



چهارمین کنفرانس ملی مهندسی برق ایران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد - ۸ و ۹ اسفند ۱۳۹۶

## ارائه روشی جدید در خوشه بندی به کمک معاونت سرخوشه جهت بهره وری انرژی در شبکه های حسگر بیسیم

نگار آراین فر<sup>(۱)</sup> - سید محمود دانشور فرزنانگان<sup>(۲)</sup>

<sup>(۱)</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشکده کامپیوتر، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران  
<sup>(۲)</sup> استادیار دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

<sup>(۱)</sup> negararianfar@yahoo.com, <sup>(۲)</sup> Smdanesh@yahoo.com

**چکیده:** شبکه حسگر بیسیم متشکل از تعداد زیادی گره های حسگر است که در یک محیط به طور گسترده پخش شده و به جمع آوری اطلاعات می پردازند. کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه یکی از مسائل مهم در شبکه های حسگر بیسیم می باشد. با توجه به محدود بودن منبع انرژی حسگرها، روش های مسیریابی ارائه شده باید انرژی را به صورت بهینه مصرف کنند. در این مقاله برای مسیریابی مبتنی بر خوشه بندی راهکاری به نام "معاونت سرخوشه جهت بهره وری انرژی" پیشنهاد شده است که برای متعادل سازی مصرف انرژی در سطح شبکه و بهبود الگوریتم SEECP، در مرحله انتخاب سرخوشه، سرخوشه و معاون خوشه برای هر خوشه انتخاب می شود. معیار انتخاب سرخوشه در هر مرحله بدین صورت است که در هر خوشه، گره ای که انرژی باقیمانده ی بیشتری دارد به عنوان سرخوشه انتخاب می شود. همچنین معیار انتخاب معاون خوشه، بیشترین انرژی باقیمانده نسبت به عضوهای دیگر خوشه است. این عمل باعث می شود تا سرخوشه دیرتر تعویض گردد. بنابراین انرژی مصرفی افزایش یافته و گره های بیشتری در مراحل بالاتر زنده می ماند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی در معیار میانگین انرژی و تعداد گره های زنده حدود ۷۹٪ بهبود حاصل می کند.

**کلمات کلیدی:** شبکه های حسگر بیسیم، خوشه بندی، سرخوشه، انرژی باقیمانده، الگوریتم SEECP

### ۱- مقدمه

شبکه حسگر بیسیم از چندین هزار گره حسگر تشکیل شده است که برای تشخیص رویدادهای محیطی استفاده می شوند. این حسگرها در اندازه کوچک، کم هزینه و کم مصرف هستند که توسط باتری تغذیه می شوند [۱]. عمر محدود باتری گره ها در شبکه ها، مصرف انرژی این دسته از شبکه ها را به یکی از مسائل اصلی شبکه و روش های خوشه بندی را به یکی از اساسی ترین

راهکارها در جهت بهبود این مسئله تبدیل نموده است [۲]. منظور از عمل خوشه بندی، تقسیم کلیه حسگرهای شبکه به خوشه ها، می باشد که هر یک از این خوشه ها دارای یک حسگر به عنوان سرخوشه می باشند. وظیفه سرخوشه ها جمع آوری داده از گره های خوشه، تجمیع داده ها و ارسال این داده ها به ایستگاه اصلی می باشد. در این پروتکل ها انتخاب یک گره در هر خوشه به عنوان سرخوشه و تجمیع داده ها به میزان

زیادی در افزایش طول عمر شبکه موثر است، زیرا کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بی سیم رابطه مستقیمی با افزایش طول عمر آنها دارد. برای افزایش طول عمر شبکه در این پروتکل ها سعی می شود بار مصرف انرژی به صورت متعادل بین گره های شبکه با استفاده از انتخاب سرخوشه ها، توزیع شود [۳].

در این مقاله با در نظر گرفتن انرژی باقی مانده ی اعضای خوشه در فرآیند انتخاب سرخوشه و معاون سرخوشه یک پروتکل کارآمد در مصرف انرژی شبکه ارائه شده است. در واقع در این پژوهش سعی بر این است روش ارائه شده در مقاله [۴]، یعنی پروتکل SEECP را بهبود بخشد. در روش پیشنهادی، یکی از سرخوشه ها وظایف مرتبط با داخل خوشه را بر عهده خواهد داشت و دیگر سرخوشه وظایف مربوط به ارسال و دریافت داده ها با ایستگاه پایانی یا خوشه های نزدیک ایستگاه پایانی را به عهده خواهد داشت.

