

استفاده از پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی خودسازمانده در

شبکه‌های بی‌سیم با هدف افزایش طول عمر شبکه

سعید مرادی زاده دهویی^۱، فهیمه یزدان پناه^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی بعثت کرمان

saeedmoradzadeh1992@gmail.com

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولیعصر (عج)

yazdanpanahf@vru.a.ir

چکیده

یکی از مهمترین مسائل در شبکه بی‌سیم موردی متحرک که به‌عنوان یک فناوری کارا موردنظر است طول عمر شبکه است. در این تحقیق، یک پروتکل جدید خوشه‌بندی متمرکز مبتنی بر انرژی با استفاده از شبکه عصبی نقشه خودسازمان‌دهی برای شبکه‌های بی‌سیم موردی متحرک ارائه می‌شود که قادر به خوشه‌بندی گره‌های شبکه بر اساس سطح انرژی و مختصات گره‌ها می‌باشد. این پروتکل با استفاده از تعداد مشخصی از گره‌های پرانرژی در شبکه و اعمال آن‌ها به‌عنوان وزن نورون‌های نقشه خودسازمان‌دهی، نزدیک‌ترین گره‌های کم انرژی را جذب گره‌های پرانرژی می‌کند؛ به‌طوری‌که خوشه‌ها لزوماً از گره‌های مجاور تشکیل نشده و درواقع بر اساس دو پارامتر سطح انرژی و همسایگی، خوشه‌هایی با انرژی متوازن تشکیل خواهند شد. کارایی برتر این پروتکل از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه و حفظ بهتر پوشش شبکه‌ای در مقایسه با پروتکل‌های پیشین نظیر لیچ و LEA2C و نیز تأثیر تابع هزینه پیشنهادی در ذخیره انرژی با شبیه‌سازی به اثبات رسید.

کلمات کلیدی: شبکه بی‌سیم موردی متحرک، شبکه عصبی، نقشه خودسازمان‌دهی، کاهش مصرف انرژی، خوشه‌بندی.

۱. مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و مخابرات بی‌سیم توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی را با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربریهای گوناگون داده است. این حسگرهای کوچک که توانایی انجام اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی بر اساس نوع حسگر، پردازش و ارسال آن اطلاعات را دارند، موجب پیدایش ایده ای برای ایجاد و گسترش شبکه‌های موسوم به شبکه حسگر بی‌سیم شده‌اند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم موردی به‌طورکلی از یک یا چند ایستگاه اصلی و ده‌ها یا هزاران گره حسگر که در فضای فیزیکی پخش شده‌اند تشکیل شده است. با اجتماع دریافت اطلاعات، محاسبات و ارتباط بی‌سیم گره‌های حسگر می‌توانند اطلاعات را دریافت کنند، اطلاعات خام را پردازش کنند و

اطلاعات مورد نیاز را به ایستگاه اصلی گزارش دهند. ایستگاه اصلی می‌تواند گره‌های حسگر را برای این‌گونه اطلاعات مورد پرس و جو قرار دهد.

پیام‌ها در شبکه‌های حسگری معمولاً در مقایسه با شبکه‌های موجود اندازه کوچک‌تری دارند. در نتیجه در بیشتر کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بخش‌بندی پیام‌ها مفهومی ندارد. این ویژگی‌های متمایزکننده چالش‌های جدیدی در طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح می‌کند که بتوانند پاسخگوی نیازمندی‌های این کاربردها باشند و برای طولانی‌ترین مدت ممکن کار کنند. بدون شک یکی از مهم‌ترین مشکلات شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محدودیت منابع انرژی است. اندازه کوچک، وزن پایین و نحوه قرارگیری اقتضایی که لازمه کاربردهای خاص شبکه‌های حسگر بی‌سیم موردی است باعث می‌شود که گره‌های حسگر برای تأمین انرژی مصرفی خود هنوز هم وابسته به باتری‌های کوچک باشند [۱]. از این گذشته کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم موردی شدیداً به طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای آن‌ها وابسته است. بنابراین تمامی سطوح این نوع شبکه‌ها باید با آگاهی از انرژی طراحی شوند. یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در خصوص این شبکه‌ها، مسیریابی است. تلاش‌های بسیاری برای ارائه روش‌های مسیریابی انرژی آگاه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم موردی انجام شده است. لیکن یکی از پرکاربردترین و مؤثرترین روش‌های مسیریابی، روش‌های سلسله مراتبی (مبتنی بر خوشه‌بندی) است. روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی با تقسیم گره‌های شبکه در قالب چندین دسته یا خوشه و انتخاب یک نماینده از هر خوشه، تحت عنوان سرخوشه، سعی دارند توازن انرژی را در شبکه برقرار سازند. گره سرخوشه در واقع یک گره مبنای محلی در هر خوشه است که معمولاً باید از حیث انرژی و قدرت پردازشی، بهتر از سایر گره‌های آن خوشه باشد. گره سرخوشه داده‌های ارسال شده توسط سایر گره‌های عضو را دریافت کرده و با استفاده از روش‌های مختلف (روش‌های پردازش سیگنال یا شبکه‌های عصبی و...) آن‌ها را مجتمع یا ترکیب کرده و در قالب بسته کوچک‌تری به ایستگاه مبنا ارسال می‌کند.

در این تحقیق به مسئله مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم موردی باهدف کاهش مصرف انرژی و حفظ پوشش شبکه‌ای پرداخته شده است. برای رسیدن به این هدف، از شبکه عصبی نقشه خودسازمان‌دهی جهت ارائه پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی استفاده شده است. این پروتکل جدید که خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی خودسازمان‌ده (EBCS)^۱ نام دارد، خوشه‌بندی را با توجه به سه معیار سطح انرژی و مختصات مکانی هر گره انجام می‌دهد و برتری آن از لحاظ افزایش طول عمر و حفظ بیشتر پوشش شبکه‌ای (با شبیه‌سازی) به اثبات رسیده است.

