

# پوشش ناحیه در شبکه‌های حسگر بی سیم با استفاده از اتوماتای یادگیر

مهدی اثنی عشری	محمد رضا میدبی	حبيب مصطفائي
دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران esnaashari@aut.ac.ir	دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران mmeybodi@aut.ac.ir	دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه h.mostafaei@iaurmia.ac.ir

حسگر شامل مجموعه‌ای از گره‌های کوچک می‌باشد که توانایی حس محیط اطراف با هدف معین، پردازش اطلاعات، ذخیره سازی، تبادل اطلاعات با سایر گره‌ها را دارند[۱]. برخی از کاربردهای مهم شبکه‌های حسگر با تشخیص حرکت درگیر هستند، مانند زمانیکه حسگرها در طول مرزهای کشوری پخش می‌شوند تا نفوذهای غیرقانونی را تشخیص دهند، اطراف جنگل‌ها برای تشخیص گسترش آتش‌سوزی جنگل، اطراف کارخانه‌های شیمیایی برای تشخیص پخش مواد مرجأه، در هر دو طرف لوله‌های گاز برای تشخیص خرابکاری عمده، شناسایی محیط‌های آلوده، نظارت بر محیط زیست، بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی، در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند، کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی و غیره[۱]. طراحی کارآمدی انرژی بوسیله خاموش کردن گره‌ها بصورت گستردۀ در بسیاری از کارها مورد بررسی قرار گرفته است. در برخی از این کارها مشکل نقاط کور وجود دارد یعنی وقتی که گره‌های افزونه در ناحیه دریافتی موردنظر به حالت خاموش می‌روند قسمتی از ناحیه پوششی این گره‌ها توسط گره‌های همسایه پوشش داده نمی‌شود و باعث بوجود آمدن نقاط کور در شبکه می‌شود. در برخی از کارها نیز از روش انتخاب مجموعه پوششی استفاده می‌شود که در برای گره‌هایی در مجموعه پوششی انتخاب نمی‌شوند به حالت خاموش سوئیچ می‌کنند.

در این مقاله ما یک روش برای افزایش زمان پوشش شبکه با استفاده از اتوماتای یادگیر ارائه می‌دهیم که در آن حسگرها را طوری به مجموعه‌های پوششی تقسیم می‌کنیم که هر مجموعه

**چکیده:** هنگامیکه گره‌های حسگر بصورت افزونه در یک ناحیه پخش می‌شوند، یک زیرمجموعه‌ای فعال از این حسگرها باید انتخاب شوند تا عملیات پوشش را انجام دهند(مجموعه پوششی) و سایر گره‌ها باید برای ذخیره انرژی باتریشان به حالت خواب سوئیچ کنند. در این مقاله ما روش<sup>۱</sup> EEMLA ارائه می‌دهیم که در آن با استفاده از اتوماتای یادگیر گره‌های افزونه در ناحیه دریافتی را تشخیص می‌دهد و این گره‌ها را برای ذخیره انرژی به یک حالت مصرف انرژی پایین یا حالت خواب می‌برد.

روش ارائه شده یک روش توزیع شده است که در آن بصورت دوره‌ای یک مجموعه از گره‌ها را برای انجام پوشش ناحیه انتخاب می‌کند. این مجموعه پوششی انتخاب شده برای مدت معینی عملیات نظارت محیط را انجام می‌دهد و پس از اتمام مدت معین(زمان پوشش) مجموعه‌ای دیگر برای این کار انتخاب می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی زمان پوشش را افزایش می‌دهد. این افزایش زمان پوشش در نتیجه استفاده از انرژی کم برای انتخاب گره‌های مناسب و همچینی تعداد گره‌های انتخابی کمتر است.

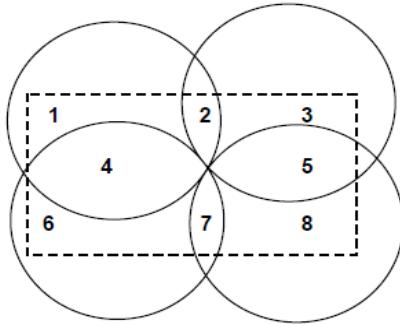
**واژه‌های کلیدی:** شبکه‌های حسگر، اتوماتای یادگیر، زمانبندی حسگر، پوشش ناحیه

## ۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بسیم کاربردهای جدیدی را در زمینه نظارت محیط و کاربردهای نظارتی نظامی فراهم می‌کنند. شبکه‌های

<sup>۱</sup> Energy Efficient Monitoring of Wireless Sensor Networks with Learning Automata

پوشش ناحیه به مسئله پوشش هدف می‌باشد. در شکل ۱ ناحیه تحت نظارتی را مشاهده می‌کنید که بوسیله روش فوق به ۸ فیلد تبدیل شده است.



