# الگوریتم وفقی دسته‌بندی ترافیک پخش زنده IPTV در شبکه EPON

محسن احمدزاده، محمد بهدادفر و محمدرضا نوری‌فرد

**چکیده: در این مقاله، الگوریتمی با قابلیت تنظیم وفقی برای دسته‌بندی بسته‌های IPTV با هدف کاهش نرخ از دست دادن بسته در شبکه غیر فعال نوری در بستر اترنت ارائه شده است. این الگوریتم به وسیله دسته‌بندی مناسب بسته‌های ورودی به OLT، عملکرد تخصیص پهنای باند با روش WRR را بهبود می‌بخشد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته توسط شبیه‌ساز NS، نرخ از دست دادن بسته در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین در بهترین حالت ٦٥٪ کاهش یافته است.**

***کلیدواژه:*** **شبکه غیر فعال نوری در بستر اترنت، الگوریتم دسته‌بندی بسته‌ها، نرخ از دست دادن بسته، ارسال گروهی.**

## ۱- مقدمه

امروزه استفاده از ابزارهای چندرسانه‌ای در بستر شبکه از جمله تلویزیون HD[۱]، تلویزیون پخش زنده و ویدئوهای روی شبکه در حال گسترش است. بر اساس پیش‌بینی صورت‌گرفته توسط کمپانی سیسکو در سال ۲۰۱۹ در هر ثانیه یک میلیون دقیقه محتوای ویدئویی در بستر اینترنت جابه‌جا خواهد شد که تقریباً ۸۰٪ از کل حجم ترافیک اینترنت خواهد بود [۱]. به همین دلیل، بررسی و بهبود عملکرد این سرویس اهمیت بالایی پیدا می‌کند.

یکی از سرویس‌های چندرسانه‌ای در بستر شبکه، سرویس IPTV می‌باشد که بر اساس استاندارد موجود در ITU-T FG IPTV، سرویسی است که محتوای ویدئویی، صوتی، متنی، گرافیکی و دیتا را در بستر شبکه و با پروتکل اینترنت توزیع می‌کند و سطوح مختلفی از کیفیت، امنیت و تعامل را به کاربر عرضه می‌کند [۲]. در این استاندارد، سرویس ویدئویی پخش زنده از شبکه مرکزی توزیع می‌شود و کاربر آن را از طریق شبکه دسترسی دریافت می‌کند.

کیفیت سرویس در شبکه دسترسی تأثیر مستقیمی بر کیفیت ویدئوی دریافتی دارد و به همین دلیل روش‌های مختلفی برای ارائه سطوح کیفیت سرویس در شبکه‌های دسترسی مورد بررسی قرار گرفته است [۳]. کیفیت ویدئوی دریافتی نیز از طریق بررسی پارامتر کیفیت تجربه کاربر مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به ویژگی‌های سرویس پخش زنده، کیفیت تجربه کاربر[۲] رابطه خاصی با پارامترهای شبکه دارد. در این سرویس، یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار روی کیفیت تجربه کاربر، نرخ از دست دادن بسته است و برای تحویل محتوای ویدئوی واضح[۳]، نرخ از دست دادن بسته باید کمتر از $10^{-6}$ باشد [۴].

شبکه دسترسی برای تحویل محتوای ویدئویی واضح باید دارای پهنای باند بزرگ باشد تا بتواند نرخ از دست دادن بسته ویدئویی را کاهش دهد. یکی از بهترین شبکه‌های دسترسی برای سرویس‌های چندرسانه‌ای فیبر نوری می‌باشد. بر اساس استاندارد IEEE۸۰۲.۳، معماری‌های مختلفی از جمله شبکه غیر فعال نوری[۴]، نظیر به نظیر[۵] و ... برای تحویل محتوا در بستر فیبر نوری طراحی شده است.

شبکه غیر فعال نوری به دلیل هزینه پایین و سهولت در پیاده‌سازی برای انتقال ویدئو در بستر فیبر نوری، مناسب‌تر از سایر توپولوژی‌های موجود می‌باشد [۵].

معماری شبکه غیر فعال نوری در بستر اترنت شامل یک OLT مرکزی، چندین مقسم نوری و واحدهای شبکه نوری به عنوان کاربر می‌باشد. OLT دارای ارتباط نظیر به چند نظیر با واحدهای شبکه نوری است تا در هزینه پایین، محتوای ویدئویی را به واحدهای شبکه نوری تحویل دهد [۶].

در شبکه EPON، OLT بسته‌ها را در مسیرهای فراسو و دریافت محتوا مدیریت می‌کند. در OLT از TDM برای بارگذاری محتوای واحدهای شبکه نوری در مسیر فراسو[۶] با هدف جلوگیری از تصادم بسته‌ها استفاده می‌شود. با این روش، هر واحد شبکه نوری تنها در مدت زمان خاصی می‌تواند محتوای خود را بارگذاری کند [۷]. در مسیر دریافت محتوا، OLT ترافیک سرورها را دریافت و آنها را از طریق مقسم برای واحدهای شبکه نوری پخش می‌کند. به دلیل تخصیص پهنای باند محدود به ترافیک‌های ورودی در OLT امکان از دست دادن بسته در OLT وجود دارد.

از دست دادن بسته در OLT مهم‌ترین عامل از دست دادن بسته در شبکه غیر فعال نوری می‌باشد [۸]. با هدف بهبود کیفیت ویدئوی دریافتی، روش‌های زیادی برای کاهش نرخ از دست دادن بسته در OLT ارائه شده که در ادامه به بررسی چند مورد می‌پردازیم.

در [۹] از ویژگی ارسال گروهی شبکه غیر فعال نوری برای کاهش نرخ از دست دادن بسته استفاده شده است. این روش که در OLT پیاده‌سازی می‌شود ابتدا بسته‌های ورودی را بر اساس تعداد تقاضای واحدهای شبکه نوری در سه صف دسته‌بندی می‌کند و سپس با محاسبه وزن

این مقاله در تاریخ ۱ بهمن ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۲۹ مرداد ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

محسن احمدزاده، دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، (email: m.ahmadzadehbolghan@gmail.com).

محمد بهدادفر، دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، (email: behdadfar@iribu.ac.ir).

محمدرضا نوری فرد، دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، (email: noorifard@iribu.ac.ir).

۱. High Definition

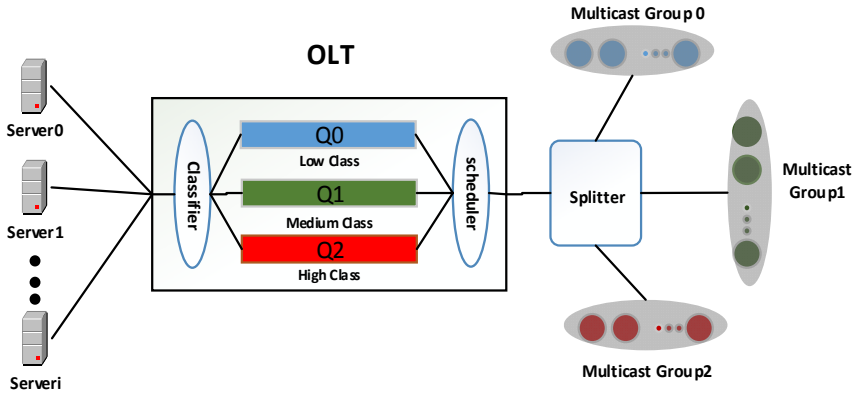
۲. Quality of Experience

۳. Clear Video

٤. Passive Optical Network

٥. Point To Point

٦. Upload




شکل ۱: معماری EPON برای روش FWA [۹].