در بخش دوم این مقاله، مروری بر کارهای پیشین در حوزه خوشه بندی خواهد شد. در بخش سوم مروری خواهیم داشت بر روش های ارائه شده برای خوشه بندی گره ها در شبکه های حسگر بی سیم، در بخش چهارم برخی مفاهیم اولیه در خصوص روش پیشنهادی و در بخش پنجم و ششم پروتکل پیشنهادی و نتیجه گیری مطرح می شود.

## ۲- مروری بر کارهای انجام شده

در پژوهش [۵] روشی با نام IABC<sup>۱</sup> گسترش و معرفی گردیده است. IABC مبتنی بر الگوریتم توسعه یافته کلونی زنبور و بر اساس مزایای این الگوریتم چارچوب عملیاتی خود را توسعه می دهد. IABC بر مبنای دنباله ای از رفتار سرخوشه ها در دوره های متوالی سرخوشه به منظور انتخاب شایسته ترین حسگر سرخوشه با ترکیبی از انرژی در دسترس حسگرها، تعداد دور، و فاصله تا چاهک عمل می نماید. حسگر

سرخوشه انتخابی با دریافت پیام های ارسالی به عنوان سرخوشه جدید خوشه شناخته می شود. یک برنامه زمانبند تقسیم زمانی براساس تعداد حسگرهای عضو خوشه تنظیم شده، و در اختیار اعضا قرار داده می شود. در پژوهش [۴] روشی با نام SEECP<sup>۲</sup> جهت تثبیت انرژی شبکه گسترش و معرفی گردیده است. SEECP یکی از راهکارهای کارآمد در جهت خوشه بندی و مدیریت شبکه های حسگر با هدف بهینه سازی انرژی مصرفی و سربارهای تحمیلی به شبکه است برای این امر SEECP با تمرکز بر نزدیکی به چاهک و بهینگی انرژی، شایسته ترین حسگر با برتری انرژی، تعداد دور و موقعیت به نسبت چاهک، به عنوان سرخوشه انتخاب خواهد گردید. SEECP در هنگام راه اندازی شبکه تعداد سرخوشه های بهینه را معین نموده و در ادامه حسگرهای شبکه را به صورت تصادفی در اولین دور به عنوان سرخوشه انتخاب می نماید.

در پژوهش [۶] روشی با نام NCHSA<sup>۳</sup> توسعه و معرفی گردیده است. مبنای عملکرد NCHSA انتخاب شایسته ترین حسگر سرخوشه بر مبنای انرژی در دسترس حسگرها به نسبت انرژی اولیه، تعداد دور سرخوشه در گذشته صورت می پذیرد. حسگرها به صورت تصادفی در شبکه توزیع می شوند.

در پژوهش [۷] روشی با نام RDBC<sup>۴</sup> توسعه و گسترش یافته است. RDBC بر مبنای تعداد مسافت حسگرها تا ایستگاه پایانی یک شمارنده معکوس تنظیم نموده به طوری که گره ای که سریع تر شمارنده اش صفر گردد و دارای بهترین شاخص های انرژی باقیمانده، و تعداد دور کمتر سرپرستی در گذشته باشد به عنوان سرپرست انتخاب و یک پیام اعلان سرپرستی برای گره های اطراف منتشر می نماید. پس از تعیین سرپرست خوشه، یک برنامه زمانبند تنظیم و در اختیار اعضا مشخص شده قرار می گیرد. در ادامه بر همین مبنا تبدلات با سرخوشه انجام گردیده و سرپرست خوشه تا

<sup>1</sup> Improved a Base Energy-Efficient Clustering

<sup>2</sup> Stable Energy Efficient Clustering Protocol

<sup>3</sup> Novel Cluster Head Selection Algorithm

<sup>4</sup> Randomized Distance Based Clustering

پارامترهای  $\epsilon_{\text{friss\_amp}}$  و  $\epsilon_{\text{two\_ray\_amp}}$  عوامل تقویت کننده برای مدل فضای خالی و دواشعهای<sup>۱</sup> را به ترتیب نشان می‌دهد. مقدار  $d_0$  از طریق فرمول ۴ محاسبه می‌شود:

$$d_0 = \sqrt{\epsilon_{\text{friss\_amp}} / \epsilon_{\text{two\_ray\_amp}}} \quad (۴)$$

برای دریافت یک بسته داده‌ی  $k$  بیتی مقدار انرژی هزینه شده برابر است با:

$$E_{R_x}(k) = kE_{R_x} \quad (۵)$$

### ۳-۳- پروتکل SEECP

همانطور که اشاره شد، در این پژوهش سعی بر این است تا روش ارائه شده در مقاله [۴] یعنی پروتکل SEECP بهبود یابد. پروتکل SEECP در هر دور به فاز نصب و فاز حالت پایدار تقسیم می‌شود.

