

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL

پروپوزال

مركز آموزش  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



مركز آموزش  
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

کارگاه آنلاین  
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI  
Scopus

مركز آموزش  
آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو



## ایجاد ساختار متراکم‌سازی بر اساس دقت و تاخیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

مهدی اثنی‌عشری  
دانشگاه امیرکبیر، دانشکده کامپیوتر و  
فناوری اطلاعات  
esnaashari@aut.ac.ir

مسعود صباپی  
دانشگاه امیرکبیر، دانشکده کامپیوتر و  
فناوری اطلاعات  
sabaei@aut.ac.ir

فاطمه میریان  
دانشگاه امیرکبیر، دانشکده کامپیوتر و  
فناوری اطلاعات  
mirian@aut.ac.ir

روی اطلاعات دریافت شده انجام دهد. بنابر این، هر گره حسگر باید به صورت مشارکتی با سایر گره‌های این شبکه کار کند [2].

از آنجایی که شبکه‌های حسگر به شدت از نظر منابع محدود می‌باشند، کلید اصلی افزایش طول عمر آنها، کاهش مصرف انرژی می‌باشد. یکی از مهمترین روش‌های ذخیره انرژی، استفاده از متراکم‌سازی اطلاعات می‌باشد. در عمل متراکم‌سازی، اطلاعات دریافت شده از گره‌های مختلف با هم ترکیب می‌شوند و بسته‌های غیر ضروری از طریق حذف اطلاعات افزوده و یا انجام پردازش‌هایی مانند تعیین بیشترین، کمترین، متوسط و مجموع مقادیری که گره‌ها از دما، فشار یا رطوبت محیط ارسال کرده‌اند، حذف می‌شوند [3]. با این کار، تعداد بسته‌هایی که در شبکه منتقل می‌شود و در نتیجه میزان مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد. در مقابل، متراکم‌سازی اطلاعات منجر به افزایش تاخیر انتها به انتها می‌شود زیرا گره‌های متراکم‌کننده، باید منتظر بمانند تا اطلاعات را از گره‌های فرزند خود دریافت کنند.

روش‌های متراکم‌سازی اطلاعات به ۴ دسته تقسیم می‌شوند [4].  
۱) روش متمرکز: تمام گره‌ها داده‌هایی که از محیط دریافت می‌کنند را مستقیماً به sink ارسال می‌کنند و عمل متراکم‌سازی اطلاعات<sup>۱</sup> را انجام می‌دهد. ۲) روش مبتنی بر درخت: در این روش تمامی گره‌ها اطلاعات خود را از طریق مسیرهای از قبل ایجاد شده‌ای به سمت sink ارسال می‌کنند، هنگامی که دو یا چند مسیر در گره متراکم‌کننده به یکدیگر می‌رسند، عمل متراکم‌سازی اطلاعات در آنجا انجام می‌شود. ۳) روش مبتنی بر خوشه‌بندی دوره‌ای: در این روش شبکه در ابتدا به یک سری خوشه‌های کوچک که در بردارنده یک گره به نام سرخوشه می‌باشند شکسته می‌شود. در این روش سرخوشه است که عمل متراکم‌سازی را انجام می‌دهد. سرخوشه می‌تواند ثابت و یا متغیر باشد (۴) روش خوشه‌بندی مبتنی بر رخداد: در این روش برخلاف روش قبل، تشکیل خوشه‌ها به صورت پویا و بر حسب شرایط می‌باشد و با وقوع یک رخداد خوشه‌ها ایجاد می‌شوند.

**چکیده:** شبکه‌های حسگر شبکه‌هایی هستند که به شدت از نظر منابع محدود می‌باشند. از این رو استفاده از روش‌های متراکم‌سازی اطلاعات به منظور کاهش مصرف انرژی و بهره‌وری مناسب از پهنای باند بسیار ضروری است. در مقابل، متراکم‌سازی اطلاعات منجر به افزایش تاخیر انتهای‌انتهای می‌گردد. در بسیاری از کاربردها، از جمله کنترل شرایط بحرانی محیط، پاسخ‌دهی سریع به درخواست‌ها از جمله نیازمندی‌های ضروری است که باید تامین گردد حتی اگر دقت اطلاعات تا حد قابل قبولی کاهش یابد. در این مقاله روشی ارائه می‌شود که در آن ساختار متراکم‌سازی اطلاعات بر اساس دقت و تاخیر ایجاد می‌شود و برای کاربردهایی که حساس به تاخیر هستند و تخمین مناسبی از جواب برای آنها کافی است، مناسب می‌باشد. روش متراکم‌سازی استفاده شده در این ساختار، بر مبنای خوشه‌بندی است. برای در نظر گرفتن دقت، ابتدا تعداد گره‌هایی که باید در پاسخ‌دهی به درخواست شرکت کنند تعیین شده و سپس با توجه به دو محدودیت تاخیر مورد نیاز کاربرد و کمینه بودن انرژی مصرفی، تعداد خوشه‌ها و اندازه آنها مشخص می‌شود. کارایی این روش از طریق شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان داده‌اند که این روش، پاسخ درخواست‌های دریافتی از لایه کاربرد را با دقت قابل قبول در زمان سریعتر فراهم می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی، متراکم‌سازی اطلاعات، کیفیت سرویس.

### ۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم شبکه‌هایی هستند که از تعداد زیادی (چند ده تا چندین هزار) گره‌های کوچک با قابلیت‌های بسیار پائین تشکیل شده‌اند. این گره‌ها می‌توانند ویژگی خاصی (نظیر رطوبت، دما، فشار و ...) را در محیط اطراف خود حس کرده و آن را برای همسایگان خود ارسال دارند [1]. به عبارت دیگر، دو قابلیت اصلی آنها حس کردن ویژگی خاصی از محیط اطراف و توانایی برقراری ارتباط می‌باشد. به دلیل محدودیت منابع، هر یک از گره‌های حسگر قادر خواهد بود که مقدار کمی از اطلاعات محیط را جمع‌آوری کند و پردازش‌های اندکی

<sup>1</sup> Data aggregation



متراکم‌سازی را انجام دهد و نتیجه را به پدر خود ارسال کند؟" جواب داده شود. هرچه گره متراکم‌کننده بیشتر صبر کند اطلاعات تعداد بیشتری از گره‌ها را در متراکم‌سازی لحاظ می‌کند و جواب دقیق‌تری بدست می‌آید. اما از طرف دیگر انتظار بیشتر منجر به افزایش تاخیر انتها به انتها می‌شود. در آن مقاله حدی برای تاخیر در نظر گرفته نشده است. در مرجع [6] هدف کاهش تاخیر انتها به انتها می‌باشد، در این روش نیز حدی برای تاخیر در نظر گرفته نشده است و سعی می‌کند متوسط تاخیر انتها به انتها را از طریق ترکیب چندین بسته در یک بسته در لایه MAC کمینه کند. در این مرجع از روش بازخورد در هر گره حسگر استفاده می‌شود تا تعداد بسته‌های ترکیب شده در هر گره بسته به شرایط ترافیک تعیین شود. این روش برای شبکه‌های حسگر که از نظر منابع محدود هستند بسیار پیچیده است. در مرجع [7]، Athanassios و همکارانش تنها بر روی مصالحه انرژی-دقت تمرکز نموده‌اند ولی تاخیر در آن لحاظ نشده است. در [8] و [9]، به مصالحه انرژی ذخیره شده در اثر متراکم‌سازی و تاخیر پرداخته شده است. در [8] به منظور متعادل کردن ذخیره انرژی و تاخیر، از الگوریتم زمانبندی که بر اساس صف‌بندی وزن‌دار عادلانه (WFQ) است، استفاده شده است. در [9]، الگوریتمی که پیشنهاد داده است میزان مصرف انرژی را در درخت متراکم‌کننده کاهش می‌دهد و همزمان محدودیت‌های تاخیر را نیز لحاظ می‌کند. این روش‌ها نیازمند الگوریتم‌های پیچیده جهت ارسال بسته می‌باشند و یا با مسائل بهینه‌سازی درگیر می‌شوند که برای شبکه‌های حسگر قابل پیاده‌سازی نمی‌باشند زیرا از نظر منابع محدودیت دارند. در مرجع [7]، به هر بسته‌ای، توانی اختصاص داده می‌شود. این مقدار انرژی می‌تواند توسط هر گره میانی برای ارسال آن بسته از مسیری که تاخیر کمتری دارد به جای مسیری که از نظر انرژی کارآمد است استفاده شود. بنابراین تاخیر بسته از طریق تنظیم این بودجه توانی کنترل می‌شود. در مرجع [8] یک پروتکل امن با تاخیر کم برای کاربردهایی که شرایط بحرانی را کنترل می‌کنند ارائه می‌کند. در این مقاله زمان پاسخ به عنوان عامل اصلی در نظر گرفته می‌شود. در مقاله [9] به دقت و تاخیر پرداخته شده است ولی حدی برای تاخیر انتها به انتها در نظر گرفته نشده است. در مقاله [10]، از یک روش کنترل بسته به نام (DSFC) برای تنظیم زمان متراکم‌سازی در سرخوشه‌ها استفاده می‌کند و با تنظیم این زمان تاخیر و دقت تحت تاثیر قرار می‌گیرند.

### ۳- راهکار پیشنهادی: متراکم‌سازی اطلاعات با در نظر گرفتن تاخیر و دقت مورد نیاز لایه کاربرد

در این بخش قبل از اینکه به راهکار پیشنهادی خود بپردازیم، ابتدا تعریف دقیقی از مسئله و مفروضات خود ارائه می‌دهیم و پس از آن مدل تاخیر، مدل انرژی و مدل دقت مورد استفاده در این راهکار را تعریف می‌کنیم. در انتها با توجه به این مدل‌ها به ایجاد ساختار

افزایش تمایل به استفاده از شبکه‌های حسگر در کاربردهای بلادرنگ و کاربردهایی که به تاخیر حساس هستند و نیاز به دریافت سریع اطلاعات دارند، چالش‌های جدیدی را در زمینه متراکم‌سازی اطلاعات ایجاد کرده است، برای مثال اگر در کاربردهایی مانند کنترل شرایط حیاتی محیط [1]، گزارش به صورت بلادرنگ، دریافت نشود امکان انجام عکس‌العمل سریع در برابر تغییرات محیط وجود ندارد. اکثر تحقیقاتی که در زمینه متراکم‌سازی اطلاعات انجام شده است بر روی مصرف انرژی تمرکز دارند و تعداد کمی از آنها به مسئله تاخیر و دقت پرداخته‌اند، حال آنکه برای کاربردهای ذکر شده دقت و تاخیر نسبت به انرژی در اولویت قرار دارد.

در این مقاله به متراکم‌سازی اطلاعات به منظور کمینه کردن مصرف انرژی و با در نظر گرفتن میزان تاخیر انتها به انتها و دقت قابل قبول که توسط لایه کاربرد مشخص می‌شود، پرداخته شده است. از آنجا که روش خوشه‌بندی دوره‌ای از نظر انرژی و تاخیر برای شبکه‌های حسگر بزرگ مناسب‌ترین روش می‌باشد [4]، روش پیشنهادی در این مقاله نیز مبتنی بر خوشه‌بندی دوره‌ای می‌باشد. به دلیل تعداد زیاد گره‌های موجود در شبکه، استخراج اطلاعات متراکم‌شده دقیق از شبکه‌های حسگر می‌تواند از نظر زمان پاسخ و مصرف انرژی بسیار چالش‌انگیز باشد. این در حالی است که در بسیاری از کاربردها، تخمین مناسبی از پاسخ نیز کافی می‌باشد. در روش ارائه شده، در هنگام تشکیل ساختار متراکم‌سازی، لایه کاربرد سطح کیفیت سرویس مد نظر خود را از لحاظ میزان دقت و تاخیر قابل قبول اعلام می‌کند. سپس با توجه به دقت مورد نیاز، تعداد گره‌هایی که باید در پاسخ‌دهی شرکت کنند تعیین شده و با در نظر گرفتن تاخیر قابل قبول برای لایه کاربرد و کمینه کردن انرژی مصرفی، تعداد و اندازه خوشه‌های لازم برای متراکم‌سازی اطلاعات مشخص می‌شوند. پس از آن عمل خوشه‌بندی به منظور فراهم‌سازی ساختار مد نظر انجام می‌شود.

