

# خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از اتوماتاهای یادگیر سلولی

محمد احمدی نیا

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان، ایران

[ahmadinia@gmail.com](mailto:ahmadinia@gmail.com)

محمد رضا میبیدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران

[mmeybodi@aut.ac.ir](mailto:mmeybodi@aut.ac.ir)

چکیده: شبکه های حسگر بی سیم که برای نظارت و کنترل یک محیط خاص مورد استفاده قرار می گیرند، از تعداد زیادی گره حسگر ارزان قیمت تشکیل شده اند که به صورت متراکم در یک محیط پراکنده می شوند. یکی از عمده ترین چالش ها در این نوع شبکه ها، محدودیت مصرف انرژی است که مستقیماً طول عمر شبکه حسگر را تحت تأثیر قرار می دهد. خوشه بندی بعنوان یکی از روش های شناخته شده ای است که بطور گسترده ای برای مواجه شدن با این چالش مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله روشی کارا برای خوشه بندی شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از تکنیک اتوماتای یادگیر سلولی ارائه گردیده است. روش ارائه شده در چند مرحله نودهای سرخوشه را بر اساس پارامترهای مختلف مثل میزان انرژی و تعداد همسایگان و .... شناسایی می نماید و خوشه هایی متوازن با سرخوشه هایی با انرژی بالاتر نسبت به نودهای معمولی ایجاد می نماید. جهت ارزیابی روش پیشنهادی، با استفاده از شبیه ساز J-sim، آزمایشاتی انجام گرفته است و روش ارائه شده با تعدادی از بهترین الگوریتمهای خوشه بندی مقایسه گردیده است. نتایج شبیه سازی عملکرد مطلوب روش ارائه شده را نشان می دهند.

واژه های کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، خوشه بندی، اتوماتاهای یادگیر سلولی، کیفیت سرویس.

## ۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم که برای نظارت و کنترل یک محیط خاص مورد استفاده قرار می گیرند، از تعداد زیادی گره حسگر ارزان قیمت تشکیل شده اند که به صورت متراکم در یک محیط پراکنده می شوند. اطلاعات جمع آوری شده بوسیله حسگرها باید به یک ایستگاه پایه منتقل شوند. در ارسال مستقیم، هر حسگر مستقیماً اطلاعات را به مرکز می فرستد. که به دلیل فاصله زیاد حسگرها از مرکز، انرژی زیادی مصرف می کنند. در مقابل طراحی هایی که فواصل ارتباطی را کوتاهتر می کنند، می توانند دوره حیات شبکه را طولانی تر کنند. و لذا ارتباط های چندگامی در این گونه شبکه ها مفیدتر و مقرون به صرفه تر از ارتباط های تک گامی هستند.

اما در ارتباط های چندگامی نیز بیشتر انرژی نودها صرف ایجاد ارتباط با حسگرهای دیگر می شود، که منجر به مصرف زیاد انرژی در حسگرها می گردد.

یکی از راه حل های این مشکل، خوشه بندی گره ها است. خوشه بندی کردن به این صورت است که شبکه را به تعدادی خوشه های مستقل قسمت بندی می کنیم که هر

کدام یک سر خوشه دارند که همه اطلاعات را از گره های داخل خوشه اش جمع آوری می کند. سپس این سر خوشه ها اطلاعات را مستقیماً یا به صورت گام به گام با تعداد گامهای کمتر و صرفاً با استفاده از نودهای سرخوشه به مرکز اصلی ارسال می کنند. خوشه بندی کردن می تواند به میزان زیادی هزینه های ارتباطی اکثر گره ها را کاهش دهد.

در این مقاله روشی کارا برای خوشه بندی شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از تکنیک اتوماتای یادگیر سلولی ارائه گردیده است. ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است در بخش ۲ خلاصه ای از کارهای انجام شده ارائه می گردد. سپس اتوماتای یادگیر سلولی که بعنوان استراتژی اصلی یادگیری در الگوریتم پیشنهادی است، در بخش ۳ باختصار شرح داده میشود. در بخش ۴ الگوریتم پیشنهادی و در بخش ۵ نتایج شبیه سازی ها ارائه می گردد. بخش پایانی مقاله نتیجه گیری می باشد.

