

# بهبود کیفیت تجربه کاربر برای محتوای ویدئوی جویبارسازی شده در ساختار ابری

سید حسن نبوی، محمد بهدادفر و محمدرضا نوری فرد

ذخیره‌سازی بر کیفیت درک‌شده توسط کاربر تأثیر منفی می‌گذارد [۳]. ارزیابی تجربی سیستم‌های مختلف تجاری HAS در [۴] و [۵] نشان می‌دهد که استراتژی‌های تطبیق نرخ مبتنی بر گیرنده ممکن است منجر به نوسانات QOE در سمت گیرنده شود. حتی در حالتی که پهنای باند سرتاسری کانال نسبتاً ثابت است، ممکن است تغییرات در نرخ ارسالی منجر به زمان‌های انتقال متفاوت برای قطعه‌های ویدئوی مختلف شود. بنابراین حتی در حالت‌هایی که پهنای باند ثابت است، نوسانات محلی نرخ کدگذاری می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه QOE شود. بر این اساس به منظور تطبیق نرخ ارسال قطعه‌ها با گذردهی در دسترس شبکه، از روش پنجره پیش‌بینی [۶] در سمت فرستنده استفاده می‌شود تا حتی الامکان از رخ‌دادن وقفه در پخش جلوگیری شود.

از طرفی چون قطعه‌های ویدئویی با سرعت‌های مختلفی در بافر گیرنده بارگیری می‌شوند، نرخ ارسال درخواست‌های دانلود قطعه‌ها باید با توجه به وضعیت بافر گیرنده و متناسب با سرعت بارگیری قطعه‌ها تنظیم شود تا حتی الامکان از خالی‌شدن بافر و رخ‌دادن وقفه در پخش جلوگیری شود. بدین منظور از الگوریتم ارسال درخواست‌های HTTP-GET در سمت گیرنده استفاده می‌شود.

از آنجایی که معمولاً الگوریتم‌های مبتنی بر پیش‌بینی در سمت سرور و الگوریتم‌های مبتنی بر بافر در سمت گیرنده اعمال می‌شوند، در این مقاله به منظور بهبود QOE، با اعمال روش پیشنهادی ILAG از ظرفیت هر دو دسته الگوریتم‌های سمت سرور و سمت گیرنده استفاده شده است. از طرفی با توجه به محدوده وسیع تغییرات پارامترهای شبکه و تعداد بالای درخواست‌ها، به خصوص برای ویدئو، پیاده‌سازی راهکار پیشنهادی در بستر ابر بازدهی بالاتری خواهد داشت. دلیل این امر، قدرت پردازش بالا، ظرفیت ذخیره‌سازی قابل توجه و پاسخ بلادرنگ سرورها به درخواست‌ها است [۷].

در بخش ۲، مدل سیستم به کار گرفته شده برای پیاده‌سازی راهکار پیشنهادی معرفی شده است. همچنین در بخش ۳ الگوریتم‌های پیشنهادی در این مقاله معرفی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش ۴ نیز مروری بر الگوریتم‌های موجود انجام خواهد شد و در نهایت در بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی‌های روش پیشنهادی با روش‌های موجود مقایسه می‌شوند.

## ۲- مدل سیستم

در سیستم در نظر گرفته شده،  $L$  نسخه از ویدئوی کدبندی شده در نرخ‌های مختلف در سرور ذخیره می‌شود. هر دنباله ویدئویی به صورت مجموعه‌ای از GOP<sup>۱</sup>ها دسته‌بندی می‌شود. با درخواست محتوای ویدئویی از سمت مشتری تعدادی از GOPها در قالب یک قطعه ویدئو

کچیده: یکی از راهکارهای نوین که می‌تواند سهم بسزایی در بهبود کیفیت تحویل محتوای چندرسانه‌ای داشته باشد، به کارگیری شبکه‌های مبتنی بر ابر است. در این مقاله به منظور بهبود کیفیت تجربه کاربران (QOE) در سرویس‌های جویبارسازی تطبیقی ویدئو به بررسی یک روش مبتنی بر ابر پرداخته خواهد شد. در راهکار پیشنهادی، الگوریتم پنجره پیش‌بینی بهبودیافته در سمت فرستنده و الگوریتم ارسال درخواست‌های HTTP در سمت گیرنده اعمال شده‌اند. با اعمال هم‌زمان این دو الگوریتم در دو سمت فرستنده و گیرنده از ظرفیت‌های هر دو طرف استفاده می‌شود و از رخ‌دادن پاریز و در نتیجه ایجاد وقفه در پخش ویدئو جلوگیری می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مقایسه‌شده دیگر تأثیر بیشتری در بهبود کیفیت تجربه کاربران برای ویدئوی تطبیقی جویبارسازی شده در بستر ابر دارد.

کلیدواژه: جویبارسازی تطبیقی ویدئو، مدیریت بافر، کیفیت تجربه کاربران، پنجره پیش‌بینی.

## ۱- مقدمه

سرویس‌های پخش ویدئو در سال‌های اخیر در شبکه‌های سیمی و بی‌سیم شاهد رشد چشم‌گیری بوده‌اند. جویبارسازی تطبیقی ویدئو HTTP یا به اختصار HAS که در برنامه‌های تجاری محبوب شده است یک معماری گسترده سرویس‌گیرنده-سرویس‌دهنده برای تحویل سرویس‌های جویبارسازی ویدئو است. در حال حاضر سهم ترافیک ویدئوی اینترنتی در سال ۲۰۱۸ نزدیک ۵۷٪ بوده که این مقدار قرار است تا سال ۲۰۲۱ به ۷۱٪ برسد [۱] و بنابراین توجه به کیفیت محتوای چندرسانه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است. سرویس‌گیرنده می‌تواند به صورت تطبیق‌پذیر و بر اساس استراتژی‌های تطبیق نرخ که به وضعیت‌های مختلف شبکه بستگی دارد، از بین نسخه‌های مختلف یک ویدئو در سمت سرور کیفیت مورد نظر را انتخاب کند. بدین ترتیب نرخ مؤثر جویبارسازی ویدئو به هر دو عامل تنظیمات کدگذاری و کانال ارتباطی بستگی دارد [۲].

در HAS، پروتکل قابل اطمینان TCP از اتلاف بسته جلوگیری و تأخیرهای تصادفی انتقال بسته را که ناشی از خطای کانال می‌باشد شناسایی می‌کند. این تأخیرها ممکن است موجب رخ‌دادن پاریز در بافر گیرنده شود که منجر به وقفه در پخش خواهد شد. چنین رخدادهای باز-

این مقاله در تاریخ ۴ بهمن ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

سید حسن نبوی، دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، ایران، (email: nabavisaqez@yahoo.com).

