

## A cross layer approach for improving the TCP quality-of-service parameters over the IEEE 802.11.ac wireless networks

M. M. Hassani\*

\*Assistant Professor, Technical and Engineering Faculty, Ayatollah Amoly Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

(Received: 11/06/2021, Accepted: 13/12/2021)

### ABSTRACT

*The rapid growth of the Internet in the last decade together with the growing importance of wireless communications pose new challenges to TCP as a reliable transmission protocol. The TCP regulates the traffic based on controlling congestion and it inherently assumes that each packet loss is a sign of congestion. Unfortunately, the TCP performance has degraded as it has to cope with new types of packet loss due to noisy wireless channels in wireless networks, variable channel bandwidth and random bit error rate, which could mislead the TCP to shape the traffic and reduce the throughput. In order to find an effective solution, the packet loss across wireless links must be distinguished from the congestion loss. In this paper, some significant characteristics of wireless links and their effects on TCP performance in wireless networks is presented. Meanwhile, a new cross layer approach to improve TCP fairness and throughput is designed using a combination of the MLFQ technique and timer in the second-tier wireless local area network. The experimental results are verified using the NS-2.3 simulator. The assessment results, the throughput, the end-to-end delay and jitter in various scenarios confirm the efficiency of the proposed model.*

**Keywords:** Transmission Control Protocol, Quality of service, Network Bandwidth, Congestion control, Delay, Packet Loss, Jitter.

\* Corresponding Author Email: m.m.hasani@iauamol.ac.ir

## ارائه روشی میان لایه‌های برای افزایش کارایی پارامترهای کیفیت سرویس TCP در شبکه‌های

### بی‌سیم مبتنی بر استاندارد 802.11.ac

محمد مهدی حسنی<sup>\*۱</sup>

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲)

#### چکیده

با رشد روزافزون اهمیت اینترنت در دهه‌های اخیر، به همراه افزایش سریع بهکارگیری تکنولوژی‌های جدید مانند ابزارهای سیار و رسانه‌های بی‌سیم، TCP با مشکلات جدیدی مواجه گردیده است. متأسفانه، کارایی TCP در محیط‌های سیار/بی‌سیم دچار افت و کاهش شدیدی می‌شود. چرا که هر گم شدن بسته در شبکه را نشانه‌ای از ازدحام تلقی می‌کند و نرخ انتقال آن را کاهش می‌دهد. در جهت پیدا کردن راه حل‌های مؤثر برای این موضوع، باید بین گم شدن بسته به دلیل ویژگی‌های ذاتی لینک‌های بی‌سیم و گم شدن بسته به واسطه‌ی ازدحام تمایز قائل شد. در این مقاله برخی ویژگی‌های مهم لینک‌های بی‌سیم بیان می‌شود و سپس با مرور اهم مشکلات TCP در شبکه‌های بی‌سیم، یک روش جدید جهت بهبود شرایط عدالت در انتقال و در نتیجه افزایش گذردهی در شبکه‌های بی‌سیم محلی، پیشنهاد می‌گردد که این راهکار تلفیقی از روش صف بازخوردی چندسطحی و زمان‌سنج در لایه‌ی دوم شبکه‌های محلی بی‌سیم است. برای ارزیابی روش پیشنهادی، آن را در قالب سناریوهای مختلف با هم‌بندی‌ها و پارامترهای ترافیکی متفاوت، به کمک شبیه‌ساز NS-۲/۳۴ مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. نتایج ارزیابی، میزان گذردهی، تأخیرهای شبکه و لرزش تأخیر در طرح‌های مختلف نشان‌دهنده عملکرد مثبت روش‌های پیشنهادی است.

**کلیدواژه‌ها:** پروتکل کنترل انتقال، کیفیت سرویس، پهنای باند شبکه، کنترل ازدحام، تأخیر، گم شدن بسته، لرزش

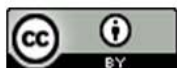
#### ۱- مقدمه

ارائه می‌دهد، به صورت ذاتی دارای نرخ خطای بسیار و کیفیت سرویس کمتر نسبت به دیگر انواع شبکه‌ها است. پروتکل TCP به‌عنوان یکی از پروتکل‌های لایه‌ی انتقال، نمونه‌ای از این پروتکل‌ها است که تضاد در پارامترهای کیفیت سرویس در آن بسیار به چشم می‌آید. وجود ذاتی قابلیت اطمینان در این لایه موجب کاهش گذردهی در بین جریان‌های این پروتکل گردیده است. به‌رحال، تراکم داده و سرعت دو عامل موازی هم است و ایجاد راهی برای تعامل بین این دو پارامتر کیفیت سرویس از ضرورت‌های این طرح و جامعه‌ی محققان در این زمینه به شمار می‌رود. کارایی در این پروتکل همیشه تحت تأثیر بسته‌های فراوان تصدیق<sup>۱</sup> است که در پاسخ به بسته‌های داده ارسال می‌گردد و این امر برای شبکه‌های بی‌سیم که خود از کیفیت متغیر لینک‌های خود رنج می‌برند، به‌عنوان یک مشکل بزرگ مطرح گردیده است و رفع این مشکل برای بالا بردن گذردهی مجموع جریان‌های TCP از ضروریات این مقاله است. در این مقاله، سعی ما بر این است تا نقطه‌ی کور شبکه‌های بی‌سیم در کاهش میزان گذردهی را مورد بررسی قرار دهیم و طی الگوریتم چندسطحی ابداعی، این مشکل را برطرف نماییم.

شبکه‌های محلی بی‌سیم بر اساس تکنولوژی 802.11 به صورت گسترده‌ای در حال به‌کارگیری و توسعه است. رشد این شبکه‌ها مستلزم ضمانت‌های کیفیت سرویس بسیاری است که در یک شبکه‌ی توزیع شده مانند شبکه‌های بی‌سیم اجرای این پارامترها به دلیل پروتکل‌های با دستیابی تصادفی و کیفیت لینک‌های بی‌سیم، کار دشواری است [1]. بدون فراهم کردن این پارامترهای کیفیت سرویس، به دست آوردن ساده‌ترین نیازمندی‌ها کار دشواری خواهد بود. نیازمندی‌های اولیه برای فراهم آوردن یک دستیابی عادلانه به خط از سوی کاربران با طبیعت بعضی پروتکل‌ها در تضاد است. پارامتر سرعت در شبکه، همواره نسبت به پارامترهای دیگری چون هزینه، برتری و صف‌ناپذیری داشته است. بحث داغ امروز شبکه‌ی کیفیت سرویس است. تحقیقات نشان می‌دهد که بین پارامترهای مختلف کیفیت سرویس ممکن است تضادهای فراوانی وجود داشته باشد. مثلاً بین پارامترهای قابلیت اطمینان و سرعت تضادی انکارناپذیر وجود دارد. بنابراین، یافتن راهی میانه برای برقراری حداکثر بهینگی در پارامترهای کیفیت سرویس راهی دشوار است. شبکه‌های بی‌سیم به علت پهنای باند متغیر و شرایط دارای نوسانی که از لینک‌های خود