#### ۳-۳-۱- فاز نصب

در دور نخست، ایستگاه پایه (نهایی) به‌طور ثابت ۵ صدم درصد از سرخوشه‌های تصادفی را از گره‌های شبکه انتخاب می‌کند. در دورهای بعدی گره‌هایی که انرژی باقیمانده‌ی بالاتری دارند به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. سرخوشه‌های منتخب وضعیتشان را توسط اعلان پیامی با استفاده از پروتکل CSMA به شبکه‌ای که شامل شناسه‌ی (ID) سرخوشه‌هاست، منتشر می‌کنند. گره‌ها پاسخ درخواست پیوستن به نزدیکترین سرخوشه را با استفاده از پروتکل دسترسی به رسانه (CSMA) می‌دهند. سرخوشه‌های منتخب، یک برنامه‌ی زمانبندی TDMA به منظور ارتباط اعضای خوشه‌ها نصب می‌کنند که به اعضای خوشه اجازه می‌دهد تا داخل خوشه با هم ارتباط برقرار کنند. این برنامه‌ی زمانبند قادر است وضعیت گره‌ها را تغییر دهد و مشخص کند چه زمانی گره‌ها در حالت خواب باشند و چه زمانی شروع به دریافت و انتقال داده باشند.

#### ۳-۳-۲- فاز حالت پایدار

یک دوره زمانی مشخص به عنوان سرپرست خواهد ماند و در ادامه تغییر خواهد یافت.

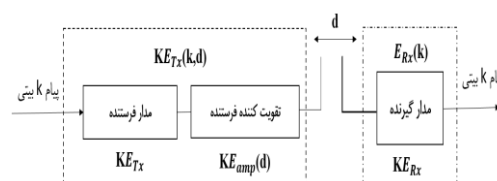
### ۳- مدل شبکه و انرژی

#### ۳-۱- مدل شبکه

در این پژوهش، شبکه حسگر بیسیمي مشتمل بر ۱۰۰ گره و یک گره ایستگاه مرکزی به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت در شبکه توزیع می‌شوند. ایستگاه مرکزی خارج از شبکه‌ی مشتمل بر ۱۰۰ گره قرار دارد.

#### ۳-۲- مدل انرژی

در این مقاله همانند مرجع [۴] از یک مدل ساده‌ی انرژی برای انتقال انرژی مصرفی استفاده می‌شود که باعث اجرای الکترونیک‌های رادیویی برای فرستادن و تقویت کردن سیگنال‌ها می‌شود. دریافت کننده‌ی انرژی پراکنده تنها برای پذیرش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نمودار مدل انرژی رادیویی [۴]

برای فرستادن یک بسته  $k$  بیت داده روی یک جداکننده‌ی  $d$ ، انرژی مصرف شده برابر است با:

$$E_{T_x}(k,d) = E_{T_x}(k) + E_{\text{amp}}(k,d) \quad (۱)$$

$$E_{T_x}(k,d) = KE_{T_x} + KE_{\text{amp}}(d) \quad (۲)$$

عبارت  $E_{T_x}$  نشان دهنده‌ی انرژی مصرف شده به ازای هر بیت در طول انتقال می‌باشد.  $E_{\text{amp}}(d)$  انرژی هر بیت را تقویت می‌کند:

$$E_{\text{amp}}(d) = \begin{cases} \epsilon_{\text{friss\_amp}} d^2 & d < d_0 \\ \epsilon_{\text{two\_ray\_amp}} d^4 & d > d_0 \end{cases} \quad (۳)$$

<sup>1</sup> Two\_ray

گره‌های سرخوشه (CH) که به BS نزدیکتر هستند، به عنوان گره‌های بازپخش و تقویت کننده برای سرخوشه-های دور به منظور حفظ مصرف متوازن انرژی و کاهش هزینه انتقال عمل می‌کنند. با استفاده از نظریه هندسی، مقدار بهینه‌ی فاصله برای سرخوشه‌ی دور به ارسال داده‌ها از طریق dual-hop به ایستگاه مرکزی نصف  $Z_{max}/2$  است.