شکل ۱) تبدیل پوشش ناحیه به پوشش اهداف

Carderi و دیگران [۳] مجموعه‌های گسسته را همانند مجموعه‌های قوی گسسته در یک گراف بدون جهت مدل می‌کنند که حسگرها به شکل مجموعه رئوس و یک یال بین دو راس می‌باشند که در داخل برد دریافتی یکدیگر قرار دارند. محاسبه بیشترین مجموعه قوی گسسته یک مسئله NP کامل است و هر الگوریتم تقریبی زمان چند جمله‌ای یک کران پایین تر از ۱.۵ دارد. یک مکانیزم رنگ آمیزی گراف برای محاسبه مجموعه‌های قوی گسسته پیشنهاد شده است. ابتدا، مجموعه‌های گسسته بوسیله رنگ آمیزی همه گره‌ها با استفاده از الگوریتم رنگ آمیزی ترتیبی شکل پیدا می‌کنند. سپس هر مجموعه غیر گسسته در یک عدد رنگی افزایشی شمرده می‌شود و به داخل یک مجموعه قوی بوسیله رنگ آمیزی کوچکترین عدد از رئوس با رنگ‌های بالاتر منتقل می‌شود. هنگامیکه این فرآیند پایان یافته و هیچ مجموعه قوی دیگری نتواند شکل بگیرد، گره‌های باقیمانده به مجموعه‌هایی اضافه می‌شوند که سهم بیشتری در نواحی بخش‌های پوششی ناحیه پوشش داده نشده دارند.

یک دیگر از مکانیسم‌های پوشش براساس زمانبندی گره کارآمد انرژی بوسیله Tian و دیگران در [۱۲] پیشنهاد شده است. بروتکل پیشنهادی توزیع شده و محلی می‌باشد. ذخیره انرژی بوسیله زمانبندی فعالیتهای گره‌های حسگر با فرض یک برد دریافتی قابل تنظیم بdst می‌آید. قانون شایستگی خاموش بودن تعیین می‌کند که آیا یک ناحیه دریافتی حسگر، ناحیه دریافتی همسایگان را شامل می‌شود یا نه؟ راه حل‌هایی برای تعیین اینکه آیا پوشش یک گره می‌تواند بوسیله همسایگانش فراهم شود (محاسبه پوشش پشتیبان) برای چندین حالت فراهم شده است: هنگامیکه گره‌ها برد دریافتی یکسان دارند و مکانهایشان را می‌شناسند، هنگامیکه گره‌ها برد دریافتی یکسانی دارند و می‌توانند اطلاعات همسایگان را بصورت مستقیم بdst بیاورند یا در سناریوهای متفاوت، گره

برای مدتی معین عملیات پوشش را انجام دهد. هر چه تعداد گره‌های انتخاب شده در مجموعه پوششی کمتر باشد گره‌های بیشتری فرصت رفتن به حالت خاموش را خواهند داشت در نتیجه زمان پوشش کلی شبکه و طول عمر آن نیز افزایش خواهد یافت.

سازماندهی ادامه مقاله بدین صورت است. در بخش ۲ کارهای انجام شده در این زمینه، در بخش ۳ برخی از تعریفات مربوط به مسئله، در بخش ۴ اتماتای یادگیر، در بخش ۵ روش پیشنهادی و در بخش ۶ نتایج شبیه‌سازی‌ها آمده است. بخش ۷ مربوط به نتیجه‌گیری می‌باشد.

## ۲- کارهای انجام شده در این زمینه

حسگرها دارای منابع انرژی محدود و توانایی ارتباطی و پردازشی کمی هستند. تعویض باتری در بسیاری از کاربردها قبل اجرا نیست و مصرف انرژی کم یک فاکتور بحرانی نه فقط در ساخت افزار و طراحی معماری، بلکه در بروتکل‌های شبکه در لایه‌های مختلف می‌باشد. بنابراین افزایش طول عمر شبکه یکی از اهداف مهم طراحی شبکه است. استفاده از تعداد کمتری از گره‌ها یکی دیگر از اهداف واضح، بخصوص در روش‌های قطعی پخش گره‌ها می‌باشد. در شبکه‌های حسگر که شامل تعداد زیادی از گره‌ها با انرژی کم، عمر کوتاه و غیر قابل اعتماد هستند یکی از اهداف اصلی بdst آوردن چرخه حیات طولانی سیستم و نیز نگهداری پوشش دریافت مناسب و قابل اعتماد است [۱۰].

