

# استفاده از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب سرخوشه‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

علی بهلولی\*

دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران  
پست الکترونیکی: bohlooli@eng.ui.ac.ir

## چکیده

یک راه کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی حسگرها است. دو مسئله مطرح در این زمینه عبارتند از این‌که چگونه سرخوشه‌های مناسب انتخاب شوند و چگونه داده‌های تجمیع شده از سرخوشه‌ها به چاهک ارسال شوند. در این پژوهش پیشنهاد می‌شود که در هنگام انتخاب سرخوشه‌ها، این نکته لحاظ شود که سرخوشه‌ها در ارسال داده‌های یکدیگر به چاهک نقش خواهند داشت، تا بتوان سرخوشه‌هایی را انتخاب کرد که ارسال چندگامی داده‌ها را با مصرف انرژی کمتری انجام دهند. در روش پیشنهادی، از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌شود که در آن هر کروموزوم، یک نحوه انتخاب سرخوشه‌ها را نشان می‌دهد. برای ارزیابی هر کروموزوم، مسیریابی چندگامی بین سرخوشه‌های آن به روش «مسیریابی با حداقل گام» طراحی می‌شود. برآزندگی کروموزوم در الگوریتم ژنتیک، با توجه به «انرژی مصرفی برای انتقال داده از حسگرها به سرخوشه‌ها» و «انرژی مصرفی مسیر چندگامی بهینه برای رساندن داده‌ها از سرخوشه به چاهک» محاسبه می‌گردد. برای ارزیابی، روش پیشنهادی برای شبکه‌هایی شامل ۴ تا ۴۰

سرخوشه شبیه‌سازی شد و مقایسه نتایج آن با دو روش که مسئله‌های انتخاب سرخوشه‌ها و مسیریابی چندگامی را جداگانه حل می‌کنند، نشان داد که حل همزمان دو مسئله به طور متوسط طول عمر شبکه را ۳۷ درصد بهبود می‌دهد. **واژه‌های کلیدی:** شبکه حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه، مسیریابی چندگامی، الگوریتم ژنتیک.

## ۱- مقدمه

مصرف انرژی، مهمترین چالش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است [۱]. نیاز است که مصرف انرژی حسگرها در شبکه تا جای ممکن کاهش یابد تا طول عمر شبکه افزایش پیدا کند [۲]. یکی از کاراترین روش‌ها برای کاهش مصرف انرژی حسگرها خوشه‌بندی حسگرها است [۲-۶]. البته خوشه‌بندی حسگرها با اهداف دیگر نیز انجام می‌گیرد. ولی کاهش مصرف انرژی مهمترین هدف خوشه‌بندی حسگرها است [۳]. در معماری مبتنی بر خوشه، گره‌های حسگر به خوشه‌های مجزا از هم تقسیم می‌شوند و هر خوشه دارای یک راس است که سرخوشه نامیده می‌شود. اعضای داخل هر خوشه داده‌هایی که به دست آورده‌اند را به سرخوشه خود می‌فرستند [۷-۱۵].

سرخوشه، پردازش‌هایی را بر روی داده‌های دریافت شده انجام می‌دهد و سپس به سوی چاهک<sup>۲</sup> ارسال می‌کند [۱، ۳، ۷]. در واقع چون در هر خوشه تنها یک گره که همان سرخوشه است در فرآیند مسیریابی و انتقال داده‌ها به سمت چاهک دخیل است، روش خوشه‌بندی باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود [۱].

در پروتکل‌هایی که مبتنی بر خوشه‌بندی حسگرها هستند، سه مرحله مطرح است [۳]: (۱) انتخاب سرخوشه‌ها، (۲) تشکیل خوشه‌ها، (۳) چگونگی انتقال داده. برای مرحله اول، یعنی انتخاب سرخوشه‌ها معمولاً فضای حالت بسیار بزرگی وجود دارد و بخصوص در مورد شبکه‌های بزرگ مقیاس، سرخوشه‌ها باید از بین تعداد زیادی نامزد، انتخاب شوند به نحوی که معیاری مانند مصرف انرژی گره‌ها بهینه شود. پس از این‌که سرخوشه‌ها انتخاب شدند، معمولاً در اکثر تحقیقات، مرحله دوم یعنی تشکیل خوشه‌ها بر طبق روش ساده‌ای، انجام می‌شود تا حسگرها به سرخوشه‌ها نسبت داده شوند. مثلاً هر حسگر، به نزدیک‌ترین سرخوشه از بین سرخوشه‌هایی که در محدوده ارتباطی آن قرار دارند، نسبت داده می‌شود. البته روش‌های پیچیده‌تری نیز برای این منظور در برخی تحقیقات [۱، ۱۶، ۱۷] ارائه شده است. مرحله سوم یعنی انتقال داده در شبکه‌های حسگر مبتنی بر خوشه‌بندی، در دو سطح صورت می‌گیرد: از حسگر به سرخوشه و از سرخوشه به چاهک [۶، ۷]. ارتباط بین سرخوشه‌ها و چاهک می‌تواند به دو صورت تک‌گامی<sup>۲</sup> و یا چندگامی<sup>۳</sup> صورت بگیرد [۶، ۷]. در روش تک‌گامی، هر سرخوشه داده‌ها را مستقیماً به سوی چاهک ارسال می‌کند. ولی در روش چندگامی، هر سرخوشه، می‌تواند با واسطه سرخوشه‌های دیگر داده‌های خوشه خود را به چاهک برساند [۷]. در بسیاری از پژوهش‌ها، مسائل مطرح در پروتکل‌های مبتنی بر خوشه‌بندی حسگرها، از دیدگاه جستجوی فضای حالت مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

