

## پویاسازی فرصت ارسال در شبکه‌های محلی بی‌سیم

امیر حسنی سعدی<sup>۱</sup>، مهدیه قزوینی<sup>۲\*</sup>، ندا مقیم<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

[amir.hasanisadi@gmail.com](mailto:amir.hasanisadi@gmail.com)

۲- استادیار، بخش مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

[mghazvini@uk.ac.ir](mailto:mghazvini@uk.ac.ir)

۳- استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

[n.moghim@eng.ui.ac.com](mailto:n.moghim@eng.ui.ac.com)

### چکیده

استاندارد IEEE802.11e نسخه‌ی بهبودیافته‌ی استاندارد اصلی IEEE802.11 است که با معرفی چندین پارامتر نظیر فرصت ارسال (TXOP) و پنجره رقابت باعث برقراری نسبی کیفیت سرویس می‌شود. TXOP مدت‌زمانی است که ایستگاه به‌طور مداوم و بدون رقابت بیشتر می‌تواند از شبکه بی‌سیم برای انتقال داده‌های خود استفاده کند. در استاندارد 802.11e برای همه‌ی ایستگاه‌ها، بدون توجه به شرایط پویای شبکه، TXOP ثابت و پیش‌فرض در نظر گرفته‌شده که این امر مشکلاتی از قبیل بی‌عدالتی در میزان دسترسی به کانال در شبکه‌های چند نرخی و همچنین هدر رفت منابع را به دنبال دارد. از این رو پژوهش‌های گوناگونی در رابطه با پویاسازی TXOP جهت بهبود کیفیت سرویس و برقراری عدالت ارائه‌شده است؛ که در این مقاله برخی روش‌ها و الگوریتم‌های مرتبط با تعیین فرصت انتقال در شبکه‌های محلی بی‌سیم و شبکه‌های چند گامی بی‌سیم از نظر نحوه‌ی عملکرد مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند.

**کلمات کلیدی:** شبکه‌های محلی بی‌سیم، کنترل دسترسی به رسانه، فرصت ارسال، عدالت، کیفیت سرویس

### ۱. مقدمه

استاندارد IEEE802.11 به‌عنوان اولین استاندارد شبکه‌های بی‌سیم در سال ۱۹۹۷ ارائه شد و در سال ۱۹۹۹ مورد بازبینی قرار گرفت [1]. در این استاندارد، لایه‌های مختلف شامل زیر لایه‌ی کنترل دسترسی به رسانه<sup>۱</sup> (MAC)، پروتکل مدیریت MAC و لایه‌ی فیزیکی تعریف شده است. زیر لایه MAC در 802.11 از دو مکانیسم اصلی برای دسترسی به رسانه بی‌سیم استفاده می‌کند. یکی از آن‌ها تابع هماهنگی نقطه‌ای<sup>۲</sup> (PCF) است که یک مکانیسم بدون رقابت دسترسی به رسانه است و دیگری تابع هماهنگی توزیع‌شده<sup>۳</sup> (DCF) که مبتنی بر رقابت است. روش DCF به‌عنوان یک مکانیسم دسترسی منصفانه فرض می‌شود زیرا در شرایط یکسان تمام ایستگاه‌های رقیب دارای احتمالی برابر در دسترسی به رسانه می‌باشند. در حالت DCF تمایزی بین ایستگاه‌ها، وجود نداشته و تمام ایستگاه‌ها سطح مشابهی از کیفیت سرویس<sup>۴</sup> (QoS) را تجربه می‌کنند.

<sup>1</sup> Media Access Control

<sup>2</sup> Point coordination function

<sup>3</sup> Distributed coordination function

<sup>4</sup> Quality of service

مکانیسم DCF برای ترافیک بهترین تلاش پیشنهاد شد، در نتیجه برای ترافیک بلادرنگ از قبیل صدا و ویدئو مناسب نیست. کاربردهای صدا و خصوصاً ویدئو به پهنای باند بالا نیاز دارند تا کیفیت بالایی را تضمین نمایند. به منظور تطبیق این شرایط، کارگروه 802.11 نسخه ارتقا یافته‌ای بانام استاندارد 802.11e ارائه نموده‌اند که به منظور تضمین کیفیت سرویس در کاربردهایی مانند صدا و کاربردهای چندرسانه‌ای تعریف شده است [2]. در اصطلاح کمی و کیفی، ویژگی‌های کیفیت سرویس به گذردهی، بسته‌های ازدست‌رفته، تأخیر، لرزش و پهنای باند مورد نیاز در شبکه اشاره دارد. استاندارد IEEE802.11e با تعریف مکانیسم‌های اولویت تلاش دارد تا از کیفیت سرویس مورد نظر کاربران پشتیبانی کند. تابع هماهنگی ترکیبی<sup>1</sup> (HCF) روش اصلی کنترل دسترسی به رسانه در استاندارد IEEE802.11e است. HCF یک تابع هماهنگی متمرکز است که ترکیبی از توابع DCF و PCF را با مکانیسم افزایش کیفیت سرویس برای ارائه خدمات متمایز ایجاد می‌کند [3]. HCF شامل دو روش دسترسی است دسترسی به کانال بر اساس رقابت<sup>2</sup> (که EDCA نامیده می‌شود) و مکانیسم دستیابی کنترل شده به کانال<sup>3</sup> (HCCA). روش EDCA مبتنی بر رقابت 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 در نظر گرفته شده است [4]. البته در این مقاله HCCA، مدنظر نیست و به جای آن تمرکز تنها بر روی مکانیسم EDCA هست. یکی از پارامترهای مهم EDCA، پارامتر TXOP است. TXOP بازه زمانی‌ای است که در آن یک ایستگاه خاص اجازه پیدا می‌کند بسته‌های خود را منتقل کند. در استاندارد 802.11e پارامتر TXOP ثابت فرض شده است که با توجه تحقیقات انجام شده تنظیم پویا TXOP بر اساس پارامترهایی نظیر شرایط کانال، متوسط نرخ داده، میزان بار شبکه، حداقل نرخ داده‌ی لایه فیزیکی و اندازه فریم‌ها باعث بهبود شبکه از لحاظ عدالت و کیفیت سرویس می‌شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی روش‌های تنظیم پویا TXOP جهت برقراری عدالت در شبکه‌های چندنرخ بر اساس ویژگی‌های بار ترافیکی شبکه و تعداد بسته‌های از دست رفته و همچنین روش‌های بهبود کیفیت سرویس با توجه به شرایط پویا شبکه، وضعیت فعلی طول صف و نیازهای گذردهی شبکه می‌باشد. در بخش ۲ مقاله مروری بر تابع EDCA آمده است. در بخش ۳، دسته‌بندی روش‌های تنظیم پویا TXOP نشان داده خواهد شد. در بخش ۴ و ۵، به ترتیب روش‌های تنظیم پویا TXOP مبتنی بر عدالت و بهبود کیفیت سرویس مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و معایب و مزایای روش‌ها گفته می‌شود. در بخش ۶، جمع‌بندی بحث را خواهیم داشت.

