بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوش مصنوعی

رهیافتی جهت بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های WSN مبتنی بر الگوریتم BLAC

نگارنده: محمدرضا قلیچ‌لی

اساتید راهنما

دکتر محسن رضوانی

دکتر علی اکبر پویان

استاد مشاور

دکتر منصور فاتح

دی ماه ۱۳۹۷

شماره: ۶۰۲/ف ک
تاریخ: ۹۷/۱۱/۱۵

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد **آقای محمدرضا قلیچ لی** با شماره دانشجویی ۹۵۱۱۸۰٤ رشته مهندسی کامپیوتر **گرایش هوش مصنوعی و رباتیکز** تحت عنوان **رهیافتی جهت بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های WSN مبتنی بر الگوریتم BLAC** که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☑ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیات داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استادراهنمای اول	محسن رضوانی	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	علی اکبر پویان	استادیار	
۳- استاد مشاور	منصور فاتح	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	محسن فرهادی	مربی	
۵- استاد ممتحن اول	فاطمه جعفری نژاد	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	امیدرضا معروضی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم اول

به **پدر و مادر و عزیزم** که مهر آسمانی شان آرامش بخش

و راه و روش شان چراغ راه زندگانی ام است

و تقدیم دوم

به **برادرم** که درست اندیشیدن را در این مسیر به من آموخت.

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند یکتای عزتمندی که رحمت و دانش او در سراسر گیتی گسترده شده، آسمان ها و زمین همه از آن اوست و علم و دانش حقیقی را بر هر که بخواهد موهبت می فرماید. رحمت و لطف او را بی نهایت سپاس می گویم چرا که فهم و درک مطالب این پژوهش را بر من ارزانی داشت و مرا به این اصل رساند که علم و ایمان دو بال یک پرواز ند. توفیق تلاش به من داد، تا با امید، راه تازه ای را آغاز کنم و به خواست او به نتیجه ی مطلوب نائل آیم. به راستی که همه چیز از آن و به خواست اوست.

همچنین از استادان گرامی، جناب آقای دکتر محسن رضوانی و جناب آقای دکتر علی اکبر پویان بسیار سپاسگزارم که در تمامی دشواری های این مسیر، راهنمایی های بی دریغشان چاره ساز کارم بود و از جناب آقای دکتر منصور فاتح بابت کمک هایشان قدردانی به عمل می آورم.

تعهدنامه

اینجانب **محمدرضا قلیچ‌لی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی کامپیوتر** دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **" رهیافتی جهت بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های WSN مبتنی بر الگوریتم BLAC "** تحت راهنمائی جناب آقای **دکتر محسن رضوانی و جناب آقای دکتر علی اکبر پویان** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت جمع‌آوری داده‌ها از محیطی که در آن قرار دارند، از جمله روش‌هایی است که امروزه در حد وسیع و در مقیاس‌های متعدد مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از روش‌های خوشه‌بندی این شبکه‌ها از جمله مواردی است که باعث می‌شود تا به شبکه حسگر موردنظر، سامان و نظم بخشیده و گره‌های موجود در یک خوشه به یک سرخوشه مقید شوند. انجام وظایفی مانند دریافت داده‌های جمع‌آوری شده از محیط و ارسال آن‌ها به یک مرکز پایگاه اصلی جهت پردازش این داده‌ها به خارج از شبکه با استفاده از ارتباطات دوربرد، برعهده گره سرخوشه می‌باشد. لذا مصرف انرژی در این گره‌ها به شدت بالاتر از گره‌های معمولی است. در صورتی که شبکه حسگر از یک پروتکلی که میزان مصرف انرژی را تا حد خوبی بین گره‌ها توزیع نکرده باشد، استفاده نماید به زودی انرژی گره سرخوشه به پایان رسیده و عمر شبکه به اتمام می‌رسد. لذا باید تعویض نقش بین گره‌ها صورت بگیرد تا همه بار مصرف انرژی در شبکه به دوش یک حسگر نیافتد.

یکی روش‌های اخیر برای خوشه‌بندی گره‌ها در یک شبکه حسگر بی‌سیم استفاده از الگوریتم BLAC است که علاوه بر درنظرگرفتن معیارهایی از پیش تعریف شده، میزان انرژی هر گره نیز در نظر می‌گیرد. بدین ترتیب عمر شبکه نسبت به روش‌های پیشین و متداول در این زمینه تا حد زیادی بهبود می‌یابد. گرچه الگوریتم BLAC نتایج امیدبخشی در بهبود طول عمر شبکه ارائه نموده است، پارامترهای دیگر نظیر متوسط نرخ تحویل بسته‌ها، متوسط تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه، و میزان پایداری شبکه نیز باید به عنوان کارایی یک شبکه حسگر بی‌سیم لحاظ گردند. این در حالی است که الگوریتم BLAC تنها بهبود طول عمر شبکه را در نظر گرفته است.

در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از معیارهای جدید کارایی در شبکه، نسخه توسعه یافته‌ای از الگوریتم BLAC ارائه شود که گره‌های سرخوشه را به صورت بهینه‌تری انتخاب می‌نماید. در روش

پیشنهادی در این پایان نامه، علاوه بر افزایش طول عمر شبکه، پارامترهای دیگری از کارایی شبکه نیز بهبود یافته است. برای این منظور معیارهای جدیدی شامل ضریب خوشه‌بندی و رتبه‌بندی گره‌ها در محاسبات الگوریتم BLAC در نظر گرفته شده است. علاوه برای این در روش پیشنهادی از ایده وزن‌دهی معیارها استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی معیارهای پیشنهادی نشان می‌دهد که طول عمر شبکه در مقایسه با نسخه اصلی الگوریتم BLAC تا ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. علاوه بر این معیارهای پیشنهادی به طور همزمان متوسط نرخ تحویل داده‌ها و میانگین تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه را بهینه نموده و تعداد خوشه‌های ساخته شده در شبکه حسگر بی‌سیم را در حد قابل قبول نگه می‌دارد.

کلمات کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی، مصرف انرژی، گره سرخوشه، الگوریتم BLAC، طول عمر شبکه.

فهرست مطالب

فهرست جداول **ل**

فهرست اشکال **م**

فصل۱ : مقدمه **۱**

۱-۱ شرح مسئله ۲

۱-۲ شرح مسئله ۷

۱-۳ اهمیت انجام پژوهش..... ۱۰

۱-٤ هدف انجام پژوهش..... ۱۱

۱-۵ مروری بر فصل‌ها..... ۱۳

فصل۲ :ادبیات پژوهش **۱۵**

۲-۱ پروتکل LEACH..... ۱۶

۲-۲ پروتکل PEGASIS ۱۷

۲-۳ پروتکل شبکه ارتباطی با حداقل انرژی (MECN) ۱۸

۲-۴ روش انتشار اطلاعات دو ردیفه (TTDD) ۱۹

۲-۵ مسیریابی با معماری شبکه مجازی..... ۲۱

۲-۶ پروتکل TEEN و APTEEN..... ۲۲

۲-۷ مسیریابی سلسله مراتبی آگاه از انرژی (HPAR)..... ۲۴

۲-۸ آشنایی با الگوریتم BLAC..... ۲۵

۲-۸-۱ نمادها و ریاضیات..... ۲۹

۲-۸-۲ معیار درجه..... ۳۰

۲-۸-۳ تشکیل خوشه و انتخاب سرخوشه ۳۲
۲-۸-۴ معیار مبتنی بر درجه ۳۳
۲-۸-۵ معیار تراکم ۳۶
۲-۸-۶ تشکیل خوشه و انتخاب سرخوشه با کمک معیار تراکم ۳۷
۲-۸-۷ معرفی و پیاده سازی معیار تراکم ۳۹
۸-۸-۲ معیار درجه و تراکم با استفاده از گراف کاهش‌یافته ۴۳
۲-۸-۹ معرفی پارامتر "ضریب توان" در گراف کاهش یافته نسبی و ارائه الگوریتم آن ۴۴
۱۰-۸-۲ پیاده سازی الگوریتم BLAC با استفاده از گراف کاهشی نسبی ۴۷

فصل۳ : معیارهای‌پیشنهادی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه ۵۱

۳-۱ پیش درآمدی بر معیارهای پیشنهادی ۵۲
۳-۲ معیار ضریب خوشه‌بندی ۵۳
۳-۳ معیار خوشه‌بندی با آستانه ۵۶
۳-۴ معرفی معیار رتبه‌بندی گره‌ها ۵۸
۳-۴-۱ پیاده سازی الگوریتم رتبه‌بندی گره‌ها ۵۹
۳-۵ معرفی مدل شبکه جهانی کوچک جهت بهینه‌سازی مصرف در شبکه ۶۳
۳-۶ معرفی معیار خوشه‌بندی برپایه وزن‌دهی به ضرایب ۶۷
۳-۶-۱ معیار خوشه‌بندی بر پایه چند وزنی (وزن‌دهی چندگانه) ۶۹
۳-۶-۲ معیار خوشه‌بندی چند وزنی بر پایه رتبه‌دهی به گره‌ها ۷۱
۳-۶-۳ معیار خوشه‌بندی چند وزنی به صورت ترکیبی ۷۲
۳-۶-۴ معیار خوشه‌بندی چند وزنی برپایه ضریب خوشه‌بندی ۷۵

فصل۴ :ارزیابی روش پیشنهادی و نتایج ۷۷

۴-۱ تنظیمات و راه اندازی سیستم ۷۸

۴-۲ بررسی و تحلیل نمودارهای طول عمر شبکه حسگر ۷۸
۴-۲-۱ معیار درجه ۸۱
۴-۲-۲ معیار تراکم ۸۶
۴-۲-۳ گراف کاهش‌یافته بر اساس معیار تراکم و درجه ۸۹
۴-۲-۴ معیار ضریب خوشه‌بندی ۹۵
۴-۲-۵ معیار خوشه‌بندی با آستانه ۹۹
۴-۲-۶ مدل شبکه جهانی کوچک ۱۰۲
۴-۲-۷ رتبه‌بندی گره‌ها ۱۰۵
۴-۲-۸ معیار چندوزنی ۱۰۹
۴-۲-۹ خوشه‌بندی چندوزنی به صورت ترکیبی ۱۱۲
۴-۲-۱۰ خوشه‌بندی چندوزنی براساس رتبه‌بندی گره‌ها ۱۱۶
۴-۲-۱۱ چندوزنی بر پایه ضریب خوشه‌بندی محلی ۱۱۹
۴-۲-۱۲ مقایسه کلی معیارها ۱۲۳
فصل۵: جمع بندی و پژوهش‌های آینده **۱۳۳**
۵-۱ جمع‌بندی ۱۳۴
۵-۲ پژوهش‌های آینده ۱۳۶
فهرست واژگان **۱۴۱**
فهرست علائم اختصاری **۱۴۳**
مراجع **۱۴۴**

فهرست جداول

جدول ۲-۱. پارامترهای بکار رفته در الگوریتم BLAC بر پایه درجه ۳۴
جدول ۲-۲.پارامترهای بکار رفته در الگوریتم BLAC بر پایه تراکم ۳۹
جدول ۳-۱. پارامترهای مربوط به اتلاف انرژی رادیویی ۶۶
جدول ۴-۱. پارامترهای شبیه سازی ۸۰
جدول ۴-۱. مقایسه طول عمر معیارهای مختلف ۱۲۴
جدول ۴-۲. مقایسه متوسط تعداد گام‌های معیارهای ارائه شده ۱۲۶
جدول ۴-۳. مقایسه متوسط میزان پایداری معیارهای ارائه شده ۱۲۷
جدول ۴-۴. مقایسه متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده ۱۲۸
جدول ۴-۵. مقایسه میانگین نرخ تحویل بسته‌ها ۱۳۰

فهرست اشکال

شکل۲-۱. عملیات مربوط به TEEN و APTEEN ۲۲
شکل۲-۲. نحوه خوشه بندی در پروتکل TEEN ۲۳
شکل۲-۳. نمایش ایجاد همسایگی توسط گره‌ها در ابتدای کار ۳۱
شکل۲-۴. نحوه محاسبه چگالی هر گره در شبکه ۳۷
شکل۲-۵. نحوه انتخاب گره سرخوشه با استفاده از معیار چگالی در شبکه ۳۹
شکل۲-۶. ایجاد حفره در شبکه به علت مرگ گره سرخوشه ۴۱
شکل۲-۷. ایجاد حفره در شبکه به علت مرگ گره سرخوشه ۴۲
شکل۲-۸. نمایش گره‌های بحرانی و غیربحرانی در شبکه ۴۶
شکل۲-۹. اعمال گراف کاهشی نسبی بر روی گره‌های بحرانی شبکه ۴۶
شکل۳-۱. ضرایب خوشه بندی مختلف ۵۵
شکل۳-۲. ضریب اهمیت اتصالات لینک‌ها ۶۰
شکل۳-۳. یک نمونه از گراف شبکه جهانی ۶۴
شکل۴-۱. نمودار طول عمر معیار bg ۸۱
شکل۴-۲. تعداد خوشه های ساخته شده توسط معیار bg ۸۲
شکل۴-۳. میانگین فاصله تا سرخوشه توسط معیار bg ۸۴
شکل۴-۴. نمودار پایداری شبکه با استفاده از معیار bg ۸۵
شکل۴-۵. نمودار طول عمر شبکه با استفاده از معیار bs ۸۶
شکل۴-۶. تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار bs ۸۷
شکل۴-۷. متوسط فاصله تا گره سرخوشه‌ها با استفاده از معیار bs ۸۸
شکل۴-۸. متوسط پایداری شبکه با استفاده از معیار bs ۸۹
شکل۴-۹. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار rg ۹۰
شکل۴-۱۰. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار rs ۹۱
شکل۴-۱۱. متوسط تعداد گام‌های شبکه با استفاده از معیار rs ۹۲
شکل۴-۱۲. متوسط تعداد گام‌های شبکه با استفاده از معیار rg ۹۲
شکل۴-۱۳. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده توسط معیار rg وrs ۹۳
شکل۴-۱۴. میانگین نرخ تحویل بسته‌ها توسط معیار rg وrs ۹۳
شکل۴-۱۵. متوسط پایداری سیستم با استفاده از معیار rs ۹۴
شکل۴-۱۶. متوسط پایداری سیستم با استفاده از معیار rg ۹۴
شکل۴-۱۷. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی ۹۶
شکل۴-۱۸. متوسط تعداد گام‌ها تا مقصد با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی ۹۶

شکل۴-۱۹. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی..... ۹۸
شکل۴-۲۰. متوسط پایداری شبکه با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی ۹۸
شکل۴-۲۱. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه ۹۹
شکل۴-۲۲. متوسط تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه..... ۱۰۰
شکل۴-۲۳. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه..... ۱۰۱
شکل۴-۲۴. متوسط میزان پایداری شبکه با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه ۱۰۲
شکل۴-۲۵. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک ۱۰۳
شکل۴-۲۶. متوسط تعداد خوشه‌های شبکه با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک..... ۱۰۴
شکل۴-۲۷. متوسط تعداد گام‌ها تا مقصد با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک..... ۱۰۴
شکل۴-۲۸. متوسط پایداری شبکه با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک..... ۱۰۵
شکل۴-۲۹. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار رتبه‌بندی گره‌ها.....۱۰۶
شکل۴-۳۰. متوسط خوشه‌های ساخته شده در شبکه با استفاده از معیار رتبه‌بندی گره‌ها..... ۱۰۷
شکل۴-۳۱. متوسط تعداد گام‌ها تا مقصد با استفاده از معیار رتبه‌بندی گره‌ها ۱۰۸
شکل۴-۳۲. متوسط میزان پایداری با استفاده ازمعیار رتبه‌بندی گره‌ها ۱۰۸
شکل۴-۳۳. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی ۱۱۰
شکل۴-۳۴. متوسط تعداد گام‌های تا مقصد با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی..... ۱۱۰
شکل۴-۳۵. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی... ۱۱۱
شکل۴-۳۶. متوسط میزان پایداری با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی..... ۱۱۲
شکل۴-۳۷. میانگین طول عمر شبکه با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی ۱۱۳
شکل۴-۳۸. میانگین تعداد گام‌ها تا مقصد با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی..... ۱۱۴
شکل۴-۳۹. میانگین تعداد خوشه‌های ساخته شده با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی..... ۱۱۵
شکل۴-۴۰. متوسط پایداری شبکه با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی..... ۱۱۵
شکل۴-۴۱. میانگین طول عمر شبکه با استفاده از معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها..... ۱۱۷
شکل۴-۴۲. میانگین تعداد خوشه‌ها با استفاده از معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها..... ۱۱۷
شکل۴-۴۳. میانگین تعداد گام‌ها با معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها..... ۱۱۸
شکل۴-۴۴. میانگین پایداری شبکه با معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها ۱۱۹
شکل۴-۴۵. متوسط طول عمر شبکه با معیار ضریب خوشه‌بندی محلی به صورت چندوزنی..... ۱۲۰
شکل۴-۴۶. متوسط تعداد گام‌ها در شبکه با معیار ضریب خوشه‌بندی محلی به صورت چندوزنی۱۲۱
شکل۴-۴۷. متوسط تعداد خوشه‌ها با معیار ضریب خوشه‌بندی به صورت چندوزنی..... ۱۲۱
شکل۴-۴۸. متوسط تعداد خوشه‌ها با معیار ضریب خوشه‌بندی چندوزنی با درنظر نگرفتن سطح انرژی ۱۲۲
شکل۴-۴۹. متوسط پایداری شبکه با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی چندوزنی ۱۲۳

شکل۴-۵۰. نمودار میله‌ای متوسط نرخ تحویل شبکه به ازای همه معیارها ۱۲۹
شکل۴-۵۱. مقایسه میانگین طول عمر شبکه با استفاده از معیارهای ترکیبی..... ۱۳۱

فصل۱ : مقدمه

۱-۱ شرح مسئله

در دنیای امروز جمع‌آوری اطلاعات از محیط اطراف جهت بررسی وضعیت کنونی محیط امری ضروری به نظر می‌رسد. این اطلاعات به ما کمک خواهند نمود تا تصمیم‌گیری بهتری در مورد وضع موجود از محیط خود داشته باشیم. در مراحل بعدی، ارزیابی و جمع‌بندی این اطلاعات جهت تحلیل داده‌های بدست آمده از اهمیت قابل توجهی برخوردار خواهد بود. جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌تواند به طرق مختلفی از قبیل مشاهده، پرس و جو و ثبت داده‌های آماری و غیره صورت بگیرد. یکی از مهمترین روش‌های جمع‌آوری اطلاعات در عصر امروز، استفاده از شبکه‌های حسگری بی‌سیم می‌باشد. منظور از شبکه‌های حسگری بی‌سیم، شبکه‌هایی هستند که به علت حضور گره‌ها در آن، از محیط مورد نظر اطلاعات را جمع‌آوری کرده و به یک ایستگاه پایه[۱] جهت پردازش ارسال می‌کنند. حسگرهای موجود در این نوع شبکه در واقع قطعات سخت افزاری کوچکی می‌باشند که دارای محدودیت‌هایی از قبیل پردازش، حافظه ذخیره سازی و همچنین منابع انرژی می‌باشند.

اگر بخواهیم به صورت اختصاصی‌تر به مفهوم شبکه‌های حسگر بی‌سیم بپردازیم می‌توانیم به این نکته اشاره نماییم که شبکه حسگر شبکه‌ای است متشکل از تعداد زیادی گره کوچک که در هر گره تعدادی حسگر و یا کارانداز[۲] وجود دارد. شبکه به شدت با محیط فیزیکی تعامل دارد. از طریق حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و از طریق کاراندازها واکنش نشان می‌دهد. ارتباط بین گره‌ها به صورت بی‌سیم است. هر گره به طور مستقل و بدون دخالت انسان کار می‌کند و نوعا از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است و دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه و منبع تغذیه می‌باشد [۱]. این محدودیت‌ها مشکلاتی را به وجود می‌آورد که منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در

[۱] Base station

[۲] Actuator

این زمینه است. این شبکه از پشته پروتکلی شبکه‌های سنتی پیروی می‌کند ولی به خاطر محدودیت‌ها و تفاوت‌های وابسته به کاربرد پروتکل‌ها باید بازنویسی شوند [۱, ۲].

شبکه‌های سنتی ارتباط بین انسان‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتی را فراهم می‌کند در حالی که شبکه حسگر مستقیما با جهان فیزیکی در ارتباط است و با استفاده از حسگرهای موجود در خود محیط فیزیکی را مشاهده کرده، بر اساس مشاهدات خود تصمیم‌گیری نموده و عملیات مناسب را انجام می‌دهند. نام شبکه حسگر بی‌سیم یک نام عمومی است برای انواع مختلف که به منظورهای خاص طراحی می‌شود. برخلاف شبکه‌های سنتی که همه منظوره‌اند، شبکه‌های حسگر نوعا تک‌منظوره هستند. درصورتی که گره‌ها توانایی حرکت داشته باشند شبکه می‌تواند گروهی از ربات‌های کوچک درنظر گرفته شود که با هم به صورت تیمی کار می‌کنند و جهت مقصد خاصی مثلا بازی فوتبال یا مبارزه با دشمن یا جست‌وجو در میدان جنگ طراحی شده است. از دیدگاه دیگر اگر در شبکه تلفن همراه ایستگاه‌های پایه را حذف نماییم و هر گوشی را یک گره فرض کنیم ارتباط بین گره‌ها باید به طور مستقیم یا از طریق یک یا چند گره میانی برقرار شود. این خود نوعی شبکه حسگر بی‌سیم محسوب می‌گردد.

شبکه حسگر بی‌سیم را می‌توان به شیوه دیگری نیز تعریف کرد: شبکه حسگر بی‌سیم به یک شبکه بی‌سیم از حسگرهای خودراهبر[۱] گفته می‌شود که با فاصله پخش شده‌اند و برای اندازه‌گیری گروهی برخی از کمیت‌های فیزیکی یا شرایط محیطی مانند دما، صدا، لرزش، فشار، حرکت یا آلاینده‌ها، در مکان‌های مختلف یک محدوده کاربرد دارد.

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با اینکه هر حسگر به تنهایی توانایی ناچیزی دارد، ترکیب صدها حسگر کوچک امکانات جدیدی را عرضه می‌کند. در واقع قدرت شبکه‌های بی‌سیم حسگر در توانایی به‌کارگیری تعداد زیادی گره کوچک است که خود قادرند سرهم و سازماندهی شوند و در موارد

[۱] Self Leader

متعددی چون مسیریابی هم‌زمان، نظارت بر شرایط محیطی، نظارت بر سلامت ساختارها یا تجهیزات یک سیستم به کار گرفته شوند.

گستره کاربری شبکه‌های بی‌سیم حسگر بسیار وسیع بوده و از کاربردهای کشاورزی، پزشکی و صنعتی تا کاربردهای نظامی را شامل می‌شود [۳]. به عنوان مثال یکی از متداول‌ترین کاربردهای این تکنولوژی، نظارت بر یک محیط دور از دسترس است. مثلا نشتی یک کارخانه شیمیایی در محیط وسیع کارخانه می‌تواند توسط صدها حسگر که به طور خودکار یک شبکه بی‌سیم را تشکیل می‌دهند، نظارت شده و در هنگام بروز نشت شیمیایی به سرعت به مرکز اطلاع داده شود. کنترل ترافیک از دیگر موارد مورد استفاده این نوع شبکه‌ها می‌باشد.

یک شبکه حسگر معمولاً تشکیل یک شبکه بی‌سیم اقتضایی[۱] را می‌دهد، یعنی تعداد زیادی گره یک بسته اطلاعاتی را جلو برده و به ایستگاه مرکزی می‌رسانند. در این سیستم‌ها بر خلاف سیستم‌های سیمی قدیمی، از یک جهت از هزینه‌های پیکربندی و آرایش شبکه کاسته می‌شود از سوی دیگر به جای نصب هزاران متر سیم فقط باید از دستگاه‌های کوچکی را که تقریباً به اندازه یک سکه هستند، استفاده گردد. علاوه بر یک یا چند حسگر، هر گره از شبکه معمولا مجهز به یک فرستنده و گیرنده رادیویی (یا هر وسیله مخابراتی بی‌سیم دیگر)، یک میکروکنترلر کوچک، و یک منبع انرژی (معمولاً یک باتری) است. اندازه یک گره حسگری بسته به اندازه بسته‌بندی آن تغییر کرده و تا یک‌دانه شن قابل کوچک‌سازی است. که قطعات این شن ریزه در ابعاد میکروسکوپی هنوز باید ساخته شود. قیمت هر گره حسگر می‌تواند بین چند صد دلار تا چند سنت، بسته به اندازه و پیچیدگی مورد نیاز یک گره متفاوت باشد. محدودیت‌های قیمت و اندازه در گره‌های حسگر منجر به محدودیت در منابعی مانند انرژی، حافظه، سرعت پردازش و پهنای باند[۲] در آن‌ها می‌شود [۴].

[۱] occasionally

[۲] bandwidth

همانگونه که گفته شد حسگرها در واقع قطعه‌های کوچکی هستند (از قبیل حافظه کم برای ذخیره و منابع اندک محاسباتی) و به باتری وابسته هستند. این حسگرها در دسته‌ها یا به بیان دقیق‌تر در خوشه‌هایی گروه‌بندی می‌شوند و به یک سرخوشه[1] مقید می‌شوند. از طرف دیگر علت قرار گرفتن گره‌ها در خوشه‌های مختلف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم آن است که این حسگرها به یک سرگروه مقید شوند و اطلاعات جمع‌آوری شده توسط خودشان از محیط را به صورت نامنظم به مرکز پردازش داده‌ها ارسال ننمایند. بلکه این اطلاعات را به صورت سازمان یافته و در بازه‌های زمانی که به آن‌ها اجازه داده شده است به سرگروه یا سرخوشه خود ارسال نماید. سرخوشه‌ها نیز به نوبه خود این اطلاعات را جمع‌آوری نموده و پس از ترکیب نمودن آن‌ها برای پردازش و تحلیل نهایی به مرکز پردازش ارسال می‌کنند [۵].

بنابراین شبکه‌های حسگر نیازمند الگوریتمی هستند که بتواند میزان مصرف انرژی آن‌ها را تا حد خوبی مدیریت کند و عمر شبکه را افزایش دهد. در نظر داشته باشید که منظور از عمر شبکه در حقیقت فاصله زمانی از شروع کار شبکه تا اولین گرهی است که می‌میرد (انرژی آن تمام می‌شود.) الگوریتم‌ها و پروتکل‌های متعددی بر روی شبکه‌های حسگری بی‌سیم اجرا شده است که هر کدام به نوبه خود بر روی نحوه عملکرد و همچنین کارایی شبکه تاثیر می‌گذارند. اکثر این پروتکل‌ها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی گره و خوشه‌بندی درست و مناسب آن‌ها ایجاد شده است. بهینه‌سازی در این زمینه‌ها در نهایت امر باعث توزیع درست مصرف انرژی در شبکه و نتیجتا افزایش طول عمر شبکه می‌گردد [۶, ۷]. پژوهشگران بسیاری در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تحقیقات گسترده‌ای را انجام داده‌اند که تعدادی از این تحقیقات نیز به ایجاد و ابداع الگوریتم‌های امیدبخش ختم شده‌اند. ایده‌های نو و خلاقیت در زمینه طراحی این الگوریتم‌ها بسیار حائز اهمیت

[1] clusterhead

می‌باشد. چرا که ممکن است کوچکترین بی‌توجهی در طراحی یا پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها باعث عدم رسیدن به نتیجه دلخواه گردد.

هنگام ایجاد شبکه حسگر بی‌سیم در فازهای تشکیل خوشه‌ها و همچنین برقراری ارتباط این حسگرها با یکدیگر، مقداری انرژی مصرف می‌شود که با توجه به نوع الگوریتم‌ها یا معیارهای به کار گرفته شده جهت انتقال اطلاعات به گره سرخوشه می‌تواند این میزان مصرف انرژی متفاوت باشد. بدیهی است هر چقدر معیارهای موجود در فرآیند خوشه‌بندی، از بهینگی کمتری برخوردار باشند یا محدودتر باشند، میزان مصرف یا تلفات انرژی حسگرها بیشتر بوده و عمر شبکه کاهش خواهد یافت. با کاهش عمر شبکه، متاسفانه بخش عظیمی از اطلاعات در کل شبکه از دست خواهد رفت که این اطلاعات از دست رفته می‌تواند با توجه حسگری که انرژی آن به پایان رسیده است، از یک قسمت شبکه تا قسمت دیگر متغیر باشد.

با بیان نمودن این توضیحات اکنون می‌توانیم درک نماییم که طراحی و پیاده‌سازی یک الگوریتم با معیار مناسب جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی حسگرها تا چه اندازه مهم است. در روش‌های کلاسیک جهت انتخاب حسگر سرخوشه از رویه‌های تصادفی استفاده می‌شد یا اینکه حسگرهای موجود در خوشه به صورت احتمالاتی در هر خوشه به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شدند. این امر باعث تلفات شدید انرژی در حسگر و کاهش کلی عمر شبکه می‌گردید. بنابراین در این پژوهش سعی شده است برای رفع مشکلات ممکن از قبیل مصرف بی رویه انرژی توسط حسگرها، از معیارهایی استفاده شود که با استفاده از آن حسگرها می‌توانند در خوشه‌ها و دسته‌های مناسب قرار بگیرند و اطلاعات بدست آورده شده از محیط را با یک یا چند گام به حسگر سرخوشه خود برسانند.

۱-۲ شرح مسئله

همانگونه که گفته شد حسگرهای موجود در شبکه برای جلوگیری از بی‌نظمی و ارسال خودسرانه اطلاعات جمع‌آوری شده به پایگاه مرکزی جهت پردازش بایستی در خوشه‌هایی به صورت منظم گروه‌بندی شوند. این خوشه‌بندی به نمای کلی شبکه حسگر بی‌سیم استحکام و نظم بخشیده و گروهی از گره‌ها را که در فاصله همسایگی نسبت به هم قرار دارند را درون یک خوشه قرار می‌دهد و به یک سردسته یا سرخوشه مقید می‌نماید. این عمل باعث می‌شود تا گره‌ها، اطلاعات جمع‌آوری شده خود را به یک مرکز واحد در آن خوشه ارسال نمایند. روشن است که وظیفه جمع‌آوری اطلاعات از کل گره‌های موجود در خوشه و ارسال آن به مرکز اصلی جهت پردازش در آن بازه خاص زمانی باید توسط گره سرخوشه انجام بگیرد. انجام این اعمال، انرژی زیادی را از گرهی که به عنوان سرخوشه انتخاب شده است، خواهد گرفت و در نتیجه در کاهش عمر آن گره و در نهایت کاهش کلی عمر شبکه تاثیر منفی بسیار زیادی خواهد داشت. یک گره سرخوشه علاوه بر اینکه وظیفه گرفتن اطلاعات موجود از کل گره‌های خوشه را به عهده دارد و بایستی آن‌ها را ترکیب نماید، باید از طرق ارتباطات دوربرد[۱] این داده‌های تجمیع شده را نیز به مرکز پردازش اصلی ارسال نماید که این خود انرژی گزافی را از گره سرخوشه خواهد گرفت.

به بیان ساده‌تر اگر قرار باشد که گره انتخاب شده به عنوان سرخوشه، در تمام مدت سرخوشگی خود را حفظ کند و وظایف ذکر شده را انجام دهد، به زودی انرژی آن به پایان خواهد رسید و بخش عظیمی از اطلاعات شبکه از بین خواهد رفت. لذا بهتر است از یک سیستم چرخشی جهت تغییر نقش گره‌ها استفاده گردد. یعنی کاربری گره‌ها چه به‌عنوان سرخوشه و چه به عنوان گره معمولی عضو خوشه بایستی دائما درحال تغییر باشد. انجام این عمل باعث می‌شود تا تمامی وظایف سخت که انرژی زیادی نیز می‌طلبد همواره بر دوش یک گره خاص نیافتد و تمامی گره‌ها بتوانند این نقش را بپذیرند.

---

[۱] GPRS Links

از طرف دیگر مصرف انرژی گره‌ها با این عمل ساده به طور هوشمندانه و البته منصفانه‌ای توزیع می‌شود. باید در نظر داشته باشیم که با انجام این عمل، دیگر یک گره تمام مدت سرخوشه نخواهد بود و در حالیکه بقیه اعضای خوشه دارای انرژی قابل ملاحظه‌ای هستند، عمر سرخوشه به این زودی‌ها به پایان نخواهد رسید و این یعنی عمرکلی شبکه طولانی‌تر خواهد شد.

همانگونه که بیان شد تاکنون روش‌های متعدد جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه شده است که کم و بیش با ویژگی های خاص خود سعی در بهینه نمودن مصرف انرژی در کل شبکه و افزایش طول عمر شبکه شده‌اند. حال اینکه یک الگوریتم و یا معیاری که بتواند نسبت به سایر روش‌های ارائه شده نتایج آماری بهتری از خود نشان دهد، بایستی بتواند چالش‌ها و مشکلات پیش‌رو را به خوبی حل و فصل نماید.

اولین و مهمترین مساله چالشی که با آن مواجه هستیم، مساله بهبود نحوه مصرف انرژی توسط گره‌ها و افزایش کلی طول عمر شبکه است. در واقع هر پروتکل بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه بر این اساس بنا می‌شود که تا حد امکان بتواند مصرف انرژی را در گره‌های موجود در هر خوشه عادلانه توزیع نماید به طوری که عمر شبکه افزایش یابد. این عمل از طریق انتخاب درست سرخوشه‌ها و تغییر مناسب و به موقع نقش آن‌ها مطابق با معیارهای تعریف شده برای آن الگوریتم هنگامی که واقعا نیاز باشد انجام می‌گیرد. همچنین باید در نظر داشته باشیم که پس از اتمام عمر شبکه کماکان تعداد زیادی گره وجود دارند که در شبکه مشغول به کار بوده و مشغول جمع‌آوری اطلاعات هستند، بنابراین معیار یا پروتکل پیشنهادی ما باید در فاز کاهشی (یعنی بازه زمانی مربوط به پس از مرگ اولین گره تا مرگ آخرین گره که پایان واقعی کار شبکه حسگر بی‌سیم ما می‌باشد) نیز به خوبی عمل کند. فاز کاهشی به طور ضمنی در خود این مفهوم را نهفته دارد که یک شبکه تا قبل از مرگ اولین گره، میزان توزیع مصرف انرژی گره‌ها چقدر منصفانه و بهینه بوده است.

چالش بعدی که با آن مواجه هستیم این است که معیار ارائه شده در این زمینه چقدر در زمینه تشکیل خوشه‌ها خوب و منصفانه عمل کرده است. به عبارت دیگر میزان خوب بودن یک معیار یا مناسب نبودن آن از طریق تعداد خوشه‌های کل شبکه، سایز هر خوشه و همچنین گام‌های رسیدن یک گره معمولی تا گره سرخوشه تعیین می‌شود. یک الگوریتم و روش مناسب بایستی بتواند یک مصالحه خوب بین تعداد خوشه‌های موجود در کل شبکه و تعداد گره‌های موجود در هرخوشه به وجود بیاورد.

چالش سومی که با آن مواجه هستیم این است که بتوانیم تشخیص دهیم پس از اعمال آن روش بر روی حسگرهای موجود در شبکه، تا چه حد گره‌های موجود در شبکه با استفاده از آن روش، از خود پایداری نشان خواهند داد. چالش نهایی نیز مناسب بودن نرخ بسته‌های ارسالی از مبدا به مقصد می‌باشد. در صورتی که معیار پیاده‌سازی شده دارای ساختاری باشد که تعداد گام‌ها برای رسیدن بسته داده از مبدا به مقصد، زیاد باشد یا حداقل از حد انتظار و معقول فراتر باشد آن‌گاه احتمال رخداد مشکلات عدیده‌ای از قبیل گم شدن بسته‌ها[1] یا از بین رفتن آن‌ها به علت نوسات و نویزهای محیط اطراف که بر کار کلی شبکه ما تاثیر می‌گذارند، به طور فزاینده افزایش می‌یابد. هرچقدر که معیاری بتواند نرخ تحویل داده‌های[2] خود را افزایش دهد طبیعتا می‌تواند تا حد مناسبی با بعضی چالش‌های دیگر که در بالا ذکر شد، مقابله نماید. پیاده‌سازی نسبتا ساده و به دور از هرگونه ابهام و همچنین قابلیت مقیاس‌پذیری[3] خوب نیز می‌تواند از دلایل برجسته‌تر شدن یک روش نسبت به سایر روش‌ها باشد.

در این پژوهش به طور کلی هر گره در هر لحظه دقیقا به یک خوشه خاص تعلق دارد و امکان همپوشانی حسگرها (یعنی تعلق به دو یا چند خوشه به طور همزمان) وجود ندارد. الگوریتم پایه مورد

[1] packet loss
[2] packet delivery Ratio
[3] Scalability

بررسی در این پژوهش جزو اولین الگوریتم‌هایی هست که به طور توزیع شده در انتخاب گره سرخوشه میزان باتری یا انرژی موجود در لحظه کنونی را برای آن حسگر در نظر می‌گیرد و با معیارهای خاصی که در ادامه به طور کامل به بررسی و توضیح آن خواهیم پرداخت، ترکیب می‌نماید. این الگوریتم به آن دلیل ارائه شده است که بتواند به خوبی از پس چالش‌های قرار گرفته در مقابل یک شبکه حسگر بی‌سیم که در بالاتر به توضیح آن‌ها پرداختیم، برآمده و بتواند به طور منصفانه انرژی مصرف شده توسط حسگرها را توزیع نموده و یا کاهش دهد. با توجه به مطالب گفته شده، ما معیارهای پیشنهادی خود در این پژوهش را بر مبنای همین الگوریتم پایه بنا می‌نهیم.

۱-۳ اهمیت انجام پژوهش

امروزه مصرف انرژی و همچنین بهینه‌سازی آن در تمامی مباحث از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیز از این قاعده مستثنی نبوده و بهینه‌سازی مصرف انرژی یا به عبارتی همان باتری گره‌های موجود در شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چرا که مطابق با مطالب گفته‌شده در بخش‌های قبل، فایده تمرکز بر روی بهینه‌سازی مصرف انرژی آن است که منجر به افزایش طول کلی عمر شبکه می‌گردد.

با توجه به ظرفیت محدود یک گره که اندازه آن نیز خیلی بزرگ نیست، افزایش مقدار باتری نهان شده در ابتدای کار شبکه امر معقولی به نظر نمی‌رسد. همچنین اینکه انجام این عمل باعث می‌شود که پژوهشگر نتواند درک درستی از مقایسه بین روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه سازی مصرف انرژی بر روی یک توپولوژی خاص داشته باشد. لذا با داشتن میزان انرژی ثابت برای تمامی روش‌ها یا معیارها می‌توانیم یک مقایسه عادلانه جهت مناسب بودن یا نبودن معیار ارائه شده خود داشته باشیم. لذا تمامی مقایسه‌ها با این فرض انجام می‌گیرد که میزان انرژی اولیه ذخیره شده در باتری‌ها یکسان است. الگوریتمی مناسب کار ما خواهد بود که در نهایت بتواند عمر شبکه را افزایش دهد. بدیهی است

که اهمیت این موضوع در برقرار ماندن ارتباط شبکه حسگر ما با جهان اطراف بوده که این امر خود به آگاه ساختن ما از اطلاعات اکثر نقاط آن محیط کمک شایانی می‌نماید و می‌تواند تا زمان بیشتری اطلاعات از محیطی که در آن قرار دارد را به ما مخابره نماید.

۱-۴ هدف انجام پژوهش

هدف اصلی این پایان‌نامه انتخاب یک الگوریتم توزیع شده‌ی چندگامی بدون همپوشانی بر پایه آگاهی گره‌های موجود در سطح شبکه از میزان باتری خود و ترکیب آن با معیار و معیارهای خاص پیشنهاد شده در این پژوهش می‌باشد که به انتخاب گره سرخوشه بهتر کمک شایانی می‌نماید. انتخاب درست و بهینه گره سرخوشه همانگونه که در بخش‌های قبل نیز گفته شد باعث می‌شود تا توزیع مصرف انرژی به طور عادلانه‌ای در کل شبکه انجام بگیرد که این خود به افزایش طول عمر شبکه کمک زیادی می‌کند.

نرخ تحویل داده‌ی مناسب که در واقع همان مفهوم ضمنی از دست نرفتن بسته‌های ارسالی می‌باشد نیز از نتایج مفید بدست آمده ناشی از پیاده‌سازی معیارهای پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم BLAC می‌باشد. همچنین بهبودی بر نحوه انتخاب گره سرخوشه به صورتی که طول عمر شبکه ما را افزایش دهد، باعث بالاتر رفتن کیفیت معیارهای پیشنهادی خواهد شد که از اهداف تعیین شده جهت انجام این پژوهش است. لازم به ذکر است که روش BLAC جزو اولین روش‌های توزیع شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد که میزان و سطح انرژی باتری گره‌ها را در نظر می‌گیرد و بدون انجام محاسبات احتمالاتی، به صورت پویا و منطقی احتمال انتخاب گره‌هایی که از نظر سطح انرژی در وضعیت ضعیف یا بحرانی قرار دارند را به نزدیک صفر می‌رساند.

هم روش BLAC و هم معیارهای پیشنهادی مبتنی بر آن در این پژوهش برخلاف بعضی روش‌های دیگر موجود در این زمینه، تا حد زیادی قابلیت مقیاس‌پذیری را دارد و برای شبکه‌های در

مقیاس وسیع نیز نتایج خوبی در زمینه‌های مورد بحث و به خصوص طول عمر از خود نشان می‌دهد. متغیرهای موجود در پیاده‌سازی این معیارها هر کدام با ویژگی‌های خاصی که دارند این قابلیت را دارند که در برابر یک، دو یا چند تغییر ناخواسته احتمالی کماکان شبکه را در فرم ایده‌آل خود نگه دارند و با تاثیراتی که بر شبکه و انتخاب گره‌های سرخوشه می‌گذارند، اصطلاحا شبکه را در برابر تغییرات پیش آمده مقاوم[1] می‌کنند.

گرچه الگوریتم BLAC نتایج امیدبخشی در بهبود طول عمر شبکه ارائه نموده است، ولی پارامترهای دیگری نظیر متوسط نرخ تحویل بسته‌ها، متوسط تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه، و میزان پایداری شبکه نیز باید به عنوان کارایی یک شبکه حسگر بی‌سیم لحاظ گردند. این در حالی است که الگوریتم BLAC تنها بهبود طول عمر شبکه را در نظر گرفته و بهبود پارامترهای دیگر کارایی شبکه از قبیل متوسط نرخ تحویل بسته را چندان در نظر نگرفته است. باید در نظر داشته باشیم که بسته‌ها ممکن است در طول مسیر، بنا به دلایل متعددی از قبیل نویز، گم یا تلف شوند. بنابراین داشتن میانگین نرخ تحویل بسته بالا امری ضروری به نظر می‌رسد. همچنین ارائه معیارها و روش‌هایی که پایداری شبکه را تا حد خوبی تضمین نموده و باعث مقاوم تر شدن شبکه در برابر تغییرات گردد، ضروری است.

در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از معیارهای جدید کارایی در شبکه، نسخه توسعه‌یافته‌ای از الگوریتم BLAC ارائه شود که گره‌های سرخوشه را به صورت بهینه‌تری انتخاب می‌نماید. در روش پیشنهادی در این مقاله، علاوه بر افزایش طول عمر شبکه، پارامترهای دیگری از کارایی شبکه نیز بهبود یافته است. برای این منظور معیارهای جدیدی شامل ضریب خوشه‌بندی و رتبه‌بندی گره‌ها در محاسبات الگوریتم BLAC در نظر گرفته شده است. علاوه بر این در روش پیشنهادی از ایده وزن‌دهی معیارها استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی ناشی از معیارهای پیشنهادی نشان می‌دهد که طول عمر

[1] Robust

شبکه در مقایسه با نسخه اصلی الگوریتم BLAC تا ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. علاوه بر این، معیارهای پیشنهادی به طور همزمان متوسط نرخ تحویل داده‌ها و میانگین تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه را در حد قابل قبول نگه می‌دارد. همچنین معیارهای ارائه شده در این مقاله پایداری شبکه را تا حد خوبی حفظ نموده‌اند. امکان ایجاد تنوع در پیاده‌سازی روش‌های بهبود الگوریتم BLAC و گسترده بودن زمینه‌های پیشرفت و توسعه این الگوریتم از ویژگی‌های خوب روش مورد بررسی ما می‌باشد که امکان بهبود هر چه بیشتر را در صورت داشتن ایده‌های ناب یا معیارهای خوب و مناسب در اختیار پژوهشگران این زمینه قرار می‌دهد.

۱-۵ مروری بر فصل‌ها

در ادامه‌ی این پایان‌نامه و پس از بیان مقدماتی که در این فصل داده شد، مطالبی به منظور دریافت بهتر موضوعات در خصوص کارهای پیشین و مرتبطی که تاکنون در زمینه الگوریتم‌ها و پروتکل‌ها در زمینه شبکه حسگر بی‌سیم به انجام رسیده است، در فصل دوم ارائه می‌گردد. در فصل سوم به طور کامل راهکار پایه و اصلی این پژوهش شرح داده می‌شود. روش پایه، به همراه ریز جزییاتی که لازم است تا تمامی زوایای این مبحث روشن گردد، آورده شده است.در این بخش به طور کامل معیارهای مربوط به روش پیشنهادی توضیح داده شده و نحوه برخورد آن‌ها با چالش‌های در پیش رو بیان گردیده است. فصل چهارم به بررسی نتایج و تحلیل مفصل نمودارهای این پژوهش پرداخته است و جهت ارزیابی و مقایسه معیارهای مبتنی بر روش پایه با یکدیگر، جداول و اشکالی رسم و گزارش شده است. و در نهایت در فصل پنجم جمع‌بندی از کل پایان‌نامه انجام گرفته و پیشنهاداتی برای بسط و توسعه این پژوهش در اختیار خواننده قرار داده شده است. چالش‌های جدیدی که امکان قرار گرفتن آن‌ها بر سر راه الگوریتم‌ها و پروتکل‌ها وجود دارد به صورت خلاصه در فصل پنجم بازگو شده است تا بتواند ایده کلیدی را در اختیار سایرین قرار دهد.

فصل ۲ : ادبیات پژوهش

۲-۱ پروتکل LEACH

یک پروتکل خوشه‌بندی خودسازمانده است که بار انرژی را بر روی حسگرهای شبکه توزیع می‌کند. در LEACH گره‌ها خودشان را در خوشه‌های محلی سازماندهی می‌کنند. به گونه‌ای که یک گره در خوشه به عنوان سرخوشه عمل می‌کند. برای اینکه با تمام شدن انرژی گره سرخوشه کل خوشه از کار نیفتد و عمر خوشه تمام نشود، گره‌های با انرژی بالا در خوشه به صورت چرخشی و تصادفی سرخوشه می‌شوند. به علاوه داده‌ها به صورت محلی با هم تجمیع می‌گردند تا مقدار داده‌هایی که باید به ایستگاه پایه ارسال شوند و در نتیجه مصرف انرژی کاهش یافته و عمر شبکه مورد نظر افزایش یابد. در این روش حسگرها خود را با احتمال مشخصی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند. این سرخوشه‌ها وضعیت خودشان را به اطلاع گره‌های دیگر شبکه می‌رسانند. هر گره بر اساس مینیمم انرژی ارتباطی یک سرخوشه را انتخاب می‌کند و عضو آن خوشه می‌گردد. زمانی که همه گره‌ها در خوشه‌ها سازماندهی شدند، هر سرخوشه یک برنامه زمانبندی برای گره‌های خوشه خود می‌سازد. گره‌های غیرسرخوشه براساس این برنامه زمانبندی فقط زمانی که نوبت ارسال آن‌ها است سخت‌افزار رادیویی خود را روشن می‌سازند و در بقیه زمآن‌ها در حالت خاموش بوده که این امر نیز باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌گردد [۸].

زمانی که گره سرخوشه، داده‌های همه اعضا را جمع‌آوری کرد، داده‌ها را تجمیع نموده و داده‌های فشرده شده را به ایستگاه پایه می‌فرستند. در این روش گره‌ها بر اساس انرژی باقیمانده‌شان تصمیم می‌گیرند که سرخوشه بشوند یا خیر. هر گره مستقل از سایر گره‌ها تصمیم‌گیری می‌کند. بنابراین برای تشخیص سرخوشه مذاکرات اضافی لازم است.

مزایای پروتکل LEACH به صورت خلاصه به شرح زیر است:

- قابلیت اختصاصی شدن در نسل جدید شبکه‌های حسگر بی‌سیم (زیر آب) و عملکرد بهینه در این اهداف.

- پروتکل LEACH کاملا توزیع شده است و نیازی به داشتن اطلاعات سراسری از کل سیستم نیست.

- گره‌ها به صورت تصادفی و با نرخ ثابتی می‌میرند.

- این پروتکل قابلیت مقیاس پذیری بالایی نسبت به برخی پروتکل‌های دیگر از قبیل SPEED یا MECN دارد.

- طول عمر شبکه را نسبت به برخی پروتکل های پیشین افزایش می‌دهد.

۲-۲ پروتکل PEGASIS [۱]

یک بهبود برای پروتکل LEACH پیشنهاد شد. این پروتکل PEGASIS نام گرفت که بسیار شبیه پروتکل مبتنی بر زنجیره بهینه است. هدف اصلی این پروتکل این است که برای افزایش طول عمر شبکه گره‌ها نیاز دارند فقط با نزدیک‌ترین همسایه‌هایشان ارتباط برقرار کنند و در ارتباط با ایستگاه اصلی(BS) گردش داشته باشند. وقتی یک دور ارتباط همه گره‌ها با ایستگاه اصلی به پایان رسید، دور جدید آغاز خواهد شد و همین طور الی اخر. این کاهش انرژی برای انتقال داده به ازای هر دور نیاز است به طوری که تخلیه انرژی به طور یکنواخت روی همه گره‌ها منتشر خواهد شد.

روش PEGASIS دو هدف اصلی دارد؛ اول، افزایش طول عمر هر گره با استفاده از تکنیک‌های شراکتی و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش خواهد یافت. دوم، برای اینکه پهنای باند مصرف شده در ارتباطات کاسته شود، به گره‌هایی که به هم نزدیک هستند فقط اجازه هماهنگی محلی بین خودشان داده می‌شود. بر خلاف پروتکل LEACH، این الگوریتم جلوی فرم خوشه را می‌گیرد و فقط از یک گره (به جای چندین گره) برای انتقال به پایگاه اصلی استفاده می‌کند. برای تعیین مکان نزدیک‌ترین گره همسایه درPEGASIS، هر گره از شدت سیگنال برای اندازه‌گیری فاصله همه گره‌های همسایه

[۱] Power-Efficient Gathering in sensor Information System

استفاده می‌کند و سپس شدت سیگنال را طوری تنظیم می‌کند که فقط یک گره می‌تواند بشنود.

زنجیره در PEGASIS شامل گره‌هایی است که به هم نزدیک‌ترین هستند و در فرم یک مسیر به ایستگاه اصلی است [۹]. فرم متراکم داده به ایستگاه اصلی با هر گره در زنجیره ارسال می‌شود. ساخت زنجیره در یک سبک حریصانه انجام می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که PEGASIS توانایی افزایش طول عمر شبکه را دو برابر بیشتر از طول عمر شبکه تحت پروتکل LEACH دارد. این قبیل کسب کارایی از طریق کاهش سرباری که در LEACH به‌خاطر فرم خوشه پویا وجود دارد و کاهش تعداد انتقال‌ها و دریافت با استفاده از تراکم داده به دست می‌آید.

۲-۳ پروتکل شبکه ارتباطی با حداقل انرژی (MECN)[۱]

پروتکلی ارائه شده که انرژی موثر زیرشبکه را محاسبه می‌کند. MECN برای یک شبکه‌ی خاص حسگر باGPSهای با توان پایین بکارمی‌رود. MECN یک ناحیه‌ی تقویت را برای هر گره تعیین می‌کند. ناحیه تقویت شامل گره‌هایی در منطقه‌ی اطراف آن است که انتقال از طریق این گره‌ها بهره‌وری انرژی آن را نسبت به روش انتقال مستقیم بیشتر می‌کند. محوطه گره‌ی i با اجتماع همه‌ی ناحیه‌های تقویت که می‌تواند به گره‌ی i برسد، ایجاد می‌شود. ایده اصلی MECN پیداکردن زیرشبکه‌ای است که گره‌های کمتری خواهد داشت و نیاز به انرژی کمتری برای انتقال بین هر دو گره‌ی خاص دارد [۱۰]. در این روش، مسیرهای حداقل انرژی کلی بدون درنظرگرفتن همه گره‌های شبکه پیدا می‌شود. این روش با استفاده از یک جستجوی محلی برای هر گره با توجه به ناحیه‌ی تقویت آن، انجام می‌شود. MECN خودش تغییر شکل می‌دهد و بدین‌گونه که به صورت پویا گره

[۱] Minimum energy communication network

معیوب را درست می‌کند یا یک حسگر جدید را بکار می‌گیرد. MECN کوچک[1] یک MECN توسعه‌یافته است.

درMECN، فرض بر این است که هر گره می‌تواند به هر گره‌ی دیگر منتقل شود، که در هر زمان امکان پذیر نیست. در SMECN موانع ممکن بین هر جفت از گره‌ها درنظرگرفته می‌شود. با این حال، در این مورد ازMECN، هنوز فرض شده که شبکه به طور کاملا متصل باشد. زیرشبکه‌های ساخته شده توسط SMECN برای حداقل تقویت انرژی به طور قابل اثبات کوچکتر (از نظر تعداد لبه یا یال) از آنی که در MECN ساخته شده، می‌باشد [۱۱]. از اینرو، اگر ناحیه‌ی پخش به صورت دایره‌ای شکل اطراف گره پخش‌کننده (برای تنظیم انرژی معین) باشد، زیرشبکه ساخته شده توسطSMECN (به عنوان مثال گراف G')کوچکتر از آنی که توسط MECN ساخته شده، می‌باشد.

۲-۴ روش انتشار اطلاعات دو ردیفه (TTDD)

یک روش ارائه شده، TTDD است. این روش ارسال داده به چندین ایستگاه اصلی متحرک را فراهم می‌کند. درTTDD، هر منبع داده به صورت پیش گستر یک ساختار شبکه توری شکل[2]را می‌سازد که برای ارسال داده به پایگاه‌های اصلی متحرک با فرض اینکه گره‌های حسگر ثابت و آگاه از مکان هستند، استفاده شده است. در این پروتکل گره‌های حسگر ثابت و آگاه از مکان هستند، در حقیقت پایگاه‌های اصلی ممکن است مکانشان را به صورت پویا تغییر دهند. وقتی یک رویداد اتفاق می‌افتد، حسگرهای اطراف آن، سیگنال را پردازش می‌کنند و یکی از آن‌ها برای تولید گزارش داده به منبع می‌آید. گره‌های حسگر نیز از ماموریت خود آگاه هستند که اغلب تغییر نخواهند کرد [۱۲].

[1] Small MECN
[2] grid

برای ایجاد ساختار توری شکل، یک منبع داده خودش را به عنوان نقطه شروع انتخاب می‌کند و یک پیام اعلان داده را به چهار نقطه مجاورش با استفاده از ارسال جغرافیایی حریصانه ساده می‌فرستد. هنگامی‌که این پیام به گره‌ی نزدیک به نقطه‌ی تقاطع (مشخص شده در پیام) می‌رسد، متوقف خواهد شد. در طول این فرآیند هر گره میانی اطلاعات منبع را ذخیره می‌کند و در ادامه پیام را به همسایه مجاورش به جز یکی که پیام از آنجا می‌آید ارسال می‌کند. این فرایند تا زمانی که پیام در مرز (لبه) شبکه متوقف شود ادامه پیدا می‌کند. گره‌هایی که پیام منبع را ذخیره کرده‌اند به عنوان نقاط توزیع اطلاعات انتخاب می‌شوند. بعد از این فرایند، ساختار توری شکل به دست می‌آید. با استفاده از ساختار توری شکل، یک ایستگاه اصلی می‌تواند یک پرس و جو را ارسال کند که به نزدیک‌ترین نقطه در سلول محلی برای دریافت داده ارسال خواهد شد. سپس پرس و جو از طریق نقاط توزیع اطلاعات دیگر به صورت جریان به منبع ارسال می‌شود. در ادامه، داده تقاضا شده در مسیر عکس به سمت پایگاه اصلی ارسال می‌شود. مسیر ارسال به عنوان تغییر مکان پایگاه اصلی در فیلد حسگر بکار گرفته می‌شود. اگرچه TTDD یک روش مسیریابی کارآمد است، یک سری مسائل مربوط به اینکه الگوریتم چگونه مکان اطلاعات را به دست می‌آورد، وجود دارد که برای تنظیم و راه اندازی ساختار Grid نیاز است. طول مسیر ارسال در روش مذکور نسبت به طول کوتاه‌ترین مسیر بیشتر است. نویسندگان TTDD معتقدند که بهینگی کمتر در طول مسیر در تقویت مقیاس پذیری با ارزش است. سرانجام، نحوه کار TTDD هنوز یک سوال قابل بحث است. مقایسه نتایج بین TTDD و انتشار مستقیم نشان می‌دهد که TTDD می‌تواند طول عمر بیشتر و تاخیرهای ارسال داده کوتاهتر را به دست آورد، اما سربار حاصل از نگهداری و محاسبه دوباره شبکه به عنوان تغییرات توپولوژی شبکه ممکن است بالا باشد. گذشته از این، در روش TTDD فرض شده که یک سیستم موقعیت‌یاب بسیار دقیق در دسترس است، که هنوز برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم در دسترس نیست.

۲-۵ مسیریابی با معماری شبکه مجازی[۱]

یک الگوی مسیریابی موثر در انرژی پیشنهاد شده که برای تراکم داده و پردازش درون شبکه‌های برای بیشینه کردن طول عمر شبکه به‌کار می‌رود. برای گره ثابت و خیلی کم تحرک در بسیاری از کاربردها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم یک روش متعارف، مرتب کردن گره‌ها در یک توپولوژی ثابت است. یک روش فارغ از GPS برای ساخت خوشه‌ها که ثابت، مساوی و مجاور هستند و هم‌پوشانی ندارند با اشکال منظم استفاده شده است. همچنین درخوشه‌های مربع برای به دست آوردن یک توپولوژی مجازی مستقیم‌الخط استفاده شده است [۱۳]. در داخل هر ناحیه، یک گره به صورت بهینه به عنوان سرگروه انتخاب می‌شود. تراکم داده در دو سطح محلی و سپس سراسری انجام می‌شود. مجموعه‌ای از سرگروه‌ها به عنوان متراکم کننده‌های محلی[۲] مطرح هستند و تراکم محلی را انجام می‌دهند، در حالی که یک زیرمجموعه از این متراکم‌کننده‌های محلی برای انجام تراکم سراسری استفاده می‌شوند. با این وجود، انتخاب بهینه از نقاط تراکم سراسری (متراکم‌کننده اصلی[۳]) نام گرفت که مربوط به یکی از مسائل NP-hard است. توجه داشته باشید که محل پایگاه اصلی پردازش داده‌ها لزوما در دورترین نقطه‌ی شبکه نیست. بلکه می‌توان آن‌را در هر نقطه قرار داد. دو راه‌حل برای مسیریابی با مسئله تراکم داده ارائه شده است: یک الگوریتم دقیق با استفاده از یک فرمولاسیون برنامه خطی صحیح و برخی از الگوریتم‌های نزدیک به بهینه اما ساده و تقریبا کارا. یک الگوریتم ژنتیک بر مبنای هیوریستیک، یک k-means هیوریستیک، و یک هیوریستیک حریصانه.

---

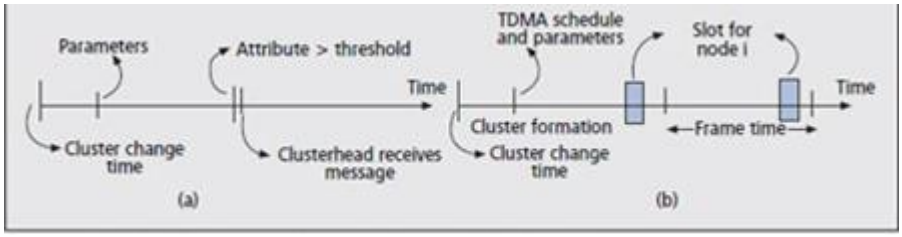
[۱] Virtual grid Architecture

[۲] Local Aggregater

[۳] Main Aggregater

۲-۶ پروتکل TEEN و APTEEN[1]

دو پروتکل مسیریابی سلسه مراتبی TEEN (پروتکل شبکه حسگر موثر در انرژی حساس به آستانه) و APTEEN (تناوب فعالانهTEEN) پیشنهاد شده‌اند. این دو پروتکل برای کاربردهای بحرانی از نظر زمان پیشنهاد شده‌اند. در TEEN گره‌های حسگر به صورت پیوسته عملیات حسگری می‌کنند، اما انتقال داده کمتر انجام می‌شود. یک حسگر سرگروه به بخش خودش یک سیگنال آستانه قوی‌تر می‌فرستد، که مقدار آستانه صفت حس شده است و یک آستانه ضعیف، که یک تغییر کوچک در مقدار صفت حس شده است و گره را در حالت سوییچ روی انتقال دهنده و انتقال نگه می‌دارد [۱۴]. به این ترتیب آستانه قوی سعی می‌کند تعداد انتقال‌ها را کاهش دهد؛ یعنی گره‌ها مجازند تا وقتی که فقط صفت حس شده در محدوده Interest است انتقال داشته باشند. آستانه ضعیف نیز تعداد انتقال‌ها را درصورتی کاهش می‌دهد که صفت حس شده تغییر کمتر داشته باشد یا بدون تغییر باشد. یک مقدار کوچک‌تر آستانه ضعیف می‌تواند در هزینه افزایش مصرف انرژی تصویر دقیق‌تری بدهد؛ به این صورت که کاربر تعادل بین بهره‌وری انرژی و صحت داده را کنترل کند. وقتی سرگروه‌ها در حال تغییر هستند مقدار جدید برای پارامترهای بالا منتشر می‌شود.



شکل۲-۱. عملیات مربوط به TEEN و APTEEN

شکل ۲-۱ عملیاتی که پروتکل TEEN و APTEEN انجام می‌دهند را نشان می‌دهد. اشکال اصلی طرح مذکور این است که اگر آستانه‌ها دریافت نشوند، گره‌ها هرگز ارتباط برقرار نخواهند کرد و کاربر هیچ داده‌ای را از شبکه دریافت نخواهد کرد. گره‌ها محیط را به طور پیوسته حس می‌کنند. اولین بار

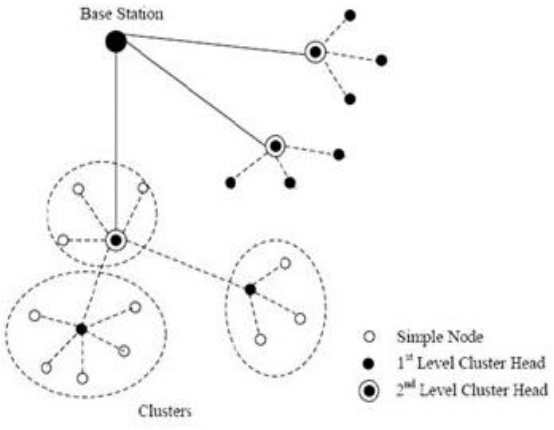
[1] Threshold-Sensitive Energy Efficient Network Protocol

یک پارامتر از مجموعه صفت با مقدار آستانه قوی می‌رسد، گره را در حالت سوییچ روی انتقال‌دهنده نگه می‌دارد و داده حس شده را می‌فرستد. مقدار حس شده در یک متغییر داخلی به نام مقدار حسگر[1] ذخیره شده است. گره‌ها داده درون دوره خوشه جاری را تنها زمانی که شرایط زیر برقرار باشد منتقل می‌نمایند:

۱) مقدار فعلی صفت حس شده بزرگتر از آستانه‌ی قوی باشد.

۲) مقدار فعلی یا صفت حس شده با یک مقدار مساوی یا بزرگتر از آستانه‌ی ضعیف با SV اختلاف داشته باشد.

عملکرد این پروتکل بدین صورت است که حسگرهایی که نزدیک هم هستند یا به عبارتی در فاصله همسایگی یکدیگر قرار دارند با یکدیگر یک خوشه تشکیل می‌دهند و این کار یک مرحله‌ی دیگر نیز ادامه پیدا می‌کند و در نهایت به ایستگاه پایه می‌رسد. چگونگی این کار در شکل۲-۲ نشان داده شده است:



شکل۲-۲. نحوه خوشه بندی در پروتکل TEEN

ویژگی‌های مهم TEEN شامل مناسب بودن آن برای کاربردهای بحرانی از نظر زمان در حسگری می‌باشد. همچنین از آنجایی که انتقال پیام مصرف انرژی بیشتری نسبت به حسگری داده دارد، مصرف انرژی در این طرح کمتر از شبکه‌های پیش‌گستر است. آستانه‌ی ضعیف می‌تواند متفاوت باشد.

[1] Sensor Value

در هر زمان تغییر خوشه، پارامترهای تازه پخش می‌شوند، به طوریکه کاربر در صورت نیاز می‌تواند تغییر دهد.

روش APTEEN یک پروتکل ترکیبی است که تناوب یا مقادیر آستانه استفاده شده در پروتکل TEEN را بر طبق نیازهای کاربر و نوع کاربردها تغییر می‌دهد [۱۵].گره، محیط را به صورت پیوسته حس می‌کند و فقط آن گره‌هایی که مقدار داده را در آستانه شدید یا فراتر از آن حس کرده‌اند منتقل می‌کنند. برای یک بار که یک گره یک مقدار از فراتر از آستانه قوی حس می‌کند، آن داده را فقط وقتی منتقل می‌کند که مقدار آن صفت با یک مقدار بزرگ‌تر یا مساوی آستانه ضعیف تغییر می‌کند. اگر یک گره داده را برای یک دوره زمانی برابر با شمارش زمان ارسال نکند، مجبور است حس کند و دوباره داده را منتقل کند[۱۶].

۲-۷ مسیریابی سلسله مراتبی آگاه از انرژی[۱] (HPAR)

این پروتکل شبکه را به گروه‌هایی از حسگرها تقسیم می‌کند. هر گروه از حسگرهای مجاور هم با هم به عنوان یک ناحیه خوشه شده‌اند و هر ناحیه به عنوان موجودیت مستقل عمل می‌کند. برای انجام مسیریابی هر ناحیه تصمیم‌گیری می‌کند که چگونه یک پیام سلسله مراتبی از میان ناحیه‌های دیگر مسیردهی شود به طوری که عمر باتری این گره‌ها در سیستم بیشترین باشد. پیام‌ها در طول مسیر مسیردهی می‌شوند که حداکثر از مجموع حداقل قدرت باقی‌مانده را دارد، که مسیر max-min نامیده شد. انگیزه این است که استفاده از گره‌های با قدرت باقیمانده‌ی بالا ممکن است گران‌تر از مسیر با حداقل مصرف انرژی باشد. یک الگوریتم تقریبی که الگوریتم max-min zPmin نامیده شده است. مسئله دشوار الگوریتم اساسا تعادل بین کم کردن مصرف انرژی و به حداکثر رساندن حداقل قدرت باقی‌مانده از شبکه است [۱۷]. از این رو الگوریتم سعی می‌کند تا به یک مسیر Max-Min با محدود

[۱] Hierarchical Power-Aware Routing

کردن مصرف انرژی آن به صورت زیر کمک کند. اول، الگوریتم مسیر با حداقل مصرف انرژی (Pmin) را با استفاده از الگوریتم مسیریابی دایجسترا پیدا می‌کند. دوم، الگوریتم مسیری را که منجر به مصرف انرژی کمتری می‌شود پیدا می‌کند. الگوریتم پیشنهاد شده سعی می‌کند تا معیارهای هر دو راه حل را بهینه کند. این مسئله با کم کردن حداقل مصرف انرژی برای این پیام تا برابر zPmin شود و با پارامتر $z^3 1$ برای محدود کردن مصرف انرژی برای ارسال یک پیام به zPmin به انجام می‌رسد. این الگوریتم zPmin را تا حداکثر کردن حداقل انرژی باقیمانده مصرف می‌کند. الگوریتم دیگر که بر max-min zPmin تکیه کرده، مسیریابی مبتنی بر ناحیه نامیده می‌شود.

مسیریابی مبتنی بر ناحیه یک روش سلسله مراتبی است که ناحیه پوشیده شده توسط شبکه حسگر به تعدادی ناحیه کوچک‌تر تقسیم شده است. برای ارسال یک پیام از طریق محل ناحیه یک مسیر سراسری از یک ناحیه به ناحیه دیگر پیدا می‌شود.

به صورت کلی پروتکل‌های دیگری نیز از قبیل HCC، WCA، HEED،LCA و برنامه‌نویسی خطی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم وجود دارند که به علت بسط و توسعه زیاد وپراکندگی مباحث از ورود به آن‌ها خودداری می‌نماییم [۱۸-۲۰].

۲-۸ آشنایی با الگوریتم BLAC[۱]

هدف اصلی مطرح شدن این الگوریتم در حقیقت ایجاد روش جدید خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که گره‌ها در سرتاسر شبکه اطلاعات را جمع‌آوری کرده و به گره سرخوشه می‌رسانند. با توجه به اینکه این نوع از شبکه‌ها از لینک‌های دوربرد یا همان GPRS برای ارسال پیام بین گره‌ها استفاده می‌کنند و لینک‌های GPRS باتری بیشتری در مقایسه با ارتباطات نفر به نفر یا گره به گره مصرف می‌کنند. (ارتباطات Peer to Peer) لذا باید الگوریتم ما به نحوی طراحی شده باشد

[۱] battery Level Aware Clustering

که هرکدام از گره‌ها به نوبت نقش سرخوشه را به عهده بگیرند. همچنین اینکه باید در نظر داشته باشیم که گره‌هایی که نقش گره سرخوشه را بازی می‌کنند مصرف انرژی بسیار بسیار بالایی در مقایسه با گره‌های معمولی دارند. علت مصرف انرژی بالا توسط گره‌های سرخوشه این است که الگوریتم BLAC در راستای کاهش مصرف انرژی برای هر گره، تشکیلات خوشه‌بندی را بر روی کل شبکه اجرا می‌کند. هر گره، داده خود را برای سرخوشه خود ارسال می‌کند. به محض اینکه تمامی داده‌ها جمع‌آوری شدند، گره سرخوشه آن‌ها را جمع‌بندی می‌کند و با استفاده از ماژول GPRS آن‌ها را به مرکز (ایستگاه) اصلی ارسال می‌کند. با انجام این عمل فقط گره سرخوشه ماژول GPRS خود را فعال می‌کند و لذا انرژی بیشتری مصرف می‌کند. عمده مصرف انرژی به خاطر ماژول GPRS می‌باشد.

همانگونه که می‌دانیم حسگرها در واقع قطعه‌های کوچکی هستند که محدودیت‌های سخت افزاری دارند (از قبیل حافظه کم برای ذخیره یا منابع اندک محاسباتی) و به باتری وابسته هستند. بنابراین شبکه‌های حسگر و حسگرها نیازمند الگوریتمی هستند که بتواند میزان مصرف انرژی آن‌ها را تا حد خوبی مدیریت کند و عمرشبکه را افزایش دهد. الگوریتم BLAC نیز به همین علت ابداع شده است (یک الگوریتم توزیع شده است و متمرکز[۱] نیست). این الگوریتم می‌تواند به خوبی و به طور منصفانه‌ای توازن مصرف انرژی را در شبکه برقرار نماید و عمر شبکه را افزایش دهد [۲۱]. این الگوریتم جدید را می‌توان به نوعی اولین الگوریتم (یا جزو اولین الگوریتم‌ها) دانست که میزان مصرف باتری گره را نیز در انتخاب شدن آن به عنوان سرخوشه در نظر می‌گیرد و به همین علت به آن " آگاه از سطح انرژی گره" نیز گفته می‌شود. الگوریتم BLAC به گونه‌ای طراحی شده است که برای انتخاب گره سرخوشه میزان مصرف باتری را به همراه ۴ متغیر وپارامتر دیگر در نظر می‌گیرد و نقش سرخوشه بین گره‌های مختلف متناسب با میزان مصرف انرژی تغییر می‌کند که باعث افزایش طول عمر شبکه می‌گردد.

[۱] centralized

همانگونه که گفته شد BLAC اولین الگوریتم توزیع شده است که میزان و سطح مصرف باتری را در نظر می‌گیرد. این الگوریتم خوشه‌بندی با در نظرگرفتن میزان انرژی، خوشه‌های بدون همپوشانی چندگامی را ایجاد می‌نماید. منظور از عدم همپوشانی یعنی اینکه یک گره به طور همزمان متعلق به دو یا چند خوشه نیست و لذا محاسبات مصرف انرژی آن گره فقط در آن مرحله از اجرای الگوریتم فقط برای خوشه‌ای که گره موردنظر در آن قرار دارد محاسبه می‌گردد. همچنین مفهوم چندگامی به طور خلاصه اینگونه بیان می‌شود که گره‌ها می‌توانند اطلاعات جمع‌آوری نموده خود را از محیط چه با یک لینک (گام) چه با چه لینک متوالی به گره سرخوشه برسانند. در این الگوریتم مانند بعضی از الگوریتم‌ها این محدودیت وجود ندارد که حتما باید گره‌ها در خوشه‌هایی که قرار می‌گیرند اطلاعات جمع‌آوری شده را با یک قدم یا گام به گره سرخوشه برسانند. بسیاری از الگوریتم‌های دیگر میزان یا سطح انرژی را در نظر نمی‌گیرند. (همپوشانی دارند یا خوشه‌های با یک گام هستند) اما الگوریتم BLAC با معیارهای دیگری از قبیل تراکم و یا درجه ترکیب می‌شود تا بتواند گره سرخوشه را تعیین کند. در این الگوریتم گره‌ها دائما نقش سرخوشه بودن خود را تغییر می‌دهند و بدین صورت میزان پایداری شبکه را بالا می‌برند. در حقیقت به این علت که گره‌های سرخوشه انرژی زیادی را در قیاس با سایر گره‌های معمولی (به علت وجود لینک دوربرد) مصرف می‌کنند، لذا این الگوریتم به گونه‌ای طراحی شده است که بتواند دائما با تغییر نقش گره‌های سرخوشه به گره‌های معمولی و بالعکس از اتلاف انرژی بیش از حد یک گره و فرسوده شدن آن جلوگیری نماید و مصرف انرژی در بین گره‌های موجود در یک خوشه و همچنین گره‌های کل شبکه را را به طور عادلانه توزیع نماید. الگوریتم BLAC به طور کلی سعی می‌کند یک مصالحه پویا به صورت کارا و مناسب در زمینه انرژی بین سایز خوشه‌ها و تعداد خوشه‌ها بوجود بیاورد و این عمل با پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم به صورت پویا درون خود الگوریتم اتفاق می‌افتد. این الگوریتم به صورت پویا سعی می‌کند که تعداد خوشه‌ها را خیلی زیاد بالا نبرد، زیرا اگر تعداد خوشه‌ها بیش از حد زیاد شود، با توجه به اینکه هر خوشه قطعا باید دارای یک گره سرخوشه باشد، در نتیجه با عمل زیاد شدن خوشه‌ها در کل شبکه تعداد

سرخوشه‌ها زیاد خواهد شد. این به معنی مصرف فزاینده انرژی و امکان مردن تعداد گره‌های بیشتری خواهد بود. حالت دیگر آن است که اگر تعداد خوشه‌ها کم باشد آنگاه سایز هر خوشه زیاد خواهد شد. زیاد شدن سایز هر خوشه به این معنی است که در هر خوشه تعداد گره‌هایی که از محیط اطراف اطلاعات جمع‌آوری کرده و به گره سرخوشه می‌فرستند زیاد خواهد شد. به عبارت دیگر تعداد گره‌هایی که در هر خوشه باید توسط گره سرخوشه مدیریت شوند و به آن‌ها پیغام همسایگی فرستاده شود زیاد خواهد شد که این موضوع نیز به نوبه خود باعث فرسوده شدن گره سرخوشه و ایجاد فشار بیش از حد بر روی آن خواهد شد. الگوریتم پایه مورد نظر ما یا همان الگوریتم BLAC به خوبی می‌تواند این توازن بین اندازه خوشه‌ها و تعداد گره‌های هر خوشه را برقرار نماید. الگوریتم BLAC دارای چهار نسخه می‌باشد که این نسخه‌ها هر کدام دارای ویژگی‌های خاص خود می‌باشند و الگوریتم ما را از لحاظ متفاوت مورد بررسی قرار خواهند داد. باید در نظر داشته باشیم که تمامی گره‌هایی که در یک خوشه قرار می‌گیرند دارای محدوده فرکانسی یکسان هستند. یعنی با این فرض کار خود را پیش می‌بریم که گره‌هایی که درون یک خوشه هستند از لحاظ فرکانسی دارای دامنه‌ی کاری یکسانی می‌باشند. با اعمال نسبی فاصله گره‌ها با یکدیگر و با گره سرخوشه در هرخوشه نتایج خود را مقایسه خواهیم نمود. اما ذکر این نکته مهم به نظر می‌رسد که گره‌های موجود در هر خوشه محدوده فرکانسی یکسانی با یکدیگر خواهند داشت. همچنین در فرضیات مورد بررسی ما جایگاه و مکان پایگاه اصلی پردازش داده‌ها، در جایی خارج از شبکه ما خواهد بود و فاصله آن با تک تک گره‌های موجود در شبکه مورد محاسبات ما واقع نخواهد شد. در واقع فرض بر این است که در حقیقت گره‌های سرخوشه پس از جمع‌آوری داده‌ها از محیط اطراف آن را با استفاده از لینک‌های دوربرد به یک پایگاه پردازش داده در خارج از شبکه می‌باشد، ارسال می‌نمایند. همچنین باید این نکته را در نظر داشته باشیم که فرض بر این است که در واقع تشکیل همسایه با ارسال پیغام خاصی نیست و ما فقط از مفهوم ارسال پیام سلام برای تشکیل همسایه ها و قرار گرفتن گره‌ها در لیست همسایگی یکدیگر استفاده می‌کنیم.

حال که با مفهوم کلی الگوریتم BLAC و همچنین اهداف آن آشنا شدیم، لازم است تا این الگوریتم را از لحاظ ریزجزئیات مورد بررسی قرار دهیم تا ببینیم این روش با استفاده از متغیرهایی که دارد به چه نحوی قادر به انجام عملیات خوشه‌بندی و انتخاب بهینه گره‌های سرخوشه است به طوری که میزان مصرف انرژی در کل گره‌های موجود در شبکه را کاهش می‌دهد. همچنین آشنایی با نمادهایی که این الگوریتم بکار برده است از دیگر مواردی خواهد بود که در بخش بعدی به طور مفصل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۸-۱ نمادها و ریاضیات

برای نمایش عمومی الگوریتم BLAC ما یک مدل از حسگرهای شبکه بی‌سیم داریم که به صورت گراف $G = (V, E)$ است که در آن V مجموعه‌ای از حسگرها و E مجموعه‌ای لینک‌های بی‌سیم می‌باشد. E لینک بین جفت حسگرهای uv می‌باشد که در محدوده رادیویی یکدیگر هستند. باید در نظر داشته باشیم که گره N(U) همسایه‌های U می‌باشند یعنی$N(u) = \{\{v\}|uv \in E\}$ می‌باشد. همچنین $\delta(u) = |N(U)|$ درجه گره U خواهد بود. در الگوریتم BLAC خوشه‌ها به شکل ساختار درختی هستند و هر گرهی یک گره والد دارد. ما نام والد[1] گره U در خوشه درختی را با نام $P(U)$ نشان می‌دهیم. همچنین اینکه $H(u)$ گره سرخوشه آن خوشه‌ای است که گره U در آن حضور دارد. استفاده از مدل درختی یا به عبارتی تبدیل مدل حسگر بی‌سیم به یک گراف می‌تواند یک دید ویژه از زاویه خاص به ما ببخشد. یعنی بتوانیم نحوه استقرار گره‌ها در همسایگی یکدیگر ، تشکیل خوشه‌ها، گام‌های رسیدن بسته پیام از مبدا به مقصد و همچنین نقش سرخوشه شدن بعضی گره‌ها را راحتتر درک نماییم.

[1] parent

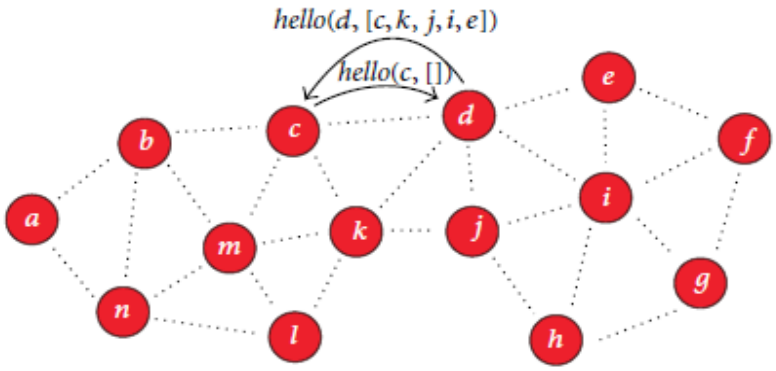
شاید استفاده از این مدل درختی بهترین مدل ممکن برای ارائه و همچنین درک شبکه حسگر بی‌سیم و همچنین پیاده‌سازی الگوریتم‌های موجود بر روی آن باشد بدون اینکه نیاز باشد خود را درگیر مفاهیم پیچیده ریاضی آن بکنیم. همانگونه که بیان شد الگوریتم BLAC دارای چهار متغیر می‌باشد که از دیدگاه‌های مختلفی این الگوریتم را مورد بررسی قرار خواهند داد. حال که با مفهوم نمایش گرافی و درخت‌گونه الگوریتم مورد نظرخود آشنا شدیم در بخش بعدی به معرفی معیارهای مورد استفاده این الگوریتم جهت انتخاب گره سرخوشه و در نتیجه تشکیل خوشه‌ها و تاثیر آن بر کل شبکه خواهیم پرداخت.

۲-۸-۲ معیار درجه

الگوریتم BLAC برای انتخاب گره سرخوشه و در نهایت تشکیل خوشه‌ها از معیارهای مختلفی استفاده می‌کند. یکی از این معیارها، معیار درجه می‌باشد. معیار درجه به این صورت تعریف می‌شود: تعداد همسایگی‌هایی که یک گره می‌تواند تشکیل دهد. به عبارت دیگر دست‌ها یا یال‌هایی که یک گره می‌تواند با گره‌های اطراف که در فاصله مشخصی قرار دارند بدهد معیار درجه ما را تعیین می‌کند. به عنوان مثال گرهی که دارای ۸ یال به گره‌های اطراف باشد با ارسال پیغام همسایگی آن‌ها را در لیست همسایگی خود قرار می‌دهد و دارای درجه‌ای برابر با ۸ خواهد بود. یا به عنوان مثالی دیگر اگر در فاصله همسایگی یک گره خاص، ۵ گره قرار داشته باشند آن گره مورد نظر ما پیغام همسایگی برای آن‌ها ارسال می‌نماید و آن‌ها را وارد لیست همسایگی خود می‌نماید و درجه‌ای برابر با ۵ به خود خواهد گرفت. همانگونه که در بخش معرفی الگوریتم نیز بیان شد، تمامی گره‌هایی که در همسایگی یکدیگر هستند و در یک خوشه قرار می‌گیرند دارای محدوده فرکانسی یکسان هستند و شبیه سازی‌های انجام گرفته و نتایج حاصل از آزمایشات نیز بر همین اصل استوار است [۲۱]. همچنین همانگونه که در بخش قبلی نیز در معرفی الگوریتم BLAC بیان نمودیم، در اینجا نیز مجددا تاکید می‌کنیم که گره‌هایی که در محدوده همسایگی یکدیگر قرار دارند به هیچ عنوان برای یکدیگر پیغام

همسایگی و یا پیغام سلام ارسال نمی‌کنند. بلکه ما فقط از مفهوم پیغام همسایگی هنگام تشکیل خوشه‌های خود استفاده می‌نماییم.

در شکل ۲-۳ مفهوم تشکیل همسایگی با استفاده از پیام فرضی سلام جهت ایجاد لیست همسایگی برای هر گره را مشاهده می‌کنیم.



شکل۲-۳. نمایش ایجاد همسایگی توسط گره‌ها در ابتدای کار

همانگونه که بیان شد در حقیقت گره‌ها برای یکدیگر پیام همسایگی نمی‌فرستند و برای درک بهتر موضوع از مفهوم پیام سلام استفاده می‌نماییم. فقط گره‌هایی که در شعاع همسایگی یکدیگر قرار دارند به عنوان گره‌های همسایه (برای گره مورد نظر) تلقی خواهد شد. در واقع عمل همسایه‌گیری گره‌ها برای آن است که هر گره بتواند درباره گره‌های با فاصله دو گام از خود دانشی داشته باشد. مقدار انرژی باقی‌مانده برای هر گره در هر مرحله از اجرای الگوریتم از رابطه (۳-۱) بدست می‌آید:

$$B(u) = \left\lfloor \frac{\text{batt(u).10}}{\text{battcap}} \right\rfloor \qquad (۱-۳)$$

که در آن batt(u) برابر با مقدار کنونی باتری گره u و battcap همان مقدار انرژی ذخیره شده اولیه در هر گره می‌باشد [۲۱]. به بیان روشنتر در همان ابتدای امر که هنوز اجرای الگوریتم بر روی گره های موجود در محیط آغاز نشده است مقادیر انرژی نهادینه شده در گره‌ها با $battcap$ نشان داده می‌شود و برای تمامی گره‌ها یکسان در نظر گرفته شده است.

۲-۸-۳ تشکیل خوشه و انتخاب سرخوشه

پس از اینکه درجه گره‌ها مشخص شد، الگوریتم BLAC وارد کار شده و یکبار بر روی تمام گره‌ها این الگوریتم اجرا می‌شود و گره‌هایی که در بین همسایگان خود دارای بیشترین مقدار معیار باشند به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شوند. پس از این انتصاب، گره‌های سرخوشه در شعاع همسایگی یا با توجه به همان لیست همسایگانشان تشکیل خوشه می‌دهند و گره‌هایی که درون آن خوشه قرار دارند و در مرحله حاضر دارای معیار کمتری (در اینجا همان درجه) می‌باشند به آن گره سرخوشه مقید می‌شوند و به عنوان گره معمولی در آن خوشه وظیفه جمع‌آوری اطلاعات از محیط اطراف را بر عهده می‌گیرند. با توجه به اینکه در مرحله اول اجرای الگوریتم تمامی گره‌ها دارای مقدار انرژی یکسانی هستند لذا فقط معیار درجه در این مرحله تاثیر داده می‌شود.

در مراحل بعدی با توجه به اینکه گره‌های مختلف انرژی‌های متفاوتی مصرف می‌کنند و میزان باتری آن‌ها در هر مرحله نسبت به مرحله قبل کمتر می‌شوند بنابراین از مرحله اول به بعد تا زمانی که اولین گره بمیرد و عمر شبکه به پایان برسد، با توجه به عدم تغییر درجه‌ها و همسایگی گره‌ها لذا میزان باتری گره‌ها وارد عمل شده و حاصلضرب مقدار باتری باقی‌مانده در درجه‌های گره‌ها (که این درجه‌ها تا لحظه به پایان رسیدن عمر شبکه و مرگ اولین گره تغییر نخواهند کرد) به عنوان معیاری استفاده می‌شود که بتواند گره سرخوشه را در مراحل بعدی تعیین نماید. ناگفته پیداست که حتی در مرحله اول نیز هنگامی که همسایگی‌ها مشخص شدند، حاصلضرب مقدار باتری در درجه گره‌ها به عنوان معیار انتخاب گره سرخوشه بکار گرفته می‌شود که با توجه به اینکه مقدار باتری گره‌ها همانگونه که گفته شد در ابتدای امر برای تمامی گره‌ها یکسان است، لذا تاثیری نداشته و فقط نقش مربوط به درجه گره‌ها است که تعیین‌کننده می‌باشد.

پس از مرگ اولین گره که در حقیقت پایان عمر شبکه ما محسوب می‌شود، آنگاه به طور قطع با مرگ اولین گره و بالطبع گره‌های مرده بعد از آن درجه گره‌های موجود در کل شبکه تغییر خواهد

نمود. با توجه به اینکه به طور همزمان نیز گره‌های زنده، کماکان با هر بار اجرای الگوریتم باتری ذخیره شده در خود را مصرف می‌کنند لذا معیاری که گره‌های سرخوشه را در فاز کاهشی تعیین می‌نماید دقیقا با تاثیر هر دو پارامتر باتری و درجه بدست خواهد آمد. درست است که عمر شبکه ما از لحظه اول شروع به کار شبکه تا لحظه مرگ اولین گره محاسبه می‌شود اما به هرحال پس از مرگ اولین گره کماکان تعداد کثیری از گره‌ها در بخش‌های مختلف شبکه مشغول به کار و جمع‌آوری داده از محیط اطراف و ارسال آن به گره سرخوشه خود می‌باشند و نباید آن‌ها را به حال خود رها نمود. چه بسا پس از مرگ اولین گره تعداد زیادی از گره‌ها در خوشه‌هایی باشند که به طور کامل اعضای آن خوشه زنده بوده و مشغول مخابره داده‌ها می‌باشند. بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع، شیب مربوط به نمودار فاز کاهشی از اهمیت به سزایی برخوردار است. چرا که هرچقدر این شیب بیشتر باشد بدان معنی است که توزیع مصرف انرژی به خوبی و منصفانه صورت گرفته است. این بدان معنی است که هرچقدر شیب نمودار طول عمر در فاز کاهشی بیشتر باشد، یعنی شبکه ما تا حد امکان عمر خود را کرده است و پس از مرگ اولین گره، عمر گره‌های دیگر موجود در شبکه نیز با اختلاف زمانی اندک نسبت به گره اول، به پایان خواهد رسید. اگر شیب در قسمت فاز کاهشی نمودار طول عمر کم باشد، به معنی خوب عمل نکردن الگوریتم در طول حیات گره‌ها بوده و توزیع مصرف انرژی به خوبی صورت نگرفته است.

۲-۸-۴ معیار مبتنی بر درجه

حال که تمامی بخش‌های مربوط به معیار درجه مورد بررسی قرار گرفت به بیان الگوریتم آن می‌پردازیم. این الگوریتم به ما کمک می‌کند تا مفاهیمی را که تاکنون به توضیحات آن پرداختیم به صورت شبه‌کد ببینیم تا درک بهتری از نحوه انجام کار توسط الگوریتم ۳-۱ داشته باشیم. برای ساده‌تر مطالعه نمودن الگوریتم و روشن بودن تمامی زوایای آن، کلیه پارامترهای بکار رفته در آن در جدولی مانند جدول ۲-۲ گردآوری شده است.

جدول ۲-۱. پارامترهای بکار رفته در الگوریتم BLAC بر پایه درجه

پارامترهای الگوریتم	N(u)	b(u)	P(u)	h(i)	id_{min}	C_h
مفهوم	همسایه‌های گره U	میزان انرژی مانده گره U	والد گره U	معیار مورد استفاده	اندیس کوچکترین گره	گره سرخوشه

حال که با پارامترهای بکار رفته در الگوریتم آشنا شدیم به بیان خود الگوریتم می‌پردازیم:

1: $begin$
2: $Ch \leftarrow 0$;
3: idmin $\leftarrow +\infty$;
4: R(u) $\leftarrow$ N(u) ;
5: g(u) = $B(u)$;
6: **for** i ∈ R(u) **do**
7: // **our metric is h(i) = degree**
8: **if** $Ch < h(i) \times$ g(i) ∨ ($Ch = h(i) \times$ g(i) ∧ $id(i) < idmin$) **then**
9: $p(u) \leftarrow i$;
10: $Ch \leftarrow h(i) \times$ g(i) ;
11: $idmin \leftarrow id(i)$;
12: **end if**
13: **if** $h(u) \times$ g(u) > Ch ∨ ($h(u) \times$ g(u) = Ch ∧ $id(u) > idmin$) **then**
14: // **u becomes ClusterHead**
15: $h(u) \leftarrow u$;
16: **end if**
17: **end for**

الگوریتم۲-۱. الگوریتم خوشه‌بندی BLAC و انتخاب سرخوشه (بدون احتساب گراف کاهشی)

الگوریتم ۲-۱ به وضوح میزان باتری هر گره را با درجه همسایگی آن گره ترکیب می‌کند و در صورتی که یک گره در خوشه مورد نظر، حاصلضرب این دو پارامترش بیشتر از مقدار حاصلضرب این دو پارامتر در گره سرخوشه کنونی باشد، آن گره به عنوان گره سرخوشه جدید محسوب می‌گردد. در صورتی که الگوریتم BLAC از معیار درجه برای انتخاب گره‌های سرخوشه استفاده نماید به آن bg خواهند گفت. به عبارت دیگر پارامتر bg شامل الگوریتم BLAC ای می‌باشد که از معیار درجه جهت انتخاب گره‌های سرخوشه استفاده نموده است. از ویژگی‌های این معیار آن است که تغییر درجه یک گره تاثیر بسیار زیادی بر روی درجه گره‌های همسایه و در نتیجه کل شبکه خواهد داشت. و این موضوع زیاد جالب نیست. زیرا باعث می‌شود شبکه ما در برابر حتی کوچکترین تغییرات، مقاومت زیادی از خود نشان ندهد و باعث تغییر طول عمر کلی شبکه گردد.

همانگونه که گفته شد گرهی که در خوشه خود دارای بیشترین معیار باشد در آن مرحله خاص به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود. اما اگر شرایطی پیش آمد که دو یا چند گره در یک خوشه، به طور مساوی دارای بیشترین معیار بودند آن گاه گرهی که دارای چگالی یا تراکم[۱] کمتری باشد به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود. این موضوع کمک می‌کند تا یک گره که خودش دارای درجه زیادی است تا حد زیادی مسئولیت مربوط به سرخوشه شدن از روی آن برداشته شود که این موضوع باعث کمتر شدن مصرف انرژی آن گره شده و در کل امکان افزایش طول عمر شبکه را بالا می‌برد. حال که سخن از تراکم به میان آمد و با توجه به اینکه تراکم یا چگالی نیز به طور مستقل به عنوان یک معیار جهت انتخاب گره سرخوشه در روش BLAC استفاده می‌شود، لذا در بخش بعدی به طور مفصل به توضیح این معیار و چگونگی استفاده الگوریتم BLAC ازین معیار خواهیم پرداخت.

[۱] density

۲-۸-۵ معیار تراکم

تراکم یا چگالی یکی دیگر از معیارهایی است که در انتخاب گره سرخوشه به کمک الگوریتم BLAC می‌آید. ایده کلی محاسبه چگالی تا حد زیادی برگرفته از همان درجه است که در بخش قبلی به توضیح آن پرداختیم. با این تفاوت که در محاسبه تراکم یک گره، اتصالات بین همسایگان آن نیز بایستی در نظر گرفته شود. به طور کلی معیار تراکم این امکان را به شبکه حسگر می‌دهد که در صورت بروز یک تغییر در شبکه، تاثیر نامطلوب چندانی بر کار ما و همچنین شبکه نداشته باشد. برخلاف روش مبتنی بر درجه که فقط اطلاعات از گره همسایه (یک گام) را در اختیار گره مورد نظر قرار می‌داد، معیار تراکم اطلاعاتی از ارتباطات بین همسایه‌های آن گره (دو گام) در اختیار ما قرار خواهد داد. اگر بخواهیم میزان تراکم یک گره را به صورت ریاضی تعریف کنیم مطابق با رابطه (۳-۲) خواهیم داشت:

$$\rho(u) = \frac{|(v,w) \in E | v \in \{u, \mathrm{N}(u)\}, w \in \mathrm{N}(u)|}{\delta(u)} \qquad (۳-۲)$$

در واقع مطابق با رابطه (۳-۲) تراکم یک گره از فرمول مربوط به رابطه (۳-۳) به دست خواهد آمد:

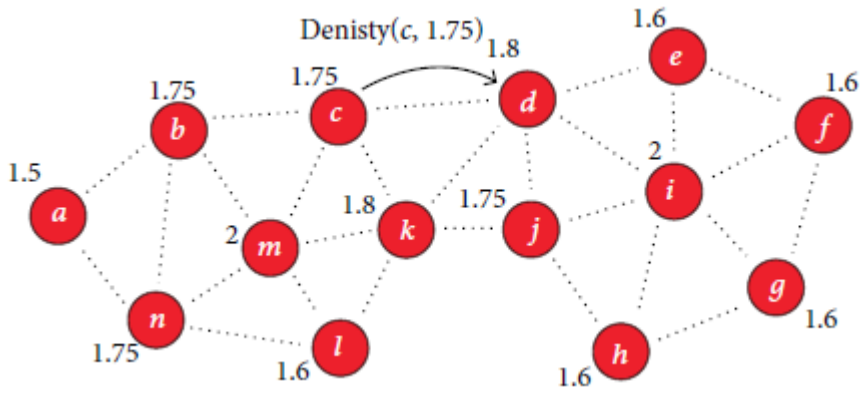
$$\text{چگالی} = \frac{\text{اتصالات بین همسایه ها} + \text{درجه گره}}{\text{درجه گره}} \qquad (۳-۳)$$

این فرمول بیان کننده آن است که برای محاسبه میزان تراکم یک گره علاوه بر داشتن درجه آن گره، بایستی تعداد اتصالات بین همسایگان آن گره را نیز در نظر بگیریم. هر چقدر که شبکه ما دارای میانگین تراکم بیشتری باشد یا به عبارتی چگالتر باشد شبکه ما دارای مقدار اتصال[۱] بیشتری است. در واقع این موضوع مفهوم اتصال بین گره‌ها را می‌رساند. به بیان دیگر هر چقدر که میزان اتصالات یک گره به گره همسایه‌اش بیشتر باشد دارای درجه بیشتری است. با توجه به اینکه در فرمول چگالی درجه گره در صورت قرار دارد، لذا connectivity بیشتر (درجه بیشتر) باعث بزرگ‌تر شدن مقدار

[۱] connectivity

چگالی یا همان density می‌شود. یعنی شبکه چگالتر شده و در نتیجه باعث کاهش مصرف انرژی توسط گره‌های خوشه (و به خصوص گره سرخوشه) شده و لذا عمر شبکه بی‌سیم ما افزایش می‌یابد.

شکل ۲-۴ نشان دهنده نحوه محاسبه چگالی برای هر گره و ارسال اطلاعات مربوط به چگالی خود برای گره همسایه می‌باشد. در واقع هر گره مطابق با اطلاعات همسایگی جمع‌آوری‌شده از گره‌های همسایه به محاسبه چگالی خود می‌پردازد:



شکل۲-۴. نحوه محاسبه چگالی هر گره در شبکه

همانطور که در شکل ۲-۴ نیز مشاهده می‌شود به عنوان مثال چگالی گره c برابر با ۱.۷۵ شده است. در واقع درجه این گره برابر با ۴ و تعداد اتصالات بین همسایه‌های این گره برابر با ۳ است که با جایگذاری در رابطه (۳-۳) به عدد ۱.۷۵ می‌رسیم.

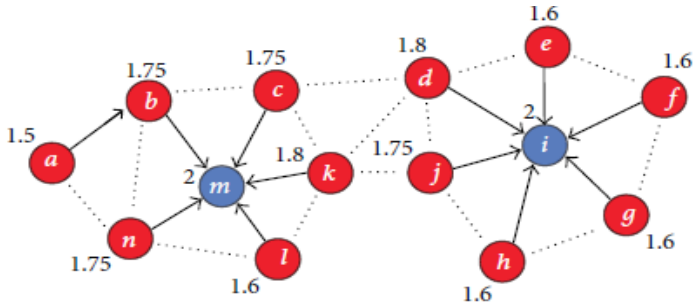
۲-۸-۶ تشکیل خوشه و انتخاب سرخوشه با کمک معیار تراکم

همانند روش bg که بر اساس معیار درجه بود، این روش هم در هر خوشه به دنبال یافتن بیشترین مقدار معیار می‌باشد تا بتواند گره سرخوشه را انتخاب نماید. الگوریتم BLAC همانند پارامتر قبلی، مقدار تراکم را با باتری موجود در هر گره ترکیب و ادغام نموده و حاصل آن را به عنوان یک امتیاز برای هر گره در نظر می‌گیرد. در هرخوشه گرهی که دارای بیشترین امتیاز باشد به عنوان گره سرخوشه برای مرحله بعدی انتخاب می‌شود. باز هم مانند توضیحات روش قبل، با توجه به اینکه

مقادیر باتری‌های ذخیره شده در هر گره در ابتدای کار با هم برابر است لذا تاثیری در انتخاب گره سرخوشه نداشته و در ابتدای امر فقط مقدار چگالی هرگره است که در لیست همسایگان مورد بررسی قرارمی‌گیرد. بیشترین مقدار چگالی در بین همسایگان باعث انتخاب آن گره به عنوان گره سرخوشه می‌شود. پس از انتخاب گره سرخوشه و تشکیل اولین دور از خوشه‌ها (با توجه به لیست همسایگی آن گره سرخوشه) آن‌گاه به ازای هر مرحله از جلو رفتن الگوریتم میزان انرژی گره‌ها با توجه به نقشی که در شبکه دارند کاهش یافته و باعث می‌شود تا مقدار باتری تعیین کننده گره سرخوشه در هر خوشه باشد. باید به این نکته توجه داشته باشیم که از لحظه تشکیل اولین خوشه ها تا لحظه‌ای که اولین گره بمیرد مقدار درجه شبکه و در نتیجه مقدار چگالی شبکه تغییری نخواهد کرد و مقدار معیاری که از لحظه اول تشکیل خوشه‌ها تا مرگ اولین گره مورد محاسبه قرار می‌گیرد باتری ذخیره شده در گره‌ها می‌باشد که در هر مرحله از الگوریتم مقادیر آن با توجه به نقش گره‌ها در خوشه (گره معمولی یا گره سرخوشه) کم و کمتر می‌شود. پس از مرگ اولین گره قطعا درجه گره‌ها تغییر خواهد کرد و بالطبع تغییرات در چگالی شبکه را نیز به همراه خواهد داشت. بنابراین در فاز کاهشی هم تغییرات سطح باتری و هم تغییرات چگالی شبکه باعث انتخاب گره‌های سرخوشه بعدی خواهند شد.

در این روش نیز در قسمت فاز کاهشی هرچقدر شیب نمودار در رابطه با مردن گره‌ها بیشتر باشد (یعنی در هنگامی که شبکه در سلامت کامل عمر خود به سر می‌برده است) توزیع مصرف انرژی توسط الگوریتم به خوبی انجام گرفته است و گره‌ها پس از مرگ اولین گره، به علت اینکه تا قطرات آخر انرژی خود را در زمان حیات شبکه مصرف نموده‌اند، انرژی شان به سرعت به پایان خواهد رسید.

اگر الگوریتم BLAC از معیار چگالی (تراکم) جهت انتخاب گره سرخوشه استفاده نماید به آن bs گفته می‌شود که یکی از پارامترهای چهارگانه این الگوریتم محسوب می‌گردد. در شکل۲-۵ نحوه انتخاب سرخوشه در یک شبکه فرضی نشان داده شده است:



شکل۲-۵. نحوه انتخاب گره سرخوشه با استفاده از معیار چگالی در شبکه

همانگونه که در شکل ۲-۵ نیز مشاهده می‌نماییم در هرخوشه گرهی که دارای بیشترین مقدار معیار (بیشترین مقدار چگالی) باشد به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود. به عنوان مثال در شکل ۲-۵ گره‌های m و i دارای بیشترین مقدار چگالی می‌باشند و به عنوان گره سرخوشه انتخاب گردیدند.

۲-۸-۷ معرفی و پیاده سازی معیار تراکم

پس از بررسی بخش‌های مربوط به معیار تراکم، به بیان الگوریتم آن می‌پردازیم. این الگوریتم همانند الگوریتم بیان شده در بخش معرفی الگوریتم BLAC-bg است با این تفاوت که معیار به کار رفته در این الگوریتم، تراکم خواهد بود. برای ساده‌تر مطالعه نمودن الگوریتم و روشن بودن تمامی زوایای آن، کلیه پارامترهای بکار رفته در آن در جدولی مانند جدول ۲-۳ گردآوری شده است:

جدول ۲-۲.پارامترهای بکار رفته در الگوریتم BLAC بر پایه تراکم

پارامترهای الگوریتم	N (u)	B(u)	P(u)	*h* (i)	id_{min}	C_h
مفهوم	همسایه‌های گره U	میزان انرژی مانده گره U	والد گره U	معیار مورد استفاده	اندیس کوچکترین گره	گره سرخوشه

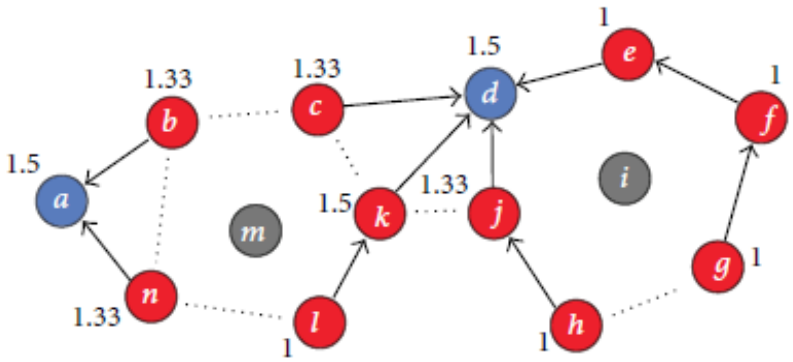
حال که با پارامترهای بکار رفته در الگوریتم آشنا شدیم به بیان خود الگوریتم می‌پردازیم:

1: $begin$
2: $Ch \leftarrow 0$;
3: idmin $\leftarrow +\infty$;
4: Ŗ(u) $\leftarrow$ Ɲ(u) ;
5: g$(u) = B(u)$;
6: **for** i ϵ Ŗ(u) **do**
7:// **our metric is h(i) = density**
8: **if** $Ch < h(i) \times$ g(i) ∨ ($Ch = h(i) \times$ g(i) ∧ $id(i) < idmin$) **then**
9: $p(u) \leftarrow i$;
10: $Ch \leftarrow h(i) \times$ g(i) ;
11: $idmin \leftarrow id(i)$;
12: **end if**
13: **if** $h(u) \times$ g$(u) > Ch \vee (h(u) \times$ g$(u) = Ch \wedge id(u) > idmin$) **then**
14: // **u becomes ClusterHead**
15: $h(u) \leftarrow u$;
16: **end if**
17: **end for**

الگوریتم۲-۱: نحوه انتخاب گره سرخوشه بر اساس الگوریتم BLAC بدون اعمال گراف کاهش یافته

الگوریتم گفته شده در بالا به وضوح میزان باتری هر گره را با مقدار تراکم آن گره ترکیب می‌کند و در صورتی که یک گره در خوشه مورد نظر، حاصلضرب این دو پارامترش بیشتر از مقدار حاصلضرب این دو پارامتر در گره سرخوشه کنونی باشد، آن گره به عنوان گره سرخوشه جدید محسوب می‌گردد. از مزیت‌های استفاده از معیار تراکم در الگوریتم BLAC آن است که میزان پایداری شبکه حسگر بی‌سیم در مقایسه با پارامتر درجه بهبود نسبی یافته است و اصطلاحا شبکه ما پایدارتر شده است. زیرا با محاسبه تراکم یک گره، اطلاعات از دوگام فراتر از آن گره را در اختیار خواهیم داشت و لذا با یک تغییر، در پایداری شبکه آنچنان خللی وارد نمی‌شود.

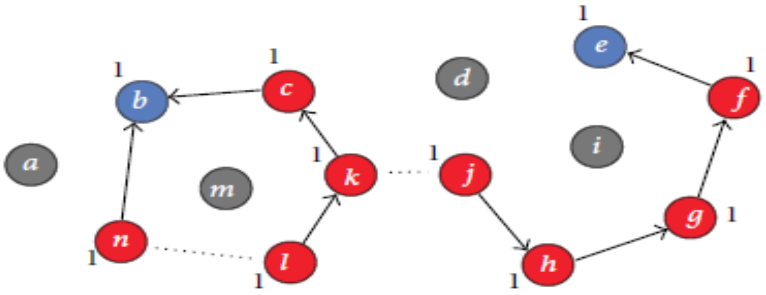
ذکر این نکته خالی از لطف نیست در صورتی که شبکه حسگر ما از الگوریتم برپایه تراکم بدون استفاده از BLAC بخواهد استفاده نماید (یعنی سطح انرژی گره‌ها را وارد محاسبات خود ننماید) مطابق با شکل ۲-۶ یک گره خاص در سرخوشه نقش سرخوشه را برعهده می‌گیرد و تا پایان به عنوان گره سرخوشه باقی خواهد ماند. از آنجایی که پیاده‌سازی ساده (بدون وارد نمودن BLAC) بر پایه تراکم به هیچ عنوان مقدار باتری باقی‌مانده در گره را (در انتخاب برای سرخوشه بعدی) لحاظ نمی‌کند و از طرفی گرهی که به عنوان سرخوشه انتخاب شده است میزان مصرف انرژی آن بسیار بیشتر از گره عادی است (در حالیکه گره‌های دیگر دارای انرژی بسیار زیادی هستند و گره سرخوشه وارد سطح بحرانی انرژی خود شده است) اما باز هم تغییر نقش سرخوشگی صورت نمی‌پذیرد و گره سرخوشه حیات خود را از دست خواهد داد. این از دست دادن حیات باعث ایجاد یک حفره در شبکه خواهد شد. شکل ۲-۶ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.



شکل۲-۶. ایجاد حفره در شبکه به علت مرگ گره سرخوشه

در شکل ۲-۶ پس از مرگ گره m که سرخوشه بود، گره a در همان خوشه به عنوان جانشین آن معرفی می‌گردد و نقش سرخوشگی را می‌پذیرد (به علت دارا بودن بیشترین چگالی در آن خوشه). به علت مصرف انرژی بسیار زیاد توسط گره سرخوشه، گره a نیز با سرعت زیاد به پایان عمر خود نزدیک خواهد شد. پس از مرگ گره سرخوشه، گره دیگری (در همان خوشه) که بیشترین مقدار تراکم را دارد به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود و این روند تا پایان ادامه خواهد داشت. واضح است که پس از

گذشت مدتی کوتاه، به زودی بقیه اعضای خوشه نیز انرژی خود را از دست خواهند داد و عمر شبکه به طور غیر بهینه‌ای به پایان خواهد رسید. در شکل ۲-۷ نمایی از این موضوع به خوبی مشهود است.



شکل۲-۷. ایجاد حفره در شبکه به علت مرگ گره سرخوشه

الگوریتم BLAC مشکل مربوط به عدم تعویض نقش سرخوشه‌ها را به سادگی و به صورت پویا حل نموده است و مطابق با توضیحات مفصل داده شده در این فصل میزان باتری کنونی هر گره را نیز در نظر می‌گیرد و به محض اینکه حاصل‌ضرب باتری در میزان چگالی گره سرخوشه که در واقع امتیاز آن سرخوشه می‌باشد از امتیاز گره دیگری از آن سرخوشه کمتر شد، نقش سرخوشگی را به آن گره واگذار می‌کند. به این صورت الگوریتم BLAC توزیع منصفانه مصرف انرژی را در شبکه پیاده‌سازی نموده و تا حدی بسیار بسیار زیادی شاهد مواردی از قبیل شکل ۲-۶ یا شکل ۲-۷ نخواهیم بود.

این معیار از الگوریتم علیرغم سادگی، اما نتایج درخشانی را از خود نشان می‌دهد و عمر شبکه را تا حد بسیار بسیار خوبی نسبت به سایر الگوریتم‌های پیشین و حتی معیار درجه، بهبود می‌بخشد که این موضوع را در فصل ۴ که شامل آزمایشات انجام گرفته بر روی معیارها و نتایج آن‌ها است، به طور کامل مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲-۸-۸ معیار درجه و تراکم با استفاده از گراف کاهش‌یافته

همانگونه که در بخش‌های قبل نیز گفته شد جهت فهم و درک بهتر نکات مربوط به شبکه‌های حسگر بی‌سیم از ساختار گراف و یا به عبارتی ساختار درختی استفاده می‌شود. این ساختار به ما کمک می‌کند تا تعاملات بین گره‌ها را راحتتر درک نموده و فعل و انفعالاتی که یک الگوریتم در شبکه ایجاد می‌کند را به طور واضح مشاهده نماییم. در کنار تمام مزایا و ویژگی‌هایی که برای ساختار گرافی بیان نمودیم، این ساختار دارای مشکلاتی نیز می‌باشد که عمده‌ترین مشکل آن پیچیدگی زیاد در صورت وجود اتصالات زیاد بین گره‌های شبکه است.

در صورتی که بخواهیم شبکه خود را در مقیاس وسیع مورد آزمون و بررسی قرار دهیم، ساختار درختی یا همان گرافی دارای پیچیدگی زیادی خواهد شد و فضای بسیار زیادی را از حافظه اشغال خواهد نمود. حال اگر خود الگوریتم ما در تعداد مراحل زیاد بخواهد اجرا شود و یا پیچیدگی نسبی داشته باشد، نیاز زیاد به حافظه عمیقا احساس خواهد شد که این موضوع اهمیت حیاتی برای ما پیدا خواهد کرد. از طرفی به علت مناسب بودن این ساختار با کار ما قادر به کنار گذاشتن آن نیز نیستیم. بنابراین الگوریتم BLAC برای مدیریت این موضوع به چاره اندیشی پرداخته است. چاره اندیشی به این صورت است که در صورت زیاد بودن تعداد گره‌ها و همچنین اتصالات موجود در شبکه و در نتیجه شلوغ بودن آن، بهتر است بعضی یال‌ها (اتصالات بین گره‌ها) از شبکه حذف شوند. اما حذف سرخود این گره‌ها باعث بهینه نبودن الگوریتم ما خواهد شد. یا اینکه اگر از حذف این اتصالات روی علم و منطق نباشد آن‌گاه شبکه ما هرچقدر هم الگوریتم پیاده‌سازی شده بر روی آن خوب باشد، باز هم به سرعت به پایان کار خود نزدیک خواهد شد. الگوریتم BLAC برای حذف بعضی اتصالات موجود در شبکه پارامترهایی را تعریف نموده است که در صورتی که آن یال دارای ویژگی‌های خاصی باشد، از شبکه ما و همچنین محاسبات کاری ما قابل حذف خواهد شد.

BLAC در ابتدا با استفاده از پارامترهایی که در ادامه به توضیح آن خواهیم پرداخت یک گراف کاهش یافته نسبی از شبکه و اتصالات بین گره‌ها می‌سازد و سپس الگوریتم‌های مبتنی بر درجه یا تراکم را بر روی آن پیاده سازی می‌کند. همانگونه که در بالاتر نیز بیان شد علت انجام این کار ذخیره نمودن فضای حافظه و سبک کردن کار محاسبات مربوط به مصرف انرژی توسط هر گره است. حال که با مفهوم گراف کاهش یافته نسبی آشنا شدیم، در بخش بعدی به معرفی پارامتری می‌پردازیم که ایده گراف کاهش یافته نسبی بر اساس آن استوار گردیده است.

۲-۸-۹ معرفی پارامتر "ضریب توان" [۱] در گراف کاهش یافته نسبی و ارائه الگوریتم آن

در این بخش به معرفی ضریب توان می‌پردازیم که عموما آن را با PF نمایش می‌دهند. این پارامتر به طور کلی دارای سه مقدار ۰ یا ۱ یا ۲ خواهد بود. ضریب توان به میزان انرژی دو گرهی که در دو انتهای یک یال قرار دارند نگاه می‌کند و در صورتی که مقدار انرژی آن گره‌ها از آستانه تعریف شده درباره انرژی موجود در گره‌های شبکه بیشتر یا کمتر باشد، به آن یال یکی از مقادیر ۰ یا ۱ یا ۲ را نسبت خواهد داد. به بیان ساده‌تر اگر دو گره موجود بر سر یک یال دارای میزان انرژی بحرانی باشند مقدار PF برابر با ۲ می‌باشد. همچنین اگر میزان سطح باتری یکی از گره‌های دو سر یال در حد مناسب (بیش از آستانه) باشد و گره دیگر دارای میزان باتری اندک باشد، آن‌گاه مقدار ضریب توان برای آن یال مورد نظر برابر یا ۱ خواهد بود. در نهایت اگر دو گره انتهای یک یال دارای مقدار انرژی خوبی باشند، عدد PF برای آن یال برابر با ۰ می‌گردد.

پس از آنکه مقدار ضریب توان برای هر یال مشخص گردید آنگاه الگوریتم BLAC گراف کاهش‌یافته نسبی را بر روی گره‌ها اجرا می‌کند و در هر مثلث تشکیل شده از گره‌ها، یالی که دارای

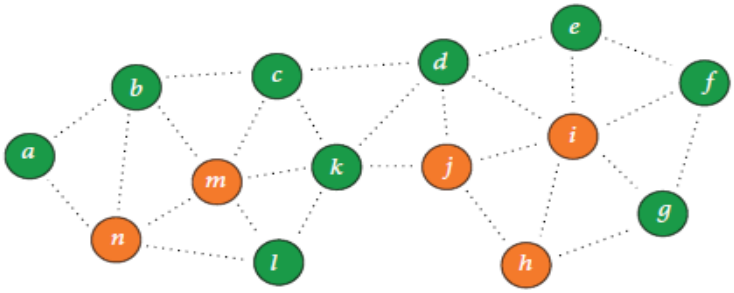
[۱] Power factor

مقدار PF بیشتری است را حذف می‌نماید. در نتیجه اتصال بین گره‌هایی که دارای انرژی بحرانی می‌باشند قطع می‌گردد. یعنی گره‌ها داده‌های خود را از مسیرهای دیگر به سمت گره سرخوشه ارسال می‌کنند. لذا اتصال بین گره‌هایی که دارای انرژی بحرانی هستند از بین رفته و بدین صورت فشار کمتری بر روی گره با میزان باتری کمتر وارد می‌شود. گراف کاهش یافته نسبی قابلیت حفظ connectivity را تا حد خوبی دارد. در ادامه به بیان الگوریتم مربوط به محاسبه ضریب توان برای یال‌های موجود در شبکه می‌پردازیم:

1: **begin**
2: N $Rng\ (u) \leftarrow$ N **(**u**) ;**
3: $calculate\ Power\ Factor\ (u)$;
4:$//node\ u\ computes\ PowerFactor\ of\ every\ link\ within\ its\ neighbourhood.$
5: **for each** $v, w \in$ N **(**u**) do**
6: **if** PF(uv) < PF(vw) < PF(uw) ∨ PF(vw) < PF(uv) < PF(uw) **then**
7: N $rng\ (u) \leftarrow$ N $rng\ (u) \backslash \{w\}$;
8: // $\{link\ uw\ is\ removed\ from\ RNG\}$
9: **end if**
10: **else**
11: **if** PF(uw) < PF(vw) < PF(uv) ∨ PF(vw) < PF(uw) < PF(uv) **then**
12: N $rng\ (u) \leftarrow$ N $rng\ (u) \backslash \{v\}$;
13: // $\{link\ uv\ is\ removed\ from\ RNG\}$
14: **end else if**
15: **else**
16: $\{link\ vw\ will\ be\ removed\ from\ RNG\}$;
17: **end else**
18: **end for**

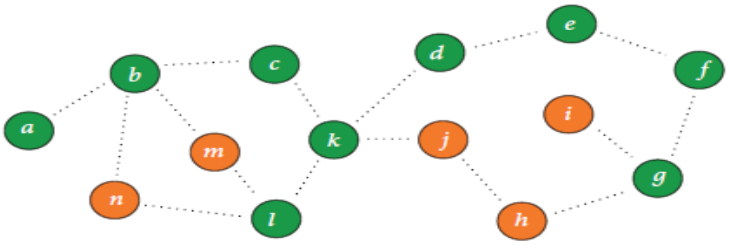
الگوریتم ۲-۲: الگوریتم محاسبه ضریب توان و گراف کاهش یافته

پس از اینکه مقادیر PF طبق الگوریتم بالا محاسبه شد و سپس با استفاده از گراف کاهشی نسبی، یال‌هایی که دو سر آن گره‌های با میزان انرژی بحرانی هستند، حذف گشتند، الگوریتم BLAC وارد عمل شده و بر روی گره‌های موجود بر روی گراف کاهش یافته اعمال می‌شود. بدیهی است که الگوریتم BLAC هم می‌تواند روی شبکه مختصر شده هم معیار درجه و هم معیار تراکم را اجرا نماید و برای اینکار محدودیتی نخواهد داشت. در شکل ۲-۸ مشاهده می‌شود گره‌های با انرژی زیاد و ایده آل با رنگ سبز و گره‌های با انرژی کم یا بحرانی با رنگ نارنجی نشان داده شده‌اند.



شکل۲-۸. نمایش گره‌های بحرانی و غیربحرانی در شبکه

گراف کاهشی نسبی با محاسبه ضریب توان هر گره وضعیت آن‌ها را مشخص می‌کند و سپس گره‌ها را به صورت مثلثی بررسی می‌کند و به حذف یال‌هایی می‌پردازد که ممکن است شرایط کلی شبکه را از لحاظ انرژی بحرانی‌تر نمایند. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا اینکه هیچ مثلثی در شبکه باقی نماند. شکل ۲-۹ نحوه اعمال شدن گراف کاهشی نسبی را بر روی گره‌های موجود در شبکه نشان می‌دهد.



شکل۲-۹. اعمال گراف کاهشی نسبی بر روی گره‌های بحرانی شبکه

همانگونه که در شکل ۲-۹ نیز مشاهده می‌شود علیرغم حفظ اتصال‌بندی یا همان connectivity موجود در شبکه، یال‌های بین گره‌هایی که دارای انرژی بحرانی هستند حذف شده و نمای کلی شبکه ساده‌تر خواهد بود. به عنوان مثال در شکل ۲-۸ اتصال بین دو گره m و n برقرار بود که با اعمال گراف کاهشی نسبی در شکل ۲-۹ این اتصال حذف شده است. علیرغم طولانی‌تر شدن مسیر ارسال داده‌ها از مبدا به مقصد، انجام این عمل در ساده‌تر شدن محاسبات و کاهش پیچیدگی زمانی الگوریتم نیز نقش به سزایی ایفا خواهد نمود.

۲-۸-۱۰ پیاده سازی الگوریتم BLAC با استفاده از گراف کاهشی نسبی

تمامی مراحل پیاده سازی این الگوریتم عینا مانند قبل است با این تفاوت که در ابتدای هر بار اجرای الگوریتم بایستی گراف کاهشی بر روی گره‌های موجود در شبکه اجرا شود و سپس الگوریتم BLAC معیار خود را وارد عمل نماید. عمل مربوط به گراف کاهشی نسبی تا زمانی انجام می‌شود که دیگر مثلثی از گره‌ها (با در نظر گرفتن یال‌های بین گره‌های مثلث مانند) باقی نماند. در ادامه پیاده‌سازی الگوریتم BLAC با استفاده از اعمال گراف کاهشی نسبی را ملاحظه می‌کنیم که تفاوت چندانی با الگوریتمی که در بخش‌های پیشین از BLAC گفته شده بود، ندارد و فقط در خط ۴ و ۵ گراف کاهشی نسبی بر روی شبکه حسگر ما اعمال می‌شود. کلیه مفاهیم مرتبط با الگوریتم BLAC کماکان همان بوده و هیچ تغییری ندارد.

به طور کلی استفاده از گراف نسبی کاهشی برای شبکه‌های حسگر بسیار پیچیده که در آن تعداد اتصالات خیلی زیاد است، مفیده بوده و نقش ارزنده‌ای را در کاهش اجرای زمان الگوریتم و همچنین صرفه جویی در حافظه اشغال شده ایفا می‌نماید. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که باتوجه به اینکه گراف کاهشی نسبی باعث کاهش تعداد یال‌های موجود در شبکه می‌شود و احتمال حذف یال‌هایی که باعث به مخاطره افتادن سطح انرژی گره‌ها می‌شوند را افزایش می‌دهند لذا عادلانه به نظر

نمی‌آید که بخواهیم معیارهای دیگری که در ادامه به معرفی آن‌ها می‌پردازیم را به علت کامل بودن توپولوژی با این روش که باعث کاهش توپولوژی شبکه می‌شوند، مقایسه نماییم. بنابراین در تمامی مقایسه‌هایی که در ادامه انجام خواهیم داد (رسم نمودار و غیره) معیارهای ارائه شده را با معیارهای حالت پایه الگوریتم BLAC یعنی bg و bs (نه حالت کاهش یافته آن) مقایسه می‌نماییم.

1: $begin$
2: $Ch \leftarrow 0$;
3: idmin $\leftarrow +\infty$;
4: **if** $BLAC - r*$ **then**
5: $\mathrm{R}(u) \leftarrow RNG(\mathrm{N}(u))$
6: **end if**
7: $\mathrm{R}(u) \leftarrow \mathrm{N}(u)$;
8: $\mathrm{g}(u) = B(u)$;
9: **for** i $\in \mathrm{R}(u)$ **do**
10: **our metric is h(i) = density or degree *or other proposed metrics***
11: **if** $Ch < h(i) \times \mathrm{g(i)} \vee (\ Ch = \ h(i) \times \mathrm{g(i)} \wedge id(i) < idmin\ )$ **then**
12: $p(u) \leftarrow i$;
13: $Ch \leftarrow h(i) \times \mathrm{g(i)}$;
14: $idmin \leftarrow id(i)$;
15: **end if**
16: **if** $h(u) \times \mathrm{g}(u) \ > \ Ch \vee (\ h(u) \times \mathrm{g}(u) = \ Ch \wedge id(u) \ > \ idmin\ )$ **then**
17: // **u becomes ClusterHead**
18: $h(u) \leftarrow u$;
19: **end if**
20: **end for**

الگوریتم ۲-۳: انتخاب گره سرخوشه توسط الگوریتم BLAC با اعمال گراف کاهشی

پس از معرفی کامل الگوریتم BLAC باید اذعان داشت که این الگوریتم علیرغم اینکه طول عمر بسیار خوبی را نسبت به روش‌های مرسوم پیشین از خود نشان می‌دهد اما نمی‌تواند بر همه

چالش‌های پیش رو که در بخش‌های پیشین آن‌ها را معرفی نمودیم غلبه کند. مثلا این روش علیرغم داشتن طول عمر خوب نسبت به روش‌های پیشین، اما از لحاظ متوسط نرخ تحویل بسته می‌توان تغییراتی را در شرایط الگوریتم یا معیارهای آن ایجاد نمود تا باز هم میانگین نرخ تحویل بسته بهبود بیشتری یابد. همچنین اینکه تغییرات در معیارهای این الگوریتم به نوبه خود باعث غلبه بهتر بر چالش‌هایی از قبیل طول عمر گردد یا به عبارتی طول عمر شبکه را باز هم افزایش دهد. لذا ما در فصل بعدی معیارهایی را تعریف نموده‌ایم تا هنگام ادغام با الگوریتم BLAC علیرغم افزایش طول عمر شبکه حسگر یا بهبود میانگین نرخ تحویل بسته، تا حد زیادی پارامترهای دیگر از قبیل تعداد مناسب برای خوشه‌های موجود در شبکه را حفظ و کنترل می‌نماید. شبیه‌سازی‌ها نشان داده است که معیارهای پیشنهادی در فصل بعدی از پایداری خوبی نیز برخوردار هستند و تا حد مناسبی در برابر تغییرات از خود مقاومت نشان می‌دهند.

فصل ۳ : معیارهای پیشنهادی جهت بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه

۳-۱ پیش درآمدی بر معیارهای پیشنهادی

همانگونه که در بخش ۲ بیان شد، الگوریتم BLAC از معیارهای محدودی جهت انتخاب گره سرخوشه و ارزیابی طول عمر شبکه استفاده می‌نماید. لذا برای حل این مشکل در این بخش معیارهای جدیدی ارائه شده است که طول عمر شبکه را تا حد زیادی در قیاس با الگوریتم BLAC بهبود داده است. این معیارها با نسخه اصلی الگوریتم BLAC ادغام شده و در نهایت به هر گره، امتیازی خواهد بخشید. گره با بیشترین امتیاز، به عنوان گره سرخوشه جدید در خوشه مورد نظر انتخاب خواهد شد. پیش درآمدی بر معیارهای پیشنهادی در این پژوهش به صورت خلاصه به شرح زیر می‌باشند:

- **ضریب خوشه‌بندی:** میزان تمایل یک گره برای قرار گرفتن در خوشه، به عنوان ضریب خوشه‌بندی برای آن گره درنظر گرفته می‌شود. در این پایان‌نامه از نسخه محلی ضریب خوشه‌بندی استفاده شده که به طور کامل و دقیق در بخش ۳-۱ توضیح داده شده است.
- **خوشه‌بندی با آستانه**: در این معیار به طور ضمنی، یک مصالحه بین تعداد گره‌های سرخوشه در شبکه و اندازه هر خوشه ایجاد می‌نماییم. این معیار علاوه بر اینکه تعداد اعضای موجود در خوشه را کنترل می‌کند، باعث بهبود طول عمر شبکه نسبت به نسخه اولیه الگوریتم BLAC نیز می‌گردد که به طور دقیق در بخش ۳-۳ به شرح آن پرداخته شده است.
- **خوشه‌بندی برپایه رتبه‌بندی گره‌ها**: در قسمت ۳-۴ معیار رتبه‌بندی گره‌ها را بیان نموده و اهمیت یک گره را در شبکه مدل می‌کنیم. همچنین بیان خواهیم نمود که معیار پیشنهادی ما در این بخش بر پایه گراف بدون جهت شکل گرفته است.
- **مدل شبکه جهانی کوچک:** در قسمت ۳-۵ یک مدلی براساس مدل نیومان-واتس ارائه شده است که در آن میانگین طول مسیر کوتاهتر گشته است. در این بخش با استفاده از قانون جاذبه نیوتن معیار جدیدی از بهینگی انرژی را بیان می‌نماییم که اولا کارایی انرژی لینک‌های بی‌سیم را محاسبه نموده و ثانیا تاثیر یک گره موجود در شبکه را بر کل آن شبکه بیابد.

- **وزن‌دهی چندگانه:** در بخش‌های پایانی این قسمت، به وزن‌دهی و ادغام بعضی از معیارهای پیشنهادی و یا معیارهای الگوریتم پایه BLAC خواهیم پرداخت. بعضی از معیارهای بیان شده را به صورت خطی با یکدیگر ادغام نموده و برای هر کدام ضریبی قائل می‌شویم تا میزان اهمیت آن را نشان دهیم. این معیارهای ترکیب شده در قالب روش‌هایی به نام MWBCA، HWBCA و همچنین CC-MWBCA ارائه خواهند شد که غالبا پارامترهای کارایی شبکه را بهبود خواهند داد. مخصوصا CC-MWBCA با ترکیب معیارهای رتبه‌بندی گره و ضریب خوشه‌بندی محلی میزان طول عمر شبکه را نسبت به نسخه پایه الگوریتم BLAC بهبود چشمگیری خواهد داد. حال پس از ارایه پیش درآمدی بر معیارهای پیشنهادی، در ادامه جزئیات هر کدام از این معیارها را ارائه می‌کنیم.

۳-۲ معیار ضریب خوشه‌بندی[۱]

در این فصل به ارائه معیارهایی می‌پردازیم که مشکلات ذکر شده در فصل پیش برای الگوریتم BLAC را تا حدی برطرف می‌نماید و همچنین طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. اولین معیار پیشنهادی، معیار ضریب خوشه‌بندی است که در ادامه به طور مفصل به بیان جزییات و تعاریف آن می‌پردازیم. در تئوری گراف، یک ضریب خوشه‌بندی به معیاری از درجه گره‌ها گفته می‌شود که با توجه به آن بیان می‌شود گره‌ها در یک گراف چقدر تمایل دارند که با یکدیگر در یک خوشه قرار بگیرند. دو نسخه از این معیار وجود دارد. یکی سراسری[۲] و دیگری محلی. نسخه سراسری جهت دادن یک امتیازکلی برای خوشه‌بندی در کل شبکه طراحی شده است اما نسخه محلی آن به امتیاز دهی بر روی یک گره تنها دلالت دارد [۲۲]. با توجه به اینکه ما به دنبال امتیاز دادن به یک گره خاص با توجه به معیار تعریف شده و البته میزان انرژی آن گره در خوشه هستیم لذا استفاده از نسخه محلی

[۱] clustering coefficient

[۲] global

ضریب خوشه‌بندی امری منطقی به نظر می‌رسد. این معیار جدید از ترکیب کردن ضریب محلی خوشه‌بندی و فاکتور اصلی که همواره الگوریتم BLAC در نظر می‌گیرد یعنی سطح انرژی هر گره، به وجود آمده است. الگوریتم BLAC با ترکیب دو عامل مذکور (یعنی میزان باتری هر گره و ضریب خوشه‌بندی محلی هر گره) در این بخش به هر گره یک امتیاز اعطا می‌کند. گرهی که در خوشه مورد نظر دارای بیشترین امتیاز یا معیار باشد به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود و بقیه گره‌ها موظف هستند که داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از محیط خود را به آن گره ارسال نمایند. حال به توضیح چگونگی ایجاد این ضریب می‌پردازیم و برای آن یک رابطه ارائه می‌نماییم. ضریب خوشه‌بندی محلی برای گراف جهت‌دار به صورت رابطه (۳-۴) تعریف می‌شود:

$$c_i = \frac{\left|\{ e_{jk} : v_j , v_k \in N_i , e_{ij} \in E\}\right|}{k_i \, (k_i - 1)} \qquad (۴-۳)$$

که در آن k_i همسایگان گره i محسوب می‌شود و e_{jk} یال بین گره‌های j و k می‌باشد. همچنین اینکه k و j هر دو از همسایه‌های گره i می‌باشد و هدف ما تعیین مقدار ضریب خوشه‌بندی گره i است. اگر بخواهیم این توضیحات را به زبان ساده‌تر بیان نماییم در واقع صورت کسر تعداد اتصالات بین همسایه‌های گره i می‌باشد. باتوجه به اینکه گراف ما جهت دار نیست لذا یال بین گره j به k برابر با همان یال بین گره k به j می‌باشد. بنابراین مخرج رابطه بالا به صورت رابطه (۳-۵) تبدیل می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{k_i (k_i - 1)}{2} \qquad (۵-۳)$$

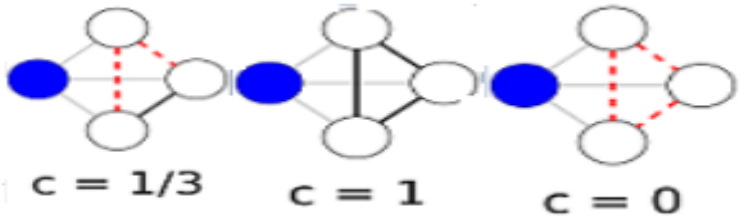
یعنی باید تعداد اتصالات بین همسایه‌ها نصف شود زیرا گراف ما جهت‌دار نیست. از این رو رابطه اصلی مربوط به ضریب خوشه بندی محلی در گراف غیرجهت‌دار برابر است با:

$$c_i = \frac{2\left|\{ e_{jk} : v_j , v_k \in N_i , e_{ij} \in E\}\right|}{k_i \, (k_i - 1)} \qquad (۶-۳)$$

درصورتی که تمامی گره‌های متصل به گره i خود به یکدیگر متصل باشند، (یعنی همسایگان i ای که با یک یال به گره i وصل شده‌اند خود هم به یکدیگر متصل باشند) مقدار ضریب خوشه‌بندی برای گره i برابر با ۱ بوده و اگر هیچ یک از گره‌های همسایه متصل به i، خود به یکدیگر متصل نباشند ضریب خوشه‌بندی گره i برابر ۰ خواهد بود. با دقت در فرمول (۳-۶) می‌توان دریافت که این معیار بر روی گره‌های با درجه کمتر، وزن و اهمیت بیشتری می گذارد [۲۳]. (زیرا مقدار درجه گره، در مخرج قرار دارد، هر چقدر درجه گره بیشتر باشد، مخرج کسر بیشتر شده و کسر کوچکتر می‌شود. در نتیجه مقدار امتیاز یا score آن گره پایین می‌آید.) مقدار متوسط ضریب خوشه‌بندی شبکه برای تمامی گره‌ها از رابطه (۳-۷) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (۳-۷)$$

برای روشن‌تر شدن موضوع با ذکر مثال و البته رسم شکل، چند ضریب خوشه‌بندی در شبکه را با استفاده از شکل ۳-۱ بیان می‌نماییم.



شکل۳-۱. ضرایب خوشه بندی مختلف

این معیار در واقع شبیه به همان معیار تراکم در الگوریتم پایه BLAC است با این تفاوت که نقش اتصالات بین همسایه‌ها پر رنگ‌تر شده است. رابطه (۳-۶) مطابق با موارد مطرح شده در نظریه گراف است که صورت این عبارت تعداد اتصالاتی است که همسایه‌های گره مورد نظر ما واقعا دارا می باشند و مخرج کسر این رابطه نیز حداکثر تعداد اتصالاتی است که همسایه‌های گره مورد نظر می‌توانند بین خودشان برقرار نمایند. معیار ضریب خوشه‌بندی درصورت ترکیب شدن با الگوریتم BLAC، نقش

سرخوشگی را در صورت نیاز به خوبی به سایر گره‌های خوشه محول می‌نماید. این عمل تعویض نقش نتیجتا توزیع عادلانه انرژی را در پی داشته که باعث افزایش طول عمر شبکه نسبت به متغیرها در الگوریتم BLAC از جمله bg و گاها bs می‌گردد. همچنین اینکه پایداری سیستم میزان قابل قبولی را نشان می‌دهد که نمودارهای آن در فصل ۴ آمده و تحلیل گردیده است. لازم به ذکر می‌باشد که تمامی مراحل پیاده‌سازی این معیار ترکیب شده با BLAC همانند الگوریتم ۲-۱ بوده و جدول پارامترهای آن نیز دقیقا مانند جدول ۲-۲ است با این تفاوت که به جای $h(i)$ که در واقع معیار قابل ترکیب با سطح انرژی است و قبلا به جای آن معیار تراکم یا درجه می‌گذاشتیم اکنون باید ضریب خوشه‌بندی Ci را لحاظ نماییم.

۳-۳ معیار خوشه‌بندی با آستانه[۱]

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم همواره اندازه هر خوشه و همچنین تعداد کلی خوشه‌های موجود در شبکه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یک معیاری مناسب است که بتواند توازن را تا حد خوبی بین اندازه گره‌های موجود در هر خوشه و همچنین تعداد خوشه‌ها برقرار نماید. بنابراین همواره این برقراری مصالحه بین اندازه هر خوشه و تعداد اعضای هرخوشه از اهمیت زیادی برخوردار است. شبکه‌هایی که دارای تعداد خوشه‌های بسیار زیاد هستند شانس اینکه گره‌های بیشتری به عنوان سرخوشه انتخاب شوند را بالاتر می‌برند. بالطبع با افزایش تعداد گره‌های سرخوشه در هر شبکه میزان مصرف انرژی آن‌ها نیز افزایش یافته و عمر شبکه کاهش می‌یابد. همچنین اگر تعداد خوشه‌های شبکه کم باشد اما در عوض اندازه هر خوشه بیش از اندازه زیاد باشد، امکان مدیریت ایده‌آل اعضای خوشه توسط گره سرخوشه از بین می‌رود [۲۴]. بنابراین نیازمند یک روشی هستیم که بتواند این مصالحه را

[۱] threshold clustering

به صورت منطقی برقرار نماید. استفاده از معیار آستانه در خوشه‌بندی می‌تواند عاملی برای کنترل تعداد اعضای موجود در هر خوشه و در نتیجه افزایش کلی طول عمر شبکه باشد.

ما برای تعداد اعضای موجود در خوشه ایده‌آل یک آستانه تعیین می‌کنیم و گره‌هایی که دارای مقداری نزدیک به این مقدارآستانه می‌باشند از امتیاز بیشتری جهت انتخاب شدن به عنوان گره سرخوشه برخوردار هستند. بعد از این امتیازدهی، الگوریتم BLAC مطابق با آنچه در بخش‌های پیش گفته‌ایم میزان انرژی یا باتری آن گره را نیز وارد محاسبات کرده و یک امتیاز کلی برای آن گره در خوشه مورد نظر قائل خواهد شد. در یک خوشه گرهی که دارای بیشترین مقدار معیار یا همان امتیاز باشد به عنوان گره سرخوشه تعیین خواهد شد. نحوه محاسبه این امتیاز برای هر گره موجود در شبکه از طریق رابطه (۳-۸) حساب می‌شود:

$$ScoreParameter(threshold\ Clustering) = 1 - \frac{(Count - Threshold)^2}{Threshold^2} \qquad (۳-۸)$$

که در این رابطه مقدار $Count$ برابر است با تعداد همسایه‌های گره مورد نظر و مقدار آستانه که در واقع همان تعداد همسایه های بهینه برای گره مورد نظر است از رابطه (۳-۹) محاسبه می‌شود:

$$Threshold = \frac{N_{total}}{K_{optimal}} \qquad (۳-۹)$$

در رابطه (۳-۹) مقدار صورت کسر یا همان N_{Total} برابر با کل گره‌های موجود در شبکه حسگر بی‌سیم و $K_{optimal}$ برابر با تعداد خوشه‌های بهینه‌ای است که شبکه با توپولوژی موردنظر می‌تواند داشته باشد. مقدار امتیاز این پارامتر (خوشه‌بندی آستانه‌ای) در صورتی ۱ است که تعداد همسایه‌های گره مورد نظر دقیقا برابر با مقدار آستانه باشد و در صورتی ۰ است گره مورد نظر هیچ همسایه‌ای نداشته باشد. در واقع این پارامتر به گونه‌ای تنظیم شده است که هرچقدر تعداد همسایه‌های گره مورد نظر به مقدار آستانه نزدیکتر باشد مقدار امتیاز آن و در نتیجه شانس سرخوشه شدن آن بیشتر گردد.

از آنجا که در روش BLAC تعداد خوشه‌ها از قبل مشخص نیست، در نگاه اول چنین به نظر می‌رسد که این معیار، مورد استفاده ما نمی‌تواند قرار بگیرد. اما با کمی دقت می‌توان دریافت که متوسط خوشه‌های ساخته شده توسط الگوریتم BLAC بین ۱۴ تا ۲۴ است که گاها این مقدار کمتر و بیشتر نیز می‌شود. این موضوع به طور دقیق در فصل ۴ و در بخش نمایش نتایج آزمایشات انجام گرفته مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بررسی‌های ما نشان داده است که با قرار دادن مقدار ۱۸ (با روش آزمون و خطا) برای تعداد خوشه‌های شبکه بی‌سیم ما می‌توانیم به حد ایده‌آلی از نظر تعداد خوشه‌ها برای شبکه حسگر با ۲۰۰ گره برسیم که عمر شبکه ما را نسبت به روش BLAC که بر اساس معیار درجه یا تراکم عمل می‌نمود بهبود می‌دهد. این معیار، بسیار ساده و در عین حال به شدت کارا و مفید می‌باشد و ترکیب این معیار با مقدار انرژی باقی‌مانده در هر گره (در هر مرحله از اجرای الگوریتم) طول عمر شبکه ما را به طور چشمگیری نسبت به روش bg (و گاها bs) افزایش می‌دهد. در پایان این بخش لازم به ذکر است که تمامی الگوریتم‌ها پیاده‌سازی این معیار ترکیب شده با BLAC همانند الگوریتم ۲-۱ بوده و جدول پارامترهای آن نیز دقیقا مانند جدول ۲-۲ است با این تفاوت که به جای $h(i)$ که در واقع معیار قابل ترکیب با سطح انرژی است و قبلا به جای آن معیار تراکم یا درجه یا ضریب خوشه‌بندی می‌گذاشتیم اکنون باید معیار خوشه‌بندی آستانه‌ای را لحاظ نماییم.

۳-۴ معرفی معیار رتبه‌بندی گره‌ها[۱]

معیار ارائه شده در این بخش در واقع بهبودی بر پروتکل LEACH می‌باشد. با توجه به اینکه الگوریتم BLAC نیز مطابق بررسی‌های انجام گرفته از LEACH بهتر عمل می‌نماید، لذا ادغام الگوریتم BLAC با معیار پیشنهادی در این بخش می‌تواند نتیجه خوبی را از لحاظ افزایش طول عمر شبکه

[۱] Node Ranking Algorithm

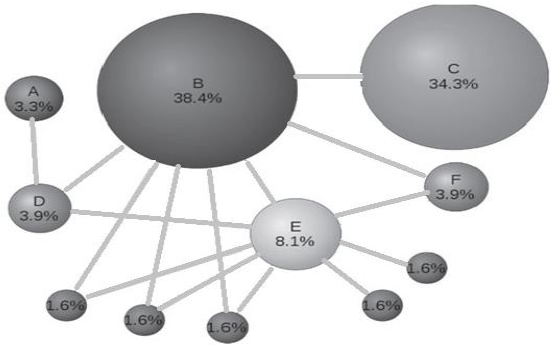
نسبت به الگوریتم BLAC خالص به ما ارائه نماید. البته طبیعی است که این بهبود بستگی به نحوه انتخاب گره‌های سرخوشه به گونه‌ای دارد که میزان مصرف انرژی در بین گره‌های سرخوشه در هر خوشه به خوبی توزیع شود. به صورت کلی همانگونه که از اسم این معیار نیز پیداست این معیار به هریک از گره‌های موجود در شبکه یک رتبه اختصاص می‌دهد. این رتبه‌بندی بستگی به هزینه مسیر بین گره‌ها و تعداد اتصالات یا لینک‌های بین گره‌ها جهت انتخاب گره سرخوشه دارد. در واقع این پروتکل به منظور نمایان کردن وزن واقعی یک گره خاص و شایستگی آن گره جهت انتخاب شدن به عنوان گره سرخوشه ارائه گشته است.

ایده اصلی این معیار، جدای از بهبود نسبت به الگوریتم LEACH بوده و جهت غلبه بر فرآیند انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها ایجاد گشته است. در واقع در روش تصادفی، تمامی گره‌ها، چه آن‌هایی که دارای انرژی زیاد بودند و چه آن‌هایی که از لحاظ میزان انرژی دارای شرایط بحرانی هستند از شانس یکسانی برای سرخوشه شدن برخوردار می‌باشند. حال اگر در روش انتخاب تصادفی یک گره با انرژی بحرانی به عنوان گره سرخوشه انتخاب شود آن‌گاه عمر شبکه به سرعت به پایان خواهد رسید. بنابراین می‌توان از ایده پروتکل رتبه‌بندی گره‌ها استفاده نموده و با ترکیب کردن با روش پایه در این پایان‌نامه که BLAC می‌باشد به افزایش طول عمر شبکه کمک نماییم. با توجه به اینکه اصل این پروتکل در واقع ابداعی بر LEACH بوده است لذا همانند الگوریتم LEACH و هم چنین سایر الگوریتم‌ها، فاز برپایی خوشه و همچنین فاز آماده‌سازی جهت انتقال اطلاعات به گره سرخوشه و سپس از آنجا به مرکز اصلی پردازش داده دارد. حال که با مفهوم اصلی این معیار آشنا شدیم در بخش بعد به توضیحات کامل الگوریتم پیاده‌سازی این معیار خواهیم پرداخت.

۳-۴-۱ پیاده سازی الگوریتم رتبه‌بندی گره‌ها

در این بخش مطابق با رابطه ریاضی‌ای که در جلوتر بررسی خواهد شد به وزن‌دهی هر یک از گره‌های موجود در شبکه خواهیم پرداخت. به عبارت دیگر می‌خواهیم ببینیم اهمیت هر یک از گره‌های موجود

در شبکه چقدر می‌تواند باشد. گرهی که دارای بیشترین مقدار اهمیت یا امتیاز در خوشه خود باشد به عنوان گره سرخوشه انتخاب خواهد شد. لینک‌هایی که دو گره را به یکدیگر وصل می‌کنند و یک گام را برای ارسال پیام‌ها ایجاد می‌نمایند، بسته به این که کدام دو گره را به یکدیگر وصل کنند و هر کدام از گره‌ها چقدر برای شبکه حسگر بی‌سیم ما مهم باشند دارای ضریب و اهمیت خاصی می‌گردند. برای روشن‌تر شدن این موضوع مطابق با شکل ۳-۲ به بیان مفهوم مربوط به ضریب اهمیت لینک‌های مواصلاتی برای گره مورد نظر با ذکر یک مثال ساده می‌پردازیم:



شکل۳-۲. ضریب اهمیت اتصالات لینک‌ها

همانگونه که در شکل۳-۲ مشاهده می‌کنیم مقدار اهمیت ریاضی مربوط به رتبه‌بندی هر گره با درصد نشان داده شده است. با اینکه تعداد اتصالات وارد شده به گره C کمتر از گره E می‌باشد اما رتبه گره C نسبت به گره E بالاتر می‌باشد. این امر به خاطر آن است که یال یا همان اتصال وارد شده به گره C از گره B که سرخوشه بوده آمده است که دارای وزن و اهمیت زیادی در شبکه است. توجه به اینکه فرض ما از ابتدا این بوده است که گراف ما جهت‌دار نیست این اهمیت می‌تواند از فاکتورها و عواملی باشد که ما در شبکه تعریف نموده‌ایم و اهمیت هر گره بر اساس آن تعیین می‌شود. مثلا این اهمیت می‌تواند ناشی از میزان باتری مرحله قبل هر گره باشد یا تراکم و درجه نیز می‌توانند از عوامل دیگری باشند که بنا به مقتضیات سیستم، متفاوت تعیین شوند. همچنین سرخوشه بودن یا نبودن یک گره در مرحله قبلی نیز می‌تواند بر روی اهمیت آن گره در مراحل بعدی تاثیر زیادی بگذارد.

ایده اصلی الگوریتم رتبه‌بندی گره‌ها به خاطر وجود گراف‌های جهت‌دار شکل گرفته است [۲۵]. اما در تمام فرضیات پیاده سازی ما برای الگوریتم BLAC فرض بر آن است که گراف ما بدون جهت باشد، یعنی یال ورودی و یال خروجی از یک گره دقیقا یکسان باشند. لذا ما تنها از ایده ریاضی معیار رتبه‌بندی گره‌ها استفاده می‌کنیم .

پس از روشن شدن کامل مفاهیم این پروتکل حال نوبت آن است که رابطه ریاضی برای آن بیان کنیم که دقیقا به ما مقدار رتبه هر گره در شبکه حسگر را بدهد. یعنی امتیازی را برای هر گره مشخص کند که معیار سنجش ما قرار بگیرد و بتوانیم بگوییم که در هر مرحله از اجرای الگوریتم کدام یک از گره‌ها شایستگی انتخاب شدن به عنوان گره سرخوشه را دارد. لذا رابطه (۳-۱۰) را به صورت زیر تعریف می‌نماییم:

$$NR(n_i) = batt(n_i) \times \alpha \times \sum_{0}^{j} NR(n_j) \frac{\frac{1}{d_{out}^{ji}}}{\sum_{k \in NH} d_{out}^{jk}} + (1-\alpha) \qquad (۳-۱۰)$$

که در این رابطه ریاضی مقدار α که به عنوان یک ضریب کاهشی[۱] برابر با ۰.۰۸۵ در نظر گرفته شده است. این مقدار با توجه به بررسی‌های انجام گرفته و با استفاده از روش آزمون و خطا به صورت تجربی به دست آمده است. به این علت ضریب کاهشی کوچک و کمتر از یک صدم در نظرگرفته شده است که بتوانیم با کوچک کردن گام‌ها، ریزترین تغییرات را هم در نمودار طول عمر شبکه مشاهده نماییم. همچنین در این رابطه مقدار $batt(n_i)$ برابر با مقدار انرژی کنونی گره i و NH مجموعه همسایگان گره k می‌باشد و d_{out}^{ji} برابر با فاصله گره j از i می‌باشد که این گره j همسایه گره i است.

همانگونه که بیان شد در این معیار یک گره زمانی با اهمیت و ارزشمند شناخته می‌شود که به گره‌های ارزشمند دیگر اتصال داشته باشد. پس از معرفی رابطه ریاضی این روش اکنون نوبت آن است برای این معیار پیشنهادی الگوریتمی بیان نماییم. این الگوریتم در ادامه به صورت شبه کد آمده است:

[۱] damping factor

input: $list\ of\ Nodes$

output: $list\ of\ sorted\ Nodes\ according\ NRout_list$

1: $Define\ algorithm\ parameters\ power\ and\ distances\ , \alpha = 0.085\ , flag = false$

2: **for** $each\ node\ i$ **do**

3: $set\ NR(n_i) = 1$;

4: $Add\ NR(n_i)\ into\ old_out_list$

5: **End for**

6: **While** flag = false

7: **for** each $node\ i$ **do**

8: $get\ NR(n_j)$;

9: $get\ batt(n_i)$;

10: $get\ the\ distance\ between\ n_i\ and\ n_j\ into\ d_{out}^{ji}$;

11: **for** $each\ node\ j$ **do**

12: $d_{out}^{jk} += Get\ the\ distance\ between\ n_k\ and\ n_j$;

13: **End for**

14: $NR(n_i) = batt(n_i) * \alpha * NR(n_j) \frac{\frac{1}{d_{out}^{ji}}}{\sum_{k \in NH} d_{out}^{jk}} + (1 - \alpha);$

15: $Record\ NR(n_i)\ into\ out_list$;

16: **End for**

17: **if** $old_out_list\ ==\ out_list$ **then**

18: $flag =$ true ;

19: **else**

20: $old_out_list\ ==\ out_list$;

21: **end if**

22: **End While**

23: **sort** out_list

الگوریتم۳-۱: شبه کد الگوریتم Node Ranking

همانگونه که در الگوریتم ۱-۳ آمده است ابتدا مقدار NR همه گره‌های موجود در شبکه برابر با ۱ قرار داده می‌شود. همچنین اینکه پس از انجام محاسبات و طی شدن روند کلی الگوریتم این معیار، تا جایی ادامه پیدا می‌کند که در مرحله بعد اجرای الگوریتم دیگر تغییری در نتیجه نسبت به این مرحله حاصل نشود، به عبارت دیگر یعنی شرط همگرایی[۱] برقرار شود.

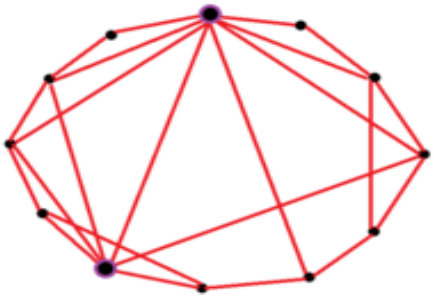
خروجی این الگوریتم در واقع رتبه و جایگاه هر گره را در شبکه مشخص نموده و به عنوان یک معیار به الگوریتم پایه BLAC داده می‌شود. این معیار پس از ادغام شدن با BLAC و جانشینی به جای معیارهای پایه الگوریتم BLAC، از نظر طول عمر نتایج بسیار خوبی را در قیاس با معیار درجه و حتی بعضی معیارهای پیشنهادی دیگر از خود نشان می‌دهد که در فصل مربوط به نمایش نتایج آزمایشات انجام گرفته (یعنی فصل ۴) نمودارهای طول عمر و نرخ تحویل بسته و غیره تماما رسم گردیده و تحلیل شده است.

۳-۵ معرفی مدل شبکه جهانی کوچک[۲] جهت بهینه‌سازی مصرف در شبکه

به طور کلی شبکه کوچک جهانی یک نوعی از گراف ریاضیاتی هستند که در آن، اکثر گره‌ها همسایه یکدیگر نیستند اما همسایگان هر گره فرضی احتمالا همسایه یکدیگر هستند و لذا اکثر گره‌ها می‌توانند با تعداد گام‌های اندک قابل دسترسی باشند. به شکل ویژه شبکه کوچک جهانی یک شبکه تعریف می‌شود به قسمی‌که میانگین تعداد گام‌های بین دو گره که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند به طور نسبی با لگاریتم تعداد گره‌های موجود در کل شبکه افزایش می‌یابد [۲۶] یعنی: $L \propto logN$. شکل ۳-۳ به وضوح نشان‌دهنده مفهوم شبکه جهانی کوچک است:

[۱] convergence condition

[۲] Small world Network



شکل۳-۳. یک نمونه از گراف شبکه جهانی

این نوع شبکه‌ها دارای دو مدل می باشند که به ترتیب واتس-استروگاتز (Watts and Strogatz) که اختصارا WS نامیده می‌شوند و نیومان-واتس (Newmann-Watts) که اختصارا NW نامیده می‌شوند. با توجه به اینکه در عمل استفاده از مدل WS غیرقابل انجام است لذا در پژوهش‌ها عمدتا از مدل NW استفاده می‌شود. همانگونه که گفته شد مدل شبکه کوچک جهانی به کمتر کردن میانگین طول مسیر کمک می‌کند [۲۷]. میانگین طول مسیر مشخصه‌ای است که به ما نشان می‌دهد برای ارسال داده‌ها از یک گره موجود در شبکه تا گره دیگر به طور متوسط چند گام لازم است. مدل شبکه جهانی کوچک از طریق اضافه کردن میانبرها[۱] به بعضی از گره‌ها عمل مربوط به کاهش میانگین تعداد گام‌ها از مبدا به مقصد را انجام می‌دهد که در اینجا برای جلوگیری از بسط بیش از حد موضوع از بیان آن خودداری می‌کنیم [۲۸]. در این بخش به روشن نمودن پارامترهای کلیدی شبکه با استفاده از این مدل می‌نماییم که ارتباط بین کارایی انرژی مربوط به یک گره و کارایی انرژی (بهینگی انرژی) در کل شبکه را نشان می‌دهد.

در واقع ما از ایده معیار شبکه جهانی کوچک استفاده می‌کنیم تا بتوانیم پیاده‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم ناشی از این معیار را با روش پایه خود یعنی الگوریتم BLAC مقایسه نماییم. برای انجام این‌کار ما معیار جدیدی از بهینگی انرژی را در نظر می‌گیریم که اولا کارایی انرژی (بهینگی انرژی) لینک‌های بی‌سیم را محاسبه نماید (منظور کارایی انرژی لینک‌هایی که به صورت یک گام بین ارسال

[۱] shortcut

کننده و دریافت‌کننده بعدی بوده یا اصطلاحا single hop هستند) و ثانیا تاثیر یک گره موجود در شبکه را بر کل آن شبکه بیابد. برای محاسبه این معیار از پارامترهایی از قبیل فاصله انتقال داده‌ها به صورت چندگامی و فاصله جغرافیایی بین گره‌های بی‌سیم استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که در واقع با استفاده از این معیار، توپولوژی‌های مختلف در مقیاس‌های مختلف باعث ایجاد تفاوت در تاثیرگذاری یک گره بر کل شبکه می‌شوند.

اگر بخواهیم مطالب گفته شده را در قالبی ساده‌تر بیان نماییم باید بگوییم که در این معیار، تاثیر یک گره بر روی شبکه را با درجه آن گره و فاصله جغرافیایی آن گره با گره همسایه نشان می‌دهیم. باید در نظر داشته باشیم که کارایی انرژی یک گره به خصوص باید دارای خصیصه‌های زیر باشد:

الف) نسبت درجه گره‌ها:

به این معنی که گره با درجه بیشتر دارای تاثیر بیشتر در connectivity شبکه بوده و اهمیت بیشتری دارد.

ب) عکس نسبت فاصله جغرافیایی بین گره‌ها با اعمال محدودیت مینیمم فاصله بین گره‌ها

اگر بخواهیم تاثیر یک گره را بر روی کل شبکه ببینیم یا به عبارت دیگر به گره موردنظر یک امتیاز جهت انتخاب شدن به عنوان سرخوشه دهیم، تاثیر یک لینک بی‌سیم بین گره موردنظر و همسایه‌اش را بررسی خواهیم نمود. که از رابطه (۳-۱۱) به صورت زیر به دست می‌آید و مطابق با قانون جهانی جاذبه[۱] نیوتن است:

$$F_{ij} = G_{ij}\frac{K_i K_j}{(d_{ij}+d_0)^2}\ , j \in E_i \qquad (۳-۱۱)$$

که در آن K_i تعداد همسایه‌های گره i و E_j مجموعه همسایه‌های مربوط به K_i می‌باشد. (به عبارت دیگر K_j همسایه‌های گره j می‌باشد که این گره j همسایه i می‌باشد.) همچنین اینکه d_{ij} فاصله اقلیدسی بین گره i و گره j می‌باشد. در نهایت d_0 مینیمم فاصله بین گره‌ها است. با توجه به اینکه

[۱] gravity

مقدار G_{ij} در واقع کارایی انرژی مربوط به یک لینک تک‌گامی از گره i به گره j است لذا این مقدار از طریق رابطه (۳-۱۲) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$G_{ij} = \frac{r_{ij}}{w_{ij}} \quad (۱۲-۳)$$

در این رابطه مقدار r_{ij} برابر با نرخ انتقال داده از گره i به گره j بوده و w_{ij} نیز برابر با هزینه مصرف انرژی در آن لینک می‌باشد. هزینه مصرف انرژی با توجه به سایز بسته‌های ارسالی از مبدا به مقصد و همچنین فاصله اقلیدسی گره مقصد از مبدا و همچنین یک ضریب اتلاف انرژی محاسبه می‌شود که در رابطه‌ای مانند رابطه (۳-۱۳) آورده شده است:

$$W_{ij} = (L * E_{elec}) + \left(L * \varepsilon_{amp} * d^{n}\right) \quad (۱۳-۳)$$

پارامترهای رابطه (۳-۱۳) با توجه به مبحث سخت‌افزار اتلاف انرژی رادیویی دارای مقادیر مختلفی است [۲۹] که در جدول ۳-۱ آورده شده است:

جدول ۳-۱. پارامترهای مربوط به اتلاف انرژی رادیویی

مدل رادیویی	L	E_{elec}	ε	n
Free Space	**سایز بسته**	**50 nj/bit**	**ε_{fs}=100pj/bit/m2**	**2**
Multi path	**سایز بسته**	**50 nj/bit**	**ε_{amp}=0.0013pj/bit/m4**	**4**

که ما در محاسبات خود در این قسمت از مدل رادیویی دوم یعنی Multi Path استفاده می‌نماییم. ضمن اینکه اندازه بسته‌های ارسالی از مبدا به مقصد نیز مطابق با اندازه بسته‌های ارسالی در شبکه حسگر با استفاده از روش BLAC برابر با ۱۶kbitدرنظر گرفته‌ایم. در نهایت پس از محاسبه تمامی مقادیر F_{ij} برای گره i به ازای همسایگی‌های j رابطه (۳-۱۴) را خواهیم داشت:

$$F_i = \sum_j F_{ij} \ , j \in E_i \quad (۱۴-۳)$$

که این F_i بدست آمده همان امتیاز مورد نظر برای گره i می‌باشد. هرچقدر که مقدار این F_i بیشتر باشد، یعنی تاثیر آن گره بر شبکه حسگر بی‌سیم ما بیشتر و قوی‌تر بوده و شانس خود را برای سرخوشه شدن افزایش خواهد داد. با ترکیب این امتیاز با مقدار انرژی باقی‌مانده در گره (باتری گره) که اساس کار BLAC است، گره سرخوشه برای مرحله بعدی تعیین می‌گردد. از مطالب بیان شده می‌توان نکات زیر را استنباط نمود:

الف) گرهی که درجه بیشتری دارد بر روی کارایی کلی شبکه تاثیر قوی‌تری دارد.

اگر دو گره حسگر دارای مقدار درجه یکسانی باشند، گرهی که همسایه‌اش دارای درجه بزرگتری باشد دارای تاثیر بیشتری بر روی کارایی کلی شبکه می‌باشد.

ب) یال مربوط به لینک یک گامی F_{ij} با کارآیی انرژی بیشتر، نقش کلیدی بر کارآیی انرژی کل شبکه دارد.

این معیار رقابت نزدیکی از نظر طول عمر با روش bg در الگوریتم BLAC دارد. علیرغم کمتر بودن طول عمر آن نسبت به سایر معیارهای مرتبط با بهبود الگوریتم BLAC، اما ایده جالب استفاده شده در آن باعث شده که در فاز کاهشی شیب نسبتا مناسبی داشته باشیم. یعنی در طول عمر شبکه، نسبت مصرف انرژی گره‌ها به طور متوازن انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، ایده جالب این معیار باعث شده است که تا پس از مرگ اولین گره و اتمام عمر شبکه، در فاز کاهشی ما شاهد این نکته باشیم که گره‌ها دارای انرژی باقی مانده کمی هستند و با شیب خوبی تعداد گره‌های مرده به عدد صفر نزدیک می‌شود. در فصل چهار ویژگی‌های این معیار به نمایش گذاشته خواهد شد و مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۶ معرفی معیار خوشه‌بندی برپایه وزن‌دهی به ضرایب[۱]

[۱] Weight based clustering Algorithm

معیار خوشه‌بندی بر پایه وزن‌دهی به ضرایب در حقیقت یک معیاری است که به عوامل یا فاکتورهای تاثیرگذار بر روی شبکه ضریب اهمیتی نسبت می‌دهد و با کم یا زیاد نمودن این ضرایب در واقع میزان تاثیرگذاری آن‌ها را بر روی شبکه حسگر بی‌سیم تغییر می‌دهد. می‌توان اینگونه اذعان داشت که این معیار یکی از متغیرهای وزن‌دار روش WCA است [۳۰].

از مزایای استفاده از این معیار آن است که این فاکتورهای تاثیرگذار می‌توانند کاملا سلیقه‌ای در معیار ما لحاظ شوند و در هر شبکه با توپولوژی خاص بنا به مقتضیات شبکه خودشان یا ضرایبشان تغییر گردد. به عنوان مثال در یک شبکه که گره‌ها متراکم هستند واضح است با افزایش ضریب فاکتور مربوط به تراکم، باعث افزایش طول عمر شبکه خود گردیم. البته باید این نکته را در نظر داشته باشیم که افزودن هر عاملی به معیار ما امکان پذیر نیست و نباید با اصولی که الگوریتم پایه ما بر مبنای آن بنا نهاده شده است، تناقض داشته باشد. یعنی مثلا ما نباید مقدار فاصله هر گره تا پایگاه اصلی مرکز پردازش داده را در معیار خود دخیل نماییم و برای آن ضریبی قائل شویم. زیرا در تمامی مراحل پیاده‌سازی الگوریتم BLAC ما فرض را بر این قرار دادیم که ایستگاه اصلی پردازش داده‌ها جایی در خارج از شبکه حسگر ما است و فاصله آن تا هر گره یا حتی گره‌های سرخوشه نادیده گرفته شده و وارد محاسبات ما نشده است. به علت استفاده متعدد الگوریتم اصلی معیار معرفی شده در این بخش در پژوهش‌های مختلف از مبحث شبکه‌های حسگر، به ازای ضرایب مختلف نام‌های متعددی به آن اطلاق شده است که هر نام برگرفته از تمرکز آن معیار بر روی ضریب یا ضرایبی خاص دارد.

به نظر می‌رسد که ادغام شدن این معیار با الگوریتم پایه BLAC و یا حداقل ترکیب نمودن و ضریب‌دهی به بعضی از ضریب‌های خوشه‌بندی که تاکنون بررسی نموده‌ایم بتواند تا حد خوبی بهبودی بر الگوریتم پایه BLAC جهت افزایش طول عمر شبکه باشد. نرخ تحویل بسته، میانگین فاصله (تعداد گام) هر گره تا سرخوشه و همچنین میزان پایداری سیستم یا میانگین تغییر نقش گره‌ها

از موارد دیگری است که به بررسی آن‌ها در فصل۴ خواهیم پرداخت. حال که با مفهوم کلی این مدل از الگوریتم‌ها آشنا شدیم به معرفی چند مدل از معیارهای استخراج شده از آن‌ها خواهیم پرداخت.

۳-۶-۱ معیار خوشه‌بندی بر پایه چند وزنی (وزن‌دهی چندگانه)[۱]

این معیار که اصطلاحا به وزن‌دهی چندگانه معروف است و اختصارا MWBCA نیز گفته می‌شود، یکی از معیارهای وزن‌دهی با استفاده از پارامترهای مختلف است که ما مورد استفاده خود قرار می‌دهیم. مانند تمامی معیارهای وزن‌دهی چندگانه این معیار به هر گرهی در شبکه بر اساس مقتضیات خاص شبکه که چه پارامتری برای ما دارای اهمیت بیشتر یا کمتری باشد به صورت خطی یک وزن یا اهمیت قائل می‌شود [۳۱]. این وزن‌ها در آن فاکتورها تاثیر خواهند گذاشت و در نهایت مجموع آن چند فاکتور به عنوان امتیاز برای هر گره مورد استفاده قرار خواهد گرفت. واضح است گرهی که دارای امتیاز بیشتری باشد (نسبت به همسایگانش) به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود.

در این معیار فاکتورهایی که برای ما تاثیرگذار بودند شامل تراکم آن گره، میزان انرژی آن گره نسبت به انرژی کل و همچنین تعداد دفعاتی که آن گره به عنوان گره سرخوشه انتخاب شده است، بوده‌اند. البته همانگونه که بیان شد فاکتورهای تاثیرگذار کاملا به مقتضیات شبکه و بنا به صلاحدید انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال می‌توانستیم به جای تراکم از عامل درجه استفاده نماییم. فاکتورهای تاثیرگذار بکار رفته در این بخش، پس از بررسی معیارهای مختلف و آزمودن طول عمر آن‌ها به ازای ضریب مختلف و عوامل مختلف بدست آمده است که در مقایسه با معیار bg و همچنین تا حدی معیار bs به طور متوسط از طول عمر بهتری برخوردار است. این ضریب‌ها در جلوتر پس از معرفی رابطه ریاضی مربوط به این معیار آورده شده‌اند. مجددا لازم به تاکید است که ما در پژوهش مربوط به این قسمت تنها از ایده این روش استفاده نمودیم و جهت دستیابی به افزایش طول عمر بیشتر، بعضی

[۱] Multi weight based clustering algorithm

ضرایب یا عوامل تاثیرگذار بر روی گره‌های شبکه را تغییر دادیم که این تغییرات اولا همیشه باید بنا به مقتضای شبکه انجام بگیرد و ثانیا اینکه تغییرات اعمال شده دارای پایه و اساس باشد و متناقض با فرضیات کلی مساله ما نباشد. حال به بیان نمودن رابطه ریاضی این معیار می‌پردازیم که مطابق با رابطه (۳-۱۵) بوده و بسیار ساده می‌باشد:

$$P_{v_i-ch} = \alpha\, desnity(v_i) + \beta \left(\frac{E_{v_i-current}}{E_{v_i-max}}\right) + \gamma \frac{1}{T_{v_i}} \qquad (۳-۱۵)$$

که در آن $\alpha + \beta + \gamma = 1$ می‌باشد. همچنین $T(\mathrm{V}_i)$ تعداد دفعاتی است که گره مورد نظر ما به عنوان گره سرخوشه انتخاب گشته است. روشن است که هرچقدر تعداد دفعات سرخوشه شدن گره i بیشتر شود یعنی انرژی بیشتری را از دست داده است (به عنوان گره سرخوشه و به علت سرویس‌دهی به گره‌های عضو خوشه و ارسال اطلاعات از طریق لینک GPRS به پایگاه اصلی پردازش داده، انرژی زیادی مصرف می‌شود.) و برای همین است که به صورت تابع وارون بیان شده است. از آنجایی که مجموع ضرایب آلفا و بتا و گاما باید برابر با یک باشد لذا با قرار دادن ضریب کمتر و سبکتر برای گاما وکم‌تر کردن اهمیت تعداد دفعات سرخوشه شدن (نسبت به انرژی گره‌ها و چگالی گره‌ها) می‌توان به جای تابع وارون، گاها و بنا به مقتضیات شبکه از خود تابع نیز استفاده نمود. درنهایت مقدار $E_{vi-current}$ برابر با سطح کنونی انرژی گره V_i و E_{vi-max} همان انرژی اولیه گره V_i است.

در این پژوهش ما از مقدار آلفا برابر با ۰.۶ و بتا برابر با ۰.۱ و در نهایت گاما برابر با ۰.۳ قرار داده شده است. این مقادیر به صورت تجربی و از روی آزمون و خطا به دست آمده و بارها ضرایب متعددی بررسی شده است تا به این مقادیر دست یافتیم. واضح است که ضریب آلفا که اهمیت چگالی را مشخص می‌کند باید دارای مقدار بیشتری باشد تا شبکه ما انرژی کمتری مصرف کند. زیرا هرچقدر که چگالی شبکه ما بیشتر باشد یعنی شبکه ما تراکم بیشتری خواهد داشت و تعداد اتصالات بین گره‌ها بیشتر خواهد بود. درنتیجه در مصرف انرژی نیز صرفه‌جویی خواهد شد و عمر شبکه را افزایش خواهد داد. واضح و بدیهی است که در صورت استفاده از درجه به جای تراکم، ضریب مربوط به آن

باید کاهش یابد. زیرا هر چقدر میزان اهمیت درجه یک گره کم شود باعث می‌شود تا به یک گره از لحاظ مصرف انرژی فشار کمتری وارد شود که این خود به طویل شدن عمر شبکه کمک شایانی خواهد نمود. میانگین طول عمر این معیار با ادغام شدن با الگوریتم BLAC در مقایسه با الگوریتم BLAC bg و البته BLAC bs بهبود خوبی را از خود نشان داده است.به عبارت دیگر اگر از معیار پیشنهادی در این بخش استفاه نماییم و آن را به جای معیار درجه یا تراکم در الگوریتم پایه BLAC لحاظ کنیم، بهبود بعضی از پارامترهای کارایی شبکه را شاهد خواهیم بود. حال در ادامه به معرفی معیارهای دیگری از این روش وزن‌دهی به ضرایب خواهیم پرداخت. آن را با معیارهای دیگری که تاکنون پیشنهاد داده‌ایم و یا می‌شناختیم، ترکیب خواهیم کرد و نتایج حاصل از آن را با کار اصلی خود مقایسه خواهیم نمود.

۳-۶-۲ معیار خوشه‌بندی چند وزنی بر پایه رتبه‌دهی به گره‌ها

معیار رتبه‌بندی گره‌ها که اختصارا به آن NR نیز گفته می‌شود، در بخش‌های قبلی به طور مفصل مورد بحث و بررسی قرار گرفت و معرفی شد. گفتیم که در آن معیار، میزان ارزشمندی هر گره به اتصالات آن گره با گره‌های ارزشمند دیگر بستگی دارد و برای آن فرمول‌های ریاضی نیز استفاده کردیم. حال این ایده به ذهن می‌رسد که در صورت ترکیب نمودن این معیار با روش چند وزنی می‌توان طول عمر مفید شبکه را تا حد زیادی نسبت به الگوریتم BLAC پایه افزایش داد. همانند مطالب گفته شده در بخش قبلی می‌توان به فاکتورهای مهم ضرایب بیشتری نسبت داد و اهمیت ضرایبی که ممکن است باعث کاهش طول عمر شبکه شوند را به صورت منطقی تا حدی کاهش داد. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که در هر شبکه با توپولوژی و یا مقتضیات خاص تا یک حدی امکان کم یا زیاد کردن اهمیت یک ضریب وجود دارد. بعد آن دیگر تغییری در نمودارهای طول عمر یا تغییر در ویژگی‌های سایر نمودارها مشاهده نمی‌کنیم یا تغییرات بسیار جزئی و قابل چشم‌پوشی هستند. رابطه ریاضی مربوط به این معیار از طریق رابطه (۳-۱۶) قابل محاسبه است:

$$P_{v_i-ch} = \alpha\, NR(v_i) + \beta\, degree(v_i) + \gamma\, T(v_i) \qquad (۱۶-۳)$$

در این رابطه $T(v_i)$ تعداد دفعاتی است که گره v_i به نقش سرخوشگی نائل می‌گردد و مقدار $\mathrm{NR}(v_i)$ در حقیقت همان مقدار بدست آمده ناشی از رتبه‌بندی گره v_i با استفاده از معیار NR می‌باشد. همچنین برخلاف معیار قبلی به جای تراکم، از درجه هر گره استفاده کرده‌ایم و به آن ضریبی اختصاص داده‌ایم. ضرایب در این معیار به صورت آلفا برابر با ۰.۳ و بتا برابر با ۰.۴ و گاما برابر با ۰.۳ می‌باشند. واضح است که ضریب بتا که اهمیت درجه گره را نشان می‌دهد نباید بیشتر از حد خاصی شود، وگرنه مطابق با توضیحات بیان شده در بخش‌های قبل باعث افزایش مصرف انرژی گره مورد نظر ما شده و عمر شبکه کاهش می‌یابد.

میانگین طول عمر بسیار خوب این معیار، نشان‌دهنده بهبود روش BLAC می‌باشد (BLAC با معیار بیان شده در این بخش ادغام گشته است و نتیجه خوبی از لحاظ طول عمر حاصل گشته است.) در صورت ایجاد تغییر در ضرایب بدون علم و آگاهی کافی ممکن است که میانگین طول عمر شبکه یا پایداری شبکه دچار افت محسوسی گردد. نمودارهای این معیار ترکیبی به طور کامل در فصل چهارم یعنی بخش ارزیابی نتایج حاصل از معیارهای پیشنهادی بررسی و تحلیل گشته است.

۳-۶-۳ معیار خوشه‌بندی چند وزنی به صورت ترکیبی[۱]

این معیار همانند دو معیار قبلی شامل وزن دادن به پارامترهای مختلف است که در نهایت با الگوریتم BLAC ادغام می‌گردد. ما در پیاده‌سازی‌های خود تنها از ایده این روش و روابط ریاضی آن استفاده می‌نماییم تا بتوانیم طول عمر شبکه با استفاده از این معیار را با الگوریتم پایه خود یعنی BLAC مقایسه نماییم. همچنین باید ذکر نمود که ما از خود این معیار و پیاده‌سازی منحصر به فرد آن جهت

[۱] hybrid

بررسی و مقایسه با کار خود بهره نمی‌جوییم زیرا در پیاده‌سازی این معیار فرض شده است که سرخوشه‌ها از ابتدا تعیین گشته‌اند که این فرض در الگوریتم پایه ما متفاوت در نظر گرفته شده است. همچنین ما برای استفاده از رابطه‌های ریاضی موجود در این معیار باید اثرات بعضی قسمت‌ها را کمرنگتر نماییم و یا از بین ببریم. به عنوان مثال در معیار هایبرید برای امتیازدهی کلی آن گره جهت انتخاب شدن برای برعهده گرفتن نقش سرخوشه بعدی، فاصله آن گره تا مرکز اصلی پردازش داده بایستی محاسبه گردد و وارد عملیات ما گردد که این موضوع با فرضیات ما در مساله BLAC تناقض دارد زیرا در الگوریتم BLAC فاصله مربوط به هر گره تا ایستگاه اصلی پردازش داده نادیده گرفته شده است و در محاسبات وارد نگردیده است. لذا با توجه به این تفاوت‌های ذکر شده، نباید دقیقا خود ریاضیات این معیار وارد کار ما گردند یا اگر هم وارد می‌شوند باید اثرات آن را تا حد امکان کمرنگ کنیم یا از بین ببریم تا بتوانیم یک مقایسه عادلانه بین نمودارهای طول عمر و پایداری و سایر نمودارهای الگوریتم خود با این معیار جدید داشته باشیم. حال به توضیح خود این معیار می‌پردازیم.

این معیار همانند معیارهای برپایه وزنی که در بخش‌های پیشین بیان شد به هر فاکتور تاثیرگذار در شبکه حسگر بی‌سیم یک ضریبی می‌بخشد. این ضرایب می‌توانند بنا به ویژگی‌های شبکه مورد نظر یا مقتضیات آن متفاوت باشند. همچنین پارامترهای تاثیرگذار نیز می‌توانند به شکل‌های مختلف مورد استفاده قرار بگیرند. به عنوان مثال در رابطه ریاضی بکار رفته در معیار هایبرید که در جلوتر آمده است، حداکثر فاصله بین دو گره در شبکه حسگر مورد توجه قرار گرفته است و معکوس آن را به عنوان یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در مصرف انرژی به کار می‌برد [۳۲]. این فاصله می‌تواند بنا به ویژگی‌های خاص شبکه در پروتکل‌های دیگر به حداقل فاصله تبدیل شود. رابطه ریاضی که از معیار هایبرید جهت بهینه سازی مصرف انرژی الگوبرداری شده است به صورتی که با فرضیات اصلی مساله ما متناقض نباشد به صورت رابطه (۳-۱۷) بیان می‌گردد:

$$m(u) = \alpha \frac{|N(u)|}{N} + \beta \frac{1}{L_{max}} + \gamma T(u) \qquad (۳-۱۷)$$

در این رابطه مقدار L_{max} برابر با حداکثر فاصله بین دو گره موجود در شبکه است. همچنین $T(u)$ برابر تعداد دفعاتی که است که گره u نقش سرخوشگی را عهده‌دار شده است. در این رابطه $|N(u)|$ برابر با تعداد همسایگان گره u بوده و N تعداد حداکثر گره‌های موجود در یک خوشه می‌باشد که گره سرخوشه به صورت ایده‌آل می‌تواند آن را مدیریت کند. برای بدست آوردن مقدار N که در حقیقت تعیین‌کننده سایز هر خوشه می‌باشد، باید نمودارهای مربوط به تعداد متوسط سرخوشه‌های الگوریتم BLAC را در زمان حیات شبکه مورد بررسی قرار دهیم که در صورت انجام اینکار به متوسط تعداد سرخوشه بین اعداد ۱۴ تا ۲۴ می‌رسیم که اگر در این رابطه ریاضی مقدار سایز ایده‌آل هر خوشه را برابر با ۱۸ در نظر بگیریم آن‌گاه می‌توانیم طول عمر شبکه را به صورت منطقی بدست بیاوریم. همچنین مقادیر آلفا و بتا و گاما به ترتیب برابر ۰.۵ و ۰.۴ و ۰.۱ قرار داده شده است. ترکیب این معیار با پارامتر اصلی BLAC که همان سطح باتری گره‌ها است می‌تواند رقابت نزدیکی از نظر طول عمر با معیار bg در الگوریتم BLAC داشته باشد. لازم به ذکر است که در رابطه اصلی معیار هایبرید نسبت انرژی مصرف شده توسط گره u به انرژی اولیه (انرژی کلی) آن وجود داشت که همانگونه که بیان شد ما تنها از ایده این معیار (نه دقیقا خود آن) استفاده نمودیم تا بتوانیم به نتیجه درست و منطقی دست یابیم.

علت استفاده نکردن از میزان انرژی در رابطه (۳-۱۷) این بود که ما در نهایت امتیاز بدست آمده از گره u که همان $m(u)$ است را می‌خواهیم طبق الگوریتم BLAC با پارامتر انرژی ترکیب کنیم. اگر قرار باشد که در رابطه ریاضی معیار هایبرید هم از پارامتر مربوط به میزان مصرف انرژی نسبت به کل انرژی استفاده نماییم آن‌گاه تاثیر باتری را دو بار وارد نمودیم که این عمل عقلانی نخواهد بود. در نهایت اینکه در فاز کاهشی نیز با شیب خوبی تعداد گره‌های زنده به صفر رسیده است که این موضوع نشان از خوب توزیع شدن میزان مصرف انرژی با استفاده از این معیار دارد که در فصل چهار خود این معیار، پس از رسم نمودارهای مربوط به آن، مورد تحلیل و بررسی و مقایسه با معیارهای دیگر قرار

خواهد گرفت. ممکن است که این معیار، متوسط طول عمر کمتری (هرچند با اختلاف اندک) در قیاس با معیارهای پایه‌ای BLAC از قبیل bg داشته باشد اما اولا به علت نزدیکی میانگین طول عمرشبکه نسبت به معیار bg در BLAC و ثانیا شیب نسبتا زیاد جهت کاهش تعداد گره‌های زنده موجود در شبکه، این معیار مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۶-۴ معیار خوشه‌بندی چند وزنی برپایه ضریب خوشه‌بندی

آخرین معیاری که در قسمت بهبود طول عمر شبکه‌های حسگر می‌خواهیم به معرفی آن بپردازیم معیاری است که به صورت چند وزنی تعریف شده است و پارامترهای تاثیرگذار آن از میان فاکتورها یا پارامترهایی است که تاکنون به بررسی آن‌ها پرداخته‌ایم. مهمترین پارامتر در این معیار ابداعی همان ضریب خوشه‌بندی است. دیگر پارامتر مهم آن، معیار رتبه‌بندی گره‌ها است. معیار استفاده شده در این بخش جدید نیست و در بخش‌های قبلی به طور مفصل به معرفی پارامترهای تاثیرگذار آن در طول عمر شبکه پرداخته ایم. اما این معیار از آن جهت نو محسوب می‌شود، زیرا از ترکیب معیارهای قبلی گفته شده به وجود آمده است.

نحوه کار در این معیار به این صورت است که پس از محاسبه مقدار رتبه گره از از طریق الگوریتم Node Ranking، آن‌گاه معیار مربوط به ضریب خوشه‌بندی بر روی همان توپولوژی (توپولوژی ما نباید تغییر کند) اجرا می‌شود. به نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم‌ها مطابق با مقتضیات شبکه یک ضریب نسبت داده می‌شود تا در نهایت از مجموع این فاکتورهای تاثیرگذار (به همراه محاسبه ضرایب تاثیرگذارشان) یک امتیاز اولیه برای گره موردنظر بدست آید. ترکیب آن امتیاز با میزان سطح باتری که اساس الگوریتم BLAC است منجر به داشتن یک امتیاز معیار برای محاسبه گره سرخوشه بعدی می‌شود. به زبان ساده‌تر گرهی که دارای بیشترین امتیاز در بین سایر گره‌های همان خوشه باشد به عنوان گره سرخوشه برای مرحله بعدی انتخاب می‌شود. نحوه تاثیردهی پارامترها دقیقا مطابق با توضیحات قبلی می‌باشد اما برای شفافیت موضوع به بررسی مجدد روابط ریاضی آن می‌پردازیم.

قبل از مشخص نمودن رابطه ریاضی این معیار، ذکر این نکته خالی از لطف نیست که محاسبات ما به ازای معیارهای مختلف تنها با سه فاکتور انجام گرفته است. در صورت نیاز و مقتضیات شبکه می توان از چهار فاکتور یا بیشتر نیز استفاده کرد که در این صورت یافتن ضریب‌هایی آلفا و بتا و گاما و.. نیازمند انجام عملیات آزمون و خطای بیشتری می‌باشد و کار مشکلتری خواهد بود. حال به سراغ رابطه ریاضی این معیار می‌رویم که مطابق با رابطه (۳-۱۸) است:

$$Score(u) = \alpha\, NR(u) + \beta\, CCoeff(u) + \gamma\, T(u) \qquad (۱۸-۳)$$

که در آن $T(u)$ برابر با تعداد دفعاتی است که گره u سرخوشه می‌شود. $CCoeff(u)$ مقدار بدست آمده ناشی از ضریب خوشه‌بندی برای گره u است. همچنین با استفاده از الگوریتم رتبه‌بندی گره‌ها رتبه هر گره بدست می‌آید که NR بیانگر آن است. با استفاده از معیار تجربی و آزمون و خطا به ضریب‌هایی دست پیدا می‌کنیم که به جای آلفا و بتا و گاما قرار می‌گیرند و طول عمر شبکه را حداکثر می‌کنند. در این معیار مقدار آلفا برابر با ۰.۱۵ و مقدار بتا برابر با ۰.۶ و در نهایت مقدار گاما برابر با ۰.۲۵ است. همانگونه که بیان شد این معیار در نهایت با در نظر گرفتن سطح باتری گره‌های موجود در شبکه با الگوریتم BLAC ادغام می‌گردد. نتایج حاصل ازین معیار ترکیبی، بهبود و پیشرفت بسیار عالی و چشمگیری را نسبت به معیارهای الگوریتم BLAC پایه نشان می‌دهد. همچنین در فاز کاهشی نیز گره‌ها با شیب بسیار خوبی در شبکه می‌میرند که بیانگر آن است که گره‌ها تا لحظات پایانی به صورت پایاپای نقش سرخوشه شدن را بین خود تقسیم نموده‌اند و میزان مصرف انرژی آن‌ها تا حد بسیار عالی منصفانه بوده است. نمودارهای مربوط به این بخش در فصل چهارم به طور مفصل مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند و با نتایج حاصل از معیارهای دیگر مقایسه می‌شوند.

فصل ۴ : ارزیابی روش پیشنهادی و نتایج

۴-۱ تنظیمات و راه اندازی سیستم

در این بخش به بیان پیاده‌سازی و ارزیابی راهکارهای پیشنهادی و جزییات مربوط به آن پرداخته می‌شود. معیارهای مختلف در فصل ۳ به طور کامل بیان شد و پارامترهای آن معرفی گردیدند. حال در این بخش نوبت آن است که با توجه به معیارهای معرفی شده در فصل قبل نتایج و نمودارهای حاصل از آن‌ها را رسم نموده و آن‌ها را از لحاظ برتری در زمینه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه کنیم. کلیه پیاده‌سازی‌ها و همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ صورت گرفته است. در این فصل به طور کامل به مقایسه نمودارهای طول عمر مربوط به معیارهای پایه و معیارهای ابداعی و ترکیبی پرداخته شده است و همچنین نمودارهای مربوط به نرخ تحویل داده (که در واقع همان میزان بسته دریافت شده در مقصد نسبت به بسته‌های تولید شده است) و تعداد گام‌های هر گره تا گره سرخوشه، میانگین تعداد خوشه‌ها و غیره به طور کلی رسم شده است. باید در نظر داشته باشیم با توجه به اینکه توپولوژی پخش گره‌ها به صورت تصادفی بوده است لذا ممکن است با توجه به نوع پخش گره‌ها، بعضی از معیارها در یک توپولوژی خاص نسبت به بعضی دیگر از نظر طول عمر و.. بهتر جواب بدهند. بنابراین برای رسیدن به یک مقایسه عادلانه بهتر است هر معیار چندین و چند بار تکرار شود تا به یک میانگین کلی برای نمودار آن معیار دست پیدا کنیم. در ادامه به رسم و بررسی و تحلیل نمودارهای هر معیار پیشنهادی معرفی شده خواهیم پرداخت.

۴-۲ بررسی و تحلیل نمودارهای طول عمر شبکه حسگر

اولین و مهمترین چالشی که در فصل‌های پیشین نیز به آن اشاره نمودیم، چالش مربوط به طول عمر معیارهای ارائه شده است. گفتیم که الگوریتم پایه ما در صورت ترکیب شدن با معیارهای دیگر که آن‌ها را به صورت مفصل بیان نمودیم، طول عمر بهتری از خود نشان دهد یک توسعه و پیشرفت برای آن محسوب می‌شود. در این بخش به رسم نمودارهای یکایک معیارهای پیشنهادی می‌پردازیم و آن‌ها

را مقایسه و تحلیل می‌نماییم. همچنین مجددا بر این نکته تاکید می‌کنیم که ما فقط به یک بار اجرای الگوریتم بسنده نمی‌کنیم. بلکه نتایج حاصل از طول عمر و سایر نمودارها از قبیل میانگین فاصله تا گره سرخوشه، نرخ تحویل بسته، پایداری سیستم و غیره بر اساس میانگین اجراهایی است که ما از الگوریتم خود می‌گیریم. تعداد دفعات اجرای هر معیار پیشنهادی ادغام شده با الگوریتم پایه BLAC ۲۰۰ بار است تا از نتایج حاصله مطمئن شویم. همچنین برای رعایت عدالت بین تمامی معیارها، از توپولوژی کاهش‌یافته یا همان گراف کاهشی استفاده نمی‌کنیم. یعنی معیارها را بر روی توپولوژی کامل از یک پخش تصادفی اعمال می‌کنیم و به هیچ عنوان با استفاده از PF به کوچک کردن گراف خود نمی‌پردازیم.

در آزمایشات خود فرض نمودیم که شعاع همسایگی هر گره برابر پنجاه است. بنابراین پس از اینکه گره‌ها به صورت تصادفی[۱] بر روی صفحه مورد نظر ما یا همان مکان اجرای آزمایشات پخش شدند، هر گره موجود درشبکه، فاصله پنجاه متری یا پنجاه واحدی خود را بررسی می‌کند و آن را وارد لیست همسایگی خود می‌کند. این عمل برای تمامی گره‌ها اتفاق می‌افتد و در پایان این مرحله ما برای تک تک همسایه‌ها یک لیستی از همسایه‌های آن گره خواهیم داشت. اندازه این لیست همسایگی برابر با همان درجه آن گره می‌باشد. همانگونه که می‌دانیم همه گره‌ها دارای مقدار باتری اولیه می‌باشند. مقداردهی اولیه برای باتری تمامی گره‌های موجود درشبکه که تعداد آن‌ها نیز برابر با ۲۰۰ است، یکسان می‌باشد. این یعنی آنکه گره‌ها در ابتدای امر دارای انرژی یکسانی می‌باشند. در شبیه سازی‌های ما که با نرم افزار متلب انجام گرفته است، پارامترها و مقادیر انرژی اولیه گره‌ها و همچنین نحوه مصرف انرژی توسط هر گره با توجه به نقشی که دارد در جدولی مانند جدول ۴-۱ آمده است:

[۱] Random

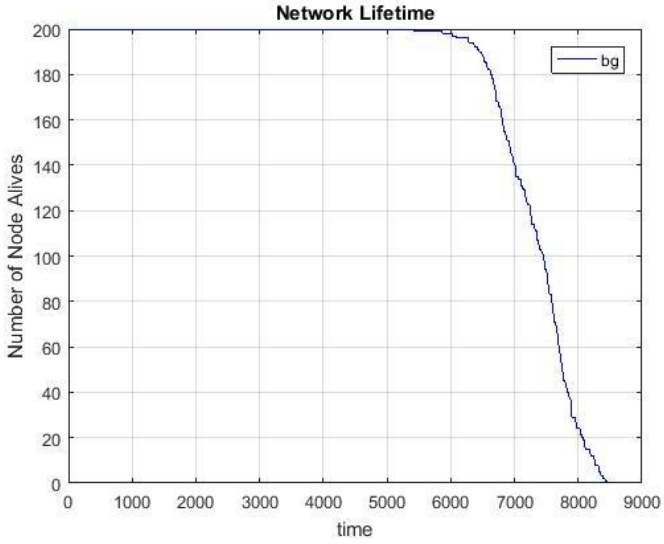
جدول ۴-۱. **پارامترهای شبیه سازی**

پارامترها	مقادیر
Propagation	**Free space**
Mac	**802.15.4 CSMA-CA**
Ordinary Node - Idle	**0.77mW**
Ordinary Node -RX	**35.46mW**
Ordinary Node -TX	**31.32mW**
Ordinary Node - data Rate	**250kbit/s**
GPRS idle	**6.4mW**
GPRS RX/TX	**1.25W**
GPRS TX data Rate	**26.8kbit/s**
Battery Capacity	**32mWh**
Hello Length	**48bit+24bit/neighbor**

لازم به ذکر مجدد است که شعاع همسایگی ۵۰ واحد در نظر گرفته شده است. این مقدار نه باید خیلی زیاد باشد که شعاع همسایگی یک خوشه را زیاد کند و نه باید خیلی کوچک باشد که تعداد گره‌های درون یک خوشه کاهش یابند. باید در نظر داشته باشیم که هرچقدر شعاع همسایگی در یک خوشه بیشتر باشد، تعداد گره‌های موجود در خوشه بیشتر شده و میزان مصرف انرژی سرخوشه بیشتر می‌شود و در نتیجه شبکه ما عمر کمتری خواهد داشت (عمر شبکه در واقع همان زمان شروع به کار شبکه تا مرگ اولین گره به سبب اتمام انرژی اش می باشد). همچنین با توجه به دخالت دادن فاصله اقلیدسی در الگوریتم خود که در ادامه با هم خواهیم دید، لذا طبیعی است که هرچقدر شعاع خوشه‌ها بیشتر باشد به همان نسبت گره‌های دورتری نیز به عنوان همسایه برای خوشه موردنظر ما انتخاب می‌شوند و در نتیجه میزان مصرف انرژی نیز توسط گره سرخوشه افزایش می یابد. اولین معیاری که بررسی و تحلیل کلی نمودارهای مربوط به آن به خصوص نمودار طول عمر آن می‌پردازیم معیار برپایه درجه یا به عبارتی همان BLAC-bg است که در بخش بعدی آورده شده است.

۴-۲-۱ معیار درجه

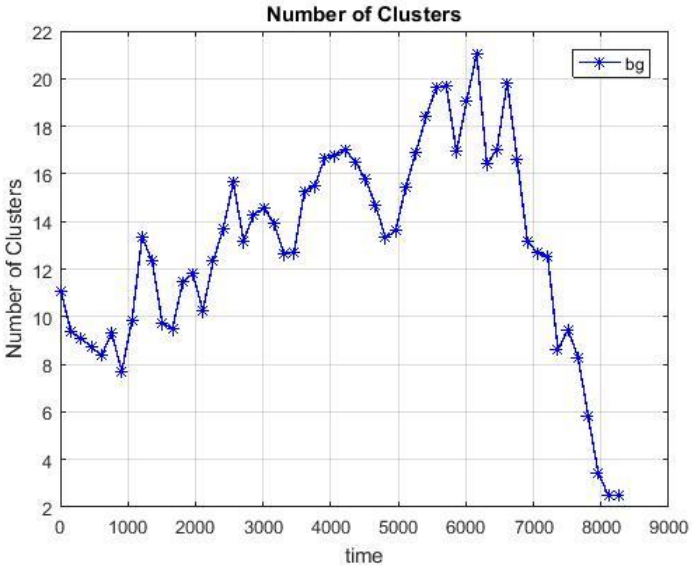
همانگونه که در فصل‌های قبل به طور کامل به آن اشاره شد، الگوریتم پایه ما با معیار درجه ترکیب شده و طول عمر نسبتا مناسبی را در قیاس با الگوریتم‌های مرسوم و متداول گذشته از خود نشان می‌دهد. اولین نموداری که می‌خواهیم به رسم و تحلیل آن بپردازیم نمودار طول عمر شبکه حسگر با استفاده از روش BLAC-bg مطابق با شکل ۴-۱ بوده و به صورت تعداد گره‌های زنده بر حسب زمان است لذا با دقت در نمودار درمی‌یابیم که شبکه حسگر ما در صورت استفاده از این معیار دارای طول عمر حدود ۵۴۲۰ ثانیه می باشد. از آن جایی که طبق تعاریف انجام شده در روش پایه ما هر ۵ ثانیه یک بار بسته های داده تولید و ارسال می‌شوند لذا تعداد دفعات تکرار الگوریتم چیزی در حدود ۱۰۸۴ بار است.



شکل۴-۱. نمودار طول عمر معیار bg

همانگونه که در نمودار شکل۴-۱ نیز مشاهده می‌نماییم روش پایه برپایه درجه، پس از مرگ شبکه نیز کماکان خوب عمل می‌کند. یعنی پس از مرگ اولین گره (یا نهایتا دو گره) نیز با تعداد حدود ۱۹۸ گره زنده تا زمان حدود ۵۸۰۰ ثانیه نیز فرم و شکل خود را حفظ کرده است که این نشان می‌دهد توزیع مصرف انرژی نسبتا عادلانه بوده است.

اگر بخواهیم عدالت در مصرف انرژی را از مناظر دیگر نیز بررسی کنیم می‌بینیم که نمودار ما در فاز کاهشی نیز شیب نسبتا خوبی را از خود نشان داده است. به عبارت دیگر اگر شیب نمودار ما در فاز کاهشی (که گره‌ها در آن تلفات زیادی دارند) کم باشد می توان ادعا نمود که توزیع انرژی به خوبی صورت نگرفته است. اما همانگونه که در فصل‌های قبل نیز به طور مفصل بیان شد، شیب نمودار ما نسبتا زیاد است و این بدان معنی است که گره‌ها تا لحظات پایانی عمر شبکه به طور متوازن مصرف انرژی را بین خود توزیع نموده‌اند و همه‌ی بار مصرف انرژی در شبکه ما به طور کامل بر دوش یک حسگر نیفتاده است. همچنین تعداد خوشه‌هایی که الگوریتم BLAC بر پایه درجه می‌سازد مطابق با شکل ۴-۲ است.



شکل۴-۲. تعداد خوشه های ساخته شده توسط معیار bg

این نمودار بیانگر آن است که شبکه مورد نظر ما به صورت میانگین در زمان‌های پایین‌تر از زمان مرگ خود یعنی ۵۴۲۰ ثانیه به طور متوسط تشکیل ۱۴ یا ۱۵ خوشه را داده است. یعنی اندازه هر خوشه به طور متوسط و پس از ۲۰۰ بار اجرای الگوریتم حدود ۱۴ گره می‌باشد. یعنی هر گره سرخوشه به صورت ایده‌آل با استفاده از این معیار، چیزی حدود ۱۴ گره را می‌تواند در خوشه خود مدیریت نماید باید این نکته را در نظر داشته باشید که ما متوسط تعداد دفعات اجرای الگوریتم را پس

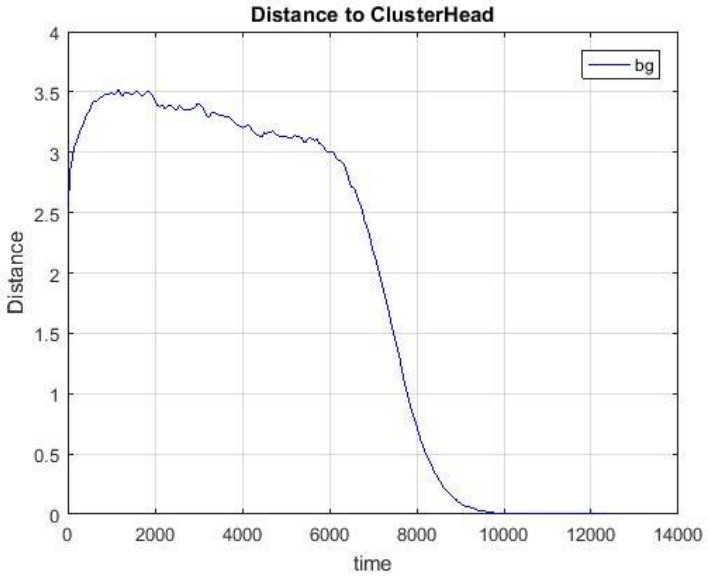
از ۲۰۰ بار به عنوان جواب خود در نظر می‌گیریم. لذا متوسط تعداد خوشه‌هایی که شبکه در هر بار می‌سازد ملاک و معیار ما برای بررسی قرار می‌گیرد.

یک شبکه حسگر در صورتی می‌تواند ادعا کند خوب عمل می‌کند که نرخ تحویل بسته‌های آن بالا باشد. به عبارت دیگر بسته‌ها در هنگام ارسال از مبدا به مقصد گم نشوند یا از بین نروند. الگوریتم BLAC در هنگام استفاده از معیار درجه چیزی در حدود ۹۳ درصد نرخ تحویل بسته دارد و آمار بسیار خوبی از خود در این زمینه نشان می دهد.

نمودار بعدی که در این بخش می‌خواهیم به بررسی آن بپردازیم میانگین فاصله گره‌ها در هر خوشه تا گره سرخوشه است. این فاصله در واقع همان تعداد گام‌هایی هست که یک بسته باید از طریق گره‌های والد خود طی کند تا از گره معمولی در خوشه به گره سرخوشه برسد و مفهوم آن مجزای از فاصله اقلیدسی است. این میانگین مطابق با منطق الگوریتم باید پس از مرگ اولین گره و پایان عمر شبکه رو به کاهش باشد. علت آن این است که پس از اتمام عمر شبکه و کم شدن تدریجی تعداد گره‌ها، سایز هر خوشه زیاد می‌شود و گره‌های بیشتری از طریق گام‌های کمتر به خوشه‌هایی که هنوز زنده هستند متصل می‌شوند و در نتیجه فاصله (گام) گره‌های معمولی موجود در شبکه تا گره سرخوشه کاهش می‌یابد.

همانگونه که در بالاتر نیز گفته شد فاصله گره‌ها تا گره سرخوشه نباید تا قبل از اتمام عمر شبکه تغییری کند، زیرا توپولوژی کلی شبکه از زمان تشکیل خوشه‌ها تا لحظه اتمام عمر شبکه به هیچ وجه تغییر نمی‌کند. اما در نمودار خود شاهد تغییرات فاصله قبل از زمان مرگ شبکه هستیم. علت این امر به خاطر آن است که در هر مرحله از اجرای الگوریتم امکان دارد که نقش سرخوشگی پذیرفته شده توسط گره‌ها تغییر یابد و لذا امکان دارد که با انتخاب یک گره سرخوشه در مرحله بعدی، خوشه جدید با اعضای جدید و تعدادهای متفاوتی نسبت به مرحله قبل تشکیل شود که میانگین فاصله آن اعضا تا گره سرخوشه جدید متفاوت از مرحله قبل باشد. همچنین میانگین فاصله گره‌ها در هر خوشه

را تا گره سرخوشه به ازای ۲۰۰ بار اجرای الگوریتم در نظر گرفته‌ایم و فقط برای یک بار اجرای الگوریتم در نظر گرفته نشده است و لذا ممکن است در تعداد دفعات مختلف در زمان‌های مختلف عمر شبکه به پایان برسد و لذا بایستی از نمودار میانگین فاصله استفاده نماییم. در شکل ۴-۳ نمودار میانگین فاصله هر گره تا گره سرخوشه را با هم مشاهده می‌کنیم:

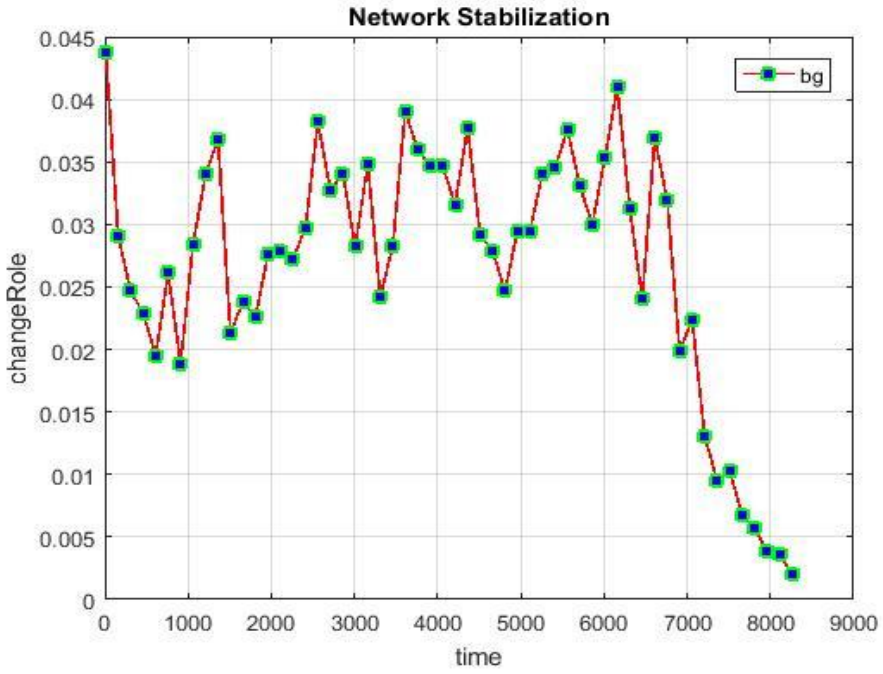


شکل۴-۳. میانگین فاصله تا سرخوشه توسط معیار bg

همانگونه که از نمودار شکل ۴-۳ نیز برمی‌آید متوسط تعداد گام‌های منتهی به گره سرخوشه از گره‌های معمولی در هر خوشه در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از روش BLAC و معیار درجه برابر با فاصله ای حدود ۳.۲۵ می‌باشد.

آخرین نموداری که می‌خواهیم در این بخش به تحلیل آن بپردازیم نمودار مربوط به پایداری سیستم است. همانگونه که گفته شد پایداری سیستم یک عامل بسیار مهم و تاثیرگذار در مقاومت الگوریتم نسبت به عوامل مخرب یا تاثیرگذار بر روی توپولوژی خوشه‌ها از قبیل وارد شدن گره جدید به سیستم یا مرگ یک گره و غیره است. به عبارت دیگر هرچقدر که تغییرات سیستم ما پس از شکل‌گیری خوشه‌ها کمتر باشد، آن سیستم پایدارتر است. به زبان ساده‌تر تغییرات نقشی که گره‌ها در یک خوشه می‌پذیرند (گره معمولی یا گره سرخوشه شدن) می‌تواند یک معیار مناسب جهت بررسی

سیستم از لحاظ اجازه دادن برای ایجاد تغییرات باشد. شکل ۴-۴ نمودار مربوط به پایداری سیستم با استفاده از روش BLAC-bg را نشان می‌دهد:

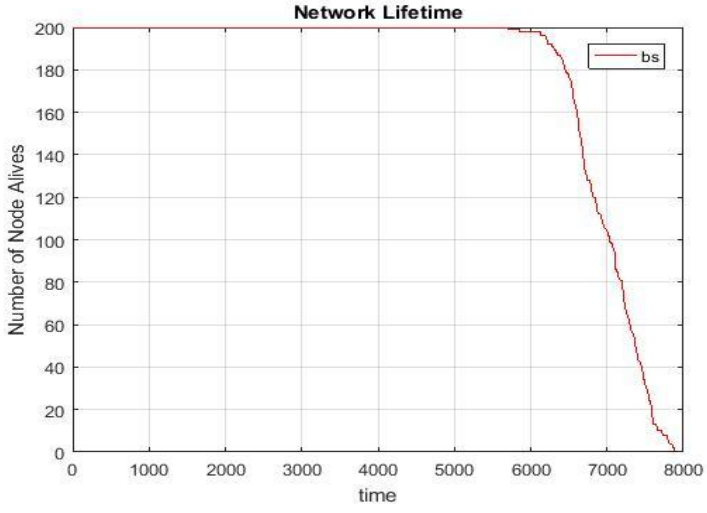


شکل۴-۴. نمودار پایداری شبکه با استفاده از معیار bg

همانگونه که در نمودار شکل ۴-۴ نیز مشاهده می‌شود میانگین پایداری سیستم با استفاده از معیار درجه تا قبل از مرگ شبکه حدودا برابر با ۰.۰۳ می‌باشد. به بیان ساده‌تر متوسط تغییرات نقش گره‌ها در خوشه حدودا برابر با ۰.۰۳ می‌باشد که این بدان معنی است که در هر ۱۰۰ مرحله از جلو رفتن الگوریتم بر روی یک توپولوژی خاص حدود ۳ بار نقش گره‌های موجود در خوشه عوض شده است. برای درک بهتر مقادیر بدست آمده و نمودارها لازم است تا این مقادیر بدست آمده با معیارهای بعدی مقایسه گردند. بنابراین در بخش بعدی به تحلیل نمودارهای الگوریتم BLAC بر اساس معیار تراکم خواهیم پرداخت.

۴-۲-۲ معیار تراکم

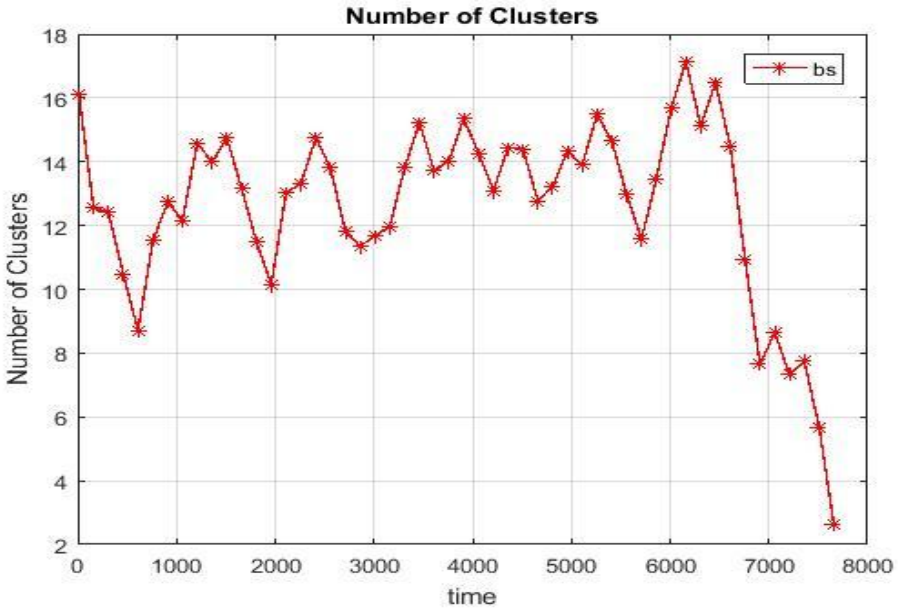
در این بخش به تحلیل نمودارهای الگوریتم پایه با استفاده از معیار تراکم یا چگالی خواهیم پرداخت. این معیار که به صورتی ترکیبی از درجه هر گره موجود در شبکه و تعداد اتصالات همسایه‌های آن گره به وجود آمده است مطابق با شکل ۴-۵ طول عمر بسیار خوبی را حتی در قیاس با بعضی معیارهای ترکیب شده با الگوریتم BLAC که در جلوتر به تحلیل نمودارهای آن می‌پردازیم از خود نشان می‌دهد. در شکل ۴-۵ نمودار طول عمر مربوط به این معیار را با هم مشاهده می‌نماییم که میانگین ۲۰۰ بار اجرای الگوریتم BLAC-bs بر روی توپولوژی‌های تصادفی مختلف می باشد:



شکل۴-۵. نمودار طول عمر شبکه با استفاده از معیار bs

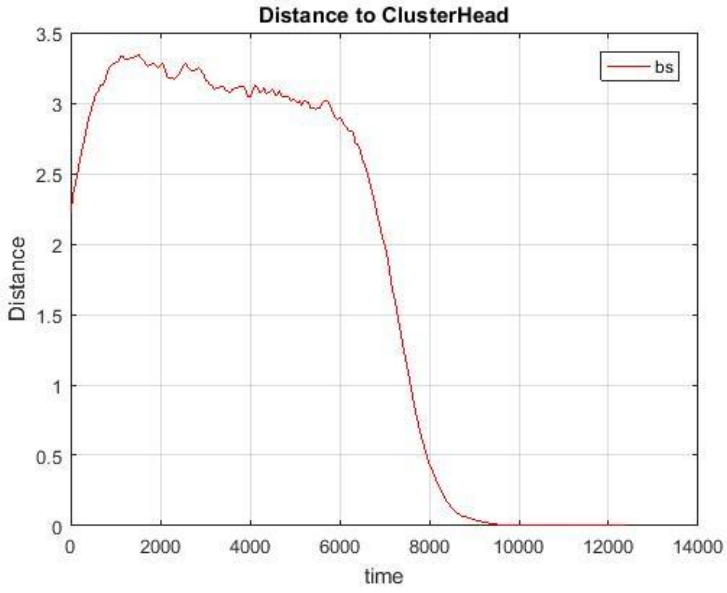
مطابق با شکل ۴-۵ طول عمر شبکه با استفاده از این معیار به طور میانگین چیزی در حدود ۵۷۰۰ ثانیه می‌باشد که درقیاس با الگوریتم پایه با استفاده از معیار درجه طول عمر نسبتا بهتری را از خود نشان می‌دهد. همچنین متوسط تعداد خوشه‌هایی که این معیار در حین اجرای الگوریتم می‌سازد مطابق با نمودار شکل ۴-۶ است. این نمودار به طور میانگین و به طور تقریبا مشابه با معیار درجه، تا قبل از زمان متوسط به پایان رسیدن عمر شبکه حدودا ۱۳-۱۴ یا سرخوشه انتخاب می‌کند (یا به عبارتی ۱۳-۱۴ خوشه تشکیل می‌دهد) و لذا اندازه هر خوشه به طور متوسط با ۱۴ یا ۱۵ عدد گره تعیین می‌شود. یعنی به صورت ایده‌آل هر گره سرخوشه تا قبل از زمان مرگ شبکه می‌تواند حدود

۱۵ گره را مدیریت کند. همانگونه که بیان شد نمودار ما برای ۲۰۰ بار اجرای الگوریتم و به صورت میانگین رسم شده است.



شکل۴-۶. تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار bs

متوسط تعداد گام‌هایی که با استفاده از این معیار برای رسیدن بسته از مبدا به مقصد لازم است برای ۲۰۰ بار اجرای این الگوریتم بر روی توپولوژی‌های مختلف به صورت نمودار شکل ۴-۷ بیان می‌شود که تعداد آن گام‌ها به صورت حدودی کمی بیشتر از ۳ می‌باشد.

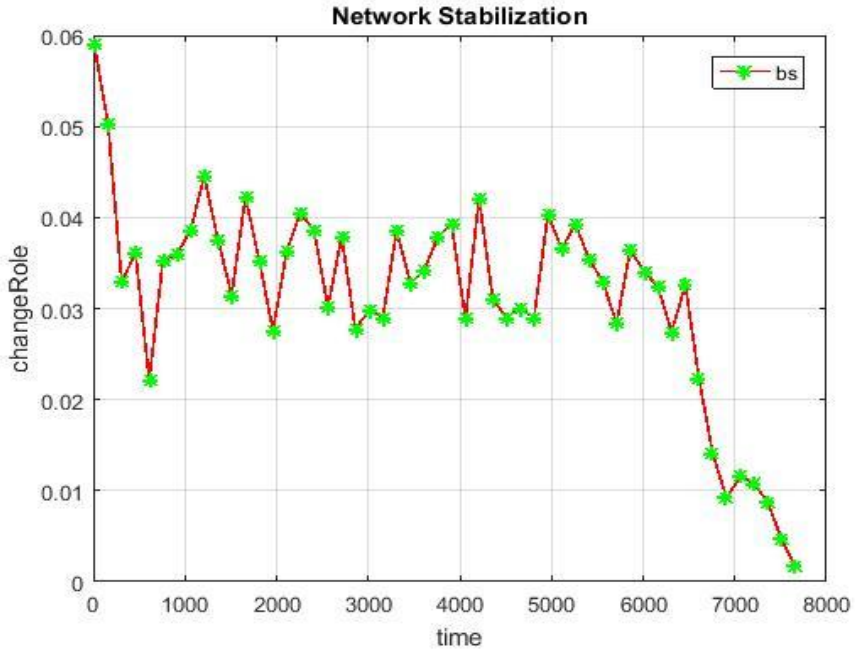


شکل۴-۷. متوسط فاصله تا گره سرخوشه‌ها با استفاده از معیار bs

مقدار بدست آمده برای فاصله تا گره سرخوشه به معنی این است که یک بسته ارسالی از گره مبدا به طور متوسط با استفاده روش BLAC-bs باید چند گام طی کند تا خود را به گره سرخوشه برساند.

همچنین گفتیم که نرخ تحویل بسته یک موضوع مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که بیان می‌کند میزان درست به مقصد رسیدن بسته‌ها به طور متوسط چقدر می‌تواند باشد که نتایج حاصل از آن در این معیار، بسیار مناسب بوده و تحویل بسته الگوریتم پایه با استفاده از معیار تراکم، نرخ بسیار خوبی را از خود نشان می دهد که حدود ۹۲.۸ درصد می‌باشد.

پایداری سیستم یا همان تعداد دفعاتی که نقش گره‌ها در یک خوشه عوض می‌شود از پارامترهای مهمی است که یک الگوریتم خوب باید تا حد مناسبی آن را حفظ کند. الگوریتم BLAC با استفاده از معیار تراکم مطابق با شکل ۴-۸ به طور میانگین پایداری و ثبات خوبی در حد ۰.۰۴ از خود نشان می‌دهد. همانگونه که در روش برپایه تراکم نیز بیان کردیم عدد ۰.۰۴ بدان معنی است که به طور متوسط به ازای هر ۱۰۰ مرحله‌ای که با یکبار اجرای الگوریتم پیش می‌رویم تعویض نقش‌ها در هر خوشه حدود ۴ بار انجام می‌گیرد.



شکل۴-۸. متوسط پایداری شبکه با استفاده از معیار bs

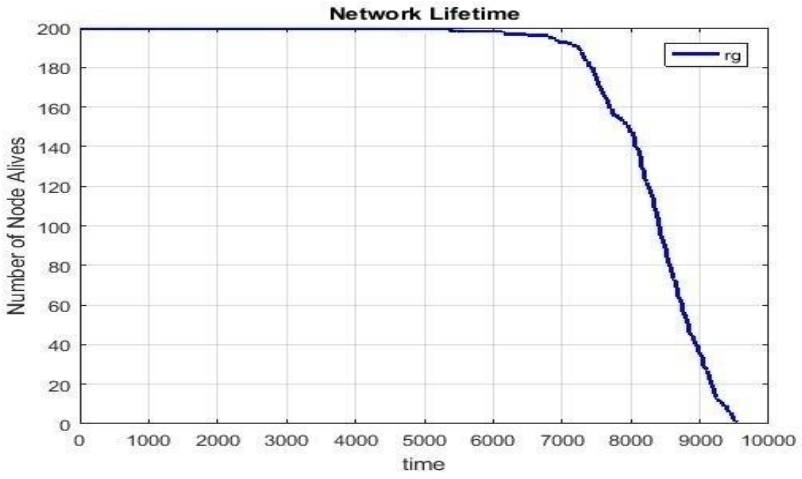
حال که مفاهیم و نمودارهای مربوط به روش‌های برپایه تراکم و درجه را به طور کامل تحلیل و بررسی نمودیم نوبت به آن است که الگوریتم BLAC را برای معیارهای تراکم و درجه نیز با استفاده از گراف کاهش یافته بررسی نماییم. البته همانگونه که در فصل‌های قبل نیز بیان نمودیم برای اینکه مقایسه‌های ما به صورت منصفانه انجام گیرد، معیارهای ترکیبی که و همچنین سایر معیارهایی که با الگوریتم BLAC ادغام و ایجاد نموده‌ایم (از قبیل Node Ranking و WBCAها و غیره) را با توپولوژی‌های کامل که الگوریتم BLAC بر روی آن‌ها اجرا گشته است (یعنی bg و bs) مقایسه می‌نماییم و مقایسه‌ها را با گراف کاهش یافته انجام نمی‌دهیم.

۴-۲-۳ گراف کاهش‌یافته بر اساس معیار تراکم و درجه

از روش‌هایی که تاکنون نمودارهای آن و مفاهیم آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند روش پایه بر اساس معیار درجه و تراکم بود. اما لازم است تا جهت کامل نمودن بررسی‌های خود و عمیق شدن بر روی جزییات الگوریتم BLAC نمودارهای مربوط به دو متغیر دیگر آن را رسم کنیم. به عبارت دیگر در این بخش می‌خواهیم به بررسی و تحلیل نمودارهای الگوریتم BLAC با استفاده از گراف کاهش

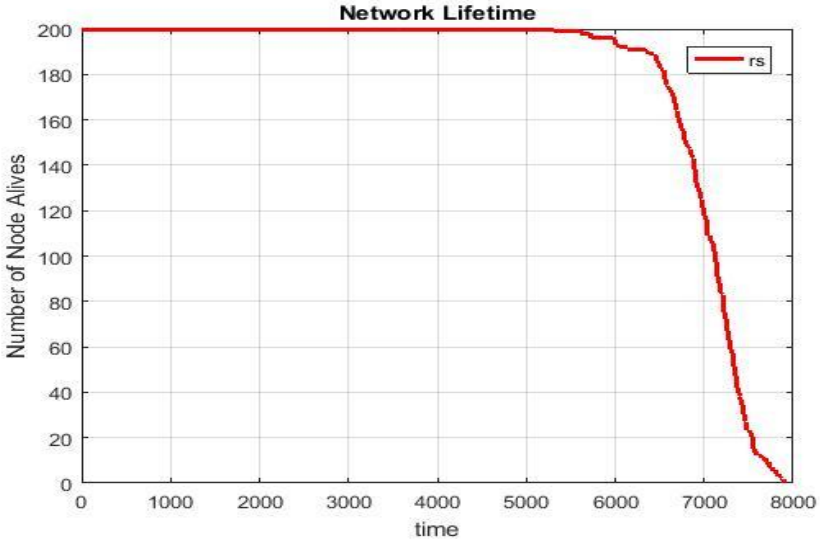
یافته و بر اساس معیارهای درجه و تراکم که در فصول و بخش‌های قبل به طور کامل و مفصل به توضیح آن‌ها پرداختیم، اهتمام بورزیم. همانگونه که بارها نیز بیان شد مطالب و نمودارهای گفته شده در این بخش صرفا برای کامل نمودن کار پژوهشی خود بوده و مقایسه‌های کلی با معیارهای دیگر با توپولوژی کامل از شبکه حسگر انجام می‌شود.

مطابق با روال بخش‌های قبل اولین چالشی که باید الگوریتم پایه ما بر آن غلبه کند طول عمر شبکه است. نمودارهای طول عمر مربوط به گراف کاهش‌یافته بر اساس معیار تراکم (BLAC-rs) و معیار درجه (BLAC-rg) تفاوت چشمگیری با حالت عادی یعنی BLAC-bs و BLAC-bg ندارند و تنها تفاوت آن‌ها در کاهش فضای تخصیص یافته برای گراف شبکه می‌باشد. نمودار طول عمر مربوط به الگوریتم BLAC-rg را در شکل ۴-۹ را مشاهده می‌کنیم که مقدار عمر آن در حدود ۵۲۵۰ ثانیه است و تقریبا می‌توان گفت که شبیه BLAC-bg عمل می‌کند.



شکل۴-۹. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار rg

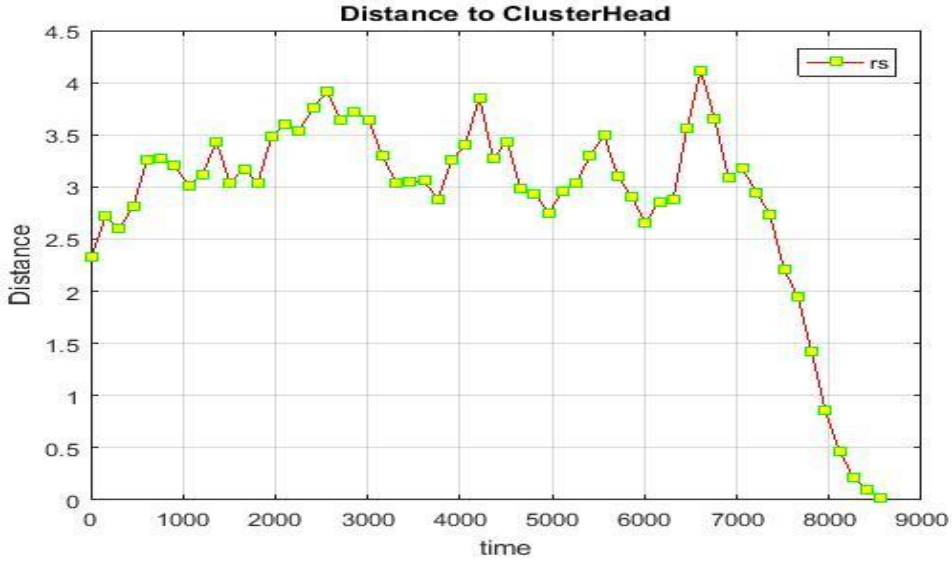
همچنین نمودار طول عمر نسخه الگوریتم پایه کاهش یافته بر اساس تراکم به صورت شکل ۴-۱۰ می‌باشد:



شکل۴-۱۰. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار rs

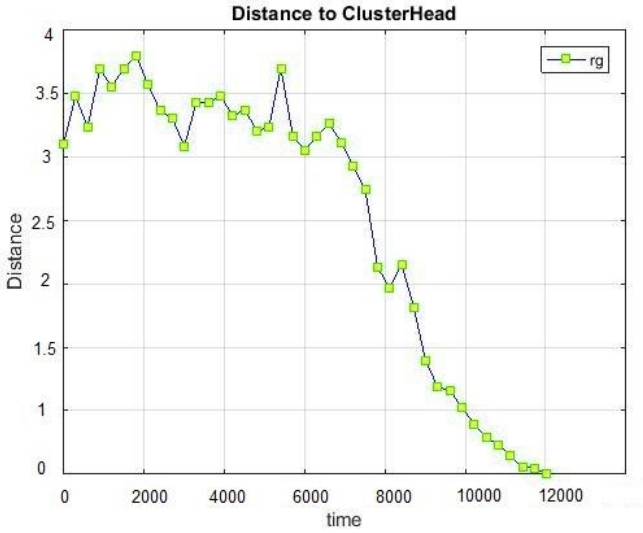
که طول عمر آن به طور میانگین تقریبا نزدیک به ۵۳۳۰ می‌باشد که می‌توان اینگونه بیان نمود که با الگوریتم BLAC-bg و یا BLAC-rg در یک محدوده از نظر طول عمر قرار دارد.

دومین چالشی که ما در این بخش به رسم و تحلیل نمودارهای آن می‌پردازیم، نمودار متوسط فاصله هر گره تا گره سرخوشه بوده که مطابق با شکل ۴-۱۱ است. این نمودار بدان علت به این صورت رسم شده و با نمودارهای فاصله تا گره سرخوشه که در روش پایه در مراحل قبلی رسم می‌شد، متفاوت است که در نمودارهای قبلی مربوط به فاصله تا گره سرخوشه ما برای درک و فهم بهتر هر سی قدم از تغییرات را یکبار (به طور متوسط) رسم می‌نمودیم تا از پیچیدگی موضوع جلوگیری کنیم. اما در اینجا برای الگوریتم‌های کاهش یافته BLAC، هر ده گام اجرای الگوریتم را نمونه‌برداری کردیم تا بتوانیم تحلیل دقیقتر و ریزتری داشته باشیم. شکل ۴-۱۱ میانگین تعداد گام گره‌ها تا سرخوشه را نشان می‌دهد.



شکل۴-۱۱. متوسط تعداد گام‌های شبکه با استفاده از معیار rs

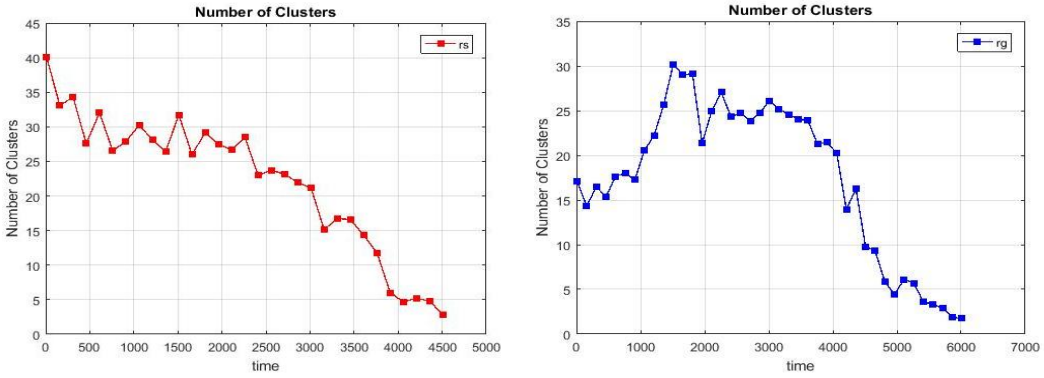
این مقدار به صورت حدودی بیشتر از ۳.۵ و نزدیک به عدد ۴ می‌باشد همچنین به طور مشابه برای الگوریتم BLAC-rg مطابق با شکل ۴-۱۲ خواهیم داشت:



شکل۴-۱۲. متوسط تعداد گام‌های شبکه با استفاده از معیار rg

همانطور که مشاهده می‌شود تعداد گام‌ها در شکل ۴-۱۲ قابل تشخیص بوده و به طور میانگین نزدیک به عدد ۳ است و بررسی‌های بعدی نشان داد که این عدد بنا به نحوه توپولوژی شبکه ممکن است تا متوسط تعداد قدم ۴.۵ نیز بالا برود. همانگونه که در شکل۴-۱۳ نیز مشاهده می‌کنیم تعداد خوشه‌هایی که این دو معیار می‌سازند بسیار بیشتر (در بعضی مقاطع حتی تا ۲ برابر) از حالت معمولی

این الگوریتم بوده که این امر باعث کوچکتر شدن متوسط اندازه هر خوشه شده و مطابق با مطالب گفته شده عمر شبکه را ممکن است تا حدی کاهش دهد.



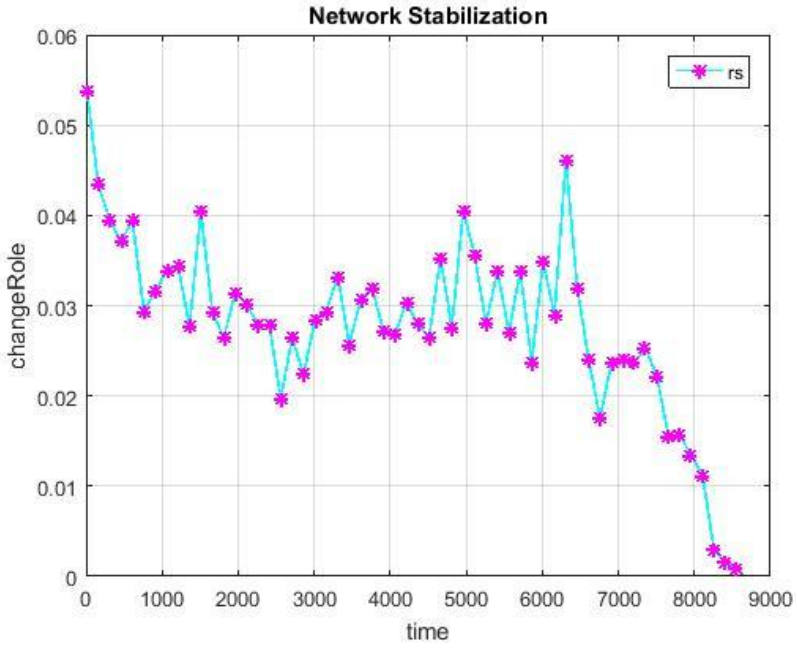
شکل۴-۱۳. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده توسط معیار rg وrs

نرخ تحویل بسته‌ها نیز گفتیم که از عوامل مهم و تاثیرگذار در خوب بودن یا ضعیف عمل کردن یک الگوریتم برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. در معیارهای کاهش‌یافته با توجه به اینکه به علت حذف شدن یال‌های مخاطره آمیز، ممکن است که گاها بسته‌ها از مسیر طولانی‌تری خود را به مقصد می‌رسانند لذا این امکان وجود دارد که میانگین تعداد بسته‌های گم شده در مسیر برای هر خوشه افزایش یابد و در نتیجه نرخ تحویل بسته‌ها اندکی پایین بیاید. در شکل ۴-۱۴ میانگین نرخ تحویل داده‌ها را برای دو روش BLAC-rg و BLAC-rs مشاهده می‌کنیم:

شکل۴-۱۴. میانگین نرخ تحویل بسته‌ها توسط معیار rg وrs

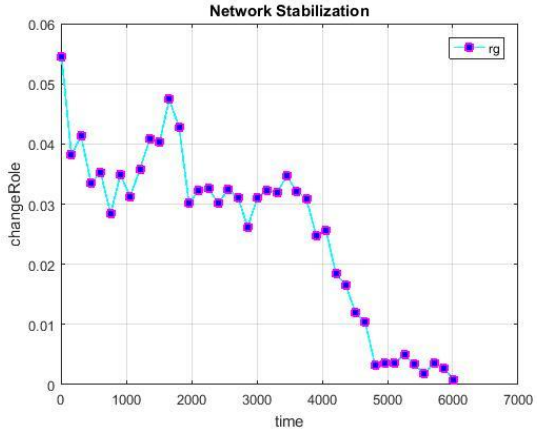
در پایان این قسمت به بررسی نمودارهای پایداری یا ثبات دو معیار کاهش یافته خود می‌پردازیم. یعنی می‌خواهیم ببینیم متوسط تعداد تعویض نقش گره‌ها در هر خوشه با استفاده از روش BLAC در

گراف کاهش یافته چقدر می‌تواند باشد. مطابق با شکل ۴-۱۵ میزان پایداری سیستم برای الگوریتم BLAC-rs به طور متوسط در حین اجرای الگوریتم برای ۲۰۰ بار اجرا، قبل از مرگ شبکه برابر با حدود ۰.۰۳ است که بدان معنی است که در هر ۱۰۰ مرحله از اجرای الگوریتم بر روی یک توپولوژی تقریبا ۳ بار در هر خوشه تعویض نقش (بین گره سرخوشه بودن و گره معمولی بودن) داشتیم که از نظر میزان پایداری می‌توان اینگونه بیان نمود که سیستم دارای ثبات خوبی است.



شکل۴-۱۵. متوسط پایداری سیستم با استفاده از معیار rs

همچنین تعداد تعویض نقش گره‌ها برای الگوریتم BLAC-rg قبل از زمان مرگ شبکه به طور متوسط بین ۳ تا ۴ تعویض در هر خوشه است که مطابق با نمودار رسم شده در شکل ۴-۱۶ است.

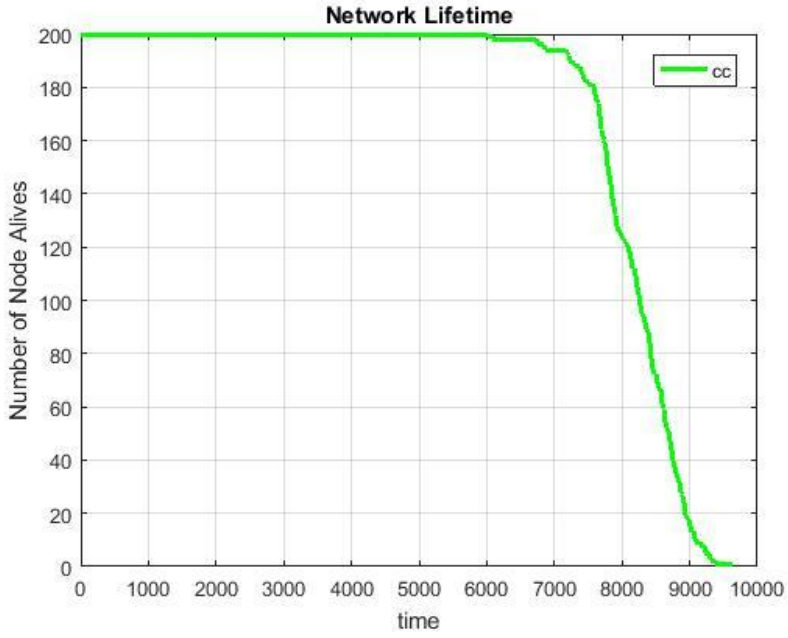


شکل۴-۱۶. متوسط پایداری سیستم با استفاده از معیار rg

اکنون که به طور کامل معیارها و متغیرهای الگوریتم پایه یعنی BLAC را بررسی کردیم و نمودارهای مربوط به متغیرهای معمولی و متغیرهای مربوط به گراف کاهش‌یافته را از جنبه‌های مختلف مورد پژوهش قرار دادیم، نوبت به بررسی معیارهایی است که از ایده الگوریتم BLAC در آن‌ها استفاده شده است و به نوعی با توجه به ساختاری که دارند با الگوریتم BLAC ادغام گشته‌اند و به نوبه خود بهبودی بر طول عمر الگوریتم پایه BLAC و یا گاها بهبودی بر سایر فاکتورهای الگوریتم BLAC محسوب می‌گردند که در بخش‌های بعدی به تحلیل نمودارهای آن‌ها می‌پردازیم.

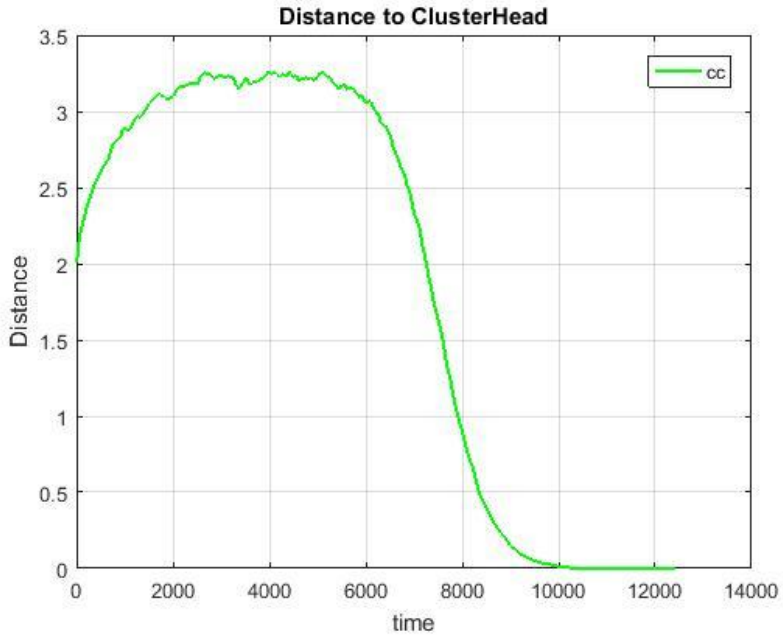
۴-۲-۴ معیار ضریب خوشه‌بندی

در این قسمت به تحلیل نمودارهای الگوریتم BLAC که با ضریب خوشه‌بندی محلی ترکیب شده است می‌پردازیم. مطابق با روال کلی این پژوهش اولین چالشی که یک معیار باید با آن مقابله کند، مربوط به طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم در صورت استفاده از آن معیار است. معیار مطرح شده در این قسمت که در فصول قبلی به طور کامل به توضیح مقدمات آن و خود آن پرداختیم با میزان انرژی گره‌ها (مطابق با روال الگوریتم BLAC) ترکیب شده است و طول عمر آن مطابق با شکل ۴-۱۷ بوده که حدودا ۶۰۵۰ ثانیه است. این نمودار بیانگر آن است که در صورت ترکیب نمودن ضریب خوشه‌بندی محلی با الگوریتم BLAC می‌توان نسبت به متغیرهای(معیارها) اصلی الگوریتم BLAC که درجه و تراکم می‌باشند، بهبودی نسبی برای طول عمر مشاهده کرد. همانگونه که در گذشته نیز بیان شد لازم به تاکید مجدد است که ما معیارهای ادغام شده با BLAC را با bs و bg مقایسه می‌کنیم که توپولوژی کاملی تا انتهای عمر شبکه دارند و مقایسه‌های خود را به علت کاهش توپولوژی شبکه (در راستای عادلانه بودن مقایسه) با الگوریتم BLAC ای که از گراف کاهش‌یافته استفاده می‌کند، انجام نمی‌دهیم.



شکل۴-۱۷. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی

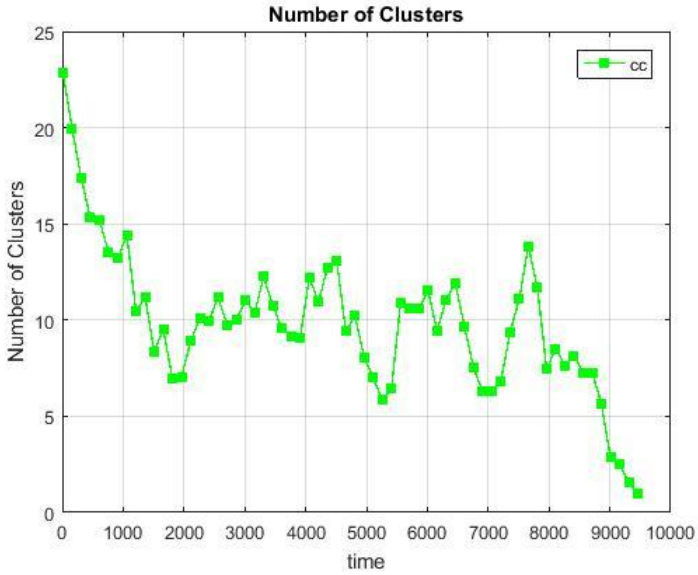
پس از بررسی طول عمر شبکه حسگر با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی اکنون نوبت به تحلیل نمودار مربوط به متوسط تعداد گام‌های گره‌های معمولی تا گره سرخوشه (در هر خوشه) می‌باشد. این نمودار به صورت شکل ۴-۱۸ است:



شکل۴-۱۸. متوسط تعداد گام‌ها تا مقصد با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی

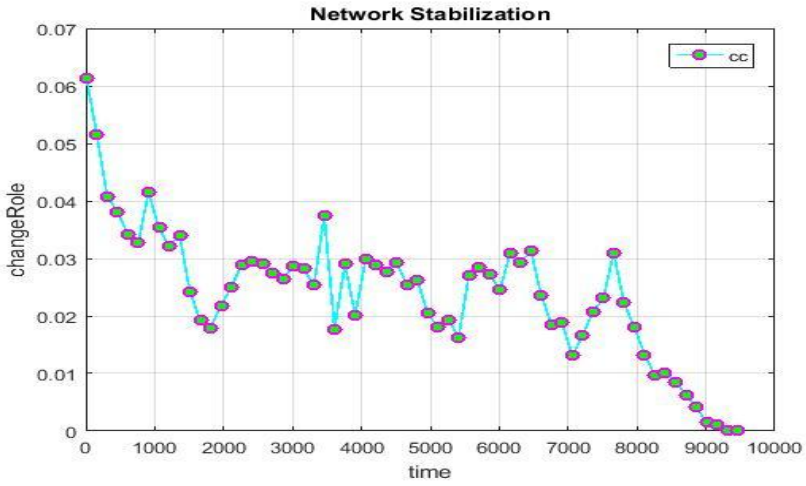
همانگونه که در شکل ۴-۱۸ نیز ملاحظه می‌کنید، متوسط فاصله (گام) تا گره سرخوشه به طور حدودی برابر با ۳.۲۵ تا قبل از به پایان رسیدن عمر شبکه با استفاده از این معیار می‌باشد. همچنین این معیار میانگین نرخ تحویل بسته خوبی از خود نشان می‌دهد که برابر با ۹۲ درصد است. به عبارت دیگر امکان تحویل بسته بسیار زیاد بوده و بسته‌ها به میزان میانگین ۹۲ درصد در مسیر گم یا تلف نمی شوند.

در ادامه تحلیل نمودارهای این بخش به بررسی نمودار مربوط به تعداد خوشه‌های ساخته شده توسط این معیار می‌پردازیم. تعداد این خوشه‌ها با توجه به شکل ۴-۱۹ کمتر از معیارهای الگوریتم BLAC پایه یعنی bg و bs است و به طور میانگین چیزی در حدود ۱۲ خوشه را به ازای اجرای الگوریتم بر روی یک توپولوژی خاص می‌سازد. در این معیار با این که تعداد خوشه‌ها کم ولی اندازه هر خوشه زیاد است اما طول عمر خوبی را از خود نشان داده است. علت آن استفاده از ضریب خوشه‌بندی محلی و همچنین کم بودن تعداد سرخوشه‌های موجود در کل شبکه است که مصرف کلی انرژی را پایین می‌آورد. درست است که در این معیار اندازه هر خوشه زیاد شده است اما به نظر می‌رسد در این معیار یک مصالحه خوبی بین اندازه خوشه‌ها و تعداد خوشه‌ها با استفاده از ضریب محلی خوشه‌بندی برای شبکه حسگر به وجود آمده است که عمر شبکه را نسبت به معیار bg یا گاها bs بهبود بخشیده است. شکل ۴-۱۹ نشان‌دهنده متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از روش BLAC با معیار ضریب خوشه‌بندی محلی است.



شکل۴-۱۹. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی

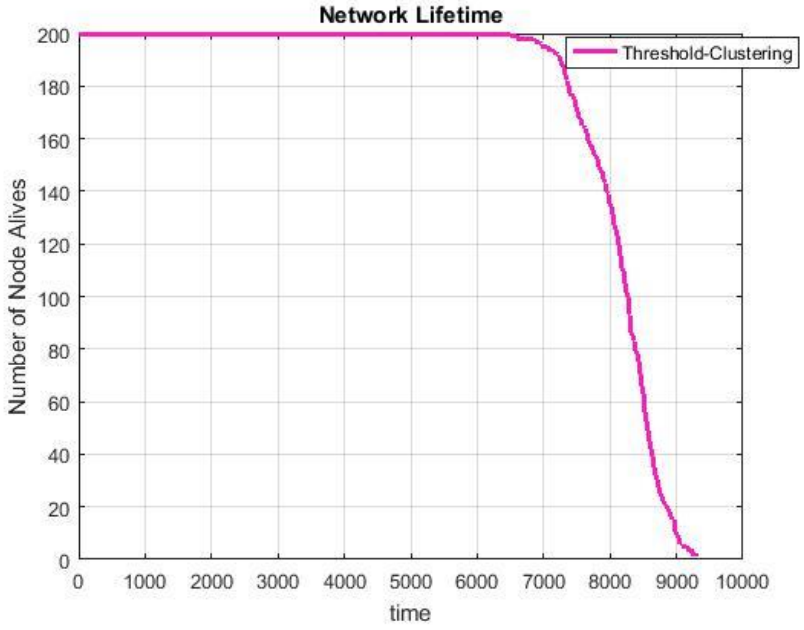
در پایان این بخش نیز به تحلیل نمودار ثبات و پایداری معیار ضریب خوشه‌بندی ادغام شده با الگوریتم BLAC می‌پردازیم. مطابق با شکل ۴-۲۰ مقدار متوسط پایداری سیستم یا شبکه حسگر بی‌سیم ما در صورت استفاده از این نوع معیار برابر با ۳ درصد است. یعنی در هر ۱۰۰ مرحله از اجرای الگوریتم بر روی یک توپولوژی حدود ۳ بار تعویض نقش داریم که این موضوع نشان از پایداری خوب سیستم شبکه بی‌سیم ما در صورت استفاده از این معیار پیشنهادی (یعنی ضریب خوشه بندی محلی) است.



شکل۴-۲۰. متوسط پایداری شبکه با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی

۴-۲-۵ معیار خوشه‌بندی با آستانه

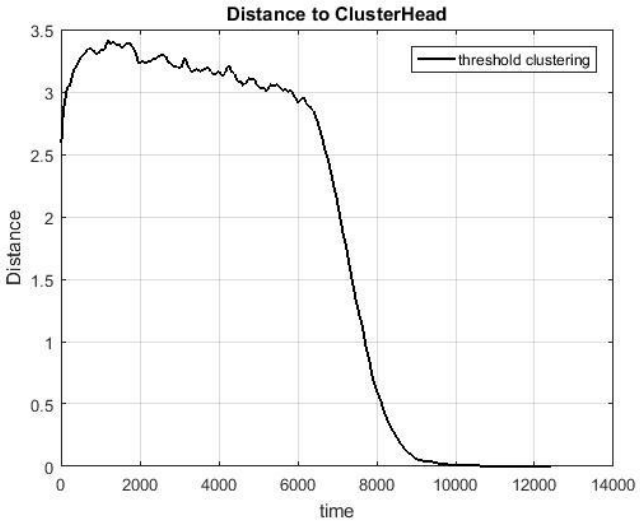
همانطور که در توضیحات خوشه‌بندی با آستانه نیز گفتیم این معیار یک معیار معمولی است که فرمول ساده‌ای نیز دارد اما نتایج حاصل از آن بسیار خوب است. به گونه‌ای که علیرغم سادگی با بسیاری از معیارهای پیچیده در زمینه طول عمر و همچنین نرخ تحویل بسته‌ها رقابت می‌کند. این معیار که در بخش مربوطه به طور کامل بیان شد و نحوه ادغام آن با الگوریتم BLAC نیز بازگو شد. اولین نمودار در این بخش مطابق روال کلی پژوهش نمودار طول عمر این معیار است که اولین چالش ما نیز محسوب می‌شود و معیار پیشنهادی باید بتواند بر آن به خوبی غلبه نماید. نمودار مربوط به شکل ۴-۲۱ طول عمر این معیار را نشان می‌دهد که بیانگر آن است که این روش علیرغم سادگی دارای بسیار خوب از نظر طول عمر می‌باشد.



شکل۴-۲۱. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه

مطابق با نمودار رسم شده در بالا عمر متوسط شبکه حسگر با استفاده از این معیار برابر ۶۵۰۰ ثانیه می‌باشد که در قیاس با الگوریتم BLAC-bg و BLAC-bs و حتی معیار ضریب خوشه‌بندی محلی ادغام شده با الگوریتم BLAC از طول عمر بیشتری برخوردار است.

همچنین متوسط تعداد قدم‌ها یا گام‌هایی که بین گره معمولی و گره سرخوشه (در هر خوشه) در این معیار وجود دارد مطابق با نمودار شکل ۴-۲۲ است.

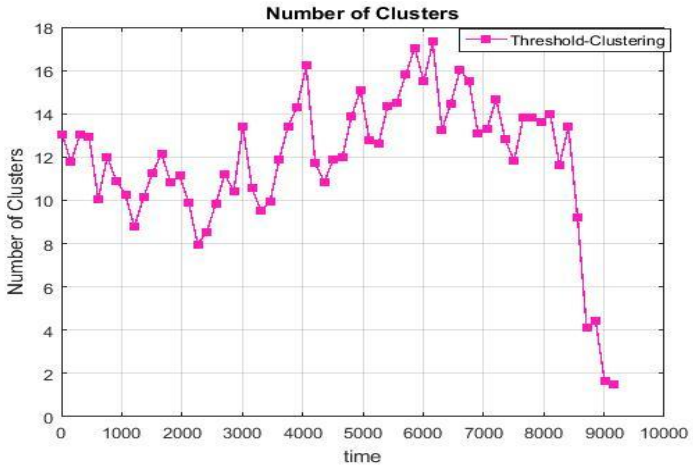


شکل۴-۲۲. متوسط تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه

این نمودار بیانگر آن است که معیار مورد نظر نیز همانند اغلب معیارهایی که تاکنون بررسی کردیم دارای متوسط گام ۳.۲۵ از مبدا به مقصد تا قبل از زمان مرگ شبکه می‌باشد و همانند معیارهای بررسی شده تاکنون دارای اندازه گام معقول است.

تعداد متوسط خوشه‌هایی که در هر بار اجرای الگوریتم با استفاده از این معیار در شبکه حسگر بی‌سیم ما ساخته می‌شود چیزی در حدود ۱۴ یا ۱۵ خوشه از زمان شروع به کار شبکه تا قبل از اتمام عمر شبکه می‌باشد که مطابق با نمودار شکل ۴-۲۳ است. با توجه به اینکه این تعداد خوشه باعث می‌شود تا تقریبا ۱۴ گره در هر خوشه داشته باشیم لذا در مقایسه با اندازه خوشه معیارهای قبلی به نظر می‌آید که در حد خوبی قرار دارد و یکی از علت‌های تاثیرگذار در افزایش عمر شبکه همین تعداد خوشه‌های مناسب و به جا است. البته همانگونه که بارها و بارها نیز ذکر شد این دلیل کافی نیست و باید یک مصالحه خوب و منطقی بین تعداد خوشه‌ها و اندازه هر خوشه در شبکه حسگر بی سیم وجود داشته باشد. همچنین باید این نکته را در نظر داشته باشیم که برای یافتن آستانه ما از یک کسر استفاده نمودیم که مخرج آن تعداد خوشه‌های بهینه برای شبکه با استفاده از روش BLAC بود.

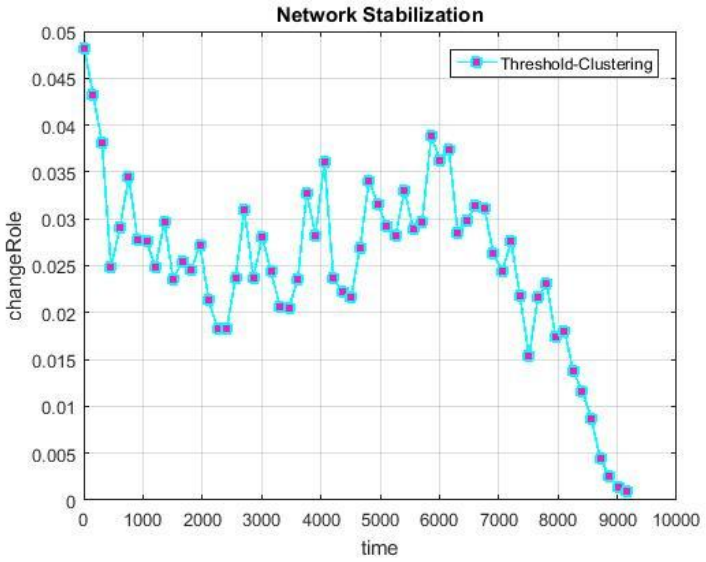
ما در فصل ۳-۸ به طور کامل روابط ریاضی آن را توضیح دادیم، اما به صورت مختصر لازم به ذکر است که تعداد خوشه‌های بهینه برای شبکه ۱۸ در نظر گرفته شده بود که با آزمون و خطا (برای داشتن طول عمر بهتر) بدست آمده بود. گفتیم که الگوریتم BLAC بدون استفاده از گراف کاهشی از میانگین بین ۱۴ تا ۲۴ (برای متغیرهای مختلفش) خوشه استفاده می‌کند که ما با استفاده از روش آزمون و خطا و به صورت تجربی به عدد ۱۸ دست یافتیم. به عنوان مثال با قرار دادن تعداد خوشه ۱۶ در مخرج کسر مورد نظر برای محاسبه حد آستانه، میانگین طول عمر شبکه ما در حدود ۶۰۸۰ ثانیه شد. همچنین با قرار دادن تعداد خوشه ۲۳ به میانگین طول عمر شبکه در حدود ۶۱۸۰ ثانیه رسیدیم. با قرار دادن عدد ۱۸ در مخرج کسر برای محاسبه حد آستانه توانستیم به یک طول عمر خوب دست پیدا کنیم. ذکر این نکته ضروری است که عدد ۱۸ به معنی متوسط تعداد خوشه‌هایی که به ازای اجراهای مختلف از این معیار بدست می‌آید نیست و فقط عدد ایده‌آل بدست آمده با استفاده از روش تجربی است که برای محاسبه حد آستانه استفاده می‌گردد. نموداری که در زیر مشاهده می‌کنید یعنی شکل ۴-۲۳، نمودار متوسط تعداد خوشه‌هایی است که این معیار با در نظر گرفتن عدد ۱۸ به عنوان تعداد خوشه‌های ایده‌آل برای بدست آوردن پارامتر آستانه، رسم گردیده است.



شکل۴-۲۳. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه

پس از رسم نمودار مربوط به متوسط تعداد گام‌ها از گره معمولی تا گره سرخوشه در بالا، به پایداری سیستم در این معیار می‌پردازیم و نموداری برای آن ارائه می‌دهیم. با توجه به شکل ۴-۲۴ می‌توان به

این نتیجه رسید که متوسط تعویض نقش گره‌ها در یک خوشه از شبکه تا حد مناسبی منطقی و درست بوده و تعویض بی رویه نقش گره‌ها را شاهد نیستیم.



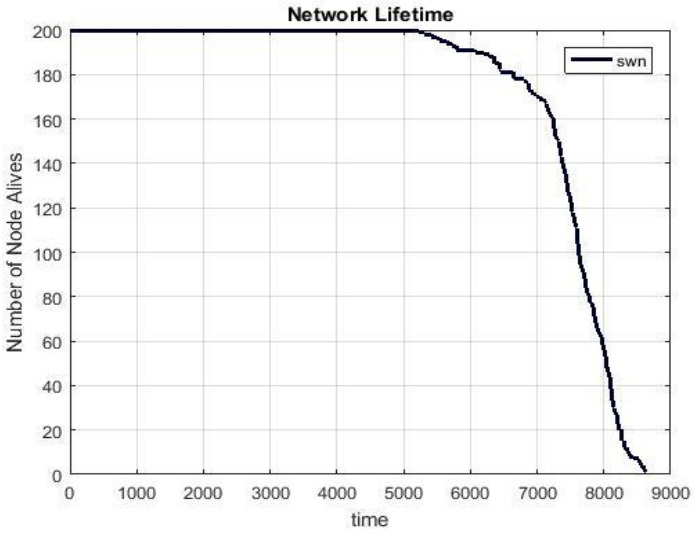
شکل۴-۲۴. متوسط میزان پایداری شبکه با استفاده از معیار خوشه‌بندی با آستانه

در انتهای این بخش نیز مقدار مربوط به متوسط نرخ تحویل بسته برای معیار خوشه‌بندی با آستانه را بیان می‌کنیم که بیانگر آن است که نرخ تحویل بسته از مبدا به مقصد در این معیار بسیار مناسب بوده و بسته‌ها تا حد بسیار خوبی در شبکه حسگر بی‌سیم با حرکت کردن از مبدا تا گره سرخوشه (مقصد) گم یا تلف نمی‌شوند. (نرخ تحویل حدود ۹۲ درصد)

۴-۲-۶ مدل شبکه جهانی کوچک

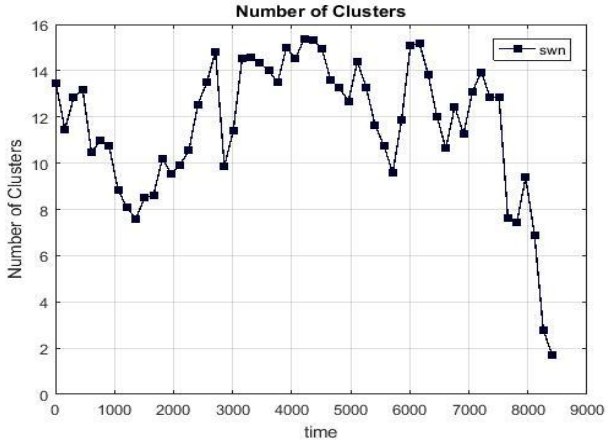
همانطور که در بخش ۳-۱۰ نیز به طور مفصل به توضیح این مدل از شبکه‌ها پرداختیم، بیان نمودیم که هدف از خوب بودن یک معیار معرفی شده و یا بهبود آن نسبت به الگوریتم پایه BLAC لزوما طول عمر بیشتر آن نسبت به الگوریتم BLAC نیست. بلکه داشتن پارامترهایی مثل پایداری یا نرخ تحویل مناسب یا حتی داشتن شیب نسبتا زیاد در فاز کاهشی نیز می‌تواند دلیلی بر بهبود الگوریتم پایه با استفاده از معیار پیشنهادی باشد.

همچنین در آن بخش گفتیم که شبکه جهانی کوچک در صورت لزوم یا برقراری شرایط خاص خود مسیرهایی را به عنوان میانبر می‌سازد و از این طریق از ازدیاد گام‌ها از مبدا به مقصد (گره سرخوشه) جلوگیری به عمل می‌آورد. این معیار همچنین از کنترل تعداد گام‌ها (ساختن میانبر در مسیرها) کمک شایانی به گم نشدن بسته‌ها و داشتن درصد بالا در نرخ تحویل بسته می‌کند. به هرحال مطابق روال اصلی پژوهش اولین چالشی که بایستی برای آزمودن خوبی الگوریتم پشت سر گذاشته شود، مربوط به طول عمر شبکه می‌باشد که نموداری مطابق با شکل ۴-۲۵ دارد.



شکل۴-۲۵. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک

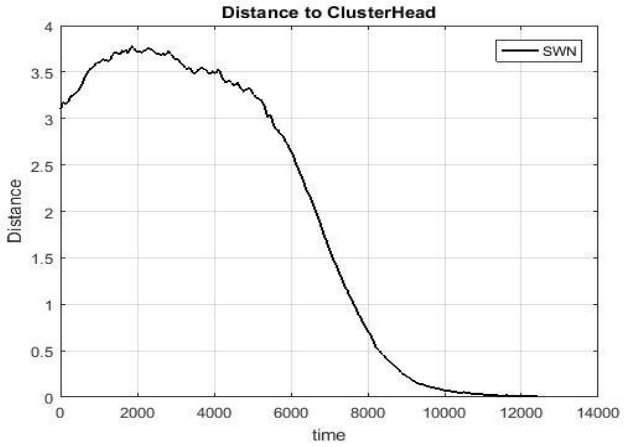
نمودار مربوط به متوسط طول عمر شبکه برای اجرای ۲۰۰ بار از این معیار، عددی نزدیک به معیار bg را نشان می‌دهد و چیزی در حدود ۵۲۵۰ می‌باشد. ممکن است که این معیار، طول عمر نسخه الگوریتم پایه ما را بهبود چندانی نداده باشد اما شیب خوب نمودار در فاز کاهشی نشان دهنده آن است که توزیع مصرف انرژی به صورت عادلانه صورت گرفته است و مصرف انرژی گره‌ها تا حد خوبی منصفانه انجام گرفته است. همچنین تعداد خوشه‌هایی که این معیار ادغام شده با BLAC به طور متوسط در حین اجرای الگوریتم می‌سازد به صورت نمودار شکل ۴-۲۶ است.



شکل۴-۲۶. متوسط تعداد خوشه‌های شبکه با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک

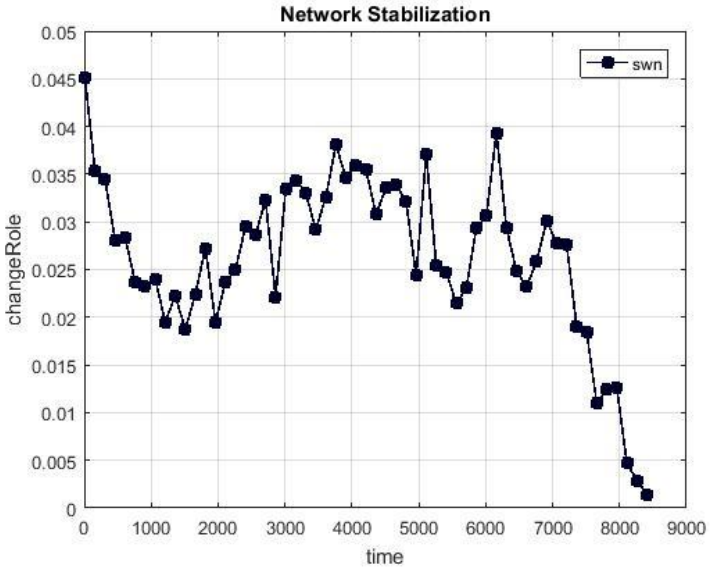
همانگونه که مشاهده می‌شود میانگین تعداد خوشه‌های ساخته شده توسط این معیار تا قبل از زمان به پایان رسیدن عمر شبکه حدودا برابر با ۱۳ خوشه می‌باشد.

این معیار دارای یک متوسط فاصله (گام) مناسب تا گره سرخوشه می‌باشد (حدود ۳.۵ گام). به عبارت دیگر در صورت استفاده از این مدل معیار، برای ارسال بسته‌ها از مبدا تا مقصد حدود سه گام فاصله وجود دارد. توضیحات این نوع از نمودارها به طور کامل در بخش‌های پیشین آورده شده است و ما در اینجا برای جلوگیری از بسط بیش از حد موضوع تنها به رسم آن (مطابق با شکل ۴-۲۷) اکتفا می‌کنیم.



شکل۴-۲۷. متوسط تعداد گام‌ها تا مقصد با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک

میزان پایداری این معیار پیشنهادی یا به عبارتی همان تعویض نقش گره‌ها نیز از یک محدوده عدد مرسوم مطابق با سایر معیارهای بررسی شده تبعیت می‌کند که تعداد متوسط آن تا قبل از زمان مرگ شبکه بین ۲ تا ۳ بار است و در شکل ۴-۲۸ نشان داده شده است.



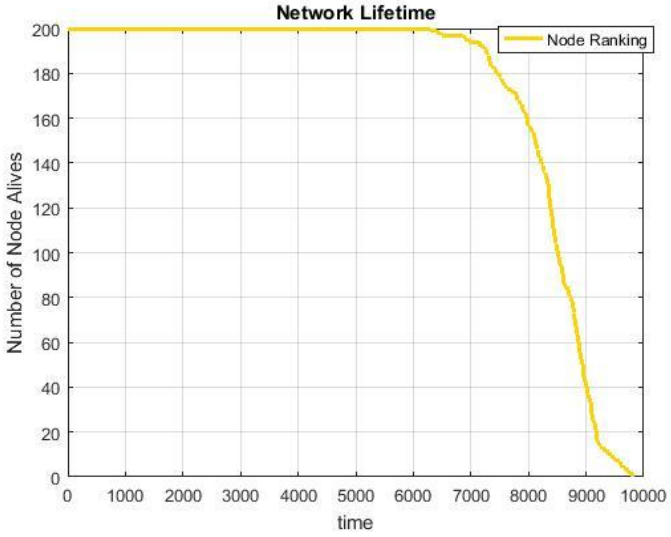
شکل۴-۲۸. متوسط پایداری شبکه با استفاده از مدل شبکه جهانی کوچک

همانگونه که در ابتدای این بخش نیز گفتیم نرخ تحویل بسته از دیگر چالش‌های مورد بررسی است که این معیار ادغام شده با الگوریتم BLAC به خوبی از پس آن برمی‌آید و مطابق با بررسی های انجام گرفته، چیزی در حدود ۹۲ درصد می‌باشد.

۴-۲-۷ رتبه‌بندی گره‌ها

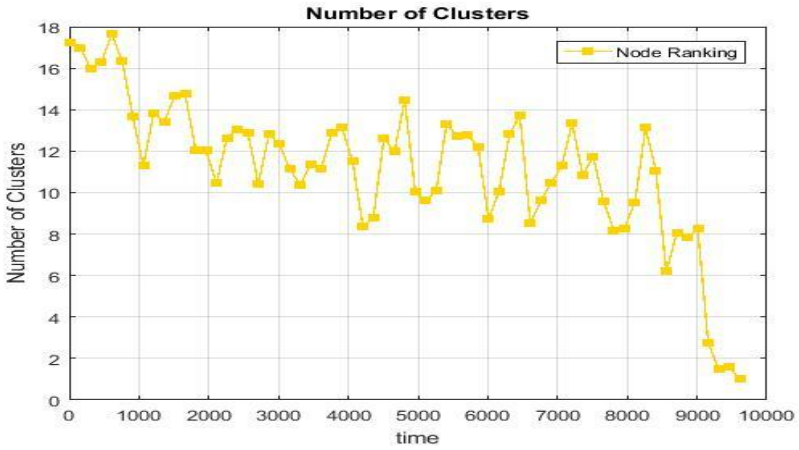
یکی از معیارهای بسیار جالب و کارآمدی که در بخش‌های پیشین نیز به طور مفصل به توضیحات آن پرداختیم مربوط به معیار رتبه‌بندی گره‌ها بود. گفتیم که این معیار فاصله اتصالات بین گره مورد نظر و همسایگانش را در نظر می‌گیرد و علاوه بر آن، معیار مورد نظر در روابط ریاضی که برای امتیازدهی به یک گره به خصوص استفاده می‌نمود، فاصله‌ی اتصالات بین همسایگان همسایه گره مورد نظر را نیز

لحاظ می‌کرد. که این باعث می‌شد تا الگوریتم ما در صورت استفاده از این معیار پیشنهادی، به خوبی از شرایط گره‌های دو گام بعد خود اطلاعات کافی را داشته باشد. ضریب کاهشی به کار رفته در رابطه ریاضی مربوط به امتیازدهی در این معیار باعث می‌شد تا ما کوچکترین تغییرات را نیز در نظر بگیریم و رفتار شبکه را تا همگرایی به جواب مورد نظر، تحت بررسی قرار دهیم. استفاده از این معیار طول عمر بسیار بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهد که نمودار شکل ۴-۲۹ به وضوح بیانگر این نکته می‌باشد.



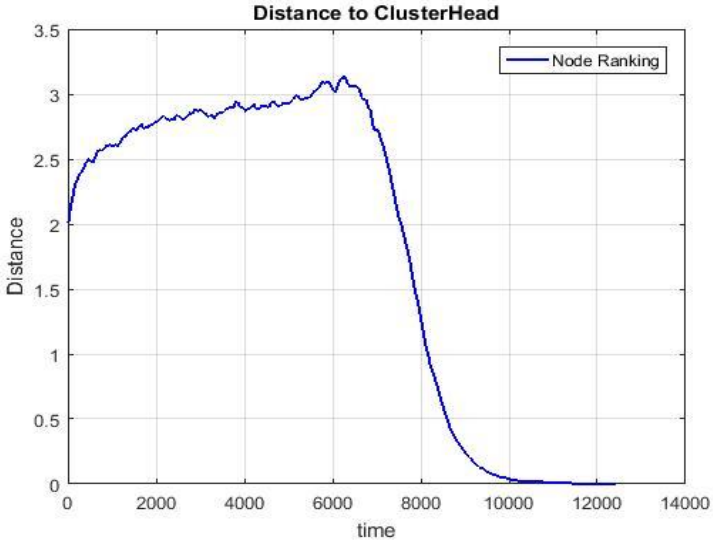
شکل۴-۲۹. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار رتبه‌بندی گره‌ها

مقدار طول عمر شبکه با استفاده از این معیار ۶۳۰۰ ثانیه است که نشان دهنده قدرت بالای این معیار در زنده نگه داشتن شبکه و توزیع درست مصرف انرژی در هنگام ترکیب شدن با الگوریتم پایه اصلی یعنی BLAC می‌باشد. تعداد خوشه‌های ساخته شده توسط این معیار مطابق با ۴-۳۰ به طور متوسط تا زمان حیات شبکه ۱۳ عدد است که باعث می‌شود تا اندازه هر خوشه نیز از یک حد خاص فراتر نرود و به صورت مناسب توسط گره سرخوشه مدیریت و کنترل شوند.



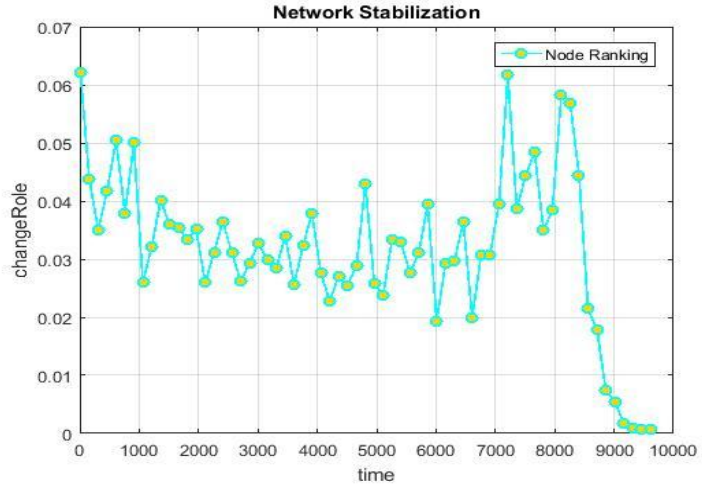
شکل۴-۳۰. متوسط خوشه‌های ساخته شده در شبکه با استفاده از معیار رتبه‌بندی گره‌ها

نمودار متوسط فاصله گره‌های معمولی موجود در خوشه تا گره سرخوشه به صورت شکل ۴-۳۱ بیان می‌شود که میانگین فاصله آن تا قبل از اتمام عمر شبکه حدود ۲.۷۵ گام می‌باشد. تحلیل دقیق این نمودار همانند بررسی‌های قبلی، رابطه تنگاتنگ و نزدیکی با نمودار مربوط به تعداد خوشه‌های ساخته شده توسط این معیار دارد. اگر در نمودار تعداد خوشه‌ها دقت کنیم می‌بینیم که در لحظه‌های اول اجرای این معیار ادغام شده با الگوریتم پایه BLAC، به طور متوسط حدود ۱۷ خوشه داریم که اندازه هر خوشه چیزی حدود ۱۲ گره می‌شود. به عبارت دیگر هر سرخوشه به طور متوسط باید ۱۲ گره را مدیریت و کنترل نماید که این تعداد گره معمولی به صورت متوسط بسته‌های خود را با ۲.۲۵ گام به گره سرخوشه می‌رسانند تا گره سرخوشه آن‌ها را به پایگاه اصلی پردازش داده ارسال نماید. با جلوتر رفتن تعداد دفعات اجرای الگوریتم و تا قبل از زمان اتمام عمر شبکه، تعداد متوسط خوشه‌های شبکه با آن توپولوژی خاص به حدود ۱۳ خوشه می‌رسد. واضح و روشن است که با این تعداد خوشه، اندازه هر خوشه حدودا ۱۶ می‌شود که از حالت اولیه بیشتر است. این بدان معنی است که امکان دارد گره‌های اضافی در فاصله دورتری نسبت به گره سرخوشه قرار گرفته باشند و داده‌های خود را از طریق دو یا چند والد به گره سرخوشه برسانند و همین امر باعث بالا رفتن تعداد متوسط گام‌ها در شبکه می‌گردد.



شکل۴-۳۱. متوسط تعداد گام‌ها تا مقصد با استفاده از معیار رتبه‌بندی گره‌ها

این معیار دارای پایداری و ثبات خوبی نیز در زمینه تعویض نقش گره‌ها از نقش معمولی به نقش سرخوشگی است. یعنی در زمان حیات خود مطابق با شکل ۴-۳۲ به طور میانگین، هر گره بیشتر از ۳ بار نقش خود را بین سرخوشگی و گره معمولی بودن عوض می‌کند که این عدد بیانگر آن است پایداری و ثبات شبکه با استفاده از این معیار در شبکه تا حد خوبی برقرار شده است.



شکل۴-۳۲. متوسط میزان پایداری با استفاده ازمعیار رتبه‌بندی گره‌ها

نرخ تحویل بسته‌ها نیز همواره دارای اهمیت بسیار زیادی برای شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از یک روش خاص می‌باشد. در معیار رتبه‌بندی گره‌ها به نظر می‌رسد به علت اینکه هر گره جهت بدست آوردن امتیاز خاص خود از دو گام بعدی (و فاصله‌های موجود در این بین) نیز اطلاع دارد و در کل به

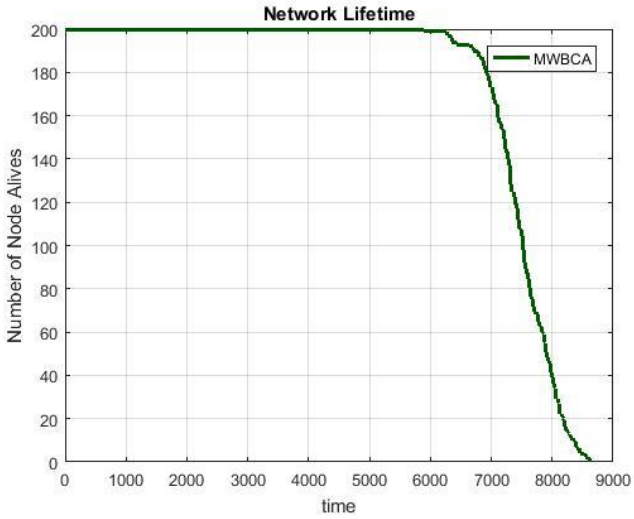
صورت میانگین کمی بیشتر از دو گام برای رسیدن بسته از مبدا به مقصد لازم است، در نتیجه احتمال گم شدن بسته (تلف شدن بسته ارسالی از مبدا به مقصد) تا حد زیادی از بین می‌رود.
این عدد همانگونه که بیان شد بسیار خوب و مناسب بوده و مطابق با آزمایشات انجام گرفته در حدود ۹۱.۸ درصد می‌باشد و قدرت بالای معیار پیشنهادی در این بخش را در حفظ بسته و امن نگاه داشتن آن تا رسیدن به مقصد و یا (یا همان رسیدن بسته به گره سرخوشه) نشان می‌دهد.

۴-۲-۸ معیار چندوزنی

همانگونه که در بخش معرفی معیارهای ترکیبی و چند وزنی نیز بیان شد، این مدل از معیارها از ادغام شدن چند پارامتر یا فاکتور تاثیرگذار بر روی طول عمر شبکه و یا تاثیرگذار بر متوسط نرخ تحویل بسته‌ها و سایر عوامل مورد بررسی، به وجود آمده است. معیارهای چند وزنی به علت اینکه از پارامترهای مختلف استفاده می‌کنند و تاثیر بعضی از آن‌ها بیشتر از بعضی دیگر است، امکان دارد که پارامترهای بکار رفته میزان پایداری سیستم را تا حدی تغییر دهند، یعنی تعویض نقش بیشتری بین گره‌ها در هر خوشه نسبت به حالت معمولی داشته باشیم. همچنین این نوع از معیارها در مقابله با چالش مربوط به طول عمر شبکه، تا حد خوبی می‌توانند طول عمر شبکه را نسبت به معیارهای پایه BLAC افزایش دهند.

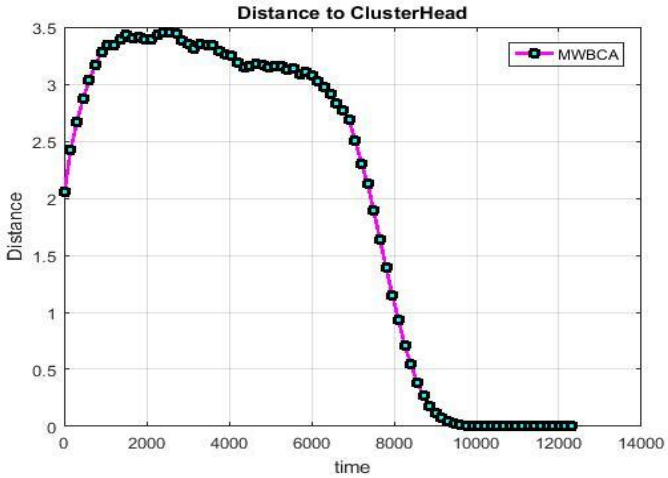
هرچند که ممکن است این معیارها، معیارهای خود الگوریتم پایه یعنی BLAC را درون خود داشته باشند و تنها با تغییر دادن ضرایب تاثیر آن‌ها را کمرنگ یا پررنگ نمایند، اما به علت نحوه تاثیردهی آن‌ها در شبکه می‌توانند به نوعی بهبود بر الگوریتم پایه اصلی یعنی خود BLAC باشند. نمودار شکل ۴-۳۳ طول عمر شبکه را با استفاده از معیار چند وزنی نشان می‌دهد. طول عمر شبکه با استفاده از این معیار در حدود ۵۹۰۰ ثانیه است که در مقایسه با معیار bg بهبود بسیار خوبی داشته

است. علاوه بر این معیار خوشه‌بندی چند وزنی در فاز کاهشی شیب نسبتا خوبی را از خود نشان می‌دهد و بیانگر آن است که توزیع مصرف انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از این معیار تا حد خوبی انجام گرفته است. یا به بیان روشنتر، توزیع مصرف انرژی در گره‌های شبکه تا حد خوبی به صورت عادلانه صورت گرفته است.



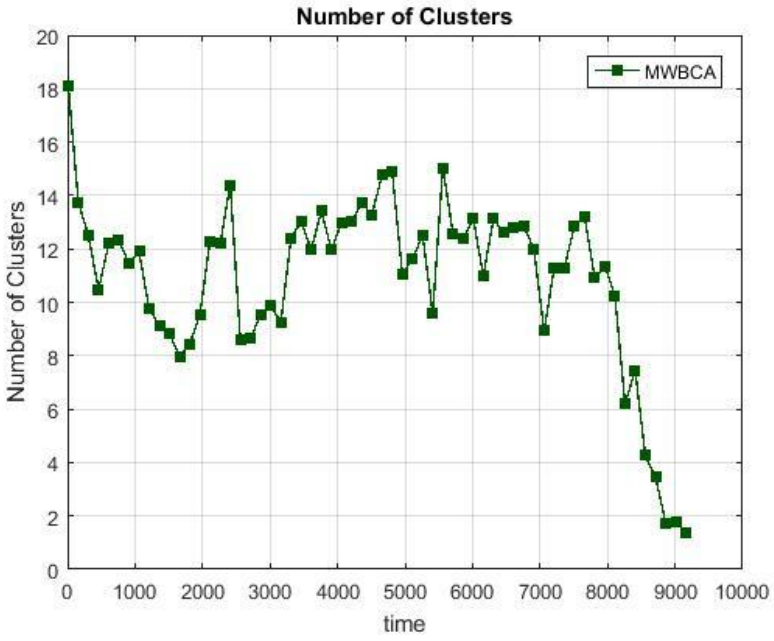
شکل۴-۳۳. متوسط طول عمر شبکه با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی

همچنین در این معیار، متوسط فاصله یا گام‌هایی که لازم است تا بسته از گره معمولی به گره سرخوشه در آن خوشه مورد نظر برسد (تا قبل از زمان مرگ شبکه) چیزی در حدود ۳.۳ گام است و در نموداری مطابق با نمودار شکل ۴-۳۴ آورده شده است.



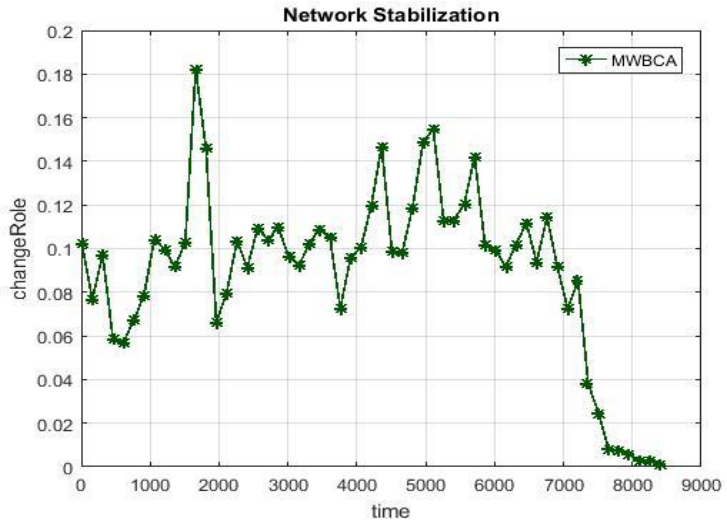
شکل۴-۳۴. متوسط تعداد گام‌های تا مقصد با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی

در این معیار تعداد خوشه‌هایی که به طور متوسط در زمان حیات شبکه ساخته می‌شود درحدود ۱۳ تا است که در شکل ۴-۳۵ آن را مشاهده می‌نماییم.



شکل۴-۳۵. متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی

همانگونه که در قسمت ابتدایی این بخش نیز بیان شد، به علت وجود پارامترهای مختلفی از قبیل تراکم، میزان انرژی و همچنین تعداد دفعاتی که یک گره به عنوان سرخوشه انتخاب شده و تاثیرهای مختلف آنان بر شبکه حسگر بی‌سیم، تعویض نقش‌ها از سایر معیارهایی که به صورت یگانه از یک معیار استفاده می‌کردند بیشتر انجام می‌شود. در حالیکه در معیارهای قبلی متوسط تغییرات نقش هر گره ۳ یا ۴ بار به ازای ۱۰۰ بار انجام الگوریتم بر روی یک توپولوژی خاص بود، در معیارهای چندوزنی به طور کلی شاهد ۱۱ یا ۱۲ تغییر برای متوسط پایداری سیستم شاهد هستیم. با توجه به موارد بیان شده، شکل ۴-۳۶ نمودار پایداری شبکه را با استفاده از معیار چند وزنی نشان می‌دهد.



شکل۴-۳۶. متوسط میزان پایداری با استفاده از معیار خوشه‌بندی چند وزنی

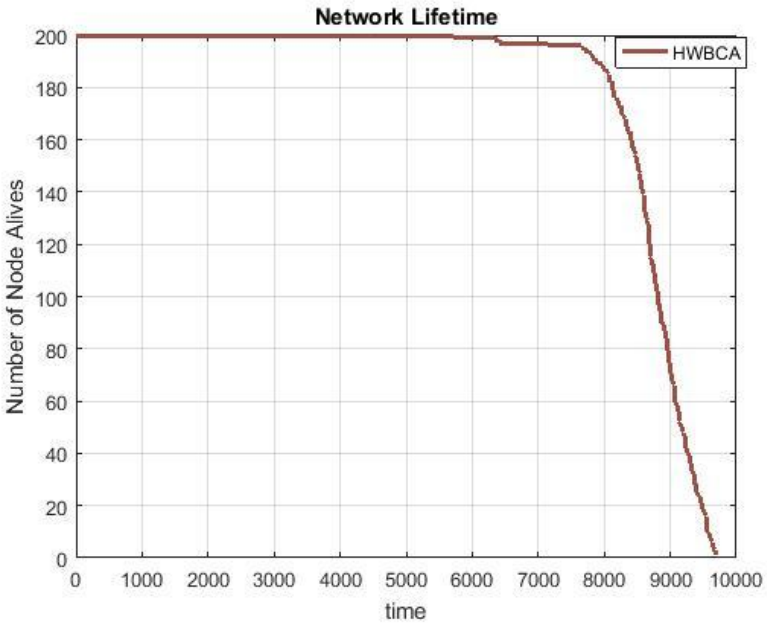
در معیارهای ترکیبی تغییرات سیستم مطابق با مطالب گفته شده از معیارهایی که به صورت ترکیبی نیستند، بیشتر می‌باشد.

در انتهای این بخش نیز به بررسی متوسط نرخ تحویل بسته توسط معیار پیشنهادی ارائه شده می‌پردازیم. این معیار ترکیب شده با الگوریتم BLAC، به طور متوسط بیشتر از ۹۳ درصد از داده‌ها را از مبدا به مقصد (گره سرخوشه) به سلامت می‌رساند. به عبارت دیگر گم شدن بسته یا تلفات بسته در مسیرهایی موجود در شبکه با استفاده از این معیار خیلی کم اتفاق می‌افتد. متوسط نرخ تحویل بسته مناسب برای این معیار نشان از خوب بودن این معیار و بهبودی بر نسخه اصلی الگوریتم BLAC ازین جنبه نیز دارد.

۴-۲-۹ خوشه‌بندی چندوزنی به صورت ترکیبی

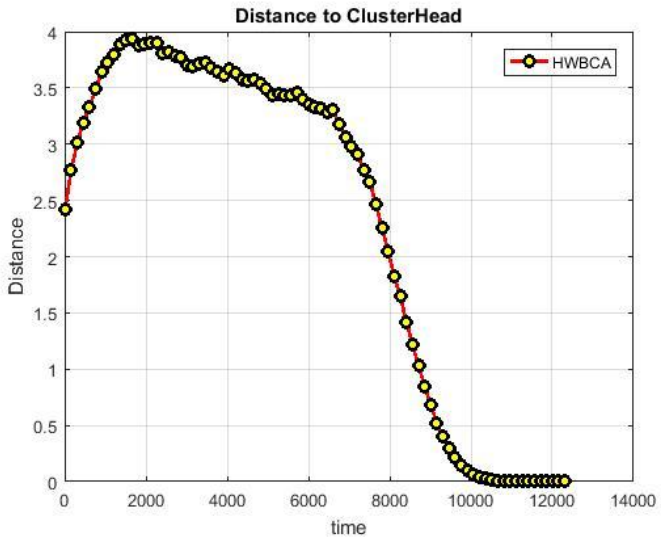
این معیار همانند معیار قبلی که توضیح داده شد به صورت ترکیبی و همزمان از چند پارامتر و معیار استفاده می‌کند و بنا به مقتضیات شبکه تاثیر بعضی پارامترها را پر رنگ و بعضی دیگر را کمرنگ می‌نماید. استفاده از این چند معیار با هم و به صورت همزمان باعث می‌شود تا پایداری سیستم تا حد قابل لمسی دستخوش تغییرات باشد. استفاده از این معیار باعث بهبود طول عمر شبکه تا حد نسبتا

مناسبی در قیاس با الگوریتم پایه بر حسب درجه (یعنی BLAC-bg) می‌باشد. برای جلوگیری از توضیحات تکراری از بیان نمودن جزییات این معیار که در فصول قبلی به صورت کامل و مفصل توضیح دادیم، پرهیز می‌نماییم. نمودار شکل ۴-۳۷ طول عمر شبکه با استفاده از معیار چند وزنی ترکیبی را نشان می‌دهد.



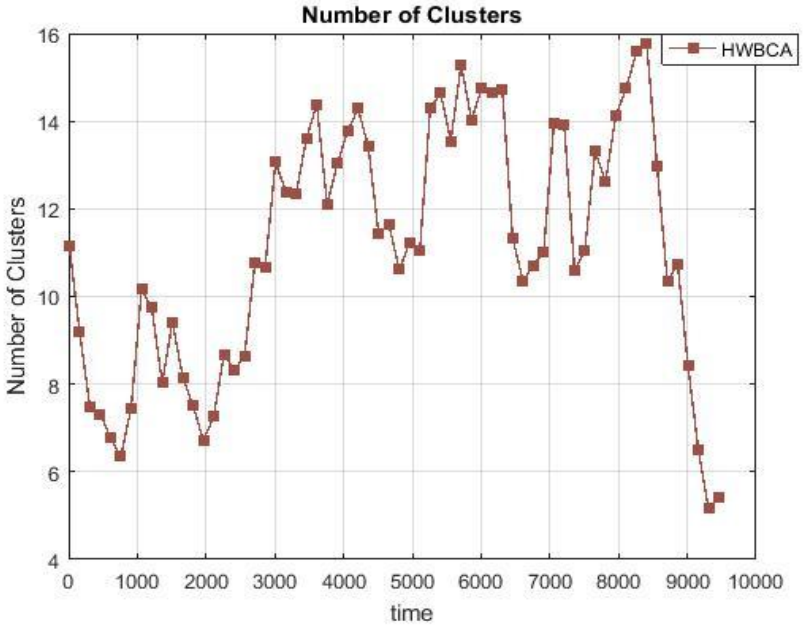
شکل۴-۳۷. میانگین طول عمر شبکه با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی

مقدار زمانی که به صورت متوسط برای این معیار با ۲۰۰ با اجرا بر روی توپولوژی‌های مختلف بدست آمده است برابر عددی در حدود ۵۷۱۵ ثانیه می‌باشد. همچنین متوسط تعداد گام‌هایی که برای رسیدن بسته در یک خوشه از گره مبدا (گره معمولی) تا گره مقصد (گره سرخوشه) لازم است مطابق با شکل ۴-۳۸ است.



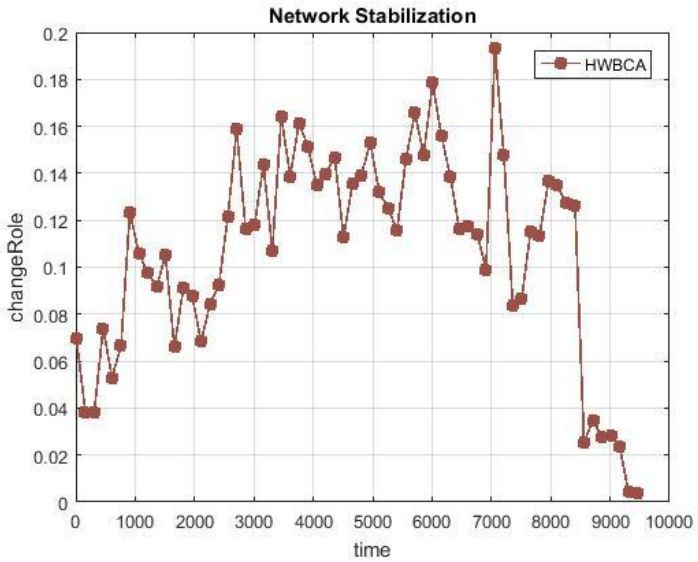
شکل۴-۳۸. میانگین تعداد گام‌ها تا مقصد با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی

که ملاحظه می‌شود متوسط تعداد گام‌ها در این معیار (در زمان حیات شبکه) کمی بیشتر از بعضی معیارهای بیان شده در قبلی (حدود ۳.۶) بوده که این اتفاق به خاطر نوع ساختار ترکیبی بودن معیار پیشنهادی ما است. همچنین اینکه این معیار به علت ساختاری که دارد در بخش زیادی از زمان حیات خود تعداد خوشه‌های نسبتا کمی در شبکه می‌سازد. بالطبع تعداد گره‌های سرخوشه نیز کمتر بوده و شانس مصرف انرژی زیاد توسط گره‌ها کاهش پیدا می‌کند. که البته خب بدیهی است در ازای این اتفاق، اندازه هر خوشه زیاد می‌شود و کنترل هر خوشه توسط گره سرخوشه (به علت تعداد گره‌های زیاد) سخت می‌شود. همین اندازه بزرگ هر خوشه است که باعث می‌شود تا مطابق با نمودار ۴-۳۸ متوسط فاصله گره‌ها تا گره سرخوشه در بخش زیادی از زمان حیات شبکه، گاها کمی بالاتر باشد. نمودار مربوط به تعداد خوشه‌ها را در شکل ۴-۳۹ مشاهده می‌کنیم.



شکل۴-۳۹. میانگین تعداد خوشه‌های ساخته شده با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی

در این معیار همانگونه که بیان شد و توضیحات آن نیز ارائه گردید به علت وجود پارامترهای متعدد و تاثیرپذیری مختلف آن‌ها بر شبکه حسگر بی‌سیم پایداری و ثبات سیستم در مقایسه با معیارهای دیگر اندکی کمتر است. زیرا در این معیار با تعویض نقش بیشتری در قیاس با معیار دیگر که پیش‌تر مورد بررسی قرار دادیم، رو به رو هستیم.



شکل۴-۴۰. متوسط پایداری شبکه با معیار خوشه‌بندی چندوزنی ترکیبی

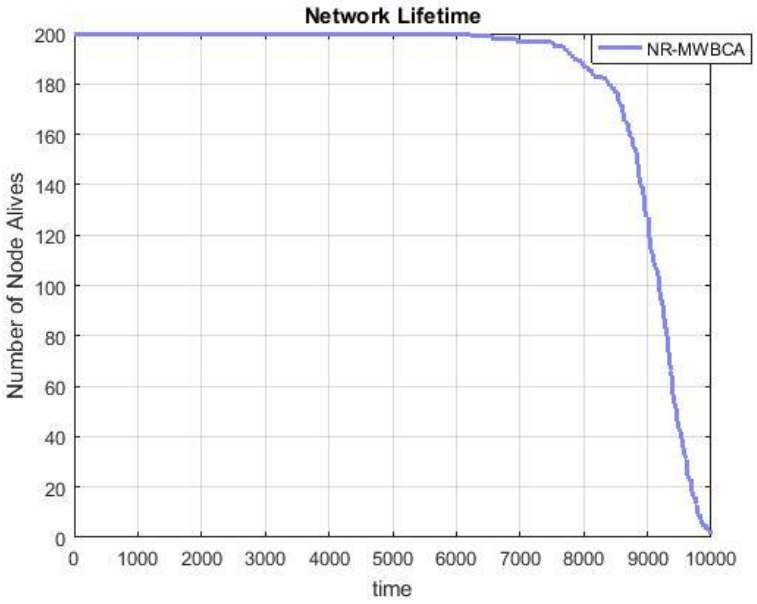
شکل ۴-۴۰ متوسط پایداری سیستم را نشان می‌دهد که در آن میانگین تعویض نقش‌ها در هر ۱۰۰ مرحله از اجرای الگوریتم بر روی یک توپولوژی خاص و در زمان حیات شبکه حدود ۱۱ یا ۱۲ بار می‌باشد که بیانگر آن است که در صورت استفاده از این معیار ادغام شده با BLAC، علیرغم داشتن طول عمر خوب، اما سیستم قدرتمندی از نظر پایداری نخواهیم داشت.

در انتهای این بخش به بررسی نمودار مربوط به میانگین نرخ تحویل بسته با استفاده از این معیار ترکیبی می‌پردازیم که یکی از دلایل اصلی انتخاب این معیار و ادغام آن با الگوریتم پایه BLAC است. این معیار دارای متوسط نرخ تحویل حدود ۹۴ درصد می‌باشد که از لحاظ آماری بسیار خوب است. به عبارت دیگر همانگونه که بارها نیز بیان شد نرخ تحویل بسته خوب در این معیار باعث شده است تا اتلاف بسته یا گم شدن آن کمتر در شبکه‌های حسگر که از این معیار استفاده می‌کنند، اتفاق بیفتد.

۴-۲-۱۰ خوشه‌بندی چندوزنی براساس رتبه‌بندی گره‌ها

در این بخش همانطور که در فصل ۳ نیز کامل توضیح داده شد و از اسم آن نیز مشخص است، علاوه بر استفاده از معیارهای ترکیبی با ضرایب مختلف (بنابه صلاحدید یا مقتضیات شبکه حسگر بی‌سیم) از معیار مربوط به رتبه‌بندی گره‌ها نیز استفاده شده است. یعنی بر اساس پارامترهایی از قبیل میزان انرژی هر گره، امتیاز گره‌های همسایه، فاصله گره همسایه تا گره موردنظر و غیره به امتیازدهی برای آن گره موردنظر می‌پردازد. در این بخش به تحلیل چالش‌هایی که بر پیش روی هر شبکه حسگر بی‌سیم قرار می‌گیرد و برای معیارهای خود بررسی نمودیم، می‌پردازیم.

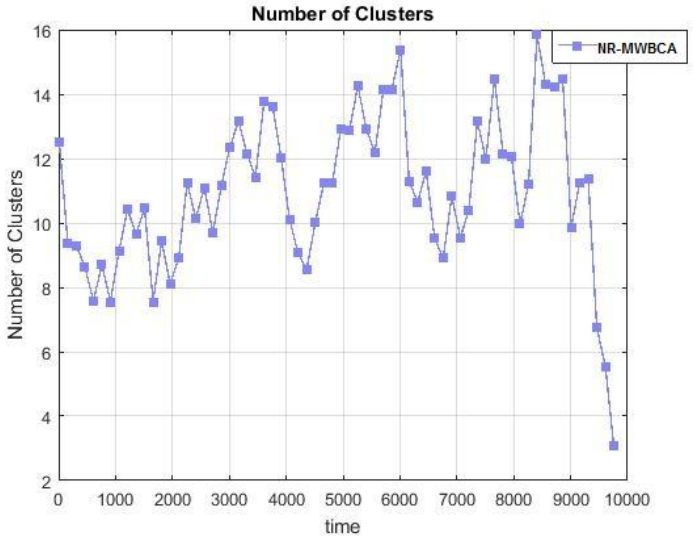
این معیار ترکیبی ارائه شده، میانگین مقدار طول عمر آن چیزی در حدود ۶۲۵۰ ثانیه است که یک جهش بسیار بزرگ از لحاظ طول عمر در قیاس با معیارهای پایه BLAC مانند bg و bs محسوب می‌شود. نمودار طول عمر این معیار را به صورت میانگین در شکل ۴-۴۱ مشاهده می‌کنیم که از لحاظ طول عمر تا حد زیادی (با اختلاف نسبتا کم) قابل مقایسه با معیار خوشه‌بندی با آستانه است.



شکل۴-۴۱. میانگین طول عمر شبکه با استفاده از معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها

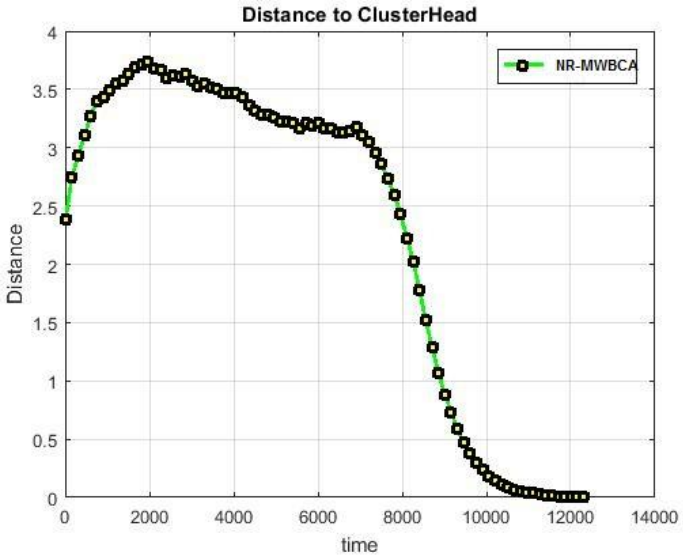
همانگونه که مشاهده می‌شود نمودار شکل ۴-۴۱ دارای شیب زیاد در فاز کاهشی نیز می‌باشد که همانگونه که بارها بیان شد بدان معنی می‌باشد که توزیع انرژی در حد بسیار بسیار خوبی عادلانه و منصفانه صورت گرفته است.

تعداد خوشه‌هایی که این معیار به صورت میانگین به ازای ۲۰۰ بار اجرا بر روی توپولوژی‌های مختلف از پخش تصادفی گره‌ها، می‌سازد به صورت شکل ۴-۴۲ است.



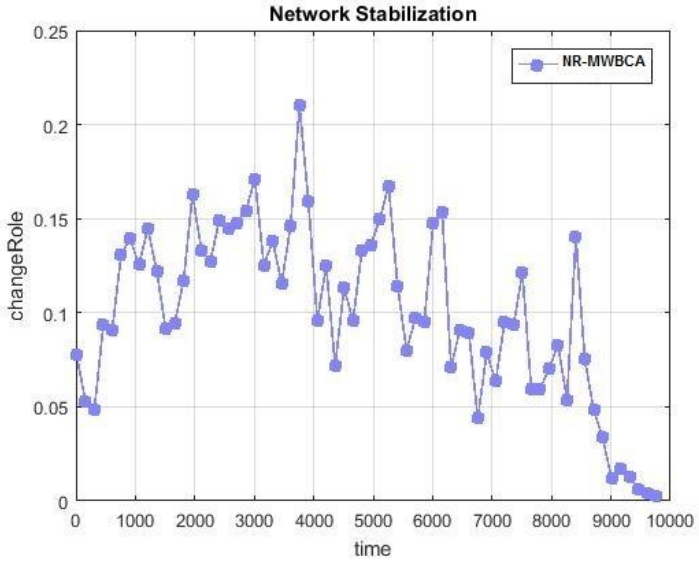
شکل۴-۴۲. میانگین تعداد خوشه‌ها با استفاده از معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها

این معیار ترکیبی که از ادغام نمودن معیارهای بیان شده در فصل‌های پیش به وجود آمده است، به طور متوسط در زمان حیات شبکه حدود ۱۲ خوشه می‌سازد و گره سرخوشه قادر است که در زمان حیات شبکه به صورت ایده‌آل حدود ۱۷ گره را مدیریت و کنترل نماید و داده‌ها را از آن‌ها جمع‌آوری نموده و به پایگاه اصلی مرکز داده در خارج از شبکه ارسال نماید. همچنین این معیار دارای متوسط حدود ۳.۵ گام از مبدا تا گره سرخوشه می‌باشد و پس از پایان عمر شبکه این تعداد گام به علت کم شدن کلی گره‌های موجود در خوشه و کاهش اندازه هر خوشه، رو به افول می‌رود. نمودار متوسط تعداد گام‌های این معیار در شکل ۴-۴۳ آمده است و توضیحات کلی آن کاملا مشابه با توضیحات مربوط به نمودار متوسط تعداد گام‌های معیارهای قبل بوده که برای جلوگیری از بسط حد مبحث از بیان آن خودداری می‌نماییم.



شکل۴-۴۳. میانگین تعداد گام‌ها با معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها

میزان پایداری این معیار مانند تمام معیارهای ترکیبی از معیارهایی که ترکیبی نیستند کمتر بوده و در آن تعویض نقش بیشتری توسط گره‌ها صورت می‌گیرد. متوسط تعداد تغییرات نقش‌ها در این معیار در زمان حیات شبکه در حدود ۱۲یا ۱۳ بار می‌باشد که نمودار آن در شکلی مانند شکل ۴-۴۴ آمده است.



شکل۴-۴۴. میانگین پایداری شبکه با معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌بندی گره‌ها

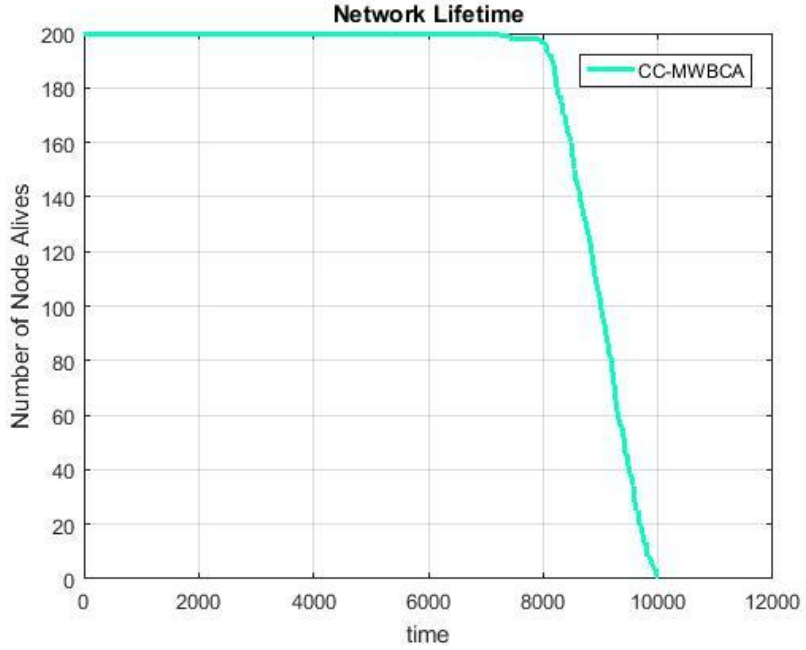
در این معیار احتمال گم یا تلف شدن بسته‌ها در هنگام ارسال از مبدا یا همان گره معمولی به گره سرخوشه، بسیار کاهش می‌یابد. لذا معیار پیشنهادی در این بخش، میانگین نرخ تحویل بسته خوبی را از خود نشان می‌دهد. متوسط نرخ تحویل بسته در این معیار کمی پایین‌تر از ۹۳ درصد است. (در حدود ۹۲.۸) این امر بدان معنا است که به صورت کلی این معیار، علاوه بر نوآوری و ایده جدید در پیاده‌سازی و ترکیب پارامترها، مصالحه خوبی بین مواردی از قبیل متوسط طول عمر شبکه با متوسط نرخ تحویل بسته‌ها نسبت به تعداد گام‌های شبکه به وجود می‌آورد.

۴-۲-۱۱ چندوزنی بر پایه ضریب خوشه‌بندی محلی

در این بخش می‌خواهیم به آخرین معیار بهبود یافته نسبت به نسخه پایه BLAC بپردازیم. این معیار از ادغام شدن ضریب خوشه‌بندی محلی و معیار خوشه‌بندی چندوزنی بر مبنای الگوریتم BLAC ایجاد شده است. نتایج حاصله بیانگر آن است که استفاده از این معیار جدید، بهبود چشمگیری را به خصوص از لحاظ متوسط طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم نسبت به الگوریتم BLAC ایجاد می‌نماید. همچنین می‌توان این نکته را بیان نمود که این معیار از لحاظ طول عمر بهترین و قوی‌ترین معیار ارائه شده در این پژوهش است که ایده آن به علت ادغام چند پارامتر، جدید و نو می‌باشد. این معیار از

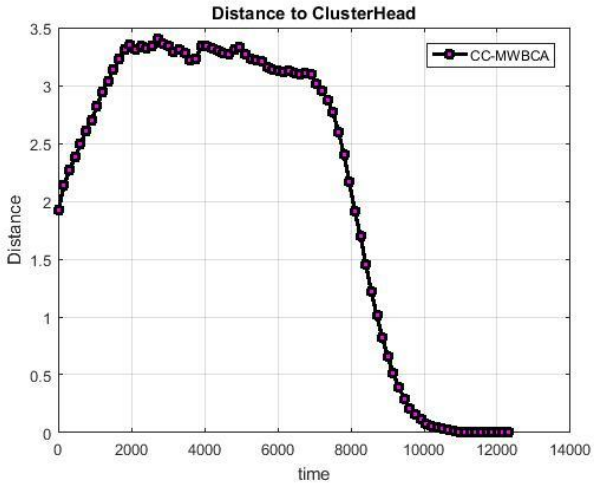
پس چالش‌های دیگر پیش روی شبکه حسگر از قبیل میانگین نرخ تحویل بسته و غیره نیز به خوبی برمی‌آید.

در شکل ۴-۴۵ متوسط نمودار طول عمر این معیار را مشاهده می‌کنیم که برابر با ۷۲۵۰ ثانیه بوده در قیاس با الگوریتم BLAC-bg که زمان عمرش حدود ۵۴۰۰ ثانیه بود حدود ۳۴ درصد بهبود و پیشرفت را شاهد هستیم که بسیار آمار درخشانی است. این معیار، علاوه بر اینکه دارای طول عمر بسیار خوبی است، در قسمت فاز کاهشی نیز از شیب نسبتا زیادی برخوردار است که به معنی توزیع عادلانه مصرف انرژی در بین گره‌های موجود در شبکه است. به بیان دیگر این معیار از لحاظ شیب نمودار در فاز کاهشی نیز بین معیارهای ارائه شده در این پژوهش تقریبا سرآمد محسوب می‌شود.



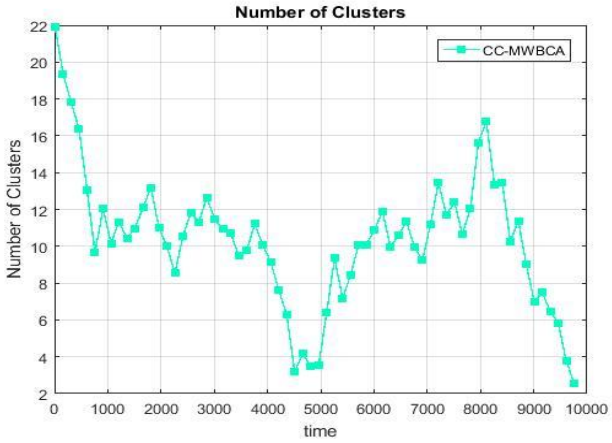
شکل۴-۴۵. متوسط طول عمر شبکه با معیار ضریب خوشه‌بندی محلی به صورت چندوزنی

همچنین اینکه این معیار، متوسط تعداد گام‌های لازم برای رسیدن بسته از گره معمولی به گره سرخوشه را در حد خوبی کنترل نموده است و به طور میانگین در زمان حیات شبکه در حدود ۳.۲۵ گام نگه داشته است. به طور کلی این کنترل گام‌ها باعث می‌شود تا علاوه بر اینکه اندازه خوشه از یک حد خاص فراتر نرود و کنترل بشود، بلکه کمک شایانی به حفظ بسته‌ها و جلوگیری از تلف شدن آن‌ها می‌نماید. این موضوع در شکل ۴-۴۶ به روشنی دیده می‌شود.



شکل۴-۴۶. متوسط تعداد گام‌ها در شبکه با معیار ضریب خوشه‌بندی محلی به صورت چندوزنی

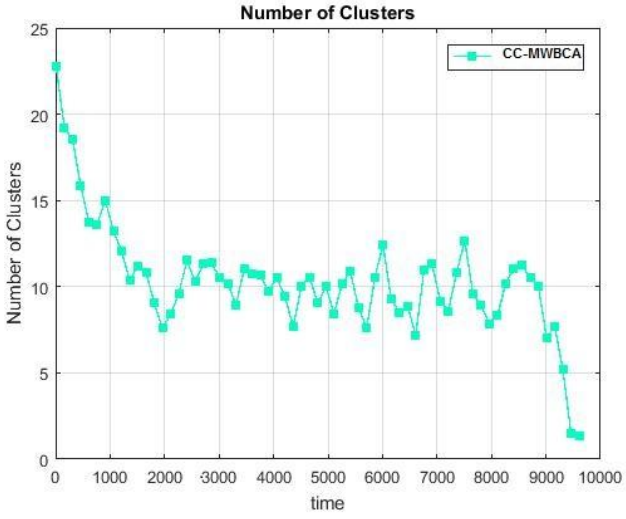
در این معیار جدید، تعداد خوشه‌های ساخته شده در شبکه حسگر بی‌سیم به طور متوسط برابر با ۱۰ یا ۱۱ عدد است که البته در متوسط زمانی ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ثانیه بنا به مقتضیات شبکه حسگر ما، میانگین شبکه‌های ساخته شده به صورت پخش تصادفی این تعداد کاهش می‌یابد. علت آن به خاطر وجود پارامترهایی از قبیل ضریب خوشه‌بندی محلی و همچنین تاثیر تعداد دفعاتی است که یک گره به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود. در شکل ۴-۴۷ نمودار مربوط به تعداد خوشه‌ها را ملاحظه می‌کنیم.



شکل۴-۴۷. متوسط تعداد خوشه‌ها با معیار ضریب خوشه‌بندی به صورت چندوزنی

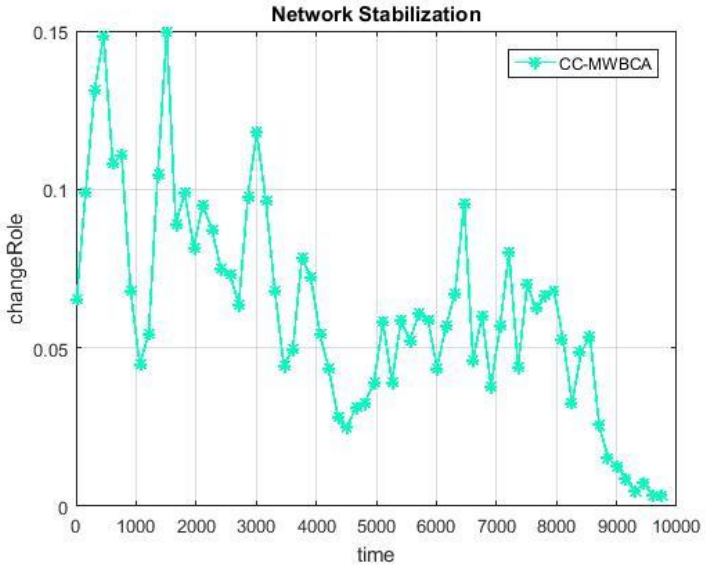
باید این نکته را در نظر داشته باشیم که مطابق با بررسی‌های انجام گرفته توسط ما، به نظر می‌رسد که معیار مورد بحث در این بخش به علت استفاده از ضرایب خوشه‌بندی محلی و با ترکیب شدن با

الگوریتم BLAC در یک بازه زمانی خاص به صورت پویا این تصمیم را اتخاذ می‌کند تا با کاهش تعداد خوشه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد گره‌های سرخوشه، مصالحه بین اندازه و تعداد خوشه‌های شبکه را به سمتی سوق دهد که بتواند با استفاده از کم کردن تعداد گره‌های سرخوشه، یعنی پایین آوردن تعداد گره‌های با مصرف انرژی بالا شانس زیاد شدن متوسط طول عمر شبکه را افزایش دهد. این عمل در یک بازه زمانی خاص و با درنظر گرفتن سطح انرژی گره‌ها در آن بازه زمانی به صورت پویا و منطقی انجام می‌شود. به بیان ساده‌تر، معیار CC-MWBCA در یک بازه زمانی خاص و با در نظر گرفتن متوسط میزان انرژی گره‌ها در شبکه، کاهش تعداد گره‌های سرخوشه را در مصالحه موردنظر (مصالحه بین اندازه و تعداد خوشه‌ها) ترجیح داده و درنتیجه ازین طریق طول عمر شبکه را تا حد بسیار خوبی افزایش داده است. بررسی‌های ما در این زمینه نشان می‌دهد در صورتی که این اتفاق رخ نمی‌داد و ضریب خوشه‌بندی محلی سطح انرژی گره‌ها را در نظر نمی‌گرفت، طول عمر شبکه به شدت کاهش پیدا می‌کرد و در عوض روال کلی متوسط تعداد خوشه‌ها مطابق با شکل ۴-۴۸ حفظ شده و در شبکه چیزی در حدود همان ۱۲یا ۱۳ خوشه ساخته می‌شد و البته عمر شبکه تا حدود ۶۲۰۰ ثانیه تقلیل می‌یافت.



شکل۴-۴۸. متوسط تعداد خوشه‌ها با معیار ضریب خوشه‌بندی چندوزنی با درنظر نگرفتن سطح انرژی

این معیار همانند سایر معیارهای ترکیبی به علت اینکه از پارامترهای مختلفی جهت امتیازدهی به گره‌ها و انتخاب گره سرخوشه، استفاده می‌کند دارای پایداری کمتری نسبت به معیارهایی است که ترکیبی نمی‌باشند. در شکل ۴-۴۹ نمودار پایداری و ثبات سیستم در برابر تغییرات نقش گره‌ها آورده شده است و همانگونه که ملاحظه می‌شود متوسط تغییر نقش‌ها در زمان حیات شبکه حدودا ۸ یا ۹ بار است.



شکل۴-۴۹. متوسط پایداری شبکه با استفاده از معیار ضریب خوشه‌بندی چندوزنی

این معیار از لحاظ متوسط نرخ تحویل بسته‌ها، آمار بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهد که بیانگر کمتر تلف شدن یا گم شدن بسته‌ها در طول مسیر از مبدا تا مقصد (گره سرخوشه) می‌باشند و این مقدار برای این معیار نزدیک به ۹۲.۵ درصد می‌باشد. به صورت کلی این معیار علاوه بر اینکه طول عمر بسیار خوبی در قیاس با معیارهای دیگر از خود نشان می‌دهد، با حفظ کنترل متوسط تعداد گام‌ها، نرخ میانگین تحویل بسته‌ها را نیز در حد عالی نگه می‌دارد.

۴-۲-۱۲ مقایسه کلی معیارها

در قسمت انتهایی این فصل، تمامی چالش‌هایی که در پژوهش خود با آن‌ها مواجه بودیم و الگوریتم پایه و معیارهای جدید پیشنهادی ما به مقابله با آن پرداختند، جهت درک بهتر در قالب جداول و یا

نمودارهایی آورده شده‌اند تا بتوانند به صورت صریح و با سرعت از یک منظر خاص مورد مقایسه قرار بگیرند.

اولین و مهمترین چالشی که معیارهای پیشنهادی ما آن با رو به رو بودند، متوسط طول عمر شبکه بود که در هر بخش به طور مفصل و کامل به توضیح آن پرداختیم. اما خالی از لطف نیست که بتوانیم مقادیر متوسط طول عمر شبکه به ازای معیارهای مختلف را ببینیم. در جدول ۴-۱ این مقادیر به صورت یکجا آورده شده است.در این جدول می‌توان به روشنی مشاهده نمود که طول عمر کدام معیار از بقیه معیارهای مطرح شده بر پایه BLAC بیشتر است که مطابق با این نمودار بر اساس مطالب گفته شده در بخش‌های پیشین این فصل معیار CC-MWBCA بیشترین طول عمر را درمیان معیارهای معرفی شده داشته است. همچنین برای درک بیشتر موضوع و روشن‌تر شدن آن، میزان توسعه و بهبود معیارها (غیر از خود معیارهای الگوریتم BLAC) را از لحاظ طول عمر در قیاس با معیار bg پایه و معیار bs پایه به نمایش گذاشته‌ایم.

جدول ۴-۲. مقایسه طول عمر معیارهای مختلف

نام معیار	متوسط مدت زمان طول عمر برحسب ثانیه	درصد پیشرفت متوسط طول عمر نسبت به معیار پایه bg	درصد پیشرفت متوسط طول عمر نسبت به معیار پایه bs
BLAC-bg	۵۴۲۰	-	-
BLAC-bs	۵۷۰۰	۵	-
BLAC-rg	۵۲۵۰	-	-
BLAC-rs	۵۳۳۰	-	-
Small World Network Model	۵۲۵۰	-	-
Clustering	۶۰۵۰	۱۱	۶

نام معیار	متوسط مدت زمان طول عمر برحسب ثانیه	درصد پیشرفت متوسط طول عمر نسبت به معیار پایه bg	درصد پیشرفت متوسط طول عمر نسبت به معیار پایه bs
Coefficient based			
Threshold Clustering based	۶۵۰۰	۱۹	۱۴
Node Ranking based	۶۳۰۰	۱۶	۱۰
MWBCA	۵۹۰۰	۸	۴
HWBCA	۵۷۱۵	۵	بهبود جزئی
Node Ranking-MWBCA	۶۲۵۰	۱۵	۱۰
ClusteringCoefficient-MWBCA	۷۲۵۰	۳۴	۲۷

همچنین اینکه مدل شبکه کوچک جهانی ممکن است که از نظر متوسط طول عمر، الگوریتم BLAC پایه را بهبود ندهد اما در مواردی دیگر (چالش‌های دیگر پیش روی یک شبکه حسگر بی‌سیم) از قبیل شیب نمودار فاز کاهشی، میانگین نرخ تحویل بسته و غیره بهبود نسبی در قیاس با معیار bg داشته است. برای راحتی مقایسه بین متوسط تعداد گام‌های لازم برای رسیدن بسته از گره معمولی تا گره سرخوشه جدول ۴-۲ رسم شده است و به صورت حدودی مقادیر فاصله (گام) مورد نظر در آن نوشته شده است. همانگونه که در جدول ۴-۲ مشاهده می‌شود کمترین میانگین تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه متعلق به روش BLAC-rg و معیار بر اساس رتبه‌بندی گره‌ها است.

جدول ۴-۳. مقایسه متوسط تعداد گام‌های معیارهای ارائه شده

نام معیار	متوسط تعداد گام‌ها تا گره سرخوشه
BLAC-bg	۳.۲۵
BLAC-bs	۳.۲۵
BLAC-rg	۲.۷۵
BLAC-rs	۳.۷۵
Small World Network Model	۳.۵
Clustering Coefficient based	۳.۲۵
Threshold Clustering based	۳.۲۵
Node Ranking based	۲.۷۵
MWBCA	۳.۳
HWBCA	۳.۶
Node Ranking-MWBCA	۳.۵
Clustering Coefficient-MWBCA	۳.۲۵

لازم به ذکر است که تعداد گام‌های حدودی تعیین شده در جدول ۴-۲ مربوط به زمان حیات شبکه می‌باشد. چالش دیگری که در این فصل به طور دقیق به بررسی آن برای هر معیار ارائه شده پرداختیم، میزان پایداری و یا ثبات سیستم بود که برای معیارهای مختلف، مقادیر متفاوتی بدست می‌آمد. مثلا به طور کلی ما در معیارهای ترکیبی، تعویض نقش‌های بیشتری را شاهد بودیم در قیاس با معیارهایی که ترکیبی نبودند. باید این نکته مهم را در نظر داشته باشیم که میانگین تعویض نقش کمتر یا بیشتر در هر معیار پیشنهادی (یعنی پایداری کمتر یا بیشتر آن معیار) لزوما به معنای بهتر بودن آن معیار نیست. البته درست است که پایداری یک معیار در حقیقت مقاومت آن سیستم را در برابر تغییرات نشان می‌دهد، اما ممکن است یک معیار با توجه به ساختارش متوسط میزان تغییرات

نقش گره‌ها را در سرخوشه افزایش دهد و از این راه مصالحه بین تعداد خوشه‌ها و اندازه هر خوشه ایجاد نموده و طول عمر شبکه را افزایش دهد (مانند معیار CC-MWBCA). برای درک بهتر مقایسه معیارها از این منظر در پژوهش موردنظر، متوسط میزان پایداری آن‌ها را به صورت حدودی در جدولی مانند جدول ۴-۳ آورده‌ایم.

جدول ۴-۴. مقایسه متوسط میزان پایداری معیارهای ارائه شده

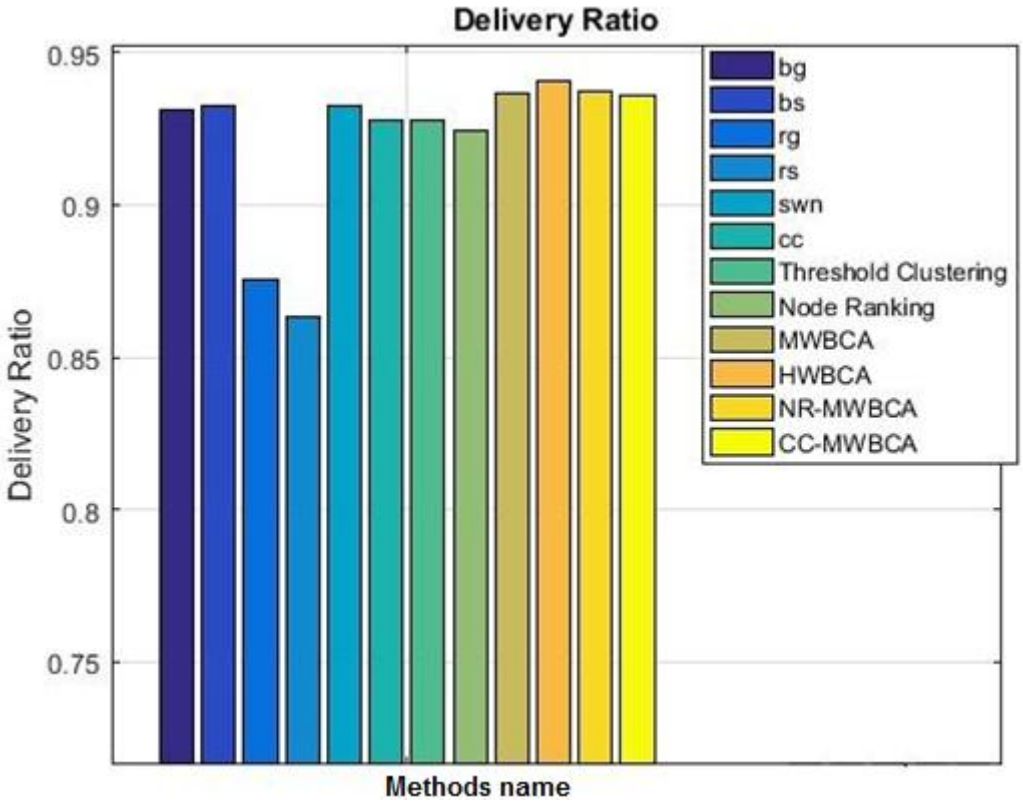
نام معیار	درصد متوسط میزان پایداری
BLAC-bg	**۳**
BLAC-bs	**۴**
BLAC-rg	**۳**
BLAC-rs	**۳**
Small World Network Model	**۲.۵**
Clustering Coefficient based	**۳**
Threshold Clustering based	**۳**
Node Ranking based	**۳.۲۵**
MWBCA	**۱۱**
HWBCA	**۱۱**
Node Ranking-MWBCA	**۱۳**
Clustering Coefficient-MWBCA	**۸.۵**

تعداد متوسط خوشه‌هایی که معیارهای ارایه شده در این پژوهش به ازای ۲۰۰ بار اجرا بر روی توپولوژی‌های مختلف ساختند، همانگونه که گفته شد و توضیح داده شد از پارامترهای مهم و تاثیرگذار بر روی طول عمر شبکه و متوسط تعداد گام‌های شبکه به ازای آن معیار خاص بود. برای مقایسه بهتر معیارها از این منظر، متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده تمامی معیارها در زمان حیات شبکه در جدولی مانند جدول ۴-۴ آورده شده است که مشاهده می‌کنید.

جدول ۴-۵. مقایسه متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده

نام معیار	متوسط تعداد خوشه‌های ساخته شده
BLAC-bg	۱۵
BLAC-bs	۱۴
BLAC-rg	۲۴
BLAC-rs	۲۲
Small World Network Model	۱۳
Clustering Coefficient based	۱۲
Threshold Clustering based	۱۲
Node Ranking based	۱۳
MWBCA	۱۳
HWBCA	۱۲
Node Ranking-MWBCA	۱۲
CC-MWBCA	۱۰

در انتهای مقایسه‌های انجام گرفته در این بخش، به مقایسه میانگین مقادیر نرخ تحویل بسته توسط معیارهای متعدد ارائه شده می‌پردازیم. گفتیم که هر چقدر نرخ تحویل بسته بهتر باشد، به معنی آن است که احتمال گم شدن بسته‌ها در مسیرهای مختلف شبکه کمتر شده و تلفات بسته‌ها تا حد زیادی کاهش می‌یابد. برای درک بهتر مقایسه معیارها از این منظر، شکل ۴-۵۰ را رسم نمودیم که به وضوح به مقایسه این معیارها از جهت میانگین نرخ تحویل بسته می‌پردازد.



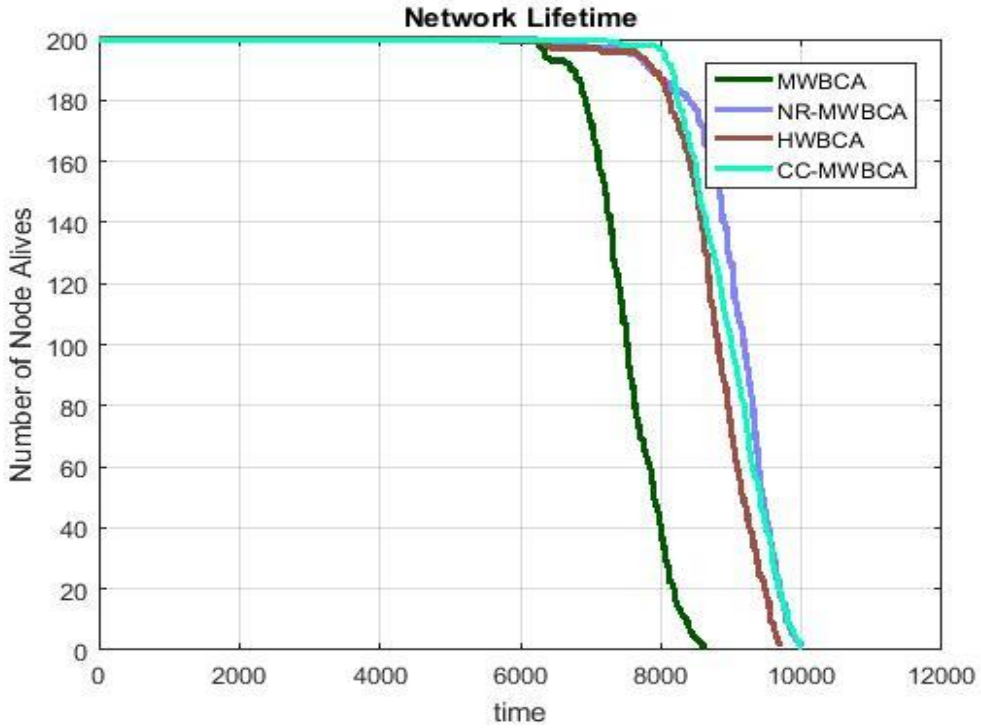
شکل۴-۵۰. نمودار میله‌ای متوسط نرخ تحویل شبکه به ازای همه معیارها

همچنین در ادامه این بخش باز هم برای بررسی دقیقتر مقادیر میانگین نرخ تحویل بسته، این مقادیر را در جدول ۴-۵ نیز آورده‌ایم که آن را ملاحظه می‌فرمایید. کمترین میزان نرخ تحویل مطابق با بررسی‌های انجام گرفته توسط ما با استفاده از شبیه‌ساز متلب، متعلق به روش BLAC-rs با نرخ حدود ۸۶ درصد بوده و بیشترین نرخ مربوط به معیار HWBCA با متوسط نرخ حدود ۹۴.۲۵ است. البته وقتی سخن از کمترین نرخ به میان می‌آوریم، منظور مقایسه این معیارها با یکدیگر است. در حالیکه خود مقدار ۸۶ درصد نیز از لحاظ نرخ تحویل بسته تا حد قابل قبولی مناسب بوده و در حد و اندازه‌های یک پروتکل خوب جهت پیاده‌سازی بر روی شبکه حسگر بی‌سیم است.

جدول ۴-۶. مقایسه میانگین نرخ تحویل بسته‌ها

نام معیار	درصد میانگین نرخ تحویل بسته‌ها
BLAC-bg	۹۲.۵
BLAC-bs	۹۲.۸
BLAC-rg	۸۷
BLAC-rs	۸۶
Small World Network Model	۹۲
Clustering Coefficient based	۹۲
Threshold Clustering based	۹۲
Node Ranking based	۹۱.۸
MWBCA	۹۳
HWBCA	۹۴.۲۵
Node Ranking-MWBCA	۹۲.۸
CC-MWBCA	۹۲.۵

در انتهای این فصل نیز برای روشن‌تر بودن مفهوم بهبود طول عمر معیارهای ترکیبی ارائه شده، آن‌ها را در کنار یکدیگر و در یک نمودار مطابق با شکل ۴-۵۱ گردآوری نموده‌ایم که به مقایسه طول عمر معیارهای ترکیبی در این شکل پرداخته شده است. بیشترین بهبود معیار پیشنهادی، متعلق به معیار ضریب خوشه‌بندی محلی به صورت چند وزنی است که در جای خود توضیح داده شد.



شکل۴-۵۱. مقایسه میانگین طول عمر شبکه با استفاده از معیارهای ترکیبی

همانگونه که از نمودار شکل ۴-۵۱ نیز برمی‌آید. پس از معیار ضریب خوشه‌بندی محلی به صورت چندوزنی، معیار چندوزنی بر پایه رتبه‌دهی به گره‌ها متوسط طول عمر بیشتری در قیاس با سایر معیارهای ترکیبی دارد.

فصل ۵ : جمع‌بندی و پژوهش‌های آینده

۵-۱ جمع‌بندی

در این بخش به بیان جمع‌بندی از نتایج بدست آمده در بررسی و تحلیل معیارهای حاصل می‌پردازیم. به طور کلی اولین و مهمترین چالشی که همواره در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با آن مواجه هستیم طول عمر آن است. یعنی از لحظه اول شروع به کار شبکه تا لحظه‌ای که اولین گره شبکه ما به خاطر اتمام انرژی‌اش می‌میرد. همواره با تمهیداتی که می‌اندیشیم سعی در افزایش طول عمر شبکه خود داریم. البته این افزایش طول عمر شبکه نباید به گونه‌ای باشد که میزان پایداری شبکه را کاهش دهد. یا این افزایش طول عمر شبکه نباید به گونه‌ای باشد که نرخ تحویل بسته را کاهش دهد. بنابراین باید این نکته را در نظر داشته باشیم که افزایش طول عمر شبکه به هرقیمتی مناسب نیست.

به صورت کلی ما در این پژوهش دنبال معیارهایی بودیم که یا خود آن‌ها یا ترکیب آن‌ها با الگوریتم پایه‌ای که ما مورد بررسی قرار دادیم، بتواند طول عمر طویل‌تری را نسبت به الگوریتم BLAC پایه به ما بدهد. در عین حال پژوهش ما در زمینه بررسی معیارها به گونه‌ای بود که دائما توجهمان به قیاس عادلانه معیارها بود. یعنی پخش تصادفی را برای همه معیارها رعایت می‌کردیم و فقط یک شکل خاص توپولوژی را مورد بررسی قرار ندادیم. بلکه میانگین‌های بدست آمده برای نمودارهای هر معیار، ناشی از اجرای چندین باره‌ی همه معیارهای ترکیب شده با الگوریتم پایه BLAC را در شبیه ساز خود به عنوان جواب خود در نظر می‌گرفتیم. معیارهای مورد پیشنهادی ما از جهات دیگری از قبیل مناسب بودن تعداد گام‌های هر گره تا گره سرخوشه و مصالحه درست و مناسب بین تعداد خوشه‌ها و اندازه هر خوشه نیز مورد بررسی و آزمون قرار می‌گرفت تا بتوانیم این ادعا را داشته باشیم که تمامی جنبه‌های یک معیار پیشنهادی را به خوبی زیر ذره‌بین قرار داده‌ایم.

از مهمترین عللی که الگوریتم BLAC را جهت پژوهش خود انتخاب نمودیم این بود که این الگوریتم جزو الگوریتم‌های ابداع شده جدید بود که هم به صورت توزیع شده عمل می‌نماید و هم اینکه جزو اولین الگوریتم‌هایی است که میزان باتری یا انرژی هر گره را نیز جهت انتخاب شدن به

عنوان سرخوشه برای مرحله بعد اجرای الگوریتم در نظر می‌گیرد. این الگوریتم به صورت پویا در بطن خود با در نظر گرفتن انرژی هر گره و همچنین معیارهایی مانند تراکم یا درجه، به امتیازدهی به هر گره در هر مرحله از اجرای الگوریتم می‌پرداخت و گرهی که دارای بیشترین امتیاز (در هر خوشه) بود را به عنوان گره سرخوشه بعدی انتخاب می‌نمود. البته معیارهای دیگری مانند ضریب خوشه‌بندی، یا رتبه‌بندی گره‌ها نیز می‌توانند با ترکیب شدن در الگوریتم BLAC باعث بهبود عملکرد الگوریتم ما در زمینه‌های متعددی گردند که مفصلا به آن‌ها پرداختیم.

الگوریتم BLAC به طور کلی دارای چهار نسخه بود. تراکم و درجه از معیارها اصلی آن بودند که هم بر روی گراف اصلی شبکه و هم بر روی گراف کاهش یافته شبکه اعمال می‌شدند. از آنجایی که تمامی بررسی‌های ما بر روی کل گراف شبکه انجام می‌گرفت لذا عادلانه بود تا مقایسه هایی که انجام می‌دادیم نیز با گراف کاهش یافته نباشد. همانگونه که بیان شد معیارهایی از قبیل وزن‌دهی به فاکتورهای تاثیرگذار موجود در شبکه متناسب با مقتضیات شبکه حسگر ما انجام می‌گیرد. تغییر وزن‌های اهمیت‌دهی به معیارها در صورت نیاز و همچنین استفاده از معیارهایی از قبیل ضریب محلی خوشه‌بندی و رتبه‌بندی گره‌ها از دیگر نوآوری‌ها و توسعه‌های ارائه شده بر روی الگوریتم پایه است که تا قبل از این کمتر به آن پرداخته شده بود. نتایج بدست آمده از این معیارهای پیشنهادی نشان از مقبولیت این معیارها دارد. زیرا ما با وارد نکردن فاکتورهایی مانند فاصله هر گره تا ایستگاه و مرکز اصلی پردازش داده و همچنین درگیر نکردن خود با محاسبات پیچیده ریاضی و فقط به صرف داشتن پارامترهایی از قبیل میزان انرژی اولیه و انرژی کنونی هر گره یا مقدار تراکم یا درجه‌ی هر گره و یا ضریب خوشه‌بندی محلی و غیره توانستیم به امتیازهای متعددی جهت انتخاب یک گره به عنوان گره سرخوشه در روند اجرای الگوریتم دست پیدا کنیم، که همانگونه که بیان شد در پژوهش‌های پیشین این موضوع کمتر به چشم می‌خورد. در پایان نیز می‌توان به این نکته اشاره نمود که سادگی فهم معیارهای پیشنهادی و همچنین روشن و واضح بودن تمامی زوایای آن کمک شایانی به پیاده‌سازی درست و همچنین ادغام نمودن مفاهیم مختلف در آن می‌نماید.

۵-۲ پژوهش‌های آینده

از آنجایی که همواره افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر مورد توجه پژوهشگران بوده است لذا می‌توان اینگونه بیان نمود که طراحی سیستمی (الگوریتمی) که باعث بهبود طول عمر شبکه در قیاس با روش‌های دیگر باشد دارای الویت بالایی برای انجام این مدل پژوهش‌ها در آینده است. همچنین ارائه روش یا معیاری که باعث پایداری بیشتر سیستم شود و یا اینکه حداقل مانند الگوریتم BLAC دارای معیاری مثل درجه نباشد که با کوچکترین تغییری در شبکه، بر روی طول عمر کلی شبکه تاثیر به سزایی می‌گذارد می‌تواند بیشتر و بیشتر در آینده مورد بحث و بررسی قرار بگیرد. معرفی روش‌هایی که با استفاده از شبکه‌های جهانی کوچک قوی، میانبرهایی را به بعضی از مسیرها به صورت منطقی به گونه‌ای اضافه کند که علیرغم اضافه نشدن سربار محاسباتی به علت افزایش تعداد یال‌ها یا مسیرهای موجود در شبکه، بتواند میانگین فاصله (گام) از مبدا تا مقصد را کاهش دهد. این موضوع یعنی کاهش تعداد گام‌ها از مبدا به مقصد خود باعث کاهش مصرف کلی انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم خواهد شد.

استفاده از معیارهای منطقی به صورت وزن‌دار که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته‌اند خود می‌تواند در تغییرات مصرف انرژی تاثیرگذار باشد. یعنی در پژوهش‌های آینده از ضرایب یا پارامترهایی استفاده شود که در پژوهش ما مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. به عنوان مثال ما در پژوهش خود، سخنی از فاصله هر گره تا ایستگاه اصلی مرکز پردازش داده به میان نیاورده‌ایم. یعنی جایگاه فرضی آن را در دوردست و خارج از شبکه بی‌سیم خود قرار دادیم که تنها گره‌های سرخوشه از طریق لینک‌های دوربرد که مصرف انرژی زیادی نیز دارند به آن‌ها دسترسی دارند و اطلاعات جمع‌آوری شده از محیط را به آن‌ها ارسال می‌نمایند. جهت‌یابی این ایستگاه و همچنین در نظر گرفتن فاصله هر گره تا این ایستگاه می‌تواند به تنظیم مصرف انرژی کمک نماید [۳۳-۳۵].

روش‌های دیگری از قبیل انتشار پیوستگی[1] و همچنین انتشار پیوستگی تطبیقی وجود دارند که در آن هر گره موجود درشبکه، به عنوان کاندیدایی جهت برعهده‌گیری نقش سرخوشگی و تشکیل خوشه در نظر گرفته می‌شود. در این روش هر گره به همسایگانش یک پیام می‌فرستد تا ببیند هر گره که در همسایگی‌اش قرار دارد چه میزان شایستگی جهت انتخاب شدن به عنوان والد این گره دارد. همچنین گره‌های همسایه نیز هر کدام جداگانه یک پیام برای گره مورد نظر ما می‌فرستند تا اعلام نمایند که چقدر قابل دسترسی برای این گره هستند. مجموع این دو مقدار دسترسی و شایستگی برای هرگره امتیاز کلی آن گره جهت سرخوشه شدن را انتخاب می‌نمایند [۳۶-۳۸]. گره‌ای که در بین همسایگانش دارای امتیاز بیشتری باشد احتمال بیشتری دارد تا به عنوان سرخوشه انتخاب شود. از مزایای این معیار آن است که یک گره جهت انتخاب شدن برای والد یا سرخوشه یک خوشه، علاوه بر اینکه برای انتخاب شدن یک امتیاز یا شایستگی از طرف گره‌های همسایه به او داده می‌شود، میزان در دسترس بودن خودش برای برعهده گرفتن این نقش نیز یک فاکتور مهم برای انتخاب شدن محسوب می‌شود که باعث منحصر به فرد شدن این معیار می‌گردد. این روش که به روش تبادل پیام‌ها[2] نیز معروف است در صورت ترکیب شدن با الگوریتم BLAC احتمالا بتواند یک روش بهینه و کارآمد در جهت انتخاب گره سرخوشه برای مراحل بعدی اجرای الگوریتم باشد. در این معیار یک عامل شباهت وجود دارد که مقادیر مربوط به شایستگی هر گره را به روز رسانی کند. این عامل شباهت در حالت عادی فاصله اقلیدسی بین گره‌های مورد بررسی می‌باشد که البته می‌تواند هر پارامتری متناسب با منطق الگوریتم و روش مورد بررسی ما از قبیل مقدار باتری موجود در هر گره، درجه و غیره در نظر گرفته شود.

یافتن فاکتورهای دیگری از شبکه که بتواند یال‌های منتهی به گره‌هایی که از نظر انرژی دارای شرایط بحرانی هستند و یا یال‌هایی که به گره‌هایی متصل می‌شوند که دارای تراکم زیادی می‌باشند از

[1] Affinity propagation

[2] Message passing

دیگر پژوهش‌هایی است که در آینده می‌تواند مورد انجام قرار بگیرد تا گراف شبکه حسگر بی‌سیم دارای سربار محاسباتی کمتری گردد، یعنی یال‌هایی که امکان به مخاطره انداختن طول عمر شبکه را دارند بتوانیم از شبکه حذف نماییم.

پیش بینی نمودن برای انتخاب گره سرخوشه بعدی یک گام مهم در جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی کلی شبکه می‌باشد. در واقع ما با پیش بینی نمودن گام بعدی اجرای الگوریتم یا روند کلی آن جهت انتخاب گره سرخوشه برای شبکه حسگر خود و یا پیش‌بینی از روی میزان مصرف انرژی هرگره و تعداد همسایگان و وضعیت تراکم یا درجه آن گره، می‌توانیم کمک بزرگی به شبکه نموده و مانع از انتخاب گره‌هایی شویم که ناچارا باید به عنوان گره سرخوشه انتخاب گردند [۳۹, ۴۰]. در نهایت استفاده از مدل ها یا فیلترهایی که بتواند عمل پیش‌بینی را انجام دهد از این منظر بسیار حیاتی بوده و باید در آن تامل بیشتری نمود. همچنین روش خوشه‌بندی فازی نیز می‌تواند به عنوان یک ایده جدید در اختیار پژوهشگران این زمینه قرار بگیرد [۴۱, ۴۲].

از ویژگی‌های روش پیشنهادی آن است که گره‌هایی که دارای انرژی بحرانی هستند تا پایان عمر خود در یک خوشه با اندازه معین شده باقی می‌مانند. (اندازه هر خوشه همان اول در مرحله ابتدایی تعیین می‌گردد و تا زمان به پایان رسیدن عمر یکی از گره‌های همسایه‌اش به همان صورت باقی می‌ماند.) که این خود شاید یک ضعف محسوب شود. پژوهش‌های آینده می‌تواند شامل آن باشد که با ادغام نمودن خوشه‌ها در صورت تشکیل یک خوشه‌ای که سایز آن از حد آستانه تعیین شده بیشتر است بتوانیم بهبودی بر مصرف انرژی کلی شبکه خود ایجاد نماییم. یا انتقال دادن دو یا چند گره موجود در خوشه که از نظر انرژی دارای شرایط بحرانی هستند به خوشه‌های مجاوری که اولا تعداد گره‌های آن زیاد نیست و ثانیا میانگین آن‌ها لحاظ سطح انرژی در حد بالاتری از این دو یا چند گره قرار دارند و گره سرخوشه آن‌ها توانایی مدیریت ایده‌آل این گره‌های وارد شده به خوشه خود را دارد.

در نهایت اینکه شبکه حسگر که ما بررسی نمودیم قابلیت تحرک[1] نداشت. یعنی گره‌های سرخوشه یا سایر گره‌های موجود در هرخوشه قابلیت تغییر مکان جغرافیایی خود را در شبکه نداشتند. حال اگر این قابلیت نیز به شبکه حسگر ما اضافه گردد، با توجه به تغییرات دائمی فاصله اقلیدسی هر گره نسبتا به همسایگان خود و یا گره سرخوشه در شبکه متحرک، قطعا تغییرات در میزان مصرف انرژی نیز خواهیم داشت. لذا باید تمهیداتی اندیشیده شود که بتواند یا جابه‌جایی گره‌ها کنترل شود و باعث خراب شدن شکل و ساختار هرخوشه پس از تشکیل خوشه نشود یا اینکه در صورت تغییرات زیاد با جابه‌جایی گره‌ها بتوانیم مصرف بی رویه انرژی ناشی از افزایش فاصله بین گره‌ها را مدیریت نماییم [۴۳-۴۵]. در صورتی که به شبکه ما قابلیت تحرک اضافه شود آن‌گاه می‌توان شبکه حسگر خود را بلافاصله با حفظ توپولوژی از یک محیط به محیط دیگر منتقل نمود، بدون آنکه از لحاظ مصرف انرژی دچار اتلاف زیادی باشیم. تمام چالش‌هایی که ذکر شد متوجه یک شبکه حسگر با ساختار نسبتا پیچیده می‌باشد. اگر ما بتوانیم به گونه‌ای الگوریتم یا معیار خود را طراحی و پیاده‌سازی نماییم که در عین حال که قابلیت مقیاس‌پذیری زیادی دارد بتواند بر این چالش‌ها نیز غلبه کند آن‌گاه می‌توان برای کارهای آینده ادعا نمود که الگوریتم پیشنهاد شده قابلیت بسط و توسعه بیشتر جهت مطالعات بعدی را نیز خواهد داشت.

[1] mobility

فهرست واژگان

ا

اقتضایی ..... occasionally

ایستگاه مرکزی..... base station

ارتباطات دوربرد..... GPRS Links

اتصال..... connectivity

انفعالی..... reactive

انتشار پیوستگی..... Affinity Propagation

الگوریتم رتبه‌بندی گره‌ها..... Node Ranking Algorithm

پهنای باند..... Band Width

پ

پروتکل شبکه حسگر موثر در انرژی حساس به آستانه..... TEEN

ت

توری شکل..... grid

تصادفی..... Random

تراکم..... density

ترکیبی- چندرگه..... hybrid

ج

جاذبه..... gravity

خ

خوشه‌بندی آگاه از سطح انرژی..... BLAC

گردآوری با کارایی انرژی در سیستم حسگر اطلاعاتی... PEGASIS

خوشه‌بندی برپایه وزن دهی به ضرایب..... WBCA

م

خوشه‌بندی برپایه چندوزنی..... MWBCA

خودراهبر..... Self Leader

خوشه‌بندی با آستانه..... threshold Clustering

س

سرخوشه..... clusterhead

ش

شبکه ارتباطی با حداقل انرژی..... MECN

شبکه ارتباطی با حداقل انرژی کوچک..... SMECN

شبکه جهانی کوچک..... Small World Network

شرط همگرایی..... convergence condition

ض

ضریب کاهشی..... damping factor

ضریب خوشه‌بندی سراسری..... global clustering coefficient

ضریب توان..... power Factor

ق

قابلیت تحرک..... mobility

ک

کارانداز..... Actuator

گ

گم شدن بسته‌ها..... Packet loss

مقیاس‌پذیری.....Scalability

مقاوم.....robust

محلی.....Local

متراکم‌کننده محلی.....Local Aggregator

متراکم‌کننده اصلی.....Main Aggregator

مقدار حسگر.....Sensor Value

میانبر.....Shortcut

متمرکز.....Centralized

ن

نرخ تحویل بسته.....Packet delivery ratio

و

والد.....Parent

فهرست علائم اختصاری

A

APTEEN…….....Adaptive Threshold-sensetive Energy Efficient Network

B

BLAC……..Battery Level Aware Clustering

C

CC-MWBCA……..Clustering Coefficient Multi weight based Clustering Algorithm

G

GPRS……..General Packet Radio Service

GPS……..Global Positioning System

H

HPAR…… Hierarchical Power-Aware Routing

HWBCA....Hybrid Weight based Clustering Algorithm

L

LEACH.....Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

M

MECN…...Minimum Energy Communication Network

MWBCA.…Multi Weight Based Clustering Algorithm

N

NW…….Newman-Watts

P

PF…….Power Factor

PEGASIS.....Power Efficient Gathering in Sensor Information System

T

TEEN…….. Threshold-sensetive Energy Efficient Network

TTDD……..…Two-Tier Data Dissemination

V

VGA……...……Virtual Grid Architecture

W

WS……..Watss-Strogatz

WBCA……...…Weight Based Clustering Algorithm

مراجع

[۱] Yick, Jennifer, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. "Wireless sensor network survey." Computer networks 52, no. 12 (2008): 2292-2330.

[۲] Zhu, Zheng-jian, Qing-ping Tan, and Pei-dong Zhu. "A survey of WSN security research [J]." Computer Engineering & Science 4 (2008).

[۳] Kaur, Jaspinder, Taranvir Kaur, and Kanchan Kaushal. "Survey on WSN routing protocols." International Journal of Computer Applications (0975–8887) Volume (2015).

[۴] Pantazis, Nikolaos A., and Dimitrios D. Vergados. "A survey on power control issues in wireless sensor networks." IEEE Communications Surveys & Tutorials 9, no. 4 (2007): 86-107.

[۵] Al-Karaki, Jamal N., and Ahmed E. Kamal. "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey." IEEE wireless communications 11, no. 6 (2004): 6-28.

[۶] Akyildiz, Ian F., Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. "Wireless sensor networks: a survey." Computer networks 38, no. 4 (2002): 393-422.

[۷] Yetgin, Halil, Kent Tsz Kan Cheung, Mohammed El-Hajjar, and Lajos Hanzo Hanzo. "A survey of network lifetime maximization techniques in wireless sensor networks." IEEE Communications Surveys & Tutorials 19, no. 2 (2017): 828-854.

[۸] Jain, Rashmi, Manali Kshirsagar, and Latesh Malik. "Analysis of Setup Energy of LEACH Protocol for Wireless Sensor Networks." Networks 1: 2.

[۹] Lindsey, Stephanie, and Cauligi S. Raghavendra. "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems." In Aerospace conference proceedings, vol. 3, pp. 3-3. IEEE, 2002.

[۱۰] Rathi, Neha, Jyoti Saraswat, and Partha Pratim Bhattacharya. "A review on routing protocols for application in wireless sensor networks." arXiv preprint arXiv:1210.2940 (2012).

[۱۱] Kumar, Arun, Hnin Yu Shwe, Kai Juan Wong, and Peter HJ Chong. "Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey." Wireless Sensor Network 9, no. 01 (2017): 25.

[۱۲] Luo, Haiyun, Fan Ye, Jerry Cheng, Songwu Lu, and Lixia Zhang. "TTDD: Two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks." Wireless networks 11, no. 1-2 (2005): 161-175.

[۱۳] Almazaydeh, Laiali, Eman Abdelfattah, Manal Al-Bzoor, and Amer A. Al-Rahayfeh. "Performance evaluation of routing protocols in wireless sensor networks." (2010).

[۱۴] Manjeshwar, Arati, and Dharma P. Agrawal. "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks." In null, p. 30189a. IEEE, 2001.

[۱۵] Ma, Jinyu, Shubin Wang, Chen Meng, Yanhong Ge, and Jingtao Du. "Hybrid energy-efficient APTEEN protocol based on ant colony algorithm in wireless

sensor network." EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2018, no. 1 (2018): 102.

[۱۶] Manjeshwar, Arati, and Dharma P. Agrawal. "APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks." In ipdps, p. 0195b. IEEE, 2002.

[۱۷] Li, Qun, Javed Aslam, and Daniela Rus. "Hierarchical power-aware routing in sensor networks." In Proceedings of the DIMACS workshop on pervasive networking, pp. 47-52. 2001.

[۱۸] Bandyopadhyay, Seema, and Edward J. Coyle. "An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks." In INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, vol. 3, pp. 1713-1723. IEEE, 2003.

[۱۹] Chatterjee, Mainak, Sajal K. Das, and Damla Turgut. "WCA: A weighted clustering algorithm for mobile ad hoc networks." Cluster computing 5, no. 2 (2002): 193-204.

[۲۰] Ullah, Zaib, Leonardo Mostarda, Roberto Gagliardi, Diletta Cacciagrano, and Flavio Corradini. "A Comparison of HEED Based Clustering Algorithms-Introducing ER-HEED." In 2016 IEEE 30th international conference on advanced information networking and applications (AINA), pp. 339-345. IEEE, 2016.

[۲۱] T. Ducrocq, N. Mitton, and M. Hauspie, "Energy-based clustering for wireless sensor network lifetime optimization," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE*, 2013, pp. 968-973: IEEE.

[۲۲] T. Schank and D. Wagner, *Approximating clustering-coefficient and transitivity*. Universität Karlsruhe, Fakultät für Informatik, 2004.

[۲۳] Saramäki, Jari, Mikko Kivelä, Jukka-Pekka Onnela, Kimmo Kaski, and Janos Kertesz. "Generalizations of the clustering coefficient to weighted complex networks." Physical Review E 75, no. 2 (2007): 027105.

[۲۴] Chen, Hao, and Seapahn Megerian. "Cluster sizing and head selection for efficient data aggregation and routing in sensor networks." In Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE, vol. 4, pp. 2318-2323. IEEE, 2006.

[۲۵] Al-Baz, Ahmed, and Ayman El-Sayed. "A new algorithm for cluster head selection in LEACH protocol for wireless sensor networks." International journal of communication systems 31, no. 1 (2018): e3407.

[۲۶] Newman, Mark EJ, and Duncan J. Watts. "Renormalization group analysis of the small-world network model." Physics Letters A 263, no. 4-6 (1999): 341-346.

[۲۷] Zhang, Tiankui, Jinlong Cao, Yue Chen, Laurie Cuthbert, and Maged Elkashlan. "A small world network model for energy efficient wireless networks." IEEE Communications Letters 17, no. 10 (2013): 1928-1931.

[۲۸] Amaral, Luis A. Nunes, Antonio Scala, Marc Barthelemy, and H. Eugene Stanley. "Classes of small-world networks." Proceedings of the national academy of sciences 97, no. 21 (2000): 11149-11152.

[۲۹] Comeau, Frank, and Nauman Aslam. "Analysis of LEACH energy parameters." Procedia Computer Science 5 (2011): 933-938.

[۳۰] Chinara, Suchismita, and Santanu Kumar Rath. "A survey on one-hop clustering algorithms in mobile ad hoc networks." Journal of Network and Systems Management 17, no. 1-2 (2009): 183-207.

[۳۱] Fan, Zhiping, and Zhengzhe Jin. "A multi-weight based clustering algorithm for wireless sensor networks." College of Computer Science & Educational Software Guangzhou University (2012).

[۳۲] Cisse, Cheikh Sidy Mouhamed, and Cheikh Sarr. "A hybrid weight-based clustering algorithm for wireless sensor networks." Open Access Library Journal 2, no. 05 (2015): 1.

[۳۳] Basagni, Stefano, Alessio Carosi, Emanuel Melachrinoudis, Chiara Petrioli, and Z. Maria Wang. "Controlled sink mobility for prolonging wireless sensor networks lifetime." Wireless Networks 14, no. 6 (2008): 831-858.

[۳۴] Luo, Jun, and Jean-Pierre Hubaux. "Joint sink mobility and routing to maximize the lifetime of wireless sensor networks: the case of constrained mobility." IEEE/ACM Transactions on Networking (TON) 18, no. 3 (2010): 871-884.

[۳۵] Saad, Leila Ben, and Bernard Tourancheau. "Sinks mobility strategy in IPv6-based WSNs for network lifetime improvement." In New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2011 4th IFIP International Conference on, pp. 1-5. IEEE, 2011.

[۳۶] Bodenhofer, Ulrich, Andreas Kothmeier, and Sepp Hochreiter. "APCluster: an R package for affinity propagation clustering." Bioinformatics 27, no. 17 (2011): 2463-2464.

[۳۷] Frey, Brendan J., and Delbert Dueck. "Clustering by passing messages between data points." science 315, no. 5814 (2007): 972-976.

[۳۸] Wang, Kaijun, Junying Zhang, Dan Li, Xinna Zhang, and Tao Guo. "Adaptive affinity propagation clustering." arXiv preprint arXiv:0805.1096 (2008).

[۳۹] Koucheryavy, Andrey, and Ahmed Salim. "Prediction-based clustering algorithm for mobile wireless sensor networks." In Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on, vol. 2, pp. 1209-1215. IEEE, 2010.

[۴۰] Muthuramalingam, S., R. RajaRam, Kothai Pethaperumal, and V. Karthiga Devi. "A dynamic clustering algorithm for MANETs by modifying weighted clustering algorithm with mobility prediction." International Journal of Computer and Electrical Engineering 2, no. 4 (2010): 709.

[۴۱] Hafeez, Khalid Abdel, Lian Zhao, Zaiyi Liao, and Bobby Ngok-Wah Ma. "A fuzzy-logic-based cluster head selection algorithm in VANETs." In Communications (ICC), 2012 IEEE International Conference on, pp. 203-207. IEEE, 2012.

[۴۲] Lee, Jin-Shyan, and Wei-Liang Cheng. "Fuzzy-logic-based clustering approach for wireless sensor networks using energy predication." IEEE Sensors Journal 12, no. 9 (2012): 2891-2897.

[۴۳] Awwad, Samer AB, Chee Kyun Ng, Nor K. Noordin, and Mohd Fadlee A. Rasid. "Cluster based routing protocol for mobile nodes in wireless sensor network." Wireless Personal Communications 61, no. 2 (2011): 251-281.

[۴۴] Deng, Shaozhi, Jingfeng Li, and L. Shen. "Mobility-based clustering protocol for wireless sensor networks with mobile nodes." IET wireless sensor systems 1, no. 1 (2011): 39-47.

[۴۵] Nguyen, Lan Tien, Xavier Defago, Razvan Beuran, and Yoichi Shinoda. "An energy efficient routing scheme for mobile wireless sensor networks." In Wireless Communication Systems. 2008. ISWCS'08. IEEE International Symposium on, pp. 568-572. IEEE, 2008.

Abstract

Nowadays, wireless sensor networks are highly employed for collecting data from an environment where sensors are distributed in. Wireless sensor networks are used widely with various scales. In these days, using clustering methods for WSN's has made our network disciplined and caused our sensors binding to a clusterhead.

The clusterhead nodes are responsible for tasks such as collecting raw data and sending these accumulated data to a base station with GPRS links for processing. Therefore, consumption of Energy in this type of nodes are higher than ordinary nodes. When a sensor network tries to use a protocol which its energy consumption is not fairly distributed, the nodes quickly run out of energy and they finally die.

One of the useful methods for clustering nodes in a WSN is BLAC algorithm which considers battery level of nodes. Furthermore, it takes some predefined criteria into consideration for electing clusterheads. So that, network lifetime is improved in comparison to different kinds of traditional methods.

Albeit BLAC algorithm represents promising results on improving network lifetime, other different parameters must be taken into consideration, such as the average ratio of packet delivery, average hop count to destination (clusterhead node) and stability of the networks. These named parameters are remembered as the efficiency of a network. However, BLAC just aims at improving network lifetime.

In this research, we try to represent a newly developed version of the BLAC algorithm which uses a novel efficiency metrics, so that clusterhead nodes will be chosen more optimized.

In our proposed methods, in addition to the lifetime, several network efficiency parameters have been improved. In order to achieve this purpose, new criteria are taken into consideration such as the clustering coefficient and

node ranking. Furthermore, weighting criteria are also used in the proposed method.

Simulation result shows that using the suggested metrics may lead to increase network lifetime up to 34 percent comparing to the BLAC Algorithm. Moreover, the proposed criteria optimize the average ratio of packet delivery and hop count to clusterhead. Also, these suggested criteria lead to control Stabilization and the number of clusters and which are made by these criteria in an acceptable manner in our network.

Keywords: Wireless sensor networks, clustering, energy consumption, clusterhead node, BLAC algorithm, network lifetime

Shahrood University of Technology

Faculty of Computer Engineering
M.Sc Thesis in Artificial Intelligence Engineering

An improvement on Energy Consumption in WSNs based on the BLAC algorithm

By: MohammadReza Ghelichli

Supervisors:
Dr. Mohsen Rezvani

Dr. Ali Akbar Pouyan

Advisor:
Dr. Mansoor Fateh

January 2019