

## روش کلاستر بندی توزیع شده در شبکه های سنسور بی سیم بر اساس تعادل بار

هومن همت خواه<sup>۱</sup>، یوسف صیفی کاویان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز، h-hematkah@mscstu.scu.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز، y.s.kavian@scu.ac.ir

چکیده- شبکه های سنسور بی سیم (WSN) از تعداد زیادی نود های سنسور بی سیم تشکیل شده اند که پارامترهای فیزیکی اطرافشان را به صورت خودسازمان مانیتور می کنند. استفاده از الگوریتم کلاستر بندی برای تشکیل یک شبکه سلسله مراتبی، یک بحث متداول در پیاده سازی روش هایی مانند مدیریت شبکه و جمع آوری داده ها در WSN ها می باشد. با در نظر گرفتن این موضوع که انرژی باقی مانده نودها یک عدد تصادفی است، ما یک الگوریتم جدید کلاستر بندی بر اساس تعادل بار را برای WSN ها پیشنهاد کرده ایم. تفاوت اساسی الگوریتم پیشنهادی با سایر الگوریتم های پیشین این است که در این الگوریتم کلاستر بندی بر اساس فاصله و تراکم توزیع نودها انجام می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این الگوریتم جدید می تواند ساختار کلاستر بندی را متعادل تر سازد و هم چنین طول عمر شبکه را افزایش دهد.

کلید واژه- کلاستر بندی، توزیع شده، تعادل بار، شبکه سنسور های بی سیم، خودسازمان

ها، اتمام انرژی آن ها و همچنین جا بجایی آن ها اشاره کرد [۷]. بنابر این الگوریتم ها باید در برابر تغییر توپولوژی شبکه نیز مقاوم باشند. با توجه به محل استفاده و شیوه توزیع سنسور ها در این شبکه ها امکان دسترسی آن ها به منبع انرژی وجود ندارد و عمدتاً از منابع انرژی محدود استفاده می کنند [۴]. با توجه به این موضوع پیشنهاد های بسیاری در جهت کاهش مصرف انرژی در لایه فیزیکی<sup>۲</sup> ارائه می شود که از جمله آن ها می توان به کم مصرف کردن سنسور ها و مدیریت انرژی در پردازنده های محلی اشاره کرد. اما مسئله دیگر قابل بحث افزایش طول عمر شبکه (و نه نود به تنهایی) با روش هایی است که پیوستگی شبکه را حفظ کند و باعث شود که انرژی نود ها تقریباً همزمان با هم به پایان برسد. یکی از این

### ۱- مقدمه

گسترده کاربرد و وفق پذیری بالا از یک طرف و پیشرفت های بدست آمده در زمینه ارتباطات و مدارات کم مصرف از طرف دیگر موجب افزایش توجه به شبکه های سنسور بی سیم<sup>۱</sup> (WSN) شده است و کاربرد های زیادی برای آنها پیدا شده است. امروزه کارهای بسیاری در جهت بهبود و بهینه سازی WSN ها انجام می شود. از آنجا که WSN ها اغلب در مقیاس های بزرگ ایجاد و استفاده می شوند بنابر این وفق پذیری از جمله پارامتر های مهم در الگوریتم ها است [1]. تغییر ساختار شبکه به دلایل مختلفی ممکن است اتفاق بیفتد. از جمله این دلایل می توان به عوامل محیطی، از بین رفتن نود

<sup>2</sup> Physical Layer

<sup>1</sup> Wireless Sensor Network

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} l.E_{elec} + l.\epsilon_{fs} d^2, & d < d_0 \\ l.E_{elec} + l.\epsilon_{mp} d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

که در آن ها:

$E_{Tx}$ : انرژی لازم برای ارسال

$E_{Tx-elec}$  و  $E_{Rx-elec}(l)$ : انرژی لازم برای پردازش الکترونیکی

(به مدولاسیون بیت ها بستگی دارد)

$E_{Tx-amp}$ : انرژی تقویت کننده خروجی (به فاصله از گیرنده

بستگی دارد)

