

## انتخاب پویای سرخوشی با توازن انرژی در شبکه های سنسور بیسیم ناهمگن

مصطفی چهاردولی<sup>۱</sup>، محمد مهدی شیرمحمدی<sup>۲</sup>، محمد رضا میدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، گروه کامپیوتر

همدان، ایران

chhardoli@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، گروه کامپیوتر

همدان، ایران

mmshirmohammadi@gmail.com

<sup>۳</sup> دانشگاه امیرکبیر

تهران، ایران

mmeybodi@aut.ac.ir

**چکیده**—افزایش طول عمر شبکه، توسعه پذیری و موازنی بار مهم بسیاری از کاربردهای شبکه های سنسوری بی سیم می باشند. خوشبندی ندهای سنسور یک تکنیک موثر برای رسیدن به این اهداف می باشد. در این مقاله ما یک روش موثر خوشبندی برای موازنی بار و افزایش طول عمر شبکه معرفی می کنیم. بر مبنای این روش ما پروتکل (EBDEP) Energy Balance Dynamic Election Protocol را معرفی می کنیم که بطور پیوسته سرخوشه ها را بر مبنای سطح انرژی و چگالی ندها انتخاب می کند. EBDEP هیچ پیش فرضی را در مورد سطح انرژی ندها در نظر نمی گیرد و خوشبندی بصورت محلی و توزیع شده انجام می شود. پروتکل از نظر پردازش و مبادله پیغام سربار کمی دارد. توجه به چگالی ندها موجب موازنی بار در شبکه می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که EBDEP چندین مشخصه شبکه را نسبت به پروتکل های LEACH و SEP<sup>۱</sup> بهبود داده و موازنی بار را در سرتاسر شبکه ایجاد کرده است.

### Energy balance dynamic election protocol for cluster heterogeneous wireless sensor network

**Abstract**—Prolonged network lifetime, scalability, and load balancing are important requirements for many sensor network applications. Clustering sensor nodes is an effective technique for achieving these goals. In this work, we propose a energy-efficient approach for clustering nodes for load balancing and Prolong network lifetime. Based on this approach, we present a protocol, EBDEP(Energy balance dynamic election protocol), that periodically selects cluster heads according to energy level and density of nodes. EBDEP does not make any assumptions about the energy level or density of nodes and clustering process is local and distributed. The protocol incurs low overhead in terms of processing cycles and messages exchanged. It also achieves fairly uniform cluster head distribution across the network. considering to nodes density caused load balancing in network. simulation results demonstrate that EBDEP enhance in terms of several cluster characteristics than LEACH and SEP and balanced load In all of the network.

**کلمات کلیدی:** شبکه سنسور بی سیم ناهمگن، انتخاب سرخوشی، موازنی بار، طول عمر، پوشنش

سنسورها نسبت بهم کاهش، و یا افزایش دادیم و توانستیم طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل های LEACH و SEP افزایش دهیم. و حتی مدت زمان ظاهر شدن اولین سنسور مرده تا آخرین آن (پارامتر Instable region) را نسبت به LEACH در حدود پنج برابر بهبود دادیم.

ما در این مقاله در فصل ۲ به بررسی پروتکل های قبلی در رابطه بانتخاب سرخوشة می پردازیم، در فصل ۳ پروتکل EBDEP را تشریح کرده، فصل ۴ مسائل مربوط به شبیه سازی را توضیح می دهیم و در فصل ۵ نتیجه گیری انجام می شود.

## ۲- کارهای گذشته

در شبکه سنسور دو الگوریتم مهم سلسله مراتبی با هدف جمع آوری و هدایت داده ها در شبکه های سنسور بی سیم به نام های LEACH<sup>۱</sup> و SEP<sup>۲</sup> وجود دارد. مبنای طراحی بیشتر پروتکل های سلسله مراتبی پروتکل LEACH می باشد. ما عملکرد و خصوصیات این دو پروتکل را تشریح کرده و آنها را از نظر معیارهای کارایی با پروتکل جدید EBDEP مقایسه می کنیم.

