

## انتخاب سرخوشه بهینه در شبکه حسگر بی سیم با رویکرد نظریه بازی ها

آزاده نوایی تورانی<sup>۱</sup>، سیدحمید حاج سید جوادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند

### چکیده

یکی از چالش‌های شبکه حسگر بی سیم زنده نگه داشتن گره‌های حسگر برای طولانی‌ترین مدت ممکن و به طبع آن، افزایش طول عمر شبکه است. یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در شبکه‌ها، خوشه‌بندی گره‌هاست. به این منظور مسئله انتخاب بهینه سرخوشه را به عنوان یک بازی مدل‌سازی شده است. که بازیکن‌ها همان گره‌های موجود در شبکه و براساس یک تابع سودمندی تعریف شده با پارامترهای نظیر (انرژی باقیمانده گره‌ها، هزینه‌ی سرخوشه شدن گره‌ها، و...) اقدام به انتخاب مجموعه‌ی از گره‌ها به عنوان سرخوشه بهینه می‌کند و با محاسبه تعادل نش و انتخاب استراتژی مختلط، احتمال سرخوشه شدن برای هر گره بدست می‌آید. در این الگوریتم، هر خوشه به صورت مستقل، اطلاعات را ایستگاه اصلیا ارسال می‌کند. نتایج شبیه‌سازی و مقایسه آن با روشهای LEACH, DCGT توزیع و مصرف انرژی بهینه تری اعلام می‌شود. بنابراین الگوریتم‌های پیشنهادی برای شبکه‌های با مقیاس بزرگ و ناهمگن مناسب بوده است، در نتیجه نقش مهمی برای برنامه‌های کاربردی در فضاهای صعب العبور دارد.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه‌های حسگر بی سیم، نظریه بازی ها، خوشه بندی، سرخوشه، افزایش طول عمر.

## مقدمه

امروز با نوآوری و بهره‌گیری از فناوریهای نوین، کسب و کار الکترونیکی با سرعتی بالا در حال حرکت می‌باشد. بنابراین پیشرفت تکنولوژی مخابرات و صنعت قطعات الکترونیکی و الکترونیکی خرد، منجر به ساخت حسگرهایی کوچک و نسبتاً ارزان شده که از طریق یک شبکه بی‌سیم با یکدیگر در ارتباطند. این شبکه‌ها به ابزار مناسبی برای استخراج داده از محیط و مانیتورینگ رویدادهای محیطی شده‌اند و کاربردها آنها روز به روز در حال افزایش است. یکی از چالش‌های نگر داشتن گره‌های حسگر برای طولانی‌ترین مدت ممکن و به طبع آن، افزایش طول عمر شبکه است. یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در شبکه‌ها، خوشه‌بندی گره‌هاست. گره‌های موجود در شبکه به خوشه‌هایی افزای می‌شوند. دیگر گره‌های موجود در شبکه، داده‌های خود را به سرخوشه ارسال می‌کنند بر همین اساس، مسئله انتخاب بهینه سرخوشه را به عنوان یک بازی مدل‌سازی شده است که بازیکن‌ها همان گره‌های موجود در شبکه هستند و براساس یک تابع سودمندی از پیش تعریف شده با پارامترهای همچون (انرژی باقیمانده، هزینه‌ی سرخوشه شدن، فاصله گره‌ها، فاصله‌ی اصلی و فاصله‌ی گره‌ها همسایه تا گره، توپولوژی تشکیل خوشه و تعداد دفعاتی که هر گره به عنوان سرخوشه) اقدام به انتخاب مجموعه‌ی از گره‌ها به عنوان سرخوشه بهینه می‌کند و با محاسبه به تعادل نش و انتخاب استراتژی مختلط، احتمال سرخوشه شدن برای هر گره بدست می‌آید. در این الگوریتم، هر خوشه به صورت مستقل، اطلاعات را ایستگاه اصلی ارسال می‌کند. نتایج شبیه‌سازی و مقایسه آن با روشهای LEACH, DCGT توزیع و مصرف انرژی بهینه تری اعلام می‌شود. بنابراین مدت زمان بیشتری همه‌ی گره‌های شبکه زنده هستند و همچنین فاصله مرگ اولین گره تا زمان فرارسیدن مرگ ۹۰ درصد گره‌های شبکه کمتر شده است.

## الگوریتم پیشنهادی

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش قبل نظریه بازی‌ها برای افزایش طول عمر شبکه و بهره‌وری انرژی گره‌های حسگر استفاده شده است.

## طراحی بازی انتخاب سرخوشه

یک بازی بنام CHGT به صورت رسمی  $CGT \langle N, S, U \rangle$  تعریف شده است که بازیکنان همان گره‌های موجود در شبکه  $N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_n\}$  هستند، مجموعه‌ی  $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$  استراتژی‌های که هر بازیکنان می‌توانند، انتخاب کنند و مجموعه توابع سودمندی بازیکنان با علامت اختصاری  $U$  تعریف شده است. هر بازیکن امکان انتخاب دو استراتژی دارد. ۱- گره‌های که خود را به عنوان سرخوشه معرفی می‌کند، با علامت اختصاری SCH نام گذاری می‌گردند. ۲- گره‌های که خود را به عنوان سرخوشه معرفی نمی‌کند با علامت اختصاری NO نام گذاری می‌گردند. تابع سودمندی بازیکنان بصورت ذیل تعریف شده است: ۱- اگر بازیکنان استراتژی NO انتخاب کند و هیچ گره‌ی استراتژی SCH برای بازی انتخاب نکند، بنابراین هیچ گره‌ی به عنوان سرخوشه انتخاب نخواهد شد. تابع سودمندی همه گره‌ها صفر خواهد شد و همه گره‌ها داده‌ها خود را به صورت مستقیم به ایستگاه اصلی ارسال خواهند کرد. ۲- اگر بازیکنان استراتژی NO انتخاب کند و حداقل یکی از گره‌های موجود در شبکه استراتژی SCH انتخاب کرده باشد، در نتیجه تابع سودمندی آن گره برابر  $V$  خواهد شد ( $V$  یک عدد ثابت و برزگی).