$E_{Rx}$ : انرژی لازم برای دریافت (به مدولاسیون بیت ها بستگی

دارد)

$l$ : تعداد بیت

$d$ : فاصله انتقال

### ۳- ساز و کار اصلی

در الگوریتم های پیشین اندازه کلاسترها بدون توجه به فاصله آن ها از B.S بصورت یکسان انتخاب می شوند که این مسئله به مردن سریع بعضی از نود ها می شود. در بسیاری از کاربرد های مانیتورینگ انتقال داده از سنسور ها به سمت B.S است، به همین دلیل همه سنسور ها به نوعی باید اطلاعات خود را به B.S برسانند. وظیفه انتقال اطلاعات نود های دور تر به B.S به عهده نود های همسایه B.S است چرا که هرچه برد ارتباطات بیشتر باشد مصرف انرژی بیشتر می شود و هر چه تعداد اعضای کلاستر بیشتر باشند انرژی مصرفی کلاستر هد بیشتر می شود. در این مقاله به همین دلیل اندازه کلاستر هد که به B.S نزدیک تر هستند کوچکتر انتخاب می شود که خود موجب تعادل در طول عمر نواحی مختلف می شود (شکل ۱). همچنین با فاصله گرفتن از B.S اندازه کلاستر ها بزرگ تر می شود. از طرفی در محل هایی که تجمع نود ها زیاد است با انتخاب یک نود به عنوان کلاستر هد انرژی زیادی در هر سیکل از آن نود مصرف می شود و حتی ممکن است بمیرد. برای جلوگیری از این موضوع باید در این محل ها اندازه کلاستر ها کوچک و تعداد آن ها زیاد شود. با این کار ترافیک نودهای زیاد

روش ها کلاستر بندی به منظور ایجاد شبکه های سلسه مراتبی است. الگوریتم هایی بسیاری برای کلاستر بندی وجود دارد که اغلب یکی از دو پارامتر انرژی و یا ترافیک نود ها را مد نظر قرار می دهند که در بسیاری از موارد کارکرد خوبی دارند. الگوریتم بحث شده در این مقاله هر دو پارامتر فوق را مد نظر قرار می دهد و همچنین خاصیت وفق پذیری خوبی با مواردی مثل بزرگ شدن شبکه و همچنین تغییر توپولوژی شبکه دارد. همچنین با توجه به مصرف انرژی بیشتر در انتقال های با مسافت بیشتر پارامتر دیگری نیز مورد توجه قرار می گیرد و آن فاصله از نود مقصد (Base Station) است و هر چه فاصله از نود مقصد کمتر باشد اندازه کلاستر کوچکتر انتخاب می شود چرا که کلاستر هدی که فاصله کمتر با نود مقصد دارد وظیفه انتقال دیتای بقیه کلاستر ها را نیز بر عهده دارد که این خود باعث پرهیز از انتقال های با مسافت زیاد از کلاستر هد های دورتر به نود مقصد می شود. [8]

### ۲- مدل سیستم و فرض ها

مدل در نظر گرفته شده به این صورت است که دو نودی که در فاصله رادیویی هم قرار دارند دارای ارتباط دو طرفه هستند و فاصله رادیویی برای نود ها ۵ متر در نظر گرفته شده است. نود ها از تجهیزات مکان یابی استفاده نمی کنند بنابر این نود ها مکان جغرافیایی خود را نمی دانند. اندازه گیری فاصله آنها از روش RSS صورت می گیرد و نود ها به  $RSSI^1$  مجهزند. نود ها مشابه اند و در یک فضای  $50 \times 50$  متر به صورت تصادفی توزیع شده اند. انرژی اولیه همه نود ها یکسان در نظر گرفته شده است. مدل انرژی ارتباطات برگرفته از مدل ارائه شده در [5] است که در زیر به اختصار بیان می شود.

