

ارائه‌ی یک طرح بازیابی مسیر برای بهبود پروتکل AOMDV در شبکه‌های ادهاک سیار

عادلہ دادخواه^{۱*}، فرهاد فغانی^{۲,**}

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

*adeledadkhah@gmail.com

**faghani@iaun.ac.ir

خلاصه

در یک شبکه متحرک ادهاک^۱ (MANET)، به دلیل تحرک گره‌ها و پویا بودن توپولوژی شبکه، ممکن است راه‌های اتصال بین گره‌های منبع و مقصد بسیار بی ثبات باشند و هر لحظه با خرابی مواجه شوند و ارتباط بین گره‌ها از بین برود؛ بنابراین شکست مسیر در چنین شبکه‌هایی به یک موضوع مهم تبدیل شده است و باید به محض تشخیص داده شدن، راهکارهایی برای مقابله با وقوع این شکست‌ها برنامه‌ریزی شود. برای حل این مشکل، با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی چند مسیری، مسیریابی چندگانه بین منبع و مقصد وجود آمده‌اند تا هنگامی که مسیر اولیه نتواند انتقال داده‌ها را انجام دهد مسیریابی دیگر جایگزین شوند. AOMDV یکی از مشهورترین پروتکل‌های مسیریابی چندمسیره‌ی برحسب تقاضاست که تاکنون ارائه شده‌اند. این پروتکل اگرچه عملکرد خوبی دارد اما در صورت وقوع شکست مسیر، باید فرآیند کشف مسیر مجدداً از گره‌ی منبع انجام پذیرد که باعث کاهش توان عملیاتی و افزایش تأخیر در شبکه می‌شود. به منظور کاهش تعداد دفعات فرآیند کشف مسیر پس از رخداد شکست مسیر در شبکه‌های MANET، تاکنون طرح‌های بازیابی مسیر متعددی ارائه شده است. در این مقاله نیز یک طرح بازیابی محلی مسیر برای حل مشکل شکست مسیر^۲ بین مبدأ و مقصد در حین انتقال داده، از طریق بهبود پروتکل مسیریابی چند مسیری ارائه شده است که در مقایسه با پروتکل AOMDV از نقطه نظر معیارهایی چون تأخیر پایانه به پایانه، نرخ تحویل بسته و میزان انرژی مصرفی عملکرد بهتری دارد. در این روش، گره‌های میانی تلاش می‌کنند تا با ساختن مسیر جدید به مقصد، در صورت قطع یک لینک و هنگامی که مسیر جایگزین دیگری در ذخیره‌ی مسیر گره‌ها وجود ندارد، بر این مشکل غلبه یابند.

کلمات کلیدی: شبکه متحرک ادهاک (MANET)، شکست مسیر، پروتکل مسیریابی چند مسیری، پروتکل AOMDV، کشف مسیر^۳، بازیابی مسیر.

۱. مقدمه

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد
^۲ استادیار

^۳ Mobile Ad-Hoc Network

^۴ Route failure

^۵ Route recovery

شبکه‌های ادهاک بی سیم، تحقیقات بسیاری را در سال‌های اخیر به خود جذب کرده‌اند. موضوع تحقیقات در این شبکه‌ها به‌طور کلی به موضوعات مختلفی مانند استقرار، جمع‌آوری داده، مسیریابی، تحمل خطا و مدیریت انرژی طبقه‌بندی شده‌اند [9]. این شبکه‌ها شامل گره‌های بی سیم هستند که ارتباط بین آن‌ها بدون هیچ زیرساخت ثابت شده‌ای و کنترل مرکزی انجام می‌شود. سهولت استقرار و ویژگی بدون زیرساخت شبکه‌های ادهاک، آن‌ها را برای ارتباطات چندرسانه‌ای بسیار مطلوب می‌سازد [10]. یک نوع از شبکه ادهاک، شبکه ادهاک سیار (MANETs) است. MANET یک سیستم مستقل متشکل از گره‌های متحرک (مسیریاب هم نامیده می‌شوند) است که به وسیله لینک‌های بی سیم به شیوه‌ای دلخواه به هم وصل شده‌اند و مسیریاب به دلیل طیف انتشار رادیویی محدود شده، عمدتاً چند پرشی هستند.

