

# مکانیسم های اساسی عمر در مسیریابی پروتکل ها برای شبکه های حسگر بی سیم: بررسی

## و موضوعات آزاد

### چکیده

شبکه های سنسور بی سیم اساساً از گره های حسگر ارزان قیمتی تشکیل شده که داده ها را از محیط جمع آوری می کند و آن ها را به یک گره چاه رله می کنند، که در آن جا آن ها متعاقباً پردازش خواهند شد. چون گره های بی سیم برق به شدت محدودی دارند، نگرانی اصلی این است که چگونه انرژی گره ها را به گونه ای حفظ کنیم که طول عمر شبکه به طرز قابل توجهی بسط یابد. به کار گیری یک گره چاه ایستا به سرعت انرژی گره های همسایه گره چاه را تمام می کند. به علاوه، استفاده از یک مسیر منفرد غیر بهینه همراه با ماکسیمم سطح توان انتقال می تواند به سرعت انرژی گره های منفرد در مسیر را تخلیه کند. تمامی این موارد باعث مصرف انرژی غیر متوازن از طریق حوزه سنسور و از اینرو اثرگذاری منفی روی طول عمر شبکه است. در این مقاله ما علم رده بندی جامه مکانیسم های مختلف بکار رفته برای افزایش طول عمر شبکه را ارائه می کنیم. این تکنیک ها، خواه در مسیریابی یا در حوزه لایه گذر، در انواع زیر قرار می گیرند: الگوریتم های چند گره چاه، گره چاه متحرک، کنترل توان و الگوریتم های الهام گرفته از زندگی، که این بسته به عملیات پروتکل است. در این رده بندی، توجه خاصی به الگوریتم چند گره چاه اختصاص یافته است که هنوز به میزان کافی در مقالات به آن توجه نشده است. به علاوه، هر رده انواع مختلفی از پروتکل های مدرن را پوشش می دهد که باید ایده هایی برای پتانسیل کار آینده ارائه کنند. در نهایت ما این مکانیسم ها را با هم مقایسه می کنیم و در مورد مسائل تحقیقاتی آزاد (باز) صحبت می کنیم.

### 1- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم ( WSN ها) از تعداد زیاد گره حسگر ارزان قیمت کوچک تشکیل شده اند که برای سنجش پارامترهای مختلف محیط و ارسال داده ها با یک یا چند گره چاه کار می کنند که در آن در آخر پردازش خواهند شد. WSN ها طیف وسیعی از کاربردها را در حیطه های نظامی، پزشکی، شهری و صنعتی یافته اند. آن ها در کاربردهای مختلفی نظیر نظارت بر امنیت، مانیتورینگ میدان جنگ و محل سکونت، تشخیص مزاحمت، و به

منظور در نظر گرفتن هدف به کار گرفته شده اند. گرچه کاهش اندازه حسگرها می تواند باعث ارزان تر شدن آن ها شود، این کار مستلزم آن است که تمام تجهیزات سخت افزاری، خصوصاً باطری ها بسیار کوچک باشند. چون گره های حسگر باید در دراز مدت کار کنند و جایگزینی باطری در محیط های خشن نظیر میداین جنگ معمولاً غیر ممکن است، گره ها می توانند انرژی خود را در زمان بسیار کم از دست بدهند، از این رو در کوتاه مدت به قطعاتی بلا استفاده تبدیل می شوند. این موقعیت می تواند تأییری منفی روی ارتباط کل شبکه، تحمل نقص و طول عمر داشته باشند. بنابراین بهینه سازی مصرف انرژی موضوع مهمی است، خصوصاً برای طول عمر شبکه دراز در WSN ها. برای کنترل این مشکل، انواع مختلفی از روش ها در حیطه استراتژی های مسیریابی پیاده سازی شده اند که نقشی کلیدی در قابلیت کاربرد و عملکرد شبکه بازی می کنند.

مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم بسیار چالش برانگیز است. یکی از مشکلاتی که روی طول عمر شبکه تأثیر می گذارد اشاره به گره هایی دارد که در مجاورت گره چاه قرار دارند، که فعالیت آن ترافیک بالایی به این سری گره های حسگر تحمیل می کند. در این حالت، گره هایی که به گره چاه نزدیک تر هستند انرژی خود را به سرعت از دست می دهند. این گره ها گره های همسایه ای هستند که در یک پرش دور از یک گره چاه ایستای منفرد قرار گرفته اند. نه تنها آن ها از انرژی برای تقویت داده ها از تمامی دیگر گره ها از طریق شبکه به گره چاه بهره می برند، بلکه علاوه بر این برای ارسال خود داده هایشان نیز از آن بهره می برد. این مسأله به عنوان مسأله مجاورت گره چاه شناخته شده که می تواند منجر به قطع ارتباط پیش رس شبکه شود. وقتی بیشتر انرژی گره های مجاور گره چاه به کلی تخلیه شده باشد، این باعث می شود که گره چاه از بقیه شبکه جدا شود، در حالی که هنوز هم پتانسیل عظیمی برای اغلب گره های حسگر برای انجام وظایفشان و عملیات عادی خود دارند.

یکی از راه حل های ابتدایی برای مسأله مجاورت گره چاه به کار گرفتن بیش از یک گره چاه ایستا در شبکه است. با استفاده از چندین گره چاه که به صورت ایستا در کل حوزه حسگر توزیع شده اند، گسترش بار ترافیک به صورت یکپارچه در میان گره های حسگر ممکن است. این کار می تواند باعث افزایش طول عمر شبکه و کاهش تأخیرات سر به سر به طور قابل توجه و معنادار شود. راه حل دیگری که برای مسأله مجاورت گره چاه در نظر گرفته شده ارائه

عناصر شبکه ای با قابلیت تحرک است. استراتژی مناسب برای تعدیل مصرف انرژی برای مخابره داده ها در کل شبکه می تواند جایگزین کردن گره های مجاور گره چاه باشد. چون توان گره ها محدود است، واحد متحرک ساز در گره های متحرک باقیمانده انرژی را بسیار سریع تر از مورد تحت شرایط ایستا مصرف می کنند. ایده کلیدی حفظ ایستایی حسگرها در حین جابجایی دوره ای گره چاه به بخش هایی از شبکه با انرژی کافی می باشد. این کار می تواند از تقسیم بندی شبکه جلوگیری کرده و متعاقباً باعث افزایش طول عمر شبکه شود. پروتکل های متعددی برای تحرک گره چاه پیشنهاد شده اند، اما تفاوت آن ها از جهت خود تحرک است. به عنوان نمونه در برخی کاربردها که در آن گره چاه شبکه را برای جمع آوری خود داده ها می پیماید، الگوی حرکت گره چاه کنترل نشده برای مشی ها به کار رفته است. این بدان معناست که ممکن است شبکه قادر به کنترل حرکت گره چاه با اعمال مجاورت خاص مبتنی بر انرژی باقیمانده گره ها یا مقدار ترافیک در هر سنسور نباشد. از طرف دیگر، تحرک گره چاه کنترل شده می تواند به طرز کارایی طول عمر شبکه را بدون هیچ گونه اثر منفی روی تأخیر سر به سر بهبود دهد.

گرچه مسأله مجاورت گره چاه یکی از مهم ترین دلایل برای تقسیم بندی شبکه است، مشکل دیگری که وجود دارد این است که می تواند روی طول عمر شبکه تأثیر بگذارد. در حقیقت استفاده از یک مسیر بهینه منفرد برای هر ارتباطی می تواند اندک اندک انرژی گره هایی را تمام کند که روی مسیر قرار گرفته اند. بکار بردن مسیریابی چند مسیره در WSN ها می تواند حاصل ترافیک و تعدیل بار انرژی در شبکه باشد. به علاوه به روز رسانی اطلاعات مسیر به صورت دوره ای لازم و ضروری است که مقدار قابل توجهی از توان گره ها را هدر می دهد.

گره های حسگر برای ارسال داده ها و کنترل بسته ها در پرش بعدی در ماکسمم سطح توان استفاده شده اند که حاصل تخلیه انرژی سریع است. در این حالت با به کار بردن شمای کنترل توان در پروتکل های مسیریابی که در آن گره ها قادر به تنظیم سطح توان مخابره بر مبنای فاصله از پرش بعدی می باشند، گره های رله می توانند انرژی بسیار بیشتری را حفظ نمایند.

در نهایت الگوریتم های الهام گرفته از زندگی اخیراً به رده بالا اضافه شده اند و به عنوان رده مهمی در نظر گرفته شده اند چون می توانند فاز ساخت مسیر را بهینه سازی نمایند. پروتکل های ملهم از زندگی که بر مبنای سیستم

حسگری حشرات طراحی شده اند سعی در ساختن کوتاه ترین مسیر میان منبع و مقصد به گونه ای دارند که بتوانند انرژی بسیار بیشتری حفظ نمایند.

هدف ما در این مقاله کمک به خوانندگان در درک بهتر مکانیسم های آگاه از انرژی بنیادین قابل کاربرد در الگوریتم های مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم است و اشاره به پتانسیل موجود برای بهبود طول عمر شبکه‌هاست استفاده از این تکنیک ها می شود. ما رده بندی جامعی از این مکانسم ها را ارائه می کنیم و در مورد انواع مختلف پروتکل های لایه گذر و مسیریابی کارای انرژی تحت این علم رده بندی صحبت می کنیم. همان طور که قبلاً اشاره کردیم، روش های چند مسیره می توانند از تقسیم بندی شبکه با توزیع بارهای ترافیک روی اغلب گره های حسگر جلوگیری کنند در حالی که متدلوژی های چندین گره چاه و گره چاه متحرک بر این مشکل با تغییر همسایه های گره چاه به صورت دوره ای و ایجاد تعادل در مصرف انرژی در مجاورت گره چاه غلبه می کنند. شماهای کنترل توان می توانند انرژی گره ها را با کاهش توان مورد نیاز برای مخابره بسته های داده ای به پرش بعدی در پروتکل های مسیریابی حفظ کنند در حالی که الگوریتم های ملهم از ج زندگی می توانند فاز ساخت مسیر را با یافتن کوتاه ترین مسیر برای مسیریابی داده ها بهینه سازی نمایند. ما پروتکل ها را با استفاده از تکنیک های کنترل توان به عنوان شماهای لایه گذر رده بندی کردیم، در حالی که بقیه آن ها به عنوان مکانیسم های همزمان در لایه شبکه رده بندی شده اند. تا آنجا که ما می دانیم، کار ما اولین تلاش برای رده بندی استراتژی های بهبود طول عمر به کار گرفته شده در مسیریابی برای WSN هاست.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازمان یافته است: ما کار مرتبط را در بخش 2 ارائه می کنیم. پس زمینه . پیش نیازها در بخش 3 ارائه شده اند. در بخش 4، در مورد مکانیسم های مختلفی صحبت می کنیم که از چندین گره چاه و گره های چاه متحرک برای تعادل مصرف انرژی شبکه استفاده می کند. ما در این بخش با ارائه چند مکانیسم مسیریابی ادامه می دهیم که از پروتکل های چند مسیره، کنترل توان و پروتکل های الهام گرفته از بیعت برای حفظ انرژی گره و طولانی کردن مدت عمر شبکه استفاده می کنند. مقایسه میان مکانیسم های مختلف در بخش 5 نشان داده شده

است. بحث و مسائل آزاد برای مطالعات آینده در بخش 6 ارائه شده است. در نهایت در بخش 7 نتایج مقاله ارائه شده اند.

