



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد ساوه

دانشکده فنی مهندسی - گروه کامپیوتر

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد «M.Sc»

گرایش نرم افزار

عنوان:

**بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم با استفاده  
ترکیبی از الگوریتم‌های مسیریابی EAR و PGR**

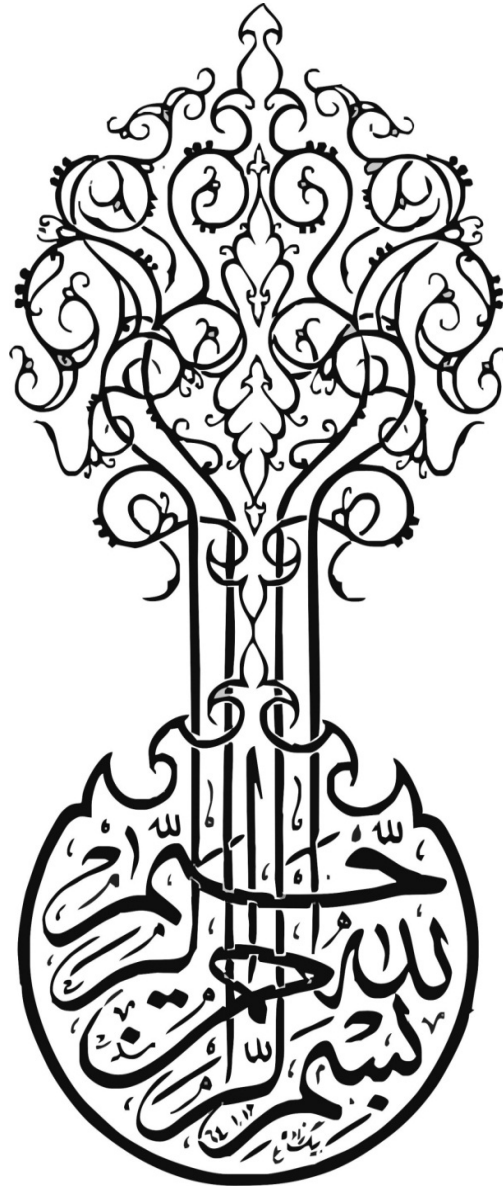
استاد راهنما

دکتر اسدالله وکیلی

نگارش:

علی علی اکبری

مرداد ۱۳۹۵



تقدیم به

مادر مهربان و روح پدر عزیزم

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	فصل اول: کلیات پژوهش
۳	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- تعریف مساله و سوالات اصلی تحقیق
۵	۳-۱- فرضیه ها
۶	۴-۱- اهداف تحقیق
۶	۵-۱- روش تحقیق
۶	۶-۱- ساختار پایان نامه
۸	فصل دوم: پیشینه تحقیق
۹	۱-۲- مقدمه
۱۱	۲-۲- کاربرد شبکه های حسگر بی سیم
۱۶	۳-۲- ساختار گره حسگر بی سیم
۲۰	۴-۲- ساختار شبکه های حسگر بی سیم
۲۰	۵-۲- ویژگی های شبکه های حسگر بی سیم
۲۱	۶-۲- چالش های پیش رو در شبکه های حسگر بی سیم
۲۴	۷-۲- عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی
۲۴	۸-۲- انواع روش های کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم
۲۴	۱-۸-۲- بر مبنای دوره گردش کاری
۲۵	۱-۱-۸-۲- کنترل توپولوژی
۲۶	۲-۱-۸-۲- مدیریت توان

- ۲-۸-۲- بر مبنای داده گرایی ----- ۲۶
- ۲-۸-۳- بر مبنای تحرک چاهک ----- ۲۸
- ۲-۹-۹- مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم ----- ۲۹
- ۲-۱۰-۱۰- مفهوم مسیریابی در شبکه حسگر بی سیم ----- ۳۰
- ۲-۱۱-۱۱- روش های مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم ----- ۳۲
- ۲-۱۱-۱- مسیر یابی مسطح ( داده محور) ----- ۳۲
- ۲-۱۱-۲- مسیریابی مبتنی بر مکان ----- ۳۳
- ۲-۱۱-۳- مسیریابی سلسله مراتبی ( مبتنی بر خوشه بندی) ----- ۳۳
- ۲-۱۲-۱۲- پروتکل های مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم ----- ۳۴
- ۲-۱۲-۱- پروتکل LEACH ----- ۳۵
- ۲-۱۲-۲- پروتکل DIRECT DIFFUSION ----- ۳۶
- ۲-۱۲-۳- پروتکل PEGASIS ----- ۳۶
- ۲-۱۲-۴- پروتکل TEEN ----- ۳۷
- ۲-۱۲-۵- پروتکل TTDD ----- ۳۹
- ۲-۱۳-۱۳- مسیر یابی آگاه از انرژی در شبکه های حسگر بی سیم ----- ۴۰
- ۲-۱۳-۱- پروتکل های مسیریابی آگاه از انرژی ----- ۴۰
- ۲-۱۴-۱۴- مسیریابی چند گانه ----- ۴۱
- ۲-۱۵-۱۵- مزایای روش های مسیریابی چند گانه ----- ۴۱
- ۲-۱۶-۱۶- جمع بندی ----- ۴۴
- فصل سوم: پروتکل جدید پیشنهادی ----- ۴۶
- ۳-۱-۱- مقدمه ----- ۴۷
- ۳-۲-۲- پروتکل EAR ----- ۴۷

۵۰	۳-۳ پروتکل PGR
۵۳	۴-۳ پروتکل پیشنهادی
۵۴	۵-۳ جمع بندی
۵۶	فصل چهارم: نتایج شبیه سازی و تحلیل آنها
۵۷	۱-۴ مقدمه
۵۹	۲-۴ پارامترهای شبیه سازی
۶۰	۳-۴ نتایج شبیه سازی
۶۰	۱-۳-۴ بررسی انرژی کل شبکه
۶۱	۲-۳-۴ بررسی انرژی گره ها
۶۳	۳-۳-۴ بررسی توان عملیاتی شبکه
۶۳	۴-۳-۴ بررسی تاخیر شبکه
۶۴	۴-۴ جمع بندی
۶۶	فصل پنجم: جمع بندی و پیشنهادها
۶۷	۱-۵ مقدمه
۶۷	۲-۵ یافته های تحقیق
۶۸	۳-۵ پیشنهادها
۶۹	فهرست منابع
۷۰	منابع فارسی
۷۱	منابع لاتین

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۵۹	جدول ۴-۱ پارامترهای شبیه سازی
۶۰	جدول ۴-۱ پارامترهای شبیه سازی

## فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۵۰	نمودار ۱-۳ فلوجارت الگوریتم EAR
۵۲	نمودار ۲-۳ فلوجارت الگوریتم PGR
۵۴	نمودار ۳-۳ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی
۶۱	نمودار ۱-۴ انرژی کل شبکه
۶۲	نمودار ۲-۴ تعداد گره های مرده
۶۲	نمودار ۳-۴ تعداد گره های زنده
۶۳	نمودار ۴-۴ توان عملیاتی شبکه
۶۴	نمودار ۵-۴ تاخیر انتها به انتهای شبکه



## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۹	شکل ۱-۲ ساختار کلی شبکه حسگر بی سیم [۵]
۱۱	شکل ۲-۲ کاربردهای شبکه حسگر بی سیم [۶]
۱۳	شکل ۳-۲ شبکه حسگر بی سیم در محیط آلوده شهری
۱۴	شکل ۴-۲ شبکه حسگر بی سیم جهت بررسی رشد گیاهان
۱۵	شکل ۵-۲ بررسی و تحلیل وضعیت ساختمان با استفاده از شبکه حسگر بی سیم
۱۵	شکل ۶-۲ شبکه حسگر بی سیم در بزرگراه ها
۱۶	شکل ۷-۲ ساختمان داخلی گره حسگر [۵]
۳۱	شکل ۸-۲ مسیریابی در شبکه حسگر بی سیم [۸]
۳۷	شکل ۹-۲ پروتکل PEGASIS [۸]
۳۸	شکل ۱۰-۲ پروتکل TEEN [۵]
۵۲	شکل ۱-۳ پروتکل PGR [۲۳]
۵۸	شکل ۱-۴ وضعیت گره ها در شبیه سازی در ثانیه اول
۵۸	شکل ۲-۴ وضعیت گره ها در شبیه سازی در ثانیه دهم
۵۹	شکل ۳-۴ وضعیت گره ها در شبیه سازی در ثانیه چهاردهم

## چکیده

یک رویکرد برای طولانی‌تر کردن عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بهبود روش‌های مسیریابی است که با بهره‌گیری از توابع احتمال، هوشمندانه از تمامی عناصر شبکه در انتقال داده‌ها استفاده نموده و موجب تقسیم بار انتقال داده در شبکه، بر روی همه گره‌ها و جلوگیری از اتمام انرژی گره‌های پرکاربرد و به تبع آن اتمام عمر شبکه می‌گردد. در این تحقیق یک پروتکل مسیریابی جدید با رویکرد استفاده مشترک از مزایای الگوریتم‌های مسیریابی داده محور و الگوریتم‌های مسیریابی بر پایه موقعیت ارائه می‌شود. در این الگوریتم جدید از تابع تعیین هزینه و تابع احتمال انتخاب مسیر الگوریتم EAR به همراه تابع انتخاب زاویه الگوریتم PGR استفاده شده و در نهایت تابع احتمال انتخاب مسیر جدیدی برای آن پیشنهاد شده است. هدف این الگوریتم انتخاب مسیری با کمترین هزینه و بیشترین احتمال در افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. این تابع احتمال با در نظر گرفتن میزان انرژی لازم جهت ارسال داده از یک مسیر و بررسی میزان انرژی باقیمانده در همان مسیر، پس از ارسال داده، برای ارسال‌های بعدی به هر مسیر احتمالی را نسبت می‌دهد. برای ارسال بعدی مسیری که در موقعیت جغرافیایی انتخاب شده بین گره فرستنده و چاهک قرار دارد و بیشترین عدد احتمال به آن اختصاص داده شده برای ارسال انتخاب می‌شود. کارایی بهتر این پروتکل از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه و حفظ بهتر پوشش شبکه‌ای در مقایسه با پروتکل‌های اولیه EAR و PGR با انجام شبیه‌سازی به اثبات رسیده است. با نتایج بدست آمده، انرژی باقیمانده در شبکه پس از اتمام شبیه‌سازی در مسیریابی با پروتکل جدید حدود ۱۲٪ بیشتر از مسیریابی با پروتکل PGR و حدود ۸٪ بیشتر از مسیریابی با پروتکل EAR است و اگر طول عمر شبکه زمان خاموش شدن اولین گره در شبکه در نظر گرفته شود، در پروتکل جدید اولین گره ۷ ثانیه دیرتر از پروتکل PGR و ۱۴ ثانیه دیرتر از پروتکل EAR خاموش می‌شود و بطور میانگین می‌توان گفت که حدود ۱۰٪ طول عمر شبکه با پروتکل جدید افزایش یافته است.

**کلید واژه:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی در شبکه حسگر بی‌سیم، کاهش مصرف انرژی، افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

# فصل اول: کلیات پژوهش

## ۱-۱- مقدمه

یکی از مهمترین ابزار کسب اطلاعات و درک محیط که تحقیقات گسترده‌ای را به خود معطوف نموده، شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. همچنین از مهمترین مسائل قابل بحث در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، چگونگی انتقال اطلاعات از گره‌های داخل شبکه به چاهک و انتخاب بهترین مسیر ممکن برای انتقال این اطلاعات می‌باشد. انتخاب بهترین مسیر می‌تواند بر اساس فاکتورهای مختلفی مانند انرژی مصرفی، سرعت در پاسخگویی، دقت در انتقال داده و ... تحت تاثیر قرار بگیرد. هدف این پایان نامه انتخاب بهترین مسیر از لحاظ مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در این نوع شبکه‌ها، گره‌های حسگر به دلیل تعداد زیاد، اندازه کوچک و روش قرارگیری اقتصادی، هنوز هم برای تامین انرژی خود، متکی به باتری‌هایی با توان اندک می‌باشند. معمولاً به دلیل به‌کارگیری این نوع شبکه‌ها در محیط‌های خشن و غیرقابل دسترس، امکان شارژ مجدد یا تعویض گره‌های حسگر وجود ندارد. بنابراین یکی از مهمترین مسایل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسأله محدودیت شدید انرژی است. همچنین کارایی شبکه‌های حسگر به شدت به طول عمر شبکه و پوشش شبکه‌ای آن وابسته است، 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 شبکه‌های حسگر بعد از طراحی و قرارگیری آن‌ها می‌پردازند، از بالاترین اهمیت برخوردار می‌باشند.

## ۱-۲- تعریف مساله و سوالات اصلی تحقیق

یکی از مهمترین مسایل مطرح در خصوص شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی است. تلاش‌های بسیاری برای ارزیابی روش‌های مسیریابی انرژی آگاه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم انجام شده است. و پروتکل‌ها و الگوریتم‌های بسیاری نیز در این زمینه ارائه شده و در تمام این الگوریتم‌ها و پروتکل‌هایی که تا کنون ارائه گردیده علاوه بر ویژگی‌های مثبت که باعث افزایش بهره‌وری و طول عمر شبکه می‌شود دارای نواقصی نیز می‌باشد. در این پایان نامه هدف این است که روش جدیدی جهت مسیریابی مطرح شود که با استفاده از این روش جدید طول عمر شبکه افزایش یابد و قصد بر این است که معایب برخی از پروتکل‌ها که نسبت به بقیه روش‌های موجود طول عمر شبکه را افزایش می‌دهند بر طرف گردیده و روشی جدید و بهینه ارائه گردد. به همین منظور قصد داریم معایب دو پروتکل مطرح در زمینه مسیریابی آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را برطرف نموده و یک روش بهینه‌تر ارائه نماییم. پروتکل اول EAR<sup>1</sup> است: این پروتکل با استفاده از پیغام‌های درخواست و انتشار محلی، همه مسیرهای که ممکن است تا چاهک باشد را به دست می‌آورد و همه گره‌ها این مسیرها را در جدول مسیریابی خود نگه می‌دارند و از هر گره تا گره چاهک ممکن است چندین مسیر وجود داشته باشد و هر گره در هنگام ارسال داده برای چاهک، با استفاده از یک تابع احتمال و با توجه به میزان انرژی خود و گره‌های مسیر و فاصله تا چاهک، یک مسیر را برای ارسال داده انتخاب می‌کند و به مسیرها با آن تابع احتمال امتیازدهی می‌شود. پروتکل دوم PGR<sup>2</sup> است: در این پروتکل ابتدا گره‌های همسایه اطلاعات خود را با یکدیگر رد و بدل می‌کنند و به این صورت لیستی از موقعیت و قدرت همسایگان خود بدست می‌آورند و سپس با توجه به اینکه هر گره همسایه چه فاصله‌ای با گره چاهک دارد و چه مقدار انرژی دارد و در کدام زاویه نسبت به گره ارسال کننده و گره چاهک قرار گرفته، به هر گره همسایه با یک تابع احتمال یک امتیاز داده می‌شود و گره در هنگام ارسال بسته، بسته خود را به گره همسایه‌ای که بیشترین امتیاز را دارد ارسال می‌کند و گره همسایه نیز چنین می‌کند تا بسته به چاهک برسد. اشکالات این دو پروتکل به این صورت است که در پروتکل PGR ممکن است بسته به یک همسایه با امتیاز بالا برسد ولی در ادامه جهت رسیدن به

---

<sup>1</sup> Energy Aware Routing

<sup>2</sup> Probabilistic Geographic Routing

چاهک، سایر گره‌های غیر همسایه دچار مشکل شوند و در نهایت یا بسته به چاهک نرسد یا از یک مسیر طولانی و با مصرف انرژی بالا به چاهک برسد و در پروتکل EAR نیز مسیر از ابتدای حرکت بسته از گره مبدا به سمت چاهک مشخص می‌شود و اگر در مسیر در بین گره‌های مسیر اتفاقی رخ دهد و مثلاً انرژی گره‌ای کم شود که در ابتدای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب میسر، انرژی بالای داشته دچار مشکل خواهیم شد. در این پایان نامه با استفاده ترکیبی از مزایای دو الگوریتم EAR و PGR یک روش جدید برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه خواهد شد که باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه شده و اطلاعات را از مسیر بهینه‌تر به چاهک خواهد رساند و معایب دو پروتکل EAR و PGR را نیز برطرف خواهد کرد. و در فصل سوم پایان نامه به تشریح دقیق‌تر این پروتکل جدید خواهیم پرداخت.

در این پایان نامه دو سوال اصلی مطرح است که قصد داریم در پایان به جواب این دو سوال دست

یابیم

• چگونه استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های مسیریابی EAR و PGR باعث کاهش مصرف

انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌گردد؟

• با استفاده از ترکیب این دو الگوریتم طول عمر شبکه به چه مقدار نسبت به روش‌های

مشابه افزایش می‌یابد؟

### ۱-۳- فرضیه‌ها

در این پایان نامه دو فرضیه در نظر می‌گیریم که در ادامه مراحل و ارائه راهکار جدید باید به اثبات

برسد.

• استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های مسیریابی EAR و PGR باعث بهبود مصرف انرژی در

شبکه و به طبع آن افزایش طول عمر شبکه می‌گردد.

- سرباز زمانی استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های EAR و PGR قابل توجه نخواهد بود.

#### ۱-۴- اهداف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق ارائه یک روش مسیریابی جدید در شبکه‌های حسگر بی‌سیم که باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه شود می‌باشد که با این روش جدید بتوان شبکه‌های حسگر بی‌سیم با طول عمر بیشتر ساخت. و یکی از مشکلات اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محدود بودن طول عمر این شبکه‌ها - ها به عمر باتری عناصر این شبکه‌ها است و با این تحقیق قصد داریم که انرژی در این شبکه‌ها بصورت بهینه مصرف شده و طول عمر شبکه‌ها افزایش یابد.

#### ۱-۵- روش تحقیق

روش کار به این صورت است که با جمع‌آوری اطلاعات و بررسی روش‌های موجود مسیریابی در یک شبکه حسگر بی‌سیم و مقایسه این روش‌ها با یکدیگر و بررسی تخصصی دو الگوریتم EAR و PGR و استفاده ترکیبی از این دو روش به یک تابع احتمال جدید در انتخاب مسیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم دست یابیم و این روش جدید را با استفاده از نرم افزار شبیه سازی شبکه، NS2<sup>1</sup> شبیه سازی می‌کنیم و با روش‌های مسیریابی آگاه از انرژی موجود و اثبات شده مقایسه نموده و با بررسی مقایسه‌ای نمودارهای بدست آمده بهینه بودن روش استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های مسیریابی EAR و PGR را اثبات خواهیم کرد.

#### ۱-۶- ساختار پایان نامه

فصل دوم به معرفی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و همچنین معرفی ساختار کلی شبکه و گره‌های

---

<sup>1</sup> Network Simulator 2

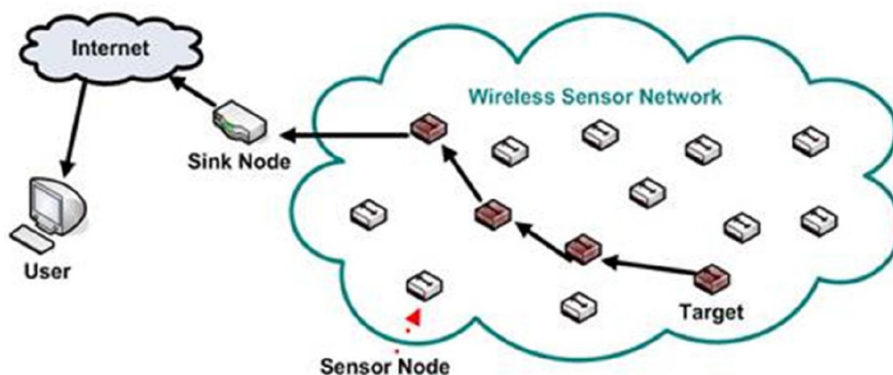
حسگر و بیان روش‌ها و عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم خواهد پرداخت. در ادامه ضمن بیان روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و معرفی پروتکل‌های مطرح مسیریابی در این زمینه، به طور خاص به مسیریابی آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مسیریابی چندگانه پرداخته و پروتکل‌های مسیریابی آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را تشریح خواهد کرد. فصل سوم به تشریح پروتکل مسیریابی جدید ارائه شده و مزایای آن نسبت به روش‌های قبلی خواهد پرداخت. فصل چهارم به ارائه نتایج شبیه‌سازی و مقایسه نتایج با روش‌های پیشین و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، اختصاص خواهد یافت. فصل پنجم شامل جمع‌بندی و ارائه پیشنهادهایی برای انجام تحقیقات بیشتر خواهد بود.



