

## Energy-Aware Routing in Wireless Sensor Networks Using MLP and Simulated Annealing Algorithms

R. Mahmoudi<sup>1</sup>, A. Ghaffari<sup>2\*</sup>

\*Associate professor, Department of computer engineering, Tabriz branch, Islamic azad university, Tabriz, Iran

(Received: 08/01/2021, Accepted: 02/04/2021)

### ABSTRACT

The main purpose of wireless sensor networks (WSNs) is to monitor, record and announce specific conditions from different locations and different applications to the well node or end user. Wireless sensor networks have many applications such as patient status monitoring, target tracking, forest and rangeland monitoring, battlefield, and so on. In these networks, energy is one of the inherent limitations. Because the energy consumed is supplied by a battery, which has a limited lifespan. Clustering is one of the best ways to save energy due to data aggregation, and selecting the right clusters increases the lifespan of wireless sensor networks. Since clustering is one of the NP-hard problems, metaheuristic algorithms are suitable for this problem. In this paper, an energy-aware and cluster-based routing method for WSNs with a combination of multilayer perceptron (MLP) neural network algorithm and simulated annealing (SA) is presented. In the proposed method, the simulated annealing metaheuristic algorithm is simulated to determine the cluster head (CH) and multilayer perceptron neural networks are used to determine the members of each cluster. After the clustering process, data is sent from the source node to the well by creating appropriate routing tables among the headers. The simulation results of the proposed method show that this method improves the parameters of energy consumption, package delivery rate and throughput.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Routing, Clustering, Energy Consumption, Neural Networks MLP, Simulated Annealing.

\* Corresponding Author Email: a.ghaffari@iaut.ac.ir

## مسیریابی آگاه از انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با ترکیب الگوریتم‌های شبکه عصبی چند لایه

### پرسترون و تبرید شبیه‌سازی شده

رضا محمودی<sup>۱</sup>، علی غفاری<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- دانشیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی

(دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۳)

#### چکیده

هدف اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم نظارت، ثبت و اعلام شرایط خاص از مکان‌های مختلف و کاربردهای مختلف به گره چاهک یا کاربر نهایی می‌باشد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربردهای زیادی از جمله نظارت بر وضعیت بیماران، ردیابی هدف، نظارت بر جنگلها و مراتع، میدان نبرد و ... دارند. در این شبکه‌ها، یکی از محدودیت‌های ذاتی انرژی می‌باشد. زیرا انرژی مصرفی از طریق باتری تامین می‌شود که دارای طول عمر محدودی می‌باشد. خوشه‌بندی به دلیل تجمیع داده‌ها، یکی از روش‌های مناسب برای صرفه‌جویی در انرژی مصرفی بوده و انتخاب سرخوشه‌های مناسب باعث افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. با توجه به این که خوشه‌بندی جزء مسایل NP-hard می‌باشد، الگوریتم‌های فراابتکاری برای این مساله مناسب است. در این مقاله، یک روش مسیریابی آگاه از انرژی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با ترکیب الگوریتم‌های شبکه عصبی چند لایه پرسترون و تبرید شبیه‌سازی شده ارائه شده است. در روش پیشنهادی، برای تعیین سرخوشه از الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه‌سازی شده و برای تعیین اعضای هر خوشه از شبکه‌های عصبی چند لایه پرسترون استفاده شده است. بعد از فرایند خوشه‌بندی، با ایجاد جداول مسیریابی مناسب در بین سرخوشه‌ها، داده‌ها از گره مبدا به چاهک ارسال می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی نشان می‌دهد که این روش پارامترهای انرژی مصرفی، نرخ تحویل بسته و توان عملیاتی را بهبود می‌دهد.

**کلید واژه‌ها:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی، خوشه‌بندی، مصرف انرژی، شبکه‌های عصبی چند لایه پرسترون، تبرید شبیه‌سازی شده

#### ۱- مقدمه

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم<sup>۱</sup>، گره‌های حسگر در یک منطقه بسیار وسیع قرار می‌گیرند و برای نظارت، شناسایی و ضبط شرایط فیزیکی محیط شامل دما، رطوبت، تحرک و غیره در یک مکان خاص کمک می‌نمایند. این گره‌ها به صورت تصادفی در محیط پخش و برای انتقال اطلاعات با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند که این ارتباط از طریق کانال‌های بی‌سیم می‌باشد. با توجه به محدودیت ذاتی این شبکه‌ها در زمینه انرژی، برای این منظور الگوریتم‌های کارآمد از لحاظ انرژی لازم و ضروری می‌باشد. [۴-۱].

خوشه‌بندی به عنوان یکی از روش‌های افزایش طول عمر این شبکه‌ها می‌باشد. پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی، شبکه را به خوشه‌هایی با دونوع گره، سرخوشه و عضو یا گره عادی تقسیم می‌کنند. گره‌های سرخوشه، اطلاعات را از گره‌های عادی جمع‌آوری و بعد از تجمیع داده‌ها، آنها را به ایستگاه اصلی ارسال می‌کند. با توجه به محدود بودن منبع انرژی در این شبکه‌ها، صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای افزایش طول و تداوم ماموریت شبکه لازم و ضروری است [۹-۵].

با توجه به این که خوشه‌بندی از مسایل NP-Hard می‌باشد [۱۰-۱۳]، این مقاله با هدف بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی از طریق انتخاب سرخوشه مطلوب و همچنین تعیین مسیر بهینه برای انتقال اطلاعات با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه‌سازی شده<sup>۲</sup> و شبکه‌های عصبی چند لایه پرسترون<sup>۳</sup> ارائه شده است. در روش پیشنهادی، بعد از توزیع یکنواخت گره‌ها در محیط شبکه، گره چاهک با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده سرخوشه‌های مناسب از بین گره‌های حسگر را تعیین خواهد کرد. سپس از طریق الگوریتم شبکه عصبی چند لایه پرسترون خوشه‌بندی مناسب صورت گرفته و مسیریابی بسته‌ها با جداول مسیریابی مناسب انجام می‌شود. برای این منظور، انتقال داده در بین گره‌های عضو و گره سرخوشه به صورت تک‌گام خواهد بود. برای انتخاب گام بعد در ارسال اطلاعات به سمت چاهک، از الگوریتم پریم که یک الگوریتم حریمانه<sup>۴</sup> می‌باشد، استفاده می‌شود تا بهترین گره به عنوان گام بعدی انتخاب شود. دلیل انتخاب این الگوریتم‌ها، رشد سریع و استفاده گسترده از الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل مختلف می‌باشد. برای

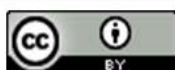
<sup>2</sup> SA: Simulated annealing

<sup>3</sup> MLP: Multilayer perceptron neural network

<sup>4</sup> Greedy routing algorithm

\*رایانامه نویسنده مسئول: a.ghaffari@iaut.ac.ir

<sup>1</sup> WSNs: Wireless sensor networks



الگوریتم مسیریابی گرانشی خوشه‌ای برای ارائه یک راه حل بهینه برای خوشه‌بندی کارآمد و مسیریابی موثر ارائه شده است. علاوه بر این، یک سیستم استنتاج قیاسی مبتنی بر منطق فازی برای انتخاب مناسب‌ترین گره‌ها به عنوان گره‌های سرخوشه از گره‌های موجود در هر خوشه طراحی و استفاده شده است.

در [۱۷]، یک روش مسیریابی آگاه از انرژی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم سیار با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات ارائه شده است. برای خوشه‌بندی از الگوریتم ازدحام ذرات با در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت استفاده شده است. در این روش گره‌ها سیار می‌باشد. در [۱۸]، یک الگوریتم مسیریابی خوشه‌ای مبتنی بر قاعده زمانی فازی جدید با مدل‌سازی اعتماد و تشخیص دور برای نظارت بر گره‌های شرکت کننده در ارتباطات پیشنهاد شده است. علاوه بر این، در این روش یک الگوریتم تشخیص فاصله دور با قاعده و فاصله فازی نیز برای تشخیص گره‌های مخرب از گره‌های دیگر در هر خوشه شبکه ارائه شده است. الگوریتم مسیریابی امن پیشنهادی از وظایف استدلال زمانی یادگیری و پیش‌بینی مبتنی بر توضیح و همچنین محدودیت‌های مکانی برای تصمیم‌گیری کارآمد در مسیریابی از طریق استفاده از اعتماد و تکنیک‌های مدیریت کلید برای انجام احراز هویت موثر گره‌ها و در نتیجه جدا کردن گره‌های مخرب از ارتباطات استفاده می‌کند.

در [۱۹]، یک پروتکل مسیریابی سلسله‌مراتبی خوشه‌بندی چند معیاره فازی و مسیریابی کم مصرف انرژی (FMCB-ER)<sup>۳</sup> برای افزایش طول عمر شبکه و در نتیجه بهبود زمان برنامه‌های مبتنی بر شبکه‌های حسگر ارائه شده است. در این روش از یک روش خوشه‌بندی برای تشکیل خوشه‌های مقاوم استفاده شده است. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی تطبیقی (AF-MCDM)<sup>۴</sup> که ترکیبی از تحلیل فازی سلسله‌مراتبی و TOPSIS<sup>۵</sup> است، برای انتخاب سر خوشه بهینه استفاده می‌شود. برای این منظور، رویکرد سه پارامتر مهم یعنی انرژی، کیفیت سرویس و موقعیت گره به همراه شش زیرمعیار آنها در نظر گرفته می‌شود. پس از انتخاب سرخوشه، الگوریتم بهینه‌سازی پنگوئن امپراطور برای یافتن مسیر بهینه برای انتقال داده از گره سرخوشه به چاهک استفاده می‌شود.

در [۲۰]، یک روش مسیریابی هدایت شونده چند منظوره و بهینه‌ساز برای حفظ بهره‌وری انرژی در شبکه‌های حسگر ارائه شده است. از یک تابع هدف برای انتخاب سرخوشه مناسب استفاده شده است. این کار به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند

همین منظور سعی شده در این مقاله از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده و الگوریتم شبکه عصبی چند لایه پرسپترون به عنوان الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شود.

ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: فصل ۲ کارهای مرتبط را بیان می‌کند. فصل ۳ روش پیشنهادی این مقاله را توضیح می‌دهد. فصل ۴ به ارزیابی روش پیشنهادی می‌پردازد. در نهایت فصل ۵ به نتیجه‌گیری روش پیشنهادی پرداخته و کارهای آتی را نشان می‌دهد.

## ۲- کارهای مرتبط

مقالات زیادی در راستای موضوع مقاله انجام شده است که در این مقاله برخی از آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در [۱۴]، یک روش خوشه‌بندی فازی و الگوریتم بهینه‌سازی گله فیل برای مسیریابی کارآمد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده است. در این کار چاهک ثابت و متحرک بوده تا مصرف انرژی در شبکه کاهش داده شود. یک گره ثابت به طور تصادفی در سراسر شبکه مستقر شده و گره چاهک متحرک برای جمع آوری داده‌ها به مکان‌های مختلف شبکه منتقل می‌شود. در ابتدا، تعداد گره‌ها با استفاده از الگوریتم افزایش حداکثر انتظار، افزایش یافته و به چند خوشه تبدیل می‌شوند. پس از آن، انتخاب سر خوشه از طریق یک روش فازی با در نظر گرفتن سه عامل انرژی موجود گره، مرکزیت گره و همپوشانی محلی انجام می‌شود. سرانجام، از پروتکل مسیریابی الگوریتم ترکیبی EHO - Greedy<sup>۱</sup> برای انتقال کارآمد داده استفاده می‌شود.

در [۱۵] یک الگوریتم چند هدفه مبتنی بر طبیعت و بر اساس الگوریتم قورباغه و کرم شیتاب به نام MOSFA<sup>۲</sup> به عنوان یک پروتکل مسیریابی چند گامی مبتنی بر خوشه‌بندی برای شبکه‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده است. عملکرد چند هدفه MOSFA معیارهای مختلف مانند فاصله بین خوشه‌های و درون خوشه‌ای، انرژی باقی‌مانده گره‌ها، فاصله از چاهک، همپوشانی و بار خوشه‌ها را برای انتخاب سر خوشه‌های مناسب در هر دور در نظر می‌گیرد. علاوه بر این، یک تابع چند هدفه دیگر برای انتخاب گره‌های حمل و نقل در مرحله مسیریابی پیشنهاد شده است. پارامترهای قابل کنترل MOSFA در هر دو مرحله خوشه‌بندی و چند گامی را می‌توان به طور انطباقی تنظیم کرد تا بر اساس نیازهای شبکه با توجه به کاربردهای خاص، بهترین عملکرد را به دست آورد. در [۱۶]، دو الگوریتم جدید ابتکاری یعنی روش خوشه‌بندی مبتنی بر رویکرد گرانشی و یک

<sup>3</sup> Fuzzy Multi-Criteria Cluster-Based Bio-Inspired Energy-Efficient Routing

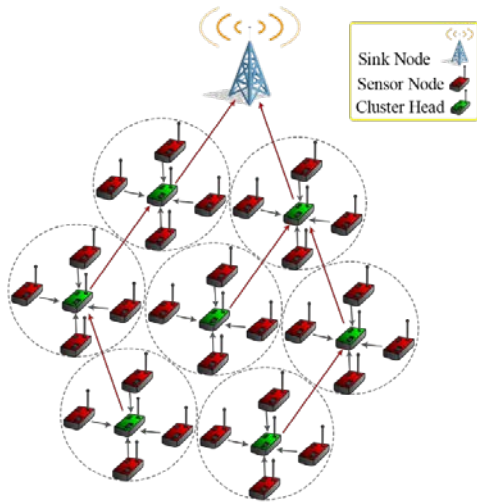
<sup>4</sup> Adaptive Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach

<sup>5</sup> Technique for order of Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>1</sup> Elephant Herding Optimization

<sup>2</sup> Multi-Objective Nature-Inspired Algorithm Based on Shuffled Frog-Leaping and Firefly Algorithms

- هر گره می‌تواند میزان مصرف انرژی در زمان ارسال داده را بر اساس فاصله تا گره مقصد تنظیم نماید.