۲.۱ مسیریابی در شبکه‌های MANET

مسیریابی در MANET به معنای انتخاب یک مسیر مناسب و درست از منبع به مقصد برای انتقال اطلاعات است. مسیریابی در شبکه‌های ادهاک به عهده خود گره‌های موجود در شبکه است، بدین معنا که هیچ دستگاه کمکی شبکه‌ای مانند سوئیچ یا مسیریاب برای مسیریابی وجود ندارد. بلکه این خود میزبان‌ها^۱ یا همان گره‌های تشکیل دهنده شبکه هستند که عمل مسیریابی را انجام می‌دهند. پروتکل‌های مسیریابی برای مشخص کردن این که چگونه گره‌های همسایه برای انتقال اطلاعات به یکدیگر دسترسی داشته باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شبکه‌های ادهاک سیار، چون گره‌ها متحرک بوده و مکان ثابتی ندارند لذا اطلاعات مسیریابی دائماً در حال تغییر است، در نتیجه چون این شبکه‌ها هیچ شناخت قبلی در مورد توپولوژی شبکه ندارند حل مسیریابی در این شبکه‌ها به مراتب پیچیده‌تر از شبکه‌های با زیرساخت می‌باشد. یک راه حل خوب مسیریابی باید دارای ویژگی‌های غیر متمرکز بودن^۲، خودسازمان‌دهی شدن^۳ و خودبازیابی شدن^۴ باشد و در عین حال باید خودش را به محدودیت پهنای باند طیف‌های بی سیم تطبیق دهد و از خاصیت چند پرشی برای بارگذاری متعادل بهره‌بردار می‌کند. همچنین مسیریابی نیاز دارد که هشدارهای باتری^۵ را برای ارائه‌ی یک راه حل انرژی کارآمد برای شبکه‌های بی سیم را در نظر بگیرد [1]. الگوریتم‌های مسیریابی اولیه برای شبکه‌های بی سیم به الگوریتم‌های متمرکز شده و غیر متمرکز شده و الگوریتم‌های فعال یا مبتنی بر جدول^۶ و واکنشی یا برحسب تقاضا^۷ و ترکیبی^۸ طبقه‌بندی شده‌اند. مسیریابی فعال، یک رویکردی است که در آن هر مسیریاب می‌تواند جدول مسیریابی خودش را بر پایه اطلاعاتی که هر مسیریاب (گره) می‌تواند به وسیله تبادل اطلاعات بین گره‌های شبکه بداند، بسازد. در یک الگوریتم فعال، اگر چه گرفتن اطلاعات مسیر سریع است، نگهداری و حفظ اطلاعات به‌روز شبکه نیاز به ترافیک سرباری زیاد و میزان قابل توجه پهنای باند دارد. مسیریابی واکنشی یا برحسب تقاضا یک رویکردی است که در آن فرآیند مسیریابی، هر زمان که بسته داده‌ای از منبع بخواهد به مقصد تحویل داده شود نیاز به کشف یک مسیر دارد. این پروسه نیاز به کنترل ترافیک سرباری کمتری در مقایسه با پروتکل مسیریابی فعال دارد؛ اما با استفاده از پروتکل واکنشی، هر بار که گره‌ای تلاش می‌کند تا یک پیغام را بفرستد، باید برای پروسه‌ی کشف مسیر انتظار بکشد که این تأخیر کلی شبکه را افزایش می‌دهد. پروتکل‌های مسیریابی چند مسیری بر خلاف پروتکل‌های تک مسیره که مسیر واحدی را از مبدأ به مقصد به وسیله‌ی ایجاد لینک بی سیم چند پرشی بین گره‌هایی که در محدوده‌ی ارتباطاتی گره هستند طراحی می‌کنند، پروتکل‌های مسیریابی چند مسیری، مسیریابی متعددی را بین منبع و مقصد می‌سازند. به‌طور کلی این پروتکل‌ها برای بهبود عملکرد پروتکل‌های تک مسیره‌ی موجود به وسیله‌ی فراهم کردن مسیریابی متعدد با استفاده از مسیر جایگزین در زمان شکست مسیر طراحی شده‌اند. در اینجا هنگامی که مسیر اولیه با شکست مواجه می‌شود، منبع می‌تواند بسته‌های اطلاعات را به وسیله‌ی مسیر جایگزین به مقصد بفرستد، در آن صورت باید پروسه‌ای طراحی شود تا قادر به انتقال اطلاعات از طریق مسیرهای جایگزین باشد [2]. در این مقاله یک طرح بازیابی سریع مسیر برای حل مشکل خرابی مسیر ارائه شده است که بر مبنای پروتکل مسیریابی AODV^۹ می‌باشد و در زمان شکست مسیر، با استفاده از گره‌ی بازیابی، مسیر قابل اعتماد و پایدار دیگری را انتخاب می‌کند تا روند انتقال اطلاعات ادامه یابد. از مزایای پروتکل ارائه شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش از دست رفتن بسته‌های اطلاعات، استفاده‌ی مؤثر از پهنای باند، ایجاد مسیریابی بدون دور، کنترل

¹ hosts

² decentralized

³ self-organizable

⁴ self-healing

⁵ power awareness

⁶ Proactive or table driven

⁷ Reactive or on demand

⁸ hybrid

⁹ Ad-Hoc On Demand Distance Vector

ترافیک در زمان شکست مسیر. در ادامه در بخش ۲ مروری بر کارهای مرتبط گذشته خواهد شد. بخش ۳ جزئیات کار پیشنهادی را ارائه می‌دهد و در قسمت ۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها تجزیه و تحلیل می‌شود. در پایان مطالب گزارش شده در قسمت ۵ به یک جمع‌بندی نهایی می‌رسد.