# فصل دوم: پیشینه تحقیق

## ۲-۱- مقدمه

شبکه حسگر شبکه‌ای است متشکل از تعداد زیادی گره کوچک که بصورت خودمختار برای جمع‌آوری اطلاعات محیطی فعالیت می‌کنند. در هر گره حسگری وجود دارد که کاملاً با محیط فیزیکی تعامل دارد. حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و به مرکز جمع‌آوری داده به نام چاهک انتقال می‌دهند ( شکل ۲-۱). ارتباط بین گره‌ها بصورت بی‌سیم است. هر گره بطور مستقل و بدون دخالت انسان کار میکند و نوعاً از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است و دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، انرژی و غیره می‌باشد، که از این میان، انرژی حیاتی‌ترین عامل در تداوم حیات شبکه‌های حسگر می‌باشد. به محض اینکه انرژی گره‌ایی به پایان می‌رسد، از کار افتاده و از چرخه فعالیت شبکه خارج می‌شود. در بسیاری از موارد خاموش شدن یک گره موجب از کار افتادن کل شبکه می‌شود. به همین دلیل محدودیت انرژی منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی شده است [۲].



شکل ۲-۱ ساختار کلی شبکه حسگر بی سیم [۵]

با پیشرفت و تکامل فناوری میکروالکترونیک در دهه ۱۹۷۰ میلادی، حسگرهای جدید مورد توجه قرار گرفتند. با استفاده از این فناوری حسگرهای ارزان قیمت با ابعاد کوچک و وزن پایین تولید شدند. مواد اولیه جدید برای ساخت حسگرها به بازار آمد و متعاقب آن اصول جدیدی برای مقاصد عملی جمع‌آوری اطلاعات مطرح گردید. یکپارچگی حسگر و مدارات الکترونیکی تغییر شکل‌دهنده سیگنال، فرصت‌های قابل توجهی را برای بخش عمده‌ای از کاربردها پدید آورد. امروزه کاهش حجم و وزن حسگرها و افزایش میزان حساسیت آن‌ها، هدف اصلی بسیاری از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و شرکت‌های مختلف می‌باشد. اما کوچک شدن حجم گره‌های حسگر به معنای کوچک‌تر شدن باتری‌های مولد انرژی آنان بود. و به اقتضای محیط‌هایی که این شبکه‌ها در آنها به کار گرفته می‌شود معمولاً شارژ مجدد یا تعویض گره‌های مرده (از کار افتاده به دلیل اتمام منبع انرژی) امکان‌پذیر نمی‌باشد، زیرا این گره‌ها معمولاً در محیط‌ها و شرایط سخت، خشن و غیرقابل دسترس قرار گرفته و اغلب بصورت تصادفی و اقتضایی در محیط پراکنده می‌شوند. بنابراین دو نکته در کارایی شبکه‌های حسگر از اهمیت خاصی برخوردار است: یکی طول عمر و دیگری میزان پوشش شبکه‌ای این شبکه‌ها. اگر فضای کل شبکه را به نواحی مجازی تقسیم کنیم، معمولاً در هر ناحیه چندین گره حسگر قرار گرفته‌اند. بنابراین در صورت مرگ برخی از گره‌های یک ناحیه، گره‌های دیگر می‌توانند پوشش شبکه‌ای را تا حدی حفظ کنند. لیکن در صورتی که کل گره‌های قرار گرفته در ناحیه‌ای از شبکه بمیرند، عملاً پایش آن منطقه غیرممکن شده و اصطلاحاً پوشش شبکه‌ای از بین می‌رود. بنابراین مرگ تصادفی و پراکنده گره‌های حسگر، بهتر از تجمع گره‌های مرده در یک منطقه است. از این رو، راه‌حلی که برای رسیدن به دو هدف ذکر شده یعنی افزایش طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای در شبکه‌های حسگر به ذهن می‌رسد، کاهش مصرف انرژی گره‌ها، همزمان با مصرف یکنواخت انرژی در همه گره‌های شبکه است [۵,۲].

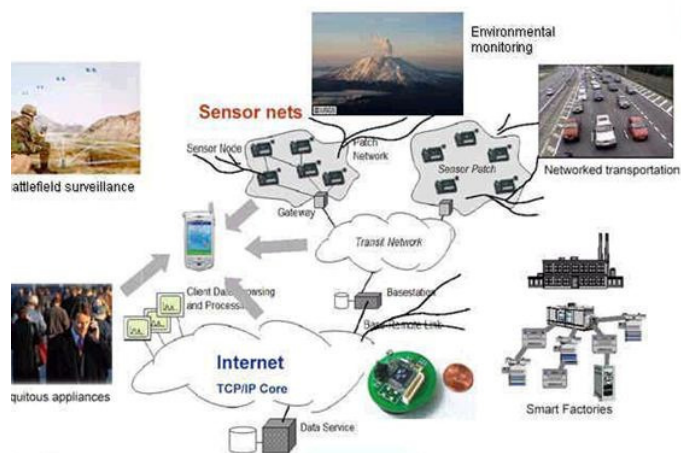
با توجه به موارد ذکر شده، مهمترین هدف شبکه‌های حسگر، مدیریت عاقلانه و منطقی منابع انرژی است. بنابراین ابتدا لازم است منابع مصرف انرژی را به خوبی بشناسیم. برخی از مصارف انرژی در گره حسگر ممکن است سودمند باشند، مانند ۱- ارسال یا دریافت داده ۲- پردازش پرس‌وجوهای

درخواستی ۳- ارسال پرس و جوها و داده‌ها به گره‌های همسایه.

لیکن مصرف پراتلاف و بیهوده انرژی در گره حسگر مربوط می‌شود به : ۱- گوش کردن غیرفعال  
۲- تصادم(برخورد) ۳ - استراق‌سمع کردن( یعنی یک گره، بسته‌هایی را دریافت کند که برای سایر گره‌ها فرستاده شده‌اند) ۴- سربار بسته‌های کنترلی ۵- ارسال پیغام در حالی که گره مقصد آماده دریافت نیست.  
بنابراین باید به دنبال روش‌های و راه‌حلهایی باشیم که عواملی که باعث مصرف بیهوده انرژی در گره‌های حسگر می‌شود کاهش یافته و انرژی موجود در حسگرها صرف فعالیت‌های سودمند، در راستای هدف شکل‌گیری شبکه حسگر بی‌سیم گردد.

## ۲-۲- کاربرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم

گستره کاربری شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار وسیع بوده و از کاربردهای کشاورزی، پزشکی و صنعتی تا کاربردهای نظامی را شامل می‌شود (شکل ۲-۲). به عنوان مثال یکی از متداول‌ترین کاربردهای این تکنولوژی، نظارت بر یک محیط دور از دسترس است. مثلاً نشتی یک کارخانه شیمیایی در محیط وسیع کارخانه می‌تواند توسط صدها حسگر که به طور خودکار یک شبکه بی‌سیم را تشکیل می‌دهند، نظارت شده و در هنگام بروز نشت شیمیایی به سرعت به مرکز اطلاع داده شود [۶].



شکل ۲-۲ کاربردهای شبکه حسگر بی‌سیم [۶]

کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به سه دسته کلی نظامی، تجاری و پزشکی تقسیم می‌شوند.

از جمله کاربردهای نظامی می‌توان به سیستم‌های ارتباطی، فرماندهی، شناسایی، دیده‌بانی، میدان مین هوشمند، سیستم‌های هوشمند دفاعی و ..... اشاره کرد.

در کاربردهای مراقبت پزشکی، سیستم‌های مراقبت از بیماران که مراقبی ندارند و همچنین محیط‌های هوشمند برای افراد سالخورده، شبکه ارتباطی بین مجموعه پزشکان با یکدیگر و پرسنل بیمارستان و نظارت بر بیماران از جمله کاربردهای این شبکه‌ها است.

کاربردهای تجاری، طیف وسیعی از کاربردها را شامل می‌شوند، مانند سیستم‌های امنیتی تشخیص و مقابله با سرقت، آتش سوزی در جنگل، تشخیص آلودگی‌های زیست محیطی از قبیل آلودگی‌های شیمیایی، هسته‌ای، سیستم‌های ردگیری، نظارت و کنترل وسایل نقلیه و ترافیک، کنترل کیفیت تولیدات صنعتی، مطالعه در مورد پدیده‌های طبیعی، تحقیق در مورد زندگی گونه‌های خاص از گیاهان و جانوران و ... [۵].

برخی از کاربردهایی که تا کنون بر روی این شبکه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از:

(۱) **میدان‌های جنگی:** در میدان‌های جنگی می‌توان از شبکه‌های حسگری که گره‌های آنها بعنوان مثال مجهز به سنسورهای حساس به حرارت یا حساس به لرزش هستند جهت شناسایی تحرکات دشمن استفاده کرد. تحرکات نیروها و ماشین آلات سنگین نظامی باعث بالا رفتن دمای محیط و ایجاد لرزش خواهند شد و سنسورهای شبکه حسگر این تحرکات را در مناطق مختلف حس کرده و به بررسی‌های آماری تجهیزات و نیروی دشمن و همچنین کلاس‌بندی و نحوه آرایش و مسیر حرکت نیروهای دشمن یا نیروهای خودی کمک می‌کنند و در نهایت فرماندهان با توجه به وضعیت موجود تصمیمات صحیح نظامی را اتخاذ می‌نمایند.

۲) **شناسایی محیط‌های آلوده:** در محیط‌های متفاوت امکان وجود آلودگی‌های مختلف وجود دارد. لذا با استفاده از شبکه‌های حسگری که گره‌های آن مجهز به سنسورهای اندازه‌گیری آلاینده‌های شیمیایی است (شکل ۲-۳) می‌توان وجود آلودگی‌های مشخصی را در سطح محیط تحت نظر، بررسی کرد و حتی غلظت آلودگی در قسمت‌های مختلف را مشاهده نمود و در نهایت با استفاده از اطلاعات آماری بدست آمده، در خروجی سیستم می‌توان نمودار سه بعدی وضعیت آلودگی در سطح محیط زیر نظر را بدست آورد. نوع تشخیص نیز می‌تواند یکتا نباشد و هر حسگر چندین آلودگی را تشخیص دهد [۵].



شکل ۲-۳ شبکه حسگر بی سیم در محیط آلوده شهری

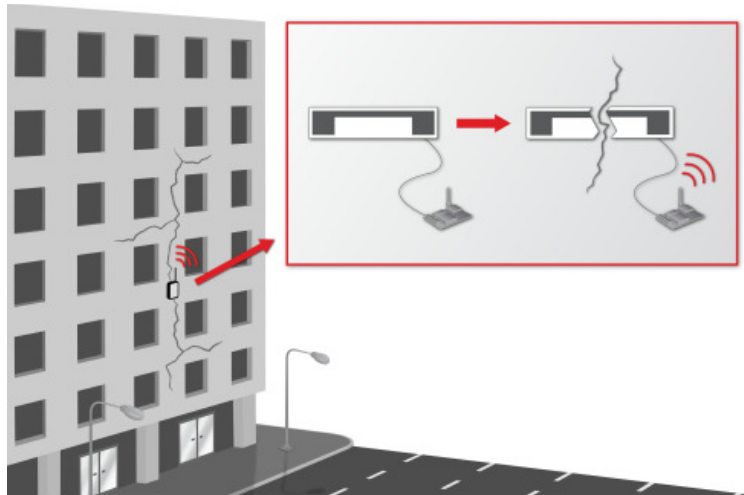
۳) **مانیتور کردن محیط زیست:** مجموعه تحقیقات در زمینه محیط زیست نیازمند انجام مطالعات مکرر و متمرکز و صرف زمان زیاد جهت جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد و این امر بطور معمول در توان یک انسان نیست در چنین مواردی از دستگاه‌های مانیتورینگ، تحلیلگر و ذخیره کننده نتایج استفاده می‌شود. از طرفی دیگر، بخاطر وجود برخی شرایط خاص در محیط زیست، اکثر کارهای تحقیقاتی بایستی در سکوت و آرامش صورت گیرد تا وجود انسان و تجهیزات در محیط، اثر منفی در عملکرد غریزه‌ای و واقعی موجودات نداشته باشد تا موجب کاهش کیفیت تحقیق نگردد. از این رو تقریباً تمام سیستم‌های مانیتورینگ، قابلیت کنترل از

راه دور را دارند (شکل ۲-۴). در عین حال این سیستم‌ها طوری انتخاب می‌گردند که وجود آن‌ها در محیط محسوس نباشد. با در نظر گرفتن تمام موارد فوق، ملاحظه می‌شود که شبکه‌های حسگر، علاوه بر داشتن هزینه پایین استفاده، در زمینه مانیتور کردن محیط زیست، از توانایی بالایی برخوردار می‌باشند. در مواردی همچون بررسی وضعیت آب و هوای جوی محیط و بررسی وضعیت ظاهری آن، بخصوص محیط سرسبز و جنگلی، بررسی رشد و نمو گیاهان و موجودات و موقعیت یابی موجودات زنده در محیط زیست می‌توان از قدرت بالای شبکه‌های حسگر استفاده کرد [۵].



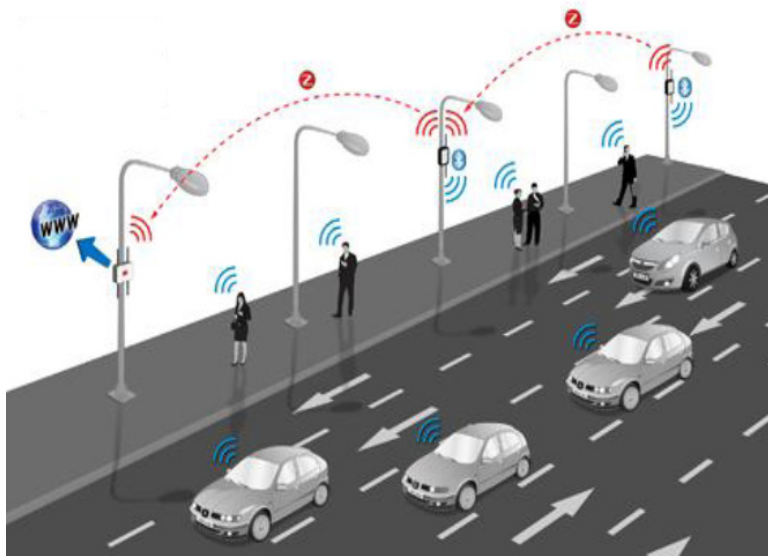
شکل ۲-۴ شبکه حسگر بی سیم جهت بررسی رشد گیاهان

۴) **بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی:** بسیاری از سازمان‌ها و موسسات تحقیقاتی در زمینه عمران و مسکن برای انجام مطالعات و تحقیقات خود از وضعیت بناهای مدنظر، در طول زمان یا در هنگام بروز حوادث طبیعی بخصوص زلزله، نیازمند استفاده از تجهیزات مانیتورینگ می‌باشند تا اطلاعاتی مانند میزان فشار و تحمل مصالح، وجود ترک، میزان آسیب وارده، وضعیت فرسودگی، امنیت و حفاظت ساختمان و یا سایر جزئیات مرتبط با هدف تحقیقات در مورد بناهایی مثل ساختمان‌های قدیمی، پل‌ها، سدها، موزه‌ها و ... را جمع‌آوری کنند (شکل ۲-۵) و با توجه به توانایی‌های شبکه‌های حسگر، می‌توان از این شبکه‌ها برای دست یافتن به اهداف مطرح شده در بالا استفاده کرد [۵].



شکل ۲-۵ بررسی و تحلیل وضعیت ساختمان با استفاده از شبکه حسگر بی سیم

۵) در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند: یکی از مشکلات اصلی شهرهای بزرگ، کنترل وضعیت ترافیک در سطح شهر می‌باشد. با برپایی شبکه‌هایی از گره‌های حسگر در سطح شهر و قرار دادن گره‌ها در بزرگراه‌ها و خیابان‌های شهر، می‌توان بزرگراه‌ها و خیابان‌ها را هوشمند ساخت و از وضعیت تراکم عبور و مرور وسایل نقلیه و یا بروز حوادثی مانند برخورد چندین وسیله نقلیه، در نقاط زیر نظر گره‌های حسگر، اطلاع یافت (شکل ۲-۶) و در نهایت در کل سطح شهر وضعیت ترافیک و تصادفات را شناسایی و پیگیری نمود [۵].



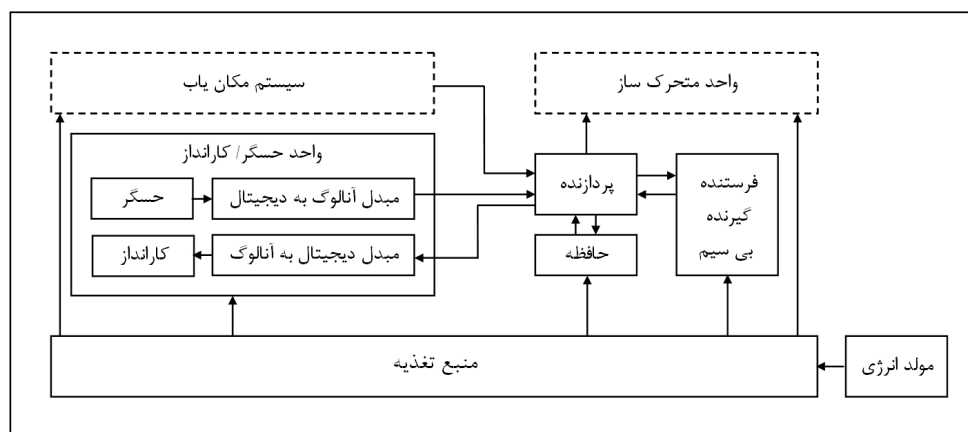
شکل ۲-۶ شبکه حسگر بی سیم در بزرگراه‌ها



همچنین با توجه به ماهیت شبکه های حسگر، می توان مزایایی مانند برپایی سریع در مواقع اضطراری و فوری ، استفاده در محیطهای که بایستی پارازیت و اختلال در آنها وجود نداشته باشد، اجتناب از قرار گرفتن در محیطهای خطرناک و غیر عاقلانه برای مطالعات مکرر، شیوه اقتصادی مقرون به صرفه برای جمع آوری اطلاعات در طولانی مدت و ... نام برد.

## ۲-۳- ساختار گره حسگر بی سیم

هر گره حسگر به یکسری تجهیزات درونی مجهز است که وجود هر کدام، طبق وظیفه و شرایط احتمالی هر گره، ضروری می باشد. نحوه ارتباط اجزاء درونی یک گره حسگر در (شکل ۲-۷) مشخص شده است. وظایف هر یک از این اجزاء به شرح زیر می باشد [۵، ۶]:



شکل ۲-۷ ساختمان داخلی گره حسگر [۵]

حسگر: حسگر با حس محیط، میزان تغییرات پارامتر خاصی از محدوده حس خود در محیط را در قالب یک سیگنال الکتریکی ارائه می دهد. این بخش می تواند ترکیبی از چندین نوع حسگر باشد که می تواند تغییرات چندین پارامتر مختلف از محیط را پشتیبانی کنند.

مبدل آنالوگ به دیجیتال: ممکن است سیگنال دریافتی از بخش حسگر ماهیت آنالوگ داشته باشد. لذا این بخش سیگنال مربوطه را به دیجیتال تبدیل می کند تا در بخش های بعدی پردازش برآحتی صورت

گیرد.

پردازنده: پردازنده مرکز گره می‌باشد. تمام کنترل روال کاری گره و همچنین عملیات محاسباتی و پردازشی بر روی اطلاعات گره در این بخش صورت می‌گیرد.

حافظه: جهت ذخیره‌سازی اطلاعات لازم برای پردازش و یا داده‌های دریافت شده به طور موقت و ریز برنامه‌های مورد نیاز استفاده می‌شود.

فرستنده و گیرنده: جهت برقراری ارتباط با سایر گره‌ها می‌باشد. گره‌های موجود در شبکه حسگر بی‌سیم شامل یک رادیوی بی‌سیم با نرخ پایین و برد کوتاه هستند. ارتباط رادیویی اغلب عملیاتی است که بیشترین توان را در شبکه حسگر بی‌سیم مصرف می‌نماید، از اینرو رادیوها باید از حالت خواب و بیدار شدن پشتیبانی کنند.

منبع تغذیه: جهت فراهم سازی و تخصیص انرژی مصرفی مورد نیاز برای هر کدام از اجزاء به کار می‌رود. در هر گره قطعاً از یک باتری استفاده می‌شود که با توجه به شرایط خاص مورد استفاده ممکن است با نور آفتاب نیز قابل شارژ باشد، ولی اکثراً چنین نیست. درون گره نیز هر جزء به نیروی مصرفی خاصی نیاز دارد که بایستی قدرت و انرژی مصرفی کل، بطوری بین اجزاء تقسیم و کنترل شود که صرفاً موقع نیاز صرف گردد [۵، ۶].

سیستم موقعیت یاب: در برخی از گره‌ها تعبیه شده است و در بسیاری نیز وجود ندارد و جهت انجام عملیات موقعیت‌یابی گره‌ها می‌باشد. در بسیاری از کاربردهای شبکه حسگر، این مطلب حائز اهمیت است که اندازه گیری‌های انجام شده توسط حسگرها، دارای بر چسب مکانی باشند. به عبارت دیگر کاربر نهایی مایل است بداند این اطلاعات مربوط به کدام نقطه جغرافیایی می‌باشند. به طور مثال شبکه حسگر بی- سیمی را در نظر بگیرید که گره‌های شبکه در محوطه یک جنگل پخش شده‌اند و وظیفه اندازه گیری دمای اطراف خود را بر عهده دارند تا در صورت وقوع آتش سوزی وقوع این حادثه را به کاربران شبکه اعلام

نمایند. حال شرایطی را در نظر بگیرید که کاربر شبکه اعلام حادثه ای را دریافت می دارد، به طور طبیعی کاربر علاقه دارد بداند این اطلاعات مربوط به کدام نقطه است تا بتواند تصمیم درست را اتخاذ نماید.

