

# بهبود عملکرد پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های MPLS برای کنفرانس ویدئویی بر مبنای تضمین پهنای باند و تاخیر انتها به انتها

امین رضایی پناه<sup>۱</sup> موسی مجرد<sup>۲</sup> غلامرضا احمدی<sup>۳</sup> حامد نظری<sup>۴</sup>

۱- مربی - گروه مهندسی کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه خلیج فارس - بوشهر - ایران  
[rezaeipanah@pgu.ac.ir](mailto:rezaeipanah@pgu.ac.ir)

۲- استادیار - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر و باشگاه پژوهشگران جوان - واحد فیروزآباد - دانشگاه آزاد اسلامی - فیروزآباد - ایران  
[m.mojarad@iauf.ac.ir](mailto:m.mojarad@iauf.ac.ir)

۳- مربی - گروه مهندسی کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه خلیج فارس - بوشهر - ایران  
[grahmadi@pgu.ac.ir](mailto:grahmadi@pgu.ac.ir)

۴- مربی - گروه مهندسی کامپیوتر - دانشگاه ارومیه - ارومیه - ایران  
[st\\_h.nazari@urmia.ac.ir](mailto:st_h.nazari@urmia.ac.ir)

**چکیده:** امروزه کنفرانس‌های ویدئویی یکی از پر درخواست‌ترین امکانات برای بیان ویژگی‌های آنلاین هستند. هدف الگوریتم‌های مسیریابی در کنفرانس‌های ویدئویی آنلاین، افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته شده با توجه به رضایت از کیفیت سرویس (QoS) است. اکثر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه فقط بر مبنای پهنای باند تمرکز دارند و تحقیقات نسبتاً کمی هر دو محدودیت پهنای باند و تاخیر را در نظر می‌گیرند. در این مقاله، ما یک الگوریتم مسیریابی جدید در بستر شبکه‌های MPLS با رویکرد قوانین فازی پیشنهاد می‌دهیم که هر دو محدودیت پهنای باند و تاخیر انتها به انتها (پهنای باند-تاخیر) را برای جستجو مسیرها در نظر می‌گیرد. سیستم فازی یک مدل پیش‌بینی بر مبنای قوانین وزندار فازی برای فیلترینگ درخواست‌هایی با منابع بالا می‌باشد. ترکیبی از مسیریابی سنتی و MPLS مکانیزم جابه‌جایی، مقیاس‌پذیری و عملکرد کلی شبکه را بهبود می‌بخشد. ما الگوریتم پیشنهادی را به عنوان الگوریتم مسیریابی پهنای باند و تاخیر فازی (FBDR) نامگذاری می‌کنیم. FBDR سعی در به تعویق انداختن درخواست‌هایی با پهنای باند بالا و حداکثر تاخیر انتها به انتها کم دارد. ما از نرم افزار متلب ورژن ۲۰۱۹ برای شبیه‌سازی بسیاری از سناریوهای مختلف استفاده خواهیم کرد و معیارهایی مانند تعداد درخواست‌های پذیرفته شده، میانگین طول مسیر، و توازن بار را اندازه‌گیری می‌کنیم. علاوه بر این، ما عملکرد FBDR را در مقایسه با برخی از کارهای مرتبط پیشین نظیر MHA، WSP، MIRA، BCRA، MIRAD، BGDG، BGLC، SAMCRA و MDMF مقایسه می‌کنیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که FBDR بهترین عملکرد را برای کنفرانس‌های ویدئویی ارائه می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم مسیریابی، شبکه MLPS، کنفرانس ویدئویی، سیستم فازی، قوانین وزندار.

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.29252/jiaeee.18.3.1061

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

نام نویسنده‌ی مسئول: امین رضایی پناه

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - بوشهر - خیابان خلیج فارس - دانشگاه خلیج فارس - دانشکده‌ی مهندسی

انتخاب می‌شود. الگوریتم وسیع‌ترین کوتاهترین مسیر (WSP) از کوتاه‌ترین مسیر ممکن که دارای بیشترین ظرفیت پهنای باند باقی مانده است، استفاده می‌کند [۶]. اگرچه MHA و WSP کارآمد و ساده هستند، اما می‌توانند مشکلاتی برای LSP های آینده ایجاد کنند و کارایی شبکه را کاهش دهند.

نادری سورکی و رستمی الگوریتم حداقل تاخیر حداکثر جریان (MDMF) را ارائه دادند [۷]. MDMF در ابتدا لینک با کمترین میزان پهنای باند را حذف می‌کند تا بتواند نیازهای پهنای باند آینده را فراهم کند. هدف کاهش تاخیر با افزایش پهنای باند در هر تکرار است. MDMF، تاخیر را با افزایش یک واحدی پهنای باند لینک در مسیر کاهش می‌دهد تا زمانی که تاخیر مسیر از تاخیر درخواست شده کمتر شود. در صورت صفر شدن پهنای باند درخواست LSP رد می‌شود. این فرایند پویا است و الگوریتم می‌تواند حتی برای شبکه‌های متراکم استفاده شود. فرایند تکرار پیچیدگی MDMF را افزایش داده است. الگوریتم مسیریابی حداقل تداخل (MIRA) از اطلاعات جفت ورودی-خروجی در جستجو مسیر قابل استفاده بهره می‌برد [۱۰]. ایده این است که یک ارتباط جدید روت شده باید مسیری را دنبال کند که با هیچ مسیر دیگری که ممکن است برای درخواست‌های آینده بحرانی باشد، تداخل نکند. MIRA فقط برای تنظیم مسیرهای تضمین شده پهنای باند تمرکز دارد. مشکل MIRA این است که نمی‌تواند محدودیت‌هایی مانند تاخیر و شمارش هاپ را تضمین کند و همچنین مسیر طولانی‌تری را برای جلوگیری از لینک‌های بحرانی انتخاب می‌کند.

کوئی و همکاران الگوریتم مسیریابی پهنای باند محدود (BCRA) را ارائه دادند [۱۱]. BCRA بین توازن بار شبکه، کاهش طول مسیر و به حداقل رساندن هزینه مسیر سازش ایجاد می‌کند. در این الگوریتم مقداری به عنوان حدآستانه لینک‌های بحرانی با توجه به متوسط بار لینک در سراسر شبکه تعریف می‌شود. از این رو مسیری بحرانی‌تر است که شامل تعداد بیشتری از لینک‌های کامپوننت بحرانی باشد. الگوریتم مسیریابی چند محدودیت خود تطبیقی (SAMCRA) با هدف حل مسئله مسیریابی چند محدودیت در پیچیدگی زمانی معقول ارائه شد [۱۴]. نقطه ضعف اصلی SAMCRA این است که تنها با محدودیت‌های ثابت که به دور از دنیای واقعی هستند کار می‌کند. الگوریتم مسیریابی حداقل تداخل برای تاخیر (MIRAD) مشابه الگوریتم MDMF است، اما تفاوت این است که در MIRAD مسیرها توسط الگوریتم MIRA به منظور جلوگیری از انتخاب لینک‌های بحرانی محاسبه می‌شود [۱۵].

آلیدادی و همکاران یک الگوریتم تضمین پهنای باند با پیچیدگی کم (BGLC) را برای مهندسی ترافیک MPLS ارائه می‌دهد [۱۲]. در BGLC درخواست‌های راه‌اندازی LSP به ازای جفت ورودی و خروجی روت‌ها و همچنین نیاز به پهنای باند آنها ارائه می‌شود. این بدان معنی است که مسیریابی که به بیش از یک لینک تعلق دارند،

آنچه امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی مستلزم توجه بیشتری است، نحوه انتقال اطلاعات، صدا و تصویر می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی و افزایش کیفیت اطلاعات ارسالی نیاز به یک بستر مناسب با پهنای باند و سرعت بالا برای ایجاد این ارتباط است [۱]. برقراری ارتباط از طریق کنفرانس‌های ویدئویی نیاز به فراهم کردن بستر شبکه IP می‌باشد [۲]. این بستر می‌تواند از طریق اینترنت، اینترانت، MPLS و غیره باشد که بستگی به میزان پهنای باند مصرفی دارد [۳]. دلیل اصلی پیاده‌سازی مهندسی ترافیک در شبکه MPLS، کنترل مسیرها و هدایت بسته‌ها در مسیرهای شبکه است [۴]. شبکه‌ای که در آن مهندسی ترافیک پیاده‌سازی شده است، در صورت خرابی یک مسیر، بسته‌ها به مسیر دیگری هدایت شده و به مقصد می‌رسند. MPLS می‌تواند حمل و نقل سریع بسته و مهندسی ترافیک فراهم کند. از آنجا که مسیر بسته‌ها در شبکه‌های MPLS ثابت است، این مسیرها ممکن است موضوع مهندسی ترافیک باشد.

در MPLS که از مدل کنترل رانده برای اختصاص و توزیع برچسب استفاده می‌نماید، مسیرهای ارسال اطلاعات (LSP) به خودی خود یک طرفه می‌باشند و برای ارسال ترافیک‌های دو طرفه باید دو LSP مختلف بین مبدأ و مقصد ایجاد گردد [۵]. در این تحقیق، ما مسئله راه‌اندازی پهنای باند و تاخیر انتها به انتها تضمین شده تونل‌ها (مسیر) در شبکه MPLS را در نظر می‌گیریم که در آن درخواست‌های راه‌اندازی تونل یک به یک وارد می‌شوند و درخواست‌های آینده نامعلوم هستند [۶]. الگوریتم مسیریابی جدید ارائه شده در این تحقیق، الگوریتم پهنای باند و تاخیر فازی (FBDRA) نامیده می‌شود. FBDRA پهنای باند و تاخیر انتها به انتها را تضمین می‌کند و بر مبنای الگوریتم حداقل تاخیر و حداکثر جریان (MDMF) است.

ادامه تحقیق به شرح زیر است. در بخش ۲ کارهای مرتبط بررسی شده است. در بخش ۳، ما پایه‌های الگوریتم مسیریابی پیشنهادی را توسعه می‌دهیم. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی ما در بخش ۴ توصیف شده است. در بخش ۵، نتایج شبیه‌سازی ارائه شده و در نهایت در بخش ۶، نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی مطرح شده است.

## ۲- کارهای مرتبط

مسیریابی مبتنی بر QoS یک مکانیزم مسیریابی است که در آن مسیر جریان بر اساس منابع موجود و نیازهای کیفیت سرویس مشخص می‌شود. چندین راه حل و الگوریتم برای مسیریابی مبتنی بر QoS ارائه شده است. مسئله مسیریابی با محدودیت پهنای باند، که متعلق به مسیریابی محدودیت لینک است، مورد توجه‌ترین مسئله است [۸]. یکی از مهم‌ترین و ساده‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی استفاده شده برای LSP ها، الگوریتم مسیریابی حداقل هاپ (MHA) است [۹]. در MHA، مسیر با حداقل تعداد لینک بین ورودی و خروجی روتر

حداقل تاخیر انتها به انتها و حداکثر جریان برای ارائه مبانی FBDRA می‌پردازیم.

### ۳-۱- تداخل

مفهوم تداخل در FBDRA شامل هر دو محدودیت پهنای باند و تاخیر به طور همزمان می‌شود. بنابراین حداقل تداخل برای یک LSP بین روترهای  $s$  و  $d$  وجود دارد، هنگامی که مسیر روترهای  $s$  و  $d$  داریم، زمانی که مسیر، بالقوه حداقل را بین سایر جفت‌های مبدا و مقصد به حداکثر برساند. برای تعیین بالقوه یک لینک و یک مسیر، باید مفاهیم حداکثر جریان  $(\theta(s, d))$  و حداقل تاخیر  $(d(s, d))$  را بین یک جفت گره ورودی خروجی  $(s, d)$  بررسی کنیم.

### ۳-۲- نرخ تاخیر سرور

در یک شبکه متشکل از سرورهای LR، حداکثر تاخیر انتها به انتها برای یک مسیر P برابر با  $D_m$  است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۷].

$$D_m = \frac{t-R}{t-r} \cdot \frac{b}{r} + \sum_{(i,j) \in P} \left( \frac{M}{R} + \frac{M_{ij}^m}{C_{ij}} + prop_{ij} \right) \quad (1)$$

در این رابطه  $t$  نرخ درخواست،  $t$  نرخ حداکثر،  $b$  نرخ هجوم،  $M$  حداکثر طول بسته،  $M_{ij}$  حداکثر طول بسته متعلق به مسیر با برجسب عبوری از لینک  $i$  و  $j$ ،  $C_{ij}$  پهنای باند لینک‌ها،  $prop_{ij}$  تاخیر انتشار برای لینک  $(i, j)$  و  $R$  حداقل پهنای باند اختصاص داده شده به LSP در مسیر است. ترم اول به معنای تاخیر در گره ورودی و ترم دوم بافر صف و تاخیر انتشار گره‌ها در طول مسیر است. با توجه به این رابطه حداکثر تاخیر انتها به انتها بستگی به مسیر انتخاب شده و همچنین پهنای باند رزرو شده ( $R$ ) در مسیر دارد.

### ۳-۳- حداکثر جریان

حداکثر جریان، به مفهوم بزرگترین تقاضای پهنای باند بین جفت‌های ورودی-خروجی است که می‌تواند با تقسیم جریان به درخواست پهنای باند آن گراف پذیرفته شود [۶]. برای کاهش تداخل جفت ورودی-خروجی از نظر حداکثر جریان با سایر گره‌های LSP، باید درخواست‌ها به نحوی مسیره‌دهی شوند که حداقل maxflow بین دیگر جفت‌های ورودی-خروجی حداکثر شود. بنابراین، برای افزایش عملکرد شبکه، می‌توان مسیر درخواست‌های جدید را بطوریکه مجموع حداکثر جریان وزن دار بین تمام جفت‌های ورودی-خروجی حداکثر شود، با تابع هدف رابطه (۲) محاسبه کنیم [۶].

$$\max_{\forall paths} \sum_{(s,d) \in P} \gamma_{sd} \theta(s, d) \quad (2)$$

در این رابطه،  $\gamma_{sd}$  وزن جفت ورودی-خروجی  $(s, d)$  است که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود. P لیست گره‌های LSP است.

مهم‌تر هستند. از آنجا که BGLC فقط توپولوژی شبکه را برای تشخیص لینک‌های بحرانی استفاده می‌کند، این فرایند قبل از انجام درخواست‌های مسیریابی به صورت آفلاین انجام می‌شود. این الگوریتم دارای پیچیدگی زمانی کمی است؛ زیرا بحرانی بودن لینک‌ها در فاز آفلاین محاسبه می‌شوند و فقط زمانی که توپولوژی شبکه تغییر می‌کند، مجدداً مورد نیاز است. کولکرانی و همکاران الگوریتم دیگری با عنوان BGDG را توسعه دادند [۱۳]. BGDG با استفاده از الگوریتم BGLC، مسیری را برای تضمین حداقل پهنای باند مورد نیاز جستجو می‌کند. سپس مسیر را برای برآورد تاخیر مورد نیاز بررسی می‌کند. مشکل اصلی این الگوریتم این است که تاخیر لینک‌ها را ثابت در نظر گرفته و حداکثر جریان را لحاظ نمی‌کند.

در [۱۸] یک رویکرد SDN ترکیبی هوشمند برای مدیریت MPLS VPN در محیط دیجیتال پیشنهاد شده است. این رویکرد برای ایجاد تونل از خصوصیات پروتکل‌های RSVP و LDP استفاده می‌کند. در [۱۹]، ارزیابی تخصیص منابع پهنای باند با استفاده از LSP و LDP پویا در بستر MPLS برای شبکه‌های بی‌سیم پیشنهاد شده است. استفاده از LSP و LDP امکان تخصیص و رزرو پهنای باند را فراهم می‌کند. تخصیص پهنای باند مناسب تأثیر مثبتی بر توان و همچنین تأخیر داشته است. در [۲۰] یک پروتکل مسیریابی برای اجرای VPN روی شبکه‌های MPLS پیشنهاد شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که MPLS VPN راندمان پهنای باند مناسبی را فراهم می‌کند و می‌تواند پیکربندی شبکه‌های مختلف را به صورت پایدار انجام دهد. در [۲۱] روشی برای افزایش تأثیر شبکه‌های خصوصی مجازی پویا چند منظوره (DMVPN) بر کیفیت خدمات کنفرانس ویدیویی پیشنهاد شده است. در این مقاله، عملکرد ویدئو کنفرانس بر مبنای تأثیر سایت‌ها در یک شبکه DMVPN روی بستر MPLS ارزیابی شده است.

### ۳- ایده عمومی الگوریتم مسیریابی

علائم مورد استفاده در الگوریتم مسیریابی به شرح زیر است: شبکه به عنوان یک گراف بدون جهت  $G(N, LS, C, PD, P)$  مدل‌سازی شده است، جاییکه  $N$  مجموعه‌ای از گره‌ها (روترها)،  $LS$  مجموعه-ای از ارتباط بین گره‌ها در  $N$  و  $C$  مجموعه‌ای از پهنای باند لینک-ها است. به عبارت دیگر  $c_{ij} \in C$  می‌باشد، جاییکه  $(i, j) \in LS$  است.  $PD$  مجموعه‌ای از تاخیر انتشار لینک‌ها  $(i, j) \in LS$  و  $P$  مجموعه‌ای از جفت‌های ورودی-خروجی بالقوه است. علاوه بر این،  $(s, d)$  یک عنصر عمومی از  $P$  باشد. درخواست راه‌اندازی برای مسیر  $i$  به صورت  $(s_i, d_i, B_i, D_i)$  تعریف شده است، جاییکه  $s_i$  روتر ورودی،  $d_i$  روتر خروجی،  $B_i$  حداقل پهنای باند مورد نیاز و  $D_i$  حد بالای تاخیر مورد نیاز را مشخص می‌کند. در ادامه این بخش ما به بررسی اجمالی مفهوم تداخل، نرخ تاخیر سرور (LR-server)،

### ۳-۴- حداقل تأخیر انتها به انتها

حداقل تأخیر انتها به انتها از یک جفت ورودی-خروجی، حداقل تأخیری است که یک جریان داده بین گره ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، حداقل تأخیر انتها به انتها یک جفت از گره‌های ورودی-خروجی حد پایین مجموع تأخیر لینک‌ها در مسیرهای بین گره‌ها است. برای کاهش تداخل، از نظر حداقل تأخیر انتها به انتها، با دیگر جفت‌های ورودی-خروجی، باید درخواست‌های جدید به نحوی مسیریابی شوند که مسیرهای جدید حداقل تأثیر را بر مسیرهای دیگر داشته باشند. برای بهینه‌سازی maxflow حداقل‌سازی مجموع وزن‌ها با حداقل تأخیر انتها به انتها به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود [۶].

$$\min_{\forall paths} \sum_{(s,d) \in P} \lambda_{sd} d(s,d) \quad (3)$$

### ۳-۵- حداکثر جریان و حداقل تأخیر انتها به انتها

برای بهینه‌سازی تخصیص مسیر از نظر maxflow و حداقل تأخیر انتها به انتها، باید روابط (۲) و (۳) را به طور همزمان در یک مسئله چند هدفه بهینه‌سازی کنیم. رابطه (۴) این مسئله را نشان می‌دهد [۶].

$$\max \mu_{flow} \sum_{(s,d) \in P} \gamma_{sd} \theta(s,d) + \max v_{delay} \left( - \sum_{(s,d) \in P} \lambda_{sd} d(s,d) \right) \quad (4)$$

در این رابطه،  $\mu_{flow}$  و  $v_{delay}$  توسط مدیر شبکه تنظیم می‌شود و قبل از هر گونه تخصیص مسیر، ما باید یک مسئله حداکثرسازی مجموع وزنی چند هدفه را حل کنیم. اگر چه، پیدا کردن راه‌حل دقیق مسئله با استفاده از برنامه‌نویسی خطی در موارد محدود ممکن است، اما حل مسئله به صورت کلی NP-complete است [۱۰]. در اینجا، یک وزن ابتکاری برای هر لینک اختصاص می‌دهیم و سپس کوتاه‌ترین مسیر (با توجه به وزن) را بین یک جفت ورودی-خروجی داده شده با استفاده از الگوریتم دیکسترا در زمان چند جمله‌ای پیدا می‌کنیم. بنابراین وزن لینک‌ها باید به نحوی محاسبه شوند که انتخاب کوتاه‌ترین مسیر وزن‌دار با مجموع حداقل وزن در گراف تعیین شود. وزن لینک‌ها در رابطه (۵) این کار را انجام می‌دهد.

$$w_{ij} = \frac{1 + \mu_{flow} \sum_{l_{ij} \in CM_{sd}; (s,d) \in P} \gamma_{sd} + v_{delay} \sum_{l_{ij} \in CD_{sd}; (s,d) \in P} \lambda_{sd}}{r_{ij}} \quad (5)$$

در این رابطه  $r_{ij}$  پهنای باند باقیمانده از لینک  $l_{ij}$  است.  $\gamma_{sd}$  و  $\lambda_{sd}$  وزن جفت ورودی-خروجی  $(s,d)$  به ازای لینک بحرانی به ترتیب به دلیل پهنای باند و تأخیر است که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود.  $CM_{sd}$  و  $CD_{sd}$  بمنظور تشخیص تعداد لینک‌های بحرانی به واسط وجود مجموعه  $P$  در شبکه بیان شده است. تعداد لینک‌های بحرانی برای  $(s,d)$  با پارامترهای  $CM_{sd}$  و  $CD_{sd}$  نشان داده می‌شود.

$CM_{sd}$  - این پارامتر برای بررسی لینک‌های بحرانی به دلیل پهنای باند می‌باشد. اگر جفت  $(s,d)$  متعلق به مجموعه لینک-های برش کمینه‌ای باشد، بحرانی است و جزء مجموعه  $CM_{sd}$

است. در اینجا باید مجموعه لینک‌های بحرانی برای تمام LSPها مشخص شود. با توجه به رابطه (۵)، ترم اول بصورت تعداد لینک-های بحرانی متعلق به  $CM_{sd}$  ضربدر  $\gamma_{sd}$  محاسبه می‌شود.

$CD_{sd}$  - این پارامتر برای بررسی لینک‌های بحرانی به دلیل تأخیر می‌باشد. همانطور که در رابطه (۱) نشان داده شده است، تأخیر انتها به انتها در یک مسیر به هر دو پارامتر ایستا (تأخیر انتشار و پهنای باند کل لینک‌ها) و پویا (پهنای باند اختصاص داده شده به مسیر) نیاز دارد. بنابراین، پیدا کردن تأخیر لینک‌های بحرانی تنها مبتنی بر maxflow نیستند. برای پیدا کردن تأخیر لینک‌های بحرانی در هر جفت ورودی-خروجی ابتدا وزن لینک بین دو گره  $(i,j)$  را با رابطه (۶) محاسبه می‌کنیم [۷].

$$D_{w_{ij}} = \frac{M}{R} + \frac{M_{ij}^m}{C_{ij}} + prop_{ij} \quad (6)$$

سپس با استفاده از یک الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، مانند دیکسترا، کوتاه‌ترین مسیر وزن‌دار بین هر جفت ورودی-خروجی محاسبه می‌گردد. در هر مسیر، لینک با حداقل پهنای باند رزرو نشده بحرانی است. پس از حذف لینک بحرانی، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای پیدا کردن مسیر حداقل تأخیر انتها به انتها و لینک بحرانی بعدی بین همان جفت ورودی-خروجی تکرار می‌شود. این روند ادامه می‌یابد تا زمانیکه هیچ مسیری بین این جفت ورودی-خروجی باقی نماند. با توجه به رابطه (۵) ترم دوم بصورت تعداد لینک‌های بحرانی متعلق به  $CD_{sd}$  ضربدر  $\lambda_{sd}$  محاسبه می‌شود.

### ۴- الگوریتم مسیریابی پیشنهادی

در بخش قبل پایه‌های الگوریتم مسیریابی پیشنهادی (FBDR) معرفی شد. در این بخش، جزئیات الگوریتم را ارائه می‌دهیم. در FBDR مشابه MDMF درخواست‌های راه‌اندازی مسیر برای کنفرانس ویدئویی به صورت  $(s,d, TS_{pec}, RS_{pec})$  تعریف می‌شوند، جاییکه  $s$  گره منبع (ورودی)،  $d$  گره مقصد (خروجی) است.  $TS_{pec}$  مشخصات ترافیک شبکه شامل پارامترهای  $(M, r, t, b)$  است که در رابطه (۱) معرفی شده است.  $RS_{pec}$  نیز مشخصات QoS نظیر حداکثر تأخیر انتها به انتها و حداقل پهنای باند مورد نیاز است و به صورت  $(D, BW)$  نشان داده می‌شود. در اینجا،  $D$  به تأخیر انتها به انتها و  $BW$  به حداقل پهنای باند مورد نیاز اشاره دارد.