## ۲. دسترسی به کانال بهبود یافته توزیع شده (EDCA)

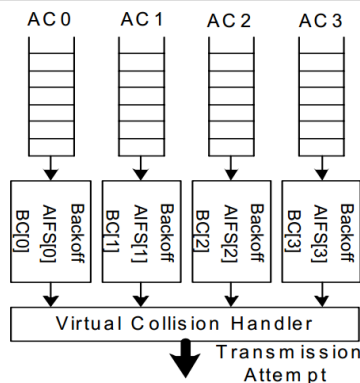
استاندارد 802.11e چهار رده‌ی دسترسی<sup>4</sup> تعریف می‌کند که هر رده، صف ارسال و پارامترهای ویژه خود را دارا می‌باشد [5]. چهار رده‌ی دسترسی عبارت‌اند از AC\_VO، AC\_BE، AC\_VI و AC\_VO که به ترتیب بیانگر ترافیک پس‌زمینه، ترافیک بهترین تلاش، ترافیک تصویر و ترافیک صدا هستند که در آن AC\_VO دارای کمترین اولویت و AC\_VO دارای بالاترین اولویت است [6]. این رده‌های دسترسی به وسیله چهار صف مجزا با مکانیسم CSMA/CA پیاده‌سازی می‌شوند (شکل ۱). بسته‌های رسیده، به یکی از این صف‌های ارسال مستقل اختصاص می‌یابند [7].

<sup>1</sup> Hybrid coordination function

<sup>2</sup> Enhanced distributed channel access

<sup>3</sup> HCF controlled channel access

<sup>4</sup> Access category



شکل ۱. صف‌های مختلف چهار رده‌ی دسترسی در IEEE802.11e

به‌منظور پشتیبانی از کیفیت سرویس، EDCA پارامترهایی را تعریف می‌کند که شامل فرصت انتقال<sup>۱</sup> (TXOP)، پنجره‌ی رقابت<sup>۲</sup> (CW) و فاصله‌ی بین فریمی قراردادی<sup>۳</sup> (AIFS) است. فرصت ارسال در اصطلاح به مدت‌زمانی گفته می‌شود که ایستگاه پس از دسترسی به رسانه، مجاز است داده‌های خود را بدون شرکت در رقابت مجدد، ارسال نماید [8]. فرصت ارسال دارای محدوده‌ای است که به آن TXOPlimit گفته می‌شود و حداکثر مدت‌زمانی است که ایستگاه می‌تواند داده‌های خود را در قالب چندین فریم ارسال نماید. پنجره‌ی رقابت بازه‌ی زمانی را مشخص می‌کند که مدت عقب‌گرد به‌صورت تصادفی از آن انتخاب می‌گردد و فاصله‌ی بین فریمی قراردادی حداقل مدت‌زمانی که رسانه باید در EDCA بی‌کار بماند قبل از آن که یک ایستگاه شروع به ارسال نماید یا به حالت عقب‌گرد وارد شود. مقادیر پیش‌فرض برای پارامترهای EDCA در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مقادیر پیش‌فرض پارامترهای EDCA

رده دسترسی	AC	CW <sub>min</sub>	CW <sub>max</sub>	AIFSN	TXOP Limit
AC_BK	0	7	0	7	0
AC_BE	1	3	0	3	0
AC_VI	2	2	6.016ms	2	3.008ms
AC_VO	3	2	3.264ms	2	1.504ms

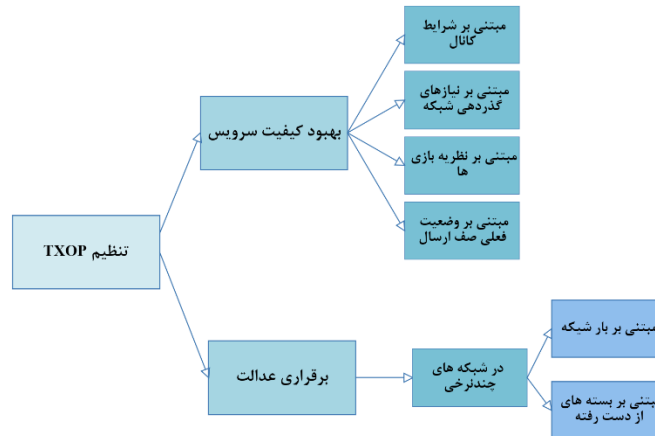
### ۳. تنظیم پویا TXOP

مکانیسم‌ها و روش‌های متعددی برای تنظیم پویا TXOP ارائه شده است به‌طور کلی می‌توان این روش‌ها را به دودسته کلی تقسیم کرد یکی تنظیم پویا TXOP جهت برقراری عدالت در شبکه‌های چند نرخی و دسته دیگر تنظیم پویا TXOP جهت بهبود پارامترهای کیفیت سرویس (تأخیر و گذردهی و ...) بر اساس شرایط پویا شبکه است. در ادامه به بررسی روش‌های مبتنی بر عدالت در شبکه‌های چند نرخی و روش‌های مبتنی بر بهبود کیفیت سرویس می‌پردازیم. شکل ۲ دسته‌بندی مربوط به تنظیم پویا TXOP را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Transmission opportunity