### LEACH -۱-۲

در الگوریتم LEACH سرخوشه ها بصورت تصادفی از بین سنسورها انتخاب می شوند و تمام سنسورها شناسنی یکسانی برای سرخوشه شدن دارند. در این الگوریتم سنسورها بصورت تصادفی در یک ناحیه توزیع می شوند و سنسورها متحرک نمی باشند. سنسورها در گروهها یا خوشه هایی دسته بندی می شوند و هر گروه یک سرددسته دارد. که هر ناحیه از طریق سرخوشه اش با Sink که در مرکز شبکه قرار دارد، بصورت مستقیم ارتباط برقرار می کند. LEACH دارای چهار مرحله عملیاتی: پیشنهاد، تشکیل گروه، ایجاد زمانبندی، و انتقال داده است. مهمترین کاربرد LEACH جمع آوری داده ها از محیط می باشد و با توجه به اینکه، به جدول مسیر یابی سنگین نیازی ندارد دارای سریار پایینی است. هر سنسور در این الگوریتم با تولید یک عدد تصادفی تصمیم می گیرد که سرخوشه باشد یا نباشد. با توجه به انتخاب تصادفی سرخوشه ها این احتمال وجود دارد در برخی از زمان ها قسمتی از شبکه سرخوشه نداشته باشد و در قسمت دیگری چگالی سرخوشه ها زیاد باشد. در مجموع هیچ قاعده منطقی برای تغییرات توپولوژیکی و انرژی باقیمانده سنسورها وجود ندارد که بر انتخاب شدن ندها<sup>۳</sup> بعنوان سرخوشه تاثیر گذارد. LEACH توانسته تنها به نحوی انتخاب سرخوشه را در شبکه میسر سازد.[2]

### SEP ۲-۲

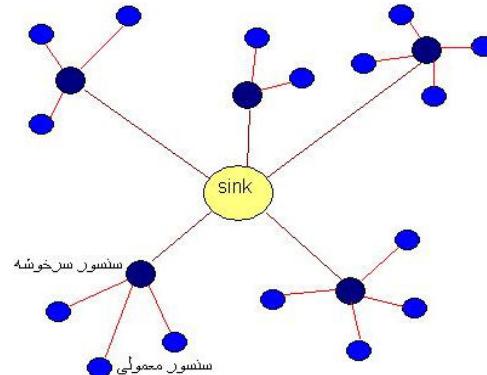
پروتکل SEP توسعه یافته LEACH است که هدف اصلی آن بهره گیری از سنسورهای ناهمگن در شبکه های سنسور بی سیم است این

## ۱- مقدمه

پیشرفت های اخیر در ارتباطات بی سیم و سیستم های تعییه شده WSNs<sup>۱</sup> (Wireless Sensor Network) شده است و استفاده از سنسورهای بی سیم در بیشتر وسایل الکترونیکی را ممکن نموده است. یک شبکه سنسور بی سیم شامل تعداد زیادی سنسور است که دارای توان محاسباتی، و با فرکانس های رادیویی (RF)<sup>۲</sup> با هم ارتباط دارند و در کارهایی مانند: شناسایی و جمع آوری اطلاعات، و کنترل وضعیت استفاده می شوند. شبکه های سنسور بی سیم که در موضوعات: نظامی، بهداشت، محیط، صنعت، کشاورزی، سرگرمی و ... کاربرد دارند نظر پژوهشگران بسیاری را بخود جلب کرده اند و انقلاب کوچکی را در تحول اطلاعات بوجود آورده اند.[6]

معماری شبکه های سنسور به این ترتیب است که سنسورها بصورت تصادفی (یا یکنواخت) در یک ناحیه پراکنده می شوند و رویدادها را شناسایی، کنترل و پردازش می کنند و سپس به اطلاع ایستگاهی بنام Sink می رسانند.[1]

برخی از پروتکل ها در WSNs برای تامین نیازمندی های شبکه های سنسور از خوشبندی<sup>۳</sup> استفاده می کنند بدین ترتیب که سنسورها به ناحیه هایی تقسیم می شوند که هر ناحیه دارای یک سرخوشه است و پس از وقوع یک رویداد سنسورهای هر ناحیه، اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال می کنند و سرخوشه این اطلاعات را مستقیم به اطلاع Sink می رساند.[2] (شکل ۱)



شکل ۱: خوشبندی در شبکه های سنسور بی سیم

ویژگی های مهم و اصلی شبکه های سنسور بی سیم اینست که قابلیت خود سازماندهی در محیط دارند و با بردازه و مسیر یابی چندگامی با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند. همچنین این شبکه ها بعلت خرایی، محدودیت های انرژی، حافظه و توان ایجاد ارتباط، دارای توپولوژی متغیر هستند.

