

## تطبیق نرخ ویدیوی جویبارسازی شده بر مبنای مدیریت فعال صف WRED

سیوان رحیمی زرا<sup>۱</sup>، محمد بهدادفر<sup>۲</sup>، محمدرضا نوری فرد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صدا و سیما، Seyvan1990@gmail.com

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صدا و سیما، Behdadfar@iribu.ac.ir

<sup>۳</sup> عضو هیئت علمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صدا و سیما، Noorifard@iribu.ac.ir

### چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به رشد سریع تکنولوژی ویدیو و افزایش پهنای باند در دسترس، سرویس‌های ویدیویی مختلفی در شبکه‌های مبتنی بر پروتکل اینترنت توسعه یافته‌اند. از این‌رو همواره بر ارزش ویدیو به عنوان یکی از دسته‌های محتوایی مهم و پرمخاطب، در بستر شبکه‌های اینترنتی تاکید شده است. در این مقاله روشی پیشنهاد شده که با استفاده از تطبیق نرخ ویدیو، و اولویت بندی بسته‌ها با استفاده از مدیریت فعال صف در گره میانی با تحمیل کمترین بار اضافی به شبکه، کیفیت ویدیوی جویبارسازی شده در شبکه در مقایسه با روش جویبارسازی تطبیقی بهبود می‌یابد.

کلمات کلیدی: جویبارسازی ویدیو، کنترل ازدحام، NS-2، کیفیت تجربه کاربر.

## ۱- مقدمه

در چند سال اخیر محبوبیت ویدیو و انتقال آن در بستر شبکه‌های مخابراتی همواره رو به افزایش بوده است. رشد تکنولوژی ویدیو، بوجود آمدن دستگاه‌های جدید برای کاربران و افزایش پهنای باند<sup>۱</sup> در دسترس سبب بوجود آمدن و توسعه سرویس‌های ویدیویی مختلفی نظیر IPTV, Video On Demand, Web TV, Video Conference شده است. به سبب رشد بسیار زیاد و گسترش اینترنت و همچنین افزایش تقاضا برای محتوای چند رسانه‌ای در اینترنت، جویبارسازی ویدیو به یکی از موضوع‌های مورد توجه در تحقیقات دانشگاهی و صنعت تبدیل شده است. از جمله مشکلات قابل توجه در این زمینه، بوجود آمدن ازدحام در شبکه و به سبب آن از دست رفتن بسته‌های ویدیو می‌باشد. بنابراین مساله جویبارسازی ویدیو در شرایط ازدحام و بررسی و رفع چالش‌های موجود در این زمینه از مسایل اجتناب ناپذیر در پژوهش‌های سالیان اخیر بوده است. در این مقاله با ترکیب تطبیق نرخ ویدیو و الگوریتم مدیریت فعال صف WRED، روش پیشنهادی ارائه می‌شود. در روش پیشنهادی، حذف قاب تصاویر B، تغییر نرخ ارسال ایجاد نمی‌کند. اما در مورد قاب‌های تصویر P و I ترجیح این است که نرخ بیت ارسالی ویدیو کاهش پیدا کند. تغییر نرخ بیت ویدیو در GOP<sup>۲</sup> های بعدی تصویر ایجاد می‌شود. عملکرد راهکار پیشنهادی نیز با استفاده از ابزار PSNR و VQA مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱].