واحد متحرک ساز: در برخی از گره‌ها تعبیه شده است و در بسیاری نیز وجود ندارد و جهت متحرک ساختن گره به منظور خاصی مثل چرخیدن و یا جابجایی جزئی گره است.

اجزای نرم افزاری: با پیچیده تر شدن عملیات محول شده به هر گره، به تدریج پیچیدگی سیستم افزایش پیدا می کند و نیاز به یک سیستم عامل ساده که دسترسی به منابع سخت افزاری در هر گره شبکه حسگر را سهولت بخشد، بیشتر احساس می شود. یکی از پرکاربردترین سیستم عامل‌ها، TinyOS می باشد. این سیستم عامل، یک سیستم عامل متن باز و رایگان است که به طور اختصاصی برای شبکه‌های حسگر و توسط زبان nesC<sup>1</sup> توسعه داده شده است [۵، ۶].

به منظور توسعه نرم افزار برای این سیستم عامل، ابتدا نرم افزار TinyOS که یک نرم افزار متن باز است، دریافت می شود. این نرم افزار می تواند کدهای برنامه مورد نظر را برای گره‌های مختلف حسگر کامپایل کند. معمولاً گره‌ها توسط رابط USB به ماشین اجرا کننده TinyOS متصل می شوند. با استفاده از این کابل و با کمک یک دستور ساده، برنامه به گره حسگر منتقل می گردد و قابل اجرا خواهد بود.

یک گره حسگر معمولاً شامل چهار زیرسیستم است:

زیرسیستم محاسبه: شامل ریزپردازنده‌ای (واحد زیرکنترل کننده، MCU) با مسئولیت کنترل کردن حسگرها و عمل به پروتکل‌های ارتباطی می باشد. معمولاً MCU برای اهداف مدیریت انرژی با روش‌های مختلف اجرایی عمل می کند. اما این روش‌های اجرایی با مصرف انرژی همراه هستند، بنابراین سطوح مصرف انرژی روش‌های مختلف باید برای طول عمر باتری هر گره بررسی گردد. این بخش داده‌ها را از حسگرها گرفته، بسته به کاربرد پردازش محدودی روی آنها انجام داده و از طریق فرستنده ارسال می کند [۶].

---

<sup>1</sup> Network Embedded System C

زیرسیستم ارتباطات: واحد فرستنده گیرنده ارتباط گره با شبکه را برقرار می‌کند. این زیر سیستم شامل یک بازه‌ی کم از موج‌های رادیویی است که برای ارتباطات با گره‌های مجاور و جهان بیرون استفاده می‌شود. این زیرسیستم رادیویی می‌تواند تحت حالت‌های انتقال، دریافت، بیکار و خواب عمل کند. هنگامی که زیرسیستم انتقال یا دریافتی ندارد خاموش شدن کامل آن به جای قرار دادنش در حالت بیکار بسیار با اهمیت است زیرا در حالت بیکار انرژی زیادی مصرف می‌شود [۶].

زیر سیستم حس کننده: این زیر سیستم شامل حسگر و مبدل آنالوگ به دیجیتال است که اطلاعات آنالوگ را از حسگر گرفته و بصورت دیجیتال به پردازنده تحویل می‌دهد. می‌توان با استفاده از قطعات با مصرف انرژی کم، مصرف انرژی را کاهش داد و آن را ذخیره کرد، در نتیجه کارایی افزایش می‌یابد.

زیرسیستم منبع انرژی: شامل باتری است که برای گره انرژی را تامین می‌کند. مقدار انرژی استفاده شده از باتری باید بررسی شود زیرا اگر در حالت جاری برای مدت زمان زیاد از باتری زیاد استفاده شود، باتری با اینکه می‌توانست برای مدت زمان زیادی باقی بماند، تمام خواهد شد. در کنار این بخش ممکن است واحدی برای تولید انرژی مثل سلول‌های خورشیدی وجود داشته باشد اگر سیستم عامل، لایه نرم‌افزاری و پروتکل‌های شبکه برای حفاظت از انرژی طراحی شده باشند، طول عمر شبکه‌های حسگر می‌تواند بطور قابل توجه‌ای بالا رود. مدیریت انرژی در زیر سیستم رادیویی بسیار مهم است زیرا ارتباطات رادیویی در هنگام انجام کارهای سیستم مقدار انرژی زیادی مصرف می‌کنند. از سوی دیگر گره‌های حسگری به صورت یک مسیریاب عمل می‌کنند و اکثر بسته‌های که حسگر می‌گیرد با ارسال شده‌ها مشترک است. سخت افزار رادیویی هوشمند به شناخت و تعیین مسیر بسته‌هایی که نیاز به ارسال دارند، کمک می‌کند و این پروسه سربار محاسبات را کاهش می‌دهد زیرا در اینصورت بسته‌ها در گره‌های میانی پروسه زیادی نمی‌خواهند.

## ۲-۴- ساختار شبکه های حسگر بی سیم

شبکه های حسگر بی سیم متشکل از تعداد زیادی گره کوچک، ارزان، خودمختار و با محدودیت انرژی است که به منظور نظارت عوامل مختلف در محیط پراکنده شده اند. ارتباطات در این نوع شبکه ها عموماً بصورت بی سیم و چند گامی صورت می پذیرد. ساختار شبکه های بی سیم معمولاً بصورت زیر است:

۱- گره های حسگر (مبدا)، که با نظارت بر عوامل محیطی همچون دما، رطوبت و غیره، تولید کننده اطلاعات هستند. تولید داده در این گره ها معمولاً بصورت واقعه گرا، مبتنی بر درخواست و دوره ایی صورت می گیرد.

۲- گره های حسگر میانی که ضمن اینکه کار اصلی حسگری خود را انجام می دهند، انتقال دهنده اطلاعات تولید شده در شبکه هستند.

۳- چاهک که اطلاعات تولید شده در شبکه را جمع آوری می کند، معمولاً محدودیت انرژی ندارد و بطور مستقیم یا غیر مستقیم به یک پایگاه داده متصل است [۵,۶].

## ۲-۵- ویژگی های شبکه های حسگر بی سیم

علیرغم مشکلات و محدودیت هایی که این نوع شبکه ها دارند، مزایای فراوان آنها نسبت به سیستم های نظارتی متعارف، موجب افزایش تمایل در استفاده آنها شده است. از این مزایا می توان به هزینه پایین، سهولت و سرعت پیاده سازی، پیکره بندی خودکار و مقیاس پذیری نام برد.

مهم ترین ویژگی های عمومی یک شبکه حسگر عبارت است از :

(۱) برخلاف شبکه های بی سیم سنتی، همه گره ها در شبکه های حسگر بی سیم نیازی به برقراری ارتباط مستقیم با نزدیک ترین برج کنترل قدرت یا چاهک ندارند، بلکه حسگرها می توانند به خوشه هایی

تقسیم شوند که هر خوشه یک سرخوشه انتخاب می‌کند. سرخوشه‌ها وظیفه جمع آوری اطلاعات را بر عهده دارند. جمع آوری اطلاعات به منظور کاهش اطلاعات ارسالی از گره‌ها به چاهک و در نتیجه بهبود بازده انرژی شبکه انجام می‌شود.

۲) پروتکل‌های شبکه‌ای هم‌تا به هم‌تا یک سری ارتباطات مش مانند را جهت انتقال اطلاعات بین هزاران دستگاه کوچک با استفاده از روش چند جهشی ایجاد می‌کنند. معماری انطباق پذیر مش، قابلیت تطبیق با گره‌های جدید جهت پوشش دادن یک ناحیه جغرافیایی بزرگ تر را دارا است. علاوه بر این، سیستم می‌تواند به طور خودکار از دست دادن یک گره یا حتی چند گره را جبران کند.

۳) هر حسگر موجود در شبکه دارای یک رنج حسگری است که به نقاط موجود در آن رنج احاطه کامل دارد. یکی از اهداف شبکه‌های حسگری این است که هر محل در فضای مورد نظر بایستی حداقل در رنج حسگری یک گره قرار گیرد تا شبکه قابلیت پوشش همه منطقه موردنظر را داشته باشد. یک حسگر با شعاع حسگری  $r$  را می‌توان با یک دیسک با شعاع  $r$  مدل کرد. این دیسک نقطه‌ای را که درون این شعاع قرار می‌گیرند، تحت پوشش قرار می‌دهد. بدیهی است که برای تحت پوشش قرار دادن کل منطقه این دیسک‌ها باید کل نقاط منطقه را بپوشانند.

علیرغم این که توجه زیادی به پوشش کامل منطقه توسط حسگرها می‌شود، احتمال دارد نقاطی تحت پوشش هیچ حسگری قرار نگیرد. این نقاط تحت عنوان حفره‌های پوششی نامیده می‌شوند. اگر تعدادی حسگر به علاوه یک منطقه هدف داشته باشیم، هر نقطه در منطقه باید طوری توسط حداقل  $n$  حسگر پوشش داده شود که هیچ حفره پوششی ایجاد نشود. لازم به ذکر است که مساله حفره پوششی بسته به نوع کاربرد مطرح می‌گردد. در برخی کاربردها احتیاج است که درجه بالایی از پوشش جهت داشتن دقت بیشتر داشته باشیم [۵].

## ۲-۶- چالش‌های پیش رو در شبکه‌های حسگر بی سیم

برخی از مهمترین چالش‌های پیش رو در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به شرح زیرند:

- **مدیریت انرژی:** محدود بودن انرژی مورد نیاز گره‌های حسگر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم همواره دغدغه اصلی طراحان این شبکه‌ها می‌باشد زیرا با توجه به اینکه امکان شارژ مجدد باتری گره‌ها وجود ندارد تمام شدن باتری و خاموش شدن هر یک از گره‌ها مساوی با از دست دادن آن گره در شبکه و همچنین احتمال از دست دادن چند گره دیگر که با وجود اینکه هنوز انرژی جهت فعالیت در شبکه را دارند، ولی بدلیل اینکه بواسطه این گره خاموش شده به شبکه متصل بودند ارتباط خود را با شبکه از دست می‌دهند. پس تمام شدن انرژی یک گره علاوه بر محروم شدن شبکه از آن گره ممکن است عوارضی مانند از دست دادن بخشی یا کل شبکه را به همراه داشته باشد و این لزوم مدیریت انرژی را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نشان می‌دهد.
- **مقیاس پذیری:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم باید توزیع شده و قابلیت خود پیکره‌بندی و خود تعمیرشدن را داشته باشند. بنابراین مقیاس پذیری شرط مهمی برای ادامه حیات این نوع شبکه‌ها است.
- **امنیت:** یکی از مهمترین ملاحظات در این شبکه‌ها امنیت است. ساختار توزیع شده این نوع شبکه‌ها و پراکندگی جغرافیایی آنها، نفوذ هکرها و ویروس‌ها به این نوع شبکه‌ها را آسان‌تر نموده است. لذا با در نظر گرفتن امکانات محدود از جمله پردازش و حافظه، روشی باید اتخاذ شود که کمترین سربار را بر سیستم تحمیل نماید.
- **ارتباطات:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم معمولاً در مناطق سخت، خشن و خطرناک با تغییرات دمایی بالا کار می‌کنند. به عنوان مثال شبکه‌ایی را در نظر بگیرید که به منظور پایش یک آتشفشان نیمه فعال طراحی و نصب شده است. سیستم ارتباطی این شبکه باید به نحوی باشد که در کمترین زمان ممکن انتقال اطلاعات را انجام دهد. چه بسا کوچکترین تاخیری

در ارتباط، انجام آن را کاملاً غیرممکن سازد.

- **قابلیت اطمینان:** در بسیاری از کاربردها، برای پیاده‌سازی حسگرها از هلیکوپتر و یا وسایل مشابه استفاده می‌شود، که در نتیجه ممکن است در اثر این کار و ضربه‌ایی که به حسگرها وارد می‌شود، چندین گره از بین برود و یا در کارکرد آنها اختلال ایجاد گردد. یا اینکه نوع کاربری آنها در شرایط محیطی سخت، همچون زیر اقیانوس یا بر روی سطح آن، محیط‌های آلوده شیمیایی و میکروبی، میداین جنگ و غیره باشد. گره‌های حسگر باید به گونه‌ای ساخته شوند که با شرایط محیطی که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرند، سازگار باشند. به عنوان مثال حسگرهایی که در کف اقیانوس بکار می‌روند باید تحمل فشار زیاد را داشته و ضد آب باشند. بنابراین طراحی آنها باید طوری باشد که مقاومت لازم در برابر چنین شرایطی را داشته باشد. طراحی شبکه نیز باید به شکلی باشد که خرابی یک یا چند گره وقفه‌ایی در کار کل شبکه ایجاد نکند.

- **ناهمگنی:** شبکه‌های حسگر باید قابلیت کار با دستگاه‌های حسگر بی‌سیم متفاوتی که از لحاظ قابلیت و کارایی متفاوت هستند، را داشته باشند، زیرا ممکن است درون یک شبکه با توجه به کاربرد از دو یا چند نوع حسگر مختلف استفاده شود که طبیعی است برای همکاری این دستگاه‌ها با هم، پروتکل‌های ارتباطی و الگوریتم‌های خاص مورد نیاز خواهد بود.

- **هزینه تولید:** امروزه هزینه‌های اقتصادی نقش عمده‌ای در پیاده‌سازی و گسترش شبکه‌ها ایفا می‌کنند. هرچند گره‌های حسگر به دلیل کوچکی و سادگی دارای هزینه پایینی برای تولید هستند ولی از طرفی به علت اینکه در یک شبکه حسگر ممکن است هزاران گره‌ها استفاده شود، اندکی کاهش قیمت در یکی از این حسگرها سبب کاهش بسیار کل هزینه‌های شبکه می‌گردد [۶].



## ۷-۲- عوامل موثر در کاهش مصرف انرژی

به دلیل اینکه ما خواهان شبکه‌های حسگری با طول عمر حداقل چند ماه تا یک سال هستیم، بنابراین می‌بایست میزان مصرف انرژی را در شبکه بهینه کنیم. یکی از مهمترین راه کارها، بهینه کردن انرژی مصرفی در قسمت‌های حسی و ارتباطی گره‌ها می‌باشد. از طرفی میزان پوشش و اتصالات بین گره‌ها بر روی کارایی و کیفیت شبکه تاثیر می‌گذارد. بنابراین می‌بایست این موضوع هم مورد توجه قرار گیرد [۶].

## ۸-۲- انواع روش های کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم

تاکنون روش‌های بسیار متنوعی به منظور کاهش مصرف انرژی گره‌های حسگر و در حالت کلی شبکه حسگر بی‌سیم به کار گرفته شده‌اند. در مواردی این روش‌ها بر اساس اینکه در کدام یک از لایه‌های پشته پروتکل طراحی شده‌اند، طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین روش‌های بسیاری به کاهش ارتباطات در لایه شبکه پرداخته‌اند که به آن‌ها پروتکل‌های مسیریابی اطلاق می‌گردد. بطور کلی می‌توان این روش‌ها را در سه دسته تقسیم بندی کرد [۲,۶]:

- بر مبنای دوره گردش کاری
- بر مبنای داده گرایی
- بر مبنای تحرک چاهک

### ۸-۲-۱- بر مبنای دوره گردش کاری

روش‌های بر مبنای دوره گردش کاری عمدتاً بر زیرسیستم شبکه‌ای تمرکز دارند. بطور ایده‌آل، رادیو باید به محض اینکه دیگر داده‌ای برای ارسال یا دریافت وجود ندارد، خاموش شده و به محض اینکه

بسته داده جدیدی شروع به آماده شدن کرد، فعال شود. بدین روش، گره‌ها بر اساس فعالیت شبکه، بین دوره‌های فعال و غیرفعال بطور متناوب در گذر هستند. به این رفتار اصطلاحاً دوره گردش کاری می‌گویند. در واقع دوره گردش کاری، کسری از زمان است که گره‌ها در طی طول عمر خود فعال هستند. وقتی گره‌های حسگر یک عمل اشتراکی را انجام می‌دهند، نیاز به هماهنگی زمان‌های خواب و بیداری دارند. بنابراین همراه هر روش بر مبنای دوره گردش کاری، یک الگوریتم زمان‌بندی خواب و بیداری وجود دارد. معمولاً این الگوریتم یک الگوریتم توزیع شده بوده و مبتنی بر آن است که کدام یک از گره‌های حسگر تصمیم بگیرند که چه وقت از حالت فعال (بیدار) به غیرفعال (خواب) تغییر وضعیت پیدا کنند. این الگوریتم به گره‌های همسایه امکان می‌دهد تا در آن واحد فعال شوند. بنابراین مبادله بسته‌ها را حتی وقتی گره‌ها با دوره گردش کاری پایینی کار می‌کنند، امکان‌پذیر می‌سازد.

روش‌های دوره گردش کاری خود به دو روش فرعی تقسیم می‌شوند: کنترل توپولوژی و مدیریت توان [۲,۶].

## ۲-۸-۱-۱- کنترل توپولوژی

کنترل توپولوژی، انتخاب زیرمجموعه کمینه‌ای از گره‌های شبکه است که برای نگه داشتن اتصال باید فعال باقی بمانند. بقیه گره‌ها می‌توانند به حالت خواب فرو رفته و انرژی خود را ذخیره کنند. به عبارت دیگر، کنترل توپولوژی، یافتن زیرمجموعه بهینه‌ای از گره‌ها است که اتصال را تضمین کند. در واقع ایده اصلی آن استخراج افزونگی، به منظور افزایش طول عمر شبکه است. در بسیاری از موارد، آرایش شبکه حسگر بصورت تصادفی انجام می‌شود. برای مثال، با پرتاب کردن تعداد زیادی از گره‌های حسگر از هواپیما. بنابراین، قراردادن گره‌های حسگر به تعداد بیش از حد لازم از جهت مواجهه با خرابی‌های احتمالی گره‌ها که در هنگام قرارگیری گره‌ها یا بعد از آن ممکن است رخ دهد، کار عاقلانه‌ای است. در بسیاری از موارد، قراردادن تعداد بیشتری از گره‌ها در همان ابتدا بسیار آسان‌تر از اضافه کردن گره‌های بیشتر بعد از قرارگیری است. بنابراین، آرایش افزونه، حتی وقتی گره‌ها بصورت دستی کار گذاشته

می‌شوند، کار عاقلانه‌ای است. از این رو، پروتکل‌های کنترل توپولوژی، توپولوژی شبکه‌ای را بطور پویا با نیازهای کاربرد انطباق می‌دهند تا ضمن انجام عملیات شبکه‌ای، تعداد گره‌های فعال را کمینه کنند و در نتیجه طول عمر شبکه را افزایش دهند [۲,۶].

معیارهای مختلفی برای تعیین گره‌هایی که باید فعال یا غیرفعال شوند و زمان انجام آن وجود دارد. در این خصوص، پروتکل‌های کنترل توپولوژی، به دو دسته تقسیم می‌شوند. پروتکل‌های مکان‌گرا و پروتکل‌های اتصال‌گرا. پروتکل‌های مکان‌گرا، تعیین می‌کنند که براساس محل گره‌های حسگر که دانسته فرض می‌شود، کدام گره و چه وقت باید روشن شود. پروتکل‌های اتصال‌گرا، بطور پویا گره‌های حسگر را فعال یا غیرفعال می‌سازند، به طوری که اتصال شبکه‌ای یا پوشش حسگری بطور کامل برآورده شود.

#### ۲-۸-۱-۲- مدیریت توان

مدیریت توان خود شامل دو مقوله وسیع است که بر اساس لایه معماری شبکه که در آن پیاده‌سازی می‌شود، دسته‌بندی می‌شود. پروتکل‌های مدیریت توان می‌توانند به عنوان پروتکل‌های خواب و بیدار مستقل در بالای پروتکل MAC (معمولاً در لایه شبکه یا کاربرد) پیاده‌سازی شوند یا دقیقاً با خود پروتکل MAC یکپارچه شوند. روش دوم بر اساس الگوی خاص خواب و بیداری استفاده شده در مدیریت توان، امکان بهینه‌سازی توابع دستیابی رسانه را می‌دهد. از سوی دیگر، پروتکل‌های خواب و بیداری مستقل از لایه MAC، امکان انعطاف‌پذیری بیشتری را می‌دهند، زیرا می‌توانند متناسب با نیازهای کاربرد طراحی شوند و اصولاً با هر پروتکل MAC قابل استفاده هستند [۲,۶].

#### ۲-۸-۲- بر مبنای داده‌گرایی

روش‌های دوره گردش کاری، معمولاً به داده‌ای که توسط گره‌های حسگر نمونه‌برداری می‌شود بی‌توجه هستند. از این رو، روش‌های داده‌گرا حتی می‌توانند برای افزایش بیشتر بهره‌وری انرژی به کار روند.

در واقع، حسگری داده به دو روش بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد: کاهش نمونه‌های غیرضروری و اکتساب داده با بهره‌وری انرژی.

