مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال اول، شماره ۶، دی ۱۳۹۸
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

مقایسه کارایی الگوریتم LEACH با الگوریتم های خوشه بندی در کاهش مصرف انرژی گره ها در شبکه حسگر بی سیم

مرجان محسنی [۱]، محسن چگین [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول
[۲] عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

چکیده

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی از طریق تقسیم گره‌های همسایه به خوشه‌های مجزا و انتخاب سرخوشه‌های محلی برای ترکیب و ارسال اطلاعات هر خوشه به ایستگاه مبنا و سعی در مصرف متوازن انرژی توسط گره‌های شبکه، بهترین کارایی را از لحاظ افزایش طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای در مقایسه با سایر روش‌های مسیریابی به دست می‌آورند. با این وجود، همه پروتکل‌های خوشه‌بندی ارائه شده تاکنون، تنها نزدیکی جغرافیایی را به عنوان پارامتر تشکیل خوشه‌ها در نظر گرفته‌اند. دراین تحقیق، با مقایسه الگوریتمLEACH . با چند الگوریتم خوشه بندی، برتری آن از لحاظ افزایش طول عمر و حفظ بیشتر پوشش شبکه‌ای نشان داده می شود.

واژه‌های کلیدی: حسگر بی‌سیم، الگوریتم LEACH، کاهش مصرف انرژی، خوشه‌بندی، مسیریابی

۱. مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم با قابلیت مشاهده محیط فیزیکی، پردازش اطلاعات بستر مناسبی برای تحقق محیطهای هوشمند و کنترلی ایجاد نموده‌اند و پلی میان دنیای فیزیکی و دنیای مجازی اطلاعاتی می‌باشند. این شبکه‌ها شامل مجموعه‌ای از حسگرها می‌باشند که بصورت بی‌سیم به‌هم متصل بوده و اطلاعات دنیای فیزیکی اطراف خود را جمع آوری می‌کنند. هر شبکه حسگر بی‌سیم قادر است بر محیط مورد نظر نظارت داشته و آن را کنترل نماید. وظیفه اصلی گره حسگر، جمع آوری داده در فواصل زمانی منظم و تبدیل آن به یک سیگنال الکترونیکی و انتشار سیگنال به صورت مستقیم و یا با واسطه‌ی گره‌های میانی، به یک گره مرکزی بنام گره چاهک است. چاهک اطلاعات را از حسگرها جمع آوری کرده و داده‌های گردآوری شده را مستقیماً و یا با واسطه‌ی گره‌های میانی به یک ایستگاه مرکزی که با محیط بیرون در ارتباط است تحویل می‌دهد [۱]. یکی از مهمترین چالش‌های شبکه‌های حسگر، انرژی محدود گره‌ها است. عمده مصرف انرژی گره‌ها مربوط به ارسال و دریافت داده‌ها توسط گره‌ها است.

از بین محدودیت‌های پیش‌روی این شبکه‌ها، میزان و نحوه مصرف انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که اتمام باتری حسگرها به معنای از بین رفتن آنها می‌باشد و با توجه به شرایط محیط کاربرد این شبکه‌ها تعویض باتری‌های هزاران گره حسگر عملاً امری ناممکن است. همچنین کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم رابطه‌ی مستقیمی با افزایش طول عمر آنها دارد. لذا برای افزایش طول عمر شبکه سعی می‌شود توزیع بار در شبکه یک توزیع یکنواخت باشد تا فاصله زمانی بین مرگ اولین گره و آخرین گره حداقل گردد. جهت نیل به این هدف، تاکنون پروتکلهای ارتباطی متعددی ارائه شده است که در این بین، پروتکل‌های مبتنی بر خوشه‌بندی، به طور قابل توجهی انرژی مصرفی شبکه را پایین می‌آورد [۲].

در این پروتکل‌ها کل شبکه به چندین خوشه افراز می‌شود و در هر کدام از خوشه‌ها یک گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد. در این حالت بجای آنکه هر گره اطلاعات خود را مستقیماً به ایستگاه مرکزی ارسال کند، آن را به سرخوشه مربوطه ارسال کرده و در نهایت سرخوشه‌ها پس از جمع‌آوری و ترکیب داده‌های ارسالی از گره‌های آن خوشه، این داده‌ها را به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کنند. در این پروتکلها انتخاب یک گره در هر خوشه به عنوان سرخوشه و ترکیب داده‌ها به میزان زیادی در افزایش مقیاسپذیری و طول عمر شبکه مؤثر است [۳].

