

# ارائه یک الگوریتم خوشه بندی با استفاده از اتوماتای یادگیر توزیع شده برای شبکه های حسگر بی سیم

سیده نیره ابطحی نصیری<sup>۱</sup>؛ محمد رضامیبدی<sup>۲</sup>؛ جواد اکبری ترکستانی<sup>۳</sup>

**چکیده**

شبکه های حسگر بی سیم دارای تعداد زیادی گره حسگر ارزان قیمت با انرژی محدود می باشند که در یک منطقه محدود جغرافیایی به صورت متراکم پراکنده شده اند. هریک از این گره ها توانایی جمع آوری اطلاعات از محیط را دارا می باشد و داده های جمع آوری شده را برای پردازش به گره مرکزی ارسال می کنند. یکی از عمدۀ ترین چالشها 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 روش‌های شناخته شده ای است که بطور گستردۀ ای جهت مواجه شدن با این چالش مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله یک روش کارا برای خوشه بندی با استفاده از تکنیک اتوماتای یادگیر ارائه شده است هدف اصلی این روش در نظر گرفتن محدودیت انرژی برای افزایش طول عمر شبکه است. برای نیل به این هدف از تکنیک مجموعه حاکم با اتصال ضعیف و اتوماتای یادگیر استفاده شده است. در شبیه سازی های انجام شده ، کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با روش leach و heed به خوبی به چشم می خورد.

## کلمات کلیدی

آتوماتای یادگیر، شبکه های حسگر بی سیم، خوشه بندی، مجموعه حاکم با اتصال ضعیف

## Weakly Connected Dominating Set Algorithm Based on Learning Automata and Its Application to Clustering the Sensor Networks

N. Abtahi; M. R. Meybodi; J. Akbari

### Abstract

A wireless sensor network consisting of a large number of small sensors with low-power transceivers can be an effective tool for gathering data in a variety of environments. Prolonged network lifetime and scalability are important requirements for many sensor network applications. Clustering is an effective topology control approach in wireless sensor networks, which can increase network scalability and lifetime. Clustering sensors into groups so that sensors communicate information only to cluster heads and then the cluster heads communicate the aggregated information to the processing center, may save energy. The weakly connected dominating set (WCDS) is very suitable for cluster formation. In this paper, we propose a distributed, algorithm for WCDS construction in wireless sensor networks based on distributed learning automata. To evaluate the performance of the proposed algorithm several experiments have been conducted.

**Keywords:** sensor network;clustering; distributed learning automata; weakly connected dominating set;

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد کامپیوتر، n.abtahi@iau-saveh.ac.ir

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی کامپیوترو فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیر کبیر, mmeybodi@aut.ac.ir

<sup>۳</sup> عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی کامپیوتردانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک, j-akbari@iau-arak.ac.ir

## ۱ - مقدمه

شبکه های حسگر شامل مجموعه ای از گره های کوچک بنام حسگر می باشند. این گره ها توانایی حس محیط اطراف خود با هدف معین، پردازش اطلاعات، ذخیره سازی، تبادل اطلاعات با سایر گره ها و همچنین قابلیت وقپذیری در مقابل تغییرات را دارند. معمولاً تمامی گره ها همسان می باشند و عملاً با همکاری با یکدیگر، هدف کلی شبکه را برآورده می سازند. هدف اصلی در شبکه های حسگر بی سیم نظارت و کنترل شرایط و تغییرات جوی، فیزیکی و یا شیمیائی در محیطی با محدوده معین، می باشد [۲۰]. در طراحی شبکه های حسگر بی سیم مسئله اساسی، محدود بودن منبع انرژی حسگرها است. از طرفی با خاطر وجود تعداد بسیار زیاد حسگر در شبکه و یا عدم امکان دسترسی به آنها، تعویض یا شارژ پاتری سنسورها عملی نیست . به همین دلیل ارائه روشهایی جهت مصرف بهینه انرژی که در نهایت باعث افزایش عمر شبکه شود، به شدت احساس می گردد. پژوهش‌های قبلی نشان داده اند که با سازماندهی گره های شبکه بصورت خوش ای، میتوان به کارایی بیشتری در خصوص انرژی دست یافت. در این مقاله یک پروتکل خوش بندی جدید مبتنی بر اتماتای یادگیر برای شبکه های حسگر ارائه شده است . اهداف اصلی این روش، افزایش طول عمر شبکه و گذردهی است. ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده است. بخش دوم به بررسی کارهای انجام شده در این زمینه می پردازد. در بخش سوم اتماتای یادگیر بطور اختصار معرفی می شود. در بخش چهارم روش پیشنهادی ارائه می گردد. نتایج شبیه سازی های انجام گرفته در بخش پنجم آمده است. بخش ششم نتیجه گیری مقاله است.