از آنجایی که داده‌های نمونه‌برداری شده عموماً دارای همبستگی فضایی- زمانی شدیدی هستند، بنابراین، نیازی به ارسال اطلاعات افزونه (تکراری) به چاهک وجود ندارد. نمونه‌های داده غیرضروری منجر به اتلاف بیهوده انرژی می‌گردند. حتی اگر هزینه نمونه‌برداری قابل‌گذشت باشد، برقراری ارتباطات برای ارسال داده‌های تکراری باعث اتلاف انرژی می‌گردد.

همچنین در مواردی، بسته به کاربرد ممکن است مصرف زیرسیستم حسگری غیرقابل‌گذشت باشد. بنابراین مصرف انرژی زیرسیستم حسگری نیز لازم است، کاهش یابد.

برخی از روش‌های داده‌گرا به منظور کاهش میزان داده نمونه‌برداری شده همزمان با حفظ دقت حسگری در سطحی قابل قبول برای کاربرد مورد نظر، طراحی می‌شوند. هدف همه این روش‌ها، کاهش میزان داده‌ای است که باید به گره چاهک ارسال شود. هرچند، اصول‌شان با هم متفاوت است. روش‌های کاهش داده خود به سه دسته تقسیم می‌شوند [۲،۶]:

#### **الف. پردازش درون شبکه‌ای:** به معنی انجام اجتماع داده (محاسبه میانگین مقادیر) یا ترکیب

داده‌ها در گره‌های میانی بین منبع تا چاهک است. هزینه انرژی ارسال یک بیت واحد از اطلاعات، تقریباً با هزینه انرژی پردازش هزاران عملیات در یک گره حسگر معمولی برابر است. بنابراین، روش کارای دیگر برای کاهش مصرف انرژی، کمینه کردن تعداد ارتباطات است. برای انجام این کار، گره‌های میانی ممکن است چندین رویداد را در یک رویداد ادغام کرده و میزان ارسال اطلاعات و اندازه کلی داده را برای ذخیره منابع سیستم کاهش دهند. میزان کلی کاهش، عمدتاً، به مشخصات داده، نمایش‌های رویداد و کاربردها وابسته است. از آنجایی که گره‌های حسگر ممکن است داده‌های افزونه زیادی را تولید کنند، بسته‌های مشابه از چندین گره می‌توانند مجتمع شوند، به طوری که تعداد ارسال‌ها کاهش یابند [۲،۶].

#### **ب. فشرده‌سازی داده:** به منظور کاهش میزان اطلاعات ارسالی توسط گره‌های منبع و بوسیله

رمزگذاری اطلاعات در گره‌های تولیدکننده داده و رمزگشایی اطلاعات در گره‌های چاهک انجام می‌شود.

از آن جایی که، روش پردازش درون شبکه‌ای در مواردی که همه بسته‌های اصلی در گره‌های دریافت کننده مورد نیاز هستند، نمی‌تواند به کار گرفته شود، بنابراین اخیراً روش فشرده سازی داده برای کاهش ترافیک کلی در شبکه‌ها معرفی شده است. ظرفیت چندپخشی (که به عنوان نرخ بیشینه‌ای تعریف می‌شود که یک فرستنده می‌تواند اطلاعات معمول را به مجموعه‌ای از گیرندگان ارسال کند) از طریق فشرده سازی داده قابل دستیابی است، در حالی که از طریق مسیریابی در حالت کلی قابل دستیابی نمی‌باشد. ایده اصلی فشرده سازی داده، ایجاد امکان ترکیب داده‌ها ( نظیر عملگر XOR یا ترکیب خطی) در گره‌های میانی شبکه است. رمز کردن بسته‌ها در گره‌های میانی و سپس ارسال بسته‌های رمز شده بجای بسته‌های منفرد، ترافیک را بدون افزایش تاخیر کاهش می‌دهد. فشرده سازی داده می‌تواند مصرف انرژی را از طریق کاهش میزان ارسال داده، کاهش دهد [۲,۶].

**ج. پیش‌بینی داده:** به معنی نگاه انتزاعی از پدیده حس شده است. یعنی مدلی که سیر تکاملی داده را توصیف کند. این مدل، می‌تواند مقادیر حس شده توسط گره‌های حسگر را با کران‌های خطای معین، پیش‌بینی کند. این مدل هم در گره حسگر هم در چاهک قرار می‌گیرد. اگر دقت مورد نیاز ارضا شود، پرس‌وجوهای صادر شده توسط کاربران ممکن است از طریق مدل مذکور بدون نیاز به اکتساب داده‌های دقیق از گره‌ها، در چاهک مورد ارزیابی قرار گیرد. از سوی دیگر اگر این مدل به اندازه کافی دقیق نباشد، یعنی به بازیابی نمونه‌های حقیقی نیاز باشد و یا لازم باشد که مدل به‌روزرسانی شود، ارتباطات آشکاری بین گره‌های حسگر و چاهک مورد نیاز خواهد بود. در کل، پیش‌بینی داده، تعداد اطلاعات ارسال شده توسط گره‌های منبع و در نتیجه مصرف انرژی مورد نیاز برای برقراری ارتباطات را کاهش می‌دهد. ویژگی‌های روش پیش‌بینی داده به روش ساخت مدل بستگی دارند. سه روش برای ساخت مدل وجود دارد: روش‌های توصیف تصادفی، پیش‌بینی سری‌های زمانی و روش‌های الگوریتمیک [۲,۶].

۲-۸-۳- بر مبنای تحرک چاهک

در مواردی که گره‌های حسگر متحرک هستند، قابلیت تحرک می‌تواند در نهایت به عنوان ابزاری برای کاهش مصرف انرژی به کار رود. در شبکه حسگر ایستا، بسته‌هایی که از گره‌های حسگر می‌آیند، معمولاً یک مسیر چند پرشی را تا چاهک طی می‌کنند. بنابراین، برخی از مسیرها ممکن است بیش از سایر مسیرها پر شوند و گره‌های نزدیک‌تر به چاهک باید بسته‌های بیشتری را رله کنند. به طوری که بیشتر مورد تخلیه انرژی قرار می‌گیرند (که به آن اثر کیفی یا مشکل حفره می‌گویند). اگر برخی از گره‌ها (احتمالاً گره چاهک) متحرک باشند، جریان ترافیک ممکن است تغییر یابد. اگر دستگاه‌های متحرک مسئول جمع‌آوری مستقیم داده از گره‌های ایستا باشند، گره‌های معمولی (ثابت) منتظر دستگاه متحرک و عبور پیغام‌های مسیر از طریق آن می‌مانند، به طوری که برقراری ارتباط در نزدیکی هر گره (مستقیماً یا حداکثر با پیمودن چند پرش) رخ می‌دهد. در نتیجه، گره‌های معمولی در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کنند، زیرا طول مسیر، میزان درگیری و سربارهای ارسال کاهش می‌یابد [۲,۶].

## ۲-۹- مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم

امروزه دانشمندان و محققان حوزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم با چند چالش عمده مواجه‌اند که در طراحی خود، شگردها و راهکارهای نوینی را جهت مسیریابی مد نظر قرار می‌دهند. اول آنکه می‌بایست از پهنای باند بصورت بهینه جهت کمینه نمودن تاخیر ارسال بین فرستنده و گیرنده استفاده نمایند و دوم، قابلیت تحمل پذیری در برابر خطاهای پایدار، ثابت و یا زودگذر را در گره‌ها و یا اتصالات شبکه مد نظر داشته باشند. همچنین، رویکرد دیگر می‌تواند گسترش پروتکل‌های مسیریابی بر اساس تضمین ارائه سرویس مورد نیاز در جهت کاربردی خاص باشد. صاحبان صنایع و مدیران شبکه با توجه به نیازمندی و نوع کاربری و نیز موقعیت جغرافیایی خود و همچنین توجه ویژه به مدیریت توان مصرفی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم خود، می‌توانند پروتکل‌های مسیریابی متفاوتی را انتخاب و از آنها استفاده نمایند. با توجه به دیدگاه‌های مذکور و اهمیت موضوعات مطرح شده، طراحی پروتکل‌های مسیریابی به دسته بندی‌های متفاوتی با توجه به نوع کاربری، ابعاد شبکه، موقعیت جغرافیایی، کیفیت سرویس درخواستی و موارد

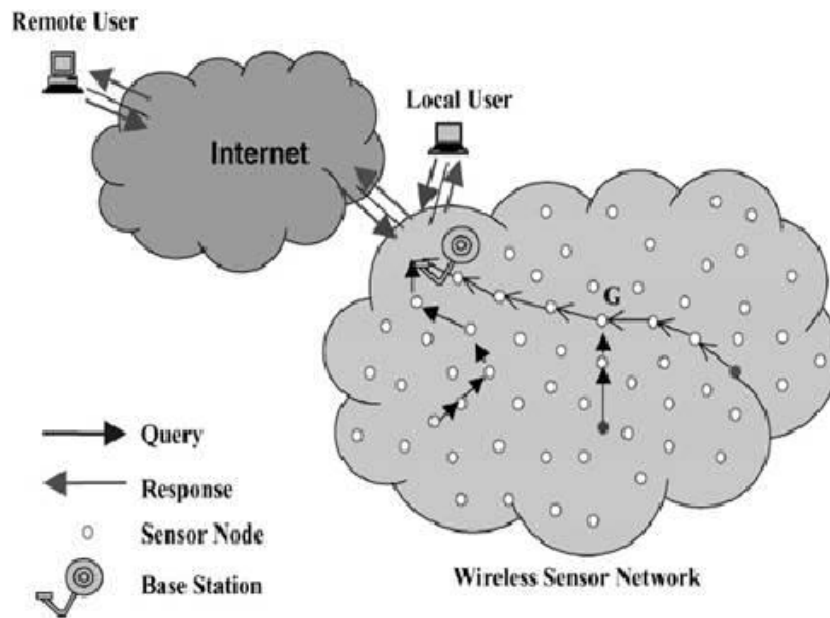
مشابه تقسیم بندی می‌شوند تا مصرف انرژی را بصورت متوازن و کمینه درآورند و از روی دیگر ترافیک شبکه را بصورت امن، با کیفیت سرویس دلخواه و کم هزینه از مبدا به مقصد با کمترین زمان ارسال کنند. روش‌های مسیریابی متفاوتی تاکنون برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده‌اند که هیچ یک از آنها نتوانسته به عنوان کاملترین و بهترین روش تحت همه شرایط عمل کند. در حقیقت با توجه به مسائلی که در مورد این شبکه‌ها گفته شد، همواره مصالحه‌ای بین عوامل مختلف در انتخاب یک روش به عنوان مسیریابی بایستی برقرار شود. در ادامه به معرفی روش‌های مختلف مسیریابی و مقایسه آنها خواهیم پرداخت [۸].

## ۲-۱۰- مفهوم مسیریابی در شبکه حسگر بی‌سیم

مسیریابی روشی است که داده‌ها و گزارش‌ها را بین چاهک و گره‌هایی که بعنوان هدف لحاظ شده است، جابه‌جا می‌کند. از یک دیدگاه می‌توان مسیریابی را به صورت روش انتقال داده بین گره‌های حسگر در نظر گرفت و از دیدگاهی دیگر، انتقال اطلاعات بین گره‌های حسگر داخل شبکه و چاهک را می‌توان به عنوان مسیریابی تعریف نمود.

یک روش بسیار ساده برای انجام این وظیفه آن است که هر گره حسگر، داده را به صورت مستقیم با چاهک مبادله کند. اما به هر حال یک روش مبتنی بر تک پرشی بسیار هزینه‌بر است. به این دلیل گره‌هایی که از چاهک دور هستند، ممکن است که ذخیره انرژی‌شان سریعتر تخلیه شود و بنابراین شدیداً طول عمر شبکه را محدود می‌کنند. این موضوع خصوصاً در مواردی که حسگرهای بی‌سیم، به منظور پوشش دادن یک منطقه جغرافیایی بزرگ، آرایش یافته‌اند و یا در مواردی که حسگرهای بی‌سیم، متحرک هستند و ممکن است که از سمت چاهک دور شوند، اهمیت پیدا می‌کند. به منظور مقابله با کمبودها و نقص‌های ناشی از روش تک پرشی، تبادل داده بین حسگرها و چاهک، معمولاً به وسیله روش‌های انتقال بسته چند پرشی و بر روی شعاع ارتباطی کوچک انجام می‌شود. چنین روش انتقال داده‌ای، منجر به صرفه‌جویی مشخصی در مصرف انرژی و کاهش چشمگیری در تداخل مخابراتی بین

گره‌های حسگری که در رقابت برای دسترسی به کانال هستند، می‌گردند. (شکل ۸-۲) انتقال داده را در بین حسگرهایی که داده در آنها جمع آوری شده و چاهک که داده به وسیله آن در دسترس کاربر قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد [۸]:



شکل ۸-۲ مسیریابی در شبکه حسگر بی سیم [۸]

در پاسخ به پرسش‌هایی که به وسیله کاربر منتشر می‌گردند و یا هنگامی که رویدادهای خاصی در داخل ناحیه‌ای که کنترل می‌شوند اتفاق می‌افتند، همان طور که در (شکل ۸-۲) می‌بینیم، داده‌هایی که به وسیله حسگرها جمع آوری شده‌اند از طریق مسیرهای چند پرشی به طرف چاهک انتقال می‌یابند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چند پرشی، گره‌های واسطه، می‌بایست در به پیش راندن بسته‌های داده بین منبع و مقصد شرکت کنند. تعیین اینکه، کدام دسته از گره‌های واسطه بایستی برای ساختن یک مسیر پیشروی داده بین منبع و مقصد انتخاب شوند، اساسی‌ترین وظیفه الگوریتم مسیریابی است. بطور کلی مسیریابی در شبکه‌های با مقیاس بزرگ، اساساً یک مسئله مشکلی است که راه حل آن، می‌بایست چالش‌های مختلفی مانند صحت و درستی، پایداری و بهینه‌گی با توجه به معیارهای عملیاتی مختلف را جوابگو باشد. خواص ذاتی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، با محدودیت‌های شدید پهنای باند و انرژی ترکیب



شده‌اند که این موضوع منجر به چالش‌های اضافی دیگری می‌شود که باید به منظور ارضاء کردن نیازمندی‌های ترافیکی کاربردهایی که تحت پوششان است، پاسخ داده شوند بطوری که طول عمر شبکه را نیز افزایش دهند [۸].

## ۲-۱۱- روش های مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم

بر اساس تفاوت‌های ذکر شده شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سایر شبکه‌ها، بسیاری از الگوریتم‌های جدید برای مشکل مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد داده شده و مطالعات مروری چندی نیز در این زمینه انجام شده است. این مکانیزم‌های مسیریابی، ویژگی‌های ذاتی شبکه‌های حسگر به همراه نیازمندی‌های ویژه کاربرد و معماری این شبکه‌ها را مورد توجه قرار داده‌اند. عمل یافتن و نگهداری مسیرها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسأله ساده‌ای نیست زیرا محدودیت‌های انرژی و تغییرات ناگهانی در وضعیت گره‌ها (مثل خرابی) باعث تغییرات مکرر و غیرقابل پیش‌بینی در ساختار توپولوژیک شبکه می‌گردد. برای کمینه کردن مصرف انرژی، روش‌های مسیریابی پیشنهاد شده از برخی از شگردهای معروف مسیریابی نظیر اجتماع داده و پردازش درون شبکه‌ای، خوشه‌بندی، اختصاص نقش‌های مختلف به گره‌ها و روش‌های داده‌محور استفاده می‌کنند. تقریباً همه پروتکل‌های مسیریابی بر طبق ساختار شبکه به سه دسته کلی قابل طبقه‌بندی هستند: مسطح، سلسله‌مراتبی یا مبتنی بر مکان [۸, ۶, ۵, ۲].

### ۲-۱۱-۱- مسیر یابی مسطح ( داده محور)

در پروتکل‌های مسیریابی مسطح شبکه‌های مسطح، معمولاً همه‌ی گره‌ها نقش یکسانی ایفا می‌کنند و برای اجرای عمل حسگری با هم مشارکت (همکاری) می‌کنند. به دلیل تعداد زیاد این گره‌ها، نمی‌توان شناسه سراسری به هر گره اختصاص داد. این ویژگی منجر به مسیریابی داده محور می‌گردد که در آن چاهک، درخواست خود را به نواحی معینی ارسال می‌کند و منتظر پاسخ گره‌های قرار گرفته در

مناطق انتخاب شده می‌ماند. از آن جایی که داده از طریق پرس‌وجوها درخواست شده است، برای مشخص کردن خصوصیات داده، نام‌گذاری مبتنی بر ویژگی ضروری است [۲,۵,۶,۸].

## ۲-۱۱-۲- مسیریابی مبتنی بر مکان

در این نوع مسیریابی، گره‌های حسگر بر حسب موقعیت‌شان مدیریت می‌شوند. فاصله بین گره‌های همسایه بر اساس قدرت سیگنال‌های ورودی تخمین زده می‌شود. مختصات نسبی گره‌های همسایه با مبادله این اطلاعات بین گره‌های همسایه بدست می‌آید. ابتدا ناحیه شبکه را به مناطقی ثابت تقسیم کرده و یک طبقه<sup>۱</sup> مجازی تشکیل می‌دهیم. درون هر منطقه، گره‌ها برای ایفای نقش‌های مختلف با هم همکاری می‌کنند. گره‌هایی که به نقطه واحدی در طبقه مربوط می‌شوند، از نظر هزینه مسیریابی بسته، معادل (هم ارز) در نظر گرفته می‌شوند. این هم‌ارزی با در حالت خواب نگه داشتن برخی از گره‌هایی که در ناحیه طبقه قرار دارند به منظور ذخیره انرژی بدست می‌آید؛ برای مثال، گره‌ها، گره حسگری را انتخاب خواهند کرد که برای دوره‌ی زمانی معینی، بیدار باقی بماند و بقیه گره‌ها به حالت خواب فرو بروند. این گره از طرف گره‌های آن منطقه، مسئول پایش و گزارش دادن داده‌ها به چاهک است [۲,۵,۶,۸].

## ۲-۱۱-۳- مسیریابی سلسله مراتبی (مبتنی بر خوشه بندی)

در روش‌های مسیریابی سلسله مراتبی (مبتنی بر خوشه بندی)، گره‌های با انرژی بیشتر می‌توانند برای پردازش و ارسال اطلاعات به کار گرفته شوند در حالی که گره‌های با انرژی کمتر برای اجرای حسگری در مجاورت هدف قابل استفاده هستند. در واقع روش سلسله‌مراتبی با ایجاد خوشه‌ها و تخصیص وظایف خاص به سرخوشه‌ها می‌تواند سهم عمده‌ای در مقیاس‌پذیری، طول عمر و بهره‌وری انرژی کلی سیستم داشته و از معماری تک‌گذرگاهی اجتناب می‌کنند. مسیریابی سلسله‌مراتبی با انجام اجتماع و

<sup>1</sup> Grade

ترکیب داده برای کاهش تعداد پیغام‌های ارسالی به چاهک، روش کارآمدی برای مصرف کمتر انرژی در یک خوشه است. مسیریابی سلسله‌مراتبی عمدتاً مسیریابی دو لایه است که یک لایه برای انتخاب سرخوشه‌ها و لایه دیگر برای مسیریابی استفاده می‌شود. هرچند، اغلب فناوری‌ها در این دسته در مورد مسیریابی نیستند، لیکن بیشتر در مورد این که چه کسی و چه وقتی باید ارسال یا پردازش یا اجتماع اطلاعات را انجام داد، اختصاص کانال و غیره صحبت می‌کنند.

روش‌های مسیریابی خوشه‌بندی بطور بالقوه موثرترین روش‌ها برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بوده و در سال‌های اخیر کاربرد بسیاری زیادی داشته‌اند. مهمترین و معروف‌ترین پروتکل از این دسته، LEACH<sup>1</sup> نام دارد. این پروتکل، الهام‌بخش توسعه بسیار از پروتکل‌های خوشه‌بندی دیگر بوده است که هر یک در رفع بخشی از اشکالات آن کوشیده‌اند [۲,۵,۶,۸].

## ۲-۱۲- پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم

پروتکل‌های شبکه‌های حسگر بی سیم بطور کلی به سه دسته عمده تقسیم بندی می‌شوند:

• فعال Proactive

• واکنشی Reactive

• ترکیبی Hybrid

استراتژی روش فعال متکی بر انتشار متناوب اطلاعات مربوط به مسیریابی به صورتیکه اطلاعات مربوط به جداول مسیریابی به صورت سازگار و درست نگهداری شوند. ساختار شبکه می‌تواند مسطح یا سلسله‌مراتبی باشد. سربار مورد نیاز برای محاسبه این مسیرها ممکن است مانعی بر سر راه الگوریتم در یک محیط به شدت متغیر باشد. مسیریاب سلسله‌مراتبی برای شبکه‌های بزرگ و ad hoc مناسب‌تر است. استراتژی مسیریابی واکنشی مسیریابی را به یک مجموعه محدودی از مقصدها ایجاد می‌کند. این

---

<sup>1</sup> Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

استراتژی‌ها اطلاعات عمومی را در ارتباط با کل گره‌های شبکه نگهداری نمی‌کنند. آنها می‌بایست به یک جست و جوی مسیر یا برای برقراری ارتباط میان مبداء و مقصد متکی باشند. این معمولاً شامل یک پرس و جوی اکتشاف مسیر به صورت سیل آسا<sup>۱</sup> با گرفتن جواب از طریق مسیر برگشت اتفاق می‌افتد.