۲. پیشینه تحقیق

در حال حاضر بهینه‌سازی مسیریابی داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، موضوع بسیار بحث برانگیزی است. از این رو، محققان زیادی به بررسی ابعاد آن پرداخته‌اند. در ادامه چندین نمونه رایج از پیشینه تحقیق بررسی خواهد شد. غفاری مقدم و همکاران [۲] شبکه عصبی را بهترین روش آگاه از انرژی در شبکه‌های بی‌سیم دانسته‌اند و در این تحقیق یک پروتکل جدید که پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی خودسازمان‌ده ای بی‌سی اس نام دارد خوشه‌بندی را با توجه به دو معیار سطح انرژی و مختصات مکانی هر گره انجام می‌دهد و برتری آن از لحاظ افزایش طول عمر و حفظ بیشتر پوشش شبکه‌ای با شبیه‌سازی به اثبات رسیده است. انعامی [۳] در تحقیقی ضمن معرفی روش شبکه عصبی کارایی برتر این پروتکل از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه و حفظ بهتر پوشش شبکه‌ای در مقایسه با پروتکل‌های پیشین نظیر LEACH و CYLEA و نیز تأثیر تابع هزینه پیشنهادی بر کارایی آن (با شبیه‌سازی) به اثبات رسانده است. کلاوس هرمان و همکاران [۴] در تحقیق خود ضمن بیان خلا انعطاف‌پذیری در شبکه‌های بی‌سیم موردی متحرک و نقص مصرف

¹ Energy Based Clustering Self organizing map

انرژی بالا روشی را بر اساس شبکه عصبی پیشنهاد می‌کنند و در فرآیند شبیه‌سازی به اثبات می‌رسانند. سارکار و راجا دیتا [۵] نیز در مقاله‌ای به بررسی پرتوکول شبکه عصبی خودسازمان‌دهی در جهت کاهش انرژی در تلفن‌های همراه پرداخته‌اند و نتیجه را که حاصل از شبیه‌سازی بوده به اثبات رسانده‌اند و معتقدند که شبکه عصبی روش بهینه و آگاه از انرژی برای شبکه‌های بی‌سیم موردی متحرک است.

۳. روش تحقیق

الگوریتم EBCS، یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی است که با به‌کارگیری سطح انرژی گره‌ها به‌عنوان بعد سوم، و مختصات مکان هر گره به‌عنوان بعد اول و بعد دوم سعی در خوشه‌بندی متوازن گره‌ها از لحاظ انرژی دارد. برای انجام خوشه‌بندی از شبکه عصبی نقشه خودسازمان‌دهی استفاده شده است. واحدهای نقشه m گره دارای بالاترین سطح انرژی در شبکه هستند. ورودی شبکه، سه بعد انرژی و مختصات مکانی هر گره (X, Y, E) می‌باشند. وزن‌های ارتباطی در واقع مختصات (X, Y, E) مربوط به هر واحد نقشه که همان m گره پرانرژی هستند، خواهند بود. شبکه عصبی خودسازمان‌دهی بعد از آموزش و تنظیم مجدد وزن‌ها، خوشه‌هایی بر اساس گره‌های پرانرژی در شبکه شکل خواهد داد. در واقع هر خوشه، ترکیبی از یک گره پرانرژی و نزدیک‌ترین گره‌های کم انرژی است. بدین ترتیب همه خوشه‌ها تقریباً از سطح انرژی یکسانی برخوردار خواهند بود. بر طبق نتایج شبیه‌سازی، در پروتکل جدید ارائه‌شده (ای بی سی اس)، ساختار خوشه‌ها با الگوریتم‌های قبلی از جمله لیچ متفاوت بوده و هر خوشه لزوماً از گره‌های مجاور تشکیل نشده است.

شبکه عصبی نگاشت خودسازمان‌دهی بیشترین شباهت را به الگوریتم LEACH-C و LEA2C دارد. این الگوریتم در واقع یک روش خوشه‌بندی متمرکز است بدین معنی که تشکیل خوشه‌ها و انتساب نقش‌های مربوطه به گره‌ها، توسط ایستگاه مبنا صورت می‌گیرد. ایستگاه مبنا، گرهی (معمولاً خارج از شبکه) فرض می‌شود که هیچ‌گونه محدودیتی در منابع انرژی و پردازشی ندارد. عملکرد الگوریتم همانند الگوریتم LEA2C به چندین دور تقسیم می‌شود. هر دور با مرحله نصب^۱ (تشکیل خوشه) شروع می‌شود که در آن سازمان‌دهی خوشه‌ها اتفاق می‌افتد. به دنبال هر مرحله نصب، مرحله انتقال داده^۲ شروع می‌شود که در طی آن داده‌ها از گره‌های عادی به سرخوشه‌ها ارسال می‌شوند. هر سرخوشه، داده‌های دریافتی از گره‌های عضو را مجتمع یا ترکیب نموده و در قالب بسته داده به ایستگاه مبنا ارسال می‌کند. ایستگاه مبنا مسئول خوشه‌بندی گره‌های شبکه و انتساب نقش‌های مناسب به آن‌ها است. بعد از تعیین سرخوشه‌های دور جاری، ایستگاه مبنا پیغامی حاوی شناسه^۳ سرخوشه‌های هر خوشه را به هر گره ارسال می‌کند. اگر شناسه سرخوشه یک گره با شناسه خودش مطابقت داشته باشد، آن گره یک سرخوشه است، در غیر این صورت یک گره عادی محسوب می‌شود. ایستگاه مبنا همچنین به ازاء هر خوشه، جدولی برای دستیابی چندگانه با تقسیم زمانی (TDMA)^۴ ایجاد کرده و این جدول را به سرخوشه‌ها تأثیر می‌دهد. جدول تقسیم زمانی برای زمان‌بندی انتقال داده‌های گره‌های حسگر به کار می‌رود و نیز به گره‌های حسگر امکان می‌دهد تا رسیدن برش زمانی مربوط به خود، آنتن رادیویی خود را خاموش کرده و انرژی خود را ذخیره کنند. بنابراین، هزینه انرژی که برای تشکیل خوشه‌ها لازم است تنها برای ایستگاه مبنا مطرح بوده و هیچ بسته کنترلی توسط گره‌های شبکه ارسال نمی‌گردد [۱].