ادامه‌ی این مقاله به این صورت سازمان یافته است. در ابتدا و در بخش ۲، به بررسی فعالیت‌های انجام شده، پرداخته می‌شود. در بخش ۳، روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. بخش ۴ به تحلیل و بررسی نتایج شبیه‌سازی اختصاص دارد. نتیجه‌گیری و کارهای آینده در بخش ۵ بیان می‌شود.

### ۲- مروری بر کارهای مرتبط

اکثر تلاش‌های تحقیقاتی در زمینه متراکم‌سازی اطلاعات، به منظور کاهش و ذخیره انرژی در شبکه‌های حسگر می‌باشد. تعداد کمی از تحقیقات به بررسی مسئله تاخیر انتها به انتها که در اثر متراکم‌سازی به وجود می‌آید و همچنین دقت جواب نهایی پرداخته‌اند. محققین مختلف از دیدگاه‌های مختلف مسئله تاخیر را بررسی نموده‌اند. برای مثال در مرجع [5] مصالحه‌ای بین دقت و تاخیر صورت گرفته شده است تا به این مسئله "برای چه مدت یک گره می‌بایست صبر کند و بعد عمل

جهت انجام پردازشات و متراکم کردن اطلاعات است [10]. در بین ۳ عامل ذکر شده در فوق، انتظار متراکم‌سازی (AW) مهمترین گلوگاه از نظر تاخیر برای متراکم‌سازی اطلاعات محسوب می‌شود. بنابراین در این مقاله بر روی AW تاکید می‌شود.

با توجه به آنچه که بیان شد، لازم است که اندازه خوشه‌ها یا به عبارتی تعداد گره‌ها در داخل آنها به گونه‌ای انتخاب شود که تأخیر (بر اساس عامل AW) کمینه شود. برای افزایش طول عمر شبکه و به منظور کاهش تاخیر، خوشه‌هایی با اندازه یکسان ایجاد می‌کنیم تا اطلاعات گره‌ها در زمان‌های یکسانی به سرخوشه‌ها جهت متراکم‌سازی ارسال شود و مصرف انرژی نیز بر روی همه گره‌ها به صورت یکسان توزیع شود.

مدل تأخیر مورد استفاده در این مقاله بر اساس فرضیات زیر تعریف می‌شود:

(۱)  $N$  گره حسگر به صورت یکنواخت در ناحیه‌ای به ابعاد  $M \times M$  پخش شده‌اند.

(۲)  $k$  خوشه با اندازه  $\frac{N}{k}$  داریم.

(۳) در داخل خوشه‌ها ارتباطات به صورت TDMA و به صورت تک‌گام می‌باشد و  $t_{slot}$  زمان ارسال یک بسته اطلاعاتی می‌باشد.

(۴) ارتباطات بین سرخوشه‌ها با Sink به صورت تک‌گام و CSMA می‌باشد.

**قضیه ۱:** با در نظر گرفتن مفروضات فوق، تاخیر انتها به انتها در شبکه حسگر بر اساس رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$T = \left[ \left( \frac{N}{k} - 1 \right) + k \right] t_{slot} + C \quad (1)$$

**اثبات:** تاخیر انتها به انتها در شبکه‌ای با مفروضات فوق بر اساس رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$T = T_{cc} + T_{cs} + C \quad (2)$$

در این رابطه،  $T_{cc}$  مدت زمانی است که لازم است تا اطلاعات کلیه گره‌ها در سرخوشه‌ها جمع‌آوری شود.  $T_{cs}$  مدت زمانی است که برای ارسال اطلاعات جمع‌آوری شده در سرخوشه‌ها به Sink مصرف می‌شود.  $C$  زمان ثابتی است که دربردارنده زمان مربوط به سنکرون‌سازی گره‌ها در داخل خوشه و تخصیص بازه زمانی به گره‌ها توسط سرخوشه می‌باشد.

از آنجا که در هر خوشه  $\left( \frac{N}{k} - 1 \right)$  گره به جز گره سرخوشه

وجود دارد و در داخل هر خوشه از روش TDMA برای ارسال اطلاعات استفاده می‌شود، زمان لازم برای جمع‌آوری اطلاعات در یک خوشه

متراکم‌سازی اطلاعات با در نظر گرفتن نیازمندی‌های لایه کاربرد می‌پردازیم.

### تعریف مسئله

مسئله مد نظر ما کنترل شرایط حیاتی محیط، برای مثال اندازه‌گیری میزان گاز سمی و یا تشخیص آتش‌سوزی در محیط می‌باشد. لایه کاربرد که با sink در ارتباط است نیازمندی خود را از نظر تاخیر و دقت اعلام می‌کند و برای اینکه بتواند عکس‌العمل سریع و مناسب به تغییرات شرایط محیط نشان دهد، می‌بایست پاسخی با دقت کافی در مدت زمان مشخص شده دریافت دارد. درخواست‌های لایه کاربرد در این مسئله عبارت است از AVERAGE، MIN، MAX و SUM. فرض اول ما اینست که تراکم گره‌ها در شبکه زیاد است و تمامی گره‌ها همواره داده برای ارسال دارند. فرض دوم عبارت است از اینکه از خوشه‌بندی برای متراکم‌سازی اطلاعات استفاده می‌کنیم. گره‌ها اطلاعات خود را به سرخوشه‌ها و سرخوشه‌ها نیز پس از متراکم‌سازی اطلاعات را به صورت مستقیم و بدون استفاده از گره‌های میانی به sink ارسال می‌کنند. فرض سوم اینست که sink می‌تواند تعداد گره‌های شرکت کننده در پاسخ و تعداد خوشه‌ها را بر اساس نیازمندی‌های مشخص شده توسط لایه کاربرد تعیین کند و ساختار متراکم‌سازی را تشکیل دهد و به اطلاع گره‌های شرکت کننده برساند.