استراتژی مسیریابی واکنشی در روشی که فرآیند پردازش سیل را برای کاهش سربار اطلاعاتی کنترل می‌کند و روشی که از آن مسیرها محاسبه و در صورت خطا دوباره محاسبه می‌شوند، متفاوت است [۸].

در ادامه باید گفت استراتژی ترکیبی متکی بر ساختار شبکه‌های امروزی برای دستیابی به پایایی و قابلیت گسترش در شبکه‌های بزرگ می‌باشد. در این استراتژی‌ها شبکه به خوشه‌های دو به دو مجاور سازماندهی می‌شوند. ساختار خوشه‌ای می‌تواند برای محدود کردن دامنه مسیریابی الگوریتم واکنشی برای تغییر در محیط شبکه استفاده شود. استراتژی مسیریابی ترکیبی می‌تواند به صورتی استفاده شود که دو گره مجاور یکی از الگوریتم مسیریابی فعال و یکی هم از الگوریتم مسیریابی واکنشی استفاده کند. در ادامه به چند نمونه از پروتکل‌های مسیریابی شناخته شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازیم.

## ۲-۱۲-۱- پروتکل LEACH

پروتکل LEACH یکی از معروف‌ترین پروتکل‌های سلسله مراتبی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. در این پروتکل زمان به قسمت‌هایی بنام دور تقسیم می‌شود. هر دور نیز به دو فاز تقسیم می‌شود. فاز اول فاز راه‌اندازی نام دارد که در واقع فاز تشکیل خوشه‌ها است و فاز دوم مربوط به عملکرد عادی شبکه است که فاز حالت پایدار نام دارد. در فاز اول بنابر یک تابع احتمال تطبیقی، سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند. انتخاب سرخوشه‌ها بدین صورت است که هر گره‌ی حسگر یک عدد بصورت تصادفی بین صفر و یک انتخاب می‌کند. اگر این عدد کوچکتر از یک آستانه‌ی تعیین شده باشد، در طول آن دور آن گره بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. این تابع احتمال طوری طراحی شده است که در ظرف تعداد مشخصی

<sup>۱</sup> Flooding

از دورها هر حسگر فقط یکبار سرخوشه شود و بدین صورت مصرف انرژی روی کل شبکه پخش شود. پس از آنکه در فاز راه اندازی هر دور، سرخوشه‌ها انتخاب شدند، هر سرخوشه انتخاب خود را بعنوان سرخوشه به سایر گره‌ها اعلام می‌کند و هر گره نیز سرخوشه مناسب برای خود را انتخاب می‌کند و این امر را به سرخوشه مربوطه اعلام می‌کند و بدین صورت خوشه‌ها شکل می‌گیرند [۲،۴،۸].

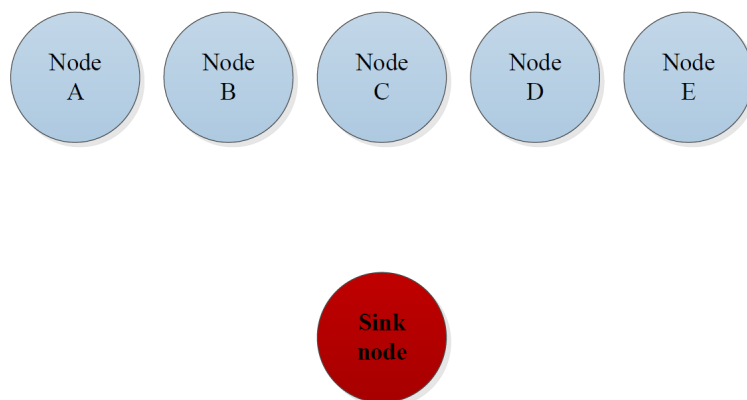
سپس هر سرخوشه برای حسگرهای خوشه‌ی خود برنامه‌ریزی زمانی انجام می‌دهد و برای هر حسگر یک برش زمانی تخصیص می‌دهد تا به واسطه آن از رخداد تصادم بین داده‌های حسگرهای هر سرخوشه جلوگیری شود. همچنین برای جلوگیری از رخداد تصادم بین داده‌های خوشه‌های مختلف، از روش طیف گسترده با توالی مستقیم استفاده می‌گردد. در فاز دوم هر حسگر داده‌ی خود را در برش زمانی خودش می‌فرستد و سرخوشه پس از دریافت همه‌ی اطلاعات همه‌ی حسگرهای موجود در خوشه-اش، آنها را ترکیب کرده و به چاهک می‌فرستد. با توجه به اینکه هر سرخوشه همه‌ی داده‌های حسگرهای موجود در خوشه را ترکیب می‌کند، در حجم داده‌های ارسالی به چاهک و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه جویی قابل توجهی بدست می‌آید.

## ۲-۱۲-۲- پروتکل Direct Diffusion

این پروتکل یکی از روش‌های مسیریابی عمومی است که ایده تجمیع ترافیک جهت حذف مسیر افزونه و یا تجهیزات برای ارسال و دریافت داده را فراهم می‌آورد. چاهک بصورت پخشی درخواستی مبنی بر مشخصات داده مورد تقاضا ارسال می‌کند. گره‌های مبدایی که در ناحیه هدف گذاری شده قرار دارند، با داده‌ای که قرار است مسیریابی شود، پاسخ می‌دهند و این داده که قرار است مسیریابی آن در یک مسیر واقع شود، بر روی لینک‌ها بصورت معکوس قرار می‌گیرد. مسیریابی‌ها می‌توانند بصورت مثبت و یا منفی جهت افزایش و یا کاهش نرخ تحویل داده، تقویت شوند [۸].

## ۲-۱۲-۳- پروتکل PEGASIS

این پروتکل گسترش یافته پروتکل LEACH است. PEGASIS<sup>1</sup> به جای تشکیل خوشه‌های متعدد، زنجیری از گره‌های حسگر تشکیل می‌دهد. که هر گره هم قابلیت اتصال به همسایه خود و هم قابلیت دریافت از همسایه خود را دارد. فقط یک گره از آن زنجیر برای انتقال به چاهک انتخاب می‌شود. داده‌های جمع آوری شده به چاهک ارسال می‌شوند در (شکل ۲-۹) می‌بینید گره C بعنوان سر زنجیره انتخاب شده است. در این شکل، گره A، یک سر زنجیره را گرفته و داده را بسمت گره B ارسال می‌کند. گره B داده گره A و داده تولید شده توسط خودش را تجمیع کرده و این داده را به سمت سر زنجیره ارسال می‌کند. بطور مشابه گره E داده را بسمت D ارسال و گره D، داده گره E و داده مربوط به خودش را جمع آوری و به گره C ارسال می‌کند.



شکل ۲-۹ پروتکل PEGASIS [۸]

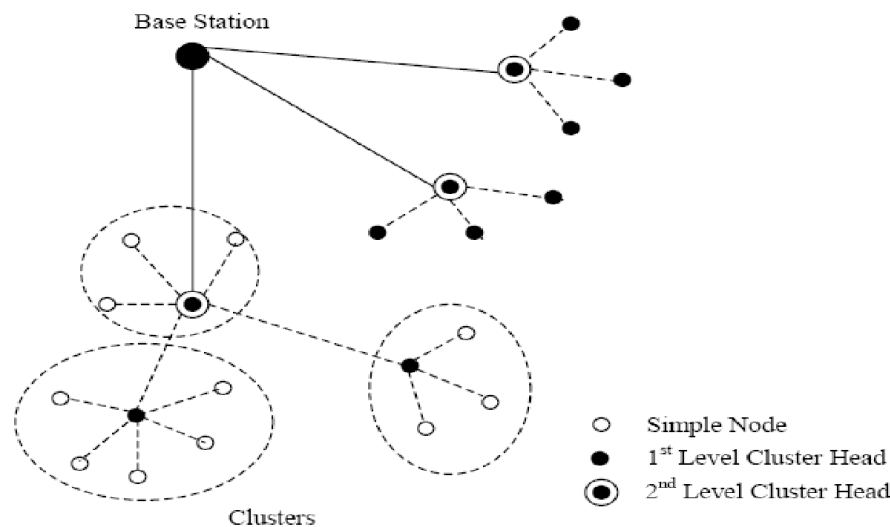
گره C داده دو همسایه خود را گرفته جمع آوری کرده و با یک پیغام به چاهک می‌فرستد. مهمترین تفاوت این الگوریتم با LEACH در این است که PEGASIS در مسیریابی از چند هاب و یک گره برای انتقال به چاهک استفاده می‌کند ولی LEACH از چند گره و یک هاب استفاده می‌کند [۵,۸].

## ۲-۱۲-۴ پروتکل TEEN

این پروتکل از الگوریتم خوشه بندی همچون LEACH استفاده می‌کند، این پروتکل برای شرایطی

<sup>1</sup> Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems

طراحی شده است که قرار است تغییرات ناگهانی در پارامتر در حال اندازه‌گیری، سریع گزارش شود. در این کاربردها، شبکه دائماً در شرایط فعال نیست بلکه وقتی تغییر مورد نظر حاصل شود، به چاهک گزارش داده می‌شود<sup>1</sup> TEEN یک پروتکل سلسله مراتبی است اما در آن از ترفندهای پروتکل‌های داده محور نیز استفاده شده است عملکرد این پروتکل بدین صورت است که حسگرهایی که نزدیک هم هستند با هم یک خوشه تشکیل می‌دهند و این کار یک مرحله‌ی دیگر نیز ادامه پیدا می‌کند و در نهایت به چاهک می‌رسد. این کار در (شکل ۲-۱۰) نشان داده شده است [۵,۸].



شکل ۲-۱۰ پروتکل TEEN [۵]

بعد از این که خوشه‌ها تشکیل شدند سرخوشه‌ها دو آستانه را به همه حسگرها می‌فرستند اسامی این آستانه‌ها، آستانه نرم و آستانه سخت می‌باشند. آستانه‌ی سخت در واقع مقداری از پارامتر در حال اندازه‌گیری است که اگر مقدار بدست آمده از یک حسگر از این آستانه بیشتر باشد، مقدار بدست آمده گزارش می‌شود، ولی اگر کمتر باشد دیگر این اتفاق نمی‌افتد. در واقع این آستانه باعث می‌شود که هر وقت مقدار پارامتر در محدوده دلخواه است گزارش شود و بدین صورت از حجم داده‌های ارسالی تا حد زیادی کاسته می‌شود. اما آستانه‌ی نرم مقداری از پارامتر در حال اندازه‌گیری است که هر وقت مقدار بدست آمده زیر آستانه سخت باشد اما اختلاف پارامتر اندازه‌گیری شده با نمونه‌ی قبلی بیش از این مقدار

<sup>1</sup> ARouting Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks

باشد، حسگر باز هم مقدار پارامتر را گزارش می‌کند. وجود آستانه‌ی نرم نیز باعث کاهش داده‌های ارسالی می‌شود. با تنظیم سطوح آستانه‌ی نرم و سخت می‌توان حجم داده‌های ارسالی به چاهک را تنظیم کرد برای ارسال داده‌ها به چاهک هر حسگر داده خود را به سرخوشه مرحله اول می‌فرستد سرخوشه مرحله اول نیز آن را به سرخوشه مرحله دوم می‌فرستد و در نهایت به چاهک فرستاده می‌شود. این پروتکل (TEEN) در کاربردهایی مناسب است که اطلاعات دائماً مورد نیاز نبوده و هر وقت اتفاق خاصی در شبکه رخ داد گزارش شود [۵,۸].

## ۲-۱۲-۵- پروتکل TTDD

پروتکل TTDD<sup>۱</sup> (انتشار دو لایه‌ای داده) زمانی استفاده می‌شود که بیش از یک گره چاهک در شبکه وجود داشته باشد یا اینکه گره چاهک در شبکه متحرک باشد. هنگامی که گره‌های متعدد وقایع را شناسایی می‌کنند، یک گره به عنوان گره منبع برای ارسال داده انتخاب می‌شود. گره منبع خود را به عنوان نقطه تقاطع طبقه<sup>۲</sup> برای ساخت یک شبکه طبقه‌ای قرار می‌دهد، فرآیند به این شرح است که ابتدا گره منبع محاسبه مکان نقطه‌های تقاطع مجاور را محاسبه کرده، به نزدیک‌ترین گره درخواست می‌دهد که به یک نقطه تقاطع جدید با استفاده از الگوریتم حریصانه تبدیل شود، نقطه تقاطع جدید این روند را تا منقضی شدن درخواست و یا رسیدن به لبه شبکه همچنان ادامه می‌دهد. نقطه تقاطع رویداد و اطلاعات گره منبع را ذخیره می‌کند. گره چاهک از روش پرس و جوی جاری برای درخواست دادن به نزدیکترین گره تقاطع استفاده کرده، سپس درخواست پرس و جو به نقطه تقاطع منتقل شده، و در نهایت گره منبع درخواست پرس و جو را دریافت کرده، داده به گره چاهک باز گردانده می‌شود. گره چاهک می‌تواند در حال انتظار برای داده‌ها به حرکت ادامه داده، و با استفاده از مکانیسم‌های عامل، انتقال داده قابل اطمینانی را تضمین کند. پروتکل از یک مسیر واحد استفاده کرده، و طول عمر شبکه را در مقایسه با پروتکل Diffusion ارتقاء می‌دهد. اما گره باید مکان خود را بداند، تراکم گره بالا است و موقعیت گره

<sup>۱</sup> Two-Tier Data Dissemination

<sup>۲</sup> Grade



مشترک نمی‌تواند تغییر کند، و ساختار زیر شبکه پیچیده است، و هزینه محاسبات و نگهداری در طبقه بزرگتر است [۸].

## ۲-۱۳- مسیر یابی آگاه از انرژی در شبکه های حسگر بی سیم

از آنجا که کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، به شدت به طول عمر شبکه و پوشش شبکه‌ای آن وابسته است، پروتکل‌های ارائه شده در این نوع شبکه‌ها، باید افزایش طول عمر شبکه را مورد توجه قرار دهند. تعاریف مختلفی برای طول عمر یک شبکه حسگر وجود دارد که برخی از مهم‌ترین آنها عبارتند از: بازه‌ی زمانی از ابتدای شروع فعالیت شبکه تا زمانی که (۱) شبکه بدلیل اتمام انرژی یک یا چند گره به شبکه‌ای غیر متصل تبدیل شود، (۲) انرژی درصد مشخصی از گره‌ها به اتمام رسد، (۳) انرژی اولین گره در شبکه به اتمام رسد. البته در اکثر مقالات و پژوهش‌هایی که در زمینه طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم انجام گرفته تعریف سوم جهت ارزیابی پروتکل‌ها ملاک عمل قرار گرفته است و در این پایان نامه نیز تعریف سوم جهت ارزیابی پروتکل پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت افزایش طول عمر شبکه، باید دو معیار کاهش مصرف انرژی و توزیع صحیح مصرف انرژی بین گره‌های حسگر را مدنظر قرار داد. از آنجا که پروتکل‌های مسیریابی، کارایی شبکه را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهند، نیاز به ارائه الگوریتم‌های مسیریابی انرژی آگاه برای افزایش طول عمر شبکه از طریق برقراری توازن مناسب بین دو معیار ذکر شده، به خوبی احساس می‌شود [۱].

## ۲-۱۳-۱- پروتکل های مسیریابی آگاه از انرژی

این پروتکل‌ها از خانواده پروتکل‌های داده محور هستند، ممکن است بین گره مبداء و مقصد مسیرهای مختلفی وجود داشته باشد و هر مسیری از نظر میزان مصرف انرژی با مسیر دیگر متفاوت است. در این پروتکل‌ها یک تابع احتمال تولید می‌شود و از مسیرهای موجود بر اساس تابع یکی از

مسیرها را انتخاب می‌کند.

آنچه اهمیت دارد طول عمر شبکه است اگر همیشه مسیری که انرژی کمی مصرف می‌کند را انتخاب کنیم و داده‌ها را از آن مسیر بفرستیم آن مسیر زودتر از بقیه مسیرها از بین می‌رود. بنابراین ارسال داده‌ها از مسیری که حداقل انرژی را دارد خوب نیست. روش مناسب این است که ترافیک را در بین مسیرها تقسیم کنیم که باعث بقای شبکه شود.

پروتکل‌های آگاه از انرژی از مسیرهایی که کاملاً بهینه نیستند ولی قابل قبول هستند استفاده می‌کنند. با یک تابع احتمال بین چند مسیری که وجود دارد یکی از آنها را انتخاب می‌کند و داده‌هایش را از آن مسیر ارسال می‌کند. این تکنیک موجب افزایش طول عمر شبکه خواهد شد.

## ۲-۱۴- مسیر یابی چند گانه

مسیریابی چندگانه برای اهداف مدیریتی و کنترلی متنوعی در شبکه‌های مختلف به کار گرفته شده است. با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی چندگانه می‌توان مشکلات ناشی از تغییرات مداوم در توپولوژی و لینک‌های نامطمئن را حل کرد. اما میزان بهبود پارامترهای کیفیت خدمات، وابسته به توانایی پروتکل مسیریابی چندگانه در شناسایی مسیرهای مجزا می‌باشد [۷].

## ۲-۱۵- مزایای روش‌های مسیریابی چند گانه

(۱) بهبود قابلیت اطمینان و تحمل پذیری در مقابل خرابی: از آنجا که توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم به طور مداوم در حال تغییر می‌باشد و تداخلات امواج رادیویی نیز باعث گم شدن تعداد زیادی از بسته‌ها می‌شوند، تضمین قابلیت اطمینان در این شبکه‌ها بسیار مشکل است. گروهی از پروتکل‌های مسیریابی چندگانه، قابلیت اطمینان و تحمل پذیری در مقابل خرابی‌ها را با ارسال چندین کپی از داده‌ها بر روی چندین مسیر مجزا بهبود می‌بخشند. اگرچه این

روش میزان توان مصرفی را افزایش می‌دهد، اما در هنگام خرابی لینک‌ها احتمال گم شدن داده‌ها کاهش خواهد یافت. برای حل این مشکل روش‌های مختلفی در جهت کاهش سربار حاصل از ارسال داده‌ها ارائه شده است. دسته‌ی دیگری از پروتکل‌ها در هر لحظه تنها از یک مسیر برای انتقال داده‌ها استفاده می‌کنند و در صورت خرابی مسیر اصلی، داده‌ها را از طریق مسیر پشتیبان ارسال خواهند کرد. به این ترتیب احتمال گم شدن داده‌ها در اثر خرابی مسیر کاهش می‌یابد [۷].

۲) توزیع متعادل بار : با توجه به کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انتظار می‌رود یک شبکه در دراز مدت به عملیات خود ادامه دهد. بنابراین با توجه به منابع انرژی محدود در هر گره، تمرکز اصلی پروتکل‌های مسیریابی چندگانه بر روی جنبه‌های توزیع متعادل بار می‌باشد. طرح‌های مسیریابی متعارف، همواره از مجموعه گره‌های خاصی برای ارسال بسته‌ها به سمت چاهک استفاده می‌کنند. مشاهده می‌شود که در این گونه موارد، انرژی گره‌هایی که پیوسته در حال ارسال داده‌ها به سمت چاهک هستند سریع‌تر از انرژی سایر گره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین گره‌های موجود در همسایگی گره‌های مسیر بهینه، پس از گذشت مدت کوتاهی قابل دسترسی نخواهد بود. اگر میزان انرژی مصرفی در تمامی گره‌های موجود در شبکه یکسان باشد میانگین زمان خرابی هر گره افزایش یافته و به این ترتیب طول عمر شبکه افزایش خواهد یافت. بنابراین با توجه به اینکه پروتکل‌های مسیریابی چندگانه ترافیک شبکه را بر اساس میزان انرژی باقی مانده در هر گره بین گره‌های موجود در شبکه تقسیم می‌کنند، می‌توان از این تکنیک برای استفاده یکسان از انرژی موجود در تمامی گره‌های شبکه استفاده کرد [۷].