۲. خوشه بندی

خوشه‌بندی یکی از روش‌هایی است که برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های مسیریابی استفاده می‌شود. در خوشه‌بندی، محیط شبکه حسگر بی‌سیم به بخش‌هایی به نام خوشه تقسیم می‌گردد. گره‌ها در هر خوشه، داده را از محیط دریافت و به سرخوشه ارسال می‌کنند. سرخوشه پس از دریافت، داده‌ها را تجمیع می‌نماید. پس از تجمیع، داده از طریق مسیر تک‌گامه یا چندگامه به ایستگاه اصلی منتقل می گردد. خوشه‌بندی دارای یک عیب بزرگ است و آن مصرف انرژی گره‌ها به صورت غیریکنواخت می‌باشد.

۱,۲مسیریابی سلسله مراتبی (مبتنی بر خوشه‌بندی)

در روش‌های مسیریابی سلسله مراتبی (مبتنی بر خوشه‌بندی)، گره‌های با انرژی بیشتر می‌توانند برای پردازش و ارسال اطلاعات به کار گرفته شوند در حالی که گره‌های با انرژی کمتر برای اجرای کار حسگرها در مجاورت هدف قابل استفاده هستند. در واقع روش سلسه‌مراتبی 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 ترکیب داده برای کاهش تعداد پیغام‌های ارسالی به ایستگاه مبنا، روش کارآمدی برای مصرف کمتر انرژی در یک خوشه است. روش‌های مسیریابی خوشه‌بندی بطور بالقوه موثرترین روش‌ها برای کاهش مصرف انرژی در

شبکه‌های حسگر بوده و در سال‌های اخیر کاربرد بسیار زیادی داشته‌اند. مهمترین و معروف‌ترین پروتکل از این دسته، LEACH [۴] نام دارد.

۲،۲پروتکل خوشه بندی LEACH

پروتکل سلسه‌مراتبی خوشه‌بندی با انرژی پایین LEACH نخستین و معروف‌ترین پروتکل مبتنی بر خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که ایجاد خوشه‌ها در آن بصورت توزیع شده انجام می‌گیرد. مهمترین هدف LEACH، داشتن ایستگاه‌های مبنای محلی (سرخوشه‌ها) برای کاهش مصرف انرژی ناشی از انتقال داده‌ها به یک ایستگاه مبنای دوردست است. LEACH، گره‌های حسگر اندکی را به طور تصادفی به عنوان سرخوشه‌ها انتخاب کرده و گره‌های محلی را به عنوان خوشه‌های محلی سازماندهی می‌کند.

انتساب گره‌ها به سرخوشه‌ی مربوطه بر اساس نزدیکی صورت می‌گیرد. گره‌های غیرسرخوشه داده‌های خود را به سرخوشه‌ها انتقال می‌دهند. بنابراین تنها سرباری که برای آن‌ها وجود دارد، برقراری ارتباط درون خوشه‌ای است. گره‌های سرخوشه نسبت به گره‌های عادی به انرژی بیشتری نیاز دارند. بنابراین انتخاب گره‌های سرخوشه‌ی ثابت، منجر به تخلیه زودهنگام انرژی و مرگ زودرس آن‌ها می‌گردد. توازن انرژی سرخوشه‌ها با چرخش نوبتی نقش سرخوشه بین گره‌های مختلف برقرار می‌گردد. همچنین استفاده از اجتماع/ترکیب داده در سرخوشه‌ها، حجم پیغام ارسالی به ایستگاه مبنا را کاهش داده و موجب ذخیره‌ی انرژی می‌گردد. عملکرد پروتکل LEACH به چندین دور تقسیم می‌شود. هر دور با مرحله نصب آغاز می‌شود که در آن خوشه‌ها سازماندهی می‌شوند. به دنبال مرحله نصب، مرحله انتقال داده قرار دارد که در آن گره‌های عادی، داده‌های خود را به سرخوشه‌ها ارسال نموده و سرخوشه‌ها پس از انجام اجتماع/ ترکیب داده، بسته مجتمع شده را به ایستگاه مبنا انتقال می‌دهند تا میزان اطلاعاتی که باید به ایستگاه مبنا ارسال شود را کاهش دهند.