## 2- کار مرتبط

علاقه روز افزون به شبکه های حسگر بی سیم از یک طرف و پیدایش مداوم تکنیک های معماری جدید از سوی دیگر از تلاش های قبلی برای بررسی مشخصه ها، کاربردها و پروتکل های تعامل برای چنین حوزه فنی الهام گرفته اند. در این زیربخش ما به ویژگی هایی اشاره می کنیم که مقاله ما را متمایز می کند و در این حوزه تفاوت ها را برجسته می نماید.

نویسندگان در (23) تمامی رده های پروتکل های مسیریابی را برای WSN ها ارائه کرده اند، درست مانند نویسندگان (21 و 24). اما هیچ یک از آن ها مکانیسم های کارای انرژی فعلی را که می توانند با الگوریتم های مسیریابی برای افزایش طول عمر شبکه تلفیق شوند، ارائه نکرده اند.

رده بندی استراتژی های حفظ انرژی مختلف قابل کاربرد در شبکه های حسگر بی سیم در (1) و (25) توسعه یافته است. طبق این بررسی ها، پروتکل های مسیریابی آگاه از انرژی در شبکه های حسگر با در نظر گرفتن چندین عامل رده بندی شده اند نظیر چرخه بندی داده ها، تحرک داده ها، کنترل توپولوژی و تکنیک های حرکت داده ها. اما نویسندگان به اندازه کافی روی لایه شبکه تمرکز نکرده اند و این مقالات مکانیسم های ملهم از زندگی و چند گره چاه را برای پروتکل های مسیریابی شامل نکرده اند. بررسی ما می تواند برای آن هایی مفید باشد که به دنبال یافتن بینشی عمیق تر در مسائل مسیریابی کارای انرژی و شماها در شبکه های حسگر بی سیم می باشند.

مطالعه جامع در مورد تکنیک های متحرک برای افزایش طول عمر شبکه در (2) ارائه شده است. نویسندگان در مورد پروتکل های پیشنهادی در تمامی جنبه های تحرک نظیر گره های چاه، تخلیه مجدد سنسورهای متحرک، و رله های متحرک توضیح داده اند. گرچه این مقاله تعدادی از پروتکل های مسیریابی را پوشش می دهد که از تحرک پشتیبانی می کنند، رده بندی خاصی برای تکنیک های کارای انرژی به کار رفته در الگوریتم های مسیریابی ارائه نمی کنند. تا آن جا که ما می دانیم، مقاله ما اولین مقاله ای است که یک رده بندی از مکانیسم های کارای انرژی

ارائه می کند، شامل گره چاه متحرک، چند مسیره، کنترل توان و خصوصاً شماهای الهام گرفته از زندگی، تا بتواند طول عمل WSN ها را افزایش دهد.

### 3- پس زمینه و پیش نیازها

#### 3-1- معماری شبکه حسگر بی سیم

قبل از توصیف رده بندی سطح بالای پروتکل های ذخیره انرژی، داشتن درکی از معماری شبکه سطح و سطح گره برای مرجع آینده بهتر است. شکل 1 مولفه های گره حسگر بی سیم معمولی و تعاملات درونی آن را شرح می دهد.

یک گره از چهار عنصر اصلی با دو زیر سیستم اختیاری به شرح زیر تشکیل شده است:

واحد حسگری، شامل یک یا چند حسگر که با مبدل های آنالوگ به دیجیتال برای جمع آوری داده ها تجهیز شده اند.

واحد پردازش شامل یک ریز پردازنده و یک حافظه ای برای پردازش داده های حس شده محلی با هم همکاری می کنند.

واحد رادیویی که به عنوان فرستنده / گیرنده استفاده شده است.

واحد منبع برق شامل یک یا چند باتری

سیستم موقعیت یاب کلی برای یافتن مکان حسگرها (اختیاری)

واحد متحرک کننده برای تغییر موقعیت آن ها (اختیاری)

شایان ذکر است که همان طور که نشان داده شده، دو مولفه آخر اختیاری هستند و می توانند بر مبنای الرامات کاربردی استفاده شوند.

#### 3-2- منابع مصرف انرژی در WSN ها

نقص توان در WSN ها بسته به مشخصه های گره هاست. به عنوان مثال Raghunathan و همکارانش نشان داده اند که ویژگی های توان یک حسگر Stargate متفاوت از ویژگی های سنسورهایی هستند که خرده سنسور نامیده می شوند.

اما آن ها در نکات زیر با هم مشترکند:

مصرف انرژی واحد تعامل خیلی بیشتر از مصرف انرژی واحد پردازش است. به عنوان نمونه انرژی مورد نیاز برای اجرای 3000 دستورالعمل در یک CPU مساوی با انرژی موردنیاز برای مخابره تنها 1 بیت از داده هاست، بنابراین تبادل میان محاسبه و تعامل ضروری است.

واحد رادیویی انرژی را در همان سطح در حالت دریافت، حالت انتقال و حالت بیکار مصرف می کند. برای حفظ (ذخیره) انرژی، خاموش کردن رادیو، هنگامی که از آن استفاده نمی شود، بهتر است.

واحد حسگری می تواند منبع اصلی مصرف توان باشد و این بسته به برنامه مورد استفاده است، بنابراین سیاست مناسب باید بهره وری انرژی را در این واحد به طرز قابل توجهی کاهش دهد.

طبق معماری بالا و موضوعات نقص توان، پروتکل های مسیریابی به سه رده اصلی بر مبنای ساختار شبکه تبدیل شده اند، یعنی تخت، سلسله مراتبی، و الگوریتم های جغرافیایی. در زیر بخش بعدی این رده بندی عمومی موضوع مورد بحث خواهد بود.

### 3-3 رده بندی عمومی پروتکل های مسیریابی در WSN ها

همان طور که طبق ساختار شبکه ذکر شده پروتکل های مسیریابی در WSN ها می توانند به سه رده اصلی تقسیم شوند: متمرکز بر داده (سطح)، سلسله مراتبی، و جغرافیایی (مبتنی بر مکان). آن ها به شرح زیر توصیف شده اند:

**پروتکل های متمرکز بر داده ها:** پروتکل های مسیریابی متمرکز بر داده چند پرشی اساساً اولین رده ای هستند

که در WSN ها معرفی شده اند. با در نظر گرفتن تعداد یادی از گره ها در شبکه های حسگر، الگوریتم های سطح

مکانیسم های مبتنی بر query را به کار می بندند که در آن ها گره چاه برای جلوگیری از مخابره مداوم داده ها و از

این رو حفظ توان تنها اده های مطلوب را درخواست می کند. در این گروه، مسیریابی آگاه از انرژی (EAR)،

مسیریابی شلیع و الگوریتم انتقال هزینه مینیمم (MCFA) برخی از مشهورترین طرح های الگوریتم صاف هستند.

**پروتکل های سلسله مراتبی:** این رده متفاوت از رده سطح هستند و از شمای کلاستر بندی بهره می برند، گره ها

نقش ها یا وظایف متمایزی دارند. در حقیقت، حفظ انرژی می تواند در این پروتکل ها با جمع آوری و کاهش داده ها

در رأس های کلاستر (CH ها) حاصل شود. در این رده، انتشار داده دو رده ای (TTDD)، سلسله مراتب کلاستربندی تطبیقی انرژی پایین (LEACH)، پروتکل شبکه حسگر کارای انرژی حساس به آستانه (TEEN)، پروتکل شبکه حسگر کارای انرژی حساس به آستانه دوره ای تطبیقی (APTEEN) و جمع آوری کارایی انرژی در سیستم های اطلاعاتی حسگر (PEGASIS) برخی از پروتکل های الهام گرفته هستند.

**پروتکل های مبتنی بر مکان:** احتمال اعمال اطلاعات موقعیت در شماهای مسیریابی در الگوریتم های مبتنی بر مکان برای مسیریابی داده ها در جهت نواحی مطلوب در حوزه حسگر استفاده خواهد شد. این کار می تواند با محدود کردن سیلان از طریق شبکه باعث حفظ انرژی شود. GPSR، GAF و GEAR در این رده قرار می گیرند.

#### 4- مکانیسم های بهبود طول عمر در مسیریابی

در زیر بخش های بعدی، رده های اصلی مکانیسم های آگاه از انرژی بکار رفته برای پروتکل های مسیریابی در WSN ها به تفصیل مورد بحث قرار خواهند گرفت. شکل 2 رده بندی روش های پوشش یافته در این مقاله را نشان می دهد.

در این شکل اعداد نشان دهنده مراجع متناظر هستند. اما برخی پروتکل ها در بیش از یک رده قرار می گیرند. مکانیسم های بهبود طول عمر در پروتکل های مسیریابی برای WSN ها اساساً به دو رده عمده تقسیم شده اند: شماهای همزمان و شماهای لایه گذر. از شماهای همزمان معمولاً با عنوان مکانیسم هایی یاد می شود که می توانند با الگوریتم های مسیریابی تلفیق شوند تا به هدف خاصی نظیر کارایی انرژی دست یابند. در WSN ها، این مکانیسم ها بر مبنای عملیات پروتکل رده بندی شده اند. اما شماهای لایه گذر لایه های مختلف را به صورت همزمان بررسی می کنند تا کارایی انرژی پروتکل را بالاتر ببرند. در زیر در مورد رده های مختلف تحت این دو رده صحبت می کنیم.

#### 4-1 مکانیسم های چند گره چاه

همان طور که قبلاً اشاره کردیم، تقسیم بندی شبکه ای که بواسطه تخلیه انرژی در اطراف گره چاه ایجاد شده است (مسأله مجاورت گره چاه) یکی از موضوعات اصلی است که روی طول عمر شبکه تأثیر می گذارد. بنابراین تکنیک های متعددی در کارهای قبلی استفاده شده اند تا بر این مشکل غلبه کنند. یک روش ممکن به کار بردن چندین گره



چاه در کل شبکه است. محققانی که روی مکانیسم های چند گره چاه کار می کنند معتقدند که با افزایش تعداد گره های چاه ایستا می توانند بار ترافیک را در کل شبکه توزیع نموده و متعاقباً مصرف انرژی را در اطراف گره چاه تعدیل نمایند. یافتن یک مکان بهینه برای گره های چاه و جستجو به دنبال مسیرهای کم هزینه از هر گره منبع به یک یا چند گره چاه نگرانی های اصلی در این حوزه تحقیق هستند.