با توجه به فضای حالت بزرگ مسئله‌های مذکور، بخصوص در شبکه‌های با مقیاس بزرگ، علاوه بر این روش‌های سنتی، روش‌های فرا ابتکاری نیز می‌توانند برای حل این مسائل بسیار مفید باشند [۶، ۷]. یک دسته از پرکاربردترین و کاراترین روش‌های فرا ابتکاری که در پروتکل‌های مبتنی بر خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار استفاده شده‌اند و کارایی بالایی را نشان داده‌اند، الگوریتم‌های تکاملی هستند. نمونه‌هایی از تحقیقات در زمینه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی برای حل مسئله انتخاب سرخوشه‌ها در بخش ۲ مرور خواهد شد.

همان‌طور که در بخش ۲ مشاهده خواهد شد، در این تحقیقات قبلی، مسئله‌های انتخاب سرخوشه و انتقال داده از سرخوشه به چاهک، به صورت جدا از هم حل شده‌اند. به این معنی که ابتدا سعی شده است که سرخوشه‌های مناسب برای تشکیل خوشه انتخاب شوند. پس از تعیین سرخوشه‌ها، سعی شده است مسیر چندگامی بهینه برای انتقال داده‌ها از سرخوشه به چاهک طراحی شود تا مصرف انرژی را حداقل کند. در حالی‌که اگر در هنگام انتخاب سرخوشه‌ها، این نکته در نظر گرفته شود که انتقال داده از هر سرخوشه به چاهک به صورت چندگامی و با واسطه سرخوشه‌های دیگر انجام خواهد شد، می‌توان مجموعه سرخوشه‌ها را به نحوی انتخاب کرد که بتوانند ارسال چندگامی داده‌ها را بین خودشان با مصرف انرژی کمتری انجام دهند. یعنی در واقع، به جای این‌که دو مسئله در دو فاز جدا از هم حل شوند، به طور همزمان و در یک فاز حل گردند؛ بدین ترتیب سرخوشه‌هایی انتخاب می‌شوند که بتوان مسیر چندگامی مناسبی را بین آن‌ها تشکیل داد. این ایده ما در این مقاله است. برای این منظور، در این مقاله روشی بر مبنای الگوریتم ژنتیک<sup>۴</sup> برای حل همزمان دو مسئله ارائه خواهد شد. این روش با روش‌هایی که مسئله‌ها را به صورت جدا از هم حل کرده‌اند، از لحاظ معیار طول عمر شبکه مقایسه می‌گردد. برای انجام این مقایسه، از شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده خواهد شد.

5-Genetic algorithm

2-Sink

3-Single-hop

4-Multi-hop

برای این منظور، شبکه‌هایی با ابعاد و ویژگی‌های مختلف و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف شبیه‌سازی خواهند شد و روش پیشنهادی و روش‌های قبلی بر روی آن اجرا شده و از لحاظ طول عمر شبکه با هم مقایسه خواهند شد. همان‌طور که مشاهده خواهد شد، روش پیشنهادی باعث حداقل ۶ درصد و حداکثر ۸۰ درصد افزایش طول عمر شبکه می‌گردد.

در ادامه مقاله، ابتدا در بخش ۲، تحقیقات گذشته که از الگوریتم ژنتیک به صورت جداگانه برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده کرده‌اند، مرور می‌شوند. سپس، در بخش ۳، مدل شبکه مورد نظر توصیف می‌شود. در بخش ۴، رهیافت پیشنهادی برای حل همزمان دو مسئله ارائه می‌گردد. در بخش ۵ به ارزیابی روش پیشنهادی پرداخته می‌شود و نهایتاً در بخش ۶ مقاله نتیجه‌گیری می‌شود.

## ۲- مرور تحقیقات قبلی

الگوریتم ژنتیک [۱۸-۲۰] یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی است. این الگوریتم کار خود را با جمعیتی از جواب‌های نامزد (که کروموزوم نامیده می‌شوند) شروع می‌کند. در حین اجرای این الگوریتم، نسل کروموزوم‌ها تدریجاً بهبود می‌یابد و نسل‌های بعدی تولید می‌شوند تا نهایتاً شرط خاتمه الگوریتم برآورده شود. در سال‌های اخیر الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی مختلف در زمینه خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر به‌کار رفته است و کارایی خوبی را نشان داده است. در ادامه این بخش، نمونه‌هایی از کاربرد الگوریتم ژنتیک برای انتخاب سرخوشه‌ها مرور می‌شوند.