### مدل تاخیر

بسته به روش متراکم‌سازی، تاخیر انتها به انتها به عوامل مختلفی ممکن است وابسته باشد: (۱) در کلیه روش‌ها، تراکم شبکه باعث می‌شود که بسته‌ها با تاخیر بالایی در گره‌های میانی مواجه شوند، (۲) در روش‌های مبتنی بر درخت، تاخیر وابسته به مدت زمانی است که گره‌های متراکم‌کننده برای رسیدن بسته‌ها از سایر گره‌ها منتظر می‌مانند، (۳) در روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی پویا، تاخیر تحت تاثیر زمان لازم برای ایجاد خوشه به ازای هر رخداد می‌باشد، (۴) در روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی دوره‌ای، تاخیر وابسته به مدت زمانی است که سرخوشه‌ها باید برای دریافت اطلاعات از تمامی اعضای خوشه خود منتظر بمانند. مناسب‌ترین روش متراکم‌سازی در شبکه‌های بزرگ از نظر میزان انرژی مصرفی و تاخیر خوشه‌بندی دوره‌ای می‌باشد [4]. بنابراین در این مقاله، از همین روش برای ایجاد ساختار متراکم‌سازی اطلاعات استفاده شده است.

همانگونه که پیشتر نیز بیان شد، تأخیر در روش خوشه‌بندی دوره‌ای وابسته به مدت زمانی است که سرخوشه‌ها باید برای دریافت اطلاعات از تمامی اعضای خوشه خود منتظر بمانند. این تأخیر تحت عنوان انتظار متراکم‌سازی (Aggregation Waiting) شناخته می‌شود. تأخیر در روش خوشه‌بندی دوره‌ای به دو عامل دیگر نیز وابسته می‌باشد: (۱) مسیریابی متراکم‌سازی (Aggregation Routing) (۲) عمل متراکم‌سازی (Aggregation Function)، که شامل زمان لازم

برای توابع متراکم‌کننده‌ای نظیر MAX و MIN، جواب دقیق تنها در صورتی به دست می‌آید که تمامی گره‌های موجود در شبکه در پاسخ به درخواست شرکت کنند، زیرا گره‌ای که حذف می‌شود ممکن است در بردارنده بزرگترین و یا کوچکترین مقدار باشد.

برای تابع متراکم‌کننده AVERAGE می‌توان تعداد گره‌های مشارکت‌کننده در جمع‌آوری اطلاعات را به گونه‌ای تعیین کرد که پاسخ درخواست AVERAGE با خطای  $\mathcal{E}$  و احتمال خطای  $\delta$  تعیین شود.  $\mathcal{E}$  و  $\delta$  پارامترهایی هستند که توسط لایه کاربرد تعیین می‌شوند. تئوری نمونه برداری بیان می‌کند که میانگین نمونه‌های تصادفی بدون جایگزینی با میانگین جمعیت برابر است. بنابراین اصل زیر را می‌توان در نظر گرفت:

**اصل ۱:** شبکه‌ای با  $N$  گره مفروض است. اگر  $m$  گره ( $m < N$ ) از میان این  $N$  گره به صورت تصادفی و بدون جایگزینی انتخاب شوند و  $X_1, X_2, \dots, X_m$  داده‌های جمع‌آوری شده توسط این  $m$  گره باشد، در نظر گرفتن  $\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$  خواهیم داشت:

$$E[\bar{X}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (6)$$

به عبارت دیگر، میانگینی که بر اساس داده‌های  $m$  گره به دست آمده است برابر با میانگین داده‌های کل شبکه می‌باشد.

**قضیه ۲:** فرض کنید که  $S$  مجموعه داده‌ای است که اعضای آن در محدوده  $[a, b]$  قرار دارند و  $Z = \{S_m \mid S_m \subseteq S, |S_m| = m\}$  مجموعه زیرمجموعه‌هایی از  $S$  می‌باشد که اعضای آنها به صورت تصادفی و بدون جایگزینی انتخاب شده‌اند. همچنین فرض کنید که  $\bar{S}_m$  میانگین داده‌های مجموعه  $S_m$  باشد. اگر مجموعه  $S_i$  به صورت تصادفی از میان  $Z$  انتخاب شود و  $\frac{(b-a)^2 \cdot \ln \frac{2}{\delta}}{2\epsilon^2} \geq |S_i|$  آنگاه خواهیم داشت:

$$\Pr\left(\left|\bar{S}_i - E[\bar{S}]\right| \geq \epsilon\right) < \delta \quad (7)$$

که در آن  $\Pr$  بیانگر احتمال می‌باشد.

**اثبات:** با توجه به اصل ۱، داریم:

$$E[\bar{S}] = \frac{1}{|S_i|} \sum_{X_j \in S_i} X_j \quad (8)$$

برابر است با  $\left(\frac{N}{k} - 1\right) t_{slot}$ . با توجه به آنکه جمع‌آوری اطلاعات در خوشه‌های مختلف می‌تواند به صورت موازی انجام پذیرد، زمان لازم برای جمع‌آوری اطلاعات کلیه گره‌های شبکه در سرخوشه‌ها نیز بر اساس رابطه (۳) بیان خواهد شد.

$$T_{cc} = \left(\frac{N}{k} - 1\right) t_{slot} \quad (3)$$

با فرض ناچیز بودن میزان از بین رفتن بسته‌ها در اثر تداخل (که به دلیل استفاده از روش CSMA فرض قابل قبولی می‌باشد) مدت زمان لازم برای ارسال اطلاعات از سرخوشه‌ها به Sink برابر است با:

$$T_{cs} = k \cdot t_{slot} \quad (4)$$

با جایگزین کردن روابط (۳) و (۴) در رابطه (۲)، رابطه (۱) به دست می‌آید.

