JIPET

Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology
Vol. 14/ No. 56/ Winter 2023
P-ISSN: 2322-3871, E-ISSN: 2345-5594, http://jipet.iaun.ac.ir/

20.1001.1.23223871.1402.14.56.9.9

Research Article

# Delay-Tolerant Routing Optimization Using Simulated Annealing Heuristic Algorithm in Disrupted Mobile Ad-Hoc Networks

**Somaye Pirzadi[1], *Ph.D. Student*, Mohammad Ali Pourmina[1], *Associate Professor*, Seyed Mostafa Safavi-Hemami[2], *Associate Professor***

[1]Department of Mechanical, Electrical Engineering- Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Department of Electrical Engineering- Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran
s.pirzadi@srbiau.ac.ir, pourmina@srbiau.ac.ir, msafavi@aut.ac.ir

**Abstract**
Given the importance of reducing data latency in discrete wireless networks in critical situations, we present the combined routing protocol with a storage and forwarding approach in Throw-Box-based network topology concerning aspects such as proper relay prediction and effective buffer management. To reduce the data transfer time in the relay node selection criteria, we consider the effect of different factors: node records, end-to-end latency, the nodes' available buffer space, and information such as average speed and node movement direction. We also use artificial intelligence to perform optimal routing using the Simulated Annealing algorithm. Important common performance criteria such as average latency, delivery ratio, number of lost messages, and network overhead were used to evaluate the performance of the proposed model. The results showed that our proposed routing method has less reception delay than other routing methods and maintains maximum transmission.

**Keywords**: delay-tolerant network, delivery delay, hybrid routing, mobile ad hoc network, simulated annealing algorithm, throw-box-based network

**Received:** 19 January 2022
**Revised:** 18 February 2022
**Accepted:** 22 July 2022

**Corresponding Author:** Dr. Mohammad Ali Pourmina

Citation: S. Pirzadi, M.A. Pourmina, S.M. Safavi-Hemami, "Delay-tolerant routing optimization using simulated annealing heuristic algorithm in disrupted mobile ad-hoc networks", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 14, no. 56, pp. 131-150, January 2023 (in Persian).

20.1001.1.23223871.1402.14.56.9.9

مقاله پژوهشی

# بهینه‌سازی مسیریابی مقاوم به تاخیر با استفاده از الگوریتم اکتشافی شبیه‌سازی تبرید در شبکه‌های اقتضایی متحرک گسسته

**سمیه پیرزادی[۱]، دانشجوی دکتری، محمدعلی پورمینا[۱]، دانشیار، سیدمصطفی صفوی‌همامی[۲]، دانشیار**

۱- دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر- واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
s.pirzadi@srbiau.ac.ir, pourmina@srbiau.ac.ir, msafavi@aut.ac.ir

**چکیده:** با توجه به اینکه کاهش تاخیر در دریافت اطلاعات در شبکه‌های بی‌سیم گسسته در شرایط بحرانی حائز اهمیت است، جهت سرعت بخشیدن به انتقال پیام‌ها در شبکه‌های اقتضایی گسسته، پروتکل مسیریابی ترکیبی با رویکرد ذخیره و حمل به جلو در معماری شبکه مبتنی بر جعبه پرتاب با توجه به جنبه‌هایی مانند پیش‌بینی رله مناسب و مدیریت موثر بافر در این مقاله ارائه شده است. به‌منظور حفظ حداکثر نرخ انتقال موفق و کاهش زمان انتقال اطلاعات در معیارهای انتخاب گره رله علاوه بر در نظر گرفتن سوابق گره‌ها، تاثیر سه عامل مختلف تاخیر مبدا به مقصد، فضای بافر در دسترس گره‌ها و همچنین اطلاعاتی مانند متوسط سرعت و جهت حرکت گره‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین با به‌کار بردن الگوریتم شبیه‌سازی تبرید از هوش مصنوعی در انجام مسیریابی بهینه استفاده می‌شود. جهت مطالعه عملکرد مدل ارائه شده معیارهای عملکرد مشترک مهمی مانند متوسط تاخیر، نسبت تحویل، تعداد پیام‌های از دست رفته و سربار شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روش مسیریابی پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مسیریابی علاوه بر حفظ حداکثر انتقال از تاخیر دریافت کمتری برخوردار است.

**کلمات کلیدی:** تاخیر تحویل، شبکه اقتضایی متحرک، شبکه تحمل‌پذیر اختلال یا تاخیر، شبکه‌های مبتنی بر جعبه پرتاب، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، مسیریابی ترکیبی

**تاریخ ارسال مقاله:** ۱۴۰۰/۱۰/۲۹
**تاریخ بازنگری مقاله:** ۱۴۰۰/۱۱/۲۹
**تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۱/۴/۳۱

**نام نویسنده‌ی مسئول:** دکتر محمدعلی پورمینا

**نشانی نویسنده‌ی مسئول:** تهران- دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

**۱- مقدمه**

در مواقعی که به علت بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله، طوفان و ... زیرساخت‌های ارتباطی در منطقه‌ای از بین می‌رود، بهترین راه‌حل جهت برقراری سریع ارتباط بین بخش‌های مختلف منطقه، به‌کارگیری شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم[۱] است. این شبکه‌ها می‌توانند در کمترین زمان ممکن ارتباطات را بدون نیاز به زیرساخت برقرار کنند. شبکه‌های اقتضایی در عملیات تاکتیکی و یا اضطراری ممکن است به گروه‌های مختلف از گره‌های متحرک تقسیم شوند که باید کارهای متفاوت انجام دهند و الگوهای حرکتی متفاوت داشته باشند. از این‌رو یک شبکه تاکتیکی می‌تواند هر دو شبکه اقتضایی و شبکه چند تکه[۲] را در یک زمان در بخش‌های مختلف شبکه داشته باشد.

در این حالت حفظ ارتباط مطلوب با استفاده از روش‌های مسیریابی معمولی مورد استفاده در شبکه‌های اقتضایی متحرک[۳] (MANET) دشوار خواهد بود و در اغلب موارد، در شبکه اتصالات پایان به پایان بین گره‌های مبدا و مقصد وجود نخواهد داشت و این منجر به از دست دادن پیام[۴] بالایی خواهد شد. بنابراین، برای انتشار کارآمد اطلاعات در شبکه‌های اقتضایی متحرک گسسته و همچنین استفاده از ساز و کار ذخیره، حمل و ارسال[۵] برای تبادل پیام‌ها در شرایط بحرانی، الگوریتم مسیریابی بهینه‌ای مورد نیاز است که شبکه مقاوم به تاخیر یا اختلال[۶] (DTN) را با روش‌های مسیریابی معمولی MANET ادغام کند.

با بررسی پژوهش‌های انجام شده در گذشته مشاهده می‌شود که اکثر روش‌های مسیریابی ترکیبی مورد استفاده در شبکه‌های مقاوم در برابر تاخیر یا اختلال و شبکه‌ی اقتضایی متحرک بر افزایش نسبت تحویل[۷] پیام یا کاهش سربار[۸] در شبکه به‌عنوان معیارهایی جهت بهینه‌سازی عملکرد شبکه تمرکز دارند. اگر چه DTNها قادر به تحمل تاخیر هستند اما با توجه به کاربرد مورد نظر، در شرایط بحرانی کاهش زمان ارسال پیام‌ها در MANET-DTN بسیار مهم است. راه‌کارهای ارائه شده در این پژوهش به‌منظور کاهش زمان ارسال پیام‌ها و حفظ حداکثر نسبت تحویل همچنین کاهش سربار مسیریابی در ادامه دسته‌بندی شده است:

۱) در این پژوهش سعی بر استفاده از معیارهای موثر شبکه جهت کاهش زمان ارسال پیام‌ها است. تعدادی از روش‌های مسیریابی، متوسط تاخیر[۹] را به‌عنوان معیاری برای ارزیابی مسیریابی در نظر گرفته‌اند اما در هیچکدام از این پروتکل‌ها از محاسبه و پیش‌بینی تاخیر لینک به‌عنوان معیاری برای کاهش زمان ارسال پیام‌ها در شبکه (کاهش تاخیر متوسط شبکه) استفاده نشده است، از این‌رو از پیش‌بینی تاخیر لینک به‌عنوان معیاری برای کاهش زمان ارسال پیام‌ها در مسیریابی استفاده خواهد شد. همچنین با توجه به این‌که هدف انتقال بیشترین تعداد پیام‌ها در کوتاه‌ترین زمان در شبکه‌های MANET-DTN است، استفاده از وسایل نقلیه در ارتباطات DTN در اولویت قرار دارد.

بنابراین سرعت و جهت حرکت گره به‌عنوان یک معیار در انتخاب گره‌های مناسب در مسیریابی برای انتقال پیام در نظر گرفته خواهد شد که کمک می‌کند تا ضمن کاهش استفاده از منابع شبکه مانند پهنای باند، بافر گره و انرژی، نسبت سربار کاهش داده شود. از آنجا که فضای بافر در گره رله محدود است، به ویژه هنگامی که گره رله یک تلفن هوشمند[۱۰] است، پیش‌بینی فضای بافر از جنبه‌های مهم برای بررسی است. برای کاهش از دست‌دادن پیام‌ها و افزایش کارایی شبکه، فضای بافر در دسترس گره به‌عنوان معیاری دیگر در انتخاب گره‌های مناسب در مسیریابی در نظر گرفته خواهد شد. در الگوریتم پیشنهادی، هدف، کاهش تاخیر تحویل در شبکه، با افزایش نرخ تحویل و کاهش تعداد بسته‌های افتاده از بافر است. این امر می‌تواند با استفاده از مکانیسم تک کپی یا تعداد محدود کپی و انتخاب گره‌های میانی مناسب در مسیریابی در شبکه حاصل شود. این عمل منجر به کاهش تاخیر تحویل و کاهش مصرف انرژی و افزایش نرخ تحویل می‌شود.

۲) همچنین در این پژوهش از استراتژی به‌کارگیری تجهیزات ارتباطی و ذخیره‌سازی به نام جعبه پرتاب[۱۱] (TB) برای افزایش احتمال تحویل پیام و کاهش تأخیر انتقال در شبکه‌های گسسته استفاده شده است. پیوندهای مجازی بین جعبه‌های پرتاب توسط گره‌های متحرک شکل می‌گیرند که می‌توانند پیام‌ها را از یک جعبه به جعبه دیگر منتقل کنند. پیام‌هایی که به‌طور موقت در جعبه‌ها ذخیره می‌شوند توسط وسایل نقلیه در میان این جعبه‌ها منتقل می‌شوند تا با سرعت بیشتر به مقصد مورد نظر ارسال شوند.

۳) علاوه بر این، در واقعیت، گره‌ها در شبکه‌های فرصت طلب اغلب بر اساس اطلاعات موجود محلی با استفاده از روش اکتشافی[۱۲] حریصانه[۱۳] تصمیم‌گیری می‌کنند، که مستعد به دام افتادن در بهینه محلی[۱۴] هستند. با اشراف بر این موضوع، در این کار، پروتکل مسیریابی مبتنی بر شبیه‌سازی تبرید[۱۵] (SA) ارائه شده است. در این پروتکل، هدف کاهش تأخیر تحویل، در عین حفظ نرخ تحویل پیام بالا، مانند دیگر پروتکل‌های مسیریابی پیشرفته است.

در ادامه مقاله در بخش دوم مروری بر سیستم‌های تلفیقی و روش‌های مسیریابی ترکیبی MANET–DTN ارائه شده در گذشته انجام شده است و این روش‌ها به‌صورت خلاصه با هم مقایسه شده‌اند. در بخش سوم به بررسی مدل شبکه در محیط‌های بحرانی به‌صورت تفصیلی پرداخته شده و توضیحی از رویکرد مسیریابی پیشنهاد شده در این تحقیق ارائه خواهد شد. در بخش چهارم به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی شبکه شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار گرفته است. در بین روش‌های گذشته، مسیریابی اپیدمیک[۱۶] (ER) به دلیل داشتن قابلیت اطمینان بیشتر در تحویل بسته‌ها و مسیریابی با استفاده از سابقه برخورد و انتقال[۱۷] (Prophet) با افزایش بهینه درصد تحویل به عنوان مبنای مقایسه به کار می‌روند. علاوه بر ER و Prophet در ادامه روش پیشنهادی با روش‌های، حداکثر احتمال تحویل (MaxProp) به دلیل کم بودن تعداد بسته‌های افتاده از بافر، پروتکل تخصیص منبع برای DTN[۱۸] (RAPID) به دلیل متوسط تاخیر کم و اسپری و انتظار[۱۹] (S&W) به دلیل سربار پایین نیز مقایسه می‌شود. همچنین نتایج به‌دست آمده از تحقیق در بخش نتیجه‌گیری بیان شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

در گذشته با استفاده از ترکیب‌های متفاوت پروتکل‌های مسیریابی MANET و DTN روش‌های مختلفی پیشنهاد شده تا ارتباطات بهینه را در محیط‌های فرصت‌طلبانه فراهم کند. برخی از طرح‌های ترکیبی مسیریابی از گروه‌بندی گره‌های متحرک استفاده می‌کنند. در این طرح‌ها، گره‌های متحرک در یک گروه با مسیریابی MANET و با گره‌های گروه مجاور به وسیله‌ی مسیریابی DTN ارتباط برقرار می‌کنند [۶-۱].

در سایر روش‌ها که از گروه‌بندی گره‌های متحرک استفاده نمی‌شود، در صورت وجود اتصال مبدا به مقصد، پیام‌ها میان گره‌های متحرک با مسیریابی MANET هدایت می‌شوند. اگر مسیریابی MANET امکان‌پذیر نباشد و یا اگر مسیریابی DTN در مقایسه با مسیریابی MANET کارایی بهتری از لحاظ بهبود نسبت تحویل به متوسط تاخیر بر مبنای جمع‌آوری اطلاعات محلی حاضر با پیام‌های جستجوی مسیریابی داشته باشد، از مسیریابی DTN استفاده می‌شود [۱۲-۷]. در نتیجه بررسی روش‌های DTN برای ما حائز اهمیت است. بنابراین پروتکل‌های DTN را بر اساس دانشی که برای پیش‌بینی گره رله استفاده می‌کنند، دسته‌بندی می‌شود. پروتکل‌های مسیریابی DTN به چهار نوع طبقه‌بندی می‌شوند [۱۳]: مبتنی بر برخورد[۲۰]، مبتنی بر زمان[۲۱]، مبتنی بر زیرساخت[۲۲] و ترکیبی[۲۳]. در ادامه توضیح مختصری در مورد هر پروتکل ارائه شده است.

۱) پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر برخورد، پروتکل‌هایی را نشان می‌دهند که بر اساس ویژگی برخورد متمایز می‌شوند. پروتکل‌های مبتنی بر برخورد به روش‌های سیل‌آسا[۲۴]و روش‌های مبتنی بر پیش‌بینی تقسیم می‌شوند. روش سیل‌آسا نشان دهنده آن دسته از پروتکل‌ها است که پیام‌هایی را با دانش صفر از تاریخچه برخورد گره‌ها ارسال می‌کنند. پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر پیش‌بینی، اطلاعات برخورد را به عنوان معیاری برای انتخاب گره رله در نظر می‌گیرند. پروتکل PROPHET یکی از گسترده‌ترین مسیریابی‌های مبتنی بر پیش‌بینی برخورد است [۱۴]. این روش بردار پیش‌بینی تحویل انتقال را برای گره‌هایی که با آن‌ها مواجه شده است نگهداری می‌کند و سپس از این دانش برای انتخاب گره رله از میان گره‌ها استفاده می‌کند. MaxProp حداکثر احتمال تحویل را بر اساس فرکانس تماس و پیام‌های ذخیره شده محاسبه می‌کند [۱۵]. در این الگوریتم، هر گره بردار پیش‌بینی کل گره‌های موجود در شبکه را نگهداری می‌کند. در برخورد یک گره با گره دیگر، این بردارها بین آنها ردوبدل می‌شود، سپس برای تخمین کوتاه‌ترین مسیر به گره مقصد استفاده می‌شود. EBR را می‌توان به‌عنوان پروتکل اسپری و انتظار توسعه یافته در نظر گرفت [۱۶]. این پروتکل نرخ آتی برخورد گره‌ها را بر اساس تجربه برخورد قبلی گره‌ها پیش‌بینی می‌کند.

۲) پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر زمان بر اساس اطلاعات زمانی برخورد، به پیش‌بینی گره رله می‌پردازند. معیارهای زمانی انتخاب گره رله، فاکتورهایی مانند بازه، مدت زمان ملاقات یا زمان بین تماس‌ها و غیره هستند. بر مبنای این معیارها پروتکل

مسیریابی بین تماسی[۲۵] (ICR) پیشنهاد شد که برای شبکه‌های با الگوی تحرک مکرر توسعه داده شده است. در این پروتکل از تأخیر و واریانس بین تماسی برای ارزیابی سودمندی تحویل گره‌ها برای پیش‌بینی گره رله در شبکه استفاده می‌شود [۱۷].

۳) پروتکل‌های مبتنی بر زیرساخت بر اساس نحوه استفاده از اطلاعات مکان گره‌ها مانند اطلاعات مسیر یا اندازه‌گیری فاصله بین گره‌ها متمایز می‌شوند. پروتکل مسیریابی مبتنی بر جهت حرکت[۲۶] (DirMove) از فاصله و جهت گره‌ها به سمت مقصد برای انتخاب رله استفاده می‌کند [۱۸]. پروتکل مسیریابی فرصت‌طلب مبتنی بر محتوای آگاه از اجتماع[۲۷] (SCORP) یک پروتکل مسیریابی در DTN است که با در نظر گرفتن نزدیکی اجتماعی و محتوای هر گره قبل از تکرار پیام به گره دیگر بر روی بهبود عملکرد شبکه در ارسال پیام تمرکز می‌کند [۱۹].

۴) دسته هیبرید متعلق به پروتکل‌هایی است که بیش از یک نوع اطلاعات برای انتخاب رله دارند و یا به هیچ دسته‌ای تعلق ندارند یا از ترکیب روش‌های مختلف استفاده می‌کنند [۲۰].

با توجه به مرجع‌های [۱] الی [۶] مشاهده می‌شود که روش‌های ترکیبی که از گروه‌بندی گره‌های متحرک استفاده می‌کنند و بر افزایش نسبت تحویل پیام‌ها تمرکز دارند و برای دست یافتن به این منظور از مکانیسم چند کپی و روش‌های ارسال اپیدمی برای ارسال پیام بین گروه‌ها استفاده می‌کنند که این کار در حالتی که تعداد گروه‌ها زیاد باشد باعث ایجاد سربار در شبکه خواهد شد.

اما با توجه به مرجع‌های [۷] الی [۱۲] روش‌های ترکیبی بدون گروه‌بندی صریح گره‌های متحرک، بر کاهش سربار با کنترل تعداد کپی‌های ارسال شده از پیام تمرکز دارند و همچنین مشاهده می‌شود که معیار اصلی ارزیابی اکثر روش‌های مسیریابی عنوان شده، درصد تحویل یا سربار است. تعدادی از این روش‌ها متوسط تاخیر تحویل را نیز به عنوان معیاری برای ارزیابی در نظر گرفته‌اند. اما هیچکدام از این روش‌ها بر روی کاهش تاخیر تحویل تمرکز نداشته‌اند. بعضی از مرجع‌ها بر روی کاهش استفاده از منابع شبکه تمرکز دارند. مرجع [۲۱] استراتژی تخصیص کانال را برای استفاده از مزایای پخش بی‌سیم و محدودیت تداخل در شبکه در نظر می‌گیرد. پروتکل Rapid از تخصیص منابع برای استفاده بهینه از پهنای باند و انرژی استفاده می‌کند [۲۲].

در روش مسیریابی هیبریدی پیشنهادی در این مقاله، هر گره مناسب‌ترین گره در میان تمام همسایگانش را به‌عنوان گره بعدی انتخاب می‌کند. مناسب‌ترین گره با استفاده از ترکیب پارامترهایی مانند سابقه تحویل موفقیت آمیز از پارامترهای روش مبتنی بر پیش‌بینی، سرعت و جهت حرکت از پارامترهای روش مبتنی بر زیرساخت و تاخیر و فضای بافر آزاد هر گره برای استفاده بهینه از منابع شبکه و مصرف انرژی بهینه انتخاب شده است. همچنین با توجه به این‌که بسیاری از پروتکل‌های مسیریابی که از اطلاعات محلی برای راه‌حل بهینه بهره‌برداری می‌کنند، مستعد گرفتار شدن در بهینه محلی هستند و در نتیجه منجر به عملکرد کمتر از حد مطلوب معیارهای مربوطه می‌شوند، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای اجتناب از بهینه‌های محلی در بهینه‌سازی مسیریابی استفاده شده است.

## ۳- روش تحقیق

در این بخش به بررسی مختصری از معماری شبکه، رویکرد تحرک گروهی و مدیریت بافر پرداخته شده است. همچنین مسیریابی به‌کار گرفته شده در این تحقیق با معیار انتخاب مناسب‌ترین گره جهت انتقال پیام معرفی شده است.

### ۳-۱- معماری شبکه

معماری شبکه مبتنی بر مکانیسم DTN بیشترین کاربرد را برای سناریوهای پس از حادثه دارد، که در آن نقطه کنترل کار امداد رسانی یک نقطه ثابت باشد مانند یک ساختمان مدرسه محلی یا بیمارستان، که محل آن برای همه شناخته شده است. در این کار، معماری شبکه چهار لایه برای امداد رسانی پس از فاجعه و تجزیه و تحلیل وضعیت ارائه شده است. منطقه فاجعه زده به خوشه‌های شناخته شده به‌عنوان نقاط پناهگاه[۲۸] (SP) تقسیم شده است. معماری متشکل از گروه‌های امدادگر سیار[۲۹] (RW) در ردیف ۱، جعبه‌های پرتاب به‌عنوان محل‌های جمع‌آوری اطلاعات در ردیف ۲ در نقاط ثابت در SPها و متحرک‌ها[۳۰] (DM) مانند وسایل نقلیه، قطار و غیره در ردیف ۳ که برای فراهم آوردن قابلیت ارتباط درون SP به‌کار می‌روند. ایستگاه کنترل[۳۱] (MCS) در

لایه چهار قرار می‌گیرد. RWها با تلفن‌های هوشمند برای گره‌های سیار خود عمل می‌کنند گره‌های سیار اطلاعات منطقه حادثه را جمع‌آوری می‌کنند و آن اطلاعات را به جعبه پرتاب موجود در محدوده خود، با استفاده از DTN به‌عنوان فن‌آوری ارتباطی ارسال می‌کنند. سپس پیام‌ها از طریق DMها به MCS فرستاده می‌شوند. بر اساس این معماری، یک پروتکل مسیریابی DTN جدید ارائه شده است. شکل (۱) ساختار شبکه برای سناریوی پس از بلایا را نشان می‌دهد.

### ۲-۳- مدیریت بافر

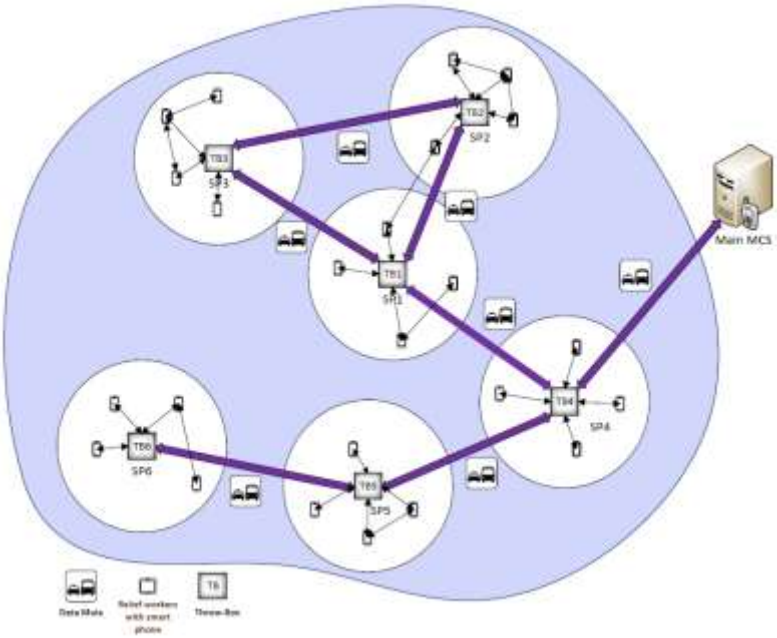
در اینجا، مدیریت بافر در گره‌ها برای تضمین تحویل بیشتر پیام‌ها معرفی می‌شود. از آنجا که در صورت نامناسب بودن اندازه بافر هیچ راهی برای جلوگیری از حذف شدن پیام‌ها وجود ندارد، نگرانی اصلی مدیریت بافر این است که چگونه به‌صورت انتخابی پیام‌ها را حذف کنیم. از آنجا که در داخل گروه سعی در برقراری ارتباط بین اعضای گروه به‌صورت مداوم داریم برای جلوگیری از حذف پیام‌ها از ذخیره مشارکتی استفاده می‌کنیم. اما در مدیریت پیام‌های بین گروهی روش دیگری در نظر گرفته می‌شود. با محاسبه تاخیر صف در بافر گره‌ها از آن به‌عنوان معیاری برای انتخاب گره رله استفاده خواهد شد و سعی در ارسال پیام‌ها به گره‌هایی با فضای بافر آزاد بزرگ‌تر و تاخیر صف کمتر وجود خواهد داشت.

در ادامه، مدل صف بر اساس زنجیره مارکوف زمان پیوسته/حالت گسسته برای بافر موجود در گره‌های رهبر و بافر موجود در روتر متحرک در وسایل نقلیه فرمول‌بندی شده است. صف مربوط به هر گره به عنوان یک سیستم صف‌بندی M/M/1 مدل‌سازی می‌شود که در آن پیام‌ها بر اساس یک فرآیند پواسون وارد می‌شوند و زمان انتقال پیام‌ها مستقل و به‌صورت یکسان پخش می‌شوند. چنین سیستمی را می‌توان با یک فرآیند مارکوف با زمان پیوسته/حالت گسسته توصیف کرد. برای ارائه این مدل فضای حالت تعریف شده و ماتریس احتمال انتقال به‌دست آمده است. روش به‌دست آوردن احتمال حالت پایدار ارائه شده و اندازه‌گیری عملکرد انجام شده است. همچنین پارامترهای موجود در روابط در جدول (۱) تعریف شده است.

فضای حالت و ماتریس انتقال: فرض کنید S نشان دهنده مجموعه‌ای از مکان‌ها در یک شبکه باشد. فضای حالت صف در یک روتر متحرک که پیامی با مقصد i' را در بافر خود ذخیره کرده است به‌صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود [۲۳].

$$\Psi_{i'}^{(n)} = \{(s,\chi); s \in S, \chi \in \{0,1,...\}\} \quad (۱)$$

که در آن S محل یک وسیله نقلیه است. در منبع ترافیک i، زمانی که وسیله نقلیه در محدوده انتقال منبع ترافیک در مکان $S_i$ است پیام به روتر متحرک n منتقل می‌شود.




**شکل (۱): ساختار شبکه برای سناریوی پس از بلایا**

Figure (1): Network architecture in post disaster scenario

فرض کنید رابطه (۲) ماتریس سطری احتمال انتقال پیام بوسیله منبع ترافیک i به روتر متحرک n در مکان $S_{i'}$ را نشان دهد. D ماکزیمم تعداد پیام است و عناصر ماتریس انتقال پیام می‌تواند (به عنوان مثال) از احتمال استفاده مدولاسیون‌های مختلف و نرخ کدینگ به‌دست آید.

$$d_{i\to i'}^{(n)} = \left[ d_{i\to i',0}^{(n)} \quad \dots \quad d_{i\to i',k}^{(n)} \quad \dots \quad d_{i\to i',D}^{(n)} \right] \qquad (۲)$$
$$k = \{0,\dots,D\}$$

در روتر متحرک n احتمال ورود پیام به صف برای پیام‌های با مقصد i' از رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

$$a_{i\to i',k}^{(n)} = \sum_{k'=k}^{D} d_{i\to i',k'}^{(n)} \binom{k'}{k} \left(\mu_i^{(n)}\right)^k \left(1-\mu_i^{(n)}\right)^{k'-k} \qquad (۳)$$
$$k = \{0,\dots,D\}$$

نرخ انتقال متوسط منبع ترافیک i به روتر متحرک n با مقصد i' از رابطه (۴) محاسبه می‌شود. نرخ انتقال کل از رابطه (۵) به دست می‌آید که N تعداد کل وسایل نقلیه در شبکه است. منبع ترافیک می‌تواند این نرخ انتقال را برای رسیدن به بالاترین کارایی کنترل کند.

$$\bar{\lambda}_{i\to i'}^{(n)} = \sum\nolimits_{k=1}^{D} k a_{i\to i',k}^{(n)} \qquad (۴)$$

$$\bar{\lambda}_{i\to i'} = \sum\nolimits_{n=1}^{N} \bar{\lambda}_{i\to i'}^{(n)} \qquad (۵)$$

احتمال خروج از صف در روتر سیار n در حال انتقال به مقصد $I_o$ از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$r_{i',k}^{(n)} = \sum_{k'=k}^{D} e_{i',k'}^{(n)} \binom{k'}{k} \left(\mu_{i'}^{(n)}\right)^k \left(1-\mu_{i'}^{(n)}\right)^{k'-k} \qquad (۶)$$

تحرک یک وسیله نقلیه یا رهبر گروه‌ها با روتر متحرک n در میان مکان‌ها در یک شبکه می‌تواند با استفاده از ماتریس گذار مدل شود که به صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود [۲۳]:

$$M^{(n)} = \begin{bmatrix} m_{1,1}^{(n)} & \dots & m_{1,I}^{(n)} \\ \vdots & & \vdots \\ m_{I,1}^{(n)} & \dots & m_{I,I}^{(n)} \end{bmatrix} \qquad (۷)$$
$$I = |S|$$

که در آن I تعداد کل مکان‌ها در شبکه است.

$$\sum\nolimits_{\hat{i}=1}^{I} m_{i,\hat{i}}^{(n)} = 1 \qquad (۸)$$

Table (1): Definition of parameters

**جدول (۱): تعریف پارامترها**

| پارامتر | تعریف |
|---|---|
| $\mu_i^{(n)}$ | احتمال انتقال موفق پیام |
| $e_{i',k}^{(n)}$ | احتمال انتقال K پیام توسط یک روتر سیار در یک بازه زمانی |
| $S_{n,i'}^{\sin k}$ | زیر مجموعه مکان‌های منابع ترافیک |
| $S_{n,i'}^{sour}$ | زیر مجموعه مکان‌های TBها |
| $S_{n,i'}^{road}$ | زیر مجموعه مکان‌های بدون منبع ترافیک و TB |
| $m_{i,\hat{i}}^{(n)}$ | احتمال ماندن وسیله نقلیه n در محل $S_i$ در بازه زمانی فعلی و در حال حرکت به محل $S_{i'}$ در بازه زمانی آینده |
| $P_{x,x'}$ | ماتریس احتمال تعداد پیام‌ها در تغییر صف از x در بازه زمانی فعلی به $x'$ در بازه زمانی آینده |
| $R_{i,j}(t)$ | آرایه ماتریس R(t) |
| $\varphi_i^{(n)}$ | احتمال حضور وسیله نقلیه n در مکان $S_i$ |
| $\chi$ | تعداد پیام‌ها در صف |

ماتریس انتقال حالت صف در یک روتر سیار توسط P نشان داده می‌شود که به‌صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود [۲۳،۲۴]. درایه‌های این ماتریس در روابط (۱۰) تا (۱۴) تعریف شده است.

$$P=\begin{bmatrix} D & H_0 & & & \\ F_1 & G_1 & H_1 & & \\ & F_2 & G_2 & H_2 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \end{bmatrix} \tag{۹}$$

$$D=\begin{bmatrix} p_{0,0} & \cdots & p_{0,D-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{D-1,0} & \cdots & p_{D-1,D-1} \end{bmatrix} \tag{۱۰}$$

$$F_k=\begin{bmatrix} p_{kD,(k-1)D} & \cdots & p_{kD,KD-1} \\ 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & p_{(k+1)D-1,kD-1} \end{bmatrix} \tag{۱۱}$$

$$G_k=\begin{bmatrix} p_{kD,kD} & \cdots & p_{kD,(k+1)D-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{(k+1)D-1,kD} & \cdots & p_{(k+1)D-1,(k+1)D-1} \end{bmatrix} \tag{۱۲}$$

$$H_k=\begin{bmatrix} p_{kD,(k+1)D} & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & 0 \\ p_{(k+1)D-1,(k+1)D} & \cdots & p_{(k+1)D-1,(k+2)D-1} \end{bmatrix} \tag{۱۳}$$

$$\pi P=0 \tag{۱۴}$$

واضح است که اگر بتوان احتمالات حالت پایدار $\pi(i, k)$ را تعیین کرد، می‌توان میانگین طول صف را نیز محاسبه کرد و سپس توسط قانون Little، می‌توان تاخیر صف را محاسبه کرد.

هر سطر از ماتریس P تعداد پیام‌ها در صف را نشان می‌دهد. ماتریس احتمال تعداد پیام‌ها در تغییر صف از x در بازه زمانی فعلی به $x'$ در بازه زمانی آینده به‌صورت رابطه (۱۵) بیان می‌شود:

$$P_{x,x'}=M^{(n)}\begin{bmatrix} P_{1,1}(x,x') & & \\ & \ddots & \\ & & P_{I,I}(x,x') \end{bmatrix} \tag{۱۵}$$

که در آن هر سطر از این ماتریس نشان دهنده مکان یک وسیله نقلیه است. آرایه این ماتریس از رابطه (۱۶) به‌دست می‌آید:

$$P_{i,i}(x,x')=\begin{cases} a^{(n)}_{i\to i',x'-x} & i\in S^{\sin k}_{n,i'},\ x'\ge x \\ r^{(n)}_{i,x-x'} & i\in S^{\sin k}_{n,i'},\ x\ge x' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{۱۶}$$

رابطه (۱۷) حالتی را به‌دست می‌آورد که تعداد پیام‌ها در صف کوچک‌تر از نرخ انتقال روتر سیار است. رابطه (۱۷) آرایه‌های ماتریس D را نشان می‌دهد، که در آن:

$$\tilde{p}_{i,i}(x,0)=\sum_{k=x}^{D} r^{(n)}_{i,k}\ ,\quad i\in S^{\sin k}_{n,i'} \tag{۱۷}$$

اگر وضعیت پایداری صف رضایت بخش باشد، یک ماتریس R وجود دارد که راه حل غیر منفی مینیمال رابطه (۱۸) است:

$$R=F_k+RG_k+R^2H_k \tag{۱۸}$$

در حل رابطه (۱۸) شروط نمایش داده شده در رابطه (۱۹) برقرار می باشد.

$$F_1=\ldots=F_k=\ldots\ ،\ H_1=\ldots=H_k=\ldots\ \text{و}\ G_1=\ldots=G_k=\ldots \tag{۱۹}$$

$$\pi_{i+1}=\pi_i R \tag{۲۰}$$

در نتیجه احتمال حالت پایدار با استفاده از رابطه (۲۱) تعریف می‌شود.

$$\pi_k = \pi_0 R^k \tag{۲۱}$$

ماتریس R به‌صورت تکرار شونده با استفاده از رابطه (۲۲) به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned} &R(t+1) = F_k + R(t)G_k + R^2(t)H_k \\ &\max_{i,j}\left|R_{i,j}(t+1) - R_{i,j}(t)\right| < \varepsilon \end{aligned} \tag{۲۲}$$

ε مقدار کوچکی است (به عنوان مثال ε برابر $۱۰^{-۹}$ است). در مرحله بعد، ماتریس احتمالات حالت پایدار با حل معادلات رابطه (۲۵) به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned} &\pi_0 D + \pi_1 F_1 = 0 \\ &\pi_0 H_1 + \pi_1 G_1 + \pi_2 F_2 = 0 \rightarrow \pi_0 H_1 + \pi_1 G_1 + \pi_1 R F_1 = 0 \end{aligned} \tag{۲۳}$$

$$B(R) = \begin{bmatrix} D & F_k \\ H_K & G_k + RF_k \end{bmatrix} \tag{۲۴}$$

$$\left[\pi_0, \pi_1\right] B(R) = \left[0, 0\right] \tag{۲۵}$$

با این شرط که πe برابر یک، برای π0 و π1 حل شود که e یک بردار ستونی از ۱ است [۲۵].

$$\begin{aligned} 1 = \pi e = \pi_0 e + \pi_1 e + \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k e = \pi_0 e + \pi_1 e + \sum_{k=2}^{\infty} \pi_1 R^{k-1} e = \pi_0 e + \sum_{k=1}^{\infty} \pi_1 R^{k-1} e \\ = \pi_0 e + \sum_{k=0}^{\infty} \pi_1 R^k e = \pi_0 e + \pi_1 \left( \sum_{k=0}^{\infty} R^k \right) e \end{aligned} \tag{۲۶}$$

مقدار ویژه R درون دایره واحد قرار دارد که بدان معنی است که (I-R) غیر منفرد است و از این رو خواهیم داشت:

$$\sum_{k=0}^{\infty} R^k = (I - R)^{-1} \tag{۲۷}$$

$$1 = \pi_0 e + \pi_1 (I - R)^{-1} e \tag{۲۸}$$

که در آن I یک ماتریس یکه با اندازه مناسب است.

احتمال حالت پایدار یک صف با X پیام هنگامی که یک وسیله نقلیه در محل $S_i$ است به‌صورت رابطه (۲۹) بیان می‌شود [۲۵].

$$\pi(i, x) = [\pi_{\lfloor x/D \rfloor}]_{xD+i} \tag{۲۹}$$

میانگین تعداد پیام‌های منتظر در صف در روتر متحرک n برای پیام‌های با مقصد i' از رابطه (۳۰) به‌دست می‌آید [۲۵].

$$\bar{x}_{i'}^{(n)} = \sum\nolimits_{x=1}^{X} x \left( \sum\nolimits_{i=1}^{I} \pi(i, x) \right) \tag{۳۰}$$

$$\sum\nolimits_{x=1}^{X} \sum\nolimits_{i=1}^{I} \pi(i, x) \langle \varepsilon \tag{۳۱}$$

توان عملیاتی یک منبع ترافیک I برای انتقال پیام به روتر سیار n به مقصد i' از رابطه (۳۲) محاسبه می‌شود:

$$\tau_{i \rightarrow i'}^{(n)} = \varphi_i^{(n)} \bar{\lambda}_{i \rightarrow i'}^{(n)}, \quad i \in S_{n,i'}^{sour} \tag{۳۲}$$

احتمال آن که وسیله نقلیه n در مکان $S_i$ باشد با حل رابطه (۳۳) به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} &\varphi = \varphi M^{(n)} \\ &\varphi = \left[ \varphi_1^{(n)} \ldots \varphi_i^{(n)} \ldots \varphi_I^{(n)} \right] \end{aligned} \tag{۳۳}$$

$$\varphi 1 = 1 \tag{۳۴}$$

محاسبه توان صف کل به‌صورت رابطه (۳۵) خواهد بود:

$$\tau_{i'}^{(n)} = \sum_{i \in S_{n,i'}^{sour}} \varphi_i^{(n)} \overline{\lambda}_{i \to i'}^{(n)} \tag{۳۵}$$

متوسط تاخیر تحویل پیام با استفاده از قانون little به‌صورت رابطه (۳۶) محاسبه می‌شود [۲۳].

$$M_{Delay} = \frac{\overline{X}_{i'}^{(n)}}{\tau_{i'}^{(n)}} \tag{۳۶}$$

### ۳-۳ – مسیریابی

ارتباطات در پروتکل پیشنهادی، که در ادامه پروتکل مسیریابی با کاهش تاخیر[۳۲] (RDR) نامیده می‌شود، می‌تواند به دو قسمت اصلی طبقه‌بندی شود: (۱) ارتباطات درون SPها و (۲) ارتباطات بین SPها. که در زیر بخش‌های بعدی به آن‌ها پرداخته شده است.

#### ۳-۳-۱- ارتباطات درون SPها

این بخش مربوط به مسیریابی پیام‌ها بین گره‌هایی است که در یک SP وجود دارند. در هر SP، می‌توان TB را در یک نقطه محلی که برای امداد رسانی تدارک دیده شده مانند بیمارستان، داروخانه، مدرسه یا ... قرار داد. از آنجا که در شرایط بحرانی مردم به‌طور مکرر از چنین نقاطی بازدید می‌کنند، بنابراین فرستنده پیام می‌تواند آن را به راحتی به یک TB در یک نقطه داغ[۳۳] ارسال کند [۲۶].

در حرکت گروهی، گره‌های متحرک تقریبا در هر زمانی نزدیک به هم و متصل به هم باقی می‌مانند. هر گره متحرک به شکل مستقیم یا با اتصال تقویت شده مبدا به مقصد به گره‌های دیگر در گروه متصل می‌شود. بنابراین مسیریابی داخل گروه را می‌توان به راحتی با جداول استخراج شده از پروتکل‌های مسیریابی بردار فاصله[۳۴] مدیریت کرد. در این شرایط گروه‌های RW به جمع‌آوری اطلاعات از میدان می‌پردازند و پیام‌ها را برای ارسال به TB یا سایر گروه‌ها کنار می‌گذارند. در این لحظه، آنها به‌طور کامل از گروه مجاور خود بی‌اطلاع هستند و ضامن تحویل پیام نیستند. تا اینجا، گروه RW تنها پیام را ایجاد کرده و آن را برای انتقال آماده ساخته است.

اگر هر گره از گروه دیگر یا هر خودرو مناسبی به محدوده ارتباطی RW در هر مقطعی از زمان برسد و این گره شانس بهتری برای رساندن این پیام به گره نزدیک‌تر به مقصد داشته باشد، پیام به‌طور خودکار به آن منتقل می‌شود وRWها به کار امداد رسانی اختصاصی خود ادامه می‌دهند. هر گروه هنگامی که با یک گروه مجاور تماس برقرار می‌کند پیام را از طریق مناسب‌ترین گره مجاور ارسال می‌کند. مناسب‌ترین گره برای انتقال پیام با استفاده از پارامترهایی مانند سابقه تحویل موفقیت آمیز و تاخیر تحویل، سرعت حرکت گره و نزدیکی اخیر گره به مقصد انتخاب خواهد شد. مسائل مربوط به مسیریابی از جمله تناسب یک گره برای تحویل پیام، مدیریت بافر و ... در نظر گرفته شده است.

شبیه‌سازی پروتکل مسیریابی در محیط شبکه فرصت طلب[۳۵] اجرا خواهد شد. سپس سودمندی این پروتکل در جهت کاهش زمان تحویل پیام‌ها و نسبت تحویل پیام‌ها و تحمیل سربار کمتر، بررسی خواهد شد. کارهایی مانند پیدا کردن همسایه و انتقال پیام به صورت خودکار و بدون دخالت کاربر انجام می‌شود. گره به‌طور خودکار همسایه‌های خود را با اسکن همسایگی خود در بازه‌های زمانی متوالی پیدا می‌کند. هر زمان که همسایه‌ای در محدوده انتقال آن کشف شد، گره مقدار تناسب خود را محاسبه می‌کند و پیام خود را فرصت طلبانه به مناسبترین همسایه انتقال می‌دهد. ارتباط خودکار، جزئیات پیچیده این فرآیندها را پنهان می‌کند و در نتیجه بار مسئولیت نیروهای نجات را سبک می‌کند. پیام، از یک گره به گره دیگر (هاپ به هاپ)، در نهایت به مقصد به عنوان مثال TB می‌رسد. ارتباطات در داخل هر SP بر اساس ارتباطات DTN در حالت نظیر به نظیر است. الگوی ارتباطی در داخل هر SP مشابه است و بر روی معماری با مقصد ثابت و گره‌های متحرک کار می‌کند. برای محاسبه مقدار آمادگی گره‌های همسایه هر گره، سناریو متشکل از تعدادی گره که خودسرانه در حال حرکت هستند در نظر بگیرید که در آن گره‌ای که پیام برای ارسال دارد تعدادی از گره‌های مجاورش را شناسایی کرده است.

هر گره جدول (۲) سوابق خود را نگه می‌دارد. این جدول شامل، تعداد پیام‌های اطلاعات دریافت شده از هر گره (Data) و مجموع پیام‌های دریافتی (DC) و متوسط تاخیر تخمین زده شده ($M_{Delay}$) در شبکه DTN تحت بارهای ترافیکی مختلف که در آن روند ورود پیام و یا نرخ خدمات ارائه شده مختل می‌شود [۱۴،۱۵] و همچنین فاکتور سرعت متوسط حرکت گره (V) برای کاهش تاخیر در شبکه و فاکتور Dir برای اعمال تاثیر جهت حرکت گره، به عنوان فاکتورهای انتخاب مناسب‌ترین گره همسایه در نظر گرفته شده‌اند. $W_{rd}$، $W_D$، $W_B$، $W_S$ و $W_{Di}$ ضرایبی هستند که برای تعریف ضریب تناسب گره به‌کار می‌روند. RF به عنوان معیار تناسب گره به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$RF = W_{rd}\left(\frac{Data}{Dc}\right) + W_D\left(\frac{1}{M_{Delay}}\right) + W_B(B) + W_S(V) + W_{Di}(Dir) \quad (۳۷)$$

$$Dir = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad \Delta(\text{distance} \quad \text{from} \quad \text{destination}) > 0 \\ 0 & \text{if} \quad \Delta(\text{distance} \quad \text{from} \quad \text{destination}) = 0 \\ -1 & \text{if} \quad \Delta(\text{distance} \quad \text{from} \quad \text{destination}) < 0 \end{cases} \quad (۳۸)$$

مطابق مقادیر RF محاسبه شده برای هر گره، یک گره را با بالاترین میزان RF به عنوان گره مناسب بعدی انتخاب کرده و درصورتی که اتصال مبدا به مقصد بین گره‌ها وجود نداشته باشد (یعنی هنگامی که شبکه قطع باشد)، داده‌ها را از طریق این گره به مقصد مربوطه می‌فرستد. درصدهای وزنی پارامترها در محاسبه RF با توجه با شرایط شبکه محاسبه می‌شوند.

مقدارهای مختلف برای این وزن‌ها تعیین شده و نتایج برای نسبت احتمال تحویل بالاتر و زمان تاخیر تحویل کمتر در تنظیم پارامترهای اختصاص این وزن‌ها در شبیه‌سازی‌ها به‌دست خواهد آمد. هدف از انتخاب مسیر، یافتن لینک با بیشترین نسبت تحویل و کمترین تأخیر انتقال برای ارسال پیام است. اگر گره مبدا تصمیم به ارسال پیام در حالت فعلی داشته باشد و لینک‌های متعدد وجود داشته باشد، باید لینک با بالاترین RF به‌دست آمده انتخاب شود.

### ۲-۳-۳- الگوریتم مسیریابی

گره‌ها با تبادل دوره‌ای پیام‌های سلام، گره‌های دیگر را کشف می‌کنند. همان‌طور که در الگوریتم ۱ نشان داده شده است، در خط ۱ گره i پیام‌های سلام را که شامل شناسه و جدول سوابق است، پخش می‌کند. وقتی گره j مربوط به همان SP مربوط به گره i پیام سلام ارسالی را دریافت کرد با پیام پاسخی به سلام پاسخ می‌هد که شامل شناسه و جدول سوابق خودش است. بنابراین، به این ترتیب دو گره مقادیر تناسب خود را مبادله می‌کنند و ارتباطی بین آن‌ها برقرار می‌شود.

در داخل یک SP، دو نوع تبادل سلام می‌تواند اتفاق بیفتد که تبادل سلام بین دو گره متحرک و تبادل سلام بین گره متحرک و TB است. در تبادل سلام بین گره‌های متحرک، بهترین گره رله بعدی باید برای ارسال داده‌ها به سمت TB انتخاب شود. در حالی که در مورد تبادل سلام بین گره متحرک و TB، دو حالت دیگر ممکن است مورد بحث قرار گیرند. یکی این که گره فرستنده در داخل SP باشد و مجبور باشد داده‌ها را به یک TB استاتیک محلی خود برساند (خطوط ۴ تا ۷).

مورد دیگر زمانی است که مقصد در داخل SP باشد و TB محلی استاتیک باید داده‌ها را به گره مقصد در SP خود تحویل دهد. در حالت دوم، TB استاتیک آن پیام را به همسایه فعلی خود ارسال می‌کند و سپس آن را به گره دیگری با مقدار تناسب بالاتر از خود هدایت می‌کند. گره‌ها با استفاده از مقدار تناسب پیام را به جلو هدایت می‌کنند تا زمانی که پیام به گره مقصد تحویل شود. در خطوط ۸ تا ۱۱ الگوریتم، TB پیام را به گره مقصد ارسال می‌کند. اگر گره مقصد همسایه TB است، پیام را مستقیماً به گره مقصد ارسال می‌کند. در غیر این صورت، TB این پیام را به یکی از همسایگان فعلی خود ارسال می‌کند. سپس پیام با استفاده از مقدار تناسب به عنوان معیار مسیریابی توسط رله‌ها به‌صورت بهینه به سمت مقصد ارسال می‌شود [۲۷]. در خطوط ۱۲ تا ۱۶ الگوریتم اگر گره i پیامی برای ارسال داشته باشد و با گره j روبرو شود. سپس، این گره‌ها مقادیر تناسب خود را مبادله می‌کنند. اگر مقدار تناسب گره i کمتر از مقدار تناسب گره j باشد، پیام را به گره j منتقل می‌کند. در غیر این صورت، در خط ۱۷ با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی SA با احتمال P پیام را به گره j منتقل می‌کند. اگر زمان آستانه منقضی شده باشد، کپی‌های باقیمانده‌ی پیام را به هر همسایه‌ای که با آن در تماس باشد ارسال می‌کند تا بتواند آن را به گره‌های رله بهتر هدایت کند. SA تا یافتن یک راه حل بهینه شده با در نظر گرفتن عملکرد هدف تکرار می‌شود.

Table (2): Structure of the historical table at each node

**جدول (۲): ساختار جدول سوابق گره**

| جدول سوابق گره | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| فاکتور قابلیت اطمینان (RF) | فاصله از مقصد | میانگین سرعت حرکت | متوسط تاخیر | Data/Dc | مقصد | مبدا |

به عنوان یک رویکرد متداول در SA، در مرحله اول، دما (T) برای جلوگیری از حداقل محلی به بالاترین مقدار ممکن اختصاص داده شده است (خط۲). در طول پیشرفت الگوریتم با کاهش دما، جستجو حریصانه می‌شود که این عمل در خطوط ۲۰ تا ۲۴ الگوریتم نشان داده شده است.

$$P = \exp\left(\frac{-\Delta F}{T}\right) \qquad \Delta F \geq 0 \tag{۳۹}$$

$$\Delta F = RF_{itself} - RF_{other} \tag{۴۰}$$

در خطوط ۲۱ و ۲۲ اگر پیام هنوز به مقصد ارسال نشده باشد و TTL> 0، الگوریتم به مرحله ۱ برمی‌گردد و پس از به روزرسانی جدول سوابق و پیش‌بینی تحویل گره‌ها و RF با استفاده از رابطه (۴۱)، مراحل مسیریابی را برای تحویل پیام به مقصد ادامه می‌دهد. در خطوط ۲۶ تا ۲۸ اگر TTL = 0 یا پیام به مقصد برسد، یا تعداد کپی‌ها صفر شود پیام کنار گذاشته می‌شود.

$$RF_{new} = \frac{1}{2}RF_{new} + \frac{1}{2}RF_{old} \tag{۴۱}$$

**Algorithm1: Data forwarding between node i and node j**

```
Step 0:   1. node i and node j exchange hello message
          2. set an initial temperature and zero-temperature for using SA
          3. set no (number of copy message)
Step1:    4. if i is a mobile node and j is a TB then
          5. while messages in i buffer do
          6. Route-message (i→j) & no=no-1
          7. end while
          8. else if i is a static TB and j is a mobile node of SP_P then
          9. while messages m_P in i buffer do
          10. Route-message (i→j) & no=no-1
          11. end while
          12. else if i and j are mobile node then
          13. while messages in i buffer do
          14. if RFi < RFj || m_P ∈ j || Time>T_tresh then
          15. Route-message (i→j) & no=no-1
          16. else
          17. Route-message (i→j) with probability P & no=no-1
          18. end if
          19. end while
          20. Cool down the temperature (T=Cooling-Coefficient *T)
          21. if T=zero-temperature
          22. Route-message (i→j) & no=no-1
          23. end if
          24. if no>0 & TTL>0 then
          25. go to step 1 & Update-ConnHistory & predictability P
          26. else if TTL=0 || the message is delivered to its destination || no=0 then
          27. the message is discarded
          28. end if
          29. end if
```

### ۳-۳-۳- مسیریابی بین SPها

در این مرحله، چگونگی مسیریابی داده‌ها بین SPها از طریق TB ارائه می‌شود. یک گره مبدا باید پیام‌های مربوط به گره‌های SPهای دیگر را به TB استاتیک مستقر در SP خود تحویل دهد. گره مبدا می‌تواند آن پیام‌ها را مستقیماً یا با انتقال به دیگر گره‌های متحرک همان SP به TB محلی خود تحویل دهد. سپس TB استاتیک باید پیام‌های بافر را به سمت TB مستقر در SP مقصد یا یک گره متحرک متعلق به SP مقصد هدایت کند.

هر زمان که ارتباطی بین TB استاتیک (واقع در جامعه گره مبدا) و DM ها ایجاد می‌شود، آنها تاریخچه تماس و جدول مسیریابی خود را با یکدیگر مبادله می‌کنند. TB مبدا تاریخچه ارتباط DM با TB مقصد را در جدول مسیریابی DM جستجوی می‌کند. برای کسب دانش درباره شبکه، TBها به‌طور دوره‌ای یک پیام سلام حاوی جدول شناسه و تاریخچه تماس خود را پخش می‌کند. DMهای دریافت کننده پس از دریافت آن، با یک پیام سلام حاوی شناسه و جدول تاریخچه مخاطبانشان پاسخ می‌دهند و یک تعامل بین گره‌های شبکه و TBها به وجود می‌آید. پس از تبادل پیام سلام اگر سابقه اتصال وجود داشته باشد، TB استاتیک پیام های ذخیره شده در بافر را به DM هدایت می‌کند.

در صورتی که TB استاتیک با گره متحرک متعلق به جامعه مقصد مواجه شود، TB استاتیک پیام را مستقیماً به آن DM منتقل می‌کند زیرا می‌تواند پیام را به TB جامعه مقصد یا گره دیگری با مقدار تناسب بالاتر برساند. بنابراین در RDR، پیام‌ها با استفاده از مکانیزم مسیریابی بین TBهای استاتیک و DMها به گره مقصد تحویل داده می‌شوند. RDR می‌تواند به‌طور موثری نسبت تحویل داده‌ها، تأخیر و تعداد پیام‌های افتاده از بافر را بهبود بخشد. در ادامه، عملکرد پروتکل RDR ارزیابی می‌شود.

## ۴- ارزیابی عملکرد

پروتکل RDR در شبیه‌ساز ONE پیاده‌سازی شده که به‌طور خاص برای شبیه‌سازی محیط‌های DTN به‌کار برده می‌شود. در توپولوژی شبکه، SPها به‌صورت تنک[۳۶] در نظر گرفته شده است. در شبیه‌سازی چهار SP در نظر گرفته شده است. مساحت هر SP، ۲۰۰۰ متر در ۲۰۰۰ متر است. سیستم حمل و نقل اتوبوسرانی و گشت‌های پلیس و آمبولانس‌ها، DMهای موجود در شبکه هستند که داخل SPها و بین SPهای مختلف حرکت می‌کنند. همچنین یک TB ثابت در هر SP مستقر شده است.

سایر پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۳) نشان داده شده است. برای ارزیابی عملکرد، RDR با پروتکل‌های مسیریابی EBR، Epidemic، S&W، MaxProp، Prophet و Rapid مقایسه شده است. تأثیر دو پارامتر، تعداد گره‌های موجود در شبکه و اندازه بافر بر عملکرد شبکه ارزیابی می‌شود. معیارهای ارزیابی شبکه به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

- درصد تحویل، به‌صورت نسبت تعداد بسته‌های تحویل شده به مقصد به کل بسته‌های تولید شده بیان می‌شود.
- سربار، تعداد اضافی کپی‌های پیام است که توسط پروتکل برای انجام وظیفه مورد نیاز استفاده می‌شود. سربار به‌صورت نسبت نسخه‌های اضافی ایجاد شده از پیام به تعداد واقعی تحویل شده محاسبه می‌شود.
- تاخیر تحویل، فاصله زمانی بین تولید یک بسته تا دریافت آن در مقصد است.
- تعداد بسته‌های افتاده از بافر، پیام‌های حذف شده از بافر به دلیل کمبود فضای بافر یا تمام شدن طول عمر پیام را نشان می‌دهد.

### ۴-۱- تأثیر تعداد گره‌ها بر عملکرد

تعداد گره‌ها بر عملکرد کلی شبکه از همه جنبه‌ها تأثیر قابل توجه دارد زیرا تراکم گره‌ها با فرصت‌های تماس در شبکه ارتباط مستقیم دارد. شبیه‌سازی‌ها با تغییر تعداد گره‌ها از ۳۰ به ۱۰۰، داشتن اندازه بافر ۵۰ مگابایت و TTL برابر ۱۵ ساعت انجام شده است. این گره‌ها به‌طور مساوی در هر SP توزیع می‌شوند. شکل (۲) نشان می‌دهد که با افزایش تعداد گره‌ها، نسبت تحویل به تدریج افزایش می‌یابد. این به این دلیل است که احتمال برخورد گره‌ها با دیگر گره‌های متحرک بیشتر می‌شود. در شبکه با گره‌های کمتر، نسبت تحویل کمتر است زیرا پیام‌ها در بافر باقی می‌مانند، یا بعد از اتمام طول عمر پیام کنار گذاشته می‌شوند. در مورد مسیریابی اپیدمی، نسبت تحویل بسیار آهسته افزایش می‌یابد.

این امر به دلیل محدود بودن اندازه بافر است زیرا مسیریابی اپیدمی به عنوان روش سیل‌آسا نسخه‌های پیام زیادی ایجاد می‌کند که به این علت بافر گره‌ها به سرعت سرریز می‌شوند و پیام‌ها مرتبا از دست می‌روند. در حالی که در RDR، اندازه بافر به‌طور قابل توجه عملکرد را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد زیرا فقط تعداد محدودی نسخه از پیام در شبکه منتشر می‌شود. با افزایش تعداد گره‌ها، نسبت تحویل به سرعت افزایش می‌یابد. برای ۱۰۰ گره، نسبت تحویل برای RDR به سرعت بهبود می‌یابد.

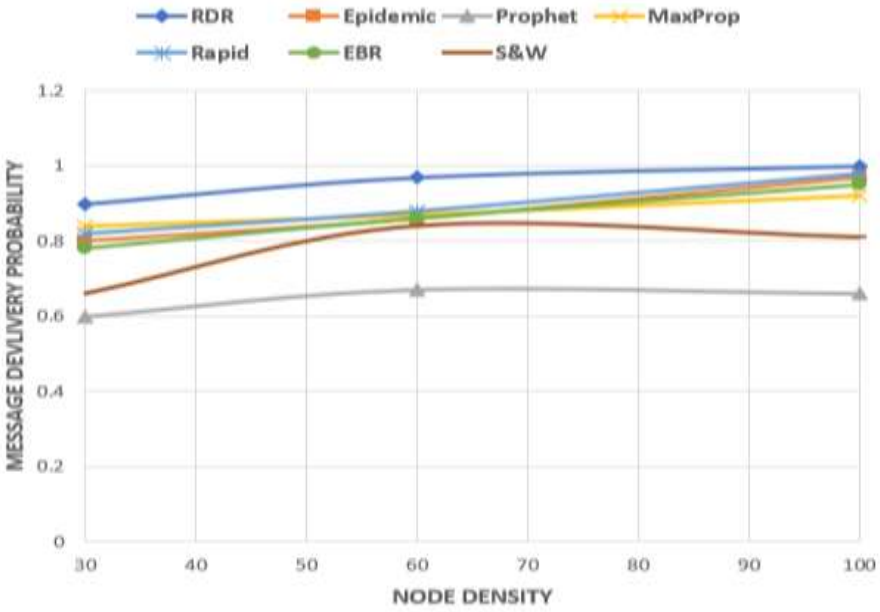
شکل (۳) تأخیر متوسط پیام‌هایی که تحویل داده شده در مقصد، را ارائه می‌دهد. مسیریابی RDR تاخیر کمتری در مقایسه با روش‌های سیل‌آسا حتی برای تعداد کمتر گره‌ها ارائه می‌دهد. در حالی که در این روش نواقص موجود در روش‌های اپیدمی و سیل‌آسا مانند، مصرف زیاد انرژی، اتلاف پهنای باند و سربار بافر وجود ندارد و این امر برای کاربردهای عملی بسیار مفید است.

با افزایش تعداد گره‌ها، تأخیر RDR به سرعت کاهش می‌یابد. به این دلیل است که در یک توپولوژی متراکم، احتمال برخورد بین گره‌ها و در نتیجه ارسال پیام‌ها افزایش می‌یابد در نتیجه پیام‌ها سریع‌تر به مقصد می‌رسند. در شکل (۴) مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد گره‌ها، نسبت سربار برای مسیریابی اپیدمی به سرعت افزایش می‌یابد زیرا انتشار پیام از طریق سیل آسا نسخه‌های کپی پیام را در شبکه ایجاد می‌کند.

Table (3): simulation parameter

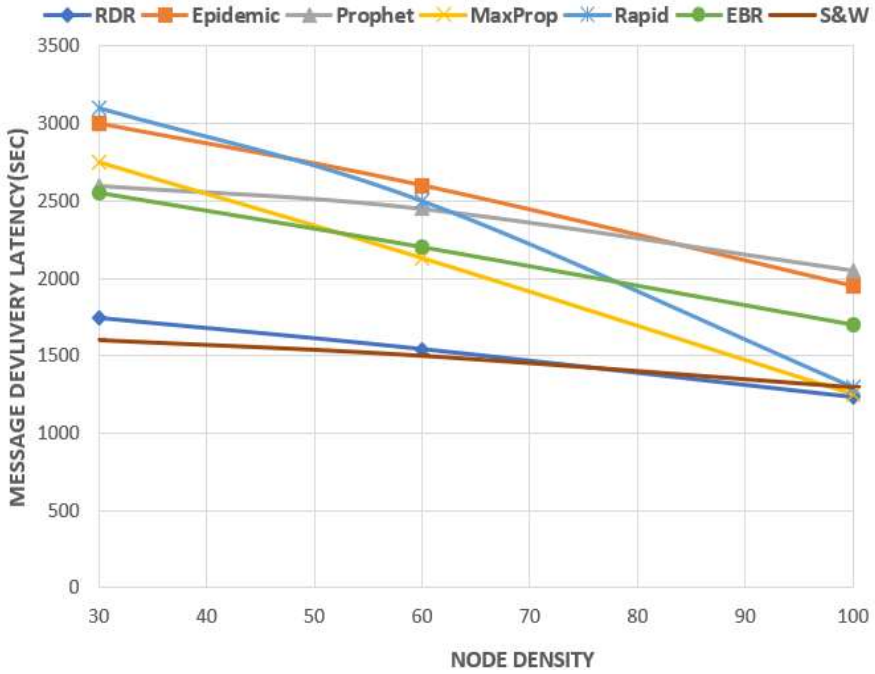
**جدول (۳): پارامترهای شبیه سازی**

| پارامتر | مقادیر |
|---|---|
| مدل حرکت | مبتنی بر نقشه با مقصد ثابت |
| پروتکل مسیریابی | Epidemic, Prophet, MaxProp, S&W, EBR, Rapid, RDR |
| تعداد گره ها | ۳۰, ۶۰, ۱۰۰ |
| سایز بافر گره | ۵۰ MB (۱ GB برای مقصد) |
| سرعت حرکت گره | ۰/۵-۱/۵ m/s برای RWها و ۹-۱۳ m/s برای DMها |
| سایز پیام | ۱ KB -۵۰MB |
| طول عمر پیام (TTL) | ۱۵ ساعت |
| دمای اولیه (T0) | ۱۰۰۰۰ |
| ضریب کاهش دما (CC) | ۰/۹ |
| Zero Temperature | ۰/۰۱ |




**شکل (۲): نسبت تحویل پیام برای تعداد گره‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰**

Figure (2): Message delivery ratio for 60, 30 and 100 nodes number




**شکل (۳): تاخیر تحویل پیام برای تعداد گره‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰**

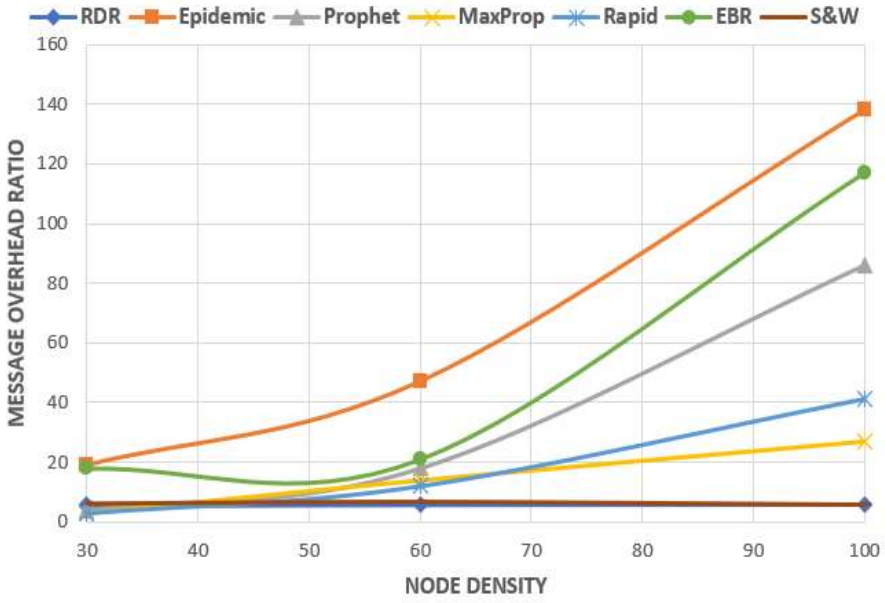
Figure (3): Message delivery delay for 60, 30 and 100 nodes number

علاوه بر این، در مورد RDR می‌توان فهمید که تغییر تعداد گره‌ها، تأثیر چندانی بر سربار ندارد. این روش در مقایسه با مسیریابی اپیدمی نسبت سربار کمتری دارد. این به دلیل ماهیت RDR است زیرا به‌منظور کاهش نسبت سربار گره‌هایی پیدا شد که با توجه به سرعت، جهت و موقعیت جغرافیایی گره، احتمال بیشتری برای رسیدن به مقصد داشته باشند. این کمک می‌کند تا ضمن کاهش استفاده از منابع شبکه مانند پهنای باند، بافر گره و انرژی، نسبت سربار و تداخل کنترل شود. همچنین افزایش دمای اولیه پیام‌ها (T0) در الگوریتم SA، افزایش نسبت سربار را نتیجه می‌دهد.

این به این دلیل است که با دمای اولیه بالاتر، فرآیند SA دامنه بیشتری برای اکتشاف ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، تعداد موارد تکرار یک پیام به گره‌های دیگر زیاد می‌شود. بنابراین، از منظر نسبت سربار مقدار بسیار بالای T0 برای RDR نامطلوب است. از سوی دیگر، متوسط تأخیر تحویل پیام با افزایش دمای اولیه اندکی کاهش می‌یابد. بر اساس این نتایج T0 برابر ۱۰۰۰۰ و CC برابر ۰/۹ در نظر گرفته شده تا یک مصالحه معقول بین تاخیر و سربار وجود داشته باشد. همچنین روش پیشنهادی از تعداد محدودی نسخه از پیام استفاده می‌کند که این امر منجر به کاهش سرریز پیام‌ها از بافر خواهد شد که در شکل (۵) نشان داده شده است.