جین و همکاران [۲۱]، برای انتخاب سرخوشه‌ها از الگوریتم ژنتیک با کروموزوم‌های دودویی استفاده کرده‌اند. هدف آن‌ها این است که از بین گره‌های شبکه، تعدادی به‌عنوان سرخوشه انتخاب شوند به نحوی که جمع مسافت‌های ارتباطات حداقل شود تا بدین ترتیب، انرژی مصرفی شبکه حداقل شود و طول عمر شبکه ماکزیم

گردد. این هدف در طراحی تابع برازندگی لحاظ شده است. هر کروموزوم یک آرایه دودویی است که طول آن به اندازه تعداد کل گره‌های شبکه است و هر بیت آن معادل با یکی از گره‌ها است. مقدار «یک» در آرایه به این معنی است که گره متناظر با آن، به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود و مقدار «صفر» به معنی گره‌های عادی هستند. پس از این‌که سرخوشه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیدا شدند، هر کدام از گره‌های عادی در خوشه مربوط به نزدیک‌ترین سرخوشه قرار می‌گیرد. فرض شده است که هر حسگر، داده‌ها را به سرخوشه مربوطه ارسال می‌کند و سرخوشه نیز آن داده را به صورت تک‌گامی به چاهک ارسال می‌کند. در پژوهش دیگری [۲۲] نیز برای حل مسئله انتخاب سرخوشه‌ها از الگوریتم ژنتیک دودویی استفاده شده است و کروموزوم‌ها مشابه آنچه که در روش جین و همکاران [۲۱] بود طراحی و تعبیر می‌شوند. ولی تابع برازندگی آن، ترکیبی از پارامترهای فاصله مستقیم تا چاهک، فاصله خوشه، انحراف از معیار استاندارد فاصله خوشه، انرژی ارسال و تعداد انتقالات است. تابع برازندگی به صورت جمع وزن‌دار پنج پارامتر مذکور تعریف شده است و وزن‌ها توسط یادگیری تقویتی<sup>۱</sup> بهنگام می‌شود.

افراشته‌مهر [۲۳] نیز در پژوهش خود مانند دو تحقیق مذکور، از الگوریتم ژنتیک با کروموزوم‌های دودویی استفاده کرده است. ساختار شبکه نیز به همان صورت در نظر گرفته شده است. ولی در اینجا در طراحی تابع برازندگی، سه هدف در نظر گرفته شده‌اند: افزایش انرژی باقیمانده گره، کاهش انرژی لازم برای ارسال یک پیام و کاهش تعداد سرخوشه‌ها.

خلیل و اتیه [۲۴]، روشی به نام RPEAE<sup>v</sup> را برای انتخاب سرخوشه‌ها ارائه کرده‌اند که در آن به جای ژن‌های دودویی، از الگوریتم ژنتیک با ژن‌های سه حالت استفاده کرده‌اند. در کروموزوم‌های این الگوریتم، «یک» به معنی سرخوشه، «صفر» به معنی گره عادی و «منفی یک»

6-Reinforcement learning

7- Routing Protocol Energy-Aware Evolutionary

به معنی گره مرده و غیرفعال است و الگوریتم در انتخاب سرخوشه‌ها سه هدف را دنبال می‌کند: حداکثر دوره پایداری تا زمانی که انرژی اولین گره به پایان می‌رسد، حداکثر دوام شبکه تا زمانی که انرژی آخرین گره به پایان می‌رسد و حداکثر مصرف انرژی در حین طول عمر شبکه. در پژوهش دیگری [۲۵] روش LA2D-GA<sup>۸</sup> ارائه شده است که بر خلاف پژوهش‌های دیگر، از کروموزوم‌های دوبعدی استفاده می‌کند. هر کروموزوم دو بعدی، نشان‌دهنده محدوده شبکه است که به صورت گریدی با اندازه‌های یکسان تقسیم‌بندی شده است و وجود داشتن مقدار «صفر» در گرید به معنی عدم وجود گره در آن است و ارقام «یک» و «دو» به ترتیب به معنی وجود داشتن گره عادی و گره سرخوشه در آن گرید هستند. در این روش به جای این‌که جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید شود، جمعیت بر مبنای الگوریتم LEACH مقادری شده است. تابع برازندگی به صورت حداقل کردن هزینه انتقال تعریف شده است و سعی می‌شود انرژی مصرفی برای انتقال داده حداقل شود.

### ۳- مدل شبکه

در این پژوهش، شبکه‌ای در نظر گرفته شده است که در آن تعدادی حسگر به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. فرض شده است که چاهک، توسط ابزاری مانند GPS از موقعیت فیزیکی همه گره‌ها مطلع است. هدف خوشه‌بندی حسگرها است. پس از انجام خوشه‌بندی، هر حسگر داده‌ها را از محیط جمع‌آوری می‌کند و به صورت تک‌گامی به سرخوشه مربوطه ارسال می‌کند. هر سرخوشه، داده‌های دریافتی را جمع کرده و به صورت چندگامی (با واسطه سرخوشه‌های دیگر) به چاهک ارسال می‌کند. مسئله، انتخاب سرخوشه‌ها است به نحوی که انرژی انتقال داده‌ها از حسگرها به سرخوشه‌ها حداقل شود و از طرف دیگر بتوان مسیر چندگامی مناسبی را بین سرخوشه‌ها برای

ارسال داده از سرخوشه به چاهک طراحی کرد تا بدین ترتیب، طول عمر شبکه حسگر افزایش یابد. پس از انتخاب سرخوشه‌ها، هر حسگر به سرخوشه‌ای تعلق می‌گیرد که نزدیک‌ترین سرخوشه از بین سرخوشه‌های موجود در دامنه ارتباطی‌اش است. انتخاب کردن سرخوشه‌ها و همچنین، یافتن مسیریابی چندگامی بین سرخوشه‌ها به صورت متمرکز و در چاهک انجام می‌شود و سپس به همه گره‌ها ارسال می‌شود. فرض شده است که چاهک محدودیت انرژی ندارد و شبکه، ثابت است یعنی محل حسگرها و سرخوشه‌ها، پس از جاگذاری در محیط، ثابت خواهد ماند.

هر بار جمع‌آوری داده‌ها و ارسال داده‌های تجمیع شده از همه سرخوشه‌ها به چاهک به‌عنوان یک دوره<sup>۹</sup> در نظر گرفته می‌شود [۶-۸] و طول عمر شبکه به صورت تعداد دوره‌های طی شده تا زمانی که انرژی اولین گره سرخوشه به پایان می‌رسد تعریف می‌شود [۶-۸]. در هر دوره جمع‌آوری داده، انرژی مصرفی هر گره  $i$  را بر اساس مدل رادیویی مرتبه اول<sup>۱۰</sup> [۸، ۱۱] به صورت رابطه (۱) مدل‌سازی می‌کنیم.

$$E_i = E_{R_i} + E_{T_i} \quad (1)$$

که در آن  $E_{R_i}$  انرژی مصرف شده توسط گره  $i$  برای دریافت داده از گره  $z$  است و به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$E_{R_i} = \alpha_1 \cdot b_i \quad (2)$$

در رابطه (۲)،  $b_i$  تعداد بیت‌هایی را نشان می‌دهد که توسط سرخوشه نام در یک دوره دریافت می‌شود و  $\alpha_1$  ضریب انرژی دریافت است و  $E_{T_i}$  انرژی مصرف شده توسط گره  $i$  برای ارسال داده به گره  $z$  است (گره  $z$  می‌تواند یک سرخوشه دیگر و یا چاهک باشد) و به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$E_{T_i} = \alpha_2 \cdot b + \beta \cdot b_i \cdot d_{i,z} \cdot d_{i,z}^m \quad (3)$$

که در آن،  $d_{i,z}$  فاصله اقلیدسی بین گره  $i$  و گره  $z$  است

9-Round  
10-First order radio model

8-Location-Aware two-Dimensional GA

و  $\alpha_2$  ضریب انرژی ارسال است. پارامتر  $b$  ضریب تقویت کننده<sup>۱۱</sup> است و  $m$  ضریب تضعیف مسیر<sup>۱۲</sup> است که عددی بین ۲ تا ۴ است.

#### ۴- روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی، سرخوشه‌های مناسب با استفاده از الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند. هدف این است که گره‌هایی به عنوان سرخوشه انتخاب شوند که مصرف انرژی را حداقل کنند و بتوان مسیر چندگامی مناسبی را بین آن‌ها تشکیل داد. بنابراین برای ارزیابی کروموزوم‌ها نیاز است که مسیر چندگامی بهینه بین سرخوشه‌های انتخاب شده نامزد را بدانیم. برای طراحی این مسیر چندگامی بهینه از روش «مسیریابی با حداقل گام» یا MHRM<sup>۱۳</sup> [۲۷، ۲۶] استفاده می‌شود. در ادامه به معرفی جزئیات روش پرداخته می‌شود.

همان‌طور که گفته شد، برای این که مشخص شود که از بین حسگرهای موجود در شبکه، کدامیک به عنوان سرخوشه انتخاب شوند از الگوریتم ژنتیک با کدگذاری دودویی استفاده می‌کنیم. هر کروموزوم متناظر با یک نحوه انتخاب سرخوشه‌ها است. هر کروموزوم به صورت آرایه‌ای دودویی در نظر گرفته می‌شود که طول آن به اندازه تعداد کل حسگرهای شبکه است (هر بیت متناظر با یکی از حسگرهای شبکه است). هر بیت با مقدار «یک» در آرایه به این معنی است که گره متناظر با آن، به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود و «صفر» به معنی گره‌های عادی هستند. پس از به دست آمدن سرخوشه‌ها، هر کدام از گره‌های عادی در خوشه‌ی مربوط به نزدیک‌ترین سرخوشه قرار می‌گیرد.

جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک به صورت تصادفی تولید می‌شود. با استفاده از تابع برازندگی، میزان مطلوبیت هر یک از کروموزوم‌های جمعیت، ارزیابی می‌شود. میزان برازندگی هر کروموزوم را بر اساس طول عمر شبکه

11- Amplifier  
12- Path Loss Exponent  
13- Minimum Hop Routing Model

تعریف می‌کنیم. همان‌طور که گفته شد، طول عمر شبکه به صورت تعداد دوره‌های جمع‌آوری داده تا زمانی که انرژی اولین گره سرخوشه به پایان می‌رسد تعریف می‌شود [۸-۶]. برطبق این تعریف، طول عمر شبکه به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۲۸، ۷]:

$$L_{net} = \frac{E_{initial}}{E_{max}} \quad (4)$$

در این رابطه،  $E_{initial}$  انرژی اولیه سرخوشه است که برای همه سرخوشه‌ها برابر در نظر گرفته می‌شود و  $E_{max}$  انرژی مصرفی سرخوشه‌ای است که در یک دور جمع‌آوری داده، بیشترین مصرف انرژی را دارد. بنابراین اگر تعداد سرخوشه‌های انتخاب شده  $N$  تا باشد، داریم:

$$E_{max} = \max_{1 \leq i \leq N} E_{CH_i} \quad (5)$$

که در آن،  $E_{CH_i}$  انرژی مصرفی خوشه  $i$  ام است.  $L_{net}$  نیز در رابطه (۴) طول عمر شبکه را نشان می‌دهد یعنی تعداد دوره‌های جمع‌آوری داده تا وقتی که پرمصرف‌ترین سرخوشه، انرژی اش به پایان می‌رسد [۲۸، ۷].

