

**مدل جدید پویای D-EDCA برای بهبود سرویس های VoIP در شبکه های ac 802.11**مینا ملک زاده<sup>\*۱</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶	به دلیل حساس بودن داده های چند رسانه ای (صوت و ویدئو)، استاندارد ac 802.11 از روش EDCA برای اولویت بندی انواع داده ها استفاده می کند. این روش از چهار رده دسترسی پشتیبانی می کند در حالی که بالاترین اولویت به پکت های صوتی اختصاص می یابد. با این حال روش EDCA تنها زمانی که تعداد پکت های صوتی در مقایسه با تعداد پکت های معمولی اندک باشد عملکردی مناسب خواهد داشت. با افزایش تعداد پکت های صوتی، برخورد میان آنها افزایش می یابد که این امر منجر به افزایش تأخیر و بالا رفتن نرخ از دست رفتن پکت ها و در نتیجه کاهش کیفیت سرویس های VoIP می شود. برای حل مشکل EDCA، در این تحقیق یک مدل پویای جدید به نام D-EDCA پیشنهاد می شود. مدل پیشنهادی کیفیت لازم برای پکت های صوتی را با نظارت مداوم بر روی این پکت ها و صف مربوط به آن ها و همچنین تنظیم پویای پارامترهای مربوطه وقتی تعداد پکت های صوتی بالاتر از یک آستانه است را فراهم می آورد. علاوه بر این، به منظور اعتبار سنجی و مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA با روش EDCA، یک چارچوب پیشنهاد و طراحی می شود که در سه فاز مختلف مربوط به شبکه ac 802.11 کار می کند. نتایج حاصل از پیاده سازی مدل D-EDCA با روش EDCA از نظر پارامترهای ارزیابی شبکه با یکدیگر مقایسه می شوند. نتایج نشان می دهند که بکارگیری D-EDCA عملکرد سرویس های VoIP را در مقایسه با EDCA بطور قابل ملاحظه ای بهبود می بخشد.
<b>واژگان کلیدی:</b> ac 802.11 VoIP بازه محافظتی، عرض کانال، آنتن های رادیویی.	

**۱- مقدمه**

مدل سازی با هدف بهینه سازی کارایی سیستم های مختلف امری رایج می باشد [۱-۳]. به منظور اولویت بندی داده ها و فراهم آوردن سطح مورد نیاز کیفیت سرویس<sup>۲</sup> (QoS) آن ها، روش EDCA<sup>۳</sup> پکت های دریافت شده را با توجه به نوع آن ها در یکی از چهار رده دسترسی<sup>۴</sup> (AC) قرار می دهد. این چهار رده عبارتند از AC-VO<sup>۵</sup>، AC-VI<sup>۶</sup>، AC-، AC-V<sup>۷</sup> و BE<sup>۸</sup> و AC-BK<sup>۹</sup> که به ترتیب برای ارتباطات صوتی، ویدئو، معمولی و پس زمینه می باشند. پس از قرارداد پکت ها در رده مربوطه، ترتیب ارسال پکت ها بر اساس اولویت رده ای

که در آن قرار دارند صورت می گیرد به طوری که بالاترین اولویت ابتدا به فایل های صوتی، سپس ویدئویی، و در نهایت به پکت های معمولی و پس زمینه داده می شود. برای تضمین سطح مورد نیاز کیفیت در سرویس های چند رسانه ای ( صدا و ویدئو)، روش EDCA شامل سه فاکتور تعیین کننده پنجره رقابت<sup>۹</sup> (CW)، تعداد فاصله بین فریمی<sup>۱۰</sup> (AIFS) و فرصت ارسال<sup>۱۱</sup> (TXOP) می باشد. مقادیر این فاکتورها برای هر رده دسترسی مشخص و ثابت می باشد. هنگامی که یک کاربر قصد ارسال پکتی را دارد، ابتدا باید برای به دست آوردن دسترسی به کانال انتقال با

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.malekzadeh@hsu.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری

۴ Access Category

۵ Access Category Voice

۶ Access Category Video

۷ Access Category Best Effort

۸ Access Category Background

۹ Contention Window

۱۰ Arbitration Inter Frame Space

۱۱ Transmission Opportunity

۲ Quality of Service

۳ Enhanced Distribution Coordinate Access

نرخ از دست رفتن آن‌ها می‌شود [۶]. این موارد کارایی روش EDCA را کاهش داده و قادر به تضمین کیفیت سرویس پکت‌های VoIP<sup>f</sup> نخواهد بود. به منظور حل این مشکل، اولین هدف این پژوهش بهبود عملکرد روش EDCA در زمان بالابودن تراکم پکت‌های VoIP می‌باشد. به این منظور الگوریتم جدید و پویایی به نام D-EDCA<sup>۵</sup> پیشنهاد می‌گردد که به صورت پویا تنظیم پارامترهای مورد نیاز را بر حسب شرایط و تراکم پکت‌های VoIP انجام می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش بهره‌وری از خدمات VoIP می‌شود به ویژه هنگامی که شبکه 802.11ac با حجم زیادی از پکت‌های صوتی مواجه می‌شود.

علاوه بر روش EDCA، استاندارد 802.11ac شامل پارامترهای دیگری در لایه فیزیکی برای بهبود کلی عملکرد شبکه می‌باشد. بنابراین هدف دوم این پژوهش، بررسی و تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA با استفاده از مقادیر مختلف این پارامترها در مقایسه با روش EDCA می‌باشد. سه پارامتر بررسی شده در لایه فیزیکی شامل تعداد آنتن‌های رادیویی<sup>۶</sup> (MIMO)، عرض کانال<sup>۷</sup> انتقال داده و بازه زمانی محافظتی<sup>۸</sup> می‌باشند که در زیر به آن‌ها پرداخته شده است:

**پارامتر اول MIMO:** اگرچه تجهیزات بی‌سیم به صورت پیش فرض باید حتماً دارای یک آنتن باشند، اما داشتن چندین آنتن نیز امری رایج می‌باشد. استاندارد IEEE ترکیب  $M \times N$  را تعیین می‌کند که در آن  $M$  تعداد آنتن‌های ارسال کننده و  $N$  تعداد آنتن‌های گیرنده را مشخص می‌کند [۷]. در این راستا، استاندارد 802.11ac می‌تواند حداکثر چهار آنتن را در جهت دانلود پوشش دهد [۸]. به طور کلی هدف از داشتن چندین آنتن به جای یک آنتن، افزایش سرعت داده‌می‌باشد زیرا هر آنتن می‌تواند بطور مستقل، مجموعه‌ای متفاوت از داده‌ها را مطابق با رابطه شانون (رابطه ۱) انتقال دهد:

$$C = WC \times \log_2(1 + M \times N \times SNR) \quad (1)$$

که در این رابطه  $C$  سرعت انتقال داده،  $WC$  عرض کانال انتقال داده و  $SNR$  نسبت سیگنال به نویز می‌باشد. از طرفی افزایش تعداد آنتن‌ها در یک افزاره بی‌سیم باعث افزایش ابعاد و قیمت می‌شود. بنابراین سوال اصلی این است

دیگر کاربران رقابت کند. برای این منظور روش EDCA از فاکتور پنجره رقابت (CW) که شامل یک عدد تصادفی در محدوده حداقل اندازه پنجره رقابت (CWmin) و حداکثر اندازه پنجره رقابت (CWmax) استفاده می‌کند [۴]. مقادیر مربوط به CWmin و CWmax وابسته به نوع پکت در رده دسته‌بندی AC می‌باشد. کاربر با CW کوچکتر می‌تواند قبل از سایر کاربران به کانال انتقال دهنده دسترسی پیدا کند. سپس زمانی که کاربر اجازه دسترسی به کانال را دریافت کرد، کانال برای مدت زمانی به نام فرصت ارسال (TXOP) به او اختصاص می‌یابد. در این مدت کاربر می‌تواند داده‌های خود را ارسال کند. پس از هر انتقال داده، کاربر باید به میزان فاصله زمانی بین فریمی (AIFS) صبر کند [۵]. مقدار AIFS به عنوان زمان انتظار برای هر کاربر قبل از هر انتقال داده‌ای در نظر گرفته می‌شود. هر رده دسترسی AC با مقدار کوتاه‌تر AIFS مدت زمان کمتری در انتظار می‌ماند و از این رو قادر خواهد بود قبل از سایر رده‌های دسته‌بندی انتقال داده خود را انجام دهد که این امر منجر به افزایش کیفیت سرویس (QoS) پکت‌های موجود در آن رده دسته‌بندی خواهد شد. مقادیر پیش فرض فاکتورهای روش EDCA برای چهار رده دسترسی که به وسیله مسیریاب‌ها<sup>۳</sup> اعلام می‌شود در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- مقادیر پیش فرض فاکتورهای روش EDCA

تعداد فاصله بین فریمی	فرصت ارسال	حداکثر اندازه پنجره رقابت	حداقل اندازه پنجره رقابت	رده دسترسی
۲	۳,۲۶۴ ms	۳	۲	صوتی
۲	۶,۰۱۰ ms	۴	۳	ویدئو
۳	۰	۱۰	۴	معمولی
۷	۰	۱۰	۵	پس زمینه

در حالی که این فاکتورها به بهبود کیفیت سرویس در روش EDCA کمک می‌کنند، ولی هنگامی که بار ترافیک صوتی در شبکه افزایش می‌یابد، رقابت شدید برای دسترسی به رسانه انتقال باعث افزایش برخورد این پکت‌ها و افزایش

<sup>5</sup> Dynamic Enhanced Distribution Coordinate Access

<sup>6</sup> Multiple-Input Multiple-Output

<sup>7</sup> Channel Width

<sup>8</sup> Guard Interval

<sup>1</sup> Contention Window Minimum

<sup>2</sup> Contention Window Maximum

<sup>3</sup> Router

<sup>4</sup> Voice over Internet Protocol

با روش EDCA دارد؟ آیا بازه زمانی کوتاه‌تر عملکرد بهتری برای سرویس‌های VoIP فراهم می‌کند یا بازه طولانی‌تر؟ بنابراین با پاسخگویی به این سوال‌ها و یافتن مناسب‌ترین بازه محافظتی و تنظیم آن قبل از ارسال پاکت‌ها، عملکرد انتقال بهبود خواهد یافت.