۲. مرور کارهای گذشته

در شبکه‌های MANET بلافاصله پس از ایجاد مسیر اولیه، انتقال داده آغاز می‌شود؛ اما چون در این شبکه‌ها زیرساخت ثابتی برای کنترل گره‌ها وجود ندارد و آن‌ها به صورت پویا (دینامیک) اطلاعات را در میان خودشان مبادله می‌کنند، به خاطر این ویژگی ممکن است مسیرها بسیار بی‌ثبات باشند و هر زمان منجر به شکست در مسیر انتقال داده شود. از این رو در سال‌های اخیر، پروتکل‌های متعددی در شبکه‌های ادهاک سیار پیشنهاد شده‌اند که به منظور بهبود مشکل خرابی مسیرها و ارائه‌ی انتقال بدون وقفه بین منبع و مقصد استفاده می‌شوند. در این قسمت به طور خلاصه پروتکل‌های مورد استفاده در طرح‌های مختلف بازیابی مسیر مورد بررسی قرار گرفته شده است.

با توجه به پهنای باند محدود کانال، محدودیت توان و حرکت مکرر گره‌ها در شبکه‌ی MANET، هر زمان ممکن است مسیر اتصال دهنده‌ی منبع و مقصد از بین برود. برای فروکش کردن این مشکلات، مسیریابی چندمسیره به وجود آمد که در آن مسیرهای جایگزین تعیین شده‌اند. پروتکل‌های مسیریابی چندمسیره، چندین مسیر را بین منبع و مقصد در زمان کشف مسیر به‌عنوان مسیرهای جایگزین کشف می‌کنند به طوری که اگر هرگونه شکستی در مسیر اولیه وجود داشته باشد، یک مسیر جایگزین می‌تواند برای بازیابی استفاده شود. بسیاری از پروتکل‌های مسیریابی چندمسیره از پروتکل‌های مسیریابی DSR¹ یا AODV سرچشمه می‌گیرند. این پروتکل‌ها، مکانیسم‌های کشف مسیر و نگهداری مسیر در پروتکل‌های AODV و DSR را برای بهبود عملکرد یک شبکه از نظر تأخیر، قابلیت اطمینان، کاهش سرباری، بهره‌ی انرژی و توان عملیاتی شبکه تغییر می‌دهند [4].

تحقیقات اخیر بسط‌های چندمسیره‌ی بسیاری از پروتکل‌های AODV و DSR را برای حل مشکل شکست لینک و پشتیبانی از انتقال داده‌ی قابل اعتماد و تعادل بار بهتر ارائه داده‌اند. برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: AOMDV، AODVBR، AODVM بر پایه‌ی پروتکل AODV، SMR، MDSR، SMS بر پایه‌ی پروتکل DSR. تاکنون طرح‌های مختلفی برای بازیابی مسیر ارائه شده‌اند [5]. در ادامه به طور خلاصه به برخی از آن‌ها اشاره شده است: Genping Liu و همکاران یک روش تقریبی ترمیم اتصال (PATCH) برای مکانیسم بازیابی محلی پیشنهاد داد که سرباری کنترلی را کاهش می‌دهد و بازیابی سریع را هنگامی که مسیر با شکست مواجه می‌شود، ارائه می‌دهد. این طرح، روشی ساده، محکم و مؤثر برای بازیابی مسیر بود [6]. Junghwi jeon و همکاران یک طرح بازیابی سریع مسیر جدید را پیشنهاد دادند که بازیابی محلی مسیر را برای قابلیت اطمینان بیشتر و کاهش تعداد پیام‌های کنترلی برای کارایی شبکه به کار می‌گیرد. این طرح تحرک گره‌ی پشتیبان را در نظر می‌گیرد و یک فرآیند بازیابی مسیر را به طور ضمنی انجام می‌دهد [7]. Jagadeesan D. و همکاران این طرح را در MANET پیشنهاد دادند. در این پروتکل، مسیرهای چندگانه بین منبع و مقصد به وجود می‌آید و در ذخیره‌ی مسیر ذخیره می‌شوند. در زمان شکست مسیر، گره‌ی از دور شنونده مسیر بازیابی را می‌فرستد و گره‌ی آشکارکننده‌ی خطا، مسیر بازیابی را بر اساس مسیر بالاترین پهنای باند در دسترس انتخاب می‌کند. این روش، استفاده‌ی مؤثر از پهنای باند را برای افزایش عملکرد شبکه فراهم می‌کند [8]. Ha Duyen Trung و Watit Benjapolakl، MLAR را ارائه کرده‌اند که یک استراتژی ذخیره‌سازی برای مسیرهای چندگانه در شبکه‌های متحرک اقتضایی به منظور ارائه‌ی جستجو و انتخاب کارآمد این مسیرها است. همچنین این روش پیشنهادی، مسیریابی مؤثری برای شبکه‌های MANET فراهم می‌کند [9]. Juanwei, L. و همکاران یک پروتکل چندمسیره‌ی جدیدی (MRNLM) بر اساس پروتکل AOMDV ارائه داده‌اند. این پروتکل آستانه‌ی انرژی‌ای به منظور بهینه‌سازی مکانیسم forwarding تنظیم می‌کند. به طور هم‌زمان یک تابع هزینه‌ی انرژی نیز می‌سازد که از آن به عنوان معیاری برای انتخاب مسیرهای چندگانه (متعدد) استفاده می‌کند. در مرحله‌ی انتقال، آن‌ها از یک روش جدیدی که «انتقال داده در مسیرهای متعدد به صورت یک‌به‌یک» نامیده می‌شود، به منظور متوازن کردن انرژی در مسیرهای مختلف استفاده می‌کنند [10]. Sung-Won و همکاران یک پروتکل مسیریابی چندمسیره‌ی ترکیبی و قابل اعتماد را پیشنهاد دادند که یک مسیریابی شبه فعال با تأخیر end to end و سربار کنترلی کمتر را ارائه می‌دهد. همچنین یک طرح بازیابی خطای سریع برای مقابله با شکست مسیرهای بالقوه که ناشی از تخریب گره توسط دشمن هستند را ارائه داده است. نقطه ضعف این روش این است که تعادل بار و نگهداری مسیر کارآمد در نظر گرفته نشده است [11]. R. Berangi و Khazaei, M. یک مسیریابی

¹ Dynamic Source Routing

² Proximity Approach To Connection Healing

چندمسیره با تکنیک تحمل پذیری خطا در MANET را ارائه داده‌اند. پروتکل آن‌ها بسطی روی پروتکل DSR برای افزایش اعتمادپذیری به‌وسیله تغییر فرآیندهای کشف مسیر و نگهداری مسیر در DSR است. در این پروتکل مسیره‌های چندگانه به‌طور حداکثر گره گسسته هستند. این روش کیفیت سرویس را برای انتقال داده در نظر نمی‌گیرد [12].

۳. کار پیشنهادی

در این بخش یک پروتکل مسیریابی چندمسیره برای بازیابی مسیر محلی مؤثر در شبکه‌های MANET ارائه شده است. این پروتکل پیشنهادی باهدف انتخاب یک مسیر جایگزین، پس از رخداد شکست در مسیر اولیه برای غلبه بر مشکل اجرای مکرر فرآیند کشف مسیر توسط گرهی منبع به دلیل شکست‌های مکرر در شبکه مؤثر است. همچنین در پروتکل مسیریابی چند مسیری، ممکن است مسیره‌های از پیش تعریف شده در فرآیند کشف مسیره‌های چندگانه زمانی که مورد نیاز هستند، در دسترس نباشند. از این رو این راهکار پیشنهادی می‌تواند یک مکانیسم بازیابی محلی را بر اساس انتخاب گرهی بازیابی و کشف مسیر جایگزین از آن گره به کار گیرد.

روش کلی الگوریتم جدید: هنگامی که یک بسته داده نیاز به ارسال از منبع به مقصد داشته باشد و هیچ مسیری در حافظه‌ی پنهان^۱ گره‌ها پیدا نشود، گرهی منبع بسته‌ی RREQ را به داخل شبکه به‌طور فراگیر پخش می‌کند. اگر بسته‌ی RREQ غیر تکراری به گره‌های میانی برسد، ID گره را به بسته ضمیمه می‌کند و انتشار ادامه می‌یابد. اگر بسته‌ی تکراری به گره‌ای برسد، به‌جای دور انداختن همه‌ی بسته‌های تکراری، فقط آن‌هایی که از مسیره‌های طولانی‌تر رسیده‌اند، دور ریخته می‌شوند و بنابراین دورریز بسته‌ها کمتر می‌شود. حتی اگر اطلاعات مسیر به مقصد در ذخیره‌ی مسیر گره‌ها موجود باشد، هیچ اجازه‌ای برای فرستادن RREP به سمت منبع را ندارد فقط می‌تواند آن را به مقصد بفرستد. گرهی مقصد پس از دریافت همه RREQ تا کد مسیر را ضمیمه می‌کند و آن را به‌عنوان بسته‌ی RREP فیدبک می‌کند. n بسته‌ی RREP برای مسیره‌های P_1, P_2, \dots, P_n تولید می‌شوند. کد مسیر برای تشخیص پهنای باند در دسترس است. RREP با کد مسیر RC_1 بیشترین پهنای باند در دسترس را دارد و RREP با کد مسیر RC_2 پهنای باند ماکزیمم بعدی را دارد و به همین ترتیب. اولویت شرایط برای انتخاب پهنای باند به شرح زیر است:

$$B_1 > B_2 > B_3 > B_4 > \dots > B_n$$

که در آن، B_1 و B_2 و ... و B_n پهنای باند قابل دسترس مسیره‌ها هستند [8]. در صورت شکست مسیر در مسیر اولیه، این پروتکل می‌تواند مسیره‌های قابل اعتماد دیگری را که بیشترین ثبات را دارند با استفاده از گرهی جایگزین برای بازیابی اطلاعات انتخاب کند.