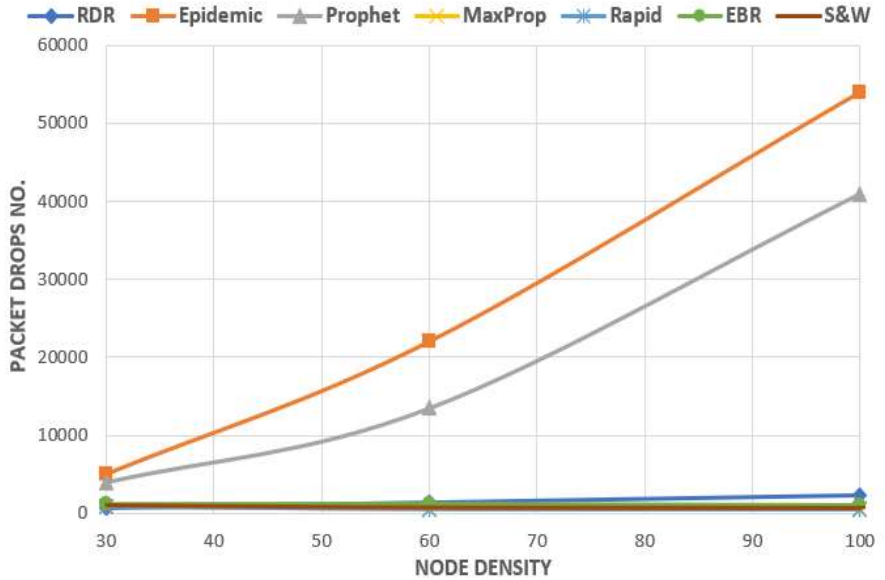
### ۲-۴- تأثیر اندازه بافر بر عملکرد

برای ارزیابی تأثیر اندازه بافر بر عملکرد یک شبکه، اندازه بافر گره‌ها را از ۱۰ تا ۵۰ مگابایت با مجموع ۶۰ گره و TTL پیام ۱۵ ساعت تغییر داده شده است. در شکل (۶) نشان می‌دهد که در مسیریابی RDR نسبت به سایر پروتکل‌های مسیریابی، تغییر اندازه بافر تاثیری قابل توجه بر نسبت تحویل ندارد، زیرا گره‌ها در RDR از معیار درجه تناسب برای انتقال داده‌ها به‌جای عملکرد کور استفاده می‌کنند. در نتیجه، اندازه بافر در مقایسه با سایر پروتکل‌ها کمترین تأثیر را بر عملکرد در RDR دارد. این اتفاق به این دلیل است که در RDR تعداد محدودی نسخه پیام توسط گره‌ها به سمت مقصد پخش می‌شود. در حالی‌که، روش‌های مسیریابی که به‌صورت همه‌گیر پیام را انتقال می‌دهند مانند مسیریابی‌های اپیدمی و سیل آسا نسخه‌های زیادی از پیام ایجاد می‌کنند که ظرفیت بافر را از بین می‌برد. در نتیجه، نسبت تحویل کاهش می‌یابد زیرا گره‌ها نمی‌توانند پیام‌های بیشتری را در بافر ذخیره کنند.




**شکل (۴): سربار پیام برای تعداد گره‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ در شبکه**

Figure (4): Message overhead for 60, 30 and 100 nodes number



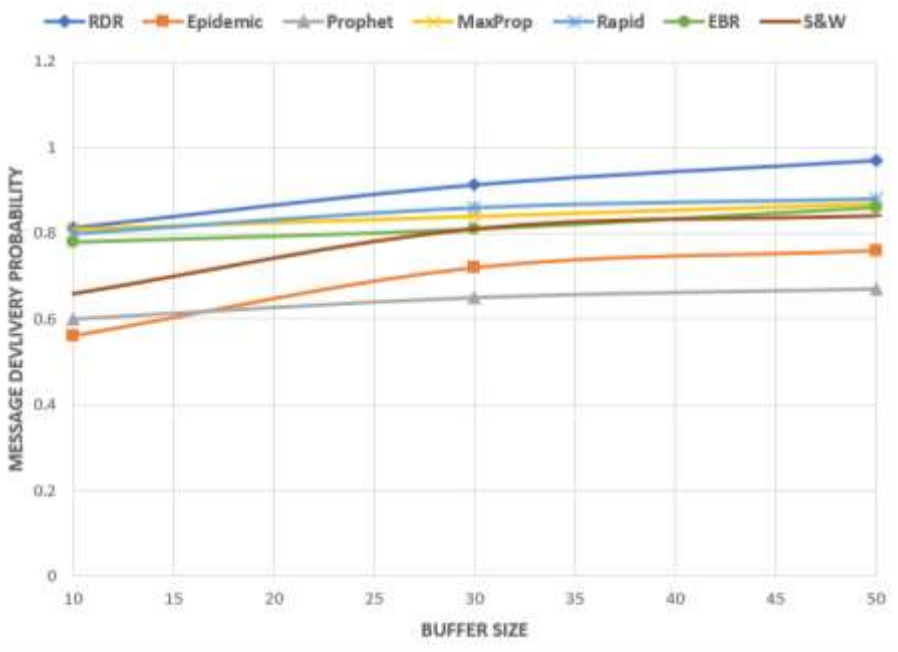

**شکل (۵): تعداد پیام‌های افتاده از بافر برای تعداد گره‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰**

Figure (5): Packet loss for 60, 30 and 100 nodes number

با افزایش اندازه بافر، نسبت تحویل داده‌ها برای مسیریابی اپیدمی بهبود می‌یابد. پروتکل RDR حتی در شبکه‌هایی با منابع بافر محدود عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های مسیریابی دارد. در شکل (۷)، مشاهده می‌شود که با افزایش اندازه بافر، تاخیر متوسط برای مسیریابی اپیدمی نیز افزایش می‌یابد. دلیل آن این است که نسبت افت پیام برای اندازه بافر کوچک‌تر زیاد است و پیام‌های کمتری به گره‌های مجاور تحویل می‌شوند، که منجر به تأخیر متوسط کمتری می‌شود.

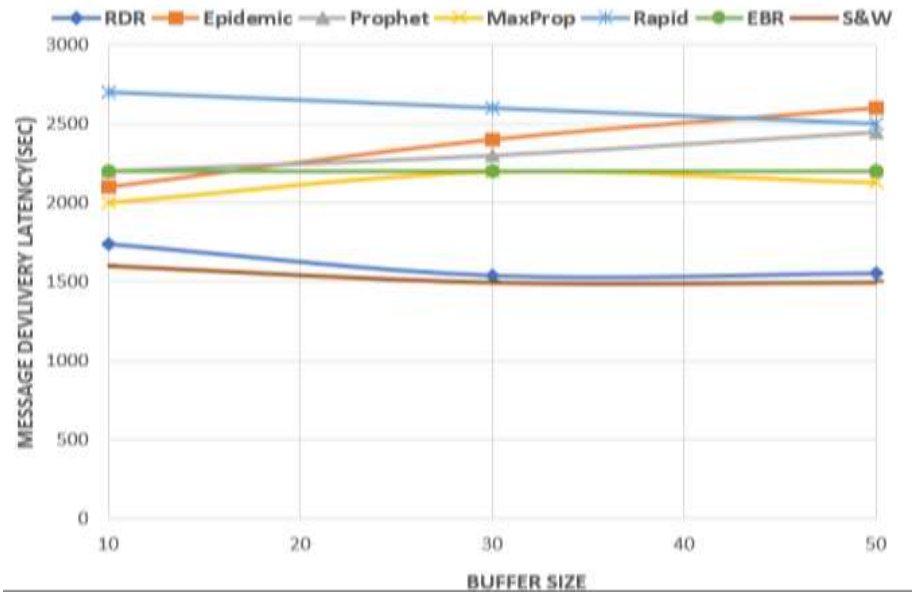
برعکس، وقتی بافر بزرگ است، پیام‌ها برای مدت طولانی در حافظه باقی می‌مانند و نسبت افت نیز کم است. در نتیجه نسبت تحویل پیام افزایش می‌یابد، اما متوسط تأخیر تحویل افزایش می‌یابد. تأثیر اندازه بافر بر تأخیر متوسط برای RDR ناچیز است.

شکل (۸) نشان می‌دهد که اندازه بافر برای پارامترهای شبیه‌سازی داده شده هیچ تاثیری بر سربار در RDR ندارد. دلیل آن ارسال تعداد محدود نسخه کپی از پیام است. برای مسیریابی اپیدمی، با افزایش اندازه بافر، سربار به تدریج کاهش می‌یابد.




**شکل (۶): نسبت تحویل پیام برای بافر با اندازه‌های متفاوت**

Figure (6): Message delivery ratio for different buffer size



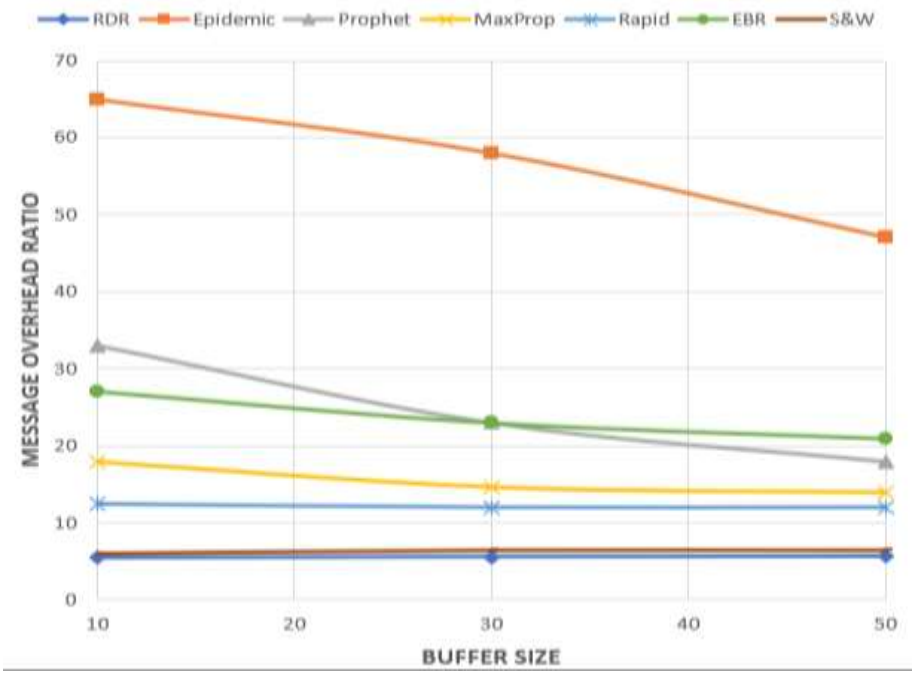

**شکل (۷): تاخیر تحویل پیام برای بافر با اندازه‌های متفاوت**

Figure (7): Message delivery delay for different buffer size

وقتی اندازه بافر افزایش داده می‌شود، پیام‌های بیشتری می‌توانند در آن ذخیره شوند و بنابراین نسبت از دست رفتن پیام کاهش می‌یابد. شکل (۹) تعداد پیام‌های افتاده از بافر برای بافر با اندازه‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

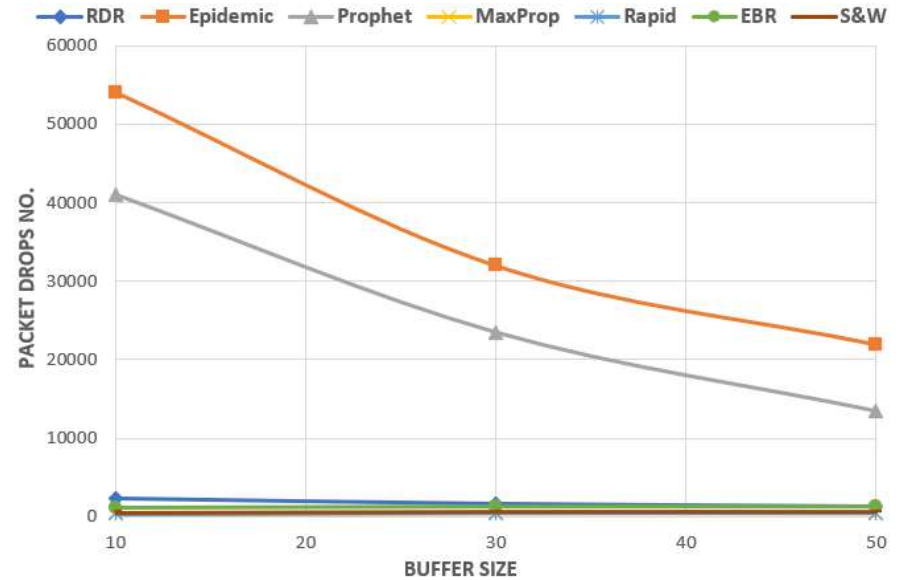
## ۵- نتیجه‌گیری

مقوله تجزیه و تحلیل شرایط پس از بحران و مدیریت منابع به دلیل افزایش شدت و تلفات حوادث، نیاز به تمرکز بیشتری دارد. در این مقاله در زمینه امدادرسانی پس از بحران روشی پیشنهاد گردید که بر تنظیم شبکه و استراتژی مسیریابی متمرکز است. یک معماری شبکه قوی ارائه شده که در چنین شرایطی به راحتی و به سرعت قابل تنظیم است




**شکل (۸): سربار پیام برای بافر با اندازه‌های متفاوت**

Figure (8): Message overhead for different buffer size




**شکل (۹): تعداد پیام‌های افتاده از بافر برای بافر با اندازه‌های متفاوت**

Figure (9): Packet loss for different buffer size

. این معماری در شرایط بحرانی مقیاس‌پذیر و کارآمد است. در این پژوهش پروتکل مسیریابی بهبود یافته‌ی DTN برای کار در شرایط بحرانی با توجه به ضریب تحویل پایین داده، تاخیر زیاد، سربار بافر و مصرف انرژی بالا در شبکه تنک بدون زیرساخت، ارائه شده است. این پروتکل مسیریابی به گره‌ها این امکان را می‌دهد که حامل‌های رله را بر اساس معیار تناسب انتخاب کنند. معیار تناسب با توجه به جدیدترین اطلاعات مربوط به سرعت و جهت فعلی حرکت گره‌ها برای انتقال پیام و همچنین برخی اطلاعات ارسال پیام در گذشته تعریف شده است. شبیه‌سازی این پروتکل در شبیه‌ساز محیط شبکه فرصت طلب (ONE) اجرا شده و نتایج نشان می‌دهد که این روش تقریباً در تمام پارامترهای مهم عملکرد بهتر از بیشتر استراتژی‌های دیگر عمل می‌کند و بنابراین به عنوان یک استراتژی کارآمد در سناریوی پس از بحران قابل استفاده است.

**سپاسگزاری**

این مقاله از رساله دوره دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاران حوزه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی و داوران محترم که ما را در انجام و ارتقای کیفی این مقاله یاری نموده‌اند، اعلام نمایند.

## References

## مراجع

[1] M.W. Kang,Y.W. Chung, "An improved hybrid routing protocol combining MANET and DTN", Electronics, vol. 9, no. 3, pp.439, March 2020 (doi: 10.3390/electronics9030439).

[2] J. Whitbeck, V. Conan, "HYMAD: Hybrid DTN-MANET routing for dense and highly dynamic wireless networks", Computer Communications, vol. 33, no. 13, pp. 1483–1492, Aug. 2010 (doi: 10.1016/j.comcom.2-010.03.005).

[3] L.F. Xie, P.H.J. Chong, Y.L. Guan, "Routing strategy in disconnected mobile ad hoc networks with group mobility", EURASIP Journal of Wireless Communications and Networking, vol. 105, pp. 1-12, April 2013 (doi: 10.1186/1687-1499-2013-105).

[4] M. Thomas, S. Phand, A. Gupta, "Using group structures for efficient routing in delay tolerant networks", Journal of Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 2, pp. 344–362, March 2009 (doi: 10.1016/j.adhoc.2008.04.001).

[5] S. Krug, M. Aumüller, J. Seitz, "Hybrid scheme to enable DTN routing protocols to efficiently exploit stable MANET contacts", EURASIP Journal of Wireless Communication Network, vol. 237, pp. 1-13, Oct. 2018. (doi: 10.1186/s13638-018-1248-5).

[6] P. Gopalakrishnan, S. Gupta, R. Krishnan, D. Patel, J.P. Dhivvya, "Routing protocol analysis for heterogeneous nodes in a dynamic and sparse environment", Proceeding of the IEEE/ICCNT, pp. 1-7, Kharagpur, India, July 2020 (doi: 10.1109/icccnt49239.2020.9225354).

[7] S. Jain, S. Gopinath, D. Raychaudhuri, "STAR: Storage aware routing protocol for generalized delay tolerant networks", Proceedings of IEEE/WoWMoM, pp. 1–4, Lucca, Italy , June 2011 (doi: 10.1109/WoWMo-M.2011.5986209).

[8] J. Papaj, L. Dobos, "Hybrid MANET–DTN and a new algorithm for relay nodes selection", Mobile Information Systems. vol. 5, pp. 1-18, Sept. 2016 (doi: 10.1007/s11277-016-3733-7).

[9] M. Musolesi, C. Mascolo, "CAR: Context-aware adaptive routing for delay-tolerant mobile networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, vol. 8, pp. 246–260, Aug. 2009 (doi: 10.1109/TMC.2008.107).

[10] S.R. Azzuhri, H. Ahmad, M. Portmann, I. Ahmedy, R. Pathak, "An efficient hybrid MANET-DTN routing scheme for OLSR", Wireless Personal Communications, vol. 89, no. 4, pp. 1335–1354, April 2016 (doi: 10.1007/s11277-016-3323-8).

[11] C. Aung, I.W.H. Ho, P.H.J. Chon, "Store-carry-cooperative forward routing with information epidemics control for data delivery in opportunistic networks", IEEE Access. vol. 5, pp. 6608-6625, April 2017 (doi: 10.1109/ACCESS.2017.2690341).

[12] C. Raffelsberger, H. Hellwagner, "A hybrid MANET-DTN routing scheme for emergency response scenarios", Proceeding of the IEEE/PERCom, San Diego, CA, USA, March 2013 (doi: 10.1109/PerComW.-2013.6529549).

[13] A. Verma, Savita, S. Kumar, "Routing protocols in delay tolerant networks: comparative and empirical analysis", Wireless Personal Communication, vol. 118, pp. 551–574, Jan. 2021 (doi: 10.1007/s11277-020-08032-4).

[14] A. Vahdat, D. Becker, "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks", Technical Report CS-200006, Duke University, April 2000.

[15] S. Pyropoulos, T.K. Psounis, C.S. Raghavendra, "Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks", Proceeding of the WDTN, pp. 252-259, Philadelphia Pennsylvania USA, Aug. 2005 (doi: 10.1145/1080139.1080143).

[16] J. Burgess, B. Gallaghar, D. Jensen, B. N. Levine, "MaxProp: routing for vehicle-based disruption-tolerant networks", Proceedings of the IEEE/INFOCOM, pp. 398-408, Barcelona, Spain, April 2006 (doi: 10.1109/-INFOCOM.2006.228).

[17] M.Y.S. Uddin, H. Ahmadi, T. Abdelzaher, "Intercontact routing for energy constrained disaster response networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, vol. 12, no.10, pp. 1986–1998, Oct. 2013 (doi: 10.1109/T-MC.2012.172).

[18] A.K. Gupta, I. Bhattacharya, P.S. Banerjee, J.K. Mandal, A.M. Mukherjee, "Dir Move: direction of movement-based routing in DTN architecture for post-disaster scenario", Wireless Networks, vol 22, no 3, pp. 723–740, April 2016 (doi: 10.1007/s11276-015-0994-0).

[19] I.G.A.S. Negara, LV. Yovita, T. Wibowo, "Performance analysis of social-aware content-based opportunistic routing protocol on MANET based on DTN", Proceeding of the IEEE/ICCEREC, pp. 47-53, Bandung, Indonesia, Sept. 2016 (doi: 10.1109/ICCEREC.2016.7814962).
[20] M.R. Penurkar, U.A. Deshpande, "Social characteristics-based routing algorithm for a mobile social network", Computing, vol. 103, pp. 133–153. Oct. 2021 (doi: 10.1007/s00607-020-00843-4).
[21] A. Avokh, G. Mirjalily, J. Abouei, S. Valaee, "On the Relationship between multicast/broadcast throughput and resource utilization in wireless mesh networks", The Scientific World Journal, vol. 2013, pp. 1-9, Nov. 2013 (doi: 10.1155/2013/794549).
[22] B. Aruna, L. B. Neil, V. Arun, "DTN Routing as a Resource Allocation Problem", Proceeding of the SIGCOMM, pp. 373-384, Kyoto, Japan, Aug. 2007 (doi: 10.1145/1282380.1282422).
[23] D. Niyato, P. Wang, "Optimization of the mobile router and traffic sources in vehicular delay-tolerant network", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 58, no. 9, pp. 5095-5104, Nov. 2009 (doi: 10.1109/tvt-.2009.2025379).
[24] B. Mazloumi-Fard, A. Hatamlou, "A road-aware routing protocol for inter-vehicle ad-hoc networks", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 43, pp. 1-12, Oct. 2020 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1399.11.43.5.8).
[25] H. Peyravi, R. Sehgal, "Link modeling and delay analysis in networks with disruptive links", ACM Trans. on Sensor Networks, vol. 13, no. 4, Article Number: 31, Sept. 2017 (doi: 10.1145/3133322).
[26] Y. Jahir, M. Atiquzzaman, H. Refai, A. Paranjothi, P. LoPresti, "Routing protocols and architecture for disaster area network: A survey", Ad Hoc Networks, vol. 82, no.4, pp. 1-14, Jan. 2018 (doi: 10.1016/j.a-dhoc.2018.08.005).
[27] S.R. Nabavi, N. Osati-Eraghi, J. Akbari-Torkestani, "Wireless sensor networks routing using clustering based on multi-objective particle swarm optimization algorithm", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 12, no. 47, pp. 29-47, Dec. 2021 (in Persian) (dor: 20.1001.1.23223871.1400.12.3.3.3).
[28] B. Bista, D. B. Rawat, "EA-Epidemic: An energy-aware epidemic-based routing protocol for delay tolerant networks", Journal of Communications, vol. 12, no. 6, pp. 304-311, June 2017 (doi: 10.12720/jcm.12.6.304-311).

**زیرنویس‌ها**

1. Wireless ad hoc network
2. Disrupted network
3. Mobile ad hoc network (MANET)
4. Packet loss
5. Store carry and forward (SCF)
6. Delay or disrupted tolerant networks (DTN)
7. Delivery ratio
8. Overhead
9. Average delay
10. Smartphone
11. Throw-box (TB)
12. Heuristic
13. Greedy
14. Local optimum
15. Simulated annealing (SA)
16. Epidemic routing (ER)
17. Probabilistic routing protocol using history of encounters and transitivity (PROPHET)
18. Resource allocation protocol for intentional DTN (RAPID)
19. Spray and wait (S&W)
20. Encounter based methods
21. Time based methods
22. Infrastructure based methods
23. Hybrid methods
34. Flooding
25. Interco tact routing (ICR)
26. Direction of movement-based routing
27. Social-aware content-based opportunistic routing protocol (SCORP)
28. Shelter point (SP)
29. Relief worker (RW)
30. Data-Mules (DM)

31. Master control station (MCS)
32. Reduced delay routing (RDR)
33. Hot spot
34. Ad-hoc on-demand distance vector (AODV)
35. Opportunistic network environment (ONE)
36. Sparse