال و فعال است.

در پژوهش [۱۲] پروتکل مسیریابی ترکیبی ایستا برای بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بیسیم همگون و ناهمگون برای مقیاس بزرگ ارائه شده است. این پروتکل با تقسیم شبکه به چندین سطح،از ترکیب بین خوشه‌بندی و تکنیک‌های مسیریابی چندهاپ استفاده می‌کند. برای هر دور،خوشه‌هایی ایجاد می‌کند،سپس داده‌های جمع‌آوری شده را از طریق دروازه‌هایی به نام گره‌های مستقل،با استفاده از یک رویکرد پویا جدید انتخاب می‌کند و گره‌های خاموش و غیرفعال را معرفی می‌کند.این پروتکل بهبود یافته روش مسیریابی چند هاپ ثابت می‌باشد. معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،گره‌های فعال و غیرفعال،تعدا بسته‌های ارسالی صحیح و مصرف انرژی می‌باشد.

در پژوهش [۱۳] مکانیسم مسیریابی پویا با بهره‌وری انرژی با موانع درشبکه حسگر بیسیم ارائه شده است.این پروتکل به گونه‌ای طراحی شده است که با استفاده از مساله فروشنده دوره‌گرد،الگوریتم‌های مدار همیلتونی و با کمک الگوی شبکه باینری در محیط حسگر،در برابر موانع مقاومت می‌کند.تأخیر داده کاهش می‌یابد زیرا سرخوشه همیشه دردسترس است. برای دریافت داده از اعضای خوشه در داخل خوشه و ارسال داده توسط سرخوشه‌ها به یکدیگر باعث جمع آوری داده‌ها توسط سرخوشه به صورت پویا و انتقال آن به سینک می‌شود. براساس مدل اجتناب از مانع و حالت گره،یک ماشین محدود با استفاده از مدل مخفی مارکوف ساخته شده است. معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،گرههای فعال و غیرفعال و مصرف انرژی می‌باشد.

در پژوهش [۱۴] یک پروتکل مسیریابی مدیریت بافر با آگاهی از انرژی برای شبکه حسگر بیسیم طراحی شده است.روش این است که بافر آگاه باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود و از افت بسته داده به دلیل سرریز بافر جلوگیری می‌شود.قبل از از ارسال داده‌های‌هاپ بعدی به خوشه،خلا حافظه و سطح انرژی در نظر گرفته می‌شود.تخصیص سرخوشه از طریق اندازه بافر و سطح ولتاژ گره سنسور انجام می‌شود.گره از نظر ماهیت همگن است.از این رو،همه گره‌ها دارای اندازه حافظه و سطح انرژی یکسانی هستند. معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،ترافیک،مصرف انرژی و توان عملیاتی و گره‌های زنده می‌باشد.

در پژوهش [۱۵] یک پروتکل خوشه‌بندی آگاه از انرژی و روش مسیریابی دو سطحی در شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه شده است.این پروتکل به دنبال بهبود نرخ تحویل بسته‌ها و کاهش مصرف انرژی از طریق خوشه بندی،انتخاب سر خوشه پشتیبان وانتخاب سرخوشه‌ها می‌باشد. در مرحله اول،سرخوشه‌ها وسرخوشه‌ها پشتیبان انتخاب می‌شوند و گره‌ها بر اساس انرژی باقیمانده،فاصله تا ایستگاه کاری و مرکزیت آن‌ها خوشه‌بندی می‌شوند.برای انجام مسیریابی درون خوشه‌ای، در هر خوشه گره‌ها مستقیماً داده‌های خود را به سرخوشه یا از طریق مناسب‌ترین گره در بخش‌های خود تحویل می‌دهند.برای انجام مسیریابی بین خوشه‌ای،سرخوشه براساس فاصله آنها ازایستگاه کاری اولویت‌بندی می‌شود.از آنجا که سرخوشه‌ها به صورت لایه لایه هستند، سرخوشه منبع براساس انرژی باقیمانده و فاصله آن‌ها تا ایستگاه کاری،هاپ بعدی را ازسرخوشه‌های لایه فوقانی انتخاب می‌کند. معبارهای ارزیابی شامل میانگین مصرف انرژی،تاخیر پایان به پایان،تعدادهاپ‌ها،گره‌های فعال و نرخ ارسال بسته موفق می‌باشد.

در پژوهش [۱۶] روش مسیریابی بهینه انرژی برای شبکه‌های حسگربیسیم با استفاده از بهینه سازی کلونی مورچه ارائه شده است.در این پروتکل،یک معماری مسیریابی سلسله مراتبی در نظر گرفته می‌شود که در آن گره‌های سطح خارجی داده‌ها را به گره‌های سطح داخلی هدایت می‌کنند.مسیر مسیریابی با استفاده از کلونی‌های مورچه بهینه می‌شوند که در آن داده‌ها در طول مسیر کم ازدحام حرکت می‌کنند. علاوه براین، هنگامی که از بهینه‌سازی کلونی مورچه استفاده می‌شود،ممکن است گره‌های خاص خوشه‌ای بیش از حد با ارسال داده‌ها پر شود که منجر به مرگ زود هنگام به دلیل کمبود انرژی شود.برای غلبه بر این ناهنجاری، مقدار داده‌هایی را که یک سر خوشه همسایه می‌تواند بر اساس انرژی باقیمانده آن‌ها ارسال کند،تخمین زده می‌شود. معبارهای ارزیابی شامل انرژی مصرفی و طول عمر شبکه می‌باشد.

در پژوهش[۱۷] یک پروتکل مسیریابی خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی آگاه برای تحمل پذیری خطا در شبکه‌های حسگربیسیم ارائه شده است.دراین پروتکل،فرایند راه اندازی خوشه فقط یک بار انجام می‌شود و نقش سرخوشه براساس انرژی در میان اعضا چرخانده می‌شود تا زمانی که شبکه تابع را متوقف کند،همچنین می‌تواند تغییر توپولوژی شبکه را با استفاده از افزودن گره‌های جدید و مشکالت خرابی گره‌ها سازگار کند. گره‌های حسگری که در دامنه ارتباطی خود هیچ سرخوشه دارند،با استفاده از حالت چندهاپ به سرخوشه متصل می‌شوند. برای ارتباط بین خوشه‌ای،روش مسیریابی چندهاپ پیشنهادی به گونه‌ای تصور می‌شود که مصرف انرژی متعادل شده و به حداقل برسد. معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،بازدهی انرژی و میزان تحویل بسته می‌باشد.

در پژوهش [۱۸] یک پروتکل مسیریابی فرصت‌طلب با صرفه‌جویی در مصرف انرژی با زمانبندی خواب در شبکه‌های حسگربی‌سیم ارائه شده است. الگوریتم زمان‌بندی خواب پیشنهادی برای افزایش عملکرد شبکه با به حداقل رساندن اتلاف انرژی طراحی شده است و به حالت بیکاری گره‌ها گوش می‌دهد. فاصله خواب انطباقی است و متناسب با انرژی باقیمانده گره‌ها و همچنین سرعت جریان شبکه در نظر گرفته شده است. فاصله خواب گره‌ها متناسب با مقدار اولویت گره‌ها و به نوبه خود متناسب با انرژی باقیمانده است. انرژی باقیمانده بالاتر گره‌ها مقدار اولویت بالاتری را به گره‌ها اختصاص می‌دهد و بالعکس.معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،بازدهی انرژی و میزان دریافت بسته می‌باشد.