شکل (۱): مدل روش پیشنهادی

### ۳-۱- مدل مصرف انرژی

گره‌های حسگر عمدتاً برای برقراری ارتباط با یکدیگر به منظور انتقال داده‌های جمع‌آوری شده به ایستگاه اصلی به انرژی نیاز خواهند داشت. در بسیاری از تحقیقات انجام شده در زمینه خوشه‌بندی و مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۲۴]، مدل رادیویی مرتبه-اول<sup>۶</sup>، به عنوان اصلی‌ترین مدل مصرف انرژی مورد استفاده قرار گرفته شده است. مقدار انرژی مصرفی در زمان انتقال  $L$  بیت داده  $(E_{TX}(l, d_{ij}))$  از گره  $i$  به گره  $j$  با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$E_{TX}(l, d_{ij}) = \begin{cases} L(E_{elec} + \epsilon_{fs} \times d_{ij}^2) & ; d_{ij} < d_0 \\ L(E_{elec} * \epsilon_{mp} \times d_{ij}^4) & ; d_{ij} \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

به طوری که  $E_{elec}$ ، انرژی مورد نیاز برای جلو راندن و کنترل اجزای الکترونیکی،  $d_{ij}$  نشان‌دهنده فاصله ارتباطی بین گره مبدأ  $i$  و مقصد  $j$  می‌باشد.  $\epsilon_{fs}$  و  $\epsilon_{mp}$  به ترتیب، فاکتورهایی برای مدل فضای آزاد و مدل چند مسیره می‌باشند.  $d_0$  فاصله حد آستانه می‌باشد که از رابطه (۲) به دست خواهد آمد.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (2)$$

اگر مختصات نقطه  $i$  و  $j$  به ترتیب  $(x_i, y_i)$ ،  $(x_j, y_j)$  فرض شود، فاصله بین آن‌ها از رابطه (۳) به دست خواهد آمد.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

و تعداد گره‌های حسگر مرده را کاهش می‌دهد. پس از انتخاب گره سرخوشه، از الگوریتم هدایت شونده چند منظوره و بهینه‌ساز برای انتخاب مسیر بهینه برای انتقال داده استفاده می‌شود.

در [۲۱]، یک الگوریتم مبتنی بر خوشه‌بندی فازی و نابرابر (FBUCA)<sup>۱</sup> و یک روش مسیریابی بهینه‌سازی چند لایه با سه لایه (TM-ORT)<sup>۲</sup> برای بهبود کارایی شبکه پیشنهاد شده است. مصرف انرژی و قابلیت اطمینان داده‌ها توسط پروتکل‌های مسیریابی چند گامی مبتنی بر کیفیت سرویس تثبیت می‌شوند. توازن بار در بین خوشه‌ها مهم است. توازن بار با انتخاب بهترین پارامترها برای خوشه‌بندی فازی برای انتخاب یک سرخوشه کارآمد برای تجمیع و مسیریابی داده‌ها حاصل شده است.

در [۲۲]، یک روش مسیریابی چند مسیری مبتنی بر خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات<sup>۳</sup> آرایه شده است. برای خوشه‌بندی و حل مشکل حفره انرژی<sup>۴</sup> از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات در محدوده تحت پوشش چاهک استفاده شده است. از الگوریتم نوبت گردشی<sup>۵</sup> برای انتخاب گره‌های سرخوشه بعدی برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شود. این روش پارامترهای مصرف انرژی و تاخیر انتها به انتها را برای یافتن مسیرهای مناسب در نظر می‌گیرد. برای یافتن مسیر کوتاه از الگوریتم تک چاهک-تمام گره‌های مقصد استفاده می‌کند.

### ۳- روش پیشنهادی

در این مقاله، گره‌های حسگر به صورت توزیع یکنواخت در محیطی به ابعاد  $M \times M$  متر مربع توزیع شده است. بطوریکه هر یک از گره‌های توزیع شده در محیط، میزان انرژی یکسان و محدودی دارند و تنها گره چاهک دارای انرژی نامحدود خواهد بود. زمانی که رویدادی در سطح شبکه از قبیل حرارت، رطوبت و گرما اتفاق می‌افتد، گره‌های حسگر وظیفه نمونه‌برداری از رویداد را بر عهده خواهند داشت. شکل (۱) مدل شبکه حسگر آرایه شده را نشان می‌دهد. شبکه حسگر مطرح شده در این مقاله دارای فرضیاتی به صورت زیر می‌باشد.

- در این مقاله  $N$  عدد گره حسگر به صورت توزیع یکنواخت در سطح شبکه توزیع می‌گردند.
- تمامی گره‌های حسگر همگن می‌باشند.
- تمامی گره‌های حسگر و همچنین گره چاهک دارای موقعیت مکانی ثابتی بعد از پخش در سطح شبکه می‌باشند.

<sup>1</sup> Fuzzy And Unequal Clustering

<sup>2</sup> Tier Multi-Hop Optimized Routing Technique

<sup>3</sup> Pso: Particle Swarm Optimization

<sup>4</sup> Energy Hole Problem

<sup>5</sup> Round-Robin

<sup>6</sup> First-Order Radio Model

عملکرد تابع برازندگی انتخاب می‌شود. بنابراین، احتمال به عنوان یک تابع نمایی از تفاوت عملکرد تابع برازندگی و دما بیان می‌شود.

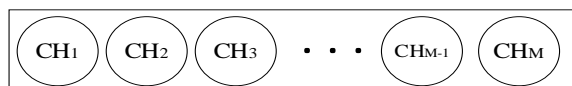
الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده از مراحل مانند (مقداردهی اولیه  $X$ ، کشف نقاط همسایگی  $Y$ ، قبول یا رد کردن همسایگان و...) تشکیل شده است. در ادامه هر یک از مراحل الگوریتم به صورت جداگانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پارامترهای اولیه الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده عبارتند از:

- تعداد تکرار اصلی ( $Max\ it$ ): نشان‌دهنده تعداد تکرار در حلقه اصلی الگوریتم می‌باشد.
- تعداد تکرار فرعی ( $Sub\ it$ ): نشان‌دهنده تعداد تکرار در حلقه داخلی الگوریتم می‌باشد.
- دمای اولیه ( $T_0$ ): این پارامتر دمای اولیه در الگوریتم را نشان خواهد داد.
- نرخ کاهش دما ( $\beta$ ): نشان‌دهنده میزان سرد کردن یا کاهش دما در الگوریتم است.

سرخوشه وظیفه جمع‌بندی و انتقال داده‌ها به ایستگاه چاهک را برعهده دارد. از این رو انتخاب سرخوشه و نحوه توزیع خوشه‌ها تاثیر بسزایی در مصرف انرژی شبکه خواهد داشت. انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها می‌تواند منجر به توزیع نامتعادل خوشه‌ها و مصرف بیش از حد انرژی در سطح شبکه شود که این وضعیت سبب کاهش طول عمر شبکه می‌گردد. لذا در این مقاله از روش تبرید شبیه‌سازی شده به منظور انتخاب گره سرخوشه استفاده شده است.

### ۳-۳- ساختار جواب مسئله

برای ایجاد جواب اولیه فرض شده است که تعداد  $M$  گره ( $1 < M < N$ ) به صورت تصادفی به‌عنوان گره‌های سرخوشه انتخاب شده است. لازم به توضیح است که تعداد گره‌های سرخوشه در این مقاله متغیر می‌باشد، بنابراین تعداد سرخوشه متغیر خواهد بود. بنابراین مقدار  $M$  برای هر جواب، ممکن است با دیگری متفاوت باشد. در حالت کلی ساختار هر یک از جواب‌های اولیه به صورت شکل (۲) خواهد بود.