انتشار جهت دار چند گره چاه (MSDD) که در (5) پیشنهاد شده است نوعی از مشی چند گره چاه است که ایده اصلی پروتکل مسیریابی انتشار (DD) را برای ساختن مسیریابی از هر گره منبع به نزدیک ترین گره چاه به کار می گیرد. طول عمر شبکه می تواند در این پروتکل با سوئیچ کردن روند داده ها در نزدیک ترین گره چاه بعدی افزایش یابد و این زمانی است که سطح توان گره های رله روی مسیر اصلی زیر آستانه معینی قرار می گیرند. درست مانند الگوریتم DD، گره های چاه پیام های سود را از طریق شبکه منتشر می کنند تا منابعی را بیابند که حاوی داده های سود است.

پروتکل مسیریابی مبتنی بر گرادیان برای تعدیل بار (GLOBAL) پروتکل چند گره چاهی دیگری است که طول عمر شبکه را با کمک مدل گرادیان جدید به حداکثر می رساند. این الگوریتم مسیر با حداقل بارگیری را برای ارسال داده ها استفاده می کند که آن نیز گره های حسگری که بار بیش از اندازه روی آن ها قرار گرفته را مستثنی می کند. با اعمال این روش طول عمر شبکه بواسطه طول مر کوتاه چنین گره های بیش از حد بار گیری شده ای محدود نشده است. هر گره حسگر در این پروتکل نرخ تخلیه انرژی باقیمانده آن (REDR) را محاسبه می کند که بعدها در فاز ساخت حوزه گرادیات استفاده خواهد شد.

$$REDR_i = \alpha \times REDR_{old} + (1 - \alpha) \times REDR_{sample}$$

$$REDR_{sample} = (1 - \frac{Current\ Residual\ Energy}{Current\ Residual\ Energy - T})/T$$

$$G_i = \beta \times sum - redr_L + (1 - \beta) \times max - redr_L$$

نویسندگان الگوریتم چند گره چاه و مسیریابی تعادل بار (MSLBR) روشی برای طولانی کردن طول عمر شبکه از طریق توزیع بارها در میان همسایه های گره چاه پیشنهاد داده اند که قائم مقام ها نامیده شده اند. به این روش بسته های داده ای منفرد ایجاد شده توسط هر گره منبع می تواند نماینده های متفاوت را به صورت تصادفی به عنوان مقصد خود انتخاب کند و مسیرهای مختلف را برای رسیدن ه آن ها بپیماید. به علاوه، گره منبع از عامل ارسال مبتنی بر تقسیم انرژی باقیمانده همسایه های آن بر کوتاه ترین پرش های آن ها به سمت مقصد استفاده می کند. خارج قسمت این تقسیم برتی یافتن پرش بعدی در عرض یک فاز مسیریابی استفاده شده است.

$$\text{Beacon} = \{N_i, E_i, D_j, H_{i,j}\}$$

#### 4-2- مکانیسم گره چاه متحرک

اخیراً راه حل دیگری برای تقسیم بندی شبکه که باعث تخلیه انرژی در اطراف گره چاه شده با اعمال یک استراتژی گره چاه متحرک کارآمد در پروتکل های مسیریابی چند پرشی ارائه شده است. چون همسایه های گره های چاه باید داده های حس شده شان را همراه با بسته های داده ای از گره هایی ارسال کنند که خیلی دور از آن ها قرار گرفته اند، انرژی خود را سریع تر از دیگر بخش های شبکه از دست می دهند. به جای جایگزین کردن این گره ها، ایده اصلی حفظ ایستایی حسگرها در حین حرکت دادن دوره ای گره چاه به بخش هایی از شبکه با انرژی کافی است. چون همسایه های گره چاه دائماً با گذشت زمان تغییر می کنند، مصرف انرژی و بار ترافیک می تواند در کل شبکه تعدیل گردد. از طرف دیگر، به کار گرفتن تنها یک گره چاه متحرک می تواند از قطع ارتباط میان گره های حسگر و گره چاه جلوگیری کند که بواسطه مسأله مجاورت گره چاه ایجاد شده است. آن مورد متعاقباً باعث افزایش طول عمر شبکه می شود.

سه نوع ابتدایی از الگوهای تحرک گره چاه تحرک تصادفی / تحرک بی قاعده، تحرک کنترل شده و تحرک مسیر ثابت / قابل پیش بینی هستند. در تحرک بی قاعده، یک مسیر تصادفی بواسطه گره چاه در شبکه دنبال شده است. ضمناً جمع آوری داده ها از گره های حسگر بر مبنای استراتژی هل دادن پیاده سازی خواهد شد که در آن گره چاه یا داده ها را از یک گره مجاور درخواست می کند یا از  $k$  گره مجاور. طبق الگوی تحرک کنترل شده، گره چاه می

توند در کل شبکه به طور خودکار حرکت کند و موقعیت خود را بر مبنای عوامل انرژی در حوزه حسگری تغییر دهد. در روش تحرک قابل پیش بینی، از طرف دیگر، گره چاه در مسیر ثابتی حرکت خواهد کرد.

### 1-2-4- تحرک تصادفی / بی قاعده گره چاه

Chatzigiannakis و همکاران الگوهای تصادفی شده را برای تحرک گره چاه همراه با دو مکانیسم جمع آوری داده ها ارائه کردند. آن ها نشان دادند که روش های تصادفی شده می توانند باعث افزایش طول عمر شبکه، با هزینه افراد رکود داده ها شوند.

(2) عبور تصادفی جزئی با انتشار داده ای چند پرشی محدود: شبکه در این روش مربعی با ابعاد  $D \times D$  است و  $R$  نرخ ثابت طیف انتقال گره هاست.

در مقایسه با روش اول، فاصله طی شده بواسطه گره چاه به طرز کارایی کاهش یافته است و گره های حسگر خیلی سریع تر با هزینه سر بار محاسباتی و تعامل پوشش یافته اند (3) حرکت تصادفی متمایل به یک جهت با مجموعه داده های منفعل: در مکانیسم تصادفی پیشقردار، گره چاه برخی اطلاعات در رابطه با نواحی را جمع آوری می کند که ملاقات شده بودند و سپس تصمیم به تغییر موقعیت آن بر مبنای این اطلاعات می گیرد.

$$p_v = \alpha \times p(f)_v + \beta \times p(d)_v$$

### 2-2-4- مسیر ثابت / تحرک گره چاه قابل پیش بینی

Jean و Hubaux پروتکلی بر مبنای تحرک گره چاه / مسیر ثابت و مسیریابی مشترک برای توسعه و افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد دادند. آن ها تشخیص دادند که ماکسیمم طول عمر شبکه حسگر بی سیم تنها در صورتی می تواند حاصل شود که مسیر گره چاه پیراون حوزه حسگر را پوشش دهد. الگوریتم از دو الگو برای حرکت گره چاه در حین توزیع گره های حسگر در شبکه دایره شکل استفاده می کند.

### 3-2-4- تحرک گره چاه کنترل شده

تحرک کنترل شده گره چاه روش دیگری برای افزایش طول عمر است که از بازخوردهای شبکه ای حاصل شده است. به عنوان مثال کانسیسم پیشنهادی توسط Basagni و همکاران چندین گره چاه متحرک را به صورت همزمان

با استفاده از مشی اکتشافی توزیع شده به کار رفته در WSN ها کنترل می کند. در تنظیمات شبکه، کل حوزه به چندین مکان تقسیم خواهد شد. پس از آن، هر گره چاه فاز آموزش را با در هم ریختن بسته درخواستی شروع می کند که در آن از تمام گره های حسگر در آن مکان می خواهد تا بسته آزمایشی را برگردانند.

گره چاه متحرک مبتنی بر پروتکل مسیریابی (MSRP) که توسط Nazir و Hasbullah پیشنهاد شده است یک پروتکل سلسله مراتبی کارای انرژی است که طول مر شبکه را با به کارگیری مکانیسم تحرک گره چاه کنترل شده افزایش می دهد. در این الگوریتم، داده های حس شده از رأس کلاسترها (CH ها) توسط یک گره چاه متحرک منفرد جمع آوری خواهند شد که در مجاورت CH ها حرکت می کند. بر مبنای این طلاعات گره چاه متحرک به سمت CH هایی حرکت می کند که سطوح انرژی بالاتری دارند. تکنیک ارسال داده ها به گره بعدی که در MSRP برای ارسال بسته ها به سمت گره چاه متحرک استفاده شده به شرح زیر عمل می کند.

### 3-4- مکانیسم چند مسیری

بسته به روش های استفاده شده برای یافتن مسیر، پروتکل های مسیریابی در WSN ها می توانند به سه گروه به شرح ذیل رده بندی شوند: کنش گرا، واکنشی، و پیوندی. طبق روش واکنشی، مسیر باید تنها زمانی ساخته شود که یک گره تصمیم به ارسال داده ها به یک مقصد داشته باشد، این برخلاف تکنیک کنش گرا است که در آن تمامی گره ها باید پیام های مسیر را به صورت دوره ای برای ثابت نگه داشتن جدول مسیر در کل شبکه تبادل نمایند. بنابراین تنها مسیر فعالی که در آن یک لینک شکست می خورد، باید به روز رسانی شود. پروتکل مسیریابی پیوندی پروتکل مسیریابی پیوندی تلفیقی از این دو مکانیسم است. محبوب ترین پروتکل های مسیریابی چند مسیره در شبکه های حسگر بی سیم و شبکه های ad hoc مبتنی بر شمای مسیریابی مسیر منفرد نیازنظیر بردار فاصله تقاضای ad hoc (AODV) و مسیریابی منبع پویا (DSR) هستند.

دو تکنیک برای ساختن چندین مسیر در WSN ها وجود دارد. در روش های چند مسیره مشترک تمامی مسیره ها از یکدیگر به گونه ای جدا شده اند که هیچ لینک / گروه ای در مکانیسم های ارتباط منفصل و گره منفصل (مجزا) وجود ندارد. به این روش، نقصان در یک مسیر نمی تواند روی مسیره های جایگزین تأثیر بگذارد. در مقابل با شمای

لینک منفصل، پروتکل های چند مسیره گره مجزا از تسهیم هر گونه گره ای میان چندین مسیر اجتناب می کنند. این بدین معناست که این نوع الگوریتم ها سعی می کنند داده ها را روی چندین مسیر مستقل به طور همزمان بدون هیچ گونه تراکمی روی یک گره خاص در کل مسیرها مخابره نمایند. روش دیگر چند مسیره جهش یافته است که در آن بخشی از مسیرها مجزاست یا اصلاً مجزا نیست.

#### 1-3-4- چند مسیره جهش یافته / شبکه ای شده

یکی از پروتکل هایی که از اطلاعات موقعیت گره ها برای جهش یافته کردن مسیریابی چند مسره و مبتنی بر مکان استفاده می کند الگوریتم مسیریابی چند مسیره شبکه ای (M-MPR) با دو حالت عملیاتی است. مورد اول M-MPR با ارسال انتخابی (M-MPR-SF) است و دیگری M-MPR با تکثیر بسته است (M-MPR-PR). پروتکل M-MPR بر مبنای جستجوی چند مسیره و فازهای مسیریابی چند مسره طراحی شده است.