هر صف بر اساس میانگین تقاضای آن، بسته‌ها را با اولویت وزن صف‌ها ارسال می‌کند.

روش تصحیح خطای ارسال‌شده[۱] به همراه روش چرخش نوبتی وزن‌دار[۲] در [۱۰] برای کاهش نرخ از دست دادن بسته استفاده شده است. در این روش، ابتدا ویدئو را کد کرده و به همراه بسته‌های اضافی تولیدشده، آن را به OLT ارسال می‌کند. سپس در OLT، ترافیک‌ها در سه صف دسته‌بندی شده و بر اساس اولویت هر صف، به واحدهای شبکه نوری ارسال می‌شود. واحدهای شبکه نوری پس از دریافت محتوا و با استفاده از بسته‌های اضافی، تعداد محدودی از بسته‌های از دست رفته را بازیابی می‌کنند.

روش دیگر برای کاهش اثر بسته‌های دور انداخته شده، استفاده از ویژگی ویدئوی ارسال‌شده است. در [۱۱] از روش دورانداختن[۳] هوشمند بسته‌ها در OLT استفاده شده است. این روش با توجه به این حقیقت که اطلاعات بسته‌های ویدئو دارای اهمیت متفاوت است عمل می‌کند. هر ویدئو پس از فشرده‌سازی به سه نوع تصویر $I$، $P$ و $B$ تبدیل می‌شود. تصویر $I$ دارای مهم‌ترین اطلاعات ویدئو است که در گیرنده قابلیت بازیابی ندارد و چندین تصویر دیگر نیز نسبت به آن کد می‌شود. تصویر از نوع $P$ تا حدودی قابلیت بازیابی دارد و تصاویر کمتری نسبت به آن کد می‌شوند، در نتیجه در اولویت دوم قرار دارد و در نهایت تصویر از نوع $B$ به دلیل قابلیت بازیابی مناسب در گیرنده در پایین‌ترین درجه اهمیت قرار دارد. این روش در هنگام ازدحام، بسته‌ها را به ترتیب اهمیت دور می‌اندازد. با این عمل در نرخ از دست دادن بسته یکسان، ویدئو با کیفیت بالاتری به کاربر تحویل داده می‌شود.

در [۱۲] روشی بر اساس حافظه‌های جانبی برای کاهش ازدحام روی شبکه غیر فعال نوری ارائه گردیده است. در این روش حافظه‌هایی در واحدهای شبکه نوری قرار داده شده که نیاز به ارسال تقاضای مجدد به OLT را برطرف می‌کند. بنابراین به جای ارسال دوباره محتوا، حافظه‌های موجود در واحدهای شبکه نوری محتوای مربوطه را تحویل خواهند داد. این راهکار باعث کاهش ازدحام روی شبکه و در نتیجه کاهش نرخ از دست دادن بسته خواهد شد.

در تمام روش‌های بالا در مسیر دریافت محتوا از روش چرخش نوبتی وزن‌دار در OLT استفاده شده است.

در [۹] روش جدیدی برای بهبود روش چرخش نوبتی وزن‌دار در شبکه غیر فعال نوری ارائه شده است. در این روش همانند روش‌های قبلی، ترافیک‌های ویدئو بر اساس تعداد تقاضای واحدهای نوری در صف‌هایی در OLT دسته‌بندی می‌شوند و سپس بر اساس میانگین تعداد واحدهای درخواست‌کننده هر صف و همچنین تعداد ترافیک‌های ورودی هر صف، وزن آن را محاسبه کرده و بر اساس آن به هر صف پهنای باند خاصی تخصیص داده می‌شود. این روش که FWA نام دارد، نرخ از دست دادن بسته را نسبت به روش‌های قبلی به طور چشم‌گیری کاهش داده است.

شکل ۱ معماری شبکه غیر فعال نوری در بستر اترنت به همراه روش FWA را نشان می‌دهد. در روش FWA ترافیک‌های ورودی به OLT بر اساس تعداد تقاضای واحدهای شبکه نوری به صورت (۱) در سه صف طبقه‌بندی می‌شوند

$$\begin{cases} Q_1 & , \quad n_i > N_1 \\ Q_2 & , \quad N_1 > n_i > N_2 \\ Q_3 & , \quad N_2 > n_i \end{cases} \qquad (1)$$

در این رابطه $n_i$ تعداد واحدهای شبکه نوری است که بسته $i$ام را تقاضا کرده‌اند و $N_1$ و $N_2$ آستانه صف‌های موجود در OLT می‌باشد. روش تخصیص پهنای باند FWA بر اساس تعداد متوسط واحدهای متقاضی هر صف و تعداد ترافیک‌های ورودی هر صف به صورت (۲) محاسبه می‌شود

$$BW_i = \alpha \frac{W_i}{\sum_{j=1}^{n} W_j} + \beta \frac{W_i \times num_i}{\sum_{j=1}^{n} W_j \times num_j} \qquad (2)$$

که $num_i$ تعداد ترافیک‌های ورودی صف $i$ام، $W_i$ وزن صف $i$ام، $BW_i$ درصد پهنای باند تخصیص داده شده به صف $i$ام و $\alpha$ و $\beta$ ضرایبی هستند که به صورت (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند

$$\beta = \frac{W_m \times num_m}{\sum_{j=1}^{n} (W_j \times num_j)} \qquad (3)$$

$$\alpha = 1 - \beta \qquad (4)$$

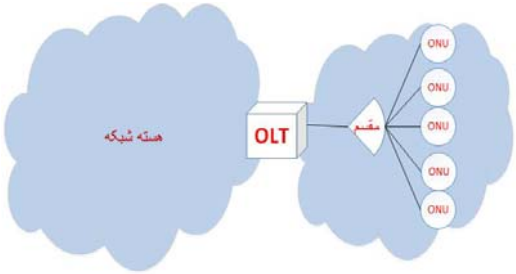
$W_m$ وزن صفی است که بیشترین ترافیک ورودی را دارد و $num_m$ تعداد ترافیک‌های ورودی آن صف می‌باشد.

وزن صف $i$ام به صورت (۵) محاسبه می‌شود

$$W_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \frac{n_{ij}}{K_i}} \qquad (5)$$

$n_{ij}$ تعداد واحدهای درخواست‌کننده ترافیک $j$ام در صف $i$ام و $K$ تعداد ترافیک‌های موجود در صف $i$ام است.

۱. Forward Error Correction
۲. Weighted Round Robin
۳. Drop




شکل ۲: معماری شبکه اترنت غیر فعال نوری.

الگوریتم FWA با استفاده از الگوریتم چرخش نوبتی وزن‌دار بسته‌ها را از OLT ارسال می‌کند که این بسته‌ها از طریق مقسم برای کاربران توزیع می‌شوند. در این حالت، در هر زمانی که OLT پیام عضویت یا ترک یک سرویس را از واحدهای شبکه نوری دریافت کند، وزن هر صف دوباره محاسبه شده و بر اساس آن پهنای باند جدید تخصیص داده می‌شود. این در حالی است که آستانه صف‌ها در تمام زمان‌ها ثابت بوده و منطبق با تغییرات شبکه تغییر نمی‌کند و تعداد تقاضای واحدهای شبکه نوری به صورت کاملاً نامتقارن در طول شبانه‌روز بین سرویس‌های مختلف شبکه IPTV تقسیم می‌شوند [۱۳].

