

## بهبود کیفیت خدمات در شبکه های محلی بی سیم چند گامی با تنظیم پویای فرصت ارسال و پنجره رقابت

امیر حسینی سعدی<sup>۱</sup>، مهدیه قزوینی<sup>۲</sup>، ندا مقیم<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد معماری کامپیوتر، بخش مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیأت علمی، بخش مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان [mghazvini@uk.ac.ir](mailto:mghazvini@uk.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار و عضو هیأت علمی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان

### چکیده

فرصت ارسال و پنجره رقابت دو پارامتر تاثیرگذار در دسترسی به رسانه، در شبکه های مبتنی بر IEEE 802.11e و تعیین کننده نحوه دسترسی به کانال و همچنین مدت زمان استفاده از کانال هستند. در این شبکه ها، هر ایستگاه بی سیم با تنظیم مقدار پنجره رقابت خود، احتمال دسترسی خود به رسانه بی سیم را مشخص می کند. و پس از پیروزی در رقابت با توجه به مدت زمان فرصت ارسال خود مجاز است تا بسته های داده خود را بدون رقابت دوباره، انتقال دهد. در شبکه های چندگامی به دلیل فاصله زیاد مابین گره مبدا و گره مقصد از گره های میانی برای رله کردن داده ها استفاده می شود. بنابراین گره های میانی، در محدوده ارسال و دریافت خود تعداد گره های بیشتری را به عنوان گره های همسایه مشاهده می کنند که این امر سبب می شود مدت ترافیک و نرخ برخورد بالاتری را نسبت به سایر گره ها تجربه کنند. در این مقاله بر اساس طول صف، نرخ ورود داده و میزان تأخیر دسترسی به رسانه، روشی برای تنظیم پویای فرصت ارسال و پنجره رقابت ارائه شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی سبب بهبود دسترسی به کانال، کاهش میزان بسته های ازدست رفته و تأخیر آنها به انتها می شود.

### کلیدواژه

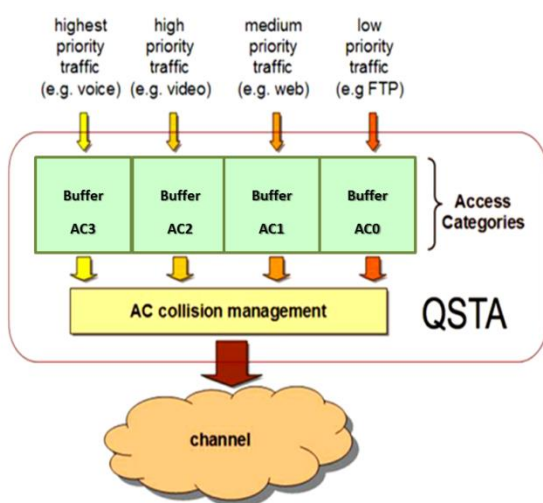
شبکه های محلی بی سیم چندگامی، IEEE802.11e، کنترل دسترسی به رسانه، فرصت ارسال، پنجره رقابت.

### مقدمه

استاندارد IEEE802.11 به عنوان اولین استاندارد شبکه های بی سیم در سال ۱۹۹۷ ارائه و در سال ۱۹۹۹ مورد بازبینی قرار گرفت. در این استاندارد، لایه های مختلف شامل زیرلایه کنترل دسترسی به رسانه (MAC)، پروتکل مدیریت MAC و لایه فیزیکی تعریف شده است [۲]. زیرلایه MAC در 802.11 از دو رویکرد با نام های تابع هماهنگی نقطه ای (PCF) و تابع هماهنگی توزیع شده (DCF) برای دسترسی به رسانه بی سیم استفاده می کند [۳]. استاندارد IEEE 802.11، فقط سرویس بهترین تلاش را فراهم می سازد. در واقع در این استاندارد، احتمال دسترسی به رسانه بی سیم برای تمامی برنامه های کاربردی، برابر است. اما در عمل، سرویس های بلادرنگ مانند صدا و ویدئو نیازمند رعایت حد آستانه ای برای تأخیر می باشند. از این رو نسخه ای ارتقا یافته آن با نام IEEE802.11e به منظور پشتیبانی از کیفیت خدمات جهت کاربردهای چندرسانه ای بلادرنگ ارائه شد [۴]. در اصطلاح کمی و کیفی، کیفیت خدمات با معیارهایی

ماهیت مشترک کانال بی سیم و محدود بودن پهنای باند و طیف فرکانسی، استفاده ی بهینه و بهره برداری حداکثر از منابع شبکه در محیط های بی سیم را ضروری می نماید. گسترش شبکه های محلی بی سیم و تمایل به استفاده از شبکه های بی سیم بدون زیرساخت مانند شبکه های مودمی، شبکه های مش و شبکه های حسگر که هر یک ویژگی های منحصر به فردی دارند، استفاده ی مؤثر از منابع مشترک شبکه را با مسائل جدیدی روبه رو کرده است. نحوه دسترسی به کانال و همچنین مدت زمان استفاده از کانال، از جمله مهم ترین مسائل مطرح در این شبکه ها هستند. دلیل این مطلب تنها تمایل به استفاده ی طولانی مدت برای مخابرات داده نیست، بلکه نحوه دسترسی ایستگاه ها به کانال و مدت زمان دسترسی، نقش تعیین کننده ای در عملکرد و ظرفیت شبکه های بی سیم دارد [۱].

هستند که در آن AC\_BK دارای کمترین اولویت و AC\_VO دارای بیشترین اولویت هستند. در روش EDCA، به منظور پشتیبانی از کیفیت خدمات و برای رقابت در دسترسی به کانال، هر AC چهار پارامتر تنظیم پذیر (۱) تعداد فاصله بین فریمی دآوری (AIFSN) (۲) حداقل اندازه‌ی پنجره‌ی رقابت (CWmin) (۳) حداکثر اندازه‌ی پنجره‌ی رقابت (CWmax) و (۴) حد فرصت ارسال (TXOP Limit) دارد که با تنظیم این چهار پارامتر، می‌توان آن‌ها را اولویت‌بندی نمود (شکل ۱) [۸]. بر اساس این اولویت‌بندی، به AC‌های با اولویت ترافیکی بالاتر اجازه داده می‌شود که نسبت به ترافیک‌های با اولویت پایین‌تر، تعداد دفعات بیشتر و طولانی‌تری به رسانه‌ی بی‌سیم دسترسی پیدا کنند [۹].



شکل ۱. نمای چهار رده دسترسی در IEEE 802.11e [۸]

فاصله‌ی بین فریمی قراردادی (AIFS) حداقل مدت‌زمانی است که رسانه باید در EDCA بی‌کار بماند قبل از آن که یک ایستگاه شروع به ارسال نماید یا به حالت عقب‌گرد وارد شود. پنجره‌ی رقابت (CW) بازه‌ی زمانی را مشخص می‌کند که مدت عقب‌گرد به صورت تصادفی از آن انتخاب می‌گردد. مکانیسم عقب‌گرد زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که رسانه مشغول باشد. یک‌زمان تصادفی به نام زمان عقب‌گرد از بازه‌ی  $[0, CW+1]$  انتخاب می‌شود. پنجره رقابت دارای دو مقدار حداقل و حداکثر می‌باشد که با  $CW_{Min}$  و  $CW_{Max}$  نمایش داده می‌شود. حد فرصت ارسال، حداکثر مدت‌زمانی است که یک ایستگاه پس از دسترسی به رسانه می‌تواند داده‌های خود را در قالب چندین فریم متوالی

از جمله؛ میزان گذرده‌ی<sup>۴</sup>، ریزش<sup>۵</sup> (بسته‌های ازدست‌رفته)، تأخیر، لرزش و پهنای باند سنجیده می‌شود. استاندارد 802.11e با تعریف سطوح مختلف اولویت، تلاش دارد تا با تفکیک خدمات<sup>۶</sup> کیفیت خدمات<sup>۷</sup> (QoS) مورد نظر کاربران را افزایش دهد [۵]. از این رو تابع هماهنگی ترکیبی<sup>۸</sup> (HCF) به منظور پشتیبانی از هر دو راه‌حل خدمات یکپارچه (IntServ) و خدمات تفکیک‌شده (DiffServ) در 802.11e تعریف شد که شامل دو روش دسترسی است: دسترسی به کانال بر اساس رقابت<sup>۱۰</sup> (EDCA) و دسترسی کنترل‌شده به کانال (HCCA) [۶].

روش EDCA مبتنی بر رقابت<sup>۱۰</sup> بوده و برای پشتیبانی از QoS متمایز شده، در نظر گرفته شده است؛ اما HCCA دسترسی به کانال را به صورت متمرکز کنترل نموده و برای ترافیک پارامتری شده در طول دوره‌ی فاقد رقابت<sup>۱۰</sup> نظر گرفته شده است. در این استاندارد ساختار قاب‌های MAC<sup>۴</sup> با اضافه کردن بخش کنترلی جدیدی به نام QoS ارتقا یافته است. ایستگاهی که قادر به پشتیبانی از مکانیسم‌های QoS ارتقا یافته IEEE 802.11e هست را یک ایستگاه QoS (QSTA)<sup>۵</sup> می‌نامند. همچنین یک نقطه دسترسی که از این مکانیسم‌ها پشتیبانی می‌کند، به‌عنوان AP با QoS بهبود یافته<sup>۶</sup> (QAP) شناخته می‌شود [۷]. از ویژگی‌های مهم HCF وجود چهار رده‌ی دسترسی (AC)<sup>۷</sup> و هشت صف جریان ترافیک (TS)<sup>۸</sup> برای انواع مختلف ترافیک در لایه MAC است. هنگامی که فریمی به لایه MAC می‌رسد، بر اساس نیازمندی‌های کیفیت خدماتش، با شناسه اولویت ترافیک<sup>۹</sup> (TID) برچسب زده می‌شود. این برچسب می‌تواند مقداری بین ۰ تا ۱۵ را داشته باشد. فریم‌هایی که TID آن‌ها مقادیری بین ۰ تا ۷ دارند، بر روی یکی از صف‌های AC نگاهته می‌شوند. فریم‌هایی که در این صف‌ها قرار می‌گیرند، از قوانین دستیابی EDCF استفاده می‌کنند. از طرف دیگر، فریم‌هایی که TID آن‌ها مقادیری بین ۸ تا ۱۵ دارند، در یکی از هشت صف TS قرار می‌گیرند. فریم‌هایی که در صف‌های TS قرار می‌گیرند، از قوانین دسترسی کنترل‌شده HCF استفاده می‌کنند. دلیل جداسازی صف‌های AC از صف‌های TS، پشتیبانی از کیفیت خدمات پارامتری شده سخت‌گیرانه<sup>۱۰</sup> در صف‌های TS است درحالی‌که کیفیت خدمات اولویت‌بندی شده<sup>۱۱</sup> در صف‌های AC عرضه می‌شود. این چهار رده‌ی دسترسی عبارت‌اند از AC\_VO، AC\_VI، AC\_BE و AC\_VO که به ترتیب بیانگر ترافیک پس‌زمینه، ترافیک بهترین تلاش، ترافیک ویدئو و ترافیک صدا

<sup>۴</sup>Frame  
<sup>۵</sup>QoS Station  
<sup>۶</sup>QoS Access Point  
<sup>۷</sup>Access Category  
<sup>۸</sup>Traffic stream  
<sup>۹</sup>Traffic Priority Identifier  
<sup>۱۰</sup>Strict parameterized QoS  
<sup>۱۱</sup>Prioritized QoS

<sup>۴</sup>Throughput  
<sup>۵</sup>Loss  
<sup>۶</sup>Jitter  
<sup>۷</sup>Service Differentiation  
<sup>۸</sup>Quality of Service  
<sup>۹</sup>Hybrid Coordination Function  
<sup>۱۰</sup>Contention-based channel access  
<sup>۱۱</sup>HCF Controlled channel access mechanisms  
<sup>۱۲</sup>Contention Based  
<sup>۱۳</sup>Contention Free Period

اساس طول صف، تأخیر دسترسی به رسانه، نرخ ورود داده، نرخ سرویس و نوع ترافیک برای شبکه های چندگامی با هدف بهبود کیفیت خدمات و عدالت ارائه گردیده است.

سایر بخش های این مقاله به شرح زیر است. بخش دوم مقاله به مرور کارهای انجام شده پیشین در راستای پویاسازی فرصت انتقال و پنجره رقابت اختصاص دارد. در بخش سوم روش های پیشنهادی جهت تنظیم پویای مقدار فرصت انتقال و پنجره رقابت ارائه شده است و بخش چهارم نتایج حاصل از شبیه سازی را در بردارد. در نهایت در بخش پنجم، مقاله با نتیجه گیری پایان می یابد. لیست اختصارات مورداستفاده در این مقاله در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. لیست اختصارات

AC	Access Category
AIFSN	Arbitrary Inter-Frame Space Number
ATXOP	Adaptive TXOP
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CW	Contention Window
CWmax	Maximum Contention Window
CWmin	Minimum Contention Window
DCF	Distributed Coordination Function
DIFS	Distributed Inter-Frame Space
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
GDTXOP	Game Theoretic Dynamic TXOP
GTXOP	Game Theoretic TXOP
HCCA	HCF Controlled Channel Access
HCF	Hybrid Coordination Function
MAC	Media Access Control
PCF	Point Coordination Function
QoS	Quality of Service
TXOP	Transmission Opportunity
WLAN	Wireless Local Area Networks

### کارهای مرتبط

استاندارد 802.11e برای رفع کمبود قابلیت کیفیت خدمات در 802.11 ارائه شد. بر این اساس مکانیسم EDCA معرفی شد تا جریان های ترافیکی را با دسته بندی آن ها از طریق مقداردهی پارامترهای MAC متمایز نماید. اگرچه EDCA پیکربندی پیش فرضی برای این پارامترها دارد، ولی ثابت شده که این پیکربندی برای بسیاری از سناریوها بهینه نیست [۱۲]. از این رو تحقیقات زیادی در جهت بهبود دسترسی ایستگاه ها به کانال بی سیم انجام شده و در هر مورد، تلاش بر آن بوده که با تنظیم پارامترهایی نظیر TXOP و پنجره رقابت، کیفیت خدمات را در شبکه های بی سیم بهبود بخشند [۸]. در این بخش ابتدا روش های تنظیم پویای TXOP، سپس پژوهش های انجام شده در راستای پویاسازی CW معرفی خواهند شد.

بدون شرکت در رقابت مجدد ارسال نماید. در استاندارد 802.11e این پارامترها، بدون توجه به شرایط پویای شبکه به صورت ایستا تعریف شده اند. مقادیر پیش فرض پارامترهای 802.11e در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مقادیر پیش فرض پارامترهای EDCA [۱۰]

رده دسترسی	AC	CW <sub>min</sub>	CW <sub>max</sub>	AIFSN	TXOP Limit
AC_BK	0	31	1023	7	0
AC_BE	1	31	1023	3	0
AC_VI	2	15	31	2	3.008ms
AC_VO	3	7	15	2	1.504ms

از یک سو، تحقیقات نشان داده است که در شبکه های با ترافیک سنگین و تعداد نسبتاً زیاد ایستگاه ها در شبکه، استفاده از پنجره رقابت با اندازه نامناسب، سبب اشباع زودرس شبکه و در نتیجه تحمیل تأخیرهای طولانی به ایستگاه ها می شود. لذا با افزایش CW<sub>min</sub> متناسب با تعداد ایستگاه ها مرز اشباع به تعویق افتاده و تأخیر به شدت کاهش می یابد. البته با افزایش ناچای CW<sub>min</sub>، تأخیر به تدریج افزایش می یابد؛ زیرا در این حالت، مدت زمان بیشتری طول می کشد تا فرایند عقب گرد تکمیل شود. از این رو تنظیم اندازه CW نقش مهمی در عملکرد شبکه دارد. از سوی دیگر اگر حد TXOP به گونه ای تنظیم شود که قاب های یک ایستگاه در تعداد کمتری از دوره های TXOP ارسال شوند، کارایی کل شبکه و متوسط تأخیر، به میزان قابل توجهی بهبود می یابد. در حالت کلی، افزایش TXOP بهره وری رسانه را بهبود می بخشد؛ اما اگر یک گره، حد TXOP خود را بدون توجه به حضور سایر گره ها و به طور خودخواهانه افزایش دهد، سبب افزایش بیشترین تأخیر دسترسی سایر گره ها به رسانه می گردد. این تأخیر موجب افزایش تعداد بسته های موجود در بافر گره ها گردیده و باعث سرریز شدن بافرها می شود؛ بنابراین انتخاب TXOP های طولانی علاوه بر نقض کیفیت خدمات دیگران سبب نقض عدالت نیز می شود [۱۱].

قابل ذکر است که در پژوهش های پیشین در راستای بهبود کیفیت خدمات و عدالت، اولویت بندی های سطوح مختلف ترافیک که اساس استاندارد 802.11e می باشد در نظر گرفته نشده و یا به میزان کافی به آن توجه نشده است به طوری که در روش هایی که به منظور افزایش عدالت در شبکه مطرح شده، تمرکز روی نرخ های مختلف در یک کلاس ترافیک است نه تمامی کلاس های ترافیک. این مسئله در شبکه های با چند کلاس و چند نرخ منجر به بی عدالتی می شود. بنابراین در این پژوهش به ارائه روشی پرداخته خواهد شد تا ضمن بهبود کیفیت خدمات در شبکه های چند گامی، عدالت میان کلاس های مختلف با وجود اولویت های متفاوت را تا حد امکان فراهم نماید. با توجه به این مساله در این پژوهش دو روش جهت پویاسازی CW<sub>min</sub> و TXOP بر

## پویاسازی TXOP

دوم، از زمان موردنیاز برای ارسال یک بسته در کمترین نرخ فیزیکی (1Mbps در 802.11b/g و 6Mbps در 802.11a) استفاده می شود.

علاوه بر نرخ های متفاوت انتقال داده، وجود گره های مخرب هم می تواند سبب بی عدالتی شود چرا که یک گره مخرب می تواند کانال را برای مدت طولانی در اختیار گرفته، باعث ناکارآمدی شبکه شود. بدین جهت در [۲۰] رفتار نامناسب یک گره (ها)ی مخرب مبتنی بر 802.11e بر اساس ذخیره ی مقدار بازه ی زمانی تخصیص یافته به هر ایستگاه مشخص و مجازاتی برای آن در نظر گرفته می شود با اعمال این روش در مقایسه باحالتی که گره ی مخرب در شبکه وجود داشته باشد و برخوردی با آن نشود، پهنای باند به صورت عادلانه تری میان گره ها تقسیم می شود.

## پویاسازی TXOP مبتنی بر بهبود کیفیت خدمات

شبکه بی سیم یک شبکه پویا است بدین معنی که تعداد گره های فعال، شرایط کانال و میزان ترافیک ایستگاه ها دائماً در حال تغییر است. در استاندارد IEEE802.11e، پارامترهای دسترسی به کانال ایستا مقداردهی شده اند بدیهی است که با توجه به شرایط پویای شبکه بایستی این پارامترها نیز تغییر نمایند تا بهره وری بیشتری از کانال و منابع شبکه حاصل شده، در نتیجه کیفیت خدمات بهبود یابد. از این رو در برخی پژوهش ها با توجه به شرایط متغیر شبکه، روش هایی برای تولید TXOP های جدید در راستای بهبود کیفیت خدمات پیشنهاد شده؛ که در ادامه برخی از آن ها معرفی می شوند.

یکی از عوامل پویای شبکه، بار ترافیکی آن است که دائماً در حال تغییر است؛ از این رو نویسندگان [۲۱] روشی بر مبنای طول متوسط بسته و تعداد بسته های موجود در صف به منظور بهبود کیفیت خدمات با تنظیم مقدار TXOP، ارائه کرده اند. همچنین به منظور کاهش میزان تأخیر و افزایش گذردهی یک روش تعیین TXOP برای ترافیک های صدا و تصویر ارائه شده است [۲۲]. نویسندگان [۲۳] روشی ارائه کردند تا با تنظیم درست مقادیر TXOP، نرخ از دست رفتن بسته ها که منجر به کاهش گذردهی شبکه می شود کاهش یابد. الگوریتم RED<sup>۳</sup> یک شیوه ی دیگر تعیین مقدار TXOP برای کلاس ویدئو می باشد که مقدار TXOP براساس طول صف و مقدار آستانه صف تعیین می شود [۲۴]. لی و همکاران [۲۵] الگوریتمی توزیع شده و تطبیقی برای تنظیم مقدار TXOP بر اساس نیازهای گذردهی شبکه پیشنهاد کرده اند. که هر ایستگاه، گذردهی خود را در یک پنجره اندازه گیری نموده

روش های بسیاری برای تنظیم پویای TXOP با اهداف مختلف ارائه شده که به طور کلی می توان این روش ها را به دودسته کلی؛ پویا سازی جهت برقراری عدالت و پویا سازی در راستای بهبود کیفیت خدمات تقسیم نمود.