<sup>2</sup> Contention window

<sup>3</sup> Arbitration Inter-Frame Spacing



شکل ۲. روش‌های تنظیم پویا TXOP

#### ۴. تنظیم پویا TXOP مبتنی بر عدالت

در شبکه‌های چند نرخ می‌توان بسته‌های منتقل شده در یک دوره‌ی معین از زمان به نرخ انتقال داده وابسته است بنابراین زمانی که شبکه‌های محلی مبتنی بر 802.11e از طراحی چند نرخ استفاده می‌کنند، TXOP ثابت سبب بی‌عدالتی می‌شود. در واقع در صورت استفاده از TXOP‌های ثابت برای همه، ایستگاهی که نرخ داده‌ی بالاتری دارد، داده‌ی بیشتری نسبت به ایستگاه(های) با نرخ داده‌ی کمتر ارسال می‌کند. برای رفع این مشکل، مکانیسم‌هایی برای تولید TXOP‌های جدید و سازگار با شرایط شبکه پیشنهاد شده است؛ که در ادامه به بررسی روش‌هایی جهت رفع این مشکل می‌پردازیم. به‌منظور رفع مشکل بی‌عدالتی در شبکه‌های چند نرخ روشی به نام (ATXOP) توسط نویسندگان [9] در نظر گرفته شده است. در این روش ایستگاه‌هایی که نرخ داده کمتری دارند، TXOP بیشتری نسبت به ایستگاه‌های با نرخ داده بالاتر دریافت می‌کنند تا فرصت بیشتری برای ارسال بسته‌های خود داشته باشند. نحوه عملکرد این روش به این صورت است که ابتدا متوسط نرخ ارسال همه‌ی ایستگاه‌های موجود در شبکه محاسبه و سپس نرخ ارسال جاری هر ایستگاه با نرخ متوسط مقایسه می‌شود اگر نرخ جاری از نرخ متوسط پایین‌تر یا بالاتر باشد مقدار TXOP با ضربی از نسبت نرخ جاری به نرخ متوسط ارسال شبکه تغییر می‌کند. برای افزایش عدالت و تخصیص منابع میان جریان‌های ارسالی و دریافتی در شبکه‌های بی‌سیم روشی پویا به نام DTAF ارائه شده است [10]. در این روش، یک پارامتر جدید به نام نرخ توقف<sup>۱</sup> (FR) تعریف شده است که به‌عنوان تعیین‌کننده شرایط شبکه استفاده می‌شود. نرخ توقف از دو پارامتر زمان عقب‌گرد اولیه و زمان توقف به دست می‌آید؛ زمان توقف زمانی است که سایر ایستگاه‌ها شمارنده‌ی عقب‌گرد خود را متوقف می‌کنند. چون هر ایستگاه بایستی مقدار شمارنده‌ی عقب‌گرد پنجره‌ی رقابت خود را قبل آن که به صفر برسد و درحالی‌که سایر ایستگاه‌ها در حال ارسال هستند متوقف کند، عدد شمارنده‌ی زمان‌های توقف هر ایستگاه نشان‌دهنده‌ی شرایط بار در آن زمان است؛ و سپس پارامتر TXOP بر اساس شرایط بار شبکه تنظیم می‌شود.

کیم و همکاران روشی بر اساس نرخ مشغولی کانال<sup>۲</sup> (CBR)، برای تعیین مقدار TXOP به‌منظور حل مشکل عدالت ارائه کرده‌اند [11]. در این روش نرخ مشغولی کانال یا همان بار ترافیک شبکه از طریق تقسیم مدت‌زمان مشغولی کانال به

<sup>1</sup> Freezing Rate

<sup>2</sup> Channel Busy Ratio

مدت زمان ارسال محاسبه می‌شود. سپس بر اساس مقایسه این نرخ مشغولی با یک مقدار آستانه، مقادیر TXOP جدید بر اساس نرخ مشغولی کانال به دست می‌آید. نتایج استفاده از روش CBR نشان می‌دهد با افزایش میزان CBR، مقدار TXOP بایستی کاهش یابد؛ یعنی هرچه شبکه بیشتر مشغول و بار بیشتری داشته باشد، فرصت ارسال کمتری در اختیار بسته‌های فعلی قرار می‌گیرد تا سایر بسته‌ها نیز بتوانند ارسال شوند. در ادامه نویسندگان مقاله [12] روش‌های مختلفی برای هر کلاس ترافیک به منظور تعیین مقدار TXOP به صورت پویا ارائه کرده‌اند تا عدالت را با تفاوت میان TXOPها در کلاس‌ها ایجاد کنند. در این روش، مقدار TXOP مسیریاب‌ها بر اساس میزان بسته‌های ازدست‌رفته و یا تعداد ایستگاه‌ها تعیین می‌شود. منظور از بسته‌های ازدست‌رفته، بسته‌های ارسال شده‌ای است که هنوز در مبدأ ACK آن‌ها دریافت نشده است. برای کلاس صدا، مقدار TXOP از رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید که در آن  $N$  تعداد ایستگاه‌های بی‌سیم است.