<sup>1</sup> Acknowledgement

\* رایانامه نویسنده مسئول: meghdad.ayneband@srbiau.ac.ir



است. در [3]، چالش‌های مربوط به ازدحام به‌واسطه‌ی ظرفیت متغیر بافرها در شبکه‌های سلولی مورد بحث قرار می‌گیرد. برای غلبه بر این مسائل و بهبود عملکرد ترافیک شبکه در شبکه‌های تلفن همراه 5G، تعدادی راه‌حل درون شبکه‌ای و انتها به انتها پیشنهاد شده است. قراردادن محتوا در نزدیکی کاربر و اختصاص صف‌های هر کاربر در شبکه‌های تلفن همراه، احتمال به‌وجود آمدن گلوگاه در میانه‌ی ارتباطات را افزایش و نرخ ارتباط بین چندین کاربر را کاهش داده است. در این تحقیق، تعدادی الگوریتم کنترل ازدحام انتها به انتها برای افزایش گذردهی و کاهش تأخیر برای لینک‌هایی با پهنای باند متغیر در شبکه ارائه شده‌اند و آن‌ها را بر اساس روشی که به کنترل ازدحام می‌پردازند، طبقه‌بندی کرده‌اند.

روش [4]، اولین راه‌کار ارائه شده برای بهبود کارایی TCP در شبکه‌های ناهمگون است. ایده‌ی اصلی این روش از آنجا پیدا شده است که چون ما در شبکه‌های ناهمگون دو نوع کاملاً متفاوت از زیرشبکه‌ها (سیمی و بی‌سیم) داریم، پس می‌توانیم اتصال TCP را در نقطه‌ای که دو زیرشبکه همدیگر را ملاقات می‌کنند - مثلاً ایستگاه پایه - به دو اتصال جداگانه تقسیم نماییم. ایستگاه پایه از یک اتصال TCP با میزبان ثابت<sup>۲</sup> بهره می‌برد، در حالی که در همان زمان از پروتکل دیگری که برای کار روی پیوندهای بی‌سیم بهینه شده است، برای اتصال با میزبان سیار<sup>۳</sup> استفاده می‌کند. داده‌های ارسال شده به میزبان سیار از طریق ایستگاه پایه دریافت شده و بافر می‌شود و بلافاصله به فرستنده اعلام وصول می‌شود. به عبارت دیگر به ایستگاه کاری اجازه داده می‌شود تا بخش‌ها را به محض دریافت آن‌ها تصدیق نماید. به این ترتیب امکان دارد که قبل از آنکه یک بخش عملاً از سوی گیرنده دریافت شود، از طرف ایستگاه پایه به فرستنده اعلام وصول شود. پس از انتقال بسته تصدیق از ایستگاه پایه به فرستنده، وظیفه‌ی انتقال و تحویل داده‌ها به میزبان سیار به عهده‌ی ایستگاه پایه گذاشته می‌شود. در پیوند میان میزبان سیار و ایستگاه پایه استفاده از TCP سنتی، اجباری نیست، بلکه می‌توان از هر پروتکل بهینه شده برای شبکه‌های بی‌سیم استفاده کرد. I-TCP<sup>۴</sup> با کمک یک پروتکل بهینه شده برای پیوندهای بی‌سیم، نقاط ضعف پیوندهای خط‌پذیر بی‌سیم را از TCP پنهان می‌کند.

ازدحام، به‌عنوان مهم‌ترین دلیل گم‌شدن بسته در شبکه‌های بی‌سیم معرفی گردیده است، در حالی که در شبکه‌های ناهمگن بی‌سیم گم‌شدن بسته به دلایل دیگری مانند نرخ خطای بالای لینک، توپولوژی پویا اتفاق می‌افتد. متأسفانه TCP هرگونه

در مقالات و طرح‌های گذشته به‌صورت سخت‌افزاری به رفع این مشکل پرداخته شده است. در این مقاله، روش دیگری ارائه می‌دهیم، که اساس آن بر مبنای تغییرات نرم‌افزاری در ایستگاه کاری، برای شناسایی عامل ازدحام و در نهایت افزایش نرخ گذردهی است. در این روش بسته‌های تصدیق در صف انتظار موجود در ایستگاه کاری شناسایی می‌کنیم و آن‌ها را به صف مربوط به خود منتقل می‌گردانیم و بدین صورت از تأخیر ارسال و دریافت داده و همچنین نرخ بالای ارسال مجدد که بر اساس دور ریختن بسته‌ها ایجاد می‌گردد، می‌کاهیم. ایده‌ی اصلی این طرح بر اساس مدل صف بازخوردی چندسطحی که یکی از انواع مدل‌های صف چندسطحی در سیستم عامل است گرفته شده. در اینجا معیار انتقال بسته به صف‌های مختلف به‌جای زمان پردازش، بر اساس اندازه‌ی داده است.

در بخش مقدمه کلیاتی راجع به شبکه‌های بی‌سیم، کاربردها و چالش‌های موجود بیان شده است. بخش دوم شامل مروری بر کارهای انجام شده است و روش پیشنهادی را در بخش سوم تشریح خواهیم کرد. بخش چهارم، نتایج شبیه‌سازی و روش پیشنهادی برای بهبود گذردهی TCP در شبکه‌های بی‌سیم را در بر گرفته و در نهایت جمع‌بندی مطالب گفته شده در این مقاله و ارائه‌ی موضوعات برای کارهای آینده مهم‌ترین مطالب بخش پنجم است.

## ۲- پیشینه تحقیق

در این بخش، مروری بر بعضی از بهینه‌سازی‌هایی که برای بهبود کارایی TCP در شبکه‌های بی‌سیم پیشنهاد شده‌اند، انجام می‌گیرد. در [2]، یک سیستم کنترل نرخ محور در شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر نرم‌افزار SDWN<sup>۱</sup> و چندین ماژول نمونه‌برداری برای نمونه‌گیری پارامترهای کارایی شبکه پیاده‌سازی شده است. مجموعه داده‌ی به‌دست آمده می‌تواند به‌طور جامع روابط کیفی بین گم‌شدن بسته به‌واسطه ازدحام و معیارهای شبکه میان‌لایه‌ای را نشان دهد. به‌خصوص معیارهای مربوط به صف که در تحقیقات قبلی استفاده نشده‌اند و با ازدحام ارتباط معنی‌داری، دارند.

در این مقاله، از این روابط کیفی برای پیش‌بینی ازدحام‌های آینده در کانال‌های بی‌سیم و افزایش عملکرد TCP با راه‌اندازی کنترل نرخ لازم به‌صورت محلی در نقاط دسترسی قبل از ازدحام استفاده می‌کند.

در [3] برای غلبه بر چالش ازدحام در شبکه‌های سلولی و بهبود عملکرد ترافیک شبکه، یک راه‌حل انتها به انتها ارائه شده

<sup>۲</sup> Fix Host(FH)

<sup>۳</sup> Mobile Host(MH)

<sup>۴</sup> Indirect TCP

<sup>۱</sup> Software-defined wireless networking

در [9] نتایج اندازه‌گیری جمع‌آوری شده از یک بستر آزمایش بی‌سیم مبتنی بر IEEE 802.11ac برای نشان دادن اینکه چگونه این استاندارد بر گذردهی یک شبکه‌ی بی‌سیم با انواع مختلف پروتکل TCP پیاده‌سازی شده در هسته لینوکس تأثیر می‌گذارد، ارائه گردید. عملکرد IEEE 802.11ac را با IEEE 802.11n در یک شبکه‌ی تک‌گام و شبکه‌ی چندگام مورد مقایسه قرار گرفت. مشاهدات اولیه نشان داده‌اند که عملکرد استاندارد IEEE 802.11ac در یک شبکه‌ی تک‌گام برتری محسوسی نسبت به استاندارد IEEE 802.11n دارد، با این حال، با افزایش تعداد گام، استاندارد IEEE 802.11ac مزیت قابل توجهی نسبت به IEEE 802.11n ندارد. علاوه بر این، نتایج اندازه‌گیری ما نشان می‌دهد که بهترین عملکرد توان عملیاتی با حداقل انحراف استاندارد از طریق CUBIC TCP و BIC TCP برای انتقال چند هاپ حاصل می‌شود. در [10] به بررسی مسئله‌ی عدم عدالت در انتقال بین گره‌های بی‌سیم پرداخته شده است و برای حل چنین مشکلی، پیشنهاد استفاده از استاندارد IEEE 802.11e را برای ایجاد سطوح کیفیت سرویس و اولویت برای ترافیک‌ها ارائه گردیده است. اگر در IEEE 802.11e برای تمام ترافیک‌ها، اولویت یکسانی تعریف نماییم، مشابه IEEE 802.11 عمل خواهد نمود و گذردهی و قابلیت اطمینان نسبت به وضعیت اولویت‌دار کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی ترافیک‌های UDP<sup>3</sup> در به‌دست آوردن پهنای باند اولویت بیشتری نسبت به ترافیک‌های TCP دارند. جنبه دوم عدم انتقال اطلاعات در شبکه‌های بی‌سیم محلی، عدم رعایت انصاف در استفاده از پهنای باند موجود برای انتقال در بین دو ارتباط TCP است. چنین شرایطی نیز در صورت عقب‌نشینی یکی از دو ارتباط TCP سبب افت چشم‌گیر گذردهی یکی از ارتباطات به نفع ارتباط دیگری می‌شود. [10] راهکاری را برای این منظور پیشنهاد داده شده است. در این مقاله، یک ایده برای تنظیم زمان ارسال داده‌ها در لایه‌ی MAC<sup>4</sup> ارائه شده است که سبب بهبود گذردهی و عدالت در لایه‌ی حمل و نقل می‌گردد. براساس این ایده در لایه‌ی MAC یک زمان سنج با فرمول زمانی خاص قرار داده می‌شود و گره تا زمان عدم انقضای این زمان، قادر به ارسال مجدد داده نیست.

در [12] راهکار پیشنهادی در بردارنده‌ی یک اصلاح برروی پارامتر Backoff در الگوریتم استاندارد DCF<sup>5</sup> است. در ایده‌ی پیشنهادی، هر گره پس از انتقال موفق هر بسته، یکی به شمارنده‌ی مخصوصی با نام N می‌افزاید.

گم‌شدن بسته را نشانه‌ای از ازدحام می‌داند و در مقابل آن شروع به کاهش نرخ انتقال می‌نماید. در [5] برای مقابله با این مشکل، یک پروتکل TCP میان‌لایه‌ای جدید به نام XJTCP<sup>1</sup> ارائه شده است. این روش از نرخ لرزش<sup>2</sup> به‌عنوان یک تخمین‌زننده‌ی گم‌شدن بسته، به منظور پیدا کردن دلیل اصلی پدیده‌ی گم‌شدن بسته استفاده می‌کند. ارزیابی کارایی انجام‌شده در این مقاله و مقایسه‌ی آن با سایر پیاده‌سازی‌های دیگر TCP نشان می‌دهد که این روش می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل جالب برای رفع چالش گم‌شدن بسته در شبکه‌های بی‌سیم باشد.

در [6] یک پروتکل TCP جدید برای کار در اتصالات بی‌سیم با نرخ بیتی پایین و شبکه‌هایی که دچار قطع مکرر می‌گردند، طراحی گردیده است. در این پروتکل جدید، هر اتصال TCP به دو قسمت مجزا تقسیم می‌گردد: قسمت اول شکل اصلاح‌نشده‌ای از TCP بین میزبان ثابت و ایستگاه پایه است و قسمت دوم شامل شکل اصلاح‌شده‌ای از اتصالات TCP بین ایستگاه پایه و میزبان متغیر است. برتری MTCP به I-TCP در این است که اولاً مفهوم انتها-به-انتها را حفظ می‌کند و دیگر اینکه در صورت بروز قطعی‌های مکرر و کوتاه، یا طولانی و نادر که به علت جابه‌جایی کاربر یا علل دیگر پدید می‌آید، بهتر عمل می‌کند. وقتی خطایی در شبکه رخ می‌دهد، گیرنده با کوچک ساختن پنجره‌ی خود تا حد صفر، ضمن متوقف کردن انتقال مجدد بسته‌ها از کاهش پنجره‌ی ازدحام نیز جلوگیری می‌کند تا از زمان بیکاری در فاز شروع آهسته اجتناب شود. در MTCP، مبدأ به غلط تصور می‌کند که تمام بایت‌های داده به استثنای آخرین بایت از طریق گیرنده دریافت شده است، پس بر مبنای این که آخرین بایت دریافت شده است یا خیر، فعالیت‌های اصلاحی و ترمیمی خود را انجام می‌دهد. این بزرگ‌ترین نقطه‌ی ضعف MTCP است.

مراکز داده موظف به تحویل بسته با حداقل تأخیر و حداکثر گذردهی هستند. در [7]، یک پروتکل لایه‌ی انتقال تأخیر-محور به نام TIMELY برای تنظیم اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام با استفاده از گرادیان زمان رفت و برگشت، مخصوص مراکز داده طراحی گردید.

LoLa TCP [8] یک مکانیزم جدید کنترل ازدحام مبتنی بر تأخیر است که برای به حداقل رساندن تأخیر صف و افزایش کارایی شبکه در شبکه‌های گسترده با سرعت بالا طراحی گردیده است. این مکانیزم برای شبکه‌هایی که متقاضی پهنای باند بالا و همچنین حساس به تأخیر نیز هستند، مفید واقع گردیده است.