## ۲- کارهای انجام شده

در این بخش تعدادی از کارهای انجام شده در زمینه خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم ارائه می گردد:

الگوریتم خوشه بندی توزیع شده در [1] نودها را ثابت و با وزنه های مقدار داده شده در نظر می گیرد. الگوریتم خوشه بندی وزن دهی شده چندین خصوصیت را در یک پارامتر ترکیب می کند که این پارامتر در خوشه بندی استفاده می شود.

در [2] استفاده از یک درخت پوشا پیشنهاد شده است تا خوشه های با خواص مناسب ایجاد گردد. در این الگوریتم انرژی به عنوان پارامتر اصلی مورد تاکید قرار نمی گیرد.

در [3] یک الگوریتم خوشه بندی غیر فعال برای استفاده در مسیریابی مبتنی بر درخواست در شبکه های حسگر پیشنهاد گردیده است.

در [4] یک روش خوشه بندی ارائه گردیده است که مبتنی است بر درجه (متصل بودن) و پایینترین شناسه نود.

LEACH [5] یک پروتکل توزیع داده با کاربرد ویژه است که با استفاده از خوشه بندی عمر شبکه را افزایش می دهد.

در [6] ارائه دهنده گان از یک روش خوشه بندی تصادفی شبیه LEACH استفاده کرده اند اما روشی جهت محاسبه مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم از قبل بکار برده اند و از ارسال چند گامی برای ارتباطات درون خوشه ای و بین خوشه ای استفاده نموده اند.

در [7] یک ساختار سلسله مراتبی چند سطحی پیشنهاد گردیده است که سرخوشه ها بر اساس درجه و انرژی باقیمانده شان انتخاب می گردند.

[8] شبکه حسگر را در تعداد ثابتی تکرار با استفاده از درجه نود به عنوان پارامتر اصلی خوشه بندی می کند.

در [9] نویسنده گان تاثیر روش های ارتباطی مختلف (تک گامی و چند گامی) بر روی کارایی پروتکل های خوشه بندی را مورد مطالعه قرار می دهند.

پروتکل HEED که در [10] آمده است یک پروتکل توزیع شده است که مستقل از نحوه توزیع نودها بر اساس پارامتر اصلی مقدار انرژی باقیمانده، سرخوشه ها را انتخاب می نماید. در این پروتکل یک پارامتر دوم نیز

مورد استفاده قرار می گیرد که می تواند درجه نود یا نزدیکی به همسایه باشد.

یونیس و همکارانش در [11] یک معماری مسیریابی سلسله مراتبی بر پایه مدل سه لایه ای ارائه دادند که خوشه ها بر اساس فاکتورهای زیادی از قبیل دامنه ارتباطی، تعداد و نوع نودهای حسگر و مکان جغرافیایی ایجاد می گردند.

در [12] با استفاده از آتوماتاهای یادگیر روشی برای خوشه بندی گره ها معرفی می گردد که از انرژی باقیمانده گره ها و تعداد همسایگی برای انتخاب گره های سرخوشه استفاده می کند.

## ۳- آتوماتاهای یادگیر سلولی

آتوماتای یادگیر ماشینی با حالات محدود است که می تواند تعداد محدودی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده، توسط یک محیط تصادفی ارزیابی شده و پاسخی به آتوماتای یادگیر داده می شود. آتوماتای یادگیر از این پاسخ استفاده نموده و عمل خود را برای مرحله بعد انتخاب می کند. در طی این فرآیند، آتوماتای یادگیر فرا می گیرد که چگونه بهترین عمل را از بین اعمال مجاز خود انتخاب نماید. شکل ۱ ارتباط بین آتوماتای یادگیر و محیط را نشان می دهد.



شکل ۱: ارتباط بین آتوماتای یادگیر و محیط

آتوماتای یادگیر سلولی نامنظم (ICLA): یک آتوماتای یادگیر سلولی نامنظم (ICLA) یک آتوماتای یادگیر سلولی (CLA) است که محدودیت ساختار مستطیلی گرید در CLA را ندارد. کاربردهای زیادی هستند که نمی توانند با گرید های مستطیلی مدل شوند مثل شبکه های حسگر بی سیم، سیستم های ایمنی مصنوعی، کاربردهای مربوط به گراف و ... . یک ICLA به صورت یک گراف بدون جهت تعریف می گردد که هر گره گراف یک سلول را مشخص می کند که به یک آتوماتای یادگیر مجهز است. آتوماتای یادگیر در واقع یک سلول مشخص، وضعیتش را بر اساس بردار احتمالات اعمالش تعیین می کند.