$$TXOP_{router} = N \times TXOP_{QSTA} \quad (1)$$

و برای کلاس ترافیک ویدئو مقدار TXOP بر اساس مقایسه‌ی بسته‌های ازدست‌رفته با یک مقدار آستانه محاسبه می‌شود و بر اساس این مقایسه، مقدار TXOP تعیین می‌شود (رابطه (۲)).  $\alpha$  یک مقدار آستانه است که برای تنظیم رفتار الگوریتم به کار می‌رود و مقدار آن برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است. همچنین  $L(i-1)$  بیانگر تعداد بسته‌های ازدست‌رفته در  $i-1$  آمین زمان بررسی است.

$$if |L(i-1)| < \alpha$$

$$TXOP_{router}(i) = TXOP_{router}(i-1) \times \frac{N}{N-1} \quad (2)$$

Else

$$TXOP_{router}(i) = \left( TXOP_{router}(i-1) + \left[ TXOP_{QSTA} \times \frac{L(i-1)}{\alpha} \right] \right) \times \frac{N}{N-1}$$

کیم و سئواز متوسط تعداد بسته‌های ارسالی (رابطه‌ی (۳)) هر ایستگاه در طول مدت TXOP، برای تعیین مقدار TXOP به منظور بهبود عدالت استفاده می‌کنند [13]. در رابطه‌ی (۳)،  $N$  تعداد ایستگاه‌های شبکه و  $\sum k^j [AC = i]$  مجموع مقدار  $k^j [AC = i]$  که بیانگر تعداد بسته‌های ارسال شده ایستگاه  $z$  در  $AC_i$  است. برای محاسبه TXOP جدید از رابطه‌ی (۴) استفاده می‌شود که در آن  $t_{data}^j [AC = i]$  زمان ارسال یک بسته‌ی داده ایستگاه  $z$  در  $AC_i$  است که شامل زمان ارسال یک بسته‌ی داده به اضافه‌ی زمان ACK است.

$$Avg(k[AC]) = \left[ \frac{\sum k^j [AC=i]}{N} \right] \quad (3)$$

$$TXOP_{new}^j [AC = i] = Avg(k[AC]) \times t_{data}^j [AC = i] \quad (4)$$

علاوه بر نرخ انتقال داده وجود گره‌های مخرب هم می‌تواند باعث ایجاد بی‌عدالتی شود زیرا یک گره مخرب می‌تواند کانال را برای مدت طولانی در اختیار بگیرد و باعث ناکارآمدی شبکه شود بدین جهت در [14] رفتار نامناسب یک گره مخرب مبتنی بر 802.11e معرفی و راه‌حلی برای آن بیان شده است. در این مقاله ابتدا روشی به منظور کشف این رفتار نامناسب ارائه شده است که بر اساس ذخیره‌ی مقدار بازه‌ی زمانی تخصیص یافته به هر ایستگاه انجام می‌شود. سپس مقدار TXOP برای هر ایستگاه محاسبه می‌شود. در صورتی که مقدار تخصیص یافته از حداکثر مقدار TXOP بیشتر باشد، آن ایستگاه به عنوان ایستگاه مخرب در نظر گرفته می‌شود. پس از کشف ایستگاه مخرب، برای آن ایستگاه مجازاتی در نظر گرفته می‌شود که این مجازات شامل معلق شدن آن ایستگاه برای بازه‌های زمانی مشخصی است. با اعمال این روش در مقایسه باحالتی که گره مخرب در شبکه وجود داشته باشد و برخوردی با آن نشود، پهنای باند به صورت عادلانه‌تری میان گره‌ها تقسیم می‌شود.

به منظور دستیابی به عدالت در شبکه‌های بی‌سیم چند گامی، یک روش تخصیص TXOP که با استاندارد اصلی مطابقت دارد و نیازی به تغییر در آن برای استفاده در سخت‌افزارها و پروتکل‌های فعلی وجود ندارد، در [15] معرفی شده است. در این حالت، تعداد جریان‌های موجود در کانال، برابر با  $n$  در نظر گرفته شده است. سپس دو روش برای تعیین مدت زمان TXOP

در نظر گرفته می‌شود. در روش اول از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌شود. در این رابطه  $T_{now}$  مدت‌زمان موردنیاز برای ارسال یک بسته در نرخ فیزیکی فعلی است. با استفاده از این روش، کلاس پیروز در رقابت مجاز است تعداد  $n$  بسته را در مدت‌زمان TXOP جدید ارسال کند. در روش دوم، از رابطه‌ی (۶) استفاده می‌شود. در این رابطه  $T_{max}$  زمان موردنیاز برای ارسال یک بسته در کمترین نرخ فیزیکی (1Mbps در 802.11b/g و 6Mbps در 802.11a) است. در این روش نیز جریان‌های انباشته‌شده بدون توجه به نرخ داده‌ی فیزیکی واقعی خود، فرصت ارسال پیدا می‌کنند. درحالی‌که در حالت استاندارد، بسته‌هایی با نرخ داده‌ی بالاتر فرصت بیشتری برای ارسال دارند و تعداد بسته‌های بیشتری نسبت به بسته‌های با نرخ پایین‌تر ارسال می‌کنند که موجب عدم برقراری عدالت می‌شود.

$$TXOP = n \times T_{now} \quad (۵)$$

$$TXOP = n \times T_{max} \quad (۶)$$

خلاصه‌ای از روش‌هایی که در این بخش ارائه شد و مزایا و معایب آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. بررسی روش‌های تعیین TXOP مبتنی بر عدالت

مرجع	هدف و اساس روش	مزایا	معایب
[9]	افزایش عدالت برای داده‌های با نرخ‌های متفاوت	افزایش عدالت در یک کلاس	برقراری عدالت برای جریان‌های یک کلاس
[10]	تخصیص TXOP به‌منظور دستیابی به عدالت	بهبود عدالت	عدم تخصیص TXOP با توجه به شرایط شبکه
[11]	تعیین TXOP بر اساس نرخ مشغولی کانال	بهبود عدالت	در نظر نگرفتن اولویت‌های مختلف ترافیک در تعیین مقدار TXOP
[12]	تعیین مقدار TXOP برای هر کلاس ترافیک	بهبود گذردهی و تأخیر	عدم وجود عدالت در میان کلاس‌های مختلف
[13]	تعیین مقدار TXOP برای افزایش عدالت	ایجاد عدالت میان داده‌های با نرخ‌های بالا و پایین یک کلاس	عدم کلاس‌بندی و اولویت‌بندی میان کلاس‌های مختلف
[14]	کشف رفتار نامناسب یک گره‌ی مخرب	تقسیم عادلانه‌ی پهنای باند	عدم توجه به تأخیر و ناکارآمدی در شبکه‌ی چند گامی
[15]	تخصیص TXOP به‌منظور دستیابی به عدالت	بهبود عدالت در گذردهی برای نرخ‌های بالا و پایین فیزیکی	عدم استفاده از تخصیص TXOP به‌صورت پویا

## ۵. تنظیم پویا TXOP مبتنی بر بهبود کیفیت سرویس

شبکه بی‌سیم یک شبکه پویا است بدین معنی که تعداد گره‌های فعال، شرایط کانال و میزان ترافیک ایستگاه‌ها دائماً در حال تغییر است. در استاندارد پارامترهای دسترسی به کانال ایستا تعریف شده‌اند بدیهی است که با توجه به شرایط پویا شبکه بایستی این پارامترها نیز تغییر نمایند تا بهره‌وری بیشتری از کانال و منابع شبکه داشته باشیم و کیفیت سرویس را بهبود داد. در نتیجه با توجه به شرایط پویا شبکه مکانیسم‌هایی برای تولید TXOP‌های جدید و سازگار پیشنهاد شده است؛ که در ادامه به بررسی روش‌های تنظیم پویای TXOP جهت بهبود کیفیت سرویس می‌پردازیم.

یکی از عوامل پویا شبکه، بار ترافیکی شبکه می‌باشد که دائماً در حال تغییر است از این‌رو نویسندگان [16] روشی بر مبنای طول متوسط بسته و تعداد بسته‌های موجود در صف به‌منظور بهبود کیفیت سرویس با تنظیم مقدار TXOP، ارائه

کرده‌اند. در این روش TXOP از رابطه‌ی (۷) به دست می‌آید که در آن  $Pq\_length$  طول بسته‌ی متوسط و  $N$  تعداد متوسط بسته‌های در صف است.

$$TXOP = N \times Pq\_length \quad (۷)$$

رابطه‌ی (۸) زمانی به مقدار حداکثر خود می‌رسد که حداکثر اندازه‌ی داده همراه با کمترین نرخ فیزیکی مورد استفاده قرار گیرد و تعداد متوسط بسته‌های در صف برابر با ماکزیمم طول بافر باشد. بنابراین در برخی شرایط ازدحام، مدت‌زمان TXOP به مقدار زیادی می‌رسد و به بسته‌های یک کلاس اجازه می‌دهد تا تمامی پهنای باند را اشغال کنند که این امر با عدالت در تناقض است. بنابراین در این مقاله برای محدود کردن TXOP، تعداد بسته‌های موجود در صف را به صورتی بهینه تعیین می‌کنند. برای این کار از رابطه‌ی ۸ استفاده می‌شود که در آن مقداری تخمینی برای تعداد بسته‌ها ( $Estimated_{size_n}$ ) با توجه به مقدار قبلی ( $Estimated_{size_{n-1}}$ ) و اندازه صف ( $actual_{q_{size}}$ ) بر اساس رابطه‌ی متوسط‌گیری به دست می‌آید.

$$Estimated_{size_n} = Estimated_{size_{n-1}} + actual_{q_{size}} \quad (۸)$$

همچنین به منظور کاهش میزان تأخیر و افزایش گذرده‌ی یک روش تعیین TXOP برای ترافیک‌های صدا و تصویر ارائه شده است [17]. در این روش، مقدار TXOP بر اساس زمان ارسال و اندازه یک بسته از رابطه‌ی (۹) به دست می‌آید؛ که  $N_p$  تعداد بسته‌هایی است که بایستی ارسال شود و  $T_p$  زمان مورد نیاز برای ارسال یک بسته‌ی ویدئو است.

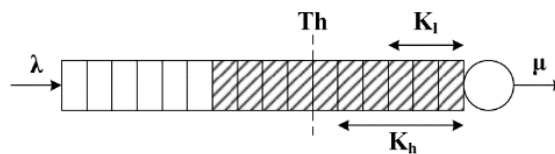
$$TXOP_{new} = \lceil N_p \times T_p \rceil \quad (۹)$$