در این مقاله روش جدیدی برای دسته‌بندی ترافیک در OLT ارائه شده است. این دسته‌بندی بر اساس توزیع تقاضای واحدهای شبکه نوری از سرویس‌های IPTV عمل می‌کند به نحوی که با توزیع مناسب ترافیک‌ها بین سه صف باعث کاهش نرخ از دست دادن بسته می‌شود. این روش پویای دسته‌بندی ترافیک (DTC)[۱] در هر لحظه، خود را با شرایط شبکه تطبیق داده و باعث تقسیم ترافیک‌های مشابه، بین صف‌های OLT می‌شود.

در ادامه مقاله در بخش ۲ به تشریح مدل شبکه IPTV مورد بررسی در بستر EPON پرداخته می‌شود. در بخش ۳ طرح مسأله و راه حل پیشنهادی برای آن به طور کامل تشریح می‌شود. در بخش ۴ نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت در بخش ۵ به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مختصری در مورد پژوهش اشاره می‌شود.

## ۲- مدل شبکه

معماری در نظر گرفته شده برای شبکه IPTV بر اساس مدل معرفی‌شده در [۱۴]، شامل دو قسمت اصلی هسته شبکه و شبکه دسترسی می‌باشد. محتوا از هسته شبکه ارسال شده و از طریق شبکه دسترسی به کاربران تحویل داده می‌شود.

معماری شبکه دسترسی در نظر گرفته شده برای روش DTC بر اساس مشخصات شبکه‌های EPON در شکل ۲ نشان داده شده است. این معماری شامل دو المان اصلی OLT و مقسم نوری می‌باشد که OLT محتوا را از سرورهای مرکز داده دریافت کرده و از طریق مقسم، آن را برای واحدهای شبکه نوری پخش می‌کند. هر واحد شبکه نوری دارای چندین ترمینال کاربر است که از این طریق محتوا را به کاربران تحویل می‌دهد. شبکه غیر فعال نوری در بستر اترنت با استفاده از روش ارسال همگانی، پهنای باند لازم برای ارسال محتوای چندرسانه‌ای را فراهم می‌کند. در این مدل برای توزیع محتوا به شکل ارسال همگانی، تنها یک ترافیک از سرور مرکز داده به شبکه غیر فعال نوری ارسال می‌شود. شبکه غیر فعال نوری محتوا را از طریق مقسم برای کاربران پخش می‌کند. بر این اساس، این شبکه می‌تواند سطوح مختلفی از کیفیت سرویس را برای کاربران فراهم کند [۸].

## ۳- روش DTC

الگوریتم‌های دسته‌بندی ارائه‌شده پیشین دارای آستانه‌های ثابتی برای صف‌ها بوده‌اند و به همین دلیل جریان‌های ورودی را به صورت استاتیک دسته‌بندی می‌کنند. در مواردی که تعداد تقاضای جریان‌ها در شبکه IPTV زیاد یا کم باشد، جریان‌ها با توجه به (۱)، تنها در یک یا دو صف دسته‌بندی خواهند شد و در نتیجه اولویت‌بندی بین جریان‌ها با دقت مناسبی انجام نمی‌شود و از این رو، عملکرد الگوریتم زمان‌بندی WRR تضعیف خواهد شد. همچنین در ساعاتی از شبانه‌روز، صف‌های مختلف، تعداد جریان‌های IPTV نزدیک به هم خواهند داشت که در چنین حالتی نیز می‌توان الگوریتم‌های دسته‌بندی ایستای موجود را به شکلی وفقی بهبود داد که در ادامه این بخش توضیح داده خواهد شد.

در این مقاله، الگوریتم DTC طوری طراحی شده که متناسب با شرایط شبکه بر اساس توزیع تعداد تقاضای ترافیک‌ها، جریان‌های ورودی به OLT را به صف‌های مختلفی دسته‌بندی می‌کند. این روش در هر لحظه بیشینه و کمینه تقاضای جریان‌های ورودی را به دست آورده و بر اساس آن آستانه هر صف را تغییر می‌دهد. در این مکانیزم با تغییر تعداد واحدهای متقاضی هر جریان، آستانه هر صف به صورت (۶) محاسبه می‌شود

$$\begin{cases} N_1 = \min n_i + \frac{2}{3}(\max n_i - \min n_i) \\ N_2 = \min n_i + \frac{1}{3}(\max n_i - \min n_i) \end{cases} \quad (۶)$$

که $\min n_i$ و $\max n_i$ بیشینه و کمینه تقاضای کاربران از سرویس‌های IPTV و $N_1$ و $N_2$ آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌های موجود در OLT می‌باشد.

در روش DTC در هر لحظه فاصله بین بیشینه و کمینه تعداد درخواست‌ها برای هر جریان به سه دسته تقسیم می‌شود. با این الگوریتم، روش دسته‌بندی در هر لحظه خود را با شرایط شبکه تطبیق داده و متناسب با آن، جریان‌های ورودی را دسته‌بندی می‌کند. برای درک بهتر مسأله، در ادامه عملکرد الگوریتم DTC در دو حالت از شبکه بررسی شده است. فرض کنید یک شبکه EPON با مقسم ۱:۳۲ دارای ۶ سرویس IPTV موجود باشد. همچنین آستانه‌های ایستای تعریف‌شده برای صف‌های موجود در OLT به صورت $N_1 = 20$ و $N_2 = 10$ انتخاب شده باشد.

**حالت ۱:** تعداد درخواست کاربران از سرویس‌های IPTV شماره ۱ تا ۶ به ترتیب به صورت ۲۰، ۲۱، ۲۵، ۲۶، ۳۰ و ۳۱ باشد. در این حالت، آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌ها در روش DTC به صورت (۷) محاسبه می‌شود

$$\begin{cases} N_1 = 20 + \frac{31-20}{3} \\ N_2 = 20 + 2/3 \times \frac{31-20}{3} \end{cases} \quad (۷)$$

**حالت ۲:** تعداد درخواست کاربران از سرویس‌های IPTV شماره ۱ تا ۶ به ترتیب به صورت ۸، ۲۱، ۱۹، ۲۰، ۱ و ۱۰ باشد. در این حالت، آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌های موجود در OLT در روش DTC به صورت (۸) محاسبه می‌شود

۱. Dynamic Traffic Classification

جدول ۱: شرایط OLT در الگوریتم FWA.

| نسبت BW | واریانس تقاضا | میانگین تقاضا | توزیع تقاضا | صف |
|---|---|---|---|---|
| ۴ | ۰،۲۵ | ۲،۵ | ۲۰،۲۱ | اولویت اول |
| ۴ | ۲۰،۲۵ | ۱۴،۵ | ۱۰،۱۹ | اولویت دوم |
| ۲ | ۱۲،۲۵ | ۴،۵ | ۱،۸ | اولویت سوم |

$$\begin{cases} N_1 = 1 + \frac{21-2}{3} \\ N_2 = 1 + 2 \times \frac{21-2}{3} \end{cases} \quad (8)$$

در روش دسته‌بندی الگوریتم FWA، آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌های OLT در تمام شرایط شبکه ثابت و برابر ۱۰ و ۲۰ می‌باشد. همچنین در حالت ۱، تعداد تقاضای کاربران برای هر یک از شش سرویس IPTV، بزرگ‌تر یا مساوی با ۲۰ تقاضا می‌باشد و بر این اساس، روش FWA تمام جریان‌های ورودی را در صف پراهمیت دسته‌بندی می‌کند. با این توزیع جریان‌ها که منجر به ذخیره آنها در تنها یک صف خواهد شد، استفاده از روش WRR برای زمان‌بندی پهنای باند موجود در OLT مفید نخواهد بود.