### مدل انرژی

با توجه به فرضیاتی که در بخش ۳-۲ مطرح کردیم، در این بخش مدل انرژی را با استفاده از مرجع [11] تعریف می‌کنیم.

انرژی که در هر دوره در هر سرخوشه مصرف می‌شود برابر است با مجموع انرژی دریافت از تمام گره‌های عضو خوشه، انرژی ارسال اطلاعات به sink و انرژی مربوط به متراکم‌سازی اطلاعات. انرژی که در داخل هر گره غیر سرخوشه مصرف می‌شود شامل انرژی دریافت اطلاعات از محیط و انرژی ارسال به سرخوشه می‌باشد. با توجه به اینکه شبکه دارای  $k$  خوشه می‌باشد، کل انرژی برای یک فریم برابر خواهد بود با:

$$E_{total} = kE_{cluster} = IE_{elec}N + IE_{BF}N + Ik \in_{two-ray-amp} d_{toBS}^4 + INE_{elec} + IN \in_{friss-amp} \frac{1}{2\pi} \frac{M^2}{k} \quad (5)$$

که  $E_{elec}$  انرژی الکتریکی دریافت و ارسال است.  $E_{BF}$  انرژی جهت پردازش اطلاعات می‌باشد.  $\in_{friss-amp}$  و  $\in_{two-ray-amp}$  انرژی مصرف شده جهت تقویت سیگنال است که بسته به مدل انتشار که Two-ray باشد یا Friss-free-space، متفاوت است.  $l$  سایز بسته،  $M$  طول محیط و  $N$  تعداد گره‌های شبکه می‌باشد.  $d_{toBS}$  فاصله سرخوشه تا sink می‌باشد.

### دقت پاسخ در عمل متراکم‌سازی

در این بخش به مصالحه تاخیر و دقت برای توابع مختلف متراکم‌کننده می‌پردازیم. با توجه به میزان دقت که توسط لایه کاربرد تعیین می‌شود و همچنین نوع تابع متراکم‌کننده، می‌توان حداقل تعداد گره‌هایی را که باید در پاسخ به درخواست شرکت کنند به دست آورد. دقت پاسخ درخواست به صورت مستقیم به تعداد گره‌های شرکت‌کننده در درخواست وابسته است.

<sup>2</sup> Sampling theory



**Input:**  $D$ : Acceptable Delay threshold,  $\varepsilon$ : Error bound,  $\delta$ : Error probability

**Output:** Number of Nodes, Number of clusters

**Begin**

1. Determine the number of Nodes according to  $\varepsilon$ ,  $\delta$  and inequality (7).

2. Determine the number of Clusters by solving the following optimization:

Objective function: minimize equation (5)

Condition function: equation (1)  $\leq D$

3. Select the nodes randomly without replacement and label them.

4. Make clusters with the selected nodes

**End**

شکل (۱) - الگوریتم ایجاد ساختار متراکم سازی اطلاعات بر اساس نیازمندی های کاربرد.

در شکل ۱، پس از تعیین تعداد گره ها و خوشه ها، sink شروع به خوشه بندی گره ها می کند. برای این منظور ابتدا تمامی گره ها موقعیت مکانی خود را به sink اعلام می کنند. Sink حداقل تعداد گره ای که باید در پاسخ به درخواست شرکت کنند را به صورت تصادفی انتخاب کرده و آنها را به روش خوشه بندی K-means بر اساس موقعیت جغرافیایی شان، به تعداد خوشه تعیین شده تقسیم می کند به طوری که تعداد گره های همه خوشه ها یکسان باشد. سپس به صورت همه پخش می کند گره ها اعلام می کند که هر یک به کدام خوشه تعلق دارند و در کدام دوره سرخوشه می شوند. در این روش به منظور کاهش سربار زمان و انرژی در خوشه بندی، ساختار خوشه ها ثابت می ماند و تنها نقش سرخوشه بودن در هر دوره به گره خاصی از خوشه تخصیص داده می شود. پس از تشکیل خوشه ها، سرخوشه به روش TDMA به تک تک گره های خوشه خود، بازه زمانی مشخصی را جهت ارسال اطلاعات تخصیص می دهد.

#### ۴- شبیه سازی

##### تنظیمات شبیه سازی

به منظور ارزیابی تأخیر و دقت و انرژی مربوط به متراکم سازی اطلاعات در این ساختار، آزمایشاتی را ترتیب داده ایم. کلیه شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار JSim صورت پذیرفته است. جدول زیر دربردارنده پیکربندی شبیه سازی ما می باشد.

جدول ۱- تنظیمات شبیه سازی

MAC Layer	TDMA(Intra-Cluster), CSMA(Inter-Cluster)
-----------	------------------------------------------

که در آن  $X_j, j = 1, 2, \dots, |S_i|$  داده های موجود در مجموعه  $S_i$  می باشند. از طریق نامعادله Hoeffding [14] برای هر  $\varepsilon > 0$  داریم:

$$\Pr\left(\bar{S}_i - E[\bar{S}] \geq \varepsilon\right) < 2e^{-\frac{2|S_i|\varepsilon^2}{(b-a)^2}} \quad (9)$$

با فرض  $|S_i| \geq \frac{(b-a)^2 \cdot \ln \frac{2}{\delta}}{2\varepsilon^2}$  و جایگذاری آن در رابطه (۹)، رابطه (۷) به دست می آید.