برای شبکه‌های متراکم، TXOP یک ابزار مؤثر برای ایجاد عدالت است زیرا به یک گره اجازه می‌دهد تا با احتمال کمتر دسترسی به کانال، برای مدت‌زمان بیشتری برای ارسال فرصت داشته باشد؛ اما با افزایش تراکم در شبکه نرخ برخورد هم افزایش می‌یابد که افزایش نرخ برخورد باعث افزایش نرخ از دست رفتن بسته‌ها می‌شود از این رو ما و همکاران [18] روشی ارائه کردند تا با تنظیم درست مقادیر TXOP، نرخ از دست رفتن بسته‌ها که منجر به کاهش گذرده‌ی در شبکه می‌شود کاهش یابد. در این روش ابتدا Tx که تعداد فریم‌های ارسال شده در یک ثانیه است محاسبه می‌شود. سپس این مقدار با یک مقدار آستانه مقایسه می‌شود. در صورتی که Tx از مقدار آستانه کمتر باشد، مقدار TXOP یکی یکی افزایش می‌یابد تا به مقدار حداکثر خود برسد. الگوریتم RED<sup>۱</sup> یک روش تعیین مقدار TXOP برای کلاس ویدئو به منظور کاهش میزان تأخیر ارائه می‌دهد که بر مبنای طول صف و مقدار آستانه است [19]. روش کار به این صورت است که دو مقدار آستانه پایین و بالا برای صف در نظر گرفته شده است اگر طول صف کمتر از آستانه پایین باشد حداقل مقدار TXOP استفاده می‌شود و اگر طول صف بیشتر از آستانه بالا باشد حداکثر مقدار TXOP استفاده می‌شود و اگر طول صف بین آستانه پایین و بالا باشد TXOP به طور خطی با طول صف افزایش می‌یابد. این روش باعث می‌شود تا میزان تأخیر در کلاس ویدئو کاهش یابد. لی و همکاران الگوریتمی توزیع شده و تطبیقی برای تنظیم مقدار TXOP بر اساس نیازهای گذرده‌ی شبکه پیشنهاد کرده‌اند [20]. عملکرد آن به این صورت است که هر ایستگاه، گذرده‌ی خود را در یک پنجره اندازه‌گیری نموده و آن را با گذرده‌ی هدف که از قبل تعیین شده است مقایسه می‌کند. اگر مقدار اندازه‌گیری شده از مقدار هدف بیشتر باشد، TXOP را کاهش می‌دهد و در غیر این صورت آن را افزایش می‌دهد. این روش نیز می‌تواند با توجه به شرایط شبکه به صورت پویا، از ایجاد ازدحام جلوگیری و آن را کنترل نماید. در اکثر کارهای انجام شده توجه خاصی به وضعیت کانال نشده است و کانال بدون خطا و ایده آل در نظر گرفته شده است، در مقاله [21] بر مبنای اندازه‌گیری شرایط کانال، تخصیص TXOP پویا در هر ایستگاه انجام می‌شود. در این روش پیش‌بینی شرایط کانال بر اساس سه نوع احتمال مختلف شامل احتمال خطای موجود در کانال، احتمال تصادم در کانال و احتمال ارسال موفق در شبکه محاسبه می‌شود. بدین صورت که به محض ورود یک جریان جدید به ایستگاه، ایستگاه شروع به برآورد احتمال ارسال موفق (Ps) بر اساس احتمالات خطا در کانال و تصادم در کانال می‌کند. پس از آن، ایستگاه‌ها احتمال برآورد شده را با مقدار آستانه مقایسه می‌کند. مقدار آستانه، معیاری برای تعیین شرایط کانال است که توسط آزمایش

<sup>1</sup> Random Early Detection

تعیین می‌شود بدین صورت که اگر احتمال Ps 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. این روش باعث کاهش تأخیر و افزایش گذردهی در کل شبکه می‌شود اما از معایب این روش در نظر نگرفتن سبزه‌ها می‌باشد که برای حل این مشکل روشی [22] پیشنهاد شده است مشابه روش [21]، با این تفاوت که طول بسته داده‌ها در محاسبه TXOP پویا برای ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده است.

نظریه‌ی بازی‌ها یک ابزار محاسباتی است که به بررسی تصمیم‌گیری در یک محیط اشتراکی با چندین تصمیم‌گیرنده که اهداف مختلفی در ذهن دارند و تصمیماتشان بر یکدیگر تأثیر می‌گذارد، می‌پردازد. گره‌های یک شبکه‌ی بی‌سیم و فرصت انتقال آن‌ها مثال خوبی از این محیط تعاملی است. بنابراین این روش می‌تواند در شبکه‌های چند گامی بی‌سیم استفاده شود. GTXOP نام روشی است که از نظریه‌ی بازی‌ها برای تعیین مقادیر TXOP به منظور کاهش سربار شبکه و افزایش کارایی و گذردهی استفاده شده است [23]. در این روش هر ایستگاه بی‌سیم به عنوان یک بازیکن در نظر گرفته می‌شود و انتخاب TXOP به عنوان عمل آن بازیکن است. ایستگاه برنده می‌تواند چندین فریم موفق را تا زمانی که از محدوده‌ی فرصت انتقال بیشتر نشده است، ارسال نماید. به منظور جلوگیری از حذف داده‌های ناشی از سرریز صف‌های ارسال در ایستگاه‌ها، یک مکانیسم تنظیم‌کننده‌ی پویای TXOP بر اساس وضعیت فعلی صف‌های ارسال ایستگاه‌های شبکه، برای تطبیق با ترافیک‌های رگباری و یا عادی، به نام TBD-TXOP ارائه گردیده است [24]. در این مکانیسم که نوعی روش کنترل‌کننده‌ی ازدحام در شبکه است، ترافیک‌های همسان را که باعث ایجاد ازدحام در شبکه می‌شود تشخیص داده و ترافیک رگباری ناشی از آن‌ها را کنترل می‌نماید. نحوه عملکرد این روش بدین صورت است که هر صف ارسال یک مقدار آستانه دارد (شکل ۳) که اندازه‌ی صف با این مقدار آستانه مقایسه می‌شود تا زمانی که طول صف کمتر از آستانه باشد مقدار TXOP ثابت و برابر با مقدار پیش‌فرض است اما در صورت تجاوز طول صف از حد آستانه، TXOP به یک مقدار جدید بزرگ‌تر از مقدار پیش‌فرض افزایش می‌یابد.



شکل ۳. یک نمونه صف برای طرح TBD-TXOP [24]

در شبکه‌های مبتنی بر 802.11e در صورتی که نرخ ورود به یک کلاس ترافیکی بسیار زیاد باشد احتمال از بین رفتن بسته به دلیل سرریز بافر افزایش و گذردهی در شبکه کاهش می‌یابد. نمازی به منظور جلوگیری از هدر رفتن بسته‌ها روشی ارائه کرده است که در این روش در صورتی که امکان سرویس به بسته‌ها در صف ارسال وجود نداشته باشد به جای از بین رفتن بسته‌ها سطح سرویس آن‌ها را کاهش می‌یابد بدین منظور به هر کلاس سرویس وزنی بر اساس WFQ اختصاص داده می‌شود و پهنای باند در میان کلاس‌های سرویس بر اساس این وزن‌ها تقسیم می‌شود (نرخ سرویس برای هر کلاس). با رسیدن هر بسته به گره، نرخ متوسط داده‌ی دریافتی با نرخ سرویس مقایسه می‌شود. اگر نرخ متوسط داده از نرخ سرویس کم‌تر باشد، بسته‌ها در همان کلاسی که هستند 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 [25]. خلاصه‌ای از روش‌هایی که در این بخش ارائه شد و مزایا و معایب آن‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است.



جدول ۳. بررسی روش‌های تعیین TXOP مبتنی بر کیفیت سرویس

مرجع	هدف و اساس روش	مزایا	معایب
[16]	بهبود کیفیت خدمات با تنظیم مقدار TXOP	بهبود تأخیر و تعداد بسته‌های دریافتی	عدم مقایسه‌ی کلاس‌ها
[17]	تعیین TXOP برای ترافیک‌های صدا و تصویر	بهبود گذردهی و تأخیر	نظر نگرفتن سطوح و اولویت‌های مختلف ترافیک
[18]	کاهش نرخ دورریز بسته‌ها	افزایش گذردهی	عدم توجه به اولویت‌های ترافیک‌های مختلف داده
[19]	تعیین مقدار TXOP برای کلاس ویدئو با یک روش تشخیص زود هنگام تصادفی	کاهش میزان تأخیر	بی‌توجهی به سایر کلاس‌های ترافیک
[20]	تنظیم مقدار TXOP بر اساس نیازهای گذردهی شبکه	جلوگیری از ازدحام و کنترل آن	عدم اولویت‌بندی برای تنظیم مقادیر TXOP
[21]	تخصیص TXOP پویا بر مبنای پیش‌بینی شرایط دقیق کانال	کاهش تأخیر و افزایش گذردهی	نظر نگرفتن سطوح و اولویت‌های مختلف ترافیک
[22]	تخصیص TXOP پویا بر مبنای پیش‌بینی شرایط دقیق کانال	کاهش تأخیر و افزایش گذردهی	نظر نگرفتن سطوح و اولویت‌های مختلف ترافیک
[23]	استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها به منظور کاهش سربار شبکه و افزایش کارایی و گذردهی	بهبود گذردهی و تأخیر	عدم توجه به اولویت‌بندی ترافیک
[24]	مکانیسم تنظیم‌کننده پویای TXOP که بر اساس وضعیت فعلی صف‌های ارسال	افزایش بهره‌وری به‌نای باند	نظر نگرفتن سطوح و اولویت‌های مختلف ترافیک
[25]	یک مکانیسم تنظیم پویای TXOP برای گره‌های میانی	بهبود گذردهی و تأخیر برای هر کلاس سرویس	عدم تعیین وزن به‌صورت پویا

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، استاندارد IEEE802.11e به همراه پارامترها و ویژگی‌های آن معرفی شد. این استاندارد به‌منظور ایجاد کیفیت سرویس، در شبکه‌های بی‌سیم ایجاد شده است و به این منظور چهار رده‌ی دسترسی با اولویت‌های مختلف تعریف می‌شود. یکی از پارامترهای مهم در استاندارد 802.11e پارامتر فرصت ارسال است که به مدت‌زمانی گفته می‌شود که ایستگاه پس از دسترسی به رسانه، مجاز است داده‌های خود را بدون شرکت در رقابت مجدد، ارسال نماید. در استاندارد این پارامتر برای همه‌ی ایستگاه‌ها، بدون توجه به شرایط پویای شبکه ثابت و پیش‌فرض در نظر گرفته شده که این امر مشکلاتی از قبیل بی‌عدالتی در شبکه‌های چند نرخ، افزایش تأخیر، افزایش نرخ از بین رفتن بسته و کاهش گذردهی را به دنبال دارد. جهت برقراری عدالت در شبکه‌های چندنرخ و بهبود پارامترهای کیفیت سرویس نظیر تأخیر و گذردهی روش‌هایی مبتنی بر شرایط کانال، نیازهای گذردهی شبکه، نظریه بازی‌ها، وضعیت فعلی صف ارسال، بار شبکه و تعداد بسته‌های از دست رفته ارائه شده است که در این پژوهش نحوه عملکرد این روش‌ها در تنظیم پویای TXOP و نقاط قوت و ضعف هر یک هر کدام از آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. نکته قابل توجه این است که در اکثر روش‌های ارائه شده اولویت بندهای سطوح مختلف ترافیک که اساس استاندارد 802.11e می‌باشد در نظر گرفته نشده و یا به میزان کافی به آن توجه نشده است به‌طوری که در روش‌هایی که به‌منظور افزایش عدالت در شبکه مطرح شده، تمرکز روی نرخ‌های مختلف در یک کلاس

ترافیک است نه تمامی کلاس‌های ترافیک؛ بنابراین بهبود عدالت میان کلاس‌های مختلف با وجود اولویت‌های مختلف یکی از موضوعات تحقیق در شبکه‌های بی‌سیم است.

#### ۷. مراجع

1. Pavon, J. P., & Choi, S. (2003). *Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via received signal strength measurement*. Paper presented at the Communications, 2003. ICC'03. IEEE International Conference on.
2. Cecchetti, G., Ruscilli, A. L., Mastropaolo, A., & Lipari, G. (2012). *Providing variable TXOP for IEEE 802.11 e HCCA real-time networks*. Paper presented at the Wireless communications and networking conference (WCNC), 2012 IEEE.
3. Yu, X., Navaratnam, P., & Moessner, K. (2013). Resource reservation schemes for IEEE 802.11-based wireless networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(3), 1042-1061.
4. Fu, Q., Chen, Z., Jiang, Y., & LI, R. (2014). A Cross-layer QoS scheme based on EDCA in multi-hop wireless mesh networks. *Journal of Computational Information Systems*, 2(10), 817-825.
5. Takahashi, A., Komuro, N., Sakata, S., Shioda, S., & Murase, T. (2010). *Receiving opportunity control used admission control scheme for wireless multi-hop networks*. Paper presented at the Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2010 International Conference on.
6. Kaur, D., & Arora, V. (2012). Performance evaluation of IEEE 802.11 e QoS enhancements. *International journal of advanced research in computer science and software engineering*, 6, 99-105.
7. Gorripati, R., Rathnamma, M., VenkataRamana, V., & Reddy, P. C. Study of Quality of Service by using 802.11 e.
8. Tainaka, T., Masuyama, H., Kasahara, S., & Takahashi, Y. (2011). Performance analysis of burst transmission mechanism for IEEE 802.11-based multi-hop wireless LANs. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10(9), 2908-2917.
9. Kim, E., & Suh, Y.-J. (2004). *ATXOP: an adaptive TXOP based on the data rate to guarantee fairness for IEEE 802.11 e wireless LANs*. Paper presented at the Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th.
10. Guo, N., Chen, C., & Pei, C.-x. (2006). *Dynamic TXOP Assignment for Fairness (DTAF) in IEEE 802.11 e WLAN under heavy load conditions*. Paper presented at the Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2006. PDCAT'06. Seventh International Conference on.
11. Kim, S., & Cho, Y. (2013). Adaptive transmission opportunity scheme based on delay bound and network load in IEEE 802.11 e wireless LANs. *Journal of applied research and technology*, 11(4), 604-611.
12. Andreadis, A., & Zambon, R. (2007). *QoS enhancement for multimedia traffics with dynamic TXOPlimit in IEEE 802.11 e*. Paper presented at the Proceedings of the 3rd ACM workshop on QoS and security for wireless and mobile networks.

13. Kim, E., & Suh, Y.-J. (2007). *A rate adaptive transmission opportunity for fairness over IEEE 802.11 e wireless lans*. Paper presented at the Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on.
14. woon Ahn, Y., Baek, J., Cheng, A. M. K., Fisher, P. S., & Jo, M. (2011). A fair transmission opportunity by detecting and punishing the malicious wireless stations in IEEE 802.11 e EDCA network. *IEEE Systems Journal*, 5(4), 486-494.
15. Li, T., Leith, D. J., Badarla, V., Malone, D., & Cao, Q. (2011). Achieving end-to-end fairness in 802.11 e based wireless multi-hop mesh networks without coordination. *Mobile Networks and Applications*, 16(1), 17-34.
16. Majkowski, J., & Palacio, F. C. (2006). *Dynamic TXOP configuration for Qos enhancement in IEEE 802.11 e wireless LAN*. Paper presented at the Software in Telecommunications and Computer Networks, 2006. SoftCOM 2006. International Conference on.
17. Cranley, N., & Davis, M. (2007). *An experimental investigation of IEEE 802.11 e TXOP facility for real-time video streaming*. Paper presented at the Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM'07. IEEE.
18. Ma, H., & Roy, S. (2008). *Contention window and transmission opportunity adaptation for dense IEEE 802.11 WLAN based on loss differentiation*. Paper presented at the Communications, 2008. ICC'08. IEEE International Conference on.
19. Feng, Z., Wen, G., Zou, Z., & Gao, F. (2009). *RED-TXOP scheme for video transmission in IEEE802. 11E EDCA WLAN*. Paper presented at the Communications Technology and Applications, 2009. ICCTA'09. IEEE International Conference on.
20. Lee, J. Y., Hwang, H. Y., Shin, J., & Valaee, S. (2011). *Distributed optimal TXOP control for throughput requirements in IEEE 802.11 e wireless LAN*. Paper presented at the Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2011 IEEE 22nd International Symposium on.
21. Ju, K., Lee, D., & Chung, K. (2012). *Dynamic TXOP allocation to support QoS based on channel conditions in wireless networks*. Paper presented at the Computing Technology and Information Management (ICCM), 2012 8th International Conference on.
22. Yazdani, M., Kamali, M., Moghim, N., & Ghazvini, M. (2016). A fair access mechanism based on TXOP in IEEE 802.11 e wireless networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 8(1).
23. Ghazvini, M., Movahedinia, N., & Jamshidi, K. (2013). GTXOP: A game theoretic approach for QoS provisioning using transmission opportunity tuning. *PloS one*, 8(5), e62925.
24. Hu, J., Min, G., & Woodward, M. E. (2014). Performance analysis of a threshold-based dynamic TXOP scheme for intra-AC QoS in wireless LANs. *Future Generation Computer Systems*, 38, 69-74.
25. Namazi, M., Moghim, N., Ghazvini, M., & Askarian, A. (2017). Dynamic TXOP Assignment in IEEE802. 11e Multi-hop Wireless Networks Based on an Admission Control Method. *Wireless Personal Communications*, 97(1), 749-772.