کارها و پژوهش‌های مختلفی در زمینه مدیریت فعال صف، اولویت بندی بسته‌ها و همچنین تطبیق نرخ ویدیو انجام شده است. مدیریت صف یکی از راهکارهای مهم برای جلوگیری از ایجاد ازدحام، کنترل ازدحام و تامین کیفیت سرویس در شبکه‌های IP می‌باشد. نقش سنتی مدیریت فعال صف در شبکه‌های IP، مکمل پروتکل‌های انتهایی همانند TCP در کنترل ازدحام است، تا سبب افزایش کارایی شبکه شود [۲]. ساده‌ترین مکانیزم مدیریت صف روش Drop Tail می‌باشد که در آن هیچ نوع مدیریتی در حافظه صف صورت نمی‌گیرد. برخلاف Drop Tail الگوریتم RED یک روش مدیریت فعال صف می‌باشد، که از اولین و مهمترین راهکارهای پیشنهادی برای مدیریت فعال صف می‌باشد. الگوریتم RED برای تشخیص ازدحام در شبکه، وزن متوسط طول صف را محاسبه می‌کند، و با استفاده از مقدار آستانه‌ای حد پایین و آستانه حد بالا، در صورت بوجود آمدن ازدحام، بسته‌های ورودی را علامت گذاری کرده و یا آن را حذف می‌کند [۳]. یکی از مشکلات الگوریتم RED این است که بین ترافیک‌های مختلف اولویت خاصی قایل نمی‌شود. برای غلبه بر این مشکل، الگوریتم WRED یا RED وزن دار که توسعه‌ای از RED می‌باشد بوجود آمد. در این الگوریتم یک صف به جای یک آستانه می‌تواند چندین آستانه داشته باشد، که هر آستانه می‌تواند به کلاس ترافیک خاصی تخصیص داده شود. به عبارت دیگر WRED قبل از حذف یک بسته اولویت آن را نیز در نظر می‌گیرد [۴، ۵]. انتقال ویدیو به صورت اولویت بندی شده یکی از مباحث مورد توجه از همان ابتدای بوجود آمدن جویبارسازی ویدیو بوده است. سرویس‌های متمایز<sup>۳</sup> یکی از اولین روش‌های موفق در این زمینه بود که با توجه به کلاس‌های سرویس درج شده در سرآیند بسته‌ها با آنها رفتار می‌شد. به عنوان مثال در [۶، ۷] اولویت بندی‌های نابرابر برای بسته‌های ویدیو با استفاده از سرویس‌های متمایز معرفی شده است. برخلاف روش‌های قبلی که مبتنی بر آرایه سرویس‌های گوناگون به بسته‌های مختلف بودند در [۸] یک روش ساده برای آرایه سرویس‌های متمایز به کلاس‌های مختلف (مثلا کلاس با تاخیر کم) برای جریان‌های ویدیو معرفی شده است. راهکارهای دیگری نیز برای بهبود انتقال ویدیو اولویت بندی شده با استفاده از مدیریت فعال صف<sup>۴</sup> معرفی شده است. پژوهش [۹] روشی را پیشنهاد می‌کند که در آن بسته‌ها در یک صف قرار گرفته و با استفاده از کنترل کننده PID<sup>۵</sup>، در مورد اولویت حذف بسته‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. یک مدل تحلیلی برای انتقال ویدیو به صورت بهینه در [۱۰] معرفی گردیده است، که در آن اهمیت حذف بسته‌ها به صورت اولویت بندی شده در مقایسه با روش حذف تصادفی، در ویدیوی

<sup>۱</sup> BandWidth

<sup>۲</sup> Group Of Pictures

<sup>۳</sup> Differentiated Services(DiffServ)

<sup>۴</sup> Active Queue Management(AQM)

<sup>۵</sup> Proportional-Integral-Derivative

لایه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۱] یک راهکار برای تطبیق نرخ ویدیو پیشنهاد شده است. در این مقاله یک راهکار به منظور جویبارسازی نرخ تطبیقی ویدیو ارائه شده است. یک جریان ویدیو بوسیله کدکننده MPEG4، در ۳۰ نرخ مختلف و با استفاده از پیمانش گر ۲ تا ۳۱ کد می‌شود، در ابتدا اولین GOP از جریان ویدیو در یک نرخ مشخص شروع به ارسال کرده و با توجه به شرایط شبکه نرخ ویدیو در GOP های بعدی متناسب با شرایط شبکه ارسال می‌شود. در واقع در این روش یک جریان ویدیو در ۳۰ کیفیت متفاوت، کدگذاری می‌شود و با استفاده از اطلاعات به دست آمده از بسته‌های پیام تصدیق<sup>۶</sup>، برای ارسال GOP های بعدی ویدیو از بین نرخ بیت های موجود تصمیم گیری می‌شود. در [۱۲] یک معماری چندلایه<sup>۷</sup> مبتنی بر کیفیت تجربه کاربر و به منظور بهبود جویبارسازی ویدیو بیان شده است. در این پژوهش نرخ بیت منابع ویدیو با توجه به شرایط شبکه در لایه کاربرد<sup>۸</sup> به صورت پویا تطبیق پیدا می‌کند. همچنین در لبه شبکه با استفاده از یک الگوریتم کنترل پذیرش<sup>۹</sup> ویدیو محور، در لایه شبکه، کیفیت نشست‌های<sup>۱۰</sup> فعال ویدیو حفظ می‌شود. در مقاله [۱۳] یک روش اولویت بندی هوشمندانه برای حذف بسته‌های ویدیو ارائه شده است. در این روش بسته های P, I و B از جریان ویدیو با استفاده از بخش TOS از سرآیند پروتکل IP علامت گذاری می‌شوند، و در صورتی که بنا به هر دلیلی قاب تصویر I در طول مسیر از دست برود مسیر یاب لبه به طور هوشمندانه بسته‌های مربوط به قاب‌های تصویر P و B وابسته به آن قاب تصویر I را حذف می‌کند. از این رو در مسیر یاب‌ها بالاترین اولویت زمان بندی به قاب‌های تصویر I اختصاص داده می‌شود، تا حتی الامکان مانع از دست رفتن قاب‌های تصویر I شود. در مقاله [۱۴] یک راهکار برای حذف هوشمندانه بسته‌های ویدیوی IPTV در DSLAM<sup>۱۱</sup> ارائه شده است. حذف هوشمندانه بسته‌ها از این واقعیت استفاده می‌کند که بعضی از بسته‌های مربوط به قاب‌های تصویر ویدیو (مانند I و P) از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر بسته‌ها (مانند B) برخوردارند. این اهمیت را می‌توان در سرآیند بسته‌های ویدیو اعمال نمود. بنابراین هنگام وقوع ازدحام در DSLAM، ترجیحا بسته‌های با اولویت پایین تر حذف می‌شوند.

