**Iranian Electric Industry Journal**
**Quality & Productivity**
**P.P 42-49**

**Vol. 13/ No. 3/ Fall 2024**
**ISSN 2322-2344**
**EISSN 2717-1639**

# Hierarchical path algorithm for data collection in order to reduce energy consumption in wireless sensor networks with mobile sink

Reza Etebari, Syed Hasan Sadeghzadeh

Department of Computer and Information Technology, Faculty of Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

**Abstract:**

**Recently, wireless sensor networks have attracted wide attention. In these networks, each sensor node has limited energy, which cannot be recharged after being deployed in the environment. As a result, one of the most important challenges of this type of network is managing the energy consumption of the nodes, which aims to increase the lifetime of the entire network. Therefore, in this article, in order to reduce energy consumption, we first cluster the nodes based on the three criteria of the amount of energy of each node, the centrality of each node, and the density of nodes. After clustering, in each cluster, the node with the highest amount of energy is selected as the head of the cluster. fter the member nodes give the data to the cluster heads, the cluster heads send the data to the nearest cluster head. Finally, the information of all nodes reaches the sink. At the end, a comparison was made between the proposed method and LEACH, and the results show that the proposed method has reduced the energy consumption by 38% compared to the LEACH method.**

**Keywords: ey words: Wireless sensor networks, routing, energy consumption management, mobile sink**

Submit date: 2024/01/30
Accepted date: 2025/01/05

**Corresponding author's name:** Syed Hasan Sadeghzadeh
**Corresponding author's address:** Department of Computer and Information Technology, Faculty of Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص ۴۹-۴۲

Vol. 12 / No. 1/ Spring 2023
ISSN 2322-2344
EISSN 2717-1639

# الگوریتم مسیریابی سلسله مراتبی برای جمع‌آوری داده به منظور کاهش انرژی مصرفی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سینک متحرک

نوع مطالعه: پژوهشی
رضا اعتباری، سید حسن صادق زاده
گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
Sadeghzadeh@pnu.ac.ir
rezaetebari11@gmil.com

## چکیده

**اخیراً شبکه‌های حسگر بی‌سیم توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است. در این شبکه‌ها هر گره حسگر انرژی محدودی دارد که پس از استقرار در محیط مد نظر امکان شارژ مجدد آنها وجود ندارد. در نتیجه از مهمترین چالش‌های این نوع شبکه مدیریت انرژی مصرفی گره‌ها است که به منظور افزایش طول عمر کل شبکه می‌باشد. بنابراین در این مقاله به منظورکاهش مصرف انرژی، ابتدا گره‌ها را بر اساس سه معیار میزان انرژی هر گره، مرکزیت هر گره و چگالی گره‌ها خوشه‌بندی می‌کنیم. بعد از خوشه‌بندی، در هر خوشه، گره‌ای که بیشترین میزان انرژی را دارد بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. گره‌های عضو بعد از اینکه داده‌ها را به سرخوشه‌ها دادند، سرخوشه‌ها داده‌ها را به نزدیکترین سرخوشه ارسال می‌کنند. در نهایت اطلاعات همه گره‌ها به سینک می‌رسد. در پایان مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی و LEACH انجام شد که نتایج بدست آمده نشان می‌دهد روش پیشنهادی نسبت به روش LEACH ۳۸٪ انرژی مصرفی را کاهش داده است.**

**کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی، مدیریت انرژی مصرفی، سینک متحرک**

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶

نام نویسنده مسئول: سیدحسن صادق‌زاده

نشانی نویسنده مسئول: استادیار، گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

## ۱. مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN[1]) در مکان‌هایی که امکان ایجاد شبکه با کابل وجود ندارد بکار گرفته می‌شوند [۲]. این شبکه‌ها برای پایش زیستگاه، حوادث پیش‌بینی نشده، ردیابی هدف و به طور گسترده در نظارت برخط تولید صنعتی، مشاهده کشاورزی، حیات‌وحش، مراقبت بهداشتی، برنامه‌های نظامی، پزشکی هوشمند و برای نظارت بر ویژگی‌های فیزیکی محیط اطراف مانند: دما، رطوبت و فشار مستقیم مستقر می‌شوند، استفاده می‌شوند. این حسگرها می‌توانند خود را براساس همکاری محلی خود سازماندهی کنند تا شبکه‌های حسگر بی‌سیم را تشکیل دهند [۱] و [۳]. ماهیت مشترک WSN مزایای متعددی را نسبت به شبکه‌های معمولی باسیم از جمله: خودسازماندهی، استقرار سریع، انعطاف‌پذیری و قابلیت پردازشی هوشمند را دارند[۲]. WSN از تعدادی گره تشکیل شده، که رابطه این نوع گره‌ها شامل تعدادی عناصر حسگر، پیش‌پردازنده، منبع توان و عناصر ارتباطی است [۴]. بهره‌وری انرژی و استحکام داده‌ها، یکپارچگی و محرمانه بودن شبکه‌ها از ویژگی-های مهم برای قضاوت در مورد کیفیت یک WSN می‌باشد [۲].