به طور مشابه می توان نشان داد که برای توابع متراکم کننده ای نظیر SUM نیز رابطه ارائه شده برای تابع متراکم کننده AVERAGE صادق می باشد.

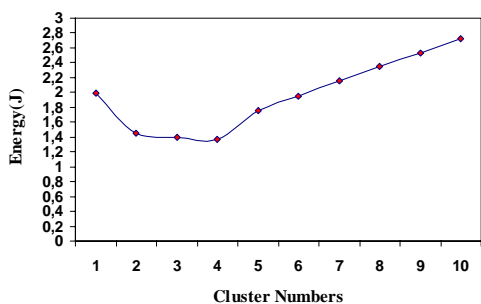
#### ایجاد خوشه ها بر اساس دقت و تأخیر با کاهش مصرف انرژی

پس از ارائه مدل های انرژی، تأخیر و دقت در بخش های قبلی، در این بخش نحوه ایجاد ساختار متراکم سازی را با توجه به نیازمندی های لایه کاربرد بیان می کنیم. لایه کاربرد در ابتدا میزان دقت مورد نیاز خود را با استفاده از پارامترهای  $\delta$  و  $\varepsilon$  تعریف می کند و به علاوه، حداکثر میزان تأخیر انتها به انتهای قابل قبول برای خود را نیز مشخص می نماید. این اطلاعات در گره Sink دریافت می شوند. Sink سپس با استفاده از مدل دقت ارائه شده در بخش ۳-۳، حداقل تعداد گره ای که باید در پاسخ دهی به درخواست لایه کاربرد شرکت کنند را تعیین می کند. گام بعدی تعیین تعداد خوشه ها می باشد. تعیین تعداد خوشه ها به حل یک مسئله بهینه سازی می انجامد که در آن تابع هدف رابطه (۵) و تابع شرط، رابطه (۱) است. تأخیر باید از حد آستانه ای که لایه کاربرد تعریف کرده است پائین تر باشد. با حل این مسئله تعداد خوشه ها بگونه ای تعیین می شود که تأخیر انتها به انتهای مورد نیاز تامین و انرژی مصرفی نیز حداقل گردد. اگر مسئله بهینه سازی مد نظر جواب نداشت، باید مصالحه ای مابین دقت و تأخیر انجام گیرد. در این مصالحه، هر چه تأخیر کمتری مد نظر باشد، با کاهش دقت می توان به آن دست یافت. به این طریق نیازمندی های لایه کاربرد در ایجاد ساختار متراکم سازی لحاظ می شود.

در زیر فرایند ایجاد ساختار بر اساس دقت و تأخیر را بیان می کنیم:

شکل ۲ تعداد خوشه بهینه را از نظر تاخیر نشان می‌دهد که عددی است بین ۹ تا ۱۱. وقتی که تنها یک خوشه داریم، تک تک گره‌ها باید به صورت سریال اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال کنند که این امر موجب افزایش تاخیر می‌شود. با افزایش تعداد خوشه‌ها به دلیل اینکه خوشه‌ها به صورت موازی اطلاعات را جمع‌آوری می‌کنند، تاخیر کاهش می‌یابد ولی از عدد ۱۱ به بعد به دلیل آنکه سرخوشه‌ها به صورت سریال اطلاعات خود را به sink ارسال می‌کنند تاخیر زیاد می‌شود.

در شکل ۳ میزان انرژی مصرفی را نسبت به تعداد خوشه‌ها بررسی می‌کنیم.



شکل (۳) - تاثیر تعداد خوشه‌ها بر میزان انرژی مصرفی

در حالتی که یک خوشه داریم گره‌ها برای اینکه اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال کنند، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند زیرا در فاصله دورتری از سرخوشه قرار دارند. وقتی که تعداد خوشه‌ها از ۴ بیشتر می‌شود به دلیل اینکه سرخوشه‌ها در فاصله‌های بیشتری از sink قرار می‌گیرند، میزان مصرف انرژی دوباره افزایش می‌یابد.

### آزمایش دوم

در این آزمایش تاثیر دقت پاسخ را بر روی میزان تاخیر، انرژی و تعداد گره شرکت کننده در پاسخ‌دهی به درخواست بررسی می‌کنیم. در این آزمایش احتمال خطا (Error Probability) را برابر با مقادیر متفاوت ذکر شده در شکل ۴ می‌گیریم و دقت پاسخ مورد نظر را به تدریج افزایش می‌دهیم. تعداد گره‌ها در این آزمایش ۲۰۰ می‌باشد.

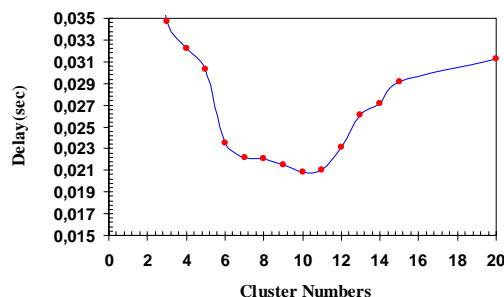
Propagation Model	Two-ray (Inter-Cluster), Friss-free-space(Intra-Cluster)
Bandwidth	1Mb
Radio electronics	50nJ/bit
Compute energy for beamforming	5nJ/bit
Antenna gain factory	1
Antenna height above the ground	1.5 m
Signal wavelength	0.325m
Cross-over distance for Friss and two-ray ground attenuation models	87m
Radio amplifier energy	10 pJ/bit/m <sup>2</sup> for Friss-amp, 0.0013 pJ/bit/m <sup>2</sup> for two-ray -amp
Data Size	115 Byte
Network Size	100*100 m <sup>2</sup>
Query Type	Average

ساختار مترادف سازی اطلاعات پیشنهاد شده در این مقاله وابسته به الگوریتم خوشه‌بندی خاصی نمی‌باشد. تنها کافی است از الگوریتمی استفاده شود که روابط تاخیر و انرژی ذکر شده برای آن صادق باشند.