محمد بهدادفر (نویسنده مسئول)، دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، ایران، (email: behdadfar@gmail.com).

محمدرضا نوری فرد، مربی، دانشکده فنی و مهندسی رسانه، دانشگاه صدا و سیما، تهران، ایران، (email: noorifard@yahoo.com).

دچار وقفه شود  $S_n = 1$  است و در غیر این صورت  $S_n = 0$  خواهد شد. سپس سیر تکاملی عملکرد بافر توسط دنباله‌های  $t_n^{GET}$ ،  $S_n$  و  $t_n^R$  و برای مقادیر  $n \neq 0$  در قالب روابط زیر توصیف می‌شود

$$\begin{cases} t_n^{GET} = \cdot \\ t_n^W = t_n^{GET} + \tau_f \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \max(\tau_{n-1}, \delta_n) \\ t_n^W = t_n^{GET} + \tau_n \\ S_n = \frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\gamma} \text{sign}(t_{n-1}^R + \tau_f - t_n^W) \\ t_n^R = t_{n-1}^R + (1 - S_n)\tau_f + S_n\delta_R \end{cases} \quad (3)$$

سپس تعداد و مجموع زمانی وقفه‌ها به ترتیب طبق (۴) و (۵) محاسبه می‌شود

$$S = \sum_{n=0}^{N-1} S_n \quad (4)$$

$$D = \delta_R \times \sum_{n=0}^{N-1} S_n \quad (5)$$

حجم اطلاعات نوشته‌شده و خوانده‌شده از بافر تا زمان  $t$  با روابط زیر مدل می‌شود

$$w(t) = \delta_R \times \sum_n x_n u_{n-1}(t - t_n^W) \quad (6)$$

$$r(t) = \sum_n x_n u_{n-1}(t - t_n^R) \quad (7)$$

بر این اساس، اندازه اشغال بافر بر حسب بیت و بر حسب ثانیه‌های ویدئو به ترتیب با (۸) و (۹) قابل توصیف است

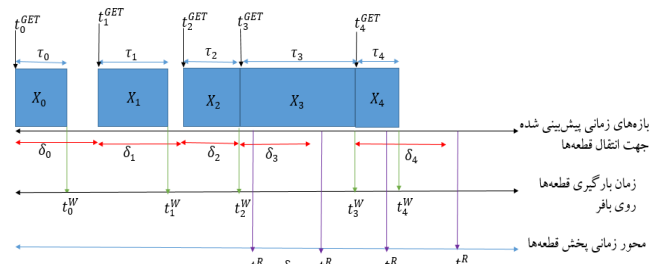
$$B(t) = w(t) - r(t) = \sum_n x_n \text{rect}_{t_n^R - t_n^W} \left( t - \frac{t_n^R + t_n^W}{2} \right) \quad (8)$$

$$Q(t) = \sum_n \text{rect}_{t_n^R - t_n^W} \left( t - \frac{t_n^R + t_n^W}{2} \right) \times \tau_f \quad (9)$$

### ۳- الگوریتم‌های پیشنهادی

#### ۳-۱ الگوریتم ارسال درخواست HTTP-GET سمت گیرنده

همان طور که در بخش مدل سیستم توضیح داده شد، گیرنده پس از دریافت اطلاعات کنترلی از فرستنده اقدام به ارسال درخواست‌های HTTP-GET می‌کند. در روش اعمال‌شده در [۶] گیرنده بدون در نظر گرفتن وضعیت بافر از نظر تعداد قطعه‌های موجود در آن اقدام به ارسال درخواست‌های HTTP-GET می‌کند. از طرفی، قطعه‌های ویدئو با سرعت‌های متفاوتی در بافر بارگیری می‌شوند. با این وجود، بافر معمولاً درخواست‌های HTTP-GET خود را با یک نرخ ثابت برای فرستنده ارسال می‌کند مگر حالتی که فرستنده پیش‌بینی پاریز را کرده باشد. در روش پیشنهادی، رفتار گیرنده به گونه‌ای طراحی شده که نرخ ارسال درخواست‌های HTTP-GET خود را با توجه به وضعیت بافر و تغییرات سرعت بارگیری قطعه‌های ویدئو در بافر به روز رسانی می‌کند. هنگامی که بافر به ناحیه پاریز نزدیک می‌شود، لازم است که سرعت ارسال درخواست‌های HTTP-GET توسط گیرنده افزایش یابد تا از پاریز بافر جلوگیری کند.



شکل ۱: سیر تکاملی HTTP-GETهای ارسال شده توسط مشتری، بارگیری قطعه‌های درخواست‌شده و روند پخش آنها در بافر.

ارسال می‌شوند. هر قطعه شامل  $\tau_f$  ثانیه از پخش ویدئو است. نرخ متوسط جریان ویدئوی گذشته،  $R$  در نظر گرفته می‌شود.  $T_W$  را اندازه  $n$ امین قطعه بر حسب بیت در نظر می‌گیریم. هنگامی که مشتری از طریق یک HTTP-GET درخواست دانلود یک قطعه ویدئو را می‌دهد، این قطعه در مدت زمان  $\tau_n = x_n / r_n$  دانلود می‌شود که در آن  $r_n$  پهنای باند خالص در دسترس در لایه کاربرد یعنی متوسط گذردهی TCP اندازه‌گیری شده در طول مدت زمان دانلود قطعه است. در مدل تعریف‌شده، پس از بارگیری هر قطعه در سمت مشتری، ابتدا وضعیت گذردهی لینکسنجیده می‌شود و پس از آن که  $n$ امین قطعه در بافر گیرنده بارگیری شد درخواست دانلود  $n+1$ امین قطعه صادر می‌شود. رابطه (۱) بازه زمانی بین HTTP-GETها را به منظور بهینه‌سازی یک معیار مناسب برای QOE بیان می‌کند [۶]

$$t_n^{GET} + t_{n-1}^{GET} = \max(\tau_{n-1}, \delta_n), \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

با این فرضیات یک زمان‌بندی HTTP-GET در نظر گرفته می‌شود که در آن  $\delta_n$  بازه پیش‌بینی‌شده توسط فرستنده برای فاصله زمانی بین ارسال درخواست‌های HTTP-GET گیرنده است [۶]. شکل ۱ سیر تکاملی ارسال درخواست‌های گیرنده و بارگیری قطعه‌ها در بافر گیرنده را نشان می‌دهد. در این شکل  $t_n^{GET}$  لحظه ارسال  $n$ امین درخواست HTTP-GET از سمت گیرنده است.  $\tau_n$  مدت زمانی است که طول می‌کشد تا  $n$ امین قطعه در بافر گیرنده بارگیری شود و  $t_n^W$  لحظه‌ای است که  $n$ امین قطعه در بافر گیرنده نوشته می‌شود.

مشتری پس از دریافت اطلاعات کنترلی، در لحظه  $t_n^{GET}$  اقدام به ارسال اولین درخواست HTTP-GET خود می‌کند.  $\tau_n$  ثانیه طول می‌کشد تا قطعه در بافر گیرنده بارگیری شود. اگر مدت زمان بارگیری قطعه کمتر از مدت زمان پیش‌بینی شده  $\delta_n$  باشد، کاربر تا پایان صبر می‌کند و سپس درخواست HTTP-GET بعدی را ارسال می‌کند. در صورتی که مدت زمان بارگیری بیشتر از  $\delta_n$  باشد کاربر تا پایان بارگیری کامل قطعه صبر می‌کند و سپس درخواست بعدی را ارسال می‌کند. در این فرایند، لحظه‌ای که قطعه  $n$ ام آماده پخش در بافر می‌شود،  $t_n^R$  نام‌گذاری شده است.  $\delta_B$  تأخیر اولیه ذخیره‌سازی شروع پخش است که در آن  $t^R = \delta_B$  است. در ابتدا که پخش شروع می‌شود، قطعه‌ها با نرخ عادی فراخوانده می‌شوند. با این حال، ممکن است به دلیل تأخیر و تغییرات تأخیر ناشی از پهنای باند و نوسانات محلی نرخ کدگذاری، بافر به حالت پاریز برود. در این حالت پخش به اندازه یک دوره زمانی بازذخیره‌سازی  $\delta_R$  متوقف می‌شود که طی این مدت قطعه‌ها در بافر گیرنده بارگذاری می‌شوند اما پخش نخواهند شد. پس از دوره بازذخیره‌سازی، پخش با نرخ  $1/\tau_f$  از سر گرفته می‌شود. از این رو مدل کردن دقیق رفتار بافر نیازمند توجه به رخداد‌های وقفه است [۶].

در این مرحله، دنباله باینری  $S_n$  معرفی می‌شود. وقتی  $n$ امین قطعه

### ۲-۳ الگوریتم پنجره پیش‌بینی بهبودیافته در سمت فرستنده

پایه الگوریتم پنجره پیش‌بینی بهبودیافته<sup>۱</sup> بر اساس پیش‌بینی گذردهی  $r_n$  است که با توجه به زمان RTT و مقدار گذردهی TCP می‌باشد. بدین منظور در سمت ابر، فرستنده با استفاده از (۱۶) تا (۲۰) میزان گذردهی در دسترس را مطابق شکل ۲ برای ظرفیت بافر گیرنده پیش‌بینی می‌گردد که  $W$  حجم قطعه‌های ارسالی پس از پیش‌بینی هر یک از حالت‌ها است و متناسب با نتیجه پیش‌بینی‌ها، نرخ ارسال قطعه‌های ویدئو تنظیم خواهد شد.

در الگوریتم ILA اگر بارگیری در بافر گیرنده با تأخیر روبه‌رو شود و حجم قطعه‌های موجود در بافر کاهش یابد، در ناحیه پایین هشدار (زرد) شکل ۲ خواهد بود و در این حالت نرخ بارگذاری قطعه‌ها مطابق (۱۶) افزایش خواهد یافت. همچنین اگر گذردهی کانال به حدی کاهش یابد که سطح داده بافر به ناحیه پایین خطر (قرمز) برسد، نرخ داده‌های ارسالی مطابق (۱۷) افزایش بیشتری خواهد داشت تا از پاریز جلوگیری شود. اگر گذردهی در دسترس به حدی کم باشد که شرط (۱۸) صدق کند، فرستنده پیش‌بینی وقوع پاریز را برای لحظات بعد خواهد کرد و بنابراین حجم قطعه‌های ارسالی را به حداکثر پنجره کامل افزایش می‌دهد تا از رخ دادن پاریز و به وجود آمدن وقفه در پخش جلوگیری کند. به همین صورت در پیش‌بینی دو حالت سرریز مربوط به ناحیه بالای هشدار (زرد) و ناحیه بالای خطر (قرمز) به ترتیب از (۱۹) و (۲۰) استفاده شده تا نرخ ارسال قطعه‌ها کاهش یابد و حجم داده بافر به ناحیه ایمن (سبز) برسد. آستانه‌های تعیین‌شده در این الگوریتم بر اساس نتایج تجربی آزمایش‌های انجام‌شده به دست آمده است. همچنین در صورتی که نرخ نمایش قطعه‌های متوالی بارگیری‌شده مطابق (۲۱) از مقدار قابل انتظار برای پنجره  $W$  بیشتر باشد، گیرنده به حالت پاریز نزدیک می‌شود و در نتیجه بارگیری روی پنجره بعدی آغاز می‌شود ولی در غیر این صورت طبق (۲۲) پس از  $T$  ثانیه بارگیری پنجره بعدی شروع خواهد شد

$$\text{if} : \left(\frac{3}{5} \times W \cdot \tau_f\right) < \sum_{k=1}^{W-1} \max(\tau_k, \tau_f) \leq (W \cdot \tau_f) \xrightarrow{\text{then}} \quad (16)$$

$$\bar{W} = \left(\frac{4}{6} \times W \cdot \tau_f\right)$$

$$\text{if} : \left(\frac{4}{5} \times W \cdot \tau_f\right) < \sum_{k=1}^{W-1} \max(\tau_k, \tau_f) \leq (W \cdot \tau_f) \xrightarrow{\text{then}} \quad (17)$$

$$\bar{W} = \left(\frac{5}{6} \times W \cdot \tau_f\right)$$

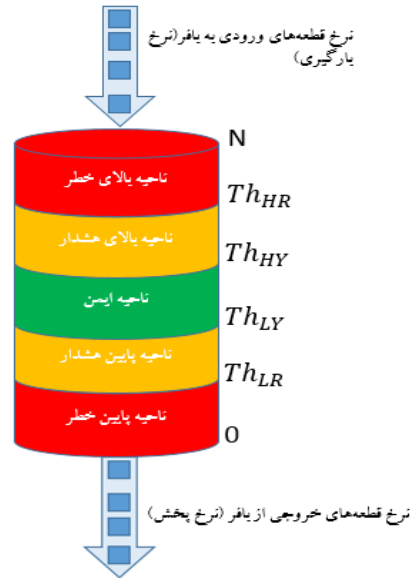
$$\text{if} : \sum_{k=1}^{W-1} \max(\tau_k, \tau_f) > W \cdot \tau_f \xrightarrow{\text{then}} \bar{W} = \left(\frac{5}{6} \times W \cdot \tau_f\right) \quad (18)$$

$$\text{if} : \left(\frac{1}{5} \times W \cdot \tau_f\right) < \sum_{k=1}^{W-1} \max(\tau_k, \tau_f) \leq \left(\frac{2}{5} \times W \cdot \tau_f\right) \quad (19)$$

$$\xrightarrow{\text{then}} \bar{W} = \left(\frac{2}{6} \times W \cdot \tau_f\right)$$

$$\text{if} : \sum_{k=1}^{W-1} \max(\tau_k, \tau_f) \leq \left(\frac{1}{5} \times W \cdot \tau_f\right) \xrightarrow{\text{then}} \quad (20)$$

$$\bar{W} = \left(\frac{1}{6} \times W \cdot \tau_f\right)$$



شکل ۲: نمایش نواحی مختلف بافر از نظر حجم قطعه‌های موجود در آن.

بر اساس این استدلال و با در نظر گرفتن مدل شکل ۲ برای بافر گیرنده، سرعت ارسال درخواست‌ها کنترل می‌شود. در مدل پیشنهادی ارسال درخواست‌ها، اگر حجم قطعه‌های موجود در بافر کاهش یافته و سطح بافر به ناحیه پایین هشدار یا پایین خطر برسد، نرخ ارسال درخواست‌های HTTP-GET متناسب با نرخ بارگیری قطعه‌ها روی بافر گیرنده تغییر خواهد کرد. اگر مدت زمان بارگیری قطعه روی بافر کمتر از  $\tau_f$  باشد، ارسال درخواست HTTP-GET بعدی بر اساس یکی از رابطه‌های (۱۰) تا (۱۴) مشخص می‌شود. در این رابطه‌ها،  $N$  ظرفیت بافر،  $Th_{HY}$  و  $Th_{LY}$  به ترتیب آستانه‌های ناحیه پایین و بالای هشدار و  $Th_{HR}$  و  $Th_{LR}$  نیز به ترتیب آستانه‌های ناحیه پایین و بالای خطر از نظر تعداد فریم می‌باشند. این روابط به گونه‌ای تعریف شده‌اند که متناسب با افزایش یا کاهش نرخ بارگیری قطعه‌ها در بافر گیرنده نرخ ارسال درخواست‌ها نیز به صورت پلکانی افزایش یا کاهش یابد. از طرفی اگر مدت زمان بارگیری قطعه در بافر بیشتر از  $\tau_f$  باشد، طبق (۱۵) گیرنده تا پایان زمان بارگیری صبر می‌کند و سپس درخواست بعدی را ارسال می‌کند

$$\text{if} : \tau_{n-1} \leq \left(\frac{Th_{LR}}{N} \times \tau_f\right) \rightarrow t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \left(\frac{Th_{LR}}{N} \times \tau_f\right) \quad (10)$$

$$\text{if} : \left(\frac{Th_{LR}}{N} \times \tau_f\right) < \tau_{n-1} \leq \left(\frac{Th_{LY}}{N} \times \tau_f\right) \rightarrow \quad (11)$$

$$t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \left(\frac{Th_{LY}}{N} \times \tau_f\right)$$

$$\text{if} : \left(\frac{Th_{LY}}{N} \times \tau_f\right) < \tau_{n-1} \leq \left(\frac{Th_{HY}}{N} \times \tau_f\right) \rightarrow \quad (12)$$

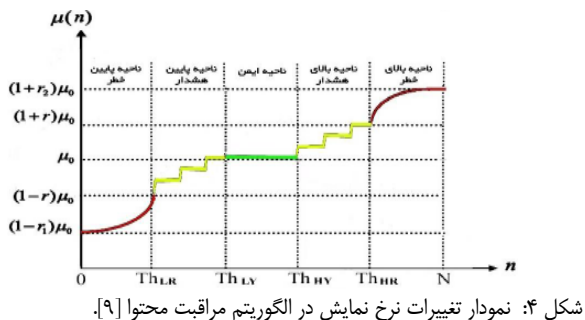
$$t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \left(\frac{Th_{HY}}{N} \times \tau_f\right)$$

$$\text{if} : \left(\frac{Th_{HY}}{N} \times \tau_f\right) < \tau_{n-1} \leq \left(\frac{Th_{HR}}{N} \times \tau_f\right) \rightarrow \quad (13)$$

$$t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \left(\frac{Th_{HR}}{N} \times \tau_f\right)$$

$$\text{if} : \left(\frac{Th_{HR}}{N} \times \tau_f\right) < \tau_{n-1} \leq \tau_f \rightarrow t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \tau_f \quad (14)$$

$$\text{if} : \tau_{n-1} > \tau_f \rightarrow t_n^{GET} = t_{n-1}^{GET} + \tau_{n-1} \quad (15)$$



همچنین در این حالت اگر (۲۴) برقرار باشد، یعنی مدت زمان لازم برای بارگیری قطعات متوالی روی بافر گیرنده از  $W \cdot \tau_f$  بیشتر باشد و بافر به ناحیه پاریز نزدیک شود، مشتری بلافاصله بارگیری قطعه‌ها روی پنجره بعدی را آغاز می‌کند و در غیر این صورت به اندازه  $W \tau_f - \sum_{k=0}^{W-1} \tau_k$  صبر خواهد کرد و سپس بارگیری روی پنجره بعدی را از سر خواهد گرفت. راهکار پیشنهادی نتیجه انجام اصلاح روی رفتار این الگوریتم است

$$\sum_{k=0}^{W-1} \max(\tau_k, \cdot) \geq W \cdot \tau_f \quad (24)$$

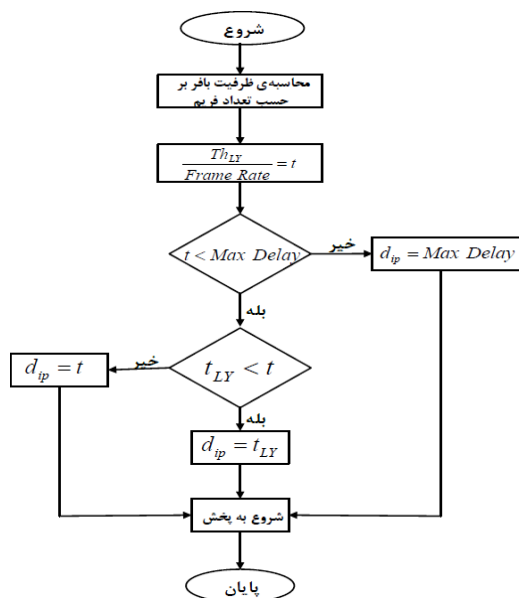
### ۲-۴ روش تأخیر نمایش آغازین

تعیین مناسب تأخیر نمایش آغازین<sup>۱</sup> باعث کاهش لرزش تأخیر در بافر گیرنده می‌شود. در این روش تأخیر نمایش آغازین با توجه به ظرفیت بافر و طبق الگوریتم شکل ۳ تعیین می‌شود. با توجه به [۸]، بیشینه تأخیر مناسب بین ۵ تا ۱۵ ثانیه متغیر است.  $N$ ، تعداد فریم قابل ذخیره‌سازی در بافر است که با توجه به (۲۵) محاسبه می‌شود و تابعی از اندازه بافر و اندازه متوسط فریم ویدئو می‌باشد. با تقسیم آستانه ناحیه زرد یعنی  $Th_{LY}$  بر نرخ نمایش عادی، زمان  $t$  به دست می‌آید. اگر زمان  $t$  به دست آمده کوچک‌تر از بیشینه تأخیر تعریف شده نباشد، بیشینه تأخیر به عنوان تأخیر نمایش آغازین در بافر گیرنده لحاظ می‌شود. در غیر این صورت، اگر زمان به دست آمده  $t$  از زمان رسیدن فریم‌ها به آستانه پایین ناحیه زرد  $t_{LY}$  بزرگ‌تر باشد، به عنوان تأخیر نمایش آغازین در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر زمان به دست آمده  $t$  از زمان رسیدن فریم‌ها به آستانه پایین ناحیه زرد  $t_{LY}$  بزرگ‌تر نباشد، نمایش پس از زمان  $t$  شروع می‌شود. این الگوریتم با استفاده از زمان، پاریز بافر و با استفاده از سطح اشغال شده بافر، سرریز بافر را کنترل می‌کند [۹]

$$N = \frac{BufferSize}{AverageFrameSize} \quad (25)$$

### ۳-۴ روش مراقبت محتوا

در الگوریتم مراقبت محتوا<sup>۲</sup>، نرخ نمایش ویدئو متناسب با نرخ بارگذاری قطعات در بافر گیرنده تنظیم می‌شود تا حد ممکن از نزدیک شدن به ناحیه‌های سرریز و پاریز اجتناب شود. یعنی مطابق شکل ۴ در ناحیه سبز بافر، نرخ نمایش عادی  $\tau$  در نظر گرفته می‌شود ولی متناسب با نزدیک شدن به ناحیه آستانه پایین زرد یا آستانه بالای زرد، نرخ نمایش به طور پلکانی افزایش یا کاهش خواهد یافت که البته تأثیر آن برای کاربر محسوس نخواهد بود. همچنین اگر تعداد فریم‌های موجود در بافر بیشتر



شکل ۳: روندنمای الگوریتم تأخیر نمایش آغازین [۹].

از طرف دیگر اگر (۲۱) برقرار باشد، یعنی نرخ نمایش قطعه‌های متوالی بارگیری شده از مقدار قابل انتظار برای پنجره  $W$  بیشتر باشد و گیرنده به حالت پاریز نزدیک شده باشد، کاربر بارگیری روی پنجره بعدی را آغاز می‌کند و در غیر این صورت به مدت  $T$  ثانیه در (۲۲) صبر می‌کند و سپس بارگیری روی پنجره بعدی را شروع می‌کند

$$\sum_{k=0}^{W-1} \max(\tau_k, \cdot) \geq W \cdot \tau_f \quad (21)$$

$$T = W \cdot \tau_f - \sum_{k=0}^{W-1} \tau_k \quad (22)$$

با توجه به افزایش پیچیدگی این الگوریتم نسبت به روش‌های قبلی، زمان اجرای آن افزایش می‌یابد ولی در مقابل پیش‌بینی وضعیت بافر دقیق‌تر خواهد شد.

### ۴-۴ مروری بر الگوریتم‌های موجود

#### ۱-۴ روش پنجره پیش‌بینی (LookAhead)

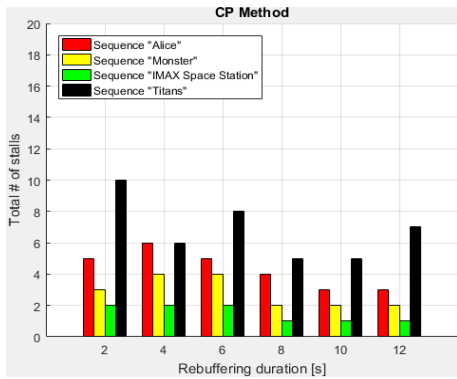
در این روش از الگوریتم پنجره پیش‌بینی برای تغییر نرخ ارسال قطعه‌های ویدئویی متناسب با گذردهی در دسترس استفاده می‌شود. بدین منظور با کاهش تعداد وقفه‌ها در پخش ویدئو کیفیت تجربه کاربر بهبود داده می‌شود.

طبق (۲۳) به ازای هر  $W \cdot \tau_f$  که مدت زمان پخش یک پنجره از قطعه‌های ویدئو است، اگر  $\tau_k$  یا مدت زمان لازم برای بارگیری هر قطعه ویدئو، کوچک‌تر یا مساوی با  $\tau_f$  که مدت زمان پخش یک قطعه از ویدئو است باشد، وقفه‌ای تا مرحله  $k$ ام اتفاق نیفتاده است. در این حالت فاصله بین ارسال درخواست‌های HTTP-GET کاربر، برابر با  $\tau_f$  خواهد بود

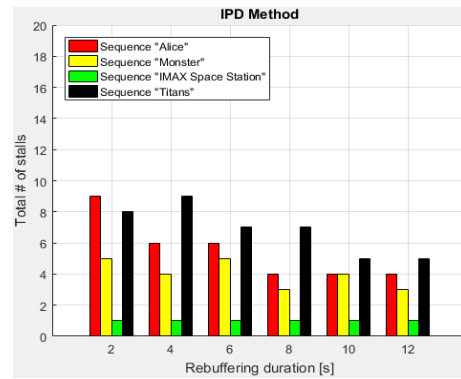
$$\sum_{k=0}^{W-1} \max(\tau_k, \tau_f) \leq W \cdot \tau_f \quad (23)$$

در غیر این صورت با فرض برقرار نبودن (۲۳)، با اتفاق افتادن وقفه و نزدیک شدن سطح بافر به ناحیه پاریز، فاصله بین ارسال درخواست‌های HTTP-GET کاربر برابر صفر خواهد شد. به عبارت دیگر الگوریتم پنجره پیش‌بینی بدون وقفه شروع به ارسال قطعه‌های ویدئو می‌کند تا از رفتن بافر به ناحیه پاریز جلوگیری کند.

1. Initial Playout Delay  
2. Content Policing



شکل ۷: تعداد وقفه‌های مربوط به اعمال روش CP به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.



شکل ۵: تعداد وقفه‌های مربوط به اعمال روش IPD به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.

جدول ۱: ویدئوهای مورد استفاده و ویژگی‌های آنها.

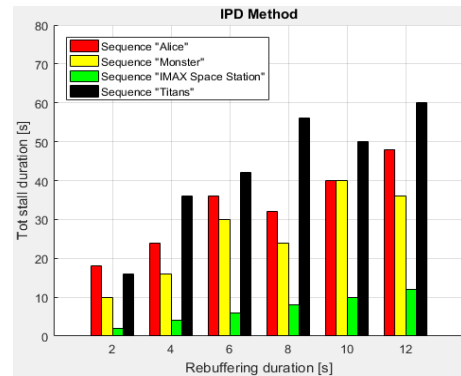
متوسط نرخ بیت (مگابیت بر ثانیه)	متوسط اندازه فریم (کیلوبیت)	دنباله ویدئو
۳٫۲۶	۱۳۶	Alice
۱٫۵۷	۱۱۴	Monster
۴٫۷۹	۱۹۹	Space Station
۳٫۷۹	۱۵۸	Titans

$$VAQ = \delta \cdot \frac{f_u(QOS_u)}{\delta} \cdot \frac{f_d(QOS_d)}{\delta} \cdot \frac{f_r(QOS_r)}{\delta} \quad (29)$$

شبیه‌سازی الگوریتم‌های اشاره‌شده در محیط MATLAB انجام شده و پارامترهایی نظیر اندازه حجم بافر در طول پخش ویدئو، تعداد و مدت زمان وقفه‌ها، دوره زمانی پاریز و تأخیر نمایش آغازین اندازه‌گیری و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. برای انجام شبیه‌سازی از مجموعه داده [۱۱] با مشخصات مندرج در جدول ۱ که در [۱۲] و [۱۳] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، استفاده شده است. این داده‌ها شامل چهار ویدئو با وضوح ۱۹۲۰×۱۰۸۰ پیکسل و با سرعت ۲۴ فریم بر ثانیه و الگوی GOP برابر ۱۶B۱<sup>۳</sup> می‌باشند. اندازه بافر گیرنده ۳۰۰ فریم و طول هر ویدئو ۳۵/۵۴۴ دقیقه است.

در انتها به کارگیری هم‌زمان الگوریتم پنجره پیش‌بینی بهبودیافته (ILA) در سمت سرور و الگوریتم ارسال درخواست‌های HTTP-GET در سمت مشتری با نام ILAG<sup>۳</sup> نیز شبیه‌سازی شد و نتایج آن با روش‌های قبلی مقایسه گردید که در ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها کاهش تعداد و مدت زمان وقفه‌های پخش به عنوان معیار بهبود QOE و مدیریت پاریز و سرریز بافر گیرنده در نظر گرفته شده است.

شکل‌های ۵ تا ۸ تعداد وقفه‌ها و شکل‌های ۹ تا ۱۲ طول وقفه‌ها را به ترتیب برای روش‌های CP، IPD، LookAhead و ILAG و به ازای  $W = 6$  نشان می‌دهند. چنانچه مشاهده می‌شود، تعداد و طول وقفه‌ها برای روش پیشنهادی ILAG نسبت به سایر روش‌ها کمتر شده است. افزایش دوره زمانی بازذخیره‌سازی موجب کاهش تعداد و افزایش دوره زمانی وقفه‌ها می‌شود. به همین خاطر ضروری است در انتخاب دوره زمانی بازذخیره‌سازی هر دو عامل تعداد وقفه و دوره زمانی آنها را در نظر گرفت. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تعداد وقفه‌ها را برای نسبت‌های نرخ کدگذاری به پهنای باند و به ازای  $W = 6$ ،  $T_W = W\tau_f = 12s$  و  $\delta_R = 12s$  نمایش



شکل ۶: طول وقفه‌های مربوط به اعمال روش IPD به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.

از آستانه ناحیه قرمز بالا یا کمتر از آستانه ناحیه قرمز پایین باشد، به ترتیب مطابق (۲۶) و (۲۷) نرخ نمایش به صورت نامی افزایش یا کاهش می‌یابد تا از سرریز یا پاریز جلوگیری نماید

$$\mu HR = (1 + r_1)\mu - \left(\frac{N - NOF}{N - Th_{HR}}\right)^r (r_1 - r)\mu \quad (26)$$

$$\mu LR = (1 - r_1)\mu + \left(\frac{NOF}{Th_{LR}}\right)^r (r_1 - r)\mu \quad (27)$$

در این روابط  $\mu LR$  و  $\mu HR$  نرخ نمایش،  $r_1$  و  $r_2$  تغییرات نرخ نمایش در ناحیه قرمز،  $r$  تغییر نرخ نمایش در ناحیه زرد و  $n$  تعداد فریم‌های درون بافر است.

### ۵- نتایج شبیه‌سازی

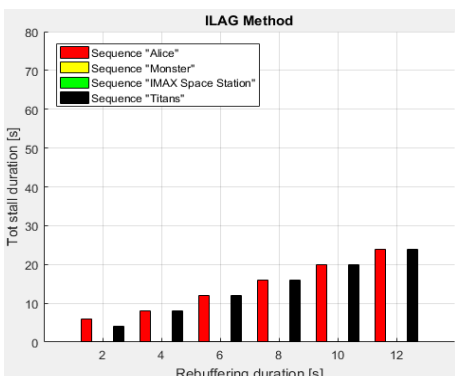
در [۱۰] برای محاسبه کیفیت تجربه کاربر برای ویدئوی جوئیبارسازی‌شده از (۲۸) استفاده شده است. در این رابطه،  $QOS_u$  نشان‌دهنده نسبت زمانی پاریز بافر،  $QOS_d$  تأخیر نمایش آغازین،  $QOS_r$  نرخ نمایش نرمالیزه‌شده<sup>۱</sup> و  $QOS_l$  نرخ از دست‌دادن بسته است. از آنجایی که تمرکز روش پیشنهادی، مدیریت پاریز از طریق کاهش تعداد و طول وقفه‌ها می‌باشد، برای ارزیابی کیفیت تجربه کاربر استفاده از (۲۹) توصیه می‌شود [۷] که در آن، تأثیر پارامترهای  $QOS_u$ ،  $QOS_d$  و  $QOS_r$  در نظر گرفته شده است

$$QOE = \delta \cdot \frac{f_u(QOS_u)}{\delta} \cdot \frac{f_l(QOS_l)}{\delta} \cdot \frac{f_d(QOS_d)}{\delta} \cdot \frac{f_r(QOS_r)}{\delta} \quad (28)$$

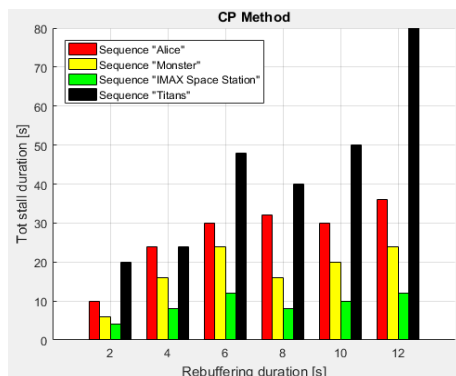
2. 16 Frames per GOP, 1 B frame in between I/P key pictures

3. Improved LookAhead Get

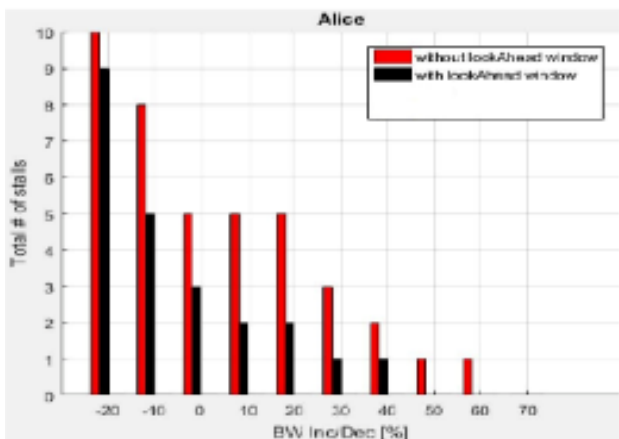
1. Normalized



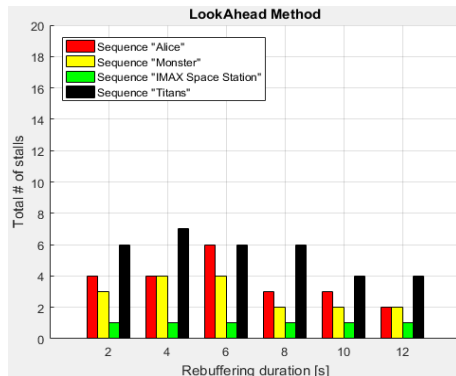
شکل ۱۲: طول وقفه‌های مربوط به اعمال روش ILAG به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.



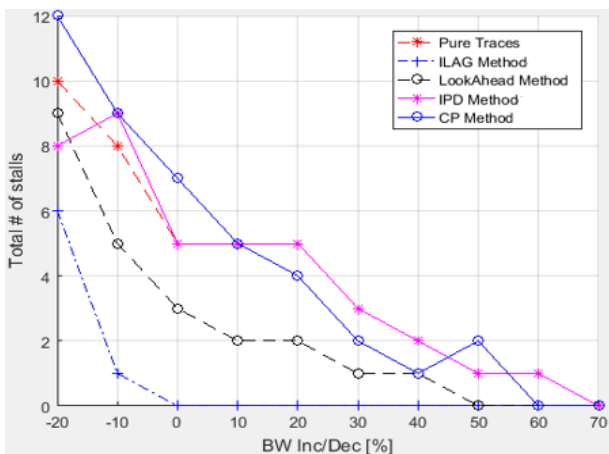
شکل ۸: طول وقفه‌های مربوط به اعمال روش CP به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.



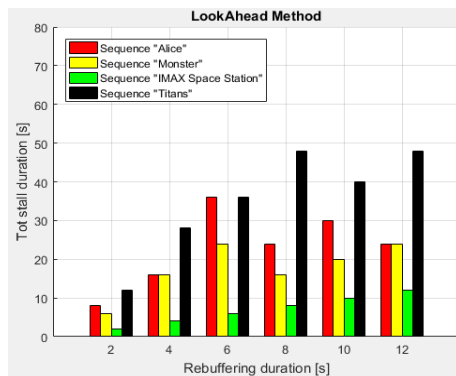
شکل ۱۳: تعداد وقفه‌ها در حضور و عدم حضور پردازش‌های مبتنی بر بستر ابر به ازای نسبت‌های مختلف نرخ کدبندی به پهنای باند.



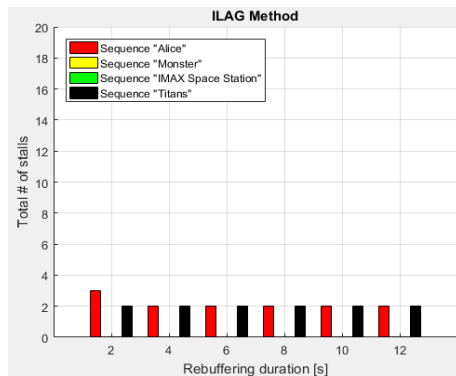
شکل ۹: تعداد وقفه‌های مربوط به اعمال روش LookAhead به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.



شکل ۱۴: تعداد وقفه‌ها برای ویدئوی Monster به ازای تغییرات نسبت پهنای باند در دسترس به نرخ کدگذاری یا پخش.



شکل ۱۰: طول وقفه‌های مربوط به اعمال روش LookAhead به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.



شکل ۱۱: تعداد وقفه‌های مربوط به اعمال روش ILAG به ازای دوره‌های زمانی مختلف پاریز.

حضور پردازش‌های مبتنی بر بستر ابر محاسبه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، عملکرد سیستم از نظر کاهش تعداد وقفه‌ها در حضور پردازش‌های مبتنی بر بستر ابر برای تمام مقادیر پهنای باند بهبود یافته است. شکل ۱۴ نیز تعداد وقفه‌ها را برای روش‌های LookAhead, ILAG, IPD و CP نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که تغییرات پهنای باند روی تعداد و طول وقفه‌ها تأثیر بسزایی دارد. با افزایش پهنای باند در دسترس تعداد وقفه‌ها و همچنین دوره زمانی آنها کاهش می‌یابد. این کاهش برای روش پیشنهادی ILAG بیشتر است. دلیل این موضوع استفاده از قابلیت‌های هر دو سمت فرستنده و گیرنده است که منجر به بهبود QoE خواهد شد.

می‌دهند که در آن  $W$  اندازه پنجره پیش‌بینی و  $T_{IV}$  دوره زمانی آن می‌باشد. در شکل ۱۳ تعداد وقفه‌ها در طول پخش ویدئو در حضور و عدم

Conference on HCI in Work and Learning, Life and Leisure: Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering, pp. 447-464, Klagenfurt, Austria, Nov. 2010.

- [6] S. Colonnese, F. Cuomo, T. Melodia, and R. Guida, "Cloud-assisted buffer management for HTTP-based mobilevideo streaming," in *Proc. of the 10th ACM Symp. on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*, 8 pp., Roma, Italy, Nov. 2013.

[۷] م. شکر، بهبود روش تحویل محتوای آگاه از تجربه کیفیت کاربران در بستر ابر،

کارشناسی ارشد پایان نامه، دانشگاه صدا و سیما، آبان ۱۳۹۶.

- [8] M. Li, T. W. Lin, and S. H. Cheng, "Arrival process-controlled adaptive media playout with multiple thresholds for video streaming," *Multimedia Syst.*, vol. 18, no. 5, pp. 391-407, Oct. 2012.

[۹] ر. سلیمانی توانی، م. بهدادفر، م. ر. نوری فرد و ا. فقیهی، "بهبود نمایش تطبیقی

محتوای جویبارسازی شده،" بیست و یکمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر

ایران، ۷ صص. ۲۰-۱۸ اسفند ۱۳۹۴.

[۱۰] م. ک. اکبری و م. سرگلزایی جوان، *رایانش ابری- ارائه معماری ها، ابزارها،*

سرویس ها و مسایل مرتبط، آزمایشگاه و مرکز تحقیقات رایانش ابری، دانشگاه

امیرکبیر، ۱۳۸۹.

- [11] F. H. P. Fitzek and M. Reisslein, "MPEG-4 and H. 263 video traces for network performance evaluation," *IEEE Network*, vol. 15, no. 6, pp. 40-54, Non./Dec. 2001.

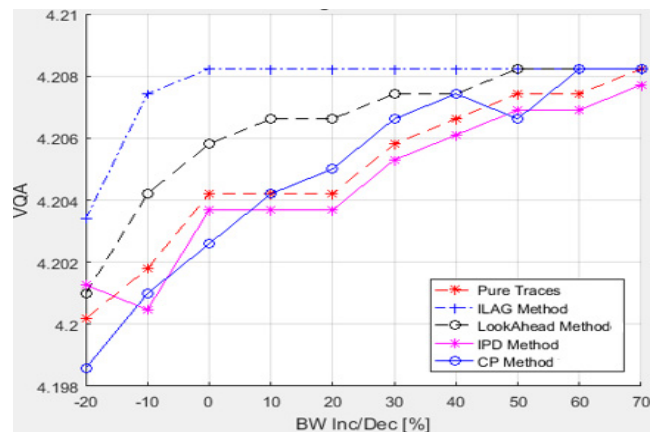
- [12] A. Pulipaka, P. Seeling, M. Reisslein, and L. Karam, "Traffic and statistical multiplexing characterization of 3-D video representation formats," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 59, no. 2, pp. 382-389, Jun. 2013.

- [13] P. Seeling and M. Reisslein, "Video transport evaluation with H. 264 video traces," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 1142-1165, Sept. 2012.

سیدحسین نبوی متولد ۱۳۷۱ و تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در سال ۱۳۹۴ در دانشگاه ارومیه و در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه صدا و سیما به پایان رسانده است و هم اکنون به عنوان مهندس فنی در صدا و سیما تهران مشغول به خدمت است. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از شبکه های محتوا محور، شبکه های پرسرعت، الگوریتم های شبکه، کیفیت سرویس و کیفیت تجربه کاربر در شبکه های چندرسانه ای.

محمد بهدادفر متولد ۱۳۵۶ و تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری به ترتیب در سال های ۱۳۷۸، ۱۳۸۱، ۱۳۸۹ در دانشگاه صنعتی اصفهان به پایان رسانده است و هم اکنون استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه صدا و سیما است. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از شبکه های پرسرعت، شبکه های نرم افزار محور، شبکه های محتوا محور، الگوریتم های شبکه، کیفیت سرویس و کیفیت تجربه در شبکه های چندرسانه ای.

محمد رضا نوری فرد متولد ۱۳۴۴ و از سال ۱۳۷۳ عضو هیأت علمی دانشگاه صدا و سیما است. از زمینه های مورد علاقه ایشان، ارزیابی کیفیت سرویس و کیفیت تجربه کاربران در شبکه های کامپیوتری نوین قابل ذکر است



شکل ۱۵: نمره VQA برای هر کدام از روش های یاد شده در ویدئوی Monster.

نتایج ارزیابی کیفیت تجربه کاربران با استفاده از روش VQA محاسبه و در شکل ۱۵ نمایش داده است. نتایج نشان می دهد، روش پیشنهادی ILAG نسبت به روش های CP، IPD و LookAhead برتری قابل توجهی دارد.

## ۶- نتیجه گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج به دست آمده از شبیه سازی ها، مشخص شد که استفاده از روش پیشنهادی در بستر ابر، تأثیر قابل توجهی روی کاهش تعداد و دوره زمانی وقفه ها و در نتیجه بهبود QOE دارد.

مدیریت بافر بر اساس تطبیق نرخ بیت قطعه های ارسالی، تعیین بیشینه تأخیر نمایش آغازین بر اساس ادراک تجربی کاربر و لحاظ کردن اثرات مربوط به تلفات بسته در کانال روی کیفیت تجربه کاربر را می توان به عنوان کارهای آینده در نظر گرفت.

## مراجع

- [1] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022 White Paper, 2018.
- [2] S. Colonnese, P. Frossard, S. Rinauro, L. Rossi, and G. Scarano, "Joint source and sending rate modeling in adaptive video streaming," *Image Communication*, vol. 28, no. 5, pp. 403-416, May 2013.
- [3] M. Gorius, Y. Shuai, and T. Herfet, "Dynamic media streaming over wireless and mobile ip networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics-Berlin, ICCE-Berlin'12*, pp. 158-162, Berlin, Germany, 3-5 Sept. 2012.
- [4] S. Akhshabi, A. C. Begen, and C. Dovrolis, "An experimental evaluation of rate-adaptation algorithms in adaptive streaming over HTTP," in *Proc. of the 2nd Annual ACM Conf. on Multimedia Systems*, pp. 157-168, San Jose, CA, USA, Feb. 2011.
- [5] L. De Cicco and S. Mascolo, "An experimental investigation of the Akamai adaptive video streaming," in *Proc. 6th International*