## ۲- روش پیشنهادی

در این مقاله با استفاده از خاصیت انطباق نرخ بیت ویدیو و همچنین اولویت بندی بین قاب‌های تصویر مختلف ویدیو روشی پیشنهاد شده است که در مقایسه با روش جویبارسازی تطبیقی ویدیو [۱۱]، کیفیت ویدیوی دریافتی افزایش پیدا می‌کند. روش پیشنهاد شده در این مقاله از دو بخش تشکیل شده است؛ جویبارسازی ویدیو به صورت تطبیقی که وظیفه تطبیق نرخ بیت ویدیو را بر عهده دارد و همچنین اولویت دهی بسته‌ها و مدیریت فعال صف، که با استفاده از مدیریت فعال صف WRED میان قاب‌های تصویر مختلف ویدیو اولویت بندی متفاوتی انجام می‌دهد.

### ۲-۱- جویبارسازی ویدیو به صورت تطبیقی

این بخش در سمت فرستنده انجام می‌گیرد. ویدیو در کیفیت‌های مختلفی با استفاده از تغییر پارامتر پیمانش، بوسیله کدگذار MPEG-4 تولید می‌شود. وظیفه انتقال ویدیو به صورت تطبیقی بر عهده پروتکل لایه انتقال به نام TFRC<sup>۱۲</sup> می‌باشد [۱۵]. تغییر نرخ ارسالی با توجه به اطلاعات بدست آمده از پیام‌های تصدیق<sup>۱۳</sup>، صورت می‌گیرد. در مبدا و یا در سمت

<sup>۶</sup> Acknowledgement

<sup>۷</sup> Cross-Layer

<sup>۸</sup> Application Layer

<sup>۹</sup> Admission Control

<sup>۱۰</sup> Session

<sup>۱۱</sup> Digital Subscriber Line Access Multiplexer

<sup>۱۲</sup> TCP Friendly Rate Control

<sup>۱۳</sup> acknowledgement

فرستنده ویدیوی مورد نظر در ۷ نرخ بیت به جای ۳۰ نرخ بیت با استفاده از پیمانش های مختلف تولید می شود. نرخ بیت های تولیدی با پیمانش های ۲، ۵، ۱۰، ۱۶، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ می باشند. همچنین همه ی بسته های ویدیوی کد شده، با توجه به نوع قاب تصویر ویدیو علامت گذاری می شوند [۲، ۱۳، ۱۶].

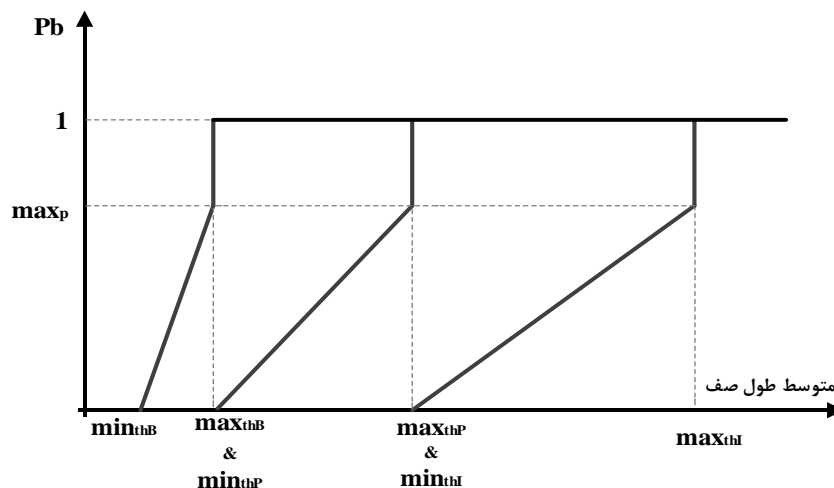
## ۲-۲ اولویت بندی بسته ها و مدیریت فعال صف