این در حالی است که طبق روش DTC، در این حالت، آستانه صف‌ها به صورت ۲۳/۶۶ و ۲۷/۳۳ محاسبه می‌شوند. بر این اساس، جریان‌های ۵ با ۳۰ تقاضا و ۶ با ۳۱ تقاضا در صف پراهمیت، همچنین جریان‌های ۳ با ۲۵ تقاضا و ۴ با ۲۶ تقاضا در صف متوسط و نیز جریان‌های ۱ با ۲۰ تقاضا و ۲ با ۲۱ تقاضا در صف کم‌اهمیت دسته‌بندی خواهند شد. در نتیجه می‌توان گفت DTC جریان‌های ورودی را به صورت کاملاً متقارن بین ۳ صف در OLT دسته‌بندی می‌کند به نحوی که در هر صف، یک‌سوم از جریان‌ها وارد می‌شوند. با توجه به تخصیص سه صف به جریان‌ها در این حالت، برخلاف حالت ۱، استفاده از روش WRR برای تخصیص پهنای باند در OLT مفید خواهد بود.

در صورت استفاده از الگوریتم FWA برای حالت ۲، جریان‌های ورودی به وسیله الگوریتم FWA به صورت کاملاً متقارن دسته‌بندی می‌شوند. در این حالت در صف پراهمیت، جریان ۴ با ۲۰ تقاضا و جریان ۲ با ۲۱ تقاضا، در صف با اهمیت متوسط، جریان ۳ با ۱۹ تقاضا و جریان ۶ با ۱۰ تقاضا و همچنین برای صف کم‌اهمیت، جریان ۱ با ۸ تقاضا و جریان ۵ با ۱ تقاضا قرار می‌گیرد. بر این اساس در هر صف، دو ششم از جریان‌ها وارد می‌شوند و این در حالی است که الگوریتم DTC، جریان‌ها را به صورت نامتقارن توزیع می‌کند. به صورت مشابه و بر اساس محاسبات انجام‌شده در (۸)، به وسیله این الگوریتم، ۵۰٪ جریان‌ها وارد صف اول، ۳۳٪ جریان‌ها وارد صف دوم و ۱۷٪ جریان‌ها وارد صف آخر می‌شوند. با وجود دسته‌بندی نامتقارن جریان‌ها می‌توان نشان داد الگوریتم دسته‌بندی DTC برای جریان‌هایی که متقاضی بیشتری دارند، پهنای باند را نسبت به FWA به شکل عادلانه‌تری توزیع می‌کند. این مسأله در ادامه برای حالت ۲ بررسی خواهد شد.

برای این حالت، شرایط صف‌های OLT برای الگوریتم FWA در جدول ۱ و شرایط صف‌های OLT برای الگوریتم DTC در جدول ۲ نمایش داده شده است.

چنانچه در جدول ۱ مشخص شده است واریانس یا تغییرات تقاضاها برای یک صف تا بزرگ‌تر از ۲۰ هم دیده می‌شود و این در حالی است که برای الگوریتم DTC بر اساس جدول ۲، بیشینه این تغییرات ۱ می‌باشد.

جدول ۲: شرایط OLT در الگوریتم DTC.

| نسبت BW | واریانس تقاضا | میانگین تقاضا | توزیع تقاضا | صف |
|---|---|---|---|---|
| ۶ | ۰/۶۶ | ۲۰ | ۱۹،۲۰،۲۱ | اولویت اول |
| ۳ | ۱ | ۹ | ۸،۱۰ | اولویت دوم |
| ۱ | ۰ | ۱ | ۱ | اولویت سوم |

بنابراین می‌توان گفت که DTC باعث خواهد شد تخصیص پهنای باند در هر صف به ازای تقاضاهای موجود برای هر جریان به شکل عادلانه‌تری صورت بگیرد.

دلیل این مسأله با استفاده از داده‌های دو جدول به شکل زیر قابل بیان است. برای نمونه، صف با اهمیت متوسط را در نظر بگیرید. در این صف، توزیع تقاضاها ۱۰ و ۱۹ است که بر اساس مشخصات درج‌شده برای حالت ۲، مربوط به سرویس‌های ۶ و ۳ می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود برای سرویس ۶ با ۱۰ تقاضا و سرویس ۳ با ۱۹ تقاضا، نسبت پهنای باند یکسانی به اندازه ۴ از ۱۰ محاسبه شده است. بنابراین با توجه به تفاوت زیاد موجود بین تقاضاهای این دو سرویس، در نظر گرفتن نسبت یکسان پهنای باند، یک اشکال تلقی می‌شود. در چنین حالتی این نسبت پهنای باند برای ۱۹ تقاضای سرویس ۳، ناکافی و برای ۱۰ تقاضای سرویس ۶ اضافی می‌باشد. در مقابل، در جدول ۲ صف با اهمیت متوسط را در نظر بگیرید. در این صف، توزیع تقاضاها ۸ و ۱۰ است که بر اساس مشخصات درج‌شده برای حالت ۲، مربوط به سرویس‌های ۱ و ۶ می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود برای سرویس ۱ با ۸ تقاضا و نیز سرویس ۶ با ۱۰ تقاضا، نسبت پهنای باند یکسانی با اندازه ۳ از ۱۰ محاسبه شده است. بر خلاف FWA، با توجه به تفاوت ناچیز موجود بین تقاضاهای این دو سرویس، در نظر گرفتن نسبت یکسان پهنای باند، تقریب مناسبی خواهد بود. دلیل این مسأله این است که با وجود واریانس کم تعداد تقاضاها، نسبت پهنای باند تخصیص داده شده به میانگین تعداد تقاضاها با پهنای باندی که لازم است به هر تقاضا تخصیص داده شود، اختلاف ناچیزی دارد.

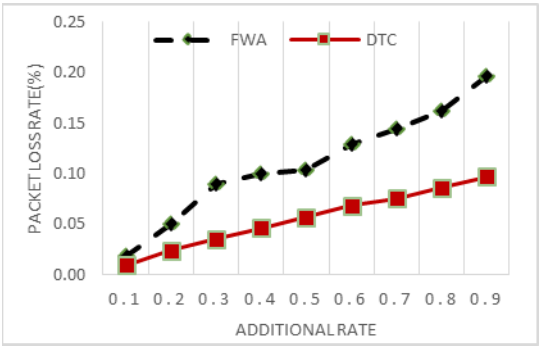
این تفاوت موجود بین نتایج FWA و الگوریتم پیشنهادی DTC، ناشی از ایستا در نظر گرفتن $N_1$ و $N_2$ در (۱) برای FWA و پویا در نظر گرفتن آنها برای DTC در صف‌ها می‌باشد. یادآوری می‌شود که روش DTC همواره جریان‌های ورودی به OLT را به سه صف دسته‌بندی می‌کند که این دسته‌بندی به شکلی است که قدر مطلق اختلاف تعداد تقاضای هر جریان موجود در هر صف با میانگین تعداد تقاضای جریان‌های موجود در آن صف، نسبت به عدد مشابه در FWA کوچک‌تر یا مساوی باشد.

## ٤- ارزیابی عملکرد

در این قسمت، نتایج مقایسه روش دسته‌بندی پیشنهادی DTC با روش دسته‌بندی پیشین FWA در دو ساختار ارائه شده که ساختار اول شامل دو سناریوی مختلف در یک توپولوژی یکسان است. در این ساختار، پارامترهای شبیه‌سازی از جمله سایز بسته و نرخ ارسال بسته IPTV ثابت فرض شده و ساختار دوم، شامل یک سناریوی ثابت در توپولوژی با پارامترهای متغیر می‌باشد. شبیه‌سازی‌های موجود در محیط NS انجام شده است.

### ٤-١ ساختار اول

پارامترهای شبیه‌سازی ساختار ۱ در جدول ۳ خلاصه شده است.