### ۴-۲ آزمایش‌ها

#### آزمایش اول

در این آزمایش تاثیر تعداد خوشه را بر تاخیر و انرژی بررسی می‌کنیم. بدین منظور، با در نظر گرفتن تنظیمات بالا برای شبکه تعداد خوشه‌ها را افزایش داده و تاخیر و انرژی را در هر بار محاسبه می‌کنیم. تعداد گره‌ها در این آزمایش ۱۰۰ عدد می‌باشد.



شکل (۲) - تاثیر تعداد خوشه‌ها بر تاخیر

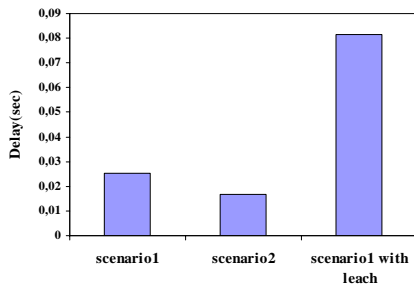
می تواند جواب را با دقت بیشتری دریافت کند. برای این منظور کافی است نیازمندی های کاربر در زمینه تاخیر و دقت در ساختن خوشه ها لحاظ گردد.

### آزمایش سوم

در این آزمایش تاخیر و انرژی مصرف شده در الگوریتم LEACH را با تاخیر و انرژی مصرف شده در دو سناریوی زیر که هنگام ایجاد ساختار متراکم سازی اطلاعات، نیازمندی های لایه کاربرد در نظر گرفته شده است مقایسه می کنیم. علت انتخاب الگوریتم LEACH جهت مقایسه، نزدیک بودن فرضیاتی است که ما در بخش های قبل ذکر کردیم به فرضیاتی که در LEACH در نظر گرفته شده است. هر الگوریتم دیگری که با این فرضیات مطابقت داشته باشد، می تواند جهت مقایسه با ساختار ما به کار رود. نکته مهم در مقایسه ساختار ما با سایر الگوریتم های خوشه بندی اینست که این ساختار دارای انعطاف پذیری نسبت به نیازمندی های کاربر می باشد.

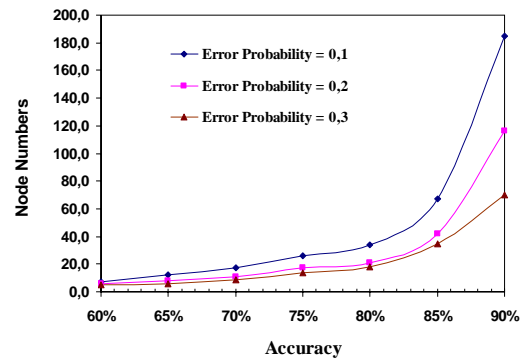
سناریو ۱: میانگین دما در حالتی که تمامی گره ها در پاسخ شرکت کنند چند درجه سانتی گراد می باشد؟

سناریو ۲: میانگین دما در حالتی که به احتمال ۹۰٪ دقت پاسخ بیشتر از ۸۵٪ باشد، چند درجه سانتی گراد می باشد؟

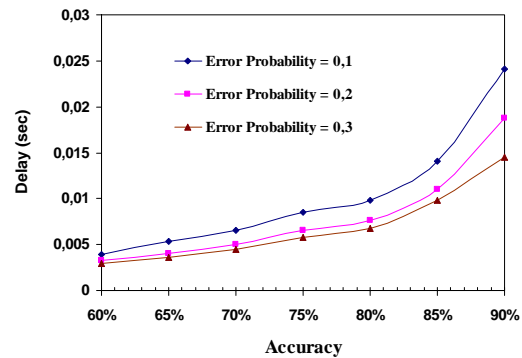


شکل (۷) - مقایسه تاخیر سناریو ۱ و ۲ با LEACH

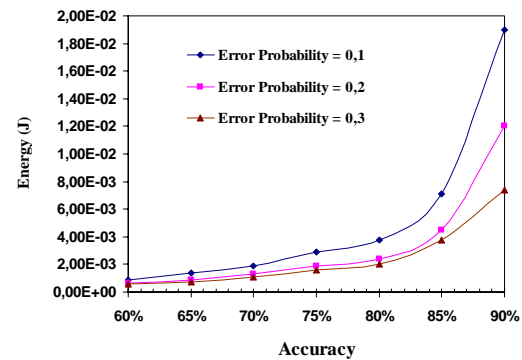
از آنجایی که در خوشه بندی به روش LEACH کاربر اعمال نظری در مورد دقت و تاخیر نمی تواند بکند، خوشه ها بر اساس کمترین میزان مصرف انرژی ساخته می شوند. همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می شود در سناریو ۱ که از طریق LEACH انجام شده بیشترین تاخیر را داریم ولی در سناریو ۱ که با ساختار ما جواب داده می شود، به دلیل اینکه با توجه به تاخیر، خوشه ها ایجاد می شود تاخیر کمتری را داریم. این تاخیر در سناریو ۲ که دقت کمتری لازم است، کمتر شده است. زیرا طبق ساختار ما، ابتدا تعداد گره لازم برای رسیدن به دقت ۸۵٪ مشخص می شود و سپس تعداد خوشه ها برای رسیدن به کمترین تاخیر تعیین می شود. بنابراین با در نظر گرفتن دقت، AW را در سرخوشه ها تنظیم می کنیم و به تاخیرهای متفاوتی می توانیم برسیم. که این امر در LEACH امکان پذیر نمی باشد.