۳) افزایش میزان پهنای باند : با تقسیم کردن داده‌های ارسالی مربوط به یک مقصد به چندین جریان داده‌ای که هر کدام از طریق مسیری متفاوت به سمت مقصد ارسال می‌شوند، پهنای باند لازم فراهم خواهد شد. این روش زمانی سودمند است که یک گره دارای چندین لینک با

پهنای باند پایین بوده اما نیازمند پهنای باندی فراتر از پهنای باند هر کدام از لینک‌هایش باشد. ضمن اینکه با ایجاد پهنای باند بیشتر، تاخیر انتها به انتها نیز به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. این امر در شبکه‌های سیمی که در آنها مسیرهای مختلف کاملاً از یکدیگر مجزا می‌باشند به وضوح قابل مشاهده است. اما در شبکه‌های حسگر بی‌سیم وجود کانال‌های بی‌سیم اشتراکی دستیابی به این هدف را با مشکل مواجه می‌سازد. هنگامی که گره‌های موجود در شبکه، یک کانال بی‌سیم را به اشتراک می‌گذارند و از پروتکل‌های دسترسی به رسانه برای هماهنگی دسترسی به کانال اشتراکی استفاده می‌کنند، فعالیت‌های ارتباطی بین لینک‌های مختلف، مستقل از یکدیگر نخواهند بود. در شبکه‌هایی که از یک کانال اشتراکی استفاده می‌شود، مسیرهای گره مجزا عدم وابستگی مسیرها به یکدیگر را تضمین نمی‌کنند این مشکل در شبکه‌های بی‌سیم تزویج مسیرها نامیده می‌شود. تزویج مسیرها زمانی به وجود می‌آید که مسیرها در نزدیکی یکدیگر قرار گرفته باشند. الگوریتم‌های مسیریابی چندگانه‌ای که هنگام انتخاب مسیرها میزان تداخلات رادیویی بین آن‌ها را در نظر نمی‌گیرند بهینه‌سازی بسیار ناچیزی را نسبت به الگوریتم‌های تک مسیری ارائه می‌دهند. محققان این مشکل را با تعریف فاکتور وابستگی تا حدودی حل نموده‌اند. در این روش، فاکتور وابستگی دو مسیر گره مجزا بر اساس تعداد لینک‌های متصل کننده دو مسیر تعریف می‌شود به این ترتیب، پروتکل مسیریابی چندگانه مسیریابی را انتخاب می‌کند که فاکتور وابستگی کمتری داشته باشند همین امر احتمال تداخل داده‌های در حال انتقال روی مسیرهای مختلف را کاهش می‌دهد محققان تزویج مسیرها را به وسیله ایجاد تغییراتی در لایه اتصال داده و یا لایه فیزیکی (مانند استفاده از چندین کانال مختلف برای انتقال داده‌ها و یا آنتن‌های جهت‌دار) کاهش داده‌اند [۷].

(۴) کاهش تاخیر : نتایج شبیه سازی بسیاری از پروتکل‌های مسیریابی چندگانه، کاهش تاخیر و افزایش گذردهی قابل توجهی را نشان داده‌اند. اگر شبکه‌های حسگر بی‌سیم از الگوریتم‌های

مسیریابی تک مسیری برای انتقال داده‌ها استفاده کنند، در صورت خرابی مسیر اصلی، فرآیند شناسایی مسیر، مجدداً راه اندازی خواهد شد. همین امر باعث ایجاد تاخیر در انتقال داده‌ها می‌شود، این تاخیرها را می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی چندگانه کاهش داد. به اینصورت که اگر هر گره چندین مسیر به سمت مقصد داشته باشد هنگام خراب شدن مسیر فعال می‌تواند سریعاً داده‌ها را به وسیله‌ی مسیر دیگری ارسال کند. بنابراین علاوه بر این که تاخیرها را کاهش می‌دهد از گم شدن بسته‌ها نیز تا حد امکان جلوگیری خواهد شد [۷].

## ۲-۱۶- جمع بندی

در این فصل به معرفی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و بیان کاربردها و مزایای مختلف استفاده از این شبکه‌ها در زندگی امروز پرداختیم. و سپس ساختار کلی این نوع شبکه‌ها و اجزای اصلی تشکیل دهنده آنها را بیان نمودیم و در ادامه موانع و مشکلاتی موجود در سر راه استفاده و انتشار این نوع شبکه‌ها را برشمردیم و با توجه به تحقیقات گسترده انجام شده در خصوص بسط استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مهمترین و اساسی ترین مشکل پیش روی این شبکه‌ها را مشکل مصرف انرژی در حسگرها و تمام شدن باتری آنها بوده و راه حل‌های گوناگونی در خصوص کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر این شبکه‌ها از سوی محققان مطرح شده است و یکی از مهمترین راه حل‌های موجود، تغییرات در نحوه مسیریابی بین گره‌های شبکه برای انتقال اطلاعات به سمت چاهک می‌باشد و در این خصوص پروتکل‌ها و الگوریتم‌های متنوعی ارائه گردیده است که بسیاری از آنها نیز کارساز بوده است و بیشترین این الگوریتم‌ها بر پایه استفاده از خوشه‌بندی بین گره‌ها در شبکه می‌باشد و روش‌های مختلف خوشه بندی را بیان می‌کند که در این فصل به معرفی چندین پروتکل مطرح در زمینه مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداختیم که این پروتکل‌ها معمولاً اساس کار محققان در ارائه روش‌های جدید می‌باشد که با تغییرات و ترکیب این الگوریتم‌ها به الگوریتم‌های جدید و کارا تر دست می‌یابند و سپس به معرفی الگوریتم‌های آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداختیم که موضوع اصلی این پایان نامه است و

مسیریابی چندگانه و مزایایی استفاده از این الگوریتم‌ها معرفی گردید. و نتیجه اینکه یکی از راه‌حل‌های خوب و موثر در کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده از الگوریتم‌های آگاه از انرژی می‌باشد که با استفاده از توابع احتمال و توابع هزینه موجود در این الگوریتم‌ها بهترین مسیر جهت انتقال اطلاعات از مبدا به سمت چاهک انتخاب می‌شود و می‌توان با استفاده از پایه و اساس این الگوریتم‌ها در الگوریتم‌های دیگر و استفاده از مزایایی آنها به الگوریتم‌های بهینه‌تر در مصرف انرژی دست یافت.

# فصل سوم: پروتکل جدید پیشنهادی

### ۳-۱- مقدمه

پروتکل‌های مسیریابی EAR و PGR دو نمونه از موثرترین پروتکل‌های آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند. در این فصل، یک پروتکل جدید با استفاده ترکیبی از این دو الگوریتم ارائه می‌شود. و این پروتکل جدید با استفاده از مزایای روش‌های ارسال و دریافت اطلاعات که الگوریتم‌های EAR و PGR از آنها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌کنند یک تابع احتمال جدید جهت مسیریابی بین گره‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه خواهد داد. و این تابع احتمال جدید در انتخاب گره‌های مسیر تا چاهک، بهینه‌تر از هر دوی این الگوریتم‌ها عمل نموده و معایب آنها را پوشش می‌دهد و باعث بالا رفتن طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی خواهد شد. در ادامه این فصل به معرفی الگوریتم‌های EAR و PGR و تشریح مراحل پروتکل جدید و تفاوت‌های آن با دو الگوریتم مرتبط که این تابع احتمال از آنها استخراج شده خواهیم پرداخت.

### ۳-۲- پروتکل EAR

در این روش از یک سری مسیرهای زیر بهینه جهت افزایش طول عمر شبکه استفاده می‌شود. این مسیرها به واسطه‌ی یک تابع احتمال، که به مصرف انرژی در آن مسیرها بستگی دارد، انتخاب می‌شوند. مهمترین پارامتری که در طراحی این پروتکل مدنظر گرفته شده است بقای شبکه می‌باشد. نظر به اینکه استفاده‌ی دائمی از مسیری که کمترین انرژی در آن تلف می‌شود باعث تخلیه‌ی انرژی حسگرهای موجود



در آن مسیر می‌شود، در این روش به جای استفاده از مسیر بهینه، چند مسیر زیر بهینه در نظر گرفته می‌شوند که با استفاده از یک تابع احتمال فقط یکی از آنها انتخاب شده و برای مدتی از آن مسیر استفاده می‌شود ( نمودار ۳-۱). این پروتکل از سه فاز تشکیل شده است [۲۲]:

(۱) فاز راه اندازی : در این فاز هر گره‌ای با ارسال یک پیام سیل‌آسا، همسایه‌اش را پیدا می‌کند و جدول مسیریابی‌اش را می‌سازد. این فاز برای ساختن جدول مسیریابی تابع هزینه را محاسبه می‌کند، هزینه استفاده از یک کانال ارتباطی را بوسیله معادلات زیر محاسبه می‌کنند:

$$\text{linkcost}(i,j) = e_s(i) + e_r(j) \quad (۱-۳)$$

$$e_s(i) = \epsilon_1 d_{ij}^2 + \epsilon_2 \quad (۲-۳)$$

$$e_r(j) = \epsilon_3 \quad (۳-۳)$$

در این معادلات  $\text{linkcost}(i,j)$  به عنوان میزان انرژی مصرف شده برای ارسال یک واحد داده از گره  $i$  به گره  $j$  تعریف شده است.  $e_s(i)$  انرژی مصرف شده توسط گره  $i$  فرستنده برای ارسال یک واحد داده به گره  $j$  گیرنده می‌باشد. این مقدار متناسب با مربع فاصله بین گره فرستنده  $i$  و گره گیرنده  $j$  است.  $e_r(j)$  انرژی مصرف شده توسط گره  $j$  به منظور دریافت یک واحد داده است. شایان ذکر است که این مصرف انرژی ثابت است.  $\epsilon_1, \epsilon_2$  و  $\epsilon_3$  پارامترهای ثابتی هستند که مشخصه مدار ارسال و دریافت گره حسگر می‌باشند. با استفاده از مسیری که در آن جمع هزینه‌های همه لینک‌ها حداقل است، کل مصرف برق شبکه حسگر بی‌سیم را می‌توان به حداقل رساند. تعریفی که از  $\text{linkcost}(i,j)$  مطرح شده با موفقیت انرژی کل شبکه را کاهش می‌دهد. این در حالی است که رفتار  $\text{linkcost}(i,j)$  باعث مصرف سریع انرژی برخی از گره‌ها می‌شود. الگوریتم دیگری نیز جهت محاسبه  $\text{linkcost}(i,j)$  وجود دارد که بصورت زیر می‌باشد:

$$\text{linkcost}(i,j)_{\text{new}} = \text{linkcost}(i,j) / E_j^n \quad (۴-۳)$$

از طریق انرژی باقیمانده گره فرستنده در مخرج کسر، امکان انتخاب شدن آن به عنوان گره رله با توجه به انرژی باقیمانده‌اش انجام می‌شود. به این دلیل که انرژی گره‌های خاصی به

سرعت به پایان نرسد. بنابراین مصرف انرژی بین گره‌ها به طور یکنواخت توزیع می‌شود، در عین حال که مصرف انرژی کل شبکه به حداقل می‌رسد [۲۲].

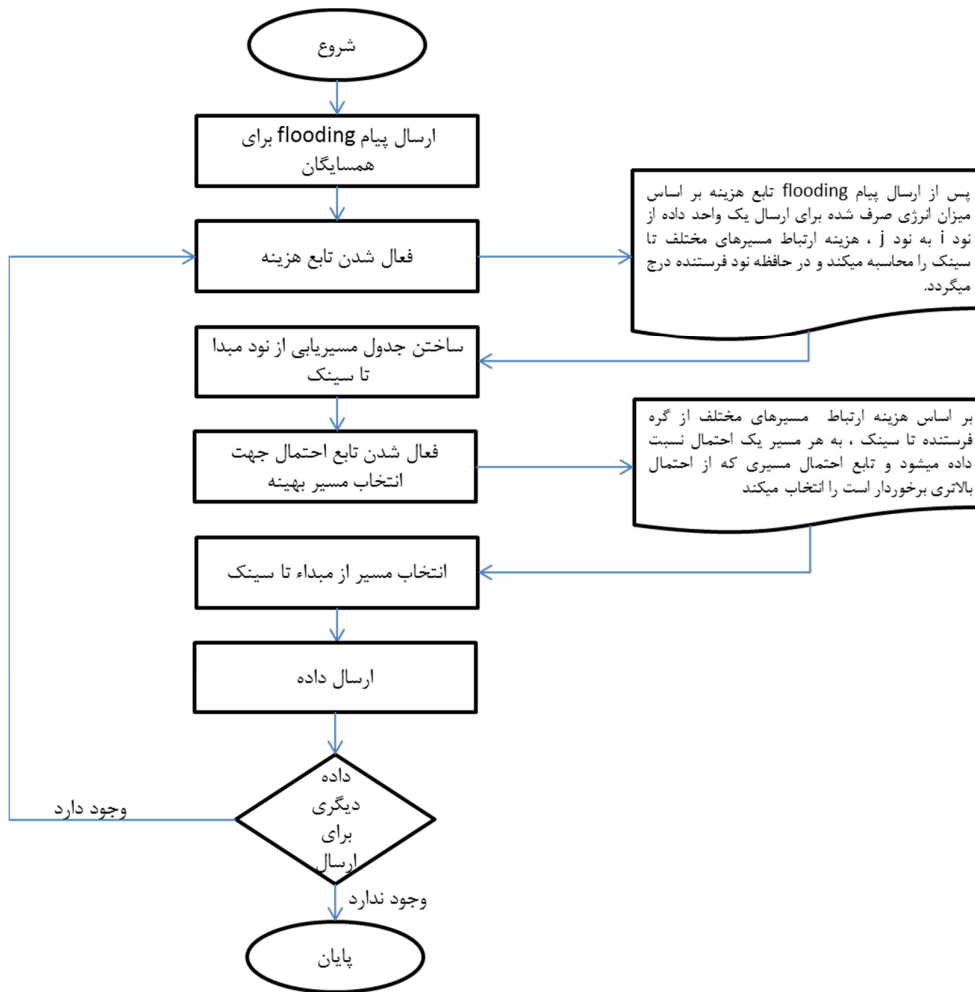
با استفاده از تابع linkcost مسیرهایی که هزینه بسیار بالای داشته باشند در نظر گرفته نمی‌شود. در این روش انتخاب حسگرها بر مبنای نزدیکی آنها به مقصد می‌باشد، هر حسگر به هر یک از همسایه‌های خود که در جدول ارسال آن وجود دارد، یک احتمال نسبت می‌دهد این احتمال که با معکوس هزینه رابطه مستقیم دارد به صورت زیر بدست می‌آید:

$$P_{i,j} = \frac{\frac{1}{\text{linkcost}(i,j)}}{\sum_{k \in FT_j} \frac{1}{\text{linkcost}(i,j)}} \quad (5-3)$$

۲) فاز ارسال داده‌ها : در این فاز هر گره بسته‌هایی را که دریافت کرده بر اساس جدول مسیریابی و با توجه به احتمال اختصاص داده شده به آن همسایه می‌فرستد.

۳) فاز نگهداری مسیر : لازم است مسیرهایش را مرتب چک کند و دائماً آنها را زنده نگه دارد که مسیرها از کار نیفتند.

این پروتکل با پروتکل انتشارمستقیم در نحوه‌ی پیدا کردن مسیرها از چاهک تا حسگرها مشترک است. در انتشارمستقیم از بین چند مسیر، تنها مسیری انتخاب می‌شود که نرخ داده بیشتری بواسطه آن دریافت می‌شود. اما در EAR مسیر انتخابی بواسطه تابع احتمال برگزیده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌هایی که در کارهای دیگران انجام شده حاکی از آن است که EAR، ۲۱/۵٪ در مصرف انرژی و ۴۴٪ در افزایش طول عمر شبکه نسبت به انتشارمستقیم بهتر عمل می‌کند. از طرفی EAR مثل انتشارمستقیم وقتی مسیر انتخاب شده به هر دلیلی از کار می‌افتد، دچار مشکل نمی‌شود زیرا علاوه بر مسیر اصلی مسیرهای دیگری را نیز در اختیار دارد [۲۲].



نمودار ۳-۱ فلوجارت الگوریتم EAR

### ۳-۳ پروتکل PGR

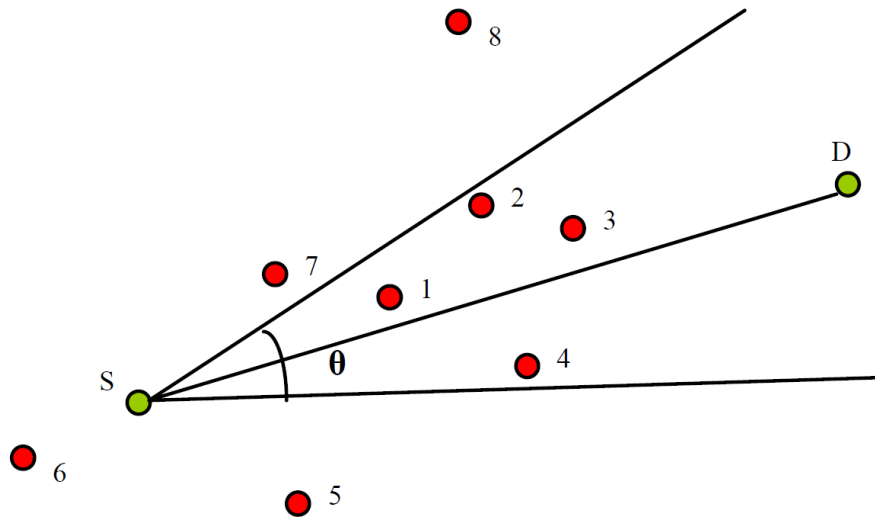
پروتکل PGR با استفاده از اطلاعات موقعیتی و انرژی گره‌ها، مسیری مناسب به سمت مقصد ایجاد می‌کند. در PGR فرض می‌شود هر گره، موقعیت مقصد را می‌شناسد. در ابتدا گره‌های همسایه، اطلاعات خود را با یکدیگر ردوبدل می‌کنند که از این طریق هر گره لیستی از همسایگان، موقعیت آنها و نیز قدرت ارتباطی با آنها را بدست می‌آورد. برای ارسال اطلاعات به مقصد، گره مبدا لیست همسایگانی را که در زاویه  $\theta$  نسبت به خود و مقصد قرار می‌گیرند تعیین می‌کند. بعنوان مثال در (شکل ۳-۱) گره S بعنوان منبع و گره D بعنوان مقصد فرض شده است و گره‌های ۱ تا ۸ نیز در همسایگی S قرار دارند. وقتی که S

بخواهد یک بسته داده را به سمت D ارسال نماید باید در وحله اول بسته را به یکی از ۸ گره همسایه، که در جدول مسیریابی خود دارد ارسال نماید. برای اینکار ابتدا S یک زاویه  $\theta$  نسبت به خود و مقصد در نظر می‌گیرد. این زاویه باید به گونه‌ای باشد که حداقل دو همسایه S در آن قرار داشته باشند و اگر دو همسایه در آن نبودند باید مقدار  $\theta$  را آنقدر زیاد کنیم که حداقل دو همسایه در آن بگنجد و این زیاد کردن زاویه نباید از ۱۸۰ درجه تجاوز کند چون اگر  $\theta$  بیشتر از ۱۸۰ درجه در نظر گرفته شود احتمال دارد بسته به جای اینکه به طرف مقصد هدایت گردد در مسیر عقب ارسال شده و از مقصد دور گردد. حال ما فرض می‌کنیم که S قادر به پیدا کردن حداقل دو همسایه در زاویه  $\theta$  باشد و در (شکل ۳-۱) مشاهده می‌کنید که گره‌های ۱ تا ۴ در این زاویه قرار دارند. این چهار گره نامزد دریافت بسته از S می‌باشند. پس از مشخص شدن این همسایگان بر اساس میزان انرژی و قابلیت اطمینان گره‌ها، به هر یک از گره‌ها احتمالی نسبت داده می‌شود. سپس گره مبداء بر اساس احتمالات منتسب شده یک گره را برای ارسال بسته داده انتخاب می‌کند (نمودار ۳-۲). گره انتخاب شده نیز بر همین اساس، همسایه بعدی را برمی‌گزیند، این فرآیند تا زمانی که بسته به مقصد نهایی خود برسد ادامه پیدا می‌کند [۲۳].

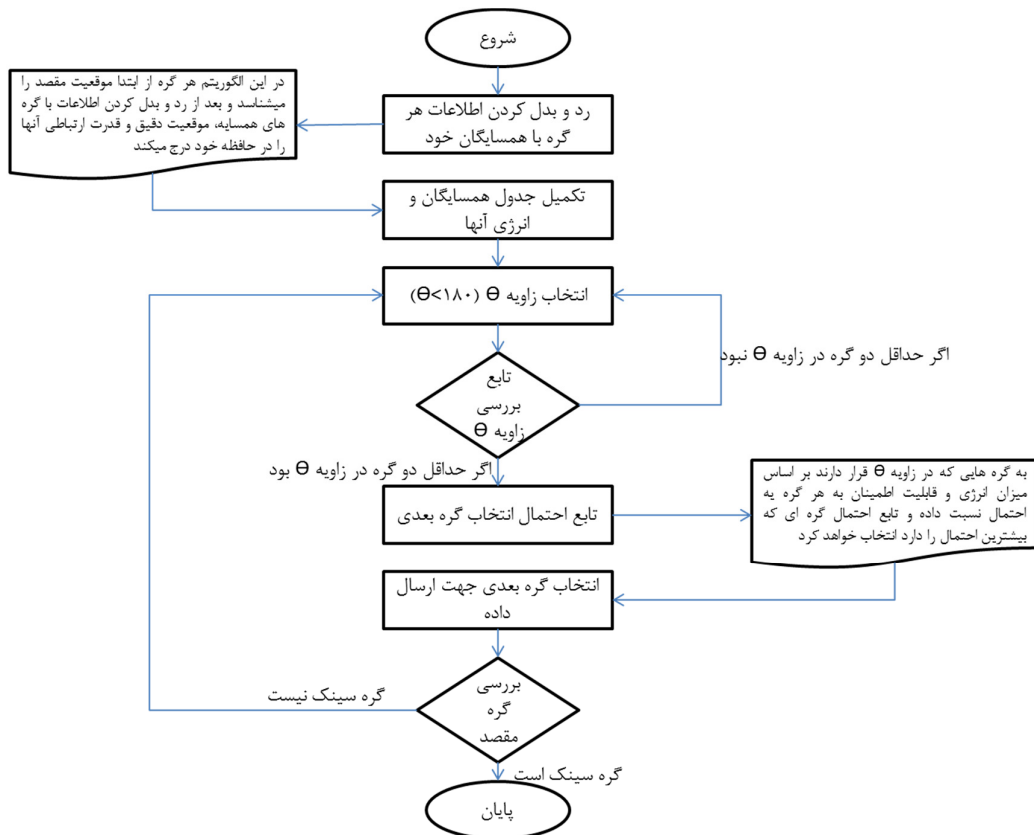
تابع احتمال الگوریتم PGR بصورت رابطه زیر می‌باشد:

$$P(j) = E_{res}(j) / R(j) \quad (۳-۶)$$

در رابطه بالا  $E_{res}(j)$  انرژی باقیمانده گره j است و  $R(j)$  تعداد ارسال داده‌های دیگر می‌باشد که در مسیر ارسال آنها به چاهک از گره j استفاده شده است. تابع احتمال برای هر یک از گره‌هایی که در زاویه  $\theta$  قرار دارند محاسبه می‌گردد و داده به گره‌ای که بیشترین احتمال را دارا باشد ارسال می‌شود و در مرحله بعد مجدداً برای گره‌ای که داده به آن ارسال شده زاویه  $\theta$  در نظر گرفته می‌شود و باز مجدداً برای گره‌هایی که در این زاویه قرار دارند تابع احتمال عمل نموده و به همین گونه فرآیند ادامه می‌یابد تا داده به چاهک برسد [۲۳].



شکل ۳-۱ پروتکل PGR [۲۳]



نمودار ۳-۲ فلوجارت الگوریتم PGR

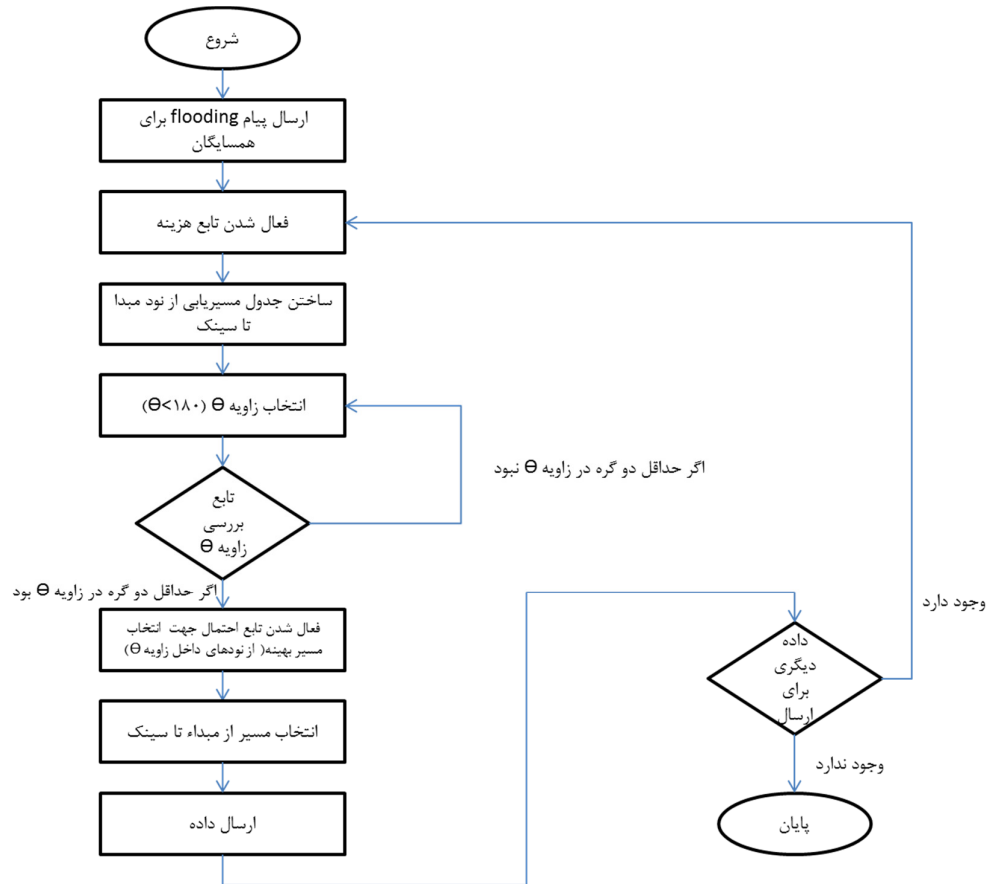
### ۳-۴- پروتکل پیشنهادی

منطق کلی پروتکل پیشنهادی به این صورت خواهد بود که با استفاده از تابع احتمال EAR ابتدا مسیر کلی بین گره مبدا و گره چاهک را مشخص کنیم و در ادامه با استفاده از پروتکل PGR قدرت انتخاب به گره‌های مسیر EAR می‌دهیم. به این صورت که اگر گره‌ای در مسیر EAR دچار مشکل شد از گره‌های همسایه آن جهت ارسال بسته استفاده خواهد کرد و دوباره بعد از چند گره سعی می‌شود که بسته به مسیر EAR برگردد یا بسته نزدیک به آن مسیر حرکت کند بطور خلاصه می‌توان گفت که بجای استفاده از چند گره مشخص در یک مسیر با استفاده از پروتکل EAR از همسایه‌های نزدیک به این گره-ها نیز در انتقال بهینه بسته استفاده می‌شود و اینطور تصور کنید که مسیر بجای اینکه یک خط از گره مبدا و گره‌های میانی مسیر تا چاهک باشد بصورت یک باند است که مجموعه ای از گره‌های همسایه گره‌های مسیر EAR نیز در آن باند وجود دارد.

پروتکل جدید پیشنهادی از مزایایی هر دو الگوریتم مسیریابی EAR و PGR استفاده نموده و روش مسیریابی جدیدی با کارایی بالاتر در جهت افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌نماید این پروتکل جدید به نوعی به واسطه استفاده از تابع احتمال الگوریتم EAR در انتخاب مسیر کلی از گره مبدا به چاهک، جزء الگوریتم‌های داده محور محسوب شده و به نوعی دیگر به واسطه استفاده از تابع انتخاب زاویه  $\theta$  و انتخاب گره‌های میانی مسیر جزء الگوریتم‌های مبتنی بر موقعیت محسوب می‌گردد.

فلوچارت این الگوریتم جدید در (نمودار ۳-۳) نمایش داده شده است و روش عملکردی این الگوریتم به این صورت بوده که در ابتدای کار گره مبدا با ارسال پیام سیل‌آسا برای همسایگان خود و فعال کردن تابع هزینه نسبت به تکمیل جدول مسیریابی خود اقدام نموده و مسیرهای مختلف تا چاهک و هزینه آنها مشخص می‌گردد در ادامه تابع انتخاب زاویه  $\theta$  بین گره فرستنده و چاهک فعال شده و یک زاویه مناسب که حداقل دو گره همسایه گره فرستنده در آن قرار دارند انتخاب می‌شود. بعد از انتخاب زاویه مناسب نوبت به فعال شدن تابع احتمال اصلی الگوریتم مسیریابی می‌رسد و تابع احتمال مذکور از

بین مسیرهایی که گام اول آنها از گره‌هایی است که داخل زاویه  $\theta$  قرار دارند مسیری که کمترین هزینه ارسال تا چاهک و از احتمال بالاتری برخوردار بوده را انتخاب نموده و داده را از آن مسیر به سمت چاهک ارسال می‌کند.



نمودار ۳-۳ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی

### ۳-۵- جمع بندی

در این فصل به تشریح الگوریتم پیشنهادی جدید که یک الگوریتم مسیریابی ترکیبی از الگوریتم-های EAR و PGR است، پرداخته شد. الگوریتم پیشنهادی جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. و این الگوریتم در ابتدا بهینه ترین مسیر بین گره فرستنده و چاهک را از لحاظ تعادل مصرف انرژی بین گره‌های شبکه، را انتخاب می‌کند و سپس در مسیر ارسال داده‌ها به سمت چاهک از گره‌های همسایه مسیر انتخابی نیز جهت انتقال داده استفاده می‌نماید. تشخیص استفاده از

گره‌های همسایه توسط یک تابع احتمال صورت می‌پذیرد که البته هیچ اجباری در استفاده از گره‌های همسایه در این تابع احتمال وجود ندارد و این تابع احتمال بهترین گره را جهت انتقال داده در گام بعدی انتخاب می‌کند که ممکن است گره انتخابی هیچ کدام از گره‌های همسایه مسیر اصلی نبوده و در آن مرحله بهترین گره همان گره مسیر اصلی باشد. و این انتخاب گره‌های در طول مسیر انتخابی به این دلیل است که ممکن است مثلاً گره فرضی  $A$  را که در گام چهارم انتقال داده به سمت چاهک انتخاب کردیم در لحظه ارسال داده بهینه ترین گره از لحاظ موقعیت و انرژی باقیمانده باشد ولی همین گره  $A$  مقصد چند داده دیگر که سمت چاهک در حال انتقال هستند باشد و لحظه‌ای که داده مورد نظر ما به گام چهارم جهت انتقال داده می‌رسد، گره  $A$  از لحاظ انرژی باقیمانده وضعیت خوبی نداشته و الگوریتم پیشنهادی ما در این گام از یکی از گره‌های همسایه گره  $A$  که وضعیت انرژی باقیمانده بهتری دارد استفاده نموده و در گام های بعدی مجدداً خود را به مسیر اصلی باز می‌گرداند.



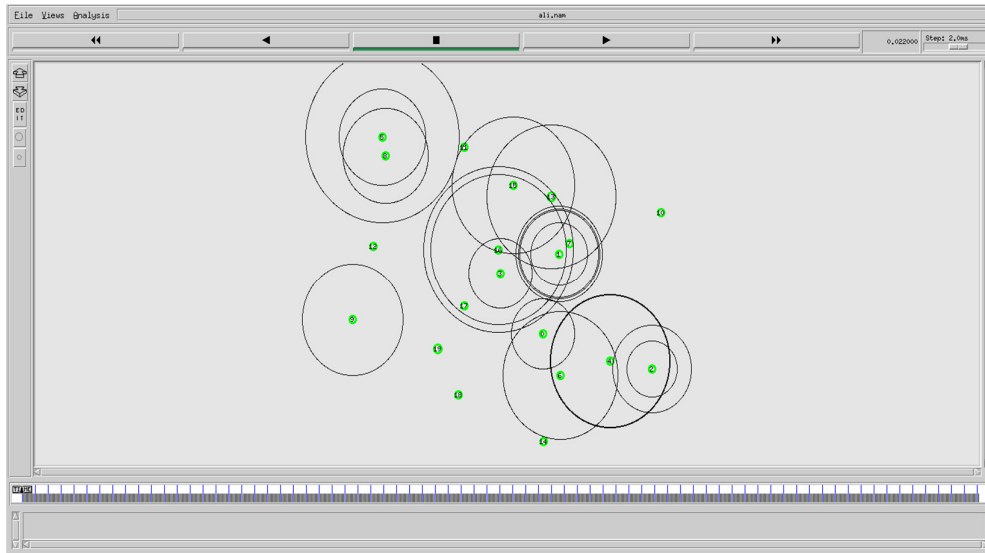
# فصل چهارم: نتایج شبیه سازی و تحلیل آنها

#### ۴-۱- مقدمه

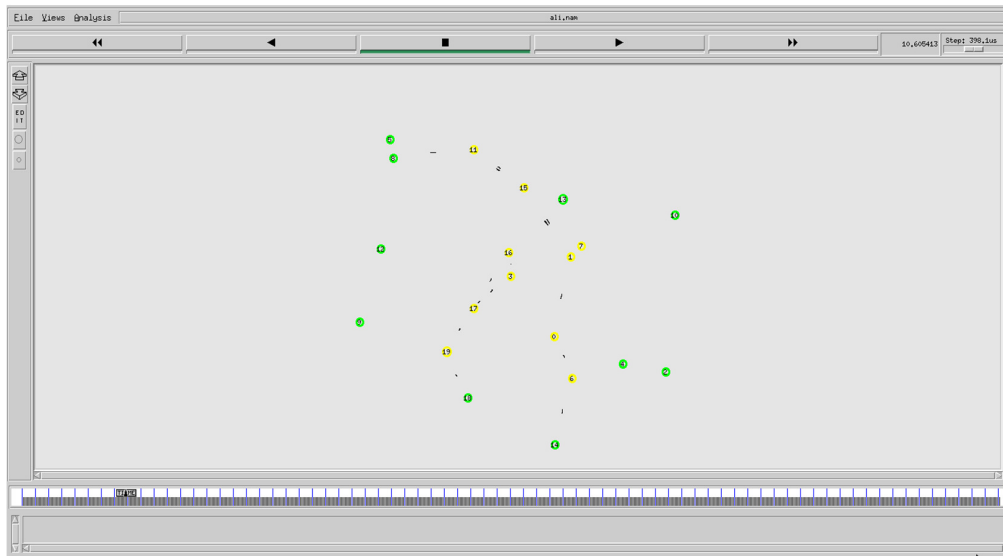
در این فصل به ارزیابی نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی فصل قبل و تحلیل و مقایسه نتایج آن با پروتکل‌های EAR و PGR خواهیم پرداخت. شبیه‌سازی مذکور با استفاده از نرم‌افزار NS2<sup>1</sup> ورژن ۲/۳۵ در سیستم عامل لینوکس انجام شده است و برای هر مرحله زمانی در هر کدام از الگوریتم‌ها، بین پنج تا ده مرحله شبیه‌سازی انجام شده و معدل خروجی‌های بدست آمده بعنوان نتیجه خروجی آن مرحله زمانی در نمودارها ثبت گردیده است. در هر مرحله شبیه‌سازی دو خروجی تولید می‌گردد که یکی خروجی‌ها گرافیکی است مانند (شکل ۴-۱) و (شکل ۴-۲) و (شکل ۴-۳) و دیگری خروجی عددی است که تحلیل‌های لازم جهت استخراج نمودارها از خروجی عددی شبیه‌سازی استفاده می‌گردد و تحلیل خروجی‌های این شبیه‌سازی نیز توسط کد awk در NS2 صورت گرفته و نتایج و اعداد بدست آمده توسط نرم‌افزار اکسل به نمودار تبدیل شده است.

---

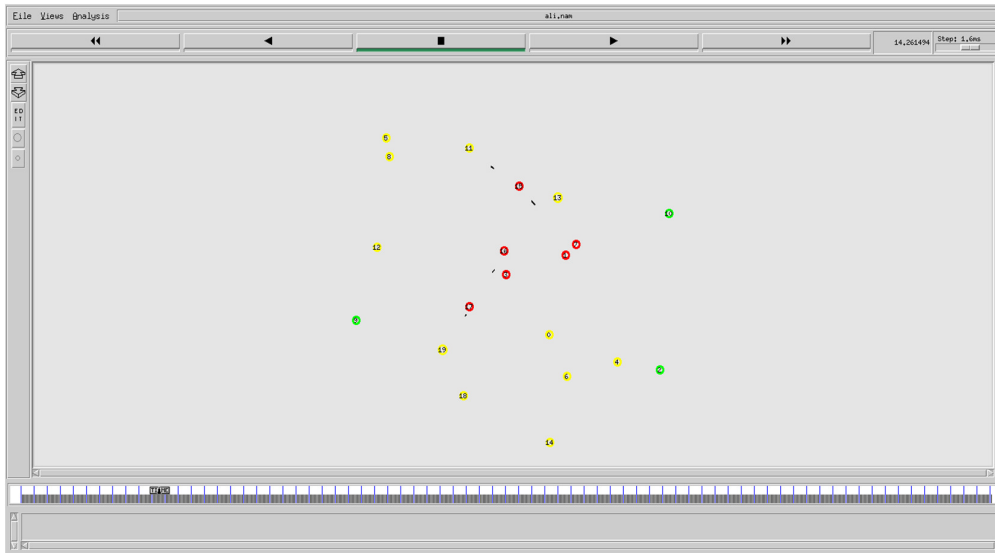
<sup>1</sup> Network Simulator 2



شکل ۴-۱ وضعیت گره ها در شبیه سازی در ثانیه اول



شکل ۴-۲ وضعیت گره ها در شبیه سازی در ثانیه دهم



شکل ۴-۳ وضعیت گره ها در شبیه سازی در ثانیه چهاردهم

#### ۴-۲- پارامترهای شبیه سازی

پارامترهای اولیه این شبیه سازی مطابق با جدول زیر است که در انتها توضیحات مختصری نیز در خصوص سایر پارامترهای موجود ذکر گردیده است .

جدول ۴-۱ پارامترهای شبیه سازی

ردیف	شرح پارامتر	پارامتر انتخابی
۱	نوع کانال	WirelessChannel
۲	تاخیر انتشار	TwoRayGround
۳	لایه فیزیکی	WirelessPhy
۴	پروتکل گره‌ها	Mac/802-11
۵	صف	Droptail/PriQueue
۶	لینک	LL
۷	آنتن	OmniAntenna

جدول ۴-۱ پارامترهای شبیه سازی

۵۰	اندازه بافر هر گره	۸
۲۰	تعداد گره	۹
AODV	پروتکل مسیریابی اولیه	۱۰
۱۰۰۰m*۱۰۰۰m	فضای شبیه سازی	۱۱
۱۰۰S	زمان شبیه سازی	۱۲
۳ ژول	انرژی اولیه کل شبکه	۱۳

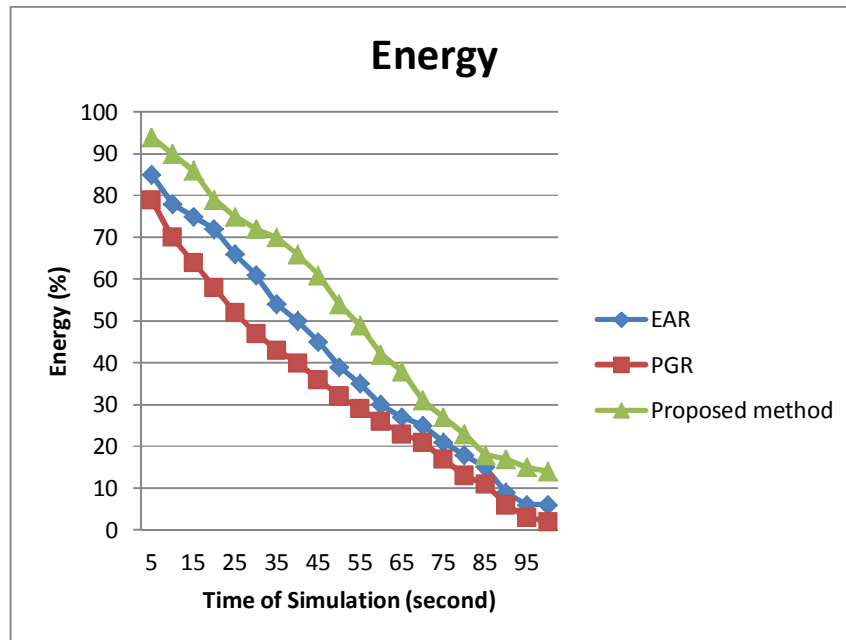
هر گره برای فرستادن هر نوع بسته‌ای در شبکه ۶۶۰ میلی ژول (۰/۶۶۰J) انرژی، و برای دریافت هر نوع بسته‌ای ۳۹۵ میلی ژول (۰/۳۹۵J) انرژی مصرف می‌کند تا شبیه‌سازی به محیط واقعی نزدیک باشد. ضمناً انرژی مصرفی هر گره در زمان خواب گره که هیچ بسته‌ای برای ارسال و دریافت وجود ندارد نیز ۱ میلی ژول (۰/۰۰۱J) می‌باشد. و اندازه هر بسته ارسالی در شبکه را نیز ۱۰۰۰ بیت در نظر می‌گیریم و با این پارامترها شبیه سازی را انجام و نتایج زیر بدست آمده است.

#### ۴-۳- نتایج شبیه سازی

##### ۴-۳-۱- بررسی انرژی کل شبکه

با توجه به نتایج شبیه سازی انجام شده جهت هر سه الگوریتم EAR و PGR و الگوریتم پیشنهادی که در نمودارها به عنوان Proposed method مشخص شده است، درصد کاهش انرژی کل شبکه در الگوریتم پیشنهادی از هر دو الگوریتم EAR و PGR کمتر است. و طبق نتایج بدست آمده در بازه زمانی معین، شبکه حسگر با استفاده از مسیریابی طبق الگوریتم پیشنهادی حدود ۸۶٪ از انرژی خود را از دست داده در حالی که این درصد در الگوریتم PGR حدود ۹۸٪ و در الگوریتم EAR حدود ۹۴٪

است و این نتایج در (نمودار ۴-۱) نمایش داده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم مسیریابی پیشنهادی از هر دو الگوریتم تشکیل دهنده اولیه در مدیریت مصرف انرژی در شبکه بهتر عمل نموده و به طبع آن طول عمر شبکه را افزایش داده است.