بعد از ایجاد شبکه اولین و مهمترین مسئله‌ای که مدنظر قرار می‌گیرد طول عمر شبکه است. از آنجائی که گره‌ها به هنگام پخش در محیط فقط یکبار شارژ می‌شوند و شارژ مجدد آنها از لحاظ هزینه و زمان اصلا مقرون به صرفه نبوده پس نیاز است، از آنها بهینه استفاده کنیم تا بیشترین کارایی را در مدت زمان بیشتری برای ما داشته باشند. بنابراین یکی از مسایل مهم در WSN توجه ویژه داشتن به انرژی گره‌های پخش شده در محیط مد نظر است. هنگامی که گره‌ها را در محیط مد نظر (جنگل و دریا و کوه و غیره) استقرار دادیم لازم است که میزان مصرف انرژی آنها را به حداقل برسانیم تا طول عمر شبکه افزایش یابد و هزینه پیاده‌سازی دوباره شبکه را برای ما تحمیل نکند. در WSN جمع‌آوری داده‌ها باید به گونه‌ای باشد که با کمترین مصرف انرژی انجام گیرد. یکی از موارد کاهش‌دهنده انرژی در WSN استفاده از سینک‌های سیار است. سینک‌های سیار از مبدا حرکت کرده و داده‌ها را از مقصدهای مختلف جمع‌آوری می‌کنند. هر سینک سیار مجهز به الگوریتم‌های جمع‌آوری داده می‌باشد که هدف این الگوریتم‌ها جمع‌آوری داده‌ها با کمترین مصرف انرژی است.

از عوامل مهم کاهش انرژی به هنگام ارسال داده‌ها در WSN مسیریابی می‌باشد. به طوری که مسیریابی درست، می‌تواند میزان مصرف انرژی گره‌ها را تا حد زیادی کاهش دهد. کوتاه بودن مسیر انتقال داده از مبدا به مقصد باعث می‌شود که گره‌ها با کمترین مصرف انرژی داده را به مقصد ارسال کنند. به این منظور در این مقاله برای جلوگیری از ارسال مستقیم داده توسط هر گره به سینک، گره‌ها را خوشه‌بندی می‌کنیم. خوشه‌بندی باعث ایجاد نظم بین گره‌ها شده و گروهی از گره‌هایی که بهم شبیه هستند را درکنار یکدیگر قرار می‌دهد. خوشه‌بندی گره‌ها در این مقاله براساس سه معیار میزان انرژی هر گره، چگالی گره‌ها و مرکزیت هر گره انجام شده است. و از میان گره‌ها در هر خوشه، گره‌ای که سطح انرژی بیشتری نسبت به سایر گره‌ها دارد بعنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد. و بجای اینکه هر گره مستقیم داده‌های خود را به سینک ارسال کند به سرخوشه خود ارسال می‌کند. در روش پیشنهادی برخلاف روش LEACH (که هر سرخوشه داده را مستقیم به سینک ارسال می‌کند) هر سرخوشه داده‌ها را به نزدیکترین سرخوشه ارسال می‌نماید. در روش پیشنهادی قبل از ارسال داده توسط سرخوشه‌ها کوتاه‌ترین مسیر بین نزدیک‌ترین سرخوشه و سینک برای ارسال داده‌ها انتخاب می‌شود. بدین ترتیب سرخوشه‌ای که در دورترین نقطه از سینک قرار دارد لازم به ارسال داده‌ها در یک مسیر طولانی برای سینک نبوده و با ارسال داده‌ها به نزدیکترین سرخوشه موجب کاهش انرژی مصرفی و در نهایت افزایش طول عمر شبکه خواهد شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش LEACH ۳۸٪ انرژی مصرفی را کاهش داده است.

## ۲. پیشینه تحقیق

تعداد زیادی پژوهش و کار تحقیقاتی در حوزه‌ی پروتکل مسیریابی در WSN به عمل آمده است. این پروتکل‌ها براساس نیازها و معماری شبکه توسعه یافته‌اند با این حال، عواملی وجود دارد که باید هنگام توسعه پروتکل‌های مسیریابی برای WSN در نظر گرفته شوند. مهمترین عامل بهره‌وری در WSN انرژی حسگرها است که مستقیما بر افزایش طول عمر شبکه تاثیر می‌گذارد.. از این رو محققین زیادی به بررسی ابعاد آن پرداخته‌اند. در اینجا چندنمونه رایج از پیشینه تحقیق آورده شده است.



[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

درسال۲۰۱۶ شانکا و همکاران یک CH[2] کارآمد انرژی را با استفاده ازمدل‌های HAS و PSO برای دستیابی به راه حل‌های بهینه جهانی و برای افزایش طول عمرشبکه اتخاذ کردند. برای انتقال داده با مصرف انرژی، تکنیک‌های مبتنی برخوشه‌بندی ازطریق تجمیع داده‌ها پیاده‌سازی می‌شوند تا بتواند مصرف انرژی درمیان گره‌های حسگر شبکه را متعادل کند. کار ارائه شده کارایی جستجوی بهتری از HAS و PSO را نشان داده است که طول عمرشبکه را افزایش می‌دهد [۵].

هاینزلمن و همکاران، LEACH (سلسه مراتب خوشه‌بندی تطبیقی کم انرژی)، که یک پروتکل مسیریابی کارآمد انرژی مبتنی برخوشه است را شرح می‌دهد، فیلد برنامه بصورت تصادفی به چندین خوشه تقسیم می‌شود، جایی که تعداد سرخوشه‌ها از پیش تعیین شده است. پروتکل دو مرحله دارد. اولین مرحله "مرحله راه‌اندازی" و مرحله دوم "فاز حالت پایدار" است در ادامه سرخوشه‌ها فیوز می‌شوند و داده‌ها را به ایستگاه‌پایه (BS[3]) منتقل می‌کنند [۶].

محمدمصدری و همکاران در TL-LEACH یک طرح خوشه بندی دوسطحی برای کاهش مصرف انرژی را ارائه کردند. ازچرخش تصادفی CHهای اولیه و ثانویه برای توزیع بارمصرف انرژی در WSN استفاده می‌کنند. همچنین محمد مصدری و همکاران در MCC یک طرح خوشه‌بندی که اندازه خوشه‌ها را برای به حداقل رساندن تعداد پرش‌ها بین CH و گره‌های آنها در نظر می‌گرفت، ارائه دادند که WSN را در سطوح مختلف سازماندهی می‌کند. در هرسطح، گره‌های حسگر و CHوجود دارد. با این‌حال، در این طرح توزیع شده، هر گروه باید اطلاعات مربوط به خوشه‌ها را با همسایگان خود مبادله کند که انرژی آن را هدر می‌دهد. محمدمصدری و همکاران در EMRA یک الگوریتم را ارائه دادند که مسیریابی چندسطحی آگاه و توزیع شده است که درآن CHها با توجه به فاصله تا CHهای دیگر و ایستگاه پایه به هرسطح تخصیص داده می‌شوند. و یک ستون فقرات با استفاده ازآنها ساخته می شود [ ۷].

زو و همکاران طرح مبتنی بر خوشه درختی را پیشنهاد کردند که این پیشنهاد حاوی الگوریتم جمع‌آوری داده (TCBDGA) شبکه‌های حسگر بی‌سیم (موبایل) بود. TCBDGA به طور قابل- توجهی بار کل شبکه را متعادل کرده و منجر به کاهش مصرف انرژی شد [۸].

نویسندگان یک بررسی در مورد پروتکل‌های مسیریابی در WSN ارائه دادند، این روش تکنیک‌های مسیریابی را براساس ساختار شبکه به سه دسته طبقه‌بندی می‌کنند: پروتکل‌های مسیریابی مسطح، سلسله مراتبی و مبتنی بر مکان، علاوه بر این، این پروتکل‌ها بسته به عملیات پروتکل به تکنیک‌های مسیریابی مبتنی بر چند مسیر، مبتنی بر پرس و جو، مبتنی بر مذاکره و مبتنی بر QOS طبقه‌بندی می‌شوند. در مجموع ۲۷ پروتکل مسیریابی را ارائه می‌دهد [۹].

سونیل کر و همکاران به سختی متوجه مطالعات کمی بر روی بهینه‌سازی پارامترهای مرتبط با انرژی در طول دریافت و انتقال داده‌ها از WSN شدند. به حداقل رساندن انرژی یکی از مهمترین ملاحظات در طراحی گره‌های حسگر در WSN است. از آنجائی که انرژی در یک منبع بسیار محدود است، طراحی گره حسگر باید برای به حداکثر رساندن زمان عمر باتری در نظرگرفته شود [۲].

درسال ۲۰۱۶ جیا و همکاران یک DCHS برای WSN برای افزایش طول عمرشبکه و به حداقل رساندن مصرف انرژی معرفی کرده اند. نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که این تکنیک می‌تواند کارایی شبکه را در دو مرحله متعادل کند و همچنین مشخص شد که طول عمر بهتری برای شبکه ارائه می‌دهد. روش‌های انتخاب سرخوشه پویا برای یک WSNبرای حل مشکل CH غیرمنطقی که ممکن است منجر به پوشش هم‌پوشانی و مصرف انرژی نامتعادل در ارتباطات خوشه‌ای شود، ارائه شده‌اند. کارتحقیقاتی، با استفاده موثر از انرژی گره شبکه ازمدل‌ها دیگر بهتر عمل کرد و همچنین به طول عمرشبکه طولانی‌تری دست خواهد یافت [۱۰].

نویسندگان یک پروتکل WSN مبتنی بر تحرک سینک را نشان دادند، سینک در یک مسیر دایره‌ای با سرعت زاویه‌ای ثابت حرکت می‌کند. سینک موقعیت اولیه و سرعت زاویه‌ای خود را به تمام گره‌های حسگر پخش می‌کند، گره‌ها هر زمان که به آنها نزدیک شد، داده‌های خود را به سینک می‌فرستند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که رویکرد مبتنی بر سینک سیار باعث کاهش مصرف انرژی و تاخیر می‌شود. نویسندگان یک پروتکل جمع‌آوری داده توزیع شده برای WSN حساس به تاخیر پیشنهاد کردند، این پروتکل مسیری را برای تحرک سینک طراحی می‌کند تا مصرف انرژی و تاخیر را به حداقل برساند [۱۱].

CH: head claster[۲]

[۲]BS: base staition



[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

در این مقاله نویسندگان یک روش زمان‌بندی مسیر مبتنی بر تک هاپ بنام TSCR-M با استفاده از الگوریتم‌های اکتشافی ارائه شده‌است. در TSCR-M همه حسگرها ترجیح می‌دهند که ارتباطات تک هاپ را در محدوده انتقال خود اتخاذ کنند تا داده‌های نظارت شده خود را در سینک موبایل آپلود کنند. ما ابتدا از یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته برای جستجوی موقعیت‌های پارک برای سینک متحرک استفاده می‌کنیم و آن موقعیت‌های پارک تا حد امکان حسگرها را پوشش می‌دهند [۱۲].

## ۳. روش کار

در این مقاله، الگوریتم خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه را در محیط نرم‌افزار R و با اعمال روش K- MEANS انجام دادیم و برای مسیریابی جهت انتقال داده‌ها از روشی ابتکاری استفاده کردیم که نسبت به روش LEACH انرژی مصرفی را به هنگام انتقال داده‌ها به سینک کاهش می‌دهد.

LEACH یک پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر انتخاب تصادفی (به این معنی که در هر دور (Round)، تعداد مشخصی از گره‌ها به‌صورت تصادفی خود را به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند. نقش سرخوشه بودن، از قبل برای گره‌های خاصی در نظر گرفته نمی‌شود) است که انرژی را روی گره‌های شبکه پخش می‌کند. در روش LEACH، عملیات LEACH در هر دور تکرار می‌شود، هر دور ابتدا با مرحله راه‌اندازی شروع می‌شود که گره‌ها سازماندهی می‌شوند و به دنبال آن مرحله پایدار شروع می‌شود و داده‌ها از جانب هر سرخوشه مستقیم به ایستگاه پایه می‌رسند. فاز حالت پایدار در مقایسه با مرحله راه‌اندازی طولانی است. در ابتدا، هنگامی که خوشه‌ها ایجاد می‌شوند، هر گره تصمیم می‌گیرد که آیا برای دور فعلی تبدیل به سرخوشه شود یا خیر. این تصمیم با انتخاب یک عدد تصادفی بین 0 و 1 توسط گره گرفته می‌شود. اگر این عدد کمتر از یک آستانه باشد، گره به یک سرخوشه برای دور فعلی تبدیل می‌شود. پس از اینکه هر گره تصمیم گرفت به کدام خوشه تعلق دارد، باید به گره سرخوشه اطلاع دهد که عضوی از خوشه خواهد بود. هر گره این اطلاعات را با استفاده از پروتکل CSMA MAC به سر خوشه ارسال می‌کند. در طول این مرحله، تمام گره‌های سرخوشه باید گیرنده‌های خود را روشن نگه دارند. گره سرخوشه تمام پیام‌های گره‌هایی را که می‌خواهند در خوشه گنجانده شوند، دریافت می‌کند. بر اساس تعداد گره‌ها در خوشه، گره سرخوشه یک جدول زمانی TDMA ایجاد می‌کند که به هر گره می‌گوید چه زمانی می‌تواند ارسال داده کند [۱۳]. همانطور که گفته شد در روش LEACH ارسال داده از سرخوشه‌ها به سینک بصورت مستقیم انجام می‌گیرد و با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که در روش LEACH معایبی وجود دارد که ما در روش پیشنهادی سعی کردیم با ارائه راهکاری جدید و حل این معایب راهکاری را پیشنهاد دهیم که این معایب را حل کند و باعث کاهش انرژی مصرفی در شبکه شود. ازمعایب روش LEACH می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. در روش LEACH خوشه‌بندی تصادفی است. به طوری که در این روش برای خوشه‌بندی هیچ معیاری در نظر گرفته نمی‌شود و هر گره به نزدیکترین سرخوشه متصل می‌شود و خوشه ایجاد می‌شود.

۲. در انتخاب سرخوشه چون انرژی گره‌ها برای سرخوشه شدن در نظر گرفته نمی‌شود ممکن است سرخوشه انرژی کافی برای انتقال داده‌ها به سینک را نداشته باشد.

۳. چون انتقال داده‌ها از هر سرخوشه‌ها به سینک مستقیم است ممکن است فاصله سرخوشه تا سینک به اندازه‌ای زیاد باشد که سرخوشه مجبور به مصرف انرژی بیشتر جهت رساندن داده‌ها به سینک شود.

بنابراین به منظور رفع این مشکلات، راهکاری ارائه شده است که دو بخش اصلی این روش موارد ذیل می‌باشد:

الف) خوشه‌بندی

ب) مسیر انتقال داده

در این مقاله، خوشه‌بندی در محیط نرم‌افزار R انجام شده است، که بر اساس سه معیار ذیل است:

الف) انرژی

ب) مرکزیت

ج) چگالی

الف) انرژی: میزان سطح انرژی هر گره، که بصورت استاندارد سازی شده بین صفر و یک در نظر گرفته شده است.

ب) مرکزیت: فاصله هر گره با سینک را مرکزیت می‌نامیم.

ج) چگالی: تراکم گره‌های موجود در مجاور هم را چگالی می‌نامیم.