فرض دیگر الگوریتم آن است که ایستگاه مبنا در مورد سطح انرژی و موقعیت گره‌های شبکه از دانش کافی برخوردار است (برای مثال فرض می‌شود که هر یک از گره‌ها دارای GPS باشند). فرض مهم دیگر الگوریتم آن است که گره‌های

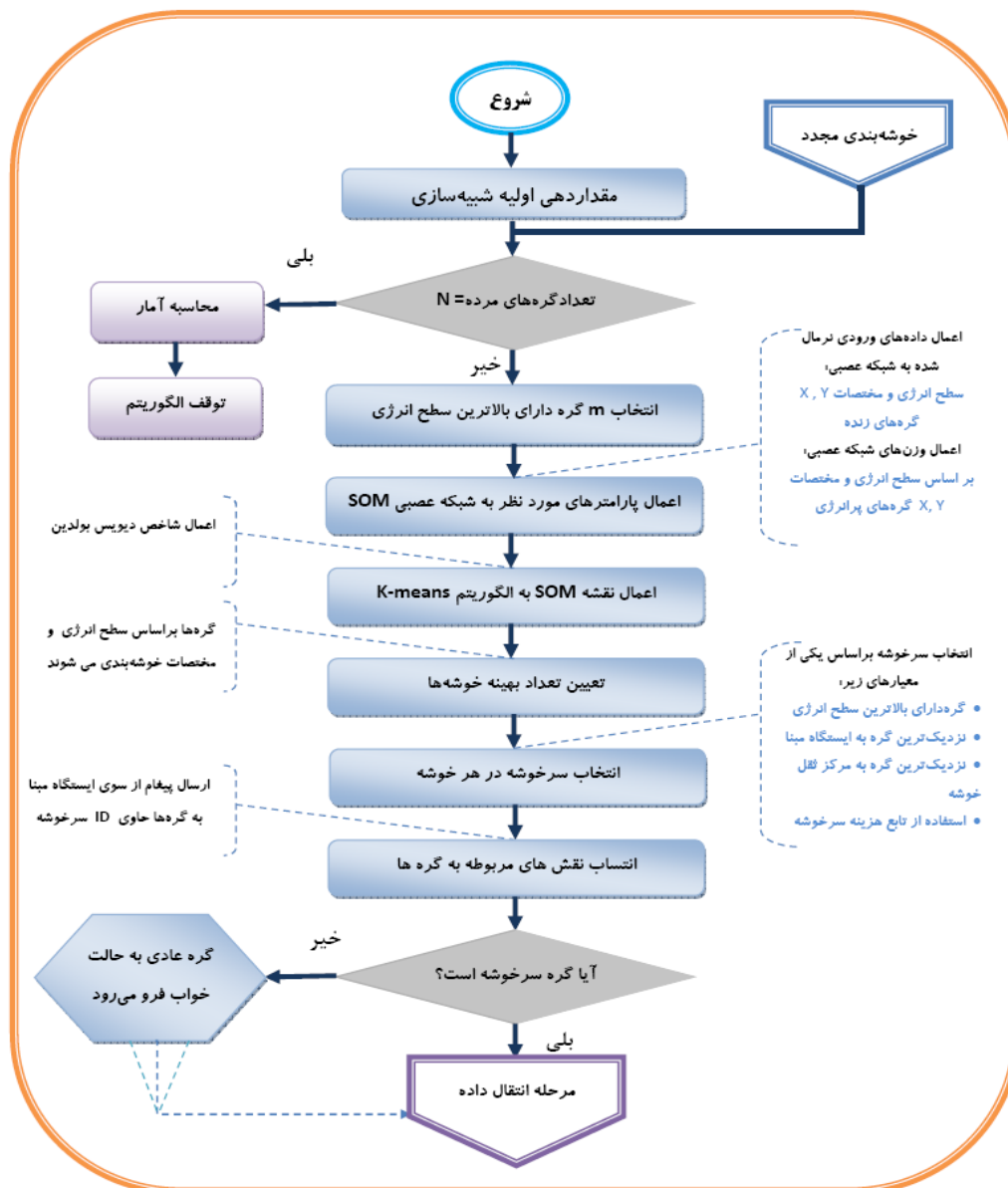
¹ Setup phase

² Data transmission phase

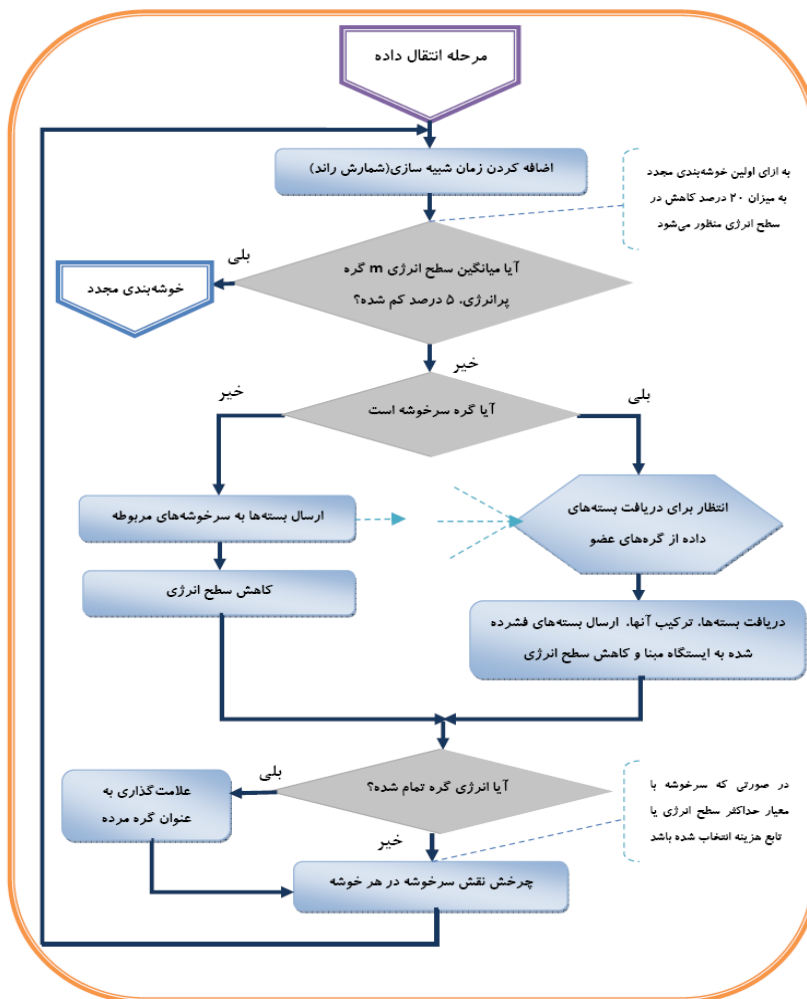
³ ID

⁴ Time Division Multiple Access

شبکه به صورتی تصادفی در فضای شبکه توزیع شده‌اند. گره‌های شبکه، همگن بوده یعنی از توان پردازشی، ارتباطی و ذخایر انرژی یکسانی (در شروع الگوریتم) برخوردارند. در شکل ۱ و ۲ فلوچارت مرحله خوشه بندی و انتقال داده در الگوریتم ای بی سی اس نشان داده شده است.