[۳],[۴] تعداد زیادی از حسگرها را معرفی می‌کند که بصورت تصادفی در یک محیط پخش شده اند تا آنها را نظارت کنند. هدف این دو مورد یک طرح کارآمد انرژی برای نگهداری پوشش ناحیه است و تعداد حسگرها پخش شده در یک محیط بیشتر از تعداد بهینه آنهاست. راهکار پیشنهادی تقسیم گره‌ها به مجموعه‌های گسسته است بطوریکه هر گروه بتواند کارهای نظارت محیط را انجام دهنده. این مجموعه‌ها سپس به ترتیب فعال می‌شوند و هنگامیکه یک مجموعه از حسگرها فعال هستند سایر گروه‌ها در یک حالت مصرف انرژی کم هستند. هدف این روش این است که حداقل تعداد مجموعه‌های گسسته را تعیین کند که این کار یک رابطه مستقیم با مصرف منابع انرژی در شبکه دارد و باعث طولانی شدن طول عمر شبکه می‌شود و این راه حل‌ها متمرکز هستند.

Potkonjak و Slijepcevic [۱۱] ناحیه را همانند مجموعه‌ای از میدان‌ها مدل می‌کنند که هر میدان ویژگی دارد که هر نقطه ضمیمه شده به آن توسط مجموعه یکسانی از حسگرها پوشش داده شده است. پس از تقسیم ناحیه دریافتی به میدان‌ها، یک مجموعه پوششی از حسگرها انتخاب می‌شوند تا عملیات دریافت را در ناحیه تحت نظارت انجام دهند. در واقع این کار تبدیل مسئله

می‌تواند فراهم شود.

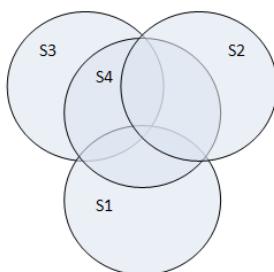
در [۷،۸] یک شمای نگهداری پوشش که CASS<sup>۲</sup> نامیده می‌شود ارائه شده است. متفاوت با کارهای موجود CASS، احتمال رفتارهای دریافت حسگرها بعلت محو شدن سیگنال و نویزهای پیش زمینه را برای زمان بندی فعالیت‌های دریافت تحلیل می‌کند، بنابراین انرژی مصرف شده برای دریافت، محاسبه و انتقال داده را نگهداری می‌کند. بجای نگهداری تضمین محکمی از پوشش شبکه (برای مثال، هر مکان توسط K حسگر پوشش داده شده است، K-پوشش)، CASS یک روش احتمالی در نظر می‌گیرد که کدامیک از حسگرهای خودکار احتمال‌های دریافت خودشان را بر طبق اطلاعات پوشش محلی شان به حالت خاموش تنظیم کند.

در [۱۶] نیز دو روش توزیع شده برای حل مسئله پوشش ناحیه ارائه شده است که در آن فرض شده است که گره‌ها هیچگونه اطلاعاتی درباره مکان سایر گره‌ها ندارند. برای تشخیص گره‌های افزونه در ناحیه دریافتی از اطلاعات همسایه‌های دوگانی استفاده می‌کنند که بوسیله همسایه‌های تک گامی در اختیار آنها قرار می‌گیرد.

### ۳- برخی از تعریفات

#### ۱- تعریف گره افزونه

گره افزونه گرهی است که ناحیه تحت پوشش این گره توسط سایر گره‌های همسایه آن پوشش داده شود. بعنوان مثال در شکل ۲ گره ۴ بعنوان یک گره افزونه در ناحیه دریافتی‌اش تشخیص داده می‌شود چون سهم پوششی این گره توسط گره‌های همسایه پوشش داده شده است.



شکل ۲) گره ۴ بعنوان گره افزونه در بین همسایه‌های خود است

#### ۲-۳ تعریف نقطه کور

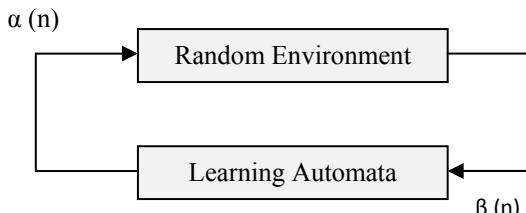
نقطه کور در ناحیه دریافتی شبکه حسگر بی‌سیم نقطه‌ای است که توسط هیچ یک از گره‌های موجود در شبکه حسگر پوشش داده نشود. در شکل ۳ نمونه‌ای از نقطه کور نشان داده شده که توسط

ها بردهای دریافتی متفاوتی دارند. شمای زمانبندی گره به دورهای تقسیم می‌شود که هر دور یک فاز خودزمانبندی براساس فاز دریافت دارد. در فاز خودزمانبندی گره ها قانون شایستگی خارج از کار را بررسی می‌کنند. گره‌های واجد شرایط برد دریافتی و ارتباطی خود را خاموش می‌کنند در حالیکه سایر گره ها کارهای دریافتی را در فاز دریافت انجام خواهند داد. برای بدست آورن اطلاعات همسایه، هر گره یک پیام آگهی مکان را در شروع دور پخش وسیع می‌کند. این پیام دارای شناسه و مکان گره می‌باشد. اگر قانون شایستگی خارج از کار بصورت همزمان بوسیله گره‌های همسایه آزمایش شود، گره و گره‌های همسایه ممکن است به حالت خاموشی بروند و باعث بوجود آمدن نقاط کور شوند. برای جلوگیری از این کار از یک شمای برگشت به عقب استفاده می‌شود که هر گره پس از یک زمان تصادفی، ارزیابی را شروع می‌کند و سپس یک پیام آگهی حالت، اگر آماده رفتن به حالت خاموشی باشد را پخش وسیع می‌کند. قبل از رفتن به حالت خاموشی، یک گره زمان  $T_w$  را برای گوش دادن به بروز رسانی همسایه‌ها منتظر می‌ماند. این کار مکانیسم همزمان سازی معینی ندارد.