به‌منظور پاسخگویی به سوالات فوق و همچنین افزایش کارایی مدل پیشنهادی D-EDCA برای سرویس‌های VoIP یک چارچوب<sup>۱</sup> پیشنهاد، طراحی، و پیاده‌سازی می‌شود. با کمک شبیه‌ساز NS3، این چارچوب عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA را با مقادیر مختلف مربوط به سه پارامتر لایه فیزیکی ۸۰۲،۱۱ac یعنی تعداد آنتن‌های رادیویی (MIMO)، عرض کانال انتقال داده (Channel width) و بازه زمانی محافظتی (Guard interval) را بررسی و با روش EDCA مقایسه و به سوالات فوق پاسخ خواهد داد. در بخش دوم این پژوهش، پیشینه تحقیق بررسی شده‌است. در بخش ۳ مدل پیشنهادی D-EDCA به‌همراه چارچوب پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش ۴ نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی D-EDCA و EDCA با یکدیگر مقایسه و تحلیل می‌گردند. در پایان، در بخش ۵ نتیجه‌گیری و برنامه‌های آینده در زمینه افزایش کارایی شبکه‌های بی‌سیم بیان می‌گردند.

## ۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اینکه در این پژوهش مدل جدیدی برای افزایش کارایی سرویس‌های VoIP در استاندارد ۸۰۲،۱۱ac با بررسی پارامترهای لایه فیزیکی این استاندارد ارائه می‌گردد، پژوهش‌های مرتبط با این موضوع به دو بخش تقسیم شده‌اند. بخش اول شامل تحقیقاتی است که مدل جدیدی برای افزایش کارایی ارائه داده‌اند و بخش دوم شامل تحقیقاتی است که پارامترهای لایه فیزیکی را بررسی نموده‌اند. به‌منظور کاهش رقابت برای ارسال داده‌ها در روش EDCA، نویسندگان در [۱۳] الگوریتم EDCA/CA را پیشنهاد کرده‌اند. با در نظر گرفتن حفظ انرژی، الگوریتم پیشنهادی بر مبنای زمان صف پاکت‌ها می‌باشد. اگر زمان از مقدار مشخصی بیشتر شود، رده دسترسی (AC) رقابت برای ارسال پاکت‌ها را متوقف می‌کند حتی اگر دارای پاکت‌هایی در حال انتظار در صف باشد. شبیه‌ساز NS2 برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در شبکه‌های قدیمی

که افزایش تعداد آنتن‌ها تا چه میزانی باعث بهبود عملکرد شبکه ۸۰۲،۱۱ac با استفاده از الگوریتم پیشنهادی D-EDCA در مقایسه با EDCA خواهد شد؟ آیا با افزایش تعداد آنتن‌ها به‌عنوان مثال از یک به چهار می‌توان شاهد افزایش چهار برابری عملکرد سیستم بود؟ با توجه به اهمیت سرعت انتقال داده در پاکت‌های VoIP و اهمیت ارائه کیفیت قابل قبول برای آنها، شناسایی تعداد مناسب آنتن‌ها و ارتباط آن با سرعت انتقال پاکت‌های صوتی و کاهش تأخیر و نرخ ریزش آن‌ها، باعث افزایش عملکرد مدل پیشنهادی در ارائه سرویس‌های VoIP می‌شود.

**پارامتر دوم عرض کانال:** در لایه فیزیکی استاندارد ۸۰۲،۱۱ac پشتیبانی از چهار عرض متفاوت برای کانال‌های انتقال داده وجود دارد که عبارتند از ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ مگاهرتز. کانال‌های عریض تر ۸۰ و ۱۶۰ مگاهرتزی می‌توانند با اتصال کانال‌های باریکتر ۲۰ و ۴۰ مگاهرتزی تشکیل شوند [۹] در حالی که کانال ۱۶۰ مگاهرتز برای تجهیزات ۸۰۲،۱۱ac اختیاری می‌باشد، وجود سایر کانال‌ها اجباری است [۱۰-۱۲]. افزایش عرض کانال از یک طرف باعث افزایش سرعت داده می‌شود، ولی از طرف دیگر چون تعداد کانال‌های غیر همپوشانی را کاهش می‌دهد، امکان تداخل فرکانس افزایش می‌یابد. بنابراین پاسخ به این سوال ضروری است که عرض بهینه کانال که می‌تواند منجر به بهبود کیفیت سرویس‌های VoIP در مدل پیشنهادی D-EDCA در مقایسه با روش EDCA شود چقدر است. **پارامتر سوم بازه زمانی محافظتی:** این پارامتر به‌عنوان فاصله زمانی جداکننده نمادهای منتقل شده داده از تداخل فرکانسی بین این نمادها جلوگیری می‌کند. بازه محافظتی در استاندارد ۸۰۲،۱۱ac می‌تواند طولانی (Long) با مقدار ۸۰۰ns و یا کوتاه (short) با مقدار ۴۰۰ns باشد. مقدار پیش فرض به منظور سازگاری با تجهیزات قدیمی‌تر ۸۰۰ns می‌باشد. پارامتر محافظتی کوتاه از یک طرف می‌تواند باعث افزایش کارایی شبکه شود ولی از طرف دیگر در شبکه‌هایی که دارای سطح بالایی از نویز می‌باشند، کاهش این پارامتر باعث افزایش تداخل فرکانسی و در نتیجه کاهش کلی کارایی شبکه می‌شود [۷]. بنابراین این سوال پیش می‌آید که اندازه پارامتر بازه زمانی محافظتی چه تأثیری بر عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA در مقایسه

<sup>۱</sup> Framework

مختلفی از داده در [۲۱] بررسی شده‌اند. نتایج حاصل از نظر توان عملیاتی، تأخیر دریافت داده‌ها و نرخ حذف آن‌ها با پیاده‌سازی در شبیه‌ساز NS3 محاسبه شده‌است. نتایج نشان می‌دهند که میزان بالای خطای کانال‌های انتقال تأثیر منفی بر روی کارایی الگوریتم‌های ترکیب فریم‌ها، به ویژه بر روی رده‌های دسترسی با اولویت بالاتر دارد. این پژوهش به غیر از خطاهای کانال دیگر پارامترهای مهم لایه فیزیکی مانند عرض کانال، بازه محافظتی و همچنین MIMO و انواع آن را بررسی نمی‌کند. یک محیط واقعی برای بررسی استانداردهای ۸۰۲.۱۱n و ۸۰۲.۱۱ac توسط [۲۲] مورد استفاده قرار گرفته که در آن اثرات متفاوت سه عرض کانال ۲۰، ۴۰، و ۸۰ مگاهرتز، الگوریتم‌های ترکیب فریم‌ها، انواع کدگذاری مدولاسیون و بازه محافظتی بر روی این دو شبکه بررسی شده‌اند. هر چند الگوی ترافیکی مبتنی بر پکت‌های عادی است و الگوی ترافیک VoIP بررسی نشده‌است. میانگین توان عملیاتی تحت تأثیر پارامترهای مختلفی مانند انواع کدگذاری مدولاسیون، تغییر تعداد کاربران و فاصله آنها و عرض کانال شامل ۲۰، ۴۰، و ۸۰ مگاهرتز در [۲۳] اندازه‌گیری شده‌است. نتایج نشان می‌دهند که وقتی فاصله به اندازه کافی کوتاه باشد، کدگذاری مدولاسیون با مقادیر بالاتر به توان عملیاتی بالاتری می‌رسد. همچنین نشان داده شده‌است که با افزایش تعداد کاربران، میانگین توان عملیاتی کاهش می‌یابد. پارامترهای مهم دیگر لایه فیزیکی مانند عرض کانال، بازه محافظتی و MIMO و انواع آن و همچنین سرویس‌های VoIP مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. در [۲۴]، دو مقدار کدگذاری مدولاسیون برای اندازه‌گیری توان عملیاتی با تغییر عرض کانال و تعداد کاربران مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که تقسیم عرض کانال به چندین کانال با عرض کمتر می‌تواند باعث استفاده بهتر از عرض باند موجود شود. با این حال الگوی ترافیک مبتنی بر ترافیک معمولی بوده و VoIP و دیگر پارامترهای لایه فیزیکی در آن بررسی نشده‌اند. همان‌گونه که پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهند، بیشتر آنها تأثیرات کدگذاری مدولاسیون و عرض کانال انتقال داده را بر روی الگوی ترافیکی داده‌های معمولی بررسی می‌کنند در حالی که دیگر پارامترهای مهم لایه فیزیکی استاندارد ۸۰۲.۱۱ac و همچنین سرویس‌های VoIP در آن‌ها بررسی