شکل ۱. فلوچارت مرحله خوشه‌بندی پروتکل EBCS



شکل ۲. فلوجارت مرحله انتقال داده پروتکل EBCS

جهت آزمایش و اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی (EBCS) از زبان برنامه نویسی متلب استفاده شده است. به منظور مقایسه نتایج پروتکل پیشنهادی با پروتکل های مشابه پیشین (LEA2C و LEACH) از مدل انرژی مطابق روابط ۱ تا ۴ و صحنه هایی مطابق جدول ۱ استفاده شده است. که در این روابط انرژی مصرف شده به ازاء انتقال k بیت داده به فاصله d به صورت رابطه (3-16) محاسبه می شود:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) \quad (1)$$

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k.E_{elec}(k, d) + k.\epsilon_{friss} d^2 & \text{if } d < d_{crossover} \\ k.E_{elec}(k, d) + k.\epsilon_{two-ray-amp} d^4 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

مصرف انرژی به ازاء دریافت k بیت داده، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$E_{Rx}(k, d) = E_{Rx-tele}(k) = k \cdot E_{elec} \quad (۳)$$

در روابط بالا، E_{elec} انرژی ارسال/دریافت الکترونیکی، k اندازه پیغام بر حسب تعداد بیت، d فاصله بین گیرنده و فرستنده، E_{tx_amp} انرژی تقویت (فزون‌سازی)، \mathcal{E}_{friss} ، عامل تقویت، $d_{crossover}$ فاصله آستانه‌ای است که عامل انتقال در آن تغییر می‌کند. همچنین مصرف انرژی اجتماع داده سرخوشه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{DA} = 5nJ / bit / msg \quad (۴)$$

شبیه‌سازی

به منظور پیاده‌سازی شبکه عصبی خودسازمان‌دهی شونده، از جعبه‌ابزار شبکه عصبی نقشه خودسازمان‌دهی که توسط محققان دانشگاه فناوری هلسینکی^۱، استفاده شده است. داده‌های جدول 1 برای مقایسه دقیق نتایج سه الگوریتم به ازاء تعداد گره‌های مختلف (دو صحنه مختلف) به کار گرفته شده‌اند.

پارامتر دیگری که باید در شبیه‌سازی تعیین گردد، مقدار m (تعداد گره‌های دارای حداکثر سطح انرژی است که به عنوان وزن‌های شبکه عصبی خودسازمانده به کار گرفته می‌شوند). این عدد به طور آزمایشی تعیین می‌شود و مقدار آن به تعداد بهینه خوشه‌هایی که انتظار داریم داشته باشیم، وابسته است. در صحنه اول (با ۱۰۰ گره) فرض می‌کنیم $m=۱۶$ یا $m=۲۰$ و در صحنه 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:

$$\alpha = 0.6, \beta = 0.1, \gamma = 0.1 \ \& \ \varpi = 0.2 \quad (۵)$$

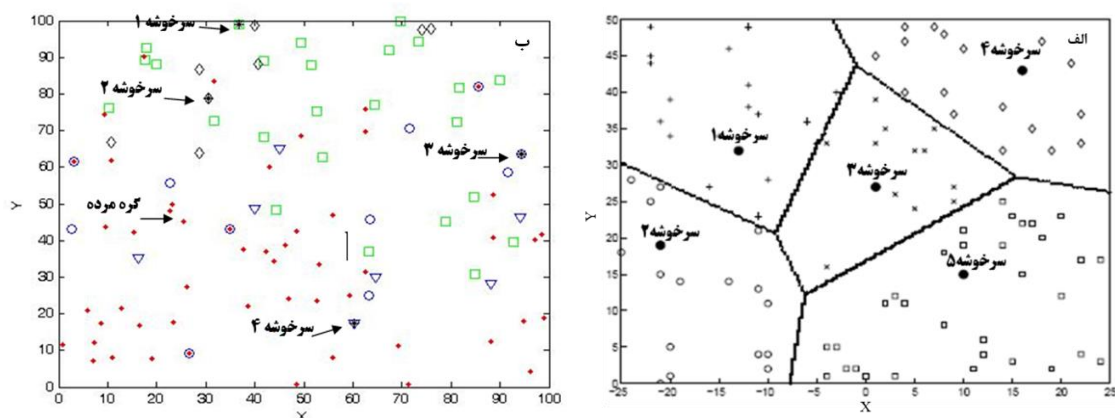
^۱ Helsinki University of Technology

جدول ۱- پارامترهای شبیه‌سازی

Parameter	Scene1	Scene2
N	100	400
Area	100 × 100	
Location of BS	(50, 200)	
$d_{\text{crossover}}$	87m	
Initial Energy	0.5J	
E_{elec}	50nJ/bit	
\mathcal{E}_{fs}	10pJ/bit/m ²	
\mathcal{E}_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴	
EDA	5 nJ/bit/signal	
Packet Size	4000 bits	

الف- مقایسه نحوه تشکیل خوشه‌ها در ای بی سی اس با پروتکل لیچ

در الگوریتم پیشنهادی (EBCS)، نحوه تشکیل خوشه‌ها با الگوریتم خوشه‌بندی لیچ مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌کنید، در پروتکل لیچ هر خوشه شامل گره‌های همسایه است و مرز بین خوشه‌ها به‌سادگی قابل جداسازی است. ولی در پروتکل ای بی سی اس، به دلیل استفاده از معیار سطح انرژی گره‌ها در خوشه‌بندی، بعداً اینک سطح انرژی گره‌ها تغییرات قابل ملاحظه‌ای پیدا کند (به‌ویژه بعد از مرگ تعدادی از گره‌ها) نتایج بسیار متفاوتی دیده می‌شود. نتایج این الگوریتم حاکی از آن است که هر خوشه لزوماً دربرگیرنده گره‌های همسایه نیست بلکه در واقع مجموعه‌ای از گره‌های پرانرژی و کم انرژی است به‌طوری‌که توازن انرژی در بین همه خوشه‌ها حفظ گردد. به‌عبارت‌دیگر نزدیک‌ترین گره‌های کم انرژی و پرانرژی، به‌طور مجازی در یک خوشه قرار می‌گیرند.