یک راه حل زمانبندی گره براساس تفحص برای مسئله پوشش کارآمد انرژی در [۱۵] بوسیله Ye و دیگران پیشنهاد شده است. همه حسگرها با برد یکسانی معرفی شده اند و پوشش همانند نسبتی میان ناحیه مانیتور شده و اندازه کل شبکه در نظر گرفته شده است. قانون شایستگی خارج از کار براساس مکانیسم تفحص می‌باشد. اساساً، یک حسگر پیام PRB را برد کاوشی / را پخش وسیع می‌کند. هر گره در حال کار که این پیام را می‌شنود با یک PRB\_RPY به آن پاسخ می‌دهد. اگر حداقل یک پاسخ برسد، گره وارد حالت خواب می‌شود. برد تفحص براساس گره‌های در حال کار انتخاب می‌شود (تعداد حسگرها در واحد ناحیه) یا براساس افزونگی پوشش مطلوب، با در نظر گرفتن اینکه زمان بیدار شدن براساس نوبت دریافت قابل تحمل است. این پروتکل‌ها توزیع شده، محلی و پیچیدگی کمی دارند اما پوشش ناحیه اصلی را نگهداری نمی‌کنند.

در [۱۴] یک شمای زمانبندی گره دیگر برای پوشش ناحیه ارائه شده است که هدف آن کمینه کردن مصرف کل انرژی در شبکه و نگهداری پوشش می‌باشد. در این کار برخلاف کارهای قبلی که حسگرها با برد دریافتی یکسانی در نظر گرفته می‌شدند آنها را با بردهای قابل تنظیم در نظر می‌گیرد و گره‌هایی برای کار در هر دور انتخاب می‌شوند که بردهای دریافت قابل تنظیم داشته باشند و هر گره یک برد برای مکان مرتبط براساس مدل استفاده شده داشته باشد. با پذیرش تعداد حسگرهای کم، ناحیه‌های همپوشانی شده و مصرف انرژی کاسته می‌شود و درجه بالایی از پوشش

<sup>2</sup> Coverage-Aware self-Scheduling



شکل ۴) اتوماتای یادگیر تصادفی

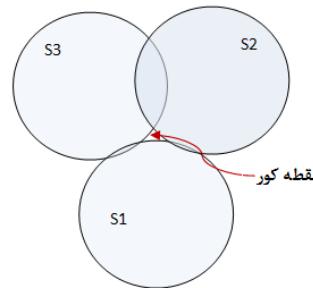
محیط را می‌توان توسط سه‌تایی  $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$  نشان داد که در آن  $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودی‌های محیط،  $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه خروجی‌های محیط و  $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشد. ورودی محیط یکی از ۲ عمل انتخاب شده اتوماتا است. خروجی  $\beta_i$  (پاسخ) محیط به هر عمل  $\alpha$  توسط  $\beta_i$  مشخص می‌شود. اگر  $\beta_i$  یک پاسخ دودویی باشد، محیط مدل<sup>۳</sup> P نامیده می‌شود. در چنین محیطی  $\beta_i(n) = 1$  بعنوان پاسخ نامطلوب<sup>۴</sup> یا شکست<sup>۵</sup> و  $\beta_i(n) = 0$  بعنوان پاسخ مطلوب<sup>۶</sup> یا موفقیت در نظر گرفته می‌شوند. در محیط مدل<sup>۷</sup> Q،  $\beta_i(n)$  شامل تعداد محدودی از مقادیر قرار گرفته در بازه  $[0,1]$  می‌باشد. در حالیکه در محیط مدل<sup>۸</sup> S،  $\beta_i(n)$  یک متغیر تصادفی در بازه  $[0,1]$  می‌باشد.  
 $\beta_i(n) \in [0,1]$ .

اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج‌تایی  $\{\alpha, \beta, F, G, \Phi\}$  نشان داده می‌شود که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$  مجموعه عملهای اتوماتا و  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$  مجموعه ورودی‌های اتوماتا و  $\phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$  مجموعه وضعیت‌های داخلی اتوماتا،تابع  $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$  تولید وضعیت جدید اتوماتا و  $G: \phi \rightarrow \alpha$  خروجی می‌باشد که وضعیت کنونی اتوماتا را به خروجی بعدی می‌نگارد.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهارتایی  $\{\alpha, \beta, P, T\}$  نشان داد که  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$  مجموعه عملهای،  $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_n\}$  مجموعه ورودیها،  $P = \{P_1, \dots, P_n\}$  بردار احتمال انتخاب هریک از عملهای و

هیچ‌کدام از گره‌های موجود پوشش داده نشده است.

در پوشش کامل ناحیه هدف ما این است که کلیه نقاط موجود در ناحیه دریافتی تحت نظارت را پوشش دهیم و از بروز عدم پوشش نقاط کور جلوگیری کنیم. یکی از مزایای روش پیشنهادی این است که از ایجاد نقاط کور در ناحیه دریافتی شبکه حسگر جلوگیری می‌کند.



شکل ۳) بین ناحیه دریافتی سه گره یک نقطه کور وجود دارد

در این مقاله روشی ارائه شده است که گره‌های افزونه را در میان گره‌های همسایه تشخیص می‌دهد و از بروز نقاط کور در شبکه نیز جلوگیری می‌کند.

مسئله مورد نظر در این بخش انتخاب یک زیرمجموعه از گره‌ها برای انجام عملیات پوشش ناحیه از میان کل گره‌ها موجود در شبکه باشد ما به شبکه است. اگر  $V$  تعداد کل گره‌های موجود در شبکه باشد ما به زیرمجموعه  $V_A \subseteq V$  نیازمندیم که بتواند تمامی سلول‌ها را پوشش دهد. بقیه گره‌ها  $V_S = V - V_A$  به حالت خواب می‌روند تا بعداً به عنوان یک گره پوششی در یک مجموعه جدید انتخاب شوند.

ناحیه دریافتی را به ناحیه‌های کوچک با اندازه ثابت (سلول) تقسیم می‌کنیم. سپس از میان گره‌های فعال در ناحیه دریافتی موردنظر گره‌هایی را انتخاب می‌نماییم که بتوانند بصورت کامل تمامی سلول‌ها را پوشش دهند.

#### ۴- اتوماتای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر<sup>۹</sup> و<sup>۱۰</sup>، ماشینی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مشبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تأثیر می‌گیرد. هدف نهایی این است که اتوماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداقل برساند. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

<sup>3</sup> P-model

<sup>4</sup> Unfavorable

<sup>5</sup> Failure

<sup>6</sup> Favorable

<sup>7</sup> Q-Model

<sup>8</sup> S-Model

می باشد. برای محاسبه انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت بسته ها به گره های همسایه از روش ارائه شده در [۵] استفاده شده است.

انرژی لازم برای ارسال و دریافت  $E_{Tx\_elec} = E_{Rx\_elec} = E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$  و انرژی لازم

برای تقویت کننده انتقال  $E_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$  می باشد. انرژی لازم برای ارسال  $k$  بسته در فاصله  $d$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx\_elec}(k) + E_{Tx\_amp}(k, d) \quad (3)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^2$$

انرژی لازم برای دریافت بسته نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx\_elec}(k) \quad (4)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k$$

انرژی لازم برای انتقال یک بسته از گره A به گره B با انرژی لازم برای انتقال از B به A بیکسان درنظر گرفته شده است.

با شروع فاز یادگیری هر گره با استفاده از اتماتای یادگیر یک عمل خود را انتخاب می کند و یک بسته شامل عمل انتخابی را به همسایه های خود می فرستد. هر یک از گره ها با دریافت این بسته از تمامی همسایه های خود بدین صورت عمل می کند: اگر عمل انتخابی گره برابر ACTIVE باشد:

۱. اتماتای یادگیر، اعمال انتخابی همسایه ها را بررسی می کند اگر عمل های انتخابی همسایه ها طوری باشد که سلول های تحت پوشش این گره را پوشش دهند به این عمل انتخابی توسط اتماتای یادگیر جریمه اختصاص داده می شود. چون این گره عنوان یک گره افزونه در ناحیه دریافتی می باشد.

۲. ولی اگر عمل های انتخابی همسایه ها طوری باشد که فیلدهای تحت پوشش این گره را پوشش ندهند به این عمل پاداش داده خواهد شد.

اگر عمل انتخابی گره برابر ASLEEP باشد.

۱. اتماتای یادگیر، اعمال انتخابی همسایه ها را بررسی می کند اگر عمل های انتخابی همسایه ها طوری باشد که سلول های تحت پوشش این گره را پوشش دهند به این عمل انتخابی توسط اتماتای یادگیر پاداش اختصاص داده می شود چون این گره عنوان یک گره افزونه در ناحیه دریافتی می باشد و می خواهیم برای ذخیره انرژی به این حالت سوئیچ کند.

