

## کاهش خطای انتقال داده در مخابرات زیر دریایی به کمک پروتکل درخواست تکرار اتوماتیک مشارکتی

محمد قلندری

استاد گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون

اعظم لطافت فراشبندی

استاد گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون

محمد جواد محمدنیا

استاد گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون

فرشین محقق زاده

استاد گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون

### چکیده

از جمله خصوصیات ارتباط آکوستیک زیر آب، می توان به بالا بودن تأخیر انتشار، نرخ خطای بیت بالا و نیمه دو طرفه بودن کانال اشاره کرد به همین خاطر کانال های صوتی زیر آب خوب عمل نمی کنند تحت چنین شرایطی که کانال ضعیف است به یک پروتکل درخواست تکرار اتوماتیک که روند ارسال های مجدد را برای بسته هایی که خراب رسیده است تنظیم می کند، نیاز است. در این تحقیق ما دو طرح ARQ مشارکتی را پیشنهاد داده ایم. این پروتکل ها از گره های مشارکتی به منظور محیا کردن مسیرهای جایگزین، به عنوان گره های میانی بین فواصل معینی از مبدا تا مقصد قرار گرفته اند. این مسیرها دارای کیفیت کانال بالاتری نسبت به مسیر مستقیم بین مبدا و مقصد می باشند. مزیت اصلی روش پیشنهادی ما این است که مقصد از موقعیت مکانی گره ها آگاه نیست و با ساخت یک جدول زمانی در مقصد از مکان گره ها مطلع خواهد شد. همچنین نشان داده ایم که پروتکل پیشنهادی دوم موثرتر از پروتکل پیشنهادی اول عمل خواهد کرد زیرا پروتکل دوم فقط از نزدیکترین گره ای که پیام را درست از مبدا دریافت کرده، درخواست ارسال مجدد را دارد. در این تحقیق با مقایسه پروتکل های پیشنهادی با پروتکل S&W ARQ ساده به مقایسه راندمان خروجی پرداخته ایم. شبیه سازی های کامپیوتری در نرم افزار MATLAB نشان می دهد که طرح پیشنهادی، با افزایش احتمال ارسال های مجدد موفق، می تواند راندمان خروجی را افزایش دهد.

**واژگان کلیدی:** مخابرات زیر آب، پروتکل تصحیح خطا، مخابرات مشارکتی، توقف و انتظار.

### 1. مقدمه

ارتباطات زیر آب دارای خصوصیات مخصوص به خود است. یکی از این خصوصیات این است که سیگنالهای رادیویی که در ارتباطات زمینی استفاده می شوند، نمی توانند در زیر آب استفاده شوند (Li, 2023). سیگنالهای رادیویی در زیر آب به اندازه ای تضعیف می شوند که این ارتباطات حداکثر به چند متر ختم می شود. در عوض ارتباطات آکوستیکی برای ارتباطات زیر آب توسعه پیدا کرده است

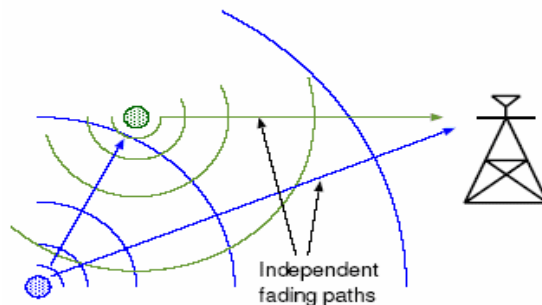
(Narayanan, 2016). در نتیجه از سیگنالهای آکوستیکی برای ارتباطات زیر آب استفاده می شود، اما با این حال ارتباطات آکوستیکی محدودیتهای خاص خودشان را دارند (Sastry, 2015). برای مثال سرعت صوت زیر آب ثابت نیست و بسته به عمق، شوری آب و دیگر عوامل تغییر می کند. همچنین سرعت صوت پنج مرتبه کمتر از سرعت نور است، به این معنی که ارتباطات زیر آب حتی در فواصل کوتاه تأخیر انتشار زیادی خواهند داشت (Song, 2023). از طرف دیگر، به علت انعکاس های پی در پی امواج بین سطح آب و کف دریا، بازتاب صوت از اجسام و موجودات دریا و بازتاب صوت از آب دریا، مسیرهای انتشار متعددی وجود دارند و امواج با تأخیرهای متعددی به گیرنده می رسند (Brennan, 2023). اما با توجه به انتشار از طریق چند مسیر و شیفت داپلر کانالهای آکوستیکی زیر آب خوب عمل نمی کنند. متعاقباً یک نرخ خطای بالا و تأخیر انتشار غیر ثابت برای این کانالها غیر قابل انکار است. تحت چنین شرایطی که کانال ضعیف است به یک پروتکل ARQ که روند ارسالهای مجدد را برای بسته هایی که خراب رسیده است منظم می کند، نیاز است (Basagni, 2015). از طرف دیگر در سیستم های مخابراتی برای اینکه اطلاعات از طریق مسیرهای گوناگونی بفرستیم به بیش از یک آنتن در فرستنده نیاز می باشد، اما تعداد زیادی از مقدرات مخابرات بی سیم، مانند تجهیزات کاربران سیار در سیستم های سیار و یا گره های موجود در شبکه حسگرها و یا گره های شبکه های خودگردان، بعلاوه محدودیت ابعاد، توان ارسال و یا پیچیدگی های سخت افزاری تنها دارای یک آنتن می باشند (Badia, 2023). اخیراً روش های جدیدی به نام "شبکه های مشارکتی" پیشنهاد شده است که کاربران تک آنتنی در محیط های چند کاربره قادرند آنتن های خود را به اشتراک گذاشته و فرستنده چند آنتنه مجازی را ایجاد نمایند (Devassy, 2014). بدین ترتیب می توان در این سیستم ها دایورسیتی فرستنده ایجاد نمود و از مزایای کانالهای چندین ورودی و چندین خروجی بهره جست (Modi, 2016). روش های عمده ای که در سیستم های مخابراتی مشارکتی قابل تفکیک هستند عبارتند از: ۱. روش تقویت و ارسال مجدد. ۲. روش کدگذاری و ارسال مجدد. ۳. روش آشکارسازی و ارسال مجدد. ۴. روش مشارکتی کد شده. با ترکیب مخابرات مشارکتی و روش های درخواست ارسال مجدد، یک روش ارسال کارآمد به وجود می آید که در بعضی از مراجع مطرح شده در این مورد تحقیق شده است. در ارتباطات مشارکتی با درخواست ارسال مجدد وقتی بسته سالم به مقصد نرسد، مقصد از گره های رله درخواست ارسال دوباره می کند. در این پایان نامه می خواهیم با بررسی و مقایسه روش های پیشین یک روش درخواست ارسال مجدد مشارکتی کارآمد را برای ارتباطات صوتی زیر آب مطرح کنیم، که در آن گره های مشارکتی برای برقراری مسیرهای جایگزین بیشتر در یک ارتباط مبداء به مقصد مشخص به کار گرفته می شوند. علاوه بر این در این پایان نامه روش مطرح شده را با روش های دیگر بر حسب نحوه عملکردشان مقایسه می کنیم. همچنین تأثیر عوامل مختلفی مانند تعداد رله ها، اندازه بسته ها و تأخیر را روی این روشها مورد بررسی قرار می دهیم.