شکل ۳. الف- نحوه تشکیل خوشه‌ها در LEACH (هاینزلن و همکاران، ۲۰۰۰)؛ ب- نحوه تشکیل خوشه‌ها در EBCS

ب- مقایسه کارایی ای بی سی اس با پروتکل‌های پیشین از لحاظ طول عمر شبکه

پروتکل ای بی سی اس با سه معیار انتخاب سرخوشه که قبلاً در پروتکل LEA2C توسط (دهنی و همکاران، ۲۰۰۵) به کار گرفته شده، مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که انتخاب گره سرخوشه با معیار حداکثر سطح انرژی، همواره کارایی بهتری نسبت به دو معیار دیگر (نزدیک‌ترین گره به ایستگاه مبنا و نزدیک‌ترین گره به مرکز ثقل خوشه) از خود نشان می‌دهد که فاصله قابل توجهی با نتایج این دو معیار دارد. بنابراین، بهترین کارایی ای بی سی اس (با معیار سرخوشه دارای بالاترین سطح انرژی) با نتایج دو پروتکل قبلی یعنی لیچ و LEA2C به ازاء مقادیر هر دو صحنه شکل ۱ در یک گراف مورد مقایسه قرار گرفته است. مقایسه با استفاده از سه معیار استاندارد در الگوریتم‌های مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم صورت گرفته است:

- زمان مرگ اولین گره^۱: شماره دوری که در آن اولین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد.
- زمان مرگ نیمی از گره‌ها^۲: شماره دوری که در آن نیمی از گره‌های شبکه (در صحنه اول ۵۰ گره و در صحنه دوم ۲۰۰ گره) به دلیل اتمام انرژی از کار افتاده باشند.
- زمان مرگ آخرین گره^۳: شماره دوری که در آن آخرین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد.

نتایج به دست آمده از سه پروتکل و نتایج به دست آمده از ای بی سی اس با معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه به ازای صحنه اول در جدول ۲ و به ازای صحنه دوم در جدول ۳ آمده است. لازم به یادآوری است، در پروتکل LEA2C، انتخاب سرخوشه با معیار حداکثر سطح انرژی در نظر گرفته شده است. همچنین نتایج با میانگین‌گیری از جامعه آماری (۲۰ اجرا به ازاء هر الگوریتم و با مجموعه داده‌های تصادفی) به دست آمده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج سه الگوریتم و معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه (صحنه اول)

تعداد گره‌ها=۱۰۰ (صحنه اول)	الگوریتم	زمان مرگ اولین گره	زمان مرگ نیمی از گره‌ها	زمان مرگ آخرین گره
		LEACH	۵۶۷	۷۸۱
	LEA2C(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)	۷۸۵	۸۸۰	۹۹۲

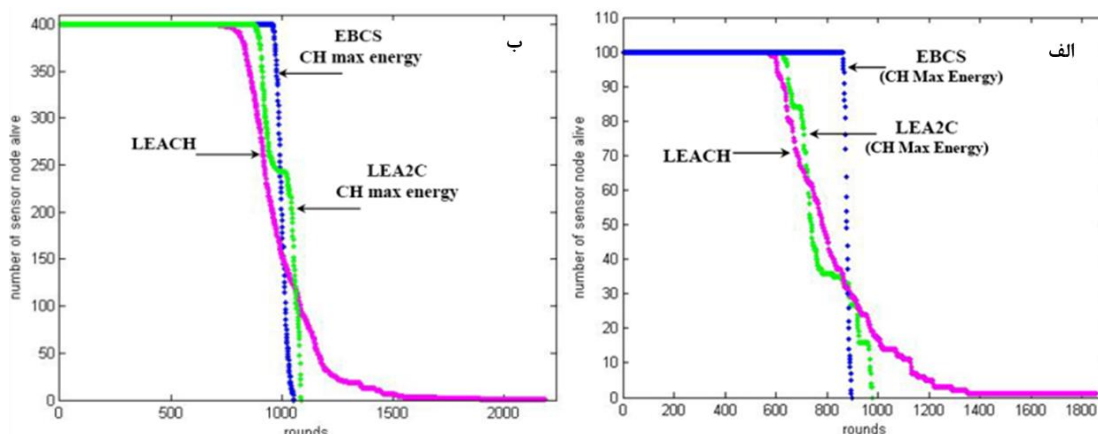
¹ first dead time

² half dead time

³ last dead time

جدول ۳- مقایسه نتایج سه الگوریتم و معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه (صحنه دوم)

تعداد گره‌ها=۴۰۰ (صحنه دوم)	الگوریتم	زمان مرگ اولین گره	زمان مرگ نیمی از گره‌ها	زمان مرگ آخرین گره
	LEACH	۷۱۳	۹۵۸	۲۱۸۴
LEA2C(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)	۸۷۹	۱۰۱۴	۱۱۰۴	