در پژوهش [۱۹] پروتکل مسیریابی ترکیبی مبتنی بر انرژی باقیمانده برای شبکه‌های حسگربیسیم ارائه شده است که در آن گره‌های مستقیم با مقدار بهینه از بین گره‌ها انتخاب می‌شوند،سپس گره‌های مستقیم و گره‌های خوشه‌ای به صورت ترکیبی برای انتقال کارآمد بسته استفاده می‌شود.استراتژی مسیریابی بسته از ارتباطات تک هاپ و چند هاپ استفاده می‌کند که به فاصله نسبی اقلیدسی و انرژی باقیمانده گره‌های زنده بستگی دارد. این روش استفاده بهینه از انرژی گره را برای صرفه جویی در انرژی و همچنین کاهش بار سرخوشه به کار می‌برد. معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،بازدهی انرژی و میزان گره‌های زنده می‌باشد.

در پژوهش [۲۰] الگوریتم بهینه‌سازی مصرف انرژی برای خوشه‌بندی و مسیریابی درشبکه حسگر بیسیم ارائه شده است. در این الگوریتم، فرایند انتخاب سرخوشه به عنوان مسئله بهینه‌سازی تک‌هدفه برای یافتن مجموعه‌ای از سرخوشه‌های بهینه،جهت خوشه‌های یک هاپ،به منظور تعادل مصرف انرژی،افزایش ثبات و مقیاس‌پذیری با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی ارائه نموده است.

در پژوهش [۲۱] پروتکل مسیریابی ناهمگن چند سطحی با بهره وری انرژی برای شبکه‌های حسگربیسیم ارائه شده است. این پروتکل براساس احتمال انتخاب وزنی هر گره استفاده میکند تا با توجهبه انرژی باقیمانده و فاصله مقصد تا گره یک فعلی سرخوشه را انتخاب کند. برای بهبود بیشتر طول عمر شبکه و توزیع بهتر انرژی و نسبت فاصله،یک ثابت وزنی نرمال معرفی شده است. علاوه بر این،تأثیر ناهمگنی گره‌ها از نظر انرژی بررسی می‌شود. این پروتکل ثبات طولانی‌تر را برای وزن مناسب انرژی و مسافت ارائه می‌دهد. با این حالت مشکل از بین رفتن زودرس گره دور از ایستگاه پایه به دلیل مصرف انرژی بیشتر،حل می‌شود. معبارهای ارزیابی شامل طول عمر شبکه،بازدهی انرژی باقیمانده،میزان بسته‌های ارسالی به سرخوشه و میزان گره‌های زنده می‌باشد.

در پژوهش [۲۲] پروتکل مسیریابی چندهاپ با کارایی مصرف انرژی مبتنی بر درخت پوشای کمینه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناهمگون ارائه شده است. این روش بر روی حداقل تعدادهاپ هر گره متمرکز است تا مسیرهای بهینه را وارد کرده و در جدول مسیریابی خود قرار دهد. ایده اصلی این الگوریتم از تئوری اصلاح شده درخت پوشای مینیمم گراف پریم ارائه شده است. فاصله فیزیکی بین دو گره در شبکه‌های ناهمگون همیشه متناسب با فاصله شمارش آنها نیست،الگوریتم مسیریابی پیشنهادی شمارش هاپ را به حداقل می‌رساند و بنابراین تعداد انتقال‌های فردی را کاهش می‌دهد.معبارهای ارزیابی شامل فاصله،مسیرهای کشف شده و بازدهی انرژی می‌باشد.