در این مقاله با ارائه پروتکلی بنام EBDEP احتمال انتخاب شدن سرخوشه ها را نسبت به سطح انرژی هر سنسور و فاصله و چگالی

با توجه به تاثیر هر همسایه ، از مقدار پارامتر  $X$  کاسته (در صورتی که انرژی همسایه بیشتر باشد) و یا بر آن می‌افزاییم (در صورتی که انرژی همسایه کمتر باشد).

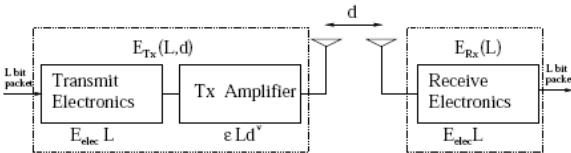
در نهایت پس از بررسی رابطه  $1 - \frac{X}{d} > 0$  شود احتمال سرخوشه شدن آن بیشتر و اگر  $1 - \frac{X}{d} < 0$  بود احتمال سرخوشه شدن آن کمتر می‌شود.

در این پروتکل اگر سنسوری بعنوان سرخوشه انتخاب شد تا  $p/(\sum_{n \in G} p)$  دور بعدی نمی‌تواند سرخوشه شود. احتمال سرخوشه شدن سنسورها است. در پروتکل پیشنهادی EBDEP سنسورهایی که بعنوان سرخوشه انتخاب نشده‌اند عضو مجموعه  $G$  خواهند بود و احتمال سرخوشه شدن سنسورهای این مجموعه بعد از هر دور افزایش می‌یابد در ابتدای هر دوره هر سنسور که به مجموعه  $G$  تعلق دارد بصورت مستقل یک عدد تصادفی بین  $[0, 1 - \frac{X}{d}]$  انتخاب می‌کند اگر عدد تصادفی کمتر از حد آستانه  $(n-1)/p$  باشد سنسور در دور فعلی سرخوشه خواهد شد. هر سنسور در هر دوره  $(1-p)/p$  یکبار سرخوشه خواهد شد حد آستانه از رابطه  $2 - \frac{X}{d} \leq 1 - \frac{X}{d}$  بدست می‌آید:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

در اینجا قسمت اول رابطه هنگامی اتفاق می‌افتد که  $n \in G$  باشد و  $r$  شماره دور فعلی را مشخص می‌کند (که از صفر شروع می‌شود).

در این مقاله برای هزینه ارتباط بین سنسورها از مدلی شبیه به مدل معرفی شده در مرجع [4] استفاده شده است.



شکل ۲: مدل رادیویی انرژی

مطابق مدل رادیویی مصرف انرژی که در شکل ۲ معرفی شده برای رسیدن به نرخ قابل قبول<sup>۷</sup> SNR ، انرژی اختصاص یافته ارسال پیغام با طول  $L$ -bit در مسافت  $d$  ، از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$E_{tx}(l, d) = \begin{cases} L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2 & \text{if } d \leq d_0 \\ L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{mp} \cdot d^4 & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

انرژی مصرف شده به ازاء هر بیت در مدار فرستنده یا گیرنده می‌باشد ،  $\epsilon_{fs}$  و  $\epsilon_{mp}$  بستگی به مدل تقویت کننده مدار ارسال کننده دارد و  $d$  فاصله بین فرستنده و گیرنده است که با برابر گرفتن  $d=d_0$

بروتکل عملکردی همانند LEACH دارد با این تفاوت که در پروتکل SEP سنسورها دارای دو سطح متفاوت انرژی هستند.(سنسورها ناهمگنند) در این پروتکل با فرض بر اینکه انرژی بخشی از سنسورها بیشتر از است، احتمال سرخوشه شدن سنسورهای با انرژی بالاتر را بیشتر درنظر گرفته و برای مقایسه با حالتی مشابه در پروتکل LEACH، توانسته معیارهای کارایی را نسبت به LEACH بهبود دهد.[3]

اما مشکل اساسی LEACH و SEP آنست که سرخوشهای را با توجه به تغییرات سطح انرژی و موقعیت آنها انتخاب نمی‌کند و همچنین به این علت که بصورت ایستا عمل می‌کنند ، نمی‌توانند با توجه به شرایط توپولوژیکی شبکه تغییر کنند. مقایسه پروتکل های LEACH و SEP در شرایط یکسان ، در فصل ۴ بیان شده است.