۱,۳ مراحل الگوریتم جدید

• فاز کشف مسیر:

۱- هنگامی که یک گرهی منبع اطلاعاتی برای ارسال به مقصدی را دارد، شروع به کشف مسیر برای پیدا کردن مسیری به مقصد مورد نیاز می‌کند. ابتدا گرهی منبع که می‌خواهد بسته‌ی اطلاعات را ارسال کند، بسته‌های درخواست مسیر را به کل شبکه پخش می‌کند. ساختار بسته‌ی RREQ در شکل (۲) نشان داده شده است. از آنجایی که RREQ در یک شبکه‌ی گسترده پخش می‌شود، یک گرهی میانی ممکن است چندین نسخه از RREQ یکسان را دریافت کند. هنگامی که یک گره، بسته‌ی RREQ را از همسایه‌اش دریافت می‌کند، ID منبع، ID مقصد و ماتریس مجاورت^۲ گره را ثبت می‌کند. ماتریس مجاورت هر گره، اطلاعات همسایه‌های آن گره را نشان می‌دهد.

^۱ cache

^۲Adjacency Matrix

۲- اگر یک گره، بسته‌های RREQ با ID منبع و مقصد یکسان را دریافت کند، ابتدا تعداد پرش شمار را بررسی می‌کند، اگر این تعداد بزرگ‌تر از دیگر بسته‌های دریافت شده‌ی قبلی است، آن گره ID و ماتریس مجاورت بسته را می‌گیرد و سپس آن را دور می‌اندازد. اگر این تعداد مساوی با دیگر بسته‌های RREQ دریافت شده است، گره از این نسخه‌های تکراری به نفع تشکیل مسیرهای معکوس استفاده می‌کند و آن را دور می‌اندازد.

۳- مسیرهای معکوس فقط با استفاده از آن کی‌هایی که تشکیل حلقه یا دور نمی‌دهند و از هم گسستگی مسیرها را تضمین می‌کنند، تشکیل می‌شود.

۴- اگر اطلاعات مسیر به مقصد در ذخیره‌ی گره‌های میانی موجود است، آن گره‌ها نمی‌توانند بسته‌ی RREP را به عقب به سمت منبع بفرستند و فقط می‌توانند آن را به سمت مقصد بفرستند.

۵- مقصد پس از دریافت همه‌ی بسته‌های RREQ، کدهای مسیر را مطابق جدول فرمت بسته‌ی RREP ضمیمه می‌کند و سپس آن را به‌عنوان بسته‌ی RREP به عقب می‌فرستد.

۶- پس از دریافت بسته‌های RREP توسط منبع، مسیر اولیه بر اساس بیشترین پهنای باند انتخاب می‌شوند.

Source address	Destination address	ID Request	Node ID	Advertised Hop count	Node's Adjacency Matrix	Hop Count	Time out
----------------	---------------------	------------	---------	----------------------	-------------------------	-----------	----------

شکل ۱- فرمت بسته‌ی RREQ

Destination address	Source address	Sequence number	Node ID	Node's Adjacency Matrix	Hop Count	B.W
---------------------	----------------	-----------------	---------	-------------------------	-----------	-----

شکل ۲- فرمت بسته‌ی RREP

• فاز نگهداری مسیر

۷- در صورت شکست مسیر در مسیر اولیه، گره‌ها شروع به نگهداری مسیر می‌کنند. گره‌ی بازیابی، از بین گره‌های همسایه‌ی گره‌ای که خطا را آشکار کرده است انتخاب می‌شود. گره‌ای از بین گره‌های همسایه‌ی گره‌ای که خطا را آشکار کرده است به‌عنوان گره‌ی بازیابی انتخاب می‌شود که بالاترین ضریب خوشه‌بندی و پایدارترین لینک را در بین همسایگان گره‌ی تشخیص‌دهنده‌ی خطا دارد. فرض بر این می‌شود که همه‌ی گره‌ها مجهز به سیستم موقعیت‌جهانی بوده و در هر لحظه موقعیت مکانی خود را می‌دانند. ضریب خوشه‌بندی گره‌ها از رابطه‌ی (۴) و میزان پایداری لینک نیز طبق رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود.