## ۲. مخابرات مشارکتی

مزایای سیستم های چند آنتنه به خوبی شناخته شده اند، به گونه ای که روش ایجاد دایورسیتی فرستنده که اولین بار توسط آقای الموتی ابداع شد، در استانداردهای بی سیم به کار گرفته شده است (Kong, 2013). اما متأسفانه دایورسیتی فرستنده تا کنون می تواند در قسمت  $BS^1$  سیستم های سیار یا در فرستنده هایی که می توانند چند آنتنه باشند، به کار گرفته شود و به خصوص در قسمت کاربر سیار به دلیل محدودیت ابعاد و محدودیت های سخت افزاری و در نتیجه محدود شدن به یک آنتن، قابل اجرا نمی باشد. در کانالهای مخابرات سیار، فیدینگ یکی از عوامل بسیار مهم در تخریب سیگنال دریافتی است که ارسال نسخه های مستقل سیگنال و ترکیب همساز آنها در گیرنده به خوبی بر اثر مخرب فیدینگ چیره می گردد، به ویژه دایورسیتی فضایی که با ارسال سیگنال از چند آنتن مختلف به دست می آید یکی از روش های مؤثر برای مقابله با فیدینگ است. شبکه های مخابراتی مشارکتی این نوع دایورسیتی را به شیوه ای جدید و جالب ایجاد می کنند. جهت سادگی توضیحات و معرفی ایده موجود در این سیستم شکل ۱ را در نظر می گیریم، که در آن دو کاربر سیار (و یا دو گره در شبکه سنسورها و یا شبکه های خودگردان) با یک مقصد مشترک ارتباط برقرار می کنند. با توجه به اینکه هر کاربر سیار دارای یک آنتن می باشد، بنابراین نمی تواند دایورسیتی فضایی ایجاد نماید از طرفی با توجه به اینکه هر کاربر می تواند سیگنال ارسال توسط کاربر مقابل را دریافت نماید، کاربران می توانند علاوه بر سیگنال اطلاعاتی خودشان سیگنال مربوط به

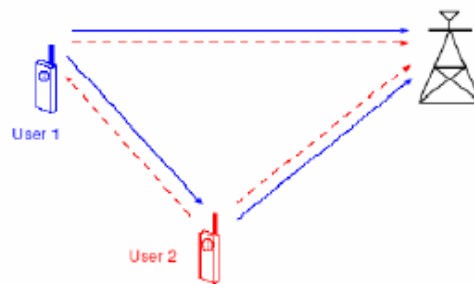
<sup>1</sup> Base station

دیگری را نیز به مقصد ارسال نمایند و با توجه به اینکه کانال های ارسالی از نظر آماری مستقل می باشند، لذا دایورسیتی فضایی ایجاد می گردد. به کاربری که اطلاعات کاربر دیگر را ارسال می کند شریک می گوئیم.



شکل ۱. ساختار یک شبکه مشارکتی

در شکل فوق گره های اول و دوم شریک یکدیگر محسوب می شوند. باید توجه داشت که در سیستم با پروتکل گفته شده مسایلی جدید از قبیل کاهش نرخ ارسال برای کاربر مشارکت کننده در ارسال، چگونگی اختصاص شریک یا شریک های یک کاربر توسط شبکه، مسأله دگرسپاری و رعایت عدالت در سیستم و در نهایت نیاز به سیستم گیرنده و گیرنده در قسمت سیار (گره) ایجاد می گردد و با توجه به اینکه ممکن است هزینه پیچیدگی های اضافه شده به گونه ای باشد که بهره به دست آمده از دایورسیتی را کم رنگ نمایند، لذا باید پروتکل های مشارکتی به دقت مورد بررسی قرار گیرند.



شکل ۲. یک سیستم سیار مشارکتی

نکته دیگری که باید به آن دقت نمود این است که شبکه های مشارکتی یک تفاوت عمده با سیستم های مخابراتی رله ای (Song,2023) دارند بدین صورت که در این شبکه ها هر کاربر سیار هم به عنوان رله شریک خود عمل می کند و هم سیگنال اطلاعاتی خودش را می فرستد (شکل ۲)، مسأله مشارکت معمولاً یک معاوضه بین نرخ ارسال - اطلاعاتی و توان ارسالی از یک سو و بهره بدست آمده از دایورسیتی از طرف دیگر است.

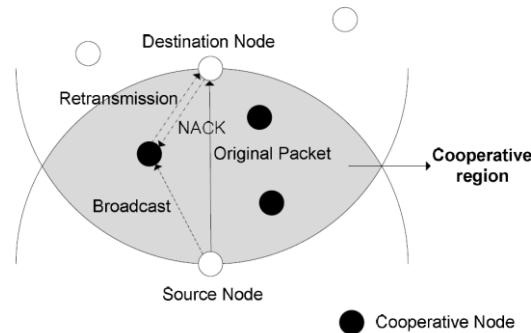
### ۳. پروتکل ARQ مشارکتی برای مخابرات زیر آب

یک شبکه تک گامه مطابق شکل ۳ در نظر گرفته شده است. فرض می شود هر گره فاصله بین گره ها را برای گره های همسایه اش (که برای یک جفت مبدا و مقصد مشخص است) می داند، یعنی یک منطقه مشارکتی خود به خود برای یک جفت مبدا و مقصد مشخص شکل می گیرد. وقتی گره مقصد یک بسته خراب را دریافت کند، از گره های مشارکتی به صورت یکی به یکی برای ارسال دوباره درخواست می کند تا اینکه ارسال موفق صورت گیرد. نزدیکترین گره ها به مبدا زودتر از بقیه انتخاب می شوند (Goutham,2023). اگر کانال دارای فیدینگ با توزیع رایلی باشد نرخ خطای متوسط برای مدولاسیون BPSK به صورت زیر ارائه می شود (Proakis,2001):

$$BER(SNR) = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{SNR}{1+SNR}} \right) \quad (1)$$