بنابراین شعاع دایره  $R = (\sqrt{X_{max}^2 + Y_{max}^2})/4$  می‌باشد. اگر فاصله‌ی بین سرخوشه CH و ایستگاه مرکزی BS کمتر از R باشد، سرخوشه داده‌ها را به صورت مستقیم به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. در غیر اینصورت، یک گره‌ی دیگر به عنوان سرخوشه یا معاون سرخوشه اصلی در شعاع R از ایستگاه مرکزی به عنوان گره‌ی رله عمل می‌کند و سرخوشه از طریق آن داده‌های خود را به ایستگاه مرکزی منتقل می‌کند.

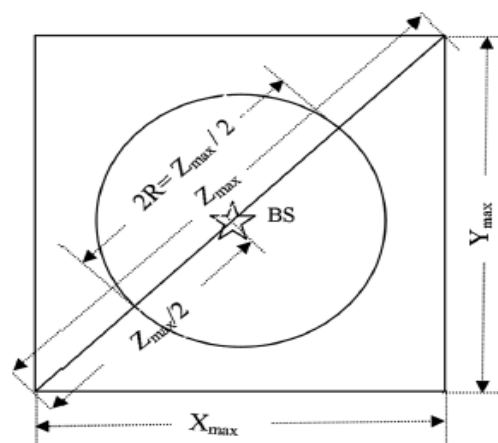
#### ۴- روش معاونت سرخوشه جهت بهره‌وری انرژی ECHP<sup>۲</sup>

در روش پیشنهادی که به نام معاونت سرخوشه جهت بهره‌وری انرژی یا به اختصار ECHP نامیده شده است، ایده اصلی برای بهبود مصرف انرژی، استفاده از سرخوشه و معاون سرخوشه می‌باشد. در این مقاله سعی شده است تا کارایی راهکار ارائه شده در [۴] برای افزایش طول عمر شبکه، بهبود داده شود. شکل ۳ در مرحله‌ی اول مرحله تعیین حسگر سرخوشه صورت می‌گیرد. بدین ترتیب برای انتخاب یک حسگر به عنوان سرخوشه، انرژی باقیمانده حسگرها بررسی می‌شود. حسگر با انرژی بیشتر، خود را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند و یک پیام اعلان را در شبکه پخش<sup>۴</sup> می‌کند. در مرحله بعد، برای خوشه بندی باید حداکثر اعضاء خوشه برای سرخوشه انتخاب شده

در این مرحله، هر گره‌ی غیرسرخوشه، داده‌های دریافتی را زمانی که رویدادی رخ دهد به سرخوشه‌ی مربوطه انتقال می‌دهد. یعنی  $C(V) \geq H(T)$ ، که  $C(V)$  ارزش کنونی صفت دریافت شده و  $H(T)$  مقدار آستانه‌ی سختی است. انتقال بعدی تنها در موقعیتی امکان پذیر است که  $C(V) - S(V) \geq S(T)$  برقرار باشد.  $S(V)$  مقدار حس شده (دریافت شده) و  $S(T)$  مقدار حد آستانه‌ی نرم می‌باشد. پس روش پیشنهادی از دو حد آستانه استفاده می‌کند، آستانه سخت (HT)<sup>۱</sup> برای صفتی که حس شده است انتخاب می‌گردد و آستانه نرم (ST)<sup>۲</sup> برای نمایش تغییرات کوچک در مقادیر صفات حس شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### ۳-۳- معیارهای انتخاب R

بررسی یک ایستگاه پایه BS در مرکز میدان ابعادی  $(X_{max}, Y_{max})$  همانند شکل ۲ دارد. انتخاب مناسب شعاع R در محدوده‌ی BS برای ارتباط دو گامی، یک نقش مهم در بهبود کارایی انرژی بازی میکند.