#### 2-3-4- چند مسیره منفصل

چند مسیره ارتباط منفصل

به عنوان مثال چند مسیره آگاه از انرژی تدبیر حریصانه تطبیقی (AGEM) نوعی از میریابی جغرافیایی چند مسیره ارتباط منفصل است که از مکانیسم تدبیر تطبیقی برای انتخاب بهترین هماسه در فاز ارسال به جلو استفاده می کند. هدف اصلی این الگوریتم به حداکثر رساندن طول عمر شبکه و رسیدن به کیفیت بهتر خدمات برای مخابره صوتی و تصویری در شبکه های حسگر بی سیم با چگالی بالاست.

$$f(N_i) = N_i \text{Energy} - E_{TX}(N_i \text{Distance}) - E_{RX}$$

چند مسیره گره منفصل

پروتکل مسیریابی چند مسیره حسگر ریز (MSMRP) الگوریتم آگاه از انرژی و چند مسیره است که می تواند طول عمر شبکه را با توزیع بار ترافیک بر روی کل حوزه بسط دهد. می تواند نواحی غیر قابل دسترس را در زمان ساخت مسیر منتقل کند. این نواحی بواسطه عدم دسترس پذیری گره بواسطه تخلیه انرژی، پوشش غیر یکپارچه، اختلال، یا تراکم بیش از حد بوجود آمده اند.

مسیریابی شایع چند مسیره با توازن انرژی (EBMRP) مشی کارای انرژی دیگری است که از شیوه احتمالی برای یافتن چندین مسیر میان گره منبع و گره چاه استفاده می کند. برای طولانی کردن طول عمر شبکه، آن از مسیرهای موجود جایگزین برای توزیع مصرف انرژی در کل شبکه استفاده می کند. در مقابل با مسیریابی شایع اصلی EBMRP انرژی باقیمانده و سطح مصرف توان را در گره های همسایه در نظر می گیرد.

$$p(j) = \left\{ \left( \frac{E_j}{\sum_{k=1}^l E_k} \right) * \frac{\sum_{k=1}^l E_{k\_toSink}}{E_{j\_toSink}} \right.$$

نویسندگان الگوریتم مسیریابی چند مسیره قوی و کارای انرژی (REER) روشی برای انتخاب بهترین پرش بعدی در عرض فاز ساخت مسیرهها بر مبنای انرژی باقیمانده پیشنهاد داده اند، یعنی نسبت سیگنال به نویز (SNR) و انازه بافر موجود گره. هدف اصلی این پروتکل به حداکثر رساندن طول عمر شبکه با توزیع ترافیک در چندین مسیر غیر منفصل است.

#### 4-4- مکانیسم کنترل توان

چون گره های حسگر دارای توان محدود هستند و مخاره داده ها باعث مصرف مقدار قابل توجهی از انرژی می شود، مکانیسم های کنترل توان می توانند شمای کارای انرژی را با کیفیت لینک بالا برای شبکه های حسگر بی سیم ارائه نمایند. گرچه توانایی تغییر توان مخابره در دستان لایه فیزیکی است، آن یک ابزار کلیدی در تلفیق با پروتکل های لایه بالایی نظیر MAC و الگوریتم های مسیریابی برای طول کردن طول عمر حسگرها است.

کنترل توان مخابره تطبیقی (ATPC) الگوریتم کارای انرژی دیگری است که برای اعمال در چندین شمای مسیریابی استفاده شده است. در این پروتکل مدلی برای تمامی همسایه ها بواسطه هر گره ای که همبستگی میان کیفیت لینک و مخابره توان را تعریف می کند ساخته شده است. برای حفظ کیفیت لینک با گذشت زمان به صورت پویا، مدل پیشنهادی شمای کنترل توان مخابره مبتنی بر بازخورد را به کار می برد.

گرچه ATPC می تواند سطح توان مخابره درست را به طور دقیق پیش بینی کند و با گذشت زمان به کیفیت لینک قابل قبولی می رسد، از سربار فاز تخصیص ابتدایی رنج می برد. یکی از دیگر معایب ATPC این است که عملکرد الگوریتم می تواند با تناقض مداخلات و مخابره تأثیر منفی داشته باشد.

Kim و همکارانش مفهوم مشابهی را نظیر الگوریتم قبلی دنبال کردند اما سعی داشتند فاز ابتدایی را حذف کنند تا بتوانند سربار را کاهش دهند. این الگوریتم جدید که می توان آن را در پروتکل های مسیریابی انتشار پویا به کار برد، کنترل توان مخابره در زمان تقاضا (PDTPC) نامیده شده است. این پروتکل دو مرحله به شرح زیر دارد: در مرحله اول، گره ای که باید داده ها را ارسال کند در جدول همسایگان خودش جستجو می کند تا بهترین سطح توان مخابره را بیابد. بسته داده ای باید با ماکسیمم سطح توان مخابره ارسال شوند و این در صورت است که هیچ سطح توان مخابره بهینه ای برای گیرنده وجود نداشته باشد. بنابراین حاشیه تعامل موفق که به RSSI ارزیابی شده دست سیافته است به فرستنده توسط یک بسته ACK با سطح توان مخابره تقریبی برگشته است.

$$RSSI_{THRE}(dB) = 10\log \left[ -1.28\ln \left( 2 \left( 1 - 0.99\frac{1}{8f} \right) \right) \right] + P_N(dB)$$

نویسندگان پروتکل کارای انرژی و آگاه از تصادم (EECA) نیز از مکانیسم کنترل توان برای حفظ انرژی بیشتر در پیشنهادیه خود استفاده کردند. آن ها از روش چند مسیره گره منفصل میان منبع و مقصد با کمک اطلاعات موقعیت گره ها بهره بردند. برای جلوگیری از تداخل بین دو مسیر، مینیمم فاصله میان آن ها باید به میزانی بیش از R تعیین شود که طیف مخابره رادیویی ماکسیمم برای هر گره است.

#### 4-5- مکانیسم های الهام گرفته از زندگی

در سال های اخیر تعاملات و مدل های محاسباتی جدیدی از سیستم های حسگری حشرات نشئت گرفته و منجر به پیشرفت قابل توجهی نظیر مسیریابی الهام گرفته از طبیعت شده اند. در بهینه سازی کلونی مورچه (ACO) یک کلونی از مورچه های مصنوعی یکی از زیستی ترین شیوه ها برای ایجاد راه حل هایی است که بواسطه اطلاعات حاصل شده از مسیرهای رخداد و آزمایش و خطا هدایت شده اند. علیرغم نداشتن هوش یا قدرت زیاد، مورچه ها می

توانند با موفقیت کلونی های خود را ایجاد کنند که از جامعه ای بسیار سازمان یافته تشکیل شده است. برخی پروتکل های مبتنی بر مکانیسم ACO به شرح زیر است:

بهینه سازی گروه ماهی مصنوعی (AFSO) یک الگوریتم زیستی است که مشارکت حیوان را کپی می کند و انگیزه اصلی برای ارائه پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی جدید برای WSN هاست. بر مبنای رفتار ماهی، این مکانیسم برای حل مسأله با درجه سختی NP برای یافتن k کلاستر بهینه از میان شبکه در نظر گرفته شده است.

الگوریتم مسیریابی مبتنی بر مورچه کارای انرژی (EEABR) شمای تعامل جدیدی برای WSN هاست که مبتنی بر روش خود اکتشافی بهینه سازی کلونی مورچه (ACO) است. یک کلونی از مورچه های مصنوعی که از طریق WSN صفر می کند در EEABR استفاده شده به گونه ای که آن ها بتوانند به دنبال مسیرهای موجود میان گره های حسگر و گره چاه بگردند. برای افزایش طول عمر WSN، این مسیرها باید در آن واحد کارای انرژی بوده و طول کوتاه داشته باشند. پرش بعدی برای هر مورچه با احتمال انتخاب خواهد شد که تابعی از عامل زیر است: مقدار دنباله فرومون ارائه شده روی ارتباطات میان گره ها و انرژی گره. یک مورچه از طریق مسیر ایجاد شده زمانی به عقب بر می گردد که به گره مقصد می رسد. در همان حین، دنباله فرومون را با مقداری به روز رسانی می کند که مبتنی بر تعداد گره ها مسیر و کیفیت انرژی است. پروتکل EEABR می تواند درخت مسیریابی بهینه سازی انرژی را پس از چند تکرار مجدد بسازد.

الگوریتم کارای انرژی دیگری که مبتنی بر بهینه سازی کلونی مورچه است توسط نویسندگان (49) ارائه شده است. طبق این پروتکل، اطلاعات در ابتدا به گره های مجاور متفاوتی توسط منبع در قابل بسته های منفرد ارسال شده اند. این فرایند توسط هر گره تا زمانی ادامه می یابد که چندین مسیر در نهایت ایجاد شوند. از این رو یک سری اطلاعات در مورد مسیرهای بهینه توسط گره چاه دریافت خواهد شد. برخی از مورچه های شبیه سازی شده به عنوان عواملی برای بدست آوردن مسیریابی کارآمد استفاده شده اند در همین حال که این عملیات انجام شده اند.

پروتکل مسیریابی تطبیقی بهبود یافته چند به یک برای WSN ها بر مبنای بهینه سازی کلونی مورچه و هوش گروهی الگوریتم مبتنی بر مورچه دیگری برای کم کردن تصادم ها با کمک یک الگوریتم کنترل تراکم سبک وزن



است. برای یافتن کوتاه ترین و بهترین مسیر به شیوه چند پرشی در یک WSN، این الگوریتم از دو استراتژی استفاده می کند. در این جا هر گره موقعیت خود و موقعیت مقصد خودش را می داند. هر یک از مورچه های جلویی از الگوریتم مسیریابی مورچه برای یافتن بهترین گره مجاور پرش بعدی استفاده می کنند. با استفاده از تئوری احتمالی، گره واجد شرایط باید به منبع نزدیک تر باشد و بنابراین نزدیک ترین گره به گره چاه باشد. الگوریتم بازخورد نمایی باینری توسط گره های بعدی برای محاسبه زمان دسترسی کانال شان استفاده شده است. کوتاه ترین مسیرها می توانند ادغام یابند یا از هر گره واسطی طبق طبیعت همگرای شمای مسیریابی چند به یک عبور کنند.