گره‌ها استراتژی SCH را برای بازی انتخاب کند، سودمندی آن سرخوشه برابر است با:

$$\lambda = V + W_1 * E - W_2 * C - W_3 * H - W_4 * O + W_5 * M + W_6 * Nch \quad (1)$$

	SCH	NO
SCH	SCH	$(\Delta, \Delta)$
NO	$(V, \Delta)$	$(0, 0)$

پارامتر  $E$  انرژی باقیمانده گره‌ها،  $C$  هزینه‌ی سرخوشه شدن گره‌ها،  $H$  فاصله گره تا ایستگاه اصلی و  $O$  فاصله‌ی گره‌ها همسایه تا گره،  $M$  توپولوژی تشکیل خوشه و  $Nch$  تعداد دفعاتی که هر گره به عنوان سرخوشه انتخاب شده است. چون دامنه‌ی تغییرات پارامترهای ذکر شد مشابه نیستند، هنگام استفاده از رابطه‌ی بالا ضرایبی همچون  $W_1, \dots, W_6$  جهت نرمال‌سازی پارامترهای در نظر گرفته شده است، به

همین دلیل مقدار این پارامترهای ممکن است خیلی بزرگ یا کوچک شوند و برای ترکیب پارامترها با یکدیگر لازم است در ابتدا این مقادیر بین صفر و یک نرمالیزه شود، جدول شماره (۱) استراتژی‌های سودمندی دو بازیکن را نشان می‌دهد. جدول ۱: استراتژی‌های سودمندی دو بازیکن ساده

جهت رسیدن به هدف اصلی این پژوهش حضور و یا عدم حضور گره‌های حسگر در ائتلاف انتخاب بهینه سرخوشه و رابطه‌ی تعادل نش بازیکنان مطابق جدول (۱) بدست بیاورید. ارتباطات متقارن این بازی بر اساس نتیجه تابع سودمندی می‌باشد و فقط به استراتژی‌های انتخابی هریک از بازیکنان بستگی دارد، نه خود بازیکنان.

نکته‌ی حائز اهمیت، استراتژی (SCH, SCH) را در این بازی به عنوان تعادل نش نمی‌توان در نظر گرفت، چون بازیکنان درجهت کسب سود بیشتر ترجیح می‌دهند، استراتژی NO را انتخاب کنند ( $V > \Delta$ ) و به همین ترتیب استراتژی (NO, NO) را نمی‌توان به عنوان تعادل نش بازی انتخاب کرد ( $\Delta > 0$ ). اما اگر یکی از بازیکنان استراتژی SCH (سرخوشه) انتخاب کند، بقیه بازیکنان استراتژی NO انتخاب کنند. مطابق تعریف تعادل نش هیچ بازیکنی میلی به تغییر استراتژی خود نخواهد داشت چرا که با تغییر استراتژی‌ی داند در شرایط بدتر قرار خواهند گرفت. بنابراین دو استراتژی (SCH, NO), (NO, SCH) را به عنوان تعادل نش بازی مطابق جدول (۱) معرفی می‌خواهیم کرد و در نتیجه تعادل نش این بازی تقارن نیست.

$$U_i(s) \begin{cases} 0, & \text{if } s_j = NO, \forall j \in N \\ \Delta, & \text{if } s_i = SCH \\ V, & \text{if } s_i \in NO \text{ and } \exists j \in N \text{ s.t. } S_j = SCH \end{cases} \quad (1)$$

#### محاسبه احتمال سرخوشه شدنو تعادل نش

همان طوری که پیش تر گفته شد، این بازی دارای تعادل نش متقارن نیست و به منظور رسیدن به تعادل نش متقارن، به بازیکنان اجازه انتخاب استراتژی مختلط داده می‌شود. که بازیکنان جهت انتخاب استراتژی‌ها، عددی به صورت تصادفی بین صفر و یک تولید می‌کنند و اگر عدد تولید شده از مقدار  $p$  کوچکتر باشد، آنگاه گره حسگر خود را به عنوان سرخوشه معرفی خواهد کرد، در غیر این صورت به عنوان عضو خوشه معرفی خواهد کرد.

احتمال اینکه هر بازیکن خود را به عنوان گره معمولی معرفی کند، برابر است با:  $g = 1 - p$  (۲)

قضیه یک: برای طراحی یک بازی متقارن انتخاب بهینه سرخوشه، متغیر  $P$  احتمال سرخوشه شدن هر گره را بر اساس رابطه (۲) محاسبه کرده و این مقدار برابر با تعادل نش با استراتژی مختلط است.

$$\lambda = W_2 C + W_3 H - W_4 O - W_1 E + W_5 M + W_6 Nch \quad (3)$$

$$P = 1 - \left( \frac{\lambda}{V} \right)^{\frac{1}{N-1}} \quad (4)$$

اثبات: برای بدست آوردن احتمال سرخوشه شدن هر گره‌ی حسگر، باید رابطه تعادل نش استراتژی مختلط محاسبه نمایید. بنابراین، تابع سودمندی هر استراتژی را با توجه به جدول (۱) و رابطه (۴) حاصل می‌شود. بنابراین سود حاصل از انتخاب استراتژی SCH

(مستقل از استراتژی‌های که بازیکنان دیگر انتخاب کرده‌اند) برابر است با: (۵)

$$U_{SCH} = \Delta = V + W_1 E - W_2 C - W_3 H - W_4 O - W_5 M - W_6 Nch$$

سود حاصل از انتخاب استراتژی NO از مجموع احتمالات که، هیچ گرهی خود را به عنوان سرخوشه معرفی نکنند. برابر با صفر است ( $V=0$ ) و احتمال اینکه حداقل یکی از گره‌ها خود را به عنوان سرخوشه معرفی کند، برابر با مقدار  $V$  خواهد بود و در حالت کلی، سود حاصل از انتخاب استراتژی NO به صورت زیر است.

$$\begin{aligned} U_{NO} &= p\{\text{no one declares itself as CH}\} * 0 \\ &+ p\{\text{at least someone else declares itself as CH}\} V \\ &= V(1 - P\{\text{no one else declares itself as CH}\}) \\ &= V(1 - q^{n-1}) = V(1 - (1 - p)^{n-1}) \end{aligned}$$

برای محاسبه تعادل نش با استراتژی مختلط، باید سود حاصل از استراتژی SCH, NO محاسبه گردد، که برابر با رابطه (۶) است.

$$V + W_1 E + W_2 C - W_3 H - W_4 O - W_5 M - W_6 Nch = V(1 - (1 - P)^{N-1}) \quad (۶)$$

با تساوی رابطه (۴) با تعادل نش استراتژی مختلط می‌توان احتمال سرخوشه شدن هر گره، برابر با رابطه (۷) محاسبه کرد.

$$P = 1 - ((W_2 C + W_3 H - W_4 O - W_1 E - W_5 M - W_6 Nch) / V)^{\frac{1}{N-1}} \quad (۷)$$

همان طور که مشاهده می‌شود، احتمال سرخوشه شدن هر گره تابعی از متغیرهای انرژی باقیمانده گره ( $E$ )، هزینه سرخوشه شدن گره ( $C$ )، ... و تعداد بازیکنان ( $N$ )، ضرایب  $W_1$  تا  $W_6$  و مقدار  $V$  ثابت در نظر گرفته شده است. با جایگزینی متغیر  $\lambda$  با  $\lambda = W_2 C + W_3 H - W_4 O - W_1 E - W_5 M - W_6 Nch$  رابطه (۶) به صورت زیر نوشت.

$$P = 1 - \left(\frac{\lambda}{V}\right)^{1/N-1} \quad (۸)$$

**نکته حائز اهمیت:** اگر مقدار رابطه  $\lambda/V$  کوچکتر از یک شود ( $\lambda/V < 1$ )، مقدار متغیر  $p$  هیچ‌گاه از یک بیشتر نخواهد شد و هزینه احتمال سرخوشه شدن هر گره را، عددی بین صفر و یک خواهد بود. با در نظر گرفتن رابطه (۸) هرچه تعداد بازیکن بیشتر باشد، احتمال سرخوشه شدن گره‌ها کاهش می‌یابد، بالعکس هرچه تعداد بازیکنان کمتر باشد، احتمال سرخوشه شدن افزایش یافته است. احتمال سرخوشه شدن حداقل یک گره از رابطه (۹) بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} p_1 &= P\{\text{at least one sensor node declares itself as CH}\} \quad (۸) \\ &= 1 - p\{\text{no one declares itself as CH}\} = 1 - (1 - P)^N \end{aligned}$$

اگر مقدار  $P$  را در این رابطه (۸) جایگذاری کنید:

$$P_1 = 1 - \left(\frac{\lambda}{V}\right)^{N/N-1} \quad (۹)$$

از دو رابطه (۸) و (۹) می‌توان نتیجه گرفت، اگر فقط یک بازیکن در بازی شرکت داشته باشد، احتمال  $P_1$  و  $P$  برابر یک خواهد شد، یعنی همان گره به عنوان سرخوشه معرفی می‌شود. اما اگر بیش از یک بازیکن وجود داشته باشد می‌توان از دو رابطه  $P = 1 - \frac{\lambda}{V}$  و

$P_1 = 1 - \left(\frac{\lambda}{V}\right)^2$  احتمال سرخوشه شدن گره‌ها را بدست آورید و اگر مقدار  $N$  به سمت بی‌نهایت میل کند. مقدار متغیرها  $P_1$  و  $P$  را از رابطه ذیل بدست خواهد آمد.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P = 0 \quad (۱۰)$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P_1 = 1 - \frac{\lambda}{V} \quad (۱۱)$$

### دلایل انتخاب پارامترها

دلایل انتخاب هریک از پارامترها با توجه به رابطه (۱)، در طراحی بازی و جدول سودمندی بازیکنها از شش پارامتر استفاده شده است که در ذیل به صورت مختصر هریک را توضیح خواهیم داد.

#### باقیمانده انرژی گره (E)

یکی از مهمترین چالشهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محدودیت انرژی گره‌ها است و دلایل مصرف انرژی بیشتر گره‌ی سرخوشه نسبت به سایر گره‌ها را می‌توان گفت: ۱- گره‌های که در فاصله نزدیکی به ایستگاه اصلی قرار دارند، داده‌ها را به ایستگاه اصلی مستقیم ارسال می‌کنند. ۲- گره‌های که در فاصله نسبتاً دورتر ایستگاه اصلی قرار دارند. ابتدا داده‌ها را به سرخوشه ارسال کرده و بعد از تجمیع داده‌ها را به ایستگاه اصلی ارسال می‌شود. بنابراین سرخوشه‌ها انرژی بیشتری نسبت به سایر گره‌ها استفاده می‌کند. گره‌های که انرژی بیشتری دارند، شانس سرخوشه شدن آنها نسبت به بقیه بیشتر خواهد بود و بالعکس.

#### فاصله گره تا ایستگاه اصلی (H)

با توجه به اینکه شبکه حسگر بی‌سیم شامل تعداد زیادی گره‌های حسگر است که بر روی یک ناحیه محافظت نشده، نزدیک یا دورن هدفهای به قصد مشاهده پارامترهای مورد نظر، به صورت متراکم چیده شده‌اند و براساس تحقیقات پیشین می‌توان گفت احتمال ارسال داده مشابه توسط چند گره وجود دارد لذا یکی از وظایف مهم سرخوشه تجمیع داده است که بین داده‌های تکراری و داده‌های کاربردی تفاوت قایل شود. بنابراین سرخوشه‌ها بعد از دریافت داده‌ها از اعضای خوشه آنها را تجمیع نموده و به ایستگاه اصلی ارسال می‌کند. اگر فاصله‌ی گره‌های حسگر تا ایستگاه اصلی زیاد باشد، انرژی زیادی برای ارسال داده استفاده می‌شود و بالعکس. بنابراین گره‌های حسگر که فاصله کمی از ایستگاه اصلی دارند، شانس بیشتری برای سرخوشه شدن دارند.

#### فاصله گره‌های همسایه (O)

همانطور که پیش‌تر گفته شد، هر گره‌ی حسگر داده‌ها را از محدوده اش جمع‌آوری کرده و به سرخوشه مربوط ارسال می‌کند. بنابراین هرچه فاصله‌ی گره تا سرخوشه کمتر باشد، انرژی کمتری برای ارسال داده به سرخوشه نیاز است. پس گره‌ی که فاصله‌ی کمتری با همسایگان دارند، شانس بیشتری برای سرخوشه شدن دارند. یکی از پارامتر مهم انتخاب سرخوشه فاصله گره‌های همسایه تا گره منتخب سرخوشه است. بنابراین گره‌های که در مرکز خوشه قرار دارد، نسبتاً شانس بیشتری برای انتخاب دارند.

#### متولوژی شکل دهی خوشه (M)

یکی از وظایف اصلی سرخوشه‌ها دریافت و تجمیع داده‌هاست، بر همین اساس میزان انرژی مصرف هر سرخوشه مشخص می‌گردد. بنابراین اگر تعداد گره‌های بعضی از خوشه‌ها بیشتر دیگر خوشه‌ها باشند، انرژی مصرفی برای دریافت و تجمیع داده بیشتری نیاز خواهد داشت. برای برقراری تعادل مصرف انرژی در خوشه‌ها لازم است، توزیع گره‌ها عضو خوشه در خوشه‌ها تقریباً برابری باشد.

#### تعداد دفعاتی سرخوشه شدن (O)

با توجه به اینکه گره‌ی حسگر که مسئولیت سرخوشه شدن را می‌پذیرد، انرژی مصرف شده در این گره‌ها به دلیل جمع‌آوری، تجمیع و ارسال داده‌ها به ایستگاه اصلی نسبت به سایر گره‌های معمولی بیشتر است. اگر در هر دوره گره‌ی به عنوان سرخوشه انتخاب شود. احتمال سرخوشه آن گره در دوره‌های بعد صفر می‌شود تا زمانی که تمام همسایه‌ها در یک برد رادیویی قرار دارند، حداقل یک بار به عنوان سرخوشه انتخاب شود تا بتوان مصرف انرژی را در کل شبکه توزیع کرد. فرض براین است که تمام گره‌ها با هم همسایه هستند و گره‌های که در یک برد رادیویی قرار دارند.

### هزینه‌ی سرخوشه شدن گره (C)

انرژی مورد نیاز برای ارسال و ادغام داده به سرخوشه‌ها بنام هزینه سرخوشه شدن نامگذاری شده است. این هزینه به فاصله‌ی سرخوشه تا ایستگاه اصلی و همچنین تعداد اعضای خوشه بستگی دارد، آشکاراست که گره‌های که هزینه‌ی سرخوشه شدن آنها نسبت به گره‌های دیگر کمتر باشد، شناس بیشتری برگزیده شدن به عنوان سرخوشه خواهند داشت و بالعکس هر چه هزینه سرخوشه شدن گره‌ها بیشتر باشد، احتمال سرخوشه شدن آن کمتر خواهد بود.

با توجه به توضیحات بالا، باید ضرایب مناسب برای هر یک از پارامترها نام برده شده در نظر گرفته شود. برای پیدا کردن مقادیر مناسب برای ضرایب  $W_6, W_1$  صورت آزمون خطا و نتایج تجربی بدست آمده است. مقادیر انتخابی برای هر یک از این ضرایب در جدول شماره (۲) آمده است.

جدول ۲: جدول ضرایب  $W_6, W_1$

۰.۳	۰.۳	۰.۵	۰.۳	۰.۳	۰.۴
-----	-----	-----	-----	-----	-----

### مدل مصرف انرژی و هزینه‌های انتخاب سرخوشه

به منظور پیاده سازی بازی و کسب آگاهی در زمینه مدل مصرف انرژی گره‌های حسگر جهت ارسال و دریافت داده که یکی از موضوعات بسیار مهم می‌باشد. گره‌های از شبکه حسگر بی‌سیم براساس نتایج از اجرای الگوریتم پیشنهادی CHGT پیشنهادی، به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. گره‌های منتخب سرخوشه‌ها وضعیت خودشان را به اطلاع دیگر گره‌های شبکه می‌رسانند و هر گره براساس مینیم انرژی ارتباطی (فاصله گره تا سرخوشه)، سرخوشه‌ی را انتخاب کرده و عضو آن خوشه می‌گردد. الگوریتم پیشنهادی CHGT بر پایه الگوریتم LEACH می‌باشد، عملیات این الگوریتم دوره‌هایی تقسیم می‌شود که هر دور به دو فاز راه اندازی و پایدار تقسیم شده است.

### مرحله راه اندازی خوشه:

#### محاسبه تعداد بهینه خوشه ه از تعداد کل گره های حسگر:

در LEACH تعداد خوشه‌ها را بصورت پیش فرض ۰.۵ درصد تعداد کل گره در نظر گرفته شده‌اند. اما در الگوریتم پیشنهادی تعداد بهینه خوشه‌ها از تعداد کل حسگرها زنده در شبکه بدست می‌آید (کودیالام و لکشمن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳) که اثر بهینه‌ی در کارایی، انرژی، استحکام و سازگاری شبکه دارد. قبل از شروع هر دوره، تعداد بهینه خوشه‌ها را نسبت به تعداد گره‌ی حسگر زنده شبکه

$$k = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}} \frac{M}{d^2}} \quad (12)$$

محاسبه می‌گردد.

که در آن  $N$  تعداد گره‌های موجود در شبکه و  $\epsilon_{fs}$  انرژی تقویت کننده برای مسافت کوتاه و  $\epsilon_{mp}$  انرژی تقویت کننده برای مسافت طولانی (ارسال به ایستگاه اصلی) است که هر دو مقادیر ثابتی دارند،  $M$  ضلع شبکه و  $d$  فاصله تا ایستگاه اصلی است (کودیالام و لکشمن، ۲۰۰۳)

#### اعلام حضور سرخوشه:

<sup>1</sup> Kodialam and Lakshman

هر گره‌ی حسگر بصورت مستقل از سایر گره‌های حسگر تصمیم می‌گیرد که در این دوره در بازی انتخاب سرخوشه شرکت کند یا خیر. این تصمیم بر مبنای پارامترهای رابطه (۱) همچون باقیمانده انرژی گره‌ها، فاصله گره تا ایستگاه اصلی و ... اخذ می‌گردد. این تصمیم گره‌های حسگر، بر اساس انتخاب یک عدد تصادفی بین صفر و یک صورت می‌پذیرد. اگر عدد تصادفی، کمتر از مقدار متغیر  $p$  باشد، حسگر در دوره جاری به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود.

سرخوشه‌ها به حوزه‌های مجاور خود با یک بسته آگهی، حضور خود را اعلام می‌کند، گره‌های عضو خوشه بسته آگهی که دارایی بیشترین قدرت سیگنال را دریافت کرده و هر سرخوشه پیامی مبنی بر سرخوشه شدن خود به حوزه‌های مجاور در شبکه پخش می‌کند و هر گره‌های غیرسرخوشه که پیام را دریافت کرده‌اند و بنا بر سیگنال دریافتی، فاصله خود را تا سرخوشه مورد نظر محاسبه می‌کنند سرخوشه‌ای که در فاصله کمتری قرار دارند، انتخاب خواهد شد.

### استقرار سرخوشه

پس از تصمیم‌گیری هر گره‌ی حسگر به کدام خوشه تعلق دارد، این تعلق را به اطلاع حسگر سرخوشه که عضو آن هستند، می‌رساند. گره‌ها این کار را با ارسال بسته ملحق شده «ID» و با استفاده از مکانیزم CSMA انجام می‌گیرد.

۱.۱.۱. مرحله پایدار و انتقال داده

### ایجاد برنامه

پس از فاز استقرار خوشه، گره‌ی سرخوشه پیام‌های اعضای خوشه (ID مربوطه) دریافت می‌کند. بر اساس پیام‌های دریافتی از خوشه، سرخوشه یک برنامه‌ی TDMA تولید می‌کند و یک کد تصادفی CSMA انتخاب می‌کند و همچنین جدول TDMA زمان ارسال داده هر حسگر به سرخوشه ارسال کند، برای اعضا خوشه را مشخص می‌کند و به فاز پایدار انتقال خواهند کرد.

### مخاطره داده

هر حسگر داده را از محدوده‌اش جمع‌آوری کرده و به سرخوشه مربوطه ارسال خواهد کرد. انرژی مورد نیاز جهت ارسال داده از حسگر  $i$ ، بسته‌ی  $k$  بیتی به سرخوشه مربوطه، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_{i,CH_i} = k(E_{elec} + E_{amp2} * d_{i,CH_i}^2) \quad (13)$$

$E_{elec}$  مقدار انرژی مصرفی برای ارسال داده در مدار الکتریکی،  $E_{amp}$  مقدار انرژی مصرفی برای تقویت‌کننده ارسال داده برای رسیدن به سطح سیگنال مورد نیاز برای ارسال داده‌ها در مسافت‌های کوتاه، پارامتر  $E_{amp2}$  همان مقدار انرژی مصرفی برای تقویت‌کننده ارسال داده برای رسیدن به سطح سیگنال مورد نیاز برای ارسال داده‌ها در مسافت‌های طولانی  $d_{i,CH_i}^2$  فاصله حسگر  $i$  تا سرخوشه‌اش  $CH_i$  است. از طرفی حسگرگیرنده، مقداری انرژی که برای دریافت بسته‌ها استفاده می‌شود، از رابطه (۱۴) و همچنین انرژی مصرفی برای تجمیع داده‌ها از رابطه (۱۵) بدست می‌آید.

$$E_{rx} = K * E_{elec} \quad (14)$$

$$E_{AGGR} = N_u * k * E_{fuse} \quad (15)$$

$N_u$  تعداد اعضای خوشه،  $E_{fuse}$  مقدار انرژی مصرفی برای ادغامی یک بیت است. هم چنین مقدار انرژی مصرفی برای ارسال داده‌های تجمیع شده به ایستگاه اصلی از رابطه (۱۶) بدست می‌آید. که  $d_{CH_i,BS}^4$  فاصله‌ی سرخوشه  $i$  تا ایستگاه اصلی است یکی از پارامترهای مهم در طراحی بازی خوشه‌بندی، هزینه سرخوشه شدن (C) است. هر حسگر هزینه‌ی سرخوشه شدن از رابطه (۱۷) بدست می‌آورد.

$$E_{CH_i,BS} = k(E_{elec} + E_{amp4} * d_{CH_i,BS}^4) \quad (16)$$

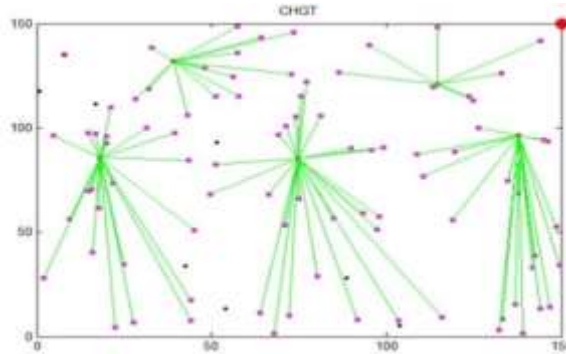
$$C_i = N_U E_{rx} + E_{aggr} + d_{CH_i, BS}^4 \quad (17)$$

با استفاده از رابطه (۱۲) در هر دوره تعدادی از حسگرها، با بر اساس الگوریتم CHGT به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود، هر سرخوشه داده‌های همه اعضا را جمع آوری و تجمیع کرده و به ایستگاه اصلی ارسال می‌کند، به همین دلیل انرژی کمتری برای ارسال داده نیاز خواهد بود. بنابراین سرخوشه‌ها انرژی بیشتری نسبت به گره‌های حسگر استفاده می‌کنند، بنابراین انتخاب سرخوشه مناسب جهت توزیع مصرف انرژی شبکه اهمیت فراوان برخوردار است. فرض بر این است که تمام گره‌ها با هم همسایه هستند و گره‌های که در یک برد رادیویی قرار دارند. در دوره اول  $N$  گره در بازی خوشه‌بندی شرکت می‌کنند و همچنین  $N_{CH}(1)$  تعداد گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب شوند. بنابراین تعداد گره‌هایی که در دوره دوم بازی خوشه‌بندی شرکت می‌کند برابر است با:  $N - N_{CH}(1)$ . بنابراین تعداد گره‌ی شرکت کننده دوره  $i+1$  این بازی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$N_{play}(j+1) = N - \sum_{k=1}^j N_{CH}(K) \quad (18)$$

#### ارزیابی عملکرد الگوریتم CHGT نسبت به الگوریتم پیشین

در این بخش به بررسی کارایی و حفظ انرژی شبکه حسگر بی‌سیم الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های DCGT, LEACH متمرکز شده است. در ضمن ادعا خواهیم نمود که الگوریتم پیشنهادی مقیاس پذیر و امکان بهره‌وری در شبکه‌های همگن و ناهمگن از نظر انرژی گره‌ها دارد. برای دستیابی به این ادعا، عملکرد الگوریتم پیشنهادی CHGT، با دو الگوریتم پیشین DCGT, LEACH از لحاظ طول عمر تک‌تک گره‌ها و به طبع عمر عملیاتی کل شبکه مورد بررسی قرار گیرد. در ضمن شبیه‌سازی الگوریتم‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار مطلب صورت گرفته است.



شکل ۱: شماتیک انتخاب سرخوشه بهینه توسط الگوریتم CHGT



جدول ۳: پارامترهای شبیه سازی سنایورها

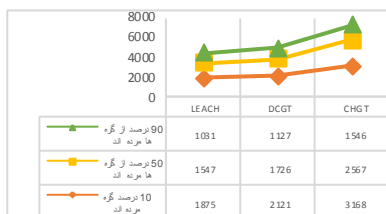
پارامتر	تشریح پارامتر	مقدار پارامتر
<b>R</b>	اندازه محیط	200m
<b>E<sub>0</sub></b>	انرژی اولیه گره حسگر	0.5J
<b>E<sub>1</sub></b>	انرژی گره حسگر د	1J
<b>R<sub>0</sub></b>	شعاع ارتباطی	50m
<b>E<sub>el</sub></b>	انرژی مصرفی به ازای	50 nJ/bit
<b>F<sub>s</sub></b>	انرژی لازم برای تقویت	10pJ/bit/m <sup>2</sup>
<b>M<sub>p</sub></b>	انرژی لازم برای تقویت	0.0013 mJ/bit/m <sup>2</sup>
<b>L</b>	اندازه بسته	۲000 bits

### پارامترهای شبیه سازی

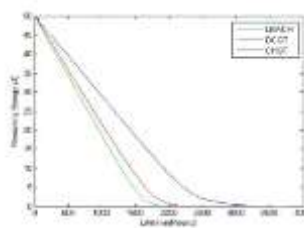
برای آزمایش و اعتبارسنجی دو الگوریتم پیشنهادی CHGT زمینی به ابعاد  $150m \times 150m$  که ۱۰۰ گرهی حسگر با انرژی اولیه  $0.5J$  بصورت تصادفی یکنواخت در محیط مورد نظر پخش شده است، را در نظر بگیرید. روش پیشنهادی را با دو الگوریتم DCGT و LEACH درسناویوهای مختلف شبیه سازی و اعتبار سنجی خواهیم نمود.

### بررسی طول عمر شبکه حسگر بی سیم

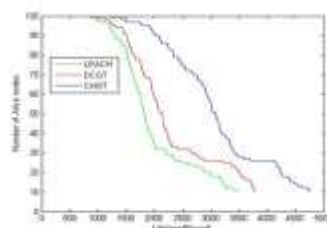
با تحلیل و بررسی نمودار شماره ۱ نتایج شبیه سازی طول عمر شبکه و روش پیشنهادی با دو الگوریتم پیشین LEACH و DCGT می توان نتیجه گرفتکه میزان انرژی مصرفی گره های حسگر شبکه های که توسط الگوریتم CHGT خوشه بندیشده، کمتر بوده است. مرگ اولین گره در شماره دوره ۱۵۴۶ و مرگ ۹۰ درصد گره ها در شماره دوره ۳۱۶۸ است. به همین لحاظ می توان گفت انرژی در سطح شبکه بصورت نسبی نرمالتر توزیع شده است. که این امر باعث افزایش طول عمر شبکه شده است. می توان گفت کارایی الگوریتم CHGT نسبت به الگوریتم LEACH و DCGT بهتر است و منظور از سنایوری توقف کار شبکه مرگ ۹۰ درصد از گره ها است و تنها ۱۰ درصد از گره های شبکه زنده باشند.



نمودار شماره پ



نمودار شماره ب



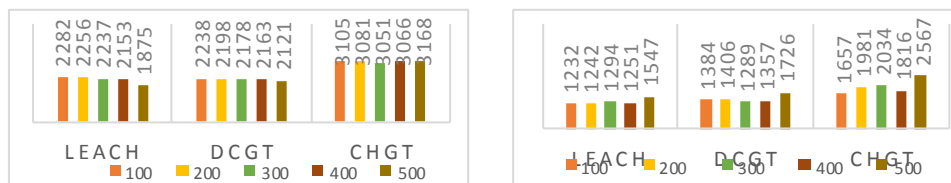
نمودار شماره الف

نمودار ۱: مقایسه کارایی چهار الگوریتم LEACH, DCGT, CHGT از لحاظ طول عمر شبکه

با تحلیل و بررسی نمودار الف می‌توان گفت در الگوریتم‌های CHGT مرگ اولین گره ۸۴۱ دوره به دلیل اتمام انرژی تاخیر افتاده است. که این موضوع بیانگر مدت زمان بیشتری همه گره‌های شبکه زنده هستند به همین موجب کارایی و افزایش طول عمر شبکه نسبت به دو الگوریتم LAECH,DCGT داشته ایم و همچنین نمودار ب و پ نمایانگر میزان انرژی مصرفی گره‌های حسگر شبکه که با الگوریتم CHGT خوشه‌بندی شده، کمتر بوده است و مرگ اولین گره در شماره دوره ۲۵۶۷ و مرگ ۹۰ درصد گره‌ها در شماره دوره ۳۱۶۷ است. به همین لحاظ می‌توان گفت تقریباً انرژی در سطح شبکه بصورت نرمال توزیع شده است و تقریباً بیشترین بهره از انرژی موجود در شبکه استفاده می‌گردد. همچنین تعداد گره‌های حسگر زنده دوره‌های اجرا مختلف بیشتر است. بنابراین بهبود و صرفه جویی در مصرف انرژی گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه را در پی خواهیم داشت.

### ارزیابی تاثیر افزایش تعداد گره‌های حسگر با حفظ اندازه محیط

در این بخش سعی به بررسی تاثیر افزایش تعداد گره‌های حسگر را با حفظ اندازه محیط پرداخته ایم به این صورت که در محیط ۱۵۰m در ۱۵۰m در هر مورد شبیه‌سازی تعداد گره‌های حسگر را با ۱۰۰ تا ۵۰۰ گره قرار خواهیم داد و نتایج شبیه‌سازی را مورد تحلیل قرار می‌دهیم.



(ب) مرگ ۹۰ درصد گره

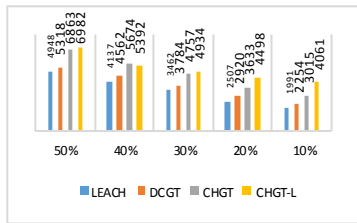
(الف) مرگ اولین گره

نمودار ۲: تاثیر تعداد گره‌ها بر طول عمر در حالت مرگ اولین گره و ۹۰ درصد از گره‌های حسگر

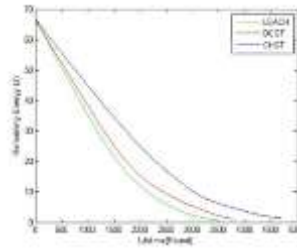
با بررسی دقیق‌تر نتایج حاصل با افزایش تعداد گره‌های حسگر در یک محیط با اندازه ثابت طول عمر شبکه افزایش در می‌یابد. به دلیل افزایش تعداد گره‌ها، تراکم حضور گره‌ها بیشتر شده و همچنین فاصله بین گره‌ها کمتر شده است. به همین دلیل برای تبادل داده‌ها انرژی کمتری صرف می‌شود که در این موضوع در الگوریتم پیشنهادی کاملاً مشهود است، بنابراین افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم بیشتر جلوه می‌کند.

### بررسی طول عمر شبکه ناهمگن از نظر انرژی اولیه گره‌ها

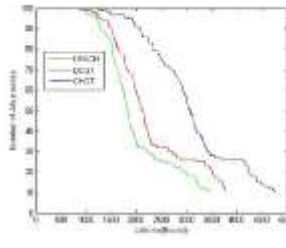
مطابق مرفوضات جدول ۳ فرق بین گره‌های همگن با ناهمگن در انرژی اولیه آنهاست. یعنی انرژی اولیه گره‌های همگن نیم ژول و گره‌های ناهمگن دارای انرژی اولیه یک یا نیم ژول هستند. شبیه‌سازی در شرایط ثابت محیطی با ۱۰۰ گره انجام شده است. درصد نرخ حضور گره‌های ناهمگن در این تحقیق بین ۱۰٪ تا ۵۰٪ کل گره‌های زنده شبکه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج الگوریتم CHGT نسبت به دو الگوریتم می‌توان گفت افزایش عمر شبکه بر طول با افزایش حضور گره‌های حسگر ناهمگن رابطه مستقیم دارند. یعنی هر چه گره‌های ناهمگن بیشتر حضور داشته باشد. بنابراین میانگین انرژی باقیمانده شبکه به علت وجود گره‌ها با انرژی اولیه بیشتر، بالاتر می‌گردد.



نمودار شماره پ



نمودار شماره ب



نمودار شماره الف

نمودار ۲: مقایسه کارایی چهار الگوریتم LEACH, DCGT, CHGT از لحاظ طول عمر شبکه

### نتیجه گیری

در این پژوهش یک الگوریتم سلسله مراتبی خوشه بندی کننده انرژی کارآمد و مقیاس پذیر CHGT طراحی شده است که گره های شبکه به دو لایه گره های عضو، گره های سرخوشه، طبقه بندی شده اند و همچنین بازی برای انتخاب گره حسگر سرخوشه با شرایط کمی سختگیرانه پیاده سازی شده و بر اساس نتایج شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم LEACH و DCGT می توان گفت بهبود نسبتاً خوبی در افزایش طول عمر شبکه حاصل شده است. همچنین می توان اظهار کرد، این الگوریتم برای شبکه های با مقیاس بزرگ و ناهمگن مناسب بوده است، در نتیجه نقش مهمی برای برنامه های کاربردی در فضاهای صعب العبور دارد.

### منابع

1. Abdul Razaque , SatwicMudigulam ,KiranGavini , FathiAmsaad,( 2016) "H-LEACH: Hybrid-low energy adaptive clustering hierarchy for wireless sensor networks",Department of Electrical and Computer Engineering,IEEE Long Island Systems, Applications and TechNOlogy Conference (LISAT), April,pp 29-29
2. BartiH,MovagharA,RahmaniA.M,Sarmast A,(2012), "A Distributed Energy Aware Clustering Approach For Large Scale Wireless Sensor Network", International Journal on Technical and Physical Problems of Enginerring,4(13-4),pp:125-132
3. Deyu Lin Quan Wang,(2016),"A game theory based energy efficient clustering routing protocolfor WSNs", Springer Science&Business Media, School of Computer Science and TechNOlogy, New York
4. KodialamM.andLakshman T,(2003)"Delecting Network Intrusions via Sampling:AGame Theoretic Approach",Twenty-Second Annval Joint conference of the IEEE computer and communications.30march-3
5. Lal J.,PatiB.,Mishra M.,Panigrahi C.R. (2015)."GECSA: A Game Theory Based Energy Efficient Cluster-Head Selection Approach in Wireless", International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI)

6. Muruganatham S.D, MaD.C.F., Bhasin R.I., Fapojuw.A.O.(2005) "Acentralized energy efficient Routing Protocol for wireless Sensor networks" IEEE, communication Magazine 43(3), pp 8-13.
7. N.B. Karimi, S.N. Razavi, H.S. Aghdasi, (2014), "Distributed Clustering in Wireless Sensor Networks Using A Game Theoretical Approach" International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), vol. 6, pp: 1-8
8. Shaw S, (2011), "Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks", Journal of Ad Hoc Networks. 10(7), pp: 1469-1481
9. Taheri H, Neamatollahi P, Younis O.M, Naghibzaden S, Yaghmaee M.H, (2012) "An energy aware distributed Clustering Protocol In Wireless Sensor Networks using Fuzzy Logic". Elsevier, Journal of AdHOC Networks. 10(7), pp: 1469-1481.
10. Zeng-wei Z, Zhoo-hui W, Huai-zhong L, (2004), " Clustering routing algorithm using game-Theoretic Techniques for WSNs "IEEE Proceedings of international symposium on Circuits and Systems May 23-26.4, pp: 404-907