بعد از سازماندهی گره‌ها و قرار گرفتن گره‌های مشابه در یک خوشه، از میان گره‌های هر خوشه، گره‌ای که میزان انرژی بیشتری نسبت به سایر اعضای خوشه داشته باشد بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. سپس سرخوشه داده گره‌های عضو را دریافت کرده و اقدام به انتقال داده‌ها به سینک می‌کند. مسیر انتقال داده‌ها از سرخوشه به سینک از چالش‌های مهم در مصرف انرژی سرخوشه‌ها می‌باشد. در این مقاله سعی بر این کردیم که هر سرخوشه با پیمایش کمترین مسافت ممکن داده‌ها را به سینک برساند. در این مقاله الگوریتم مسیریابی را در محیط نرم‌افزار MATLAB کار کردیم که جزئیات آن بشرح ذیل می‌باشد:



[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

۱). ابتدا دورترین سرخوشه از سینک شناسایی می‌شود. (بطور فرضی اسم دورترین سرخوشه را A در نظر می‌گیریم.)

۲). سرخوشه A برای ارسال داده‌ها به نزدیکترین سرخوشه عمل جستجو را برای پیدا کردن نزدیکترین سر خوشه انجام می‌دهد. (سرخوشه پیدا شده را B می‌نامیم).

۳). سرخوشه B نیز همانند سرخوشه A عمل جستجو را برای پیدا کردن نزدیکترین سرخوشه انجام می‌دهد تا داده‌ها را به آن ارسال کند. (سرخوشه پیدا شده را C می‌نامیم) سرخوشه B، از میان C و سینک به هر کدام که نزدیکتر بود داده‌ها را به آن ارسال می‌کند. که در این حالت دو شرایط زیر پیش می‌آید:

الف) اگر سینک نزدیک بود داده‌ها را به سینک ارسال می‌کند. و سرخوشه C که نزدیکترین سرخوشه به B بود، دیگر C نامگذاری نمی‌شود چرا که مسیر به مقصد سینک رسیده و مسیریابی جدیدی باید انجام گیرد. و دوباره عمل جستجو را برای پیدا کردن دورترین سرخوشه از سینک شروع می‌شود. (به طور فرضی دورترین سرخوشه پیدا شده را با نام C نامگذاری می‌کنیم و سرخوشه C مانند سرخوشه B به کار خود ادامه می‌دهد.)

ب) ولی اگر سرخوشه C به سرخوشه B نزدیکتر بود سرخوشه B، داده‌ها را به سرخوشه C ارسال می‌کند و این روند ادامه می‌یابد تا زمانی که کل سرخوشه‌ها داده‌ها را به سینک برسانند.

نکته) در این پروسه یکی از نکات مهم پیدا کردن نزدیکترین سرخوشه است. بعنوان نمونه در مثال بالا بعد از اینکه سرخوشه A داده‌ها را به سرخوشه B انتقال داد، سرخوشه B به هنگام جستجو برای نزدیکترین سرخوشه باید به این نکته توجه داشته باشد که نباید سرخوشه A را بعنوان نزدیکترین سرخوشه شناسایی کند و داده‌ها را دوباره به A برگرداند برای جلوگیری از این کار در الگوریتم مسیریابی که کار کردیم این موضوع را در نظر می‌گیریم که هر سرخوشه بعد از انتقال داده‌ها، به

نکته) اگر فاصله بین فرستنده و گیرنده بزرگتر از فاصله متقاطع $d_0$ باشد از مدل چند مسیری استفاده می‌شود در غیر اینصورت مدل فضای آزاد برای اندازه‌گیری اتلاف انرژی انخاذ می‌شود.

در جدول ۴-۲ پارامترهایی که در فرمول‌های مصرف انرژی با استناد به مقالات معتبر ثابت در نظر گرفته می‌شود آورده شده است.

**جدول ۴-۲ پارامترهای ثابت**

| | |
|---|---|
| $E_{elec}$ | 50nj/bit |
| $£_{sf}$ | 10pj/bit/$m^2$ |
| $£_{amp}$ | 0.0013pj/bit/$m^4$ |

نوعی غیر فعال می‌شود تا زمانی که همه سرخوشه‌ها داده‌ها را به سینک برسانند و دور تمام شود.

## ۴. نتایج

نتایج شبیه‌سازی را در پنج دور انجام دادیم و در هر بار انرژی مصرفی روش پیشنهادی و روش LEACH را باهم مقایسه کردیم. اطلاعات اولیه در جدول ۴-۱ آورده شده است.

**جدول ۴-۱ اطلاعات اولیه**

| | |
|---|---|
| ابعاد | ۱۰*۱۰ |
| تعداد گره‌ها | ۴۰ |
| تعداد دورها | ۵ |
| تعداد خوشه‌ها در هر دور | ۵ |

برای ارسال یک K-bit داده در فاصله d، انرژی مصرف شده توسط فرستنده مطابق فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود [۱۴].