الگوریتم مسیریابی جغرافیایی آگاه از باطری آنلاین (OBGR) که در (54) ارائه شده استروکتل مسیریابی مبتنی بر مکان دیگری است که انرژی باقیمانده گره ها را در حینی به حداکثر می رساند که متضمن برخی مقیاس های QoS نظیر تأخیر سر به سر و قابلیت اطمینان شبکه می شود. با مخاسبه ظرفیت باطری باقیمانده و با استفاده از این اطلاعات در تصمیمات ارسال داده ها می توان طول عمر شبکه را بسط داد. در حقیقت یک گره با ظرفیت باطری پایین می تواند خودش را خامو کرده و فرایندهای مسیریابی و حسگری خود را متوقف کند. در این حالت، آن از شمای بهبود باطری استفاده می کند که در آن باطری می تواند سطح توانش را در حالات بیکار بهبود دهد. در الگوریتم پیشنهادی نویسندگان از مکانیسم بهینه سازی کلونی مورچه (ACO) استفاده کرده اند. آن ها سه عامل مرتبط با تصمیم مسیریابی را به شرح زیر ذکر کرده اند: سطح توان هر گره، فاصله میان گره و گره چاه، و مقدار فرومون لینک از منبع به مقصد که در معادله (10) ارائه شده است که در آن  $\tau_{i-j}$  مقدار فرومون مسیر فرعی میان گره های  $i$  و  $j$  است. آن نشان دهنده قدرت لینک است.  $N_{i-j}$  تعداد دفعاتی است که الگوریتم از لینک میان گره های  $i$  و  $j$  استفاده می کند. آن در ابتدا برای تمامی لینک ها مساوی 1 است و هر گاه لینک مورد استفاده قرار گیرد، یکی یکی افزایش می یابد.

$$\tau_{i-j} = \frac{N_{i-j}}{\sum_{k \in \text{Neighborhood}(i)} N_{i-k}}$$

در حقیقت قانون تصمیم در الگوریتم های ACO احتمال آن است که هر گره مجاور  $i$  گره منبع  $S$  به عنوان پرش بعدی انتخاب خواهد شد. اگر  $j$  گره منتخب باشد، بنابراین  $P_j$  که این احتمال را نشان می دهد با معادله زیر داده شده است:

$$P_j = \frac{d_{s-j}^{w1} \times c_j^{w2} \times \tau_{s-j}^{w3}}{\sum_{i \in \text{Neighborhood}(s)} d_{s-i}^{w1} \times c_i^{w2} \times \tau_{s-i}^{w3}}$$

بر مبنای معادله (11) فاصله اقلیدسی میان گره های  $S$  و  $j$  با  $d_{s-j}$  نشان داده شده است.  $c_j$  ظرفیت باطری گره  $j$  است که زمانی که باطری خالی شده است مساوی با صفر است. به علاوه اطلاعات در مورد سطح توان گره ها و همسایه های اولویت دار در هنگام نیاز بواسطه درخواست برای ارسال (RTS) و حذف ارسال پیام ها (CTS) تبادل یافته اند. در مقایسه با GPSR، پروتکل OBGR می تواند به طرز قابل توجهی طول عمر شبکه را با عایدی 50 درصدی افزایش دهد. فلسفه پشت این بهبود آن است که OBGR مصرف وان گره ها را با بهره برداری از یک مدل باطری آنلاین برنامه ریزی می کند و زمان بهبود آن ها را برای طولانی کردن عمرشان تخصیص می دهد. به هر حال، این پروتکل دو عیب دارد: ابتدا، RTS، CTS و RTR پیام های تحمیل شده از برخی سربارها را کنترل می کنن. ثانیاً در مقایسه با GPSR، پیچیدگی مجموع الگوریتم اندکی بالاست.

## 5- مقایسه پروتکل TarjomeFa.Com

هدف معمول تمام مکانیسم های بررسی شده در این فصل طولانی کردن عمر شبکه است. در تمام روش ها فرض بر این گذاشته شده که گره های چاه منابع انرژی نا محدودی دارند در حالی که گره های حسگر انرژی محدودی دارند. استراتژی های چند گره چاه و گره چاه متحرک، چند مسرع، شماهای کنترل توان و مکانیسم های ملهم از طبیعت نمونه ایی از روش هایی هستند که می توان آن ها را در الگوریتم های مسیریابی برای افزایش طول عمر شبکه به کار برد. مکانیسم های چند گره چاه و گره چاه متحرک همان طور که در بخش های 1-4 و 2-4 بحث شد به ترتیب در جدول 1 بر مبنای شرایط زیر مقایسه شده اند:

چند گره چاه: همان طور که قبلاً اشاره کردیم، طول عمر شبکه می توانست با جلوگیری از تکه تکه شدن شبکه بهبود یابد که باعث تخلیه انرژی سریع در اطراف گره چاه می شد. افزایش تعداد گره های چاه یکی از روش ها برای توزیع بار ترافیک از طریق حوزه حسگر و توازن مصرف انرژی در اطراف گره های چاه است.

گره چاه متحرک: این راه حل دیگری برای مسأله مجاورت گره چاه است که باعث تکه تکه شدن شبکه در اطراف گره چاه شده است. یک گره چاه متحرک می تواند مجاوران خود را با انرژی باقیمانده کم با قرار دادن مجدد آن ها در بخش تاره ای از شبکه به صورت دوره ای جایگزین کند. برخی از پروتکل ها جدول 1 از این مکانیسم برای افزایش طول عمر شبکه استفاده می کنند.

چند مسیره: چون به کار بردن مسیر منفرد برای مخابره داده ها میان یک منبع و گره چاه می تواند به سرعت باعث کاهش سطح انرژی گره های حسگر روی مسیر شود و باعث تکه تکه شدن شبکه در کل مسیر می شود، استفاده از نتایج مکانیسم چند مسیره حاصل بار ترافیک و تعادل انرژی روی حوزه حسگر است. در MSDD و MSLBR به عنوان نمونه هر گره حسگر می تواند چندین مسیر رت ثر جهت چندین گره چاه برای افزایش قابلیت اطمینان و تحمل خطا تا حد ممکن پیاده سازی کند. شایان ذکر است که هیچ پروتکلی وجود ندارد که در جدول 1 لیست شده و از گره چاه متحرک و مکانیسم های چند مسیره به طور همزمان استفاده کند.

کنترل توان: طبق این مکانیسم هر گره حسگر سعی در محاسبه انرژی مورد نیاز برای ارسال یک بسته به پرش بعدی در پروتکل های مسیریابی چند پرشی دارد. به این روش، گره قادر به تعدیل تعدیل سطح توان مخابره بر مبنای فاصله تا پرش بعدی می باشد و از استفاده از ماکسیمم سطح توان اجتناب می کند. در نتیجه، طول عمر شبکه با حفظ انرژی هر گره روی مسیر بهبود خواهد یافت. تنها یک پروتکل در این جدول می تواند شمای کنترل توان را به کار بگیرد.

تحرک حسگر: همان طور که قبلاً اشاره کردیم، توانایی تغییر موقعیت گره های حسگر به حفظ اتصال شبکه با اجتناب از تکه تکه کردن آن و مسائل مجاورت گره چاه کمک می کند. در جدول 1 هیچ یک از پروتکل ها از این روش استفاده نمی کنند.

الگوی تحرک گره چاه: سه روش وجود دارند که توسط گره چاه برای شناسایی موقعیت بعدی در عرض جابجایی استفاده شده است. در الگوی تحرک بی قاعده مسیر تصادفی به واسطه گره چاه دنبال شده است در حالی که مسیر در استراتژی ثابت از پیش تعریف شده است. در الگوی تحرک کنترل شده، گره چاه قادر به تعریف موقعیت قبلی به طور خود کار بر مبنای تغییرات عوامل انرژی در حوزه حسگری خواهد بود. الگوریتم پیشنهادی در (11) از روش تحرک گره چاه ثابت برای اولین دور استفاده می کند. اما به تحرک گره چاه کنترل شده در دورهای بعدی سوئیچ می کند.

آگاهی از مکان: اطلاعات مکان ابزار قدرتمندی برای یافتن بهترین پرش بعدی در مکانیسم های مسیریابی هستند. علاوه بر این می توان از آن برای تعیین مکان بعدی گره های متحرک در شبکه استفاده کرد. این اطلاعات می توانند مستقیماً از GPS کسب شوند یا با دیگر روش های محلی سازی محاسبه شوند. هیچ یکی از روش های چند گره چاهی در جدول 1 آگاه از مکان نیستند. گرچه گره چاه در تمام مکانیسم های گره چاه متحرک موقعیت خودش را می داند، تنها یک الگوریتم وجود دارد که در آن تمامی گره ها آگاه از مکان هستند.

تعداد گره های چاه: طول عمر شبکه می تواند با افزایش تعداد گره های چاه تا نقطه خاصی بهبود یابد. وقتی تعداد گره های چاه از آن میزان بیشتر می شود، طول عمر شبکه ثابت می ماند. دلیل پشت این رخداد آن است که هر گره چاه حداکثر یک پرش از گره حسگر دور می شود.

ساختار شبکه: الگوریتم های مسیریابی در WSN ها معمولاً به سه رده به شرح زیر تقسیم بندی شده اند: مسطح (متمرکز بر داده ها، سلسله مراتبی و جغرافیایی) (مبتنی بر مکان). اغلب پروتکل های موجود در جدول 1 مبتنی بر سطح هستند و تنها یک پروتکل (11) از ساختار سلسله مراتبی همراه با مکانیسم گره چاه متحرک برای طولانی کردن مر شبکه استفاده می کند.

جمه آوری داده ها: این تکنیک می تواند باعث بهبود طول عمر شبکه با کاهش تعداد بسته های داده ای مخابره شده در شبکه شود. جمع آوری داده ها اغلب در پروتکل های سلسله مراتبی ای به کار رفته که در آن رأس کلاسترها

برای جمع آوری داده ها از اعضای کلاستر قبل از این که شروع به ارسال آن ها به گره چاه بکنند، است، به جلو حرکت می کنند.

نوع کاربرد: این عامل نشان می دهد که چه نوع مکانیسمی برای ارسال داده ها به گره چاه به کار برده خواهد شد. در روش وابسته به زمان، داده ها دائماً توسط تمام یا گروه های خاصی از گره های حسگر به گره چاه ارسال شده اند که باعث تخلیه سریع انرژی در کل شبکه شده اند. در استراتژی مبتنی بر رخداد از طرف دیگر تنها داده هایی که در رابطه با یک رخداد خاص هستند می توانند به گره چاه ارسال شوند در حالی که در روش های مبتنی بر query، داده ها باید طبق درخواست گره چاه مخابره شوند. اغلب الگوریتم هایی که از تحرک گره چاه پشتیبانی می کنند برای کاربردهای مبتنی بر زمان استفاده شده اند.

سرعت گره چاه: در WSN های متحرک، سرعت گره چاه عامل مهمی است. یک گره چاه می تواند از یک محل به محل دیگر با استفاده از یک سرعت ثابت حرکت کند. برخی روش ها از مکانیسم حرکت / توقفی استفاده می کنند که در آن گره چاه به محل جدیدی حرکت می کند و در آن موقعیت به مدت زمان خاصی توقف می کند تا داده ها را از همسایه ها با k پرش جمع آوری نماید و سپس به مکان دیگری حرکت می کند. گاهی اوقات سرعت گره چاه بر مبنای تعداد نواحی اطراف اتخاذ شده که باید برای جمع آوری داده ها ملاقات گردند.