شکل ۳: نمودار نرخ از دست دادن بسته.

جدول ۳: پارامترهای شبیه‌سازی.

| | |
|---|---|
| تعداد واحدهای نوری | ۳۲ |
| تعداد سرویس‌های IPTV | ۶ |
| نرخ ارسال هر فلوی IPTV | ۱۲ Mbps (HD) |
| سایز صف | ۱۲۴۴۰۰ bit |
| نحوه خروج از صف | Droptail |
| سایز بسته | ۲۴۸۸ bit |
| تأخیر انتشار لینک | ۱ µs |
| پهنای باند OLT | ۱۰۰ Mbps |
| آستانه اولیه صف‌ها | $N_1 = ۲۰, N_2 = ۱۰$ |

ترافیک تولیدشده در این شبکه شامل ترافیک شبکه IPTV و پس‌زمینه می‌باشد. ۴۰٪ ترافیک تولیدشده در این شبکه، ترافیک پس‌زمینه و ۶۰٪ ترافیک IPTV می‌باشد.

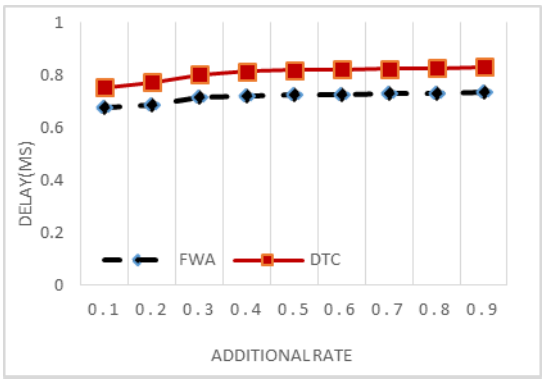
دسته‌بندی معرفی‌شده در FWA و الگوریتم پیشنهادی DTC بر اساس تغییرات نرخ ترافیک پس‌زمینه نسبت به بیشینه نرخ ورودی به OLT مورد ارزیابی قرار گرفته است.

لازم به ذکر است که بر اساس [۱۵] و [۱۶]، نرخ بالاتر از ۵٪ برای از دست دادن بسته‌های یک ویدئو به دریافت محتوایی با کیفیت غیر قابل قبول منجر خواهد شد. از این رو در شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته با فرض نرخ ترافیک ۱۲ Mbps برای هر یک از ۶ جریان ویدئویی مشخص‌شده در جدول ۳ که مجموعاً ۷۲ Mbps خواهد بود، نرخ ترافیک پس‌زمینه به ازای هر یک از جریان‌های مذکور از ۴/۷ Mbps شروع و حداکثر تا ۴/۹۵ Mbps تغییر یافته است. در چنین شرایطی برای الگوریتم پیشنهادی و همچنین FWA، نرخ از دست دادن بسته کمتر از ۵٪ و نیز مجموع نرخ جریان‌های ورودی و ترافیک پس‌زمینه در فاصله ۱۰۰□۲ Mbps تا ۱۰۱□۷ Mbps خواهد بود. با توجه به این که بر اساس جدول ۳، پهنای باند OLT برابر ۱۰۰ Mbps است، مجموع نرخ‌های اشاره‌شده باعث از دست رفتن بسته‌ها خواهد شد. بر این اساس، محور افقی نمودارهای مختلف مشخص‌کننده میزان درصد اضافه بار نسبت به پهنای باند OLT می‌باشند.

در شبیه‌سازی صورت‌گرفته، ورود و خروج بسته‌ها به صورت FIFO است و در هر دو روش DTC و FWA، پهنای باند موجود در OLT توسط (۲) به جریان‌های ورودی تخصیص داده می‌شود.

### ٤-۱-۱ سناریوی اول

این سناریو برای ساعاتی از شبانه‌روز در نظر گرفته شده که تعداد کاربران شبکه IPTV در حداقل مقدار خود قرار دارد. تعداد درخواست کاربران از سرویس‌های IPTV شماره ۱ تا ۶ به ترتیب به صورت ۹، ۱، ۵، ۸، ۴ و ۲ فرض شده است.




شکل ۴: نمودار تأخیر در سناریوی ۱.

در الگوریتم DTC آستانه صف‌ها به صورت (۹) محاسبه می‌شود

$$\begin{cases} N_1 = 1 + \frac{9-1}{3} \\ N_2 = 1 + 2 \times \frac{9-1}{3} \end{cases} \quad (9)$$

در این حالت آستانه صف‌ها ۳/۶ و ۶/۳ به‌دست می‌آید و بر این اساس، جریان‌های ۱ با ۹ تقاضا و ۴ با ۸ تقاضا در صف پراهمیت، همچنین جریان‌های ۳ با ۵ تقاضا و ۵ با ۴ تقاضا در صف با اهمیت متوسط و نیز جریان‌های ۲ با ۱ تقاضا و ۶ با ۲ تقاضا در صف کم‌اهمیت دسته‌بندی خواهند شد. تخصیص پهنای باند OLT به وسیله (۲) با نسبت‌های $Weight_1 = ۵$، $Weight_2 = ۳$ و $Weight_3 = ۲$ صورت می‌گیرد.

در روش دسته‌بندی الگوریتم FWA، آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌های OLT در تمام شرایط شبکه ثابت و برابر ۱۰ و ۲۰ می‌باشد. در این حالت، تعداد تقاضای کاربران برای هر یک از شش سرویس IPTV، کوچک‌تر از ۱۰ تقاضا است. بر این اساس، روش FWA تمام جریان‌های ورودی را در صف کم‌اهمیت دسته‌بندی می‌کند. به دلیل دسته‌بندی تمام جریان‌ها در صف کم‌اهمیت، پهنای باند بر اساس ترتیب ورود به سرویس‌های مختلف شبکه IPTV تخصیص داده می‌شود. این نحوه تخصیص پهنای باند باعث خواهد شد که تضمین مناسبی برای میزان پهنای باند تخصیص داده شده، متناسب با محبوبیت سرویس‌های مختلف وجود نداشته باشد.

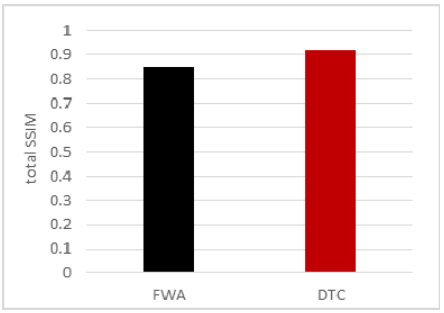
### ٤-۱-۱-۱ بررسی معیارهای کیفیت سرویس

در این قسمت، الگوریتم DTC از لحاظ پارامتر تأخیر و نرخ از دست دادن بسته بررسی شده است. پارامتر نرخ از دست دادن بسته و تأخیر، یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت ویدئوی دریافتی می‌باشند [۱۷].

نرخ از دست دادن بسته برای این دو الگوریتم در شکل ۳ نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی نرخ از دست دادن بسته را حداقل ۴۰٪ و حداکثر ۵۵٪ کاهش داده است.

این کاهش نرخ از دست دادن بسته به دلیل اختصاص پهنای باند با دقت مناسب به جریان‌های ورودی به OLT می‌باشد. در حقیقت این روش، پهنای باند بیشتری به جریان‌های محبوب، نسبت به دیگر جریان‌ها اختصاص داده و به همین دلیل نرخ از دست دادن بسته برای جریان‌های محبوب کاهش یافته که در نهایت باعث کاهش نرخ کلی از دست دادن بسته در OLT شده است.