هر سرخوشه انرژی خود را صرف دو کار می‌کند: دریافت داده از حسگرهایی که در خوشه مربوط به آن قرار دارند و واسطه شدن (دریافت و ارسال داده) در مسیریابی چندگامی بین سرخوشه‌ها. بنابراین، انرژی مصرف شده توسط یک سرخوشه در یک دور جمع‌آوری داده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$E_{CH_i} = E_{intraCluster_i}^R + E_{interCluster_i} \quad (6)$$

که در آن،  $E_{intraCluster_i}^R$  انرژی‌ای است که سرخوشه  $i$  ام صرف دریافت داده از حسگرهای داخل خوشه  $i$  ام می‌کند.  $E_{intraCluster_i}^R$  از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$E_{intraCluster}^R = \sum_{S \in C_i} E_{CH_i, S}^R \quad (7)$$

که در آن،  $C_i$  تعداد حسگرهای خوشه  $i$  ام است و  $E_{CH_i, S}^R$  انرژی دریافت کردن داده از حسگر  $S$  توسط سرخوشه

ام است و از رابطه (۲) مربوط به مدل رادیویی مرتبه اول [۸، ۱۱] که در بخش ۳ معرفی شد، محاسبه می‌شود و  $E_{interCluster_i}$  در رابطه (۶)، انرژی‌ای است که سرخوشه، در مسیریابی بین سرخوشه‌ها، صرف دریافت داده از سرخوشه‌های قبلی خود و ارسال داده به سرخوشه بعدی خود می‌کند. مقدار این انرژی، بستگی به مسیریابی چندگامی دارد که بین سرخوشه‌های انتخاب شده، صورت خواهد گرفت. این مسیریابی چندگامی با استفاده از روش MHRM [۲۶، ۲۷] انجام می‌شود. در روش MHRM، هر سرخوشه مسیری را به سوی چاهک می‌یابد که دارای حداقل تعداد گام باشد [۷]. پس از طراحی مسیر چندگامی توسط روش MHRM،  $E_{interCluster_i}$  یعنی انرژی مصرفی سرخوشه نام برای ایفای نقش در این مسیر چندگامی محاسبه خواهد شد و در رابطه (۶) قرار خواهد گرفت. بدین ترتیب، برای ارزیابی یک کروموزوم (یعنی یک نوع انتخاب سرخوشه‌ها)، هم انرژی مصرفی هر سرخوشه برای جمع‌آوری داده از اعضای خوشه، در نظر گرفته می‌شود و هم بررسی می‌شود که هر سرخوشه در مسیریابی چندگامی بین سرخوشه‌ها چه اندازه مصرف انرژی خواهد داشت. کروموزومی که سرخوشه‌های انتخاب شده در آن، منجر به طول عمر بالاتری برای شبکه شود، برانده‌تر خواهد بود.

برای انتخاب کروموزوم‌ها، از روش انتخاب چرخ رولت<sup>۱۴</sup> [۲۰] استفاده می‌شود. کروموزوم‌هایی که برانده‌تر هستند، شانس انتخاب بالاتری دارند. سپس از روش ادغام تک نقطه‌ای [۲۰] برای ادغام والد‌ها استفاده می‌شود. برای انجام جهش نیز، با احتمال ضعیفی، برخی ژن‌های برخی کروموزوم‌ها معکوس می‌شوند و از «صفر» به «یک» و یا از «یک» به «صفر» تبدیل می‌شوند.

##### ۵- ارزیابی و نتایج

برای ارزیابی روش پیشنهادی، ابتدا شبکه‌ای با

۱۰۰ حسگر و ۴ سرخوشه در نظر گرفته شده که در یک مساحت  $200 \times 200$  متر مربع پراکنده شده‌اند. برد رادیویی هر حسگر ۴۰ متر و برد رادیویی هر سرخوشه ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده‌اند. سپس تعداد سرخوشه‌ها از ۴ تا ۴۰ افزایش داده شده و برای ثابت ماندن چگالی، تعداد حسگرها نیز به ۹۰۰ و مساحت نیز به  $900 \times 900$  افزایش یافته است. برای مصرف انرژی سرخوشه‌ها، از مدل رادیویی مرتبه اول که در بخش ۳ معرفی شد استفاده شده است. در این مدل رادیویی مقدار  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  برابر با  $50 \text{ nJ/bit}$  و مقدار  $\beta$  برابر با  $100 \text{ pJ/bit/m}^2$  و پارامتر ضریب تضعیف مسیر، برابر با ۲ فرض شده است. نرخ تولید داده توسط هر خوشه برابر با  $1000 \text{ Bits/Round}$  و انرژی اولیه هر سرخوشه ۵ ژول در نظر گرفته شد. سه شرط مختلف برای مکان قرارگیری چاهک عبارتند از: مرکز مربع، گوشه پایین سمت چپ و وسط ضلع پایین. در الگوریتم ژنتیک، اندازه جمعیت اولیه ۳۰۰ کروموزوم است و از روش انتخاب چرخ رولت با نرخ ۷۰ درصد استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک در هر اجرا برای ۱۰۰ نسل اجرا می‌شود.