که SNR نسبت سیگنال به نویز است و نسبت سیگنال به نویز برای سیگنال منتشر شده در زیر آب می تواند با معادله سونار پسیو ارائه شود (Urlick, 1983):

$$SNR = SL - TL - NL + DI \quad (2)$$

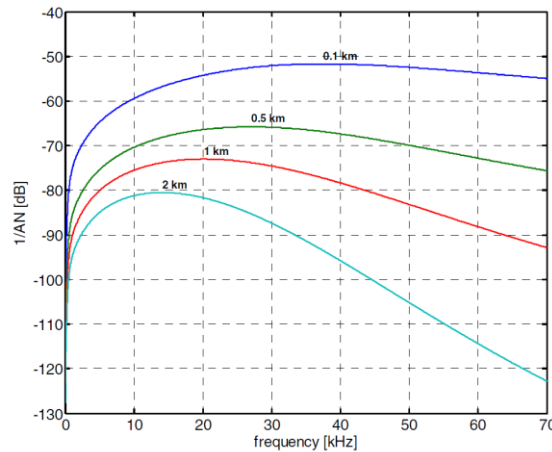


شکل ۳. یک ناحیه مشارکتی برای شبکه تک گامه

که SL سطح توان مبداء است، NL تلفات ارسال، TL سطح توان نویز و DI شاخص دایرکتیویته دریافتی بر حسب دسیبل است. ما گیرنده ها را به عنوان هیدروفونهای جهت نیافته در نظر می گیریم و در نتیجه شاخص دایرکتیویته دریافتی صفر است. مقدار تضعیف برای یک کانال ارتباطی صوتی زیر آب نه تنها به طول مسیر انتقال داده (l) بستگی دارد بلکه به فرکانس (f) نیز بستگی دارد و می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$A(l, f) = A_0 l^k a(f)^l \quad (3)$$

که در آن  $A_0$  یک ضریب ثابت، k ضریب انتشار و  $a(f)$  ضریب جذب است.



شکل ۴ نمودار  $\frac{1}{A(l, f)N(f)}$  بر حسب فرکانس

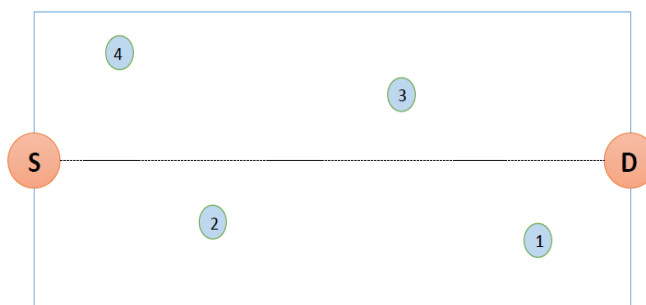
نویز محیط در اقیانوس می تواند با استفاده از اغتشاش، کشتیرانی، امواج و نویز گرمایی مدل شود. چگالی طیف توان کلی نویز محیط می تواند به صورت زیر داده شود

$$N(f) = N_t(f) + N_s(f) + N_w(f) + N_{th}(f) \quad (4)$$

در این قسمت از روش ارائه شده در (Stojanovic,2006) استفاده شده است، که فرکانس بهینه و پهنای باند 3dB متناظرش را تعیین می کند. با استفاده از تضعیف  $A(l,f)$  و چگالی طیف توان نویز  $N(f)$ ، نسبت سیگنال به نویز می تواند ارزیابی شود. متوسط نرخ خطای بیت به نسبت سیگنال به نویز بستگی دارد. شکل (۴)،  $N(f) \frac{1}{A(l,f)N(f)}$  را بر حسب فرکانس نشان می دهد. در این شکل یک فرکانس بهینه وجود دارد که نسبت سیگنال به نویز را برای هر طول فاصله انتقال داده  $l$  بهینه می کند.

#### ۴. مدل سیستم

برای تعریف سیستم مشارکتی، علاوه بر گره مبدا و مقصد چندین گره بین این دو گره نیز تعریف می شود که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. مدل شماتیک سیستم پیشنهادی

مطابق شکل ۵ ما یک گره مبدا داریم که با S نشان داده شده و یک گره مقصد داریم که با D نشان داده شده است و ۴ گره به عنوان گره های مشارکتی داریم که به صورت تصادفی بین مبدا و مقصد قرار گرفته اند که این گره ها را شماره گذاری کرده ایم که در ادامه در مورد آنها توضیح خواهیم داد. همانطور که مشاهده می شود گره های مشارکتی در یک فضای مستطیلی بین مبدا و مقصد پخش شده اند که عرض این فضای مستطیلی نسبت به طول آن خیلی کمتر است (تقریباً نسبت ۱/۱۰) به دلیل اینکه می خواهیم مطمئن شویم که فاصله گره های مشارکتی از مقصد کمتر از فاصله بین مبدا و مقصد می باشد، واضح است که اگر فاصله گره مشارکتی از مقصد بیشتر از فاصله مبدا تا مقصد باشد کاملاً غیر منطقی می باشد که مقصد بخواهد از گره های مشارکتی درخواست ارسال مجدد کند.

#### ۵. روش پیشنهادی

گره های مشارکتی به پیام هایی که مبدا به سمت مقصد می فرستد گوش فرا می دهند. اگر بدون هیچ خطایی پیام از مبدا به مقصد برود، مقصد یک ACK به سمت مبدا می فرستد. گره مشارکتی ACK را می شنود و می فهمد که ارسال با موفقیت انجام گرفته است، NAK ها برای حالتی تعریف می شود که مقصد پیام را به درستی دریافت نکرده باشد و برای ارسال درخواست مجدد بخواهند گره مشارکتی مناسب را انتخاب کنند.