<sup>3</sup> User Datagram Protocol

<sup>4</sup> Media access control

<sup>5</sup> Distributed Coordination Function

<sup>1</sup> Cross-Layer Jitter-Based TCP

<sup>2</sup> Jitter

در [16] از یک کنترل کننده نرخ در شبکه بی سیم مبتنی بر نرم افزار<sup>۳</sup> برای تشخیص ارتباط گم شدن بسته به واسطه ازدحام و پارامترهای کارایی در شبکه های میان لایه ای استفاده شده است. نویسندگان مقاله از این ارتباط برای پیش بینی روند ازدحام آینده در لینک های بی سیم و در نتیجه به بهبود کارایی TCP در شبکه های بی سیم، با راه اندازی کنترل نرخ محور به صورت محلی قبل از وقوع ازدحام در ایستگاه کاری استفاده نمودند.

در [17]، روشی به نام FAIR<sup>۴</sup>، که یک روش ترکیبی از رویکرد کنترل ازدحام مبتنی بر استفاده از شبکه و استفاده از پنجره، برای غلبه بر محدودیت های TCP در شبکه های بی سیم چندگام، پیشنهاد می گردد. این روش پیشنهادی، فرآیند کنترل ازدحام را بر اساس اطلاع رسانی در سطح صف و از گره رله آغاز می گردد و میزان ارسال را بر اساس سطح استفاده از جریان TCP کاهش می دهد. این الگوریتم در مرحله ی بازبانی ازدحام، الگوی افزایش اندازه ی پنجره ی جدیدی را پیاده سازی می کند که نرخ همگرایی سریع تری نسبت به الگوریتم افزایش اندازه ی پنجره ی سنتی دارد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی، به میزان قابل توجهی نرخ گذردهی و عدالت جریان های TCP را بهبود می بخشد.

### ۳- تجزیه و تحلیل روش پیشنهادی

در این بخش راهکار پیشنهادی جهت بهبود میزان گذردهی در شبکه های بی سیم محلی IEEE 802.11 ارائه شده اند. راهکار پیشنهادی در دسته ی راهکارهای مبتنی بر MAC است. به همین دلیل ابتدا به بررسی برخی مشکلات رایج پروتکل های پشته ی پروتکل TCP/IP در شبکه های بی سیم و راهکارهای ارائه شده جهت غلبه بر آنها پرداخته شده است و سپس روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی کارهای گذشته نشان می دهد که کارایی TCP در شبکه های بی سیم در هر دو بحث گذردهی و عدالت با مشکل مواجه است. این در حالی است که شرایط در شبکه های با ترکیب گره های سیمی و بی سیم متفاوت است. در شبکه های سیمی طولانی بودن اندازه ی پنجره ی تراکم<sup>۵</sup> برای تضمین رسیدن به یک گذردهی مطلوب ضروری است، حال آن که در شبکه های بی سیم این موضوع می تواند منجر به اجبار گره در قطع ارتباط و عدم ارسال اطلاعات، به وسیله ی گره های دیگر شود. در چنین وضعیتی اتصالات TCP دیگر پهنای باند اتصال گره جاری را به خود اختصاص خواهند داد که این موضوع سبب عدم عدالت

از جمله مشکلات دیگر TCP عدم عدالت در انتقال بین گره های بی سیم و نقطه ی دسترسی است. زمانی که بافر دانلود در ایستگاه پایه در وضعیت سرریز قرار گیرد، سرویس های شبکه به سمت سرویس های uplink متمایل شده و عملاً سرویس های downlink دچار قحطی زدگی در دریافت پهنای باند می گردند. این پدیده ابتدا در [13] گزارش گردید. این عدم توازن که سبب ایجاد عدم عدالت در انتقال های TCP می شود، به دلیل رقابت بین بسته های تصدیق uplink و بسته های داده downlink است. به دلیل حجیم بودن بسته های داده نسبت به بسته های تصدیق، بافر های downlink به سرعت پر شده و دچار سرریز می شود. در [14] نویسندگان یک مکانیزم تخصیص حداکثری فضای ممکن بافر برای بسته های تصدیق را با نام MBA<sup>۱</sup> ارائه نموده اند. برای این منظور نویسندگان ابتدا مقایسه های بروی وضعیت عدالت در زمانی که کل پهنای باند درخواستی برای بسته های داده و تصدیق در uplink و downlink کمتر از فضای بافر است و زمانی که بیشتر از این مقدار است را به دست آورده اند. در ادامه برای رسیدن به یک عدالت پایدار، این مقادیر را مساوی هم قرار داده و نسبتی را برای حداکثر بافر مجاز در شرایط وجود n جریان uplink و m جریان downlink به دست آورده اند. با به دست آوردن این مقادیر، اگر بافر فضای خالی داشت، بسته های دریافتی کاملاً پذیرش می شوند، اما اگر فضای باقی مانده بافر اندک باشد، در صورت دریافت بسته ی داده و وجود فضای کافی، بسته در بافر قرار می گیرد و در غیر این صورت دور انداخته می شود. در چنین شرایطی بسته های تأیید صرفاً به شرطی دریافت می گردد که از محدوده ی مشخص شده در فضای بافر برای آنها، تجاوز نمایند. نتایج شبیه سازی نشان گر بهبود عدالت و افزایش سطح گذردهی شبکه، به کمک MBA است. در [15] از یک محدود کننده نرخ برای افزایش گذردهی جریان های TCP در شبکه های حس گر بی سیم استفاده شده است. در این مقاله مشکل اصلی TCP، اشتباه ازدحام در شبکه های بی سیم، تشخیص داده شده است. TCP به طور ذاتی هر نوع گم شدن بسته را به عنوان نشانه ای از ازدحام قلمداد می نماید و سریعاً به کاهش نرخ ارسال می پردازد. در حالی که گم شدن بسته در شبکه های بی سیم می تواند دلایل دیگری مانند: منابع محدود، پهنای باند متغیر لینک و وجود کانال های نویزی باشد. یک محدود کننده نرخ ایستا، به ماژول کنترل ازدحام TCP کمک خواهد کرد تا تشخیص دهد که گم شدن بسته به واسطه ی ازدحام است و یا دلیل دیگری دارد و بدین وسیله از کاهش نرخ بی دلیل گذردهی جلوگیری می گردد.

