

## A new method for enhancing TCP throughput in the 80.11n based wireless LAN

M .M Hasani \* 

Assistant Professor, Computer Department, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch , Amol, Iran

(Received: 2024/02/20 , Revised: 2024/04/21, Accepted: 2023/05/06, Published: 2024/06/02)

DOR: [https://dorl.net/dor/ 20.1001.1.23224347.1403.12.1.3.1 /](https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.1.3.1/)


### ABSTRACT

*Improving TCP performance is a significant issue in the transport layer of the 802.11 base wlan. The throughput rate is investigated as the most important parameters of QoS. In this paper, a new method is investigated for decreasing throughput unfairness between TCP flows in the wlangs. The buffer size of basestation and DCF mechanism in the MAC sublayer which are introduced as the reasons of the TCP downstream flow throughput degradation in wlan. Meanwhile, an analytical model will be developed for analyzing TCP flows behaviors. Finally, a new method is proposed based on changing the receive window of ACK packet that enhances TCP flows throughput. The numerical results, which is verified by NS.2 simulator, precisely demonstrates enhancement the throughput rate of TCP flows*

**Keywords:** Transport layer, TCP protocol, Throughput, Mean Delay, Quality of service, ACK, TCP downstream flows, TCP upstream flows.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University

 Authors



\* Corresponding Author Email: [m.m.hasani@iauamol.ac.ir](mailto:m.m.hasani@iauamol.ac.ir)

## علمی - پژوهشی

### ارائه روشی جدید در جهت بهبود گذردهی جریان‌های TCP در شبکه‌های بیسیم مبتنی بر ۸۰۲٫۱۱n

سید محمدمهدی حسینی

استادیار، گروه کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷، انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳)

DOR: <https://dor.lnet/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.1.3.1>



\* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز *Creative Commons Attribution (CC BY)* توزیع شده است.

نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

## چکیده

ارتقا کارایی TCP در شبکه‌های محلی بیسیم باتوجه به گستردگی آن به‌عنوان یکی از پروتکل‌های لایه انتقال از اهمیت فراوانی برخوردار است. نرخ گذردهی بسته‌های TCP به‌عنوان یکی از عامل‌های کیفیت سرویس مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این مقاله روشی برای کاهش بی‌عدالتی در شبکه‌های بیسیم ارائه خواهیم داد. در واقع کاهش جریان زیرگذر در TCP یکی از دلایل بی‌عدالتی در شبکه خواهد بود. روشی که ارائه خواهیم داد با ایجاد تغییری در بسته‌های تصدیق مربوط به TCP باعث بهبود کارایی آن خواهد شد. در این مقاله اندازه بافر موجود در ایستگاه کاری و مکانیسم DCF موجود در زیر لایه کنترل دسترسی به رسانه، به‌عنوان دو عامل اصلی بی‌عدالتی در گذردهی بین جریان‌های TCP مختلف معرفی می‌گردد. همچنین یک مدل تحلیلی برای مشاهده رفتار TCP ارائه خواهد شد. در ادامه روش جدیدی را با تغییر در بسته‌های تصدیق معرفی خواهیم کرد که بر چالش بی‌عدالتی گذردهی غلبه نماید. نتایج شبیه‌سازی را با روش دیگری که در همین مجله به چاپ رسانیده‌ایم مورد مقایسه قرار خواهیم داد. انتظار داریم که این نتایج، به‌وضوح افزایش نرخ گذردهی را به‌واسطه استفاده از روش پیشنهادی نشان دهد.

**کلیدواژه‌ها:** لایه انتقال، پروتکل TCP، گذردهی، تأخیر، بسته تصدیق، جریان زیرگذر، جریان فراگذر

کارآمد اختصاص رسانه مخابراتی به‌منظور استفاده بهینه از آن و ارائه بالاترین سطح سرویس به کاربران، از اهمیت فراوانی برخوردار است. استاندارد ۸۰۲٫۱۱n IEEE یک روش هماهنگ‌سازی توزیع‌شده را برای دسترسی چندگانه به رسانه مخابراتی، معین کرده است. این روش که به نام DCF شناخته می‌شود، بر اساس پروتکل CSMA/CA<sup>۲</sup> عمل کرده و با مانیتورکردن رسانه رادیویی برای تعیین زمان بیکار بودن کانال، امکان ارسال اطلاعات را به یک ایستگاه بی‌سیم می‌دهد؛ اما روش DCF که برای تسهیم عادلانه پهنای باند بین کاربران بکار گرفته‌شده، خود باعث بی‌عدالتی در ارسال داده می‌شود که در بخش‌های بعدی به این موضوع می‌پردازیم.

از سوی دیگر بسیاری از برنامه‌ها از TCP به‌عنوان پروتکل لایه حمل‌ونقل استفاده می‌کنند باتوجه به این نکته که اغلب کاربران از

## ۱- مقدمه

رشد و توسعه شبکه‌های بی‌سیم بر اساس استاندارد IEEE ۸۰۲٫۱۱ به‌شدت روی به افزایش است و به‌طور گسترده‌ای در دانشگاه‌ها، سازمان‌ها، فرودگاه‌ها... مورد استفاده قرار می‌گیرد در همه این موارد برقراری عدالت در بین ارتباطات TCP<sup>۱</sup> که برای به‌دست‌آوردن پهنای باند مشترک تلاش می‌کنند، یک مسئله حیاتی هست. عدالت TCP به معنی توانایی آغاز یک ارتباط با تأخیر ناچیز و قابلیت گذردهی بالا هست.

در حال حاضر حوزه کاربردی شبکه‌های محلی بی‌سیم، تحت قلمرو wi-Fi قرار گرفته است و این استاندارد به‌صورت بالقوه به محدودیت‌های رسانه مخابراتی بیسیم از نظر پهنای باند، مدیریت

<sup>۲</sup> Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)

<sup>۱</sup> Transmission Control Protocol (TCP)  
Corresponding Author E-mail: Mm.hassani@iau.ac.ir

همچنین با استفاده از زنجیره مارکوف یک مدل تحلیلی ارائه می‌دهیم که گذردهی TCP را اندازه‌گیری کرده و به‌عنوان روشی برای پیش‌بینی این عامل به کار می‌رود.

در بخش دوم این مقاله به تشریح شبکه‌های محلی بی‌سیم می‌پردازیم و انواع این شبکه‌ها را بیان خواهیم کرد. مرور مختصری بر استاندارد ۸۰۲،۱۱ خواهیم داشت، الگوریتم‌های مورد استفاده در لایه کنترل دسترسی به رسانه از جمله DCF را برای تقسیم باند فرکانسی بین جریان‌های مختلف را شرح خواهیم داد.

در بخش سوم به بررسی معماری شبکه تحت سناریوهای مختلف خواهیم پرداخت

بخش چهارم استفاده با استفاده از زنجیره مارکوف رفتار TCP را مدل خواهیم کرد. آنگاه، آنچه باعث بی‌عدالتی در بین ارسال‌های TCP خواهد شد را شرح خواهیم داد و در آخر این بخش روش پیشنهادی خود را که در لایه انتقال و در ایستگاه کاری اجرا خواهد شد بیان خواهیم کرد. در بخش پنجم به ارزیابی روش پیشنهادی از سناریوهای مختلف خواهیم پرداخت و با استفاده و نتایج به دست آمده را با شبیه‌سازی اثبات خواهیم کرد و سرانجام در بخش آخر به نتیجه‌گیری کارهای انجام شده در این مقاله می‌پردازیم.

## ۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، مروری بر بعضی از بهینه‌سازی‌هایی که برای بهبود کارایی TCP در شبکه‌های بی‌سیم پیشنهاد شده‌اند، انجام می‌گیرد. در [۲] برای افزایش کارایی TCP از الگوریتم‌های بسیار سریعی مانند CUBIC TCP استفاده گردید. در این مقاله از الگوریتمی به نام CoDel برای برقراری عدالت بین جریان‌های TCP استفاده گردید. نتایج ارزیابی‌های انجام شده در [۲] نشان‌دهنده بهینگی این روش در مصرف پهنای باند است. در [۳] یک الگوریتم جدید به نام CART برای شناسایی ازدحام شبکه بر اساس تخمین عامل آستانه حد گلوگاه (BLT<sup>۱</sup>) پیشنهاد شده است؛ اما این الگوریتم نمی‌تواند به شرایط ازدحام به دلیل گم‌شدن بسته و به سر آمدن بازه زمانی پاسخ مناسبی ارائه دهد. نتایج ارزیابی انجام شده در [۳]، نشان‌دهنده افزایش گذردهی و کاهش تأخیر میانگین در مقایسه با روش‌های متداول در این زمینه است.

شبکه اینترنت و دیگر شبکه‌های کامپیوتری توسط سرویس‌های متنی بر وب بهره می‌برند، اکنون حجم عمده‌ای از ترافیک شبکه اینترنتی را پیرایندهای حاوی بسته‌های TCP تشکیل می‌دهد. برخی از مطالعات بر روی ترافیک اینترنت حاکی از آن است که بالغ بر ۹۰ درصد ترافیک وب به بسته‌های TCP اختصاص دارد [۱]. مسئله اساسی از این پروتکل این است که دستیابی کاربران مختلف به شبکه به صورت عادلانه باشد. از این رو ایجاد یک بستر مناسب برای انتقال بسته‌های TCP در شبکه‌های محلی بی‌سیم، نقش مهمی در افزایش قابلیت این شبکه‌ها به شمار می‌رود، مسئله عدالت در شبکه تاکنون به طور وسیعی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در این مقاله قصد ما بر این است که برقراری عدالت در TCP را در شبکه ۸۰۲،۱۱ با وجود نودهای گیرنده و فرستنده بررسی کنیم. بررسی میزان گذردهی پروتکل TCP از جمله عامل‌های کیفیت سرویس TCP محسوب می‌شود. گذردهی به معنای میزان بسته‌های ارسالی در واحد زمان هست از جمله عواملی که باعث کاهش میزان گذردهی در شبکه می‌گردد، روش‌های دسترسی به رسانه در استاندارد ۸۰۲،۱۱ هست که چالش‌های جدیدی را فراروی این عامل کارایی در شبکه‌های محلی به وجود آورده است. DCF که موجب دسترسی چندگانه به رسانه هست. در این مکانیسم معرفی شده در استاندارد ۸۰۲،۱۱ IEEE ایستگاه‌های بی‌سیم باید برای در اختیار گرفتن کانال به منظور ارسال بسته‌های داده، با یکدیگر به رقابت بپردازند. این فرایند باعث کاهش گذردهی در هنگام دانلود اطلاعات می‌شود؛ یعنی همواره میزان گذردهی جریان زیرگذر کمتر از جریان فرا گذر هست. در این مقاله برخلاف کارهای قبلی انجام شده که به اصلاح زیر لایه کنترل دسترسی به رسانه پرداخته‌اند، سعی شده است تا با ایجاد تغییری در پروتکل TCP این بی‌عدالتی را کاهش دهیم. برای بررسی اثر روش‌های پیشنهادی از شبیه‌سازی کامپیوتری به وسیله نرم‌افزار NS-2 استفاده شده است. پیکربندی شبکه مورد شبیه‌سازی از تعدادی نود سیار تشکیل شده است که از طریق یک ایستگاه کاری، اتصال‌های TCP را با یک سرور برقرار می‌کنند و سناریوهای متنوعی بر انتقال اطلاعات بین نودهای سیار و سرور مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد روشی که برای رفع مسئله بی‌عدالتی TCP ارائه داده‌ایم تا حد قابل توجهی این مشکل را برطرف کرده است.

<sup>1</sup> Bottleneck Limit Threshold

از دحام TCP بهینه با توسعه حل‌کننده‌های ابتدایی-دوگانه ضمنی پنجره-گرا به دست آورد.

در [۸]، یک مکانیسم پیشرفته TCP را پیشنهاد می‌گردد که مقدار گذردهی در فاز شروع آهسته TCP را افزایش می‌دهد تا اثر زمان رفت‌وبرگشت طولانی را کاهش دهد. همچنین یک طراحی مجدد از TCP مدل رنو<sup>۴</sup> ارائه گردیده است که می‌تواند بین از دست دادن بسته به صورت تصادفی و از دست دادن بسته ناشی از ازدحام تفاوت قائل شود. این مدل پیشنهادی در شبکه‌های ماهواره‌ای رنو<sup>۵</sup> بکار گرفته شده است و نتایج شبیه‌سازی انجام شده در [۸] افزایش کارایی را در حضور گم‌شدن تصادفی زیاد بسته‌ها را اثبات می‌نماید.

در [۵] یک الگوریتم جدید کنترل ازدحام بر اساس دو الگوریتم شمارش بایت مناسب (ABC<sup>۶</sup>) و شروع آهسته (SS<sup>۷</sup>) ارائه گردیده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ABC پنجره ازدحام را در مقایسه با شروع آهسته افزایش می‌دهد. با این حال، پنجره ازدحام در طول اولین زمان رفت‌وبرگشت بسته ثابت می‌ماند که باعث ایجاد پدیده انفجار TCP می‌شود. تقسیم جریان‌های TCP می‌تواند باعث سرریز بافر وصف‌های طولانی شود. برای این رفع این چالش، ABCSS<sup>۸</sup> به عنوان یک رویکرد جدید در [۹] پیشنهاد می‌گردد که به طور مناسب پنجره تراکم TCP را افزایش می‌دهد.

از دحام در اینترنت مسئله اصلی است که بر عملکرد انتقال داده از طریق شبکه تأثیر می‌گذارد. یک الگوریتم کنترل ازدحام لازم است تا هر شبکه‌ای را برای انتقال داده‌های ترافیکی کاربران به صورت کارآمد و قابل اعتماد نگه دارد. دورریختن بسته از انتهای صف به عنوان یکی از الگوریتم‌های است که برای بهبود کنترل ازدحام در شبکه طراحی گردیده است، اخیراً الگوریتم‌های زیادی برای غلبه بر چالش‌های این روش توسعه یافته‌اند. یکی از الگوریتم‌های مهم توسعه یافته، مدیریت صف فعال (AQM<sup>۹</sup>) است که کنترل تراکم کارآمد را با کاهش دورریختن بسته‌ها فراهم می‌کند، این فن به عنوان پایه‌ای برای بسیاری از روش‌های دیگر الگوریتم‌های کنترل ازدحام در نظر گرفته می‌شود. در مسیر یاب‌ها برای کنترل افت و علامت‌گذاری بسته‌ها در بافر مسیر یاب قبل از شروع ازدحام کار می‌کند. در [۱۰]، یک بررسی جامع بر روی

با ظهور عصر ۵G، مردم نیازهای بیشتری به پخش رسانه‌ها و برنامه‌های تعاملی بلادرنگ با تأخیر کم و پهنای باند بالا دارند، در حالی که فناوری انتقال مبتنی بر TCP با نیازهای تعاملی بلادرنگ فاصله زیادی دارد. در [۴] الگوریتم اصلی کنترل تراکم GCC را در زمینه ارتباطات بلادرنگ مورد مطالعه قرار می‌دهد و همچنین ساختار کلی، گردش کار اساسی و محاسبه عامل‌های کلیدی را تجزیه و تحلیل می‌کند. با توجه به این مشکل که کنترل‌کننده نرخ بر اساس تلفات بسته در الگوریتم GCC نرخ انتقال را در صورت از دست دادن بسته‌های نوز کاهش می‌دهد، الگوریتم GCC-BDP بهبود یافته و پیشنهاد شده است.

در [۵]، الگوریتم‌های کنترل ازدحام موجود شبکه‌های با دسترسی رادیویی متمرکز (C-RAN<sup>۱</sup>) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. الگوریتم‌های کلاسیک کنترل تراکم برای بهینه‌سازی عدالت بین جریان‌های TCP و کاهش تأخیر به طور هم‌زمان تلاش کرده‌اند؛ بنابراین، بسیاری از رویکردهای یادگیری تقویتی (RL<sup>۲</sup>) اخیراً برای مقابله با چنین محدودیت‌هایی پیشنهاد شده است.

مدل TCP BBR<sup>۳</sup> یکی از الگوریتم‌های نوظهور لایه انتقال است که در [۶] مورد بررسی قرار گرفته است. این الگوریتم توانایی فراهم‌سازی گذردهی بالایی را نسبت به الگوریتم‌های موجود دارد. بر اساس تحقیقات انجام شده توسط [۶]، توزیع عادلانه گذردهی بین اتصالات TCP مدل BBR که لینک‌های شلوغی را به اشتراک می‌گذارند در برخی موارد بالا نیست. این مقاله، بر روی پیاده‌سازی BBR بر روی هسته لینوکس و توزیع عادلانه گذردهی بین اتصالات این مدل از TCP متمرکز شده است. همچنین شرایطی را که باعث عدم توزیع عادلانه گذردهی بین اتصالات می‌گردد، مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت روشی جدید برای افزایش گذردهی بین این اتصالات پیشنهاد گردیده است که شاخص عدالت در گذردهی را چهار برابر بهبود می‌بخشد.

در [۷] به مهندسی مجدد الگوریتم کنترل ازدحام برای برنامه‌های که از TCP استفاده می‌کنند، روی شبکه‌هایی با پیوندهای بی‌سیم جفت شده می‌پردازد. در این مقاله با استفاده از تأخیر صف به عنوان واحد اندازه‌گیری ازدحام، یک الگوریتم کنترل

<sup>4</sup> Reno

<sup>5</sup> GEO

<sup>6</sup> Appropriate Byte Counting

<sup>7</sup> Slow Start

<sup>8</sup> Appropriate Byte Counting Congestion control

<sup>9</sup> active queue management

<sup>1</sup> Centralized Radio Access Networks

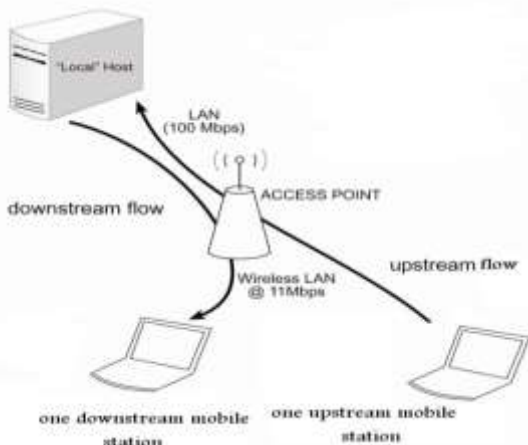
<sup>2</sup> Reinforcement Learning

<sup>3</sup> Bottleneck Bandwidth and Round-trip time

یک ساختار معمولی شبکه بیسیم مبتنی بر 802.11 را در نظر بگیرید که در آن نودهای سیار از طریق یک ایستگاه کاری به شبکه دسترسی دارند. از آنجایی که پروتکل 802.11 اجازه دسترسی یکسان به شبکه را برای تمام نودها فراهم می‌کند (به خاطر الگوریتم DCF به کار گرفته شده در لایه کنترل دسترسی به رسانه)، ایستگاه کاری و تمام نودهای سیار دسترسی یکسانی به پهنای باند دارند. اگر تمام نودهای سیار در حالت گیرنده یا فرستنده باشند، آنگاه همه نودها می‌توانند پهنای باند را به طور مساوی بین خود تقسیم کنند و عدالت در شبکه برقرار است؛ اما حالتی را در نظر بگیرید که در آن یک نود سیار فرستنده وجود داشته باشد و بقیه نودهای سیار به حالت گیرنده باشند (شکل (۱)). آنگاه نود فرستنده نیمی از پهنای باند را در اختیار می‌گیرد و نیمی دیگر در اختیار نودهای گیرنده به طور مساوی تقسیم می‌شود؛ یعنی اگر  $n$  نود گیرنده داشته باشیم هر نوع  $1/n$  از پهنای باند آماده را در اختیار دارد؛ بنابراین با توجه به تعداد گیرنده‌ها، فرستنده می‌تواند چندین برابر یک گیرنده پهنای باند را در اختیار بگیرد و این نسبت با افزایش  $n$  به صورت خطی افزایش می‌یابد. بنابراین، وجود پروتکل کنترل دسترسی به رسانه که خود برای دستیابی یکسان گره‌ها به شبکه به وجود آمده، باعث بی‌عدالتی بزرگی در شبکه می‌شود.

در این بخش، از طریق تحلیل و شبیه‌سازی ارتباط بین پروتکل کنترل دسترسی به رسانه و TCP را ارزیابی می‌کنیم [۲۳] و چهار ناحیه را که مشخص‌کننده بی‌عدالتی در TCP هست که این بی‌عدالتی وابسته به فضای بافر مهیا در ایستگاه کاری هست را مشخص می‌کنیم. همچنین یک راه‌حل ساده که در ایستگاه کاری اجرا می‌شود را ارائه می‌دهیم.

به‌منظور اینکه ارتباط دقیق TCP را با یک پروتکل کنترل دسترسی به رسانه که موجب بی‌عدالتی می‌شود را بیان کنیم، حالتی را در نظر بگیرید که یک فرستنده و یک گیرنده از طریق یک ایستگاه کاری به یک سرور دسترسی دارند (شکل (۲)).



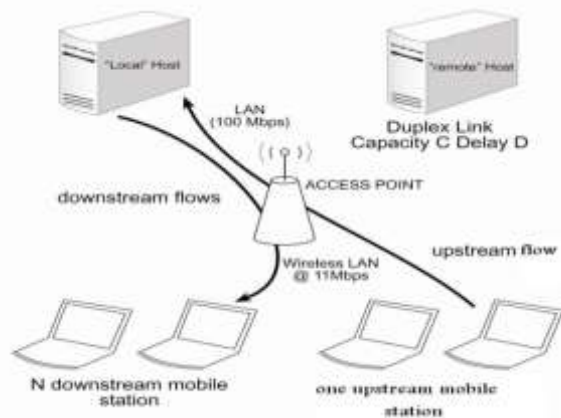
شکل (۲): یک جریان فرا گذر و یک جریان زیرگذر [۲۵]

روش‌های مختلف پیاده‌سازی الگوریتم AQM انجام شده است که این الگوریتم‌ها را برای دستیابی به بهترین عملکرد، طبقه‌بندی الگوریتم‌های AQM<sup>۱</sup> بر اساس طول صف، تأخیر صف یا هر دو، پیشنهاد و اصلاح می‌کنند. مزایا و محدودیت‌های هر الگوریتم مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت، مقایسه بین الگوریتم‌ها برای یافتن ضعف و قدرت هر کدام بر اساس معیارهای مختلف مورد بحث قرار گرفته است.

در [۱۱] با استفاده از یک مدل مارکوف CTMC دو چالش اصلی که باعث کاهش گذردهی و افزایش تأخیر میانگین TCP در شبکه‌های مورد بررسی فرا می‌گیرد. در این مقاله نوع جدیدی از گم‌شدن بسته بنام گم‌شدن بسته به واسطه بلاک کاربر ثانویه (SBL)<sup>۲</sup> معرفی گردید که TCP به اشتباه آن را نشانه‌ای از ازدحام می‌پندارد و به صورت ذاتی شروع به کاهش نرخ گذردهی می‌نماید. در [۱۱] حالت‌هایی که باعث به وجود آمدن شرایط SBL می‌گردد بررسی گردیده و همچنین با استفاده از یک مدل تحلیلی CTMC<sup>۳</sup> احتمال وقوع این حالت و تأثیر آن در کاهش گذردهی TCP محاسبه می‌گردد.

### ۳- معماری شبکه

در این بخش مدل پیشنهادی خود را برای رفع مسئله بی‌عدالتی در شبکه ارائه می‌دهیم. همان‌طور که در بخش‌های گذشته بیان شد مسئله عدالت در شبکه به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۹،۲۰،۲۱،۲۲] به هر حال بیشتر این راه‌حل‌ها مربوط به تغییرات در لایه کنترل دسترسی به رسانه بوده است. ما در این مقاله قصد داریم مسئله عدالت را با وجود جریان‌های فرا گذر و زیرگذر بررسی کنیم.

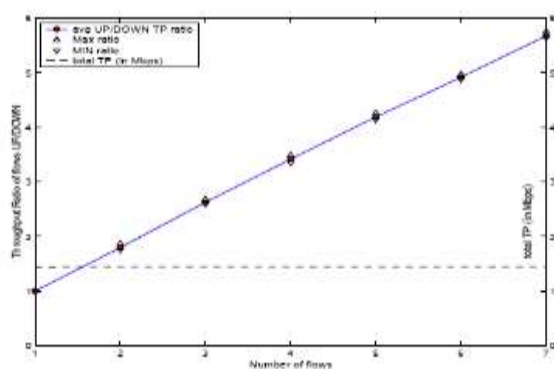


شکل (۱):  $n$  جریان زیرگذر و یک جریان زیرگذر [۲۵]

<sup>۱</sup> active queue management (AQM)

<sup>۲</sup> Secondary user Blocking Probability

<sup>۳</sup> continuous-time Markov chain (CTMC)



شکل (۳): نرخ  $\bar{R}$  در هنگامی که  $n$  جریان فرا گذر  
شکل (۳) نرخ میانگین گذردهی را بر اساس تابعی از تعداد  
جریان‌های زیرگذر نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود  
نرخ  $\bar{R}$  به صورت خطی بر اساس  $n$  افزایش می‌یابد

#### ۴- مدل تحلیلی

در این بخش کارایی TCP را در یک شبکه بیسیم با استفاده از  
مدل مارکوف تحلیل می‌کنیم ارزیابی کارایی TCP به وسیله  
مدل‌های تحلیلی به چندین دلیل می‌تواند مهم باشد.

۱- یک مدل تحلیلی در مقابل یک مدل شبه سازی شده  
سریع‌تر می‌تواند کارایی را ارزیابی کند.

۲- مجرد سازی الگوریتم‌های TCP با یک مدل ریاضی به وسیله  
شبه سازی دشوار است

۳- یک مدل تحلیلی می‌تواند با یک مدل شبه سازی به صورت  
مجتمع درآمد و کارایی آن را بالا ببرد [۱۹] تاکنون مدل‌های  
مختلفی TCP با استفاده از مارکوف ارائه شده است [۲۰]، [۲۱]  
، [۲۲] سعی ما بر این است تا TCP نوع رنو<sup>۲</sup> را با استفاده از مدل  
مارکوف تحلیل نماییم همان‌طوری که می‌دانیم TCP نوع رنو علاوه  
بر استفاده از الگوریتم‌های ارسال مجدد سریع از الگوریتم پوشش  
سریع نیز استفاده می‌نماید یعنی در حالت گم شدن یک بسته  
اندازه پنجره به اندازه نصف مقدار قبلی کاهش می‌یابد. رنو فاز  
شروع آهسته را بعد از دریافت سه بسته تصدیق تکراری نادیده  
می‌گیرد این بدان دلیل است که هر چند بسته گم شده است اما  
بسته‌های در فرستنده قابل دریافت است.

در این قسمت حالتی را بررسی می‌کنیم که یک نود سیار در  
حالت دریافت اطلاعات از ایستگاه کاری نود دیگر در حالت ارسال  
اطلاعات به ایستگاه کاری است رفتار TCP وابستگی شدیدی  
به اندازه بافر در ایستگاه کاری (B) و همچنین اندازه پنجره در  
گیرنده (W) دارد. فرض ما بر این است که بسته هنگامی گم  
می‌شود که سرریزی در ایستگاه کاری اتفاق بیفتد هنگامی که

در این بخش عامل  $R_{ii}$  نشان‌دهنده میانگین گذردهی جریان فرا  
گذر و  $R_{id}$  نشان‌دهنده میانگین گذردهی جریان زیرگذر هست و

$$\bar{R} \text{ نسبت } \frac{R_{ii}}{R_{id}} \text{ است.}$$

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که در این مقاله  
هدف ما دادن اولویت بیشتر به جریان‌های زیرگذر است؛ زیرا که  
در بعضی سامانه‌های تجاری اولویت بیشتری به ایستگاه کاری  
نسبت به نودهای فرستنده داده می‌شود و این امر به خاطر این  
است که اکثریت کاربردهای امروزی شامل دانلود اطلاعات است.

به منظور آنالیز مقدار  $\bar{R}$  و معرفی عامل‌های مربوطه شبیه‌سازی  
وسیعی را با استفاده از شبیه‌سازی NS-۲ انجام دادیم کار خود را  
باحالت پایه‌ای که در آن، یک فرستنده و یک گیرنده سیار در  
شبکه وجود دارد شروع می‌کنیم و آنگاه آن را به حالت  $n$  گیرنده  
سیار تعمیم می‌دهیم.

در این قسمت میزان تأثیر اندازه بافر در ایستگاه کاری را بر روی  
نرخ گذردهی بیان می‌کنیم. اندازه پنجره گیرنده را برابر ۴۲ بسته  
قرار می‌دهیم علت این کار این است که در بسیاری از کاربردهای  
تجاری اندازه پنجره برابر  $2^{16}$  است که تقریباً این مقدار برابر ۴۲  
بسته است. (با فرض  $MTU^1=1500$  بایت). برای شبیه‌سازی اندازه  
بافر را به طور متغیر بین ۶ تا ۸۵ در نظر می‌گیریم و برای  
هر اندازه بافر ۵ بار عمل شبیه‌سازی راه هر دفعه به مدت ۱۰۰  
ثانیه انجام می‌دهیم. علاوه بر نرخ میانگین می‌توان نرخ ماکزیمم  
و مینیوموم را نیز نشان دهیم.

در این بخش فرض می‌کنیم چندین جریان فرا گذر و زیرگذر در  
شبکه موجود باشد دو حالت را در نظر می‌گیریم در این حالت  
یک جریان فرا گذر و چندین جریان زیرگذر را در نظر می‌گیریم  
و در حالت دوم  $n$  جریان فرا گذر و  $n$  جریان زیرگذر را در نظر  
می‌گیریم که تعداد این دو جریان برابر است برای این دو حالت  
اندازه بافر را در ایستگاه کاری برابر ۱۰۰ بسته در نظر می‌گیریم  
در این شبیه‌سازی هر نود سیار تنها یک هر نوع جریان را  
می‌فرستند یا دریافت می‌کند مانند حالت قبل برای هر نقطه ۵  
بار شبیه‌سازی را هر دفعه به مدت ۱۰۰ ثانیه انجام می‌دهد  
سپس میانگین این ۵ اجرا نرخ میانگین  $\bar{R}$  در هر نقطه را  
مشخص می‌کند.

<sup>2</sup> Reno

<sup>1</sup> Max Transmission Unit

بنابراین تعدادی از فضای بافر برای بسته‌های جریان زیرگذر آماده است.

در این قسمت از مقاله قصد داریم بر روی یک مدل ریاضی برای تحلیل این حالت متمرکز شویم، می‌توانیم بافر موجود در ایستگاه کاری را با استفاده از مدل صف (M/M/L/K) مدل نماییم. در این سیستم نرخ سرویس‌دهی برابر نرخ است که ایستگاه کاری از لایه کنترل دسترسی به رسانه سرویس می‌گیرد و نرخ ورودی برابر  $R_d + \alpha R_u$  خواهد بود  $R_u$  برابر گذردهی جریان زیرگذر و  $R_u$  برابر میزان گذردهی جریان زیرگذر خواهد بود. طبق توضیحات بالا گذردهی بافر برابر گذردهی بسته‌های بسته تصدیق جریان فرا گذر به علاوه بسته‌های جریان زیرگذر است نرخ بهره‌وری را که با P نشان می‌دهند برای حالتی که  $\alpha = 1$  است یعنی به ازای هر بسته یک بسته تصدیق فرستاده می‌شود برابر رابطه زیر خواهد بود.

$$\rho = \frac{R_u + R_d}{R_u} = 1 + \frac{1}{R} \quad (2)$$

نرخ سرویس‌دهی را در بهترین حالت برای  $R_u$  در نظر می‌گیریم. طبق [۲۵] می‌توانیم احتمال اینکه یک صف دقیقاً K بسته در بافر وجود داشته باشد برابر رابطه (۳) خواهد بود.

$$P = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}} \rho^K \quad (3)$$

بر طبق رابطه  $(l + \bar{R})^K \approx l + k\bar{R}$  که برای مقادیر کوچک  $\bar{R}$  درست خواهد بود و رابطه (۲) را به صورت (۴) به دست خواهیم آورد.

$$P_B = \frac{1 + B \frac{1}{R}}{B + 1} \quad (4)$$

به‌رحال مقادیر P و  $\bar{R}$  هنوز مشخص نشده‌اند برای به دست آوردن مقادیر  $\bar{R}$  ما از [۲۶] کمک می‌گیریم اگر ما فرض کنیم که هیچ انقضا بازه زمانی اتفاق نمی‌افتد می‌توانیم که رابطه (۴) از [۲۶] برای محاسبه Rd کمک بگیریم که در آن Rd برابر با

$$R_d = \frac{1}{RTT_d} \sqrt{\frac{3\alpha}{2P}} \quad (5)$$

خواهد بود به راحتی می‌توان رابطه را به دست آورد حال با داشتن  $R_u$  و  $R_d$  می‌توانیم  $\bar{R}$  را به دست آوریم.

$$\bar{R} = \frac{RTT_d}{RTT_u} * \frac{w}{\sqrt{3\alpha/2P}} \quad (5)$$

باتوجه به شکل (۳) چون تأخیر هر دو جریان در ایستگاه کاری

پنجره به اندازه بزرگ باشد گم‌شدن بسته‌های بسته تصدیق تأثیر زیادی روی اندازه پنجره فرستنده نخواهد گذاشت این امر به خاطر طبیعت تجمعی TCP است؛ زیرا که بسته تصدیق بعدی حاوی شماره ترتیبی شامل شماره ترتیب بسته تصدیق گم‌شده خواهد بود، بنابراین اندازه پنجره فرستنده تا رسیدن به اندازه (w) افزایش خواهد یافت؛ اما اندازه پنجره در جریان زیرگذر به طور فراوانی بر اساس W, B تغییر می‌کند که این تغییر باعث نصف‌شدن اندازه پنجره خواهد شد واضح است که اگر اندازه بافر در ایستگاه کاری بزرگ‌تر یا مساوی اندازه پنجره در گیرنده باشد (این آیتم را با  $(\alpha+1)W$  نشان می‌دهیم) تمام بسته‌ها بدون سرریز در بافر جای می‌گیرد و هیچ بسته‌ای دور ریخته نمی‌شود. در این حالت اختصاص عادلانه پهنای باند بین این سه ایستگاه به وسیله لایه کنترل دسترسی به رسانه تخصیص عادلانه پهنای باند بین این دو جریان را تضمین می‌کند اگر به شکل (۳-۶) نگاه کنیم خواهیم دید که هنگامی که اندازه بافر بزرگ‌تر از ۸۴ (اندازه پنجره گیرنده را ۴۲ در نظر می‌گیریم) باشد؛ یعنی بزرگ‌تر از دوبرابر اندازه پنجره در گیرنده باشد نرخ گذردهی جریان فرا گذر نسبت به جریان زیرگذر برابر (۱-۶) خواهد بود.

در حالتی که اندازه بافر (B) کوچک باشد مشاهده می‌شود که جریان فرا گذر سهم فراوانی از پهنای باند مشترک را به خود اختصاص خواهد داد. یک توضیح ساده برای مطلب فوق این‌گونه خواهد بود:

یک بافر ایستگاه کاری را در نظر بگیرید که شامل  $\alpha w$  بسته تصدیق خواهد بود به علت استفاده TCP از الگوریتم جلوگیری از ازدحام میزان معمولی استفاده از این بافر به اندازه (B-aw)  $\frac{3}{4}$  خواهد بود زیرا هنگامی که یک بسته به علت تراکم گم می‌شود اندازه پنجره به اندازه قبلی خود کاهش می‌یابد بنابراین اندازه پنجره بید  $\frac{B - \alpha w}{2}$  و  $B - \alpha w$  متغیر خواهد بود، میانگین

استفاده از این فضای مهیا در بافر برابر  $\frac{3(B - \alpha w)}{4}$  خواهد بود؛

بنابراین نرخ جریان فرا گذر نسبت به جریان زیرگذر که با  $\bar{R}$  نشان می‌دهیم برابر با رابطه (۱) خواهد بود.

$$\bar{R} = \frac{4w}{3(B - \alpha w)} \quad (1)$$

این رابطه برای حالتی که اندازه بافر به اندازه کافی بزرگ است تقریباً درست است اما برای مقادیر کم B مناسب نیست. مشکل اساسی این رابطه این است که در آن فرض می‌شود که بافر موجود در ایستگاه کاری به وسیله  $\alpha w$  بسته پر می‌شود زیرا در حالت واقعی مشاهده می‌شود در اکثر موارد برای حالتی که اندازه بافر کوچک است کمتر از  $\alpha w$  بسته تصدیق در بافر جای دارد

$$\frac{1 + \beta \frac{1}{R}}{B+1} = \frac{\bar{R}^2 3\alpha}{2w^2} \quad (۸)$$

$$\bar{R} = ? \quad (۹)$$

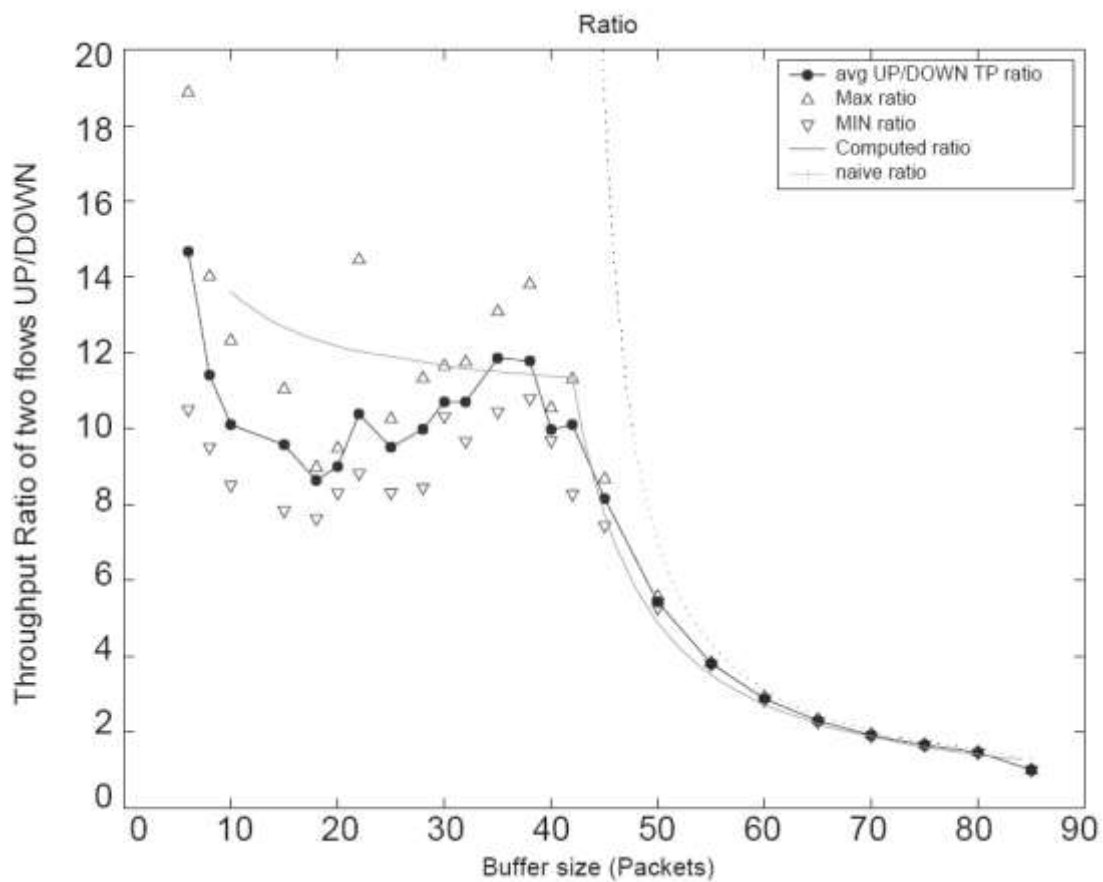
حال طبق رابطه (۸) می‌توانیم  $\bar{R}$  را به‌عنوان تابعی از  $B$  داشته باشیم که در آن مقدر  $W$  را برابر ۴۲ قرار می‌دهیم مقدار این محاسبه را در شکل (۴) مشاهده نماییم.

یکسان است بنابراین  $\frac{RTT d}{RTT u} = 1$  خواهد بود؛ بنابراین تقریباً

$\bar{R} = \sqrt{\frac{2PW^2}{3\alpha}}$  خواهد بود. با توجه نکات فوق رابطه و (۴) را می‌توانیم تغییر دهیم.

$$p = \frac{1 + B \frac{1}{R}}{B+1} = \frac{(1+B) \sqrt{\frac{3\alpha}{2pw^2}}}{1+B} \quad (۶)$$

$$\bar{R} = \sqrt{\frac{2pw^2}{3\alpha}} \Rightarrow P = \frac{\bar{R}^2 3\alpha}{2w^2} \quad (۷)$$



شکل (۴): نتایج مدل تحلیلی در مقابل شبیه‌سازی

گم‌شدن بسته‌ها به این صورت است که یا یک انقضا بازه زمانی اتفاق می‌افتد و یا اینکه به حالت اندازه پنجره پر می‌رسد، این عمل در نتیجه آن است که گم‌شدن بسته تصدیق تکراری از انقضا بازه زمانی جلوگیری می‌کند و اندازه پنجره به یک کاهش نمی‌یابد؛ بلکه برابر نصف مقدار قبلی خود خواهد شد.

حال حالتی را در نظر می‌گیریم که چندین جریان زیرگذر در شبکه موجود است می‌توان این‌گونه بیان کرد که فضای باقیمانده از بافر به طور یکسان بین این جریان تقسیم می‌شود. فرض کنید  $n$  جریان زیرگذر در شبکه موجود است، هر کدام از این جریان‌ها

حال سؤالی که به نظر می‌رسد این است که آیا می‌توانیم از این تحلیل برای  $B > 42$  استفاده نماییم. اولین نگاه می‌توان مشاهده کرد که تحلیل ما مطابق با واقعیات است؛ زیرا احتمال دور ریخته شده بسته‌ها کاهش می‌یابد که دلیلی بر افزایش  $R_h$  است. اگر  $B > \alpha W$  باشد تنها زمانی گم‌شدن بسته‌ها اتفاق می‌افتد که بافر پر شده باشد؛ یعنی زمانی که اندازه پنجره گیرنده بزرگ باشد.

در این قسمت حالتی را در نظر می‌گیریم که اندازه بافر در ایستگاه کاری برای هر جریان کوچک باشد. همان‌طوری که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد عکس‌العمل TCP در قبال

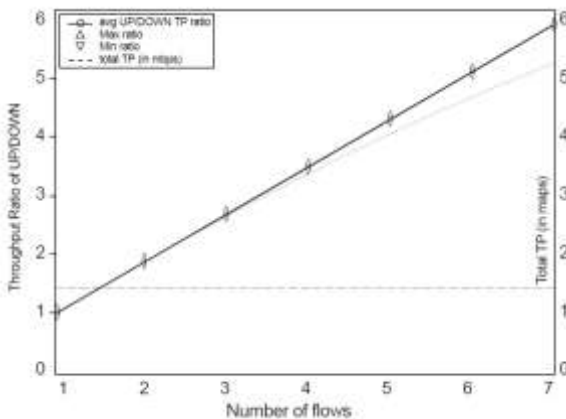


$$\bar{R}_n = \frac{RTTd}{RTTu} \frac{w}{\sqrt{3\alpha/2np}} \Rightarrow \sqrt{\frac{2npw^2}{3\alpha}} \quad (13)$$

رابطه فوق برای حالتی است که اصلاً گم‌شدن بسته‌ها را نداشته باشیم در صورتی که در حالت واقعی ممکن است پدیده گم‌شدن بسته‌های داده پیش بیاید بنابراین اندازه مؤثر پنجره در جریان زیرگذر از یک بخش ثابت  $\frac{B-\alpha W}{n}$  و بخش دیگر که ارتباط بسته‌های بسته تصدیق را در بافر مشخص می‌کند تشکیل شده است زمانی که گم‌شدن بسته‌ها اتفاق می‌افتد اندازه پنجره به  $\frac{B-\alpha W}{2n}$  کاهش می‌یابد این اندازه پنجره بین  $\frac{B-\alpha W}{2}$  و  $\frac{3(B-\alpha W)}{4n}$  متغیر خواهد بود که میانگین آن برابر  $\frac{B-\alpha W}{2n}$  است بنابراین اندازه واقعی  $\bar{R}_n$  برابر رابطه (۱۴) خواهد بود.

$$\bar{R}_n = \sqrt{\frac{2npw^2}{3\alpha}} + \frac{3(B-\alpha w)}{4n} \quad (14)$$

شکل (۵) میزان  $\bar{R}_n$  را به ازای  $B=100$  و  $W=42$  نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات  $\bar{R}_n$  نسبت به تعداد جریان به صورت خطی است.



شکل (۵): سناریوی یک جریان فرا گذر و n جریان زیرگذر

## ۵- روش پیشنهادی

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد الگوریتم DCF باعث بروز بی‌عدالتی در TCP می‌شود؛ و این بی‌عدالتی وابستگی شدیدی به اندازه پنجره و اندازه بافر دارد در این بخش هدف اصلی ما ارائه روشی برای از بین بردن این بی‌عدالتی و تخصیص پهنای باند به صورت عادلانه بین جریان فرا گذر و زیرگذر است. روشی که ارائه می‌دهیم روی لایه کنترل دسترسی به رسانه اجرا می‌شود؛ چراکه اگر می‌خواستیم تغییراتی روی لایه کنترل دسترسی به رسانه ارائه دهیم. این تغییرات نیاز به سخت‌افزاری

$\frac{1}{n}$  پهنای باند مهیا را به خود اختصاص داده‌اند که این مسئله باعث بی‌عدالتی در شبکه می‌شود. منشأ این بی‌عدالتی را می‌توان در لایه کنترل دسترسی به رسانه جستجو کرد. همان‌گونه که بیان شده است پروتکل لایه کنترل دسترسی به رسانه به نام DCF اجازه دستیابی یکسان به همه نودهای شبکه از قبیل نودهای سیار و ایستگاه کاری را می‌دهد. در این حالت ایستگاه کاری و نود سیار فرستنده، دسترسی یکسانی به شبکه، دارند. نود سیار فرستنده نیمی از پهنای باند را به خود اختصاص می‌دهد و نیمی دیگر بین نودهای سیار گیرنده به طور مساوی تقسیم می‌شود یعنی به هر نود گیرنده  $\frac{1}{2n}$  پهنای باند مهیا اختصاص می‌یابد که باعث کاهش کارایی جریان زیرگذر می‌شود و هر چه n افزایش یابد این نسبت با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد و باعث بی‌عدالتی در شبکه می‌شود. همان‌طور که مشاهده شد خاصیت عدالت‌خواهی DCF نیز خود باعث بی‌عدالتی در ارسال بسته می‌شود که می‌توان آن را در شکل (۳) مشاهده کرد که  $\bar{R}$  به طور خطی افزایش می‌یابد.

می‌توان این موضوع را با تعمیم روابط ریاضی قبلی به راحتی اثبات کرد. رابطه (۲) برای حالتی که n جریان زیرگذر داریم به صورت زیر تغییر می‌کند.

$$P = \frac{R_u + nR_d}{R_u} = 1 + \frac{n}{R} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) فرض می‌کنیم که تمام جریان‌های زیرگذر دارای یک نرخ میانگین گذردهی می‌باشند. اگر  $(R_d)$  به اندازه کافی کوچک باشد می‌توان از رابطه  $(1+n\bar{R})^k \approx 1+kn\bar{R}$  استفاده نمود و نرخ دور ریختن بسته‌ها (P) را از طریق رابطه (۱۰) به دست آورد.

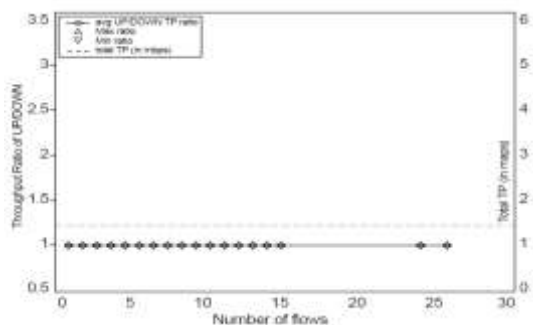
$$P_B = \frac{1 + \frac{n}{R_n}}{1 + B} \quad (11)$$

پس خواهیم داشت:

$$\frac{1 + \frac{Bn}{R_n}}{1 - B} = \frac{3R_n^2}{2w^2} \quad (12)$$

با حل معادل فوق می‌توان  $\bar{R}_n$  را به صورت تابعی از B و W به دست آورد که در آن  $\bar{R}_n$  نرخ بین یک جریان فرا گذر و هر یک n جریان زیرگذر خواهد بود با توجه به رابطه (۵) خواهیم داشت:

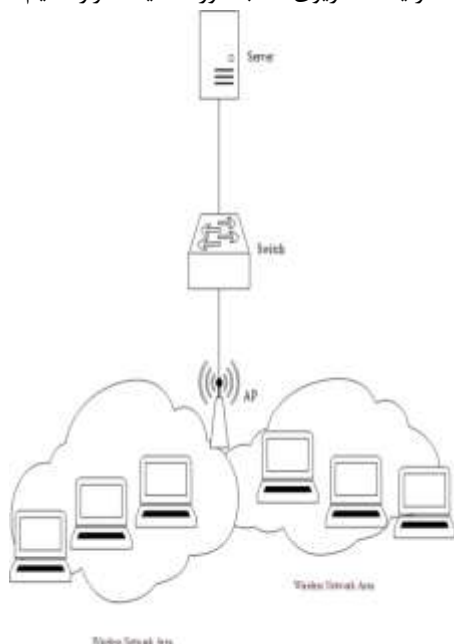
می‌دهد در این مورد اندازه بافر را برابر ۱۰۰ می‌گیریم و قبل از هر اجرا اندازه پنجره را برابر  $(100/n)$  در نظر می‌گیریم همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ  $\frac{R_u}{R_d}$  برابر یک است که نشانگر تخصیص عادلانه پهنای باند است.



شکل (۶): برقراری عدالت در اتصالات TCP

## ۶- تجزیه و تحلیل روش پیشنهادی

در این بخش قصد داریم برای صحت سنجی نتایج و اطمینان از بهینگی روش پیشنهادی، آن را با روش [۱] که اخیراً توسط نویسندگان این مقاله در مجله پدافند سایبری چاپ گردیده است، با استفاده از یک سناریوی مشابه مورد مقایسه قرار دهیم.



شکل (۷): شبکه n=۸۰۲,۱۱

شکل (۸)، نتایج گذردهی ترافیک‌های هم‌زمان TCP و UDP را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. نرخ ارسال داده‌های UDP ۲ Mbps است. نتایج این شکل نشان‌دهنده آن است که روش پیشنهادی به‌واسطه تغییرات اندک در ساختار بسته، عدم نیاز به اجرای الگوریتمی جدید، بتواند سهم عادلانه‌تری از پهنای باند را در برابر ترافیک ایجاد شده در [۱]، به دست آورد.

اضافی برای بهبودبخشیدن شبکه مبتنی بر n=۸۰۲,۱۱ داشت که از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست.

روش اولی که ارائه می‌دهیم این است که از دو بافر جداگانه برای بسته‌های داده و بسته تصدیق استفاده کنیم که اندازه آن‌ها به ترتیب A, D بسته باشد. بر اساس آنچه قبلاً بیان شد، دور ریخته‌شدن بسته‌های بسته تصدیق تأثیر چندانی بر روی گذردهی TCP ندارد این به‌خاطر خاصیت تجمعی بودن بسته‌های بسته تصدیق است به همین جهت نمی‌توان اندازه بافر برای بسته‌های بسته تصدیق را پیش‌بینی نمود.

روش دیگر استفاده از بسته‌های بسته تصدیق تکراری به‌صورت جعلی برای مجبور کردن فرستنده به کاهش اندازه پنجره است و همچنین می‌توان بسته‌های ارسالی از طرف فرستنده را دور ریخت. این راه‌حل به طور فراوان اندازه پنجره را کاهش می‌دهد؛ اما بسیار پیچیده است و همچنین به‌خاطر دورریختن بسته‌های ارسالی و فرستادن بسته‌های بسته تصدیق تکراری بسیار پیچیده و باعث اتلاف پهنای باند می‌شود؛ اما راه‌حلی که بر روی آن تکیه داریم استفاده از فیلدی به نام 'ARWF'، درسته تصدیق که برای فرستنده ارسال می‌شود است. این فیلد فضای مهیا، در گیرنده را نشان می‌دهد و به فرستنده کمک می‌کند تا اندازه پنجره خود را مطابق با آن کاهش دهد؛ بنابراین می‌توانیم مطمئن شویم که اندازه پنجره در فرستنده به همان اندازه‌ای است که می‌خواهیم.

اگر n جریان در سیستم وجود داشته باشد و اندازه بافر برابر با B باشد، می‌توان اندازه پنجره را برابر  $\min\left[cwnd, \left\lceil \frac{B}{n} \right\rceil\right]$  قرارداد.

در این صورت رابطه (۱۴) به‌صورت زیر تغییر می‌کنند.

$$\bar{R}_n = \frac{B}{n} \sqrt{\frac{2nP}{3}} + \frac{3B}{4n} \times \left(\frac{n-1}{n}\right) \quad (15)$$

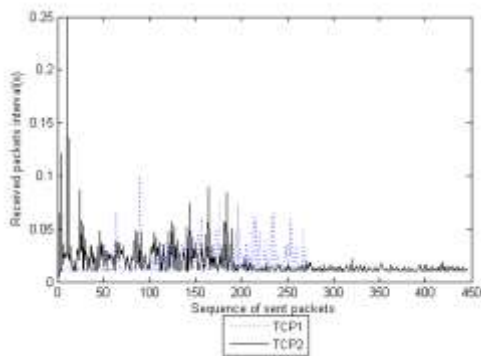
$$\bar{R}_n = \sqrt{\frac{2npw^2}{3\alpha}} + \frac{3(B - \alpha w)}{4n}$$

به‌منظور اجرای این راه‌حل نیاز به یک شمارنده است به تعداد جریان‌های TCP موجود در شبکه را تخمین بزند مشکلی که پیش می‌آید مشخص کردن تعداد جریان‌های فرا گذر و زیرگذر است. در ساده‌ترین حالت صرف‌نظر از جهت اتصال تعداد کل جریان‌ها را به‌وسیله شمارنده از روی نشانی IP و شماره Port می‌شماریم.

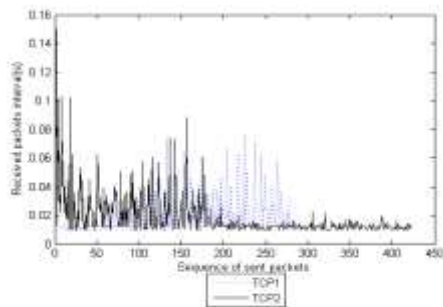
شکل (۶) نتیجه این اصلاح‌ها را با استفاده از شبیه‌سازی نشان

<sup>1</sup> Ack Receive Window Field

دلیل کاهش کارایی [۱] در این سناریو آن است که به دلیل بالا بودن نرخ داده این ترافیک، بافر گره‌های میانی دچار سرریز شده و در نتیجه بسته‌ها دور انداخته می‌شود. ضمناً افزودن تأخیر به واسطه چک کردن زمان‌سنج در [۱] سبب شده است تا ترافیک روش پیشنهادی شانس بیشتری برای کسب کانال انتقال پیدا نماید. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، همانند سناریوی مطرح‌شده در [۱]، افزودن تأخیر به انتقال اطلاعات، سبب شده است تا هر گره زمان بیشتری برای ارسال داده در اختیار داشته باشد. در این شکل نیز می‌توان رفتار عادلانه‌تر روش پیشنهادی را در مقایسه با روش [۱]، مشاهده نمود.



الف: فاصله زمانی دریافت دو فریم در روش [۱]



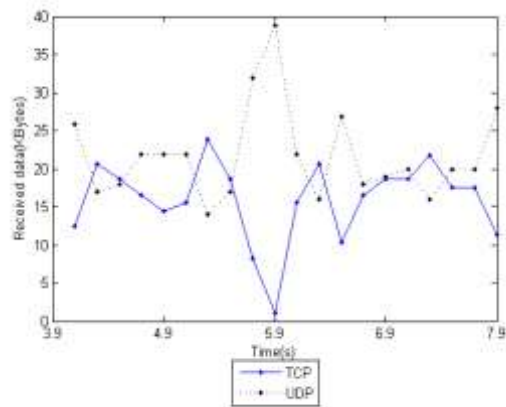
ب: فاصله زمانی دریافت دو فریم در روش پیشنهادی

شکل (۹): فاصله زمانی بین دریافت پیراندهای متوالی توسط ۲ ارتباط TCP هم‌زمان

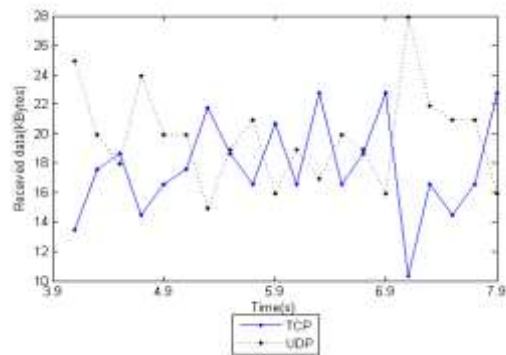
شکل ۹، به بررسی فاصله زمانی بین پیراندهای دریافتی در مقصد در سناریو ارائه‌شده در ابتدای فصل اختصاص یافته است. همان‌طور که در این شکل مشهود است، روند تغییرات در روش پیشنهادی دارای پشه‌های کمتری نسبت به روش ارائه‌شده در [۱] است.

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی برقراری عدالت بین جریان‌های TCP در شبکه‌های مبتنی بر استاندارد ۸۰۲.۱۱ پرداختیم. پروتکل TCP



الف: نرخ گذردهی روش پیشنهادی



ب: نرخ گذردهی روش [۱]

شکل (۸): ارزیابی نتایج گذردهی توسط ۲ ارتباط TCP هم‌زمان

شکل (۸)، نتایج گذردهی ترافیک‌های هم‌زمان TCP و UDP را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. نرخ ارسال داده‌های UDP 2Mbps است. نتایج این شکل نشان‌دهنده آن است که روش پیشنهادی به‌واسطه تغییرات اندک در ساختار بسته، عدم نیاز به اجرای الگوریتمی جدید، بتواند سهم عادلانه‌تری از پهنای باند را در برابر ترافیک ایجادشده در [۱]، به دست آورد. دلیل کاهش کارایی [۱] در این سناریو آن است که به دلیل بالا بودن نرخ داده این ترافیک، بافر گره‌های میانی دچار سرریز شده و در نتیجه بسته‌ها دور انداخته می‌شود. ضمناً افزودن تأخیر به واسطه چک کردن زمان‌سنج در [۱] سبب شده است تا ترافیک روش پیشنهادی شانس بیشتری برای کسب کانال انتقال پیدا نماید. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، همانند سناریوی مطرح‌شده در [۱]، افزودن تأخیر به انتقال اطلاعات، سبب شده است تا هر گره زمان بیشتری برای ارسال داده در اختیار داشته باشد. در این شکل نیز می‌توان رفتار عادلانه‌تر روش پیشنهادی را در مقایسه با روش [۱]، مشاهده نمود.

- Congestion Control Algorithms Including TCP BBR," 2018 IEEE 7th International Conference on Cloud Networking (CloudNet), 2018, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CloudNet.2018.8549505
- [7] Haichang Huang, Zhiyang Sun, Xin Wang, "End-to-End TCP Congestion Control for Mobile Applications", IEEE Access, vol.8, pp.171628-171642, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3024707
- [8] Liang Zong, Yong Bai, Chenglin Zhao, Gaofeng Luo, Zeyu Zhang, Huawei Ma, "On Enhancing TCP to Deal with High Latency and Transmission Errors in Geostationary Satellite Network for 5G-IoT", Security and Communication Networks, vol. 2020, Article ID 6693094, 7 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6693094>
- [9] N.M. Kasoro, S.K. Kasereka, G.K. Alpha, K. Kyamakya, "ABCSS: A novel approach for increasing the TCP Congestion Window in a Network", Procedia Computer Science, Volume 191, 2021, Pages 437-444, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.075>
- [10] Amar A. Mahawish, Hassan J. Hassan, "Survey on: A Variety of AQM Algorithm Schemas and Intelligent Techniques Developed for Congestion Control", Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol.23, No.3, pp.1419-1431, 2021, pp1419-1431, <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i3>
- [11] MM. Hassani, S. Pashmforoush, & A.A.E, "Zarandi, Effect of the Spectrum Sensing Period on the TCP Performance Over Cognitive Radio Ad-hoc Networks" Wireless Pers Commun 124, 2411-2426 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09470-y>
- [12] Mahawish, A.A., Hassan, H.J. Improving RED Algorithm Congestion Control by using the Markov Decision process. Sci Rep 12, 13363 (2022), <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17528-x>
- [13] . T. Nandagopal, T. Kim, X. Gao, and V. Bharghavan, "Achieving MAC layer Fairness in Wireless Packet Networks", ACM Mobicom 2000, Boston, USA, Aug. 2000, DOI: 10.1145/345910.345925
- [14] N. H. Vaidya, P. Bahl, and S. Gupta, "Distributed Fair Scheduling in a Wireless LAN", MobiCom 2000, Boston, USA, Aug. 2000, DOI: 10.1109/TMC.2005.87
- [15] K. Sasaki, M. Hanai, K. Miyazawa, A. Kobayashi, N. Oda and S. Yamaguchi, "TCP Fairness Among Modern TCP Congestion Control Algorithms Including TCP BBR," 2018 IEEE 7th International Conference on Cloud Networking (CloudNet), Tokyo, Japan, 2018, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CloudNet.2018.8549505.
- [16] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [17] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, and R. H. Katz, "The Effects of Asymmetry on TCP Performance", ACM Mobile Networks and Applications (MONET) Journal, Vol. 4, No. 3, 1999, DOI: 10.1023/A:1019155000496
- [18] D.J. Deng and R.-S. Chang, "A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method," IEICE Transactions on Communications, vol. E82-B, no. 1, pp. 96-102, Jan. 1999
- [19] S. Lu, V. Bharghavan, and R. Srikant, "Fair scheduling in wireless packet networks," in ACM SIGCOMM'97, Cannes, France, Sept. 1997, DOI: 10.1145/263105.263141
- [20] T. Nandagopal, T. Kim, X. Gao, and V. Bharghavan, "Achieving MAC Layer Fairness in Wireless Packet Networks," in ACM Mobicom 2000, Boston, MA, USA, Aug. 2000, DOI: 10.1109/TNET.2011.2116124
- [21] N. H. Vaidya, P. Bahl, and S. Gupta, "Distributed Fair Scheduling in a Wireless LAN," in MobiCom 2000, Boston, MA, USA, Aug. 2000, DOI: 10.1109/TMC.2005.87
- [22] M.M. Hassani, R. Berangi " An Analytical Model for Evaluating utilization of TCP Reno." International Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech 2007, Rouse, Bulgaria, 2007,

به‌عنوان یکی از پروتکل‌های لایه انتقال نقش مؤثری در برپایی کیفیت سرویس در شبکه ایفا می‌کند، بنابراین در این مقاله کارایی TCP را در شبکه‌های بی‌سیم از دیدگاه برقراری عدالت و نرخ گذردهی مورد بررسی قرار داده‌ایم.

در ادامه ارتباط بین پروتکل‌های TCP و کنترل دسترسی به رسانه را تحلیل و شبیه‌سازی کردیم و متوجه این واقعیت شدیم که پروتکل DCF که برای تقسیم کانال به طور عادلانه در لایه کنترل دسترسی به رسانه استفاده می‌شود، خود باعث ایجاد بی‌عدالتی است. سعی ما بر این بود که دو سناریوی مختلف را بررسی نماییم، ابتدا حالتی که یک جریان فرا گذر و زیرگذر در شبکه وجود دارد و سناریوی دوم مربوط به حالتی است که N جریان زیرگذر و یک جریان فرا گذر در شبکه وجود دارد .

با شبیه‌سازی‌های مختلف متوجه شدیم که اندازه بافر در ایستگاه کاری نقش کلیدی در مسئله بی‌عدالتی ایفا می‌کند. با استفاده از مدل صف (M/M/1/K) و زنجیره مارکوف رفتار TCP و ارتباط آن با کنترل دسترسی به رسانه را مدل کردیم. این تحلیل چهار ناحیه اصلی بی‌عدالتی که وابسته به اندازه بافر در ایستگاه کاری است را به ما نشان داد، در نهایت برای رفع این مشکل مدل پیشنهادی خود را با نام ARWF که در ایستگاه کاری اجرا می‌شود، ارائه دادیم و با استفاده از شبیه‌سازی دریافتیم راه‌حل پیشنهادی ما عدالت را بین جریان‌های TCP برای هر اندازه بافر و هر تعداد جریان برقرار می‌سازد.

## ۸- مراجع

- [1] MM. Hassani, "A cross layer Approach for Improving the TCP quality-of-Service Parameters over the IEEE 802.11.ac wireless Networks," Journal of Electrical & Cyber Defence, vol. 10(1) pp. 109-117, 2022, DOR: 20.1001.1.23224347.1401.10.1.9.3 (In Persian)
- [2] K. Sasaki, M. Hanai, K. Miyazawa, A. Kobayashi, N. Oda and S. Yamaguchi, "TCP Fairness Among Modern TCP Congestion Control Algorithms Including TCP BBR," 2018 IEEE 7th International Conference on Cloud Networking (CloudNet), 2018, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CloudNet.2018.8549505.
- [3] J. A. Jude M, D. V. C, S. E. N, S. V, T. B and P. K. K, "On Minimizing TCP Traffic Congestion Control in Vehicular Internet of Things," 2022 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 2022, pp. 446-451, DOI: 10.1109/ICESC54411.2022.9885572
- [4] Minghui He, Yan Yuan, Kang Li, Han Peng, "Improvement of GCC Congestion Control Algorithm in Streaming Media Transmission", 2022 41st Chinese Control Conference (CCC), pp.3562-3566, 2022, DOI: 10.23919/CCC55666.2022.9901684
- [5] Jean P. Martins, Igor Almeida, Ricardo Souza, Silvia Lins, "Policy Distillation for Real-Time Inference in Fronthaul Congestion Control", IEEE Access, vol.9, pp.154471-154483, 2021, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3129132
- [6] K. Sasaki, M. Hanai, K. Miyazawa, A. Kobayashi, N. Oda and S. Yamaguchi, "TCP Fairness Among Modern TCP

- [25] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP Throughput: a Simple Model and its Empirical Validation," in ACM Sigcomm 1998, DOI: 10.1109/90.842137
- [26] G. Olmedo, R. Cueva, D. Martínez, and C. Almeida, "Performance Analysis of a Novel TCP Protocol Algorithm Adapted to Wireless Networks," Future Internet 12, no. 6, 2020, DOI: 10.1. <https://doi.org/10.3390/fi12060101>
- DOI:10.1145/1330598.1330663
- [23] N.M. Kasoro, S.K. Kasereka, G.K. Alpha, K. Kyamakya, "ABCSS: A novel approach for increasing the TCP Congestion Wwindow in a Network," Procedia Computer Science, Volume 191, 2021, Pages 437-444, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.075>
- [24] L. Kleinrock, Queueing Systems, Volume 1: THEORY. John Wiley and Sons, 1973, ISBN: 978-0-471-49110-1