اولویت دهی به بسته ها و مدیریت فعال صف در گره میانی انجام می شود. بسته های ارسالی ویدیو با توجه به اهمیت شان علامت گذاری می شوند. علامت گذاری بسته ها در سرایند بسته ها انجام می شود. بسته های ویدیو در مسیریاب شبکه با استفاده از مدیریت فعال صف WRED، مدیریت می شوند [۴، ۵]. هدف از این بخش تلاش برای جلوگیری از حذف بسته های مربوط به قاب های تصویر I و P می باشد که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. اما حذف بسته های مربوط به قاب تصویر B مانعی ندارد و تغییری در نرخ بیت ارسالی ایجاد نمی کند. در مسیریاب شبکه، الگوریتم WRED به عنوان مدیریت فعال صف پیاده سازی شده است. در WRED می توان چندین جفت آستانه تعریف نمود. در نتیجه با توجه به اینکه سه نوع قاب تصویر ویدیو تولید شده است، بنابراین سه جفت آستانه برای قاب های تصویر در نظر گرفته شده است. در واقع به ازای هریک از انواع قاب تصویر ویدیو یک الگوریتم RED با مشخصات متفاوت تعریف می شود. پارامترهای تعریف شده برای WRED در این مقاله در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- پارامترهای استفاده شده در الگوریتم WRED

پارامتر	تعریف
$Q_{Limit}$	حداکثر طول صف فیزیکی
$q_{moment}$	طول لحظه ای صف
$P_{IB}$	احتمال حذف بسته های B
$P_{IP}$	احتمال حذف بسته های P
$P_{II}$	احتمال حذف بسته های I
$min_{thB}$	آستانه حد پایین اول تصمیم گیری برای حذف قاب تصویرهای B
$max_{thB}$	آستانه حد بالای اول تصمیم گیری برای حذف قاب تصویرهای B
$min_{thP}$	آستانه حد پایین دوم تصمیم گیری برای حذف قاب تصویرهای P
$max_{thP}$	آستانه حد بالای دوم تصمیم گیری برای حذف قاب تصویرهای P
$min_{thI}$	آستانه حد پایین سوم تصمیم گیری برای حذف قاب تصویرهای I
$max_{thI}$	آستانه حد بالای سوم تصمیم گیری برای حذف قاب تصویرهای I

در شکل ۱ نمودار الگوریتم WRED نشان داده شده است. با توجه به نمودار می توان گفت، تا هنگامی که ازدحام بسته ها به  $\min_{thB}$  نرسیده هیچ بسته ای حذف نمی شود و همه بسته های ورودی به مسیر یاب در صف خروجی قرار می گیرند. با رسیدن ازدحام به  $\max_{thB}$  بسته های B با احتمال  $P_{IB}$  حذف می شوند اما بسته های P و I بدون حذف از مسیر یاب عبور می کنند. هنگامی که ازدحام به  $\max_{thB}$  می رسد از این به بعد همه بسته های مربوط به قاب های تصویر B حذف می شوند و بسته های P با احتمال  $P_{IP}$  حذف می شوند. در این مرحله فرستنده نرخ ارسال خود را کاهش می دهد تا بسته های P و I حذف نشوند. تا این مرحله همچنان بسته های I دچار حذف نمی شوند. هنگامی که ازدحام به  $\max_{thP}$  می رسد همه بسته های B و P حذف می شوند و بسته های مربوط به I با احتمال  $P_{II}$  حذف می شوند. در نهایت با رسیدن ازدحام به  $\max_{thI}$  همه بسته ها اعم از B و P و I حذف می شوند.