<sup>3</sup> Software Define Wireless Networking

<sup>4</sup> Feedback Assisted Improved Recovery

<sup>5</sup> Congestion Window (CW)

<sup>1</sup> Maximum Buffer Allocation

<sup>2</sup> Rate limiter

downlink دچار قحطی‌زدگی در دریافت پهنای باند می‌گردد. نکته‌ی جالب در این میان آن است که براساس مکانیزم کاری TCP گم شدن بسته‌های تأیید خلل چندانی در روند کاری TCP سبب نمی‌شود. دلیل این امر آن است که TCP از سیاست تأیید تجمعی استفاده می‌کند و بر این اساس در صورت رسیدن یک بسته تصدیق، تمام بسته‌های قبل از آن تأیید خواهند شد. اما در مورد گم شدن بسته‌های داده، TCP با دید ایجاد ازدحام در شبکه به آن نگاه می‌کند و در نتیجه اقدام به کاهش اندازه‌ی پنجره‌ی ارسال خود می‌نماید که این موضوع سبب افت کارایی و بهره‌وری شبکه می‌گردد. روش پیشنهادی این مقاله ترکیبی از پیاده‌سازی و استفاده از الگوریتم صف بازخوردی چندسطحی در فاصل بین لایه‌های MAC و LLC<sup>1</sup>، به همراه بهره‌گیری از یک زمان‌سنج ایجاد تأخیر در فاصله بین انتقال بسته‌های متوالی است. به این ترتیب اولاً به کمک صف بازخوردی چندسطحی بسته‌های بارزشی همانند بسته‌های تأیید به دلیل کوچک‌تر بودن از بسته‌های انتقال داده‌ی کاربر، اولویت بیشتری برای انتقال در شبکه خواهند داشت. ثانیاً با توجه به استراتژی دسترسی CSMA/CA که شرایط اشغال بودن کانال را با اجتناب از انتقال پاسخ می‌دهد، وجود زمان‌سنج در فواصل بین انتقال دو فریم متوالی سبب ایجاد پنجره‌های زمانی دسترسی مناسب برای کسب دسترسی موفق به کانال و انتقال داده از طریق سایر گره‌های داخل شبکه می‌شود.

شکل (۱) معماری روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، بسته‌های آماده‌ی ارسال ابتدا در صف‌های مختلف صف بازخوردی چندسطحی قرار می‌گیرند. سپس زمان‌بند صف بازخوردی چندسطحی بسته‌ی جدید آماده‌ی ارسال را انتخاب و آن را جهت ارسال در شبکه آماده می‌کند. جهت جلوگیری از ارسال توأم فریم‌های متوالی، یک زمان‌سنج در مسیر انتقال اطلاعات بر روی شبکه قرار داده شده است که این زمان‌سنج می‌تواند قبل از ارسال فریم جدید و یا پس از ارسال آن فعال شود و به این ترتیب وقفه‌ی دلخواه را در روند دسترسی مداوم یک گره به رسانه انتقال ایجاد نماید. به این ترتیب همه‌ی گره‌ها فرصت انتقال عادلانه‌تری را به دست می‌آورند. ضمناً تأخیر ایجاد شده در انتقال اطلاعات از طریق صف بازخوردی چندسطحی پوشش داده شده و بسته‌های با ارزش بالا همانند بسته‌های RTS، CTS و ACK اولویت بالاتری در انتقال بر روی شبکه پیدا خواهند نمود.

از سوی دیگر کوچک کردن اندازه‌ی پنجره‌ی تراکم اگرچه سبب می‌شود تا عدالت در تخصیص پهنای باند افزایش یابد، اما از سوی دیگر به دلیل تأخیرهای تحمیلی ناشی از مکانیزم ارسال و دریافت پنجره‌ی تراکم با اندازه‌ی کم، گذردهی شبکه به شدت افت می‌نماید.

متأسفانه بسیاری از پروتکل‌های موجود در شبکه‌های سیمی، بدون انجام بررسی‌های لازم برای انطباق با شرایط ویژه‌ی شبکه‌های بی‌سیم به این شبکه‌ها آورده شده‌اند. این موضوع سبب شده است تا چنین پروتکل‌هایی، با وجود عملکرد فوق‌العاده در شبکه‌های سیمی، در شبکه‌های بی‌سیم با مشکلات متعددی مواجه گردند. معروف‌ترین این پروتکل‌ها، پروتکل TCP است.

مشکل عدم عدالت در شبکه‌های بی‌سیم محلی را می‌توان از دو جنبه بررسی نمود. اول حالت به انتقال هم‌زمان داده توسط دو پروتکل UDP و TCP بر می‌گردد. فرض کنیم که در ارسال اطلاعات در شبکه مشکلی پیش آمده است. در چنین شرایطی پروتکل TCP به دلیل دارا بودن مکانیزم کنترل ازدحام، اقدام به کاهش حجم انتقال می‌نماید. حال آن‌که در صورت وقوع چنین شرایطی پروتکل UDP به‌هیچ وجه رویه‌ی کاهش انتقال را در پیش نخواهد گرفت. در چنین شرایطی حتی ممکن است پروتکل UDP به دلیل مکانیزم کنترل دسترسی به رسانه‌ی انتقال در شبکه‌های بی‌سیم محلی، حجم انتقال خود را افزایش دهد. با اشغال پهنای باند از سوی UDP، گره فرستنده TCP به دلیل اشغال پهنای باند نمی‌تواند مبادرت به انتقال بسته‌های جدید بنماید. با قرار گرفتن این روند در یک چرخه‌ی معیوب، پس از مدت کوتاهی شاهد آن خواهیم بود که گذردهی انتقال اطلاعات در فرستنده TCP به صفر خواهد رسید و پهنای باند به‌صورت کامل در اختیار ترافیک UDP قرار خواهد گرفت.

جنبه‌ی دوم عدم انتقال اطلاعات در شبکه‌های بی‌سیم محلی، عدم رعایت انصاف در استفاده از پهنای باند موجود برای انتقال در بین دو ارتباط TCP است. چنین شرایطی نیز در صورت عقب‌نشینی یکی از دو ارتباط TCP سبب افت چشمگیر گذردهی یکی از ارتباطات به نفع ارتباط دیگر می‌شود.

از جمله مشکلات دیگر TCP عدم عدالت در انتقال بین گره‌های بی‌سیم و AP است. به دلیل مشکلاتی از قبیل پهنای باند کم، تأخیر نهان بالا و نرخ خطای زیاد در پیوندهای بی‌سیم، APها می‌توانند به گلوگاه‌هایی برای دانلود اطلاعات (از شبکه‌ی سیمی به شبکه‌ی بی‌سیم) تبدیل گردند. زمانی که بافر دانلود AP در وضعیت سرریز قرار گیرد، سرویس‌های شبکه به سمت سرویس‌های uplink متمایل می‌شود و عملاً سرویس‌های