شکل (۲): ساختار جواب مسئله

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود ساختار هر جواب به صورت آرایه  $1 \times M$  مشخص شده است که در این آرایه

زمانی که گره‌ای بسته‌ای به اندازه  $L$  بیت را دریافت نماید میزان انرژی مصرفی آن از رابطه (۴) محاسبه خواهد شد.

$$E_{Rx}(L) = E_{elec} \times L \quad (4)$$

در نهایت می‌توان میزان کلی مصرف انرژی در یک گره در طول زمان شبیه‌سازی را از رابطه (۵) به دست آورد. در این رابطه، کل مصرف انرژی از مجموع انرژی ارسال، دریافت و جمع‌آوری داده به دست خواهد آمد.

$$E = \sum E_{Tx} + \sum E_{Rx} \quad (5)$$

### ۲-۳- انتخاب گره سرخوشه با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده

الگوریتم شبیه‌سازی ذوب فلزات یک الگوریتم فرا ابتکاری است. شبیه‌سازی ذوب فلزات توسط روند ذوب و خنک کردن مواد، در متالورژی الهام گرفته شده است. در این فرایند طبیعی، ماده گرم می‌شود و به آرامی در شرایط کنترل شده سرد می‌شود تا اندازه کریستال را در ماده افزایش دهد و نقص‌های آن را کاهش دهد. این کار باعث افزایش استحکام و دوام مواد می‌شود. گرم کردن مواد انرژی اتم‌های آن را افزایش می‌دهد و به آنها اجازه می‌دهد آزادانه حرکت کنند و فرآیند خنک‌سازی آهسته اجازه می‌دهد تا پیکربندی جدید با انرژی کمتر و استحکام بالا کشف و بهره برداری شود. در این الگوریتم ابتدا یک جمعیت اولیه متناسب با مساله تولید می‌گردد. سپس برای هر جوابی که در جمعیت اولیه وجود دارد، تعدادی همسایه به صورت تصادفی تولید می‌کند. در ادامه مقدار برازندگی همسایه محاسبه می‌گردد اگر مقدار برازندگی همسایه  $S_2$  از نقطه فعلی ( $S_1$ ) بهتر باشد، جایگزین  $S_1$  در جمعیت خواهد شد. اما اگر مقدار برازندگی  $S_2$  از  $S_1$  بهتر باشد، آنگاه با یک احتمال که به صورت زیر محاسبه می‌گردد،  $S_2$  جایگزین  $S_1$  خواهد شد.

$$p = \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_B T}\right) \quad (6)$$

مقدار  $\Delta E$  در رابطه بالا از طریق رابطه (۷) قابل محاسبه است:

$$\Delta E = \gamma \Delta f \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $\Delta f$  تغییرات تابع برازندگی و  $\gamma$  معکوس ثابت بولتزمن است. در نهایت، احتمال بالا با استفاده از رابطه (۸) قابل محاسبه است.

$$p = \exp\left(-\frac{\Delta f}{T}\right) \quad (8)$$

در روابط بالا  $\Delta E$  تغییر در سطح انرژی،  $k_B$  ثابت بولتزمن،  $T$  دما برای کنترل فرایند ذوب است که به عنوان مقدار متوسط

<sup>1</sup> MAX Iteration

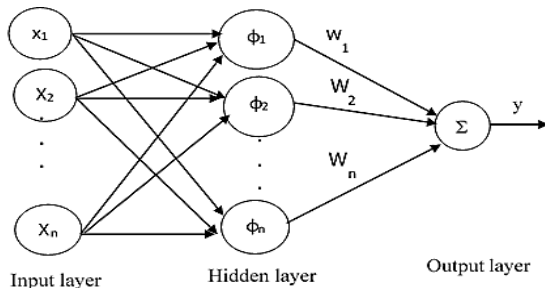
$$F3 = \frac{N_d}{N_T} \quad (12)$$

$$F4 = \frac{d(BS, all CHs)}{D} \quad (13)$$

در روابط بالا، پارامترهای  $D, N_d, N_T, B_f, B_i, E_i, E_r$  و  $d(BS, all CHs)$  به ترتیب انرژی باقی‌مانده هر گره، انرژی اولیه، میزان بافر اولیه، میزان بافر آزاد، کل گره‌های شبکه، درجه گره (تعداد همسایه‌های تک‌گامی)، قطر و فاصله بین چاهک و گره‌های سرخوشه می‌باشد.

مقدار ضرایب  $\lambda, \delta, \beta, \alpha$  در تابع برازندگی به ترتیب  $0.1, 0.2, 0.3$  و  $0.4$  می‌باشد. مقادیر این پارامترها بر اساس اولویت و اهمیت هر یک از پارامترهای استفاده شده در انتخاب گره سرخوشه و با شبیه‌سازی‌های متعدد تعیین شده است.

بعد از انتخاب گره‌های مناسب به عنوان سرخوشه، اعضای هر سرخوشه باید مشخص باشد. تعیین اعضای مناسب هر سرخوشه بسیار مهم می‌باشد. در روش پیشنهادی، برای انتخاب اعضای هر سرخوشه از روش شبکه عصبی چند لایه‌ای استفاده شده است.



شکل (۴): مدل شبکه عصبی چند لایه‌ای پرسپترون

خروجی شبکه عصبی چند لایه‌ای از رابطه (۱۵) قابل محاسبه است.

$$y = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \phi_j(x) \quad (14)$$

در این رابطه،  $w_j$  پارامتر وزن،  $y$  خروجی و  $x$  به عنوان خروجی شبکه عصبی چند لایه‌ای پرسپترون می‌باشد.

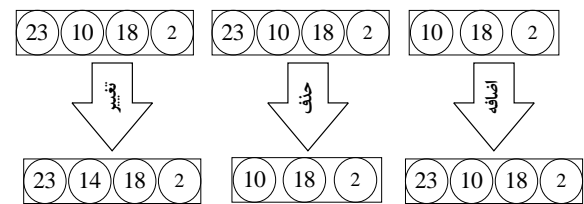
مقدار خروجی در شبکه‌های عصبی پرسپترون از رابطه (۱۵) به‌دست خواهد آمد. در این رابطه مقادیر وزن در پارامترهای ورودی ضرب شده و خروجی با توجه به تابع فعال مشخص خواهد شد. برای این منظور تابع فعال از رابطه (۱۶) قابل تعیین است.

$$f = \begin{cases} 0 & \frac{E_{chi}}{E_{init}} + \frac{N_d}{N_T} + \frac{d(BS, CH)}{D} < 0.3 \\ 1 & \frac{E_{chi}}{E_{init}} + \frac{N_d}{N_T} + \frac{d(BS, CH)}{D} \geq 0.3 \end{cases} \quad (15)$$

محتوای هر ستون نشان دهنده شماره داده‌ای در پایگاه داده می‌باشد که به عنوان گره سرخوشه انتخاب شده است.

### ۳-۴- به‌دست آوردن نقاط همسایگی

هدف از به‌دست آوردن نقاط همسایگی کشف نقاط جدید و ناشناخته در فضای جستجو می‌باشد. این عمل همانند عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک است، به طوری که می‌تواند جواب‌های اولیه را از نقاط بهینه محلی خارج نماید. برای پیاده‌سازی این عملگر از سه الگوریتم متفاوت استفاده شده است که باعث افزایش کارایی در عمل خواهد بود. در الگوریتم اول از روش تغییر استفاده شده است و شرح کار بدین صورت می‌باشد که تعدادی از مکان‌های آرایه به صورت تصادفی انتخاب شده و مقادیر آنها با مقادیر تصادفی قابل قبول جایگزین می‌شود تا جواب جدیدی ایجاد گردد. در روش دوم یک یا چند عنصر به جواب مورد نظر اضافه می‌شود تا جمعیت جدیدی حاصل گردد و در روش سوم یک یا چند عنصر از جواب مربوطه حذف می‌شود تا جواب جدیدی ایجاد گردد. به عنوان مثال، در شکل (۳) عملگر یافتن نقاط همسایگی با استفاده از سه روش ارائه شده بر روی یک آرایه نمایش داده شده است.