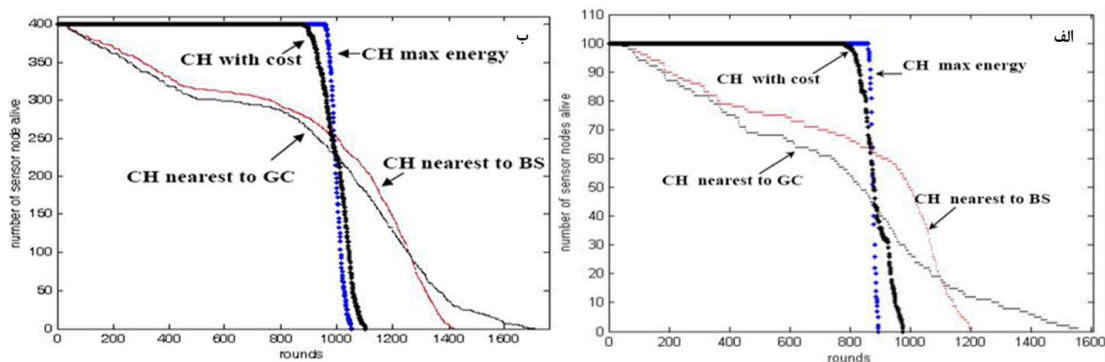
شکل ۴. مقایسه کارایی سه الگوریتم LEACH, LEA2C و EBCS از لحاظ تعداد گره‌های زنده به شماره دورهای الگوریتم، الف- در صحنه اول؛ ب- در صحنه دوم.

چنانچه در شکل ۴ الف و ۴ ب می‌بینید، برتری پروتکل پیشنهادی (EBCS) در مقایسه با دو پروتکل قبلی نمایش داده شده است. این نتایج ثابت می‌کنند که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند در صحنه اول در ۹۵٪ طول عمر شبکه و در صحنه دوم در ۹۰٪ عمر شبکه، بقاء کامل شبکه (پوشش شبکه‌ای) را تضمین کند. این ویژگی در کاربردهایی که پوشش شبکه‌ای در آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است، حائز اهمیت می‌باشد؛ برای مثال در کاربردهای پایشی یا ردیابی که به داده‌های بسیار دقیق نیاز دارند، به تعویق انداختن زمان اولین مرگ بسیار مهم‌تر از زمان آخرین مرگ است. در مقابل ممکن است در برخی از کاربردها، افزایش طول عمر کلی شبکه (به تعویق افتادن زمان آخرین مرگ)، مطلوب‌تر باشد؛ برای مثال در پایش دوره‌ای آب‌وهوا.

مطابق شکل ۳ الف، الگوریتم جدید می‌تواند در صحنه اول، طول عمر شبکه را بر اساس زمان مرگ اولین گره، ۵۰٪ نسبت به لیچ و ۳۸٪ نسبت به LEA2C افزایش دهد. همچنین شکل ۳ ب اثبات می‌کند که الگوریتم جدید پیشنهادی، در صحنه دوم، طول عمر شبکه را بر اساس زمان مرگ اولین گره، ۲۷٪ نسبت به لیچ و ۱۱٪ نسبت به LEA2C افزایش می‌دهد. (در دو پروتکل ای بی سی اس و LEA2C انتخاب سرخوشه با معیار حداکثر سطح انرژی در نظر گرفته شده است).

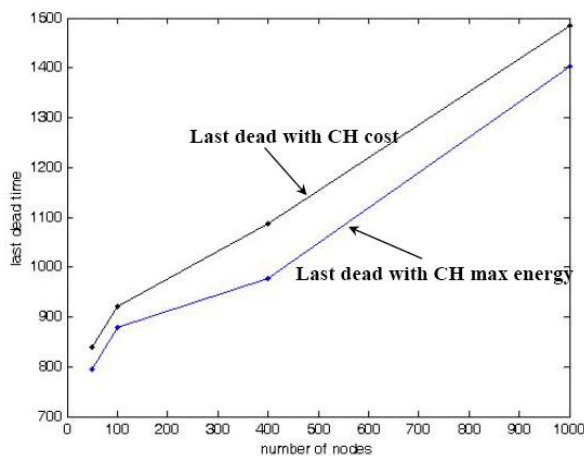
ج- ارزیابی تابع هزینه انتخاب سرخوشه بر کارایی ای بی سی اس

در شکل‌های ۵. الف و ۵. ب کارایی استفاده از سه معیار انتخاب سرخوشه (حداکثر سطح انرژی، نزدیک‌ترین گره به ایستگاه مبنا و نزدیک‌ترین گره به مرکز ثقل خوشه) و نیز استفاده از تابع هزینه پیشنهادی برای انتخاب سرخوشه به ازاء دو صحنه مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و نمایش داده شده است. همان‌طور که می‌بینید، کارایی دو معیار (نزدیک‌ترین گره به ایستگاه مبنا و نزدیک‌ترین گره به مرکز ثقل خوشه) بسیار نزدیک به هم بوده و درعین حال فاصله قابل‌ملاحظه‌ای با معیار بالاترین سطح انرژی دارند.



شکل ۵. مقایسه سه معیار مختلف انتخاب سرخوشه در الگوریتم EBCS با تابع هزینه انتخاب سرخوشه الف- صحنه اول؛ ب- صحنه دوم.

مقایسه میزان اثربخشی تابع هزینه انتخاب سرخوشه نشان می‌دهد که در هر دو صحنه، معیار انتخاب سرخوشه با حداکثر سطح انرژی، به لحاظ به تعویق انداختن زمان مرگ اولین گره، بهترین کارایی را ارائه می‌دهد. اگرچه تابع هزینه پیشنهادی، از لحاظ زمان مرگ اولین گره، کارایی نزدیک به معیار حداکثر سطح انرژی را (کاهش ۹٪ در صحنه اول و ۶٪ در صحنه دوم) نشان می‌دهد. درعین حال نتایج الگوریتم با استفاده از تابع هزینه همواره حاکی از افزایش چند درصدی (حدود ۱۲٪ در صحنه اول و ۶٪ در صحنه دوم) در زمان مرگ آخرین گره نسبت به معیار حداکثر سطح انرژی است. این افزایش دائمی به ازاء تعداد مختلف گره‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تابع هزینه پیشنهادی تا حدودی قادر به متعادل کردن معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه شده است.