<sup>1</sup> Logical Link Control

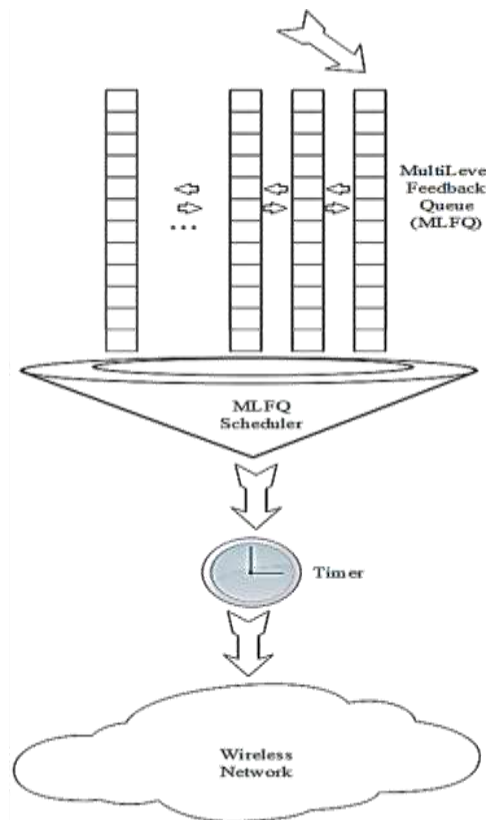
#### ۴- ارزیابی راهکار پیشنهادی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، سناریوهای مختلفی برای تماس مستقیم و غیرمستقیم گره‌های بی‌سیم به گره AP شبکه در نظر گرفته شده است. به این ترتیب علاوه بر ارزیابی قدرت رقابت گره‌ها برای تصاحب کانال انتقال، تأثیر گره‌های مخفی بر عملکرد انتقال سایر گره‌ها نیز در شبیه‌سازی‌ها لحاظ شده است. برای ارزیابی کارایی روش‌های پیشنهادی، از شبیه‌ساز NS2.34 استفاده شده است. مشخصات شبیه‌سازی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
نوع MAC	IEEE 802.11ac
نوع صف	Queue queue/Priority چندسطحی
تعداد صف‌ها	۲ (در روش صف بازخوردی چندسطحی)
طول صف	50 بسته
الگوریتم مسیریابی	DSDV
اندازه‌ی محیط شبیه‌سازی	670 m * 670 m
نوع ترافیک TCP	FTP
نوع ترافیک UDP	CBR
اندازه‌ی بسته	۱۰۰۰ بایت

جهت شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج، لایه MAC استاندارد IEEE 802.11ac به همراه صف اولویت دار در مقابل لایه MAC اصلاح شده به کمک صف صف بازخوردی چند سطحی و زمان سنج پیشنهاد شده در فصل قبل قرار گرفته اند. در شبیه‌سازی از کد صف بازخوردی چند سطحی استفاده شده است. این کد امکان استفاده از ۲ صف متفاوت را، یکی برای بسته‌های کوچک کنترلی و مسیریابی و دیگری برای بسته‌های بزرگ داده، ارائه می‌کند. همچنین همبندی شبکه شامل یک شبکه بیسیم محلی است که به کمک یک ایستگاه کاری به یک سوئیچ و نهایتاً یک سرور دهنده ختم می‌شود. لینک‌های سیمی تعریف شده دارای پهنای باند 5Mbps و تاخیر انتشار 2ms است. ترافیک به کار رفته در سناریوهای شبیه‌سازی شامل ایجاد تنها ارتباط همزمان در هر سناریو است. اولین کانال ارتباطی در فاصله زمانی ثانیه‌های ۰/۵ تا ۷/۵ شبیه‌سازی فعال بوده و از نوع TCP/FTP تعریف شده است. کانال ارتباطی دوم در فاصله زمانی ثانیه‌های ۲/۵ تا ۷/۵ شبیه‌سازی فعال بوده است و بسته به نیاز از نوع TCP/FTP یا UDP/CBR تعریف شده است. طول بسته‌های ترافیکی هر دو نوع ترافیک نیز ۱۰۰۰ بایت است. همچنین در شبیه‌سازی‌های مختلف، مقدار ضریب  $\alpha$  برابر با یک و مقدار



شکل (۱): معماری طرح پیشنهادی

مقدار زمان سنج پیشنهادی در این روش به شرح زیر است:

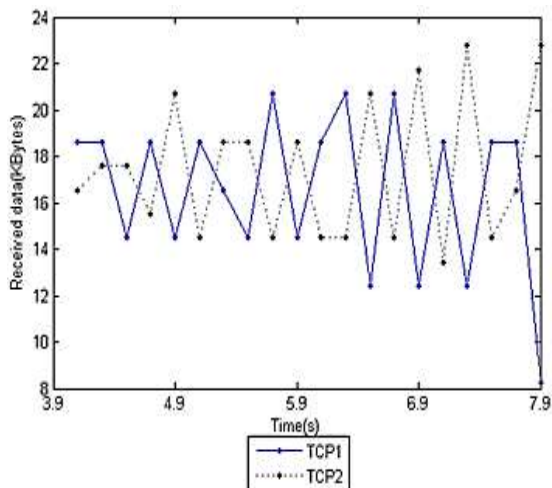
$$T_{TCP} = \alpha(D_1 + D_2) \tag{۱}$$

$$T_{UDP} = \beta(D_1 + D_2) \tag{۲}$$

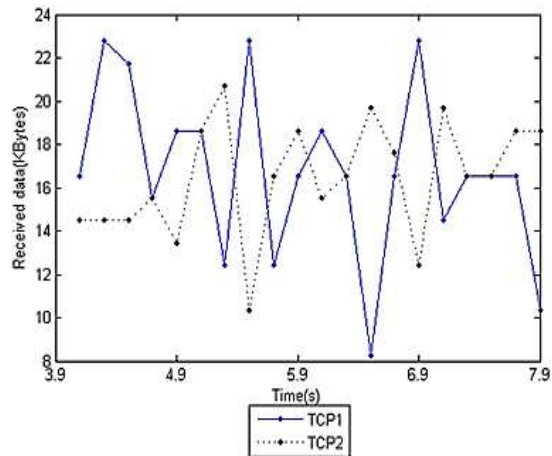
که در آن  $D_1$  از تقسیم یک مقدار تصادفی براندازه‌ی پنجره‌ی مجادله ۱ فرستنده به دست می‌آید و  $D_2$  عبارت است از زمان مورد نیاز برای انتقال فریم جاری. طبق تعریف استاندارد، با هر بار شکست در دسترسی به کانال و عدم موفقیت در انتقال پیام، اندازه‌ی پنجره‌ی مجادله فرستنده ۲ برابر می‌گردد. به عبارت دیگر بزرگ‌تر شدن اندازه‌ی پنجره‌ی مجادله به منزله تأخیر بیشتر در کسب کانال انتقال و انتقال فریم است. عدالت در این شرایط حکم می‌کند چنین گرهی باید شانس بیشتری برای انتقال داشته باشد. به همین دلیل مقدار  $CW$  در مخرج کسر آورده شده است.

همچنین با توجه به اینکه ترافیک‌های UDP برخلاف ترافیک‌های TCP فاقد هرگونه مکانیزم کنترل جریان است، ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  برای دادن وزن به مقدار تأخیرها، جهت مجزا نمودن تأثیر هر کدام از ترافیک‌های مورد نظر است. به این ترتیب می‌توان اعداد مختلفی را به جای ضرایب فوق به کار گرفت.