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است نمودار تأخیر برای این دو الگوریتم با تقریب مناسبی مشابه می‌باشد.




شکل ۵: نمودار SSIM مربوط به سناریوی ۱.

جدول ۴: مشخصات ویدئوها.

| | |
|---|---|
| فرمت | CIF |
| کدک | MPEG -۴ |
| نرخ ارسال | ۶۴۰۰۰ bps |
| نرخ نمایش | ۳۰ fps |
| طول GOP | ۳۰ |

### ٤-١-١-٢ معیار کیفیت تجربه کاربر نظری

در این قسمت، ابتدا چندین محتوای ویدئویی با ویژگی‌های جدول ۴ کد شده است و سپس با انتقال محتوای ویدئویی به وسیله شبیه‌ساز NS، الگوریتم‌های DTC و FWA از لحاظ معیار SSIM مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. SSIM یک معیار مناسب برای اندازه‌گیری شباهت بین دو تصویر می‌باشد که این ارزیابی به صورت مناسبی با ادراک انسانی همبستگی دارد [۱۸] و به همین دلیل در این قسمت به عنوان معیار کیفیت تجربه کاربر مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۵ نمودار SSIM متوسط ویدئوهای دریافتی از OLT را نشان می‌دهد. الگوریتم دسته‌بندی DTC باعث بهبود معیار متوسط SSIM برای ویدئوهای دریافتی از OLT شده است.

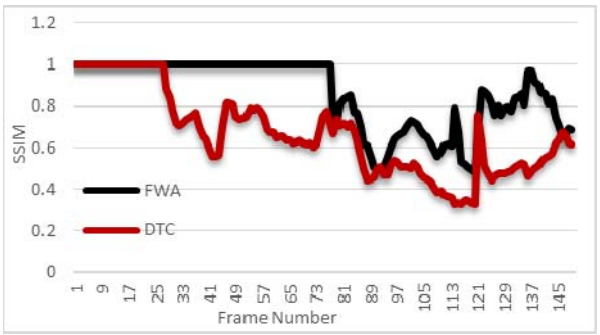
برای بررسی بهتر عملکرد الگوریتم DTC، سه ویدئو از صف‌های مختلف انتخاب شده و معیار SSIM برای تمام فریم‌های این ویدئوها مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۶ نمودارهای SSIM مربوط به فریم‌های مختلف این ویدئوها را نشان می‌دهد.

الگوریتم DTC کیفیت ویدئوی دریافتی از صف کم‌اهمیت را در بعضی از فریم‌ها کاهش داده و این در حالی است که ویدئوی موجود در صف با اهمیت متوسط دارای کیفیت یکسانی در هر دو الگوریتم می‌باشد و در نهایت، کیفیت ویدئوی دریافتی در صف پراهمیت در الگوریتم DTC بهبود یافته است. این در حالی است که ویدئوهای دریافتی از الگوریتم FWA به صورت تصادفی دارای کیفیت‌های متفاوتی می‌باشند. به دلیل تفاوت محبوبیت این ویدئوها، الگوریتم DTC، معیار متوسط SSIM را نسبت به روش FWA به صورت چشم‌گیری بهبود بخشیده است.

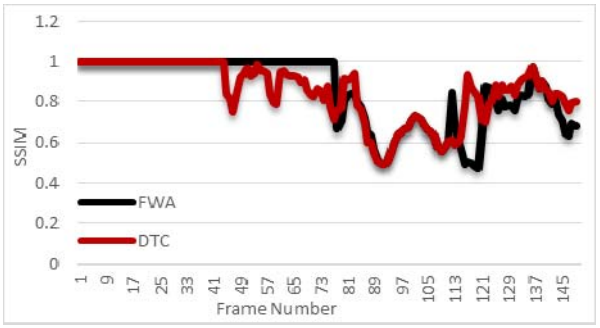
### ٤-١-٢ سناریوی دوم

در این حالت، تعداد درخواست کاربران از سرویس‌های IPTV شماره ۱ تا ۶ به ترتیب به صورت ۲۱، ۹، ۲، ۱۰، ۲۰ و ۱۴ می‌باشد. آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌ها در روش DTC به وسیله (۱۰)، مقادیر ۳۳٫۸ و ۱۴٫۶ محاسبه می‌شود

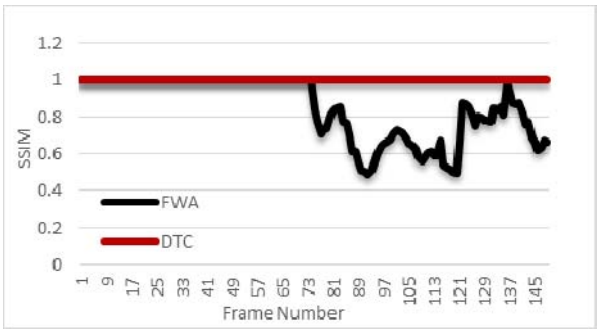
$$\begin{cases} N_1 = 2 + \dfrac{21-2}{3} \\ N_2 = 2 + 2 \times \dfrac{21-2}{3} \end{cases} \quad (10)$$




(الف)




(ب)



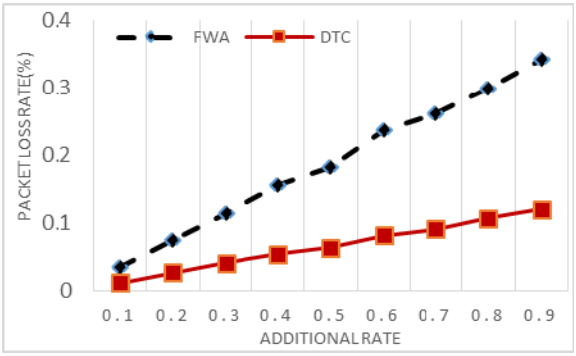

(ج)

شکل ۶: نمودار SSIM ویدئوی موجود در (الف) صف اولویت اول، (ب) صف اولویت دوم و (ج) صف اولویت سوم.

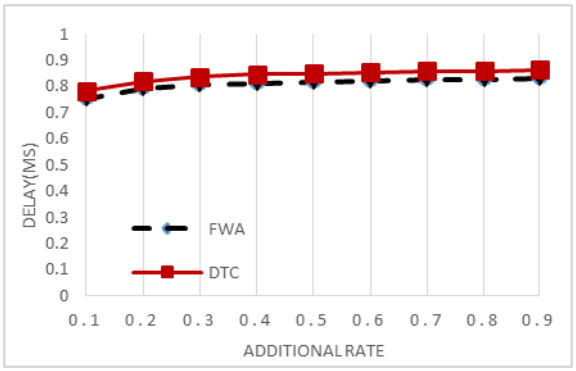
بر این اساس، جریان‌های ۱ با ۲۱ تقاضا و ۵ با ۲۰ تقاضا در صف پراهمیت، همچنین جریان‌های ۲ با ۹ تقاضا، ۴ با ۱۰ تقاضا و ۶ با ۱۴ تقاضا در صف با اهمیت متوسط و نیز جریان ۳ با ۲ تقاضا در صف کم‌اهمیت دسته‌بندی خواهند شد. در این حالت، تخصیص پهنای باند OLT به وسیله (۲) با نسبت‌های $Weight_1 = 5$، $Weight_2 = 4$ و $Weight_3 = 1$ محاسبه می‌شود.