پروتکل های چند مسیره که در بخش 3-4 در مورد آن ها صحبت کردیم در جدول 2 مقایسه شده اند. این الگوریتم ها عمدتاً سعی در توزیع بار ترافیک از طریق شبکه دارند و باعث افزایش طول عمر شبکه با اجتناب از تکه تکه شدن شبکه می شوند. این پروتکل ها با یکدیگر مطابق با شرایط زیر مقایسه شده اند:

مکانیسم بهبود طول عمر: این حوزه نشان می دهد که چه نوع مکانیسمی برای بهبود طول عمر در هر پروتکل استفاده شده است. همان طور که در جدول 2 نشان داده شده است، تمامی پروتکل ها تنها از مکانیسم چند مسیره استفاده می کنند به جز MSMRP که همزمان شمای چند مسیره و کنترل توان را به کار می گیرد.

گره یا لینک منفصل: انفصال ویژگی مهمی برای پروتکل های چند مسیره است. پروتکل های گره یا لینک منفصل سعی در جلوگیری از تداخل میان چندین مسیر و جلوگیری از مخابره مجدد بسته دارند که باعث تصادم می شود.

آن الگوریتم هایی که در آن ها شمای گره منفصل استفاده شده از مجاورت اجتناب کرده اند از این رو دارای عملکرد بهتری نسبت به استراتژی های چند مسیره لینک منفصل هستند. پروتکل های جهش یافته نمی توانند متضمن انفصال های میان چندین مسیر شوند.

### تعداد مسیرها:

این عامل نشان دهنده نرخ توزیع ترافیک در کل شبکه است. هر گاه این مقیاس افزایش یابد، احتمال تکه تکه شدن شبکه کاهش خواهد یافت. تعداد مسیرها در برخی روش ها تخصیص یافته است، اما در دیگر روش ها، تعداد مسیرهای موازی تا حد ممکن افزایش یافته اند تا طول عمر شبکه بهبود یابد.

ساختار شبکه: الگوریتم های مسیریابی در WSN ها معمولاً به سه گره به شرح زیر تقسیم می شوند: مسطح (متمرکز بر داده ها)، سلسله مراتبی و جغرافیایی (مبتنی بر مکان). شبکه های مسطح یک استراتژی مبتنی بر query را برای کاهش مخابره داده های افزونه از طریق شبکه به کار می گیرند و مقدار عظیمی از انرژی را حفظ می کنند. در معماری سلسله مراتبی، گره ها با انرژی بالاتر به عنوان رأس کلاسترها انتخاب شده اند و داده ها را از دیگر گره ها جمع آوری می کنند. هم تکنیک اطلاعات موقعیت و هم تکنیک ارسال حریصانه توسط مسیریابی های جغرافیایی برای بنا نهادن یک یا چند مسیر کارای انرژی از گره های منبع به گره چاه استفاده شده اند.

نوع کاربرد: این عامل نشان می دهد که کدام نوع مکانیسم ها برای ارسال داده ها به گره چاه به کار برده می شوند. در روش وابسته به زمان، داده ها به طور مداوم توسط تمام یا گروه های خاصی از گره های حسگر ارسال شده اند که باعث تخلیه سریع انرژی از طریق شبکه یمی شود. در استراتژی وابسته به رخداد از طرف دیگر، تنها داده ها در مورد رخداد منفعت دار به گره چاه ارسال خواهد شد در حالی که در روش مبتنی بر query داده ها باید طبق درخواست گره چاه مخابره شوند.

QoS: پروتکل های مسیریابی که کیفیت شرایط خدمات (QoS) را در شبکه به کار می برند باید میان کیفیت داده ها و مصرف انرژی توازن برقرار کنند. بنابراین شبکه باید شرایط عوامل QoS را برطرف نماید نظیر انرژی، پهنای باند و تأخیر به هنگام ارسال داده ها به گره چاه.

اتصال شبکه: الگوریتم های پیشنهادی در (15، 41، 43) فرض را بر این می گذارند که گره های حسگر در شبکه باید توپولوژی قابل قبولی داشته باشند در حالی که در برخی دیگر این فرضیه در نظر گرفته نشده است. AGEM نمونه ای است که امکان استفاده از حسگرهای متحرک را برای مخابره بسته های داده ای میان نواحی غیر متصل شبکه می دهد.

تحرك: در یک شبکه حسگر ایستا، حسگرهایی که در همسایگی گره چاه قرار گرفته اند می توانند به دلیل مخابره تعداد زیادی از بسته های داده ای از گره هایی که از گره چاه دور هستند بپذیرند. تخلیه انرژی سریع در اطراف گره چاه باعث تکه تکه شدن شبکه و متعاباً رخداد جداسازی گره چاه می شود. از این رو تغییر موقعیت گره های مجاور با خود گره چاه انتخاب هوشمندانه ای برای حفظ ارتباط و افزایش طول عمر شبکه است.

آگاهی از مکان: اطلاعات آگاهی از مکان ابزار قدرتمندی برای یافتن بهترین پرش بعدی در مکانیسم های مسیریابی است یا می توان از آن برای تعیین مکان بعدی گره های متحرک در شبکه استفاده کرد. این اطلاعات را می توان مستقیماً از GPS بدست آورد یا با دیگر روش های محلی سازی محاسبه کرد.

به عنوان مثال در پروتکل AGEM هر گره اطلاعات مکان گره های همسایه خود را در فاز ساخت مسیر برای یافتن بهترین همسایه برای مکانیسم ارسال حریصانه کنترل می کند. طبق روش حریصانه، گره مجاور دارای پیشرفت ماکسیمم روی مسیر مجازی میان گره منبع و گره چاه بهترین کاندید است که باید در پرش بعدی انتخاب گردد.

مکانیسم های کنترل توان از بخش 4-4- در جدول 3 بر مبنای شرایط زیر مقایسه شده اند:

مکانیسم های بهبود طول عمر: این حوزه نشان می دهد که چه نوع مکانیسمی برای افزایش طول عمر در هر پروتکل استفاده شده است. تمامی الگوریتم ها در جدول 3 تنها از شمای کنترل توان استفاده می کنند، به جز EECA که از کنترل توان و مکانیسم های چند مسیره به طور همزمان برای افزایش طول عمر شبکه استفاده می کند.

تکنیک تعدیل توان: این حوزه نشان دهنده شیوه ای است که بواسطه آن دو گره مجاور با یکدیگر برای محاسبه سطح توان مخابره موردنیاز برای ارسال داده ها همکاری می کنند. در برخی الگوریتم ها، یک بسته پیکربندی برای تعیین سطح توان مخابره گره های درون شبکه استفاده شده است. دیگر پروتکل ها سعی در محاسبه برخی پارامترها

نظیر RSSI، LQI، و حوزه حاشیه دارند و آن‌ها را به بسته‌های داده‌ای یا پیام‌های ACK وصل می‌کنند و آن‌ها را به گره همسایه متناظر رله می‌کنند. با استفاده از این پارامترهای گره‌های حسگر قادر به تعیین سطح توان مخابره‌شان به طور کارآمد هستند.

آگاهی از مکان: مختصات گره‌ها می‌تواند یکی از پارامترهای مورد استفاده برای محاسبه فاصله میان دو گره و انرژی مورد نیاز برای مخابره داده‌ها از طریق آن لینک باشد. دو الگوریتم وجود دارند که در آن‌ها تمامی گره‌ها از موقعیت آگاهی دارند.

ساختار شبکه: در مورد این حوزه قبلاً بحث شده است (در جدول 1). به نظر می‌رسد که الگوریتم پیشنهادی در (17) بتواند در تمامی شبکه‌های چند پرشی حسگر به گره چاه به کار رود در حالی که دیگر روش‌های پروتکل‌های مسیریابی هموار یا جغرافیایی به کار گرفته شده‌اند.

مسیریابی پیشنهادی: برخی مکانیسم‌های تنها روی شمای کنترل توان تمرکز دارند، در حالی که دیگر مکانیسم‌ها کنترل توان مشترک و پروتکل‌های مسیریابی را ارائه می‌نمایند.

نوع کاربرد: الگوریتم پیشنهادی در (18) و (19) در کاربرد وابسته به زمان به کار گرفته شده‌اند. در حالی که دیگر موارد می‌توانند در روش‌های مسیریابی وابسته به رخداد استفاده شوند.

تحرک: هیچ‌یک از پروتکل‌های جدول 3 برای محیط‌های متحرک پیشنهاد نشده‌است.

مکانیسم‌های ملهم از طبیعت که در بخش 5-4 در مورد آن‌ها بحث شد در جدول 4 مقایسه شده‌اند. این الگوریتم‌ها عمدتاً سعی در افزایش طول عمر شبکه با یافتن مسیر بهینه دارند. این پروتکل‌ها با یکدیگر طبق شرایط زیر مقایسه شده‌اند:

ساختار شبکه: در مورد این حوزه قبلاً بحث شده است (در جدول 1). اولین پروتکل در (20) در جدول 4 سلسله‌مراتبی است در حالی که آخرین مورد (54) از ساختار مبتنی بر مکان همراه با مکانیسم ملهم از طبیعت برای افزایش طول عمر شبکه استفاده می‌کند.



مکانیسم بهبود طول عمر: این حوزه نشان می دهد که چه نوع مکانیسمی برای بهبود طول عمر شبکه در هر پروتکل استفاده شده است. همان طور که در جدول 4 نشان داده شده است تمامی پروتکل ها تنها از مکانیسم ملهم از طبیعت استفاده می کنند.

نوع کاربرد: در مورد این حوزه قبلاً بحث شده است (در جدول 1). اغلب الگوریتم ها (47، 49، 51) برای کاربردهای مبتنی بر رخداد استفاده شده اند و تنها (51) می تواند برای کاربردهای مبتنی بر زمان و رخداد به صورت همزمان استفاده شود.

روش های چند مسیره: روش های چند مسیره می توانند از تکه تکه شدن شبکه با توزیع بارهای ترافیک روی اغلب گره های حسگر از طریق چندین مسیر جلوگیری کنند. در این جدول تنها (49) از این روش استفاده می کند.

جمع آوری داده ها: این حوزه قبلاً مورد بحث قرار گرفته است. رأس کلاسترها (CH ها) در شبکه های سلسله مراتبی معمولاً جمع آوری داده ها را از طریق اعضای کلاستر به کار می گیرند. تحرک: هیچ یک از پروتکل ها در جدول 1 برای محیط های متحرک پیشنهاد نشده اند.

آگاهی از مکان: این حوزه قبلاً مورد بحث قرار گرفته است (در جدول 1). پروتکل های پیشنهادی در (20)، (51) و (54) آگاه از مکان هستند.