### ۳- پروتکل EBDEP

همانطور که در فصل قبلی بیان شد در LEACH سرخوشهای بصورت تصادفی و بر پایه احتمال انتخاب می‌شوند و در SEP احتمال سرخوشه شدن سنسورهای با انرژی بیشتر افزایش یافته، اما در پروتکل جدید انتخاب شدن سرخوشهای ها از حالت وابستگی تنها بخود خارج شده و پروتکل EBDEP توانسته احتمال انتخاب شدن سنسورها بعنوان سرخوشه را در شبکه بصورت پویا تغییر دهد. در پروتکل EBDEP در مدت زمانی که شبکه عملیاتی است احتمال سرخوشه شدن ندها با توجه به اختلاف سطح انرژی ند با همسایه‌ها، فاصله ند با همسایه‌ها و تعداد همسایه‌ها، کاهش یافزایش می‌یابد. اگر با در نظر گرفتن فاصله همسایه و انرژی سنسور، سطح انرژی همسایه کمتر از سطح انرژی ند باشد با توجه به فاصله بین آنها احتمال سرخوشه شدن افزایش می‌یابد و اگر سطح انرژی همسایه بیشتر باشد ، احتمال سرخوشه شدن کاهش می‌یابد. مقدار پارامتر  $X$  با در نظر گرفتن فاصله همسایه و اختلاف سطح انرژی سنسور همسایه، افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر سطح انرژی همسایه کمتر از سطح انرژی گره باشد مقدار  $X$  افزایش و اگر سطح انرژی همسایه بیشتر باشد ، مقدار  $X$  کاهش می‌یابد وقتی برای تمام همسایه‌های یک ند تاثیر آنها مشخص شد بر اساس مقدار نهایی  $X$  احتمال سرخوشه شدن افزایش یا کاهش می‌یابد. فاصله بین ندها در مقدار افزایش یا کاهش مقدار پارامتر  $X$  تاثیر خواهد داشت با افزایش فاصله تاثیر همسایه کاهش می‌یابد و با کاهش فاصله تاثیر افزایش می‌یابد. پارامتر  $X$  از رابطه ۱ بدست می‌آید:

$$X = X + (E - E_{Ni}) * (1/dist_i) \quad (1)$$

در این رابطه مقدار اولیه پارامتر  $X$  را صفر در نظر گرفته و  $E$  مقدار انرژی همسایه  $i$  است. همچنین  $dist_i$  فاصله ند تا همسایه  $i$  است.  $E_{Ni}$  نیز فاصله ند تا همسایه  $i$  است.

داریم ( $E_{fs}/E_{mp}$ ) برای دریافت پیغام  $L$  بیتی نیز انرژی رادیویی

صرف شده برابراست با:

$$E_{Rx} = L \cdot E_{elec} \quad (4)$$

انرژی مصرف شده در سرخوشه هم در طول دوره از طریق رابطه ۵ بدست می آید:

$$E_{CH} = \left( \frac{n}{k} - 1 \right) L \cdot E_{elec} + \frac{n}{k} L \cdot E_{DA} + L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} d_{tc}^2 \quad (5)$$

K تعداد خوشها را تعیین می کند و EDA هزینه پردازش (ترکیب داده) هر بیت برای گزارش به Sink است.  $d_{toBS}$  میانگین فاصله بین سرخوش و Sink می باشد. انرژی مصرف شده توسط سنسورهای غیر سرخوشه بالاستفاده از رابطه ۶ بدست می آید:

$$E_{nonCH} = L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d_{toCH}^2 \quad (6)$$

$d_{toCH}$  میانگین فاصله بین سرخوش و سنسور می باشد.

### ۱-۳ معیارهای کارایی

Load balancing (موازنی بار): درصد انرژی باقیمانده کل شبکه زمانی که اولین ند می میرد.

Stability period (دوره پایداری): فاصله زمانی بین شروع عملکرد شبکه تا زمانی که اولین سنسور می میرد.

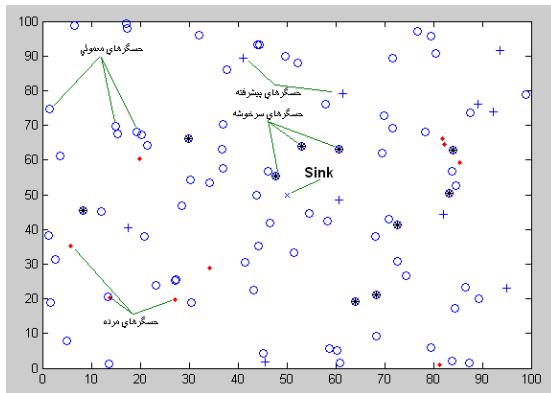
Instability period (دوره ناپایداری): فاصله زمانی بین اولین سنسور مرده تا آخرین سنسوری که می میرد.