## پویاسازی TXOP مبتنی بر عدالت

در شبکه های چند نرخ میزبان بسته های منتقل شده در یک دوره ی معین از زمان به نرخ انتقال داده وابسته است بنابراین زمانی که شبکه های محلی مبتنی بر 802.11e از طراحی چند نرخ استفاده می کنند، TXOP ثابت سبب بی عدالتی می شود. به عبارت دیگر، در صورت استفاده از یک مقدار TXOP ثابت برای تمامی ایستگاه ها، ایستگاه هایی که نرخ داده ی بالاتری دارند، داده ی بیشتری نسبت به ایستگاه (های) با نرخ داده ی کمتر ارسال می کنند [۱۳، ۱۴]. بنابراین برای رفع این مشکل، روش هایی برای تنظیم پویای TXOP سازگار با شرایط شبکه پیشنهاد شده است. از آن جمله در روشی به نام (ATXOP) [۱۵]، ایستگاه هایی که نرخ داده کمتری دارند نسبت به ایستگاه های با نرخ داده بالاتر، TXOP طولانی تری دریافت می کنند تا فرصت بیشتری برای ارسال بسته های خود داشته باشند. همچنین از روش DTAF [۱۶] برای افزایش عدالت و تخصیص منابع میان جریان های ارسالی و دریافتی در شبکه های بی سیم استفاده شده است، کیم و همکاران [۱۷] روشی بر اساس نرخ مشغولی کانال (CBR)<sup>۲</sup>، برای تعیین مقدار TXOP به منظور حل مشکل عدالت ارائه کرده اند. در این روش، از نرخ مشغولی کانال استفاده می شود بدین صورت که با مقایسه مقدار نرخ مشغولی با یک مقدار حد آستانه، مقادیر TXOP جدید بر اساس نرخ مشغولی کانال به دست می آید. در ادامه نویسندگان مقاله [۱۸] روش های مختلفی برای هر کلاس ترافیک به منظور تعیین مقدار TXOP به صورت پویا ارائه کرده اند تا عدالت را با تفاوت میان TXOP ها در کلاس ها ایجاد کنند. در این روش، مقدار TXOP مسیر یاب ها بر اساس میزان بسته های ازدست رفته و یا تعداد ایستگاه ها تعیین می شود. برای کلاس صدا، مقدار TXOP بر اساس تعداد ایستگاه های بی سیم به دست می آید. و برای کلاس ترافیک ویدئو مقدار TXOP، بر اساس مقایسه ی بسته های ازدست رفته با یک مقدار آستانه تعیین می شود. در [۱۹] به منظور دستیابی به عدالت در شبکه های بی سیم چند گامی، دو روش تخصیص TXOP، بدون نیاز به تغییر در ساخت افزارها و پروتکل های موجود معرفی شده است. در روش اول از زمان موردنیاز برای ارسال یک بسته در نرخ فیزیکی فعلی استفاده می شود. در روش

ریزش بسته‌ها، شیوه‌ای پیشنهاد داده‌اند که طی آن در صورتی که امکان ارسال بسته‌ها در یک صف وجود نداشته باشد به جای از بین بردن بسته‌ها، سطح اولویت آن‌ها کاهش می‌یابد. بدین منظور بر با رسیدن هر بسته، متوسط نرخ ورود داده با نرخ سرویس‌دهی مقایسه می‌شود؛ اگر نرخ متوسط داده از نرخ سرویس کم‌تر باشد، بسته‌ها با تخصیص TXOP مناسب ارسال می‌شوند و در صورتی که نرخ متوسط داده از نرخ سرویس بیشتر باشد، سطح سرویس بسته کاهش می‌یابد تا اگر در کلاس پایین‌تر امکان سرویس‌دهی به آن فراهم باشد، در آن کلاس سرویس بگیرد [۲۸].

### تنظیم پنجره‌ی رقابت

تحقیقات نشان داده است که در شبکه‌های با ترافیک سنگین و تعداد نسبتاً زیاد ایستگاه‌ها، استفاده از پنجره‌ی رقابت با اندازه‌ی نامناسب، سبب اشباع زودرس شبکه و در نتیجه تحمیل تأخیرهای طولانی به ایستگاه‌ها می‌شود. لذا با افزایش حداقل اندازه‌ی پنجره رقابت ( $CW_{min}$ ) متناسب با تعداد ایستگاه‌ها مرز اشباع به تعویق افتاده و تأخیر به شدت کاهش می‌یابد. البته با افزایش نابجای حداقل اندازه‌ی پنجره رقابت، تأخیر به تدریج افزایش می‌یابد، زیرا در این حالت، مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا فرایند عقب‌گرد تکمیل شود از این رو تنظیم اندازه‌ی پنجره رقابت، نقش مهمی در عملکرد شبکه داشته و توجه پژوهشگران بسیاری را به خود جذب نموده است.

در [۲۹] آرتیل و همکارانش در روشی به نام SR-AEDCF پیشنهاد دادند که هنگام تنظیم CW، به جای ضریب ثابت معرفی شده در استاندارد، از ضریب متغیری بر اساس وضعیت شبکه استفاده شود. بدین معنی که با کاهش بهره‌وری کانال، احتمال تصادم و به تبع آن اندازه CW کاهش می‌یابد. بدیهی است که با افزایش احتمال تصادم، اندازه CW افزایش می‌یابد. در این روش با استفاده از یک طرح بازگشتی غیرمستقیم، میزان برخورد در شبکه با استفاده از مقادیر پیشین CW به دست می‌آید. در CR-AEDCF [۳۰] برخلاف EDCA اندازه CW پس از برخورد یا ارسال موفق بسته، به آرامی کاهش داده می‌شود تا کاهش فوری آن بعد از ارسال موفق بسته منجر به افزایش نرخ برخورد نشود. در این روش از سه عامل در تعیین اندازه CW برای هر رده‌ی دسترسی استفاده می‌شود: مقدار فعلی CW، میانگین نرخ برخورد هر ایستگاه و اولویت هر رده‌ی دسترسی. بدیهی است که رده‌های دسترسی با اولویت بالاتر، پنجره رقابت کوچک‌تری به دست آورده، در نتیجه زودتر به رسانه دسترسی می‌یابند. در [۳۱] روندی برای تنظیم پنجره رقابت باهدف ایجاد عدالت بین

و آن را با گذردهی هدف که از قبل تعیین شده است مقایسه می‌کند و TXOP براساس این مقایسه تعیین می‌شود. برخلاف بیشتر کارهای انجام شده که کانال بی‌سیم بدون خطا و ایده‌آل فرض شده و توجه خاصی به وضعیت کانال نشده است در مقاله [۲۶] بر مبنای اندازه‌گیری شرایط کانال، تخصیص TXOP پویا در هر ایستگاه انجام می‌شود. بدین صورت که به محض ورود جریانی جدید به یک ایستگاه، آن ایستگاه بر اساس احتمالات خطا و تصادم در کانال، احتمال ارسال موفق ( $P_s$ ) را برآورد و با یک مقدار حد آستانه مقایسه می‌کند. حد آستانه، معیاری برای تعیین شرایط کانال است؛ اگر احتمال  $P_s$  بزرگ‌تر از مقدار آستانه باشد، بدین معنی است که در کانال برخورد و خطای کمتری رخ می‌دهد و در نتیجه TXOP افزایش خواهد یافت. در غیر این صورت، TXOP کاهش می‌یابد. از معایب این روش در نظر نگرفتن سایز بسته‌ها می‌باشد که برای رفع این مسئله، با تغییر روش [۲۶]، طول بسته‌های داده نیز در پویاسازی TXOP لحاظ شده است [۱۴].

GTXP<sup>۲۴</sup> نام روشی مبتنی بر نظریه‌ی بازی‌ها است که برای تعیین پویای TXOP به منظور بهبود کیفیت خدمات و رعایت عدالت پیشنهاد شده است [۱۱]. در GTXOP، هر گره بی‌سیم، به عنوان یک بازیکن و انتخاب حد آستانه TXOP عمل<sup>۲۵</sup> آن بازیکن است. در واقع، هر گره انتخاب می‌کند که پس از پیروزی در رقابت برای کسب کانال، چه مدت‌زمان کانال را در اختیار داشته باشد. هر بازیکن با توجه به رفتاری که انجام می‌دهد و TXOP ای که انتخاب می‌کند، پیامدی دریافت می‌کند که شامل توان عملیاتی هر گره به عنوان مطلوبیت و بیشترین تأخیر دسترسی به رسانه به عنوان هزینه آن گره است که توسط سایر گره‌ها به آن تحمیل می‌شود. هر گره‌ای که تأخیر بیشتری را تحمّل کرده باشد، مقدار بیشتری به TXOP آن اضافه می‌شود و بالعکس.

هو و همکاران [۲۷] به منظور جلوگیری از حذف داده‌های ناشی از سرریز صف‌های ارسال در ایستگاه‌ها، یک مکانیسم تنظیم پویای TXOP بر اساس وضعیت فعلی صف‌های ارسال ایستگاه‌های شبکه، برای تطبیق با ترافیک‌های رگباری و یا عادی، به نام TBD-TXOP ارائه نمودند. نحوه عملکرد این روش بدین صورت است که هر صف ارسال یک مقدار آستانه دارد که اندازه‌ی طول صف با این مقدار آستانه مقایسه می‌شود تا زمانی که طول صف کمتر از آستانه باشد مقدار TXOP ثابت و برابر با مقدار پیش فرض است اما در صورت تجاوز طول صف از حد آستانه، TXOP به یک مقدار جدید بزرگ‌تر از مقدار پیش فرض افزایش می‌یابد. نمازی و همکاران [۲۸] به منظور جلوگیری از

دسترسی یافته، بسته‌های خود را ارسال نمایند. روش پیشنهادی این مقاله، شامل دو بخش تنظیم TXOP و تنظیم CW است که اهدافی چون بهبود کیفیت خدمات و برقراری عدالت در دسترسی به کانال، به‌ویژه در شبکه‌های بی‌سیم چند گامی را مدنظر دارد.

### روش پیشنهادی جهت تنظیم TXOP

در شبکه‌های چند گامی به دلیل فاصله‌ی زیاد مابین گره مبدأ و گره مقصد از گره‌های میانی برای رله کردن داده‌ها استفاده می‌شود؛ بنابراین گره‌های میانی، در محدوده ارسال و دریافت خود تعداد گره‌های بیشتری را به‌عنوان گره‌های همسایه مشاهده می‌کنند که این امر سبب می‌شود شدت ترافیک و نرخ برخورد بالاتری را نسبت به سایر گره‌ها تجربه کنند؛ بنابراین بایستی در تنظیم TXOP هر گره، این مورد نیز مدنظر قرار گیرد. به‌عبارت‌دیگر بایستی به این گره‌ها TXOP بزرگ‌تری تخصیص یابد تا فرصت داشته باشند داده بیشتری را در هر دسترسی به کانال ارسال کنند.

ابتدا شرایط و موقعیت هر گره، با بررسی طول صف و نرخ متوسط ورود ترافیک هر کلاس در آن گره تعیین می‌شود. به‌محض ورود یک جریان به هر ایستگاه، نرخ متوسط ورود بر اساس روش متوسط‌گیری نمایی<sup>۳۱</sup> (EWMA)<sup>[۳۴]</sup> طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$arrival\ rate[t] = \left(1 - e^{-\frac{\tau_{sj}(t)}{k}}\right) \times \frac{l_{sj}(t)}{\tau_{sj}(t)} + e^{-\frac{\tau_{sj}(t)}{k}} \times arrival\ rate[t] \quad (1)$$

در این رابطه  $s_j$  کلاس سرویس بسته،  $l_{sj}(t)$  طول بسته دریافت شده در زمان  $t$ ،  $arrival\ rate(t)$  نرخ متوسط داده‌ی اخیراً به‌روز شده قبل از زمان  $t$ ،  $\tau_{sj}(t)$  فاصله زمانی میان دریافت بسته فعلی و بسته قبلی از کلاس  $s_j$  و  $k$  مقدار ثابت ۰/۱ می‌باشد. سپس نرخ سرویس هر کلاس (سهم هر کلاس از پهنای باند) بر اساس صف‌بندی عادلانه‌ی وزن‌دار (WFQ)<sup>[۳۵]</sup> طبق رابطه ۲ تعیین می‌شود؛ که در این رابطه  $R$  پهنای باند کل شبکه و  $R_i$  پهنای باند هر کلاس و  $n$  تعداد کلاس‌ها است [۲۸]. در روش WFQ پهنای باند هر کلاس سرویس با توجه به وزن آن تخصیص می‌یابد.

$$R_i = \frac{W_i}{\sum_j^n W_j} R \quad (2)$$

در روش پیشنهادی به منظور تأمین کیفیت خدمات مورد نظر، وزن کلاس‌های (EF(AC\_VO)، AF(AC\_VI) و BE(AC\_BE)

جریان پایین‌سو و بالاسو در TCP و ترافیک مبتنی بر رده‌ی دسترسی بهترین تلاش ارائه‌شده است. در این روش پس از تخصیص پهنای باند موردنیاز ترافیک بلادرنگ، پهنای باند باقی‌مانده به‌صورت عادلانه بین جریان‌های بالاسو و پایین‌سو در ترافیک بهترین تلاش تقسیم‌شده می‌شود. همچنین نویسندگان [۳۲] برای حفظ سطح واقعی رقابت، روشی به نام G-CSMA/CA ارائه نموده‌اند که در آن، پس از ارسال هر بسته، فرآیند رقابت بعدی با  $CW_{min}$  صوری آغاز نمی‌شود. بلکه در صورت موفقیت ارسال قبلی، مقدار نهایی CW در ارسال قبلی به‌عنوان مقدار بهینه‌ی CW، تلقی شده، به‌منظور استفاده‌ی مؤثرتر از کانال به‌صورت  $CW_{min}=CW/2$  مقداردهی می‌شود؛ اما اگر بسته قبلی، دور انداخته‌شده باشد، بهترین استراتژی به‌منظور کاهش برخورد، استفاده از پنجره رقابت بزرگی برابر با  $CW_{min}=CW_{max}$  است. در راستای بهبود عدالت و کارایی شبکه-های بی‌سیم چند نرخی و مبتنی بر EDCA، در [۱۳] با لحاظ نمودن وضعیت ارسال قبلی، یک روش رزرو متمایز شده با تغییر الگوریتم عقب‌گرد و اندازه‌ی پنجره رقابت به همراه امکان ارسال چندین بسته در هر ارسال پیشنهادشده است. شی و همکاران [۳۳] روالی توزیع‌شده به نام AMDEA برای تنظیم اندازه‌ی پنجره رقابت متناسب با شرایط متغیر بار ترافیکی، اطلاعات وضعیت کانال<sup>۳۲</sup> (CSI) و اولویت‌بندی کاربران بر اساس میزان گذردهی درخواستی آن‌ها معرفی نموده‌اند. در AMDEA برخلاف بسیاری از روش‌های مطرح‌شده قبلی، موفق یا ناموفق بودن ارسال‌های قبلی، تأثیر چندانی در تعیین CW ندارد، بلکه آنچه موردتوجه است، شرایط پایه‌ای شبکه مانند میزان بار ترافیکی شبکه است.

### روش پیشنهادی

افزایش TXOP، باعث بهبود بهره‌وری کانال بی‌سیم می‌شود که دلیل این امر کاهش سربار رقابت به ازای هر بسته است؛ اما باین حال نمی‌توان TXOP را فقط بر اساس بهره‌وری کانال تنظیم نمود زیرا انتخاب TXOP بی‌نهایت توسط یک ایستگاه، علاوه بر به دنبال داشتن تأخیر طولانی برای سایر ایستگاه‌ها، سبب افزایش احتمال سرریز بافر رده‌های دسترسی با اولویت پایین گردیده و منجر به بالا رفتن نرخ ریزش بسته‌ها می‌شود. همچنین با افزایش بار در کلاس‌های با اولویت بالا تأخیر دسترسی به رسانه در کلاس‌های با اولویت کمتر به‌شدت افزایش می‌یابد در چنین شرایطی تغییر TXOP به‌تنهایی مفید نیست و بایستی CW نیز به همراه TXOP تنظیم شود تا تمامی کلاس‌ها با توجه به اولویت تعریف‌شده بتوانند به کانال به‌صورت عادلانه

Channel State Information<sup>۳۱</sup>  
Relay<sup>۳۰</sup>  
Exponentially Weighted Moving Average<sup>۳۱</sup>

Best Effort<sup>۳۲</sup>  
Differentiated Reservation<sup>۳۳</sup>  
Access Mechanism with Delta Estimation Algorithm<sup>۳۴</sup>

طبق رابطه‌ی بالا در صورتی که نرخ ورود از نرخ سرویس کمتر باشد و همچنین اگر طول صف از مقدار آستانه صف کمتر باشد رابطه (۳) برقرار می‌شود که نشان می‌دهد تعداد بسته‌های کمی در صف ارسال وجود دارد و همچنین نرخ ورود به کلاس نیز کم است و می‌توان با تخصیص TXOP مناسب بسته‌های موجود در صف سرویس بگیرند.

$$\begin{aligned}
 & \text{if}(ac == VO) \\
 & \left\{ \text{if} \left( \frac{\text{arrival rate}[VO]}{\text{service rate}[VO]} + \left( \frac{\text{queue}[VO]}{THR_{queue}} \right) < 1 \right) \right. \\
 & TXOP[vo] = TXOP_{MIN(VO)} + (TXOP_{MAX} - TXOP_{MIN(VO)}) * \\
 & \left( \frac{\text{arrival rate}[VO]}{\text{service rate}[VO]} + \left( \frac{\text{queue}[VO]}{THR_{queue}} \right) \right) \\
 & \text{else} \\
 & TXOP[vo] = TXOP_{MAX} \\
 & \text{if}(ac == VI) \\
 & \left\{ \text{if} \left( \frac{\text{arrival rate}[VI]}{\text{service rate}[VI]} + \left( \frac{\text{queue}[VI]}{THR_{queue}} \right) < 1 \right) \right. \\
 & TXOP[VI] = TXOP_{MIN(VI)} + (TXOP_{MAX} - TXOP_{MIN(VI)}) * \\
 & \left( \frac{\text{arrival rate}[VI]}{\text{service rate}[VI]} + \left( \frac{\text{queue}[VI]}{THR_{queue}} \right) \right) \\
 & \text{else} \\
 & TXOP[VI] = TXOP_{MAX} \\
 & \text{if}(ac == BE) \{ \\
 & \left\{ \text{if} \left( \frac{\text{arrival rate}[BE]}{\text{service rate}[BE]} + \left( \frac{\text{queue}[BE]}{THR_{queue}} \right) < 1 \right) \right. \\
 & TXOP[ac] = TXOP_{MIN(BE)} + (TXOP_{MAX} - TXOP_{MIN(BE)}) * \\
 & \left( \frac{\text{arrival rate}[BE]}{\text{service rate}[BE]} + \left( \frac{\text{queue}[BE]}{THR_{queue}} \right) \right) \\
 & \text{else} \\
 & TXOP[BE] = TXOP_{MAX} \\
 & \} \\
 & \}
 \end{aligned}$$

شکل ۲. شبه کد پیشنهادی تنظیم پویای TXOP

بنابراین مطابق رابطه (۴) با افزایش نرخ ورود و طول صف مقدار TXOP افزایش می‌یابد تا کلاس مربوطه فرصت بیشتری برای ارسال داشته باشد به شرطی که از مقدار حداکثر TXOP که در استاندارد در نظر گرفته شده و برابر ۸۱۶۰ میکروثانیه است بیشتر نشود و با کاهش نرخ ورود و طول صف مقدار TXOP کاهش می‌یابد تا کلاس‌های دیگر نیز فرصت مناسبی را برای ارسال داده‌های خود به دست آورده، کارایی شبکه افزایش یابد؛ اما اگر یکی از کسرهای و یا مجموع دو کسر بیشتر از یک باشد بدین معنی است که نرخ ورود با طول صف همخوانی ندارد؛ در واقع یا نرخ ورود بیشتر از پهنای باند اختصاص داده شده به کلاس مربوطه است، یا طول صف بیشتر از مقدار آستانه صف است و یا مجموع

به ترتیب برابر با ۲، ۵ و ۵ در نظر گرفته شده است. بنابر رابطه‌ی (۲) سهم هر کلاس از پهنای باند برابر با  $\Gamma_{EF(\text{Voice})} = \frac{R}{6}$  و  $\Gamma_{AF(\text{Video})} = \frac{5R}{12}$  و  $\Gamma_{BE(\text{FTP\_data})} = \frac{5R}{12}$  خواهد بود. نکته قابل توجه آن است که کلاس EF علی‌رغم آن که اولویت بیشتری نسبت به دو کلاس دیگر دارد اما سهم کمتری از پهنای باند را در اختیار دارد. علت این تقسیم‌بندی آن است که در روش WFQ کلاسی که وزن بیشتری داشته باشد، الزاماً کیفیت خدمات بهتری ندارد. در واقع یک کلاس ممکن است وزن و سهم کمتری داشته باشد ولی به علت نرخ درخواست کمتر می‌تواند به تمامی درخواست‌ها در محدوده‌ی نرخ سرویس خود پاسخ مناسبی دهد.

همچنین پارامتر دیگری که در تعیین مقدار TXOP در روش پیشنهادی مؤثر است طول صف و حد آستانه صف می‌باشد که این حد آستانه برای هر رده دسترسی متفاوت است. سپس بر اساس این چهار پارامتر (طول صف، حد آستانه طول صف، نرخ ورود و نرخ سرویس) یک رابطه شرطی (۳) برای تعیین مقدار TXOP تعیین می‌شود که در صورت برقراری این مقدار TXOP به صورت پویا تنظیم می‌شود و در غیر این صورت مقدار حداکثری به TXOP اختصاص داده می‌شود.

$$\left( \frac{\text{arrival rate}[ac]}{\text{service rate}[ac]} + \left( \frac{\text{queue}[ac]}{threshold} \right) < 1 \quad (3)$$

در این رابطه، عبارت اول نسبت نرخ ورود به مقدار آستانه (نرخ سرویس) را نشان می‌دهد؛ در صورتی که نرخ ورود از مقدار آستانه کمتر باشد، کسر اول کمتر از یک، و در صورت بیشتر بودن نرخ ورود از مقدار آستانه، مقداری بیشتر از یک خواهد بود؛ اما برای تعیین TXOP نمی‌توان فقط به نرخ ورود کلاس‌ها اکتفا کرد چراکه یکی از معیارهای مهم دیگر که در روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است تعداد بسته‌های موجود در صف یا به عبارتی طول صف است که عبارت دوم با تقسیم طول صف به مقدار آستانه طول صف، تأثیر آن در تعیین TXOP را نشان می‌دهد. در صورت برقراری رابطه شرطی (۳) برای تعیین مقدار TXOP هر رده دسترسی از یک رابطه خطی میان طول صف و نرخ ورود آن کلاس و TXOP اختصاص داده شده به آن کلاس استفاده می‌شود که در رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$TXOP[ac] = TXOP_{MIN} + (TXOP_{MAX} - TXOP_{MIN}) * \left( \frac{\text{arrival rate}[ac]}{\text{service rate}[ac]} + \left( \frac{\text{queue}[ac]}{THR_{queue}} \right) \right) \quad (4)$$

کاهش یافته، ایستگاه مدت زمان کمتری را برای دسترسی به رسانه سپری کند. شبه کد این روش در شکل ۳ نشان داده است. در این شبه کد آلفا، ضریب هموارسازی جهت جلوگیری از تغییرات بیش از اندازه‌ی پنجره رقابت است و بر اساس چندین شبیه‌سازی مقدار ۰.۴۵، مقدار مناسب آلفا می‌باشد.