- ✓ انرژی مصرف شده در انتقال داده برای فضای آزاد:

$$(1)\ E_{Tx} = K*E_{elec}+K£_{fs}*d^2 \qquad \text{if } d < d_0$$

- ✓ انرژی مصرف شده در انتقال داده برای چند مسیری:

$$(2)\ E_{Tx} = K*E_{elec}+K£_{amp}*d^4 \qquad \text{if } d \geq d_0$$

- ✓ برای دریافت پیغام K بیتی، انرژی مصرف شده توسط گیرنده:

$$(3)\ E_{Rx} = K*E_{elec}$$

- ✓ نکته: $d_0$ را مطابق فرمول زیر محاسبه می‌کنیم:

$$(4)\ d_0 = \sqrt{£_{fs}/£_{amp}}$$

| | |
|---|---|
| K | 4000 bit |

.مختصات گره‌ها و سینک در هر دو روش در جدول ۴-۳ آورده شده است.

**جدول ۴-۳ مختصات گره‌ها و سینک در روش پیشنهادی و LEACH**

| | |
|---|---|
| سینک | (۸.۶و۶.۸) |
| سرخوشه ۱ | (۰.۲و۴.۳) |
| سرخوشه ۲ | (۲.۶ و۶.۱) |
| سرخوشه ۳ | (۸.۸و۰.۲) |
| سرخوشه ۴ | (۹.۶و۹.۵) |
| سرخوشه ۵ | (۳.۴و۱.۸) |



[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

نتایج عملکرد میزان مصرف انرژی ۵ دور انتقال داده در روش پیشنهادی و روش LEACH در جدول ۴-۴ آورده شده است.

**جدول ۴-۴ نتایج عملکرد میزان مصرف انرژی**

| دور | LERACH | پیشنهادی |
|---|---|---|
| ۱ | $100.7492*10^{-5}$j | $100.342*10^{-5}$j |
| ۲ | $100.594*10^{-5}$j | $100.226*10^{-5}$j |
| ۳ | $100.9416*10^{-5}$j | $100.3596*10^{-5}$j |
| ۴ | $101.0752*10^{-5}$j | $100.3256*10^{-5}$j |
| ۵ | $100.4924*10^{-5}$j | $100.2376*10^{-5}$j |

با توجه به اینکه $۱۰^{-۵}$*۱۰۰ در همه نتایج بطور ثابت وجود دارد از همه انرژی‌ها این عدد را فاکتور می‌گیریم تا میزان مصرف انرژی در هر دور بین روش پیشنهادی و روش LEACH بهتر دیده شود. اعداد ساده‌سازی شده در جدول۴-۵ آورده شده است.

**جدول۴-۵ اعداد ساده‌سازی شده**

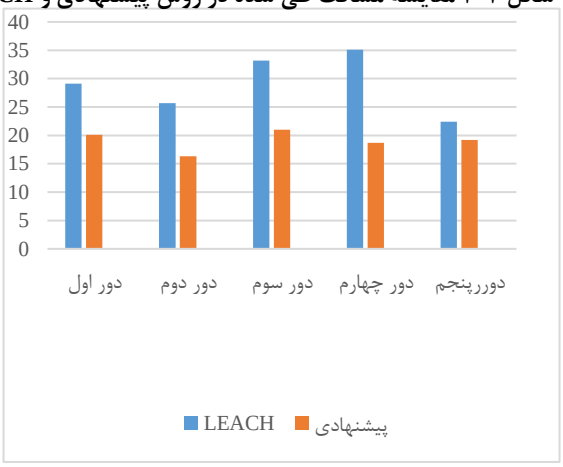
| پیشنهادی | LEACH |
|---|---|
| $100.342*10^{-5}$ →..34j | $100.7492*10^{-5}$j → 74j |
| $100.226*10^{-5}$j → .22j | $100.594*10^{-5}$j →. .59j |
| $100.3596*10^{-5}$→.35j. | $100.9416*10^{-5}$j → .94j |
| $100.3256*10^{-5}$j →.32j | $101.0752*10^{-5}$j → 1.07j |
| $100.2376*10^{-5}$j →.23j | $100.4924*10^{-5}$j → .49j |
| **1.46j** | **3.83j** |
| مجموع | |

آن ارسال می‌کند. و چون سینک به سرخوشه ۳ نزدیکتر است داده‌ها را به سینک ارسال می‌کند. چون مسیر انتقال داده به سینک رسید اما هنوز سرخوشه‌ای وجود دارد که داده را به سینک ارسال نکرده است پس مسیریابی دوباره شروع می‌شود. و دورترین سرخوشه از سینک که سرخوشه ۴ می‌باشد، شناسایی می‌شود. سرخوشه ۴ نیز همانند سایر سرخوشه‌ها عمل جستجو را برای پیدا کردن نزدیکترین سرخوشه انجام می‌دهد از آنجائیکه همه سرخوشه‌ها داده‌ها را به سینک انتقال داده‌اند، سرخوشه ۴ مستقیم به سینک ارسال داده را انجام می‌دهد.