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \quad (1)$$

$$E_{Rx}(l) = E_{Rx-elec}(l) = l.E_{elec} \quad (2)$$

<sup>1</sup> Received Signal Strength Indicator

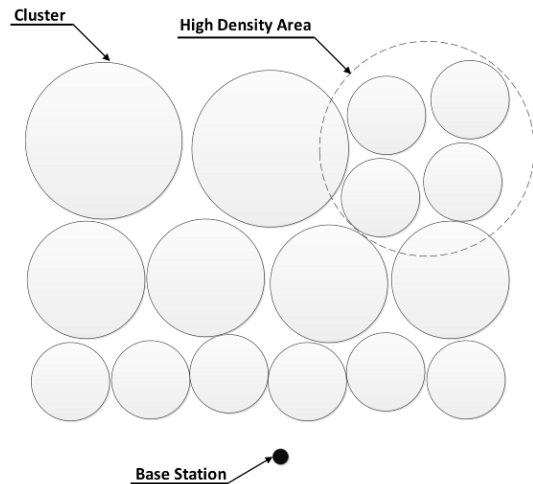
بین چند کلاسترهد تقسیم می شود و از مردن یک نود جلوگیری می شود (شکل ۱).

الگوریتم شامل سه فاز کلی است:

الف فاز انتخاب کلاستر هد (CH)

ب فاز تشکیل کلاستر

ج فاز کارکرد عادی



شکل ۱

ابتدا تعدادی نود که از قبل بصورت تصادفی انتخاب شده اند به عنوان کلاستر هد موقت کار انتخاب کلاستر هد را شروع می کنند. این نود ها با دریافت اطلاعات نود های در همسایگی Q-فاصله ای خود و تحلیل آن ها نود هایی که شرایط بهتری دارند را به عنوان کلاستر هد انتخاب میکنند. در چرخه های بعدی نودی که کلاستر هد فعلی است این کار را انجام می دهد. Q از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q = \text{Ceil} \left[ \frac{\mu D(u)}{G_k(u)} \right] \quad (4)$$

که در آن u نود انتخاب شده اولیه، D فاصله نود از B.S،  $G_k$  چگالی ارتباطی نود و  $\mu$  از پارامتر های نود است که بسته به کاربرد متفاوت است. همان طور که گفته شد فاصله نود ها از B.S از روش RSS و از رابطه زیر بدست می آید:

$$D(u) = 10^{\left( \frac{SS-A}{10} \right)} \quad (5)$$

که در آن SS قدرت سیگنال دریافتی و A افت سیگنال به ازای یک متر فاصله از B.S برحسب لگاریتم است.

با فرض این که شبکه را یک گراف  $G=(V,E)$  در نظر بگیریم بگونه ای که  $E \subseteq V^2$  داریم:

$$G_k(u) = \frac{|\{(u,v) \in E \mid u,v \in N_Q(u)\}|}{|N_Q(u)|} \quad (6)$$

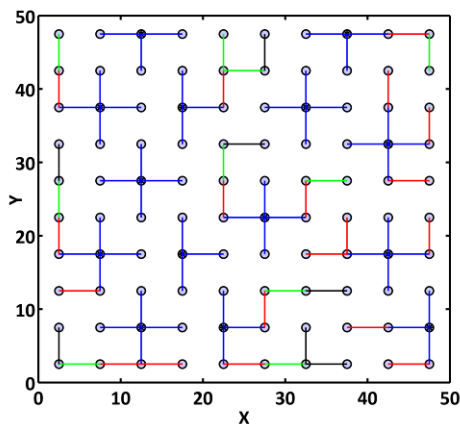
که در آن  $N_Q(u)$  تعداد همسایه های مرتبه Q نود u است و از رابطه ۷ بدست می آید.

$$N_Q(u) = \{v \in V \mid d(u,v) \leq Q\} \quad (7)$$

که در آن  $d(u,v)$  تعداد hop بین نود u و v است. در نهایت نودی که بیشترین وزن را در میان نود های در همسایگی مرتبه k نود اولیه انتخاب شده ( $U_t$ ) دارد به عنوان کلاستر هد انتخاب می شود. تابع وزن نود ها بصورت رابطه ۸ است که در آن  $\alpha$  و  $\varphi$  و  $\gamma$  ضرایب تاثیر،  $H(u)$  تعداد دفعات انتخاب شده به عنوان