۲ - ۳پیشینه تحقیق

در [۵] الگوریتم EEBCDA ارائه شده است. در این الگوریتم ابتدا محیط شبکه به بخش‌های طولی بنام swim lane تقسیم می‌شوند. سپس هر کدام از lane swim ها به بخش‌های کوچک‌تر بنام grid تقسیم می‌شوند. این نوع بخش‌بندی باعث می‌شود که grid هایی که از BS فاصله بیشتری دارند شامل تعداد گره‌های بیشتری شوند. در نتیجه تعداد گره‌های بیشتری برای سرخوشه شدن شرکت می‌کنند و این باعث متعادل شدن مصرف انرژی در گره‌ها و بهبود افزایش طول عمر شبکه می‌شود. همچنین تعدادی از محققان به بررسی برخی از الگوریتم‌های موجود در سال‌های گذشته پرداخته‌اند. از جمله Abbasi و همکارانش در مرجع [۶] مروری بر شاخص‌ترین کارهای انجام شده در این زمینه تا سال ۲۰۰۷ انجام داده‌اند. در سال ۱۹۹۸ نیز یک کار مشابه در خصوص مرور و بررسی پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر الگوریتم‌های خوشه‌بندی توسط DeAngelis[۷] صورت گرفته است که علاوه بر الگوریتم‌های قدیمی‌تر، نگاهی نیز به کارهای جدید انجام شده تا سال ۲۰۱۲ داشته است.

۳-روش الگوریتم پیشنهادی

در این روش سعی می‌شود که یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر الگوریتم LEACH معرفی و مقایسه شود. در روش پیشنهادی از یک روش خوشه‌بندی مناسب به شکلی استفاده می‌شود که پارامترهای مربوط به شبکه بهینه شوند. در الگوریتم -

های خوشه‌بندی همواره سرخوشه انرژی بیشتری نسبت به خوشه‌ها مصرف می‌کنند برای رفع این مشکل باید در هر مرحله، سرخوشه تغییر کند این تغییر اغلب بصورت تصادفی انجام می‌شود اما در روش پیشنهادی این انتخاب هدفمند است و بر اساس میزان انرژی باقیمانده گره‌ها، میانگین فاصله بقیه گره‌های موجود در آن خوشه و همچنین میزان فاصله با گره چاهک محاسبه می‌شود که به نظر می‌رسد فاز مربوط به انتخاب سرخوشه را هدفمند می‌کند و موجب مصرف متوازن انرژی گره‌ها می‌شود. این امر باعث می‌شود که انرژی گره‌ها در زمان‌های نزدیک به هم به اتمام برسد و شبکه پایدارتر گردد. در روش پیشنهادی همچنین محدوده شبکه به زیر قسمت‌هایی تقسیم می‌شود برای اینکه باید مصرف انرژی گره‌ها متوازن‌تر شود. در بیشتر کارهای انجام شده که از خوشه‌بندی استفاده شده است اندازه خوشه‌ها یکسان و تعداد خوشه ها ثابت در نظر گرفته شده است ولی در روش پیشنهادی اندازه خوشه‌ها با توجه به فاصله از گره چاهک متفاوت در نظر گرفته شده است و تعداد خوشه‌ها هم با کم شدن گره‌ها کاهش می‌یابد .