۸۰۲.۱۱b استفاده می‌شود ولی در آن شبکه‌های ۸۰۲.۱۱ac بررسی نمی‌شوند. الگوریتم رقابتی پنجره کنترل به همراه آستانه ارزیابی خالی بودن کانال‌های انتقالی در [۱۴] به منظور کنترل ازدحام<sup>۱</sup> پیشنهاد شده‌است ولی تأثیر پیاده‌سازی این الگوریتم در شبکه‌های ۸۰۲.۱۱ac مورد بررسی قرار نگرفته‌است. شبیه‌ساز Opnet در [۱۵] برای بهبود کیفیت سرویس‌های VoIP با پیشنهاد مدل VoIP-EDCA استفاده می‌شود. در این حالت تأثیر اندازه پنجره رقابت بر روی کیفیت پکت‌های صوتی در قالب تغییرات تأخیر بررسی می‌شود ولی باز هم مدل پیشنهادی آنها شبکه‌های ۸۰۲.۱۱ac را بررسی نمی‌کند. شبیه‌ساز Opnet همچنین در [۱۶] به منظور پیاده‌سازی مدل پیشنهادی بر اساس زنجیر Markov در جهت بهینه‌سازی کارایی روش EDCA در شبکه‌های قدیم ۸۰۲.۱۱b استفاده می‌شود. مدلی برای تغییر مقدار فرصت ارسال (TXOP) توسط نویسندگان در [۱۷] پیشنهاد می‌گردد. این مدل برای بهینه‌سازی شبکه‌های مش با استفاده از ابزار شبیه‌ساز OMNeT++ پیاده‌سازی می‌گردد. مدل سازی فاکتور فرصت ارسال توسط الگوریتم‌های تحلیلی توسط نویسندگان در [۱۸، ۱۹] نیز بررسی شده‌است. علاوه بر این، در رابطه با پارامترهای مختلف لایه فیزیکی در استاندارد ۸۰۲.۱۱ac بیشتر تمرکز پژوهشگران بر روی مدل سازی عرض کانال‌های انتقال داده و همچنین انواع کدگذاری مدولاسیون بر روی داده‌های معمولی بوده‌است. در [۲۰]، نویسندگان میزان تأثیرگذاری الگوریتم‌های مختلف مدولاسیون شامل ۲۵۶QAM<sup>۲</sup>، ۶۴QAM، ۱۶QAM با نرخ کدگذاری متفاوت و با استفاده از چهار مقدار متفاوت پارامتر عرض کانال انتقال داده بر روی توان عملیاتی کل شبکه را بررسی کرده‌اند. مقدار توان عملیاتی به عنوان تابعی از اندازه‌های متفاوت پکت‌ها و همچنین تعداد کاربران اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل از پیاده‌سازی نشان می‌دهند که نوع مدولاسیون، نرخ کدگذاری و همچنین عرض کانال می‌تواند بر روی توان عملیاتی کل شبکه تأثیر مستقیم داشته باشد. با این حال، سرویس‌های VoIP و همچنین MIMO و انواع آن مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. تأثیر خطاهای کانال انتقال داده به همراه الگوریتم‌های متفاوت ترکیب فریم‌ها بر روی انواع

<sup>2</sup> Quadrature Amplitude Modulator

<sup>1</sup> Congestion control

باشد، نشان‌دهنده تعداد بالای پاکت‌های صدا است، در نتیجه مقادیر اولیه سه فاکتور  $CW_{min}$ ،  $CW_{max}$  و AIFS توسط مدل ارائه شده با مقادیر جدید جایگزین می‌شود. این مقادیر باعث کاهش احتمال برخورد بین پاکت‌های VoIP به دلیل چگالی بالا می‌شوند زیرا پاکت‌های صدا بزرگتری برای انتخاب زمان مورد انتظار خود دارند. این بزرگتر به نوبه خود احتمال انتخاب زمان یکسان توسط کاربران را کاهش می‌دهد:

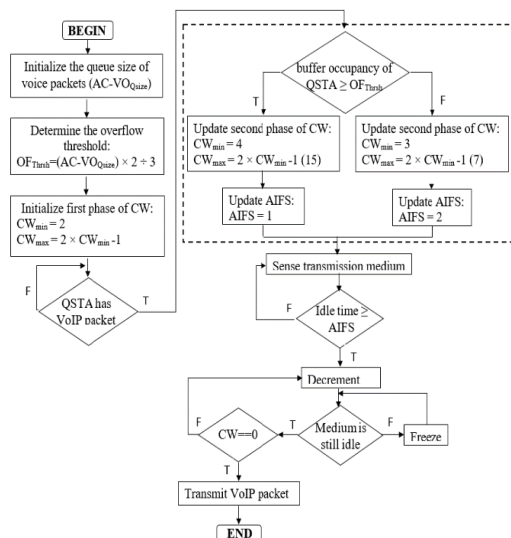
$$Buffer\ occupancy\ of\ QSTA \geq OF_{Thresh} \quad (۴)$$

$$4 \rightarrow CW_{min}$$

$$2^{CW_{min}} - 1 \ (15) \rightarrow CW_{max}$$

$$1 \rightarrow AIFS$$

روند نما مدل پیشنهادی D-EDCA در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- روند نما مدل پیشنهادی D-EDCA

همچنین، الگوریتم مدل پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده است.

یکی از معیارهای ارزیابی میزان بهبود عملکرد شبکه در یک مدل، محاسبه پیچیدگی زمانی<sup>۳</sup> ناشی از اجرای آن مدل بر عملکرد شبکه می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان بهبود ایجاد شده در مدل پیشنهادی نسبت به پیچیدگی زمانی آن را اعتبارسنجی نمود. پیچیدگی زمانی یک الگوریتم با نماد O بزرگ توصیف می‌شود. محاسبه پیچیدگی زمانی مدل D-EDCA و مقایسه آن با روش EDCA براساس مراحل الگوریتم ارائه شده در شکل (۲) انجام پذیرفته است.

نشده‌اند. به‌منظور پرداختن به این محدودیت‌ها و تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA، در این پژوهش یک چارچوب با هدف بررسی تأثیر تغییرات سه پارامتر مهم لایه فیزیکی یعنی تعداد آنتن‌های رادیویی (MIMO)، عرض کانال انتقال داده (Channel width) و بازه زمانی محافظتی (Guard interval) بر روی سرویس‌های VoIP مبادله شده با مدل پیشنهادی D-EDCA و مقایسه آن با روش EDCA ارائه می‌شود.

### ۳- طراحی و پیاده‌سازی مدل

در این بخش، جزئیات مربوط به طراحی و پیاده‌سازی مدل پیشنهادی D-EDCA به‌همراه چارچوب پیشنهادی برای مقایسه با روش EDCA بر روی سرویس‌های VoIP در شبکه‌های ۸۰۲٫۱۱ac شرح داده می‌شود.

#### ۳-۱- مدل پیشنهادی D-EDCA

مدل پیشنهادی D-EDCA در شبکه‌های ۸۰۲٫۱۱ac با تراکم بالای پاکت‌های VoIP استفاده می‌شود. این مدل ابتدا حد آستانه سرریز<sup>۱</sup> ( $OF_{Thresh}$ ) را مشخص می‌کند که دو سوم اندازه صف رده دسترسی می‌باشد که پاکت‌های صدا در آن وارد می‌شود<sup>۲</sup> ( $AC-VOQ_{size}$ ). اندازه صف یک پارامتر مهم است زیرا می‌تواند تعداد کل پاکت‌های صدا که تجهیزات کاربر (QSTA) قادر به نگهداری آنها هستند را مشخص کند.

$$AC-VOQ_{size} \times 2 \div 3 \rightarrow OF_{Thresh} \quad (۲)$$

سپس دو فاکتور  $CW_{min}$  و  $CW_{max}$  مقداردهی اولیه می‌شوند. در ادامه اگر کاربری دارای پاکت صدا برای ارسال بود، مدل ابتدا اندازه صف جاری آن کاربر را بررسی می‌کند ( $Buffer\ occupancy\ of\ QSTA$ ). اگر اندازه صف کمتر از حد آستانه سرریز ( $OF_{Thresh}$ ) باشد، نشان‌دهنده چگالی کم پاکت‌های صدا است بنابراین مدل مقادیر اولیه سه فاکتور  $CW_{min}$ ،  $CW_{max}$  و AIFS را با مقادیر پیش فرض جایگزین می‌کند:

$$Buffer\ occupancy\ of\ QSTA \leq OF_{Thresh}$$

$$(۳)$$

$$3 \rightarrow CW_{min}$$

$$2^{CW_{min}} - 1 \ (7) \rightarrow CW_{max}$$

$$2 \rightarrow AIFS$$

ولی اگر اندازه صف بالاتر از حد آستانه سرریز ( $OF_{Thresh}$ )