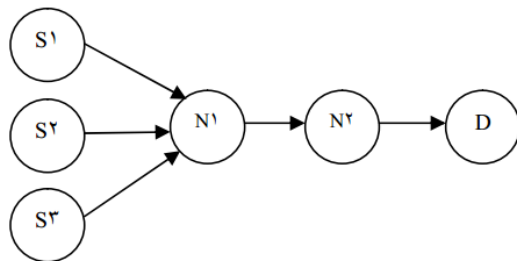
```

if(macdelay[ac] > THrac)
{
    CWMIN[ac] = CWMIN[ac] + ((α * (THrac - macdelay))
    * CWMIN[ac])
}
else
{
    CWMIN[ac] = CWMIN[ac]
}
    
```

شکل ۳. شبه کد پیشنهادی تنظیم پویا CW<sub>MIN</sub>

### ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، این روش در یک شبکه چند گامی با دو سناریو متفاوت با کمک نرم افزار آپنت نسخه ۱۴.۵ شبیه‌سازی و ارزیابی گردید. توپولوژی پیشنهادی که در شکل ۴ نشان داده شده شامل سه گره فرستنده (S1، S2 و S3) است که هر کدام از گره‌ها وظیفه تولید یک نوع ترافیک خاص شامل ترافیک صدا، ترافیک ویدئو و ترافیک بهترین تلاش را بر عهده دارند. همچنین دو گره میانی (N1 و N2) وظیفه ارسال بسته‌ها از فرستنده به گیرنده را بر عهده داشته و خود ترافیکی تولید نمی‌کنند. یک گره (D) هم به عنوان گیرنده در توپولوژی پیشنهادی در نظر گرفته شده است.



شکل ۴. توپولوژی اول شبکه شبیه‌سازی شده

به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، این روش با نسخه اصلی EDCA و همچنین دو روش ارائه شده در [۲۷] و [۲۸] مقایسه شده است. به منظور مقایسه ساده‌تر روش پیشنهادی با دو روش دیگر، در اولین سناریو، نرخ ترافیک‌ها و وزن ظرفیت لینک خروجی سه کلاس به صورت برابر تعریف شده تا چگونگی روش پیشنهادی در شرایط یکسان ارزیابی گردد از این رو در

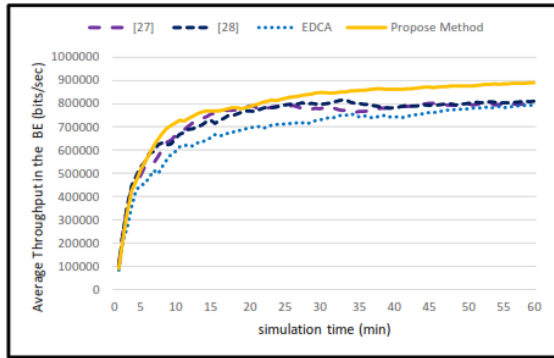
دو پارامتر بیشتر از یک است که در این شرایط امکان سرریز صف وجود دارد بنابراین در هر کدام از این حالت‌ها، حداکثر TXOP به کلاس اختصاص داده می‌شود تا بسته‌های بیشتری ارسال شده، احتمال ریزش آن‌ها کاهش یابد. شبه کد این روش در شکل ۲ نشان داده است. در رابطه  $TXOP_{min}(4)$  مقدار پیش فرض تعریف شده در استاندارد،  $TXOP_{max}$  حداکثر مقدار تعریف شده و برابر با ۸۱۶۰ میکروثانیه می‌باشد

### روش پیشنهادی جهت تنظیم CW<sub>MIN</sub>

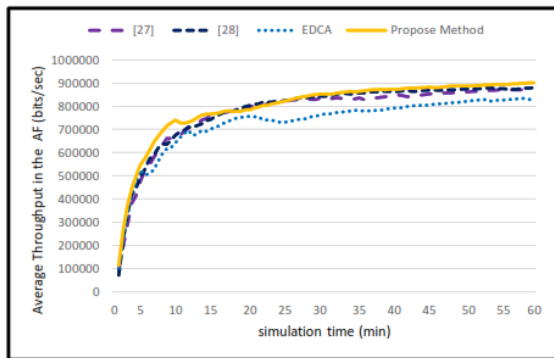
یکی از پارامترهای مهم در شبکه‌های محلی بی سیم چند گامی تأخیر دسترسی به رسانه است که برابر با فاصله زمانی از لحظه‌ی ایجاد یک بسته تا هنگام ارسال موفق آن است. در شبکه‌های چند گامی بسته‌های مربوط به کلاس‌های با اولویت پایین به دلیل پنجره رقابت بزرگ‌تر، بایستی برای رقابت در دسترسی به رسانه، مدت زمان طولانی‌تری نسبت به بسته‌های کلاس‌های اولویت بالا منتظر بمانند و این عمل در گام‌های بعدی (گره‌های میانی) نیز تکرار شده، در نتیجه تأخیر دسترسی به رسانه برای AC های با اولویت پایین به شدت افزایش می‌یابد؛ اما AC های با اولویت بالا، تأخیر دسترسی پایین و پایداری خواهند داشت. این بدین معنی است که بهبود توان عملیاتی AC های اولویت بالا، تأثیر زیادی بر عملکرد رده‌های دسترسی با اولویت کم داشته، امکان قحطی‌زدگی در رده‌های ترافیکی اولویت پایین را به دنبال دارد. در بخش دوم روش پیشنهادی به تنظیم پویای CW<sub>MIN</sub> جهت بهبود تأخیر دسترسی به رسانه پرداخته می‌شود.

در این مرحله جهت تخصیص CW<sub>MIN</sub> به جریان داده برای سپری کردن دوره عقب‌گرد از یک مقدار آستانه استفاده می‌شود. نحوه عملکرد این روش بدین صورت است که به محض ورود یک جریان جدید به ایستگاه کاری، ایستگاه کار خود را با محاسبه تأخیر دسترسی به کانال برای رده دسترسی مربوطه آغاز می‌کند. از آنجاکه تأخیر دسترسی به رسانه برای هر رده دسترسی متفاوت است مقدار آستانه تأخیر برای هر رده دسترسی متفاوت است به عنوان مثال به رده دسترسی صدا که حساس به تأخیر است مقدار آستانه کمتری نسبت به رده‌های دسترسی ویدئو و بهترین تلاش اختصاص داده می‌شود. سپس تأخیر دسترسی به رسانه در هر کلاس با مقدار آستانه آن کلاس مقایسه می‌شود؛ در صورتی که تأخیر دسترسی به رسانه از مقدار آستانه کمتر باشد، CW<sub>MIN</sub> با همان مقدار پیش فرض استاندارد مقداردهی می‌شود و در صورتی که تأخیر دسترسی به رسانه از مقدار آستانه بیشتر باشد مقدار CW<sub>MIN</sub> به صورت خطی با توجه به میزان تأخیر دسترسی به رسانه مربوط به آن کلاس کاهش می‌یابد تا مدت زمان عقب‌گرد انتخابی توسط ایستگاه با توجه به کاهش بازه CW<sub>MIN</sub>

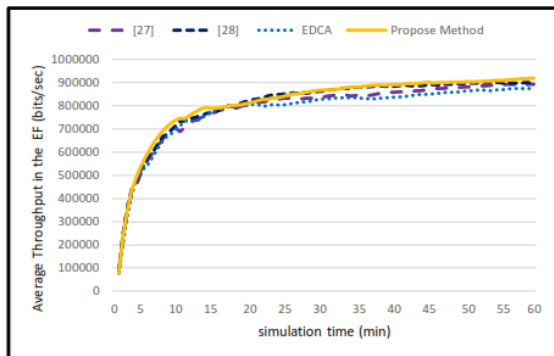
مقصد را بیان می‌کند، در شکل‌های (۵) و (۶) به ترتیب برای سناریو اول و دوم نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵. مقایسه گذردهی در سناریو اول برای ترافیک‌های (الف) BE، (ب) AF و (ج) EF

سناریو اول ترافیک تولیدی هر کلاس برابر با ۱Mbps در نظر گرفته شده است. اما در سناریو دوم نرخ ورود بالاترین ترافیک یعنی صدا، افزایش داده شده و نرخ دو ترافیک اولویت پایین تر، کاهش داده شده تا نحوه رفتار روش پیشنهادی در چنین حالت نابرابری نیز بررسی گردد. هدف از تعریف سناریوی دوم آن است که مشخص شود روش پیشنهادی در این حالت چگونه عمل می‌کند و آیا دو کلاس ویدئو و بهترین تلاش با اولویت و نرخ ورود پایین از ظرفیت کانال سهمی می‌برند و به چه اندازه؟ آیا روش پیشنهادی روش عادلانه‌ای است؟ در این حالت وضعیت تأخیر و ریزش بسته‌ها در کلاسهای مختلف چگونه خواهد بود. بنابراین در سناریو دوم ترافیک تولیدی توسط کلاس صدا برابر با ۲Mbps و ترافیک تولیدی توسط کلاس ویدئو و بهترین تلاش برابر ۵۰۰Kbps است. مقایسه بر اساس سه معیار توان عملیاتی، تأخیر انتها به انتها و ریزش بسته صورت گرفته است. به‌منظور افزایش اطمینان، شبیه‌سازی برای هر سناریو چندین بار تکرار و در پایان از نتایج به‌دست‌آمده میانگین‌گیری انجام شده است. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۳ آمده است [۲۸].

جدول ۳. پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
Data Rate	18Mbps
Physical Characteristics	Extended Rate PYH(802.11g)
AD-HOC Routing Protocol	AODV
Transmit Power	0.0003W
Packet Reception Power Threshold	-95 dBm
Buffer Size	1024000 bits
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
$THR_{BE}$	0.7
$THR_{VI}$	0.4
$THR_{VO}$	0.3
$THR_{queue}$	100
$CW_{min}$	Standard Default
$CW_{max}$	Standard Default
AIFSN	Standard Default
$W_{EF(Voice)}$	2
$W_{AF(Video)}$	5
$W_{BE(FTP\_data)}$	5

### مقایسه گذردهی

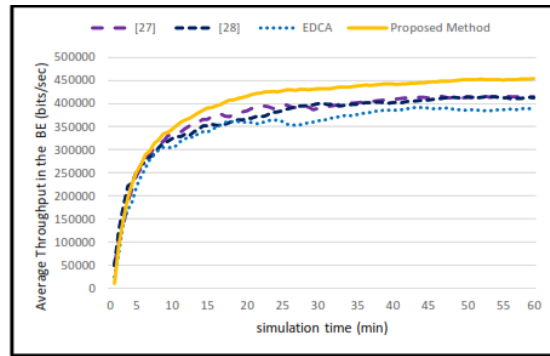
گذردهی که برحسب بیت بر ثانیه منظور می‌گردد برای هر رده دسترسی برابر با میزان بار داده مفیدی است که برای آن رده، توسط لایه دسترسی به رسانه‌ی کلیدی گره‌ها از لایه‌ی فیزیکی دریافت و به لایه‌ی بالاتر تحویل شده‌اند. البته باید توجه داشت که قاب‌های تکراری و ناکامل در محاسبه گذردهی محسوب نمی‌شوند. نتایج شبیه‌سازی که میزان گذردهی سه کلاس در

در کلاس صدا باعث نشده که آنها از پهنای باند تخصیص یافته‌ی خود کوتاه بیایند و تقریباً توانسته‌اند به نرخ موردنظر خود دست یابند. اما بطور کلی در روش پیشنهادی با توجه به این نکته که مقدار فرصت ارسال با توجه به شرایط شبکه تنظیم می‌شود، صف زودتر تخلیه می‌شود که این امر موجب افزایش گذردهی نسبی هر کلاس نسبت به حالت استاندارد و روشهای [۲۷] و [۲۸] می‌شود.

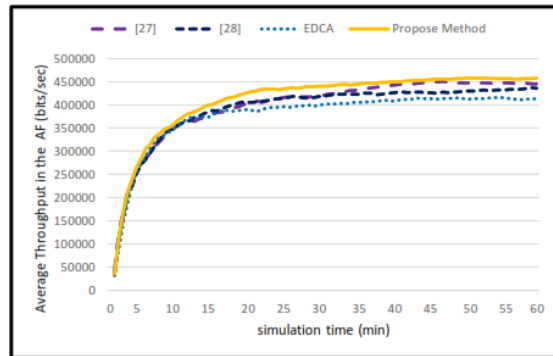
### مقایسه تأخیر انتها به انتها

تأخیر انتها به انتها شامل تأخیر صف‌بندی، تأخیر دسترسی به رسانه، تأخیر ارسال و دریافت بسته‌ها می‌باشد. به‌طور کلی از لحظه ایجاد بسته تا ارسال پیام تصدیق دریافت بسته از گیرنده تأخیر انتها به انتها گفته می‌شود. شکل (۷) نتایج شبیه‌سازی میزان تأخیر روش پیشنهادی نسبت به روش حالت استاندارد EDCA، [۲۷] و [۲۸] را برای کلاس‌های صدا، ویدئو و بهترین تلاش در سناریو اول را نشان می‌دهد.

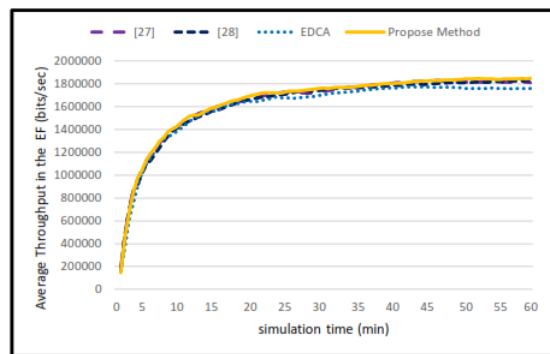
در این سناریو ترافیک تولیدی هر کلاس برابر با ۱Mbps در نظر گرفته شده است در این شکل تأخیر روش پیشنهادی نسبت به دو روش دیگر مقدار کمتری است که دلیل این امر آن است که در روش پیشنهادی اگر نرخ ورود و طول صف هر کلاس افزایش یابد مقدار TXOP به صورت خطی افزایش می‌یابد تا بسته‌های بیشتری در یک دوره زمانی بدون رقابت برای دسترسی به کانال ارسال شوند و همچنین با کاهش نرخ ورود و یا طول صف بر اساس روش پیشنهادی مقدار TXOP کاهش می‌یابد تا فرصت به رده‌های دسترسی دیگر که داده‌ایی برای ارسال دارند برسد و این رده‌های دسترسی سریع‌تر به رسانه دسترسی پیدا کنند. علاوه بر این تنظیم پویای  $CW_{MIN}$  کمک شایانی به کاهش تأخیر می‌کند بدین صورت که اگر تأخیر دسترسی به رسانه برای یک رده دسترسی بیش از مقدار آستانه باشد مقدار  $CW_{MIN}$  کاهش می‌یابد تا زمان عقب‌گرد کمتری را برای دسترسی به کانال تحمل کند که این امر نیز باعث کاهش تأخیر انتها به انتها می‌شود.



(الف)



(ب)

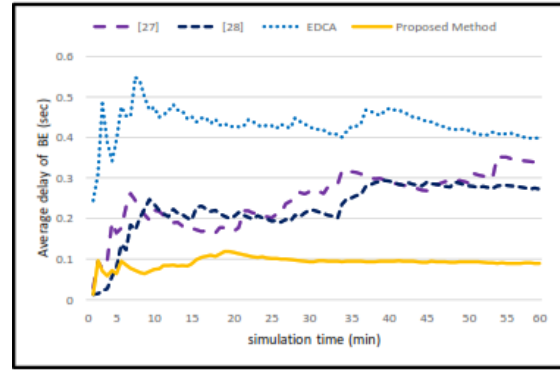


(ج)

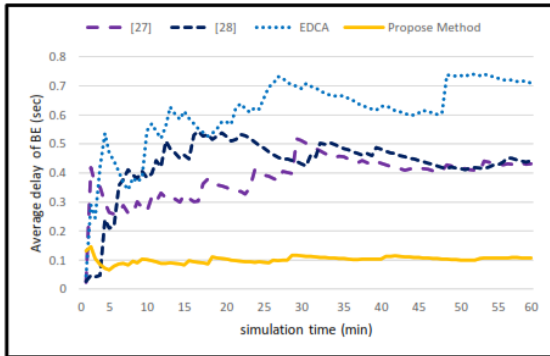
شکل ۶. مقایسه گذردهی در سناریو دوم برای ترافیک های (الف) BE، (ب) AF و (ج) EF

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی در هر سه کلاس سرویس توانسته است که به گذردهی نسبتاً بالاتری از روش‌های مورد مقایسه دست یابد. در هر سه کلاس مفروض گذردهی تقریباً برابر است زیرا میزان ترافیک ورودی در هر سه کلاس با هم برابر و از نرخ تخصیص یافته به آنها در شبکه نیز کمتر بوده است. لذا اکثر ترافیک توانسته از شبکه عبور کند. در شکل (۶) مشاهده می‌شود که گذردهی کلاس‌های بهترین تلاش و ویدئو به طور کاملاً محسوس از روشهای مورد مقایسه (خصوصاً روش EDCA استاندارد) بیشتر بوده و نرخ ورود بیشتر

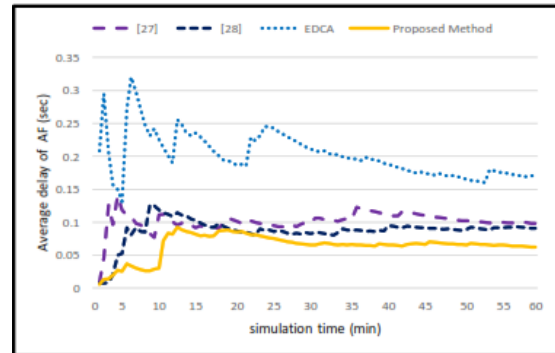
BE با توجه به اینکه نرخ ورود کم است اما تعداد قاب‌های در صف به دلیل اینکه فرصت ارسال کمتری به این کلاس‌ها اختصاص می‌یابد به‌مرور زمان افزایش می‌یابد و چون یکی از پارامترهای تأثیرگذار در تعیین مقدار فرصت ارسال در روش پیشنهادی طول صف است در نتیجه فرصت ارسال بزرگ‌تری به این کلاس‌ها اختصاص می‌یابد تا در زمانی که کانال را به دست آوردند داده‌های بیشتری ارسال کنند و تعداد دفعات کمتری برای دسترسی به کانال تلاش کنند.



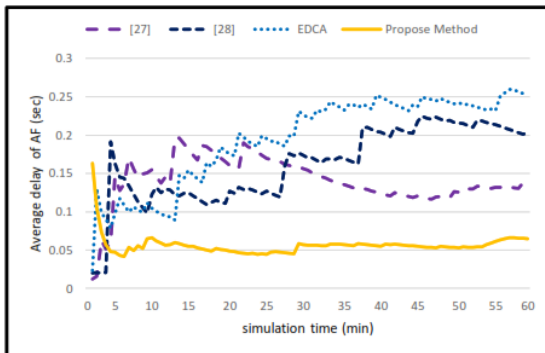
(الف)



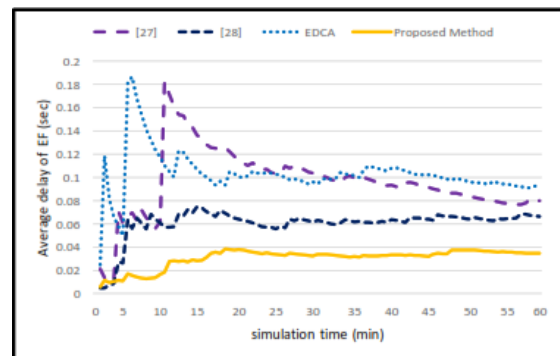
(الف)



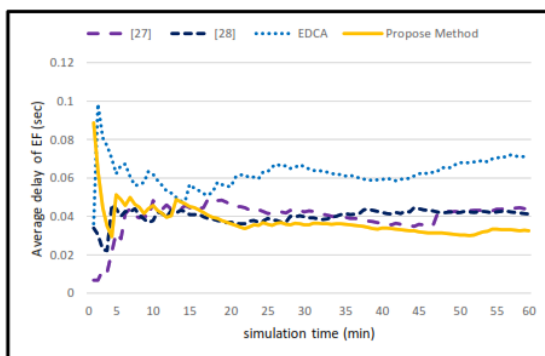
(ب)



(ب)



(ج)



(ج)

شکل ۷. مقایسه تأخیر انتها به انتها در سناریو اول برای ترافیک‌های (الف) BE، (ب) AF و (ج) EF

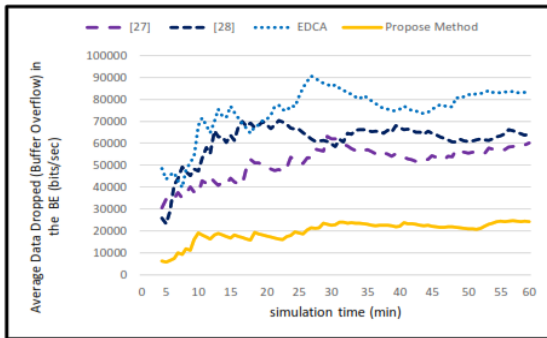
شکل (۸) نتایج شبیه‌سازی میزان تأخیر روش پیشنهادی نسبت به روش حالت استاندارد EDCA و روش‌های [۲۷] و [۲۸] را برای کلاس صدا، ویدئو و بهترین تلاش در سناریو دوم را نشان می‌دهد. در این سناریو ترافیک تولیدی کلاس صدا، چهار برابر کلاس‌های ویدئو و بهترین تلاش در نظر گرفته شده، و همچنین این کلاس اولویت بیشتری نسبت به دو کلاس دیگر دارد فرصت چندانی به دو کلاس دیگر برای ارسال داده نمی‌دهد و به همین دلیل در حالت استاندارد تأخیر کلاس AF(VO) بسیار کمتر از تأخیر کلاس EF(VI) و BE است از طرفی در کلاس‌های AF و

شکل ۸. مقایسه تأخیر انتها به انتها در سناریو دوم برای ترافیک‌های (الف) BE، (ب) AF و (ج) EF

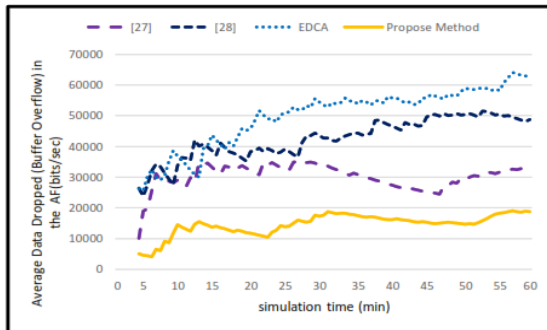
### مقایسه ریزش بسته‌ها به دلیل سرریز بافر

سرریز بافر است. بدین معنی که در روش پیشنهادی با افزایش طول صف مقدار فرصت ارسال افزایش می‌یابد تا ایستگاه مربوطه تعداد بیشتری قاب را ارسال کند و کمتر دچار سرریز شود.