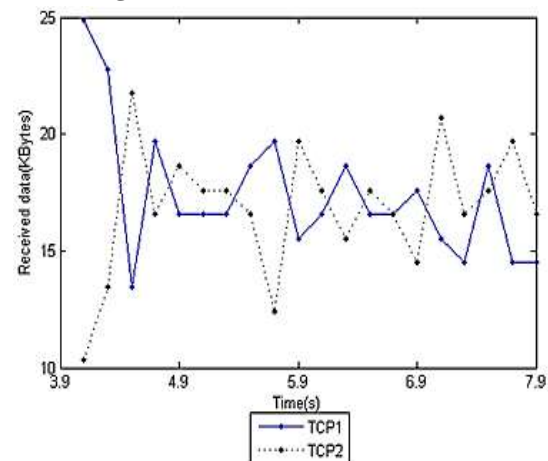
<sup>۱</sup> Contention Window



الف) استاندارد IEEE 802.11a



ب) روش فقط صف بازخوردی چندسطحی

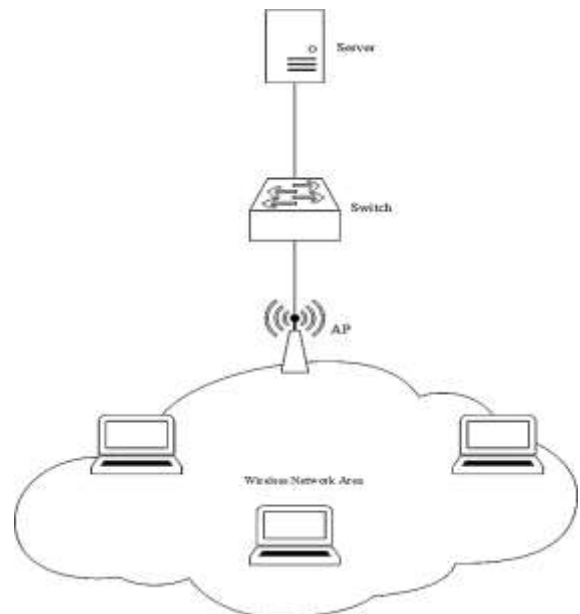


پ) روش صف بازخوردی چندسطحی و زمان سنج

شکل (۳): ارزیابی نتایج گذردهی توسط ۲ ارتباط TCP هم‌زمان

شکل (۴) فاصله‌ی زمانی دریافت فریم‌ها را در زمان ارسال فریم‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در این تصاویر نشان داده شده است، در روش دوم، ترافیک TCP در لحظه‌ی شروع دارای یک تأخیر لحظه‌ای بزرگ است که این موضوع به سبب آغاز ارسال ترافیک UDP است.

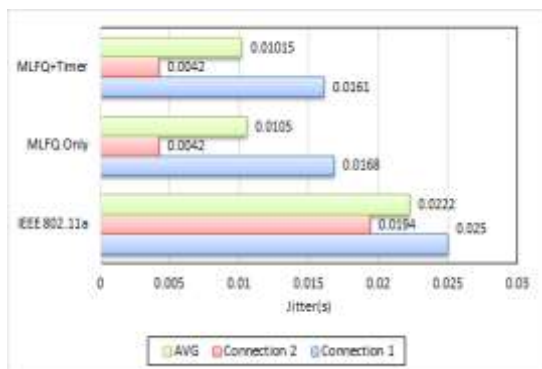
ضریب  $\beta$  برابر با صفر در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در قالب سناریو زیر، MAC استاندارد IEEE 802.11a در کنار MAC مجهز به صف بازخوردی چندسطحی و MAC مجهز به صف بازخوردی چندسطحی و زمان‌سنج در ارزیابی‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌علاوه تنوع ترافیکی نیز در هر سناریو مورد توجه قرار گرفته است. در این سناریو ۳ گره در شبکه بی‌سیم وجود دارد که به‌صورت مستقیم با AP در ارتباط هستند. شکل (۲)، ساختار این سناریو را نشان می‌دهد. شکل (۳) میزان گذردهی را برای دو ارتباط TCP نشان می‌دهد. بررسی روند شبیه‌سازی نشانگر آن است که دو ارتباط ایجاد شده، در بازه‌ی زمانی ثانیه‌های ۳/۹ تا ۷/۹ شبیه‌سازی با یکدیگر تداخل دارند. جهت ایجاد تمایز بهتر در نتایج گذردهی، از این پس صرفاً نتایج همین بازه ارائه می‌شود.



شکل (۲): شبکه شبیه‌سازی شده در سناریوی اول

در این سناریو، از آنجا که همه‌ی گره‌ها در برد ارتباطی همدیگر و AP قرار دارند، مشکل گره‌های پنهان وجود ندارد. مقایسه‌ی نتایج شکل (۳) نشانگر آن است که در روش پیشنهادی فقط صف بازخوردی چندسطحی، هر گره می‌تواند تا پیش از آنکه کانال را از دست بدهد، ترافیک بیشتری را ارسال کند و بعد کانال را به گره دیگر بسپارد. در روش ترکیب صف بازخوردی چندسطحی و زمان‌سنج، در فاصله‌ی زمانی درگیری دو جریان داده در شبیه‌سازی یک ثبات نسبی در ارسال داده بین هر دو جریان دیده می‌شود. این موضوع نشانگر عملکرد بهتر روش دوم در کسب عدالت در رقابت‌های بین گره‌ها جهت کسب کانال انتقال است. در مجموع ارزیابی نتایج مجموع ترافیک دریافتی در مقصد در این بخش نشان‌دهنده‌ی کاهش ۲٪ در روش پیشنهادی اول و افزایش ۱٪ در روش دوم، به نسبت روش استاندارد است.





شکل (۵): متوسط لرزش تأخیر بین بسته‌ها در حالت‌های مختلف در سناریوی اول

### ۵- نتیجه‌گیری

پروتکل TCP، علی‌رغم موفقیت و عدالت عالی در شبکه‌های سیمی در شبکه‌های بی‌سیم با خلاءهای جدی در زمینه‌ی کارایی مواجه است که به‌صورت خاص می‌توان از ضعف آن در بحث عدالت اشاره نمود. در این مقاله، مجموعه‌ی گسترده‌ای از عوامل تأثیرگذار بر کارایی TCP، به‌ویژه بحث عدالت آن مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل برگرفته از تأثیرات پروتکل‌های مختلف در لایه‌های ۲، ۳ و ۴ است. در ادامه راهکار پیشنهادی این مقاله، جهت بهبود شرایط عدالت در انتقال و در نتیجه افزایش گذردهی در شبکه‌های بی‌سیم محلی مورد بحث قرار گرفت. این راهکار تلفیقی از استفاده از روش صف بازخوردی چندسطحی و زمان‌سنج در لایه ۲ شبکه‌های محلی بی‌سیم است.

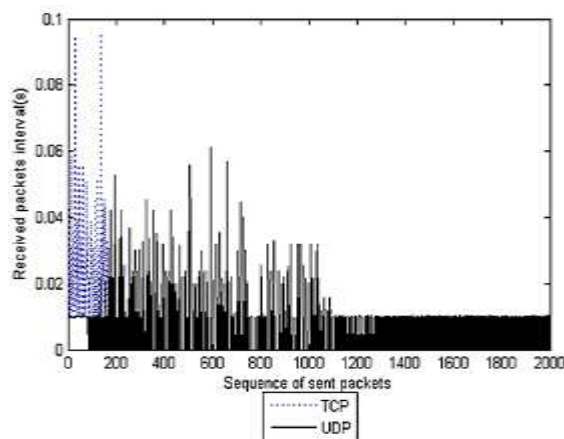
روش‌های پیشنهادی در قالب سناریوهای مختلف با هم‌بندی‌ها و پارامترهای ترافیکی متفاوت، به کمک شبیه‌ساز NS-2 مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ارزیابی میزان گذردهی، تأخیرهای شبکه و لرزش تأخیر در طرح‌های مختلف نشان‌دهنده‌ی عملکرد مثبت روش‌های پیشنهادی است.

### ۶. مراجع

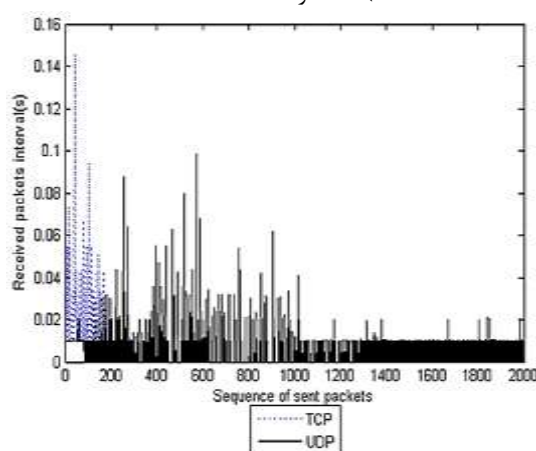
[1] M. Mehravaran, M. R. Pajooan, F. Adibnia, "Secure and Confidential Workflow scheduling in hybrid cloud with improved Particle Swarm optimization algorithm," Journal of Electrical & Cyber Defence, vol. 7(4) pp. 131-145, 2020. (In Persian)

[2] Sh. Lin and Sh. Jiang, "Learning-Based On-AP TCP Performance Enhancement," Wirel Commun Mob Comput, Vol. 2020 pp. 1-17, 2020.

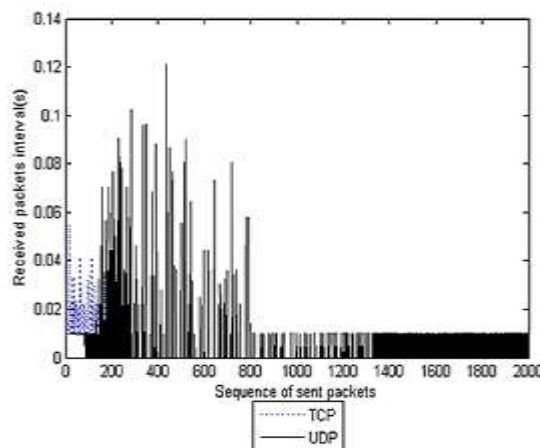
[3] H. Haile, K.-J. Grinnemo, S. Ferlin, P. Hurtig and A. Brunstrom, "End-to-end congestion control approaches for high throughput and low delay in 4G/5G cellular networks," Comput. Netw., vol. 186, 2021.



الف) استاندارد IEEE 802.11a



ب) روش فقط صف بازخوردی چندسطحی



ب) روش صف بازخوردی چندسطحی و زمان‌سنج

شکل (۴): ارزیابی فاصله‌ی زمانی بین دریافت فریم‌ها در ۲ ارتباط TCP و UDP هم‌زمان

برای ایجاد درک بهتری از روند عبور داده و متوسط لرزش تأخیر بین فریم‌ها در شکل‌های (۵) برای حالت‌های مختلف رسم شده است. همان‌طور که در این تصاویر دیده می‌شود روش دوم بیشترین حجم از داده را با متوسط لرزش تأخیر کمتری منتقل نموده است و روش اول نیز دارای کارایی بهتر از استاندارد است.

- [11] L. Yang, W. K. Seah, and Q. Yin, "Improving fairness among TCP flows crossing wireless ad hoc and wired networks", The ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2003.
- [12] L. Dong and Sh. Liu, "Research on TCP Fairness Improvement Over Wireless Ad Hoc Networks", 2010 Ninth International Symposium on Distributed Computing and applications to Business, Engineering and Science, 2010.
- [13] S. Pilosof, R. Ramjee, D. Raz, Y. Shavitt and P. Sinha, "Understanding TCP fairness over wireless LAN", IEEE INFOCOM, 2003.
- [14] J. Huang, J. Wang and Jin Ye, "Buffer Allocation Management for Improving TCP Fairness in IEEE 802. 11 WLANs", 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010.
- [15] M.M. Hassani, "A Novel Approach to Enhance TCP Throughput in Wireless Sensor Networks," Int J Adv Technol, Vol. 7(3) pp. 1-3, 2016
- [16] Sh. Lin, Sh. Jiang, "Learn-ing-Based On-AP TCP Performance Enhancement," Wirel Commun Mob Comput , Vol. 2020 pp. 1-17, 2020.
- [17] M. Joseph, V. C. Diniesh, M. Shivaranjani, "Throughput stability and flow fairness enhancement of TCP traffic in multi-hop wireless networks," Wirel. Netw, vol. 26(6) pp. 4689–4704, 2020.
- [4] Bakre and B. R. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts," Tech. Rep. , Rutgers University, 1995.
- [5] A. Andreadis, S. Rizzuto and R. Zambon, "A cross-layer jitter-based TCP for wireless networks," J Wireless Com Network, vol.191 pp.1-11, 2016.
- [6] K. Brown and S. Singh, "M-TCP: TCP for Mobile Cellular Networks," Computer Communications Review, vol. 27(5) pp. 19-43 , 1997.
- [7] R. Mittal, V. T. Lam, N. Dukkipati, E. Blem, H. Wassel, M. Ghobadi, A. Vahdat, Y. Wang, D. Wetherall, and D. Zats, "TIMELY: RTT-based congestion control for the datacenter," ACM Computer Communication Review, vol. 45(4) pp. 537–550, 2015.
- [8] M. Hock, F. Neumeister, M. Zitterbart, and R. Bless, "TCP LoLa: Congestion control for low latencies and high throughput," in 42nd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN), 2017.
- [9] H. Alakoca, M. Karaca and G. Karabulut Kurt, "Performance of TCP over 802.11ac based WLANs via testbed measurements," 2015 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), 2015.
- [10] a. Rahim, M. Sher, A. Javed, I. Ahmad and R. Hameed, "Performance analysis of TCP in VANETs by using 802. 11e", 16th IEEE International Conference on Networks (ICON), 2008.