<sup>۱</sup> Time Complexity

<sup>۱</sup> Overflow Threshold

<sup>۲</sup> Voice Access Category Queue Size

مراحل اجرایی ۳، ۵، و ۶ نیز تنها یکبار در ابتدای شروع به کار مدل D-EDCA اجرا می‌شوند. مرحله اجرایی بعدی مرحله ۱۱ می‌باشد که  $N$  بار اجرا می‌گردد ( $N$  تعداد دفعاتی است که پاکت صوتی برای ارسال وجود دارد). به دلیل اینکه در هر اجرا یک پاکت صوتی ارسال می‌شود، بنابراین  $N$  در واقع نشان دهنده تعداد پاکت‌های صوتی می‌باشد. تعداد کل اجراهای صورت گرفته تا انتهای مرحله ۱۱ مساوی  $N+4$  می‌باشد. در ادامه اجرای الگوریتم، مراحل اجرایی ۱۸، ۱۹، و ۲۱ به ترتیب برای تنظیم  $CW_{min}$ ، تنظیم  $CW_{max}$ ، و تنظیم AIFS هر کدام  $N$  بار اجرا می‌شوند. بنابراین تعداد اجراها تا پایان مرحله ۲۱ را می‌توان با رابطه (۶) بدست آورد:

$$O_1(N) = 4 + 4 \times N \quad (6)$$

برخلاف مدل D-EDCA، در روش EDCA مراحل ۱ تا ۱۱ وجود ندارند، بنابراین پیچیدگی زمانی ناشی از این مراحل وجود نخواهد داشت. از طرفی، با توجه به یکسان بودن مراحل اجرایی ۱۲ (تنظیم  $CW_{min}$ )، ۱۳ (تنظیم  $CW_{max}$ )، و ۱۵ (تنظیم AIFS) با مراحل ۱۸، ۱۹، و ۲۱ مدل D-EDCA، که هر یک  $N$  بار اجرا می‌شوند، تعداد کل اجراها تا پایان مرحله ۱۵ در روش EDCA از رابطه (۷) به دست خواهد آمد:

$$O(N) = 3 \times N \quad (7)$$

پس از آن و با توجه به یکسان بودن اجرای مراحل ۲۳ تا پایان اجرا در هر دو مدل، میزان پیچیدگی زمانی یکسان خواهد بود و در محاسبات بعدی در نظر گرفته نخواهد شد.

### ۳-۲ چارچوب پیشنهادی

به منظور ارزیابی دقیق عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA و مقایسه آن با روش EDCA، چارچوب پیشنهادی زیر که به صورت ساختاری قابل اجرا بر روی استاندارد 802.11ac می‌باشد، ارائه می‌گردد. ابتدا یک توپولوژی به ابعاد ۲۰ در ۱۰ متر مربع طراحی می‌شود که در آن ده کاربر (QSTA) مجهز به تجهیزات استاندارد 802.11ac در مکان‌های تصادفی قرار دارند. همه کاربران به یک ایستگاه مرکزی<sup>۲</sup> (QAP) با استاندارد 802.11ac متصل می‌باشند. ایستگاه مرکزی نیز به سروری متصل می‌باشد (QServer)<sup>۳</sup> که سرویس VoIP را ارائه می‌دهد. چارچوب پیشنهادی از این

1	Initialize the queue size of voice packets (AC-VO <sub>Qsize</sub> ) for given QSTA
2	Determine the overflow threshold
3	OF <sub>Thresh</sub> = (AC-VO <sub>Qsize</sub> ) × 2 ÷ 3
4	Initialize first phase of CW
5	CW <sub>min</sub> = 2
6	CW <sub>max</sub> = 2 × CW <sub>min</sub> - 1
7	<b>WHILE</b> (QSTA has VoIP packet to send)
8	Determine buffer occupancy of QSTA
9	Update second phase of CW
11	<b>IF</b> (buffer occupancy of QSTA < OF <sub>Thresh</sub> )
12	CW <sub>min</sub> = 3
13	CW <sub>max</sub> = 2 × CW <sub>min</sub> - 1
14	(7) Update AIFS
15	AIFS = 2
16	<b>END IF</b>
17	<b>ELSE IF</b> (buffer occupancy of QSTA ≥ OF <sub>Thresh</sub> )
18	CW <sub>min</sub> = 4
19	CW <sub>max</sub> = 2 × CW <sub>min</sub> - 1
20	(15) Update AIFS
21	AIFS = 1
22	<b>END IF</b>
23	Sense transmission medium
24	<b>IF</b> (Idle time < AIFS)
25	Go to 23
26	<b>END IF</b>
27	<b>ELSE IF</b> (Idle time ≥ AIFS)
28	Decrement CW
29	Determine if medium is still idle
29	<b>IF</b> (medium is not idle)
30	Freeze
31	Go to 29
32	<b>END IF</b>
33	<b>ELSE IF</b> (medium is still idle)
34	<b>IF</b> (CW==0)
35	Transmit the VoIP packet

شکل ۲- الگوریتم مدل پیشنهادی

برای محاسبه پیچیدگی زمانی در مدل D-EDCA ابتدا مرحله ۱ اجرایی الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. این مرحله فقط یکبار در شروع به کار این مدل اجرا شده و در آن اندازه صف ورود پاکت‌های صوتی تنظیم می‌گردد. کد زیر برای تنظیم اندازه صف ورود پاکت‌های صوتی برای ۵۰۰ پاکت (مقدار پیش فرض) نوشته شده است:

```
QueueSizeValue AC_VOQsize = QueueSizeValue
(QueueSize ("500p"));
Config::SetDefault ("ns3::QueueBase::MaxSize",
AC_VOQsize);
```

(۵)

<sup>3</sup> Quality of Service Server

<sup>1</sup> Quality of Service Station

<sup>2</sup> Quality of Service Access Point

```
phy.Set("MaxSupportedTxSpatialStreams",
  UIntegerValue (nStreams));
phy.Set("MaxSupportedRxSpatialStreams",
  UIntegerValue (nStreams));
```

 (۱۰)

سومین پارامتر استفاده شده در فاز یک‌بازه محافظتی می‌باشد که هم مقدار پیش فرض ۸۰۰ns و هم مقدار کوتاه‌تر ۴۰۰ns توسط چارچوب در نظر گرفته می‌شوند. کد نوشته شده در چارچوب پیشنهادی برای استفاده از بازه محافظتی کوتاه و بلند به ترتیب در (۱۱) و (۱۲) ارائه شده‌اند:

```
phy.Set("ShortGuardEnabled",
  BooleanValue(true))
```

 (۱۱)

```
phy.Set("ShortGuardEnabled",
  BooleanValue(false))
```

 (۱۲)

**فاز دوم:** پس از انجام تنظیمات مربوط به سه پارامتر لایه فیزیکی در فاز اول، فاز دوم چارچوب آغاز می‌شود که مربوط به تنظیمات مربوط به الگوی ترافیک VoIP می‌باشد. در این فاز، سرعت انتقال پاکت‌های صوت ۲۰Mbps و اندازه پاکت‌ها ۱۰۰۰B در نظر گرفته می‌شود. کد نوشته شده در چارچوب پیشنهادی برای تنظیم سرعت انتقال پاکت‌های صوت در ۲۰Mbps و اندازه پاکت‌ها در ۱۰۰۰B به ترتیب در (۱۳) و (۱۴) و به صورت زیر می‌باشد:

```
uint32_t PS = 1000;
string DR="20Mbps";
APP.SetAttribute
("DataRate",DataRateValue(DataRate(DR)))
```

 (۱۳)

```
("PacketSize", UIntegerValue (PS))
```

 (۱۴)

همچنین، در این فاز کیفیت سرویس VoIP برای کاربران از نظر توان عملیاتی، تأخیر انتها به انتها، نرخ از دست رفتن پاکت‌های صوت و تغییرات تأخیر برای مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA اندازه‌گیری می‌شوند که فرمول‌های محاسبه در زیر به ترتیب در (۱۵)، (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) ارائه شده‌اند.

```
Throughput=second.rxBytes*8.0/second.timeLastRxPacket.
GetSeconds()-second.timeFirstTxPacket.
GetSeconds()
```

 (۱۵)

```
LossRatio=((second.txPackets-
second.rxPackets)*1.0)/second.txPackets
```

 (۱۶)

```
Delay=second.delaySum.GetSeconds()/((double)sec
ond.rxPackets
```

 (۱۷)

```
Jitter=second.jitterSum.GetSeconds()/((double)sec
ond.rxPackets-1)
```

 (۱۸)

توپولوژی برای سه هدف اصلی استفاده می‌کند. هدف اول بررسی تأثیر تغییرات مقادیر سه پارامتر اصلی لایه فیزیکی یعنی تعداد آنتن‌های رادیویی، عرض کانال انتقال داده و اندازه بازه محافظتی بین نمادهای داده بر روی سرویس‌های VoIP در شبکه ۸۰۲،۱۱ac برای مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA می‌باشد. هدف دوم بررسی ارتباط بین این سه پارامتر لایه فیزیکی با افزایش یا کاهش کارایی سرویس‌های VoIP می‌باشد. هدف سوم شناسایی مقادیر بهینه هر پارامتر برای مدل پیشنهادی D-EDCA و مقایسه آن با EDCA برای فراهم آوردن سطح کیفیت مورد نیاز سرویس‌های VoIP برای کاربران آن‌ها می‌باشد. برای رسیدن به این اهداف، ساختار چارچوب در سه فاز زیر ارائه می‌شود:

**فاز اول:** در این فاز مقادیر مربوط به سه پارامتر مهم لایه فیزیکی استاندارد ۸۰۲،۱۱ac برای همه ده کاربر (QSTA)، ایستگاه مرکزی (QAP) و سرور (QServer) تنظیم می‌شوند. اولین پارامتر عرض کانال انتقال داده می‌باشد که چارچوب برای آن هر چهار مقدار ممکن یعنی ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ مگاهرتز را در نظر می‌گیرد. کد نوشته شده در چارچوب پیشنهادی برای تنظیم عرض کانال انتقال داده بر روی ۲۰ مگاهرتز به صورت زیر می‌باشد:

```
Config::Set("*/DeviceList/*/$ns3:: WifiNetDevice
/Phy/ChannelWidth", UIntegerValue(20))
```

 (۸)

از طرفی چون مقدار کدگذاری مدولاسیون برای شبکه‌های ۸۰۲،۱۱ac بین ۰ تا ۹ می‌باشد در حالی که عدد ۹ برای عرض کانال ۲۰ مگاهرتز طبق استاندارد ممنوع است، بنابراین مقدار ۸ توسط فاز اول چارچوب برای این منظور تعیین می‌شود. کد نوشته شده در چارچوب پیشنهادی برای تنظیم کدگذاری مدولاسیون ۸ به صورت زیر می‌باشد:

```
wifi.SetRemoteStationManager
("ns3::ConstantRateWifiManager",
" DataMode", StringValue("VhtMcs8"))
```

 (۹)

دومین پارامتر تعداد آنتن‌های رادیویی است که چارچوب تا ۴ آنتن را به صورت ترکیب MIMO ۲×۲، MIMO ۱×۱ و MIMO ۴×۴ در نظر می‌گیرد. کد نوشته شده در چارچوب پیشنهادی برای فعال کردن ۴ آنتن رادیویی به صورت زیر می‌باشد:

```
int nStreams = 4;
phy.Set ("Antennas", UIntegerValue (nStreams));
```

جدول ۲- پارامترهای استفاده‌شده در شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
بازه محافظتی	کوتاه (400 ns) بلند (800 ns)
عرض کانال	20 MHz 40 MHz 80 MHz 160 MHz
تعداد آنتن‌ها	MIMO (1x1) MIMO (2x2) MIMO (4x4)
نرخ انتقال داده	20 Mbps
نرخ مدولاسیون	VhtMcs8
ترکیب فریم‌ها	A-MPDU (پیشفرض)
تعداد کاربران (QSTA)	10
تعداد نقاط دسترسی (QAP)	1
تعداد سرورهای صوتی (QServer)	1
نوع لایه فیزیکی	SpectrumWifiPhy
پارامترهای ارزیابی	توان عملیاتی تاخیر انتها به انتها نرخ حذف پاکت‌ها تغییرات تاخیر

جدول ۳- نمادگذاری در گراف‌های نتایج

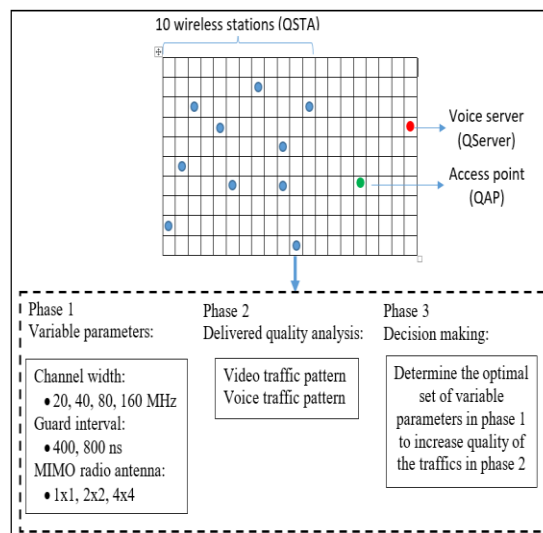
نمادگذاری	شرح
D-EDCA (L)	مدل پیشنهادی D-EDCA با بازه محافظتی طولانی 800 ns
D-EDCA (S)	مدل پیشنهادی D-EDCA با بازه محافظتی کوتاه 400 ns
EDCA (L)	روش EDCA با بازه محافظتی طولانی 800 ns
EDCA (S)	روش EDCA با بازه محافظتی کوتاه 400 ns

#### ۱-۴ میانگین عملکرد در قالب توان عملیاتی

در این قسمت، نتایج حاصل از تأثیر تغییرات سه پارامتر لایه فیزیکی استاندارد 802.11ac یعنی تعداد آنتن‌های رادیویی، عرض کانال انتقال داده و اندازه بازه محافظتی بر روی کارایی سرویس‌های VoIP در قالب توان عملیاتی به دست‌آمده توسط مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA به دست‌آمده و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج در شکل (۴) نمایش داده شده‌اند.

نتایج به دست‌آمده نشان‌دهنده بهینه‌سازی قابل توجه سرویس‌های VoIP توسط مدل پیشنهادی D-EDCA در مقایسه با روش EDCA می‌باشد. این بهینه‌سازی برای همه مقادیر پارامترهای لایه فیزیکی استاندارد 802.11ac به دست می‌آید. همچنین، براساس نتایج، اندازه زمانی بازه محافظتی تأثیر قابل توجهی بر روی توان عملیاتی به دست‌آمده برای D-EDCA و EDCA ندارد که این در مقایسه

فاز سوم: در این فاز کلیه نتایج حاصل از اندازه‌گیری کیفیت سرویس VoIP در فاز قبلی تحلیل و بررسی می‌شوند تا ارتباط بین سه پارامتر لایه فیزیکی و کیفیت سرویس VoIP تعیین شود. سپس مجموعه بهینه‌ای از مقادیر پارامترها برای افزایش کیفیت سرویس VoIP برای مدل پیشنهادی D-EDCA مشخص شده و با روش EDCA مقایسه می‌شوند. چارچوب پیشنهادی و سه‌فاز آن همراه با توپولوژی شبکه در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- چارچوب پیشنهادی برای پیاده‌سازی و مقایسه مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA

برای طراحی و پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و چارچوب مربوطه شبیه‌ساز NS3 نسخه ۳.۳۰ استفاده می‌شود. این شبیه‌ساز بر روی کامپیوتری با پردازشگر اینتل ۲.۵ گیگاهرتز (Intel® Core™ i7 @ 2.5 GHz) با مقدار حافظه ۸ گیگابایت بر روی سیستم عامل آونتو ۶۴ بیتی نسخه ۱۸.۱۰ نصب شده است. خلاصه‌ای از پارامترهای استفاده شده در مدل پیشنهادی و چارچوب مربوطه در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

همان‌طور که اشاره شد استاندارد 802.11ac دارای دو مقدار زمانی طولانی 800 ns و کوتاه‌تر 400 ns برای پارامتر بازه محافظتی می‌باشد. با توجه به اینکه چارچوب ارائه شده هر دوی این مقادیر را پشتیبانی می‌کند، در کلیه نتایج به این دو مقدار به صورت بیان شده در جدول ۳ اشاره می‌شود.

#### ۴- نتایج و بررسی

در این بخش، نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی D-EDCA و مقایسه آن با روش EDCA با استفاده از چارچوب پیشنهادی ارائه می‌شوند.



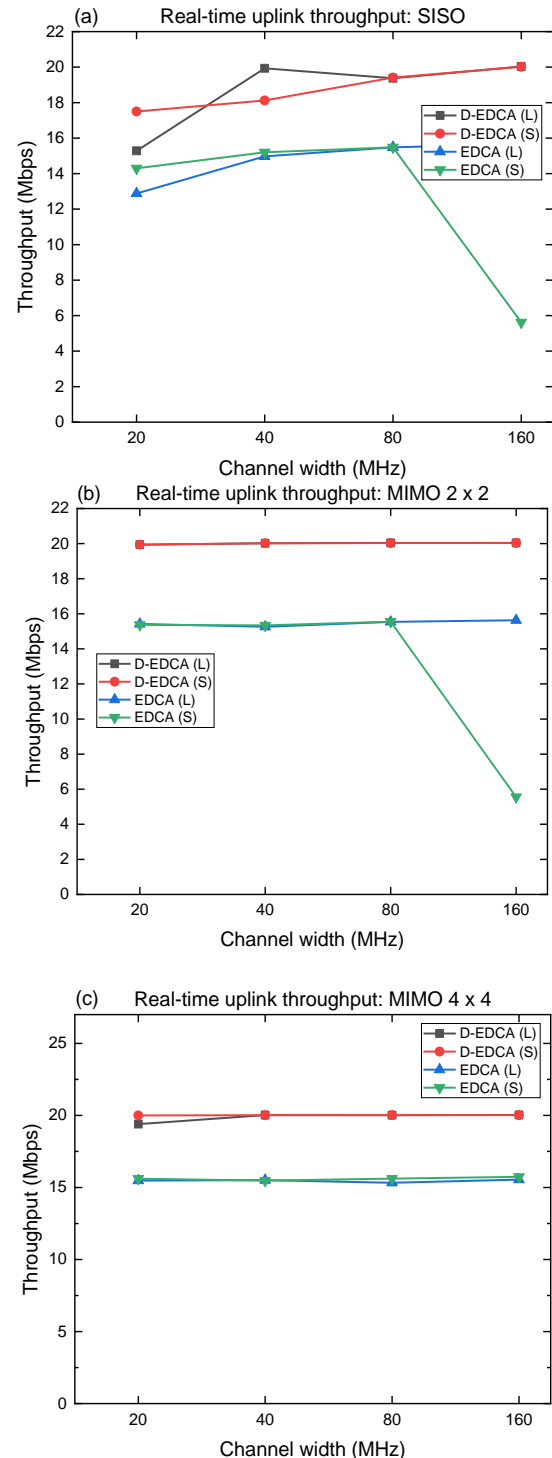
دارد که به بالاترین حدممکن توان عملیاتی برسد در زمانیکه تعداد آنتن‌ها به ۲ و یا ۴ افزایش می‌یابد. ولی در مقابل، روش EDCA حتی با افزایش تعداد آنتن‌ها به ۴، توانایی رسیدن به حد سرعت انتقال داده را ندارد. براساس نتایج به-دست‌آمده همچنین می‌توان عملکرد پایین‌تر عرض کانال ۱۶۰ مگاهرتز را در روش EDCA برای یک و دو آنتن مشاهده کرد. ولی حتی در این حالت که عرض کانال در عریض‌ترین مقدار خود استفاده شده است، مدل پیشنهادی توان عملیاتی معادل دیگر کانال‌ها را به دست می‌آورد. بنابراین از مجموع این نتایج عملکرد بهتر مدل پیشنهادی D-EDCA در مقایسه با EDCA مخصوصاً با افزایش تعداد آنتن‌های رادیویی در قالب افزایش توان عملیاتی و بهبود-کیفیت سرویس‌های VoIP نتیجه‌گیری می‌شود.

#### ۴-۲- میانگین عملکرد در قالب تأخیر انتها به انتها

در این قسمت تأخیر انتها به انتهاهای پکت‌های VoIP با استفاده از مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA تغییر پارامترهای لایه فیزیکی ۸۰۲,۱۱ac اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج در شکل (۵) نمایش داده شده‌اند.

براساس نتایج به دست‌آمده از اجرای مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA مشاهده می‌کنیم که EDCA نسبت به D-EDCA تأخیر نسبتاً بالاتری را به پکت‌های صوت منتقل شده در شبکه ۸۰۲,۱۱ac تحمیل می‌کند. نتایج به وضوح نشان می‌دهند که اندازه زمانی بازه محافظتی تأخیر چندانی در تأخیر پکت‌های صوت ندارد. در مقابل افزایش عرض کانال باعث عملکرد بسیار بهتر در قالب تأخیر کمتر پکت‌های صوت می‌شود. با افزایش عرض کانال از ۲۰ مگاهرتز به ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ مگاهرتز در حالی که مقدار تأخیر در روش EDCA تغییری نمی‌کند، در مدل پیشنهادی D-EDCA تأخیر کاهش می‌یابد به صورتی که کمترین تأخیر متعلق به پهن‌ترین عرض کانال یعنی ۱۶۰ مگاهرتز می‌باشد. از نظر تأثیر افزایش تعداد آنتن‌های رادیویی، در حالی که تجهیزات شبکه فقط شامل یک آنتن باشند، پکت‌های VoIP بیشترین تأخیر را دارند. ولی با افزایش تعداد آنتن‌ها به ۲ و یا ۴، میزان تأخیر در هر دو مدل کاهش می‌یابد در حالی که این کاهش برای مدل پیشنهادی D-EDCA بسیار قابل ملاحظه می‌باشد. بنابراین بر اساس نتایج، استفاده از مدل پیشنهادی D-EDCA برای سرویس‌های VoIP که بسیار حساس به تأخیر می‌باشند باعث

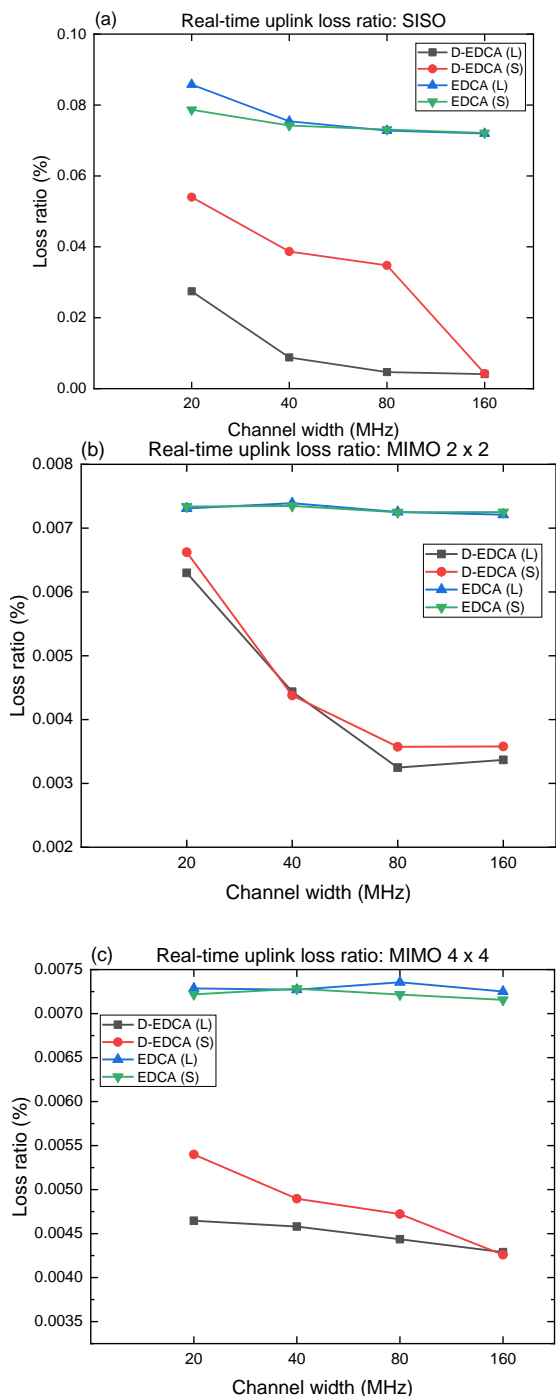
با تأثیر قابل توجه دو پارامتر دیگر یعنی تعداد آنتن‌ها و عرض کانال می‌باشد.



شکل ۴- میانگین عملکرد در قالب توان عملیاتی برای (a) آنتن ۱×۱ (b) آنتن ۲×۲ و (c) آنتن ۴×۴

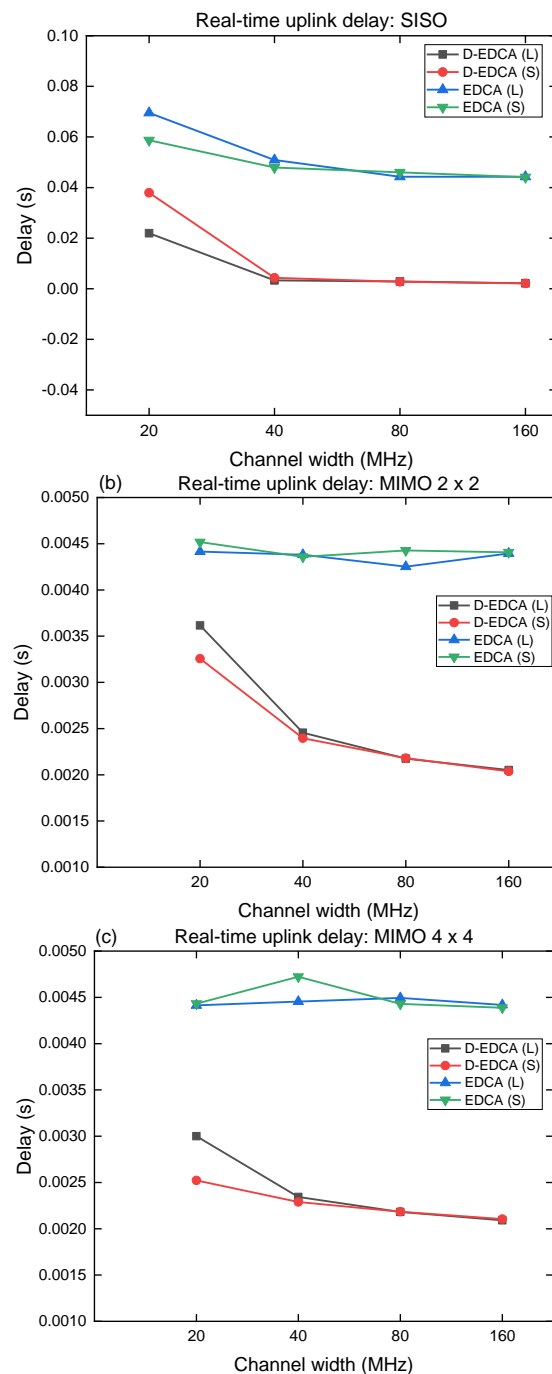
نتایج نشان‌دهنده توان عملیاتی بالاتر برای مدل D-EDCA در مقایسه با EDCA تحت شرایط یکسان اجرایی می‌باشند به صورتی که با در نظر گرفتن سرعت انتقال داده ۲۰Mbps در چارچوب، مدل D-EDCA این توانایی را

بهینه‌سازی استفاده از این سرویس‌ها به‌خصوص با افزایش تعداد آنتن‌ها و عرض کانال انتقال داده می‌شود.