**شکل ۴-۱ مسیر انتقال داده روش پیشهادی و LEACH**

شکل ۴-۱ نحوه انتقال داده در روش پیشنهادی و روش LEACH. را نشان می‌دهد. در این شکل مسیر انتقال داده اولین دور از ۵ دور را مشاهده می‌کنید. ابتدا محل قرارگیری سرخوشه‌ها و سپس مسیر انتقال داده برای هر سر خوشه مشخص شده است. همانطور که دراین شکل مشاهده می‌کنید در روش LEACH همه سرخوشه‌ها داده‌ها را مستقیم به سینک ارسال می‌کنند. اما در روش پیشنهادی ابتدا دورترین سرخوشه از سینک شناسایی می‌شود. در این شکل سرخوشه ۱، دورترین سرخوشه است. سرخوشه ۱ پس از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکترین سرخوشه، سرخوشه ۲ را پیدا کرده و داده را به سرخوشه ۲ انتقال می‌دهد. سرخوشه ۲ نیز بعد از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکترین سرخوشه، سرخوشه ۵ را پیدا می‌کند. سرخوشه ۲، از میان سرخوشه ۵ و سینک به هر کدام که نزدیکتر بود داده‌ها را به آن ارسال می‌کند. و چون سرخوشه ۵ به سرخوشه ۲ نزدیکتر است داده‌ها را به سرخوشه ۵ ارسال می‌کند. سرخوشه ۵ نیز بعد از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکترین سر خوشه، سرخوشه ۳ را پیدا کرده و از میان سرخوشه ۳ و سینک به هر کدام که نزدیکتر بود داده‌ها را به آن انتقال می‌دهد. و چون سرخوشه ۳ به سرخوشه ۵ نزدیکتر می‌باشد بنابراین داده‌ها را به سرخوشه ۳ انتقال می‌دهد. به همین ترتیب سرخوشه ۳ نیز بعد از عمل جستجو برای پیدا کردن نزدیکترین سرخوشه، سرخوشه ۴ را پیدا می‌کند و از میان سرخوشه ۴ و سینک به هر کدام که نزدیکتر بود داده‌ها را به

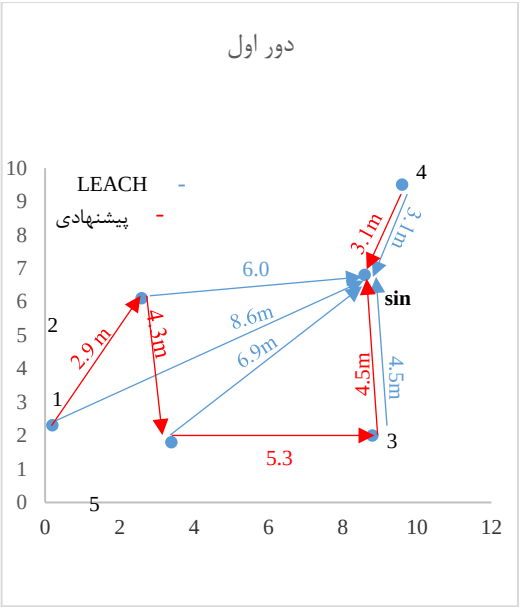
**شکل ۴-۲ مقایسه مسافت طی شده در روش پیشنهادی و LEACH**





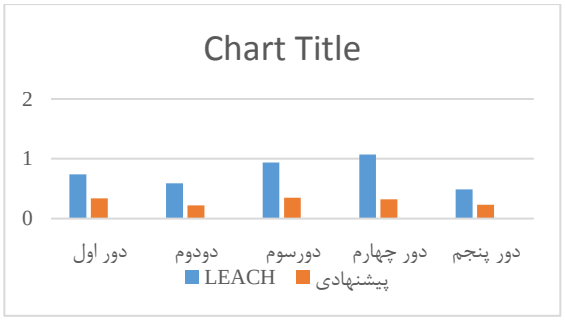

[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]




در شکل ۴-۲ مجموع فاصله‌های طی شده در هر دور برای هر دو روش آورده شده است. این شکل مشخص می‌کند که در هر دور سرخوشه‌ها در مجموع در روش پیشنهادی و روش LEACH چه میزان مسافتی را پیموده‌اند. همچنین این شکل نشانگر این است که مجموع فاصله‌های طی شده توسط سرخوشه‌ها در هر دور در روش پیشنهادی نسبت به روش LEACH کمتر است و با توجه به این موضوع میزان انرژی مصرفی در هر دور برای روش پیشنهادی نسبت به روش LEACH کمتر است.

**شکل ۴-۳ مقایسه انرژی روش پیشنهادی و روش LEACH**




در جدول ۴-۶ مقایسه‌ای کلی را بین روش پیشنهادی و روش LEACH از لحاظ خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه، میزان مسافت طی شده در هر دور توسط خوشه‌ها، الگوریتم مسیریابی، میزان انرژی مصرفی و احتمال خرابی شبکه انجام دادیم که این مقایسه نشان می‌دهد روش پیشنهادی در هر زمینه مورد بررسی تسبت به روش LEACH عملکرد بهتری داشته است.