**جدول (۱): مقایسه الگوریتم‌های مسیریابی برای بهبود مصرف انرژی**

| ردیف | مرجع | سال انتشار | الگوریتم مورد استفاده | عملکرد روش پیشنهادی | معیارها |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | [۹] | ۲۰۱۹ | GWO | بهینه-متمرکز مبتنی بر روش خوشه بندی سازی گرگ خاکستری | مصرف انرژی،طول عمر و گره‌های زنده |
| ۲ | [۱۰] | ۲۰۱۹ | GSA | خوشه‌بندی متمرکز مبتنی الگوریتم جستجوی گرانشی اصلاح شده | تعداد گره‌های غیرفعال در طول زمان، بسته‌های دریافتی و مصرف انرژی |
| ۳ | [۱۱] | ۲۰۲۲ | FMCB-ER | خوشه بندی چند معباره فازی و مسیریابی بابهبود مصرف انرژیالهام گرفته زیستی | مصرف انرژی،طول عمر،توان عملیاتی، تأخیر پایان به پایان،نسبت تحویل بسته، تأخیر،تعداد گره‌های غیر فعال و فعال |
| ۴ | [۱۲] | ۲۰۲۱ | HEESR | مسیریابی ترکیبی ایستا | طول عمر شبکه،گره‌های فعال و غیرفعال، تعدا بسته‌های ارسالی صحیح ومصرف انرژی |
| ۵ | [۱۳] | ۲۰۲۰ | EEDRM | هامیلتونی،مدل خوشه‌بندیمبتنی بر مدار گردو فروشنده دوره مخفی مارکوف | طول عمر شبکه،گره‌های فعال ،گره‌های غیرفعال و مصرف انرژی |
| ۶ | [۱۴] | ۲۰۲۰ | EABM | مسیریابی مدیریت بافر با آگاهی از انرژی | طول عمر شبکه،ترافیک،مصرف انرژی و توان عملیاتی وگره‌های زنده |
| ۷ | [۱۵] | ۲۰۲۰ | EACTL | بندی آگاه از انرژی و روش‌خوشه مسیریابی دو سطحی | میانگین مصرف انرژی،تاخیر پایان به پایان، تعدادهاپ‌ها،گره‌های فعال و نرخ ارسال بسته موفق |
| ۸ | [۱۶] | ۲۰۲۰ | RACO | خوشه‌بندی متمرکز مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه | انرژی مصرفی و طول عمر شبکه |
| ۹ | [۱۷] | ۲۰۲۰ | ECRP | بندی مبتنی بر مسیریابی‌خوشه انرژی آگاه چندهاپ | طول عمر شبکه،بازدهی انرژی و میزان تحویل بسته |
| ۱۰ | [۱۸] | ۲۰۲۰ | ENS_OR | مسیریابی فرصت طلب با زمانبندی خواب | طول عمر شبکه،بازدهی انرژی و میزان دریافت بسته |
| ۱۱ | [۱۹] | ۲۰۱۹ | REHR | مسیریابی ترکیبی مبتنی برانرژی باقیمانده | طول عمر شبکه،بازدهی انرژی و میزان گره‌های زنده |
| ۱۲ | [۲۰] | ۲۰۱۸ | GSA | خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی | گره‌های فعال و غیرفعال،تعدا بسته‌های ارسالی صحیح و مصرف انرژی |
| ۱۳ | [۲۱] | ۲۰۱۹ | E- BEENISH | مسیریابی ناهمگن چند سطحی | طول عمر شبکه،بازدهی انرژی باقیمانده، میزان بسته‌های ارسالی به سرخوشه و میزان گره‌های زنده |
| ۱۴ | [۲۲] | ۲۰۱۹ | MST | درخت پوشای کمینه | فاصله،مسیرهای کشف شده و بازدهی انرژی |

