Scientific Journal of Electronic & Cyber Defense

Vol. 12, No. 3, Autumn 2024, Serial No. 47

ISSN: 2322-4347 , E-ISSN: 2980-8979

Investigating the Impact of Environmental Data Changes on the Lifetime of Wireless Sensor Network

J. Zarepour Ahmadabadi[1*], K. Ebrahimi

[1*] Assistant Professor, University of Yazd, Yazd, Iran

(Received:2024 /08/07, Revised: 2024/08/23, Accepted: 2024/09/27, Published: 2024/10/22)

DOR: https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.3.2.4

Abstract

One of the most important challenges for wireless sensor networks is the limitation of energy of sensors, which is directly related to the lifetime of the network. So far, many researchers tried to decrease the energy consumption of sensors, thus increase the lifetime and the efficiency of wireless sensor networks. One of the factors affecting the energy consumption of sensors is their environment. In many existing methods, it is assumed that the sensors send their sensed data at all stages, while the environment or some parts of it may not change from the previous stage, and as a result, some of the sensors may not have new data to provide at all stages. In this paper, an environmentally-aware approach is presented, where only sensors, that have sensed significant changes in their sensed information from previous step, will send their data to the base station. If their changes are insignificant, they will only send small control packets to indicate being alive. The simulation of the proposed algorithm, which is based on the probability of changes in the environment, shows at least 16.63% increase network`s lifetime.

Keywords: : Wireless sensor networks, Changes rate of environment, Energy consumption, Lifetime of wireless sensor networks.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University Authors

**Corresponding Author Email: zarepourjamal@yazd.ac.ir*

«پدافند الکترونیکی و سایبری»
سال دوازدهم، شماره ۳، فصل پاییز ۱۴۰۳؛ ص ۲۳-۱۵

علمی – پژوهشی

بررسی تغییرات داده محیطی در ارسال داده توسط حسگرها بر طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

جمال زارع‌پور احمدآبادی[1*]، کوثر ابراهیمی[2]

۱- استادیار، ۲- کارشناسی ، دانشگاه یزد، یزد، ایران

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶، انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱)

DOR: https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.3.2.4

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در حوزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم محدودیت انرژی حسگرها است که مستقیماً با طول عمر شبکه در ارتباط است. تاکنون تلاش‌های بسیاری در جهت کاهش مصرف انرژی حسگرها انجام شده است تا بدین‌وسیله با افزایش طول عمر شبکه، میزان بهره‌وری از شبکه‌های حسگر بی‌سیم افزایش یابد. یکی از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی حسگرها، محیط اطراف آن‌ها می‌باشد. در بسیاری از روش‌های موجود، فرض می‌شود که حسگرها در تمام مراحل، داده‌های دریافتی خود را ارسال می‌کنند درحالی‌که ممکن است محیط یا بخشی از آن نسبت به مرحله قبل تغییری نداشته باشد و درنتیجه برخی از این حسگرها در تمام مراحل چرخه حیات خود، داده‌های جدیدی جهت ارائه نداشته باشند. در این مقاله باتوجه‌به میزان تغییرات محیط اطراف شبکه‌های حسگر بی‌سیم، روشی سازگار با محیط ارائه شده است که در هر مرحله، فقط حسگرهایی که اطلاعات دریافتی آن‌ها نسبت به مرحله قبل تغییر قابل‌توجهی داشته باشد، اقدام به ارسال داده می‌کنند و درصورتی‌که تغییرات آن‌ها قابل‌توجه نباشد، تنها بسته‌های کنترلی کم‌حجمی را جهت اعلام زنده‌بودن ارسال می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان از حداقل ۱۶/۶۳ افزایش طول عمر شبکه دارد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، نرخ تغییرات محیط، میزان مصرف انرژی، طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۱- مقدمه

امروزه، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات و نظارت مداوم بر محیط در صنایع مختلف [۱] ، مهندسی محیط‌زیست، تشخیص زمین‌لرزه، کشاورزی، ساختمان‌های هوشمند، سلامتی، حمل‌ونقل، فعالیت‌های نظامی و پدافندی [۲, ۳] و موارد مشابه، به‌خوبی احساس می‌شود که شبکه‌ی حسگر بی‌سیم به‌عنوان یکی از ابزارهای رایج جهت جمع‌آوری داده‌های محیط‌های زمینی، زیرزمینی و حتی زیرآبی مطرح هستند.

یک شبکه حسگر بی‌سیم متشکل از تعداد زیادی حسگر است که توانایی ثبت شرایط فیزیکی محیط اطراف خود را دارند [۴]. حسگرهای چنین شبکه‌ای را اغلب به‌منظور قرار گرفتن در محیط‌هایی که دسترسی مستقیم انسان‌ها به آن محیط ناممکن و یا خطرناک است، طراحی می‌کنند. این حسگرها بسیار کوچک هستند تا بتوانند در هر محیطی قرار بگیرند. هر حسگر شامل یک منبع انرژی محدود (باتری)، آنتن جهت ارسال و دریافت سیگنال، حافظه‌ای محدود و یک پردازنده ساده است [۴]. ازآنجاکه معمولاً حسگرها در محیطی دور از دسترس قرار می‌گیرند، پس از اتمام شارژ باتری امکان شارژ دوباره آن‌ها وجود ندارد. بنابراین اصطلاحاً به حسگری که شارژ باتری آن تمام شده، گره مرده می‌گویند. هر یک از حسگرها، پس از دریافت داده‌های محیطی، آن‌ها را ذخیره و در صورت نیاز پردازش ساده‌ای روی آن انجام می‌دهد و سپس به طریقی این اطلاعات را به ایستگاه پایه که معمولاً ازنظر حافظه، انرژی و توان پردازشی محدودیت کمتری نسبت به حسگرها دارد، ارسال می‌کند [۵].