در این مقاله کلاستر بندی به عهده خود نود ها می باشد و همانطور که گفته شد همه نود ها یکسان هستند و نود یا نود هایی این وظیفه را بر عهده ندارند بنابر این روش کلاستر بندی متمرکز نیست و باعث مقیاس پذیری این روش شده است چرا که در روش های متمرکز با افزایش تعداد نود ها نودی که این وظیفه را بر عهده دارد از یک طرف باید به تمام نود ها دسترسی داشته باشد که امکان پذیر نیست، از طرف دیگر با افزایش تعداد نود ها و بزرگ شدن شبکه با فرض انجام مرحله انتخاب کلاستر هد ها توسط یک نود خاص زمان زیادی صرف می شود که عملا به نسبت زمان چرخه کار کلاستر بهینه نیست [9]. با توجه به همه دلایل فرض شده در این مقاله روش کلاستر بندی توزیع شده استفاده شده است که تمام نود ها در این فرایند شرکت می کنند و زمان کلاستر بندی کاهش می یابد. از طرفی الگوریتم وفق پذیر تر می شود. در جمع بندی مطالب فوق می توان گفت که ایده اصلی این مقاله انتخاب اندازه کلاستر بر اساس فاصله از B.S و چگالی نود ها در هر محل است، که این کار به تعادل بار می انجامد. لازم به ذکر است که پارامتر های مهمی مثل انرژی باقی مانده و تعداد دفعات بیشتر انتخاب شده نیز فراموش نشده و در نظر گرفته شده اند.

کد این الگوریتم و توسط نرم افزار MATLAB 2010 نوشته شده و نتایج آن با نتایج حاصل از الگوریتم های پیشین [6] LEACH، [2] HEED و [3] WCA مقایسه شده است. همانطور که گفته شد برای شبیه سازی نود ها یک بار به صورت تصادفی و یک بار به صورت منظم در یک فضای  $50 \times 50$  متر توزیع شده اند و نود B.S در محل (0,0) قرار گرفته است. انرژی اولیه نود ها 0/5 ژول و مقدار حداکثر برای Q، 4 در نظر گرفته شده است. برای مقایسه عادلانه وقتی تعداد نود ها به 20٪ تعداد اولیه رسید یعنی 80٪ نود ها بمیرند عملاً شبکه بلا استفاده است. تعداد نود ها در این شبیه سازی ها برای حالت تصادفی 100، 125، 150، 175، 200، 225 و 250 و برای حالت منظم 100، 121، 144، 169، 196 و 225 و همه این حالت ها برای سه روش LEACH، HEED و WCA و همچنین الگوریتم ارائه شده در این مقاله اجرا شده و نتایج در نمودارهای زیر ارائه شده است. شکل کلاستر ها در یکی از چرخه ها در الگوریتم پیشنهادی برای 100 نود و با روش های توزیع مختلف در شکل های 2 و 3 آمده است.



شکل 2: N=100 توزیع منظم

کلاستر هد، Re مقدار انرژی باقیمانده و E مقدار انرژی اولیه است.

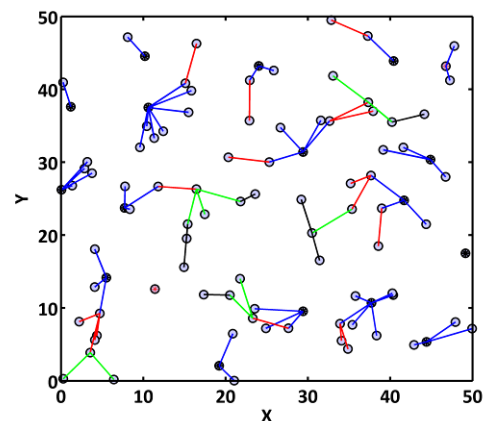
$$W = \alpha \times P[G_k] + \phi \times P\left[\frac{Re}{E}\right] - \gamma \times P[H] \quad (8)$$