**منابع**

[1] Draves R, Padhye J, Zill B. Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2004 Aug 30;34(4):133-44.
[2] M. Patil and R-C. Biradar, A Survey on Routing Protocols in Wireless Sensor Networks,in proceeding of 18th IEEE International Conference on Networks (ICON), Singapore, pp.86-91, 2012.
[3] G. Deepak and M. Ranjan, Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: a Survey, in proceeding of Second International Conference on Advanced Computing Communication Technologies, pp. 474-80, 2012.
[4] Chandra Sekaran K, Kandasamy A. Node-link disjoint multipath routing protocols for wireless sensor networks–a survey and conceptual modeling. InInternational Conference on Advanced Computing, Networking and Security 2012 (pp. 405-414). Springer, Berlin, Heidelberg.
[5] Manjeshwar A, Agrawal DP. TEEN: ARouting Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks. Inipdps 2001 Apr 23 (Vol. 1, No. 2001, p. 189).
[6] Sharma I, Singh R, Khurana M. Comparative study of LEACH, LEACH-C and PEGASIS routing protocols for wireless sensor network. In2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications 2015 Mar 19 (pp. 842-846). IEEE.
[7] Roy S, Bandyopadhyay S, Ueda T, Hasuike K. Multipath routing in ad hoc wireless networks with omni directional and directional antenna: A comparative study. InDistributed Computing: Mobile and Wireless Computing 4th International Workshop, IWDC 2002 Calcutta, India, December 28–31, 2002 Proceedings 4 2002 (pp. 184-191). Springer Berlin Heidelberg.
[8] Zanaj E, Baldi M, Chiaraluce F. Efficiency of the gossip algorithm for wireless sensor networks. In2007 15th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks 2007 Sep 27 (pp. 1-5). IEEE.
[9] Daneshvar SM, Mohajer PA, Mazinani SM. Energy-efficient routing in WSN: A centralized cluster-based approach via grey wolf optimizer. IEEE Access. 2019 Nov 26;7:170019-31.
[10] Ebrahimi Mood S, Javidi MM. Energy-efficient clustering method for wireless sensor networks using modified gravitational search algorithm. Evolving systems. 2020 Dec;11(4):575-87.
[11] Mehta D, Saxena S. Hierarchical WSN protocol with fuzzy multi-criteria clustering and bio-inspired energy-efficient routing (FMCB-ER). Multimedia Tools and Applications. 2022 Oct;81(24):35083-116.
[12] Qabouche H, Sahel A, Badri A. Hybrid energy efficient static routing protocol for homogeneous and heterogeneous large scale WSN. Wireless Networks. 2021 Jan;27:575-87.
[13] Selvaraj S, Vasanthamani S. Energy efficient dynamic routing mechanism (EEDRM) with obstacles in WSN. Wireless Personal Communications. 2020 Jun;112:2761-76.
[14] Jayarajan P, Kanagachidambaresan GR, Sundararajan TV, Sakthipandi K, Maheswar R, Karthikeyan A. An energy-aware buffer management (EABM) routing protocol for WSN. The Journal of Supercomputing. 2020 Jun;76:4543-55.
[15] Mosavifard A, Barati H. An energy-aware clustering and two-level routing method in wireless sensor networks. Computing. 2020 Jul;102(7):1653-71.

[16] Anandh SJ, Baburaj E. Energy efficient routing technique for wireless sensor networks using ant-colony optimization. Wireless Personal Communications. 2020 Oct;114(4):3419-33.

[17] Noureddine Moussa, Zakaria Hamidi-Alaoui, Abdelbaki El Belrhiti El Alaoui. ECRP: an energy-aware cluster-based routing protocol for wireless sensor networks Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature. 2020

[18] Mhatre KP, Khot UP. Energy efficient opportunistic routing with sleep scheduling in wireless sensor networks. Wireless Personal Communications. 2020 May;112:1243-63.

[19] Panchal A, Singh RK. REHR: Residual energy based hybrid routing protocol for wireless sensor networks. In2019 IEEE Conference on Information and Communication Technology 2019 Dec 6 (pp. 1-5). IEEE.

[20] Morsy NA, AbdelHay EH, Kishk SS. Proposed energy efficient algorithm for clustering and routing in WSN. Wireless Personal Communications. 2018 Dec;103:2575-98.

[21] Zhang Y, Zhang X, Ning S, Gao J, Liu Y. Energy-efficient multilevel heterogeneous routing protocol for wireless sensor networks. IEEE Access. 2019 Feb 21;7:55873-84.

[22] Sana M, Noureddine L. Multi-hop energy-efficient routing protocol based on Minimum Spanning Tree for anisotropic Wireless Sensor Networks. In2019 International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET) 2019 Mar 19 (pp. 209-214). IEEE.