**TarjomeFa.Com**

**6- بحث و مسائل آزاد (باز)**

در این مقاله، انواع مختلفی از مکانیسم های کارای انرژی به کار رفته در پروتکل های مسیریابی خلاصه شده اند و به رده های مناسبی نظیر چند گره چاه، گره چاه متحرک، چند مسیره، ملهم از طبیعت و تکنیک های کنترل توان رده بندی شدند. این مکانیسم ها که طبق عملیات پروتکل رده بندی شده اند می توانند به صورت همزمان در شماهای مسیریابی برای رسیدن به کارایی انرژی بیشتر به کار گرفته شوند. اما برخی الگوریتم های مسیریابی می توانند از بیش از یک مکانیسم برای رده های مختلف استفاده کنند.

روندهای آینده در استراتژی های مسیریابی برای شبکه های حسگر بی سیم روی جهات مختلفی متمرکز شده اند که همگی باید هدف مشترکی را دنبال کنند که طولانی کردن عمر شبکه با اجتناب از رخداد تکه تکه شدن است.

حمایت از چندین گره چاه برای تعادل مصرف انرژی در کل شبکه و طولانی کردن عمر همسایه های گره چاه عنوان داغ این روزهاست. در اغلب موارد، محققان گره های چاه متحرک را برای جمع آوری داده ها از گره های منبع در تمام حوزه حسگری استفاده می کنند.

از رخداد تکه تکه شدن نیز می توان با به کار گرفتن تکنیک چند مسیره جلوگیری کرد. با استفاده از این روش، بار ترافیک می تواند روی بیش از یک مسیر توزیع یابد. بنابراین، گره ها روی مسیره ترافیک کمتری را تحمل می کند و مصرف انرژی کمتری تجربه می کنند. همان طور که قبلاً گفتیم، آزمایشات نشان می دهند که مخابره داده ها با ماکسیمم سطح توان باعث به هدر رفتن مقدار قابل توجهی از انرژی گره ها می شود. برای کنترل این مشکل، شما می توانید کنترل توان می تواند طرح کارای انرژی را ارائه کنند که در آن یک گره حسگر بسته های داده ای را به پرش بعدی با استفاده از سطح توان کافی (مینیمم) ارسال می کند. پروتکل های ملهم از طبیعت که هدف آن ها ذخیره انرژی گره از طریق ساخت کوتاه ترین مسیر میان گره منبع و گره های چاه است. به علاوه کنترل توان و مکانیسم های ملهم از طبیعت کیفیت لینک بالایی برای WSN ها ارائه می کنند.

گرچه محققان بسیاری روی استراتژی های مختلف در سال های قبل کار کرده اند، پتانسیل بالایی برای بهبود روش های فعلی در آینده وجود دارد. برخی از مهم ترین موضوعات تحقیقاتی باز به شرح زیر هستند:

تعداد زیادی از مشی های قبلی در راه پروتکل های مسیریابی تنها شامل یک شمای کارای انرژی در الگوریتم های مرتبط خود بودند. اما، تلفیقی از روش های مختلف می تواند در تحقیقات جدید به کار گرفته شود. به عنوان نمونه پیاده سازی چندین مسیر در جهت چندین گره چاه ایستا با کمک تکنیک ها ملهم از طبیعت برای بهینه سازی مسیر یک موضوع آزاد است. از طرف دیگر، استفاده از شمای کنترل توان همراه با مکانیسم چند مسیره به پروتکل در حفظ انرژی بیشتر کمک می کند. به نظر می رسد که با استفاده از شکل پیوندی چندین گره چاه و گره های چاه متحرک انتخاب هوشمندانه ای برای افزایش طول عمر بیشتر باشد. پروتکل دو گره چاهی، به عنوان مثال شمای بدیعی است که در آن یکی از گره های چاه متحرک است و بسته های داده ای را از یک یا چند پرش به گره های مجاور جمع آوری می کند در حالی که دیگری ایستا است و در مرکز حوزه قرار گرفته و داده ها را از گره های منبع

دور بدون هیچ گونه سربار محلی سازی دریافت می کند. به این روش الگوریتم می تواند از مزایای مشی های گره چاه ایستا و متحرک بهره ببرد. بنابراین چندین گره چاه متحرک موضوع آزادی برای روندهای آینده است. طرح های لایه گذر می توانند برای حفظ انرژی بیشتر به کار روند، از اینر رو طول عمر شبکه را افزایش می دهد. به این منظور، لایه های شبکه می توانند از مکانیسم کنترل توان در لایه فیزیکی برای محدودیت کردن توان مخابره ذ در زمان ارسال بسته ها استفاده کنند. این کار می تواند انرژی مصرف شده توسط منتشر کننده را اندک اندک کاهش دهد.

یکی از معایب روش های گره چاه متحرک این است که در عمل گره چاه متحرک مجاز به حرکت در خطوط مستقیم نیست؛ به عنوان نمونه، کران ها با موانع می توانند مانع مسیره های متحرک گره چاه شوند. راه حل این مشکل به عنوان روش های اجتناب از مانع شناخته شده اند. تحقیق بیشتری باید برای غلبه بر این مشکل انجام شود. تصویربرداری و حسگرهای ویدیویی در کاربردهای زمان واقعی مسائلی نظیر کیفیت سرویس (QoS) را تحمیل می کنند. در الگوریتم های QoS برخی از مقیاس ها نظیر تأخیر و پهنای باند باید در عرض عملکردهای شبکه تضمین شوند. برطرف کردن این سنجه ها، خصوصاً در سناریوهای گره چاه متحرک می توانند در تضاد با بدست آوردن کارایی انرژی بیشتری باشند. بهبود روش های تحرک گره چاه یا استفاده از روش های مسیریابی چند مسیره برای حفظ انرژی بسیار بیشتر لازم است.

اغلب روش های چند گره چاه از سربار کنترلی رنج می برند که بواسطه flooding تبلیغاتی گره های چاه در فاز ساخت حوزه گرادیان ایجاد شده اند. برطرف کردن اثرات منفی چنین سرباری روی کارایی انرژی موضوع تحقیقاتی بازی است.

مکانیسم های گره چاه متحرک بیشترین استفاده را برای کاربردهای وابسته به زمان دارند که در آن ها گره چاه در کل شبکه حرکت می کند و داده ها را از CH ها یا خود گره های منبع جمع آوری می کند. اما کاربردهای زیادی وجود دارند که طرح های وابسته به رخداد را برای ارسال داده ها به کار می گیرند. بنابراین استراتژی گره چاه متحرک باید برای جمع آوری داده ها در این نوع شبکه ها بهبود یابد.

نقص اصلی شماهای کنترل توان هزینه اجرایی است که به دلیل محاسبه پارامترهای RSSI/LQI اعمال می شود. بنابراین برطرف کردن سرباز ایجاد شده برای چنین محاسباتی می تواند مسأله ای باشد که برای روند آینده باز گذاشته شده است.

مکانیسم های کارای انرژی فعلی که برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد شده اند امنیت را در نظر نمی گیرند چون هدف نهایی آن ها برطرف کردن این موضوع نیست. به عنوان مثال در استراتژی چند گره چاه، احتمال این که یک گره آلوده نقش گره چاه را بازی کند و داده ها را جمع آوری کند بسیار بالاست. به این روش، آن می تواند به طور منفی هویت داده ها را دستکاری کند. از این رو موضوعات امنیتی در تمامی مکانیسم های ذکر شده باید بیشتر در نظر گرفته شوند.

در نهایت یک استراتژی مبتنی بر پروتکل های مسیریابی مشترک و شماهای کارای انرژی نظیر تحرک گره چاه میت واند بسیار کارآمد باشد، چون مسیریابی و این تکنیک ها تعامل نزدیکی با یکدیگر دارند.

## 7- نتایج

در شبکه های حسگر بی سیم، گره هایی که روی مسیر منفرد غیر بهینه قرار گرفته اند و بسته های داده ای را با ماکسیمم سطح توان مخابره می کنند می توانند به سرعت انرژی خود را تمام کنند. این باعث تکه تکه شدن شبکه در کل مسیر از طریق حوزه حسگری می شود. به علاوه، همسایه های گره چاه انرژی خود را بسیار سریع تر از گره هایی از دست می دهند که از گره چاه به دلیل این حقیقت دور شده اند که بارهای ترافیک سنگین تر را حمل میکنند. این باعث تکه تکه شدن شبکه در اطراف گره چاه و متعاباً باعث رخداد جداسازی گره چاه می شود. تمام این مشکلات می توانند طول عمر شبکه را به طرز قابل توجهی کاهش دهند. در سال های اخیر، روش های متعددی برای کنترل این مشکلات پیشنهاد شده اند. به هر حال نیاز به بحث و روشن کردن این روش ها و همچنین بررسی مزایای و ضعف آن ها وجود دارد. در این مقاله ما رده بندی جدیدی از مکانیسم های بنیادین ارائه کردیم که در پروتکل های مسیریابی برای افزایش طول عمر شبکه به کار می روند. شکل 2 این رده بندی را به تفصیل نشان می دهد. این مکانیسم ها به پنج گروه رده بندی شده اند: چند گره چاه، گره چاه متحرک، چند مسیره، کنترل توان و

شماهای ملهم از طبیعت. در میان این ها کنترل توان قطعاً یک تکنیک لایه گذر است که شامل مسیریابی و ویژگی های فیزیکی است در حالی که بقیه شماهای همزمانی هستند که در پروتکل های مسیریابی به کار رفته اند. ما در مورد تمامی مکانیسم های به تفصیل با تأکید بر روی مزایا و معایب آن ها و همچنین اهمیت آن ها صحبت کردیم. مقایسات جامعی از این متدلوژی ها در جدول 1-4 بر مبنای مشخصه های ذاتی شان ارائه شده اند. گرچه این مکانیسم های کارای انرژی به نظر امیدوار کننده می آیند، هنوز هم چالش های زیادی وجود دارند که باید برای بهبود طول عمر شبکه حل شوند. ما به آن چالش ها اشاره کردیم و آن ها را در این رابطه در روندهای تحقیقاتی بعدی برجسته کرده ایم.