$p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$  الگوریتم یادگیری اتماتا می باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم های یادگیری خطی است. فرض کنید عمل  $i$  در مرحله  $n$  انتخاب شود:

### الف- پاسخ مطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \end{aligned} \quad \forall j, j \neq i \quad (1)$$

### ب- پاسخ نامطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \end{aligned} \quad \forall j, j \neq i \quad (2)$$

که در روابط فوق a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می باشد. توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را می توان در نظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم  $L_{RP}$  می نامند، زمانیکه b خیلی کوچکتر از a باشد، الگوریتم  $L_{REP}$  می نامند و زمانیکه b مساوی صفر باشد الگوریتم  $L_{RI}$  می نامند.

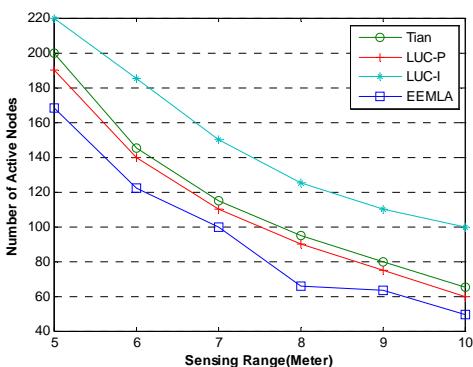
### ۵- روش پیشنهادی (EELMA)

روش پیشنهادی با استفاده از اتماتای یادگیر بدین صورت می باشد که ابتدا هر گره را در شبکه به یک اتماتای یادگیر مجذب می کنیم. اتماتای یادگیر به گره ها کمک می کند تا حالت مناسب را در هر دوره انتخاب کنند. هر اتماتای یادگیر دو عمل دارد: ACTIVE و ASLEEP. احتمال انتخاب این دو عمل در ابتدای کار ۰.۵ است.

ناحیه دریافت موردنظر را به سلول های مربعی تقسیم می کنیم که اندازه هر سلول با هم برابر است. عملیات شبکه را به دوره ای تقسیم می کنیم و هر دور شامل دو فاز یادگیری و فاز نظارت می باشد. در فاز یادگیری براساس تعداد سلول های که هر گره پوشش می دهد و با توجه به حالت انتخابی همسایه های آن به گره فیلدهای تحت پوشش این گره می شود. پس از فاز یادگیری هر گره با استفاده از اتماتای یادگیر حالت خود را تعیین می کند. در فاز نظارت، هر گره با توجه به پاداش و جریمه اختصاص یافته در مرحله قبل بهترین حالت خود را انتخاب می کند با این کار گره هایی انتخاب می شوند که این گره ها می توانند بصورت کامل تمامی ناحیه تحت نظارت را پوشش دهند. در ادامه جزئیات این دو مرحله را شرح می دهیم.

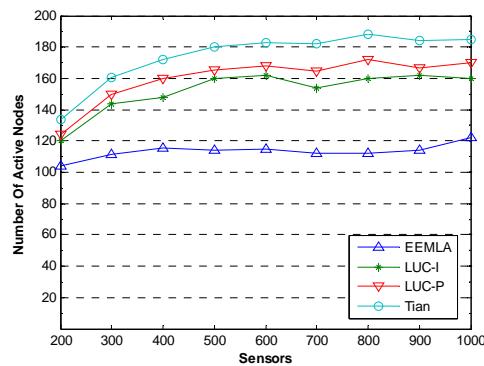
ابتدا هر گره یک بسته سیگنال که شامل شناسه گره و سلول های پوششی خود را به همسایگانش می فرستد. با این کار هر گره لیستی دارد که شامل همسایه ها و سلول های تحت پوششی آنها

روش‌های پیشنهادی در [۱۳] و [۱۶] دارد.



شکل ۵) تعداد گره‌های فعال در هر مجموعه(n=1000)

این آزمایش دوباره برای تعداد گره‌های متفاوت تکرار شده است. در اینجا کارآیی الگوریتم پیشنهادی برای حالتی که تعداد حسگرها متفاوت و برد دریافتی آنها یکسان بررسی شده است. فرض کردیم که برد دریافتی هر یک از گره‌ها برابر ۶ متر می‌باشد. شکل ۶ تعداد گره‌های فعال را با اجرای هر یک از الگوریتم‌ها نشان می‌دهد. همانطوریکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود در روش پیشنهادی تعداد گره‌های کمتری در هر یک از مجموعه‌ها استفاده شده است. علت این امر آن است که اتوماتای یادگیر به گره‌ها کمک می‌کند تا گره‌های افزونه را در ناحیه دریافتی خود تشخیص دهند.



