

# شیوه‌های توزیع بار در مهندسی ترافیک

زهرا ولی<sup>۱</sup> مسعود رضا هاشمی<sup>۲</sup> ندا مقیم<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران  
[z.vali@ec.iut.ac.ir](mailto:z.vali@ec.iut.ac.ir)

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران  
[hashemim@cc.iut.ac.ir](mailto:hashemim@cc.iut.ac.ir)

۳- استادیار- دانشکده مهندسی کامپیوتر- گروه مهندسی فناوری اطلاعات دانشگاه اصفهان - اصفهان- ایران  
[n.moghim@eng.ui.ac.ir](mailto:n.moghim@eng.ui.ac.ir)

**چکیده:** با توجه به رشد روز افزون ترافیک شبکه، شرکت‌های فراهم‌کننده سرویس به سرعت در حال ایجاد ساختارهای جدید شبکه و گسترش منابع، برای کنترل تقاضاهای در حال رشد کاربران هم‌چون کاربردهای چندرسانه‌ای با پهنای باند بالا هستند. لذا توزیع بهینه ترافیک در شبکه به‌گونه‌ای که پهنای باند مورد نیاز هر جریان تامین گردد حائز اهمیت است. هدف مهندسی ترافیک ایجاد قابلیت اطمینان در کنار کارآمدی در شبکه می‌باشد بطوریکه استفاده از منابع شبکه بهینه گردد. این کار با استفاده از مسیریابی بهینه برای افزایش توانمندی شبکه در ایجاد سرویس‌های متنوع بدون ایجاد ازدحام انجام می‌گیرد. ارسال ترافیک جریان‌ها روی مسیرهای چندگانه و اعمال الگوریتم‌های توزیع بار در مقایسه با شیوه‌های سنتی ارسال روی مسیر واحد سبب راندمان بالاتر شبکه شده و انتقال اطلاعات با تاخیر کمتری انجام می‌گیرد. این مقاله به‌طور اجمالی به معرفی پروتکل‌های مسیریابی روی مسیرهای چندگانه می‌پردازد و الگوریتم‌های توزیع بار در دو دسته مستقل از حالت شبکه و وابسته به حالت شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

**کلمات کلیدی:** مسیریابی روی مسیرهای چندگانه، توزیع متعادل بار، مهندسی ترافیک

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۷/۵

تاریخ پذیرش مشروط : ۱۳۹۳/۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۵/۱

نام نویسنده‌ی مسئول: زهرا ولی

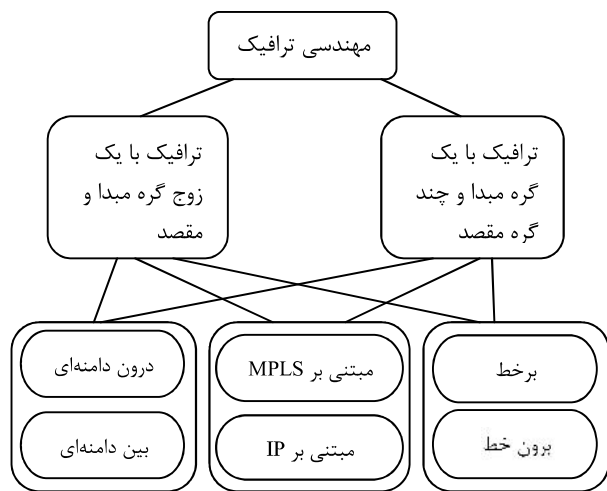
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - اصفهان - دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده برق و کامپیوتر

درخواست‌های کیفیت سرویس ابتدا تا انتها باید به واسطه مکانیزم های مهندسی ترافیک فراهم شوند. از طرفی با وجود خرابی پیوندها و گره‌ها در شبکه، راه‌حل‌های مهندسی ترافیک باید به دنبال کم کردن تاثیر خرابی‌ها روی عملکرد شبکه و بهره‌وری منابع نیز باشند.

با ظهور مهندسی ترافیک، الگوریتم‌های مسیریابی با چالش‌های جدیدی رو به‌رو می‌شوند. آنها که تاکنون استحکام و بازیابی سریع خطا<sup>۲</sup> اولین اولویت عملکردشان بوده، حال باید روی اختصاص بهینه منابع نیز متمرکز گردند. به این منظور، شیوه‌های جدیدی برای مسیریابی روی مسیرهای چندگانه ایستا و یا پویای وابسته به بار شبکه ارائه شده‌اند.

تاکنون مقاله‌های بسیاری در حوزه بهینه‌سازی توزیع ترافیک منتشر شده‌اند که در [۵] شیوه‌های مختلف مهندسی ترافیک، مطابق با چهار معیار در شکل (۱) دسته‌بندی شده‌اند:

- از جنبه حوزه‌ی عملکرد: مهندسی ترافیک به دو دسته‌ی درون دامنه‌ای<sup>۳</sup> و بین دامنه‌ای<sup>۴</sup> تقسیم می‌شود.
- از جنبه اتصال گرا بودن: مهندسی ترافیک به دو دسته مبتنی بر MPLS و مبتنی بر IP تقسیم می‌شود.
- از جنبه نوع و نحوه‌ی عملکرد: مهندسی ترافیک به دو دسته‌ی مهندسی ترافیک برخط<sup>۵</sup> و مهندسی ترافیک برون خط<sup>۶</sup> تقسیم می‌شود.
- از جنبه نوع ترافیک درخواستی: مهندسی ترافیک به دو دسته برای ترافیک بین یک زوج گره مبدا و مقصد<sup>۷</sup> و برای ترافیک با یک گره مبدا و چند گره مقصد<sup>۸</sup> تقسیم می‌شود.



شکل (۱): تقسیم‌بندی روش‌های مختلف مهندسی ترافیک [۵]

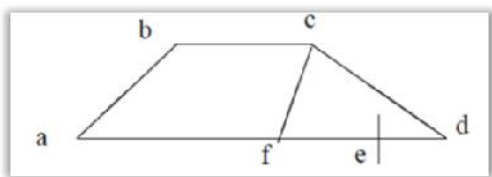
با گسترش روزافزون کاربردهای جدید در شبکه‌های امروزی، فراهم کردن سرویس‌های بدون ضمانت مانند سرویس‌های BE نمی‌تواند به تنهایی پاسخ‌گوی نیازهای رو به رشد کاربران باشد. به همین منظور شرکت‌های فراهم‌کننده سرویس به سرعت در حال ایجاد ساختارهای جدید شبکه و گسترش منابع برای کنترل تقاضاهای در حال رشد کاربران، هم‌چون کاربردهای چند-رسانه‌ای با پهنای باند بالا هستند [۱ و ۲].

نقاط حساس و شلوغ شبکه تنها به اتصالات قرار گرفته بین دامنه‌های مختلف منحصر نمی‌شوند، بلکه در درون دامنه‌ها نیز این نقاط وجود دارند و شرکت‌های فراهم‌کننده سرویس، بهینه‌سازی کارآمد منابع را هم درون دامنه‌ها و هم بین دامنه‌های مختلف انجام می‌دهند. آنچه اهمیت دارد توزیع بهینه ترافیک در بین منابع مختلف است به‌گونه‌ای که پهنای باند مورد نیاز هر جریان در دسترس باشد. مفهوم مهندسی ترافیک به همین منظور شکل گرفته‌است. مهندسی ترافیک به عنوان جنبه‌ای از مهندسی شبکه اینترنت که با مسئله ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های IP سروکار دارد تعریف می‌شود [۳]. هدف مهندسی ترافیک ایجاد قابلیت اطمینان و کارآمدی در شبکه است بطوریکه استفاده از منابع شبکه نیز بهینه گردد و این کار را با مسیریابی بهینه برای افزایش توانمندی شبکه در ایجاد سرویس‌های متنوع، بدون ایجاد ازدحام انجام می‌دهد. روش‌های مدیریت ازدحام را می‌توان بر اساس [۴] و با توجه به چهارچوب عملکرد به سه شیوه تقسیم بندی کرد:

۱. بر اساس مدت زمان اثر که عبارتست از زمانی که طول می‌کشد تا طرح مورد نظر ازدحام را رفع کند.
۲. بر اساس چگونگی مقابله با رخداد ازدحام که آیا با تخمین آینده ترافیکی شبکه از بروز ازدحام جلوگیری می‌شود یا بر اساس روش‌های انفعالی به دنبال رفع ازدحام رخ داده است.
۳. بر اساس سیاست رویارویی با ازدحام که آیا برای رفع ازدحام منابع را تغییر می‌دهند یا میزان پذیرش ترافیک را محدود می‌کنند.

بسیاری از کاربردهای جدید چندرسانه‌ای علاوه بر نیازمند-ی‌های پهنای باند، به سایر پارامترهای کیفیت سرویس مانند حد بالای تاخیر ابتدا تا انتها، تغییرات تاخیر<sup>۱</sup> و احتمال تلفات بسته نیز حساس هستند. نیازمندی‌های کیفیت سرویس مسائل جدیدی را برای فراهم‌کنندگان سرویس ایجاد می‌کنند و لذا

شده است. هرچه یک مجموعه مسیر از هم مجزاتر باشند، منابع بیشتری در دسترس هستند و احتمال اینکه عملکرد یک مسیر بر عملکرد مسیر دیگر تاثیر بگذارد کم تر می شود زیرا مسیرها با هم هم پوشانی ندارند. شکل (2) را در نظر بگیرید. یک مجموعه مسیر، دو مسیر  $(a, b, c, d)$  و  $(a, f, c, d)$  و مجموعه مسیر دیگر، دو مسیر  $(a, b, c, d)$  و  $(a, f, e, d)$  را شامل می شوند. مجموعه دوم در مقایسه با مجموعه اول مستقل است چون مسیرهای آن هیچ پیوند مشترکی با هم ندارند. مجموعه دوم به استفاده بهتری از منابع منجر می شود و کمتر در معرض بروز ازدحام قرار دارد. برای مثال در صورت ازدحام پیوند  $cd$  در مجموعه اول هر دو مسیر در شرایط ازدحام قرار می گیرند درحالیکه در مجموعه دوم تنها یکی از مسیرها آسیب می بیند.



شکل (۲): مسیرهای مستقل و وابسته [۶]

برخلاف شیوه های مسیریابی کوتاه ترین مسیر، مسیریابی چندگانه به طور هم زمان از بیشتر از یک مسیر استفاده می کند تا ترافیک را بین مبدا و مقصد یا زوج های ورودی خروجی انتقال دهد.

الگوریتم های مسیریابی روی مسیرهای چندگانه، بر پایه ی گسترش الگوریتم های مسیریابی درون دامنه ای همچون RIP و OSPF می باشد [۷، ۸]. این الگوریتم ها به محاسبه مسیرهای چندگانه به سمت مقصد مورد نظر ختم می شوند و در برخی از آنها ترافیک موجود بین این مسیرها توزیع نیز می گردد. تاکنون پروتکل های بسیاری برای مسیریابی چندگانه معرفی شده اند. از جمله این پروتکل ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

[۹] ECMP<sup>۱۱</sup>، [۱۰] MPA<sup>۱۲</sup>، [۱۱] DSPA<sup>۱۳</sup>، [۱۱] CRA<sup>۱۴</sup>، [۱۲] MDVA<sup>۱۵</sup>، [۱۳] MPDA<sup>۱۶</sup>، [۱۳] MPA<sup>۱۷</sup>، QMPDA.

از بین پروتکل های ذکر شده، MPA پروتکلی است که با ایجاد کم ترین تغییر در چهارچوب الگوریتم OSPF قابل پیاده سازی است و تنها می توان با افزودن یک قطعه ی نرم افزاری به پروتکل OSPF آن را در شبکه اجرا نمود. پروتکل MPA همه مسیرهای منتهی به یک مقصد را پیدا نمی کند بلکه تنها مجموعه ای از مسیرها را پیدا می کند که شرط بدون حلقه بودن را برآورده می کنند. هر مسیریاب تنها مسیریابی را در نظر می

تاکنون تحقیقات گسترده ای در هر کدام از این دسته ها صورت گرفته است. در این مقاله الگوریتم های مهندسی ترافیک درون دامنه ای و بین زوج گره مبدا و مقصد مورد بررسی قرار می گیرند.

همانطور که قبلا بیان شد از جمله اهداف مهندسی ترافیک، می توان به توزیع متعادل بار و استفاده بهینه از پهنای باند شبکه اشاره کرد. استفاده از روش مسیریابی که از مسیرهای چندگانه به جای روش های سنتی مبتنی بر کوتاه ترین مسیر استفاده می کند، می تواند روش موثری برای افزایش توانمندی شبکه در استفاده از منابع در دسترس شبکه باشد. در این راستا گردآوری انواع پروتکل های مسیریابی چندگانه به همراه دسته بندی راه حل های توزیع بار متنوع گام اساسی در بهبود الگوریتم های توزیع بار موجود است. در ادامه، مسیریابی چندگانه در بخش ۲ معرفی می گردند آنگاه انواع الگوریتم های توزیع بار در بخش ۳ بیان و با هم مقایسه می شوند و مزایا و معایب هر کدام مورد بررسی قرار می گیرد. بخش ۴ نیز به نتیجه گیری از مقاله اختصاص یافته است.

## ۲- مسیریابی چندگانه

در شبکه های امروزی بین هر زوج فرستنده و گیرنده تنها از یک مسیر استفاده می شود و این سبب می شود که نتوان از منابع شبکه حداکثر استفاده را نمود. برای مثال انتقال فایل های بزرگ تر با سرعت بیش تر یا فایل های ویدئویی با نرخ قاب بیشتر امکان پذیر خواهد بود اگر اطلاعات روی مسیرهای متفاوت شبکه ارسال شوند بطوریکه تقسیم ترافیک بین مسیرهای چندگانه قابل کنترل باشد. در این دسته از مسیریابی ها با یکپارچه کردن منابع مسیرهای چندگانه و کاهش احتمال ازدحام در شبکه های مبتنی بر کیفیت سرویس، می توان نرخ بالاتری را برای انتقال اطلاعات نسبت به حالت تک مسیر فراهم کرد. به این ترتیب قابلیت اطمینان در تحویل اطلاعات نیز افزایش می یابد.

میزبانی که مسیرهای چندگانه را فراهم می کند ابتدا باید مجموعه ای از مسیرهای بدون حلقه را بین هر زوج مبدا و مقصد محاسبه کند. دو مشخصه ای که برای تعیین این مجموعه مسیر موثر هستند، اندازه مسیر<sup>۱</sup> و استقلال مسیرها<sup>۱</sup> می باشند. اندازه مسیر، تعداد مسیرهای در دسترس بین گره ها است. هرچه بتوان مسیر بیشتری فراهم کرد، میزبان منابع و گزینه های بیشتری برای افزایش عملکرد خود دارد و شانس توزیع بار بیشتر می شود. استقلال مسیر میزان پراکندگی بین مسیرهای محاسبه

گیرد که وزن کوتاه‌ترین مسیر از گام بعدی به مقصد از وزن کوتاه‌ترین مسیر آن مسیریاب به مقصد کمتر باشد. پروتکل ECMP بر اساس OSPF عمل کرده و مسیریابی با هزینه ی یکسان را به سوی مقصد پیدا می‌کند. در این پروتکل بار ترافیکی بین مسیرهای یافت شده نیز تقسیم می‌گردد [۹]. مسیریاب، مسیرهای ممکن را با تعیین پرش بعدی مشخص می‌کند و در هنگام ارسال یک بسته، تصمیم می‌گیرد که کدام پرش (کدام مسیر) را به سوی مقصد انتخاب کند. روش‌های بسیاری برای انتخاب پرش بعدی پیشنهاد شده‌اند که در بخش‌های بعدی بیشتر توضیح داده می‌شوند. فاکتورهایی که در انتخاب یک شیوه باید به آنها توجه شود، عملکرد و نیازمندی‌های محاسباتی برای اجرای الگوریتم و توازن بار می‌باشند.

در ECMP هیچ تلاشی برای انطباق وزن‌های OSPF به صورت پویا با شرایط بار شبکه صورت نمی‌گیرد و نمی‌توان مسیریاب را برای کاربردهای مختلف تغییر داد. اگر توپولوژی به گونه‌ای باشد که OSPF مسیریابی با هزینه برابر (کوتاه‌ترین مسیرها) به یک مقصد بیابد، ترافیک به طور یکنواخت بین مسیرها تقسیم می‌شود. این توزیع ممکن است سبب استفاده بیش از اندازه ی برخی پیوندها گردد، درحالیکه سایر پیوندها بدون استفاده مانده‌اند.

یکی از گونه‌های ECMP، OMP می‌باشد [۱۴]. ایده اصلی OMP، به کارگیری چهارچوب ارسال سیل آسای پیام در الگوریتم‌های مسیریابی حالت پیوند برای انتشار اطلاعات بار پیوندها درون شبکه می‌باشد. هر گره بر اساس اطلاعات دریافت شده از سایر گره‌ها از همبندی شبکه و بار پیوندها مطلع شده و می‌تواند به‌طور مستقل تعیین کند که چگونه ترافیک را بین مسیرهای موجود در شبکه توزیع نماید. بنابراین نیازمندی اصلی OMP در وجود مسیرهای چندگانه بین گره‌های مبدا و مقصد در شبکه است. درحالیکه OMP ویژگی‌های مطلوبی مانند عملیات کاملاً مستقل دارد اما نیازمند سرباره ذخیره سازی در مسیریاب‌ها و همچنین سرباره سیگنالینگ زیاد برای انتشار سیل آسای اطلاعات در شبکه می‌باشد. پروتکل OMP با استفاده از نسبت‌های متفاوت بهینه، ترافیک را بین دو تا از کوتاه‌ترین مسیرها تقسیم می‌کند و نسبت توزیع بار، مبتنی بر ترافیک موجود روی پیوندهای ارسال است. مشکل OMP این است که به آهستگی با تغییرات بار شبکه تطبیق می‌یابد.

پروتکل CSPF<sup>۱۸</sup> که گونه‌ای از پروتکل‌های کوتاه‌ترین مسیر می‌باشد [۱۵]، به اپراتور شبکه اجازه می‌دهد تا مسیرها را

متناسب با نیازهای خود تنظیم کند. مسیری که با CSPF محاسبه می‌شود، کوتاه‌ترین مسیری است که مجموعه‌ای از محدودیت‌ها را برآورده می‌کند. محدودیت می‌تواند حداقل پهنای باند پیوند، تاخیر ابتدا تا انتها یا حداکثر تعداد پیوندهای پیموده شده باشد. CSPF برای کاربردهایی نظیر تماس صوتی که نیاز به مسیرهای با هزینه کم دارند، مفید است اما نمی‌تواند محدودیت‌های پویا مانند تلفات بسته را برای انتخاب مسیر در نظر بگیرد.

در هر صورت اگر بتوان با استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی چندگانه، چندین مسیر را بین مبدا و مقصد ایجاد نمود، می‌توان بار را نیز در شبکه به طور متعادل توزیع کرد. در بخش بعدی روش‌های توزیع بار به تفصیل معرفی و بررسی می‌گردند.

### ۳- توزیع متعادل بار

در [۳] روش‌های مهندسی ترافیک به دو دسته اصلی تقسیم شده‌اند: روش‌های وابسته به زمان<sup>۱۹</sup> و روش‌های وابسته به حالت<sup>۲۰</sup>. الگوریتم‌های کنترل ترافیک در روش‌های وابسته به زمان، برای استفاده بهینه از منابع شبکه در پاسخ به تغییرات ترافیک در زمان‌های طولانی استفاده می‌شوند. ولی در مهندسی ترافیک وابسته به حالت، الگوریتم‌های کنترل ترافیک خود را با تغییرات نسبتاً سریع حالت شبکه تطبیق می‌دهند و تقسیم ترافیک بر اساس معیارهایی صورت می‌گیرد که به صورت بر خط یا برون خط، شرایط حاضر در شبکه را محاسبه می‌کنند. متوازن کردن بار بین مسیرهای چندگانه، مثالی از مهندسی ترافیک وابسته به حالت است که در زمان نسبتاً کوتاهی انجام می‌شود.

متعادل کردن و توزیع بار روشی کلیدی برای تقویت عملکرد و گسترش‌پذیری اینترنت می‌باشد. گام اصلی برای ایجاد تعادل بار، یافتن الگوریتمی برای تقسیم ترافیک در گره‌های ورودی می‌باشد. در [۱۶] نیازمندی‌های اساسی روش‌های تقسیم ترافیک بیان شده‌است. از آن‌جا که تقسیم ترافیک به ازای هر بسته صورت می‌گیرد، سرباره ایجاد شده به ازای هر بسته یک مشکل اساسی است. بنابراین الگوریتم‌های تقسیم ترافیک باید ساده باشند و نیاز به نگهداری از حالت شبکه را به حداقل برسانند.

### ۳-۱- توزیع بار مستقل از حالت شبکه

همان‌گونه که توضیح داده‌شد، الگوریتم‌هایی همچون ECMP و CSPF علاوه بر یافتن مسیرهای چندگانه، ترافیک را بدون در نظر گرفتن حالت شبکه توزیع می‌کنند. در این بخش روش-

هایی که برای تقسیم ترافیک بر روی مسیرهای چندگانه و مستقل از حالت شبکه استفاده می شوند، مورد بررسی قرار می گیرند [۱۷]:

### ۳-۱-۱- روش نوبت گردشی وزن دار<sup>۲۱</sup>

در شیوه نوبت گردشی وزن دار، ترافیک به صورت بسته بسته و به نوبت و بر اساس وزن اختصاص داده شده به مسیرها، بر روی آنها ارسال می شود. این روش سرباره بسیار کمی را به توابع ارسال تحمیل می کند و اگر مسیرها تاخیرهای مشابهی داشته باشند، شیوهی مناسبی به شمار می آید. روش های ارسال با نوبت گردشی یا روش های تصادفی مشکلاتی در پی دارند که به طور خلاصه می توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۸]:

عملکرد ضعیف با وجود مسیرهای با تاخیر متفاوت: این روش تنها هنگامی کاربرد دارد که تاخیرمسیرها تقریباً برابر باشد و اگر هر کدام از مسیرها تاخیر متفاوتی داشته باشند، عبور بسته های یک جریان از مسیرهای مختلف باعث می شود که بسته ها خارج از ترتیب به مقصد برسند که سبب تاخیر در تحویل بسته ها و نیازمندی های حافظه می شود. علاوه بر این، عدم ترتیب در دریافت بسته های یک جریان TCP و ارسال بسته های TCP یک جریان روی چند مسیر با  $RTT^{۲۲}$  های متفاوت، سبب تولید سیگنال های غلط مربوط به ازدحام، و افت غیر ضروری بازده و عملکرد می شود. یعنی خارج از ترتیب رسیدن بسته ها در این شرایط سبب می شود که TCP استنباط کند تلفات رخ داده است. برای مثال وقتی بسته با شماره ترتیب بزرگ تر قبل از بسته با شماره ترتیب کوچک تر از راه می رسد، اگر سه بسته یا بیشتر قبل از یک بسته تاخیردار از راه برسند، TCP وارد مرحله ارسال دوباره سریع<sup>۲۳</sup> می شود که با دوباره ارسال کردن بسته های تاخیردار منجر به استفاده ناکارآمد از پهنای باند می گردد. بنابراین، این روش عملکرد بسیار پایینی در مسیرهای با تاخیر طولانی دارد.

عدم مطلوبیت برای کاربردهای اشکال زدائی<sup>۲۴</sup>: برنامه های کاربردی اشکال زدائی رایج مانند Ping و Route trace در حضور مسیرهای چندگانه کمتر قابل اعتماد هستند و گاهی نتایج کاملاً غلطی را نمایش می دهند.

درهم ریختگی<sup>۲۵</sup>: از آنجا که تعداد مسیر بیش تری برای ارسال نسبت به حالت تک مسیر استفاده می شود، احتمال خارج از ترتیب رسیدن بسته ها و تلفات بسته ها بیش تر می شود. اگر مسیرهای چندگانه در طول مسیر با اضافه یا حذف کردن گام-های بعدی تغییر کنند، برای حداقل شدن میزان درهم ریختگی،

لازم است که تعداد جریان کمتری درگیر مسیرهای در حال تغییر باشند.

### ۳-۱-۲- ارسال مبتنی بر جریان

همان گونه که قبلاً هم به آن اشاره شد، برای توزیع بار در سطح بسته، مسیر هر بسته مستقل از سایر بسته ها به صورت نوبت گردشی یا تصادفی انتخاب می شود. بنابراین بسته هایی که متعلق به یک جریان هستند ممکن است در رسیدن به مقصد مسیرهای متفاوتی را طی کنند. (جریان به صورت دنباله ای از بسته ها تعریف می شود که در آن بسته ها آدرس های مشابه دارند، مانند آدرس های IP مبدا/مقصد و شماره های پورت ها) هر چند این روش به سادگی پیاده می شود ولی چون مسیرهای مختلف تاخیرهای متفاوتی دارند، می تواند برای کاربردها مشکل ساز باشد. برای اجتناب از تغییرات تاخیر زیاد که برای عملکرد سرویس TCP و برخط مشکل ساز است، مطلوب است که همه بسته های یک جریان از یک مسیر عبور کنند حتی زمانی که چند مسیر موجود است. در این روش، تقسیم ترافیک به ازای هر جریان انجام می شود به گونه ای که ترتیب بسته های متعلق به یک جریان حفظ گردد. یکی از روش های توزیع بار در سطح جریان، در دو مرحله انجام می شود: فیلدهای سرآیند IP که در همه بسته های یک جریان مشترک هستند به یک عدد تصادفی درهم ساز<sup>۲۶</sup> می شوند. بنابراین برای بسته های جریان مشابه مقدار درهم ساز یکسان به دست می آید. سپس مسیرهای توزیع بار را از طریق تخصیص محدوده های درهم سازی که با هم هم پوشانی ندارند به پورت های خروجی، انجام می دهند. مسیرهای بسته ها را به آن پورت خروجی می فرستند که مقدار درهم ساز تخصیص داده شده به آن، شامل مقدار درهم ساز بسته ها باشد و به این ترتیب بسته های مربوط به هر جریان از مسیر یکسانی ارسال می شوند [۱۹]. تقسیم ترافیک بر اساس تابع درهم ساز، یکی از روش های رایج تقسیم بار می باشد که در ادامه به طور مجزا بیان خواهد شد.

برای دنبال کردن جریان های فعال باید اطلاعات زیادی در شبکه نگهداری شود. برای این منظور یک جدول ارسال استفاده می شود که مشخص می کند هر جریان فعال از چه مسیرهایی عبور می کند.

### ۳-۱-۳- ارسال مبتنی بر جریان های کوچک<sup>۲۷</sup>

در این روش ترافیک به قطار بسته ها تقسیم می شود [۲۰]. اگر زمان بین دو بسته متوالی بزرگ تر از حداکثر تفاوت تاخیر بین

مسیرهای چندگانه باشد، بسته دوم و بسته‌های بعدی جریان، بدون خطر خارج از ترتیب رسیدن می‌توانند روی هر کدام از مسیرهای در دسترس ارسال شوند. حسن این روش در این است که بسته‌های یک جریان به ترتیب به مقصد می‌رسند درحالی‌که لازم نیست مانند روش ارسال مبتنی بر جریان، حالت شبکه مربوط به هر جریان نگهداری شود. این روش نسبت به روش ارسال مبتنی بر جریان اطلاعات کم‌تری نگهداری می‌کند زیرا تعداد قطار بسته‌های فعال نسبت به جریان‌های فعال کم‌تر است. با این حال به دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی، هنوز در شبکه‌های واقعی پیاده‌سازی نشده است.

### ۳-۱-۴- تقسیم بر اساس آدرس مقصد در بین پرش‌های بعدی در دسترس در ورودی‌ها

تقسیم ترافیک بر اساس آدرس مقصد در بین پرش‌های بعدی در دسترس، تقسیم بار غیرقابل پیش‌بینی و نامتعادلی را فراهم می‌کند. پیشوندهای آدرس مقصد کوتاه، مشکل‌آفرین هستند زیرا در رسیدن به یک گره مقصد، بیشتر ترافیک اغلب به سمت یک پیشوند هدایت می‌شود.

### ۳-۱-۵- تقسیم ترافیک بر طبق تابع درهم ساز اعمال شده به زوج مبدا و مقصد

الگوریتم‌های تقسیم ترافیک مبتنی بر درهم سازی اغلب به کمک سخت‌افزار به سادگی محاسبه می‌شوند و مستقل از حالت شبکه هستند. هدف از اعمال تابع درهم ساز تصادفی کردن فضای آدرس است تا از تمرکز ترافیک در یک محدوده خاص جلوگیری شود. طرح‌های درهم سازی برای توزیع بار به دو دسته درهم سازی مستقیم و درهم سازی مبتنی بر جدول تقسیم می‌شوند. درهم سازی مستقیم روش ساده‌ای از تقسیم ترافیک می‌باشد. در این شیوه، یک تابع درهم ساز به مجموعه‌ای از فیلدهای پنج‌تایی آدرس مبدا، آدرس مقصد، پورت مبدا، پورت مقصد و شناسه پروتکل اعمال می‌شود و از مقدار خروجی تابع درهم ساز استفاده می‌شود تا پیوند خروجی مشخص شود و به این شیوه، ترتیب بسته‌ها به ازای هر جریان حفظ می‌گردد. این شیوه راحت پیاده‌سازی می‌شود و لازم نیست هیچ حالت اضافه‌ای نگهداری شود. هر چند در این روش تقسیم ترافیک مبتنی بر جریان است اما ترافیک نمی‌تواند غیر یکنواخت توزیع شود و از آنجا که حالت را نگهداری نمی‌کند، بنابراین مهندسی ترافیک پویا با این روش قابل پیاده‌سازی نیست.

انواع توابع درهم ساز مورد استفاده

یک تابع درهم ساز خوب باید توزیع یکنواخت داشته باشد یعنی هر ورودی به احتمال برابر به پیوندهای خروجی، نگاشت شود، مستقل از این که سایر ورودی‌ها کجا نگاشت شده‌باشند [۲۱]. در عمل روش‌های شهودی برای تعیین یک تابع درهم ساز خوب استفاده می‌شوند. اولین مطالعه جامع روی محدوده وسیعی از طرح‌های مبتنی بر درهم سازی در [۱۶] ارائه شده‌است. برای اعمال تابع درهم ساز، در راستای اختصاص بسته به یکی از پیوندهای خروجی می‌توان از یکی از شیوه‌های زیر استفاده نمود [۱۸]:

#### درهم ساز به پیمانانه $N$ <sup>۲۸</sup>

برای انتخاب یکی از دسته‌ها از بین  $N$  دسته، مسیریاب یک درهم ساز به پیمانانه  $N$  روی فیلدهای سرآیند بسته انجام می‌دهد. این روش سریع عمل می‌کند.

#### آستانه‌ی درهم ساز $N$ <sup>۲۹</sup>

ابتدا مسیریاب تابع درهم ساز را روی فیلدهای سرآیند بسته اجرا می‌کند. فضای خروجی تابع درهم ساز بین پیوندهای خروجی تقسیم می‌شود به گونه‌ای که به هر کدام از پیوندهای خروجی، حوزه‌ی یکتایی از برد تابع درهم ساز اختصاص داده می‌شود. با مقایسه مقدار خروجی درهم ساز و مقادیر اختصاص داده شده به هر کدام از حوزه‌ها، مسیریاب تعیین می‌کند که مقدار درهم ساز به کدام حوزه تعلق دارد.

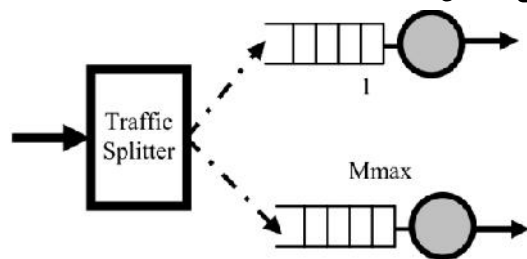
#### بیش‌ترین مقدار تصادفی<sup>۳۰</sup>

مسیریاب با اجرای تابع درهم ساز روی فیلدهای سرآیند بسته و روی آدرس پرش بعدی، برای هر کدام از پرش‌های بعدی، کلیدی را محاسبه می‌کند. سپس پرش بعدی با بیش‌ترین مقدار کلید را انتخاب می‌کند. این روش برای حداکثر کردن پایداری مسیرها استفاده می‌شود.

یکی از الگوریتم‌های درهم سازی،  $CRC$  شانزده بیتی<sup>۳۱</sup> است که در [۲۲] به عنوان روشی برای متوازن کردن بار پیشنهاد شده است. این الگوریتم هر چند در مقایسه با سایر الگوریتم‌های درهم سازی پیچیده‌تر است، به‌طور موفقیت‌آمیزی در سیستم‌های با سرعت بالا پیاده‌سازی شده است. در این الگوریتم، تقسیم‌کننده ترافیک،  $CRC$  شانزده بیتی را روی مجموعه پنج-تایی فیلدهای سرآیند بسته اعمال می‌کند، سپس پیمانانه  $N$  را انجام می‌دهد تا پیوند خروجی را به‌دست آورد. از آنجا که این شیوه از هر دو آدرس مبدا و مقصد استفاده می‌کند، مشکل تقسیم نامتعادل روش پیشوند را ندارد. تابع درهم ساز به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

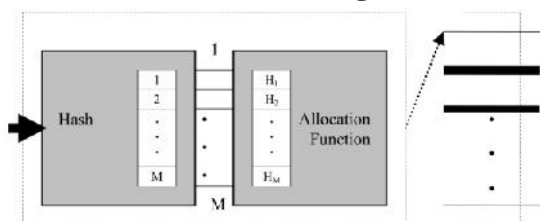
توزیع متعادل بار روی مسیرهای چندگانه را مشخص می‌کند [۱۹].

یک سیستم توزیع بار مطابق شکل (۳) در حالت کلی از یک تقسیم‌کننده ترافیک، یک جدول تخصیص و تعدادی پیوند خروجی تشکیل شده است [29,28,23,27,26, 25,21,24,20].



شکل (۳): سیستم توزیع بار [۳۰]

همان گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، ترافیک ورودی مطابق با معیاری اصلی ابتدا به  $M$  قسمت تقسیم می‌شود. این کار در گره ورودی انجام می‌شود.  $M$  نشان دهنده حداقل مقدار ترافیکی است که می‌تواند روی مسیرهای مختلف انتقال داده شود. سپس با استفاده از یک جدول تخصیص، ترافیک از روی  $M$  قسمت به مسیرهای از قبل آماده شده که مسیرهای IP یا LSP هستند، تصویر می‌شود.



شکل (۴): اجزای سیستم توزیع بار [۳۰]

در [۲۴] و [۲۵] و [۲۶] و [۲۷] و [۲۰] و [۲۳] و [۲۱] از درهم سازی مبتنی بر جدول به عنوان تابع تقسیم‌کننده استفاده شده است و برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز، هم‌زمان بسته‌های کاوشگر به همه مسیرهای در دسترس ارسال می‌شوند. تفاوتی که در تحقیقات انجام شده تاکنون در این رابطه وجود دارد در نحوه جدا کردن ترافیک و ارسال آن روی مسیرهای خروجی با استفاده از جدول تخصیص است. انتخاب تابع تخصیص منجر به شکل‌گیری جدول تخصیص مربوط به آن می‌شود. دو شیوه کلی برای انتخاب تابع تخصیص شامل شیوه‌های شهودی [۲۷] و [۲۶] و [۲۵] و شیوه‌های مبتنی بر انواع بهینه‌سازی [۲۴] و [۲۰] و [۲۳] و [۲۱] می‌باشند.

همان‌طور که قبلاً گفته شد، شباهت این دو دسته در تقسیم ترافیک، در ارسال بسته‌های کاوشگر برای اندازه‌گیری پارامترهای

$$H(.) = CRC16(5 - tuple) \bmod N \quad (۱)$$

هرچند روش درهم سازی مستقیم ساده است مشکلاتی هم دارد. در این شیوه تنها می‌توان ترافیک را در مقدارهای مساوی بین پیوندهای خروجی تقسیم کرد. بنابراین نمی‌توان نحوه توزیع بار را تنظیم نمود.

در روش درهم سازی مبتنی بر جدول ابتدا ترافیک ورودی به  $M$  دسته تقسیم می‌شود. سپس  $M$  دسته مطابق با یک جدول تخصیص به  $N$  پیوند خروجی تصویر می‌شوند. با تغییر دادن نحوه اختصاص دسته‌ها به پیوندهای خروجی می‌توان ترافیک را با نسبت مشخص توزیع کرد. هم‌چنین می‌توان با تنظیم کردن جدول تخصیص، عملکرد تقسیم ترافیک را بهبود بخشید. نسبت  $M$  و  $N$  درجه تنظیم<sup>۳۲</sup> را مشخص می‌کند. اگر  $M=N$  باشد، درهم سازی مبتنی بر جدول به درهم سازی مستقیم تبدیل می‌شود.

### ۳-۲- توزیع بار وابسته به حالت شبکه

هر چند توزیع بار مستقل از حالت می‌تواند ترافیک را در مسیرهای چندگانه تقسیم کند، به دلیل نداشتن اطلاع از شرایط بار شبکه، امکان وقوع ازدحام وجود دارد. بنابراین نیاز به الگوریتم‌هایی که به صورت پویا و با توجه به حالت فعلی شبکه یعنی میزان استفاده از شبکه، تاخیر ابتدا تا انتها، میزان تلفات بسته در مسیر و غیره، ترافیک را در مسیرهای چندگانه تقسیم کنند، ضروری است.

اولین قدم برای ارسال ترافیک روی مسیرهای چندگانه، انتخاب مسیر مناسب بدون حلقه برای ارسال هر بسته است. یعنی از بین مسیرهای موجود، هر بسته روی کدام مسیر ارسال شود. دومین قدم به دست آوردن اطلاعات کارآمد از وضعیت ازدحام شبکه است. برای این منظور مسیرهای مرزی با استفاده از اندازه‌گیری خصوصیات مسیر، مشخص می‌کنند که کدام مسیر برای هر کلاس ترافیک مناسب‌تر است و این کار را با ارسال بسته‌های کاوشگر درون شبکه انجام می‌دهند [۲۳]. به-این صورت که گره ورودی بسته‌های کاوشگر را به‌طور متناوب به گره خروجی می‌فرستد و سپس، دوباره به گره ورودی بازگردانده می‌شوند. بر مبنای بسته‌های کاوشگر بازگشت شده، گره ورودی می‌تواند مشخصات مسیر مانند تاخیر ابتدا تا انتها، میزان تلفات بسته و غیره را به دست آورد. سومین قدم، تقسیم بار متناسب با ازدحام شبکه در بین مسیرهای در دسترس می‌باشد. قدم نهایی، نحوه هدایت اطلاعات روی مسیرهای چندگانه است که شیوه

مورد نیاز مسیره‌ها می‌باشد که در مرحله بعد به عنوان ورودی برای تابع تخصیص استفاده می‌شوند.

با توزیع بار روی مسیره‌های چندگانه بر اساس اطلاعات برخط از حالت ازدحام شبکه، جریان‌ها ممکن است دوباره مسیریابی شوند یا در بین مسیره‌ها جابه‌جا گردند. به این پدیده نوسان<sup>۳۳</sup> گفته می‌شود. نوسان سبب تغییرات تاخیر و به هم ریختگی بسته‌ها می‌شود و عملکرد کاربردهای مبتنی بر TCP را کاهش می‌دهد. تغییرات متناوب مسیر بر پروتکل‌های رزرو منابع نیز تاثیرگذار است. مسیریابی مجدد، در وضعیت حالت‌های رزرو گسستگی ایجاد می‌کند و سبب پیچیده شدن مکانیزم‌های برقراری مجدد می‌شود. روش‌های وابسته به حالتی همچون OMP<sup>۳۴</sup> نمی‌توانند به خوبی با مسئله نوسان هماهنگ شوند [۱۹]. هرچند OMP عملکرد شبکه را افزایش می‌دهد، زمان انطباق آن با تغییرات بار (زمان همگرایی) از مرتبه چند ساعت است، زیرا OMP باید مقدار به روز رسانی‌هایی را که در توزیع بار ایجاد می‌شود، محدود کند تا از نوسان عبور کند.

طرح‌های درهم سازی که برای توزیع متعادل بار در سطح جریان ارائه شده‌اند، تا وقتی که توزیع بار در هیچ کدام از مسیریاب‌های مسیر عوض نشود، مسیر عبوری یک جریان مشخص را تغییر نمی‌دهند. زیرا درهم سازی تنها روی فیلدهای سرآیند IP انجام می‌شود. بنابراین، اگر محدوده‌های درهم ساز (یعنی توزیع بار) در یک مسیریاب تغییر کنند، جریان اصلی با مقدار درهم ساز ثابت خود، ممکن است به یک مسیر دیگر مقید شود. CSLLS<sup>۳۵</sup> با استفاده از درهم سازی دو مرحله‌ای این مشکل را برطرف می‌کند. علاوه بر درهم سازی سرآیند بسته، CSLLS هم چنین درهم سازی مبتنی بر زمان نیز انجام می‌دهد. درهم سازی مبتنی بر زمان از زمان ورود جریان‌ها استفاده می‌کند تا جریان‌ها را به بازه‌های زمانی درهم ساز کند. برای هر بازه زمانی یک مجموعه از محدوده‌های درهم ساز در مسیریاب‌ها نگهداری می‌شوند. بنابراین، اگر مجموعه مربوط به یک بازه زمانی برای دوباره متعادل کردن بار شبکه، به‌روز شود، تنها جریان‌هایی که به این بازه زمانی خاص درهم ساز شده‌اند تحت تاثیر قرار می‌گیرند [۱۹].

در [۲۳] که یکی از مهم‌ترین تحقیقات انجام‌شده در زمینه تقسیم بار روی مسیره‌های چندگانه است، از الگوریتم تصویر گردایان برای حل مسئله بهینه‌سازی مقید استفاده می‌شود که سبب پیچیدگی محاسباتی زیاد و همگرایی کند می‌شود و شرایط شبکه‌های واقعی را کم‌تر در نظر می‌گیرد. در این روش مهندسی ترافیک با تقسیم بار روی مسیره‌های چندگانه MPLS انجام می‌-

شود. مهندسی ترافیک مبتنی بر MPLS می‌تواند مسیریابی بهینه را انجام دهد اما با افزایش اندازه شبکه به خوبی منطبق نمی‌شود. علاوه بر [۲۳] سایر مطالعات [۳۱ و ۳۲] نیز بر روش‌های پویای تقسیم ترافیک مبتنی بر بهینه‌سازی متمرکز می‌شوند که از سرعت کافی برای توزیع ترافیک برخوردار نیستند.

یکی از مشکلات مسیریابی در مسیره‌های چندگانه، میزان گسترش‌پذیری شیوه انتخابی است [۱۵]. در یک دید کلی شیوه‌های مبتنی بر بهینه‌سازی به دلیل محاسبات زیاد سبب افزایش پیچیدگی می‌شوند. بنابراین توان محاسباتی مورد نیاز شبکه افزایش می‌یابد و سرباره محاسباتی زیادی به شبکه تحمیل می‌شود. در مقایسه، شیوه‌های شهودی با در نظر گرفتن پارامترهای مسیر و میزان ترافیک ارسالی متناسب با آن، از لحاظ پیاده‌سازی عملی کم‌هزینه‌تر، سریع‌تر و گسترش‌پذیرتر هستند. بر اساس پارامتر انتخابی، توزیع بار به صورت شهودی به روش‌های مختلفی قابل انجام است.

از روش‌های برقراری مسیر بین فرستنده و گیرنده در شیوه‌های مهندسی ترافیک، استفاده از وزن‌های پیوند است که به صورت برون خط بر مبنای تخمین تقاضاهای ترافیکی دراز مدت به دست می‌آیند. (در عمل پیاده سازی دقیق آن مشکل بوده و ممکن است پایدار نباشد). یک روش دیگر ایجاد یک مسیر جایگزین برای تونل‌ها و انتقال ترافیک بین آن‌ها در پاسخ به نوسانات می‌باشد. (این روش موجب سرباره تنظیمات و مدیریت می‌شود و احتمال وقوع خطای مربوط به تنظیمات افزایش می‌یابد). SculptTE یک روش مهندسی ترافیک پایدار است و موجب سرباره تنظیمات نمی‌گردد و بار شبکه را با تنظیم کردن وزن پیوندها به‌طور پیوسته و بر خط، درون شبکه متعادل می‌کند [۳۳]. وزن پیوندها در همبندی شبکه به‌طور متناوب با نمونه‌برداری بارها روی آن پیوندها به‌دست می‌آید، بنابراین هزینه پیوند به‌طور مستقیم به مقدار ترافیک روی هر پیوند مربوط می‌شود و به‌طور پیوسته با تغییر نیازمندی‌های ترافیک، تغییر می‌کند. این شیوه، مستقل است و به تنظیمات همبندی جایگزین نیاز ندارد و حتی در صورتی که اطلاعاتی از تقاضای ترافیکی در دسترس نباشد، به خوبی عمل می‌کند. با این وجود، هزینه تنظیم همبندی‌ها به‌صورت برخط این است که احتمال ناپایداری نسبت به روش‌های پیشین که همبندی ثابت بود، افزایش می‌یابد. علیرغم این، تنظیم وزن پیوندها ساده و شهودی است و حداقل سرباره را سبب می‌شود.

در [۳۴] ابتدا LSP هایی که گره مشترک ندارند، محاسبه می‌شوند و سپس با مقایسه پهنای باند LSP با پهنای باند

مجموعه جریان، LSP مناسب به ترافیک اختصاص داده می‌شود. با شبیه‌سازی نشان داده می‌شود که اگر اطلاعات صحیحی از شبکه در دسترس باشد، آن‌گاه ترافیک بیشتری روی پیوندهای با بار کمتر منتقل می‌شود. در [۳۵] شیوه‌ای برای مسیریابی مجدد ترافیک در شبکه با ازدحام ارائه می‌شود. از آنجا که MPLS زمان قابل ملاحظه‌ای را برای مسیریابی مجدد ترافیک صرف می‌کند، برای حل این موضوع، این الگوریتم به شیوه توزیع شده عمل می‌کند و هر گره در نمایش ازدحام شرکت می‌کند. اگر یک پیوند با ازدحام پیدا شد، الگوریتم پیوند، جایگزین مناسب را با مقایسه پیوند با یک آستانه انتخاب می‌کند تا ترافیک دوباره وارد پیوند با ازدحام دیگری نشود.

### ۳-۲-۱- توزیع بار مبتنی بر تاخیر ابتدا تا انتها

هدف از اجرای این الگوریتم‌ها، کنترل کردن ترافیک ورودی شبکه به‌طور گسترده بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده از متوسط تاخیر یک‌طرفه مسیر بین زوج مسیریاب‌های ورودی و خروجی شبکه می‌باشد. برای اندازه‌گیری تاخیر از بسته‌های کاوشگر استفاده می‌شود، سپس با استفاده از یک معادله شهودی مبتنی بر تاخیر، ترافیک ورودی در بین مسیرها تقسیم می‌شود [۳۶ و ۳۷ و ۳۸ و ۲۶].

در این شیوه تنها مسیریاب‌های ورودی و خروجی اندازه‌گیری را انجام می‌دهند، بنابراین از این لحاظ بار عملیاتی مسیریاب‌های درون شبکه کاهش می‌یابد. برای اندازه‌گیری تاخیر، یک بسته کاوشگر از مبدا به سمت مقصد ارسال می‌شود. زمان ارسال بسته در مبدا و زمان دریافت بسته توسط مقصد هر دو مشخص می‌شوند. سپس مبدا برای اجتناب از اثرات گذرای ترافیک، از تاخیر یک طرفه به‌دست آمده متوسط‌گیری نمایی<sup>۳۶</sup> می‌کند.

هرچند با این روش می‌توان ترافیک را متناسب با تغییرات پویای شبکه تقسیم کرد اما به دلایلی این تقسیم ترافیک بهینه نمی‌باشد. اندازه‌گیری مبتنی بر ارسال بسته‌های کاوشگر بدون همکاری شبکه نمی‌تواند اطلاعات صحیحی از وضعیت شبکه فراهم کند چرا که تنها یک نمونه کوتاه‌مدت از وضعیت شبکه را در نظر می‌گیرد. از طرفی پارامتر تاخیر به تنهایی نمی‌تواند به‌طور دقیق نشان‌دهنده میزان ازدحام شبکه باشد. شرایطی را در نظر بگیرید که پیوندهای شبکه سرعت‌های متفاوتی داشته‌باشند. انتقال بسته‌ها روی پیوندهای با سرعت کم، مدت زمان بیشتری در مقایسه با انتقال بسته‌ها روی پیوندهای با سرعت زیاد نیاز دارد. از طرفی اتصالات کم سرعت معمولاً ازدحام کم‌تری دارند.

در نتیجه تقسیم ترافیک مطابق با میزان تاخیر مسیرها، منجر به ارسال حجم بیش‌تر ترافیک روی اتصالات با سرعت بالا می‌شود و تنها مقدار کمی بر روی اتصالات کند ارسال می‌شود. این امر سبب افزایش میزان ازدحام می‌گردد و بر کاربردهای حساس به تاخیر مانند ترافیک‌های چندرسانه‌ای صوت و تصویر تاثیر منفی خواهد گذاشت.

### ۳-۲-۲- توزیع بار مبتنی بر تاخیر ابتدا تا انتها و تلفات بسته

با توجه به مشکلات گفته شده پیرامون استفاده از پارامتر تاخیر برای تقسیم بار، استفاده از سایر پارامترها در کنار پارامتر تاخیر برای فراهم کردن مقیاس درستی از میزان ازدحام شبکه هم‌چون تلفات بسته در طی مسیر ضروری است. در [۲۵] پارامتری معرفی می‌شود که به‌طور معکوس با تاخیر و مربع ریشه تلفات بسته روی مسیر متناسب است. این الگوریتم به‌طور موازی تاخیر و تلفات را روی همه مسیرها بین یک مبدا و مقصد محاسبه می‌کند. سپس ترافیک متناسب با پارامتر معرفی شده توزیع می‌گردد. در ادامه این کار [۲۷] یک الگوریتم متعادل کردن بار بر مبنای اندازه‌گیری برخط ایجاد می‌شود که قادر است یکپارچگی مسیر به ازای هر جریان را نگه دارد و ازدحام را حداقل کند.

برای تخمین تلفات بسته مسیر، از بسته‌های کاوشگر استفاده می‌شود. گره ورودی از فیلدی در بسته کاوشگر استفاده می‌کند تا تعداد بسته‌های ارسال شده را مشخص کند. هم‌چنین گره خروجی از فیلد دیگری برای تعیین تعداد بسته‌های رسیده به مقصد استفاده می‌کند. پس از بازگشت بسته کاوشگر، مبدا می‌تواند از روی تعداد بسته ارسال شده و تعداد بسته دریافت شده میزان احتمال تلفات بسته را به‌دست آورد. پس از آن با استفاده از دو پارامتر تاخیر و تلفات بسته و متوسط‌گیری روی آنها ترافیک را روی مسیرهای در دسترس تقسیم می‌کند. هرچند این روش نسبت به روش قبلی بهبود داشته است اما باز هم از چند مشکل اساسی رنج می‌برد.

ارسال بسته‌های کاوشگر به‌طور متناوب از مبدا به مقصد یک ترافیک اضافی به شبکه تزریق می‌کند. اگر میزان این ترافیک زیاد باشد سبب افزایش بار شبکه می‌شود و روی عملکرد ترافیک اصلی اثر نامطلوب خواهد گذاشت. اندازه‌گیری تاخیر مسیر با استفاده از ارسال یک یا چند بسته کاوشگر در هر بازه اندازه‌گیری انجام می‌شود که تاثیر بر ترافیک اصلی نخواهد

مقصد		
تقسیم بر اساس تابع درهم ساز به طور مستقیم	مستقل از حالت شبکه	- سادگی پیاده سازی - حفظ ترتیب بسته ها - عدم امکان توزیع غیر یکنواخت و پویا
محاسبه تابع درهم سازی مبتنی بر جدول به طور شهودی و ارسال بسته- های کاوشگر	وابسته به حالت شبکه	- هزینه کم - قابلیت پیاده سازی عملی - سرعت و گسترش پذیری - دقت ناکافی
محاسبه تابع درهم سازی مبتنی بر جدول به طریق بهینه سازی و ارسال بسته های کاوشگر	وابسته به حالت شبکه	- دقت بالا - محاسبات زیاد - پیچیدگی - تحمیل سرباره زیاد

### ۳-۳- توزیع بار آگاه به توان

شبکه های امروزی به گونه ای طراحی شده اند که ترافیک بیشتری را در مطمئن ترین شیوه، بدون در نظر گرفتن استفاده بهینه انرژی، منتقل کنند. یک شبکه معمولاً پیوندهای اضافه بسیاری می سازد تا بتواند خطاهای پیوند و توده های ترافیک را برطرف کند. هر چند این پیوندها و پهنای باند اضافه، قابلیت اطمینان شبکه را افزایش می دهند، به شدت سبب کاهش استفاده بهینه از انرژی شبکه می شوند. زیرا همه وسایل شبکه با ظرفیت کامل در همه زمان ها روشن هستند اما بیشتر اوقات بی استفاده هستند. افزونگی زیاد مسیر و استفاده کم پیوندها نیاز به مهندسی ترافیک آگاه به توان را سبب می شود. هنگامی که چند مسیر بین یک زوج فرستنده و گیرنده موجود هستند و حجم ترافیک روی هر مسیر کم است، می توان ترافیک را روی تعداد مسیر کمتری منتقل کرد به گونه ای که سایر مسیرها برای یک دوره زمانی گسترده بتوانند ترافیکی حمل نکنند. مسیرهایی که پیوند- های بلا استفاده دارند، می توانند این پیوندها را در حالت خواب قرار دهند تا انرژی ذخیره گردد.

GreenTE یک مکانیزم مهندسی ترافیک آگاه به توان ارائه می دهد که مصرف توان شبکه را کاهش می دهد، درحالی که عملکرد شبکه را در سطح مطلوب نگه می دارد [۳۹]. این روش به صورت یک مسئله MIP<sup>۳۷</sup> مدل می شود و هدف آن ماکزیمم کردن کل توان ذخیره شده می باشد. نیازمندی های عملکرد مانند حداکثر میزان بهره وری اتصالات<sup>۳۸</sup> MLU و تاخیر شبکه به عنوان قیدهای مسئله مطرح می شوند.

شیوه های مهندسی ترافیک سنتی و مهندسی ترافیک آگاه به توان دو هدف مخالف دارند: درحالی که اولی سعی می کند

داشت. درحالی که نمونه برداری کردن از میزان ازدحام شبکه نیازمند ارسال متناوب تعداد بیش تر بسته کاوشگر می باشد که روی عملکرد ترافیک اصلی مخصوصاً در اتصالات با سرعت کم تاثیر منفی خواهد گذاشت.

در هر دو روش گفته شده عیب اساسی در اندازه گیری معیارهای مورد نظر تقسیم ترافیک بر اساس بسته های کاوشگر و بدون همکاری شبکه می باشد. پارامترهای به دست آمده بر اساس یک برش لحظه ای از شبکه بدست می آیند و نمی توانند تغییرات پویای شبکه را به درستی نشان دهند. راه حل، دخالت دادن مسیرهای درون شبکه برای همکاری در اندازه گیری پارامترها می باشد. به این منظور می توان با تلفیق یک الگوریتم کنترل پذیرش پایانه ای و یک شیوه تقسیم بار بهینه در مسیرهای چندگانه، از داشتن مسیرهای با منابع کافی برای فراهم کردن در شبکه حداکثر استفاده را برد. جدول (۱) روش های متعادل کردن بار معرفی شده را به طور خلاصه نشان می دهد.

امروزه صرفه جویی در مصرف انرژی و ارتباطات سبز از اهمیت ویژه ای برخوردار است لذا علاوه بر تقسیم بندی کلی که از روش های توزیع بار ارائه گردید در ادامه روش های توزیع بار آگاه به توان نیز توضیح داده می شوند.

جدول (۱): خلاصه روش های متعادل کردن بار

عنوان و توضیح روش	نوع روش	مزایا و معایب روش
نوبت گردشی وزن دار	مستقل از حالت شبکه	- سادگی پیاده سازی - سرباره محاسباتی کم - مناسب برای مسیرهای با تاخیر یکسان - عملکرد ضعیف برای تاخیرهای متفاوت - عدم مطلوبیت برای کاربردهای اشکال زدائی - درهم ریختگی
ارسال مبتنی بر جریان	مستقل از حالت شبکه	- حفظ ترتیب بسته های یک جریان - نگهداری اطلاعات زیاد برای دنبال کردن جریان ها
ارسال مبتنی بر جریان- های کوچک	مستقل از حالت شبکه	- حفظ ترتیب بسته ها - نگهداری اطلاعات کم برای دنبال کردن جریان ها - پیچیدگی محاسباتی
تقسیم بر اساس آدرس	مستقل از حالت شبکه	- تقسیم بار تا متعادل

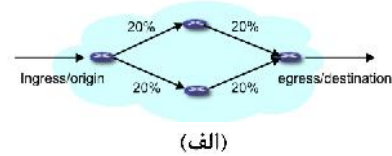
#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله مسیریابی روی مسیره‌های چندگانه مورد بررسی قرار گرفت. اگر بتوان با الگوریتم مناسب توزیع بار، ترافیک هر کاربر را درون شبکه هدایت کرد، این نوع مسیریابی می‌تواند در مقایسه با مسیریابی سنتی تک مسیره موجب بهبود راندمان شبکه گردد. الگوریتم‌های توزیع بار می‌توانند مستقل از حالت شبکه باشند. هرچند توزیع بار مستقل از حالت می‌تواند ترافیک را به مسیره‌های چندگانه تقسیم کند، به دلیل نداشتن اطلاع از شرایط بار شبکه، امکان وقوع ازدحام وجود دارد. بنابراین الگوریتم‌هایی که به صورت پویا و با توجه به حالت فعلی شبکه ترافیک را در مسیره‌های چندگانه تقسیم کنند، کارآمدتر هستند. این الگوریتم‌ها از یک تابع اختصاص استفاده می‌کنند. این تابع با شیوه‌های بهینه‌سازی و شهودی قابل دستیابی است. شیوه‌های شهودی به دلیل گسترش پذیری و محاسبات کم و سهولت پیاده‌سازی مورد استفاده عملی قرار می‌گیرند. به منظور استفاده بهینه از انرژی شبکه، الگوریتم‌های توزیع بار آگاه به توان معرفی شدند. درحالی‌که شیوه‌های مهندسی ترافیک سنتی سعی می‌کنند ترافیک را به‌طور یکنواخت بین پیوندها تقسیم کنند، روش‌های آگاه به توان، ترافیک را به مجموعه‌ای از پیوندها محدود می‌کنند و سایر پیوندها در حالت خواب قرار داده می‌شوند.

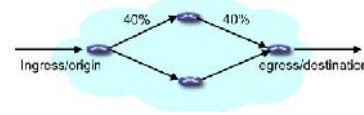
#### مراجع

- [1] Yaghmaee, M., Bahekmat, M., Khojasteh Toussi, G., "A Novel Fuzzy Logic Base Scheduling Mechanism for Service Differentiation in IP Networks", Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 5, No. 2, pp. 58-68, 2008.
- [2] Yaghmaee, M., Menhaj, M., Amintoosi, H., "A Fuzzy Extension to the BLUE Active Queue Management Algorithm", Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 1, No. 3, pp. 3-14, 2005.
- [3] Avduche, D., Chiu, A., Elwalid, A., Vdjaja, I., Xiao, X., "Overview and Principles of Internet Traffic Engineering", IETF Internet Draft, 2002, <https://www.ietf.org/rfc/rfc3272.txt>
- [4] Singh, R., Chaudhari, N., Saxena, K., "Load Balancing in IP/MPLS Networks: A Survey", Communications and Network, Vol. 4, No. 2, pp. 151-156, 2012.
- [5] Wang, N., Ho, K.H., Pavlou, G., Howarth, M., "An Overview of Routing Optimization for Internet Traffic Engineering", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 10, No. 1, pp. 36-56, 2008.
- [6] Lee, G.M., Choi, J.S., "A survey of multipath routing for traffic engineering", Korea, 2002.

ترافیک را به‌طور یکنواخت بین پیوندها تقسیم کند، دومی ترافیک را به مجموعه‌ای از پیوندها محدود می‌کند. این مقایسه در شکل (۵) تصویر شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۵): مهندسی ترافیک با دو دیدگاه متفاوت: (الف) سنتی (ب) آگاه به توان [39]

GreenTE برحسب ذخیره توان، استفاده پیوند، تاخیر بسته و پایداری مسیریابی ارزیابی می‌شود. این روش می‌تواند ۲۷٪ تا ۴۲٪ ذخیره توان را روی line-card ها تحت شرایطی که MLU زیر ۵۰٪ باشد و ابعاد شبکه نیز تغییر نکند، ایجاد کند. روش GreenTE با داشتن همبندی شبکه و ماتریس ترافیک یک راه حل مسیریابی پیدا می‌کند (یعنی پیوندهایی که باید استفاده شوند و حجم ترافیک که باید روی هر پیوند حمل شود). که ذخیره توان را با خاموش کردن line-card ها حداکثر می‌کند و هم زمان محدودیت‌های عملکرد نظیر میزان بهره وری پیوند و تاخیر بسته را برآورده می‌کند.

به جای جستجوی راه حل در همه مسیره‌های ممکن، از مسیره‌های انتخابی استفاده می‌شود. مسیره‌های انتخابی بر اساس  $k$  تا از کوتاه‌ترین مسیره‌ها انتخاب می‌شوند. از آن جا که این  $k$  مسیر با استفاده از همبندی شبکه محاسبه می‌شوند، با ماتریس ترافیک تغییری نمی‌کنند و سرباره محاسباتی زیادی ایجاد نمی‌شود.

در شیوه‌های مهندسی ترافیک سنتی، توزیع متعادل بار هدف اصلی است. به این منظور، پس از به‌دست آوردن پیوند هایی که باید در وضعیت خواب باشند، مسیره‌هایی که شامل این پیوندها هستند، از مجموعه اولیه مسیره‌ها حذف می‌شوند و مجموعه جدیدی از مسیره‌ها به‌دست می‌آید که ترافیک می‌تواند روی آن‌ها متعادل توزیع گردد، به این صورت که MLU روی پیوندهایی که روشن هستند حداقل گردد [۳۹].

- [26] Gao, D., Shu, Y., Liu, S., Yang, O.W.W., "Delay-Based Adaptive Load Balancing in MPLS Networks", IEEE International Conference on Communications, Vol. 2, pp. 1184-1188, 2002.
- [27] He, X., Tang, H., Zhu, M., Chu, Q., "Flow-Level Based Adaptive Load Balancing in MPLS Networks", China, 2009.
- [28] Long, K., Zhang Z., Cheng S., "Load Balancing in MPLS Traffic Engineering", IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, Dallas, 2001.
- [29] Donoso, Y., Fabregat, R., Marzo, J., "Multi-Objective Optimization Algorithm for Multicast Routing with Traffic Engineering", IEEE ICN, 2004.
- [30] Hesselbach, X., Fabregat, R., Baran, B., Donoso, Y., Solano F., Huerta, M., "Hashing Based Traffic Partitioning in a Multicast-Multipath MPLS Network Model", Colombia, 2005.
- [31] Kandula, S., Katabi, D., Davie, B., and Charny, A., "Walking the Tightrope: Responsive yet Stable Traffic Engineering", SIGCOMM, 2005.
- [32] Wang, H., Xie, H., Qiu, L., Yang, Y. R., Zhang, Y., Greenberg, A., "Cope: Traffic Engineering in Dynamic Networks", ACM SIGCOMM, 2006.
- [33] Sundaresan, S., Lumezanu, C., Feamster, N., François, P., "Autonomous Traffic Engineering with Self-Configuring Topologies", SIGCOMM, pp. 417-418, 2010.
- [34] Tang, J., Siew, C.K., Feng, G., "Parallel LSPs for Constraint-Based Routing and Load Balancing in MPLS Networks", IEEE Proceedings of Communications, Vol. 152, No. 1, pp. 6-12, 2005.
- [35] Mohamed, S., Elsayed, K., "Distributed Explicit Partial Rerouting (DEPR) Scheme for Load Balancing in MPLS Networks", 11th IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 884-889, Sardinia, 2006.
- [36] Cui, B., Yang, Z., Ding, W., "A Parallel Label Switch Paths Traffic Allocation Algorithm Based On Minimum Utilization Of Resource", Journal Of Beijing University Of Posts And Telecommunications, Vol. 28, No. 2, pp. 21-24, 2005.
- [37] Zhao, Z., "Flow-Level Multipath Load Balancing in MPLS Network", IEEE International Conference on Communications, 2004.
- [38] Xu, S., Wei, D., "Adaptive Traffic Distribution on Parallel LSPs Based on the Minimization of Total Traffic Delay", ACTA ELECTRONICA SINICA, Vol. 31, No. 1, 2003.
- [39] Zhang, M., Yi, C., Liu, B., Zhang, B., "GreenTE: Power-Aware Traffic Engineering", Network Protocols, pp. 21-30, 2010.
- [7] Vutukury, S., Garcia-Luna-Aceves, J.J., "A Simple Approximation to Minimum-Delay Routing", SIGCOMM '99, pp. 227-238, 1999.
- [8] Castineyra, I., Chiappa, N., Steenstrup, M., "The Nimrod Routing Architecture", IETF RFC1992, 1996, <https://tools.ietf.org/html/rfc1992>
- [9] Moy, J., "OSPF version 2", RFC2328, 1988.
- [10] Narvaez, P., Siu, K.Y., "Efficient Algorithms for Multi-Path Link State Routing", ISCOM, Taiwan, 1999.
- [11] Palakurthi, H.S., "Study of Multipath Routing for QoS Provisioning", 2001.
- [12] Vutukury, S., Garcia-Luna-Aceves, J.J., "MDVA: A Distance-Vector Multipath Routing protocol", INFOCOM, Vol. 1, pp. 557-564, 2001.
- [13] Vutukury, S., Multipath Routing Mechanisms for Traffic Engineering and Quality of Service in the Internet, Ph.D. Thesis, University of California, 2001.
- [14] Kazmi, N., Koster, A., Branke, J., "Formulations and Algorithms for the Multi-Path Selection Problem in Network Routing", ICUMT, pp. 738 – 744, 2012.
- [15] He, J., Rexford, J., "Towards Internet-Wide Multipath Routing", Network IEEE, Vol. 22, No.2, pp. 16-21, Princeton University, 2008.
- [16] Cao, Z., Wang, Z., Zegura, E., "Performance of Hashing-Based Schemes for Internet Load Balancing", IEEE INFOCOM, Vol.1, pp. 332-341, Israel, 2000.
- [17] Villamizar, C., "OSPF Optimized Multipath (OSPF-OMP)", Internet Draft, 1999.
- [18] Thaler, D., Hopps, C., "Multipath Issues in Unicast and Multicast Next-Hop Selection", RFC 2991, 2000, <http://www.hjp.at/doc/rfc/rfc2991.html>
- [19] Takács, A., Császár, A., Szabó, R., Henk, T., "Generic Multipath Routing Concept for Dynamic Traffic Engineering", IEEE Communications Letters, Vol. 10, No. 2, pp. 126-128, 2006.
- [20] Kandula, S., Katabi, D., Sinha, S., Berger, A., "Dynamic Load Balancing Without Packet Reordering", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007.
- [21] Hesselbach, X., Fabregat, R., Kolias, C., "The Impact Over the Packets Sequence at the Output Interface in Load Balancing Strategies", Transparent Optical Networks, pp. 263 – 266, 2006.
- [22] International Organization for Standardization, "Information Processing Systems: Data Communication High-Level Data Link Control Procedure Frame Structure", ISO 3309, 1984.
- [23] Elwalid, A., Jin, C., Low, S., Widjaja, I., "MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering", IEEE INFOCOM, Vol. 3, pp. 1300-1309, 2001.
- [24] Abrahamsson, H., Ahlgren, B., Alonso, J., Andersson, A., Kreuger, P., "A Multi Path Routing Algorithm for IP Networks Based on Flow Optimization", Lecture Notes in Computer Science, pp. 135-144, 2002.
- [25] Yuan, G., Chen, Y., Wei, Y., Nie, S., "A Distributable Traffic-Based MPLS Dynamic Load Balancing Scheme", Asia-Pacific Conference on Communications, pp. 684-689, Western Australia, 2005.

## زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Jitter
- <sup>2</sup> Fast failure recovery
- <sup>3</sup> Intra-Domain
- <sup>4</sup> Inter-Domain



- 
- 5 Online
  - 6 Offline
  - 7 Unicast
  - 8 Multicast
  - 9 Path Quantity
  - 10 Path Independence
  - 11 Equal Cost Multi-Path
  - 12 Multiple Path Algorithm
  - 13 Discount Shortest Path Algorithm
  - 14 Capacity Removal Algorithm
  - 15 Multipath Distance Vector Algorithm
  - 16 Multipath Partial Dissemination Algorithm
  - 17 Quality Multiple Partial Dissemination Algorithm
  - 18 Constrain Shortest Path First
  - 19 Time-dependent
  - 20 State-dependent
  - 21 Weighted Round Robin
  - 22 Round Trip Time
  - 23 Fast Retransmit
  - 24 Debugging
  - 25 Disruption
  - 26 Hash
  - 27 Flowlet
  - 28 Modulo-N Hash
  - 29 Hash Threshold
  - 30 Highest Random Weight
  - 31 Cyclic Redundant Checksum
  - 32 Granularity
  - 33 Oscillation
  - 34 Optimised MultiPath
  - 35 Core-State-Limited Load Sharing
  - 36 Exponential Weighted Moving Average (EWMA)
  - 37 Mixed Integer Programming
  - 38 Maximum Link Utilization