## ۲ - کارهای انجام شده در این زمینه

تاکنون الگوریتم های خوش بندی متعددی برای شبکه های حسگر معرفی شده اند. از طرفی پروتکل های خوش بندی در شبکه را میتوان به دو دسته شبکه های حسگر و شبکه موردي تقسیم نمود. در شبکه های حسگر که تقریباً، گره ها را بدون حرکت در نظر می گیریم از پروتکل ها بی که در ادامه آمده استفاده می نمایند: در [۳] بانرجی و کاهلر استفاده از یک درخت پوشان را پیشنهاد دادند تا خوشبازی با خواص مناسب ایجاد گردد در این پروتکل کارایی انرژی به عنوان پارامتر اصلی مورد تاکید قرار نمی گیرد. در [۴] کان و همکاران یک روش خوشبندی مبتنی بر درجه و پایین ترین شناسه گره را ارائه دادند. هنزلمن و همکاران در [۵] معرفوترين الگوریتم توزيع شده خوشبندی شبکه های حسگر بیهوده نام leach<sup>۱</sup> را پیشنهاد دادند. در [۶] کویل و همکاران از یک روش خوشبندی تصادفی شبیه leach استفاده کرده اند. در [۷] استرین و همکاران یک ساختار سلسه مراتبی چند سطحی پیشنهاد دادند که سرخوشه ها بر اساس درجه و انرژی باقیمانده شان انتخاب می گردیدند. در [۸] چن و همکاران الگوریتمی ارائه دادند که در آن به گره ها اجازه داده می شد تا پتانسیل شان را قبل از سرخوشه شدن بررسی نمایند. پروتکل heed<sup>۲</sup> که در [۹] آمده است یک پروتکل توزيع شده است که مستقل از نحوه توزيع گره ها بر اساس پارامتر اصلی مقدار انرژی باقیمانده، سرخوشه ها را انتخاب می نماید. در این پروتکل پارامتر دوم درجه گره و یا نزدیکی به همسایه نیز مورد استفاده قرار می گیرد. یونیس و همکارانش در [۱۰] یک معماری مسیریابی سلسه مراتبی بر پایه مدل سه لایه ای ارائه دادند که خوشه ها بر اساس فاکتورهای زیادی از قبیل دامنه ارتقابی، تعداد و نوع گره های حسگر و مکان جغرافیایی ایجاد می گردند. در [۱۱] یونس و فهمی الگوریتمی مستقل از نحوه توزيع گره ها پیشنهاد دادند. حال در شبکه های ادھاک که گره ها دارای حرک هستند می توان از خوش بندی مبتنی بر مجموعه حاکم با اتصال ضعیف استفاده نمود. نمونه هایی از این پروتکل ها در ادامه آمده است: خوشبندی در شبکه های ادھاک مبتنی بر مجموعه حاکم با اتصال ضعیف ابتدا به وسیله چن و لیستمن [۱۲، ۱۳] پیشنهاد گردید این الگوریتم خوشبندی تقریبی توزيع شده، از الگوریتم گوها و کاهلر الهام گرفته شد که گره ها همسایه ای که کوچک ترین شماره شناسایی را دارد به عنوان سر دسته انتخاب می کرددند در نهایت با اتصال گره های سر دسته مجموعه حاکم ایجاد می گردد . گوها و کاهلر [۲۱] دو الگوریتم اکتشافی حریصانه را برای ایجاد مجموعه حاکم متصل پیشنهاد دادند که در الگوریتم اول مجموعه حاکم متصل با یک گره شروع و سپس کامل می گردید و در الگوریتم دوم ابتدا یک مجموعه حاکم با اتصال ضعیف ایجاد و سپس گره های میانی جهت ایجاد مجموعه حاکم متصل انتخاب می شدند. چن و لیستمن [۱۴، ۱۵] یک الگوریتم ناحیه ای را پیشنهاد دادند که گراف را به نواحی تقسیم می کرد و مجموعه حاکم با اتصال ضعیف برای هر ناحیه ساخته می شد و سازگاری در طول حريم مناطق برای ساخت مجموعه حاکم با اتصال ضعیف جهت کل مناطق انجام می شد که برای فاز تقسیم بندی تا حدی مبتنی بر الگوریتم درخت پوشانی کمینه در گراف وزنی گلاگر و همکارانش [۱۶] بود. هان و جایا [۱۷] نیز الگوریتم توزيعی مبتنی بر ناحیه برای ساخت مجموعه حاکم با اتصال ضعیف در شبکه های ادھاک پیشنهاد دادند. الذوبی و همکاران [۱۸، ۱۹، ۲۰] الگوریتم های توزيع شده ای برای یافتن مجموعه حاکم با اتصال ضعیف در شبکه های ادھاک پیشنهاد دادند. اکبری و میبدی [۲۰] الگوریتمی برای یافتن مجموعه حاکم با اتصال ضعیف در شبکه های ادھاک با استفاده از اتماتای یادگیر پیشنهاد دادند.

## ۳ - اتماتای یادگیر<sup>۳</sup>

اتماتای یادگیر، ماشینی است که میتواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مشیت یا منفی به اتماتا داده می شود و اتماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تاثیر می گیرد. هدف نهایی این است که اتماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حد اکثر برساند. کار کرد اتماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل (۱) مشاهده می شود.