تعریف ۱: میزان پایداری لینک

این مقدار زمان پایدار باقی ماندن لینک بین گره‌ی i, j را نشان می‌دهد. $(x_i; y_i)$ موقعیت گره‌ی i و $(x_j; y_j)$ موقعیت گره‌ی j را نشان می‌دهد [13].

$$a = v_i \cos \theta_i - v_j \cos \theta_j, \quad b = x_i - x_j \quad (1)$$

$$c = v_i \sin \theta_i - v_j \sin \theta_j, \quad d = y_i - y_j \quad (2)$$

$$STAI_{ij} = \frac{-(ab+cd)\sqrt{(a^2+c^2)r^2 - (ad-cb)^2}}{\sqrt{a^2+c^2}} \quad (3)$$

تعریف ۱- ضریب خوشه‌بندی گره (G_i) : این ضریب چگونگی نزدیک بودن گره‌های همسایه‌ی یک گره را توصیف می‌کند و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [13].

$$C_i = \sum_{j \in Ni} \frac{|N_j \cap Ni|}{d_i(d_i - 1)} \quad (4)$$

اگر دو همسایه از گرهی آشکارکننده‌ی خطا، ضریب خوشه‌بندی یکسانی داشته باشند، گره با پهنای باند بالاتر به‌عنوان گرهی بازیابی انتخاب می‌شود.

۸- پس از انتخاب گرهی بازیابی، فرآیند کشف مسیر از گرهی بازیابی، مطابق مراحل ۱ تا ۶ فاز کشف مسیر انجام می‌شود.

۹- همین که مسیر جدید انتخاب شد، یک بسته‌ی آغاز انتقال به منبع فرستاده می‌شود تا دوباره انتقال را شروع کند و ذخیره‌اش را با توجه به مسیر جدید به‌روزرسانی می‌کند.

۱۰- اگر هیچ لینکی بین همسایه‌های گرهی آشکارکننده‌ی خطا و گرهی آشکارکننده‌ی خطا پیدا نشد، یک پیغام خطا^۱ (RERR) به عقب به سمت گرهی منبع فرستاده می‌شود. اولین گره‌ای که در این مسیر این پیغام را دریافت کرد، برای این که مسیر دیگری به مقصد پیدا کند پروسه‌ی کشف مسیر را دنبال می‌کند و به همین ترتیب باز اگر مسیر جدیدی یافت نشد، بسته‌ی RERR به عقب در مسیر منبع فرستاده می‌شود و گرهی قبلی در این مسیر نیز فرآیند کشف مسیر را دنبال می‌کند و به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا اگر هیچ مسیر جایگزینی در گره‌های میانی، حذف‌شده‌ی گرهی تشخیص‌دهنده‌ی خطا تا گرهی منبع، پیدا نشد، مجدداً کشف مسیر از منبع آغاز خواهد شد.

جدول ۱- نمادگذاری روابط استفاده‌شده [13]

نماد	توصیف نماد
S	گره‌ی منبع
D	گره‌ی مقصد
i	یک گره‌ی میانی از منبع به مقصد
j	یک همسایه از گره‌ی i
N_i	مجموعه‌ای از گره‌های همسایه‌ی گره‌ی i
N_j	مجموعه‌ای از گره‌های همسایه‌ی گره‌ی j
d_i	درجه‌ی گره‌ی i شامل تعداد همسایگان گره‌ی i

۴. شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج

پیاده‌سازی شبیه‌سازی‌های پروتکل پیشنهادی در این بخش با استفاده از نرم‌افزار ns2 انجام شده است. ns2 یک شبیه‌ساز شبکه‌های کامپیوتری و مبتنی بر روش شبیه‌سازی رخداد‌های گسسته و شی گراست که در مطالعه طبیعت دینامیکی شبکه‌های ارتباطی، مورد استفاده قرار می‌گیرد و به کمک آن شبیه‌سازی پروتکل‌ها و عملکردهای شبکه‌های سیمی و شبکه‌های بی‌سیم به‌خوبی قابل انجام هستند. در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این قسمت پارامترهای شبیه‌سازی بر اساس مدل شبیه‌سازی به‌صورت جدول ۲ معرفی می‌شوند. متریک‌های انتخاب‌شده برای مقایسه معیارهای کمی هستند که برای مقایسه و ارزیابی پروتکل‌های مسیریابی استفاده می‌شوند. عملکرد پروتکل ارائه‌شده با توجه به معیارهای زیر ارزیابی شده است:

- میانگین تأخیر انتها به انتها، شامل تمامی تأخیرها در حین انتقال اطلاعات از منبع CBR به مقصد متناظر CBR می‌شود که شامل بافر کردن بسته‌ها در طول پروسه، یافتن مسیر در زمانی که یک لینک تخریب می‌شود، تأخیر انتقال دوباره و تأخیرهای لایه MAC می‌باشد. یا به عبارت دیگر متوسط زمانی که لازم است تا یک بسته داده از گرهی منبع به گرهی مقصد فرستاده شود.
- میزان انرژی استفاده‌شده توسط گره‌ها در شبکه
- متوسط نرخ تحویل بسته به‌عنوان نسبت تعداد کل بسته‌هایی که به‌طور موفقیت‌آمیز به مقصد می‌رسند به تعداد کل بسته‌های فرستاده‌شده از گرهی منبع.