**جدول ۴-۶ مقایسه روش پیشنهادی و روش LEACH**

| روش LEACH | روش پیشنهادی | موارد مقایسه |
|---|---|---|
| هر گره به نزدیکترین سرخوشه وصل می‌شود | براساس انرژی، مرکزیت و چگالی گره‌ها | خوشه‌بندی |
| تصادفی | گره‌ای که بیشترین انرژی را دارد | انتخاب سرخوشه |
| فاصله بین سرخوشه و سینک | کوتاه‌ترین مسافت ممکن | مسافت طی شده در هر دور توسط هر خوشه |
| مستقیم به سینک | نزدیکترین سرخوشه | الگوریتم مسیریابی |

| بستگی به فاصله بین سرخوشه و سینک | حداقل انرژی ممکن | انرژی مصرفی سرخوشه |
|---|---|---|
| زیاد | خیلی کم | احتمال خرابی شبکه |

## ۵. نتیجه

هدف اصلی در این مقاله کاهش انرژی مصرفی گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به هنگام انتقال داده‌ها از گره‌ها به سینک است. در این زمینه تحقیقات زیادی انجام گرفته شده که یکی از این تحقیقات



[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]

الگوریتم مسیریابی روش LEACH می‌باشد. از جمله معایب روش LEACH خوشه‌بندی تصادفی، مصرف انرژی بیشتر سرخوشه‌ها هنگام انتقال داده‌ها به سینک و عدم در نظر گرفتن میزان انرژی سرخوشه است. بدین منظور برای رفع معایب روش LEACH و به دنبال آن در جهت کاهش میزان مصرف انرژی سرخوشه‌ها هنگام انتقال داده به سینک، روش مسیریابی پیشنهادی را ارائه دادیم. در روش پیشنهادی گره‌ها را براساس میزان انرژی گره‌ها، چگالی گره‌ها و مرکزیت گره‌ها خوشه بندی کردیم و در هر خوشه گره‌ای که بیشترین سطح انرژی را داشته باشد بعنوان سرخوشه انتخاب می‌کنیم. در روش پیشنهادی هر سرخوشه بر خلاف روش LEACH (که داده‌ها را مستقیم به سینک انتقال می‌داد) داده‌ها را به نزدیکترین سرخوشه انتقال می‌دهد و این عمل باعث کوتاه‌تر شدن مسیر انتقال داده شده و در نهایت منجر به کاهش مصرف انرژی سرخوشه‌ها می‌شود. در این مقاله بصورت آزمایشی ۵ دور مسیریابی روش پیشنهادی و روش LEACH را باهم مقایسه کردیم که نتایج نشان داد روش پیشنهادی ۰/۳۸ نسبت به روش LEACH انرژی مصرفی را کاهش داده است.

## ۶. منابع


[1]Wang, J., Gao, Y., Liu, W., Sangaiah, A. K., & Kim, H. J. (2019). Energy efficient routing algorithm with mobile sink support for wireless sensor networks. Sensors, 19(7), 1494

[2]Jha, S. K., & Eyong, E. M. (2018). An energy optimization in wireless sensor networks by using genetic algorithm. Telecommunication Systems, 67(1), 113-121

[3]Vijayashree, R., & Suresh Ghana Dhas, C. (2019). Energy efficient data collection with multiple mobile sink using artificial bee colony algorithm in large-scale WSN. Automatika: časopis za automatiku, mjerenje, elektroniku, računarstvo i komunikacije, 60(5), 555-563

[4]Bhola, J., Soni, S., & Cheema, G. K. (2020). Genetic algorithm based optimized leach protocol for energy efficient wireless sensor networks. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11(3), 1281-1288

[5]Kumar, N., & Kaur, J. (2011, September). Improved leach protocol for wireless sensor networks. In *2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing* (pp. 1-5). IEEE.

[6]Bayraklı, S., & Erdogan, S. Z. (2012). Genetic algorithm based energy efficient clusters (GABEEC) in wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, *10*, 247-254.

[7]Rawat, P., Singh, K. D., Chaouchi, H., & Bonnin, J. M. (2014). Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of supercomputing*, *68*, 1-48.

[8]Yue, Y., Li, J., Fan, H., & Qin, Q. (2016). Optimization-based artificial bee colony algorithm for data collection in large-scale mobile wireless sensor networks. Journal of Sensors, 2016

[9]Pantazis, N. A., Nikolidakis, S. A., & Vergados, D. D. (2012). Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Communications surveys & tutorials*, *15*(2), 551-591.

[10]Reddy, D. L., Puttamadappa, C., & Suresh, H. N. (2021). Merged glowworm swarm with ant colony optimization for energy efficient clustering and routing in wireless sensor network. Pervasive and Mobile Computing, 71, 101338

[11]Singh, M. K., Amin, S. I., & Choudhary, A. (2021). Genetic algorithm based sink mobility for energy efficient data routing in wireless sensor networks. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 131, 153605

[12]Wang, J., Gao, Y., Zhou, C., Sherratt, S., & Wang, L. (2020). Optimal coverage multi-path scheduling scheme with multiple mobile sinks for WSNs. *Computers, Materials & Continua*, *62*(2), 695-711.

[13]Asadi, B. (2021). Routing optimization in Wireless Sensor Networks to increase network life by managing network energy. *Journal of Computational Statistics and Modeling*, *1*(2), 147-163.

[14]Mahboub, A., & Arioua, M. (2017). Energy-efficient hybrid k-means algorithm for clustered wireless sensor networks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *7*(4), 2054


[ Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30 ]

[ DOI: 10.61186/ieijqp.13.3.2 ]