شکل (۱) ارتباط بین اوتوماتی یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه تایی  $\alpha, \beta, c$  بیان کرد که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودی‌ها و  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه خروجی‌ها و  $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمالهای جریمه می‌باشد. با توجه به مقادیر مختلف مجموعه محیط‌ها را می‌توان به دو دسته محیط‌های ایستا<sup>۱</sup> و محیط‌های غیر ایستا<sup>۲</sup> تقسیم بندی کرد. مقادیر احتمال جریمه در محیط‌های ایستادر طول زمان بدون تغییر باقی می‌مانند، در حالیکه در محیط‌های غیر ایستا این مقادیر با گذشت زمان تغییر می‌کند. حال بر اساس مقادیر متفاوت  $\beta$  محیط‌ها را می‌توان به سه دسته محیط‌های P-Model, Q-Model, S-Model تقسیم بندی کرد. در یک محیط S-Model، مقادیر  $(n)$   $\beta$  می‌توانند از یک بازه متنه و گستره همچون  $[a, b]$  انتخاب گردند، در حالیکه خروجی یک محیط Q-Model یک متغیر تصادفی پیوسته روی بازه  $[a, b]$  می‌باشد. حال با انتخاب مقادیر مختلف برای پارامترهای  $a, b$  الگوریتم‌های یادگیری متفاوتی خواهیم داشت بگونه‌ای که اگر پارامتر  $a = L_{I,P}$  در نظر گرفته شود، الگوریتم یادگیر  $L_{I,P}$  نامیده می‌شود. اگر پارامتر  $b = L_{R,I}$  در نظر گرفته شود، الگوریتم یادگیر  $L_{R,I}$  نامیده می‌شود. اگر پارامترهای  $a, b$  با هم برابر باشند، الگوریتم یادگیر  $L_{R,P}$  نامیده می‌شود. اگر  $b \gg a$  در نظر گرفته شود، الگوریتم یادگیر  $L_{R,P}$  نامیده می‌شود. طبقه بندی‌های متفاوتی برای اوتوماتی یادگیر وجود دارد یک طبقه بندی بر اساس توابع انتقال و خروجی می‌باشد که اوتوماتاهای به دو دسته اوتوماتی یادگیر با ساختار ثابت<sup>۳</sup> و اوتوماتی یادگیر با ساختار متغیر<sup>۴</sup> تقسیم می‌شود. در ساختار ثابت، احتمال عملهای اوتوماتی ثابت بوده اما در ساختار متغیر احتمال عملهای اوتوماتی در هر تکراربر اساس الگوریتم یادگیری بروز می‌شوند. در برخی از کاربردها نیاز است تا از اوتوماتاهایی استفاده شود که تعداد عمل‌های آنها ثابت نبوده با گذشت زمان و در خلال فرایند یادگیری تغییر می‌نماید. در این نوع از اوتوماتاهای، اوتوماتا در لحظه  $n$  عمل خود را از میان اعضاء مجموعه اوتوماتاهای فعال  $\alpha(n) \subseteq \alpha$  که مجموعه احتمالات آنها به صورت  $\{p_i | \alpha_i \in \alpha(n)\} = p(n)$  تعریف می‌شود انتخاب می‌نماید. سپس با توجه به نوع محیط، الگوریتم یادگیری انتخابی و پاسخ دریافتی از محیط، بكمک تساوی‌های مربوطه، بردار احتمالات مجموعه عمل‌های فعال اوتوماتا بروز می‌گردد [۲۳].

### ۱-۳- اوتوماتی یادگیر با عملهای متغیر

اوتوماتی یادگیرداری تعداد عمل ثابتی می‌باشد اما در بعضی از کاربردها نیاز به اوتوماتایی با تعداد عمل متغیر می‌باشد. [۲۳] این اوتوماتا در لحظه  $n$  عمل خود را فقط از یک زیرمجموعه غیرتھی  $V(n)$  از عملهای که عملهای فعل نامیده می‌شوند انتخاب می‌کند انتخاب مجموعه  $V(n)$  توسط یک عامل خارجی و بصورت تصادفی انجام می‌شود. نحوه فعالیت این اوتوماتا بصورت زیراست. برای انتخاب یک عمل در زمان  $n$  ابتدا مجموع احتمال عملهای فعل خود  $K(n)$  را محاسبه می‌کند و سپس بردار  $p(n)$  را مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌کند. آنگاه اوتوماتاییک عمل از مجموعه عملهای فعل خود را بصورت تصادفی و مطابق بردار احتمال  $p(n)$  انتخاب کرده و بر محیط اعمال می‌کند اگر عمل انتخاب شده  $\alpha_i$  باشد سپس از دریافت پاسخ محیط، اوتوماتا بردار احتمال  $p(n)$  عملهای خود را در صورت دریافت پاداش براساس رابطه (۲) و در صورت دریافت جریمه براساس رابطه (۳) بروز می‌کند.

$$P_i(n) = \text{prob}[\alpha(n) = \alpha_i | V(n) \text{ is set of active actions}, \alpha_i \in V(n)] = \frac{p_i(n)}{K(n)} \quad (1)$$

الف- پاسخ مطلوب از محیط

$$P_i(n+1) = P_i(n) + a[1 - P_i(n)]\alpha(n) = \alpha_i \quad (2)$$

$$P_i(n+1) = P_j(n) + a \cdot P_i(n)\alpha(n) = \alpha_i, \forall k \neq j$$

ب- پاسخ نامطلوب از محیط

$$P_i(n+1) = (1 - b)P_i(n)\alpha(n) = \alpha_i \quad (3)$$

$$P_i(n+1) = P_j(n) + a \cdot P_i(n)\alpha(n) = \alpha_i \forall k \neq j$$

سپس اوتوماتا بردار احتمال عملهای  $P(n)$  را با استفاده از بردار  $(1 + P(n))$  و بصورت زیر بروز می‌کند:

$$P_j(n+1) = P_j(n+1).K(n) \text{ for all } j, \alpha_j \in V(n) \quad (4)$$

$$P_j(n+1) = P_j(n) \text{ for all } j, \alpha_j \notin V(n)$$

## ۴ - پروتکل پیشنهادی

در این بخش یک روش خوش بندی در شبکه‌های حسگری سیم ارائه می‌دهیم که از تکنیک آتماتاهاست یادگیراستفاده می‌نماید. بدین منظور ابتدامفروضات مسئله بیان گردیده و سپس به تشریح روش وجزئیات الگوریتم می‌پردازیم.