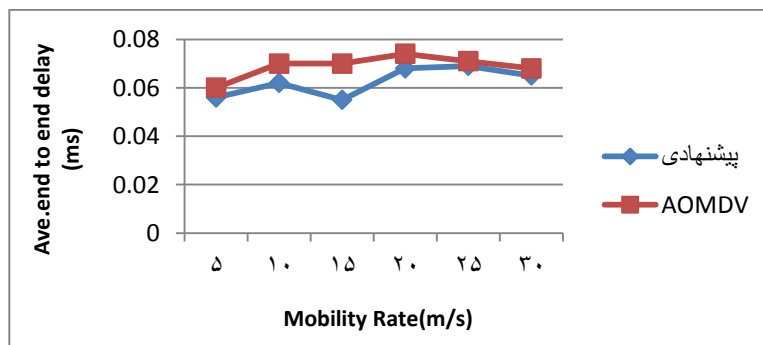
¹ Route error

جدول ۲ - تنظیمات شبیه‌سازی

مشخصات	مقادیر
شبیه‌ساز	NS2 2.35
نوع MAC	802.11
نوع کانال	کانال بی سیم
تعداد گره‌ها	۱۰۰
اندازه‌ی محیط شبیه‌سازی	۱۰۰۰*۱۰۰۰ مترمربع
منبع ترافیک	ترافیک با نرخ ثابت (TCP)
مدل حرکت گره‌ها	در هر نقطه تصادفی ^۱
سرعت حرکت گره‌ها	۵m/s - ۳۰m/s
نرخ ارسال بسته در شبکه	۱۰ بسته در ثانیه
اندازه بسته داده	۵۱۲ بایت

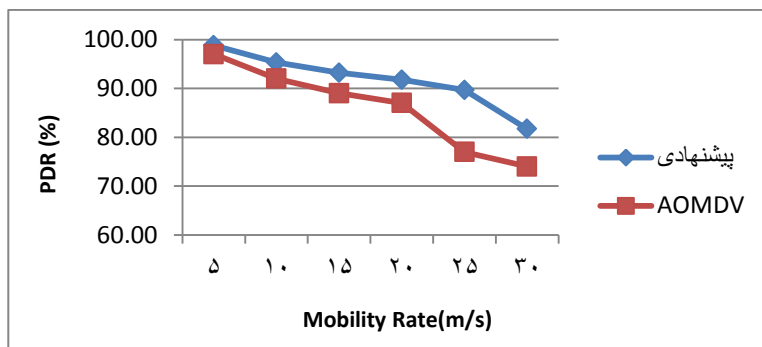
از شکل (۱) می‌توان دید متوسط تأخیر انتها به انتها در الگوریتم ارائه شده در مقایسه با پروتکل AOMDV کمتر است زیرا نگهداری مداوم مسیرها در پروتکل ارائه شده منجر به ایجاد مسیرهای جایگزین معتبرتری می‌شود که در زمان از بین رفتن مسیر اصلی در دسترس می‌باشند و از طرف دیگر به جای کشف مسیر مجدد از گرهی منبع پس از رخداد شکست یک مسیر، گرهی بازیابی که در نزدیکی گرهی تشخیص دهنده‌ی خطاست پروسه‌ی کشف مسیر بازیابی را انجام می‌دهد و بنابراین زمان میان از بین رفتن مسیر اصلی و به دست آوردن یک مسیر جدید کاهش پیدا می‌کند. اکنون با آنالیز شکل (۲) می‌توان نتیجه گرفت که نرخ تحویل بسته در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم AOMDV به دلیل ارسال موفقیت آمیزتر بسته‌های داده‌ها در نتیجه‌ی بازیابی مؤثرتر مسیر عملکرد بهتری دارد. در شکل (۳) میزان انرژی مصرفی گره‌ها در شبکه برای مقایسه نمایش داده شده است که با تحلیل نمودار می‌توان دید مصرف انرژی شبکه در پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل AOMDV کاهش یافته است که می‌تواند به پایداری شبکه کمک کند.

با مقایسه‌ی نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی می‌توان مشاهده کرد که پروتکل پیشنهادی در مقایسه با پروتکل AOMDV از نظر معیارهای تأخیر end to end، نرخ تحویل بسته و انرژی مصرفی، کارایی بهتری دارد که این به دلیل بازیابی مؤثرتر الگوریتم پیشنهادی در زمان وقوع شکست مسیر و در نتیجه انتقال داده‌ی قابل اعتمادتر می‌باشد.