Number of cluster heads per round (گذردهی): این معیار به تعداد سنسورهایی که بطور مستقل به Sink اطلاعات را ارسال می کنند اشاره دارد.

شبیه سازی این پروتکل و نتایج حاصل از آن در فصل بعدی تشریح شده است.

### ۴ - شبیه سازی EBDEP

ما یک شبکه سنسور بی سیم خوشها را در ناحیه ای با ابعاد  $100 \times 100$  و با توزیع یکنواخت یکصد سنسور بصورت تصادفی در آن را با نرم افزار Matlab شبیه سازی کردیم.(شکل ۳) در این شبیه سازی Sink در مرکز قرار دارد و فاصله سنسورها تا Sink حداقل ۷۰ متر است. انرژی اولیه ۹۰ درصد سنسورها برابر با  $E_0 = 0.5$  جول و انرژی ۱۰ درصد سنسورها دو برابر سنسورهای معمولی است.(این ترکیب انرژی به علت بکار گیری سنسورهای ناهمگن است و تاثیری در رفتار پروتکل ندارد و پروتکلهای SEP و LEACH نیز از این قاعده پیروی



شکل ۳: نمایی از محیط شبیه سازی شده

طول اجرای شبیه سازی را برای 2500 دور در نظر گرفتیم و همچنین انرژی مصرفی بر اساس جدول ۱ محاسبه شده است.

جدول ۱: مشخصه های رادیویی استفاده شده در شبیه سازی

عملیات	انرژی مصرف شده
تجهیزات فرستنده/گیرنده	$E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$
ترکیب داده	$EDA = 5 \text{ nJ/bit/report}$
$d_{toBS} \leq d$	$\epsilon_{fs} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$
$d_{toBS} > d$	$\epsilon_{mp} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$

با توجه به اینکه در شبکه سنسور بی سیم در شرایطی که ندها ناهمگن باشند پروتکل ها عملکرد مطلوب خود را نمی توانند نشان دهند اما پروتکل EBDEP نسبت به پروتکل های LEACH و SEP در حالی که ندها ناهمگن هستند عملکرد پایدارتری نشان می دهد.

در پروتکل EBDEP احتمال سرخوش شدن سنسورها براساس سطح انرژی ، فاصله و چگالی سنسورها نسبت بهم می تواند کم و یا زیاد شوند اما در پروتکل های LEACH و SEP این احتمال بصورت ایستا است و براساس موقعیت و سطح انرژی ندها در شبکه نمی تواند تصمیم بگیرد.

نمودار ۱ علاوه بر اینکه تعداد سنسورهای مرده در هر دور را نشان می دهد، مشخص می کند که پروتکل EBDEP ۳۳ درصد پارامتر SEP Stable region را نسبت به LEACH و ۲۶ درصد نسبت به Instable region<sup>۸</sup> بهبود داده است. همچنین با توجه به این نمودار پارامتر <sup>۹</sup> SEP در پروتکل EBDEP نسبت به دو پروتکل LEACH و SEP ، برتری بیش از پنج برابر (پانصد درصد) و سه برابر (سیصد درصد) بهبود را نشان می دهد.

# سیزدهمین کنفرانس ملی انجمن کامپیوتر ایران

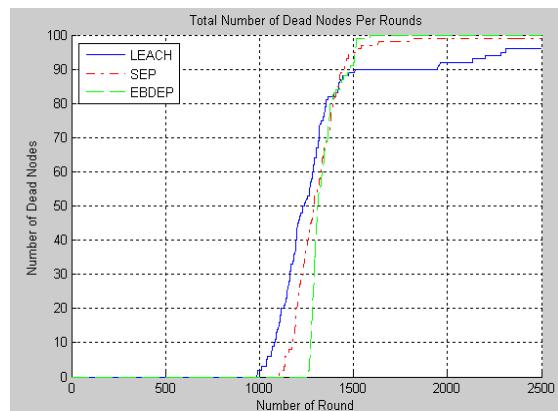
## جزیره کیش، خلیج فارس، ایران ۱۹ الی ۲۱ اسفند ۱۳۸۶

نمودار ۳ نیز میزان گذردهی پروتکل‌ها را نشان می‌دهد. بدليل بیشتر بودن تعداد سرخوشه‌های فعال در واحد زمان در پروتکل EBDEP نسبت به پروتکل‌های SEP و LEACH، گذردهی و دقت اطلاعات دریافتی از محیط در EBDEP بیشتر است.

