

## ارائه یک پروتکل خوشه‌بندی برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بیسیم

پیمان نعمت‌الهی<sup>۱</sup>، هدی طاهری<sup>۱</sup>، محمود نقیب‌زاده<sup>۲</sup>، محمد حسین یغمائی‌مقدم<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه کامپیوتر دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان،

{neamatollahi.peyman, h.taheri.mshd}@gmail.com

<sup>۲</sup> گروه کامپیوتر دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،

naghizadeh@um.ac.ir

<sup>۳</sup> گروه کامپیوتر دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد،

yaghmaee@ieee.org

### چکیده

خوشه‌بندی، یک رویکرد کارآمد برای تعدیل بار بین گره‌های حسگر و افزایش طول عمر شبکه است. با خوشه‌بندی، داده‌های ارسالی گره‌های درون خوشه توسط سرخوشه<sup>۲</sup> جمع شده و به ایستگاه پایه<sup>۲</sup> ارسال می‌شود. بنابراین گره‌ها می‌توانند سربار ارتباطی خود را که از ارسال مستقیم داده‌ها<sup>۱</sup> به ایستگاه پایه حاصل می‌شود کاهش دهند. در این تحقیق، یک پروتکل خوشه‌بندی بر مبنای پروتکل مشهور HEED ارائه شده است که بصورت توزیع شده عمل می‌کند و هدف آن افزایش طول عمر شبکه<sup>۴</sup> می‌باشد. معیار انتخاب سرخوشه در این پروتکل، ترکیبی ریاضی از دو معیار درجه گره و مرکزیت گره با ملاحظه انرژی باقی‌مانده آن است. همچنین در این پروتکل، خوشه‌بندی زمانی انجام می‌شود که حداقل یکی از سرخوشه‌ها بخش معینی از انرژی خود را مصرف کند. پروتکل ارائه شده در این تحقیق (iHEED) با دو پروتکل مشهور شبکه‌های حسگر بیسیم<sup>۵</sup> به لحاظ معیارهای کارآمدی انرژی مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی در نرم‌افزار Matlab نشان می‌دهد که این پروتکل از سایر پروتکل‌ها بهتر عمل می‌کند و یک پروتکل خوشه‌بندی انرژی-کارآمد<sup>۶</sup> است.

### کلمات کلیدی

شبکه حسگر بیسیم، خوشه‌بندی، رویکرد انرژی-کارآمد، طول عمر شبکه، الگوریتم خوشه‌بندی توزیع شده.

وجود ندارد، بنابراین پروتکل‌های بکار رفته باید انرژی-کارآمد باشند. خوشه‌بندی یکی از رویکردهای اصلی برای طراحی پروتکل‌های انرژی-کارآمد و مقیاس‌پذیر<sup>۷</sup> شبکه‌های حسگر بیسیم است. استفاده از خوشه‌ها سربار ارتباطی را کاهش داده و در نتیجه مصرف انرژی و تداخل امواج بین گره‌ها را کاهش می‌دهد. در بسیاری از کاربردها ساماندهی خوشه یک راه طبیعی برای گروه‌بندی گره‌های نزدیک به هم به منظور استفاده از داده‌های مرتبط و حذف داده‌های افزونه می‌باشد. از طریق جمع<sup>۸</sup> و ترکیب<sup>۹</sup> داده‌های گره‌ها در سرخوشه حجم کلی داده‌های ارسالی به ایستگاه پایه بطور قابل توجهی کاهش یافته و در مصرف انرژی و منابع شبکه صرفه‌جویی می‌شود [2].

الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بیسیم به الگوریتم‌های متمرکز و توزیع شده تقسیم شده است. کارآمدی رویکردهای متمرکز (مانند [7]) در شبکه‌های با مقیاس بزرگ محدود است زیرا

### ۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و مخابرات بیسیم توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربردهای گوناگون را بوجود آورده است. این حسگرهای کوچک که توانایی انجام اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی بر اساس نوع حسگر، پردازش و ارسال آن اطلاعات را دارند، موجب پیدایش ایده‌ای برای ایجاد و گسترش شبکه‌هایی موسوم به شبکه‌های حسگر بیسیم شده‌اند. این شبکه‌ها که کنترل مطمئن از راه دور را فراهم می‌کنند، اساساً شبکه‌های جمع‌آوری داده هستند و کاربر نهایی نیازمند توصیف سطح بالا از محیطی است که حسگرها در آن قرار دارند [1]. در این شبکه‌ها معمولاً امکان شارژ باتری گره‌ها

• این که آیا سطوح توان ارسال متغیر، مجاز است یا نه (یعنی آیا هر گره داخل خوشه می‌تواند با کمترین سطح توان ارسال خود با سرخوشه ارتباط برقرار کند یا تمام گره‌های درون خوشه می‌بایست سطح توان یکسانی داشته باشند). اگر این سطح توان برای گره‌های خوشه یکسان باشد، هزینه ارتباطی می‌تواند نسبتی با موارد زیر داشته باشد:

- درجه گره، اگر نیاز به توزیع بار میان سرخوشه‌ها باشد یا،
- معکوس درجه گره، اگر نیاز به ایجاد خوشه‌های مترام باشد.

این بدین معنی است که گره، عضو سرخوشه با کمترین درجه می‌شود اگر نیاز به توزیع بار میان سرخوشه‌ها باشد، یا گره، عضو سرخوشه با بیشترین درجه می‌شود تا خوشه‌های ایجاد شده مترام باشند. حالتی را فرض کنید که سطوح توان متغیر برای ارتباطات درون خوشه مجاز باشد.  $MinPwr_i$  حداقل سطح توان مورد نیاز برای گره  $v_i$  است، تا بتواند با یک سرخوشه (مثلاً  $u$ )، ارتباط برقرار کند.  $AMRP$ ، به عنوان میانگین حداقل سطوح توان مورد نیاز برای تمام  $M$  گره درون خوشه بمنظور ارتباط با  $u$  در نظر گرفته شده است:

$$AMRP(u) = \frac{\sum_{i=1}^M MinPwr_i(u)}{M}$$

اگر هر گره مجاز به انتخاب سطح مناسبی از توان برای دسترسی به سرخوشه خود باشد،  $AMRP$  تخمین خوبی را از هزینه ارتباطی ارائه می‌دهد.

### ۳- مدل شبکه

خصوصیات زیر در مورد شبکه حسگر بیسیم به کار رفته مفروض است:

- گره‌ها تقریباً در محیط ثابت هستند و از مکان جغرافیایی خود بی‌اطلاع‌اند.
- گره‌ها از لحاظ توان پردازشی و ارتباطی یکسان‌اند و اهمیت مساوی دارند.
- انرژی گره‌ها محدود است و دوباره شارژ کردن آن‌ها میسر نیست.
- گره‌ها قادرند فاصله را بر اساس قدرت سیگنال دریافتی اندازه‌گیری کنند.
- گره‌ها از کنترل توان برای تنظیم سطح توان ارسالی خود استفاده می‌کنند.

### ۴- پروتکل iHEED

در این بخش به توصیف پروتکل پیشنهادی و شبه‌کدهای آن می‌پردازیم. این پروتکل از دو فاز راه‌انداز و حالت پایدار تشکیل شده است و در موارد زیر مشابه پروتکل HEED عمل می‌کند:

- فاز حالت پایدار دو پروتکل مشابه است.

جمع‌آوری اطلاعات لازم در یک مرکز به لحاظ انرژی و زمان هزینه‌بر است. رویکردهای توزیع‌شده (محلی) برای شبکه‌های با مقیاس بزرگ مناسب‌تر است. در این رویکردها، تصمیمی که یک نود برای سرخوشه شدن یا عضو خوشه‌ای شدن می‌گیرد تنها بر اساس اطلاعات همسایگی او می‌باشد. پروتکل‌های خوشه‌بندی توزیع‌شده زیادی تاکنون ارائه شده‌اند (مانند [3]، [4]، [6]، [8] و [9]). از یک نقطه‌نظر دیگر، پروتکل‌های خوشه‌بندی به ایستا و پویا تقسیم‌بندی می‌شوند. در خوشه‌بندی ایستا، خوشه‌ها بصورت دائم شکل داده می‌شوند مانند [7] و [8] در حالی که در خوشه‌بندی پویا (مانند [3]، [4]، [6] و [9])، عملیات پروتکل غالباً به دوره‌هایی تقسیم می‌شود. هر دوره شامل فاز راه‌اندازی<sup>۱۱</sup> و فاز حالت پایدار<sup>۱۲</sup> است که فاز راه‌اندازی در شروع هر دوره انجام می‌شود. اجرای فاز راه‌اندازی در هر دوره سربرار زیادی به سیستم تحمیل می‌کند [10].

مکانیزم چرخش متناوب سرخوشه‌ها اولین بار در پروتکلی با عنوان LEACH [3] ارائه شد که در آن، چرخش‌ها تصادفی و توزیع‌شده انجام می‌شود. در الگوریتم خوشه‌بندی توزیع‌شده‌ای بنام HEED [4] معیارهای انرژی باقی‌مانده گره و هزینه ارتباطی برای گزینش سرخوشه‌ها در نظر گرفته شده که در آن، سرخوشه‌ها در یک روال تکراری و بصورت احتمالی انتخاب می‌شوند. پروتکل ارائه شده در این تحقیق بر پایه الگوریتم HEED و با بهره‌گیری از ترکیب ریاضی پارامترهای مؤثر و همچنین خوشه‌بندی بر حسب نیاز<sup>۱۳</sup>، بگونه‌ای خوشه‌بندی را انجام می‌دهد که اولاً طول عمر شبکه افزایش یابد، ثانیاً شبکه مقیاس‌پذیر باشد، و ثالثاً سربرار خوشه‌بندی کاهش یابد.

ادامه مقاله شامل بخش‌های زیر است: در بخش ۲ به معرفی پروتکل مشهور HEED می‌پردازیم، بخش ۳ ویژگی‌های مدل شبکه را به اجمال بیان می‌کند، بخش ۴ پروتکل پیشنهادی را توصیف می‌کند، بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی را بیان کرده و در پایان مقاله نتیجه‌گیری آمده است.

### ۲- مروری بر پروتکل HEED

انتخاب سرخوشه‌ها در HEED بصورت تکراری انجام می‌شود. یک سرخوشه منتخب تنها به همسایگانش اعلام وضعیت می‌کند. انتخاب سرخوشه بر اساس دو پارامتر صورت می‌گیرد: پارامتر اول برای انتخاب احتمالی مجموعه اولیه سرخوشه‌ها و پارامتر دوم برای انتخاب سرخوشه‌های نهایی. پارامتر اول بر اساس انرژی باقی‌مانده گره است. بنابراین، گره با انرژی باقی‌مانده بیشتر، شانس بیشتری را برای سرخوشه شدن دارا است. پارامتر دوم، بر اساس هزینه ارتباطی خوشه است. این هزینه ارتباطی تابعی از:

- خصوصیات خوشه مانند اندازه خوشه،

می‌گیرند. با این کار، سربار زیادی به سیستم تحمیل می‌شود. ما برای کاهش دادن این سربار، iHEED را بگونه‌ای طراحی کردیم که هر چند دوره یک مرتبه خوشه‌ها تشکیل شوند [10]. برای این کار پس از تشکیل خوشه، سرخوشه‌ها میزان انرژی خود را در حافظه گره (مثلاً با متغیر  $E_{CH}$ ) ثبت می‌کنند. اولین سرخوشه‌ای که متوجه شد  $E_{residual} < \alpha E_{CH}$  یک عدد ثابت است و  $1 \leq \alpha \leq 0$  در زمان ارسال داده‌هایش به ایستگاه پایه بیت خاصی را یک می‌کند. ایستگاه پایه با ارسال پالس‌های همگامی به روش چندگامی ذکر شده در [5]، به تمام گره‌ها اطلاع می‌دهد که در انتهای دوره جاری باید انتخابات انجام شود. این پیام به سرعت در شبکه منتشر می‌شود. در نتیجه تا زمانی که نیاز ضروری احساس نشود لازم نیست که سربار ناشی از فاز راه‌انداز به سیستم تحمیل شود. این روش در شکل (۲) بصورت شبه-کد توصیف شده است.

```

Phase I. Initialization
 $S_{sub} \leftarrow \{v: v \text{ lies within my cluster range}\}$ 
 $chance \leftarrow \sum_{v=1}^{num \text{ of neighbors}} \frac{1}{dist^2(mv, v)}$ 
 $CH_{prob} \leftarrow \text{MAX}(C_{prob} * (E_{residual}/E_{max}), P_{min})$ 
 $is\_final\_CH \leftarrow FALSE$ 

Phase II. Main Processing
REPEAT
REPEAT
IF ( $S_{CH} \neq \emptyset$  &  $\{v: v \text{ is a tentative\_CH or final\_CH}\} \neq \emptyset$ )
IF ( $(S_{final\_CH} \leftarrow \{v: v \text{ is a final\_CH}\}) = \emptyset$ )
IF ( $NodeID = \text{MOST\_CHANCE}(S_{CH})$  AND  $CH_{prob} = 1$ )
 $CH\_msg(NodeID, final\_CH, chance)$ 
 $is\_final\_CH \leftarrow TRUE$ 
ELSE IF ( $CH_{prob} = 1$ )
 $CH\_msg(NodeID, final\_CH, chance)$ 
 $is\_final\_CH \leftarrow TRUE$ 
ELSE IF ( $\text{Random}(0,1) < CH_{prob}$ )
 $CH\_msg(NodeID, tentative\_CH, chance)$ 
 $CH_{prob} \leftarrow CH_{prob}$ 
 $CH_{prob} \leftarrow \text{MIN}(CH_{prob} * 2, 1)$ 
UNTIL  $CH_{prob} = 1$ 

Phase III. Finalization
IF ( $is\_final\_CH = FALSE$ )
IF ( $(S_{final\_CH} \leftarrow \{v: v \text{ is a final\_CH}\}) \neq \emptyset$ )
 $my\_CH \leftarrow \text{MOST\_CHANCE}(S_{final\_CH})$ 
 $\text{JOIN\_CLUSTER}(my\_CH, NodeID)$ 
ELSE
 $CH\_msg(NodeID, final\_CH, chance)$ 

```

شکل (۱): شبه‌کد پروتکل iHEED

```

 $E_{CH}$ : Residual energy of the CH node in the end of each setup phase.
 $\alpha$ : A floating point number which is constant and  $0 \leq \alpha \leq 1$ .
 $V = \{v | v \text{ is a CH node and } E_{residual}(v) > 0\}$ ,
 $W = \{w | w \text{ is a regular node and } E_{residual}(w) > 0\}$ ,
 $Z = V \cup W$ .

During the steady state phase:
 $\forall x \in V$ : IF  $E_{residual}(x) < \alpha E_{CH}(x)$  THEN
The node  $x$  sets a prespecified bit in its data packet
and informs the BS in a multi hop fashion.
 $\forall y \in Z$ : IF the synch pulse is received THEN
The node  $y$  becomes ready to hold the clustering
for the upcoming round.
The BS receives a data packet:
IF prespecified_bit = true THEN
The BS broadcasts the synch pulse one time per
round in the network via multi hop fashion.

```

شکل (۲): شبه‌کد انجام خوشه‌بندی

- انتخاب سرخوشه در یک روال تکراری انجام می‌شود.
- یک سرخوشه انتخاب شده فقط همسایه‌های خود را مطلع می‌کند.
- هر گره به دقیقاً یک خوشه متعلق است و می‌تواند مستقیماً با سرخوشه خود ارتباط برقرار کند.
- در انتهای فاز راه‌انداز، گره‌های سرخوشه زیرساختی را در شبکه ایجاد می‌کنند تا داده‌ها از طریق مسیرهای چند گامی<sup>۱۴</sup> گره‌های سرخوشه به ایستگاه پایه ارسال شوند.
- فاز راه‌انداز پروتکل iHEED به سه مرحله زیر تقسیم می‌شود (برای دیدن جزئیات هر فاز به شکل (۱) مراجعه کنید):

**فاز آغازین:** در این فاز، گره‌ها اطلاعات همسایگی خود را بروزرسانی کرده و سپس شانس خود را مطابق فرمول (۱) محاسبه می‌کنند. هر گره احتمال سرخوشه شدن خود،  $CH_{prob}$  را بدست می‌آورد. در فرمول (۱)، هرچه فاصله همسایه‌ها از گره  $v$  بیشتر باشد، مقدار  $chance_v$  کمتر می‌شود و این بدان معنی است که مرکزیت گره در میان همسایه‌هایش کم است.

از طرفی هرچه تعداد همسایه‌های گره  $v$  بیشتر باشند، آن گره  $chance$  بیشتری دارد و برای سرخوشه شدن مناسب‌تر است. می‌توان گفت که این تعریف علاوه بر مرکزیت گره در میان همسایه‌هایش، درجه (تعداد همسایه‌ها) گره را نیز در نظر می‌گیرد.

$$chance_v = \sum_{j=1}^{num \text{ of neighbors}} \frac{1}{dist^2(v, j)} \quad (1)$$

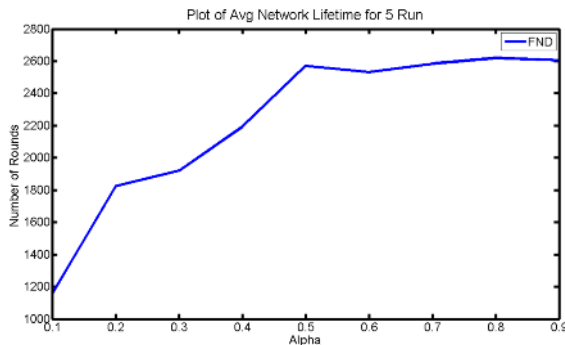
- **فاز تکراری:** گره‌های با انرژی بیشتر دارای  $CH_{prob}$  بزرگتری هستند و شانس بیشتری برای  $tentative\_CH$  شدن دارند. اگر در طی زمان اجرای این فاز، گره  $v$  پیام سرخوشه شدن را از یک گره  $final\_CH$  دریافت کرد دیگر نمی‌تواند سرخوشه شود و باید بعداً عضو سرخوشه‌ای در همسایگی خود که دارنده بیشترین شانس است بشود. در غیر اینصورت، اگر گره‌ی با  $CH_{prob} = 1$  بیشترین شانس را در میان سرخوشه‌های درون  $S_{CH}$  خود داشت  $final\_CH$  می‌شود.

- **فاز نهایی:** در طی این فاز، هر گره برای وضعیت خود تصمیم نهایی می‌گیرد. اگر گره‌ی  $final\_CH$  نباشد و حداقل یک پیام  $CH\_msg(NodeID, final\_CH, chance)$  عضو  $final\_CH$  با بیشترین شانس می‌شود. اگر گره‌ی  $final\_CH$  نباشد و حتی یک پیام  $CH\_msg(NodeID, final\_CH, chance)$  نیز دریافت نکرده باشد، خود را بعنوان  $final\_CH$  معرفی می‌کند.

همانطور که پیشتر بیان شد در خوشه‌بندی پویا، خوشه‌ها برای یک دوره تشکیل شده و برای دوره بعدی خوشه‌های جدیدی شکل

## ۵- نتایج شبیه‌سازی

اما در iHEED با تحقق شرایطی که ذکر شد انتخابات صورت می‌گیرد. همانطور که در آزمایش دوم این شکل مشاهده می‌شود تعداد دفعات انجام خوشه‌بندی در پروتکل LEACH به دلیل عدم استفاده از  $R_c$  و نیز مسیریابی چندگامی، نودها زودتر تخلیه انرژی می‌شوند.



شکل (۴): نمودار تغییرات  $\alpha$  که نشان می‌دهد به ازای هر مقدار  $\alpha$  اولین گره شبکه در کدام دوره می‌میرد.

شکل (۶) تعداد گره‌های زنده را در طول عمر شبکه نشان می‌دهد. پروتکل iHEED در مقایسه با پروتکل LEACH و هر سه هزینه ارتباطی پروتکل HEED (degree node degree) و AMRP (طول عمر شبکه را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. شکل (۷) ارزیابی را بر اساس معیارهای  $^{15}FND$ ،  $^{16}HNA$  و  $^{17}LND$  نشان می‌دهد. در این شکل، پروتکل iHEED در هر سه معیار برتری خود را نشان می‌دهد.

## ۶- نتیجه

در این مقاله، ما یک پروتکل انرژی-کارآمد برای خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بیسیم مطرح کردیم. الگوریتم ما می‌تواند برای کاربردهایی که نیازمند مقیاس‌پذیری و طول عمر بیشتر شبکه حسگر هستند، به کار رود. در iHEED، سرخوشه‌های اولیه بر اساس انرژی باقی‌مانده گره انتخاب می‌شوند. سپس از بین سرخوشه‌های اولیه که در همسایگی هم هستند، فقط یک سرخوشه نهایی با بیشترین شانس انتخاب می‌شود. سایر گره‌ها عضو خوشه‌ای در همسایگی‌شان می‌شوند که سرخوشه آن بیشترین شانس را دارا باشد. در این پروتکل، شانس بصورت متفاوتی از سایر پروتکل‌ها تعریف شده است. همچنین، عملیات خوشه‌بندی بصورت درخواستی انجام می‌شود. ارزیابی کارایی پروتکل در قیاس با دو پروتکل مشهور انجام شده است که نتایج شبیه‌سازی برتری پروتکل پیشنهادی را تا حدود ۳۰٪ نشان می‌دهد.

پروتکل‌های LEACH، HEED و iHEED بر مبنای مفروضات جدول (۱) توسط نرم افزار Matlab شبیه‌سازی شده‌اند. ما یک مدل ساده مانند [3] برای مصرف انرژی سخت‌افزار بیسیم فرض کردیم. در قالب دو آزمایش برتری پروتکل خود را بر دو پروتکل مشهور نشان می‌دهیم. آزمایش اول با ۱۰۰ گره که بطور تصادفی در محیطی با ابعاد  $100m \times 100m$  پراکنده‌اند و ایستگاه پایه در مختصات (۵۰، ۱۷۵) قرار دارد. آزمایش دوم با ۴۰۰ گره که بطور تصادفی در محیطی با ابعاد  $200m \times 200m$  پراکنده‌اند و ایستگاه پایه در مختصات (۱۰۰، ۲۷۵) قرار دارد. در آزمایش اول، اندازه شعاع خوشه ( $R_c$ ) را برای الگوریتم‌های HEED و iHEED،  $40/5m$  و در آزمایش دوم  $38/5m$  در نظر گرفته‌ایم. این مقدار با توجه به آزمایش‌های مختلف و با هدف این که تعداد سرخوشه‌ها برای این پروتکل‌ها تقریباً ۵٪ نودهای شبکه باشد، انتخاب شده است. زیرا پروتکل LEACH تقریباً ۵٪ نودهای شبکه را بعنوان سرخوشه انتخاب می‌کند.

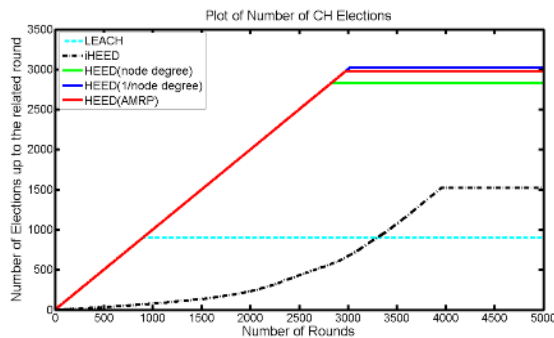
برای هر آزمایش، نمودارهایی به منظور نمایش تعداد گره‌های زنده در هر دوره، ارزیابی‌های مختلف طول عمر شبکه و تعداد دفعات عملیات خوشه‌بندی پروتکل‌ها ارائه شده است. به کمک این نتایج شبیه‌سازی، می‌توان درباره کارایی پروتکل‌ها اظهار نظر کرد.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای استفاده شده

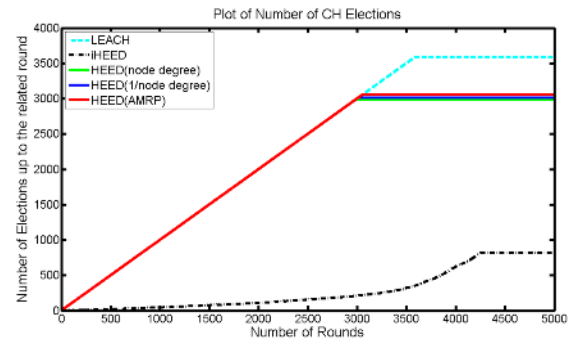
پارامتر	مقدار
$E_{tx}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
$E_{rx}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
$E_{elec}$	50 nJ/bit
$E_{sig}$	5 nJ/bit/signal
Idle power	13.5 mW
Sleep power	15 $\mu$ W
Threshold distance ( $d_0$ )	75 m
Initial energy per node ( $E_{max}$ )	2 J
Round time	20 sec
Round	5 frame
Data packet size	100 byte
Control packet size	25 byte
$\alpha$	$10^{-4}$

شکل (۴) میانگین پنج بار اجرای الگوریتم iHEED را به ازای مقادیر مختلف  $\alpha$  نشان می‌دهد. بطور میانگین، در اجرای الگوریتم iHEED با  $\alpha=0.8$  اولین گره دیرتر (در دوره بزرگتری) می‌میرد. بنابراین سایر نمودارها با ملاحظه  $\alpha=0.8$  بدست آمده‌اند.

شکل (۵) تعداد انتخابات سرخوشه را از ابتدای شروع عملیات شبکه نشان می‌دهد. شکل، گویای این مطلب است که پروتکل‌های LEACH و HEED در هر دوره انتخابات سرخوشه را انجام می‌دهد

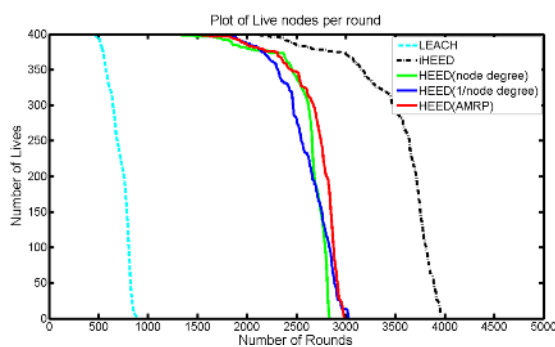


(ب)

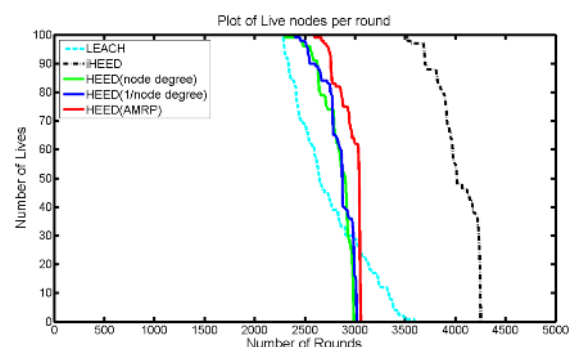


(الف)

شکل (۵): تعداد دفعات انجام خوشه‌بندی در پروتکل‌ها (الف) آزمایش اول، (ب) آزمایش دوم.

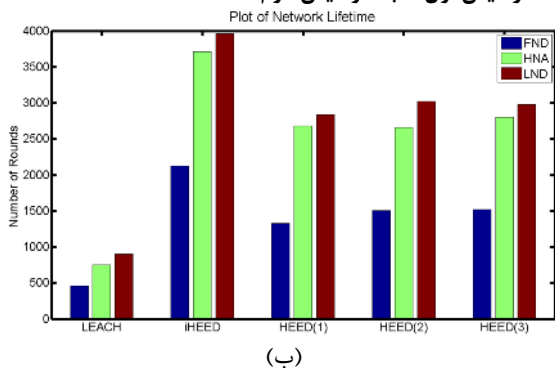


(ب)

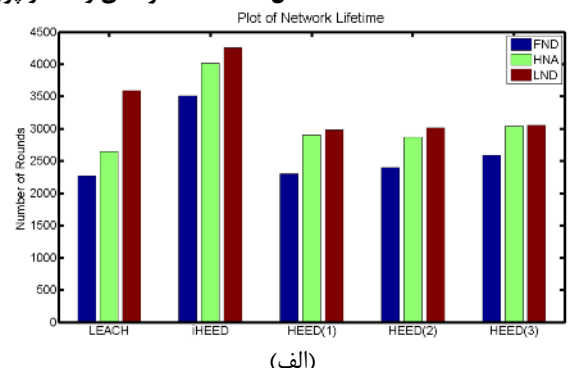


(الف)

شکل (۶): تعداد گره‌های زنده در پروتکل‌ها (الف) آزمایش اول، (ب) آزمایش دوم.



(ب)



(الف)

شکل (۷): طول عمر شبکه در پروتکل‌ها، اعداد ۱ و ۲ و ۳ نماینده هزینه‌های ارتباطی پروتکل HEED است (الف) آزمایش اول، (ب) آزمایش دوم.

[4] O. Younis, S. Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed clustering approach for Ad Hoc sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 366–379, 2004.

[5] J. Greunen, J. Rabaey, "Lightweight Time Synchronization for Sensor Networks," *WSNA '03*, Sept. 2003.

[6] S. Soro, W. Heinzelman, "Cluster head election techniques for coverage preservation in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 955–972, July 2009.

[7] T. Kaur, J. Baek, "A Strategic Deployment and Cluster-Header Selection for Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 55, no. 4, 2009.

## مراجع

[1] W. B. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," *Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology*, June 2000.

[2] I. Akiyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.

[3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 1, no. 4, pp. 660–670, Oct. 2002.

- [8] X. Zhu, L. Shen, and T. P. Yum, "Hausdorff Clustering and Minimum Energy Routing for Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 58, no. 2, 2009.
- [9] H. Taheri, P. Neamatollahi, M. Naghibzadeh, M. H. Yaghmaee Moghadam, "Improving on HEED Protocol of Wireless Sensor Networks using Non Probablistic Approach and Fuzzy Logic (HEED-NPF)," *IST'10*, Dec. 2010.
- [10] P. Neamatollahi, H. Taheri, M. Naghibzadeh, M. H. Yaghmaee Moghadam, "A Hybrid Clustering Approach for prolonging lifetime in wireless Sensor Networks (HCA)," *CNDS'11*, Feb. 2011.

## زیر نویس ها

---

- <sup>1</sup> Node
- <sup>2</sup> Cluster head
- <sup>3</sup> Base Station
- <sup>4</sup> Network lifetime
- <sup>5</sup> Wireless Sensor Networks (WSNs)
- <sup>6</sup> Energy-efficient
- <sup>7</sup> Scalable
- <sup>8</sup> Aggregation
- <sup>9</sup> Fusion
- <sup>10</sup> Round
- <sup>11</sup> Setup phase
- <sup>12</sup> Steady-state
- <sup>13</sup> On-demand clustering
- <sup>14</sup> Multi hop
- <sup>15</sup> First Node Dies
- <sup>16</sup> Half of Nodes Alive
- <sup>17</sup> Last Node Dies