شکل ۶- میانگین عملکرد در قالب نرخ حذف پکت‌ها برای آنتن ۱×۱ (a) آنتن ۲×۲ (b) و آنتن ۴×۴ (c)

نتایج به‌دست‌آمده در بالا نتایج قبلی را به‌عنوان عملکرد بهتر مدل پیشنهادی D-EDCA در مقایسه با روش EDCA از نظر کاهش تعداد پکت‌های صوتی از دست رفته تأیید می‌کنند. همان‌طور که قبلاً در نتایج توان عملیاتی مشاهده‌شد، روش EDCA در مقایسه با مدل D-EDCA توان عملیاتی پایین‌تری را به‌دست آورد. در اینجا نتایج حاصل از نرخ پکت‌های از بین‌رفته نشان

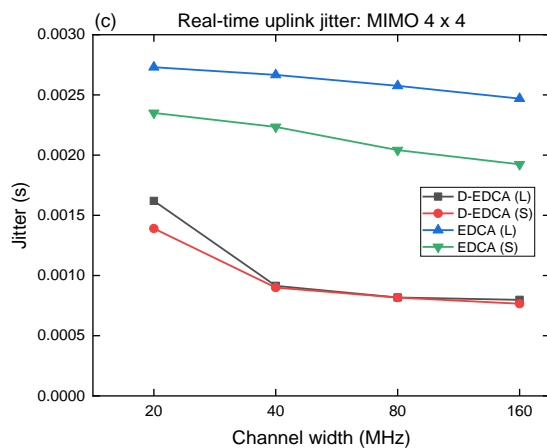
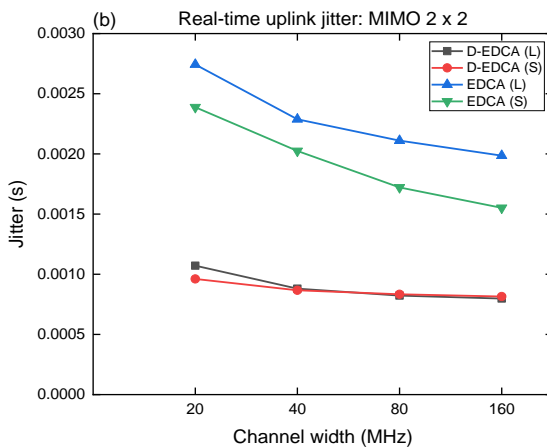
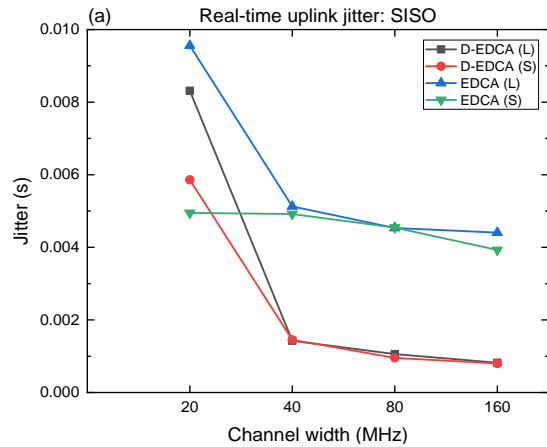


شکل ۵- میانگین عملکرد در قالب تأخیر انتهابه‌انتهای برای آنتن ۱×۱ (a) آنتن ۲×۲ (b) و آنتن ۴×۴ (c)

### ۳-۴ میانگین عملکرد در قالب نرخ حذف پکت‌ها

در این قسمت عملکرد مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA در قالب نرخ از دست‌دادن پکت‌های VoIP با تغییر پارامترهای لایه‌فیزیکی ۸۰۲.۱۱ac با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج در شکل (۶) نمایش داده شده‌اند.

آنتن‌ها، مقدار تغییرات تأخیر نیز کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، بیشترین تغییرات تأخیر فقط با حضور یک آنتن به دست می‌آید در حالی که با افزایش تعداد آنتن‌ها به ۲ و ۴، کمترین مقدار تغییرات تأخیر به دست می‌آید.



شکل ۷- میانگین عملکرد در قالب تغییرات زمان پاسخگویی برای (a) آنتن ۱×۱ (b) آنتن ۲×۲ و (c) آنتن ۴×۴

همچنین نتایج نشان می‌دهند که کانال‌های عریض‌تر مقدار تغییرات تأخیر کمتری را فراهم می‌آورند. همچنین تأثیر بازه

می‌دهند که توان عملیاتی پایین روش EDCA به علت نرخ بالاتر پاکت‌های از بین‌رفته در آن به دلیل چگالی بالای پاکت‌های صوتی می‌باشد. همچنین، کاربرانی که مجهز به فقط یک آنتن می‌باشند بیشترین مقدار پاکت‌های صوتی از دست رفته را تحمل می‌کنند. نتایج همچنین نشان‌دهنده نقش مؤثر پارامتر بازه محافظتی در مدل پیشنهادی D-EDCA می‌باشند به طوری که اگر مقدار زمانی بازه محافظتی ۸۰۰ ns انتخاب شود به دلیل تداخل فرکانسی کمتر، میزان پاکت‌های حذف‌شده را در مدل پیشنهادی کاهش می‌دهد ولی بازه محافظتی تأثیری در روش EDCA ندارد. همچنین با افزایش تعداد آنتن‌ها نرخ پاکت‌های از بین‌رفته کاهش می‌یابد ولی این کاهش برای مدل پیشنهادی D-EDCA بیشتر از روش EDCA می‌باشد. در رابطه با تأثیر عرض کانال انتقال داده بر روی مدل پیشنهادی مشاهده می‌شود که با افزایش عرض کانال، نرخ پاکت‌های از دست رفته تا حد کمی پایین می‌آید در حالی که این کاهش برای روش EDCA قابل ملاحظه‌تر می‌باشد. دلیل این امر بسیار پایین‌تر بودن نرخ کلی پاکت‌های از دست‌رفته در مدل پیشنهادی D-EDCA نسبت به روش EDCA می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، از آنجا که سرویس‌های VoIP نسبت به از بین رفتن پاکت‌ها بسیار حساس می‌باشند، استفاده از مدل پیشنهادی D-EDCA با نرخ پایین‌تر پاکت‌های از بین‌رفته، عملکرد بهتری نسبت به روش EDCA فراهم می‌آورد. این عملکرد بهتر مدل پیشنهادی D-EDCA حتی قابل افزایش به سطح بالاتری نیز می‌باشد اگر از آنتن‌های بیشتر همراه با کانال‌هایی با عرض زیادتر و بازه محافظتی طولانی‌تر در شبکه ac ۸۰۲,۱۱ استفاده شوند.

#### ۴-۴ میانگین عملکرد در قالب تغییرات تأخیر

این قسمت تغییرات تأخیری را که توسط کاربران سرویس‌های VoIP تجربه می‌شود محاسبه کرده و تأثیر تغییر پارامترهای لایه فیزیکی استاندارد ac ۸۰۲,۱۱ را بر روی این تغییرات برای مدل پیشنهادی D-EDCA و روش EDCA را مقایسه می‌نماید. تغییرات تأخیر در شکل (۷) نمایش داده شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که صرف‌نظر از پارامترهای لایه فیزیکی، میزان تغییرات تأخیر پاکت‌های VoIP با استفاده از مدل پیشنهادی D-EDCA کمتر از روش EDCA می‌باشد. با مشاهده نتایج تغییرات تأخیر به عنوان تابعی از تعداد آنتن‌ها می‌توان دید که با افزایش تعداد

زمانی پیروی می‌کنند، اما با افزایش تعداد پکت‌ها، اختلاف پیچیدگی زمانی افزایش می‌یابد، به طوری که این اختلاف در ۱۰۰ ورودی در صف به حدود ۲۵٪ خواهد رسید.