۳-۱پارامترهای شبیه‌سازی

به منظور مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی با پروتکل‌های مشابه پیشین از مدل انرژی مطابق روابط استفاده شده است. همچنین به منظور پیاده‌سازی شبکه عصبی SOM، از جعبه ابزار شبکهٔ عصبی نقشهٔ خودسازماندهی که توسط محققان دانشگاه فناوری هلسینکی، استفاده شده است. داده‌های جدول ۱ برای مقایسهٔ دقیق نتایج سه الگوریتم به ازاء تعداد گره‌های مختلف به کار گرفته شده‌اند. پارامتر دیگری که باید در شبیه‌سازی تعیین گردد، مقدار m. این عدد به طور آزمایشی تعیین می‌شود و مقدار آن به تعداد بهینه‌ی خوشه‌هایی که انتظار داریم داشته باشیم، وابسته است. در الگوی اول(با ۱۰۰ گره) فرض می‌کنیم m=۱۶ یا m=۲۰ و در الگوی دوم(با ۴۰۰ گره) فرض می‌کنیم m=۵۰ یا m=۸۰ باشد. همچنین مقادیر ضرایب مربوط به تابع هزینه انتخاب سرخوشه به صورت آزمایشی و بر اساس میزان اهمیت هر معیار در تصمیم‌گیری تعیین شده‌اند:

$$\alpha = 0.6, \beta = 0.1, \gamma = 0.1 \ \& \ \varpi = 0.2 \qquad (۱)$$

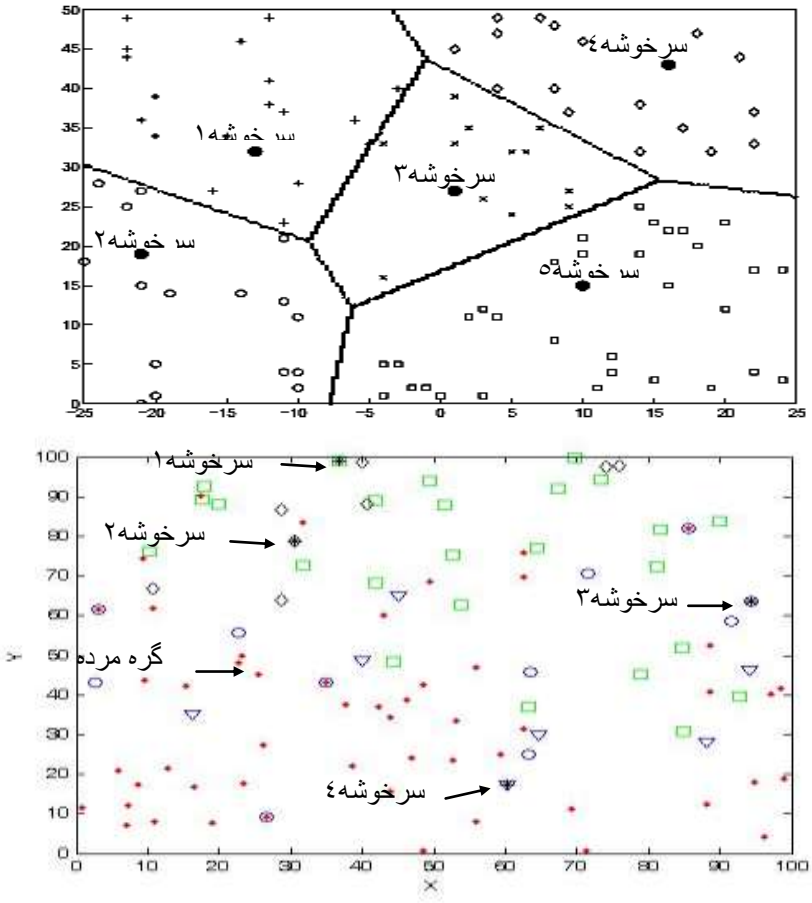
جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Scene۱	Scene۲
N	۱۰۰	٤۰۰
Area	100×100	
Location of BS	(۵۰،۲۰۰)	
Dcrossover	۸۷m	
Initial Energy	۰،۵J	
E_{elec}	۵۰n.j/bit	
ε_{fs}	۱۰pJ/bit/m^{۲}	
ε_{mp}	۰،۰۰۱۳pJ/bit/m^{٤}	
EDA	۵ nJ/bit/signal	
Packet Size	٤۰۰۰ bits	

۴-ارزیابی کارایی

در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی LEACH، نحوه‌ی تشکیل خوشه‌ها با الگوریتم‌های خوشه‌بندی EBCS مقایسه شده است. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می‌کنید، در پروتکل EBCS هر خوشه شامل گره‌های همسایه است و مرز بین خوشه‌ها به