#### ۴- خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از اتوماتاهای یادگیر سلولی

در این بخش قصد داریم یک روش خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم ارائه دهیم که از تکنیک اتوماتاهای یادگیر سلولی استفاده می نماید.

در این روش ما فرض می کنیم که تمام نودهای شبکه حسگر یکسانند و هر نود شبکه دو حالت می تواند داشته باشد: (۱) نود سرخوشه (CH) (۲) نود معمولی (CN) میزان مصرف انرژی در حالت سرخوشه نسبت به حالت معمولی بالاتر می باشد. در روش پیشنهادی معیارهای اصلی که مد نظر قرار می گیرند عبارتند از:

(۱) **میزان انرژی مصرفی:** بدین صورت که نودهای با انرژی بالاتر احتمال سرخوشه شدنشان بالاتر می رود. در ضمن خوشه های تولید شده اندازه متعادل خواهند داشت.

(۲) **متصل بودن شبکه:** جهت متصل بودن شبکه حسگر باید هر نود معمولی باید یک نود سرخوشه همسایه داشته باشد که بتواند داده هایش را بدان ارسال نماید.

الگوریتم پیشنهادی شامل دو فاز می باشد **فاز خوشه بندی و فاز حالت پایدار** که در فاز خوشه بندی با استفاده از تکنیک اتوماتاهای یادگیر سلولی، نودهای حسگر یکی از حالت های سرخوشه یا معمولی را انتخاب می کنند و خوشه ها تشکیل شده و هر نوع معمولی سرخوشه خود را شناسایی می نماید. سپس فاز حالت پایدار شروع می گردد که در فاز حالت پایدار، نودهای معمولی براساس برنامه زمانبندی که سرخوشه برای آنها تعیین نموده است داده های جمع آوری شده را به سر خوشه ارسال می دارند و سر خوشه نیز اطلاعات را به نود سینک می فرستد. تشریح فازهای مختلف الگوریتم در ادامه آمده است:

##### • فاز خوشه بندی:

در این فاز خوشه ها باید شکل گیرند و نودهای سرخوشه مشخص شوند. تعیین نودهای سرخوشه در دو مرحله انجام می گیرد. این فاز خود شامل سه مرحله می باشد. که در ادامه این سه مرحله را شرح می دهیم:

##### مرحله ۱

در مرحله اول خوشه بندی هر نود در پیامی تعداد همسایگانش را اطلاع نودهای مجاور می رساند. سپس هر

نودی که نسبت به تمام نودهای مجاورش بیشترین تعداد همسایه را دارا باشد خودش را به عنوان سرخوشه انتخاب کرده و به اطلاع همسایگانش نیز می رساند. نودهایی که در این مرحله به عنوان سرخوشه انتخاب می گردند یا در همسایگی نود سرخوشه ای قرار دارند، وارد مراحل یادگیری بعدی نمی شوند و وضعیت آنها پایدار می گردد.

##### مرحله ۲

در این مرحله نودهایی که در مرحله قبل وضعیتشان مشخص نشده است با استفاده از تکنیک اتوماتاهای یادگیر سلولی نامنظم (ICLA) وضعیتشان را تعیین می نمایند. جهت استفاده از این تکنیک متناظر با شبکه حسگر یک اتوماتاهای یادگیر سلولی نامنظم در نظر می گیریم که هر نودی در شبکه که در مرحله قبل به وضعیت پایدار نرسیده است، معادل است با یک سلول در ICLA. دو سلول در ICLA در صورتی همسایه اند که فاصله نودهای متناظر کمتر از برد ارتباطی باشد. اتوماتای متناظر هر نود می تواند یکی از دو الفبای CN, CH را براساس بردار احتمالاتش انتخاب نماید که انتخاب CH معادل با سر خوشه شدن نود و انتخاب CN معادل با معمولی در نظر گرفته شدن نود می باشد. در هر دور اتوماتای هر نود بر اساس احتمال متناسب به هریک از اعمالش، یکی را به طور تصادفی انتخاب می کند.