یکی از پارامترهای مورد بررسی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، طول عمر شبکه است. طول عمر شبکه به‌طور مستقیم با شارژ باتری حسگرها در ارتباط است [۶, ۷]. از آنجا که اغلب

* رایانامه نویسنده مسئول: zarepourjamal@yazd.ac.ir

نمی‌توان باتری حسگرها را پس از اتمام، دوباره شارژ کرد، پس استفاده بهینه از شارژ باتری یک حسگر مسئله‌ای بسیار حیاتی است که نتیجه آن به‌دست آوردن اطلاعات در بازه زمانی طولانی‌تر از محیط موردنظر خواهد بود [۷]. بنابراین افزایش طول عمر شبکه بدون ایجاد خدشه در جمع‌آوری اطلاعات یک نیاز اساسی است. یکی از عوامل مؤثر بر میزان شارژ مصرفی در هر ارسال بسته، فاصله بین گره مبدأ و گره مقصد است [۸]. به‌عبارت‌دیگر، هر چه فاصله بین فرستنده و گیرنده افزایش یابد میزان انرژی که فرستنده باید برای ارسال داده‌ها صرف کند نیز افزایش می‌یابد. درصورتی‌که همه حسگرها اطلاعات خود را به‌صورت مستقیم برای ایستگاه پایه ارسال کنند، گره‌هایی در شبکه وجود خواهند داشت که از ایستگاه پایه بسیار دور بوده و میزان زیادی از شارژ باتری خود را صرف ارسال پیغام می‌کنند. یکی از راه‌های رایج برای حل این مشکل استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی است [۹, ۱۰].

خوشه‌بندی به معنای تقسیم حسگرهای یک شبکه به گروه‌های مجزا است. در هر گروه یک گره به‌عنوان سرخوشه انتخاب شده و مسئولیت دریافت پیام اعضای خوشه، تجمیع [۱۱] و ارسال آن به ایستگاه پایه را به عهده می‌گیرد [۱۲]. اغلب فرض می‌شود که تمام گره‌های شبکه مشابه هستند و گره‌هایی که به‌عنوان سرخوشه برگزیده می‌شوند برتری خاصی از نظر باتری یا توان پردازشی بر اعضای خوشه ندارند. بنابراین روشن است که سرخوشه‌ها به علت مسئولیتی که دارند شارژ بیشتری مصرف می‌کنند درنتیجه انتخاب سرخوشه مسئله‌ای کلیدی در روند یک الگوریتم خوشه‌بندی است [۱۳]. دو دیدگاه متفاوت برای خوشه‌بندی وجود دارد؛ یک دیدگاه، خوشه‌بندی ثابت است [۱۴]، یعنی شبکه یک‌بار در ابتدا خوشه‌بندی شده و تا انتها سرخوشه‌ها تعویض نمی‌شوند. بر اساس چنین روندی بار زیادی برای سرخوشه‌ها ایجاد شده و در نتیجه خیلی زود شارژ باتری آنها پایان می‌یابد و از آنجا که سرخوشه‌ها متصل کننده حسگرها به ایستگاه پایه هستند، با از بین رفتن آن‌ها کل شبکه از دست خواهد رفت [۶]؛ هرچند اعضای خوشه‌ها انرژی لازم برای دریافت داده‌ها از محیط و ارسال آن‌ها را داشته باشند. به منظور حل این مشکل، دیدگاه دوم یعنی مفهوم سرخوشه چرخشی معرفی شده است [۱۴]. چرخش در سرخوشه‌ها یعنی در بازه‌های زمانی مشخصی، کل شبکه دوباره خوشه‌بندی شده و سرخوشه‌های جدید از میان حسگرها براساس معیارهای مشخص شده در الگوریتم خوشه‌بندی، تعیین می‌شوند. چنین روندی باعث توزیع بار میان حسگرها و افزایش طول عمر کل شبکه می‌شود.

پس از خوشه‌بندی یک شبکه حسگر بی‌سیم، عملیات جمع‌آوری داده صورت می‌گیرد. این عملیات شامل ثبت شرایط فیزیکی توسط حسگرها، پردازش داده‌ها در صورت لزوم، ارسال اطلاعات ثبت‌شده به سرخوشه خود و ارسال اطلاعات از سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه می‌باشد.

به‌منظور کاهش مصرف انرژی در مرحله جمع‌آوری داده، حسگرها در حالت خواب (حالتی که در آن شارژ کمتری به نسبت هنگام ثبت و ارسال داده مصرف می‌کنند) می‌مانند و فقط در زمان برنامه‌ریزی‌شده بیدار شده و اطلاعات محیط را ثبت و ارسال می‌کنند [۱۵]. در برنامه‌ریزی زمان بیدار شدن حسگرها، تعیین طول بازه زمانی میان دو بیدار شدن تاثیر به‌سزایی در کیفیت داده‌های جمع‌آوری‌شده دارد.

عامل دیگری که علاوه بر فاصله بین گره‌های فرستنده و گیرنده بر میزان انرژی مصرفی شبکه‌های حسگر بی‌سیم تأثیرگذار است، اندازه پیام‌های ارسالی است [۸]. واضح است که هر چه تعداد بیت‌های پیامی که یک فرستنده ارسال می‌کند بیشتر باشد، انرژی موردنیاز برای ارسال آن پیام نیز بیشتر است. بنابراین درصورتی‌که در برخی از مراحل که داده‌های دریافتی گره تغییری ندارد یا تغییرات آن به‌حدی است که عادی قلمداد شده و در تصمیم‌گیری در مورد آن محیط تأثیری ندارد، ارسال پیام‌های کنترلی خیلی کوتاه‌تر بجای ارسال کامل داده‌ها می‌تواند در انرژی مصرفی هر گره و در نتیجه طول عمر شبکه تاثیر مثبتی داشته باشد. واضح است که وضعیت محیط‌های گوناگون با نرخ یکسانی تغییر نمی‌کند و در موقعیت‌های جغرافیایی، فصل‌ها و بازه‌های زمانی گوناگون، شدت تغییرات ممکن است متفاوت باشد. به‌عنوان‌مثال، دمای هوا در ساعات میانی روز و شب بسیار کمتر از ساعات طلوع و غروب خورشید تغییر می‌کند یا در برخی نقاط این تغییرات محیطی در فصل‌های زمستان و تابستان نرخ‌های متفاوتی دارد. همین موضوع برای مختصات جغرافیایی مختلف نیز صدق می‌کند. در نظر گرفتن بازه زمانی ثابت برای تمام محیط‌ها، می‌تواند یکی از عواقب هدر رفت باتری یا از دست رفتن بخشی از داده‌های محیط را در پی داشته باشد. درصورتی‌که بازه زمانی مقدار ثابت بزرگی در نظر گرفته شود، می‌تواند باعث از دست رفتن تغییراتی از محیط که در بین این بازه زمانی بزرگ رخ داده است، شود. از سوی دیگر، اگر بازه زمانی خیلی کوچک انتخاب شود، با حس کردن و ارسال پی‌درپی داده‌ها، که لزوماً همه آن‌ها حاوی اطلاع باارزشی نیستند، باعث هدر رفتن شارژ حسگرها می‌شود. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که پارامترهایی که توسط حسگرها رصد می‌شوند از نظر میزان اهمیت، اولویت و حساسیت درجات مختلفی دارند. بنابراین در مواقعی لازم است تغییرات خیلی کوچک نیز به‌عنوان داده‌های جدید ارسال شود درحالی‌که در مواقعی که حساسیت کمتری وجود دارد، تنها لازم است تغییرات شدید ارسال و مورد ارزیابی قرار گیرد.در این مقاله، تاثیر میزان و نحوه تغییرات محیط در ارسال داده‌های هر حسگر موردبررسی قرار خواهد گرفت. برای

این منظور احتمالاتی برای نرخ تغییرات محیط تعریف می‌شود و براساس آن، تاثیر طول پنجره زمانی بر کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده و طول عمر شبکه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش، در صورتی که طول پنجره زمانی کم باشد، تنها حسگرهایی که تغییرات قابل‌توجهی در داده‌های دریافتی آن‌ها از محیط اتفاق افتاده باشد، اقدام به ارسال اطلاعات می‌کنند و درصورتی‌که تغییرات قابل‌چشم‌پوشی باشند، تنها بسته‌های کنترلی خیلی کوچکی را جهت اطلاع سرخوشه و همچنین ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. به‌این‌ترتیب، باتری هر یک از حسگرها، تنها در صورتی که اطلاعات آن‌ها ارزش ارسال داشته باشند، مصرف خواهد شد. برای مطالعه تاثیر تغییرات محیط بر کارایی و طول عمر شبکه، احتمال‌های مختلفی برای تغییر پارامترهای محیط در نظر گرفته شده است و برای هر نرخ تغییرات محیط، میزان بهبود طول عمر شبکه بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که این روش با جلوگیری از ارسال داده تکراری باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود و میزان این بهبود کاملاً وابسته به میزان تغییرات محیط اطراف شبکه است.

چنان‌که بیان شد، از کاربردهای اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، می‌توان به جمع‌آوری اطلاعات و نظارت مداوم بر محیط‌های گوناگون ازجمله کشاورزی، محیط‌زیست، سلامتی، حمل‌ونقل، پدافند الکترونیکی و غیره اشاره کرد. روشن است که از مزایای اصلی چنین شبکه‌هایی، کاهش هزینه‌ها و خطرات انسانی و تجهیزات مورد نیاز برای نظارت در چنین محیط‌هایی است. اولویت اصلی مقاله حاضر، طراحی شبکه‌ای سازگار با محیط است که اولاً تغییرات محیط به‌خوبی به ایستگاه مرکزی منعکس گردد و درعین‌حال با صرفه‌جویی در مصرف باتری، بازه زمانی زنده‌ماندن گره‌ها تاحدامکان طولانی باشد. در برخی از کاربردهای ذکر شده، تغییرات محیط به طور مداوم اتفاق می‌افتد و باید توسط شبکه گزارش گردد؛ اما در کاربردهایی مانند امور دفاعی و پدافندی که تغییرات همیشگی نیستند، شرایط کمی متفاوت است.

برای مقابله با تحرکات نظامی و تهدیدات الکترونیکی، نصب حسگرهایی جهت شناسایی به‌موقع تهدیدات الکترونیکی مانند جاسوسی، نفوذ و جنگ نرم نیازی انکارنشدنی به‌ویژه در مناطق سخت و صعب‌العبور می‌باشد که می‌تواند برای جمع‌آوری فرکانس‌های رادیویی، شدت سیگنال و سایر علائم مرتبط، باهدف تعیین جهت و موقعیت جاسوسی و دیگر اطلاعات مرتبط با تهدیدات الکترونیکی مورداستفاده قرار گیرد. به طور خاص در این کاربرد که حملات و جاسوسی‌ها به‌ندرت و به‌صورت غافل‌گیرانه اتفاق می‌افتد، الگوریتم پیشنهادی به دلیل پرهیز از ارسال اطلاعات تکراری، طول عمر شبکه را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد که در نتیجه بهبود کارایی سیستم‌های پدافندی را به دنبال دارد [۳].

در ادامه و در بخش دوم به روش‌های خوشه‌بندی موجود و چالش‌های مرتبط با آنان پرداخته می‌شود. در بخش سوم جزئیات الگوریتم پیشنهادی بیان شده و در بخش چهارم نتایج حاصل از شبیه‌سازی این الگوریتم توضیح داده می‌شود و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و کارهای آتی ارائه می‌گردد.

۲- مرور ادبیات تحقیق

با توجه به این‌که نحوه خوشه‌بندی یک شبکه حسگر بی‌سیم بر طول عمر آن اثرگذار [۱۲] و همچنین بخش اساسی از الگوریتم پیشنهادی است، در این بخش دو الگوریتم خوشه‌بندی [۱۴] LEACH و [۱۶] BRE-LEACH بررسی و شرح داده شده‌اند.

۲-۱- الگوریتم خوشه‌بندی LEACH

LEACH یک پروتکل خوشه‌بندی است که با تعویض سرخوشه‌ها به‌صورت تصادفی، بار انرژی را بین حسگرهای شبکه توزیع می‌کند [۱۷, ۱۸] و همچنین LEACH را خودسازمانده می‌گویند زیرا در آن گره‌ها خود را به‌صورت خوشه‌های محلی سازمان‌دهی می‌کنند. حسگرها با احتمال ثابت در هر زمان خود را به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند و به بقیه حسگرها اعلام می‌کنند که سرخوشه هستند، سپس بقیه حسگرها به سرخوشه‌ای که کمترین هزینه (فاصله) را برایشان دارد متصل می‌شوند و این را با استفاده از پیغامی به آن سرخوشه اعلام می‌کنند و سرخوشه‌ها برنامه‌ای برای ارسال اطلاعات به هر گره در خوشه خود می‌دهند. به‌طور دقیق پروتکل LEACH به شرح زیر است:

به هنگام تشکیل خوشه‌ها هر گره تصمیم می‌گیرد که سرخوشه باشد یا خیر. این تصمیم‌گیری به درصد سرخوشه‌های شبکه و تعداد دفعاتی که گره تاکنون سرخوشه بوده، وابسته است. هر گره مثلاً گره n-ام، یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ تولید کرده و اگر عدد تولید شده کمتر از حد آستانه $T(n)$ بود خود را به عنوان سرخوشه معرفی می‌کند. حد آستانه در رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$T(n)=\begin{cases}\dfrac{\mathrm{P}}{1-\mathrm{P}*(\mathrm{r}\bmod\frac{1}{\mathrm{p}})}, & if\ n\in G\\ 0, & otherwise\end{cases} \qquad (1)$$

که در آن P، درصد سرخوشه‌ها و r شماره مرحله است و همچنین G مجموعه‌ای از گره‌ها که در $1/p$ مرحله گذشته سرخوشه نبوده‌اند. با این حد آستانه گره‌ها هر $1/p$ مرحله یک‌بار سرخوشه خواهند بود و گره‌هایی که در $1/p$ مرحله گذشته سرخوشه نبوده‌اند با احتمال بیشتری ممکن است سرخوشه بشوند. با توجه به این حد آستانه هر حسگری که

سرخوشه شود موظف است به‌وسیله‌ی پیغامی این موضوع را به بقیه حسگرها اطلاع دهد. سپس هر حسگر، سرخوشه خود را طوری انتخاب می‌کند که کمترین هزینه را صرف ارتباط با او کند.

پس از این‌که هر گره، سرخوشه خود را انتخاب کرد به او اطلاع می‌دهد که از اعضای خوشه او شده است. سرخوشه بر اساس تعداد گره‌هایی که به عضویت خوشه او درآمده‌اند، برنامهٔ زمان ارسال اطلاعات گره‌های خوشه خود را ایجاد کرده و به آن‌ها اطلاع می‌دهد. ایجاد برنامه زمان ارسال اطلاعات باعث می‌شود که هر گره تا موقع ارسال اطلاعات در حالت خواب بماند و شارژ کمتری مصرف کند.

۲-۲- الگوریتم خوشه‌بندی BRE-LEACH

در [۱۶] بهبودی برای پروتکل LEACH با عنوان BRE-LEACH معرفی شده است که طول عمر شبکه و مدت پایداری را بهبود و هزینه مصرف انرژی را کاهش داده است. سرخوشه‌ها به دلیل جمع‌آوری داده‌های همه اعضای خوشه انرژی بیشتری به نسبت بقیه حسگرها مصرف می‌کنند. بنابراین انتخاب سرخوشه به‌صورت تصادفی و بدون توجه به انرژی باقی‌مانده حسگرها در پروتکل LEACH، باعث عدم تعادل انرژی می‌شود. این مشکل با انتخاب سرخوشه‌ها براساس انرژی باقی‌مانده و استفاده از حد آستانه تعریف شده در رابطه (۲)، توسط الگوریتم BRE-LEACH حل شده است.

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{\mathrm{P}}{1-\mathrm{P}*(\mathrm{r}\bmod\frac{1}{\mathrm{p}})} * \dfrac{E_{\mathrm{res}}}{\mathrm{E}_0}, & if\ n \in G \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

که در آن P درصد سرخوشه‌ها، r شماره مرحله و E_res انرژی باقی‌مانده حسگر درحالی‌که E_0 انرژی اولیه حسگر است و همچنین G مجموعه‌ای از گره‌ها که در $\frac{1}{\mathrm{p}}$ مرحله گذشته سرخوشه نبوده‌اند.

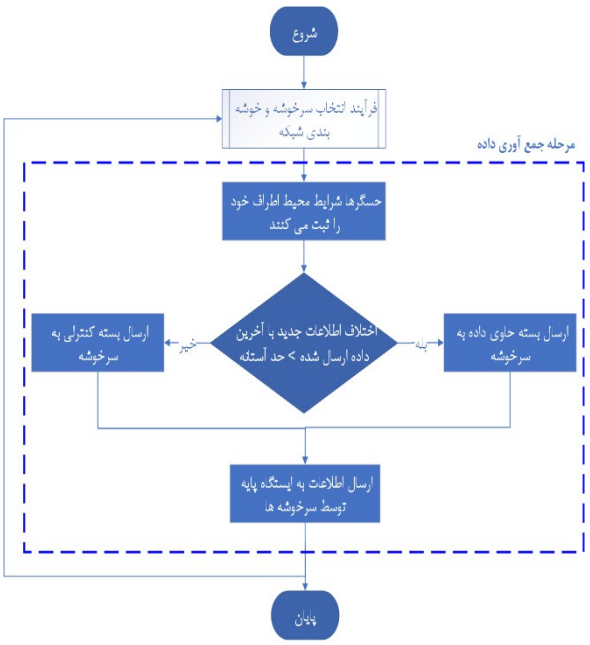
هر مرحله در الگوریتم BRE-LEACH به چهار بخش تقسیم می‌شود: تنظیم خوشه، برنامه‌ریزی زمان ارسال داده (با استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی TDMA [۱۵])، انتخاب سرخوشه ریشه و جمع‌آوری داده. ابتدا سرخوشه‌ها براساس انرژی باقی‌مانده انتخاب شده، سپس هر حسگر براساس سیگنال دریافتی از سرخوشه‌ها به مناسب‌ترین خوشه در نزدیکی خود ملحق می‌شود. پس از خوشه‌بندی هر سرخوشه برای اعضای خوشه خود یک برنامه TDMA (زمان ارسال داده) تهیه می‌کند. سپس براساس روند الگوریتم BRE-LEACH سرخوشه‌ای که انرژی باقی‌مانده آن بیش از میانگین و فاصله آن تا ایستگاه پایه کمتر از میانگین است به عنوان سرخوشه ریشه انتخاب می‌شود، سرخوشه منتخب داده‌های بقیه سرخوشه‌ها را مرتب می‌کند، سپس اطلاعات را برای ایستگاه پایه ارسال می‌کند. از طرفی سرخوشه‌هایی که ریشه نیستند داده‌های خود را به‌صورت غیرمستقیم (از طریق سرخوشه ریشه) برای ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. براساس نتایج شبیه‌سازی بیان شده در [۱۶]، الگوریتم BRE-LEACH طول عمر شبکه را ۵۵,۷۳ درصد به نسبت الگوریتم LEACH افزایش می‌دهد [۱۹].

۳- شرح الگوریتم پیشنهادی

به نظر می‌رسد محیطی که یک شبکه حسگر بی‌سیم در آن قرار دارد می‌تواند در جهت کاهش مصرف انرژی شبکه کمک‌کننده باشد که تاکنون به این مسئله توجه زیادی نشده است. در محیطی مانند محیط‌های نظامی که تغییرات آن بسیار اندک یا بدون تغییر است، انرژی حسگرها صرف ارسال اطلاعات تکراری به سرخوشه‌ها می‌شود و در پی آن انرژی سرخوشه‌ها نیز جهت ارسال همان اطلاعات به ایستگاه پایه مصرف می‌شود. توجه به این موضوع تأثیر به سزایی در طول عمر یک شبکه حسگر بی‌سیم دارد. بنابراین در روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی میزان مصرف انرژی، حسگرها در هر مرحله اطلاعاتی که از محیط اطراف خود ثبت و ذخیره کرده‌اند را با اطلاعات ثبت شده مرحله قبل مقایسه نموده و تا زمانی که تغییرات به نسبت مرحله قبل اندک (کمتر از یک حد آستانه) باشد یا تغییری ایجاد نشده باشد، فقط یک بسته کنترلی به‌منظور اطلاع‌رسانی از عدم تغییر در اطلاعات دریافت شده از محیط، برای سرخوشه خود ارسال می‌کنند. سرخوشه نیز به ایستگاه پایه اطلاع می‌دهد که اطلاعات آن گره ثابت بوده و یا تغییر قابل‌توجهی نداشته است و درنهایت، ایستگاه پایه، اطلاعات حس شده در مرحله قبل را برای زمان جاری آن گره ثبت می‌کند. به‌منظور تشخیص تغییر قابل‌توجه، در شکل (۱) از عنوان حد آستانه استفاده شده است.

برای هر پارامتری که به کمک شبکه‌های حسگر بی‌سیم اندازه‌گیری می‌گردد، حد آستانه متفاوتی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، در کشاورزی هوشمند هرکدام از پارامترهای رطوبت، دما و یا ترکیبات معدنی آب و خاک، دامنه تغییرات، اولویت، فوریت و حساسیت خاص خود را دارند. با توجه به این‌که در این کاربرد، حساسیت خیلی زیاد نیست می‌توان حد آستانه را مقادیر بزرگ‌تر در نظر گرفت. مثلا اگر حدآستانه دما ۱۰ درجه در نظر گرفته شود، بدین معنی است تغییرات دمایی کمتر از ۱۰ درجه ازنظر تصمیم‌گیری اهمیت زیادی ندارد. بنابراین درصورتی‌که دمای جدید نسبت به آخرین دمایی که ارسال شده از حدآستانه (یعنی ۱۰ درجه) اختلاف کمتری داشته باشد

اطلاعاتی ارسال نمی‌شود. درحالی‌که اگر هدف پایش سلامتی انسان‌ها و حیوانات یا محیط کار باشد حدآستانه باید بسیار کمتر از اندازه فوق باشد. مثلا می‌توان حد آستانه را ۲ درجه قرار داد. یا ترکیبات آب مصرفی برای انسان‌ها و حیوانات از پارامترهای کیفی آب مصرفی کشاورزی حساس‌تر است و تغییرات آن باید با دقت بیشتری مورد نظر قرار گیرد. بنابراین با توجه به دقت، حساسیت و بازه‌ای که پارامتر مورد نظر تغییر می‌کند، حدآستانه تعیین می‌شود. در کاربردهای نظامی، اقتصادی و صنعتی، نرخ تغییرات و حساسیت نوسان داده‌ها به عنوان پارامتر ورودی مسئله از کاربر دریافت می‌شود [۲۰, ۲۱].



شکل(۱): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی.

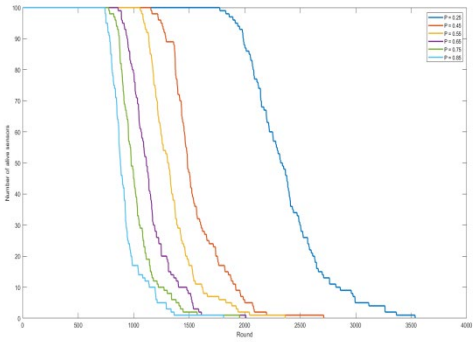
در این مقاله از الگوریتم LEACH به‌عنوان ابزاری برای خوشه‌بندی شبکه استفاده شده است با این تفاوت که لزوماً در هر مرحله داده‌ها ارسال نمی‌شوند و در برخی مراحل، تنها به ارسال بسته‌های کنترلی شبکه اکتفا می‌شود. لازم به ذکر است که تمرکز الگوریتم پیشنهادی تنها بر مرحله جمع‌آوری داده بوده و به همین علت انتخاب الگوریتم LEACH به جهت خوشه‌بندی شبکه الزامی نیست و می‌توان از هر الگوریتم خوشه‌بندی دیگری نیز استفاده نمود. واضح است که بهبود ایجاد شده در طول عمر شبکه توسط الگوریتم پیشنهادی، ارتباطی با الگوریتم خوشه‌بندی یا الگوریتم‌های مسیریابی ندارد و کاملاً وابسته به میزان تغییرات محیط اطراف شبکه است. بنابراین این بهبود به هرکدام از روش‌هایی که بر خوشه‌بندی یا مسیریابی متمرکز هستند قابل‌اجرا است و به علت سازگاری با محیط، نتایج را بهبود خواهد داد.

باتوجه‌به این‌که نرخ تغییرات محیط، یک ویژگی کاملاً تصادفی است و به پارامتری که حسگر اندازه می‌گیرد و موقعیت جغرافیایی و بازه زمانی و موارد این‌چنینی مرتبط است، برای مطالعه و مقایسه با سایر روش‌های مشابه، تغییرات محیط به‌صورت احتمالی در نظر گرفته شده است. مثلاً اگر برای نرخ تغییرات عدد P=0.25 منظور شود به معنای این است که داده‌های حس شده از محیط تنها در ۲۵ درصد مواقع اطلاعات تازه‌ای را بیان می‌کند و در ۷۵ درصد باقیمانده، اطلاعات محیطی نسبت به مرحله قبل تغییر قابل‌ملاحظه‌ای ندارد. همچنین میزان تغییرات قابل‌ملاحظه، ممکن است بسته به کاربرد متفاوت باشد. در برخی کاربردهای با حساسیت بالا، ممکن است تغییرات تا یک‌صدم نیز قابل‌ملاحظه در نظر گرفته شود درحالی‌که در کاربردهای دیگر، ممکن است حساسیت کمتری وجود داشته باشد.

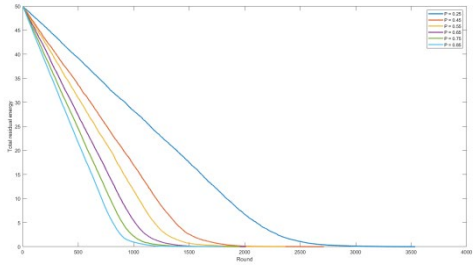
در روش پیشنهادی، ابتدا شبکه با استفاده از الگوریتم LEACH خوشه‌بندی شده، سپس در مرحله جمع‌آوری داده حسگرها باتوجه‌به میزان تغییرات محیط، اطلاعات خود را برای سرخوشه‌ها ارسال می‌کنند. برای درک بهتر، فلوچارت این روش در شکل شماره (۱) نمایش داده شده است. ایجاد چنین تغییری در مرحله جمع‌آوری داده باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود. همچنین مسئله انتخاب پنجره زمانی مناسب برای ارسال داده را حل می‌کند. بدین ترتیب، می‌توان با درنظر گرفتن پنجره زمانی کوچک، جلوی از دست رفتن داده‌ها را گرفت درحالی‌که مصرف باتری نیز افزایش زیادی نمی‌یابد.

۴- تحلیل کارایی و ارزیابی

شبیه‌سازی روش پیشنهادی توسط نرم‌افزار MATLAB انجام شده و فرض شده است که ۱۰۰ حسگر به‌صورت تصادفی در فضایی با ابعاد 100x100 مترمربع پراکنده شده‌اند. میزان انرژی همه حسگرها در ابتدای شبیه‌سازی 0.5j در نظر گرفته شده است. جدول شماره ۱ پارامترهای اصلی را نشان می‌دهد که شامل تعداد گره‌ها، ابعاد ناحیه استقرار آنها، انرژی اولیه هر گره، انرژی مصرفی در ماژول رادیویی $(E_{mp}, E_{fs}, E_{Tx}, E_{Rx})$، اندازه بسته و احتمال سرخوشه شدن (P) است. به منظور شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی، از مدل انرژی در [۲۲] استفاده می‌شود زیرا این مدل به طور گسترده پذیرفته شده و در طرح‌های خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۳].



نمودار (۱): تعداد حسگرهای زنده در هر مرحله از شبیه‌سازی برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد



نمودار (۲): مجموع انرژی باقی‌مانده همه حسگرها در هر مرحله از شبیه‌سازی برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد

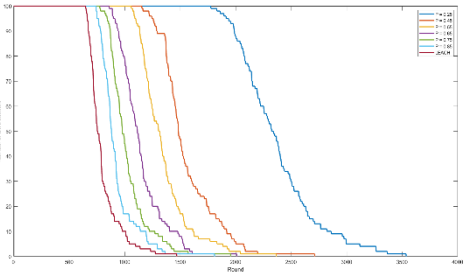
جدول ۱: پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی.

نام	مقدار
تعداد حسگرها	۱۰۰
ابعاد ناحیه استقرار حسگرها	100x100
انرژی اولیه حسگرها	0.5J
$E_{Tx} = E_{Rx}$	50 nJ/bit
E_{fs}	10 pJ/bit/m^2
E_{mp}	0.0013 pJ/bit/m^4
P	5%
اندازه بسته حاوی داده جدید	4000بیت
اندازه بسته کنترلی	100بیت

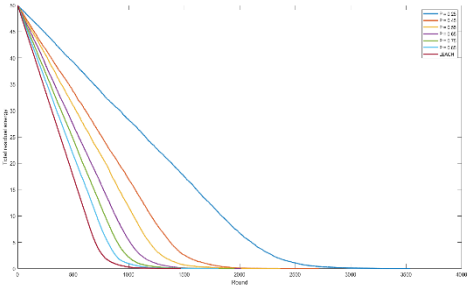
باتوجه‌به اینکه تغییرات یک محیط کاملاً وابسته به شرایط آن است و نمی‌توان چنین شرایطی را در مرحله شبیه‌سازی مهیا نمود، به‌منظور مطالعه و مقایسه روش پیشنهادی با دیگر الگوریتم‌ها، تغییرات محیط به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. تصادفی بودن تغییرات محیط یعنی فرض می‌شود شبکه در محیطی قرار گرفته که مثلاً با احتمال ۲۵ درصد تغییر می‌کند. این به این معنا است که حسگرها در هر مرحله یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ تولید کرده و اگر این عدد کمتر از ۰,۲۵ بود داده‌های جدید (بسته با حجم ۴۰۰۰ بیت) را برای سرخوشه خود ارسال می‌کنند و در غیر این صورت فقط یک بسته کنترلی کوچک برای سرخوشه خود ارسال می‌کنند.

در نمودار شماره ۱ تعداد حسگرهای زنده در هر مرحله برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵، ۷۵، ۸۵ درصد آورده شده و همچنین در نمودار شماره ۲ مجموع انرژی باقی‌مانده همه حسگرها در هر مرحله برای همان محیط‌ها نمایش داده شده است.

در نمودار شماره ۳ تعداد حسگرهای زنده در هر مرحله برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی (در محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد) در مقایسه با الگوریتم LEACH آورده شده و در نمودار شماره ۴ مجموع انرژی باقی‌مانده همه حسگرها در هر مرحله برای الگوریتم پیشنهادی در همان محیط‌ها و الگوریتم LEACH نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی با توجه به موضوع تغییرات محیط، با افزایش طول عمر شبکه و کاهش انرژی مصرفی، باعث ایجاد بهبود در الگوریتم خوشه‌بندی LEACH شده است و نکته حائز اهمیت این است که چنین بهبودی تنها مختص این الگوریتم نبوده و با جایگزینی هر الگوریتم خوشه‌بندی دیگری، راه‌حل پیشنهادی به همین نسبت باعث ایجاد بهبود در طول عمر شبکه خواهد شد.

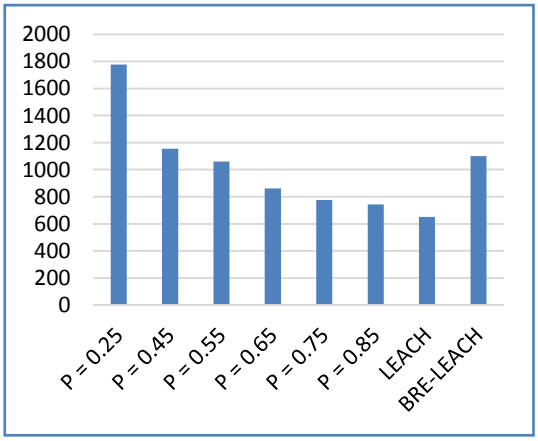


نمودار (۳): تعداد حسگرهای زنده در هر مرحله از شبیه‌سازی برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد و الگوریتم خوشه‌بندی LEACH

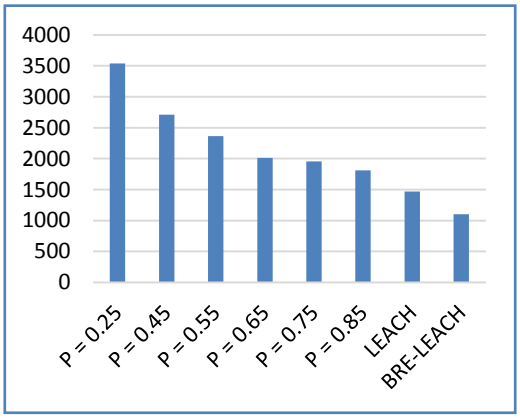


نمودار (۴): مجموع انرژی باقی‌مانده همه حسگرها در هر مرحله از شبیه‌سازی برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد و الگوریتم خوشه‌بندی LEACH.

در نمودار شماره ۵ و ۶ به ترتیب طول عمر شبکه تا مرگ اولین و آخرین گره برای محیط‌هایی با تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد و الگوریتم‌های خوشه‌بندی LEACH و BRE-LEACH آورده شده است. براساس نتایج آورده شده در این دو نمودار می‌توان نتیجه گرفت که توجه به ویژگی‌های محیط می‌تواند در مصرف انرژی حسگرها بسیار مؤثر باشد و باعث افزایش طول عمر شبکه شود. در نمودار شماره ۶ مشاهده می‌شود که مرگ آخرین گره برای الگوریتم BRE-LEACH در مرحله ۴۵۰۰ گزارش شده است که براساس [۱۲] تنها دو گره تا این مرحله زنده مانده‌اند که وجود داشتن این تعداد گره از شبکه اطلاعات ویژه‌ای از محیط به دست نمی‌دهد.



نمودار (۵): طول عمر شبکه (تا مرگ اولین گره) برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد و الگوریتم خوشه‌بندی LEACH و BRE-LEACH.



نمودار (۶): طول عمر شبکه (تا مرگ آخرین گره) برای محیط‌هایی با احتمال تغییر ۲۵ تا ۸۵ درصد و الگوریتم خوشه‌بندی LEACH و BRE-LEACH.

۵- نتیجه‌گیری

باتوجه‌به اینکه در مرحله جمع‌آوری داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم امکان ارسال داده‌های تکراری توسط حسگرها وجود دارد، در این مقاله الگوریتمی سازگار با محیط مسئله ارائه شد که باتوجه‌به آن، یک راه‌حل برای جلوگیری از ارسال داده‌های تکراری ارائه دهد که نتیجه آن افزایش طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی حسگرها است. برای نشان‌دادن ارزیابی روش پیشنهادی، مقیاسی برای میزان تغییرات محیط در نظر گرفته شد که نتایج عملی، رسیدن به اهداف مدنظر را تأیید می‌کند. لازم به ذکر است که این روش روی سازگاری با محیط و مسئله تأکید دارد و مستقل از روش‌های خوشه‌بندی و مسیریابی است. به‌عنوان کارهای آتی پیشنهاد می‌شود در بخش خوشه‌بندی نیز متناسب با چگالی هر ناحیه و همچنین متناسب با میزان تغییرات محیط رفتار شود [۲۴] و سپس به‌صورت یک مساله بهینه‌سازی چندهدفه مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد.

۶- مراجع

[1] A. Flammini, P. Ferrari, D. Marioli, E. Sisinni, and A. Taroni, "Wired and wireless sensor networks for industrial applications," Microelectronics journal, vol. 40, no. 9, pp. 1322-1336, 2009.

[2] M. P. Đurišić, Z. Tafa, G. Dimić, and V. Milutinović, "A survey of military applications of wireless sensor networks," in 2012 Mediterranean conference on embedded computing (MECO), 2012: IEEE, pp. 196-199.

[3] Z. Heidary Ghiri and G. Mirjalily, "Energy-Harvesting Aware Multi-Hop Routing in Wireless Sensor Networks for Defense Applications," Electronic and Cyber Defense, vol. 8, no. 4, pp. 63-73, 2020.(in Persian).https://dor.isc.ac/dor/DOR:20.1001.1.23224347.1399.8.4.6.2

[4] A. Ali, Y. Ming, S. Chakraborty, and S. Iram, "A comprehensive survey on real-time applications of WSN," Future internet, vol. 9, no. 4, p. 77, 2017.

[5] D. Kandris, C. Nakas, D. Vomvas, and G. Koulouras, "Applications of wireless sensor networks: an up-to-date survey," Applied System Innovation, vol. 3, no. 1, p. 14, 2020.

[6] A. Yadav, S. Kumar, and S. Vijendra, "Network life time analysis of WSNs using particle swarm optimization," Procedia computer science, vol. 132, pp. 805-815, 2018.

[7] A. Ghaffari and R. Mahmoudi, "Energy-aware routing in wireless sensor networks using MLP and simulated annealing algorithms," Electronic and Cyber Defense, vol. 9, no. 3, pp. 133-142, 2021.(in Persian).https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1400.9.3.11.2

[8] G. Saranraj, K. Selvamani, and G. Kanagachidambaresan, "Optimal energy-efficient cluster head selection (OEECHS) for wireless sensor network," Journal of The Institution of Engineers (India): Series B, vol. 100, pp. 349-356, 2019.

[9] M. S. Younespour and M. Romoozi, "wireless sensor network clustering based on label propagation algorithm," Engineering Management and Soft Computing, vol. 7, no. 2, pp. 31-49, 2022.

[10] H. Esmaeili, V. Hakami, B. M. Bidgoli, and M. Shokouhifar, "Application-specific clustering in wireless sensor networks using combined fuzzy firefly algorithm and random forest," Expert Systems with Applications, vol. 210, p. 118365, 2022.

[11] P. V. Ujawe and S. Khiani, "Review on data aggregation techniques for energy efficiency in wireless sensor networks," International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, vol. 4, no. 7, 2014.

[12] M. M. Afsar and M.-H. Tayarani-N, "Clustering in sensor networks: A literature survey," Journal of Network and Computer applications, vol. 46, pp. 198-226, 2014.

[13] S. E. Khediri, N. Nasri, A. Wei, and A. Kachouri, "A new approach for clustering in wireless sensors networks based on LEACH," Procedia Computer Science, vol. 32, pp. 1180-1185, 2014.

[14] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences, 2000: IEEE, p. 10 pp. vol. 2.

[15] N. A. Pantazis, D. J. Vergados, D. D. Vergados, and C. Douligeris, "Energy efficiency in wireless sensor networks using sleep mode TDMA scheduling," Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 2, pp. 322-343, 2009..

[16] I. Daanoune, A. Baghdad, and A. Balllouk, "BRE-LEACH: A new approach to extend the lifetime of wireless sensor network," in 2019 Third International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS), 2019: IEEE, pp. 1-6.

[17] G. Gupta and M. Younis, "Load-balanced clustering of wireless sensor networks," in IEEE International Conference on Communications, 2003. ICC'03., 2003, vol. 3: IEEE, pp. 1848-1852.

[18] D. Wajgi and N. V. Thakur, "Load balancing based approach to improve lifetime of wireless sensor network," International Journal of Wireless & Mobile Networks, vol. 4, no. 4, p. 155, 2012.

[19] I. Daanoune, B. Abdennaceur, and A. Ballouk, "A comprehensive survey on LEACH-based clustering routing protocols in Wireless Sensor Networks," Ad Hoc Networks, vol. 114, p. 102409, 2021.

[20] A. Ali, "Volatility of oil prices and public spending in Saudi Arabia: sensitivity and trend analysis," International Journal of Energy Economics and Policy, 2021.

[21] S. Erdoğan, E. İ. Çevik, and A. Gedikli, "Relationship between oil price volatility and military expenditures in GCC countries," Environmental Science and Pollution Research, vol. 27, no. 14, pp. 17072-17084, 2020.

[22] C. Lv, Q. Wang, W. Yan, and Y. Shen, "Energy-balanced compressive data gathering in wireless sensor networks," Journal of Network and Computer Applications, vol. 61, pp. 102-114, 2016.

[23] W. Osamy, A. A. El-Sawy, and A. Salim, "CSOCA: Chicken swarm optimization based clustering algorithm for wireless sensor networks," IEEE Access, vol. 8, pp. 60676-60688, 2020.

[24] S. Z. Majidian and M. Shirmohammadi, "Clustering and Routing in Wireless Sensor Networks Using Multi-Objective Cuckoo Search and Game Theory," Electronic and Cyber Defense, vol. 10, no. 3, pp. 11-20, 2022.(in Persian).https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1401.10.3.2.0