در روش دسته‌بندی موجود در FWA، آستانه صف‌ها همواره ثابت و برابر ۱۰ و ۲۰ می‌باشد و بر این اساس در این حالت جریان‌های ورودی به صورت کاملاً متقارن دسته‌بندی می‌شوند. به نحوی که جریان‌های ۱ با ۲۱ تقاضا و ۵ با ۲۰ تقاضا در صف پراهمیت، همچنین جریان‌های ۴ با ۱۰ تقاضا و ۶ با ۱۴ تقاضا در صف با اهمیت متوسط و نیز جریان‌های ۲ با ۹ تقاضا و ۳ با ۲ تقاضا در صف کم‌اهمیت دسته‌بندی می‌شوند. با توجه به این دسته‌بندی و با استفاده از (۲)، درصد تخصیص پهنای باند در الگوریتم FWA با نسبت‌های $Weight_1 = 4$، $Weight_2 = 3$ و $Weight_3 = 2$ محاسبه می‌شود.

طبق آزمایشات صورت‌گرفته در شبیه‌ساز NS۲، نمودار نرخ کلی از دست دادن بسته در شکل ۷ نشان داده شده است و چنانچه مشاهده می‌شود، نرخ کلی از دست دادن بسته حداکثر ۶۵٪ و حداقل ۶۳٪ بهبود یافته است.




شکل ۷: نمودار نرخ از دست دادن بسته.




شکل ۸: نمودار تأخیر در سناریوی ۲.

الگوریتم‌های وزن‌دهی در EPON بر اساس میانگین تقاضای هر صف عمل می‌کنند و بنابراین هر دسته‌بندی که بتواند جریان‌هایی با تعداد تقاضای نزدیک به هم را در صف‌های یکسان دسته‌بندی کند، عملکرد بهتری خواهد داشت. این بهبود به دلیل واریانس کمتر تعداد تقاضای جریان‌های ورودی به هر صف در روش DTC می‌باشد.

در شکل ۸ پارامتر تأخیر مربوط به این سناریو مورد بررسی قرار گرفته که در این حالت نیز نمودارهای تأخیر هر دو الگوریتم با تقریب مناسبی مشابه می‌باشند. دو نمودار حداکثر ۰٫۰۵ ms با یکدیگر اختلاف دارند. به دلیل کوچک‌بودن میانگین تأخیر در این شبکه و نیز کوچک‌بودن اختلاف دو نمودار، این پارامتر بر کیفیت تجربه کاربر تأثیری نخواهد داشت.

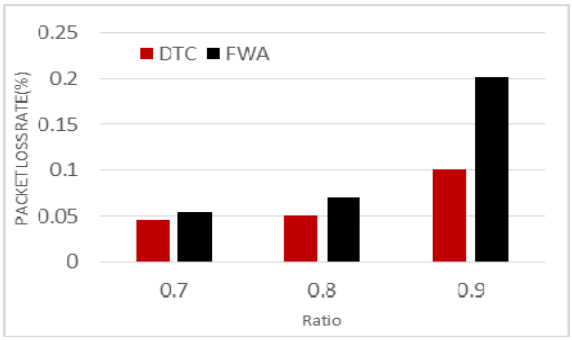
### ٤-۲ ساختار دوم

در این ساختار، توپولوژی EPON در شرایط متفاوت شبکه از جمله نرخ ارسال و اندازه بسته‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. نسبت نرخ ارسال بسته IPTV به نرخ ارسال OLT به اندازه ۷۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ و همچنین اندازه بسته‌ها حداکثر ۱۰۰۰ بایت انتخاب گردیده و پارامترهای دیگر شبیه‌سازی در جدول ۵ خلاصه شده است. پارامترهای شبیه‌سازی در این ساختار به نحوی انتخاب شده که نرخ از دست دادن بسته برای هر دو الگوریتم کمتر از ۵٪ شود.

#### ٤-۲-۱ سناریوی اول

در این سناریو، تعداد درخواست کاربران از سرویس‌های IPTV شماره ۱ تا ۴۵، اعدادی بین ۳۱ و ۹ می‌باشد. آستانه‌های تعریف‌شده برای صف‌ها در روش DTC به وسیله (۱۱)، مقادیر ۱۶٫۳ و ۲۳٫۶ محاسبه می‌شود

$$\begin{cases} N_1 = 9 + \frac{31-9}{3} \\ N_2 = 9 + 2\times\frac{31-9}{3} \end{cases} \quad (11)$$




شکل ۹: نمودار نرخ از دست دادن بسته.

جدول ۵: پارامترهای شبیه‌سازی در ساختار ۲.

| | |
|---|---|
| تعداد واحدهای نوری | ۳۲ |
| تعداد سرویس‌های IPTV | ۴۵ |
| نرخ ارسال فلوی IPTV در نسبت نرخ ۰٫۷ | ۱۵ Mbps |
| نرخ ارسال فلوی IPTV در نسبت نرخ ۰٫۸ | ۱۷ Mbps |
| نرخ ارسال فلوی IPTV در نسبت نرخ ۰٫۹ | ۲۰ Mbps |
| نرخ ارسال فلوی پس‌زمینه | ۱۳ Mbps |
| سایز صف | ۱۲۴۴۰۰ bit |
| بیشینه سایز بسته | ۸۰۰۰ bit |
| تأخیر انتشار لینک | ۱ µs |
| پهنای باند OLT | ۱ Gbps |
| آستانه اولیه صف‌ها | $N_1=20, N_2=10$ |

که بر این اساس ۳۳٪ از جریان‌های ورودی وارد هر صف می‌شود و در این حالت، تخصیص پهنای باند OLT به وسیله (۲) با نسبت‌های $Weight_1=4$، $Weight_2=3$ و $Weight_3=2$ به دست می‌آید.

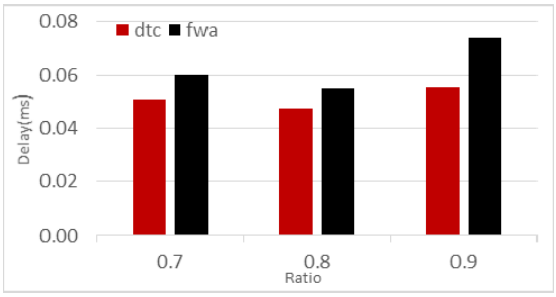
در روش دسته‌بندی موجود در FWA، آستانه صف‌ها همواره ثابت و برابر ۱۰ و ۲۰ می‌باشد. بر این اساس در این حالت جریان‌های ورودی با تقاضای بیشتر از ۲۰ واحد که ۵۵٪ جریان ورودی می‌باشد وارد صف اول، جریان‌های با تقاضای کمتر از ۲۰ واحد و بیشتر از ۱۰ واحد که ۳۳٪ جریان ورودی می‌باشد وارد صف دوم و نهایتاً جریان‌های ورودی با تقاضای کمتر از ۱۰ واحد که ۱۱٪ جریان ورودی می‌باشد وارد صف آخر می‌شود. با توجه به این دسته‌بندی و با استفاده از (۲)، درصد تخصیص پهنای باند در الگوریتم FWA با نسبت‌های $Weight_1=6$، $Weight_2=3$ و $Weight_3=1$ محاسبه می‌شود.

در این قسمت الگویتم پیشنهادی در سه آزمایش متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و طبق آزمایشات صورت‌گرفته در شبیه‌ساز NS۲، نمودار نرخ کلی از دست دادن بسته در شکل ۹ آمده است. چنانچه دیده می‌شود نرخ کلی از دست دادن بسته حداکثر ۵۰٪ و حداقل ۱۴٪ بهبود یافته است.