##### ۵-۱. NAK نوع اول

این NAK به منظور تشخیص ترتیب فاصله گره های مشارکتی از مقصد تعریف می شود و به این صورت است که اگر مقصد پیام را درست دریافت نکند در مرحله اول یک NAK می فرستد که آن را NAK نوع اول نام گذاری می کنیم زمانی که مقصد NAK نوع اول را به سمت گره های مشارکتی می فرستد، گره های مشارکتی در پاسخ، شماره های خود را به سمت مقصد می فرستند در نتیجه مقصد با ارسال NAK نوع اول به همه ی گره های مشارکتی، لیستی از شماره ی گره های مشارکتی را بدست می آورد؛ بدین صورت که هر گره ای که شماره اش سریعتر به مقصد برسد، یعنی نزدیکترین گره به مقصد است و همچنین گره هایی که درخواست مقصد پاسخ می دهند

و شماره خود را به مقصد می فرستند که پیام را درست از مبدا دریافت کرده باشند و مبدا در پاسخ به این نوع NAK سکوت می کند. برای ارسال این نوع NAK دو هدف مجزا دنبال می شود؛ اول اینکه مقصد تشخیص دهد کدام یک از گره های مشارکتی پیام را درست دریافت کرده اند و دوم اینکه مقصد ترتیب فاصله گره های مشارکتی را از خودش را تشخیص بدهد. به عبارتی بعد از ارسال این NAK مقصد هم از ترتیب مکان گره های مشارکتی که پیام را به درستی از مبدا دریافت کرده اند اطلاع می یابد.

## 5-2. NAK نوع دوم

این NAK برای اینکه مشخص کند کدام گره مشارکتی به مقصد جواب بدهد تعریف می شود و بدین صورت می باشد که مقصد پس از ارسال NAK نوع اول به سمت گره ها و بدست آوردن لیستی از شماره گره ها، به لیستی که در دست دارد نگاه می کند و طبق آن لیست اولین شماره را به عنوان NAK نوع دوم به تمامی گره ها ارسال می کند. سپس گره ای که شماره اش با شماره ای که در NAK نوع دوم است همخوانی دارد، به درخواست مقصد پاسخ می دهد و پیام را به سمت مقصد می فرستد و گره هایی که شماره آنها با شماره موجود در NAK نوع دوم یکی نیست، ساکت می مانند و به این نوع NAK پاسخی نمی دهند و همچنین مبدا به این نوع NAK نیز ساکت می ماند.

## 5-3. NAK نوع سوم

این NAK برای حالتی استفاده می شود که علاوه بر مقصد هیچ کدام از گره های مشارکتی پیام را به درستی از مبدا دریافت نکرده باشند به عبارت دیگر بعد از ارسال NAK اول هیچ کدام از گره های مشارکتی به این درخواست جواب ندهند و لیست تشکیل شده در مقصد شامل هیچ گره ای نباشد و مقصد قادر به ارسال NAK نوع دوم نباشد در این حالت مقصد NAK نوع سوم را ارسال می کند که تنها مبدا به این درخواست پاسخ می دهد و تنها در این حالت پیام مجدداً از مبدا ارسال می شود به بیان دیگر اگر فقط یکی از گره های مشارکتی هم پیام را به درستی از مبدا دریافت کرده باشد هیچ گاه NAK نوع سوم ارسال نمی گردد. به این نکته دقت شود که طول ACK و یا NAK در مقایسه با طول بسته بسیار ناچیز بوده و فرض می کنیم که با یک کد کانال قوی محافظت می شود به گونه ای که همواره بسته ACK و یا NAK بدون خطا دریافت می شوند. حال با توجه به تعریف NAK ها پروتکل های پیشنهادی را برای بهبود کارایی سیستم توضیح می دهیم.

## 5-4. پروتکل ۱

در این پروتکل مبدا یک پیام یا بسته را به سمت مقصد ارسال می کند، در صورتی که بسته در مقصد صحیح دریافت شده باشد، مقصد پیام ACK را به گره های مشارکتی و مبدا می فرستد تا اطلاع دهد که پیام را درست دریافت کرده است در این حالت گره های مشارکتی اقدامی نمی کنند و مبدا در بازه ی زمان بعدی بسته جدیدی را به سمت مقصد ارسال می کند و به همین ترتیب ادامه می یابد و زمانی که مقصد یک بسته خراب را دریافت کند، NAK نوع اول را به سمت گره های مشارکتی ارسال می کند تا مشخص شود کدام گره مشارکتی پیام را به درستی دریافت کرده به مقصد نزدیکتر می باشد. بعد از ارسال NAK نوع اول در گره مقصد یک جدول یا یک لیست که شامل شماره گره های مشارکتی که پیام را به درستی دریافت کرده اند و به ترتیب فاصله نیز می باشند تشکیل می شود. در صورتی که جدول تشکیل شده حداقل شامل یک گره باشد NAK نوع دوم ارسال می شود و در مرحله اول گره مشارکتی که پیام را به درستی از مبدا دریافت کرده باشد و نزدیکترین فاصله رو با مقصد داشته باشد به NAK نوع دوم پاسخ می دهد و یک کپی از پیام اصلی را به نود مقصد می فرستند. اگر باز هم بسته به سلامت به مقصد نرسید، از نزدیکترین گره های مشارکتی بعدی (که در جدول یا همان لیست بدست آمده در گیرنده مشخص است) درخواست ارسال مجدد می کند و این روند تا زمانی که بسته سالم به مقصد برسد ادامه پیدا می کند. در این روش گره های مشارکتی یک کپی از بسته اصلی را ذخیره می کنند و در صورت شنیدن ACK متناظر با آن بسته، آن کپی را از بین می برند.

## 5-5. پروتکل 2

در این حالت مقصد فقط از نزدیک ترین گره ای که پیام را صحیح از مبدا دریافت کرده است، درخواست ارسال مجدد می کند. در پروتکل پیشنهادی ۲ ابتدا مبدا پیام را به سمت مقصد می فرستد اگر مقصد پیام را درست دریافت کرد یک ACK به مبدا می فرستد و گره ها در این صورت درگیر نمی شوند اگر مقصد پیام را درست دریافت نکند مشابه پروتکل ۱، NAK نوع اول را به گره ها ارسال می کند در این مرحله مقصد طبق لیستی که در دست دارد آن گره هایی که پیام را درست از مبدا دریافت کرده اند را مشخص می کند و سپس از میان آنها شماره ی نزدیکترین گره به مقصد را به همه ی گره ها ارسال می کند که این همان NAK نوع دوم است که در توضیح پروتکل ۱ معرفی شد. در این صورت فقط گره ای جواب می دهد که شماره مربوط به آن گره با شماره موجود در NAK نوع دوم یکی باشد و بقیه گره ها و مقصد به این NAK پاسخی نمی دهند. توجه شود برای آنکه تمامی گره ها به درستی متوجه تقاضای مقصد از نزدیکترین گره شده باشند در اینجا فرض شده است که مقصد به اندازه ی دو برابر فاصله ی زمانی بین مبدا تا مقصد صبر می کند و این عمل تا دریافت صحیح بسته ادامه می یابد، در صورت عدم دریافت صحیح پیام در گیرنده، مجدداً NAK نوع دوم را به گره ها می فرستد در غیر این صورت بسته ACK را به مبدا و گره ها ارسال خواهد کرد و سپس مبدا بسته آماده بعدی را به مقصد ارسال خواهد کرد.