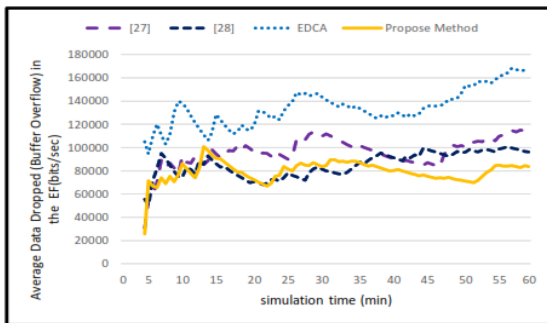
در شبکه‌های چند گامی به دلیل اینکه جریان داده‌ها از چندین گره مبدأ وارد گره میانی می‌شود امکان پر شدن بافر در گره‌های میانی بیشتر بوده و ریزش بسته‌ها به دلیل سرریز بافر رخ می‌دهد. در شکل‌های (۹) و (۱۰) میزان ریزش بسته‌ها ناشی از سرریز بافر به ترتیب در سناریوی اول و دوم آمده است.



(الف)



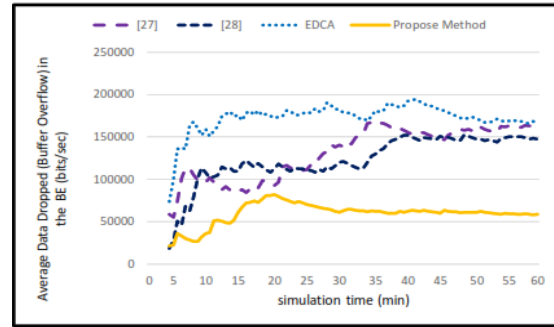
(ب)



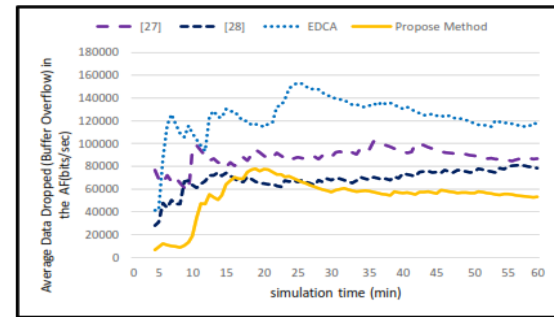
(ج)

شکل ۱۰. مقایسه ریزش به دلیل سرریز بافر در سناریو دوم برای ترافیک های (الف) BE، (ب) AF و (ج) EF

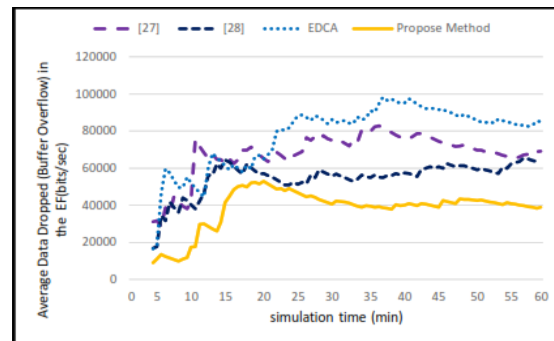
همچنین در صورتی که طول صف کوتاه باشد ولی نرخ ورود زیاد باشد بازهم فرصت ارسال بزرگی به کلاس مربوطه اختصاص می‌یابد تا به گونه‌ایی از سرریز صف در آینده نزدیک جلوگیری کند؛ اما در رده‌ی دسترسی صدا میزان ریزش روش‌های [۲۷] و [۲۸] تقریباً با روش پیشنهادی یکسان است که دلیل این امر این است که در روش [۲۸] اگر حجم داده برای رده‌ی دسترسی صدا بالا باشد داده‌ها به یک رده پایین‌تر منتقل می‌شوند تا در



(الف)



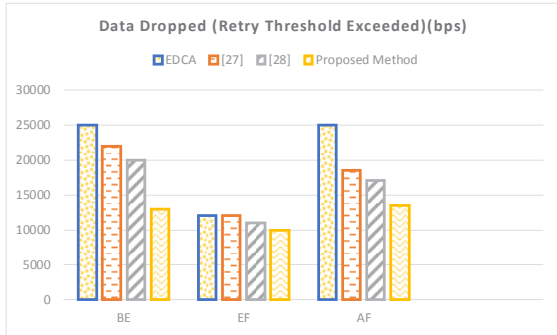
(ب)



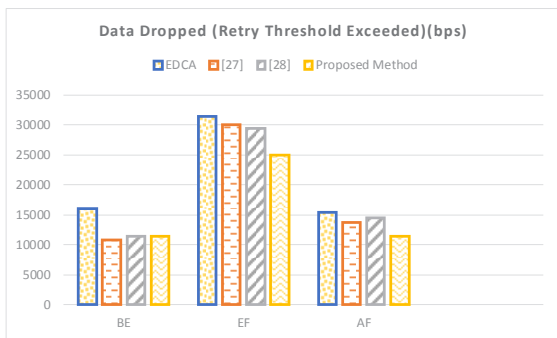
(ج)

شکل ۹. مقایسه ریزش به دلیل سرریز بافر در سناریو اول برای ترافیک های (الف) BE، (ب) AF و (ج) EF

در این شکل‌ها میزان ریزش بسته‌ها در روش پیشنهادی نسبت به حالت استاندارد و روش‌های [۲۷] و [۲۸] بهبود قابل توجهی داشته که این میزان کاهش حاکی از انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق TXOP با توجه به تغییرات طول صف و جلوگیری از



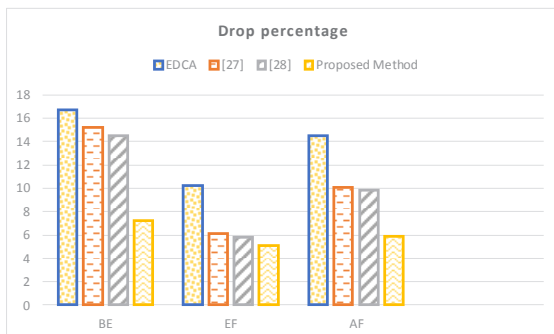
(الف)



(ب)

شکل ۱۱. مقایسه ریزش به دلیل تجاوز از حد سعی مجدد برای ترافیک های BE, EF و AF در سناریوهای (الف) اول و (ب) دوم

درصد کل ریزش بسته‌ها ناشی از تجاوز از حد سعی مجدد و همچنین سرریز بافر در سناریوهای یک و دو به ترتیب در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی این پژوهش دو پارامتر پنجره رقابت و TXOP متناسب با میزان تأخیر دسترسی به رسانه، نوع و میزان ترافیک ورودی و همچنین طول صف تنظیم شده اند درصد ریزش کل در روش پیشنهادی نسبت به سایر روشها در هر دو سناریو پایین تر است.



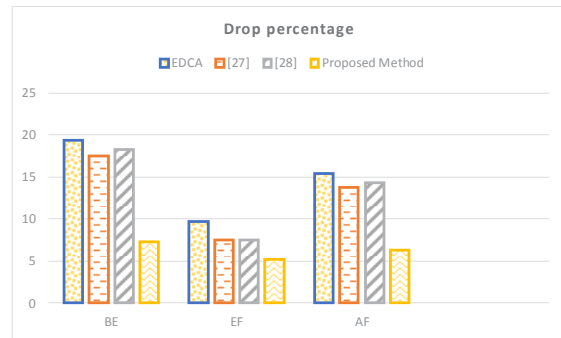
(الف)

رده دسترسی ویدیو سرویس بگیرند. در [۲۷] نیز طول TXOP با توجه به طول صف تعیین می‌شود و این امر سبب کاهش میزان ریزش بسته‌ها به دلیل سرریز بافر می‌گردد.

### مقایسه ریزش بسته‌ها به دلیل تجاوز از حد سعی مجدد

در یک شبکه بی‌سیم محلی، بسته‌ها به دو دلیل عمده از دست رفته یا به اصطلاح دچار ریزش می‌شوند: سرریز بافر و تجاوز از حد سعی مجدد. در صورتی که پیام تصدیق بسته‌ای توسط فرستنده دریافت نشود، فرض بر آن گذاشته می‌شود که ارسال آن بسته با مشکل روبه‌رو شده و بایستی مجدداً ارسال شود. این ارسال مجدد آن قدر تکرار می‌شود تا آن بسته یا با موفقیت ارسال شود و یا تعداد تکرارها از حد مجاز سعی مجدد، تجاوز نموده و در این صورت بسته، دور انداخته می‌شود. به منظور کاهش ریزش ناشی از تجاوز از حد ارسال مجدد، بایستی پنجره رقابت متناسب با تعداد گره‌های همسایه و همچنین میزان ترافیک هر گره به صورت پویا تنظیم شود. زیرا موثرترین پارامتر بر کاهش ریزش ناشی از تجاوز از حد مجاز تکرار مجدد، اندازه پنجره رقابت است. بدیهی است که گره‌های میانی، همسایگان بیشتری نسبت به گره‌های انتهایی داشته و از این رو معمولاً برخورد بیشتری را تجربه می‌کنند. بنابراین از یک سو بهتر است پنجره رقابت بزرگتری انتخاب نمایند تا با برخورد کمتری روبه‌رو شوند و از سوی دیگر، هر گره بایستی با مشاهده طولانی شدن تأخیر خود، احتمال دسترسی خود به کانال را با کاهش اندازه پنجره رقابت خود افزایش دهد. اما پارامتر دیگری که پس از پنجره رقابت که سبب کاهش تجاوز از حد مجاز ارسال مجدد بسته‌ها می‌شود، TXOP است. در واقع هر گره با انتخاب TXOP مناسب می‌تواند از تعداد دفعات رقابت خود کاسته و برخورد کمتری را تجربه نماید. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ بهبود میزان ریزش بسته‌ها را در روش پیشنهادی در مقایسه با حالت استاندارد و روشهای [۲۷] و [۲۸] برای سناریو اول و دوم به ترتیب نشان می‌دهند. از آنجا که در روش پیشنهادی هم پنجره رقابت و هم TXOP به صورت پویا تنظیم می‌شوند، بهبود بیشتری نسبت به سه روش دیگر مشاهده می‌شود.