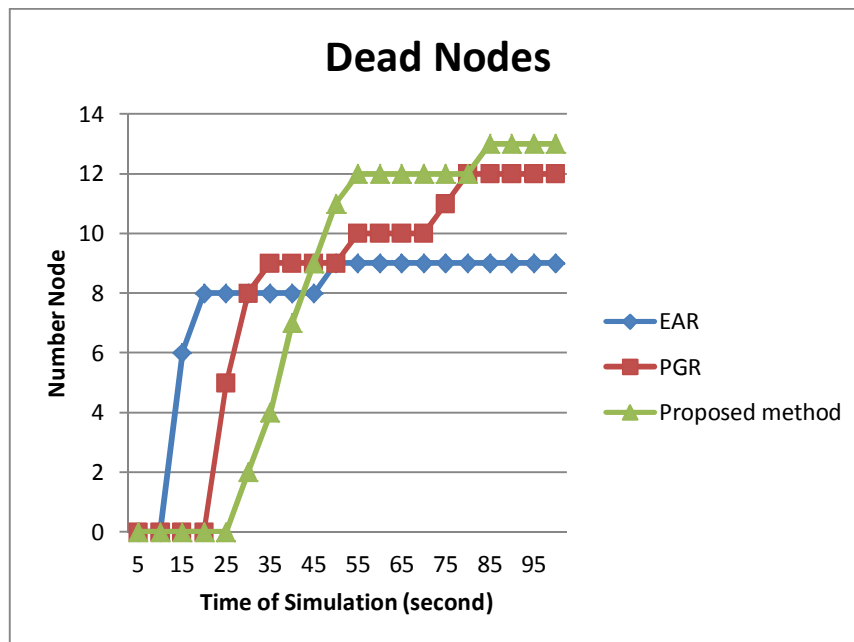


نمودار ۴-۱ انرژی کل شبکه

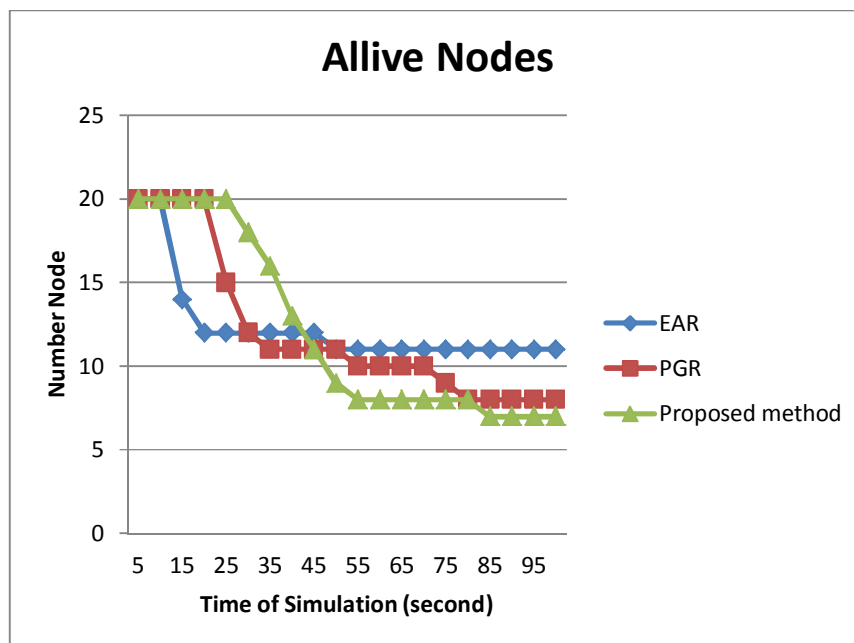
#### ۴-۳-۲- بررسی انرژی گره‌ها

همانطور که در فصل‌های قبل نیز ذکر گردید پارامتر بررسی انرژی مصرفی در شبکه حسگر بی-سیم و مقایسه طول عمر شبکه در مقالات و پایان‌نامه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. برخی از محققان طول عمر شبکه را تا زمان خاموش شدن اولین گره در شبکه در نظر می‌گیرند و برخی دیگر نیز طول عمر شبکه را تا زمانی که انرژی کل شبکه به اتمام برسد و یا دیگر امکان انتقال اطلاعات بعلت خاموش شدن تعداد زیادی از گره‌ها وجود نداشته باشد در نظر می‌گیرند. ما در این پایان‌نامه به نوعی هر دو روش را مورد بررسی قرار دادیم و (نمودار ۴-۱) که در بخش قبل توضیح داده شد انرژی کل شبکه را مورد بررسی قرار داده است و در (نمودار ۴-۲) و (نمودار ۴-۳) زمان خاموش شدن اولین گره را در هر پروتکل مورد بررسی قرار می‌دهیم.

طبق نتایج بدست آمده در شبیه سازی زمان خاموش شدن اولین گره در الگوریتم EAR در ثانیه ۱۴ و در الگوریتم PGR در ثانیه ۲۱ و در الگوریتم پیشنهادی در ثانیه ۲۸ می باشد که بطور میانگین حدود ۱۰٪ طول عمر شبکه در الگوریتم پیشنهادی افزایش یافته است.



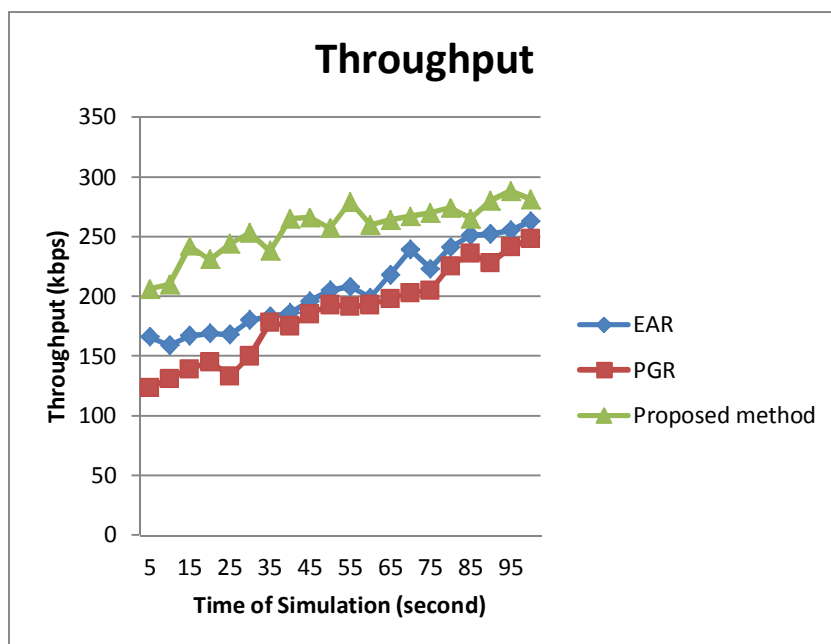
نمودار ۲-۴ تعداد گره های مرده



نمودار ۳-۴ تعداد گره های زنده

#### ۴-۳-۳- بررسی توان عملیاتی شبکه

تعداد بسته‌های داده دریافت شده توسط مقصد در طول عمر شبکه می‌تواند معیار خوبی برای میزان طول عمر شبکه باشد. هرچه بسته‌های داده بیشتری دریافت شده باشد نشان دهنده طولانی‌تر بودن عمر شبکه می‌باشد. (نمودار ۴-۴) تعداد بسته‌های داده دریافت شده توسط گره مقصد برای پروتکل‌های EAR و PGR و پروتکل پیشنهادی را نمایش می‌دهد. همانطور که مشخص است پروتکل پیشنهادی از دو پروتکل دیگر بسته بیشتری را به مقصد رسانده است و عملکرد بهتری داشته است. البته در پروتکل EAR، مقصد داده‌های بیشتری را در مقایسه با پروتکل PGR دریافت می‌کند که این به علت استفاده پروتکل EAR از تمامی مسیرهای ممکن بین منبع و مقصد می‌باشد، در حالی که در پروتکل PGR تنها مسیرهای نزدیکتر به مقصد مورد استفاده قرار می‌گیرد.



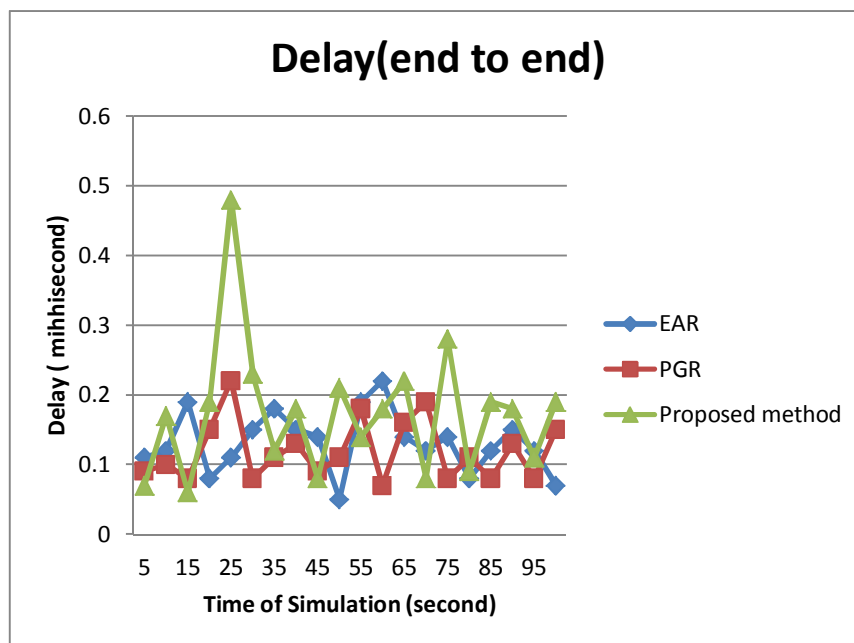
نمودار ۴-۴ توان عملیاتی شبکه

#### ۴-۳-۴- بررسی تاخیر شبکه

مقدار زمانی که بطور متوسط طول می‌کشد تا یک بسته از یک نقطه شبکه به نقطه دیگر آن برود،



تاخیر بسته را مشخص می‌کند، که اصطلاحاً تاخیر انتها به انتها به انتهای بسته نامیده می‌شود. با بررسی خروجی‌های بدست آمده از کد awk و انجام چندین مرتبه شبیه سازی در هر مرحله زمانی و میانگین-گیری از نتایج بدست آمده، تاخیر انتها به انتها به انتهای شبکه در هر کدام از پروتکل‌های مسیریابی مورد بحث در این پایان نامه بصورت (نمودار ۴-۵) بدست آمده است. با نگاه به نتایج بدست آمده مشخص است که میانگین تاخیر پروتکل پیشنهادی از دو پروتکل EAR و PGR بیشتر است و این افزایش تاخیر بعلت استفاده از یک تابع احتمال بیشتر در انتخاب مسیر بهینه نسبت به دو پروتکل EAR و PGR می‌باشد.



نمودار ۴-۵ تاخیر انتها به انتها به انتهای شبکه

#### ۴-۴- جمع بندی

در این فصل، نتایج شبیه سازی پروتکل مسیریابی جدید و الگوریتم‌های مسیریابی EAR و PGR ارایه گردید. سپس با نتایج نموداری و آماری حاصل از شبیه سازی اثبات گردید که پروتکل پیشنهادی از لحاظ مصرف انرژی در شبکه از دو الگوریتم EAR و PGR کاراتر است. و نمودارهای مصرف انرژی کل شبکه و نمودار مردن اولین گره در شبکه مشخصاً نشانگر کاهش مصرف انرژی در پروتکل جدید و به

تعویق انداختن زمان خاموش شدن اولین گره در شبکه است. نمودار توان عملیاتی شبکه نیز از کارا تر بودن پروتکل جدید در این زمینه حکایت داشته که خود به نوعی نشان از افزایش طول عمر شبکه دارد و فقط نمودار مربوط به تاخیر در شبکه، میانگین تاخیر بیشتری را در پروتکل جدید نشان می‌دهد که با توجه به استفاده ترکیبی از توابع احتمال دو الگوریتم EAR و PGR در این الگوریتم جدید این حدس زده می‌شد که تاخیر شبکه افزایش یابد.

## فصل پنجم: جمع بندی و پیشنهادها

## ۵-۱- مقدمه

یکی از مهمترین مشکلاتی که پیش روی متخصصین شبکه در خصوص تشکیل و نگهداری شبکه-های حسگر بی‌سیم در کاربردهای مختلف این شبکه‌ها وجود دارد مشکل محدودیت باتری و طول عمر گره‌های این شبکه‌ها می‌باشد. از آنجا که عملکرد و کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارتباط مستقیم با طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای تک تک گره‌های تشکیل دهنده این شبکه‌ها دارد لذا تمامی سطوح این نوع شبکه‌ها باید با آگاهی از انرژی طراحی شوند. یکی از مواردی که آگاه از انرژی بودن آن کمک شایانی در افزایش طول عمر شبکه دارد مسیریابی در شبکه حسگر بی‌سیم است. اقدامات بسیاری از سوی متخصصین شبکه برای ارائه روش‌های مختلف مسیریابی که آگاه از انرژی نیز باشد تا کنون صورت گرفته است. و پروتکل‌های مختلفی نیز در این زمینه ارائه شده است.

در این پایان نامه به مساله مسیریابی آگاه از انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده مشترک از مزیت‌های پروتکل‌های داده محور و پروتکل‌های مبتنی بر مکان پرداخته شده است و بعنوان نمونه پروتکل EAR از دسته پروتکل‌های آگاه از انرژی که خود از خانواده پروتکل‌های داده محور هستند با پروتکل PGR که از دسته پروتکل‌های مبتنی بر مکان می‌باشد با یکدیگر ترکیب شده و به یک پروتکل جدید دست یافتیم که برتری آن از لحاظ افزایش طول عمر شبکه با انجام شبیه سازی به اثبات رسیده است.

## ۵-۲- یافته های تحقیق

در این پایان نامه، یک پروتکل مسیریابی جدید از ترکیب مزایایی پروتکل‌های داده محور و پروتکل‌های مبتنی بر مکان ارائه شده است. این پروتکل مسیریابی در ابتدا با در نظر گرفتن سطح انرژی گره‌های بین گره فرستنده و چاهک و در نظر گرفتن تعادل مصرف انرژی در سطح شبکه یک مسیر را انتخاب نموده و سپس در طی مسیر با علم از سطح انرژی گره‌های مسیر از خود آن گره‌ها یا همسایگان آنها جهت انتقال داده به سمت چاهک استفاده می‌کند.

نتایج حاصل از شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم‌های EAR و PGR در محیط نرم افزار شبیه ساز NS2 نشان داد که الگوریتم پیشنهادی در موارد زیر نسبت به الگوریتم‌های EAR و PGR برتری دارد.

- افزایش طول عمر شبکه ( بر اساس زمان خاموش شدن اولین گره در شبکه ) حدود ۱۴ درصد نسبت به الگوریتم EAR و حدود ۷ درصد نسبت به الگوریتم PGR .
- کاهش انرژی مصرفی در کل شبکه ( در بازه زمانی معین ) حدود ۸ درصد نسبت به الگوریتم EAR و حدود ۱۲ درصد نسبت به الگوریتم PGR
- افزایش توان عملیاتی شبکه در انتقال بسته‌های داده به چاهک، حدود ۷ درصد نسبت به الگوریتم EAR و حدود ۱۳ درصد نسبت به الگوریتم PGR

### ۵-۳- پیشنهادها

به عنوان کارهای تحقیقاتی آینده که می‌توانند در جهت توسعه پروتکل ارائه شده در این تحقیق انجام شوند، پیشنهادهای زیر مطرح می‌گردد:

- ترکیب الگوریتم پیشنهادی با پروتکل‌های مسیریابی دیگر ( برای مثال پروتکل‌های مسیریابی خوشه بندی)
- اعمال پارامترهای سودمند دیگر برای کاهش تاخیر شبکه
- ایجاد تغییرات و بکارگیری معیارهای متفاوت در انتخاب مسیر انتقال داده و بهبود تابع هزینه

# فهرست منابع

## منابع فارسی

- [۱] ابواحسنی سیدمحمد و دیگران. آذرماه ۱۳۸۶. " یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای شبکه‌های حسگر "، سومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش.
- [۲] انعامی ندا. شهریور ۱۳۸۹. " کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی‌سیم با استفاده از شبکه‌های عصبی SOM"، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- [۳] رضایی نژاد مهدی. بهار و تابستان ۱۳۹۱. " مسیریابی انرژی آگاه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی هارمونی"، نشریه علمی - ترویجی محاسبات نرم، شماره اول، صفحه ۲-۱۵.
- [۴] قره جانلو مسعود. ۱۳۸۸. " ارئه یک روش فازی جهت کاهش مصرف انرژی در پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم"، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی سالانه انجمن کامپیوتر ایران.
- [۵] نجوی محمد جواد. شهریور ۱۳۹۱. " بررسی روش های مسیریابی با قابلیت اطمینان در شبکه های حسگر بی سیم"، پروژه دوره کارشناسی.
- [۶] سجادی‌نیا مهدی. تیر ۱۳۹۱. " مطالعه الگوریتم‌های خوشه بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم"، پایان نامه کارشناسی.
- [۷] رادی مرجان. زمستان ۱۳۸۷. " بهبود کیفیت خدمات در شبکه‌های بی‌سیم با استفاده از مسیریابی چندگانه"، فصل‌نامه علمی - پژوهشی مهندسی برق مجلسی.
- [۸] رزاقی‌پور حامد. مرداد ۱۳۹۳. " بررسی سیستماتیک روش‌ها و کاربردهای مسیریابی در حوزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN)", شرکت داده پردازی ایران - واحد طراحی شبکه.

- [9] Abdulla, A. E. A. A., et al. (2012). "Extending the lifetime of wireless sensor networks: A hybrid routing algorithm." *Computer Communications* 35(9): 1056-1063.
- [10] Ahmad, A., et al. (2014). "Hop Adjusted Multi-chain Routing for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks." *Procedia Computer Science* 37(0): 236-243.
- [11] Akyildiz I. F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci., "Wireless sensor networks: a survey", *Journal of Computer Networks*, Vol. 38, March 2002, pp.393-422
- [12] Amgoth, T. and P. K. Jana "Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks." *Computers & Electrical Engineering*(0).
- [13] Anastasi G, Conti M, Passarella A. (2009) 'Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: a survey', In: Ad Hoc Networks, volume 7, Issue 3, Elsevier; pp.537-568.
- [14] Das, S., et al. (2012). "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Network." *Procedia Technology* 6(0): 731-738.
- [15] Ghaffari, A. (2014). "An Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks using A-star Algorithm." *Journal of Applied Research and Technology* 12(4): 815-822.
- [16] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. (2000) 'Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks', In: Proc. 33rd Hawaii Int'l. Conf.Sys. Sci, 2000
- [17] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. (2002) 'Application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks', In: IEEE Transactions on Wireless Communications, pp. 660 - 670.
- [18] Hosseingholizadeh A and Abhari A. (2009) 'A neural network approach for Wireless sensor network power management'
- [19] Khalil, E. A. and B. a. A. Attea (2011). "Energy-aware evolutionary routing protocol for dynamic clustering of wireless sensor networks." *Swarm and Evolutionary Computation* 1(4): 195-203.
- [20] Mohammad El-Basioni, B. M., et al. (2011). "An Optimized Energy-aware Routing Protocol for Wireless Sensor Network." *Egyptian Informatics Journal* 12(2): 61-72.



[21] Mohanty, P. and M. R. Kabat (2014). "A Hierarchical Energy Efficient Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks." *Ain Shams Engineering Journal* 5(4): 1141-1155.

[22] R. Shah, J. Rabaey. (2002). "Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks", in: *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Orlando, FL.

[23] T. Roosta. (2005). "Probabilistic geographic routing protocol for ad hoc and sensor networks", *Proceeding of Wireless Networks and Emerging Technologies*.

## **Abstract**

**An approach to extending Wireless Sensor Networks life time is Improved routing methods that utilizing probability functions, intelligently uses all network elements in the data transmission and causes the network load imparting on all nodes and prevent the over use of widely used nodes energy and extends network lifetime. In this study, a new routing protocol with common use of Data-Driven routing algorithms and location based routine algorithms will be presented Their new algorithm will use cost determination and the probability functions of route selection in EAR algorithm with angle selection function of PGR algorithm commonly. and finally has been suggested a new probability function for direction selection. that its purpose is choosing the path with the lowest cost and most probability for increasing the network lifetime. By taking into account the amount of energy required for sending data in one direction. and the amount of remaining energy on the same track, the probability function after sending data to the next transmissions assigns a probability to the every possible path that geographically located between the transmitter and sink and elects the highest probability number assigned. to send Better performance of this protocol in term of lengthening the life of network and maintain better network coverage compared to EAR and PGR initial protocols has been proven by simulation. According to obtaining results, the remaining energy in the network after completing the simulation in the new routing protocol is about 12% more than PGR routing Protocol and about 8% more than EAR Protocol and if consider the first node death as the network lifetime. in the new protocol the first node is turned off 7 seconds later than PGR protocol and 14 seconds later than EAR protocol and can say that network life time has increased in average about 10% with the new protocol.**

**Keywords: Wireless Sensor Network, Wireless Sensor Network Routing, Reduction of Energy Consumption, Extending Wireless Sensor Networking, Wireless Sensor Networking Routing Protocol**



**ISLAMIC AZAD UNIVERSITY**

**Savah Branch**

**Faculty of Engineering, Department of Computer Science**

**«M.Sc» Thesis**

**on Computer engineering**

**Tite:**

**Energy consumption improvement in Wireless  
Sensor Networks combining EAR and PGR  
routing algorithms**

**Thesis Advisor:**

**Asadollah Vakili , ph.D.**

**By:**

**Ali Aliakbari**

2016 August