با هر انتخاب میزان احتمال سر خوشه شدن نود براساس پارامترهای مختلف کاهش یا افزایش می یابد. پارامترهایی که جهت خوشه بندی در نظر گرفته می شوند، عبارتند از: (۱) میزان انرژی نود. (۲) تعداد همسایه های نود. (۳) تعداد نودهای سرخوشه همسایه.

به طور کلی می توان پارامترهای مذکور را به دو دسته کلی تقسیم بندی نمود: پارامترهای مربوط به انرژی که سعی در انتخاب نودهای با انرژی بیشتر به عنوان سر خوشه دارند و پارامترهای مربوط به چگونگی و کیفیت زیر ساخت خوشه بندی که این پارامترها سعی در تشکیل تعداد مناسب خوشه ها و ایجاد خوشه های متوازی دارند. به جهت اینکه بتوان این دو دسته پارامترها را به میزان دلخواه در تشکیل خوشه ها شرکت داد، دو ضریب برای این دو دسته پارامترها در نظر گرفته ایم به گونه ای که مجموع این ضرایب برابر با یک می شود.

با توجه به پارامترهای ذکر شده، در بالا با انتخاب هر عمل توسط اتوماتای نود میزان احتمال انجام آن عمل تغییر می یابد. برای پاداش یا جریمه عمل انتخاب شده از روابط (۱) و (۲) استفاده می گردد. که  $a$  ضریب پاداش و  $b$  ضریب جریمه می باشد.

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \quad (1)$$

$$p_j(n+1) = 1 - p_i(n+1)$$

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n) \quad (2)$$

$$p_j(n+1) = 1 - p_i(n-1)$$

در هر دور هر نود پس از انتخاب یک عمل بر اساس روابط (۳) و (۴) سیگنال تقویتی  $\beta_i$  را محاسبه می نماید. اگر  $\beta_i$  برابر با یک شود عمل انتخابی با استفاده از رابطه (۲) جریمه می گردد. و اگر برابر با صفر شود طبق رابطه (۱) پاداش دریافت می کند.

اگر عمل انتخابی سرخوشه شدن نود باشد ( $\alpha_i(n) = 1$ ) مقدار  $\beta_i(n)$  از رابطه (۴) بدست می آید:

$$\beta_i(n) = \begin{cases} 0 & : w_e \psi_i(n) + w_\mu (\lambda_i / 2 + \tau_i(n) / 2) > 0 \\ 1 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

به طوری که:

$$\psi_i(n) = \frac{|e_i(n) - e_\mu(n)|}{e_i(n) - e_\mu(n)} \quad \lambda_i = \frac{|N_i - N_\mu|}{N_i - N_\mu}$$

$e_i(n)$  میزان انرژی باقیمانده نود در دور  $n$ ام می باشد. و  $e_\mu(n)$  میانگین انرژی همسایگان نود،  $N_i$  تعداد همسایگان نود و  $N_\mu$  میانگین تعداد همسایگان نودهای همسایه نود می باشد.

$$\tau_i(n) = \begin{cases} -1 & : \sum_{j=0}^{N_i} \alpha_j(n) > 0 \\ 1 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

$\alpha_j(n)$  عمل انتخابی نود  $j$  است.

ضریب ثابت  $w_e$  میزان وزن اختصاص داده شده به پارامتر انرژی در الگوریتم خوشه بندی است. و ضریب ثابت  $w_\mu$  میزان وزن اختصاص داده شده به پارامترهای مربوط به کیفیت زیر ساخت خوشه بندی می باشد. اگر عمل انتخاب شده انتخاب نود به عنوان نود معمولی باشد ( $\alpha_i(n) = 0$ ) مقدار  $\beta_i(n)$  از رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$\beta_i(n) = \begin{cases} 1 & : w_e \psi_i(n) + w_\mu (\lambda_i / 2 + \tau_i(n) / 2) > 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

این مرحله درچندین دور انجام می گیرد در هر دور هر نود حسگر براساس بردار احتمالاتش یکی ازوضعیتهای سرخوشه شدن و سرخوشه نشدن را انتخاب می کند و یک پیام به صورت پخشی به تمام همسایگان ارسال می نماید که پیام حاوی عمل انتخابی نود، میزان انرژی باقیمانده و تعداد همسایگانش می باشد. پس از مدت زمانی مشخص که تمام نودها پیامهای همسایگانشان را دریافت کردند. هر نود به عمل انتخابی اش براساس روابط (۱) و (۲) پاداش یا جریمه می دهد و در حقیقت احتمال سرخوشه شدن نود را افزایش یا کاهش می دهد و در دور بعد نودها براساس احتمال جدید حالت جدیدی را انتخاب نموده و عملیات تکرار می گردد.