نتایج روش پیشنهادی با دو روش مقایسه شده است. در همگی این روش‌ها، مسئله انتخاب سرخوشه‌ها و مسئله مسیریابی چندگامی به صورت جداگانه و مستقل از هم حل می‌شوند. این روش‌ها در ادامه معرفی می‌شوند:

روش اول: روشی که در آن سرخوشه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر طبق روش [۲۴] تعیین می‌شوند و سپس مسیر چندگامی بین سرخوشه‌ها و چاهک در مرحله‌ای جداگانه با استفاده از روش MHRM [۲۶، ۲۷] تعیین می‌گردد. این روش را GA+MHRM می‌نامیم.

روش دوم: روشی که در آن سرخوشه‌ها بر اساس توزیع حسگرها و با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح<sup>۱۵</sup> (ILP) ارائه شده در [۲۹] تعیین می‌شوند و سپس مسیریابی چندگامی از سرخوشه‌ها به چاهک بر طبق روش MHRM [۲۶، ۲۷] انجام می‌شود. این روش را ILP+MHRM می‌نامیم.

15-Integer linear programming

14- Roulette wheel



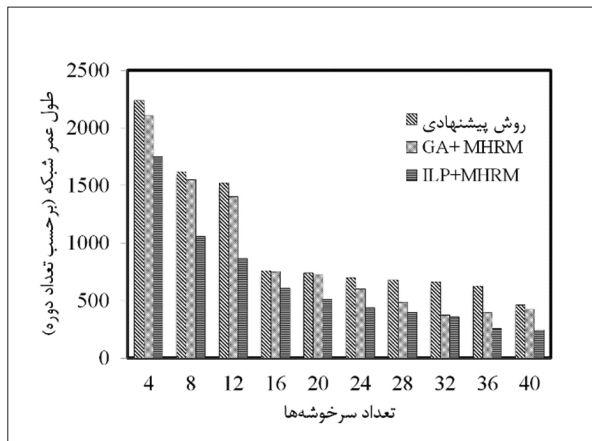
جدول ۱: میانگین درصد بهبود ایجاد شده توسط روش پیشنهادی در مقایسه با دو روش دیگر

مکان چاهک	وسط ضلع پایین	گوشه پایین سمت چپ	مرکز محدوده
میزان بهبود نسبت به روش GA+MHRM	۱۳ درصد	۶ درصد	۱۷ درصد
میزان بهبود نسبت به روش ILP+MHRM	۵۴ درصد	۸۰ درصد	۵۵ درصد

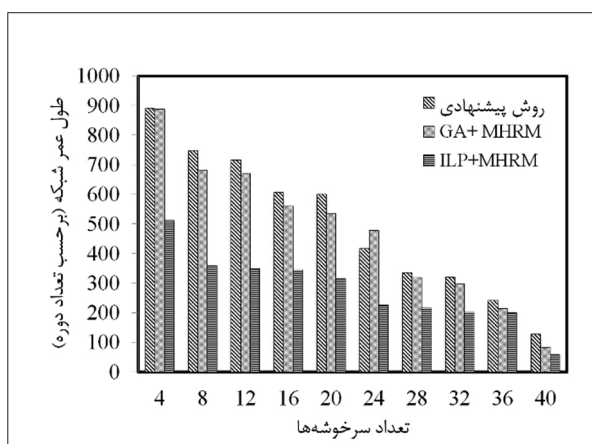
محل‌های مختلف قرارگیری چاهک در شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ مشاهده می‌شود. این نتایج از میانگین‌گیری بر روی ۲۰ بار شبیه‌سازی به دست آمده است. همان‌طور که از بررسی شکل‌ها مشخص می‌گردد، روش پیشنهادی یعنی حل همزمان دو مسئله (مسئله تعیین سرخوشه‌ها و مسئله یافتن مسیر چندگامی بین آن‌ها)، در مقایسه با حل جداگانه دو مسئله، اغلب باعث افزایش طول عمر شبکه شده است. میانگین درصد بهبود ایجاد شده توسط روش پیشنهادی در مقایسه با دو روش دیگر در جدول ۱ آمده است. به طور کلی می‌توان گفت روش پیشنهادی موجب ۳۷ درصد بهبود در طول عمر شبکه شده است.

برای بررسی این‌که آیا روش پیشنهادی با روش‌های GA+MHRM و ILP+MHRM از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری دارد یا خیر، آزمون t یک طرفه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ به کار رفته است. نتایج این آزمون در جدول ۲ نشان می‌دهد که نتایج روش پیشنهادی نسبت به دو روش GA+MHRM و ILP+MHRM در اکثر شرایط از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری داشته است و بهبود یافته است.

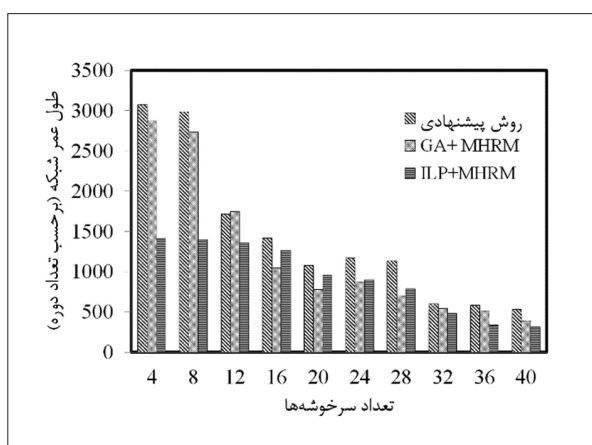
می‌توان گفت که علت بهبود یافتن طول عمر شبکه توسط روش پیشنهادی، انتخاب سرخوشه‌های مناسب‌تر است. زیرا در روش پیشنهادی، در مرحله انتخاب سرخوشه‌ها، سرخوشه‌هایی انتخاب می‌شوند که بتوان مسیر چندگامی مناسبی را بین آن‌ها تشکیل داد تا بتوانند ارسال چندگامی داده‌ها را بین خودشان با مصرف انرژی کمتری انجام دهند. به همین دلیل، همان‌طور که شبیه‌سازی‌ها نشان داد، لحاظ کردن این نکته در هنگام انتخاب سرخوشه‌ها باعث



شکل ۱: طول عمر شبکه به ازای تغییر تعداد سرخوشه‌ها برای وقتی که چاهک در وسط ضلع پایین قرار دارد.



شکل ۲: طول عمر شبکه به ازای تغییر تعداد سرخوشه‌ها برای وقتی که چاهک در گوشه پایین سمت چپ قرار دارد.



شکل ۳: طول عمر شبکه به ازای تغییر تعداد سرخوشه‌ها برای حالتی که چاهک در مرکز محدوده قرار دارد.

معیار ارزیابی، طول عمر شبکه است که بر طبق تعریفی که در بخش ۳ در نظر گرفته شد محاسبه می‌شود. طول عمر شبکه به ازای تغییر تعداد سرخوشه‌ها برای

جدول ۲: نتایج آزمون - یک طرفه برای مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های GA+MHRM و ILP+MHRM

روش ILP+MHRM			روش GA+MHRM			مکان چاهک تعداد سرخوشه
مرکز محدوده	گوشه پایین سمت چپ	وسط ضلع پایین	مرکز محدوده	گوشه پایین سمت چپ	وسط ضلع پایین	
S	S	S	S	N	S	۴
S	S	S	S	S	S	۸
S	S	S	N	S	S	۱۲
S	S	S	S	S	N	۱۶
S	S	S	S	S	N	۲۰
S	S	S	S	N	S	۲۴
S	S	S	S	N	S	۲۸
S	S	S	N	S	S	۳۲
S	S	S	N	S	S	۳۶
S	S	S	S	S	S	۴۰

افزایش طول عمر شبکه شده است.

بدیهی است که حل همزمان دو مسئله، در مقایسه با حل جداگانه مسئله‌ها، به زمان محاسباتی بیشتری نیاز دارد. ولی همان‌طور که در بخش ۳ ذکر شد، اجرای الگوریتم به صورت متمرکز و بر روی چاهک انجام می‌شود و چاهک اغلب محدودیت انرژی ندارد. علاوه بر این، می‌دانیم که در شبکه‌های حسگر، انرژی گره‌ها صرف انجام دو عملیات محاسبات و انتقال داده‌ها می‌شود و انرژی‌ای که برای عملیات محاسباتی مصرف می‌شود در مقایسه با انرژی مصرفی برای انتقال داده‌ها ناچیز است. بنابراین به صرفه است که محاسبات بیشتری انجام شود (و به تبع آن انرژی محاسبات افزایش داده شود) تا بتوان انرژی انتقال داده‌ها را کاهش داد. به همین دلیل، با توجه به این‌که در روش پیشنهادی، افزایش انرژی انجام محاسبات بر روی چاهک، باعث کاهش انرژی صرف شده برای انتقال داده‌ها در گره‌های شبکه می‌شود، افزایش محاسبات در روش پیشنهادی مشکلی ایجاد نخواهد کرد و مقرون به صرفه است.

برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده شد. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، برای ارزیابی کروموزوم‌ها نیاز است که مسیر چندگامی بهینه بین سرخوشه‌های انتخاب شده نامزد را بدانیم. برای طراحی این مسیر چندگامی بهینه از روش MHRM استفاده می‌شود. روش پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی، ارزیابی شد و با چند روش که دو مسئله انتخاب سرخوشه‌ها و مسیریابی چندگامی بین آن‌ها را به صورت مستقل از هم حل کرده‌اند، از لحاظ معیار طول عمر شبکه مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی، طول عمر شبکه را بهبود داده است.

برای ادامه پژوهش، پیشنهاد می‌شود که به غیر از الگوریتم ژنتیک و روش MHRM، روش‌های دیگری که برای تعیین سرخوشه‌ها و مسیریابی چندگامی وجود دارد نیز با یکدیگر ترکیب شوند و در حل همزمان دو مسئله به کار روند و نتایج مورد بررسی قرار بگیرد.

#### مراجع

- 1- Arabi K., Bohlooli A., "Medium access control layer management for saving energy in wireless sensor networks routing algorithms", Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol.39, No.4, pp493-497, 2016.
- 2- Anastasi G., Conti M., Di Francesco M., Passarella A., "Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A Survey". Ad Hoc Networks, Vol. 7, No. 5, pp. 37-68, 2009.
- 3- Afsar M. M., Tayarani-N M. H., "Clustering in Sensor Networks: A Literature Survey". Journal of Network and Computer Applications". Vol. 46, pp. 198-226, 2015.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی برای حل همزمان دو مسئله انتخاب سرخوشه‌ها و مسیریابی چندگامی بهینه از سرخوشه‌ها به چاهک ارائه شد. برای این منظور از الگوریتم ژنتیک



- 114-126, 2013.
- 18- Goldberg D., Karp B., Ke Y., Nath S., Seshan S, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning". Addison-Wesley, 1989.
- 19- Holland J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, 1975.
- 20- Mitchell M., *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
- 21- Jin S., Zhou, Wu M., "Sensor network optimization using a genetic algorithm". Proceedings of the 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics, Orlando, FL, July 27-30, 2003.
- 22- Hussain S., Matin A. S., Islam O., "Genetic Algorithm for Hierarchical Wireless Sensor Networks". *Journal of Networks*, Vol. 2, No. 5, pp. 87-97, 2007.
- 23- Afrashteh Mehr M., "Design and Implementation a New Energy Efficient Clustering Algorithm using Genetic Algorithm for Wireless Sensor Networks". *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 5., 2011.
- 24- Khalil E., Attea A., "Energy-aware Evolutionary Routing Protocol for Dynamic Clustering of Wireless Sensor Networks". *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 4, pp. 195–203, 2011.
- 25- Seo H. S., Oh S. J., Lee W. C., "Evolutionary genetic algorithm for efficient clustering of wireless sensor networks". *CCNC'09 Proceedings of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 258-262, 2009.
- 26- Gupta G., Younis M., "Load-balanced clustering of wireless sensor networks". *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 3, pp. 1848–1852, 2003.
- 27- Gupta G., Younis M., "Performance evaluation of load-balanced clustering of wireless sensor networks". *10th International Conference on Telecommunications*, Vol. 2, pp. 1577–1583, 2003.
- 28- Bari A., Jaekel A.; Bandyopadhyay S., "Maximizing the lifetime of twotiered sensor networks". *Proceeding of IEEE International Electro/Information Technology Conference (EIT 2006)*, MI, pp. 222–226, 2006.
- 2- Bari A., Jaekel A., Bandyopadhyay S., "Optimal placement of relay nodes in two-tiered, fault tolerant sensor networks". *12th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 159–164, 2007.
- 4- MotahariNasab R., Bohlooli A., Moghim N., An Energy-Aware Data-Gathering Protocol Based on Clustering using AUV in Underwater Sensor Networks, *International Journal of Computer Network & Information Security* Vol. 8, No. 12, pp36-43, 2016.
- 5- Liu X., "A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks". *Sensors*, Vol. 12, No. 8, pp. 11113-11153, 2012.
- 6- Gupta S. K., Kuila P. , Jana P. K, "GAR: An Energy Efficient GA-Based Routing for Wireless Sensor Networks". *Distributed Computing and Internet Technology, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 7753, pp. 267-277, 2013.
- 7- Bari A., Wazed S., Jaekel A., Bandyopadhyay S., "A Genetic Algorithm Based Approach for Energy Efficient Routing in Two-tiered Sensor Networks". *Ad Hoc Networks*, Vol. 7, pp. 665–676, 2009.
- 8- Heinzelman W., Chandrakasan A., Balakrishnan H., "Energy efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks". *Proceedings of the 33rd HICSS, Maui, Hawaii*, pp. 3005–3014, 2000.
- 9- Abbasi A., Younis M., "A Survey on Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks". *Computer Communication*, Vol. 30, No. 28, pp. 26–41, 2007.
- 10- Boyinbode O., Hanh L., Mbogho A., Takizawa M., Poliah R., "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks". *13th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, pp. 358 – 364, 2010.
- 11-Mirshams S., Jamshidi K., Bohlooli A., Dehghani A., Data reduction using clustering method in wireless sensor network, *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT'09*. pp1-8, 2009.
- 12- Hajian E., Jamshidi K., Bohlooli A., "Increasing WSN lifetime by using learning automata for optimal route selection", *Information Networking and Automation (ICINA), 2010 International Conference on*, Vol.1, pp.215-218, 2010.
- 13- Hajian E., Jamshidi K., Bohlooli A., "Improve energy efficiency routing in WSN by using automata", *International Journal of Ad hoc Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC)*, Vol. 1, No. 2, 2010.
- 14- Zhang P., Xiao G., Tan H-P., "Clustering Algorithms for Maximizing the Lifetime of Wireless Sensor Networks with Energy-harvesting Sensors". *Computer Networks*, Vol. 57, No. 2, pp. 689-704, 2013.
- 15- Nikzad M., Bohlooli A., Jamshidi K., "Video Quality Analysis of Distributed Video Coding in Wireless Multimedia Sensor Networks", *International Journal of Computer Network and Information Security*, Vol.5, No.10, pp. 12-20, 2014.
- 16- Youssef, W., Younis, M. "Intelligent gateways placement for reduced data latency in wireless sensor networks". *ICC '07. IEEE International Conference on Communications*, 24-28 June, pp. 3805 -3810, 2007.
- 17- Peiravi A., Rajabi Mashhadi H., Javadi S. H., "An Optimal Energy-efficient Clustering Method in Wireless Sensor Networks Using Multi-objective Genetic Algorithm". *International Journal of Communication Systems*, Vol. 6, No. 26, pp.