سادگی قابل جداسازی است. ولی در پروتکل LEACH، به دلیل استفاده از معیار سطح انرژی گره‌ها در خوشه‌بندی، بعد از اینکه سطح انرژی گره‌ها تغییرات قابل ملاحظه‌ای پیدا کند. نتایج این الگوریتم حاکی از آن است که هر خوشه لزوماً در برگیرنده گره‌های همسایه نیست بلکه در واقع مجموعه‌ای از گره‌های پرانرژی و کم‌انرژی است به طوری که توازن انرژی در بین همه‌ی خوشه‌ها حفظ گردد. به عبارت دیگر نزدیک‌ترین گره‌های کم انرژی و پرانرژی، به طور مجازی در یک خوشه قرار می‌گیرند.



شکل۱: الف- نحوه تشکیل خوشه‌ها در EBCS ب- نحوه تشکیل خوشه‌ها در LEACH؛ سرخوشه‌ها در EBCS با علامت • و در LEACH با علامت ✱ نشان داده شده‌اند.

.

۴-۱- مقایسه کارایی الگوریتم پیشنهادی با پروتکل‌های پیشین از لحاظ طول عمر شبکه

الگوریتم پیشنهادی LEACH با سه معیار انتخاب سرخوشه که قبلاً در پروتکلLEA۲C در مرجع [۸] به کار گرفته شده، مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که انتخاب گره‌ی سرخوشه با معیار حداکثر سطح انرژی، همواره کارایی بهتری نسبت به دو معیار دیگر از خود نشان می‌دهد که فاصله قابل توجهی با نتایج این دو معیار دارد. بنابراین، بهترین کارایی

LEACH با نتایج دو پروتکل قبلی یعنی EBCS و LEA۲C به ازاء مقادیر هر دو الگوی جدول ۱ در یک گراف مورد مقایسه قرار گرفته است. مقایسه با استفاده از سه معیار استاندارد در الگوریتم‌های مسیریابی شبکه‌ی حسگر صورت گرفته است:

زمان مرگ اولین گره : شماره‌ی دوری که در آن اولین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد.

زمان مرگ نیمی از گره‌ها: شماره‌ی دوری که در آن نیمی از گره‌های شبکه (در الگوی اول ۵۰ گره و در الگوی دوم ۲۰۰ گره) به دلیل اتمام انرژی از کار افتاده باشند.

زمان مرگ آخرین گره: شماره‌ی دوری که در آن آخرین گره‌ی شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد.

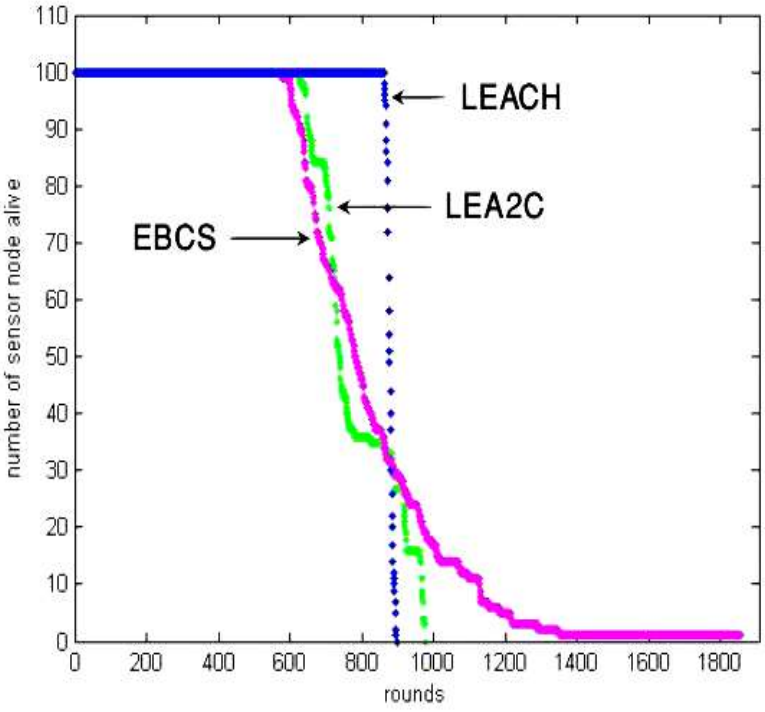
نتایج به دست آمده از سه پروتکل و نتایج به دست آمده از الگوریتم LEACH با معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه به ازای الگوی اول در جدول ۲ و به ازای الگوی دوم در جدول ۳ آمده است. لازم به یادآوری است، در پروتکل LEA۲C، انتخاب سرخوشه با معیار حداکثر سطح انرژی در نظر گرفته شده است. همچنین نتایج با میانگین‌گیری از جامعه‌ی آماری به دست آمده است.