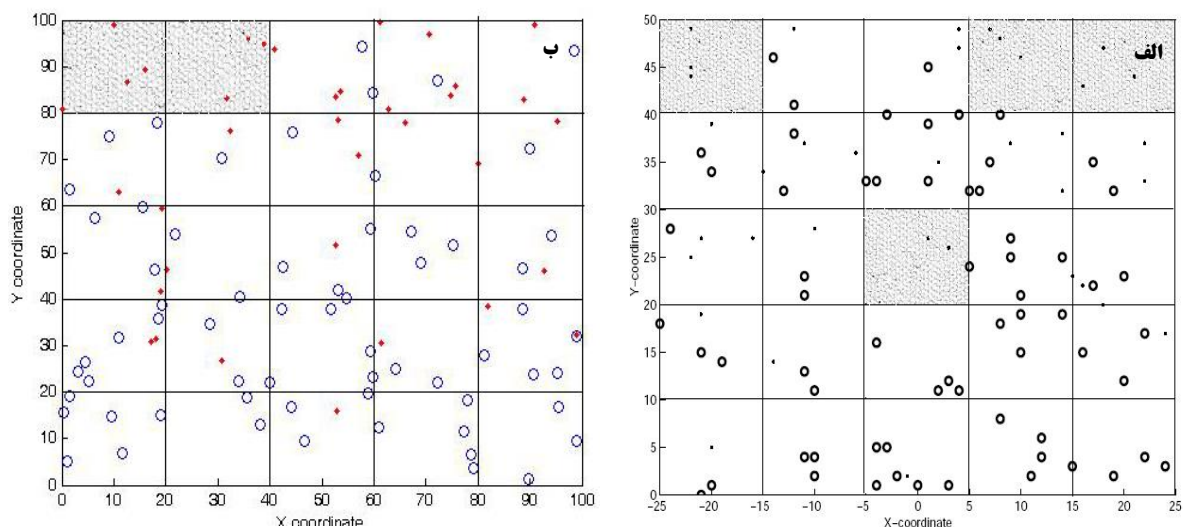
شکل ۶. مقایسه زمان مرگ آخرین گره در الگوریتم EBCS با استفاده از معیار انتخاب سرخوشه با حداکثر سطح انرژی و استفاده از تابع هزینه پیشنهادی به ازاء تعداد مختلف گره‌ها

د- ارزیابی کارایی پروتکل ای بی سی اس در افزایش پوشش شبکه‌ای

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

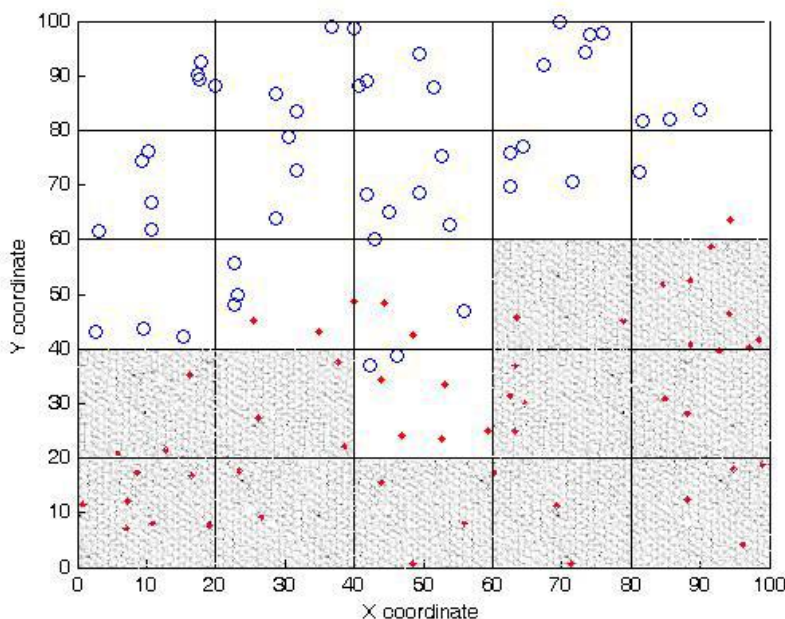
برای بررسی پوشش شبکه‌ای پروتکل پیشنهادی ای بی سی اس و مقایسه آن با نتایج پروتکل‌های قبلی (لیچ و LEA2C) آزمایشی انجام شده است. همان‌طور که در شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌کنید، به منظور تعیین معیاری منطقی برای اندازه‌گیری میزان پوشش شبکه‌ای، فضای فرضی شبکه حسگر بی‌سیم به ۲۵ ناحیه حسگری مجازی (گرید) تقسیم شده است به طوری که هر ناحیه، حداقل شامل یک گره حسگر باشد. ناحیه‌ای که حداقل یک گره حسگر فعال داشته باشد، یک ناحیه فعال در نظر گرفته شده و ناحیه‌ای که همه گره‌های آن مرده (غیرفعال) باشند، ناحیه مرده در نظر گرفته می‌شود. تعداد (درصد) نواحی فعال در فضای شبکه در هر سه الگوریتم به ازاء تعداد مشخصی گره مرده، مورد بررسی قرار گرفته است. گره‌های فعال با دایره، گره‌های مرده با نقاط و نواحی مرده با رنگ خاکستری نمایش داده شده‌اند.

در شکل ۷ پوشش شبکه‌ای ای بی سی اس و لیچ با تعداد گره مرده برابر (۳۶ گره مرده از ۱۰۰ گره اولیه) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مکان ایستگاه مبنا در این حالت $(x=0, y=-100)$ در نظر گرفته شده است. مقایسه تعداد (درصد) نواحی زنده در دو الگوریتم، حاکی از آن است که لیچ، ۸۴٪ و ای بی سی اس، ۹۲٪ از پوشش شبکه‌ای خود را حفظ کرده‌اند. بنابراین ای بی سی اس، هشت درصد افزایش در پوشش شبکه‌ای را نسبت به لیچ از خود نشان می‌دهد.



شکل ۷. مقایسه پوشش شبکه‌ای در الف- LEACH (هاینزلمن و همکاران، ۲۰۰۰) و ب- EBCS با ۳۶ گره

مرده



شکل ۸. مقایسه پوشش شبکه‌ای در LEA2C و EBCS با ۵۰ گره مرده

در شکل ۸ پوشش شبکه‌ای ای بی سی اس و LEA2C با تعداد گره مرده برابر (۵۰ گره مرده از ۱۰۰ گره اولیه) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مکان ایستگاه مبنا در این حالت ($x=50, y=200$) در نظر گرفته شده است. مقایسه تعداد (درصد) نواحی زنده در دو الگوریتم حاکی از آن است که LEA2C، ۵۶٪، و ای بی سی اس، ۸۰٪ پوشش شبکه‌ای خود را در زمان مرگ نیمی از گره‌های شبکه حفظ کردند. بنابراین ای بی سی اس، ۲۴٪ افزایش در پوشش شبکه‌ای را نسبت به LEA2C از خود نشان می‌دهد.

بنابراین می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که ای بی سی اس 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 نحوه متفاوت تشکیل خوشه‌ها که به توازن بیشتر مصرف انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم منجر می‌شود، قابل توجیه است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی پروتکل جدید خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی با استفاده از نقشه خودسازمان‌دهی (EBCS) ارائه گردید. تفاوت نحوه شکل‌گیری خوشه‌ها در ای بی سی اس با پروتکل‌های قبلی، نشان داده شد. سپس با نتایج نموداری و آماری حاصل از شبیه‌سازی اثبات گردید که پروتکل ای بی سی اس از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه (به تعویق انداختن زمان مرگ اولین گره) و نیز حفظ پوشش شبکه‌ای نسبت به دو پروتکل مشابه قبلی (لیچ و LEA2C) برتری آشکاری از خود نشان می‌دهد. همچنین میزان کارایی معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه و مقایسه آن‌ها با تابع هزینه پیشنهادی نشان دادند که استفاده از معیار حداکثر سطح انرژی و بعداز آن استفاده از تابع هزینه، بهتر از دو معیار دیگر (نزدیک‌ترین گره به ایستگاه مبنا و نزدیک‌ترین گره به مرکز ثقل خوشه) عمل می‌کنند.

با بررسی معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه و نتایج قبلی حاصل از آن در پروتکل LEA2C به این نتیجه رسیده شد که ترکیب این معیارها ممکن است، با بهره‌گیری از مزایای هر یک و نیز امکان چرخش نوبتی نقش سرخوشه که به توزیع بار آن منجر خواهد، تأثیر بهتری در کارایی الگوریتم داشته باشد. بنابراین تابع هزینه‌ای برای انتخاب سرخوشه معرفی

گردید که بر اساس ترکیب معیارهای زیر به ازاء هر گره خوشه محاسبه می‌شود: سطح انرژی گره، فاصله گره تا ایستگاه مبنا، مرکزیت (میانگین فاصله گره تا سایر گره‌های خوشه) و تعداد دفعات سرخوشه شدن گره. در هر خوشه، گرهی که کمترین مقدار تابع هزینه را داشته باشد، به‌عنوان سرخوشه مرحله جاری انتقال داده، انتخاب خواهد شد. طبعاً گره انتخاب‌شده در این مرحله، در مرحله بعدی، دیگر سرخوشه نخواهد بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم جدید پیشنهادی (ای بی سی اس) با استفاده از داده‌های تصادفی و پارامترهای استفاده‌شده در دو صحنه آزمایشی مشخص شده، نشان دادند که الگوریتم در موارد زیر قادر به بهبود الگوریتم‌های قبلی (لیچ و LEA2C) بوده است:

- افزایش طول عمر شبکه (بر اساس زمان اولین مرگ) ۲۷ تا ۵۰ درصد نسبت به لیچ و ۱۱ تا ۳۸ درصد نسبت به LEA2C؛
- حفظ بقاء کامل شبکه در ۹۰ تا ۹۵ درصد طول عمر شبکه؛
- حفظ بهتر پوشش شبکه‌ای، ۸ درصد نسبت به لیچ و ۲۴ درصد نسبت به LEA2C؛
- آرایه تابع هزینه برای انتخاب سرخوشه با کارایی بسیار نزدیک به معیار سطح انرژی، که زمان مرگ آخرین گره شبکه را ۶ تا ۱۲ درصد (نسبت به معیار سطح انرژی) افزایش می‌دهد.

مهم‌ترین نوآوری این تحقیق، لحاظ کردن معیار سطح انرژی گره‌های حسگر (به‌عنوان بعد سوم داده) در تشکیل خوشه‌ها بوده است که تأثیر قابل‌توجهی در کاهش و توازن مصرف انرژی در شبکه، افزایش طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای داشته است. دومین نوآوری در استفاده از شبکه عصبی نقشه خودسازمان‌دهی به‌عنوان ابزاری برای خوشه‌بندی داده‌های چندبعدی و از انواع مختلف بوده است که در مقایسه با سایر روش‌ها، بسیار ساده و کارا است. نوآوری دیگر، ارائه تابع هزینه‌ای جدید برای انتخاب سرخوشه‌های هر خوشه بوده است که امکان ترکیب معیارهای مختلف مؤثر در بهره‌وری انرژی سرخوشه‌ها و چرخش نقش سرخوشه در بین گره‌های خوشه را خواهد داد. همچنین پوشش شبکه‌ای الگوریتم پیشنهادی با استفاده از معیاری ابتکاری مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و برتری آن نسبت به روش‌های پیشین به اثبات رسیده است.

۵. مراجع

- [1] Enami N, Askari Moghadam R. (2020) 'Energy Based Clustering Self Organizing Map Protocol For Extending Wireless Sensor Networks Lifetime and Coverage', In: Canadian Journal on Multimedia and Wireless Networks, Vol. 1, No. 4, pp. 42-54.
- [۲] محمدعلی و سعید غفاری مقدم، ۱۳۹۰، ارائه یک روش جدید برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از ویژگی‌های شبکه‌های عصبی، همایش ملی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، کرمان، آموزشکده سما کرمان.
- [3] ، پایان‌نامه SOM انعامی، ندا، ۱۴۰۰، کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از شبکه‌های عصبی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر - گرایش نرم‌افزار گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه پیام نور اصفهان.
- [4] Klaus Herrmann, Gero Mühl, Michael A. Jaeger, (2019) MESHMDI event spaces, A coordination middleware for self-organizing applications in ad hoc networks Original Research Article, Pervasive and Mobile Computing, Volume 3, Issue 4, Pages 467-487.
- [5] . Sajal Sarkara, Raja Dattab, (2020) A secure and energy-efficient stochastic multipath routing for self-organized mobile ad hoc networks, Ad Hoc Networks, Volume 37, Part 2, Pages 209-227.