شکل ۱- احتمال حذف بسته ها در WRED

به طور کلی در ابتدا برای GOP اول دنباله، نرخ تولید شده با پیمانش ۱۶ که نرخ بیت متوسط می باشد، ارسال می شود. سپس با توجه به شرایط شبکه امکان افزایش یا کاهش و یا تثبیت در نرخ بیت ارسالی در GOP های بعدی به شکل زیر وجود دارد:

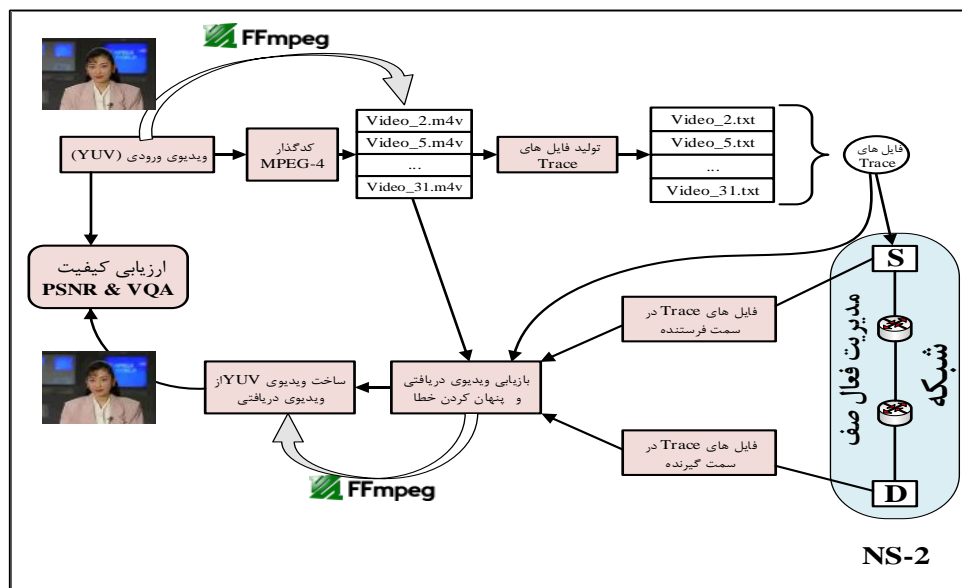
- ۱- اگر در بسته های ACK دریافتی، وجود ازدحام اعلام نشده باشد، GOP بعدی با کیفیت بالاتر ارسال می گردد. این فرآیند تا زمان تغییر در بسته های ACK و یا رسیدن به بالاترین کیفیت ادامه پیدا می کند.
- ۲- اگر در بسته های ACK دریافتی، ازدحام اعلام شود و این ازدحام از مقدار آستانه حد پایین دوم (آستانه حد بالای اول)، بیشتر شده باشد، کیفیت ویدیوی ارسالی در GOP های بعدی کاهش پیدای می کند. این فرآیند تا کمترین کیفیت می تواند ادامه پیدا کند.
- ۳- اگر در بسته های ACK دریافتی، ازدحام فقط در بسته های مربوط به قاب تصویرهای B دیده شود، همان نرخ قبلی ارسال می گردد. این فرایند تا زمانی که تغییری در ازدحام ایجاد نشود ادامه پیدا می کند.



### ۳- شبیه سازی

از شبیه ساز شبکه های کامپیوتری NS-2<sup>۱۴</sup> برای شبیه سازی استفاده شده است. برای فشرده سازی ویدیوی خام بوسیله کدگذار MPEG-4 از ابزار FFMPEG استفاده شده است که تبدیل و ذخیره ویدیو بر عهده این بخش می باشد [۱۷]. برای ارزیابی کیفیت ویدیو با روش محاسبه PSNR و VQA از ابزار Evalvid استفاده شده است [۱].

بلوک دیاگرام کلی شبیه سازی در شکل ۲ آمده است. دنباله های ویدیوی خام یا کد نشده که با فرمت YUV در دسترس می باشند [۱۸]، با استفاده از کدگذار MPEG-4 و بوسیله نرم افزار FFmpeg به ویدیوی فشرده شده (mp4 یا m4v) تبدیل می شود. با توجه به اینکه نرخ ویدیوی انتقالی به صورت تطبیقی تغییر پیدا می کند با تغییر پیمانش گر در هر مرحله یک فایل ویدیوی فشرده شده با کیفیت متناسب با آن پیمانش گر تولید می شود. در مرحله بعد سائز بسته ی ویدیو که در این مقاله ۱۰۰۰ بایت در نظر گرفته شده است، تعیین می شود و سپس با توجه به سائز بسته ها، طول و مشخصات GOP ویدیوهای فشرده شده برای استفاده در نرم افزار NS-2 به فایل های متنی تبدیل می شوند. این فایل های متنی به عنوان ورودی به شبکه طراحی شده در NS-2 اعمال می شوند و پس از انجام فرایند شبیه سازی، شبیه ساز شبکه، فایل های متنی خروجی دیگری تولید می کند. پس از انجام شبیه سازی و تولید فایل های متنی مربوط به شبیه سازی، ویدیوی خروجی از شبکه بایستی بازیابی شود. این عملیات با توجه به تمامی فایل های متنی<sup>۱۵</sup> ورودی به شبیه ساز و خروجی از شبیه ساز و همچنین ویدیوهای فشرده شده انجام می پذیرد. پس از بازسازی ویدیوی منتقل شده از شبکه، با توجه به شرایط شبکه ممکن است برخی از بسته ها و یا قاب های تصویر ویدیو حذف شده باشند، برای رفع این مشکل از عملیات پس پردازش<sup>۱۶</sup> استفاده می شود. در نتیجه این فرایند قاب های تصویر حذف شده با قاب های تصویر قبلی جایگزین می شوند. پس پردازش همچنین سبب می شود ارزیابی کیفیت ویدیو با استفاده از PSNR که به صورت قاب تصویر به قاب تصویر انجام می گیرد به صورت دقیق تری انجام شود. در نهایت ویدیوی پس پردازش شده با استفاده از FFmpeg به سیگنال ویدیو (به طور مثال ویدیوی YUV) تبدیل شده و با استفاده از ابزار PSNR و VQA موجود در مجموعه Evalvid کیفیت ویدیو مورد ارزیابی قرار می گیرد.



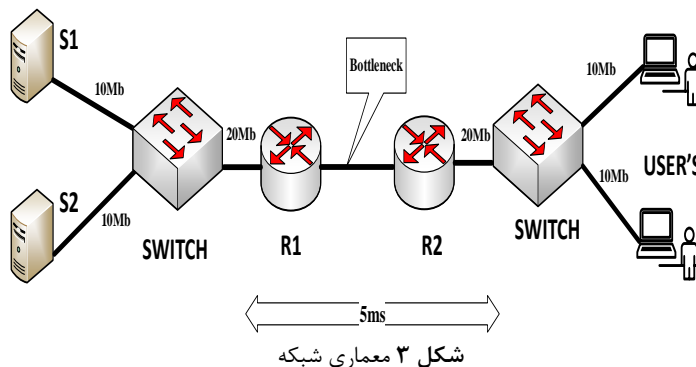
شکل ۲ بلوک دیاگرام مراحل شبیه سازی

<sup>۱۴</sup> Network Simulator (Version-2)

<sup>۱۵</sup> Trace Files

<sup>۱۶</sup> Post process

معماری شبکه استفاده شده در شکل ۳ آمده است. S1، سرور جویبارسازی ویدیو و S2، سرور تولید کننده ترافیک پس زمینه می باشد. پهنای باند اختصاص داده شده به لینکها در شکل ۳ نشان داده شده است. لینک مابین مسیریاب R1 و R2 به عنوان گلوگاه شبکه در نظر گرفته شده است. پهنای باند اختصاص داده شده به این لینک نیم مگابیت بر ثانیه (0.5Mb) می باشد، که متناسب با بالاترین نرخ بیت تولید شده برای ویدیوی Akiyo با وضوح CIF می باشد یعنی ویدیوی Akiyo تولید شده با پیمانش برابر با ۲ را بدون تلف شدن بسته ها عبور می دهد.

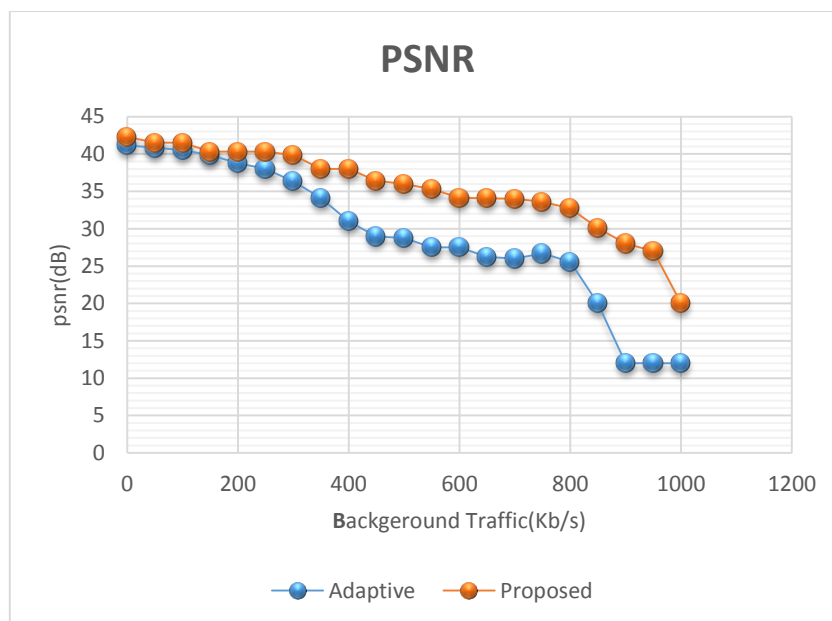


دنباله Akiyo با وضوح CIF به عنوان ترافیک ویدیویی مورد استفاده قرار گرفته و به عنوان ترافیک پس زمینه یک ترافیک با اولویت بالاتر در نظر گرفته شده است، که از نوع ترافیک نمایی روشن-خاموش<sup>۱۷</sup> و اندازه بسته های آن ۱۰۰۰ بایت می باشد. همچنین فرض بر این بوده است که ترافیک با اولویت بالاتر در تمام طول مدت جویبارسازی ویدیو وجود داشته است.

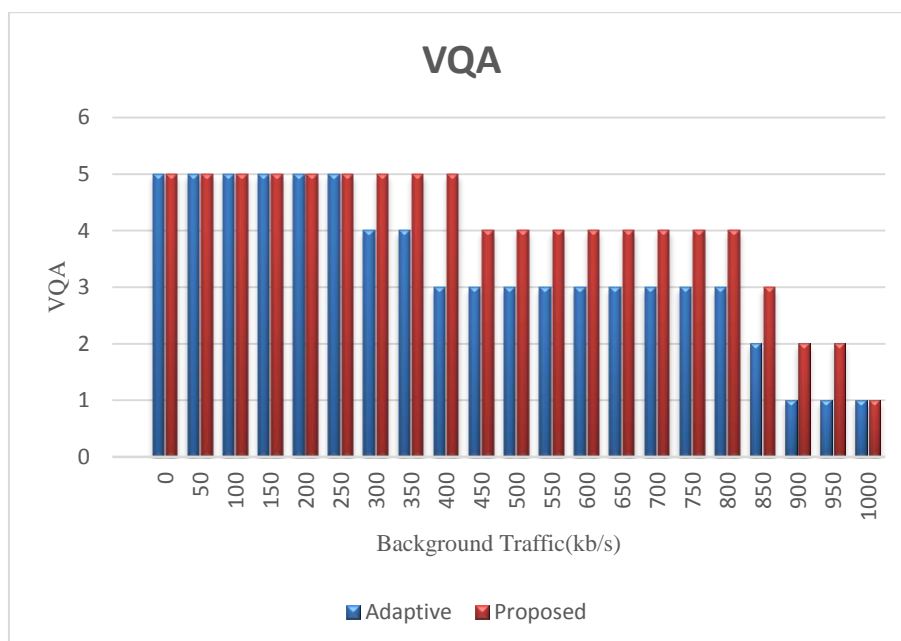
#### ۴- نتایج

عملکرد راهکار ارایه شده در مقایسه با روش جویبارسازی تطبیقی و با شرایط تشریح شده در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که ترافیک با اولویت بالاتر در هر مرحله به میزان ۵۰ کیلوبیت بر ثانیه افزایش یافته است، بنابراین این آزمایش ۲۱ مرتبه با ترافیک پس زمینه با نرخ بیت مختلف انجام گرفته است که این فرآیند یک بار برای الگوریتم جویبارسازی تطبیقی ویدیو و یک بار برای راهکار پیشنهادی انجام گرفته است. PSNR و VQA ویدیوی دریافتی در مقصد برای هر دو روش محاسبه شده است و در شکل های ۴ و ۵ رسم شده است.

<sup>۱۷</sup> On-Off



شکل ۴ PSNR ویدیوی Akiyo در حضور ترافیک پس زمینه



شکل ۵ VQA ویدیوی Akiyo در حضور ترافیک پس زمینه

همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود، در راهکار پیشنهادی کیفیت ویدیوی دریافتی بهتر از روش تطبیقی بوده است. می‌توان گفت برای دنباله Akiyo هرچه ترافیک زمینه بیشتر می‌شود، در راهکار پیشنهادی، ویدیوی با کیفیت بهتری دریافت می‌شود. همچنین نکته قابل توجه این است که زمانیکه ترافیک پس زمینه بسیار زیاد می‌شود و ویدیوی با کمترین نرخ بیت ارسال می‌شود راهکار پیشنهادی عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. دلیل این موضوع علامت گذاری قاب‌های ویدیو می‌باشد که در این وضعیت تاثیر خود را بیشتر نشان. با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت که در راهکار پیشنهادی کیفیت ویدیو بر مبنای معیار VQA به اندازه یک واحد افزایش پیدا کرده است.



## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از تطبیق نرخ ویدیو و ترکیب آن با مدیریت فعال صف WRED، روشی برای تطبیق نرخ بیت ویدیو در شرایط ازدحامی ارائه شد. در سمت فرستنده با استفاده از تغییر پارامتر پیمانش ویدیو در کیفیت‌های مختلفی گذر شده و با توجه به شرایط شبکه یکی از آنها ارسال شده است. همچنین با توجه به اینکه بین قاب‌های تصویر مختلف ویدیو شامل I، P و B اولویت‌گذاری مختلفی انجام شده است، در صورت لزوم بسته‌های با اهمیت کمتر حذف می‌شوند. کم اهمیت‌ترین آنها بسته‌های B می‌باشند. از آنجایی که بسته‌های ویدیو در روش ارائه شده علامت‌گذاری شده اند بنابراین برای اعمال اولویت بندی در شرایط ازدحام از WRED به عنوان مدیریت فعال صف استفاده شده است. نتایج حاصل از انجام شبیه‌سازی نشان‌دهنده بهبود کیفیت ویدیوی جویبارسازی شده در شرایط ازدحام، در مقایسه با روش جویبارسازی تطبیقی می‌باشد.

## ۶- مراجع

- [۱] J. Klaue, B. Rathke, and A. Wolisz, "Evalvid-A framework for video transmission and quality evaluation," in *International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, 2003, pp. 255-272.
- [۲] A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, *Computer networks*: Pearson, 2011.
- [۳] S. Floyd and V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance," *IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN)*, vol. 1, pp. 397-413, 1993.
- [۴] C. w. paper, "Weighted Random Detection on the Cisco 12000 Series Router," 2000.
- [۵] M. B. Raichana and M. S. Kulkarni, "Congestion Control for Computer Networks using Weighted Random Early Detection (WRED)," 2012.
- [۶] D. D. Clark and W. Fang, "Explicit allocation of best-effort packet delivery service," *IEEE/ACM Transactions on networking*, vol. 6, pp. 362-373, 1998.
- [۷] J. Gettys and K. Nichols, "Bufferbloat: dark buffers in the internet," *Communications of the ACM*, vol. 55, pp. 57-65, 2012.
- [۸] V. Firoiu, X. Zhang, and Y. Guo, "Best effort differentiated services: Trade-off service differentiation for elastic applications," in *IEEE ICT*, 2001.
- [۹] Y. Xiaogang, L. Jiqiang, and L. Ning, "Congestion control based on priority drop for H. 264/SVC," in *Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2007. MUE'07. International Conference on*, 2007, pp. 585-589.
- [۱۰] S.-R. Kang, Y. Zhang, M. Dai, and D. Loguinov, "Multi-layer active queue management and congestion control for scalable video streaming," in *Distributed Computing Systems, 2004. Proceedings. 24th International Conference on*, 2004, pp. 768-777.
- [۱۱] A. Lie and J. Klaue, "Evalvid-RA: trace driven simulation of rate adaptive MPEG-4 VBR video," *Multimedia Systems*, vol. 14, pp. 33-50, 2008.
- [۱۲] S. Qadir, A. A. Kist, and Z. Zhang, "QoE-aware cross-layer architecture for video traffic over Internet," in *Region 10 Symposium, 2014 IEEE*, 2014, pp. 522-526.
- [۱۳] I.-H. Peng, M.-H. Lin, Y.-W. Chen, F.-M. Yang, and A. Y. Su, "Improvement of Streaming Video in Differential Service Networks by Using Opportunity RED Mechanism," in *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS), 2013 Seventh International Conference on*, 2013, pp. 644-648.
- [۱۴] T. N. Van Caenegem, K. O. Struyve, K. Laevens, D. De Vleeschauwer, and R. Sharpe, "Maintaining video quality and optimizing video delivery over the bandwidth constrained DSL last mile through intelligent packet drop," *Bell Labs Technical Journal*, vol. 13, pp. 53-68, 2008.
- [۱۵] M. Handley, J. Padhye, S. Floyd, and J. Widmer, "TCP friendly rate control (TFRC): Protocol specification," 2008.

- [۱۶] Y. Li and S.-H. Yang, "Priority checking RED for improving QoS in IPv6," in *Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 1413-1418.
- [۱۷] S. Tomar, "Converting video formats with FFmpeg," *Linux Journal*, vol. 2006, p. 10, 2006.
- [۱۸] "<https://media.xiph.org/video/derf/>," vol. Available in 2017, Video Test Media.