جدول ۲ مقایسه‌ی نتایج سه الگوریتم و معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه (الگوی اول)

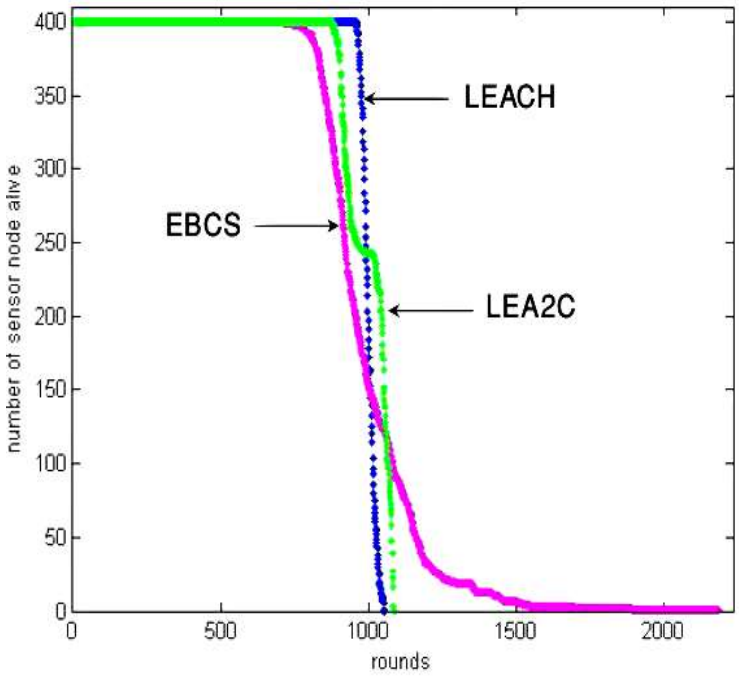
	الگوریتم	زمان مرگ اولین گره	زمان مرگ نیمی از گره‌ها	زمان مرگ آخرین گره
تعداد گره‌ها=۱۰۰ (الگوی اول)	LEACH	۸۷۵	۸۸۰	۹۹۲
	LEA۲C(maximum energy)	۶۲۶	۷۳۸	۹۷۷
	EBCS(maximum energy)	۸۶۲	۸۷۸	۸۹۷
	EBCS(nearest to BS)	۴۷	۹۹۶	۱۲۰۶
	EBCS(nearest to GC)	۴۷	۸۳۴	۱۵۵۸
	EBCS(COST)	۵۶۷	۷۸۱	۱۸۵۷

جدول ۳ مقایسه‌ی نتایج سه الگوریتم و معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه (الگوی دوم)

	الگوریتم	زمان مرگ اولین گره	زمان مرگ نیمی از گره‌ها	زمان مرگ آخرین گره
تعداد گره‌ها=۴۰۰ (الگوی دوم)	LEACH	۸۷۹	۱۰۱۴	۱۱۰۴
	LEA۲C(maximum energy)	۸۶۷	۱۰۴۵	۱۰۸۷
	EBCS(maximum energy)	۹۵۹	۹۹۹	۱۰۵۳
	EBCS(nearest to BS)	۱۸	۱۱۲۰	۱۴۲۱
	EBCS(nearest to GC)	۲۲	۱۰۵۷	۱۷۱۲
	EBCS(COST)	۷۱۳	۹۵۸	۲۱۸۴



الف



ب

شکل ۲: مقایسه کارایی سه الگوریتم LEACH، LEA۲C و EBCS از لحاظ تعداد گره‌های زنده به شماره دوره‌های الگوریتم، الف: در الگوی اول؛ ب: در الگوی دوم