هر نود که احتمال سرخوشه شدنش به نزدیک صفر یا یک برسد. بر اساس بردار احتمال یک حالت را انتخاب می کند و به وضعیت پایدار می رسد. این الگوریتم به تعداد دفعات معینی ادامه می یابد. در این زمان تمام نودها حالتشان را انتخاب نموده و این مرحله به پایان می رسد.

### مرحله ۳

پس از مشخص شدن وضعیت نودها و تعیین سرخوشه ها در دو مرحله قبلی نوبت به شکل گیری خوشه ها می رسد. در این مرحله نودهای سرخوشه پیامهایی حاوی موقعیت جغرافیایی شان را به نودهای همسایه به صورت پخشی ارسال می نمایند. سپس نودهای معمولی از بین همسایگان سرخوشه نزدیکترین نود را به عنوان سرخوشه انتخاب می نمایند. جهت ایجاد خوشه هر نود معمولی یک بسته JOIN\_PACKET به سر خوشه اش ارسال می کند و نودهای سر خوشه با جمع آوری این بسته ها اعضای خوشه را شناسایی و خوشه را شکل می دهند و سپس یک برنامه زمانبندی ایجاد نموده و با ارسال پخشی یک بسته زمانبندی (SCH\_PACKET) به اعضای خوشه، زمان ارسال داده های هر عضو خوشه را به آنها اعلام می دارند.

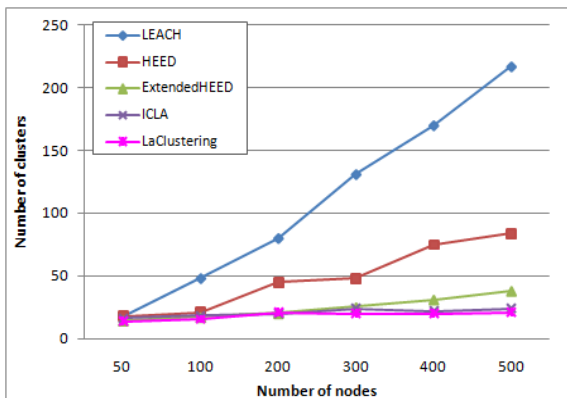
### • فاز حالت پایدار

پس از فاز خوشه بندی و تشکیل خوشه ها، فاز حالت پایدار شروع می شود، در فاز حالت پایدار، نودهای معمولی به صورت تناوبی و با فواصل زمانی مشخص داده هایشان را به نودهای سر خوشه ارسال می نمایند و نودهای سر خوشه نیز داده ها را به نود سینک می

## آزمایش اول

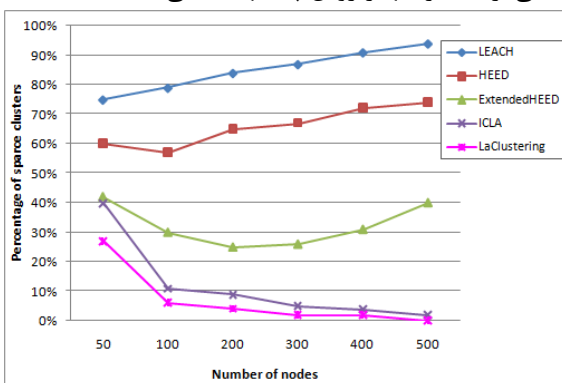
در آزمایش اول هدف مقایسه چگونگی و کیفیت زیر ساخت خوشه بندی روش پیشنهادی با روشهای مورد ارزیابی، می باشد. که این کیفیت بر اساس معیارهای تعداد سرخوشه ها، درصد خوشه های خالی، و نسبت میانگین سطح انرژی سرخوشه ها به میانگین سطح انرژی اعضا مورد ارزیابی قرار می گیرد.