### ۱-۴ - فرضیات و مدل مسئله

در ابتدا فرض می‌کنیم که مدل شبکه شامل مجموعه‌ای از حسگرها است که در یک محیط مستطیلی پخش شده‌اند. و فرض می‌کنیم که تمام گره‌های شبکه حسگریکسان هستند. در ابتدا شبکه‌ای از آتماتاًی یادگیر بصورت  $(A, \alpha)$  را متناظر با گراف دیسک واحد  $G(V, E)$  به گونه‌ای ایجاد می‌نماییم که در آن  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  مجموعه رئوس گراف بوده و متناظر با شبکه آتماتاًی یادگیر  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  است که از این گره‌ها کار دینالیتی مجموعه رئوس  $V$  می‌باشد و  $E \subseteq A \times A = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$  مجموعه یالهای گراف بگونه‌ای که به ازای هر  $E_i \in E$  مجموعه  $r_i = \{E_{(i,1)}, E_{(i,2)}, \dots, E_{(i,j)}, \dots, E_{(i,r_i)}\}$  تعداد عملهای آتماتاًی  $A_i$  متناظر با مجموعه عملهای آتماتاًی  $A_i$  که  $\alpha_i = \{\alpha_{i,1}, \alpha_{i,2}, \dots, \alpha_{i,j}, \dots, \alpha_{i,r_i}\}$  باشد به گونه‌ای که یال  $E_{(i,j)}$  متناظر است با عمل  $\alpha_{i,j}$  از آتماتاًی  $A_i$  پس به هر راس گراف یک آتماتاًی یادگیر اختصاص داده‌ایم در این روش هر راس یا آتماتاًی یادگیر در یکی از دو حالت فعال یا غیر فعال است و در ابتدای هر مرحله تمامی گره‌ها در وضعیت غیر فعال قرار داده می‌شوند و به محض انتخاب شدن فعال می‌گردند. لازم به ذکر است شیوه تقویتی آتماتاًی یادگیر  $L_{RP}$  است.

### ۲-۴ - تشریح روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی شامل سه فاز است، فاز اول برپایی شبکه و شناخت همسایگی‌ها، فاز دوم تشکیل مجموعه حاکم با اتصال ضعیف ( $wcds$ ) و ایجاد خوش‌ها، فاز سوم دوباره خوش بندی می‌باشد.

### ۱-۴-۱ - فاز اول برپایی شبکه و شناخت همسایگی‌ها

بعد از پراکنده شدن حسگرها اولین قدم در ایجاد کلاسترها در شبکه شناخت همسایگی‌ها است که با ارسال پیام *HELLO-PACKET* تنها یکبار در ابتدای کار شبکه انجام می‌گردد. این پیام در کل شبکه همه پخشی می‌گردد هر حسگری که پیام فوق را دریافت کند در صورتی که در رنج ارسالی گره مورد نظر باشد جزو همسایگان گره ارسال کننده محسوب خواهد شد سپس با ارسال یک پیام که شامل فیلدهای *ID* گره و فیلد میزان انرژی گره مورد نظر می‌باشد به پیام رسیده پاسخ می‌دهد حال با دریافت پاسخ از هر یک از گره‌های همسایه توسط گره منتشر کننده پیام *HELLO-PACKET* تعداد همسایه‌های آن گره و میزان انرژی گرها تعیین می‌گردد.

### ۱-۴-۲ - فاز دوم تشکیل *wcds* و ایجاد خوش‌ها

این فاز شامل تعدادی تکرار است که در هر تکرار یک *wcds* بوسیله انتخاب تصادفی مجموعه ای از عامل آتماتاها ساخته می‌شود و در پایان آتماتاًی یادگیر به سیاست انتخاب اعمالی می‌رسد که کمترین اندازه مجموعه سرخوشی یا همان *wcds* با احتمال بالا را نگهداری می‌کند. ساختارهای مورد نیاز جهت ایجاد خوش‌ها شامل موارد زیر است :

*T-energy*: آستانه میانگین انرژی از پیش تعیین شده شبکه که احتمال انتخاب مجموعه سرخوشی می‌باشد و برای پایان فرایند تشکیل خوش بکار می‌رود.

*Min-energy*: مینیم انرژی کل گره هاجهت خوش بندی می‌باشد.

*Max-repeat*: حداکثر تعداد تکرار جهت متوقف نمودن الگوریتم می‌باشد.

*Collection-Cluster-head*: مجموعه ای از سرخوشه‌های انتخابی در هر تکرار را شامل می‌شود.

*Collection-member*: مجموعه‌ای از میزانها که هر عضو آن همسایه تک گامی از حداقل یک میزان در *Collection-Cluster-head* است.

*Prob-vector*: بردار احتمال انتخاب اعضای *Collection-Cluster-head* است.

: آستانه پویا شامل کاردینالیتی کوچکترین  $Collection\text{-}Cluster\text{-}head$  که در حال انتخاب شدن می‌باشد.

: شمارنده‌ای که تعداد  $Collection\text{-}Cluster\text{-}head$  ساخته شده را نگهداری می‌کند. (شرط توقف الگوریتم)