- [2] J. P. Pavon and S. Choi, "Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via received signal strength measurement," in *IEEE International Conference on Communications, 2003 .ICC'03.*, 2003, vol. 2: IEEE, pp. 1108-1113.
- [3] A. Torres, C. T. Calafate, J.-C. Cano, and P. Manzoni, "Assessing the IEEE 802.11 e QoS effectiveness in multi-hop indoor scenarios," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 186-198, 2012.
- [4] G. Cecchetti, A. L. Ruscelli, A. Mastropaolo, and G. Lipari, "Providing variable TXOP for IEEE 802.11 e HCCA real-time networks," in *2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2012: IEEE, pp. 1508-1513.
- [5] R. Achary, V. Vaityanathan, P. R. Chellai, and N. Srinivasan, "A new QoS architecture for performance enhancement of IEEE 802.11 e EDCA by contention window adaption," in *2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*, 2012: IEEE, pp. 74-78.
- [6] Q. Fu, Z. Chen, Y. Jiang, and R. LI, "A Cross-layer QoS scheme based on EDCA in multi-hop wireless mesh networks," *Journal of Computational Information Systems*, vol. 2, no. 10, pp. 817-825, 2014.
- [7] H. Ghazanfar, R. Taheri, and S. Nejatian, "Application of Learning Methods for QoS Provisioning of Multimedia Traffic in IEEE802. 11e," in *Fundamental Research in Electrical Engineering*: Springer, 2019, pp. 369-383.
- [8] Y. Cheng, D. Yang, H. Zhou, and H. Wang, "Adopting IEEE 802.11 MAC for industrial delay-sensitive wireless control and monitoring applications: A survey," *Computer Networks*, vol. 157, pp. 41-67, 2019.
- [9] I. W. Group, "IEEE 802.11, IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan area Networks Specific Requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 2007.
- [10] R. Moraes, P. Portugal, F. Vasques, and R. Custódio, "Assessment of the IEEE 802.11 e EDCA protocol limitations when dealing with real-time communication," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, no. 1, p. 351480, 2010.



(ب)

شکل (۱۲) مقایسه درصد ریزش کل در سناریوهای (الف) اول و (ب) دوم

## نتیجه گیری

در شبکه های مبتنی بر IEEE 802.11e، دو پارامتر مهم در چگونگی دسترسی به رسانه، فرصت ارسال و پنجره رقابت هستند. در این مقاله با تنظیم TXOP و CWMIN روشی جهت بهبود دسترسی به رسانه در شبکه های چند گامی مبتنی بر IEEE802.11e پیشنهاد شد. در این شیوه، به منظور تنظیم پویای TXOP، از دو پارامتر طول صف و نرخ ورود به هر کلاس بدین گونه استفاده شد که دو پارامتر طول صف و نرخ ورود به ترتیب با مقدار آستانه طول صف و مقدار نرخ سرویس مقایسه می شوند و اگر پارامترهای طول صف و نرخ ورود از مقادیر آستانه خود بیشتر باشند حداکثر مقدار TXOP به کلاس مورد نظر اختصاص داده می شود، در غیر این صورت برای تعیین پویا مقدار TXOP از یک رابطه خطی میان TXOP اختصاص داده شده به آن کلاس و طول صف و نرخ ورود آن کلاس استفاده می شود. همچنین به منظور کاهش تأخیر دسترسی به رسانه در هر کلاس روشی بر اساس تنظیم پویا CWMIN ارائه شد که اگر تأخیر دسترسی به رسانه برای یک کلاس بیش از مقدار آستانه آن باشد پنجره رقابت طبق یک معادله خطی کاهش می یابد تا مقدار عقب گرد انتخاب شده توسط بسته کاهش یافته، بسته زمان کمتری را برای دسترسی به رسانه سپری کند. نتایج این روش نشان می دهد، روش پیشنهادی نسبت به حالت استاندارد و دو روش دیگر، تأخیر و ریزش بسته به دلیل سرریز بافر و تجاوز از حد سعی مجدد را کاهش می دهد.

## مراجع

- [1] W. Stallings, *Data and computer communications*. Pearson Education India, 2007.

- [21] J. Majkowski and F. C. Palacio, "Dynamic TXOP configuration for QoS enhancement in IEEE 802.11 e wireless LAN," in *2006 International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks*, 2006: IEEE, pp. 66-70.
- [22] N. Cranley and M. Davis, "An experimental investigation of IEEE 802.11 e TXOP facility for real-time video streaming," in *IEEE GLOBECOM 2007-IEEE Global Telecommunications Conference*, 2007: IEEE, pp. 2075-2080.
- [23] H. Ma and S. Roy, "Contention window and transmission opportunity adaptation for dense IEEE 802.11 WLAN based on loss differentiation," in *2008 IEEE International Conference on Communications*, 2008: IEEE, pp. 2556-2560.
- [24] Z. Feng, G. Wen, Z. Zou, and F. Gao, "RED-TXOP scheme for video transmission in IEEE802. 11E EDCA WLAN," in *2009 IEEE International Conference on Communications Technology and Applications*, 2009: IEEE, pp. 371-375.
- [25] J. Y. Lee, H. Y. Hwang, J. Shin, and S. Valaee, "Distributed optimal TXOP control for throughput requirements in IEEE 802.11 e wireless LAN," in *2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2011: IEEE, pp. 93-99.
- [26] K. Ju, D. Lee, and K. Chung, "Dynamic TXOP allocation to support QoS based on channel conditions in wireless networks," in *2012 8th International Conference on Computing Technology and Information Management (NCM and ICNIT)*, 2012, vol. 2: IEEE ,pp. 721-724.
- [27] J. Hu, G. Min, and M. E. Woodward, "Performance analysis of a threshold-based dynamic TXOP scheme for intra-AC QoS in wireless LANs," *Future Generation Computer Systems*, vol. 38, pp. 69-74, 2014.
- [28] M. Namazi, N. Moghim, M. Ghazvini ,and A. Askarian, "Dynamic TXOP Assignment in IEEE802. 11e Multi-hop Wireless Networks Based on an Admission Control Method," *Wireless Personal Communications*, vol. 97, no. 1, pp. 749-772, 2017.
- [29] H. Artail, H. Safa, J. Naoum-Sawaya, B. Ghaddar, and S. Khawam, "A simple recursive scheme for adjusting the contention window size in IEEE 802.11 e wireless ad hoc networks," *Computer*
- [11] M. Ghazvini, N. Movahedinia, and K. Jamshidi, "GTXP: A game theoretic approach for QoS provisioning using transmission opportunity tuning," *PloS one*, vol. 8, no. 5, p. e62925, 2013.
- [12] H. I. Zawia, R. Hassan, and D. P. Dahnil, "A survey of medium access mechanisms for providing robust audio video streaming in iee 802.11 aa standard," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27690-27705, 2018.
- [13] J. Lei, J. Tao, J. Huang, and Y. Xia, "A Differentiated Reservation MAC Protocol for Achieving Fairness and Efficiency in Multi-Rate IEEE 802.11 WLANs," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 12133-12145, 2019.
- [14] M. Yazdani, M. Kamali, N. Moghim, and M. Ghazvini, "A fair access mechanism based on TXOP in IEEE 802.11 e wireless networks," *International Journal of Communication Networks and Information Security*, vol. 8, no. 1, p. 11, 2016.
- [15] E. Kim and Y.-J. Suh, "ATXOP: an adaptive TXOP based on the data rate to guarantee fairness for IEEE 802.11 e wireless LANs," in *IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004*, 2004, vol. 4: IEEE, pp. 2678-2682.
- [16] N. Guo, C. Chen, and C.-x. Pei, "Dynamic TXOP Assignment for Fairness (DTAF) in IEEE 802.11 e WLAN under heavy load conditions," in *2006 Seventh International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT'06)*, 2006: IEEE, pp. 80-85.
- [17] S. Kim and Y. Cho, "Adaptive transmission opportunity scheme based on delay bound and network load in IEEE 802.11 e wireless LANs," *Journal of applied research and technology*, vol. 11, no. 4, pp. 604-611, 2013.
- [18] A. Andreadis and R. Zambon, "QoS enhancement for multimedia traffics with dynamic TXOPlimit in IEEE 802.11 e," in *Proceedings of the 3rd ACM workshop on QoS and security for wireless and mobile networks*, 2007: ACM, pp. 16-22.
- [19] T. Li, D. J. Leith, V. Badarla, D. Malone, and Q. Cao, "Achieving end-to-end fairness in 802.11 e based wireless multi-hop mesh networks without coordination," *Mobile Networks and Applications*, vol. 16, no. 1, pp. 17-34, 2011.
- [20] Y. woon Ahn, J. Baek, A. M. K. Cheng, P. S. Fisher, and M. Jo, "A fair transmission opportunity by detecting and punishing the malicious wireless stations in IEEE 802.11 e EDCA network," *IEEE Systems Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 486-494, 2011.

- [33] C. Shi, S.-Q. He, Z.-J. Deng, X.-F. Zhang, and C. Shen, "Adaptive access mechanism with delta estimation algorithm of traffic loads for supporting weighted priority in IEEE 802.11 e WLANs," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 10, no. 5, pp. 1693-1702, 2019.
- [34] P. Cisar, S. Bošnjak, and S. M. Cisar, "EWMA algorithm in network practice," *International Journal of Computers Communications & Control*, vol. 5, no. 2, pp. 160-170, 2010.
- [35] C.-E. Weng and H.-L. Hung, "Performance analysis of priority schemes for IEEE 802.11 e wireless local area networks using multiple flows distributed weighted fair queuing algorithm," *Universal Journal of Communications and Network*, vol. 2, no. 1, pp. 14-21, 2014.
- [30] L. Romdhani, Q. Ni, and T. Turletti, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," in *2003 IEEE Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003.*, 2003, vol. 2: IEEE, pp. 1373-1378.
- [31] B. H. S. Abeysekera, T. Matsuda, and T. Takine, "Dynamic contention window control mechanism to achieve fairness between uplink and downlink flows in IEEE 802.11 wireless LANs," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 9, pp. 3517-3525, 2008.
- [32] M. Ghazvini, N. Movahedinia, and K. Jamshidi, "A game theory based contention window adjustment for IEEE 802.11 under heavy load," *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, vol. 5, no. 2, pp. 93-103, 2013.
- [30] L. Romdhani, Q. Ni, and T. Turletti, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," in *2003 IEEE Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003.*, 2003, vol. 2: IEEE, pp. 1373-1378.