شکل (۳): اعمال عملگر بر روی داده‌ها

### ۳-۵- تابع هدف

برای بهبود کارایی شبکه در این مقاله از پارامترهایی مانند انرژی، اندازه بافر و همچنین میزان تراکم بین گره سرخوشه استفاده شده است. ترکیب پارامترهای فوق در کنار یکدیگر به کارایی بهتر شبکه کمک خواهد نمود. برای انتخاب گره سرخوشه با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، ابتدا یک جواب اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. این جواب نشان دهنده گره‌های سرخوشه می‌باشد. سپس با اعمال تابع برازندگی، گره‌هایی که دارای اولویت بالاتری هستند به عنوان گره سرخوشه انتخاب خواهند شد. تابع برازندگی استفاده شده در این مقاله با استفاده از رابطه (۹) به‌دست می‌آید.

$$F = \alpha \times F1 + \beta \times F2 + \delta \times F3 + \lambda \times F4 \quad (9)$$

$$F1 = \frac{E_r}{E_i} \quad (10)$$

$$F2 = \frac{B_f}{B_i} \quad (11)$$

8 bit	16 bit	32 bit	4 bit
ID	Node ID	Position info	Energy info

شکل (۵): ساختار پیام Hello

ساختار پیام CH-info به فرم شکل (۶) می‌باشد. این پیام از سمت گره چاهک در سطح شبکه بعد از خوشه‌بندی و مشخص شدن گره‌های سرخوشه و ساختار خوشه‌ها پخش خواهد شد.

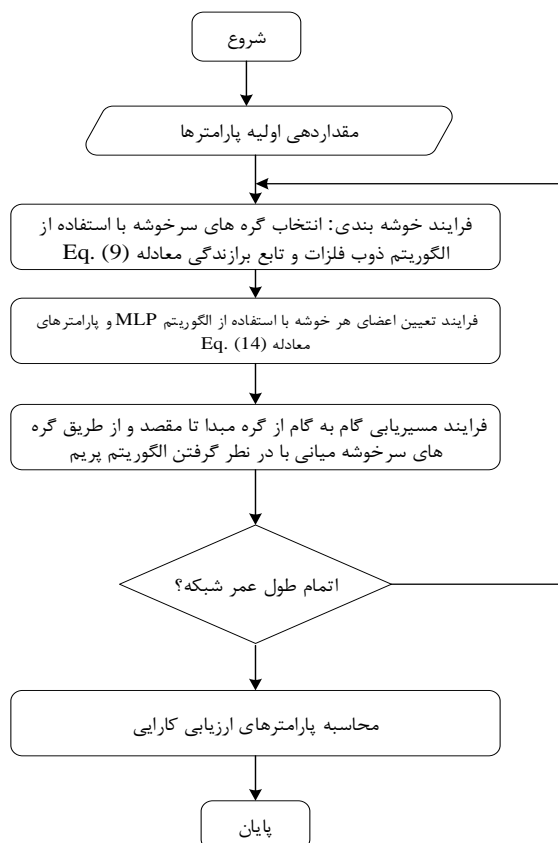
32 bit	32 bit	32 bit
ID	Node ID	CH info

شکل (۶): ساختار پیام CH-info

نهایتا پیام Join-CH مانند شکل (۷) خواهد بود. این پیام نیز به منظور شناسایی اعضای خوشه توسط گره سرخوشه ارسال شده و نهایتا توسط گره‌های عضو پاسخ داده خواهد شد.

32 bit	32 bit	32 bit
ID	CH ID	Node info

شکل (۷): ساختار پیام Join-CH



شکل (۸): فلوچارت روش پیشنهادی

$$MSE = 1/N \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (16)$$

در روش پیشنهادی، درصد آموزش برابر با ۶۰ درصد کل داده‌ها و ۲۰ درصد مربوط به اعتبارسنجی و ۲۰ درصد نیز مربوط به آزمایش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون می‌باشد. با توجه به مواردی که در بالا به آن اشاره شد، زمانی که گره‌ای بخواهد گره سرخوشه مناسب خود را پیدا نماید، اطلاعات انرژی گره‌های سرخوشه و همچنین تراکم موجود در هر یک از گره‌های سرخوشه را مورد بررسی قرار خواهد داد. سپس با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون بهترین گره سرخوشه را انتخاب و شروع به ارسال داده به سرخوشه انتخاب شده خواهد نمود.

### ۳-۶- مسیریابی

بعد از اتمام فرایند خوشه‌بندی، باید فرایند مسیریابی مشخص شود. فرایند مسیریابی روش پیشنهادی به صورت گام به گام خواهد بود. ارسال داده از طریق گره‌های سرخوشه میانی و به صورت گام به گام و با تعیین سرخوشه مناسب گام بعدی خواهد بود. برای انتقال اطلاعات باید با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی، جداول مسیریابی تهیه شود. در روش‌های خوشه‌بندی، پروتکل‌های مسیریابی با دو نوع گره همراه خواهند بود. بطوری که این گره‌ها شامل گره‌های نوع ساده و گره‌های نوع سرخوشه خواهند بود. بنابراین، بر اساس این دو نوع گره جداول مسیریابی برای آنها ایجاد خواهد شد. بعد از انجام خوشه‌بندی و مشخص شدن گره‌های سرخوشه و گره‌های نرمال، انتقال اطلاعات در درون خوشه‌ها به صورت تک‌گام خواهد بود. بطوری که در این حالت داده‌ها با تک‌گام به گره سرخوشه ارسال خواهد شد. گره سرخوشه بعد از جمع‌بندی داده‌ها می‌تواند به صورت تک‌گام، داده‌های جمع‌آوری شده را به گره چاهک ارسال کند، اگر گره چاهک در محدوده برد رادیویی گره مورد نظر باشد. در غیر این صورت با استفاده از الگوریتم پریم نزدیکترین گره سرخوشه همسایه یافت خواهد شد و داده‌ها به آن ارسال خواهند شد. بنابراین در روش پیشنهادی ملاک تعیین سرخوشه بعدی برای ارسال داده، فاصله در نظر گرفته شده است. سرخوشه مبدا نزدیکترین سرخوشه در برد رادیویی خود که به چاهک هم نزدیک باشد را پیدا کرده و داده را به آن ارسال می‌کند. این فرایند تا رسیدن بسته به چاهک ادامه خواهد داشت.

در این مقاله، در مراحل مختلف پیام‌هایی از سمت گره‌ها به یکدیگر ارسال می‌شود. این پیام‌ها هر یک دارای فرمت خاصی می‌باشد. علاوه بر پیام‌ها، اطلاعات نیز در بین گره‌های در حال حرکت می‌باشد. پیام‌استفاده شده در مرحله فاز تنظیم، همان پیام Hello می‌باشد که به فرمت شکل (۵) خواهد بود.

## ۴- ارزیابی کارایی روش پیشنهادی

برای مقایسه ارزیابی روش پیشنهادی، روش موجود در مرجع [۲۲] OQoS-CMRP<sup>۱</sup> که یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی بوده و از الگوریتم فراابتکاری هم استفاده کرده است، در نظر گرفته شده است. با توجه به این که انرژی مصرفی در الگوریتم‌های مسیریابی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم از اهمیت فراوانی برخوردار بوده و پارامترهای نرخ تحویل بسته و توان عملیاتی نیز در نظر گرفته می‌شود، از مقاله فوق برای مقایسه استفاده شده است. هم مقاله فوق و هم روش پیشنهادی هر سه پارامتر طول عمر شبکه، نرخ تحویل بسته و توان عملیاتی را مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. الگوریتم پیشنهادی توسط نرم افزار متلب نسخه 2014R2 شبیه‌سازی شده است. سیستم استفاده شده برای شبیه‌سازی دارای رم به مقدار ۸ گیگا بایت و پردازنده Corei5-8800 می‌باشد. در این روش گره‌ها به صورت توزیع یکنواخت در محیط شبیه‌سازی پخش شده و تمام گره‌های استفاده شده در این شبیه‌سازی همگن بوده و دارای سطح انرژی و اندازه بافر یکسانی می‌باشند. اندازه محیط شبیه‌سازی ۲۰۰×۳۰۰ مترمربع بوده که تعداد گره‌های حسگر در آن متغیر می‌باشد. برای الگوریتم ذوب فلزات با توجه به تابع برازندگی، پارامترهای دمای اولیه، نرخ کاهش دما و ثابت بولتزمن به ترتیب ۱۰۰، ۰.۹ و ۱ در نظر گرفته شده است. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) نمایش داده شده است. گره چاهک در این شبیه‌سازی در مکانی خارج از محیط شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است.