ابتدا اتوماتاهای یادگیر  $A_i$  مجموعه اعمالشان را طی مراحل زیر مشخص می‌نمایند. میزبان متناظر با اتوماتای فوق بطور مثال  $H_i$  پیام محلی به همسایگان تک گامی می‌فرستد حال میزبانی که در رنج ارسال میزبان فرستنده باشد پس از دریافت پیام آن را پاسخ می‌دهد هر میزبانی که از طریق پیام پاسخ داده شود وابسته به عمل است و فرستنده مجموعه عملش را مبتنی بر پاسخ‌های دریافتی مشخص می‌کند.  $\alpha_{i,j}$  همسایه  $H_i$  مجموعه عمل اتوماتای یادگیر  $A_i$  است. عمل  $\alpha_{i,j}$  متناظر با انتخاب میزبان  $H_j$  بعنوان سرخوشه توسط میزبان  $H_i$  است. حال با توجه به شیوه شکل گیری مجموعه اعمال اتوماتای یادگیر بسیاری از اتوماتاها نیز همان اعمال را خواهند داشت از این‌رو از اتوماتای یادگیر با مجموعه عمل متغیر استفاده شده است. دلیل بکار بردن شیوه مورد نظر این است که تعدادی از عمل‌ها بصورت مشترک بوده و زمانی که یک گره به عنوان حاکم انتخاب می‌شود پس نیازی نیست گره فوق دوباره توسط گره‌های محکوم دیگر پوشش داده شود. چرا که باعث انتخاب حاکم‌های اضافی می‌گردد. بعد از مشخص شدن مجموعه اعمال اتوماتاها، میزبان  $H_i$  که بیشترین انرژی را در بین گره‌های شبکه دارد اتوماتای یادگیر  $A_i$  افعال می‌کند و این اتوماتا یکی از اعمالش را به صورت تصادفی انتخاب می‌نماید (عبارتی انتخاب اولین حکم‌فرما). احتمال اینکه اتوamatای یادگیر  $A_i$  این عمل را انتخاب کند به  $prob\text{-}vector$  اضافه می‌شود. سپس میزبان  $H_i$  پیام فعال سازی را به میزبان متناظرش (همان سرخوشه جدید) برای انتخاب عمل می‌فرستد. میزبانی که پیام فعال سازی را دریافت می‌کند به حالت فعال تبدیل می‌شود و برای جلوگیری از تشکیل سرخوشه‌های اضافی زمانی که میزبانی پیام فعال سازی را دریافت می‌کند شماره ID خود را بعنوان سرخوشه جدید در لیست سرخوشه‌ها درج می‌کند و این در صورتی است که اگر حداقل یکی از همسایگان تک گامی اش در لیست محکوم‌ها نباشد در این صورت از انتخاب همان سرخوشه توسعه اتوamatای دیگر جلوگیری می‌کند و گرنم ممکن است کلیه همسایگان تک گامی گره فوق توسط گره‌های دیگری بعنوان اعضای خوشة انتخاب شوند و در اینصورت سرخوشه‌های اضافی ایجاد می‌گردد. حال برای بروز رسانی  $Collection\text{-}member$  میزبان شناسه همسایگان تک گامی خود را به این لیست اضافه می‌کند و مجموعه عمل اتوamatای یادگیرنده  $A_i$  با غیر فعال کردن عمل وابسته به سرخوشه ای که تاکنون انتخاب گردیده است به روز می‌شود. حال تا زمانی که انتخاب‌های دیگری وجود داشته باشد که بتواند توسط اتوamatای یادگیر  $A_i$  انتخاب شود و کل گره‌های شبکه پوشش داده نشده اند و میانگین انرژی گره‌هادر شبکه بیشتر  $min\text{-}energy$  مشخص شده باشد، اتوamatای فعال  $A_i$  یکی از عمل‌هایش را بعنوان سرخوشه جدید انتخاب می‌کند و  $prob\text{-}vector$  با اضافه نمودن احتمال انتخاب این عمل به روزرسانی می‌شود و پیام فعال سازی را به سرخوشه انتخاب شده می‌فرستد، در غیر اینصورت اگر اندازه  $Collection\text{-}member$  برابراندازه شبکه باشد و اندازه  $Collection\text{-}head$  کمتر یا مساوی آستانه پویای  $Min\text{-}size$  باشد، آستانه پویا با کاردینالیتی  $Collection\text{-}Cluster\text{-}head$  انتخاب می‌گردد و تمام اعمال منتخب از اتوamatای فعال با ارسال پیام پاداش، پاداش داده می‌شوند و گرنم جرمیه می‌شوند. در پایان هر تکرار بعد از پاداش یا جرمیه اتوamatای فعال شده بردار احتمال عمل یکبار دیگر با فعال نمودن کلیه اعمال غیر فعال مطابق با شیوه توصیفی در اتوamatای یادگیر مجموعه عمل متغیر به روز می‌شود و باید شرط توقف فرآیند تشکیل خوشه (اتمام الگویتم) یا دوباره خوشه بندی بررسی گردد. شرط توقف زمانی است که احتمال انتخاب  $T\text{-}energy$  از  $Collection\text{-}Cluster\text{-}head$  کمتر از  $Max\text{-}repeat$  باشد. حال اگر شرط توقف صحیح باشد اتوamatای فعال جاری  $A_i$  یک تکرار جدید آغاز می‌کند و بطور تصادفی سرخوشه جدید انتخاب می‌شود و پیام فعال سازی را برای آن می‌فرستد و گرنم پیام خوشه بندی که شامل آخرین انتخاب  $Collection\text{-}Cluster\text{-}head$  در طول آخرین تکرار است را تولید نموده و در درون شبکه پخش می‌کند. زمانی که میزبان  $H_i$  پیام خوشه بندی را دریافت می‌کند اگر شماره ID خود را در  $Collection\text{-}Cluster\text{-}head$  پیدا کند نقش سرخوشه را دارد و گرنم نقش عضو خوشه را دارد. زمانی که میزبان  $H_i$  پیام پاداش را دریافت می‌کند بردار احتمال عملش را توسط پاداش دادن عمل برگزیده  $\alpha_{i,j}$  و جرمیه نمودن عمل  $\alpha_{i,k}$  با استفاده از روابط (۵) و (۶) بروزرسانی می‌کند.

$$P_{i,j}(n+1) = P_{i,j}(n) + a[1 - P_{i,j}(n)] \quad (5)$$

$$P_{i,k}(n+1) = (1-a)P_{i,k}(n) \quad \forall k \neq j \quad (6)$$

بطوری که احتمال  $P_{i,j}$  این است که میزبان  $H_i$  میزبان  $H_j$  را بعنوان سرخوشه انتخاب کند. وزمانی که میزبان  $H_i$  پیام جرمیه را دریافت می‌کند بردار احتمالات عملش را توسط روابط (۷) و (۸) بروزرسانی می‌کند.

$$P_{i,j}(n+1) = (1-b)P_{i,j}(n) \quad (7)$$

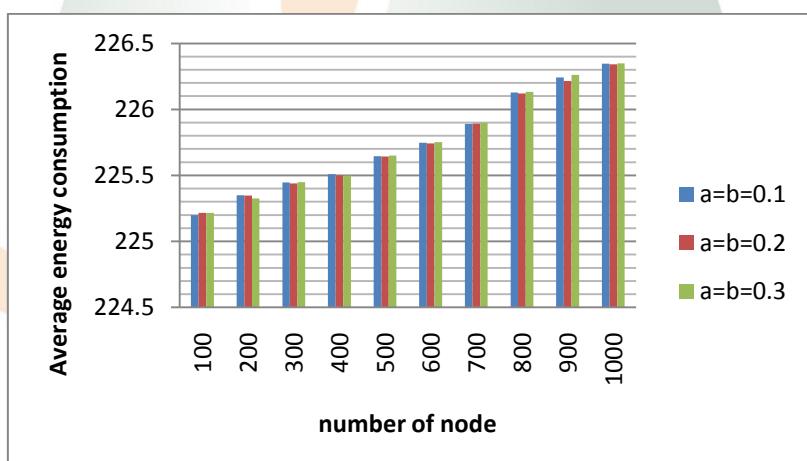
$$P_{i,k}(n+1) = \left(\frac{b}{r-1}\right) + (1-b)P_{i,k}(n) \quad \forall k \neq j \quad (8)$$

### ۴-۲-۳- فاز سوم دوباره خوش بندی

این فاز زمانی اتفاق می‌افتد که سرخوشه‌ها انرژی لازم برای ارسال داده‌ها را نداشته باشد، عبارتی انرژی آن از حد استانداری از پیش تعیین شده کمتر باشد. حال به علت تحرک کم حسگرها فاز دوباره خوش بندی به تعداد دفعات زیادی که در شبکه‌های ادھار انجام می‌شود انجام نخواهد شد بلکه در بازه‌های مساوی در صورتی که میانگین انرژی شبکه از حد مشخصی پایین تر آید اقدام به ایجاد  $wcds$  می‌کنیم. عبارتی فاز تشکیل دوباره خوش‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی گره سرخوشه‌ای که اطلاعات را ارسال می‌کند از یک سطح انرژی که میانگین انرژی در کل شبکه است پایین تر باید یعنی سرخوشه انرژی لازم برای ارسال داده‌ها را نداشته باشد در این صورت پیامی در کل شبکه فرستاده خواهد شد تا برای ارسال پسته‌های داده جدید فاز تشکیل خوش‌ها، دوباره انجام شود. در مرحله تشکیل دوباره خوش بندی به دلیل استفاده از اتماتاتی یادگیر به سرعت به یک مجموعه سرخوش مطلوب می‌رسیم به این دلیل که در طی خوش بندی اولیه احتمال انتخاب مجموعه سرخوش کاندید متناسب با بهینگی آن در میان کاندیداهای دیگر رشد نموده و بنابراین در نبود مجموعه سرخوش مطلوب دو میان مجموعه سرخوش مطلوب بالاترین احتمال را دارد و در این فاز کاهش قابل توجهی از تکرار راجه‌ت یافتن مجموعه سرخوش مطلوب خواهیم داشت.

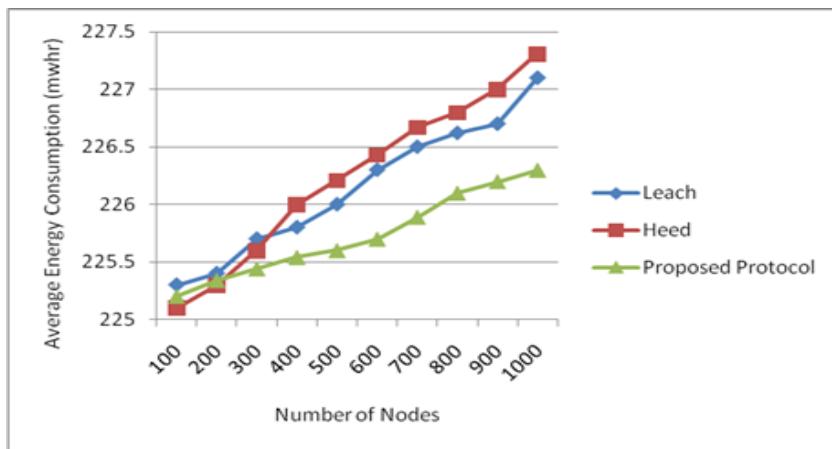
### ۵- شبیه سازی

در این مقاله برای انجام شبیه سازی از شبیه ساز glomosim استفاده شده است. و روش پیشنهادی با پروتکل های خوش بندی leach مقایسه شده است. معیارهای میانگین مصرف انرژی کل شبکه، سطح انرژی باقیمانده تک گره‌ها در شبکه، تعداد خوش‌ها و طول عمر شبکه برای انجام این مقایسه در نظر گرفته شده است. برای این منظور یک شبکه حاوی  $N$  گره در نظر گرفته ایم که بصورت تصادفی در محیطی به مساحت  $1000 \times 1000$  متر مربع توزیع شده اند. بردار دیوی بی حسگرها ۲۵ متر در نظر گرفته شده است. انرژی اولیه تمام گره‌ها یکسان و برابر ۲۲۷ میلی وات بر ساعت انتخاب می‌گردد همچنین در شبیه سازی از آتماتاتی یادگیر  $L_{R,P}$  با پارامترهای پاداش و جریمه ۰، ۰، ۰ استفاده شده است. مقدار فوق با انتخاب ۳ عدد برای این پارامترها برای میانگین انرژی مصرفی شبکه انجام شده و با مقایسه این نتایج ۰، ۰، ۰ عنوان مقداری بهینه در کلیه آزمایش‌ها استفاده شده است. نتایج آزمایش فوق در شکل(۲) آمده است.



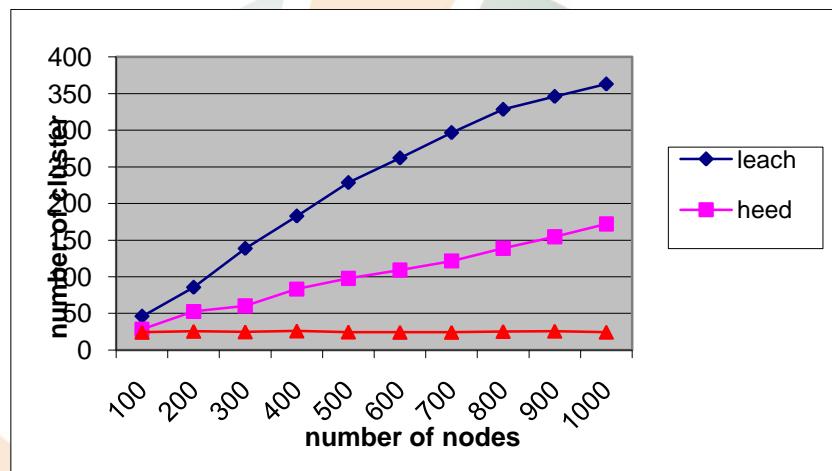
شکل (۲) مقایسه میانگین انرژی مصرفی برای مقادیر متفاوت  $a,b$

شکل (۳) نسبت تغییرات میانگین مصرف انرژی در مقایسه با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه را بررسی می‌نماید. از این پارامتر جهت بهینه بودن مصرف انرژی در الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است.



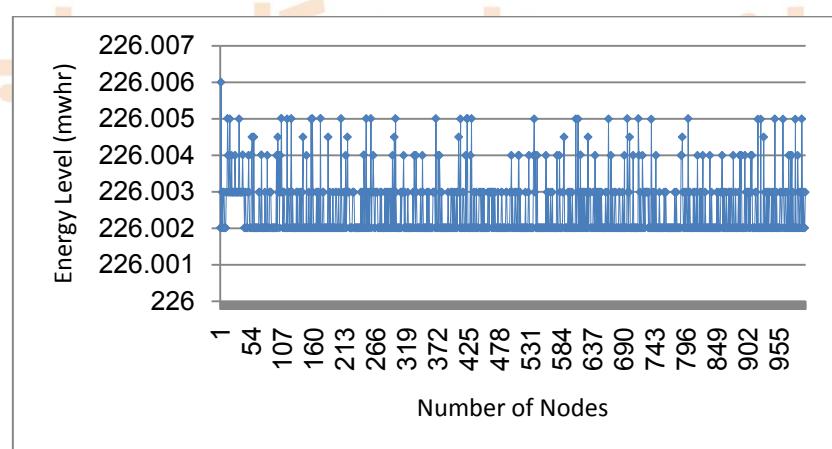
شکل(۳) مقایسه میانگین مصرف انرژی کل شبکه در روش‌های مختلف

شکل (۴) تعدادسرخوشه های ایجاد شده درروش پیشنهادی را با دو روش leach, heed مقایسه می نماید. همانگونه که مشاهده می گردد تعدادگرهای سرخوشه ایجادشده درروش پیشنهادی نسبت به بقیه روشها با توجه به استفاده از wcds بسیار کمتر می باشد .



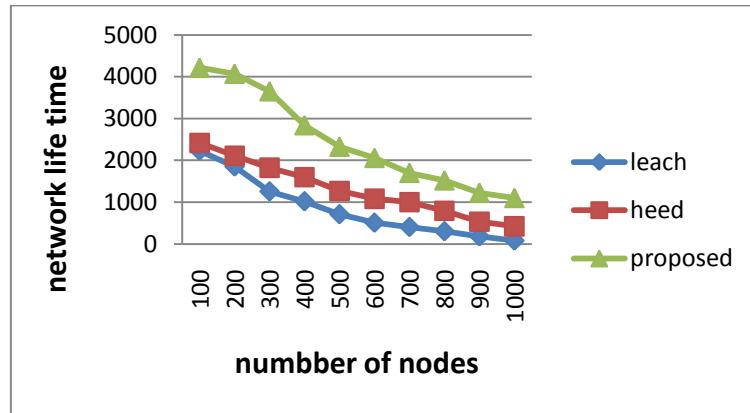
شکل(۴) مقایسه تعدادسرخوشه های ایجادشده درروش‌های مختلف خوشبندی

شکل(۵) مقایسه نسبت تغییرات سطح انرژی باقیمانده تک تک گره ها در شبکه را بررسی می نماید. بوسیله این پارامتر می توان توازن در شبکه را مشخص نمود. بطوریکه اگر بعد از انجام پروتکل سطح انرژی اکثر گره ها با یکدیگر برابر باشند بدین معناست که از اکثر گره ها به صورت متعادل استفاده شده و بدین ترتیب توازن بار انرژی در شبکه وجود دارد.



شکل(۵) مقایسه نسبت تغییرات سطح انرژی تک تک گره ها

شکل(۶) مقایسه طول عمر شبکه با افزایش تعداد گره ها در شبکه را بررسی می نماید. نتایج نشان می دهد در روش leach چون مسئله انرژی موجود در گره ها مدنظر قرار نمی گیرد، معمولاً در هر بار اجرای الگوریتم، گره های مشخصی انتخاب شده و منجر به ازین رفتن سریعترین گره ها می گردد. ولی در روش پیشنهادی، چون در هر بار اجراسعی می گردد که گره های بالانسی بیشینه انتخاب شوند، طول عمر شبکه بیشتر خواهد بود.



شکل(۶) مقایسه طول عمر شبکه در روش‌های مختلف خوشبندی

## ۶ نتیجه گیری

در این مقاله جهت افزایش طول عمر شبکه های حسگری سیم و کاهش مصرف انرژی که از مهم‌ترین مسائل در شبکه‌های حسگرمی باشد، روشی برای خوشبندی گره ها در شبکه های حسگربراساس تکنیک مجموعه حاکم با اتصال ضعیف و تکنیک اتوماتیک یادگیر ارائه گردید. در این روش خوشبندی، پارامترهای مختلفی مانند میزان انرژی مصرفی و متصل بودن شبکه بررسی گردید. نتایج آزمایش ها نشان داد که روش ارائه شده، نسبت به دیگر روش‌های خوشبندی، بدلیل استفاده از اتوماتیک یادگیر و تکنیک wcds و انتخاب گره های با انرژی بیشینه خوشبندی مناسب‌تری ایجاد نموده و طول عمر شبکه را افزایش داده است.