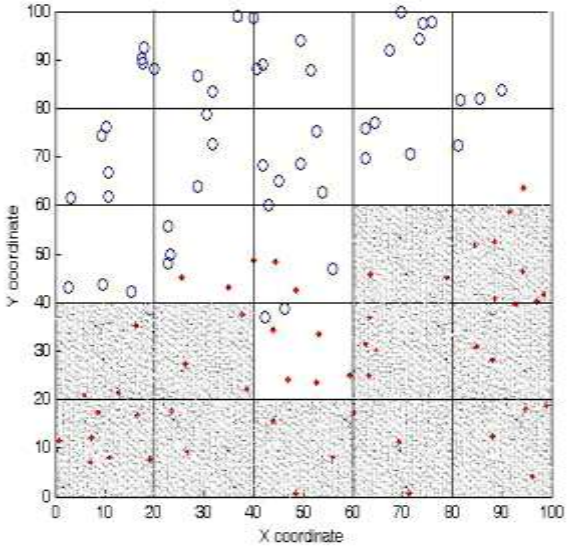
چنانچه در شکل ۲ می‌بینید، برتری پروتکل پیشنهادی LEACH در مقایسه با دو پروتکل قبلی نمایش داده شده است. این نتایج ثابت می‌کنند که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند در الگوی اول در ۹۵٪ طول عمر شبکه و در الگوی دوم در ۹۰٪ عمر

شبکه، بقاء کامل شبکه (پوشش‌شبکه‌ای) را تضمین کند. مطابق شکل (۲ الف)، الگوریتم جدید می‌تواند در الگوی اول، طول عمر شبکه را بر اساس زمان مرگ اولین گره، ۵۰٪ نسبت به EBCS و ۳۸٪ نسبت به LEA۲C افزایش دهد. همچنین شکل (۲ ب) اثبات می‌کند که الگوریتم جدید پیشنهادی، در الگوی دوم، طول عمر شبکه را بر اساس زمان مرگ اولین گره، ۲۷٪ نسبت به EBCS و ۱۱٪ نسبت به LEA۲C افزایش می‌دهد. (در دو پروتکل LEACH و LEA۲C انتخاب سرخوشه با معیار حداکثر سطح انرژی در نظر گرفته شده است).

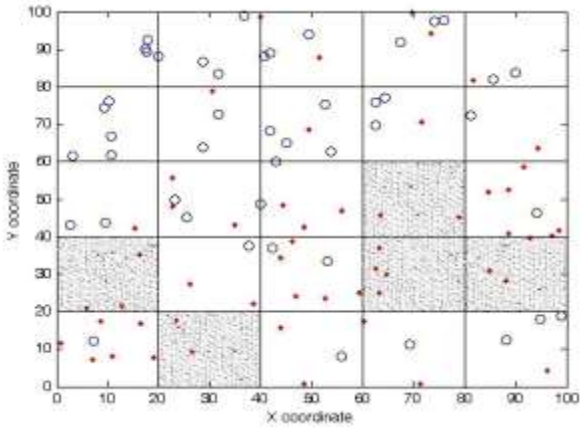
۴-۲ ارزیابی کارایی پروتکل LEACH در افزایش پوشش شبکه‌ای

از آنجایی که از دست دادن گره‌های حسگر فعال در ناحیه‌ای از شبکه‌ی حسگر، با از دست رفتن پوشش شبکه‌ای، پایش آن ناحیه را غیرممکن خواهد ساخت، حفظ پوشش شبکه‌ای یکی از مهمترین معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های مسیریابی شبکه‌ی حسگر محسوب می‌گردد.

برای بررسی پوشش شبکه‌ای پروتکل پیشنهادی LEACH و مقایسه آن با نتایج پروتکل‌های قبلی(EBCS و LEA۲C) آزمایشی انجام شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید، به منظور تعیین معیاری منطقی برای اندازه‌گیری میزان پوشش شبکه‌ای، فضای فرضی شبکه‌ی حسگر به ۲۵ ناحیه‌ی حسگری مجازی (گرید) تقسیم شده است در شکل ۳ پوشش شبکه‌ای EBCS و LEACH با تعداد گره‌ی مرده برابر(۳۶ گره مرده از ۱۰۰ گره اولیه) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مکان ایستگاه مبنا در این حالت (x=۰, y=-۱۰۰) در نظر گرفته شده است. مقایسه تعداد نواحی زنده در دو الگوریتم، حاکی از آن است که LEACH ۹۲٪ و EBCS، ۸۴٪ از پوشش شبکه‌ای خود را حفظ کرده‌اند. بنابراین LEACH، هشت درصد افزایش در پوشش شبکه‌ای را نسبت به EBCS از خود نشان می‌دهد.



الف



ب

شکل ۳: مقایسه‌ی پوشش شبکه‌ای در الف- LEA۲C و ب- LEACH با ۵۰ گره مرده

در شکل ۳ پوشش شبکه‌ای LEACH و LEA۲C با تعداد گره‌ی مرده برابر(۵۰ گره مرده از ۱۰۰ گره اولیه) مورد مقایسه قرار گرفته اند. مکان ایستگاه مبنا در این حالت (x=۵۰, y= ۲۰۰) در نظر گرفته شده است. مقایسه تعداد نواحی زنده در دو الگوریتم حاکی از آن است که LEA۲C ۵۶٪ و LEACH، ۸۰٪ پوشش شبکه‌ای خود را در زمان مرگ نیمی از گره‌های شبکه حفظ کردند. بنابراین LEACH، ۲۴٪ افزایش در پوشش شبکه‌ای را نسبت به LEA۲C از خود نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان این طور نتیجه گرفت که LEACH در مقایسه با هر دو الگوریتم، پوشش شبکه‌ای را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد که این افزایش با توجه به منطق این الگوریتم و نحوه‌ی متفاوت تشکیل خوشه‌ها که به توازن بیشتر مصرف انرژی در شبکه‌ی حسگر منجر می‌شود، قابل توجیه است.

۵-نتیجه گیری

در این تحقیق نتایج شبیه‌سازی پروتکل جدید خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی با استفاده از الگوریتم جدید پیشنهادی LEACH ارائه گردید. تفاوت نحوه‌ی شکل‌گیری خوشه‌ها در LEACH با پروتکل‌های قبلی، نشان داده شد. سپس با نتایج نموداری و آماری حاصل از شبیه‌سازی اثبات گردید که پروتکل LEACH از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه و نیز حفظ پوشش شبکه‌ای نسبت به دو پروتکل مشابه قبلی (EBCS و LEA۲C) برتری آشکاری از خود نشان می‌دهد.

منابع

۱. Abdel-Aty-Zohdy, H.S. and Ewing R.L. (۲۰۰۰) '***Intelligent Information Processing Using Neural Networks and Genetic Algorithms***', In: *Proc. ٤٣rd Midwest Symp. Circuits and Systems*, Aug, pp. ٨٤٠-٨٤٥.

۲. Ash T. (۱۹۸۹) ***'Dynamic Node Creation in Back propagation Networks'***, *technical report*, Inst. for Cognitive Science, Univ. of California, San Diego

۳. Aslam N, Philips W, Robertson W, Siva Kumar SH. (۲۰۱۰) '***A multi-criterion optimization technique for energy efficient cluster formation in Wireless Sensor networks***', In: *Information Fusion, Elsevier*

٤. Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. (۲۰۰۰) '***Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks***', In: *Proc. ٣٣rd Hawaii Int'l. Conf.Sys. Sci*, ۲۰۰۰

٥. Chaudhuri S.P. and Das S. (۱۹۹۰) ***Neural Networks for Data Fusion***, In: *Proc. IEEE Int'l Conf. Systems Eng*.

٦. Abbasi, A. A. and M. Younis, A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. Computer communications, Vol. ٣٠, No. ١٤, pp. ٢٨٢٦-٢٨٤١, ٢٠٠٧.

٧. DeAngelis, C.M and Whitney, J.E. (۱۹۹۸) '***The Neurally Inspired Contact Estimator (NICE)***', *In: Proc. IEEE Oceanic Eng. Soc. Conf*, vol. ٣, pp. ١٦١٩-١٦٢٣.

٨. Dehni L, Krief F, Bennani Y. (۲۰۰٥) ***'Power Control and Clustering in Wireless Sensor Networks',*** In: *Challenges in Ad Hoc Networking*, vol ۲۰۰٥, pp.٣١-٤٠.