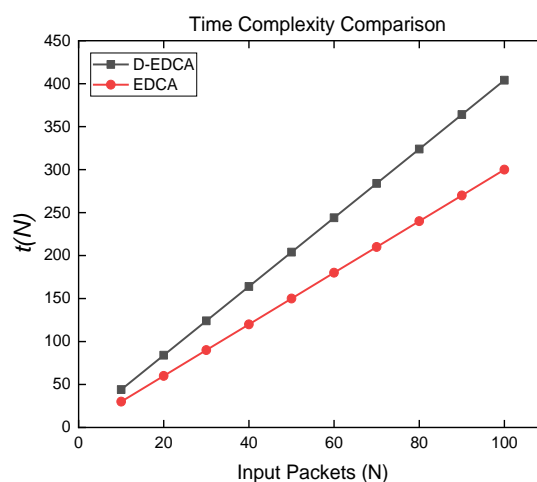
### ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل پویای D-EDCA برای افزایش کارایی سرویس‌های VoIP در شبکه‌های 802.11ac پیشنهاد شد. همچنین برای بررسی عملکرد مدل پیشنهادی و مقایسه آن با روش EDCA یک چارچوب پیشنهاد و ارائه گردید. هدف اصلی چارچوب تعیین مقادیر بهینه سه پارامتر مهم لایه فیزیکی استاندارد 802.11ac یعنی تعداد آنتن‌های رادیویی، عرض کانال انتقال داده و اندازه بازه محافظتی در راستای افزایش هرچه بیشتر کارایی مدل پیشنهادی می‌باشد. نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل پیشنهادی D-EDCA نشان‌دهنده عملکرد بهتر این مدل نسبت به روش EDCA در قالب پارامترهای ارزیابی کیفیت شبکه می‌باشند. همچنین در رابطه با تأثیر پارامترهای لایه فیزیکی، نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که افزایش تعداد آنتن‌های رادیویی می‌تواند باعث کاهش پکت‌های از دست رفته، تأخیر و تغییرات آن شود. از نظر عرض کانال انتقال داده، پایین‌ترین عملکرد برای کانال با عرض ۲۰ مگاهرتز به دست می‌آید در حالی که افزایش عرض کانال به ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ مگاهرتز می‌تواند کیفیت بهتری را برای سرویس‌های VoIP فراهم آورد. همچنین، مقدار زمانی بازه محافظتی اگر چه تا حدی باعث افزایش عملکرد سرویس‌های VoIP می‌شود ولی این افزایش چشمگیر نیست. بنابراین در حالی که مدل پیشنهادی کارایی سرویس‌های VoIP را در شبکه‌های 802.11ac نسبت به روش EDCA بهبود می‌بخشد، داشتن حداقل ۲ آنتن رادیویی با استفاده از کانال‌های عریض‌تر می‌تواند عملکرد مدل پیشنهادی را به نحو چشمگیرتری بهبود بخشد.

محافظتی بر روی روش EDCA مؤثرتر نسبت به مدل پیشنهادی D-EDCA می‌باشد. بر اساس این نتایج، برای پکت‌های VoIP که بسیار حساس به تغییرات تأخیر می‌باشند، مدل پیشنهادی عملکرد بهتری را در قالب تغییرات تأخیر کمتر پکت‌های VoIP نسبت به روش EDCA فراهم می‌آورد.

### ۴-۵ مقایسه عملکرد در قالب پیچیدگی زمانی

در این بخش مقایسه پیچیدگی زمانی ناشی از مدل پیشنهادی D-EDCA با روش EDCA ارائه شده است. شکل (۸) پیچیدگی زمانی را به ازای ۱۰ تا ۱۰۰ ورودی نشان می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه پیچیدگی زمانی مدل پیشنهادی D-EDCA با روش EDCA

نتایج به دست آمده در بالا نشان‌دهنده افزایش پیچیدگی زمانی همراه با افزایش تعداد ورودی‌ها در مدل D-EDCA و روش EDCA می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین پیچیدگی زمانی وقتی اتفاق می‌افتد که پکت‌های ورودی در صف به حداکثر تعداد خود می‌رسد. همچنین ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد پکت‌های در صف شیب پیچیدگی زمانی مدل ارائه شده از روش EDCA بیشتر است. این بدین معناست که در تعداد پکت‌های در صف پایین، هر دو مدل تقریباً از یک معیار در پیچیدگی

### مراجع

- [۱] سیده سمیرا محمدی و محمود دی پیر، "ارائه الگوریتم فرا ابتکاری جدید بر اساس جستجوی ممنوعه برای حل مسئله زمان‌بندی وظایف در سیستم مبتنی بر محاسبات ابری و مه"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، آذر ۱۳۹۸.
- [۲] علی احمدیان رمکی، عباس رسولزادگان و عباس جوان جعفری، "تشخیص نفوذ مبتنی بر مدل‌های مخفی مارکوف: روش‌ها، کاربردها و چالش‌ها"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۶، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۸۳-۲۰۶.

[۳] فائزه میرزائی، علی اکبر پویان و سعیده فردوسی، "شبیه‌سازی و پیاده‌سازی وظایف دوری از موانع و همگام‌سازی با استفاده از تئوری کنترل سوپروایزری احتمالی و زمان‌دار در رباتیک جمعی"، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۶، شماره ۵۵، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۷۵-۱۹۰.

[4] P.V. Kumari and P. C. Reddy, "Performance Evaluation of IEEE 802.11e EDCA using QUALNET", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 155, No.1, 2016, pp.11 – 15.

[5] R. Kitahara, K. Doi, and T. Imura, "Optimum Parameters for VoIP in IEEE 802.11e Wireless LAN", *APAN Network Research Workshop*, 2007.

[6] S. Son, K.J. Park, and E.C. Park. "Medical-Grade, Channel Access and Admission Control in 802.11e EDCA for Healthcare Applications", *PLoS ONE*, Vol. 11, (8): e0160052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160052>, 4 August 2016.

[7] R. Karmakar, S. Chattopadhyay, and S. Chakraborty, "Impact of IEEE 802.11n/ac PHY/MAC High Throughput Enhancements over Transport/Application Layer Protocols – A Survey", *Communication Surveys and Tutorials*, Vol. 19, No. 4, 2017, pp. 2050 – 2091.

[8] S. Mammeri, M. Yazid, L. B. Medjkoune, and A. Mazouz, "Performance study and enhancement of multichannel access methods in the future generation VHT WLAN", *Elsevier Future Generation Computer Systems*, Vol. 79, part. 2, Feb 2018, pp. 543 – 557.

[9] O. Bejarano, E. W. Knightly, and M. Park, "IEEE 802.11ac: From Channelization to Multi-User MIMO", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 51, Issue. 10, October 2013, pp.84 – 90.

[10] S. Byeon, c. Yang, O. Lee, K. Yoon, and S. Choi, "Enhancement of Wide Bandwidth Operation in IEEE 802.11ac Networks" *ICC Wireless communications symposium*, 2015, pp. 1547 – 1552.

[11] Z. Shah, S. Rau, and A. Baig, "Throughput Comparison of IEEE 802.11ac and IEEE 802.11n in an Indoor Environment with Interference", *international telecommunication networks and applications conference*, 2015, pp.196 – 201.

[12] S. Chaudhary, A. J. Patil, and A. V. Yadao, "WLAN-IEEE 802.11ac: Simulation and Performance Evaluation with MIMO-OFDM", *Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, 2016, pp.440 – 445.

[13] J. C. Chen and K. W. Cheng, "EDCA/CA: Enhancement of IEEE 802.11e EDCA by Contention Adaption for Energy Efficiency", *IEEE transaction on wireless communications*, Vol. 7, No. 8, 2008.

[14] C. Chen, H. Zaho, H. Xiang, C. Sun, J. Sui, L. Jhu, S. Wnag, L. Cong, and Y. Zhou, "A QoS Enhancement Scheme through Joint Control of Clear Channel Assessment Threshold and Contending Window for IEEE 802.11e Broadcasting", *Hindawi Mobile Information Systems*, Vol. 2017, 2017.

[15] N. Tiwari and O.P. Rishi, "Improved VoIP QoS over Wireless Networks", *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol.8, No. 5, pp. 959 – 963, 2017.

[16] Khadrah, Z. Zakaria, M. Othman, and M. S. I. M. Zin, "Markov Chain Model and Performance Enhancement for EDCA Protocol", *Journal of Communications*, Vol. 11, No. 8, pp. 748 – 757, August 2016.

[17] S. M. Sheikh, R. Wolhuter, and H. A. Engelbrecht, "The Impact of Transmission Opportunity (TXOP) on the Performance of Priority based Contention based Scheduling Strategies in Multi-Hop Mesh Networks", *Proceeding of the 13th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications*, 2016, pp.113 – 120.

[18] Z. Hu, X. Wen, Z. Li, Z. Lu, and W. Jing, "Modeling the TXOP Sharing Mechanism of IEEE 802.11ac Enhanced Distributed Channel Access in Non-Saturated Conditions", *IEEE communications letters*, Vol. 19, No. 9, 2015, pp. 1576 – 1579.

[19] E. Charfi, L. Chaari, S. Benhlima, and L. Kamoun, "IEEE 802.11ac TXOP sharing technique: Performance evaluation", *12<sup>th</sup> Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, 2016.

[20] G. Z. Khan, R. Gonzalez, E. C. Park, X. W. Wu, "Analysis of Very High Throughput (VHT) at MAC and PHY Layers under MIMO Channel in IEEE 802.11ac WLAN", *ICTACT Transactions on Advanced Communications Technology (TACT)*, Vol. 5, No. 4, 2016.

[21] R. Karmakar, P. Swain, S. Chattopadhyay, and S. Chakraborty, "Performance Modeling and Analysis of High Throughput Wireless Media Access with QoS in Noisy Channel for Different Traffic Conditions", *IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)*, 2016.

- [22] S. Chakraborty and S. Chattopadhyay, "ES2: Managing Link Level Parameters for Elevating Data Rate and Stability in High Throughput WLAN", 8<sup>th</sup> International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2016.
- [23] Jonsson, D. Akerman, and E. Fitzgerald, "Modeling, Implementation and Evaluation of IEEE 802.11ac in NS-3 for Enterprise Networks", Wireless Days (WD), 2016.
- [24] Y. Daldoul, D. E. Meddour, and A. Ksentini, "IEEE 802.11ac: Effect of Channel Bonding on Spectrum Utilization in Dense Environments", ICC Mobile and Wireless Networking, 2017.