## مراجع

- [۱] I. F. Akyildiz; W. Su; Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, “*A survey on sensor networks*”, in: Proceedings of the IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [۲] M. Ilyas; I. Mahgoub, “*Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*”, in: Proceedings of the CRC Press, London, Washington, D.C., 2005.
- [۳] S. Banerjee; S. Khuller, “*A Clustering Scheme for Hierarchical Control in Multi-hop Wireless Networks*”, in Proceedings of IEEE INFOCOM, April 2001
- [۴] C. R. Lin; M. Gerla, “*Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks*”, in IEEE J. Select. Areas Commun, September 1997.
- [۵] W. R. Heinzelman; A. Chandrakasan; H. Balakrishnan, “*An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro sensor Networks*”, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, No. 4, pp. 660-670, October 2002.
- [۶] S. Bandyopadhyay; E. Coyle, “*An Energy-Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks*”, in Proceedings of IEEE INFOCOM, April 2002.
- [۷] D. Estrin; R. Govindan; J. Heidemann; 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 1999.
- [۸] H. Chan; A. Perrig, “*ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation*”, in Proceedings of the First European Workshop on Sensor Networks (EWSN), January 2004.
- [۹] M. Gerla; T. J. Kwon; G. Pei, “*On Demand Routing in Large Ad Hoc Wireless Networks with Passive Clustering*”, in Proceeding of WCNC, 2004.
- [۱۰] J. Kulik; W. R. Heinzelman; H. Balakrishnan, “*Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks*”, ACM Wireless Networks, vol. 8, No. 2-3, pp. 169-180, 2002.
- [۱۱] O. Younis; S. Fahmy, “*Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks:A Hybrid, Energy-Efficient Approach*”, March 2004.
- [۱۲] M. YE\; C. LI\; G. CHEN\; J. WU\, “*An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks*”, Ad Hoc & Sensor Wireless Networks. Vol. 3, pp. 99-119.
- [۱۳] Y. Chen; A. Liestman, “*Approximating minimum size weakly-connected Dominating Sets for Clustering Mobile Ad hoc Networks*”, Third ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp. 165-172, June 2002.

- [۱۴] Y. P. Chen; A. L. Liestman, "**Maintaining Weakly-Connected Dominating Sets for Clustering Ad-Hoc Networks**", *Ad-Hoc Networks*, Vol. ۳, pp. ۶۲۹–۶۴۲, ۲۰۰۵.
- [۱۵] Y. P. Chen; A. L. Liestman, "**A Zonal Algorithm for Clustering Ad-Hoc Networks**", *International Journal of Foundations of Computer Science*, Vol. ۱۴, No. ۲, pp. ۳۰۵–۳۲۲, ۲۰۰۳.
- [۱۶] R. G. Gallager; P. A. Humblet ;P. M. Spira, "**A Distributed Algorithm for Minimum Weight Spanning Trees**", *ACM Transaction on Programming Languages and Systems*, Vol. ۵, pp. ۶۶–۷۷, ۱۹۸۳.
- [۱۷] B. Han; W. Jia, "**Clustering Wireless Ad-Hoc Networks with Weakly Connected Dominating Set**", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. ۶۷, pp. ۷۲۷ – ۷۳۷, ۲۰۰۷.
- [۱۸] K. M. Alzoubi; P. J. Wan; O. Frieder, "**Distributed Heuristics for Connected Dominating Sets in Wireless Ad Hoc Networks**", *Journal of Communications and Networks*, Vol. ۴, No. ۱, pp. ۲۲–۲۹, ۲۰۰۲.
- [۱۹] K. M. Alzoubi; P. J. Wan; O. Frieder, "**Maximal Independent Set, Weakly Connected Dominating Set, and Induced Spanners for Mobile Ad-Hoc Networks**", ۲۰۰۳.
- [۲۰] J. Akbari Torkestani; M. R. Meybodi, "**Clustering the wireless Ad Hoc networks: A distributed learning automata approach** *Parallel and Distributed Computing*", s.l: Elsevier, ۲۰۰۹,
- [۲۱] S. Guha; S. Khuller, "**Approximation algorithms for Connected Dominating Sets**", *Algorithmica*, Vol. ۲۰, pp. ۳۷۴–۳۸۷, April ۱۹۹۸.
- [۲۲] P. J. Wan; K. M. Alzoubi; O. Friede, "**Distributed Construction of Connected Dominating Sets in Wireless Ad Hoc Networks**", In Proc. of IEEE INFOCOM, Vol. ۳, pp. ۱۵۹۷–۱۶۰۴, ۲۰۰۲.
- [۲۳] M. A. L. Thathachar; R. H. Bhaskar, "**Learning Automata with Changing Number of Actions**", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. ۱۷, No. ۶, ۱۹۸۷.

<sup>۱</sup> Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

<sup>۲</sup> Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering

<sup>۳</sup> Learning Automata

<sup>۴</sup> Stationary Environment

<sup>۵</sup> Non-Stationary Environment

<sup>۶</sup> Reward

<sup>۷</sup> Penalty

<sup>۸</sup> Linear Inaction Penalty

<sup>۹</sup> Linear Reward Inaction

<sup>۱۰</sup> Linear Reward Penalty

<sup>۱۱</sup> Linear Reward Epsilon Penalty

<sup>۱۲</sup> Fixed structure learning automata

<sup>۱۳</sup> Variable structure learning automata

<sup>۱۴</sup> Weakly Connected Dominating Set

# کنفرانس داده کاوی ایران