

یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر بردار در شبکه حسگر بی سیم زیر آب

سید مجید مزینانی/ دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد/ smajidmazinani@imamreza.ac.ir

هادی یوسفی/ دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور/ uosefihadi@gmail.com

مصطفی میرزایی/ دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد/ mostafa.mirzaie@imamreza.ac.ir

چکیده

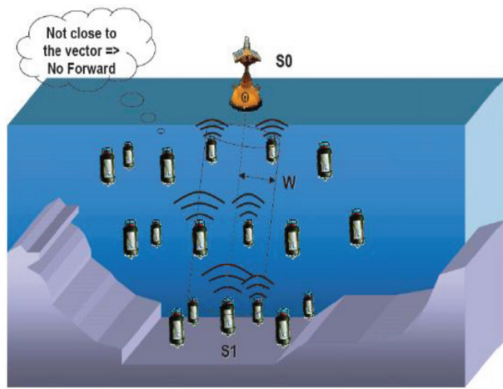
یکی از مهم ترین دغدغه های امروز پژوهشگران در شبکه های حسگر بی سیم زیر آب، با توجه به محدودیت ها و ویژگی های خاص محیط درون آب، مساله ی مسیریابی است. این محدودیت ها شامل توپولوژی سه بعدی، پهنای باند محدود، تحرک گره، تاخیر طولانی، انرژی محدود و هزینه ساخت است. پروتکل های مسیریابی جدید برای شبکه های زیر آب بر اساس مسیریابی حریصانه توسعه یافته اند. مشکل اساسی در UWSN ها پیدا کردن یک مسیر کارآمد بین منبع و مقصد است تا بتواند با مصرف انرژی پایین، تعداد بسته های بیشتری را به مقصد برساند. در این پژوهش با بهبود الگوریتم VBF که یکی از روش های مرجع بوده و پروتکلی وابسته به شعاع لوله مسیریابی است، الگوریتمی ارایه شده است که شعاع لوله را به صورت تابعی از ابعاد محیط، برد و تعداد گره ها در نظر می گیرد. در نتیجه با تغییر یکی از این پارامترها، شعاع لوله مسیریابی نیز تغییر خواهد کرد. اما به منظور مدیریت انرژی مصرفی گره ها، تابعی وجود دارد که اگر انرژی باقی مانده گره دریافت کننده ی بسته خیلی کمتر از انرژی باقی مانده ی گره ارسال کننده باشد، با کوچک کردن شعاع لوله مسیریابی، شانس انتخاب شدن به عنوان گره هدایت کننده را کاهش می دهد، تا گره های دیگر شانس بدست آوردن گره هدایت کننده بسته را به دست آورند. الگوریتم ارایه شده با پروتکل های VBF، HHVBF و VBVA مقایسه شده است و نتایج شبیه سازی که به دست آمده از شبیه ساز NS-2 است، حاکی از آن است که روش پیشنهادی توانسته با تکیه بر تغییر عرض لوله مسیریابی متناسب با تراکم شبکه، مصرف انرژی کمتری را به ویژه در شبکه های با تعداد گره زیاد، نسبت به سایر روش ها داشته باشد و همچنین در شبکه های غیرمترک، بسته های بیشتری را نیز تحویل نماید.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر زیر آب، الگوریتم های مسیریابی، لوله مسیریابی

مقدمه

بی سیم به یک حوزه پژوهشی داغ تبدیل شدند. در آغاز، این شبکه ها تنها برنامه های کاربردی زمینی را پوشش می دادند، اما در ادامه و با توجه به اهمیت پردازش اطلاعات در سیاره ای که ۷۰ درصد سطح آن از آب پوشیده شده است، زمینه ی ورود این نوع شبکه ها به درون آب فراهم شد [۱،۲]. تعدد تحقیق و پژوهش در این حوزه نشان از

شبکه ی حسگر بی سیم مورد علاقه ی بسیاری از پژوهشگران در سال های اخیر بوده و پیشرفت های قابل ملاحظه ای نیز در این حوزه به وجود آمده است. در پایان قرن بیستم، شبکه های حسگر



شکل ۲-۲: عملکرد پروتکل VBF [۱۵]

پروتکل مسیریابی هدایت مبتنی بر بردار یا VBF، از نخستین پروتکل‌های مسیریابی ارایه شده برای محیط زیر آب است. این پروتکل با این هدف ارایه شده است که مساله حرکت گره‌ها و سیار بودن آنها را مرتفع نماید و بتواند در محیط‌هایی با توپولوژی پویا به کار گرفته شود و نیز از لحاظ مصرف انرژی کار آمد باشد. این الگوریتم یک پروتکل مبتنی بر موقعیت است. در این پروتکل در هر بسته ارسالی، موقعیت مکانی یا مختصات گره مبدأ، مقصد و گره هدایت‌کننده قرار داده می‌شود تا در عمل مسیریابی از آن استفاده شود [۷، ۱۰].

در پروتکل VBF موقعیت مکانی یا مختصات گره‌ها توسط تکنیک‌های تعیین موقعیت بدست می‌آید. در این پروتکل برای عمل مسیریابی از مفهوم «بردار مسیریابی^۶» و «لوله مسیریابی^۷» استفاده می‌شود. بردار مسیریابی یک خط مستقیم از گره مبدأ تا مقصد است و لوله مسیریابی یک استوانه با شعاع قابل تنظیم با مرکزیت بردار مسیریابی است. مسیر هدایت یک بسته از مبدأ تا مقصد توسط بردار مسیریابی مشخص می‌شود [۷]. هنگام دریافت یک بسته، گره گیرنده موقعیت خود را نسبت به گره هدایت‌کننده قبلی که بسته را از آن دریافت نموده محاسبه می‌نماید. هرگاه گره تشخیص بدهد که به اندازه کافی به بردار مسیریابی نزدیک است، آنگاه آن گره در نقش یک گره هدایت‌کننده قلمداد می‌شود و مختصات خود را درون بسته قرار می‌دهد و آن را به گره بعدی هدایت می‌کند. در غیر این صورت گره، بسته را حذف می‌نماید. در این پروتکل، همه گره‌های هدایت‌کننده بسته، درون لوله مسیریابی قرار دارند. گره‌هایی که نزدیک به بردار مسیریابی نیستند عمل هدایت را انجام نمی‌دهند و بسته‌های دریافتی را حذف می‌کنند [۷، ۱۶]. این پروتکل نیاز به اطلاعات موقعیت همه گره‌ها ندارد. پروتکل VBF یک پروتکل مسیریابی سمت مبدأ^۸ است. این بدین معنی است که مسیریابی از طرف گره مبدأ آغاز می‌شود. هر بسته اطلاعات مسیریابی ساده‌ای را حمل می‌کند و درون هر بسته سه فیلد مختصات FP، TP، OP که به ترتیب موقعیت مکانی گره‌های مبدأ، مقصد و هدایت‌کننده می‌باشند قرار می‌گیرد. برای پشتیبانی از ویژگی سیار بودن گره‌ها، هر بسته شامل یک فیلد به نام Range یا دامنه انتقال می‌باشد. هرگاه یک بسته به ناحیه‌ای که توسط فیلد TP تعیین شده است برسد. آنگاه بسته با استفاده از مقداری که درون فیلد دامنه انتقال قرار دارد محدوده ارسال را مشخص می‌کند و به صورت سیل آسا ارسال می‌گردد. در هر بسته یک فیلد بنام Radius وجود دارد که گره‌ها برای تعیین اینکه به اندازه کافی به بردار مسیریابی نزدیک‌اند از آن استفاده می‌نمایند. در واقع یک گره از طریق مقایسه فاصله‌اش تا بردار مسیریابی و فیلد Radius

کاربرد بالای آن دارد. از جمله‌ی این کاربردها می‌توان به حوزه‌هایی از قبیل بهداشت و درمان، عملیات نظامی، امنیت، مدیریت شهری، محیط‌زیست، ساختمان‌سازی، استحکام سازه‌های بزرگ مانند پل و تونل، عملیات‌های حیاتی مانند نظارت دریایی، شناسایی میادین نفتی، تشخیص آلودگی، پیشگیری از فاجعه سونامی، ناوبری، شناسایی معادن و جمع آوری داده‌های مربوط به اقیانوس‌شناسی و بسیاری از حوزه‌های دیگر اشاره کرد [۳-۸]. پروتکل‌های مسیریابی، نقش مهمی را در طراحی مدل شبکه ایفا می‌کنند. در UWSN‌ها، این پروتکل مسیریابی است که موجب ارسال داده‌ها از مبدأ به مقصد می‌شود [۹]. داشتن یک الگوریتم مسیریابی کارآمد جهت تحویل بسته‌ها به مقصد، یک امر مهم تلقی می‌شود که طراح شبکه باید آن را با دقت انتخاب نماید. از طرفی شبکه‌های حسگر زیر آبی دارای ویژگی‌های خاصی هستند که سبب می‌شود طراحی یک الگوریتم مسیریابی کارآمد برای آنها سخت و چالش‌زا باشد. این ویژگی‌ها عبارتند از: ۱- استفاده از سیگنال‌های صوتی به جای سیگنال‌های رادیویی به دلیل تضعیف سریع سیگنال‌های رادیویی. ۲- توپولوژی بسیار پویای شبکه که در نتیجه‌ی حرکت گره‌های حسگر توسط جریان آب به وجود می‌آید. البته برخی گره‌ها را می‌توان در سطح آب یا در کف آب به صورت ثابت مستقر نمود [۱۰-۱۳]. طراحی پروتکل‌های مبتنی بر کاهش مصرف انرژی برای این نوع از شبکه‌ها امری حیاتی و چالش برانگیز است، زیرا نودهای حسگر بوسیله باتری‌هایی کار می‌کنند که جایگزینی یا شارژ مجدد آنها کار مشکلی است. صرفه‌جویی در انرژی، مهم‌ترین دغدغه و نگرانی در UWSN‌ها است [۷]. در این مقاله، یک روش مسیریابی مبتنی بر بردار ارایه شده است که می‌تواند با استفاده از متغیر پویای عرض لوله مسیریابی، فرآیند ارسال داده را از مبدأ به مقصد، کنترل کند و از ارسال‌های بیهوده که منجر به اتلاف انرژی می‌شود، جلوگیری نماید. این الگوریتم با پروتکل‌های VBF، HH-VBF و VBVA مورد مقایسه قرار گرفته است. ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲، پیشینه تحقیق و روش‌های مسیریابی مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته شده است. الگوریتم پیشنهادی در بخش ۳ بیان شده است. در بخش ۴، ارزیابی روش ارایه شده و مقایسه آن با روش‌های دیگر و نهایتاً نتیجه‌گیری در بخش ۵ بیان می‌شود.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

در این بخش، به توضیح و بررسی چند الگوریتم مسیریابی در شبکه حسگر بی‌سیم زیر آب، می‌پردازیم.

۱-۲- بررسی پروتکل VBF

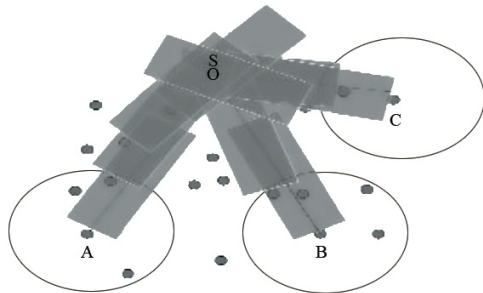
اولین الگوریتم مسیریابی مطرح شده برای شبکه‌های حسگر زیر آبی، الگوریتم VBF است. این الگوریتم یک الگوریتم مسیریابی جغرافیایی است که نیازمند یک تعیین مکان کامل است. موقعیت مکانی هر گره با تکنیک AOA^۲ یا قدرت سیگنال، تخمین زده می‌شود. اطلاعات مکانی گره منبع^۳، گره میانی^۴ و گره هدف^۵ در بسته‌ها حمل می‌شوند. مسیر انتقال توسط یک بردار از گره منبع تا گره مقصد تعیین می‌شود و این بردار در وسط یک لوله مسیریابی قرار می‌گیرد. تمام گره‌های درون این لوله کاندیدای ارسال بسته هستند. زمانی که یک گره بسته‌ای را دریافت کند، چنانچه این گره، درون لوله مسیریابی باشد، اقدام به ارسال (هدایت) بسته می‌کند و در غیر این صورت بسته را حذف می‌کند [۱۴، ۷].

شکل (۲-۲) یک دید سطح بالا از این الگوریتم را نشان می‌دهد.

اصولا این الگوریتم خود سازگار، اولویت بالاتری نسبت به گره مطلوب می‌دهد تا حمل و نقل بسته ادامه یابد [۷، ۱۵، ۱۶]. پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر بردار بسیار حساس به شعاع لوله مسیریابی هستند. برخی از گره‌ها در لوله‌ی مسیریابی با توجه به موقعیت خاصی که دارند، به طور مداوم در معرض ارسال داده هستند که این مساله باعث مرگ زودتر گره می‌شود. همه پروتکل‌های مبتنی بر مکان مانند VBF مقیاس پذیر قوی هستند، اما کارایی کمی در تاخیر انتها به انتها دارند. همچنین کارایی پروتکل در شبکه‌های غیرمترکم پایین است [۱۷].

۲-۲- بررسی پروتکل HH-VBF

به منظور رفع مشکلات VBF، الگوریتم HH-VBF مطرح شده است. این الگوریتم در واقع VBF گام به گام است. الگوریتم HH-VBF از نظر بسیاری از ویژگی‌ها نظیر نیازمندی به تعیین مکان کل گره‌ها و استفاده از لوله مسیریابی، شبیه الگوریتم VBF است. تفاوت اصلی این دو الگوریتم در این است که در الگوریتم VBF یک لوله مجازی یکتا از منبع تا سینک ایجاد می‌شود، ولی در الگوریتم HH-VBF در هر گام یک لوله مجازی مسیره‌دهی ایجاد می‌شود. از این رو یک رویکرد گام به گام در عملیات مسیریابی استفاده می‌شود. شکل (۴-۲) یک دید سطح بالا از اجرای این الگوریتم را نشان می‌دهد [۷، ۱۵، ۱۳]. در الگوریتم HH-VBF، هر گره به محض دریافت یک بسته از یک گره منبع یا میانی، بردار از فرستنده تا سینک آن بسته را محاسبه نموده و سپس فاصله تا آن بردار را برآورد می‌کند. اگر فاصله کمتر از شعاع لوله مسیریابی باشد، این گره شرایط لازم جهت هدایت بسته را دارد و از این رو تبدیل به یک کاندیدا جهت هدایت بسته می‌شود.



شکل ۴-۲: عملکرد پروتکل HH-VBF

پروتکل HH-VBF در شبکه‌های غیرمترکم می‌تواند مسیرهای زیادی را بیابد و حساسیت کمتری به شعاع لوله مسیریابی دارد [۱۷]. همچنین این الگوریتم به علت اتخاذ نمودن روش گام به گام و ایجاد لوله در هر مسیر، نرخ تحویل بسته بهتری را نسبت به VBF دارد و در صورتی که مسیری خلوت در شبکه وجود داشته باشد حتماً آن را پیدا خواهد کرد. اما مصرف انرژی بالایی دارد و در شبکه‌هایی که حرکت گره‌ها زیاد باشد به اندازه VBF کارا نیست [۱۵].

۲-۳- بررسی پروتکل VBVA

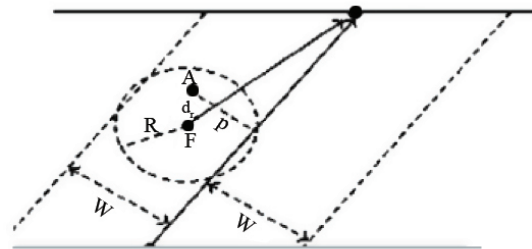
پروتکل‌های مسیریابی نظیر HH-VBF و VBF برای انتخاب گره گام بعدی از روش حریصانه استفاده می‌کنند. به کارگیری سیاست حریصانه در همه موارد موفقیت‌آمیز نیست. به عنوان مثال ممکن است یک گره نتواند هیچ یک از همسایگانش را مناسب برای هدایت بسته بیابد بنابراین نمی‌تواند بسته را به گام بعدی هدایت کند. در پروتکل‌های مسیریابی به این مفهوم چاله مسیریابی می‌گویند. VBVA نخستین پروتکلی است که جهت اجتناب از چاله در شبکه‌های

مشخص می‌کند که می‌تواند به عنوان هدایت‌کننده بسته ایفای نقش کند یا خیر [۱۷]. در پروتکل VBF گره‌هایی که به اندازه کافی به بردار مسیریابی نزدیک هستند و یا در واقع داخل لوله مسیریابی قرار دارند عمل هدایت بسته را انجام می‌دهند. این مساله در شبکه‌هایی که به صورت چگال توسعه داده شده‌اند و گره‌ها نزدیک به یکدیگر قرار دارند منجر به مصرف انرژی و افزایش حجم بسته‌های ارسالی غیرضروری و در نهایت افزایش سربار پروتکل می‌شود. بنابراین در این پروتکل می‌باید سیاست مناسبی در رابطه با شبکه‌های مترکم اتخاذ شود. یکی از راه‌حل‌های موجود بررسی و تعیین میزان تراکم گره‌ها و تنظیم شعاع لوله مسیریابی بر حسب تراکم گره‌هاست. پروتکل VBF از یک الگوریتم خود سازگار جهت رفع این مشکل بهره می‌گیرد. [۷، ۱۵]

این الگوریتم از مفهومی به نام فاکتور مطلوبیت جهت سنجش مناسب بودن یک گره برای عمل هدایت بسته استفاده می‌کند. در بردار s0s1 که s1 گره مبدا و s0 گره سینک است و گره F هدایت‌کننده قبلی است، میزان فاکتور مطلوبیت برای گره A به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$a = \frac{p}{w} + \frac{(R-d \cdot \cos \theta)}{R} \quad (1)$$

که p تصویر^۹ گره A بر روی بردار s0s1 و d فاصله بین گره A و گره F و θ زاویه بین بردار fs0 و بردار fa است متغیر R محدوده ارسال و متغیر W شعاع لوله مسیریابی است. شکل (۲-۳) مفهوم فاکتور مطلوبیت و پارامترهای آن را نشان می‌دهد. بر اساس تعریف فاکتور مطلوبیت مشاهده می‌گردد که برای هر گره نزدیک به بردار مسیریابی یعنی $0 < p < w$ مقدار فاکتور مطلوبیت هر گره در بازه [۰، ۳] قرار دارد. نزدیک بودن میزان فاکتور مطلوبیت به صفر، بدین معنی است که گره، به موقعیت پهنه نزدیک‌تر است [۷، ۱۵].



شکل ۲-۳: مفهوم فاکتور مطلوبیت گره

در پروتکل VBF، اگر گره هدایت‌کننده در نزدیکی بردار مسیریابی، گره‌ای را برای هدایت پیدا کرد، آن بسته را برای یک دوره زمانیه منظور ایجاد سازگاری نگه می‌دارد. این دوره زمانی Tadaption نام دارد. به عبارت دیگر، هر گره واجد شرایط، توسط یک بازه زمانی، حمل و نقل بسته‌هایی را به تاخیر می‌اندازد که به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$Tadaption = \sqrt{a} T_{delay} + \frac{R-d}{v_0} \quad (2)$$

که در آن T_{delay} حداکثر تاخیر از پیش تعریف شده است، v_0 سرعت انتشار سیگنال‌های صوتی در آب است، که معمولاً برابر 1500 M/s است، و d فاصله بین این گره و هدایت‌کننده است.

زیر آب ارایه شده است. این پروتکل از دو مکانیزم برای عبور از چاله استفاده می‌کند. نخست؛ مکانیزم Vector-Shift و دوم؛ مکانیزم Back-Pressure. در پروتکل VBVA، وقتی یک گره تشخیص وجود چاله برای یک بسته را داد، سعی می‌کند تا با تعویض بردار هدایت بسته، از چاله عبور کند. اگر گره، هیچ عمل هدایت بسته‌ای را در بردار جدید نشود، به‌عنوان گره نهایی در نظر گرفته می‌شود. مکانیزم Vector-Shift برای یک گره پایانی نمی‌تواند مسیر جایگزینی پیدا کند و در این حالت باید از مکانیزم Back-Pressure استفاده شود. در مکانیزم Back-Pressure وقتی یک گره تشخیص می‌دهد که یک گره نهایی است بسته را به عقب هدایت می‌کند. این کار تا زمانی که بسته به گره‌ای برسد که بتواند از مکانیزم Vector-Shift استفاده کند ادامه می‌یابد [۱۶-۱۸]. این روش توانسته مساله‌ی حفره را حل نماید. مکانیزم اجتناب از حفره باعث ایجاد چندین بردار حمل می‌شود که منجر به بهبود و استحکام شبکه می‌شود [۱۷]. در صورت بروز حفره و استفاده از مکانیزم اجتناب از حفره، مصرف انرژی بیشتری نیاز است. ضمناً سربار اضافی به خاطر استفاده از مکانیزم اجتناب از حفره تولید می‌شود. همچنین در صورت وجود حفره تاخیر زیادی در شبکه ایجاد می‌شود.

۳- پروتکل پیشنهادی

VBF یکی از الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیرآبی است. در پروتکل VBF گره‌هایی که در محدوده شعاع لوله مسیریابی باشند برای هدایت بسته به کار گرفته می‌شوند. بنابراین زمانی که شعاع لوله مسیریابی بزرگ باشد تعداد گره‌های شرکت‌کننده به منظور هدایت بسته بیشتر می‌شود. در این صورت انرژی بیشتری مصرف خواهد شد و اگر شعاع لوله کم باشد تعداد گره‌های کمتری به منظور هدایت بسته به کار گرفته می‌شوند. در این صورت نیز ممکن است بسته‌های کمتری توسط سینک دریافت شود. مادر روش پیشنهادی شعاع لوله را به صورت تابعی از ابعاد محیط، بردگره و تعداد کل گره‌ها در نظر گرفتیم. برای اینکه بتوانیم انرژی مصرفی گره‌ها را مدیریت کنیم، انرژی باقیمانده گره‌ها را نیز در نظر گرفتیم. الگوریتم ارایه شده مشابه الگوریتم VBF استولی تفاوت‌های زیر را با آن دارد.

۱- انرژی باقیمانده و ۲- عرض لوله متغیر.

در روش پیشنهادی، هر بسته شامل موقعیت مبدأ و مقصد ارسال کننده و همچنین انرژی باقیمانده است. مسیر ارسال به وسیله بردار بین مبدأ و مقصد مشخص می‌شود. اگر یک گره تعیین کند که به اندازه کافی به بردار مسیریابی نزدیک است (اگر از یک حد آستانه کمتر باشد)، موقعیت محاسبه شده خود و همچنین انرژی باقیمانده خود را در داخل بسته قرار می‌دهد و آن را ارسال می‌کند، در غیر این صورت بسته را حذف می‌کند. بنابراین مسیر ارسال به صورتی کلوله مجازی از منبع به مقصد است و گره‌های حسگر داخل این لوله، شایسته‌ی ارسال داده‌ها هستند.

فاکتور مطلوبیت به مانند الگوریتم VBF و طبق رابطه (۱)، محاسبه می‌گردد. اگر فاکتور مطلوبیت a مقدار بزرگی داشته باشد، در این صورت گره برای ارسال بسته مناسب نیست. اگر فاکتور مطلوبیت a نزدیک به صفر باشد به این معنی است که گره به بهترین موقعیت نزدیک شده است. هنگامی که یک گره بسته‌ای را دریافت می‌کند، اول موقعیت خود را محاسبه می‌کند و تعیین می‌کند که آیا در داخل لوله مسیریابی قرار دارد یا خیر. اگر در داخل لوله مسیریابی باشد، گره بسته را برای یک فاصله زمانی $T_{adaptation}$ نگه می‌دارد. که این

مقدار نیز به مانند الگوریتم VBF و از رابطه (۲) به دست می‌آید. در مدت زمان $T_{adaptation}$ ، اگر یک گره، بسته‌های دیگری از طرف دیگر گره‌ها دریافت کند، در این صورت، گره فاکتور مطلوبی را برای همه آنها محاسبه می‌کند. اگر فاکتور مطلوبیت بین $(0 < \alpha < 3)$ باشد. بسته را ارسال می‌کند، در غیر این صورت بسته را حذف می‌کند. هر گره زمانی که بسته‌ای را دریافت می‌کند، ابتدا بررسی می‌کند که آیا در داخل شعاع محاسبه شده قرار دارد یا خیر. در ادامه، الگوریتم پیشنهادی در قالب یک شبه کد آورده شده است.

Algorithm 1 Proposed Protocol

```

1: pr = r_residual_energy / f_residual_energy
2: width = width_1 * Pr
3: if (projection(pkt) ≤ Width) then
4: return true;
5: else
6: return false;
7: end if

```

عرض لوله به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Width}_1 = 2 \sqrt{\frac{x*y*z}{R*n}} \quad (3)$$

$$\text{Width} = \text{Width}_1 * pr \quad (4)$$

که x, y, z اندازه محیط، n تعداد گره‌ها و R ، محدوده انتقال گره است. در روابط بالا هر چقدر محیط بزرگ باشد و تعداد گره‌ها و محدوده انتقال ارسال بسته کمتر باشد، شعاع لوله‌ی مسیریابی باید بیشتر شود تا تعداد گره‌های بیشتری داخل لوله مسیریابی قرار گیرند و برعکس، هر چقدر تعداد گره‌ها بیشتر و محدوده انتقال ارسال بزرگ‌تری وجود داشته باشد، مقدار Width که همان شعاع لوله مسیریابی است باید کمتر شود. در نتیجه برخلاف الگوریتم VBF، روش پیشنهادی شعاع لوله مسیریابی مقدار ثابتی ندارد. طبق شبه کد، مقدار width در دو مرحله محاسبه می‌شود. ابتدا width_1 بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود. سپس مقدار به دست آمده را در متغیر pr ضرب می‌کنیم. در خط اول شبه کد، به نحوه‌ی محاسبه‌ی مقدار pr اشاره شده است که متغیر $r_residual_energy$ میزان انرژی باقیمانده‌ی گره دریافت کننده و متغیر $f_residual_energy$ ، میزان انرژی باقی مانده گره هدایت کننده است. به عنوان مثال در شکل (۱-۳)، گره F بسته‌ای را ارسال و گره A آن را دریافت کرده است. حال گره A باید بررسی کند که آیا در داخل لوله مسیریابی قرار دارد یا خیر. فرض می‌کنیم مقدار انرژی باقیمانده گره A ، نسبت به گره F کمتر باشد. اگر با استفاده از الگوریتم VBF بسته را ارسال کنیم گره A در داخل لوله مسیریابی است و بسته را ارسال خواهد کرد، بدون این که انرژی باقیمانده گره A را در نظر بگیرد. در خط دوم شبه کد مقدار width_1 در pr ضرب خواهد شد، لذا width نهایی به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

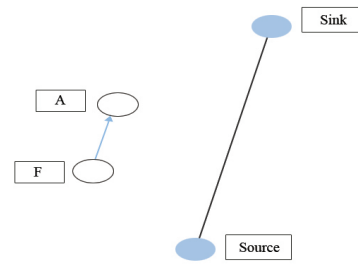
$$\text{Width} = 2 \sqrt{\frac{x*y*z}{R*n}} * pr \quad (5)$$

به این دلیل که انرژی باقیمانده گره A نسبت به گره F کمتر است بنابراین pr یک مقدار کمتر از یک خواهد بود. بنابراین گره A در روش پیشنهادی ما ممکن است بسته را ارسال نکند. چون انرژی باقیمانده‌اش نسبت به گره Forwarder کمتر است. خط سوم شبه کد،

بررسی می‌کند که آیا گره در داخل لوله مسیر یابی قرار دارد و یا خیر. جدول ۴-۱ اشاره شده است.

جدول ۴-۱: پارامترهای شبیه سازی

NS2 version 2.30(Aqua-sim)	نرم افزار شبیه سازی
1000m x 1000m x 500m	مساحت مورد بررسی
500-2500	تعداد گره
100m	دامنه انتقال
100m	عرض لوله مسیر یابی
50 Bytes	اندازه بسته
1000s	مدت زمان شبیه سازی
10000	انرژی اولیه
2w	میزان مصرف انرژی در زمان ارسال
0.75w	میزان مصرف انرژی در زمان دریافت
0.008	میزان مصرف انرژی در زمان استراحت
(500, 900, 900)	آدرس منبع
(0, 100, 100)	آدرس مقصد



شکل ۳-۱: عملکرد پروتکل پیشنهادی

۴-عملکرد و ارزیابی

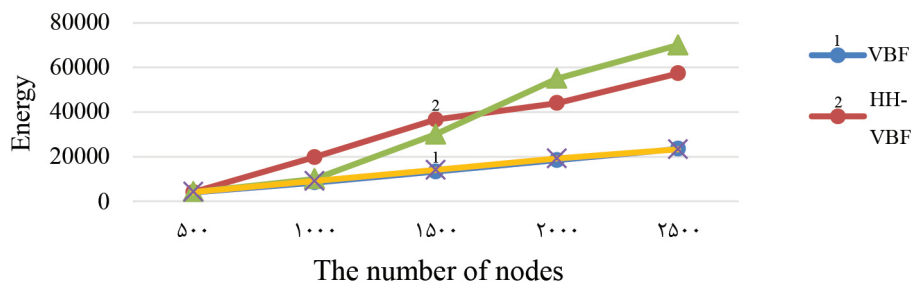
قبل از ورود به جزئیات شبیه‌سازی، بررسی فرضیات مدل سیستم لازم و ضروری است. این فرضیات در ادامه آورده شده است:

- گره‌ها موقعیت خود را می‌دانند.
- همه گره‌ها همگن و دارای ساختاری یکسان می‌باشند.
- گره‌های مبدا و مقصد در موقعیت خود ثابت هستند.
- گره‌ها از انرژی خورشید برای شارژ مجدد استفاده نمی‌کنند و گره‌ای که انرژی آن تخلیه شده از شبکه خارج می‌شود.

الگوریتم پیشنهادی با پروتکل‌های VBF و HH-VBF و VBVA، ارزیابی و مورد مقایسه قرار گرفته است. از نرم افزار NS-2 به منظور شبیه‌سازی روش‌ها استفاده شده است. به پارامترهای شبیه‌سازی در

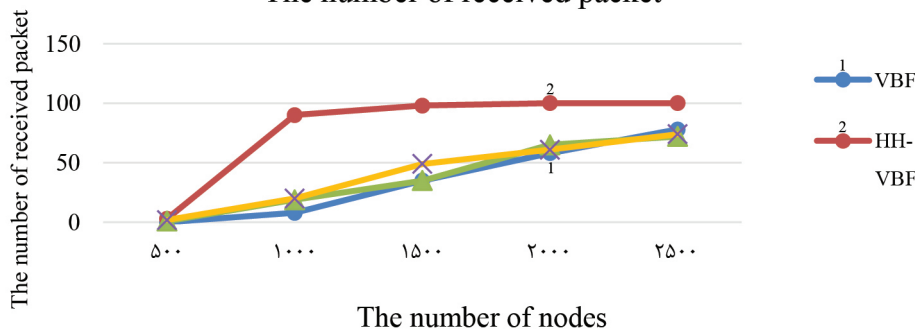
نخستین فاکتوری که بررسی شده، میانگین مصرف انرژی کل شبکه است که در جدول ۴-۲ به مقادیر آن و در شکل ۴-۱ به نمودار تغییرات آن اشاره شده است.

Energy Consumption

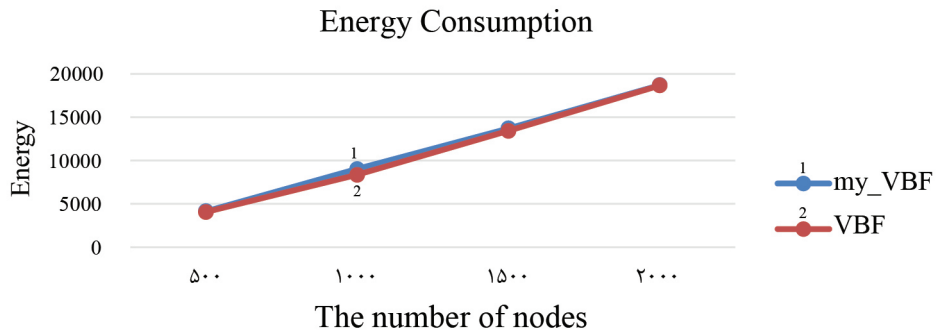


شکل ۴-۱: میزان مصرف انرژی در پروتکل‌های مختلف

The number of received packet



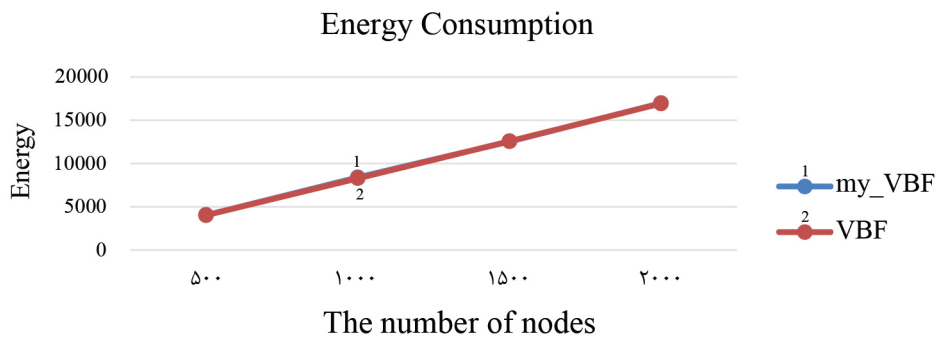
شکل ۴-۲: تعداد بسته‌های دریافتی در پروتکل‌های مختلف



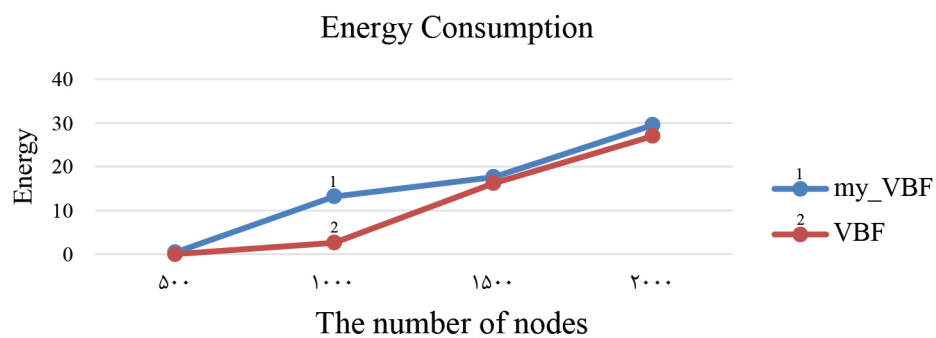
شکل ۳-۴: میزان انرژی مصرفی با انرژی اولیه ۱۰۰ ژول



شکل ۴-۴: تعداد بسته های دریافتی با انرژی اولیه ۱۰۰ ژول



شکل ۵-۴: میزان انرژی مصرفی با انرژی اولیه ۱۰ ژول



شکل ۶-۴: تعداد بسته های دریافتی با انرژی اولیه ۱۰ ژول

جدول ۲-۴: نتایج حاصل از شبیه سازی (میانگین مصرف انرژی)

تعداد گره‌ها	میانگین مصرف انرژی			
	VBF	HH-VBF	VBVA	MY-VBF
۵۰۰	۴۰۴۶	۴۱۳۵	۴۲۱۰	۴۱۴۵
۱۰۰۰	۸۴۵۶	۱۹۸۰۰	۱۰۳۲۰	۹۰۸۸
۱۵۰۰	۱۳۳۱۷	۳۶۶۲۰	۳۰۲۰۰	۱۴۰۷۹
۲۰۰۰	۱۸۴۱۸	۴۴۳۲۰	۵۵۳۲۰	۱۹۱۷۰
۲۵۰۰	۲۳۴۸۰	۵۷۳۲۰	۷۰۱۰۰	۲۳۳۱۵

که مهم‌ترین چالش آن حفظ انرژی است، می‌تواند مشکلاتی را ایجاد نماید. با توجه به نزدیک بودن معیار انرژی مصرفی روش ارائه شده و پروتکل VBF، لازم است تا با ایجاد تغییر در میزان انرژی اولیه در هر دو روش، مقایسات دقیق‌تری را بررسی کنیم. شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴ تغییرات انرژی و تعداد بسته تحویلی را در هر دو روش و با انرژی اولیه ۱۰۰ ژول نشان می‌دهد و شکل‌های ۵-۴ و ۶-۴، تغییرات انرژی و تعداد بسته تحویلی را در هر یک از روش‌ها و با انرژی اولیه ۱۰ ژول بیان میکند.

ملاحظه می‌گردد که با کاهش انرژی اولیه گره‌ها شاهد بهتر شدن عملکرد روش ارائه شده هستیم. با حفظ میزان مصرف انرژی نسبت به پروتکل VBF، تعداد بسته‌های بیشتری نیز تحویل سینک می‌شود. واضح است که روش پیشنهادی توانسته با تکیه بر تغییر عرض لوله مسیریابی متناسب با تراکم شبکه، مصرف انرژی کمتری را به‌ویژه در شبکه‌های با تعداد گره زیاد، نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد و همچنین در شبکه‌های غیرمتراکم، بسته‌های بیشتری را نیز تحویل نماید. لذا در کاربردهایی که انرژی مصرفی مهم بوده و شبکه شامل تعداد گره زیاد است و همچنین در کاربردهایی که تعداد بسته تحویلی اهمیت دارد و شبکه دارای تراکم کمتری است، الگوریتم ارائه شده، به منظور یک پروتکل مسیریابی به طراح شبکه پیشنهاد می‌گردد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک پروتکل حمل و نقل مبتنی بر بردار مبتنی بر الگوریتم VBF، برای رسیدگی به چالش‌های مسیریابی در UWSN‌ها، ارائه شده است. VBF یک پروتکل مرجع برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب محسوب می‌شود و عملکرد آن در مقایسه با پروتکل‌های همه‌بخشی، دارای مقیاس‌پذیری قوی و مصرف انرژی کارآمد است. کارآمدی این روش نیز به دلیل است که فقط آن دسته از گره‌هایی که در مسیر لوله مسیریابی قرار دارند، درگیر حمل و نقل داده‌ها می‌شوند، بنابراین مصرف انرژی کارآمدی دارد. در این پژوهش با بهبود الگوریتم VBF که پروتکلی وابسته به شعاع لوله مسیریابی است، الگوریتم مسیریابی ارائه شده است که شعاع لوله را به‌صورت تابعی از ابعاد محیط، برد و تعداد گره‌ها در نظر می‌گیرد. در نتیجه با تغییر یکی از این پارامترها، شعاع لوله مسیریابی نیز تغییر خواهد کرد. اما به منظور مدیریت انرژی مصرفی گره‌ها، تابعی وجود دارد که اگر انرژی باقی‌مانده گره دریافت‌کننده ی بسته خیلی کمتر از انرژی باقی‌مانده‌ی گره ارسال‌کننده باشد، با کوچک کردن شعاع لوله مسیریابی، شانس انتخاب شدن به‌عنوان گره هدایت‌کننده را کاهش می‌دهد، تا گره‌های دیگر شانس بدست آوردن گره هدایت‌کننده بسته را به‌دست آورند. الگوریتم ارائه شده با پروتکل‌های VBF، HH-VBF و VBVA مقایسه شده است و نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که روش پیشنهادی توانسته با تکیه بر تغییر عرض لوله مسیریابی متناسب با تراکم شبکه، مصرف انرژی کمتری را به‌ویژه در شبکه‌های با تعداد گره زیاد و همچنین تحویل بسته‌ی بیشتری را، به‌ویژه در شبکه‌های با تراکم کمتر، نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد.

پی‌نوشت‌ها

- 1 Under Water Wireless Sensor Networks
- 2 Angle Of Arrival
- 3 Sender Node
- 4 Forwarder node
- 5 Target node

ملاحظه می‌گردد که روش پیشنهادی، در ابتدا که شبکه غیرمتراکم است، مصرف انرژی تقریباً برابر با روش‌های دیگر دارد ولی هر چه بر تعداد گره‌ها افزوده می‌شود و شبکه متراکم‌تر می‌گردد، عملکرد بهتری پیدا کرده تا جایی که از تعداد گره بیشتر از ۲۵۰۰ مصرف انرژی پایین‌تری نسبت به سایر روش‌ها پیدا می‌کند. همان‌طور در که در جزئیات روش ارائه شده توضیح داده شد، هر چه تعداد گره‌ها کمتر باشد، شعاع لوله‌ی مسیریابی باید بیشتر گردد تا بسته‌های بیشتری به مقصد هدایت شود. از طرفی دیگر با افزایش شعاع لوله، گره‌ها به منظور هدایت بسته، انرژی بیشتری را مصرف می‌کنند. از این‌رو در شبکه‌های غیرمتراکم انرژی مصرفی روش ارائه شده بیش از روش‌های دیگر است. اما هر چه بر تعداد گره‌ها افزوده می‌گردد، شعاع لوله مسیریابی نیز کمتر شده و در نتیجه آن، انرژی کمتری برای هدایت بسته‌ها مصرف می‌گردد. میانگین تعداد بسته‌های دریافتی نیز دومین فاکتوری است که به مقادیر آن در جدول ۳-۴ و به نمودار تغییرات آن در شکل ۲-۴ اشاره شده است.

جدول ۳-۴: نتایج حاصل از شبیه سازی (میانگین تعداد بسته‌های دریافتی)

تعداد گره‌ها	میانگین تعداد بسته‌های دریافتی			
	VBF	HH-VBF	VBVA	MY-VBF
۵۰۰	۰	۳	۱	۲
۱۰۰۰	۸	۹۰	۱۹	۲۰
۱۵۰۰	۳۵	۹۸	۳۵	۴۹
۲۰۰۰	۵۸	۱۰۰	۶۵	۶۱
۲۵۰۰	۷۸	۱۰۰	۷۲	۷۴

پروتکل پیشنهادی، مصرف انرژی تقریباً برابر با میزان مصرف انرژی پروتکل VBF دارد و این در حالی است که تعداد بسته‌های بیشتری را به سینک تحویل می‌نماید و عملکرد دو پروتکل VBF و VBVA را بهبود می‌بخشد. در پروتکل پیشنهادی، گره‌هایی که توان بالاتری از ارسال‌کننده‌ی خود دارند، شانس بیشتری برای دریافت بسته و ارسال آن را خواهند داشت و همچنین با افزایش و کاهش شعاع لوله مسیریابی، تعداد گام‌ها برای رسیدن به سینک در روش ارائه شده، کاهش یافته است. از این‌رو مصرف انرژی روش پیشنهادی، نه تنها از سایر روش‌های مقایسه‌ای کمتر شده است، بلکه تعداد بسته‌های دریافتی نیز نسبت به روش‌های VBF و VBVA به‌ویژه در شبکه غیرمتراکم بهبود یافته است. الگوریتم HH-VBF نیز که بیشترین تعداد بسته تحویلی را دارا است، انرژی مصرفی زیادی را نیز به شبکه تحویل می‌کند و این موضوع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب