

**توازن برای ارائه دهندگان ویدئو در شبکه های LTE :**

 **مصرف انرژی تلفن های هوشمند در برابر ترافیک هدررفته**

**چکیده**

شبکه‌های تکامل بلند مدت (LTE) دسترسی به اینرنت پهن‌باند را برای کاربران موبایل فراهم‌می‌کنند. یکی از استفاده‌های اصلی برای LTE ویدئو موبایل‌ها می‌باشد. زمانی که یک مکانیسم انتقال ویدئویی را انتخاب‌می‌کنیم، یک ارائه‌دهنده ویدئو باید متریک‌های متفاوت و متعامد را بررسی‌کند. مصرف‌کننده‌ها کیفیت بالای ویدئو (QoE) و مصرف انرژی پایین در مدت‌زمان دانلودو پخشرا تجربه‌کرده‌اند. ارائه‌دهندگان ویدئویی به حداقل‌سازی منابع و هزینه‌های متناطر، مانند پهنای باند و ترافیک‌هدررفته علاقه‌دارند. اگر یک کاربر به نتیجه نرسد و داده‌های اضافی ویدئو دانلود شوند اما پخش نمی‌شوند، و به طور غیرقطعی از منابع استفاده می‌کنند، ترافیک هدرمی‌رود.

این مسئله این سوالات را بوجود می‌آورند: 1) چگونه یک ارائه‌دهنده ویدئو محتوای ویدئوییرا در حالی که هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد و تقاضای مصرف‌کننده را برآورده‌می‌سازد تحویل می‌دهد 2) چه چیزی برروی رفتار قطع‌ناگهانی مصرف‌کننده تاثیر گذار است.

برای پاسخ به این سوالات، ابتدا اثرگذاری انتخاب مکانیسم را برروی مصرف انرژی و ترافیک هدررفته مطالعه می‌کنیم. دوم، تفاوت مدل‌های کار که به طورقابل توجهی بر ترافیک هدررفته اثرنمی‌گذارد را نشان‌می‌دهیم. سرانجام، یک راهنمایی برای انتخاب پارامتر برای مکانیزم جریان ارائه‌می‌دهیم، که برای بهتر برآورده‌کردن هردو نیازمندی‌ها ارائه‌دهندگان ویدیو و نیز مصرف‌کنندگان، و برای بدست آوردن نتایج بهینه باتوجه به مصرف انرژی تلفن‌های هوشمند و ترافیک هدررفته نشان‌داده‌می‌شوند.

**1. مقدمه**

در اینترنت موبایل‌های امروزه، عمده ترافیک از انتقالات ویدئویی ناشی‌شده است. در سال 2017، این مقدار به دو سوم کل ترافیک موبایل افزایش یافت. علاوه براین، بابکاربردن LTE یک افزایش از 0.1% به 10% در بازه زمانی یکسان منطبق با یک مطالعه یکسان انتظار می‌رود.

یک فاکتور مهم برای کسب‌وکارهای موفق توسط عملیات پلت‌فرم ویدئو QoE است، برای مثال، کیفیت خدماتی که توسط کاربر درک می‌شود. چندین فاکتور QoE مانند وقفه‌های ویدئویی، تاخیر، و همچنین مصرف انرژی تلفن‌های هوشمند وجود دارند. اگر پخش ویدئو با تاخیر مواجهه شود، QoE ویدئو یک کاربر تحت تاثیرات منفی قرارمی‌گیرند، برای مثال به این دلیل که هنوز محتوای کافی دانلود نشده‌است. مصرف انرژی بالا منجر به عمر کمتر باتری می‌شود، که کاربران را با توجه به اینکه مکررآ باید تلفن‌ همراه خود را شارژ کنند ناامید می‌کند. فاکتور دیگر برای بررسی این است که اگر کاربران پخش ویدئو را قبل از تکمیل آن متوقف کنند، از چشم‌انداز اپراتور پلت‌فرم همه محتوا دانلودشده حتی آن‌هایی که متوقف‌شده‌اند.

بنابراین، در زمان ارزیابی یک مکانیسم انتقال ویدئو QoE ویدئو، مصرف‌انرژی تجهیزات کاربر (UE) و ترافیک هدررفته باید بررسی‌شود. سهم این مقاله در ادامه آمده است. ما چهار مکانیسم تحویل ویدئو را با درنظرگرفتن سه متریک شناخته‌شده ارزیابی می‌کنیم. به‌منظور ارزیابی مقدار ترافیک از دست‌رفته، سه‌مدلکاربر معرفی‌شده‌اند که احتمال اینکه یک کاربر ویدئو را در هر نقطه‌ای از زمان متوقف کند مشخص‌می‌کنند. ما مکانیسم انتقال جریان را به عنوان یک ارائه‌دهنده نتایج خوب برای همه متریک‌ها شناسایی کردیم. سپس، یک مطالعه پارامتر را برای آستانه بافر و اندازه مکانیزم جریان اجرا کردیم، به‌منظور اجازه‌دادن به اپراتور شبکه برای انتخاب پیکربندی بهینه Pareto برطبق توازن بین ترافیک هدررفته و مصرف‌انرژی مطالعه را انجام‌دادیم در حالی که تنها مجموعه پارامترهای مورد بررسی در QoE بیشینه نتیجه می‌دهد، برای مثال، آن‌هایی که از همه تاخیرهایی ویدئویی پیشگیری می‌کنند.

این مقاله سازمان یافته‌است. در بخش 2 یک مرورکلی از کارهای مرتبط با انتقالات ویدئویی در شبکه‌های LTE ارائه‌می‌کنیم. بخش 3 برروی فرضیات مدل بحث می‌کند، و مکانیسم انتقال ویدئو را معرفی می‌کند، و مدل انرژی LTE را نشان می‌دهد. علاوه‌براین، متریک‌های استفاده‌شده در باقی مقاله تعریف می‌شوند. در بخش مکانیسم‌های بحث‌شده را بااستفاده از یک شبیه‌ساز رخداد گسسته قطعی ارزیابی می‌کند. ما اثرات مکانیسم انتخاب شده را برروی مصرف انرژی، ترافیک هدررفته، و ارائه یک تحلیل مبادله برای مکانیسم جریان مطالعه می‌کنیم. سرانجام در بخش 5 نتیجه‌گیری می‌کنیم.

**2. پیش‌زمینه و کارهای مرتبط**

به‌منظور تطبیق درخواست انتقال ویدئو برروی اینترنت، راه‌حل‌های متعددی وجود دارند. پایه‌ترین رویکرد، دانلود است، که ویدئو را به‌طور کامل به یکباره اتخاذمی‌کند، و هر محتوای دردسترس را درصورت لزوم پخش می‌کند. باتوجه به ماهیت انتقال ویدئوهای زنده تنها ارسال محتواهای دردسترس کنونی ممکن است. علاوه براین، از تاخیر در جریان زنده باید اجتناب شود، چرا که به‌موقع‌بودن ویدئو را کاهش می‌دهد. رویکردهای متفاوتی برای محتوای جریان ویدئو برای یک کاربر وجود دارد. در راه‌حل‌های مبتنی بر سرور، یک مثال از همچین رویکردهای مبتنی بر سروری پروتکل جریان بلادرنگ (RTSP) است که به ‌طور گسترده به عنوان یک راه‌حل استانداردشده برای جریان ویدئو موبایل‌ها مورد بحث قرار گرفته‌است.

در سال‌های اخیر ، رویکرهای مبتنی بر کلاینت مورد بحث قرار گرفتند. در این رویکردها کلاینت دانلود و پخش محتوا را کنترل می‌کند.



شکل 1 : اثرگذاری تعداد رخ‌دادهای تاخیر و طول تاخیر برروی QoE

نویسندگان [4] QoE رویکرد جریان‌های تطبیقی HTTP (HAS) مطالعه‌کردند، اگر محتوی با شبکه LTE مصرف‌شود. آن‌ها تفاوت‌های را برای رویکردهای سمت سرور برجسته‌کردند و مطالعات رویکردهای بهینه‌سازی لایه‌های متقابل را به‌منظور بهبود QoE بیان‌کردند. یک رویکرد برای تحویل HAS MPEG-DASH ست، که جریان ویدئو را برروی HTTP فعال می‌سازد. محتوای ویدئو و نیز منابع دردسترس با استفاده از یک پروکسی بیان‌شده برای بهبود QoE کاربران بررسی کنید. در [7] نویسندگان استفاده از استراتژی ذخیره، دانلود کردن ویدئو برطبق بررسی سوابق کاربر و شرایط شبکه را بیان‌کردند.

نویسندگان [8] سنجش مصرف توان و سیگنالینگ شبکه دسترسی رادیویی (RAN) را در مدت زمان پخش ویدئوی YouTube (ایلت) اجرا می‌کنند. آن‌ها پروکسی سرور را به‌ منظور تضمین ترافیکی که در ازدحام زیاد ارسال می‌شود بکارمی‌گیرند، بنابرین مصرف توان در هزینه ترافیک سیگنالینگ مازاد را کاهش‌می‌یابد.

**3. مدل**

در این بخش ابتدا فرضیات مدل خود را شرح می‌دهیم. سپس یک مدل را برای مکانیسم انتقال ویدئو بررسی شده معرفی می‌کنیم. سرانجام، مدل کنترل منابع رادیویی (RRC) و توان را برای یک LTE UE. نشان می‌دهیم.

**.A فرضیات مدل**

برای اپراتورهای پلت فرم ویدئو حفظ QoE درسطح بالابرای بازدیدکنندگان یک هدف مهم است. نویسندگان [9] دریافته‌اند که QoE به‌طور اصلی تعداد رخدادهای تاخیری و مدت زمان رخدادهای تاخیر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. همانطور که در شکل 1 نشان‌ داده‌شده‌است، مدل QoE، در جایی که 5 بالاترین QoE ممکن است و 1 پایین‌ترین است، اگر تعداد یا مدت‌زمان تاخیر رخدادها افزایش یابد، به سرعت کاهش می‌یابد. مدل QoE ارائه‌شده بین تاخیر و QoE نشان‌می‌دهد که تاخیر به‌طور قابل توجهی QoE را بدتر می‌کند. بنابراین، یک اپراتور باید در هر موردی از تاخیر اجتناب کند. در نتیجه، در این مقاله؛ ما تنها سناریویی را بررسی‌می‌کنیم که در آن هیچ تاخیری رخ نمی‌دهد، برای مثال، پهنای باند تحویل بزرگتر از میزان ارسال بیت ویدئویی برای تضمین پخش هموار ویدئو است. به‌عبارت‌ دیگر، اپراتورها از رویکردهای مدیریت QoE برای غلبه بر محدودیت‌های منابع استفاده‌کرده‌اند، برای مثال، با کاهش نیازمندی‌های اپلیکیشن‌ها با DASH/SVC با از پیش بافرکردن داده.



شکل 2 : رفتار مکانیزم انتقال . زمان نهایی متفاوت پخش‌ها با توجه به شروع پخش‌های متفاوت

علاوه براین، فرض‌می‌کنیم که همه ویدئوها با نسبت ثابت bR پخش‌می‌شوند. بنابراین، هر ثانیه ویدیو، مستقل از محتوای آن، نیازمند تعداد یکسانی بیت است.

ما انتقال ویدیویی را بین یک سرور و یک کاربر تجهیزشده با یک تلفن‌هوشمند LTE فعال‌شده را بررسی می‌کنیم. پهنای باند دردسترس UE به فاکتورهای بسیاری بستگی دارد، مانند موقعیت، تعداد کاربران در سلول، فعالیت دیگر کاربران، و خط دید. برای ساده‌سازی سناریوی ارزیابی فرض‌می‌کنیم که ثابت پهنای باند حداکثر bW برای کاربر ارائه‌شده‌است. فرض‌می‌کنیم که گلوگاه ارتباطی واسط هوا است، بنابراین کل پهنای باند bW در دسترس برای دانلود ویدئو استفاده‌می‌شود. به‌منظور پیشگیری از تاخیر سناریو را در جایی که پهنای دردسترس UE بالاتر از نسبت ارسال بیت ویدئو است بررسی می‌کنیم. اگرچه فرضیات نسبت بیت ثابت و پهنای باند در محیط واقعی صدق نمی‌کند، هدف همچین بررسی‌هایی دوبرابر است. ابتدا، آن‌ها برای دانستن عملکرد مکانیسم‌های بحث‌شده در شرایط بهینه بدون هر اثر دیگری که می‌تواند نتایج را تخریب کند سودمند شناخته‌شده‌اند، و ، دوم، آن‌ها به عنوان یک مبنا برای مقایسه با متغییرهای تصادفی متناسب برای هم پهنای باند و هم نسبت بیت بکارگرفته‌می‌شوند که در بخش 5 بحث می‌شوند.

**B . مدل ترافیک ویدئو**

در مطالعه ، برروی چهار مکانیسم انتقال تمرکز کردیم که درحال حاضر مورد استفاده هستند.

 شکل 2 پهنای باند استفاده‌شده و ثانیه دردسترس برای پخش یک ویدئوی که برای همه مکانیسم‌های انتقال بررسی‌شده قابل مشاهده است را نشان‌می‌دهد. برای هر نقطه در زمان t مقدار ویدئو در کنونی پخش با tp(t). داده می‌شود.

اگر کاربران بخواهند که ویدئویی از قبل کدگذاری‌شده را ببینندT مکانیسم دانلود می‌تواند استفاده‌شود. بنابراین ویدئویبه محض اینکه کاربر انتقال را شروع کند، انتقال داده می‌شود.



زمان مورد نیاز دانلود تنها توسط پهنای باند در دسترس در شبکه کران‌بندی شده است.

ویدئوی مشاهده‌شده در طول انتقالات زنده همانطور که ثبت‌می‌شوند کدگذاری می‌شوند. بنابراین، پهنای باند استفاده‌شده برای انتقال ویدئو همیشه به نسبت بیت bR. محدود می‌شود.

در [12] نویسنده اثر درخواست ویدئو را نشان‌داده‌است، برای مثال، نسبت پهنای باند در دسترس و پهنای باند ویدیویی مورد نیاز ، برروی فرکانس تاخیری را نشان‌داده‌است. به منظور کاهش تاخیر، پهنای باند استفاده‌شده برای دانلود ویدئو باید مشروط باشد لذا پهنای باند در دسترس از پهنای باند ویدئو از فاکتور به اندازه کافی بالا تجاوز می‌کند. در مکانیسم Provisioning، پهنای باند دانلود انتخاب‌می‌شود لذا هیچ تاخیری رخ‌نمی‌دهند. به‌منظور کاهش تاخیر و بهبود QoE ویدئو، پهنای باند دردسترس باید حداقل 120% نسبت بین bR ویدیو باشد.

مکانیزم‌های جریان ویدیویی کامل از پیش‌ کدگذاری شده‌است، برای پهنای باند کامل UE استفاده‌شده برای دانلود مجاز است. ویدیو با پهنای باند کامل برای یک زمان از پیش بافرکردن  به‌منظور تضمین یک شروع مستقل از تاخیر پخش دانلود می‌شود. بعد از  ثانیه دانلود متوقف می‌شود و پخش شروع می‌شود. دانلود فقط از سرگرفته می‌شود اگر ثانیه‌های موجود ویدئویی برای پخش زیر یک آستانه توقف  باشند . دانلود تا زمانی که بافر شامل اندازه آستانه  باشد ادامه می‌یابد، در مجموع طول بافر  نتیجه می‌شود. تا زمانی که دانلود کامل شود ادامه می‌یابد.

یک ارائه‌دهنده ویدئو نیز پهنای باندش را به عنوان یک منبع که باید حفظ‌شود می‌بینید. بااین حال، در زمان مقایسه پهنای باند در دسترس در LTE با شبکه‌های سیم‌دارد، می‌توانیم واسط هوا را به عنوان یک گلوگاه فرض‌کنیم. علاوه براین، پهنای باند به عنوان یک هدف بهینه‌سازی متریک‌های اضافی ساده‌سازی نمی‌شود.

 **.C مدل شبکه LTE**

به‌منظور کمیت‌سنجی مصرف‌انرژی در طول مدت انتقالات بی‌سیم، رفتار LTE RRC تعریف شده در [14] را مدل‌کردیم. برای کاهش مصرف انرژی، مفاهیم پذیرش‌ناپیوسته (DRX) در [15] معرفی‌شده است. نویسندگان [16] معیار خوبی از اهمیت پارامترهای RRC و DRX را ارائه کردند که در مدل‌های بعدی استفاده شود و در جدول 1 دوباره ایجاد شده است.

پروتکل RRC برای LTE شامل دو حالت است، همانطور که در شکل 3 نشان‌داده‌شده‌است و حالت RRC Idle، UE در حالت DRX است. در اینجا، UE کانال کنترلی downlinkهای فیزیکی (PDCCH) برای  در هر بازه DRX مدت زمان  را بررسی می‌کند.



شکل 3: مدل LTE RRC

زمان ارتقا به حالت RRC Connected با ارتقای تاخیر Dp داده‌شده است و به محض اینکه بسته ارسال یا دریافت می‌شود رخ می‌دهد. اگر بسته ارسال یا دریافت شود در حالی که در RRC Connected باشد، شامل یک بسته اولیه است که باعث ارتقای RRC Connected می‌شود، تایمر TI و TIdle شروع می‌شوند . تا زمانی که TI منقضی شود، UE حالت پذیرش پیوسته (CRX) را تکرارمی‌کند. بعد از آن تایمر TIdle UE به حالت RRC Idle. کاهش می‌یابد. پس از انقضای تایمر TI ، UE به Short DRX وارد می‌شود. در اینجا ، تایمر Ts شروع می‌شود و UE PDCCH را برای Ton مانیتور می‌کند. اگر یک بسته ارسال یا دریافت شد در حالی که در Short DRX بود، CRX شروع‌می‌شود و تایمر Ts غیرفعال می‌شود. زمانی که تایمر Ts منقضی می‌شود، به Long DRX وارد می‌شود و TL شروع می‌شود، دوباره UE، PDCCH را برای TON مانیتورمی‌کند. این تا زمانی که یک بسته ارسال یا دریافت می‌شود و حالت CRX وارد می‌شود یا تا زمانی که تایمر TIdle منقضی می‌شود و به RRC Idle وارد می‌شود ، تکرار می‌شود.

پهنای باند دانلود را در هر زمان t به عنوان bd(t). ارائه می‌دهیم. علاوه براین، به طول ویدئوی کنونی دانلود شده در هر زمان t اشاره می‌کنیم :



 **.Dمتریک‌های ارزیابی برای مصرف‌انرژی تلفن‌های هوشمند و ترافیک هدررفته**

مصرف انرژی UE را باتوجه به انتقالات بی‌‌سیم در هر لحظه داده‌شده توسط حالت کنونی UE و پهنای باند استفاده شده محاسبه می‌کنیم. تنها مصرف انرژی را با توجه به انتقالات بی‌سیم بررسی می‌کنیم، همانطور که این آفستی برای مصرف انرژی ناشی شده از پخش ویدئو است. خود پخش ویدئو تحت تاثیر انتخاب‌های مکانیزم انتقال قرار نمی‌گیرند. بنابراین مکانیسم انتقال انتخاب شده تنها مصرف انرژی انتقالات بی‌سیم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در [16] نویسندگان معیارهایی را برای مصرف انرژی در هر حالت ارائه کردند ( جدول 2) اگر UE هیچ داده‌ای را دریافت نکند.



جدول 2 : مصرف توان به ازای هر حالت سیستم

علاوه براین، یک تقریب از مصرف در هر زمان t اگر دانلود رخ‌دهد  ارائه‌شده است. به منظور محاسبه مصرف انرژی سراسری E در مدت زمان انتقال و پخش ویدئو، توان مصرف‌شده را در هر حالتی که UE چیزی دریافت نمی‌کند، و توان مصرف‌شده در مدت دریافت درحالی که پهنای باند استفاده شده در هر لحظه را بررسی می‌کنیم، را باهم جمع‌می‌کنیم.

اگر یک کاربر نگاه‌کردن ویدئویی که در حال‌حاضر در حال دانلود است، قبل از اینکه به خاتمه برسد متوقف کند، منجر به ترافیک هدررفته‌ می‌شود، این ترافیک هدررفته متریکیست که برروی ارائه‌دهندگان ویدئو اثرگذار است، اما تحت تاثیر توقف ناگهانی کاربران ویدئو است. به دلیل اینکه این تصمیم ‌تواند ارائه‌دهنده ویدیو را تحت تاثیرقرار دهد، یک مدل کاربر باید توسط یک ارائه‌دهنده ویدئو به منظور ارائه یک تحلیل عملکردی از مکانیسم‌های تحویل ویدئو متفاوت فرض شود.

با بررسی داده‌های انتقال داده‌شده به یک هزینه تلفن هوشمند ازلحاظ هم پول هم ترافیک، یک مکانیسم انتقال باید برای کاهش مقدار ویدئویی که باید انتقال داده‌شود تلاش کند، اما هنوز زمان t به‌عنوان  دیده نشده‌است. اگر کاربران پخش را منطبق با یک متغییر تصادفی A با تابع تراکم احتمال (PDF) متوقف کنند، می‌توانیم ترافیک هدرررفته w را به عنوان مقدار مورد انتظار  تحت A انتظار داشته‌باشیم:



مقدار بالای W نشان می‌دهد که سرور و منابع شبکه برای ترافیک استفاده‌شده‌اند که توسط کاربر دیده‌نمی‌شود.

سه نوع رفتار کاربر را بررسی کردیم، هریک با یک متغییر تصادفی شرح‌دهنده زمان توقف ناگهانی مدل‌شده است، برای مثال، زمانی که کاربر نگاه‌کردن ویدئو را متوقف می‌کند. ابتدا یک توزیع یکنواخت مدل توقف ناگهانی کاربر را بررسی می‌کنیم، در جایی که کاربر می‌تواند در هر زمانی ویدئو را متوقف کند. باتوجه به توزیع یکنواخت ویدئو در زمان توقف و طول ویدئو، که برابر 1600 ثانیه است ( تقریبآ 27 دقیقه)، میانگین زمان توقف در 800 ثانیه (تقریبآ 13 دقیق) رخ‌می‌دهد. دوم، ما نوع کاربری را که بخشی از ویدئو را قبل از اینکه تصمیم بگیرد پخش را متوقف‌کند نگاه‌می‌کند. بعد از اینکه بخش اصلی ویدئو مشاهده‌شد، کاربر بیشتر احتمال دارد که آن را به‌طور ناگهانی متوقف کند. برای مدل کردن این نوع رفتار ما از توزیع نرمال قطع برروی زمان پخش ویدئو استفاده‌کردیم، و یک تقارن شدت توقف ناگهانی را در نقاط نیمه راه ویدئو فرض‌می‌کنیم. از میانگین یکسان استفاده‌می‌کنیم و انحراف استاندارد 400 ثانیه‌ای (7 دقیقه) را مشخص‌می‌کنیم. سومین و آخرین، فرض‌می‌کنیم که کاربر بیشتر در آغاز ویدئو احتمال دارد که آن را به‌طور ناگهانی متوقف کند. این رفتار کاربر را بااستفاده از یک توزیع لگاریتم نرمال قطع با میانگین یکسان انحراف استاندارد 0.8 ثانیه برای توزیع نرمال در بایاس توزیع لگاریتم نرمال مدل می‌کنیم.

توجه داشته باشید که ترافیک هدررفته W تحت تاثیر مدل توقف ناگهانی کاربر است چرا که هدررفت ترافیک تنها به این دلیل که کاربر به‌طور ناگهانی جریان ویدئو را متوقف می‌کند اتفاق می‌افتد. حتی اگر ممکن باشد که تنها زیرمجموعه‌ای از همه ویدئوهای مشاهده‌شده را تحت تاثیر قراردهد، این هنوز منابع عدم قطعی را استفاده‌می‌کند و باید توسط ارائه‌کننده ویدئو بررسی شود. بااین حال، دانلود ویدئو همیشه انرژی را مصرف می‌کند و بزرگترین مقدار انرژی مصرف می‌شود، اگر کاربران ویدئو را متوقف نکنند. بنابراین برای بدترین حالت مصرف انرژی آن را بهینه‌می‌کنیم. هر هدف دیگر بهینه‌سازی انگیزه‌ای را به کاربران ارائه‌دهد که در اوایل مشاهده ویدئو آن را متوقف کنند، که در ترافیک از دست‌رفته بیشتر برای ارائه‌دهندگان نتیجه می‌دهد.

 **.4ارزیابی عددی**

در این بخش پاسخ‌هایی را برای سوال‌های مطرح‌شده در چکیده مقاله ارائه می‌دهیم :

(1 در بخش IV-A و بخش IV-B اثرات مکانیسم انتقالات بررسی‌شده را مطالعه کردیم. دریافتیم که مکانیسم جریان نتایج قابل قبولی را برای هردو متریک‌ها ارائه می‌دهد. در بخش IV-C اثرات انتخاب پارامترها را برای آستانه توقف  و اندازه آستانه  ارزیابی می‌کنیم.

 (2در بخش IV-B اثر رفتار کاربر را برروی ترافیک هدررفته با ارزیابی مدل رفتاری متفاوت بررسی می‌کنیم.

ما یک ویدئوی حدود 27 دقیقه‌ای را (l = 1600 s) بررسی می‌کنیم که در یک UE یا دسترسی LTE دیده می‌شود. متوسط توان‌عملیاتی downlink دردسترس در شبکه LTE کنونی برابر  است. مجموعه وسیع از نسبت بیت بین 1 و 50 M bit/s استفاده‌می‌شود. به‌منظور پیشگیری از تاخیر، نسبت بیت را بین 1 و 10Mbit/s بررسی می‌کنیم، در زیر پهنای باند شبکه موجود فعالیت‌می‌کنیم. برای مکانیسم جریان، آستانه  و  انتخاب شده‌اند. علاوه براین، یک مدت زمان از پیش بافرکردن  را مشخص می‌کنیم. اثرات تنظیمات آستانه‌های متفاوت در Sec. IV-C. مطالعه‌شده‌اند.

ما مطالعات خود را بااستفاده از یک شبیه‌سازی رخداد گسسته قطعی انجام می‌دهیم که از هیچ متغییر تصادفی استفاده‌نمی‌کند. ترافیک هدرررفته به‌طور تحلیلی بااستفاده از مدل رفتار توقف ناگهانی بدست آمده است. بنابراین، همه نتایج دقیقآ تحت فرضیات بیان‌شده قبلی هستند.

 **.Aمصرف انرژی**

ابتدا، اثرگذاری نسبت بیت ویدئویی و نیز مکانیسم دانلود انتخاب‌شده را برروی مصرف انرژی در شکل4 مطالعه می‌کنیم. ما مکانیسم دانلود را بررسی‌می‌کنیم و مشاهده می‌کنیم که حداقل مقدار انرژی را بررسی می‌کند. در اینجا ویدئو با پهنای باند کامل دانلود می‌شود، همانطور که در شکل 2 می‌بینیند، در هر مرحله دانلود فشرده‌سازی انرژی بسیار کوتاه و در فاز پخش غیرفشرده انرژی بیشتری را نتیجه می‌دهد. برای مکانیسم زنده مخالف این مسائل را دیدیم، برای مثال بالاترین مصرف انرژی را برای همه پهنای باند دیدیم. اگر این مکانیزم استفاده‌شود، پهنای باند استفاده شده برابر نسبت بیت ویدئویی است. بنابراین، دانلود نیازمند مقدار مشابه زمان پخش است، که در بالاترین مصرف انرژی ممکن نتیجه می‌دهد. روش Provisioning از پهنای باند بالاتر استفاده می‌کند، بنابراین زمان دانلود سراسری را کاهش می‌دهد. این زمان دانلود کاهش یافته مصرف انرژی را در زمان مقایسه با مکانیسم زنده کاهش می‌دهد، حتی اگر پهنای باند استفاده‌شده برای دانلود به 120% افزایش یابد. برای مکانیسم جریان ما یک مصرف انرژی را به طور واضحی بیشتر از مکانیسم دانلود می‌بینیم.



شکل 4 : اثرگذاری نسبت بیت و مکانیسم دانلود برروی مصرف انرژی



شکل 5 : اثرگذاری نسبت بیت، مکانیسم دانلود و مدل کاربر برروی ترافیک هدررفته

همانطور که نسبت بیت ویدئو افزایش می‌یابد، مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. این با توجه به این حقیقت است که نسبت بالاتر بیت ویدئو نیازمند دانلود بزرگتر است. برای نزدیک شدن نسبت بیت ویدئو به پهنای باند در دسترس مکانیسم جریان برای مکانیزم زنده تخریب می‌شود، همانطور که هیچ از پیش بافر کردنی ممکن نمی‌باشد. نتیجه گرفتیم که مکانیزم جریان و دانلود بهتر از مکانیزم زنده و Provisioning با توجه به مصرف انرژی عمل می‌کنند.

 **.Bترافیک هدررفته**

بعد، یک ترافیک هدررفته را به عنوان متریکی از کیفیت مکانیسم انتقال بررسی می‌کنیم. اگر یک کاربر به‌طور کاملی یک ویدئو را نگاه‌کند، هیچ ترافیکی هدر نمی‌رود. بنابراین، ما تنها مواردی را که کاربر پخش را قبل از اینکه ویدئو به خاتمه رسد متوقف می‌کند بررسی کردیم. در شکل 5 ترافیک هدررفته را برای نسبت بیت ویدئویی متفاوت مطالعه‌کردیم. یک مکانیزم دانلود متفاوت معرفی شده در بخش III-B و نیز مدل‌های کاربر قبلآ معرفی شده را نیز بررسی کردیم. انتخاب مدل‌های کاربر که هیچ تاثیر مهمی برروی ترافیک هدررفته ندارد را بررسی کردیم. برای مکانیسم دانلود، مقدار ترافیک هدررفته تا نسبت بیت ویدئو 6Mbit/s افزایش‌می‌یابد، سپس ترافیک هدررفته شده کاهش می‌یابد چرا که تنها داده ویدئو که از قبل بافرشده است می‌تواند گم شود اگر کاربر به‌طور ناگهانی ویدئو را متوقف کند. همانطور که یک پهنای باند دردسترس 12.74Mbit/s را فرض می‌کنیم، پهنای باند موجود برای پیش‌بافر کردن با افزایش نسبت بیت کاهش می‌یابد. مقدار پایین‌تر ترافیک هدررفته در نسبت بیت ویدئویی بالا نتیجه می‌دهد. برای مکانیسم زنده، می‌بینیم که ترافیک هدررفته برای همه کاربران خیلی پایین است، اما ترافیک هدررفته وجود دارد. این باتوجه به ترافیک‌هایی است که در حال حاضر توسط سرور ارسال می‌شوند در حالی که UE هنوز منتظر ارتقا از RRC Idle به RRC Connected است، برای مثال، یک فاز پیش بافر کوتاه وجود دارد. همانطور که پهنای باند با نسبت بیت ویدئو افزایش می‌یابد، ترافیک ازدست‌رفته افزایش می‌یابد. بعد، رویکرد Provisioning را بررسی می‌کنیم و یک افزایش را در ترافیک‌های هدررفته با افزایش نسبت بیت ویدئو می‌بینیم چرا که پهنای باند استفاده‌‌شده برای دانلودهای مستمر فاکتوری از نسبت بیت ویدئو است. یک نسبت بیت ویدئویی بالاتر در دانلود ویدئویی کامل شده سریع‌تر نتیجه می‌دهد، که به ترافیک هدررفته بیشتر منجر می‌شود. نتایج مشابه می‌توانند برای مکانیسم جریان دیده شوند، که در ترافیک هدررفته بیشتر نسبت به مکانیسم زنده نتیجه می‌دهد، اما به‌طور قابل توجهی ترافیک کمتری را نسبت به مکانیسم Provisioning هدرمی‌دهد. این با توجه به این حقیقت است که اگر کاربر به طور ناگهانی پخش را متوقف کند؛ حداقل مقدار ویدئوی ارائه شده توسط آستانه توقف  در بیشتر بافرهای تکمیل شده‌است، که توسط آستانه توقف ارائه می‌شود و اندازه آستانه افت می‌یابد. ما انتخاب مدل کاربر نتیجه شده را در یک تغییر کیفی در ترافیک از دست‌رفته مشاهده می‌کنیم. همانطور که دیدیم، مکانیسم دانلود و جریان بهترین نتایج را با توجه به مصرف انرژی ارائه‌می‌کند. بااین حال با توجه به ترافیک‌هدررفته، مکانیسم جریان و زنده مناسبترین‌هستند. بنابراین، مکانیسم جریان به نظر یک سازش خوب می‌رسد. اپراتور شبکه می‌تواند یک تبادل را بین مصرف انرژی و ترافیک هدررفته همانطور که در بخش بعدی بحث‌می‌شود، انتخاب کند. از حالا، ما تنها مدل کاربر توزیع‌شده یکنواخت و مکانیسم جریان را بررسی می‌کنیم.

 **.C اثرگذاری انتخاب آستانه بافر**

در این بخش، برروی اثرگذاری آستانه پایین‌تر بافر و اندازه بافر  برروی هم مصرف انرژی P و هم ترافیک هدررفته W برای یک مدل کاربر توزیع‌شده یکنواخت همانطور که در شکل 6 نشان داده‌شده است بحث می‌کنیم. آستانه توقف در محدوده 4 تا 32 ثانیه را بررسی کنید. مقدار آستانه توقف پایین‌تر در تاخیر نتیجه می‌دهد، همانطور که بافر خالی اجرا می‌شود در حالی که UE هنوز منتظر ارتقای تاخیر برای کامل شدن و مقدار کافی داده‌ای که باید برای پخش مداوم دانلود شود، است. به منظور قابلیت خوانایی، تنها نسبت ویدئویی 2،6 و 10 Mbit/s و مرز Pareto را نشان می‌‌دهیم . برای مثال مجموعه همه پارامترهای ترکیب شده، در جایی که هیچ ترکیب پارامتر دیگری نتایج بهتری را برای هردو متریک‌ها، پارامترهای ارزیابی شده به عنوان خط ارتباط حاصل نکند.

ما مشاهده می‌کنیم که، مستقل از نسبت بیت ویدئویی، مقادیر پیدا شده در مرزهای Pareto می‌تواند برای کوچکترین مقدار آستانه بافر مشاهده شده بررسی شود. اندازه بافر و کاهش مصرف انرژی در هزینه‌های بالاتر ترافیک هدررفته افزایش می‌یابد. یک آستانه بافر پایین‌تر کوچکتر  مقدار حداقل ترافیک از دست‌رفته را کاهش می‌دهد اگر کاربران نگاه کردن ویدئو را متوقف کنند، همانطور که بیشتر ویدئو دانلود می‌شود داده هدرمی‌رود.



شکل6 : مصرف انرژی و ترافیک از دست رفته برای نسبت بیت ویدئویی متغییر برای مکانیسم جریان

باافزایش اندازه بافر  مصرف انرژی کاهش می‌یابد، چرا که اندازه بافر طولانی‌تر برای ویدئویی که باید در حجم کمتر دانلود شود مجاز است و هریک از آن‌ها توسط تایمر TIdle دنبال می‌شود در جایی که UE هنوز فشرده‌ترین انرژی حالت RRC Connected است.

برای مکانیسم جریان، توصیه می‌کنیم که همیشه از کوچکترین آستانه‌های توقف ممکن بدون ایجاد تاخیر استفاده کنید. انتخاب اندازه بافر به انتخاب توازن مصرف انرژی و پهنای باند هدررفته، با اندازه آستانه کوچکتر نیازمند انرژی بیشتر و اندازه آستانه بالاتر ناشی شده از ترافیک هدررفته بالاتر بستگی دارد. ارائه دهنده ویدئو توان و متریک‌های ترافیک هدررفته را به ازای هر ویدئو ارزیابی می‌کند، و اندازه ویدئو و متغیرنسبت بیت ویدئویی را بررسی می‌کند که اثرات آن در کارهای آینده مطالعه می‌شود.

 **.5نتیجه**

تفاوت‌ها را در هر مصرف انرژی و ترافیک هدررفته برای مکانیسم انتقال ویدئویی مقایسه‌کردیم. با توجه به فرضیات نسبت بیت ویدئویی ثابت و پهنای باند در دسترس، اگر یک کاربر ویدئو را بر طبق مدل‌های متفاوت متوقف کند، نتایج دقیقی را برای انرژی‌های مصرف شده و ترافیک‌های هدررفته ارائه ‌می‌کند.

ابتدا، نشان می‌دهیم که مدل کاربر دارای اثرات قابل توجهی برروی داده‌های هدررفته نیست. علاوه براین، مشاهده می‌کنیم که در میان همه مکانیسم‌های بررسی شده، مکانیسم جریان بهترین توازن را بین مصرف انرژی و داده‌های هدررفته ارائه می‌دهد. سرانجام نشان دادیم که مکانیزم جریان بهینه است اگر کوچکترین آستانه بافر  که منجر به هیچ تاخیری نمی‌شود انتخاب‌شود. مکانیزم جریان می‌تواند متناسب با نیازهای خاص با دستکاری اندازه بافر دانلود شده  باشد، و برای یک توازن بیت مصرف انرژی و ترافیک هدررفته مجاز است.

ارائه‌دهنده ویدئو می‌تواند مصرف منابع را در مرکز داده کاهش دهد و رضایت مشتری را با ایمن‌سازی یک مصرف توان پایین تر با توجه به داده‌های ترافیکی و QoE بالای ویدئو یا انتخاب مکانیزم انتقال ویدئوی مناسب و پارامترهای مناسب افزایش دهد. در حال حاضر چارچوب شبیه سازی خود را برای پهنای باند پشتیبانی مدل شده بااستفاده از یک متغییر تصادفی متناسب، نسبت بیت ویدئوی متغییر براساس یک مجموعه نمایشی ویدئوهای YouTube و QoE ویدیو به عنوان متریک بهینه‌سازی اضافی نمایش می‌دهیم. ارائه‌دهندگان ویدئو قادر به استفاده از این ابزارها برای انتخاب پارامترهای مناسب بلادرنگ هستند، که به خصیصه‌های شبکه و ویدئو، بهینه‌سازی مصرف انرژی، ترافیک هدررفته و QoE ویدئو بستگی دارد.