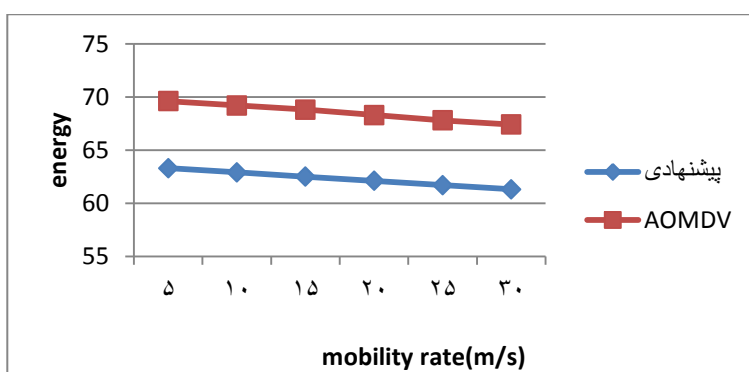


شکل (۱): نمودار مقایسه تأخیر end to end الگوریتم پیشنهادی و پروتکل AOMDV بر حسب نرخ سرعت

¹ Random way point



شکل (۲): نمودار مقایسه نرخ تحویل داده‌ی الگوریتم پیشنهادی و پروتکل AOMDV بر حسب نرخ سرعت



شکل (۳): نمودار مقایسه انرژی الگوریتم پیشنهادی و پروتکل AOMDV بر حسب نرخ سرعت

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله، به منظور حل مشکل شکست لینک ناشی از تحرک گره‌ها، برخورد بسته‌ها، شرایط بد کانال، در شبکه‌های MANET، یک طرح بازیابی مؤثر مسیر ارائه شد. این طرح پیشنهادی با استفاده‌ی بهینه از پهنای باند و بازیابی مسیر بار ترافیکی در زمان وقوع شکست مسیر برای غلبه بر مشکل مسیرهای ناپایدار در پروتکل مسیریابی چندمسیره مؤثر است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داده شد که راهکار پیشنهادی بهبودی در معیارهای نرخ تحویل داده، تأخیر end to end و انرژی مصرفی در مقایسه با پروتکل AOMDV نتیجه می‌دهد. در تحقیقات آینده می‌تواند مسائل دیگری همچون سرباری مسیریابی، امنیت و توازن بار نیز در طراحی پروتکل ارائه‌شده مدنظر قرار گیرد.

۶. مراجع

1. E. Alotaibi and B. Mukherjee, "A survey on routing algorithms for wireless Ad-Hoc and mesh networks," *Comput. Networks*, vol. 56, no. 2, pp. 940–965, 2012.

2. Pooja & Ajay Dureja, "a Comparative Survey on Various Route Recovery Schemes in Manet," *Int. J. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 89–96, 2013.
3. N. B. Yadla, C. H. S. Babu, and G. E. College, "Route Recovery Schemes for Efficient MANET," vol. 1, no. 3, pp. 700–705, 2013.
4. Jayalakshmi, V., and Dr Rameshkumar. 'R,' Multipath Fault Tolerant Routing Protocol in MANET".
International Journal of Adhoc Networkig Systems 2, no. 1, 2012.
5. R. Kaur, R. Mahajan, and A. Singh, "A SURVEY ON MULTIPATH ROUTING PROTOCOLS FOR MANETS," vol. 2, no. 2, pp. 42–45, 2013.
6. G. Liu, K. J. Wong, B. S. Lee, B. C. Seet, C. H. Foh, and L. Zhu, "PATCH : A novel local recovery mechanism for mobile ad-hoc networks," pp. 2995–2999, 2003.
7. J. Junghwi, K. Lee, and C. Kim. "Fast route recovery scheme for mobile ad hoc networks. " Information Networking (ICOIN), 2011 International Conference on. IEEE, 2011.
8. D. Jagadeesan, S. K. Srivatsa, and T. Nadu, "Multipath Routing Protocol for Effective Local Route Recovery in Mobile Ad hoc Network", Department of Computer Science and Engineering , Sri Chandrasekharendra Saraswathi Viswa Mahavidyalaya University , St . Joseph College of Engineering , Chennai, vol. 8, no. 7, pp. 1143–1149, 2012.
9. H. Trung and W. Benjapolakul, "A caching strategy for multiple paths in mobile ad hoc networks", ECTI transaction on electrical eng. electronics and communications, vol. 5, NO. 2, 2007.
10. Juanwei, L., J. Chen and Y. Kuo,. "Multipath routing protocol for network lifetime maximization in ad-hoc networks". Proceedings of the 5th international conference on wireless communications, networking and mobile computing, (WCNMC' 09), IEEE Xplore P, 2009.
11. Sung-Won, L., J.Y. Choi, K.W. Lim, Y. Ko and B. Roh, "A reliable and hybrid multi-path routing protocol for multi-interface tactical ad hoc networks", proceedings of the conference on military communication unclassified program networking protocols an. 2010.
12. Khazaei, M. and R. Berangi, "A multi-path routing protocol with fault tolerance in mobile ad hoc networks". Proceedings of the 14th international CSI computer conference, Oct. 20-21, IEEE Xplore Press, Tehran, pp: 77-82. DOI: 10.1109/CSICC.2009.534935, 2009.
13. Y. Tsai and C. Yao, "A reliable local recovery routing protocol based on clustering coefficient for mobile ad hoc networks," vol. 6, no. March, pp. 2511–2518, 2012.