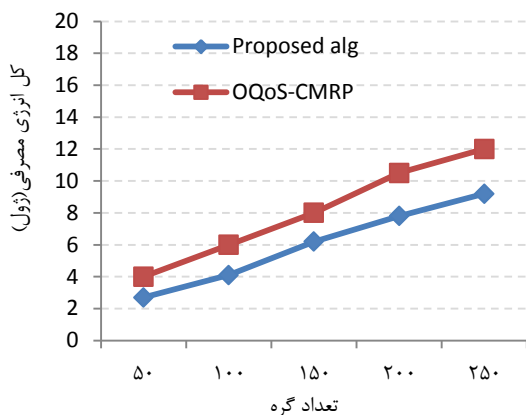
جدول (۱): پارامترهای الگوریتم شبیه‌سازی

نام پارامتر	مقدار پارامتر
اندازه محیط شبیه‌سازی	۲۰۰m × ۳۰۰m
تعداد گره‌ها	۲۵۰، ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰
انرژی اولیه برای هر گره	۴ J
اندازه بسته	۱۲۸ bytes
اندازه بسته‌های کنترلی	۳۲ bytes
نرخ انتقال	۲۵۰ kbps
برد انتقال	۴۰ S
زمان شبیه‌سازی	۵۰۰ S
نوع توزیع گره‌ها	توزیع یکنواخت
$E_{elec}$	۵۰ nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	$10^{-11} J/bit/m^2$
$\epsilon_{amp}$	$1/3 \times 10^{-15} J/bit/m^4$
$d_0$	۸۷ M
نوع صف	اولویت‌دار
اندازه بافر	۲۰

## ۴-۱- انرژی مصرفی

انرژی مصرفی هر گره در هر دور از رابطه (۱۶) به دست می‌آید.

$$E_{total} = E_{TX} + E_{RX} + E_{DA} \quad (16)$$



شکل (۹): نمودار انرژی مصرفی

با توجه به نمودار شکل (۹)، انرژی مصرفی در روش پیشنهادی کمتر از مصرف انرژی در روش OQoS-CMRP می‌باشد. یکی از دلایل آن می‌تواند انتخاب مناسب گره‌های سرخوشه باشد. زیرا بیشترین بار مصرفی در انرژی بر روی گره‌های سرخوشه است. روش پیشنهادی با در نظر گرفتن پارامترهای مناسب مانند انرژی موجود گره‌ها، درجه گره، فاصله و میزان بافر آزاد گره و استفاده از الگوریتم ذوب فلزات برای انتخاب سرخوشه‌های مناسب بهتر عمل کرده است. در نظر گرفتن پارامتر مهم میزان بافر خالی در گره‌های حسگر که محدودیت ذاتی در زمینه حافظه دارند، باعث کاهش بسته‌های حذف شده به دلیل ازدحام و اشغال بافر می‌شود. مصرف انرژی نیز با مجذور فاصله نسبت مستقیم دارد که در نظر گرفتن پارامتر فاصله باعث کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر شبکه خواهد شد. استفاده از روش شبکه عصبی چند لایه‌ای با قابلیت یادگیری نیز باعث مش‌شود که فرایند خوشه‌بندی در روش پیشنهادی مناسب باشد. در هر دو روش با افزایش تعداد گره‌ها به دلیل ازدحام بسته‌های ارسالی، حذف بسته و ارسال مجدد، میزان انرژی مصرفی شبکه نیز افزایش پیدا می‌کند.

به عنوان پارامتر ارزیابی دیگر، زمان مرگ اولین گره در نظر گرفته شده است. طبق تعریف، اولین گرهی که انرژی آن در شبکه تخلیه می‌گردد، برابر با طول عمر شبکه می‌باشد. بنابراین، باید با تعادل بار در شبکه بتوان مرگ اولین گره در شبکه را به تاخیر انداخت. خوشه‌بندی یک روش موازنه با می‌باشد و توانایی افزایش طول عمر شبکه را دارد. بیشترین انرژی که در بین گره‌های حسگر مصرف خواهد شد به گره‌های سرخوشه تعلق دارد. زیرا، این گره‌ها داده‌های بسیاری از گره‌های عضو دریافت

<sup>1</sup> An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for wireless sensor networks

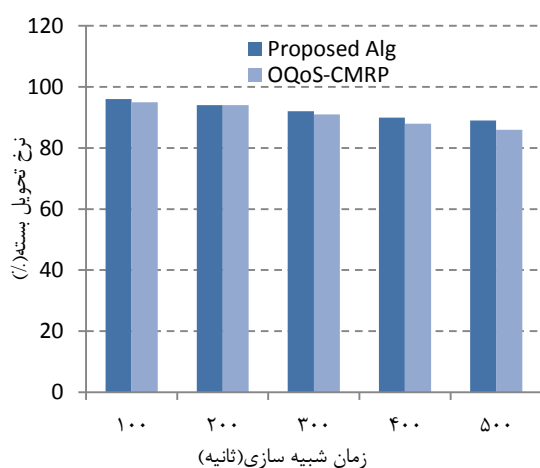


در نمودار شکل (۱۱)، چون روش استفاده شده در مورد خوشه‌بندی و انتخاب گره سرخوشه مناسب می‌باشد و از الگوریتم بهینه به عنوان گره‌های سرخوشه استفاده می‌شود، میانگین انرژی باقی‌مانده نسبت به روش مقایسه بهتر است.

#### ۴-۲- نرخ تحویل بسته

به عنوان پارامتر دیگر، نرخ تحویل بسته مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نرخ تحویل بسته نسبت تعداد بسته‌های موفق انتقال یافته بر تعداد کل بسته‌های تولیدشده در شبکه می‌باشد. رابطه (۱۷) نرخ تحویل بسته را نشان می‌دهد. در این رابطه  $M_i$  و  $N_i$  به ترتیب تعداد بسته‌های دریافتی و ارسالی را نشان می‌دهد.

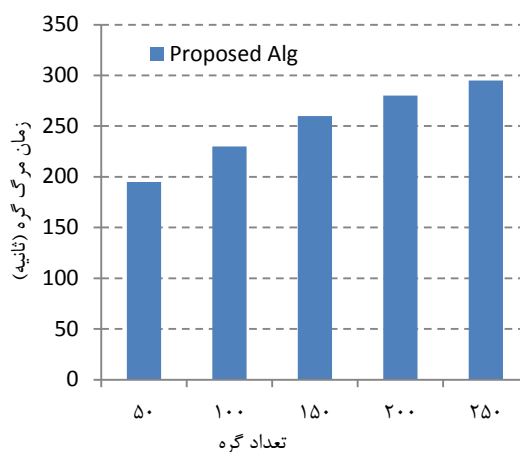
$$PDR = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \times 100\% \quad (17)$$



شکل (۱۲): نرخ تحویل بسته

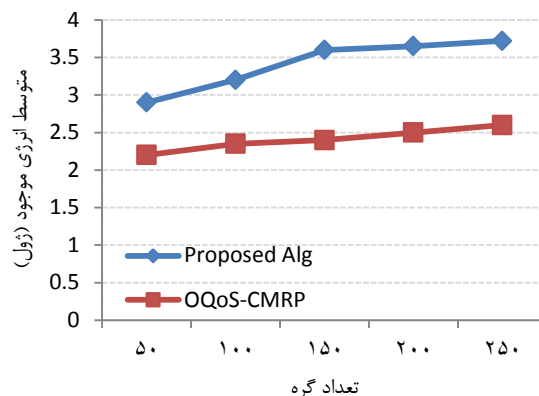
با توجه به نمودار شکل (۱۲) می‌توان به این نتیجه رسید که هر دو الگوریتم در نرخ تحویل بسته کارایی بسیار مناسبی خواهند داشت. یکی از مهمترین دلایل در رسیدن به این مقدار را می‌توان تجمیع داده‌های دریافت شده از گره‌های عضو خوشه و انتقال بسته‌ها به صورت تک بسته‌ای به گره بعد می‌باشد. این کار باعث کاهش ترافیک و تراکم در بین گره‌های بالا دستی شده و انتقال بسته‌ها را آسان تر می‌نماید. با توجه به در نظر گرفتن پارامتر بسیار مهم میزان بافر خالی گره در تعیین سرخوشه و همچنین انرژی موجود گره‌ها، تعداد بسته‌های حذف شده به دلیل ازدحام در روش پیشنهادی کاهش می‌یابد. کارایی الگوریتم فراابتکاری ذوب فلزات و شبکه عصبی چند لایه‌ای پرسپترون در فرایند خوشه‌بندی و الگوریتم پریم در مسیریابی باعث بهبود پارامتر نرخ تحویل بسته در روش پیشنهادی می‌شود. از طرفی، با توجه به نتایج شکل (۱۲)، با افزایش زمان شبیه‌سازی در هر دو روش نرخ تحویل بسته به دلیل اتمام انرژی برخی از گره‌ها کاهش می‌یابد.

کرده و بعد از تجمیع و پردازش آنها را به مقصد ارسال می‌کند. این رو، اگر گره‌های سرخوشه تا اتمام انرژی خود به وظیفه خود عمل نمایند، مرگ این گره خیلی سریع اتفاق خواهد افتاد. ولی در روش پیشنهادی یک مقدار حد آستانه برای میزان انرژی مصرفی در نظر گرفته شده است. به طوری که اگر هر یک از گره‌های سرخوشه به این مقدار حد آستانه نزدیک شوند با ارسال پیام به گره چاهک خوشه‌بندی مجدد را خواستار خواهد شد. در این روش مرگ گره‌های سرخوشه به تعویق خواهد افتاد و باعث افزایش کارایی در شبکه خواهد شد (شکل ۱۰). روش پیشنهادی با در نظر گرفتن پارامترهای مناسب برای خوشه‌بندی توانسته است طول عمر شبکه را افزایش دهد.



شکل (۱۰): مرگ اولین گره

با توجه به نمودار شکل (۱۰)، طول عمر شبکه، با افزایش تعداد گره‌ها افزایش پیدا می‌کند. دلیل این امر نزدیک بودن گره‌ها به یکدیگر و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در زمان ارسال داده می‌باشد که باعث بهبود طول عمر شبکه می‌گردد. در این راستا، نمودار شکل (۱۱) متوسط انرژی موجود گره‌های شبکه را نشان می‌دهد که بنابه دلایل فوق، متوسط انرژی موجود گره‌ها در روش پیشنهادی مناسب می‌باشد.



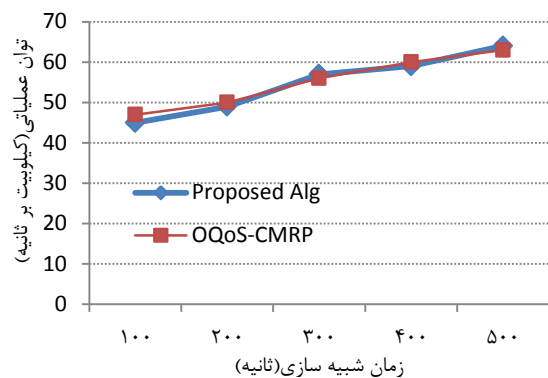
شکل (۱۱): میانگین انرژی باقی‌مانده

### ۳-۴- توان عملیاتی

توان عملیاتی شبکه تعداد بیت‌های ارسالی موفق‌آمیز در هر ثانیه از شبیه‌سازی شبکه می‌باشد. رابطه (۱۸) توان عملیاتی یا گذردهی را نشان می‌دهد که در آن  $k$  تعداد آزمایش‌های لازم،  $S_p$  و  $S_T$  زمان شروع و پایان زمان شبیه‌سازی می‌باشد.

$$\text{Throughput} = \frac{1}{K} \frac{\sum_{i=1}^n X_i \times P_s}{S_p - S_T} \times \frac{8}{100} \quad (18)$$

همچنین در رابطه (۱۸)،  $P_s$  اندازه بسته ارسالی بر حسب بیت و  $X_i$  برابر تعداد بسته‌های ارسالی می‌باشد. این پارامتر نشان از کارایی الگوریتم خواهد داد.

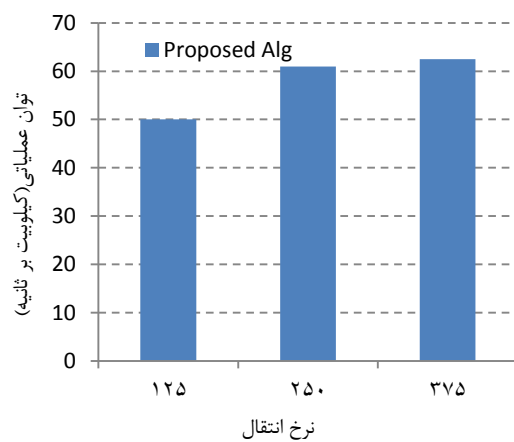


شکل (۱۳): توان عملیاتی

با توجه به نمودار شکل (۱۳)، توان عملیاتی نیز در هر دو الگوریتم نزدیک به یکدیگر می‌باشند.

### ۴-۴- مقیاس پذیری

مقیاس‌پذیری یکی از پارامترهای بسیار مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. بنابراین باید روش مسیریابی آرایه شده مقیاس‌پذیر باشد.



شکل (۱۴): توان عملیاتی

با توجه به نمودار شکل (۱۴)، نرخ انتقال با توجه به توان عملیاتی همان مقدار ۲۵۰ کیلو بیت بر ثانیه مناسب است. زیرا با افزایش نرخ انتقال بار اضافی متوجه مدیریت و انتقال در گره‌های

سرخوشه شده و تفاوت چندانی نیز با مقدار پیش فرض نشان نمی‌دهد.

### ۵- نتیجه‌گیری و کارهای آتی

در اکثر کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارسال سریع و مطمئن داده‌ها به چاهک لازم و ضروری بوده و عدم ارسال به موقع و نرسیدن بسته‌های حیاتی به مقصد باعث بروز مشکلات اساسی خواهد شد. بنابراین، بسته‌های حیاتی باید از طریق مسیرهای بهینه به چاهک ارسال شود. در این راستا طول عمر شبکه نیز باید در نظر گرفته شود. خوشه‌بندی با تجمیع داده‌ها و موازنه‌سازی بار، از روش‌های بسیار مناسب برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. در این مقاله، ابتدا گره‌های حسگر بر اساس توزیع یکنواخت در محیط تحت نظارت پخش شده و بر اساس الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده سرخوشه‌های مناسب بر اساس پارامترهایی مانند انرژی موجود گره‌ها، اندازه بافر خالی و فاصله بین گره‌ها و چاهک انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون اعضای خوشه‌ها مشخص می‌شود. انتخاب گره‌های عضو هر خوشه بر اساس پارامترهایی مانند درجه گره، فاصله بین گره و سرخوشه و انرژی موجود قابل تعیین است. بعد از اتمام فرایند خوشه‌بندی، جداول مسیریابی بر اساس الگوریتم پریم ایجاد می‌گردد. بعد از ایجاد جداول مسیریابی، انتقال داده از گره مبدا و از طریق سرخوشه‌های میانی مناسب به سرخوشه مقصد و در نتیجه به گره مقصد ارسال می‌شود. در هر مرحله از شبیه‌سازی، انرژی و میزان اندازه بافر به‌صورت مرتب مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در صورت رسیدن به حد آستانه، خوشه‌بندی و انتخاب گره سرخوشه جدید آغاز می‌گردد. بهبود روش پیشنهادی به دلیل استفاده مناسب از الگوریتم فرابتنکاری ذوب فلزات و شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون در فرایند خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه‌های مناسب برای افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. پارامتر میزان بافر خالی گره برای تعیین سرخوشه می‌تواند از حذف بسته‌ها به دلیل ازدحام بیش از حد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جلوگیری نماید. زیرا بسته به گره‌ای ارسال می‌شود که میزان بافر آزاد بیشتری داشته باشد. کاهش حذف بسته در روش پیشنهادی، باعث افزایش طول عمر شبکه خواهد شد. مصرف متوازن انرژی باعث افزایش طول عمر شبکه و افزایش پارامترهای دیگر مانند توان عملیاتی و نرخ تحویل بسته می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط متلب نشان می‌دهد که روش پیشنهادی پارامترهای طول عمر شبکه، نرخ ارسال داده و توان عملیاتی را بهبود می‌دهد. پارامترهای فوق بر اساس زمان شبیه‌سازی و تعداد گره‌های حسگر شبیه‌سازی شده‌اند. از دلایل بهبود این پارامترها می‌توان به انتخاب مناسب گره‌های سرخوشه و اعضای آن توسط الگوریتم فرابتنکاری ذوب فلزات شبیه‌سازی

- [12] D. KeyKhosravi, A. Ghaffari, A. Hosseinalipour, and B. A. Khasragi, "New Clustering Protocol to Decrease Probability Failure Nodes and Increasing the Lifetime in WSNs," *Int. J. Adv. Comp. Techn.*, vol. 2, pp. 117-121, 2010.
- [13] M. Khabiri and A. Ghaffari, "Energy-aware clustering-based routing in wireless sensor networks using cuckoo optimization algorithm," *Wireless Personal Communications*, vol. 98, pp. 2473-2495, 2018.
- [14] E. Mohsenifard and A. Ghaffari, "Data aggregation tree structure in wireless sensor networks using cuckoo optimization algorithm," *Information Systems & Telecommunication*, vol. 4, pp. 182-190, 2016.
- [15] I. Mosavvar and A. Ghaffari, "Data aggregation in wireless sensor networks using firefly algorithm," *Wireless Personal Communications*, vol. 104, pp. 307-324, 2019.
- [16] S. Pattnaik and P. K. Sahu, "Assimilation of fuzzy clustering approach and EHO-Greedy algorithm for efficient routing in WSN," *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, p. e4354, 2020.
- [17] A. Barzin, A. Sadegheih, H. K. Zare, and M. Honarvar, "A hybrid swarm intelligence algorithm for clustering-based routing in wireless sensor networks," *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 29, p. 2050163, 2020.
- [18] M. Selvi, S. S. Kumar, S. Ganapathy, A. Ayyanar, H. K. Nehemiah, and A. Kannan, "An energy efficient clustered gravitational and fuzzy based routing algorithm in WSNs," *Wireless Personal Communications*, pp. 1-30, 2020.
- [19] S. Tabibi and A. Ghaffari, "Energy-efficient routing mechanism for mobile sink in wireless sensor networks using particle swarm optimization algorithm," *Wireless Personal Communications*, vol. 104, pp. 199-216, 2019.
- [20] K. Thangaramya, K. Kulothungan, S. Indira Gandhi, M. Selvi, S. Santhosh Kumar, and K. Arputharaj, "Intelligent fuzzy rule-based approach with outlier detection for secured routing in WSN," *Soft Computing*, pp. 1-15, 2020.
- [21] D. Mehta and S. Saxena, "Hierarchical WSN protocol with fuzzy multi-criteria clustering and bio-inspired energy-efficient routing (FMCB-ER)," *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-34, 2020.
- [22] D. Mehta and S. Saxena, "MCH-EOR: Multi-objective cluster head based energy-aware optimized routing algorithm in wireless sensor networks," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 28, p. 100406, 2020.
- [23] V. Rajaram and N. Kumarathan, "Multi-hop optimized routing algorithm and load balanced fuzzy clustering in wireless sensor networks," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1-9, 2020.
- [24] O. Deepa and J. Suguna, "An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for wireless sensor networks," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2017.
- [25] Z. Heidary Ghiri, Gh. Mirjalily, "Energy-Harvesting Aware Multi-Hop Routing in Wireless Sensor Networks for Defense Applications," *Journal of Electronical & Cyber Defence*, vol. 8, no. 4, Serial no. 32, 2021. (In Persian)

شده و شبکه عصبی چند لایه‌ای پرسپترون اشاره کرد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقیاس‌پذیر می‌باشد.

به عنوان کارهای آتی می‌توان از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید با پارامترهای دیگر خوشه‌بندی استفاده نمود. همچنین از قابلیت‌های شبکه‌های نرم‌افزار محور نیز می‌توان استفاده نمود.

## ۶- مراجع

- [1] S. Alizadeh and A. Ghaffari, "An Energy-efficient hierarchical Clustering protocol in wireless sensor networks," in *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology*, pp. 413-418, 2010.
- [2] T. Bagheri and A. Ghaffari, "Recm: Reliable and energy effective clustering based multi-path routing algorithm for wireless sensor networks," in *2011 World Congress on Information and Communication Technologies*, pp. 1340-1345, 2011.
- [3] A. Beheshtiasl and A. Ghaffari, "Secure and trust-aware routing scheme in wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 107, pp. 1799-1814, 2019.
- [4] 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, pp. 63-73, 2020.
- [5] M. Dibaei and A. Ghaffari, "TSIS: A Trust-Based Scheme for Increasing Security in Wireless Sensor Networks," *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, vol. 11, pp. 45-52, 2017.
- [6] A. Ghaffari, "An energy efficient routing protocol for wireless sensor networks using A-star algorithm," *Journal of applied research and technology*, vol. 12, pp. 815-822, 2014.
- [7] A. Ghaffari, "Congestion control mechanisms in wireless sensor networks: A survey," *Journal of network and computer applications*, vol. 52, pp. 101-115, 2015.
- [8] A. Ghaffari and S. Nobahary, "FDMG: Fault detection method by using genetic algorithm in clustered wireless sensor networks," *Journal of AI and Data Mining*, vol. 3, pp. 47-57, 2015.
- [9] A. Ghaffari and A. Rahmani, "Fault tolerant model for data dissemination in wireless sensor networks," in *2008 International Symposium on Information Technology*, pp. 1-8, 2008.
- [10] A. Ghaffari, A. Rahmani, and A. Khademzadeh, "Energy-efficient and QoS-aware geographic routing protocol for wireless sensor networks," *IEICE Electronics Express*, vol. 8, pp. 582-588, 2011.
- [11] A. Ghaffari and V. A. Takanloo, "QoS-based routing protocol with load balancing for wireless multimedia sensor networks using genetic algorithm," *World Applied Sciences Journal*, vol. 15, pp. 1659-1666, 2011.