شکل (۴) - تاثیر دقت بر تعداد گره شرکت کننده در پاسخ به درخواست



شکل (۵) - تاثیر میزان دقت بر تاخیر رسیدن جوابها از گره ها به sink



شکل (۶) - تاثیر میزان دقت بر انرژی مصرف شده برای پاسخ دهی به درخواست

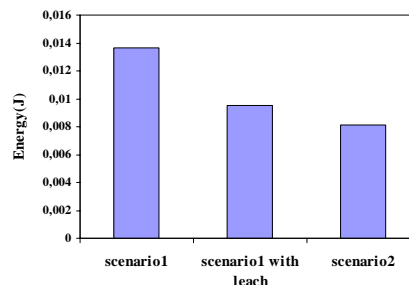
در شکل ۴، با افزایش تعداد گره های شرکت کننده در پاسخ، دقت افزایش می یابد. به دلیل افزایش تعداد گره های شرکت کننده، تاخیر و انرژی نیز افزایش می یابد که این مسئله در شکل های ۵ و ۶ نمایش داده شده است. حال اگر کاربری پاسخ سریعتری را خواستار است باید دقت جواب مورد نظر خود را کاهش دهد و اگر نیازمند پاسخ سریع نیست



این پروژه تحت حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام شده است.

### مراجع

- [1] LEWIS, F.L., "Wireless Sensor Networks. Smart Environments", Technologies, Protocol and Applications (2004).
- [2] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks 38, pp393-422, 2002.
- [3] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S.Wicker, "Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks," USC Computer.
- [4] S. Park. (2006). "Performance Analysis of Data Aggregation Schemes for Wireless Sensor Networks". PhD Thesis, North Carolina State University.
- [5] C. Intanagonwiwat, D. Estrin, R. Govindan, and J Heudenmann, "Impact of Network Density on Data Aggregation in Wireless Sensor Network", Proceedings of the 22 nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'02), p.457, July 02-05, 2002.
- [6] Tian He, Brian M. Blum, John A. Stankovic, Tarek Abdelzaher, AIDA, "Adaptive application-independent data aggregation in wireless sensor networks", ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), v.3 n.2, p.426-457, May 2004.
- [7] Boulis, A., Ganeriwal, S., Srivastava, M. "Aggregation in Sensor Networks: An Energy-Accuracy Trade-off". Proc. of IEEE SANPA, 5(2003)1117.
- [8] K. Akkaya, M. Younis, and M. Youssef, "Efficient Aggregation of Delay-Constrained Data in Wireless Sensor Networks", in Proc. Internet Compatible QoS in Ad Hoc Wireless Networks 2005, 2005.
- [9] Y. Yu, V. Prasanna, and B. Krishnamachari, "Exploring Energy-Latency Tradeoffs for Data Gathering in Wireless Sensor Network," IEEE Journal on Selected Area in Communications (JSAC), to appear, 2005.
- [10] Shao-liang, P. Shan-shan, L. Yu-xing, P. Pei-dong, Z. Nong, X. "A delay Sensitive Feedback control Data aggregation Approach in wireless sensor network." LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE. 2007, NUMB 4490, pages 393-400.
- [11] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences-Volume 8, p.8020, January 04-07, 2000.
- [12] W. Hoeffding. "Probability inequalities for sums of bounded random variables." Journal of the American Statistical Association, 58(301):13-30, 1963.



شکل (۸) - مقایسه مصرف انرژی در سناریو ۱ و ۲ با LEACH

در شکل ۸ چون خوشه‌ها در LEACH بر اساس کمینه کردن انرژی ساخته می‌شوند، سناریو ۱ که با استفاده از LEACH اجرا می‌شود نسبت به سناریو ۱ که با در نظر گرفتن نیازمندی‌های لایه کاربرد که در این مقاله اشاره شده است، اجرا می‌شود، انرژی کمتری مصرف می‌کند. در سناریو ۲ از آنجا که کاربرد دقت کمتری نیاز دارد، تعداد گره کمتری شرکت می‌کنند و در نتیجه انرژی کمتری نیز مصرف می‌شود. این در حالی است که امکان پیاده‌سازی سناریو ۲ با LEACH وجود ندارد.

### ۵- نتیجه گیری

متراکم کردن اطلاعات یکی از عملیات‌های اولیه در شبکه‌های حسگر می‌باشد که با انجام پردازش‌هایی در داخل شبکه منجر به کاهش هزینه ارتباطات در شبکه می‌شود. به دلیل تعداد زیاد گره‌های موجود در این نوع شبکه‌ها، استخراج اطلاعات متراکم شده دقیق از شبکه‌های حسگر می‌تواند از نظر زمان پاسخ و مصرف انرژی بسیار چالش‌انگیز باشد. این در حالی است که در بسیاری از کاربردهای شبکه‌های حسگر، وجود یک تخمین مناسب از جواب نیز کافی می‌باشد. در این مقاله با دخالت دادن تاخیر و دقت مورد نیاز لایه کاربرد، روشی برای ایجاد ساختار متراکم‌سازی اطلاعات بر مبنای خوشه‌بندی ارائه شد. در این ساختار ابتدا بر اساس دقت، تعداد گره‌هایی که باید در پاسخ‌دهی به درخواست شرکت کنند تعیین می‌شود. بدین ترتیب می‌توان زمانی را که باید سرخوشه‌ها جهت شروع متراکم‌سازی صبر کنند (AW) تعیین نمود. سپس برای رسیدن به تاخیر مورد نیاز لایه کاربرد، با حل یک مسئله بهینه‌سازی که در آن تابع هدف کمینه کردن مصرف انرژی و تابع شرط، تامین تاخیر مورد نیاز لایه کاربرد می‌باشد، تعداد خوشه‌ها به دست می‌آید. به عنوان پیشنهادی برای ادامه کار، از آنجا که لایه کاربرد ممکن است درخواست‌های متفاوت با نیازمندی‌های متفاوت داشته باشد، می‌توان متناسب با هر یک از این درخواست‌ها و نیازمندی‌ها ساختار متراکم‌سازی مجزائی را در شبکه تشکیل داد که در صورت بروز آن نیازمندی، شبکه بر اساس ساختار متراکم‌سازی معادل به فعالیت و جمع‌آوری پاسخ بپردازد.

### قدردانی

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL  
پروپوزال

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین  
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI  
Scopus

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو