

# تدارک پویای پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمایز با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی

مهری رجائی

دانشکده مهندسی شهید نیکبخت  
دانشگاه سیستان و بلوچستان  
rajayi@ece.usb.ac.ir

محمدرضا میبدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
mmeybodi@aut.ac.ir

تمتایز، جریان‌هایی که متعلق به کلاس یکسانی هستند با هم در یک گروه قرار گرفته و به صورت یک جریان واحد با آنها رفتار می‌شود. دو گروه، ارسال مطمئن (AF)<sup>۴</sup> [Y] و ارسال سریع (EF)<sup>۵</sup> [λ] در سرویس متمایز پیشنهاد شده است.

برای تضمین کیفیت سرویس قراردادی تحت نام توافق سطح سرویس<sup>۶</sup> بین مشتری و ارائه‌دهنده سرویس منعقد می‌شود. در این قرارداد پارامترهای کیفیت سرویس، موارد تخلف و مسائل مالی به دقت مشخص می‌شود. تدارک منابع شبکه یکی از توابع مهم در مدیریت توافق سطح سرویس است که وظیفه آن پیکربندی منابع شبکه به منظور تضمین کیفیت سرویس می‌باشد. یکی از منابع شبکه پهنای باند می‌باشد. تدارک پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمایز شامل تخصیص پهنای باند هر اتصال به کلاس‌های مختلف سرویس می‌باشد. این کار غالباً توسط مسیریاب‌ها در حین زمانبندی ارسال بسته‌ها انجام می‌شود. چگونگی تخصیص پهنای باند برای هر کلاس به عواملی مانند میزان تقاضا برای هر کلاس، سطح کیفیت سرویس مورد نیاز برای هر کلاس و منابع موجود بستگی دارد.

تدارک پهنای باند به دو صورت ایستا و پویا انجام می‌شود. اگر میزان تخصیص به هر کلاس سرویس با گذشت زمان تغییر نکند تدارک به صورت ایستا و در صورتی که میزان تخصیص در طی زمان با توجه به ترافیک و سطح کیفیت سرویس ارائه شده تغییر کند، تدارک پهنای باند به صورت پویا می‌باشد. با توجه به اینکه ترافیک شبکه در طی زمان تغییر می‌کند روش‌های تخصیص ایستای پهنای باند کارایی و انعطاف‌پذیری لازم را ندارند و منجر به کاهش درصد استفاده از پهنای باند می‌گردد. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای تدارک پویای پهنای باند گزارش شده است. برخی روش‌های گزارش شده برای تدارک پویای پهنای باند از WFQ [۹،۱۰،۱۱] استفاده می‌کنند. این روش‌ها از نظر معیار تغییر وزن، اهداف و تعداد بروزرسانی با هم متفاوت هستند.

**چکیده:** در این مقاله یک روش کارا و ساده مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای تدارک پویای پهنای باند ارائه می‌شود. روش پیشنهادی سعی در ماکزیمم کردن استفاده از پهنای باند با این شرط که کیفیت سرویس از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر نشود، می‌کند. میزان تدارک پهنای باند برای هر کلاس سرویس به طور پویا در بازه‌های مشخصی از زمان براساس بازخوردی که از خود مسیریاب و مسیریاب‌های همسایه گرفته می‌شود تغییر می‌کند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داده است که با استفاده از روش تدارک پویای پیشنهادی می‌توان کیفیت سرویس بهتری در مقایسه با روش تدارک ایستا از لحاظ نرخ خرابی، تاخیر و گذردهی فراهم نمود. همچنین نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات قیمت، تغییرات ترافیک و نیازمندی کیفیت سرویس واکنش نشان می‌دهد و با سرعت بالایی به سمت استراتژی تدارک بهینه همگرا می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** سرویس متمایز، تدارک پویا، اتوماتای یادگیر سلولی، کیفیت سرویس.

## ۱- مقدمه

با پیشرفت سریع اینترنت و مطرح شدن کاربردهای جدیدی که نیاز به تضمین کیفیت سرویس دارند، IETF<sup>۱</sup> دو روش سرویس مجتمع<sup>۲</sup> [۴] و سرویس متمایز<sup>۳</sup> [۵،۶] برای ارائه کیفیت سرویس در اینترنت پیشنهاد کرده است. یک دامنه در سرویس متمایز گروهی از مسیریاب‌ها هستند که سطوح سرویس مشابه و سیاست‌های یکسانی دارند. مرز یک دامنه سرویس متمایز توسط مسیریاب‌های ورودی و خروجی تعیین می‌شود. از آنجا که در معماری سرویس متمایز جریان‌های ترافیک مشتری در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرند، پردازش‌های کنترلی مسیریاب‌های داخلی بر خلاف معماری سرویس مجتمع که برای هر جریان ترافیک انجام می‌گیرد، برای هر گروه انجام می‌گیرد. در داخل دامنه سرویس

<sup>۴</sup> Assured Forwarding (AF)

<sup>۵</sup> Expedited Forwarding (EF)

<sup>۶</sup> Service Level Agreement (SLA)

<sup>۱</sup> Internet Engineering Task Force

<sup>۲</sup> IntServ

<sup>۳</sup> DiffServ

ارسال مطمئن، نسبت به تدارک ایستا شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات برنامه‌ریزی قیمت، نرخ ترافیک، نیازمندی کیفیت سرویس واکنش نشان می‌دهد و با سرعت خوبی به سمت استراتژی تدارک بهینه همگرا می‌شود.

ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتاهای یادگیرسولولی مورد استفاده در مقاله به اختصار شرح داده می‌شود. در بخش ۳ روش تدارک پویای پهنای‌بند مبتنی بر اتوماتای یادگیر سولولی ارائه می‌شود و در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها ارائه می‌گردد. بخش نهایی نتیجه گیری می‌باشد.

## ۲- اتوماتای یادگیر سولولی

اتوماتای یادگیر یک مدل انتزاعی است که تعداد محدودی عمل را می‌تواند انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیطی احتمالی ارزیابی شده و پاسخی به اتوماتای یادگیر داده می‌شود. اتوماتای یادگیر از این پاسخ استفاده نموده و عمل خود را برای مرحله بعد انتخاب می‌کند [۱۹،۲۰]. اتوماتای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم می‌گردند. که در این مقاله از اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر استفاده شده است. برای مطالعه بیشتر به [۱۹] مراجعه کنید.

اتوماتای یادگیر سولولی [۲۱]، مدلی برای سیستم‌هایی است که از اجزای ساده‌ای تشکیل شده‌اند و رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگانش و نیز تجربیات گذشته‌اش تعیین و اصلاح می‌شود. اجزای ساده تشکیل‌دهنده این مدل، از طریق کنش و واکنش با یکدیگر می‌توانند رفتار پیچیده‌ای از خود نشان دهند. هر اتوماتای یادگیر سولولی، از یک اتوماتای سولولی تشکیل شده است که هر سلول آن به یک یا چند اتوماتای یادگیر مجهز می‌باشد که وضعیت این سلول را مشخص می‌سازد. در اتوماتای سولولی قانون محلی در محیط حاکم است و این قانون تعیین می‌کند که آیا عمل انتخاب شده توسط یک اتوماتان در یک سلول بایستی پاداش داده شود و یا جریمه شود. عمل دادن پاداش و یا جریمه منجر به بروز در آوردن ساختار اتوماتای یادگیر سولولی بمنظور نیل به یک هدف مشخص می‌گردد. برای مطالعه بیشتر درباره اتوماتاهای یادگیر سولولی و کاربردهای آن می‌توان به [۲۱] مراجعه کرد. قوانین در اتوماتای یادگیر سولولی به سه دسته عمومی، کلی، کلی خارجی تقسیم می‌گردند [۱۹]. در قوانین کلی خارجی مقدار یک سلول در مرحله بعدی هم به مقادیر همسایه‌های آن سلول و هم به خود سلول بستگی دارد.

## ۳- مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی، فرایند تنظیم وزن‌های کلاس‌ها در بازه‌های زمانی مشخصی که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود، فعال شده و وزن‌ها را بر اساس بازخوردی که از محیط می‌گیرد تعیین می‌کند. این روش، از طریق تغییر تطبیقی وزن‌های کلاس‌ها سعی در ماکزیمم کردن استفاده

در روش‌های [۱۱،۱۵،۱۶] بروزرسانی وزن‌های کلاس‌ها در هنگام شروع جریان ترافیک یا ارسال بسته صورت می‌گیرد، که با افزایش جریان‌های ترافیک مشتریان تعداد بروزرسانی‌ها افزایش می‌یابد. بعد از هر بروزرسانی، کلیه مسیرهای دامنه سرویس متمایز بایستی دوباره پیکربندی شوند و اگر تعداد بروزرسانی‌ها بالا باشد پیاده‌سازی این روش‌ها غیرممکن می‌شود.