نتایج این دسته از آزمایشات در اشکال 5 تا 8 نمایش داده شده است. شکل 5 تعداد سرخوشه های ایجاد شده در روش پیشنهادی را در مقایسه با روشهای مورد مقایسه را با تعداد نودهای مختلف نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می گردد تعداد نودهای سرخوشه ایجاد شده در روش پیشنهادی نسبت به بقیه روشها کمتر می باشد و تقریباً برابر با روش ICLA می باشد.



شکل 5: مقایسه تعداد خوشه های ایجاد شده در روشهای مختلف

شکل 6 درصد خوشه های خالی ایجاد شده و شکل 7 نسبت میانگین انرژی سرخوشه ها نسبت به میانگین انرژی نودهای معمولی در روش خوشه بندی پیشنهادی را در مقایسه با روشهای دیگر نشان می دهند. که نتایج حاکی از عملکرد بهتر روش پیشنهادی می باشد.



شکل 6: مقایسه درصد خوشه های خالی ایجاد شده در روشهای مختلف خوشه بندی

فرستند. جهت جلوگیری از تداخل در ارسال داده ها، نودهای عضو خوشه از یک برنامه زمانبندی جهت ارسال داده ها استفاده می کنند. نودهای سر خوشه انرژی بیشتری از بقیه نودها مصرف می کنند و سرشعتر از بین رفته و شبکه مختل می گردد. جهت جلوگیری از بوجود آمدن این مشکل، ما از تغییر نودهای سرخوشه در یک خوشه استفاده می کنیم. بدین صورت که هر گاه مقدار انرژی باقیمانده نود سر خوشه، از مقدار انرژی نودهای خوشه بیش از یک حد آستانه بیشتر باشد، سر خوشه بودن را به نودی که بیشترین انرژی را دارا است، واگذار می کنند.

## ۵- شبیه سازی

در این بخش کارایی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از آزمایشات مختلف مورد ارزیابی قرار می گیرد. جهت انجام آزمایشات از نرم افزار شبیه ساز شبکه J-Sim استفاده شده است.

در این آزمایشات نتایج حاصل از عملکرد الگوریتم خوشه بندی پیشنهادی را با الگوریتمهای خوشه بندی LEACH، HEED، Extended HEED و ICLA (مقایسه نموده ایم).

در شبیه سازی انجام شده محیط حسگری  $100 \times 100$  متر در نظر گرفته شده است و فرض گردیده است برد رادیویی حسگرها ۲۰ متر می باشد. درضمن انرژی اولیه هریک از نودهای حسگر به صورت تصادفی از بازه [2, 1.8] انتخاب می گردد. آزمایشات برای تعداد گره های حسگر  $N$  برابر با ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ انجام گرفته است و هر آزمایش برای هر تعداد حسگر ۱۰ بار تکرار گردیده است و نتایج حاصل میانگین نتایج در ۱۰ اجرا می باشد. مقادیر  $w_e$  و  $w_{ll}$  را برابر با ۰.۵ و مقادیر  $a$  و  $b$  را برابر ۰.۱ در نظر گرفته ایم.

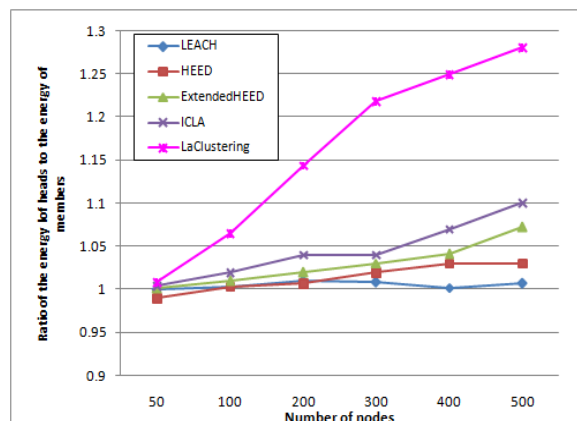
جهت مقایسه عملکرد الگوریتم معیارهای متفاوتی مد نظر قرار گرفته شده اند. معیارهای مورد نظر عبارتند از (۱) تعداد خوشه ها (۲) درصد خوشه های (۳) نسبت سطح انرژی میانگین سرخوشه ها به سطح انرژی میانگین اعضا (۴) طول عمر شبکه.