#### References

1. Anastasi, G.; Conti, M.; Francesco, M.D.; Passarella, A. Energy conservation in wireless sensor networks: a Survey. *Ad Hoc Netw.* **2009**, *7*, 537–568.
2. Yang, Y.; Fonoage, M.I.; Cardei, M. Improving network lifetime with mobile wireless sensor networks. *Comput. Commun.* **2010**, *33*, 409–419.
3. Yick, J.; Mukherjee, B.; Ghosal, D. Wireless sensor network survey. *Comput. Netw.* **2008**, *52*, 2292–2330.
4. Basagni, S.; Carosi, A.; Melachrinoudis, E.; Petrioli, C.; Wang, Z.M. Controlled sink mobility for prolonging wireless sensor networks lifetime. *Wirel. Netw.* **2008**, *14*, 831–858.
5. Eghbali, A.N.; Javan, N.T.; Dareshoorzadeh, A.; Dehghan, M. An Energy Efficient Load-Balanced Multi-Sink Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 10th International Conference on Telecommunications (ConTEL '09)*, Zagreb, Croatia, 8–10 June 2009; pp. 229–234.
6. Yoo, H.; Shim, M.; Kim, D.; Kim, K.H. GLOBAL: A Gradient-Based Routing Protocol for Load-Balancing in Large-Scale Wireless Sensor Networks with Multiple Sinks. In *Proceedings of the 2010 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC '10)*, Riccione, Italy, 22–25 June 2010; pp. 556–562.
7. Wang, C.; Wu, W. A Load-balance Routing Algorithm for Multi-Sink Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN '09)*, Macau, China, 27–28 February 2009; pp. 380–384.
8. Chatzigiannakis, I.; Kinalis, A.; Nikolettseas, S. Sink Mobility Protocols for Data Collection in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the international Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac '06)*, Torremolinos, Spain, 2–6 October 2006; pp. 52–59.
9. Luo, J.; Hubaux, J.P. Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM '05)*, Miami, FL, USA, 13–17 March 2005; pp. 1735–1746.
10. Basagni, S.; Carosi, A.; Petrioli, C.; Phillips, C.A. Heuristics for Lifetime Maximization in Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Sinks. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '09)*, Dresden, Germany, 14–18 June 2009; pp. 1–6.



om

11. Nazir, B.; Hasbullah, H. Mobile Sink Based Routing Protocol (MSRP) for Prolonging Network Lifetime in Clustered Wireless Sensor Network. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE 2010)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 5–8 December 2010; pp. 624–629.
12. Xu, Y.; Heidemann, J.; Estrin, D. Geography-Informed Energy Conservation for Ad-Hoc Routing. In *Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '01)*, Rome, Italy, 16–21 July 2001; pp. 70–84.
13. Yu, Y.; Govindan, R.; Estrin, D. *Geographical and Energy Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks*; Technical Report UCLA/CSD-TR; Citeseer: University Park, PA, USA, 2001.
14. Medjiah, S.; Ahmed, T.; Krief, F. AGEM: Adaptive Greedy-Compass Energy-aware Multipath Routing Protocol for WMSNs. In *Proceedings of the 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC '10)*, Las Vegas, NV, USA, 9–12 January 2010; pp. 1–6.
15. Yahya, B.; Ben-Othman, J. REER: Robust and Energy Efficient Multipath Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '09)*, Honolulu, HI, USA, 30 November–4 December 2009; pp. 1–7.
16. Wang, Z.; Bulut, E.; Szymanski, B.K. Energy Efficient Collision Aware Multipath Routing for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Communications (ICC '09)*, Dresden, Germany, 14–18 June 2009; pp. 91–95.
17. Zhou, Y.F.; Lyuon, M.R.; Liu, J. On Setting up Energy-Efficient Paths with Transmitter Power Control in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS '05)*, Washington, DC, USA, 7 November 2005; pp. 440–448.
18. Lin, S.; Zhang, J.; Zhou, G.; Gu, L.; He, T.; Stankovic, J.A. ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '06)*, Boulder, CO, USA, 31 October–3 November 2006; pp. 223–236.
19. Kim, J.; Chang, S.; Kwon, Y. ODTPC: On-Demand Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, Busan, Korea, 23–25 January 2008; pp. 1–5.
20. Song, X.; Wang, C.; Wang, J.; Zhang, B. A Hierarchical Routing Protocol Based on AFSSO algorithm for WSN. In *Proceedings of the International Conference on Computer Design and Applications (ICCCA '10)*, Qinhuangdao, China, 25–27 June 2010; pp. 635–639.
21. Akkaya, K.; Younis, M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Netw.* **2005**, *3*, 325–349.
22. Pavai, K.; Sivagami, A.; Sridharan, D. Study of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies (ACT '09)*, Trivandrum, Kerala, India, 28–29 December 2009; pp. 522–525.
23. Eslaminejad, M.R.; Sookhak, M.; Razak, S.A.; Haghparast, M. A review of routing mechanisms in wireless sensor networks. *Int. J. Comput. Sci. Telecommun.* **2011**, *2*, 1–9.
24. Al-Karaki, J.N.; Kamal, A.E. Routing techniques in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Wirel. Commun.* **2004**, *11*, 6–27.
25. Mahfoudh, S.; Minet, P. Survey of energy efficient strategies in wireless ad hoc and sensor networks. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Networking (ICN '08)*, Cancun, Quintana Roo, Mexico, 13–18 April 2008; pp. 1–7.



26. Raghunathan, V.; Schurghers, C.; Park, S.; Srivastava, M. Energy-aware wireless microsensor networks. *IEEE Signal Process. Mag.* **2002**, *19*, 40–50.
27. Pottie, G.; Kaiser, W. Wireless integrated network sensors. *Commun. ACM* **2000**, *43*, 51–58.
28. Heinzelman, W.R.; Kulik, J.; Balakrishnan, H. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 5th ACM/IEEE Annual International Conference on Mobile Computing (MOBICOM 99)*, Seattle, WA, USA, 15–20 August 1999; pp. 174–185.
29. Intanagonwiwat, C.; Govindan, R.; Estrin, D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks. In *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00)*, Boston, MA, USA, 6–11 August 2000; pp. 56–67.
30. Shah, R.C.; Rabaey, J.M. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks. In *Proceedings of the 10th International Conference on Communications and Networks (WCNC '02)*, Orlando, FL, USA, 17–21 March 2002; pp. 350–355.
31. Braginsky, D.; Estrin, D. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks. In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, Atlanta, GA, USA, 28 September 2002; pp. 22–31.
32. Ye, F.; Chen, A.; Lu, S. A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks. In *Proceedings of the 10th International Conference on Communications and Networks*, Scottsdale, AZ, USA, 15–17 October 2001; pp. 304–309.
33. Ye, H.L.; Cheng, J.; Lu, S.; Zhang, L. A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '02)*, Atlanta, GA, USA, 23–28 September 2002; pp. 148–159.
34. Heinzelman, W.R.; Chandrakasan, A.; Balakrishnan, H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. In *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, USA, 4–7 January 2000; pp. 223–233.
35. Manjeshwar, A.; Agrawal, D.P. TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS '01)*, San Francisco, CA, USA, 23–27 April 2001; pp. 2009–2015.
36. Manjeshwar, A.; Agrawal, D. APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 16th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*, Ft. Lauderdale, FL, USA, 15–19 April 2002; pp. 195–202.
37. Lindsey, S.; Raghavendra, C. PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems. In *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 9–16 March 2002; pp. 1125–1130.
38. Karp, B.; Kung, H.T. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks. In *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM '00)*, Boston, MA, USA, 6–11 August 2000; pp. 243–254.
39. Khan, M.I.; Gansterer, W.N.; Haring, G. congestion avoidance and energy efficient routing protocol for wireless sensor networks with a mobile sink. *J. Netw.* **2007**, *2*, 42–49.
40. Alwan, H.; Agarwal, A. A Survey on Fault Tolerant Routing Techniques in Wireless Sensor networks, In *Proceedings of the 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM '09)*, Athens, Glyfada, Greece, 18–23 June 2009; pp. 366–371.
41. De, S.; Qiao, C.; Wu, H. Meshed multipath routing with selective forwarding: an efficient strategy in wireless sensor networks. *Comput. Netw.* **2003**, *43*, 481–497.
42. Gao, D.; Liang, L.; Gong, Y.; Zhang, S. Micro Sensor Multi-Path Routing Protocol in Wireless Sensor Networks, In *Proceedings of the International Symposium on Multimedia Technology (CNMT '09)*, Wuhan, Hubei, China, 18–20 January 2009; pp. 1–4.
43. Hong, L.; Yang, J. An Energy-Balance Multipath Routing based on Rumor Routing for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Natural Computation (ICNC '09)*, Tianjin, China, 14–16 August 2009; pp. 87–91.



44. Polastre, J.; Szewczyk, R.; Culler, D. Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, (IPSN '05)*, Los Angeles, CA, USA, 25–27 April 2005; pp. 364–369.
45. Baccour, N.; Aa, A.K.; Mottola, L.; Youssef, H.; Boano, C.A.; Ario, M. Radio link quality estimation in wireless sensor networks: A Survey. *ACM Trans. Sens. Netw.* **2012**, *8*, 1–35.
46. Heinzelman, W.R.; Chandrakasan, A.; Balakrishnan, H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. In *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, USA, 4–7 January 2000; pp. 1–10.
47. Camilo, T.; Carreto, C.; Silva, J.; Boavida, F. An Energy-Efficient Ant Base Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the 5th International workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, (ANTS '06)*, Brussels, Belgium, 4–7 September 2006; pp. 49–59.
48. Ye, W.; Heidemann, J. Medium Access Control in Wireless Sensor Networks. In *Wireless Sensor Networks*; Kluwer Academic Publishers: Boston, MA, USA, 2004; pp. 73–91.
49. Okdem, S.; Karaboga, D. Routing in wireless sensor networks using an ant colony optimization (ACO) router chip. *Sensors* **2009**, *9*, 909–921.
50. Sabbineni, H.; Chakrabarty, K. Datacollection in event-driven wireless sensor networks with mobile sinks. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* **2010**, *2010*, 1–12.
51. Ghasem Aghaei, R.; Rahman, A.M.; Rahman, M.A.; Gueaieb, W.; Saddik, A.E. Ant Colony-Based Many-to-One Sensory Data Routing in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA '08)*, Doha, Qatar, 31 March–4 April 2008; pp. 1005–1010.
52. GhasemAghaei, R.; Rahman, M.A.; Gueaieb, W.; Saddik, A.E. Ant Colony-Based Reinforcement Learning Algorithm for Routing in Wireless Sensor Networks. In *Proceedings of the Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings (IMTC '07)*, Warsaw, Poland, 1–3 May 2007; pp. 1–6.
53. Zhang, Y.; Kuhn, L.D.; Fromherz, M.P.J. Improvements on Ant Routing for Sensor Networks. In *Proceedings of the 4th International workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, (ANTS '04)*, Brussels, Belgium, 5–8 September 2004; pp. 154–165.
54. Watfa, M.; Yaghi, L. An efficient online-battery aware geographic routing algorithm for wireless sensor networks. *Int. J. Commun. Syst.* **2010**, *23*, 41–61.
55. Chipara, O.; He, Z.; Xing, G.; Chen, Q.; Wang, X.; Lu, C.; Stankovic, J.; Abdelzaher, T. Real-time Power Aware Routing in Sensor Networks. In *Proceedings of the 14th IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS '06)*, New Haven, CT, USA, 19–21 June 2006; pp. 83–92.
56. Chen, J.; Salim, M.B.; Matsumoto, M. Modeling the energy performance of event-driven wireless sensor network by using static sink and mobile sink. *Sensors* **2010**, *10*, 10876–10895.
57. Saad, E.M.; Awadalla, M.H.; Darwish, R.R. Adaptive energy-aware gathering strategy for wireless sensor networks. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* **2009**, *5*, 834–849.
58. Akkaya, K.; Younis, M.; Bangad, M. Sink repositioning for enhanced performance in wireless sensor networks. *Comput. Netw.* **2005**, *49*, 434–512.



TutorialsPoint.com