نود انتخاب شده اولیه در ابتدا یک پیغام را به نود های تا همسایگی k خود می فرستد و نودی که بیشترین وزن را داشت و این پاکت را دریافت کرد خود را به عنوان کلاستر هد معرفی می کند. پس از آن پاکتی را ارسال می کند که در آن ID خودش (کلاسترهد) و تعداد hop پیموده شده را جای می دهد. اگر نودی این پاکت را دریافت کرد و هنوز تعداد hop counter به صفر نرسیده بود خود را عضو این کلاستر میکند و ID های مسیر رسیدن به کلاسترهد را از پاکت دریافت می کند و با قرار دادن ID خود درون پاکت آن را دوباره منتشر می کند. اگر پس از این اتفاق بسته دیگری از کلاسترهد دیگری دریافت کرد که تعداد hop کمتری را پیموده بود بنابر این کلاسترهد نزدیکتری را پیدا کرده است و خود را عضو آن می کند و همان مراحل بالا را تکرار می کند. حال اگر بسته ای که دریافت کرد دارای hop counter صفر بود به سادگی بسته را پاک می کند.

اگر در این مرحله نودی هیچ پاکتی دریافت نکرد به این معنی است که در محدوده هیچ کلاستری نیست بنابر این خود را به عنوان کلاسترهد معرفی می کند. پس از سازمان یافتن همه نود ها شبکه وارد فاز کارکرد عادی خود می شود و پس از گذشت مدت زمان معین که بسته به کاربرد متفاوت است دوباره روند فوق تکرار می شود و کلاستر هد فعلی نقش کلاسترهد پیشین را در چرخه بعدی بازی می کند. در این الگوریتم هر نود شانس انتخاب شدن به عنوان کلاسترهد را داراست و با تغییر ضرایب تاثیر نتایج بهینه بدست می آیند، چرا که تعادل بین میزان تاثیر میزان انرژی باقی مانده، تعداد دفعات انتخاب شده و چگالی ارتباطی می تواند تاثیر بسیار زیادی در کارا بودن این الگوریتم داشته باشد.

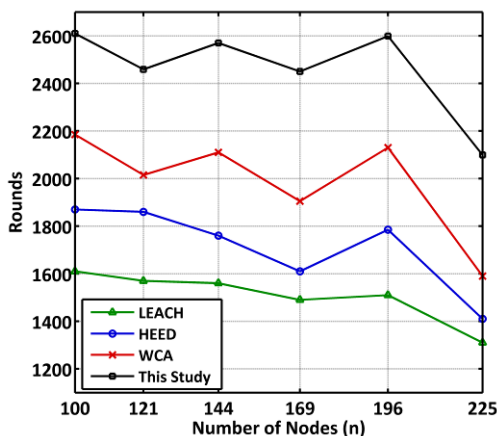
#### ۴- شبیه سازی

از نمودار های فوق می توان دریافت که به ازای تعداد چرخه های مساوی در صد نود های مرده در الگوریتم ارائه شده خیلی کمتر از سایر الگوریتم هاست. همچنین در پایان کار شبکه یعنی مردن ۸۰٪ نود های آن تعداد چرخه ها در الگوریتم ارائه شده خیلی بیشتر از سایر الگوریتم ها است. شکل ۶ نشان دهنده تعداد چرخه ها بر حسب تعداد نود ها با توزیع منظم است تا زمانی که ۸۰٪ نود ها بمیرند و شبکه از بین رود. همانطور که دیده می شود بازای تمام مقادیر N الگوریتم ارائه شده رفتار بهتری نشان می دهد. همچنین با افزایش تعداد نود ها این الگوریتم رفتار بهتری از خود نشان می دهد و حتی افتی که سایر الگوریتم ها با افزایش تعداد نود ها دارند در این الگوریتم به نسبت شیب کمتری دارد.



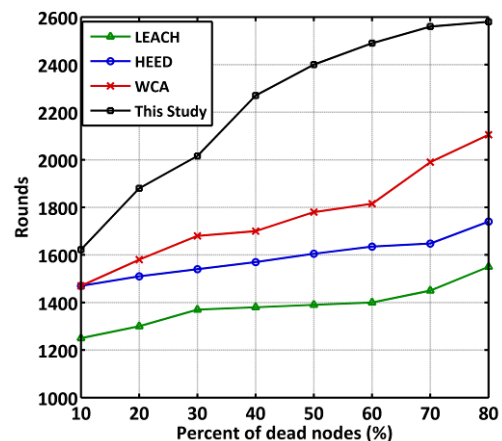
شکل ۳: توزیع تصادفی N=100

شماره چرخه بر حسب درصد نود های مرده در چهار الگوریتم ذکر شده با توزیع منظم برای ۱۴۴ نود در شکل ۴ و برای ۱۹۶ نود در شکل ۵ ارائه شده است.

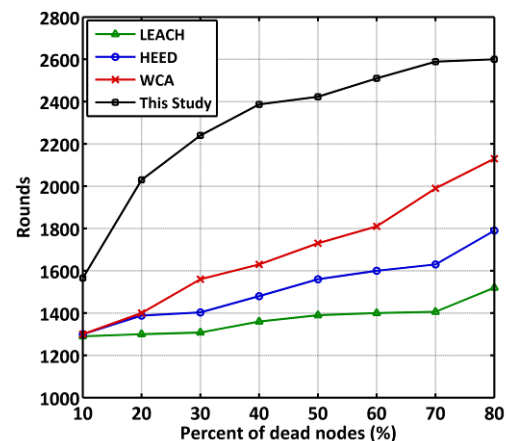


شکل ۶: طول عمر شبکه بر حسب تعداد نود ها برای توزیع منظم

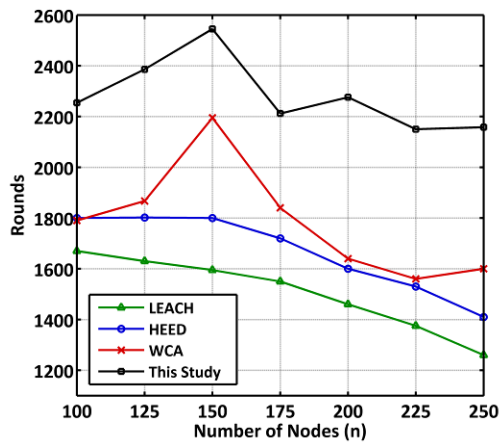
شماره چرخه بر حسب درصد نود های مرده در چهار الگوریتم ذکر شده با توزیع تصادفی برای ۱۵۰ نود در شکل ۷ و برای ۲۵۰ نود در شکل ۸ ارائه شده است.



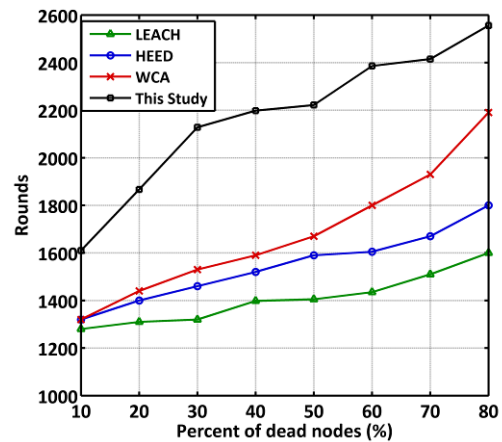
شکل ۴: تعداد چرخه بر حسب درصد نود های مرده برای ۱۴۴ نود



شکل ۵: تعداد چرخه بر حسب درصد نود های مرده برای ۱۹۶ نود



شکل ۹: طول عمر شبکه بر حسب تعداد نود ها برای توزیع تصادفی



شکل ۷: تعداد چرخه بر حسب درصد نود های مرده برای ۱۵۰ نود

همانطور که دیده می شود در اینجا نیز برای تمام مقادیر  $N$  الگوریتم ارائه شده رفتار بهتری نشان می دهد. همچنین با افزایش تعداد نود ها این الگوریتم رفتار بهتری از خود نشان می دهد.

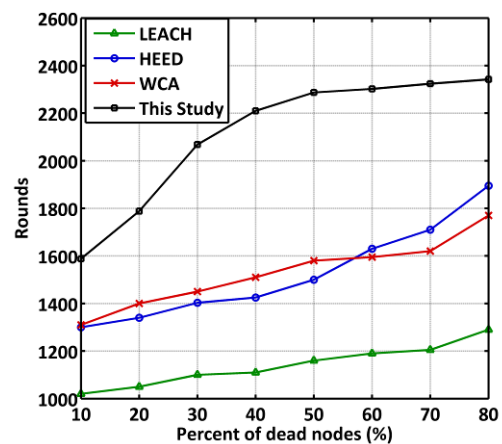
### ۵- نتیجه گیری

الگوریتم ارائه شده در این مقاله روشی توزیع شده بر اساس تعادل بار می باشد که از الگوریتم های توزیع شده و Self-organization می باشد. نتایج شبیه سازی نشان داده است که الگوریتم ارائه شده در مقایسه با الگوریتم های پیشین پایدار تر است و از آن مهم تر مقیاس پذیر است و همچنین طول عمر شبکه را به مقدار زیادی افزایش می دهد.

### منابع

- [1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, (2002): "A taxonomy of wireless micro-sensor network models," Mobile Comput. Commun. Rev., vol. 6, no. 2, pp. 28–36.
- [2] O. Younis and S. Fahmy (2004): "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," IEEE Trans. Mobile Comput. vol. 3, no. 4, pp. 366–379.
- [3] M. Chatterjee, S. K. Das, and D. Turgut, (2002): "WCA: A weighted clustering algorithms for mobile ad hoc networks," Cluster comput., vol.5, no. 2, pp. 193–204.
- [4] N. Mitton, B. Sericola, S. Tixeuil, E. Fleury, and I. G. Lassous, (2011): "Selfstabilization in self-organized wireless multihop networks, Ad Hoc Sensors Wireless Netw., vol. 11, no. 2, pp. 1–34.
- [5] W. R. Heinzelman, (2002): "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 1, no. 4, pp. 660–670, Oct.
- [6] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energyefficient communication protocol for wireless micro

از این نمودار ها نیز می توان دریافت که به ازای تعداد چرخه های مساوی در صد نود های مرده در الگوریتم ارائه شده خیلی کمتر از سایر الگوریتم هاست. همچنین در پایان کار شبکه یعنی مردن ۸۰٪ نود های آن تعداد چرخه ها در الگوریتم ارائه شده خیلی بیشتر از سایر الگوریتم ها است.



شکل ۸: تعداد چرخه بر حسب درصد نود های مرده برای ۲۵۰ نود

شکل ۹ نشان دهنده تعداد چرخه ها بر حسب تعداد نود ها با توزیع منظم است تا زمانی که ۸۰٪ نود ها بمیرند و شبکه از بین رود.

- sensor networks,” in Proc.33rd Annu Hawaii Int. Conf. Syst. Sci., Jan. 2000, pp. 1–10.
- [7] H. Hatime, K. Namuduri, and J. M. Watkins, “OCTOPUS: An ondemand communication topology updating strategy for mobile sensor networks,” IEEE Sensors J., vol. 11, no. 4, pp. 1004–1012, Apr. 2011
- [8] C. H. Lin and M. J. Tsai, “A comment on HEED: A hybrid, energyefficient,distributedclustering approach for ad hoc sensor networks,”IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 5, no. 10, pp. 1471–1472, Oct. 2006.
- [9] O. Younis and S. Fahmy, “HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for adhoc sensor networks,” IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 3, no. 4, pp. 366–379, Dec. 2004.