در شکل ۱۰ پارامتر تأخیر مربوط به این آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است. در هر سه آزمایش مقدار پارامتر تأخیر مربوط به الگوریتم DTC بهبود ناچیزی داشته است. به دلیل تفاوت ناچیز بین پارامتر تأخیر هر دو الگوریتم، می‌توان گفت الگوریتم DTC، تأثیر زیادی روی پارامتر تأخیر ندارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش جدیدی برای دسته‌بندی وفقی ترافیک IPTV در شبکه غیر فعال نوری در بستر اترنت ارائه شد. دسته‌بندی ترافیک در روش پیشنهادی بر اساس توزیع تعداد تقاضای واحدهای شبکه نوری از ترافیک‌های مختلف IPTV صورت می‌گیرد.




شکل ۱۰: نمودار تأخیر در سناریوی ۱.

از جمله مزایای روش پیشنهادی که آن را از الگوریتم‌های قبلی متمایز می‌کند قابلیت تطبیق خودکار با شرایط ترافیکی شبکه می‌باشد به شکلی که در هر لحظه، به ترافیک‌های ویدئویی با تقاضای بالاتر، اولویت بیشتری داده می‌شود. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، روش پیشنهادی باعث کاهش حداکثر ۶۵٪ نرخ از دست دادن بسته در شبکه IPTV شده است در حالی که کاهش ایجادشده در تأخیر شبکه، چندان قابل ملاحظه نیست.

به عنوان پیشنهادهایی برای کارهای آینده می‌توان تحلیل ریاضی الگوریتم پیشنهادی و طراحی الگوریتم وفقی زمان‌بندی را در نظر گرفت.

## مراجع


[۱] Cisco, Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, ۲۰۱۴–۲۰۱۹, White Paper, ۲۰۱۵.

[۲] ITU, *ITU-T IPTV Global Standards Initiative*, https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iptv/Pages/default.aspx.

[۳] J. Yim, G. Lee, T. Lee, and J. Jeon, "Review of IPTV system architectures," *Advanced Science and Technology Letters*, vol. ۴۶, pp. ۸۳-۸۶, ۲۰۱۴.

[۴] A. Qadir, M. Arefin, and H. E. Sandstrom, "Reliable iptv service delivery using pim-ssm routing," *J. of Scientific Research*, vol. ۱, no. ۳, pp. ۴۹۵-۵۰۷, ۲۰۰۹.

[۵] P. Bhaumik, *et al.*, "IPTV over EPON: synthetic traffic generation and performance evaluation," *Optical Switching and Networking*, vol. ۱۸, pt. ۲, pp. ۱۸۰-۱۹۰, Nov. ۲۰۱۵.

[۶] R. Q. Shaddad, A. Mohammad, S. A. Al-Gailani, A. Al-Hetar, and M. A. Elmagzoub, "A survey on access technologies for broadband optical and wireless networks," *J. of Network and Computer Applications*, vol. ۴۱, pp. ۴۵۹-۴۷۲, May ۲۰۱۴.

[۷] I. S. Hwang, A. Nikoukar, A. T. Liem, and K. C. Chen, "A new architecture for multicasting live IPTV traffic in ethernet passive optical network," in *Proc. Int. Conf. on Electronics, Computer and Computation, ICECCO'۱۳*, pp. ۶۰-۶۳, Ankara, Turkey, ۷-۹ Nov. ۲۰۱۳.

[۸] K. Abdollahi and A. G. Rahbar, "A new bandwidth allocation for IPTV services over EPON," in *Proc. ۶th Int. Symp. on Telecommunications, IST'۱۲*, pp. ۴۷۷-۴۸۲, Tehran, Iran, ۶-۸ Nov. ۲۰۱۲.

[۹] Y. Kwon, J. K. Choi, S. G. Choi, T. W. Um, and S. G. Jong, "A weighted scheduling mechanism to reduce multicast packet loss in IPTV service over EPON," *ETRI J.*, vol. ۳۱, no. ۴, pp. ۴۶۹-۴۷۱, Aug. ۲۰۰۹.

[۱۰] S. Zare and A. G. Rahbar, "An FEC scheme combined with weighted scheduling to reduce multicast packet loss in IPTV over PON," *J. of Network and Computer Applications*, vol. ۳۵, no. ۱, pp. ۴۵۹-۴۶۸, Jan. ۲۰۱۲.

[۱۱] S. Zare and A. G. Rahbar, "Congestion control in IPTV over PON using digital fountain forward error correction," *J. of Network and Computer Applications*, vol. ۳۷, pp. ۲۴۰-۲۵۲, Jan. ۲۰۱۴.

[۱۲] X. Li, *et. al.*, "Joint bandwidth provisioning and cache management for video distribution in software-defined passive optical networks," in *Proc. Optical Fiber Communication Conf. and Exhibition, OFC'۱۴*, ۳ pp., San Francisco, CA, USA, ۹-۱۳ Mar. ۲۰۱۴.

[۱۳] N. Liu, H. Cui, S. H. G. Chan, Z. Chen, and Y. Zhuang, "Dissecting user behaviors for a simultaneous live and VoD IPTV system," *ACM Trans. on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, vol. ۱۰, no. ۳, p. ۲۳, Apr. ۲۰۱۴.

[۱۴] S. Zeadally, H. Moustafa, and F. Siddiqui, "Internet protocol television (IPTV): architecture, trends, and challenges," *IEEE Systems J.*, vol. ۵, no. ۴, pp. ۵۱۸-۵۲۷, Dec. ۲۰۱۱.

[۱۵] M. Fiedler, T. Hossfeld, and P. Tran-Gia, "A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service," *IEEE Network*, vol. ۲۴, no. ۲, pp. ۳۶-۴۱, Mar. ۲۰۱۰.

[۱۶] T. H. Truong, T. H. Nguyen, and H. T. Nguyen, "On relationship between quality of experience and quality of service metrics for IMS-based IPTV networks," in *Proc. IEEE Int Conf. on Computing and Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future, RIVF'۱۲*, ۶ pp., Ho Chi Minh City, Vietnam, ۲۷ Feb.-۱ Mar. ۲۰۱۲.

[۱۷] H. J. Kim and S. G. Choi, "QoE assessment model for multimedia streaming services using QoS parameters," *Multimedia Tools and Applications*, vol. ۷۲, no. ۳, pp. ۲۱۶۳-۲۱۷۵, Oct. ۲۰۱۴.

[۱۸] F. Chiariotti, C. Pielli, A. Zanella, and M. Zorzi, "QoE-aware video rate adaptation algorithms in multi-user IEEE ۸۰۲,۱۱ wireless networks," in *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Communications, ICC'۱۵*, pp. ۶۱۱۶-۶۱۲۱, London, UK, ۸-۱۲ Jun. ۲۰۱۵.



**محسن احمدزاده** در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی سهند تبریز و در سال ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران در تهران دریافت نمود. از سال ۱۳۹۶ انامبرده به عنوان کارشناس ارشد سیستم های ویدیویی در مرکز تحقیقات و جهاد خودکفایی سازمان صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران به کار مشغول بوده است. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند فشرده‌سازی ویدیو، تزریق متادیتا در ویدیو و ارسال محتوای ویدیویی در بستر اینترنت می‌باشد.

**محمد بهدادفر** تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۹ از دانشگاه صنعتی اصفهان به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه صد او سیما می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از شبکه‌های پرسرعت، الگوریتم‌های شبکه کیفیت سرویس و کیفیت تجربه در شبکه‌های چند رسانه‌ای.

**محمدرضا نوری فرد** متولد ۱۳۴۴ و از سال ۱۳۷۳ عضو هیأت علمی دانشگاه صدا و سیما می‌باشد. از زمینه‌های مورد علاقه ایشان، ارزیابی کیفیت سرویس و کیفیت تجربه کاربران در شبکه‌های کامپیوتری نوین می‌باشد.