## 6. نتایج شبیه سازی

برای شبیه سازی یک شبکه تک گامه با یک جفت مبدا و مقصد مشخص و ۱۰ گره مشارکتی در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده که طول مبدا به رله و از آنجا به مقصد یک کیلومتر است. پارامترهای سیستم برای شبیه سازی در جدول ۱ خلاصه شده است.

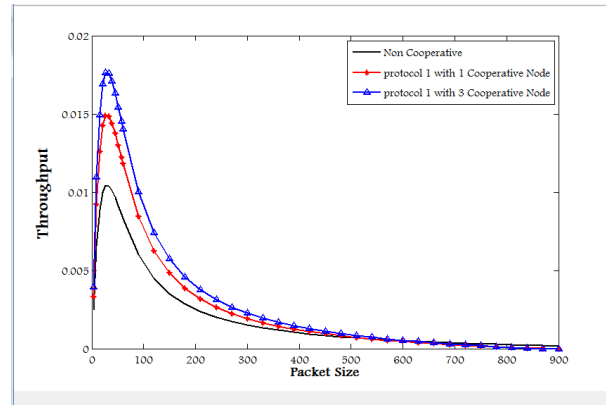
جدول ۱. پارامترهای مورد نیاز سیستم

| Parameter         | Value    |
|-------------------|----------|
| Data rate         | 25 kbps  |
| Carrier Frequency | 20 kHz   |
| Sound Speed       | 1500 m/s |

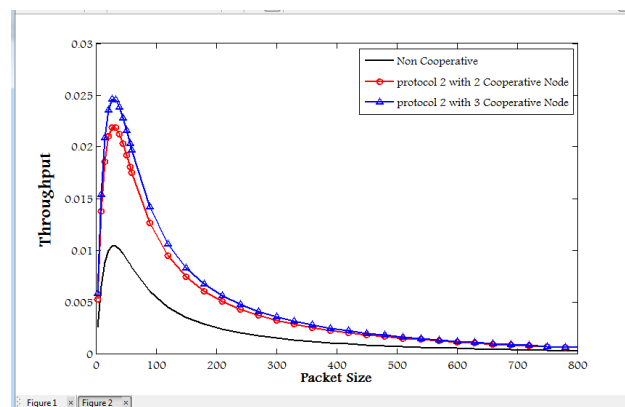
عملکرد پروتکل به صورت نسبت زمان گرفته شده توسط ارسالهای موفق به کل زمان گرفته شده توسط ارسالهای موفق و ارسالهای مجدد تعریف می شود. طول بهینه بسته و تعداد بهینه نودهای مشارکتی برای ماکزیمم کردن بازده خروجی به دست آمده است. ما برای ایده ی پیشنهادی که شامل همان پروتکل ۱ و پروتکل ۲ می باشد نمودارهای راندمان بر حسب تعداد گره و راندمان بر حسب طول بسته را رسم کرده ایم و همچنین پروتکل ۱ و پروتکل ۲ را در  $P = 0.001$  و  $p = 0.01$  با هم مقایسه کرده ایم که نتایج به شرح زیر می باشد. در شکل ۶ پروتکل ۱ را با پروتکل در حالت غیر مشارکتی مقایسه کرده است همانطور که مشاهده می شود پروتکل ۱ که به صورت مشارکتی عمل کرده، راندمان بهتری نسبت به حالت غیر مشارکتی دارد و همچنین پروتکل ۱ را برای حالتی که ۳ گره مشارکتی داریم را با حالتی که یک گره مشارکتی داریم مورد مقایسه قرار داده ایم همانطور که مشاهده می شود حالتی که ۳ گره مشارکتی داشته ایم نسبت به زمانی که یک گره مشارکتی داشته ایم راندمان بهتری را دارد. (در این نمودار برای پروتکل ۱ میزان راندمان ماکزیمم در طول بسته ۱۰۰ رخ داده است). در شکل ۷ پروتکل ۲ که به صورت مشارکتی عمل می کند را با حالت غیر مشارکتی مقایسه کرده ایم مشاهده می شود که پروتکل ۲ که مشارکتی عمل کرده، راندمان بهتری نسبت به حالت غیر مشارکتی دارد و همچنین پروتکل ۲ را برای حالتی که ۲ گره مشارکتی داریم با حالتی که ۳ گره مشارکتی داریم مورد مقایسه قرار گرفته است که همانطور که از نتایج شبیه سازی معلوم است پروتکل ۲، زمانی که ۳ گره مشارکتی داشته نسبت به حالتی که ۲ گره مشارکتی داشته، بهتر عمل کرده است. (در این نمودار برای پروتکل ۲ میزان راندمان ماکزیمم در طول بسته ۲۰۰ رخ داده است). نمودار ۸ جهت



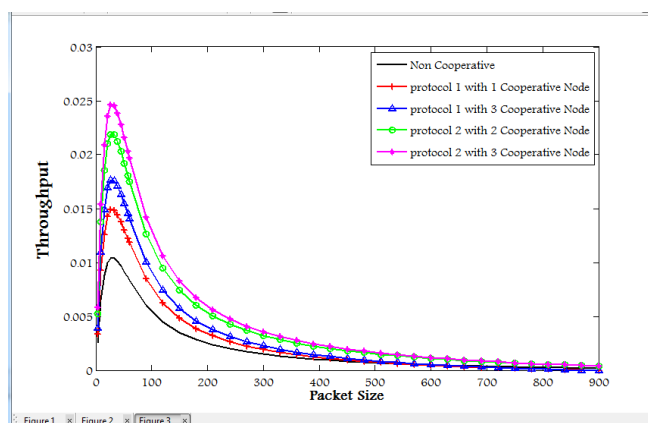
مقایسه رفتار پروتکل ۱ و پروتکل ۲ رسم شده است همانطور که مشاهده می کنید هر دو نمودار از نظر راندمان نسبت به حالت غیر مشارکتی بهتر عمل کرده اند اما زمانی که پروتکل ۱ را با پروتکل ۲ مقایسه می کنیم واضح است که پروتکل ۲ در هر دو حالت یعنی چه زمانی که ۲ گره مشارکتی داشته و چه زمانی که ۳ گره مشارکتی داشته، از نظر راندمان خیلی بهتر از پروتکل ۱ عمل کرده است.



شکل ۶. راندمان بر حسب طول بسته برای  $P = 0.01$

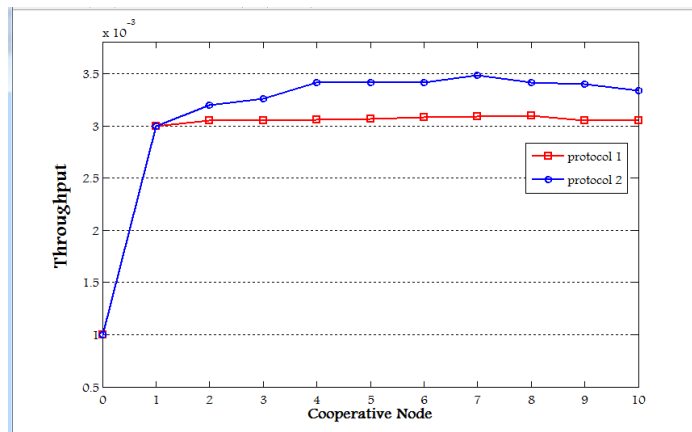


شکل ۷. راندمان بر حسب طول بسته برای  $P = 0.01$

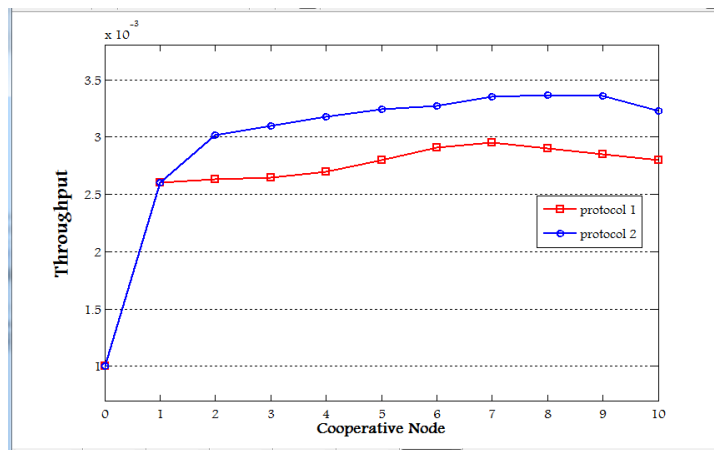


شکل ۸. راندمان بر حسب طول بسته برای  $P = 0.01$



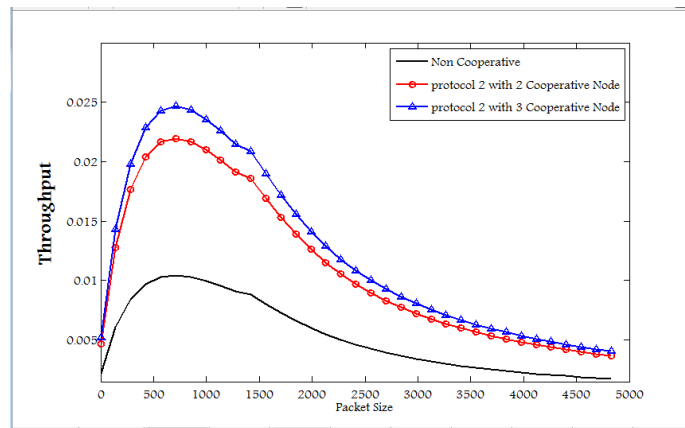


شکل ۹. راندمان بر حسب تعداد گره برای  $P = 0.01$  در فاصله ۲۰۰ متری از مقصد

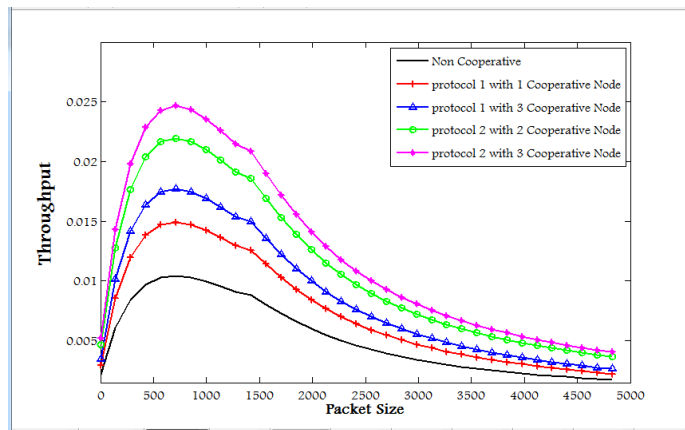


شکل ۱۰. راندمان بر حسب تعداد گره برای  $P = 0.01$  در فاصله ۵۰۰ متری از مقصد

شکل های ۱۱ تا ۱۲ نمودارهای راندمان بر حسب تعداد گره را برای  $P = 0.01$  نشان می دهد که به ترتیب گره ها در فواصل ۲۰۰ و ۵۰۰ متری از مقصد پخش شده اند. مشاهده می شود که در تمامی نمودارها با افزایش تعداد گره ها راندمان روندی افزایشی داشته اما از تعداد گره ای خاص به بعد راندمان مسیر ثابتی را طی می کند. با مقایسه ساده ای بین این نمودارها می توان دریافت که با افزایش فاصله گره های مشارکتی تا مقصد از ۲۰۰ متر و ۵۰۰ متر راندمان روندی کاهشی دارد، که میزان این کاهش چیزی حدود  $0.4 \times 10^{-3}$  می باشد. با توجه به نمودارها می توان گفت که از ۸ نود به بعد روند راندمان ثابت می شود که این مساله مبین این است که تعداد گره بهینه برای  $P = 0.01$  حدوداً ۸ گره مشارکتی می باشد. این مساله نیز کاملاً طبیعی است چون احتمال خطا بالاست شرایط کانال خراب است و در تعداد گره های بالاتر به راندمان بهتر دست می یابیم. همچنین تا زمانی که یک گره مشارکتی بین مبدا و مقصد داریم پروتکل ۱ و ۲ کاملاً مشابه عمل می کنند، اما زمانی که بیش از یک گره مشارکتی بین مبدا و مقصد داریم مشاهده می شود که پروتکل ۲ از نظر راندمان بهتر از پروتکل ۱ عمل کرده است. در شکل ۱۱. پروتکل ۲ را با پروتکل S&W ساده غیر مشارکتی مقایسه می کند. همان طور که مشاهده می شود پروتکل ۲ که به صورت مشارکتی عمل کرده راندمان بهتری نسبت به حالت غیر مشارکتی دارد و همچنین پروتکل ۲ را برای حالتی که ۳ گره مشارکتی و ۲ گره مشارکتی داریم مورد مقایسه قرار دادیم، مشاهده می شود پروتکل ۲ زمانی که ۳ گره مشارکتی داشته نسبت به زمانی که ۲ گره مشارکتی داشته راندمان بهتری را دارد.

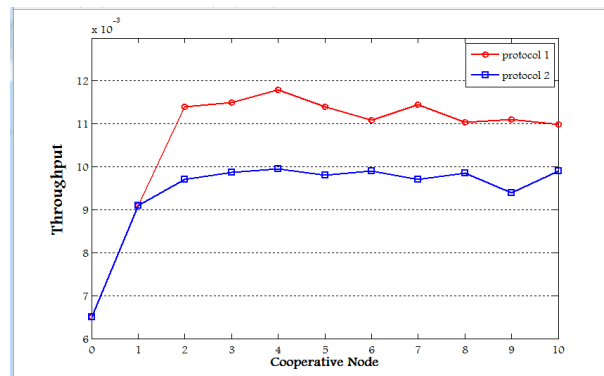


شکل ۱۱. راندمان بر حسب طول بسته برای  $P = 0.001$

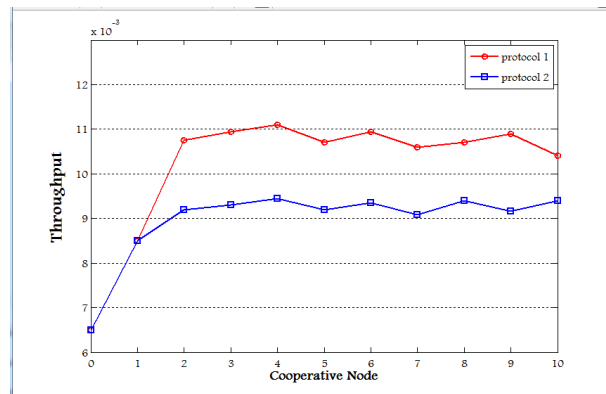


شکل ۱۲. راندمان بر حسب طول بسته برای  $P = 0.001$

شکل ۱۲. راندمان بر حسب طول بسته را برای  $P = 0.001$  نشان می‌دهد. در این نمودار پروتکل ۱ و ۲ و حالت غیر مشارکتی با هم یک جا مورد مقایسه قرار گرفته اند. همان طور که در شکل مشهود است پروتکل ۱ و ۲ از حالت غیر مشارکتی راندمان بهتری را ارائه کرده اند، همچنین پروتکل ۲ نیز به مراتب بهتر از پروتکل ۱ عمل کرده است. اندازه طول بسته برای پروتکل ۱، حدود  $2/3$  برابر و برای پروتکل ۲، حدود  $2/8$  برابر نسبت به حالت غیر مشارکتی افزایش را نشان می‌دهد. به علاوه راندمان خروجی نیز به همین منوال برای پروتکل ۱ حدود  $1/6$  برابر و برای پروتکل ۲ حدود  $2/1$  برابر افزایش را نسبت به حالت غیر مشارکتی نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. راندمان بر حسب تعداد گره برای  $P = 0.001$  در فاصله ۲۰۰ متری از مقصد



شکل ۱۴ راندمان بر حسب تعداد گره برای  $P = 0.001$  در فاصله ۵۰۰ متری از مقصد

شکل های ۱۳ و ۱۴ نمودارهای راندمان بر حسب تعداد گره را برای  $P = 0.001$  نشان می دهد که به ترتیب گره ها در فواصل ۲۰۰ و ۵۰۰ متری از مقصد پخش شده اند. مشاهده می شود که در تمامی نمودارها با افزایش تعداد گره ها راندمان روندی افزایشی داشته اما از تعداد گره ای خاص به بعد راندمان مسیر ثابتی را طی می کند. با مقایسه ساده ای بین این نمودارها می توان دریافت که با افزایش فاصله گره های مشارکتی تا مقصد از ۲۰۰ متر و ۵۰۰ متر راندمان روندی کاهشی دارد، که میزان این کاهش چیزی حدود  $0.4 \times 10^{-3}$  می باشد. با توجه به نمودارها می توان گفت که از ۴ گره به بعد روند راندمان ثابت می شود که این مساله مبین این است که تعداد گره بهینه برای  $P = 0.001$  حدوداً ۴ گره مشارکتی می باشد. همانطور که مشخص است تا زمانی که یک گره مشارکتی بین مبدا و مقصد داریم پروتکل ۱ و ۲ کاملاً مشابه عمل می کنند، اما زمانی که بیش از یک گره مشارکتی بین مبدا و مقصد داریم مشاهده می شود که پروتکل ۲ از نظر راندمان بهتر از پروتکل ۱ عمل کرده است. در ادامه می خواهیم نمودارهای راندمان بر حسب طول بسته را برای احتمال خطاهای در نظر گرفته شده ( $P = 0.01, P = 0.001$ ) در این تحقیق با هم مقایسه کنیم. همان طور که از مقایسه شکل های ۷، ۱۱، مشخص است، مشاهده می شود که با افزایش احتمال خطا میزان طول بسته بهینه برای راندمان ماکزیمم کاهش می یابد و هر چه احتمال خطا کوچکتر باشد میزان راندمان بیشتر خواهد بود و اگر هر سه نمودار با هم مقایسه شوند به وضوح پیداست که با افزایش احتمال خطا، راندمان کاهش می یابد.

## ۸. نتیجه گیری

در این تحقیق، در ابتدا و به اختصار انواع دایورسیتی مورد استفاده برای بهبود عملکرد سیستم هایی که کانال آنها دارای فیدینگ می باشد مورد بررسی قرار گرفت. در این طرح دو نوع پروتکل را پیشنهاد داده ایم که بر خلاف روش های پیشین، مقصد از فاصله گره های مشارکتی تا خود، اطلاعی ندارد و با استفاده از مکان یابی لیستی از موقعیت نزدیکترین تا دورترین گره را بدست می آورد. در پروتکل پیشنهادی ۱ در صورتی که مقصد بسته را خراب دریافت کند طبق لیستی که در اختیار دارد از نزدیکترین گره در خواست ارسال مجدد می کند و اگر باز هم مقصد موفق به دریافت بسته نشد طبق لیست از نزدیک ترین گره بعدی در خواست ارسال مجدد می کند. این کار تا زمانی ادامه می یابد که مقصد بسته را صحیح دریافت کند. در پروتکل پیشنهادی ۲ مقصد همیشه از نزدیکترین گره ای که پیام صحیح را از مبدا دریافت کرده درخواست ارسال مجدد می کند و هیچ گاه سراغ دیگر رله ها و مبدا برای درخواست ارسال مجدد نمی رود. بر اساس شبیه سازی های صورت گرفته به این نتیجه رسیدیم که، در روش های پیشنهادی ما درست است که مقصد زمانی را برای مکان یابی صرف می کند اما در عوض دیگر این فرض وجود ندارد که مقصد از ابتدا مکان گره ها را می داند و همچنین از مقایسه پروتکل های پیشنهادی ۱ و ۲ با روش S&W ساده به این نتیجه می رسیم که پروتکل های پیشنهادی ما که به صورت مشارکتی عمل کرده اند راندمان بالاتری را نسبت به S&W ساده که به صورت غیرمشارکتی عمل می کند، نشان می دهند. از مقایسه پروتکل های ۱ و ۲ دریافتیم

که پروتکل دوم راندمان خروجی بهتری را نسبت به پروتکل پیشنهادی اول نشان می دهد. در ضمن پروتکل های پیشنهادی ۱ و ۲ را در دو نمودار راندمان بر حسب طول بسته و راندمان بر حسب تعداد گره ها مورد مقایسه قرار دادیم. از نمودار راندمان بر حسب طول بسته، میزان طول بسته بهینه برای دو پروتکل پیشنهادی ۱ و ۲ بدست می آید که این طول بسته بهینه برای P های مختلف متفاوت است و همچنین از نمودار راندمان بر حسب تعداد گره می توان دریافت که با افزایش تعداد نود راندمان خروجی افزایش می یابد. در آخر با مقایسه پروتکل های ۱ و ۲ در احتمال خطاهای متفاوت دریافتیم که با افزایش احتمال خطا میزان راندمان خروجی کاهش می یابد.

## منابع

- [1] X Li, J Jiang, H Wang, C Han, G Chen,( Oct. 2023) "Physical layer security for wireless-powered ambient backscatter cooperative communication networks" IEEE Mag. Commun., vol. 42, no. 10, pp. 74-80.
- [2] S Narayanan, M Di Renzo,( June 2016) " Distributed spatial modulation: A cooperative diversity protocol for half-duplex relay-aided wireless networks" Proc. IEEE ISIT, vol. 5, no. 10, pp. 2947 - 2964.
- [3] A. Sastry,(1979) "Improving automatic repeat-request (ARQ) performance on satellite channels under high error rate conditions,( Jan. 2015)" IEEE Trans. Commun., vol.23, pp.436-439.
- [4] T Song, WH Lee, (2023), "HARE: Hybrid ARQ-Based Adaptive Retransmission Control Scheme for Synchronous Multi-Link in Wireless LANs," IEEE Transactions on Vehicular Technology., vol.29, pp.68-71.
- [5] GL Brennan, R Logares,( 2023) " Tracking contemporary microbial evolution in a changing ocean," in IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), vol.2, pp. 1115- 1122.
- [6] S Basagni, C Petrioli, R Petroccia,( June 2015) "CARP: A channel-aware routing protocol for underwater acoustic wireless networks," in Proc. Elsevier, vol.1, pp.68-73.
- [7] L Badia,( Feb. 2023) "Analysis of age of information under SR ARQ," IEEE Trans. Commun., vol.34, pp.205-207.
- [8] R Devassy, G Durisi, P Popovski,( Feb. 2014) "Finite-blocklength analysis of the ARQ-protocol throughput over the Gaussian collision channel," IEEE Trans. Commun., vol.27, pp.488-493.
- [9] B Modi, O Olabiyi, A Annamalai,( June 2016) "Joint-Design of Link-Adaptive Modulation and Coding with Adaptive ARQ for Cooperative Amplify and Forward Relaying System," International Journal of Computer. Commun., vol.38, pp.737-739.
- [10] TG Kong, YH Kim,( Aug. 2013) "Method of automatic repeat request (ARQ) in communication system," US Patent. Vehic. Technology, vol.45, pp.561-569.
- [11] T Song, WH Lee,( Oct. 2023) "HARE: Hybrid ARQ-Based Adaptive Retransmission Control Scheme for Synchronous Multi-Link in Wireless LANs," in Proc. IEEE International Conference on Universal Personal Communications, ICUPC'98, vol.2, pp.1247- 1251.
- [12] V Goutham, VP Harigovindan,( April, 2023) "Energy efficient hybrid ARQ scheme for cooperative communication in underwater acoustic sensor networks," IEEE Conference Publications, DO:10,. vol.2, pp.1- 4.
- [13] J. G. Proakis, Digital Communications, 4th ed., McGraw-Hill, 2001.
- [14] R. J. Urlick, Principles of Underwater Sound, 3rd ed., McGraw-Hill, 1983.
- [15] M. Stojanovic, "On the Relationship between Capacity and Distance in an Underwater Acoustic Communication Channel," in Proc. ACM WUWNet, Los Angeles, CA, vol.11, pp.41-47, Sept. 2006.

## Reducing the data transmission error in submarine telecommunication using cooperative automatic repeat request protocol

**Mohammad Ghalandari**

Electrical Engineering, Technical and Engineering Faculty, Islamic  
Azad University, Kazeroon Branch

**Azam Letafat Farashbandi**

Electrical Engineering, Technical and Engineering Faculty, Islamic  
Azad University, Kazeroon Branch

**Mohammad Javad Mohammadnia**

Electrical Engineering, Technical and Engineering Faculty, Islamic  
Azad University, Kazeroon Branch

**Farshin Mohagheghzade**

Electrical Engineering, Technical and Engineering Faculty, Islamic  
Azad University, Kazeroon Branch

### Abstract

Among the features of underwater acoustic communication, it is possible to point out the high propagation delay, high bit error rate, and semi-bidirectionality of the channel. Therefore, underwater audio channels do not work well under such conditions when the channel is weak. An automatic retry request protocol that adjusts the retransmission process for packets that arrive corrupted is needed. In this research, we have proposed two collaborative ARQ schemes. These protocols have been placed as intermediate nodes between certain distances from the origin to the destination in order to provide alternative routes. These routes have higher channel quality than the direct route between origin and destination. The main advantage of our proposed method is that the destination is not aware of the location of the nodes and will be informed of the location of the nodes by building a time table at the destination. We have also shown that the second proposed protocol will work more effectively than the first proposed protocol because the second protocol only requests retransmission from the nearest node that received the message right from the origin. In this research, we have compared the output efficiency by comparing the proposed protocols with the simple S&W ARQ protocol. Computer simulations in MATLAB software show that the proposed scheme can increase output efficiency by increasing the probability of successful retransmissions..

**.Keywords:** Underwater communication, error correction protocol, cooperative communication, stop and wait