جدول ۲: درصد انرژی باقیمانده کل ندها هنگام مردن اولین ند

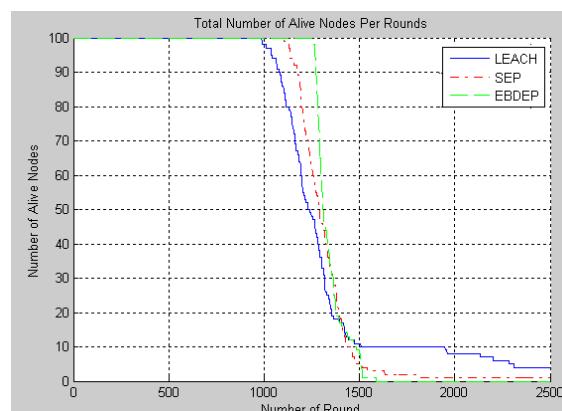
باقیمانده انرژی(درصد)	پروتکل
%۲۶	LEACH
%۱۹	SEP
%۵	EBDEP

همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد پروتکل EBDEP نسبت به دو پروتکل دیگر موازن‌های بار بهتری دارد. در پروتکل LEACH در زمان مردن اولین ند هنوز %۲۶ (یک چهارم) انرژی ندها باقیمانده است و برای پروتکل SEP این نسبت %۱۹ (یک پنجم) می‌باشد ولی در پروتکل EBDEP هنگام مردن اولین ند %۵ (یک بیستم) از انرژی کل ندها باقیمانده است و این نسبتها نشان‌دهنده موازن‌های بار بهتر این پروتکل نسبت به پروتکلهای LEACH و SEP می‌باشد.



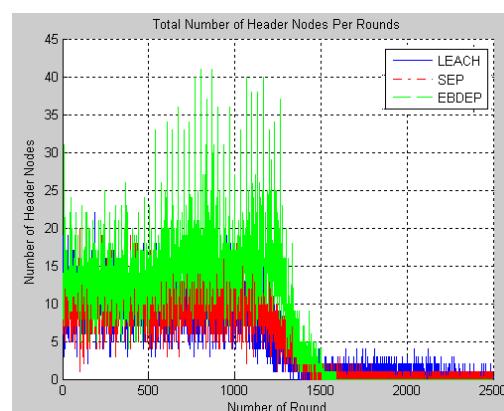
نمودار ۱: تعداد سنسورهای مرده در هر دور

هر چقدر مقدار پارامتر Instable region کمتر باشد نشان می‌دهد پروتکل موازن‌های بار بهتری داشته و سطح پوشش شبکه پس از پایان یافتن انرژی ندها، متعادل کاهش پیدا کرده است.



نمودار ۲ : تعداد سنسورهای زنده در هر دور

نمودار ۲ نیز تعداد سنسورهای زنده در هر دور را مشخص می‌کند. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود در پروتکل EBDEP تعداد سنسورهای زنده نسبت به پروتکلهای LEACH و SEP بیشتر است.



نمودار ۳: میزان گذردهی پروتکلها

## مراجع

- [1] D. Chen and P. K. Varshney, "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey", in Proc. of International Conference on Wireless Networks (ICWN '04), pp. 227-233, Las Vegas, Nev., USA, June 2004.
- [2] W.R.Heinzelman, A.P.Chandrakasan and H.Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks" IEEE Transactions on Wireless Communications, 1(4):660-670,2002
- [3] Georgios Smaragdakis, Ibrahim Matta and Azer bestavros, "SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks", Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA 2004),Boston MA, August 2004.
- [4] ——, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, no. 4, pp. 660–670, October 2002.
- [5] Sensor networks and applications, IEEE Proc., 8, Aug. 2003.  
D. Estrin et al., "Embedded, Everywhere: A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computers," Nat'l Research Council Report, 2001.

## زیرنویس‌ها

<sup>1</sup> Wireless sensor networks

<sup>2</sup> Radio Frequency

<sup>3</sup> clustering

<sup>4</sup> low-energy adaptive clustering hierarchy

<sup>5</sup> Stable Election Protocol

<sup>6</sup> Nodes

<sup>7</sup> signal to noise ratio

<sup>8</sup> مدت زمان ظاهر شدن اولین سنسور مرده از شروع عملکرد شبکه

<sup>9</sup> مدت زمان ظاهر شدن اولین سنسور مرده تا آخرین آن