شکل ۶) تعداد گره‌های فعال در هر مجموعه

### آزمایش سوم

در این آزمایش پارامتر میزان کیفیت پوشش ناحیه مورد بررسی قرار گرفته است و عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از اتوماتای یادگیر را با الگوریتم ارائه شده در [۱۶] مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد گره‌های درنظر گرفته شده برای این آزمایش بین ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ می‌باشد. شعاع دریافتی هر یک از گره‌ها با هم برابر ۳ متر می‌باشد. در شکل ۷ میزان کیفیت پوشش ناحیه هر یک از روش‌ها را نشان می‌دهد که این روش‌ها تقریباً دارای کیفیت پوشش یکسانی

۲. در غیر اینصورت اگر گره‌های همسایه با اعمال انتخابی خود نتوانند سلوک‌های تحت پوشش این گره را پوشش دهند به عمل انتخابی جریمه داده می‌شود.

هر گره در فاز یادگیری زمانی متوقف می‌شود که یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

۱. احتمال یکی از اعمال اتوماتای یادگیر هر گره از مقدار آستانه بیشتر شود.

۲. تعدا انتخاب عمل توسط اتوماتای یادگیر هر گره از حداقل تعداد انتخاب عمل توسط اتوماتای یادگیر تجاوز کند.

در فاز نظارت ، گره‌هایی که احتمال انتخاب خواب (ASLEEP) در آنها به مقدار آستانه موردنظر رسیدند به حالت خواب می‌روند. سایر گره‌ها در حالت فعال خواهند ماند تا عملیات نظارت محیط را تا پایان دور موردنظر انجام دهند.

### ۶- نتایج شبیه‌سازی‌ها

برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی ما شبیه‌ساز ارائه شده در [۱۸] را تغییر دادیم و کلاس‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی را به این شبیه‌ساز اضافه کردیم و براساس این شبیه‌ساز نتایج حاصل از آزمایشات را استخراج کردیم. تعداد حسگرها بین ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ متغیر می‌باشد که این حسگرها بصورت تصادفی در یک ناحیه  $50m \times 50m$  پخش شده‌اند. شعاع دریافتی حسگرها بین ۳ تا ۱۰ متر متغیر می‌باشد. همچنین فرض شده شده که گره‌ها دارای انرژی یکسانی هستند و انرژی اولیه آنها ۱ ژول می‌باشد. هر یک آزمایشات حداقل با ۱۰ توپولوژی متفاوت انجام شده است. معیارهایی که برای ارزیابی درنظر گرفته شده‌اند عبارتند از: (۱) تعداد گره‌های فعال در مجموعه (۲) کیفیت پوشش (۳) انرژی باقیمانده در هر مجموعه.

#### آزمایش اول

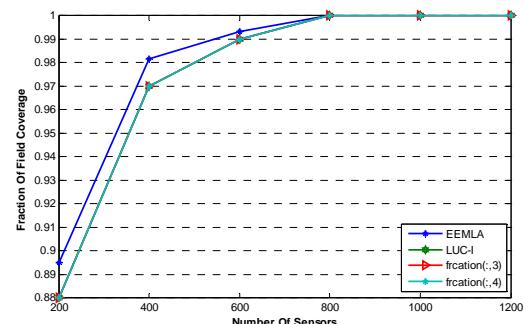
در این آزمایش پارامتر تعداد گره‌های فعال در هر و تاثیر آن روی طول عمر شبکه مورد بررسی قرار گرفته است و عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از اتوماتای یادگیر را با الگوریتم tian02 [۱۳] و الگوریتم‌های ارائه شده در [۱۶] مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد گره‌ها ۱۰۰۰ درنظر گرفته شده است. در هر دور اجرای الگوریتم یک مجموعه پوششی از گره‌ها با استفاده از روش پیشنهادی انتخاب می‌شوند تا عملیات دریافت را انجام دهند و سایر گره‌ها برای ذخیره انرژی به حالت ASLEEP سوئیچ می‌کنند. شکل ۵ نشان می‌دهد که تعداد گره‌های فعال برای انجام عملیات دریافت در محیط تحت نظارت با افزایش شعاع دریافتی گره‌ها کاهش می‌یابد و الگوریتم پیشنهادی نتایج بهتری نسبت به

در این کار یک مکانیزم زمانبندی کارآمد انرژی برای پوشش ناحیه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. در این مکانیزم اتوماتای یادگیر مریبوط به هر گره، گره‌های افزونه در ناحیه تحت نظر را به کمک عملیات یادگیری تشخیص می‌دهد. بمنظور مقایسه نتایج بدست آمده که در آن اتوماتای یادگیر بکار گرفته شده است با استفاده از برنامه‌ای که به زبان سی‌شارپ نوشته شده عملیات شبیه‌سازی را انجام داده شد و نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی نشان از بهتر بودن روش پیشنهادی نسبت به روش‌های ارائه شده دارد.

#### مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," in Proceedings of the IEEE Communication Magazine, August 2002, pp. 102-114.
- [2] D. M. Blough and P. Santi, "Investigating upper bounds on network lifetime extension for cell-based energy conservation techniques in stationary ad hoc networks," in ACM MobiCom Conf, 2002.
- [3] M. Cardei, D. MacCallum, X. Cheng, M. Min, X. Jia, D. Li, and D. Z. Du, "Wireless sensor networks with energy efficient organization," in Journal of Interconnection Networks 3, 2002, pp. 213-229.
- [4] M. Cardei and J. Wu, "Energy-Efficient Coverage Problems in Wireless Ad Hoc Sensor Networks."
- [5] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in HICSS 2000.
- [6] X.-Y. Li, P.-J. Wan, and O. Frieder, "Coverage in wireless ad-hoc sensor networks," in IEEE Trans. Comput, 2003, pp. 753-763
- [7] J. Lu, L. Bao, and T. Suda, "Probabilistic Self-Scheduling for Coverage Configuration in Wireless Ad-hoc Sensor Networks," in IEEE Computer Communication Workshop (CCW) 2003 and later at International Conference on Sensing Technology (ICST) 2005, pp. 1-18.
- [8] J. Lu, L. Bao, and T. Suda, "Probabilistic Self-Scheduling for Coverage Configuration in Sensor Networks," 2005.
- [9] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, Learning automata: An introduction: Prentice Hall, 1989.
- [10] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-Aware Wireless Microsensor Networks," in IEEE Signal Processing Magazine, 2002, pp. 40-50.
- [11] S. Sljepcevic and M. Potkonjak, "Power Efficient Organization of Wireless Sensor Networks," in ICC Helsinki, Finland, 2001.
- [12] M. A. L. Thathachar and P. S. Sastry, "Varieties of learning automata: An overview," in IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2002, pp. 711-722.
- [13] D. Tian and N. D. Georganas, "A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks," in Proc. 1st ACM Int. Workshop onWireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), Atlanta, GA, Sept. 2002, pp. 32-41.

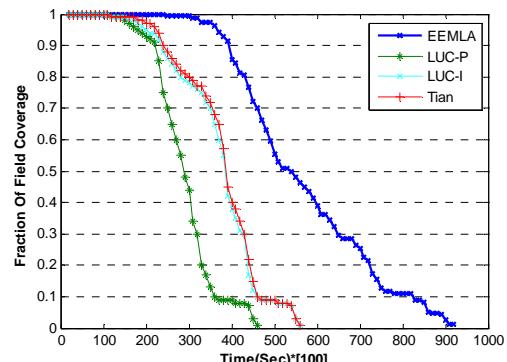
هستند. بعارت دیگر کیفیت پوشش هریک از گره‌های انتخاب شده برای مجموعه پوششی در شبکه یکسان می‌باشد.



شکل ۷) کیفیت پوشش ناحیه ( $R_s = 3$ )

#### آزمایش چهارم

در این آزمایش پارامتر زمان پوشش شبکه و تاثیر آن روی پوشش شبکه و انرژی مصرفی گره‌ها در حالت روشن و حالت خاموش مورد بررسی قرار گرفته است و عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از اتوماتای یادگیر را با الگوریتم ارائه شده در [۱۶] مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد گره‌های مورد بررسی ۵۰۰ گره درنظر گرفته شده و شعاع دریافتی هر یک از گره‌ها ۶ متر است. اندازه بسته‌ها که گره‌ها به یکدیگر می‌فرستند ۲۰۰ بایت درنظر گرفته شده است. در این آزمایش فرض شده است هر گره مقدار ثابتی از انرژی را در هر دو حالت روش و خاموش از دست می‌دهد. همچنین فرض شده که در هر ۱۰۰ ثانیه مجموعه پوششی شبکه بروز می‌شود. همانگونه که در شکل ۸ دیده می‌شود مکانیزم پیشنهادی همواره نتایج بهتری نسبت به روش‌های مورد مقایسه می‌شود. علت این امر آن است که در هر بار انتخاب گرفته برای پوشش ناحیه تعداد کمتری از حسگر انتخاب می‌شوند و باعث افزایش زمان پوشش شبکه و در نتیجه افزایش طول عمر کلی شبکه می‌شوند.



شکل ۸) میزان پوشش ناحیه با ۵۰۰ گره به شعاع دریافتی ۶ متر

- [14] J. Wu and S. Yang, "Energy-Efficient Node Scheduling Models in Sensor Networks with Adjustable Ranges," in International Journal of Foundations of Computer Science World Scientific Publishing Company, 2005, pp. 1-15.
- [15] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "Peas: A robust energy conserving protocol for longlived sensor networks," in Proc. 10th IEEE Int. Conf. Network Protocols (ICNP'02), Paris, Nov. 2002, pp. 200-201.
- [16] O. Younis, M. Krunz, and S. Ramasubramanian, "Coverage Without Location Information," 2007, pp. 51-60.
- [17] H. Zhang and J. C. Hou., "Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor network," in Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, Jan 2005, pp. 89-124.
- [18] <http://www.djstein.com/projects/index.html>