در مرحله اول از الگوریتم FBDR، درخواست‌هایی با منابع زیاد (پهنای باند بالا و حداکثر تأخیر انتها به انتها کم) را به منظور افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته شده، موقتاً به تعویق می‌اندازیم. این کار با یک سیستم فیلترینگ انجام شده که توسط یک سیستم فازی مبتنی بر قوانین وزن‌دار مدل‌سازی شده است. بنابراین، تنها برای درخواست‌هایی مسیریابی انجام می‌شود که فیلتر نشده باشند. در مرحله بعد، وزن همه لینک‌ها توسط رابطه (۵) محاسبه می‌شود. سپس، بر مبنای وزن لینک‌های شبکه، لینک‌هایی که پهنای باند

می‌شود. در اینجا از فرم قوانین فازی به صورت رابطه (V) استفاده شده است.

$$R_j : \text{If } (x_1 \text{ is } A_1) \text{ and } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ and } (x_3 \text{ is } A_3) \text{ Then Class } T \text{ with } CF_j \quad (V)$$

در اینجا از یک پایگاه قوانین با  $M$  قانون فازی به صورت  $R_j : j = 1, 2, \dots, M$  استفاده شده که در آن  $CF_j$  وزن قانون  $j$  - ام است. وزن هر قانون عددی بین  $[0, 1]$  است که اهمیت و قدرت آن قانون را در تشخیص صحیح کلاس خروجی نشان می‌دهد.  $T$  به برجسب پیشبینی (خروجی) توسط قانون اشاره دارد، جاییکه  $T \in \{C_1, C_2\}$  است و  $C_1$  به کلاس Filter و  $C_2$  به کلاس non-Filter اشاره دارد. بنابراین ما یک مسئله طبقه‌بندی با دو کلاس را مدل می‌کنیم. علاوه بر این،  $x_1, x_2$  و  $x_3$  به ترتیب مقادیر پارامترهای پهنای باند درخواست، حداکثر تاخیر آنها به انتها درخواست و تعداد درخواست‌های فعال در صف انتظار می‌باشد.  $A_i$  نیز درجه عضویت فازی تخصیص داده شده به این سه پارامتر را نشان می‌دهد. فرایند تصمیم مقدار پارامترهای ورودی به فازی با یک تابع عضویت دوزنقه‌ای پنج حالت (VL, L, M, H, VH) توصیف می‌شود.

تشخیص به تعویق انداختن یک درخواست براساس پایگاه قوانین فازی مشخص می‌شود. قوانین فازی به صورت آفلاین توسط یک روش یادگیری قوانین وزندار ایجاد شده و به صورت آنلاین برای مدیریت درخواست‌ها در شبکه MPLS استفاده می‌شود. با توجه به کم بودن تعداد پارامترهای ورودی، همه ترکیبات مختلف از قوانین ایجاد می‌شود. از اینرو ممکن است در ابتدا یک پایگاه قوانین بزرگ ایجاد شود. درجه سازگاری هر درخواست ورودی  $X (BW, D, QL)$  با بخش مقدمه قانون  $A_j = (A_1, A_2, A_3)$  با استفاده از عملگر ضرب (روش ممدانی) به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$\mu_j(X) = \mu_{A_1(BW)} \times \mu_{A_2(D)} \times \mu_{A_3(QL)} \quad (8)$$

جاییکه،  $\mu_{A_1(BW)}$  درجه سازگاری پهنای باند درخواست ورودی به مجموعه‌های فازی می‌باشد.  $\mu_{A_2(D)}$  و  $\mu_{A_3(QL)}$  به ترتیب درجه سازگاری را برای حداکثر تاخیر آنها به انتها و اندازه صف درخواست‌های فعال نشان می‌دهد. علاوه بر این، درجه اطمینان نهایی قانون به صورت  $\mu_j(X) \times CF_j$  است.

برای ایجاد یک پایگاه قوانین فازی بهینه و کوچک، نیاز به فرایند آموزش می‌باشد. در اینجا هر درخواست آموزشی شامل سه ویژگی  $BW, D$  و  $QL$  است. از اینرو ما  $K$  درخواست آموزشی برای ایجاد پایگاه داده به صورت  $X_i : i = 1, 2, \dots, K$  در دسترس خواهیم داشت. علاوه بر این، برای هر درخواست  $X_i$  برجسب نمونه (Filter یا non-Filter) نیز مشخص است. در ادامه فرایند تعیین وزن بهینه برای قانون  $R_j$  بیان می‌شود و برای سایر قوانین این فرایند مشابه می‌باشد. در ابتدا وزن قوانین برابر ۱ ( $CF_j = 1$ ) می‌باشد و با این فرض فرایند یادگیری وزن برای قانون  $R_j$  به صورت زیر انجام می‌شود:

باقیمانده (R) آنها کمتر از پهنای باند درخواستی است، از گراف شبکه حذف می‌شوند. در زیرگراف باقی‌مانده، کوتاه‌ترین مسیر وزندار بین گره‌های ورودی و خروجی را با استفاده از الگوریتم دیکسترا و بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌کنیم. در صورتیکه وزن محاسبه شده کوتاهترین مسیر بیشتر از میزان تاخیر درخواستی باشد، یک واحد به پهنای باند اختصاص داده شده به لینکی در مسیر با بیشترین پهنای باند باقیمانده اضافه می‌شود. این مراحل تا رسیدن به تاخیر درخواستی و یا با یافتن عملی نبودن رسیدن به تاخیر درخواستی در مسیر (به این معنی که ظرفیت لینک کامل است) تکرار می‌شود. در مرحله بعد، لینک با کمترین پهنای باند حذف شده و با این شرایط یک کوتاه‌ترین مسیر جدید جستجو می‌شود. این فرایند تا زمانیکه یک مسیر امکان‌پذیر یافت شود و یا درخواست ریجکت شود، ادامه می‌یابد. در صورت یافتن مسیر مورد نظر، منابع درخواستی (پهنای باند و تاخیر آنها به انتها) رزرو شده و وضعیت هر لینک بروزسانی می‌شود.

پس از آنکه مسیریابی برای تعداد مشخصی از درخواست‌های کاربران به کنفرانس ویدئویی انجام شد، از یک رویکرد شانس مجدد برای تخصیص مسیر به درخواست‌های به تعویق افتاده استفاده می‌کنیم. دلیل ما برای اعمال رویکرد شانس مجدد بعد از یک دوره مسیریابی مشخص، کاهش زمان انتظار برای کاربرانی با درخواست‌های به تعویق افتاده است.

#### ۴-۱- سیستم فیلترینگ فازی

به طور کلی درخواست‌های کاربران می‌تواند به صورت تصادفی از هر جفت ورودی-خروجی با تاخیر آنها به انتها و پهنای باند مختلفی ارسال شوند. به منظور عملکرد بهتر فرایند مسیریابی در شبکه MPLS و افزایش کیفیت خدمات، بهتر است تخصیص مسیر در کنفرانس ویدئویی ابتدا به درخواست‌هایی با منابع مورد تقاضای کمتر انجام شود. بدین معنا که درخواست‌هایی که حداکثر تاخیر آنها به انتها بالا و پهنای باند کمتری دارند را در اولویت مسیریابی قرار می‌دهیم. اینکار ممکن است باعث به تعویق افتادن و یا حتی ریجکت شدن درخواست‌هایی با منابع بالا برای مسیریابی شود. از آنجا که کار مسیریابی در FBDR با صورت آنلاین انجام می‌شود، در این بخش یک الگوریتم با رویکرد آنلاین و با هدف حداکثرسازی تعداد درخواست‌ها پذیرفته شده ارائه می‌شود.

ما یک سیستم فیلترینگ فازی در FBDR پیشنهاد می‌کنیم که میتواند با دقت بالایی درخواست‌های با منابع بالا را تشخیص و به تعویق بیندازد. هدف این سیستم بررسی پارامترهای پهنای باند و حداکثر تاخیر آنها به انتها از درخواست ورودی و همچنین تعداد درخواست‌های فعال در صف انتظار برای مسیریابی و اتصال به کنفرانس ویدئویی است. بر مبنای این سه پارامتر قوانین سیستم فیلترینگ فازی با استفاده از یک الگوریتم یادگیری قوانین وزنی ایجاد



۹. این فرایند (هشت مرحله بیان شده) به صورت متوالی تکرار شده تا وزن بهینه برای قانون تنظیم شود. در اینجا تعداد کل تکرارها را با نماد  $G$  نشان می‌دهیم.

این الگوریتم با حذف قوانین با وزن حداقل میتوان تعداد قوانین در پایگاه قوانین نهایی را کاهش داد و یک پایگاه قوانین کوچک ایجاد کرد. برای تعیین برچسب کلاس هر درخواست ورودی از تالی قانون برنده در پایگاه قوانین استفاده می‌شود. قانون برنده  $(R_w)$ ، قانونی با بیشترین درجه اطمینان است و با رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$w = \arg \max_{j=1,2,\dots,U} \{ \mu_j(X_p).CF_j \} \quad (11)$$

در این رابطه،  $U$  تعداد قوانین انتخاب شده (تعداد قوانین نهایی در پایگاه قوانین فازی) می‌باشد. در صورتیکه درخواست ورودی توسط هیچ قانونی پوشانده داد نشود، طبقه‌بندی نشده و ریجکت می‌شود. علاوه بر این، اگر دو قانون با دو برچسب کلاس متفاوت،  $\mu_j(X_p).CF_j$  یکسانی داشته باشند، درخواست ریجکت می‌شود.

#### ۴-۲- رویکرد شانس مجدد

سیستم فازی پیشنهادی باعث فیلتر و به تعویق انداختن درخواست‌هایی با منابع بالا در هر  $P_{req}$  درخواست می‌شود. به منظور افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته شده به برخی از درخواست‌های به تعویق افتاده شانس مجدد مسیریابی داده می‌شود. بنابراین، پس از آنکه مسیریابی برای تعداد مشخصی از درخواست‌ها انجام شد، از یک رویکرد شانس مجدد برای تخصیص مسیر به درخواست‌های به تعویق افتاده (فیلتر شده) استفاده می‌کنیم. دلیل ما برای اعمال رویکرد شانس مجدد بعد از یک دوره مسیریابی مشخص، کاهش زمان انتظار درخواست‌های به تعویق افتاده است.

از لیست درخواست‌های فیلتر شده، درخواست‌هایی که دارای پهنای باند بزرگتر و حداکثر تاخیر انتها به انتها کوچکتر باشند، شانس مسیریابی مجدد کمتری خواهد داشت. به این دلیل که این درخواست‌ها منابع زیادی از شبکه را مصرف می‌کنند. اگر تعداد کل درخواست‌ها در شبکه  $N_{req}$  باشد، در این صورت بعد از تخصیص مسیر برای هر  $P_{req}$  درخواست فرایند شانس مجدد اعمال می‌شود. بنابراین در مجموع تعداد  $N_{req}/P_{req}$  بار رویکرد شانس مجدد برای درخواست‌های به تعویق افتاده اعمال می‌باشد.

در رویکرد شانس مجدد، به  $\rho$  درصد از درخواست‌های فیلتر شده بعد از هر  $P_{req}$  درخواست، شانس مجدد مسیریابی داده می‌شود. انتخاب درخواست‌ها برای شانس مجدد بر مبنای رتبه آنها می‌باشد. رتبه یک درخواست بر اساس  $D/BW$  آن درخواست در نظر گرفته می‌شود. از اینرو  $\rho$  درصد از درخواست‌های فیلتر شده با بالاترین رتبه (درخواست‌هایی با پهنای باند کمتر و حداکثر تاخیر انتها به انتها بیشتر) برای مسیریابی ارسال می‌شوند.

۱. همه درخواست‌های آموزشی در  $S$  قرار داده شود.  
۲. درخواست‌های موجود در  $S$  با قانون  $R_j$  دسته‌بندی شده و دقت مدل محاسبه شود.

۳. حذف درخواست‌هایی از  $S$  که توسط قانون  $R_j$  پوشش داده نمی‌شوند  $(X \in S \quad \forall \mu_j(X) = 0)$ . دلیل اینکار عدم تاثیر وزن این قانون در تعداد کل درخواست‌هایی است که برچسب آن بدرستی تشخیص داده شده است.

۴. وزن قانون  $R_j$  برابر صفر قرار داده شود  $(CF_j = 0)$ . اینکار باعث می‌شود که این قانون در فیلتر کردن درخواست‌ها نقشی نداشته باشد. با این وزن، درخواست‌های موجود در  $S$  را مجدداً با قانون  $R_j$  دسته‌بندی کرده و دقت مدل محاسبه می‌شود.

۵. اگر مجموعه  $S$  خالی باشد، بدین معنی است که قانون  $R_j$  تاثیری در افزایش دقت مدل طبقه‌بندی ندارد و میتوان آن را از پایگاه قوانین حذف کرد. کاهش تعداد قوانین باعث افزایش سرعت الگوریتم در مسیریابی آنلاین شده و در نهایت پایگاه قوانین نهایی نسبت به پایگاه قوانین اولیه بشدت کوچکتر خواهد بود.

۶. اگر مجموعه  $S$  خالی نباشد، به هر درخواست موجود در این مجموعه یک امتیاز داده می‌شود.  $S(X_t)$  امتیاز  $t$ -مین درخواست از مجموعه  $S$  است و با رابطه (۹) محاسبه می‌شود [۱۶].

$$S(X_t) = \frac{CF_q \cdot \mu_q(X_t)}{\mu_j(X_t)} \quad (9)$$

در این رابطه  $\mu_j(X_t)$  درجه سازگاری درخواست  $X_t$  با قانون  $R_j$  است.  $CF_q$  و  $\mu_q(X_t)$  به ترتیب وزن و درجه سازگاری قانون  $R_q$  است.  $R_q$  قانونی با بالاترین درجه اطمینان  $(CF_q \times \mu_q(X_t))$  بین تمام قوانین با برچسب مخالف قانون  $R_j$  است.

۷. درخواست‌های موجود در  $S$  بر اساس امتیازشان به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند.

۸. وزن بهینه برای قانون  $R_j$  با استفاده از یک فرایند تکراری تعیین می‌گردد. در اینجا به ازای هر جفت درخواست متوالی  $X_a$  و  $X_b$  در  $S$ ، یک وزن ابتکاری با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$W_c = \alpha \cdot \frac{S(X_a) + S(X_b)}{2} + (1 - \alpha) \cdot CF_j \quad (10)$$

جائیکه،  $\alpha$  یک ضریب وزنی برای کنترل تاثیر وزن جاری قانون  $R_j$  و وزن‌های محلی است. با محاسبه وزن‌های ابتکاری، همه وزن‌های  $W_c$  را به عنوان وزن قانون  $R_j$  قرار می‌دهیم  $(CF_j = W_c)$ . سپس دقت مدل را با وزن جدید محاسبه کرده و در صورت بهبود دقت،  $W_c$  به عنوان وزن قانون تعیین می‌گردد.

## ۵- بحث و نتایج آزمایش‌ها

پارامترهای مختلف در ۴ سطح بر اساس جدول استاندارد آرایه های متعامد L16 برآورد می‌شود.

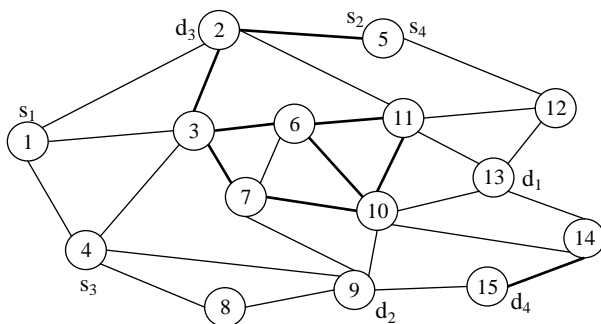
به منظور بررسی تاثیر شرایط مختلف بر عملکرد الگوریتم FBDR، در این مقاله چهار سناریو مختلف از پهنای باند و حداکثر تاخیر انتها به انتها در نظر گرفته می‌شود. این سناریوها مطابق جدول (۲) می‌باشند و به صورت تصادفی با توزیع یکنواخت انتخاب می‌شوند.

جدول (۲): سناریوهای تعریف شده برای ارزیابی عملکرد

سناریو	پهنای باند (واحد)	حداکثر تاخیر انتها به انتها (میلی ثانیه)
سناریو ۱	{1, 2, 3, 4}	{95, 96, 97, 98, 99, 100}
سناریو ۲	{1, 2, 3, 4}	{60, 61, 62, 63, 64, 65}
سناریو ۳	{1, 2, 7.5, 9.5}	{95, 96, 97, 98, 99, 100}
سناریو ۴	{1, 2, 7.5, 9.5}	{60, 61, 62, 63, 64, 65}

## ۵-۲- توپولوژی شبکه

برای مقایسه الگوریتم مسیریابی پیشنهادی با سایر الگوریتم‌ها از توپولوژی شبکه MIRA استفاده می‌کنیم [۶]. این توپولوژی متشکل از ۱۵ گره و ۲۸ لینک مطابق شکل (۱) است. دو نوع مختلف لینک در شبکه وجود دارد: لینک‌های نازک با ظرفیت ۱۲ واحد و لینک‌های ضخیم با ظرفیت ۴۸ واحد است. در MIRA جفت‌های ورودی-خروجی هستند.  $(1 \rightarrow 13), (5 \rightarrow 9), (2 \rightarrow 4), (5 \rightarrow 15)$



شکل (۱): توپولوژی شبکه MIRA

در این مقاله ما همه ظرفیت لینک‌ها را در ۱۰۰ واحد ضرب می‌کنیم. اینکار اجازه بررسی هزاران LSP مختلف را فراهم می‌کند. همچنین، تعداد کل درخواست‌های بررسی شده برابر ۳۰۰۰ در نظر گرفته شده است. جفت روترهای ورودی و خروجی برای درخواست راه اندازی LSP به صورت تصادفی انتخاب شده و همه مسیرهای روت شده تا پایان شبیه‌سازی حذف نمی‌شوند [۶، ۷].

## ۵-۳- معیارهای ارزیابی

ما برای ارزیابی کارایی الگوریتم FBDR و مقایسه با سایر الگوریتم‌ها از معیارهای ارزیابی مختلفی استفاده می‌کنیم. این معیارهای تعداد درخواست‌های پذیرفته شده، متوسط طول مسیر و توازن بار هستند.

در این بخش آزمایش‌های گسترده‌ای را برای بررسی عملکرد الگوریتم FBDR انجام می‌دهیم. در نهایت ما نشان خواهیم داد که الگوریتم مسیریابی پیشنهادی باعث افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته شده و رضایت از کیفیت سرویس برای کنفرانس‌های ویدئویی در شبکه‌های MPLS می‌شود.

## ۵-۱- بستر شبیه‌سازی

شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB ورژن 2017a شده و برای کار مقایسه از الگوریتم‌های MHA [۹]، WSP [۶]، MIRA [۱۰]، BCRA [۱۱]، MIRAD [۱۵]، BGDG [۱۳]، BGLC [۱۲]، SAMCRA [۱۴] و MDMF [۷] استفاده شده است. علاوه بر این، مقادیر تنظیم شده برای پارامترهای الگوریتم FBDR مطابق جدول (۱) می‌باشد. اغلب این پارامترها بر مبنای تحقیق انجام شده در [۷] می‌باشد و مقادیر سایر پارامترها شامل  $\rho, \alpha, K$  و نیز با روش تاگوجی [۱۷] تعیین می‌شوند.

جدول (۱): پارامترهای الگوریتم FBDR در شبیه‌سازی

پارامتر	توصیف	مقدار
$P_{req}$	بخش‌بندی درخواست‌ها	100
$\rho$	حداستانه شانس مجدد	0.3
$TS_{pec-M}$	حداکثر طول بسته	2KB
$TS_{pec-r}$	نرخ درخواست	1
$TS_{pec-t}$	نرخ حداکثر	5
$TS_{pec-b}$	نرخ هجوم	100
$U_{flow}$	ضریب اولویت جریان	0.5
$U_{delay}$	ضریب اولویت تاخیر	0.5
and $\lambda_{sd}, \gamma_{sd}$	وزن جفت ورودی-خروجی	1
$K$	تعداد درخواست آموزشی	150
$\alpha$	ضریب تنظیم وزن‌ها	0.35
$G$	تعداد تکرار برای تنظیم وزن‌ها	35

روش تاگوجی با ایجاد تعادل بین شاخص‌ها، پارامترها و سطوح متعامد، شناسایی مقادیر پارامترها و سطوح موثر را با آزمایش‌های کمتر تضمین می‌کند. هدف از روش تاگوجی به حداکثر رساندن نسبت S/N (سیگنال به نویز) است که در [۱۷] به صورت رابطه (۱۲) تعریف شده است.

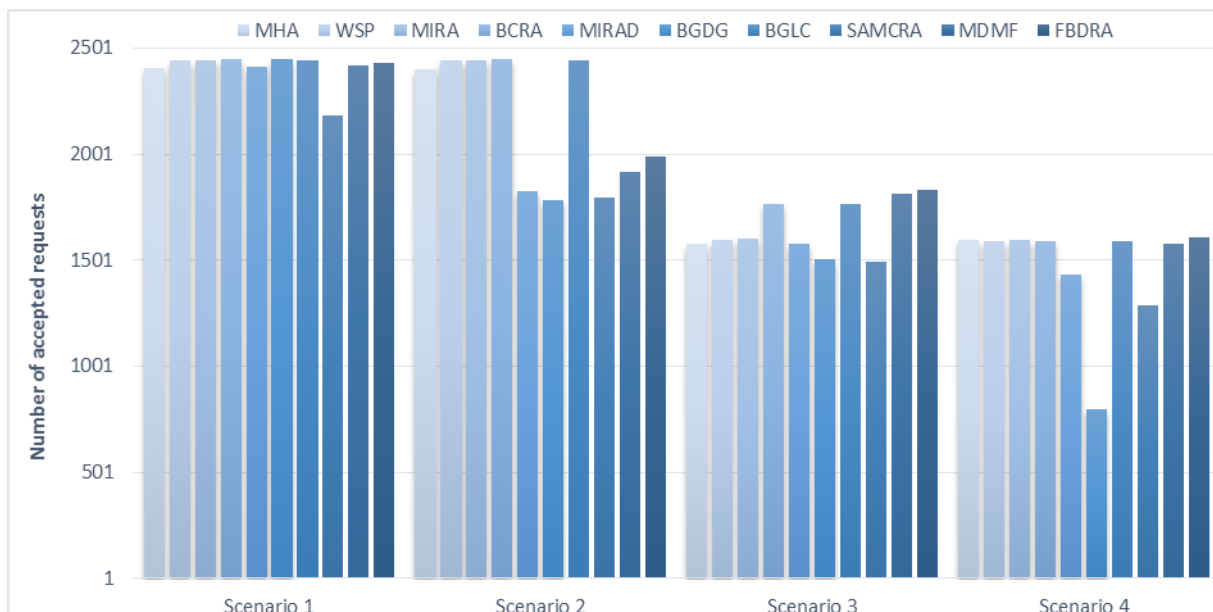
$$S / N_{ij} = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_{obj}(i, j)^2 \right), \quad \forall j \in level \quad (12)$$

در این رابطه،  $F_{obj}(i, j)$  مقدار تابع هدف با استفاده از پارامتر  $i$  در سطح  $j$  است و  $m$  تعداد دفعات تکرار سطح  $j$  برای پارامتر  $i$  در طول اجرای تمام آزمایش‌ها است. در اینجا، تابع هدف بر اساس تعداد درخواست‌های پذیرفته شده محاسبه می‌شود. نتایج بدست آمده از

برای محاسبه توزان بار از واریانس لینک‌های بهره‌برداري شده استفاده می‌کنیم.

#### ۴-۵- مقایسه با سایر روش‌ها

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی الگوریتم FBDRA ارائه شده و با سایر روش‌ها مقایسه شده است. ما در ابتدا عملکرد FBDRA را در شرایط مختلف بار توسط معیار تعداد درخواست‌های پذیرفته شده بررسی می‌کنیم. بدین منظور این معیار را برای FBDRA و سایر روش‌ها در سناریوهای مختلف تعریف شده تجزیه و تحلیل می‌کنیم. شکل (۲) تعداد درخواست پذیرفته شده توسط هر الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مقایسه براساس تعداد درخواست‌های پذیرفته شده

مسیرهایی با طول بیشتر به درخواست‌ها تخصیص می‌دهد و در نتیجه مسیرهای راه‌اندازش شده در BCRA نسبت به FBDRA و MDMF تاخیر آنها به انتها بیشتر دارد. در سناریو ۴، پهنای باند درخواست‌ها افزایش و تاخیر آنها به انتها کاهش داده شده است. در این وضعیت نیز الگوریتم FBDRA و MDMF عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها به جزء BCRA و BGLC دارند. علاوه بر این، الگوریتم FBDRA در مقایسه با MDMF تعداد درخواست‌های بیشتری را در همه سناریوها ارائه داده است. این الگوریتم‌ها هر دو محدودیت پهنای باند و تاخیر آنها به انتها را تضمین می‌کنند، ولی FBDRA با به تعویق انداختن درخواست‌هایی با منابع بالا موفق به پذیرش درخواست‌های بیشتری شده است.

در ادامه ما آزمایش‌های مختلفی از نظر معیارهای متوسط طول مسیر و توزان بار برای مقایسه الگوریتم‌ها ارائه می‌دهیم. در همه مقایسه‌ها نتایج به صورت میانگین برای چهار سناریو جدول (۲) گزارش می‌شود.

- تعداد درخواست‌های پذیرفته شده: این معیار تعداد درخواست‌های روت شده را نشان می‌دهد. مقدار بیشتر برای این معیار نشان می‌دهد که الگوریتم مسیریابی در مدیریت منابع عملکرد مناسب دارد.
- متوسط طول مسیر: طول مسیر برای هر درخواست با توجه به تعداد لینک‌های استفاده شده در مسیر از مبدا به مقصد محاسبه می‌شود. ارزش کمتر برای این معیار بهتر است، چون مسیرهای با طول بیشتر لینک‌های بیشتری را استفاده می‌کنند.
- توزان بار: این معیار در شبکه نشان می‌دهد که چگونه حجم کار در همه لینک‌های شبکه به صورت عادلانه توزیع شده است. ما

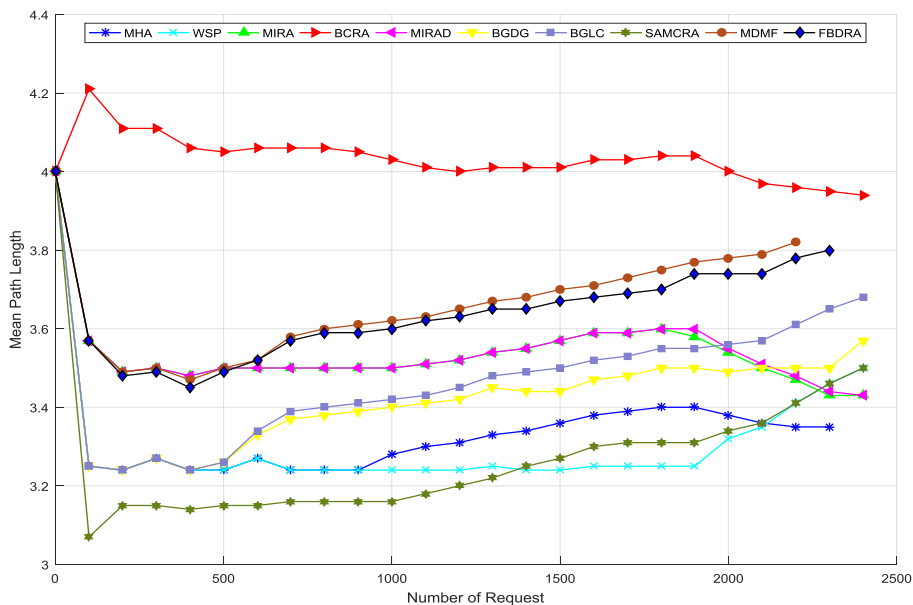
در سناریو ۱، عملکرد همه الگوریتم‌ها تقریباً یکسان است. اما در سناریو ۲، با کاهش تاخیر آنها به انتها، کارایی الگوریتم‌های MIRA، BGDG، SAMCRA، MDMF و FBDRA کاهش می‌یابد، چون این الگوریتم‌ها تاخیر آنها به انتها را تضمین می‌کنند و نمی‌توانند تاخیر آنها به انتها درخواست شده را با توجه به مسیرهای باقیمانده در شبکه فراهم کنند. این درحالیست که الگوریتم‌های MHA، WSP، MIRA، BCRA و BGLC تاخیر آنها به انتها را تضمین نمی‌کنند.

در سناریو ۳، پهنای باند مربوط به درخواست‌ها افزایش یافته است. در این وضعیت الگوریتم‌هایی که هر دو محدودیت پهنای باند و تاخیر آنها به انتها را تضمین می‌کنند، نسبت به سناریو ۱ تعداد درخواست‌های کمتری را می‌پذیرند. در اینجا الگوریتم FBDRA و MDMF عملکرد بهتری را گزارش می‌دهند و این نتایج قابل مقایسه با الگوریتم‌های BCRA و BGLC نیست، چون آنها تنها پهنای باند را تضمین می‌کنند. همچنین در ادامه نشان خواهیم داد که BCRA

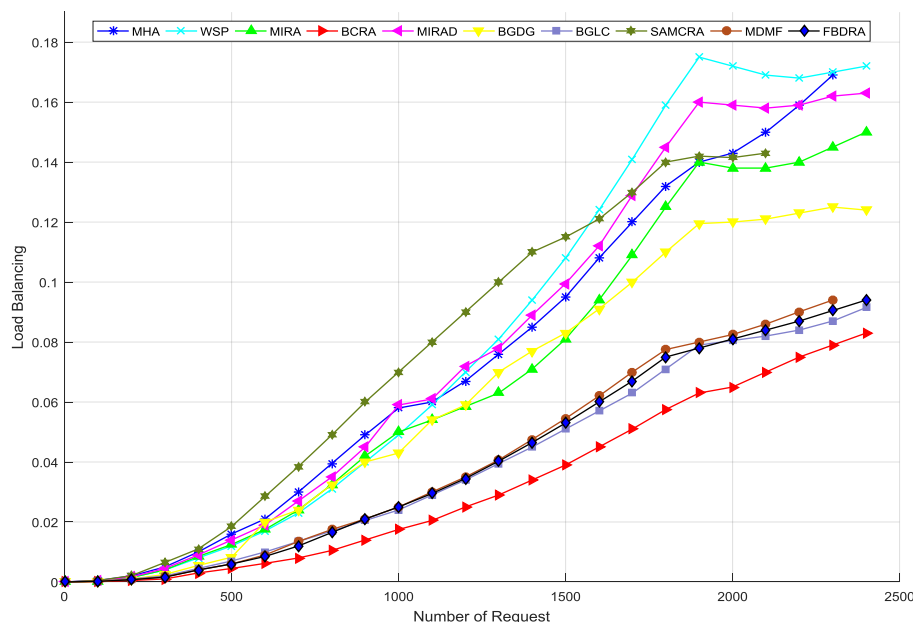


توزیع شده توسط وزندهی به لینکها فراهم می‌کند. بنابراین این الگوریتمها میتوانند درخواستهای بیشتری را پذیرش کنند. در مقایسه با MDMF و FBDRA، تنها الگوریتم MIRAD طول مسیر کمتری را ارائه می‌دهد، اما MIRAD تعداد درخواستهای کمتری را پذیرش کرده است. به طور خاص، MIRA نیز متوسط طول مسیر کمتری نسبت به MDMF و FBDRA دارد، اما این الگوریتم تنها پهنای باند را تضمین می‌کند و به تاخیر انتها به انتها در درخواستها اهمیت نمی‌دهد. علاوه بر این، FBDRA در مقایسه با MDMF طول مسیر نسبتاً کمتری را ارائه می‌دهد.

نتایج مقایسه الگوریتمها از نظر معیار متوسط طول مسیر در شکل (۳) نشان داده شده است. بطور کلی الگوریتمهای WSP، SAMCRA و MHA متوسط طول مسیر بهتری را نسبت به سایر الگوریتمها ارائه می‌دهند، چون آنها کوتاهترین مسیرها را تنها با توجه محدودیت پهنای باند جستجو می‌کنند که اینکار میتواند منجر به ازدحام در شبکه شود. الگوریتمهای MDMF و FBDRA مسیرهایی با طول بیشتری را نسبت به سایر الگوریتمها به جزء BCRA ارائه می‌دهد. دلیل این است که MDMF و FBDRA به منظور تضمین محدودیت‌های پهنای باند و تاخیر انتها به انتها، بار شبکه را به صورت



شکل (۳): مقایسه براساس میانگین طول مسیر



شکل (۴): مقایسه بر اساس توازن بار روی لینکها

واریانس بار روی لینکها استفاده می‌کنیم. واریانس بار الگوریتمهای مختلف در شکل (۴) برای توپولوژی MIRA نشان داده شده است.

در ادامه الگوریتمهای مختلف را از نظر معیار توازن بار مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این مقاله برای تخمین توازن بار از مقدار

Systems, Process & Control (ICSPC), 2013 IEEE Conference on (pp. 139-143). IEEE.

[2] Kim, E., Chun, W., Jang, Y., & Rha, S. (2004, February). Traffic measurements supporting end-to-end qos requirements in mpls networks. In *Advanced Communication Technology*, 2004. The 6th International Conference on (Vol. 2, pp. 862-867). IEEE.

[3] Kumar, P., Yuan, Y., Yu, C., Foster, N., Kleinberg, R., & Soulé, R. (2016). Kulf: Robust traffic engineering using semi-oblivious routing. *arXiv preprint arXiv:1603.01203*.

[4] Menascé, D. A. (2002). QoS issues in web services. *IEEE internet computing*, 6(6), 72-75.

[5] Kodialam, M., & Lakshman, T. V. (2000). Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE (Vol. 2, pp. 884-893)*. IEEE.

[6] Soorki, M. N., & Rostami, H. (2014). Label switched protocol routing with guaranteed bandwidth and end to end path delay in MPLS networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 42, 21-38.

[7] Chiu, C. Y., Kuo, Y. L., Wu, E. H. K., & Chen, G. H. (2008). Bandwidth-constrained routing problem in wireless ad hoc networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 19(1), 4-14.

[8] د. غرویان، م. ا. راهدار، "بهینه‌سازی توأمان انرژی و تأخیر در مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحه ۹۱-۱۰۲، ۱۳۹۹.

[9] Kar, K., Kodialam, M., & Lakshman, T. V. (2000). Minimum interference routing of bandwidth guaranteed tunnels with MPLS traffic engineering applications. *IEEE Journal on selected areas in communications*, 18(12), 2566-2579.

[10] Kotti, A., Hamza, R., & Bouleimen, K. (2007, June). Bandwidth constrained routing algorithm for MPLS traffic engineering. In *Networking and Services, 2007. ICNS. Third International Conference on* (pp. 20-20). IEEE.

[11] Alidadi, A., Mahdavi, M., & Hashmi, M. R. (2009, December). A new low-complexity QoS routing algorithm for MPLS traffic engineering. In *Communications (MICC), 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on* (pp. 205-210). IEEE.

[12] Kulkarni, S., Sharma, R., & Mishra, I. (2012). New QoS routing algorithm for MPLS networks using delay and bandwidth constraints. *Int. J. Inf.*, 2, 285-293.

[13] Van Mieghem, P., & Kuipers, F. A. (2004). Concepts of exact QoS routing algorithms. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 12(5), 851-864.

[14] Pastaki, A. G., Sahab, A. R., & Sadeghi, S. M. (2011). A New Routing Algorithm: MIRAD. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 5(7), 778-781.

[15] Jahromi, M. Z., & Taheri, M. (2008). A proposed method for learning rule weights in fuzzy rule-based classification systems. *Fuzzy sets and Systems*, 159(4), 449-459.

[16] Rezaeipanah, A., Ahmadi, G., Hajjani, M., & Darzi, M. R. (2019). An Improved Hybrid Cuckoo Search Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*, 4(2), 189-208.

توازن بار بهتر در شبکه زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار واریانس در بهره‌وری از لینک‌های شبکه کمتر باشد. در این مقایسه الگوریتم‌های MHA، WSP، MIRAD و SAMCRA توازن بار بهتری را ارائه می‌دهند. همچنین، الگوریتم‌های BCRA و BGLC دارای کمترین واریانس و در نتیجه بدترین توازن بار هستند، هر چند آنها از مسیریابی با طول بزرگتری استفاده می‌کنند. در اینجا FBDRA پس از BCRA و BGLC در رتبه سوم بهترین الگوریتم‌ها قرار دارد. هر چند، بر خلاف این الگوریتم‌ها، FBDRA هر دو محدودیت پهنای‌بند و تاخیر انتها به انتها را تضمین می‌کند.

## ۶- نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین چالش‌های مهندسی ترافیک در شبکه‌های MPLS، مسیریابی روترهای دارای برچسب است. این مسیریابی باید بگونه‌ای انجام شود که علاوه بر برآورد معیارهای کیفیت سرویس، از امکانات شبکه نیز استفاده بهینه شود. در این مقاله، افزایش کیفیت خدمات ویدئو کنفرانس از طریق یک الگوریتم مسیریابی برای مهندسی ترافیک شبکه‌های MPLS مورد مطالعه قرار گرفت. الگوریتم پیشنهادی با قابلیت حداقل تاخیر و حداکثر جریان، تاخیر انتها به انتها و پهنای‌بند درخواست‌های مسیر را به طور همزمان و آنلاین تضمین می‌کند. الگوریتم پیشنهادی با نام الگوریتم پهنای‌بند و تاخیر فازی (FBDRA) برای مسیریابی در شبکه‌های MPLS معرفی شده است. هدف FBDRA صرفه‌جویی در منابع شبکه به منظور افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته شده برای اتصال به کنفرانس ویدئویی می‌باشد. این الگوریتم نه تنها اهمیت لینک‌های بحرانی بلکه اهمیت منابع شبکه برای درخواست‌های آینده مدیریت و حفظ می‌کند. از طرفی، FBDRA ابتدا مسیریابی را برای درخواست‌هایی با منابع مورد نیاز کوچکتر انجام می‌دهد تا بتواند درخواست‌های بیشتری را برای اتصال به کنفرانس ویدئویی پذیرش کند.

کاهش پهنای‌بند برای مسیریابی که به علت حداکثر تاخیر انتها به انتها ریجکت می‌شوند با افزایش یک واحدی در یک حلقه بینهایت انجام می‌شود. این کار هر چند باعث تضمین حداکثر تاخیر انتها به انتها می‌شود اما پیچیدگی نسبتاً بالایی را برای FBDRA ایجاد می‌کند. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود یک روش ابتکاری نظیر جستجوی باینری برای تعیین مقدار دقیق پهنای‌بند جهت تضمین حداکثر تاخیر انتها به انتها بررسی شود.

## مراجع

[۱] ز. ولی، م. ر. هاشمی، ن. مقیم، "شیوه‌های توزیع بار در مهندسی ترافیک"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره ۱۲، شماره ۲، صفحه ۱۰۵-۱۱۸، ۱۳۹۴.

[1] Yunos, R., Ahmad, S. A., Noor, N. M., Saidi, R. M., & Zainol, Z. (2013, December). Analysis of routing protocols of VoIP VPN over MPLS network. In

- [17] Bahnasse, A., Talea, M., Badri, A., Louhab, F. E., & Laafar, S. (2020). Smart hybrid SDN approach for MPLS VPN management on digital environment, *Telecommunication Systems*, 73(2), 155-169.
- [18] Mustapha, O. Z. (2020). Evaluation of Bandwidth Resource Allocation using Dynamic LSP and LDP in MPLS for Wireless Networks. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 9(2), 147-158.
- [19] Fathurrahmad, F., & Yusuf, S. (2019). Implementasi Jaringan VPN dengan Routing Protocol terhadap Jaringan Multiprotocol Label Switching (MPLS). *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, 3(1), 29-33.
- [20] Bensalah, F., El Kamoun, N., & Bahnasse, A. (2018). Evaluation of tunnel layer impact on VOIP performances (IP-MPLS-MPLS VPN-MPLS VPN IPsec). *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 17(3), 87.