در روش‌های گزارش شده در [۱۱،۱۵،۱۷] وزن‌های کلاس‌ها را در هنگام رخ دادن تخلف در کیفیت سرویس و تغییرات الگوی ترافیک کلاس‌ها تنظیم می‌کند. در [۱۸] روشی مبتنی بر یادگیری تقویتی برای تنظیم وزن‌ها ارائه شده است که با مشاهده واکنش محیط سعی در ماکزیمم کردن میزان درآمد در بلند مدت می‌کند. برای هر سه روش فوق تنظیم وزن بر اساس پاسخ محیط صورت می‌گیرد. در این روش‌ها سرعت همگرایی به سیاست بهینه تنظیم وزن‌ها، معیاری برای مقایسه و کارایی روش می‌باشد.

در [۱،۲] دو روش پویا که مسئله تدارک پهنای‌بند را با استفاده از اتوماتای یادگیر حل می‌کند بیان شده است. در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سولولی ارائه می‌شود که قوانین آن به صورت کلی خارجی<sup>۷</sup> است. در این مدل، مدل یادگیری مشابه [۱] است ولی در اینجا معیار تصمیم‌گیری فقط درآمد همان اتصال نیست بلکه درآمد همسایه‌ها نیز بر تصمیم‌گیری تاثیر می‌گذارد. خصوصیات روش پیشنهادی عبارتست از:

- وزن‌های صف‌های WFQ با استفاده از اتوماتاهای یادگیر سولولی تنظیم می‌گردد.
- تنظیم وزن صف‌های مسیریاب‌ها به صورت غیرمتمرکز در هر مسیریاب انجام می‌گیرد.
- برخلاف بسیاری از روش‌هایی که بروزرسانی به ازای هر تقاضای جدید یا هر تخلف انجام می‌گیرد. در روش پیشنهادی بروزرسانی در بازه‌های مشخصی از زمان که توسط مدیر سیستم تعیین می‌شود انجام می‌شود.
- قیمت‌گذاری بر اساس میزان استفاده از پهنای‌بند می‌باشد و هر تخلف مشمول جریمه می‌باشد.

برای بررسی کارایی روش پیشنهادی تعدادی شبیه‌سازی کامپیوتری انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با تدارک ایستا از متوسط تاخیر، نرخ خرابی و گذردهی بهتری برخوردار است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، بکارگیری روش پیشنهادی باعث افزایش ۱۶ درصدی سود، بهبود ۱۵ و ۳۴ درصدی تاخیر به ترتیب در کلاس‌های ارسال سریع و ارسال مطمئن و بهبود ۱۵/۷۴ و ۲/۷ برابری معکوس نرخ خرابی به ترتیب در کلاس‌های ارسال سریع و

<sup>7</sup> Outer totalistic

مسیریاب مورد نظر در مسیر حرکت جریان ترافیک قرار دارند. و دیگر همسایه‌هایی که در پایین جریان ترافیک قرار دارند.

**Algorithm dynamic provisioning**(i indicates router id and j indicates class)

- 1) Give violation in delay and throughput from destination node
- 2) Compute revenue of this interval  

$$rev_i = \sum (c_j \times t_{i,j} - p_{loss,j} \times I_{i,j} - p_{dly,j} - p_{thr,j} \times th_{i,j})$$
- 3) Compute average of revenue  

$$avgrev_i = \gamma rev_i + (1 - \gamma) avgrev_i$$
- 4) send its revenue and average revenue to its upstream cells
- 5) give revenue and average revenue from its down stream cells
- 6)  $revn_i =$  sum of revenue own cell and down stream cells
- 7)  $avgrevn_i =$  sum of average revenue own cell and down stream cells
- 8) for all class j
- 9)  $revnc_{i,j} =$  sum of revenue of class j own cell and down stream cells
- 10)  $avgrevnc_{i,j} =$  sum of average revenue class j own cell and down stream cells
- 11) ENDFOR
- 12) IF  $avgrevn_i \leq revn_i$  THEN
- 13)  $weight_s(t+1) = weight_s(t) + a[1 - weight_s(t)]^i$   
 indecates class in previous interval that increase its weight
- 14)  $weight_j(t+1) = (1 - a)weight_j(t) \quad \forall j \neq s$
- 15) ELSE
- 16)  $weight_j(t+1) = (1 - \beta)weight_j(t) \quad j = s$
- 17)  $weight_j(t+1) = (\beta/N - 1) + (1 - \beta)weight_j(t) \quad j \neq s$
- 18)  $C_m = \min \{ revnc_{i,j} / avgrevnc_{i,j} \quad \forall j \neq s \}$
- 19)  $weight_m(t+1) = weight_m(t) + a[1 - weight_m(t)]$
- 20)  $weight_j(t+1) = (1 - a)weight_j(t) \quad \forall j \neq m$
- 21) ENDIF
- 22) RETURN

#### شکل (۱): شبه‌کد الگوریتم تدارک پویا

در این مدل عامل‌های هر مسیریاب مشابه مدل [۱] عمل می‌کند با این تفاوت که در اینجا معیار تصمیم‌گیری مجموع درآمد خود سلول و سلول‌های همسایه پایین جریان هستند. دلیل آن این است که سعی شود مسیریاب‌ها با هم هماهنگ عمل نکنند. مثلاً ممکن است که در یک بازه زمانی (شکل ۲) مسیریاب C1 وزن کلاس EF را کاهش دهد در حالیکه مسیریاب C2 وزن کلاس EF خود را افزایش دهد. حال بسیاری از بسته‌های EF ممکن است در صف C1 از بین بروند یا منتظر بمانند در حالیکه مسیریاب C2 اغلب اوقات صف EF آن خالی باشد یا از آن به خوبی استفاده نشود. بنابراین هدف این است که هر مسیریاب طوری

از پهنای‌بند با این شرط که کیفیت سرویس از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر نشود، دارد. در این روش میزان هزینه قابل پرداخت توسط مشتری (میزان درآمد ارائه‌دهنده) بر اساس میزان استفاده و مطابق تابع درآمدی که در ادامه شرح داده می‌شود محاسبه می‌شود. در ادامه این قسمت ابتدا تابع درآمد مورد استفاده شرح داده می‌شود و سپس مدل پیشنهادی تدارک پویای پهنای‌بند که در آن وزن کلاس‌ها با استفاده از اتوماتاهای یادگیر سلولی تنظیم می‌شود ارائه می‌شود.

#### ۱-۴ تابع درآمد

در این مدل قیمت بر اساس مقدار استفاده از پهنای‌بند تعیین می‌شود و اگر کیفیت مورد نظر برآورده نشود یا بسته گم شود، ارائه‌دهنده به استفاده کننده جریمه پرداخت می‌نماید. ترافیک EF برای تاخیر و AF هم برای تاخیر و هم برای گذردهی جریمه می‌شود. میزان حساسیت یک پارامتر کیفیت سرویس برای کلاس‌های مختلف را می‌توان با تنظیم میزان جریمه آن پارامتر تعیین کرد.

یکی از دلایل به کارگیری قیمت‌گذاری بر اساس استفاده، عدم نیاز کاربران به دانستن خصوصیات ترافیک خود از قبل می‌باشد. با قیمت‌گذاری بر اساس استفاده، ارائه‌دهنده برای میزان ترافیکی که کیفیت سرویس برای آن طبق قرارداد توافق شده نیست جریمه پرداخت می‌کند. این روش هم برای ارائه‌دهنده و هم برای کاربر مناسب است زیرا منجر به افزایش میزان استفاده از پهنای‌بند و در نتیجه درآمد بیشتر می‌شود و از طرفی در هزینه‌های کاربر صرفه‌جویی می‌شود زیرا بر اساس میزان استفاده پول پرداخت می‌کند.

میزان درآمد مسیریاب  $i$  طبق [۱۸] به صورت محاسبه می‌شود.

$$r_i = \sum (c_j \times t_{i,j} - p_{loss,j} \times I_{i,j} - p_{dly,j} \times d_{i,j} - p_{thr,j} \times th_{i,j}) \quad (1)$$

که برای هر کلاس  $j$ ،  $c_j$  هزینه ارسال هر بیت ترافیک،  $t_{i,j}$  مقدار ترافیک فرستاده شده به وسیله مسیریاب  $i$ ،  $I_{i,j}$  تعداد بسته‌های گم شده در مسیریاب  $i$ ،  $d_{i,j}$  مقدار ترافیکی که از طریق مسیریاب  $i$  ارسال شده و دارای تاخیر بوده است و  $th_{i,j}$  تعداد بازه‌هایی که گذردهی مورد نظر برای ترافیک ارسال شده از طریق مسیریاب  $i$  برآورده نشده است می‌باشد.  $p_{loss,j}$  مقدار جریمه برای گم شدن هر بسته،  $p_{dly,j}$  جریمه برای هر بسته کلاس  $j$  که دارای تاخیر بوده است و  $p_{thr,j}$  جریمه بازه‌هایی که برای کلاس  $j$  گذردهی برآورده نشده است، می‌باشد.

#### ۲-۴ مدل مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی

هر مسیریاب در دامنه سرویس متمایز یک سلول در نظر گرفته می‌شود. از آنجائیکه سرویس متمایز یکطرفه است دو نوع همسایگی برای هر سلول وجود دارد: یکی همسایه‌هایی که در بالای جریان ترافیک قرار دارند (مسیریاب‌هایی که به مسیریاب مورد نظر متصل هستند و قبل از

متمایز، ترکیبی از هر سه کلاس می‌باشد. مشخصات ترافیک منابع S1 تا S6 در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): خصوصیات منابع ترافیک

منبع	نوع ترافیک	زمان on و off (ms)	زمان بین ورود (s)	نرخ (Kbps)
S1, S4	EF	۵۰۰	۱/۸۷۵	۳۰۰
S2, S5	BE	-	۰/۷۵	۵۰۰
S3, S6	AF	۵۰۰	۴/۵	۵۰۰

S1 منبع ترافیک EF است که به تاخیر حساس می‌باشد. S3 منبع ترافیک AF است که حساسیت به تاخیر آن کمتر از EF است ولی نیاز به گذردهی بالا دارد. منابع S1 تا S6 دارای مقاصد D1 تا D6 می‌باشند. بسته‌های ارسالی از همه منابع ترافیک ۱۰۰۰ بیتی هستند.

جدول (۲): وزن‌های WFQ برای استراتژی‌های مختلف تدارک

استراتژی تدارک	وزن‌های WFQ (EF:AF:BE)
Under-Provisioning	۱:۲:۳
On-Provisioning	۳:۴:۵
Over-Provisioning	۱:۱:۱

جدول (۳): برنامه‌ریزی قیمت‌گذاری

نوع ترافیک	هزینه	$P_{loss}$	$P_{dly}$	$P_{thr}$
EF	۰/۰۰۰۱	۰/۸	۰/۴	۰
AF	۰/۰۰۰۰۴	۰/۳۲	۰/۰۸	۱۰۰
BE	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۸	۰	۰

**جزئیات شبیه‌سازی:** زمان شبیه‌سازی ۳۰۰۰ ثانیه، بازه‌های بروز کردن وزن‌ها ۲۵۰ ثانیه و بازه‌های اندازه‌گیری گذردهی برابر ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی با هر سه استراتژی اولیه (جدول ۲) آزمایش شده است. جدول (۳) برنامه‌ریزی قیمت‌گذاری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

مقدار تاخیر مطلوب برای کلاس EF ۳۵ms و برای کلاس AF برابر ۴۵ms می‌باشد. اگر تاخیر بیشتر از میزان مطلوب باشد ارائه‌دهنده جریمه می‌شود. گذردهی مطلوب برای کلاس AF برابر ۲۰۰ kbps می‌باشد. اگر گذردهی کمتر از حد مطلوب باشد ارائه‌دهنده جریمه می‌شود. در همه شبیه‌سازی‌های انجام شده پارامتر پاداش  $\alpha$  برابر ۰/۲ و پارامتر جریمه  $\beta$  برابر ۰/۳ است.

**نتایج شبیه‌سازی:** مدل پیشنهادی برای هر سه استراتژی جدول

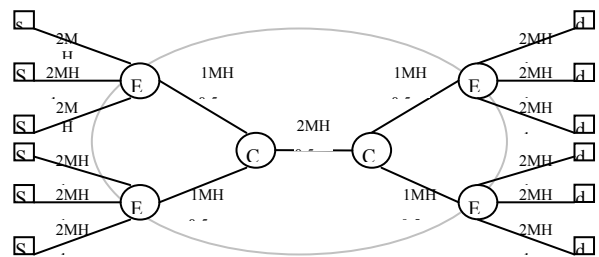
۲ شبیه‌سازی شده است ولی در اینجا نتایج به صورت متوسط برای سه استراتژی بیان شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها به طور مفصل در [۳] آمده است. جدول (۴) میزان بهبود را در هر یک از پارامترهای کیفیت سرویس به تفکیک کلاس برای مدل ارائه شده در [۲، ۱۸] و مدل

وزن‌های خود را تغییر دهد که باعث افزایش درآمد همسایه‌های پایینی نیز بشود. پس مجموع درآمد هر سلول و سلول‌های پایینی معیار تصمیم‌گیری است.

این مدل دارای دو نوع عامل، عامل یادگیر و عامل حساس‌رسی می‌باشد. که شبه‌کد مربوط به عملکرد آنها در شکل (۱) آمده است. عامل‌های یادگیر بر روی هر یک از مسیرهای دامنه سرویس متمایز قرار دارند. این عامل‌ها در بازه‌های زمانی مشخصی که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود فعال شده و بر اساس میزان درآمد خود سلول ( $rev_i$ ) و سلول‌های پایین جریان در بازه قبل (بازخورد محیط)، وزن‌های کلاس‌های سرویس را برای صف‌های مسیرهای مربوط به خود تنظیم می‌کنند (خط ۱۲). عامل‌های یادگیر در حین ارسال داده‌ها، تعداد بیت‌های ارسال شده از آن مسیرهای و تعداد بسته‌هایی که در صف‌های آن مسیرهای حذف شده‌اند را اندازه‌گیری می‌کنند. در پایان هر بازه پس از محاسبه میزان درآمد بازه قبل، اطلاعات درآمد هر گروه را برای همسایه‌های بالای جریان خود می‌فرستد. عامل‌های حساس‌رسی<sup>۸</sup> که در گروه‌های مقصد قرار دارند، برای هر مسیرهای دامنه بسته‌هایی که از مسیرهای عبور کرده‌اند و تاخیر مورد نظر رعایت نشده و تعداد بازه‌هایی که گذردهی کلاس AF کمتر از حد مقرر بوده است را اندازه‌گیری می‌کند. در پایان هر بازه، عامل‌های حساس‌رسی گزارش تخلفات را برای عامل‌هایی یادگیر مسیرهای مربوطه ارسال می‌کنند.

#### ۴- شبیه‌سازی

توپولوژی شکل (۲) و مدل پیشنهادی با استفاده از ns2 [۲۲] شبیه‌سازی شده است. توپولوژی مورد نظر دارای ۶ منبع ترافیک و ۶ مقصد ترافیک می‌باشد. زمان‌بندی بافرها با صف‌های WFQ مدل شده است که با افزودن بسته نرم‌افزاری [۲۳] به ns2 شبیه‌سازی گردیده است. اندازه بافر برای کلاس‌های AF و BE برابر ۱۰۰ و برای کلاس EF در حالت ایستا برابر ۲ (برای داشتن تاخیر پایینی) و برای روش پیشنهادی برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است تا با نگاه‌داشتن بسته‌های بیشتر در صف در عین پایین آوردن نرخ گم شدن، تاخیر افزایش نیابد

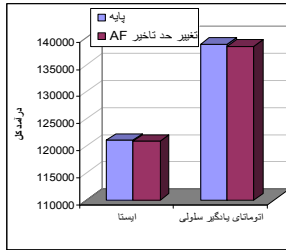


شکل (۲): توپولوژی سرویس متمایز

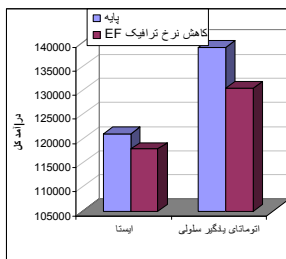
**مشخصات ترافیک:** در این شبیه‌سازی سه نوع سرویس EF, AF و BE به مشتریان ارائه می‌شود. ترافیک روی هر لینک دامنه سرویس

<sup>8</sup> Accounting

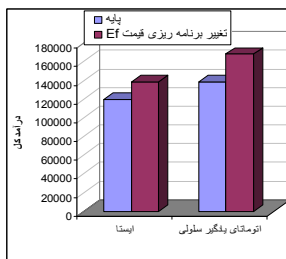
بالای تاخیر متوسط تاخیر کلاس AF با مدل پیشنهادی اندکی کاهش یافته است.



(الف) تغییر در حد تاخیر AF



(ب) تغییر در نرخ ترافیک EF



(ج) تغییر در قیمت گذاری EF

شکل (۳): مقایسه درآمد کل با تغییر در نیازمندی کیفیت سرویس و خصوصیات ترافیک و برنامه ریزی قیمت

در آزمایش بعدی، واکنش مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات در ترافیک ارزیابی می‌شود. در این آزمایش در زمان ۱۵۰۰ ثانیه نرخ ترافیک گره S1 از شکل (۲) که منبع ترافیک EF است نصف می‌شود. شکل (۳) - (ب) میزان درآمد حاصل در حالت بدون تغییر و حالت تغییر در نرخ ترافیک EF را نشان می‌دهد. باز هم مدل پیشنهادی بهتر از ایستا عمل کرده است.

در آزمایش بعدی، واکنش مدل پیشنهادی در مقابل تغییرات در برنامه ریزی قیمت بررسی می‌شود. در زمان ۱۵۰۰ ثانیه برنامه ریزی قیمت (هزینه و جریمه‌ها) کلاس EF که در جدول (۳) ذکر شد دو برابر می‌شود. شکل (۳) - (ج) میزان درآمد حاصل در حالت بدون تغییر و حالت تغییر در قیمت EF را نشان می‌دهد. باز هم مدل پیشنهادی بهتر از ایستا عمل کرده است.

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی پویا برای تدارک پهنای باند بر مبنای WFQ و با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی ارائه گردید. در این روش هر

پیشنهادی نسبت به مدل ایستا نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای همه مدل‌ها میزان پیشرفت نسبت به حالت ایستا براساس میانگین با استراتژی‌های مختلف سنجیده شده است. مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی برای کلاس‌های AF و EF بهتر از دومدل تدارک پویای دیگر کیفیت سرویس را ارائه می‌دهد. با مدل پیشنهادی به طور متوسط گذردهی کلاس EF ۸/۹٪ افزایش یافته است.

جدول (۴): میزان بهبود پارامترهای کیفیت سرویس در مدل‌های

مختلف

مدل	BE		AF		EF		درآمد			
	گذردهی	تأخیر	خرابی	گذردهی	تأخیر	خرابی				
[۱۸]	۰/۹۹۹۶	۰/۸۳۷	۰/۷۰۶	۰/۹۹۹۸	۱/۰۵۹	۰/۹۵۸	۱/۰۵۷۳	۰/۶۹۵	۲/۸۵۴	۱/۰۶۶
[۲]	۱/۰۰۰۳	۲/۱۶۳	۴/۷۵۵	۰/۹۹۷۳	۰/۷۱۹	۰/۱۲۹	۱/۰۵۹۳	۰/۷۲۵	۲/۹۶۰	۱/۰۵۹
پیشنهادی	۰/۹۹۹۱	۰/۵۸۶	۰/۳۶۴	۱/۰۰۰۰۲	۱/۳۳۸	۲/۷۰۱	۱/۰۸۹۱	۱/۱۴۹	۱۵/۷	۱/۱۵۸

معکوس نرخ خرابی مدل پیشنهادی در دو کلاس EF و AF به ترتیب ۱۵/۷۴ و ۲/۷ برابر حالت ایستا است. در هر سه استراتژی تعداد بسته‌های گم شده کلاس BE در مدل پیشنهادی افزایش یافته است ولی در عوض تعداد بسته‌های گم شده کلاس EF و AF کاهش یافته است. بنابراین نشان می‌دهد چون جریمه این دو کلاس بیشتر بوده است، خود را به استراتژی بهینه نزدیک کرده و نسبت به برنامه ریزی قیمت تعیین شده واکنش نشان داده است.

با توجه به جدول (۴) مشاهده می‌شود در مدل پیشنهادی متوسط تاخیر دو کلاس EF و AF کمتر از ایستا است. ولی در عوض متوسط تاخیر کلاس BE افزایش یافته است. از آنجا که تاخیر کلاس BE برای آن جریمه مشخص نشده است. بنابراین مدل پیشنهادی کیفیت کلاس BE را فدای کیفیت سایر کلاس‌ها کرده است. بنابراین به طور متوسط تاخیر کلاس EF و AF به ترتیب ۱۵٪ و ۳۴٪ نسبت به حالت ایستا بهبود یافته است.

مشاهده می‌شود برای هر استراتژی درآمد با مدل پیشنهادی بیشتر از ایستا است. از آنجا که قیمت گذاری بر اساس استفاده است و به ازای هر تخلف ارائه دهنده جریمه می‌شود بنابراین افزایش درآمد به معنی استفاده بهتر از پهنای باند و کیفیت سرویس بهتر است. با به کارگیری مدل پیشنهادی به طور متوسط ۱۶ درصد سود افزایش یافته است. آزمایش‌ها نشان داده است که مدل پیشنهادی مستقل از وزن‌های اولیه به استراتژی بهینه همگرا می‌شود

برای تست میزان واکنش به تغییر در نیازمندی‌های سرویس، نیازمندی تاخیر کلاس AF در زمان ۱۵۰۰ ثانیه از ۴۵ms به ۴۲ms تغییر می‌کند. شکل (۳) - (الف) میزان درآمد کل را در دو حالت بدون تغییر و با تغییر نیازمندی تاخیر AF نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی همچنان بیشترین میزان درآمد را دارد. و با تغییر در حد

- IP Network*, Proc. IEEE TENCON 2001, Singapore, Aug 2001.
- [14] C-C. Li, S. Tsao, M. Chen, Y. Sun, Y. Huang, *Proportional Delay Differentiation Service Based on Weighted Fair Queuing*, Proc. IEEE ICCCN 2000, October 2000.
- [15] R. F. Liao and A. T. Campbell, *Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service*, IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 12, No. 3, pp. 429- 442, June 2004 .
- [16] A. Parekh and R. Gallager, *A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Network: The Single node Case*, IEEE/ACM Transaction on networking, Vol. 1, No. 3, pp 334-357, June 1993.
- [17] R. F. Liao, A. T. Campbell, *Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service*, Proc. IEEE IWQoS 2001, June 2001.
- [18] T. C. K. Hui and C. K. Tham, *Adaptive Provisioning of Differentiated Services Networks based on Reinforcement Learning*, IEEE Transactions on Systems, Man& Cybernetics - Part C Applications. pp. 492-501, Autumn 2003.
- [19] P. Mars, J. R. Chen and R. Nambir, *Learning Algorithms: Theory and Applications in Signal Processing, Control and Communications*, CRC Press, Inc., pp. 5-24, 1996.
- [20] K. S. Narendra and, M. A. Thathachar, *Learning Automata: An Introduction*, Prentice Hall, Inc., 1989.
- [21] M. R. Meybodi, H. Beigy, *Cellular Learning Automata and Its Application*, Technical Report, Computer Eng. Dept., Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, March 2000.
- [22] UCB/LBNL/VINT, *Network Simulator*, ns-2, 1997. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [23] Package WFQ, <http://www.cc.jyu.fi/~sayenko/src/wfq-1.2.2.tar.gz>
- مسیریاب دامنه سرویس متمایز به عنوان یک سلول در نظر گرفته می‌شود که مجهز به یک اتوماتای یادگیر است. هر مسیریاب بر اساس درآمد خود و سلولهای همسایه پایین جریان با انجام عملیاتی ساده وزن‌های صف خود را بروز می‌کند. تبادل اطلاعات بین عناصر شبکه اندک می‌باشد. فقط در پایان هر بازه میزان درآمد خود را به همسایه‌های بالایی خود که عموماً از یک یا دو مسیریاب بیشتر نیست می‌فرستد. این مدل باعث ۱۶ درصد سود بیشتر و ۱۵٪ کیفیت بهتر در تاخیر EF و ۳۴٪ کیفیت بهتر در تاخیر AF و بهبود ۱۵/۷۴ برابری نرخ خرابی EF و ۲/۷ برابری نرخ خرابی AF شده است.
- ### ۶- مراجع
- [۱] م. رجایی، م. ر. میبیدی، تدارک پویای پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمایز با استفاده از اتوماتاهای یادگیر، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۶.
- [۲] م. رجایی، م. ر. میبیدی، یک روش تدارک پویای پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمایز به کمک اتوماتاهای یادگیر با معیار خبرگی اقدام-ها، گزارش فنی، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۴.
- [۳] م. رجایی، تدارک و قیمت‌گذاری پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمایز با استفاده از اتوماتاهای یادگیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی نرم‌افزار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۴.
- [4] S. Shenker, C. Patridge and R. Guerin, *Specification of Guaranteed Quality of Service*, IETF RFC 2212, September 1996.
- [5] Y. Bernet, J. Binder, S. Blake, *A Framework for Differentiated Services*, IETF Internet Draft, February, 1999.
- [6] S. Blake, D. Black, *An Architecture for Differentiated Services*, IETF RFC 2475, December 1998.
- [7] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, *Assured Forwarding PHB Group*, IETF RFC 2597, June 1999
- [8] V. Jacobsen, et al, *An Expedited Forwarding PHB*, IETF RFC 2598, June 1999.
- [9] C. Partridge, *Weighted Fair Queuing*, Gigabit Networking, pp 276, Addison Wesley Publishing, 1994.
- [10] U. Fiedler, *Porting a WFQ Scheduler into Ns-2's DiffServ Environment*, Student Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Institute of Technology Zurich, 2001. <http://www.simon.trinhall.cam.ac.uk/ukasyncforum15/forum15.pdf>
- [11] H. Wang, C. Shen and K. Shin, *Adaptive-Weighted Packet Scheduling for Premium Service*, Proc. IEEE ICC 2001, Jun 2001.
- [12] D. Hang, H. Shao, W. Zhu and Y. Zhang, *TD<sup>2</sup>FQ: An Integrated Traffic Scheduling and Shaping Scheme for DiffServ Networks*, Proc. IEEE HPSR 2001, May 2001.
- [13] M. F. Horng, W. Lee, K. Lee and Y. Kuo, *An Adaptive Approach to Weighted Fair Queue with QoS Enhanced on*