به منظور ارزیابی این دو دسته معیارها، دو نوع آزمایش انجام گرفته است که در ادامه شرح می دهیم.

متوازنتری ایجاد نموده و طول عمر شبکه را افزایش می دهد.

## مراجع

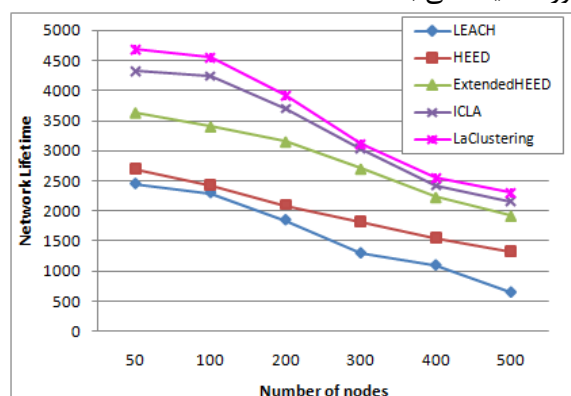
- [1] S. Basagni, "Distributed Clustering Algorithm for Ad-hoc Networks," in International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks (I-SPAN), ۱۹۹۹.
- [2] S. Banerjee and S. Khuller, "A Clustering Scheme for Hierarchical Control in Multi-hop Wireless Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM, April ۲۰۰۱.
- [3] M. Gerla and T. J. Kwon, "On Demand Routing in Large Ad Hoc Wireless Networks" WCNC, ۲۰۰۰.
- [4] C. R. Lin and M. Gerla, "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks," in IEEE J. Select. Areas Commun., September ۱۹۹۷.
- [5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. ۱, no. ۴, pp. ۶۶۰-۶۷۰, October ۲۰۰۲.
- [6] S. Bandyopadhyay and E. Coyle, "An Energy-Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," IEEE INFOCOM, April ۲۰۰۳.
- [7] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks," in Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), August ۱۹۹۹.
- [8] H. Chan and A. Perrig, "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation," in Proceedings of the First European Workshop on Sensor Networks (EWSN), January ۲۰۰۴.
- [9] V. Mhatre and C. Rosenberg, "Design Guidelines for Wireless Sensor Networks Communication: Clustering and Aggregation," Ad-hoc Networks Journal, ۲۰۰۴.
- [10] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach", In Proc. of IEEE INFOCOM, March ۲۰۰۴.
- [11] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," ACM Wireless Networks, vol. ۸, no. ۲-۳, pp. ۱۶۹-۱۸۵, ۲۰۰۲.
- [12] Farajzadeh, N. and Meybodi, M. R., "Learning Automata-based Clustering Algorithm for Sensor Networks", Proceedings of ۱۲th Annual CSI Computer Conference of Iran, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, pp. ۷۸۰-۷۸۷, Feb. ۲۰-۲۲, ۲۰۰۷.
- [13] Esnaashari, M. and Meybodi, M. R., "A Cellular Learning Automata based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", Sensor Letters, ۲۰۰۸.



شکل ۷: مقایسه نرخ میانگین انرژی سرخوشه ها نسبت به میانگین انرژی نودهای معمولی

## آزمایش دوم

در آزمایش شماره ۲ طول عمر شبکه که یکی از معیارهای اصلی کیفیت سرویس در شبکه های حسگر است مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی در شکل ۸ نشان داده شده است. مشاهده می گردد که طول عمر شبکه در حالتی که از الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است بیشتر از طول عمر شبکه در استفاده از الگوریتمهای مورد مقایسه می باشد.



شکل ۸: مقایسه طول عمر شبکه در روشهای مختلف خوشه بندی

## ۶- جمع بندی

در این مقاله جهت افزایش طول عمر شبکه های حسگر بی سیم که یکی از پارامترهای اصلی کیفیت سرویس در شبکه های حسگر می باشد، روشی برای خوشه بندی نودها در شبکه های حسگر بر اساس ICLA ارائه گردید. در این روش خوشه بندی، ما پارامترهای مختلفی مثل توازن اندازه خوشه ها، انرژی خوشه ها و ... را مد نظر قرار دادیم. نتایج آزمایشات نشان داد که روش ارائه شده، نسبت به دیگر روشهای خوشه بندی، خوشه های