شکل ۲. انتخاب شعاع R براساس BS برای ارتباط دوگانه [۴]

<sup>1</sup> Hard Threshold

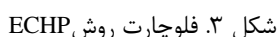
<sup>2</sup> Soft Threshold

<sup>3</sup> Energy Efficient Co-Clustering Head Protocol

<sup>4</sup> Broadcast

جمع آوری شده را به معاون خوشه ارسال می‌کند و معاون اطلاعات دریافتی را به ایستگاه پایه انتقال می‌دهد. اگر انرژی باقیمانده‌ی سرخوشه همچنان مقدار بالایی نسبت به سایر گره‌های عضو خوشه باشد، سرخوشه باقی می‌ماند و دور I به پایان می‌رسد. اما اگر انرژی باقیمانده‌ی سرخوشه مقدار کمتری نسبت به سایر گره‌ها باشد، گره‌ی دیگری در همان خوشه که انرژی بالاتری دارد به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود.

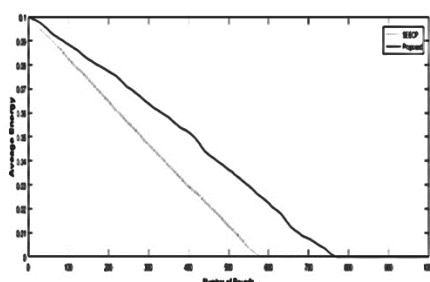
در این قسمت روش ECHP با روش SEECP به کمک نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده و کارایی روش



می‌کنند. در این زمان فرستنده‌ی رادیویی سایر حسگرها، تا زمان فرا رسیدن زمان ارسال خودشان خاموش هستند تا انرژی آنها خاموش گردد.

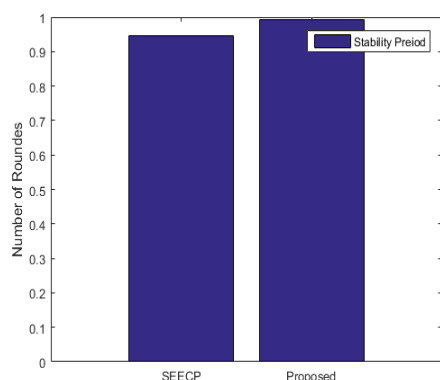
سپس سرخوشه‌ها بعد از جمع‌آوری داده‌ها، عمل تجمیع داده‌ها را بر روی داده‌های دریافتی انجام می‌دهند و داده را به یک بسته‌ی  $K$  بیتی تبدیل می‌کنند. بعد از اینکه سرخوشه داده‌ها را اعضای خوشه دریافت کرد، و بعد از تجمیع داده‌ها خوشه‌ای را که انرژی باقیمانده‌ی بیشتری نسبت به سایر اعضای خوشه دارد، به عنوان معاون خود انتخاب می‌کند. بنابراین داده‌های

پارامتر	ارزش
---------	------



شکل ۵. میانگین انرژی باقیمانده در هر دور در روش ECHP و پروتکل SEEC

شکل ۶ پایداری روش ECHP نسبت به پروتکل SEEC را نشان می‌دهد. تقریباً پایداری با استفاده از روش پیشنهادی بهبود یافته است. این بهبود به علت تقسی وظایف بین سرخوشه و معاون آن می‌باشد. به عنوان مثال اگر سرخوشه‌ی دیگری از سرخوشه انتخاب شده‌ی ما درخواست بازپخش اطلاعات را داشت، معاون سرخوشه‌ی انتخابی این کار را به عهده می‌گیرد. بنابراین سرخوشه اطلاعات را اول به معاون خود ارسال می‌کند سپس معاون آن را به ایستگاه مرکزی انتقال می‌دهد.



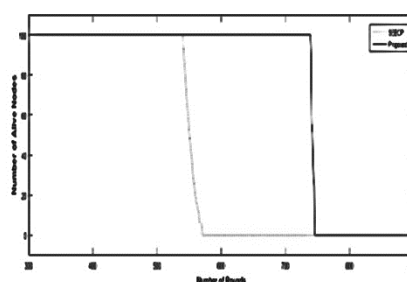
شکل ۶ نتایج کارایی روش ECHP و پروتکل SEEC

## ۶- نتیجه گیری و کارهای آینده

در این مقاله راهکاری پیشنهادی به نام معاونت سرخوشه جهت بهره‌وری انرژی یا ECHP ارائه شده است که برای متعادل کردن مصرف انرژی شبکه، برای هر خوشه از یک سرخوشه و معاون سرخوشه استفاده

۱۰۰	تعداد گره‌ها، N
۱۰۰×۱۰۰	ابعاد شبکه (ابعاد x و y)
۵۰×۵۰	مختصات ایستگاه مرکزی
۰,۱ ژول	انرژی ابتدایی گره، $E_0$
۰,۰۵	تعداد خوشه‌های سرخوشه، k
۵۰ n ژول بر بیت	انرژی الکترونیک‌های رادیویی $E_{Rx}(k)=kE_{Rx}$
۱۰۰ پیکوژول بر بیت بر $m^2$	انرژی تقویت کننده رادیویی $\epsilon_{friss\_apm}$
۰,۰۰۱۳ پیکوژول بر بیت بر $m^4$	انرژی تقویت کننده رادیویی $\epsilon_{two\_ray\_apm}$

در شکل ۴ و ۵ طول عمر شبکه و میانگین انرژی باقیمانده در هر دور نشان داده شده است. روش ECHP مدت عمر و میانگین انرژی باقیمانده‌ی بهتری نسبت به روش SEEC دارد، به این دلیل که در الگوریتم پیشنهادی علاوه بر سرخوشه، وجود معاون سرخوشه باعث توزیع بار و صرفجویی در انرژی شده است.



شکل ۴. مقایسه طول عمر شبکه بین روش ECHP و پروتکل SEEC

[3] Pradhan.N, Sharma.K, and Singh V. K, "A Survey on Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," *ENERGY*, Vol.134, pp. 134-138, 2016.

[4] Mittal .N, Singh .U, and Sohi .B. S, "A stable energy efficient clustering protocol for wireless sensor networks," *Wireless Networks Springer Journal*, Vol. 24, pp. 1-13, 2016.

[5] Mann.P. S, and Singh.S, "Improved metaheuristic based energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 57, pp. 142-152, 2017.

[6] Biswas.S, "A Novel Cluster Head Selection Algorithm for Energy-Efficient Routing in Wireless Sensor Network," *Advanced Computing (IACC)*, Vol.10, pp. 588-593, 2016.

[7] Bista .R., and Shakya .A, "Randomized Distance Based Clustering Algorithm for Energy Efficient Wireless Sensor Networks," *Advanced Computing and Communication Technologies*, Vol. 452, pp. 377-389, 2016.

[8] Bsoul.M, Khasawneh.A, Obeidat, "An Energy-Efficient Threshold-Based Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks Springer*, Vol. 10, pp. 99-112, 2015.

می‌کند. روش ECHP برای انتخاب سرخوشه‌ها از معیار بیشترین انرژی باقیمانده در گره‌ها استفاده می‌کند. یعنی گره‌ای که بیشترین انرژی را در خوشه دارد به عنوان سرخوشه در نظر گرفته می‌شود. انتخاب سرخوشه قطعی در کاهش تعادل بار نامناسب در میان گره‌ها و فراهم آوردن انرژی متعادل انرژی کمک می‌کند. معاون خوشه نیز یکی از گره‌های خوشه به غیر از سرخوشه با بیشترین انرژی انتخاب می‌شود. این گره وظیفه ارسال بسته‌های تجمیع شده توسط سرخوشه به ایستگاه مرکزی دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل ECHP از لحاظ تعادل بار، بهره‌وری انرژی، و پایداری بهتر از روش SEECP در مقاله [۴] می‌باشد. شبیه‌سازی‌های این پژوهش نشان داد پروتکل ECHP به طور میانگین با احتساب بهبود در انرژی مصرفی کل شبکه و تعداد گره‌های زنده مانده و مرده در دوره‌های اولیه و دور میانی و در پایان دوره‌ها، به میزان ۷۹ درصد عملکرد پروتکل SEECP را بهبود بخشیده است.

برای فعالیت بیشتر و کارهای آینده در جهت گسترش و افزایش کارایی این الگوریتم می‌توان با بهینه‌تر کردن نحوه انتخاب سرخوشه و در نظر گرفتن پارامترهای گوناگون بیشتر دیگر، میزان صلاحیت گره‌ها را برای سرخوشه شدن در هر دوره با دقت بیشتری محاسبه نمود و عمل انتخاب سرخوشه را بهینه‌تر و بر اساس انتخاب گره‌های با بیشترین صلاحیت انجام داد و میزان بهینه‌سازی مصرف انرژی را در آن حالت نیز بررسی نمود.

## ۷- مراجع

[1] Liang,C, Chengchao, and F. R. Yu, "Wireless network virtualization: A survey, some research issu and challenges," *Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, pp. 358-380, 2015.

[2] Stein,M,et al., "Evaluation study for clustering in wireless sensor networks," *Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*, Vol.10, pp. 1-6, 2016.