

تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكاة أوبنت

د.م يمان غازي¹

المخلص

يُعد نقل الصوت عبر الإنترنت (VoIP) من أبرز تقنيات الاتصالات الحديثة، لما يوفره من مرونة وكفاءة في التكلفة مقارنة بالأنظمة التقليدية. وتُعد جودة الخدمة عنصراً حاسماً في نجاح تطبيقات VoIP، إذ تؤثر بشكل مباشر على تجربة المستخدم من حيث وضوح الصوت، الاستجابة الزمنية، واستقرار الاتصال. ومع تزايد الحاجة إلى تأمين الاتصالات الصوتية، يبرز دور التشفير كأداة أساسية لحماية البيانات الصوتية من التنصت أو التلاعب، دون الإخلال بجودة الخدمة.

تقدم هذه الدراسة تحليلاً دقيقاً لتأثير دمج خوارزمية التشفير AES (بعد تضمين أثرها في بيئة المحاكاة) مع ثلاث خوارزميات ترميز صوتي وهي (G.711, G.729, G.723.1) على مؤشرات جودة الخدمة، وذلك ضمن بيئة محاكاة واقعية تحاكي نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص، باستخدام المحاكاة OPNET 14.5. وقد تم تنفيذ ستة سيناريوهات تجريبية، تضمنت قياس مؤشرات الأداء مثل متوسط الرأي الشخصي (MOS)، التأخير من النهاية إلى النهاية، التقطيع (Jitter)، وتأخير الشبكة.

أظهرت النتائج أن خوارزمية G.711 مع التشفير حققت أعلى جودة صوت، لكنها سجلت أيضاً أعلى تأخير زمني وتقطيع، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب وضوحاً عالياً وسرية مشددة، بشرط توفر سعة شبكية كافية. في المقابل، تفوقت G.729 بدون تشفير في الأداء الزمني، حيث سجلت أقل تأخير وتقطيع وتأخير شبكي، مما يجعلها الخيار الأمثل في بيئات تعليمية نشطة تتطلب استجابة فورية واستقراراً في الاتصال، رغم انخفاض جودة الصوت نسبياً. أما G.723 فقد قدمت أداءً متوسطاً في جميع المؤشرات، مما يجعلها خياراً مرناً في البيئات محدودة الموارد. تُبرز

¹ أستاذ مساعد في قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة حمص.

تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكى أوبنت

هذه النتائج أهمية التوازن بين الأمان وكفاءة الأداء، وتؤكد أن اختبار التكوين الأمثل يجب أن يُبنى على طبيعة الاستخدام ومتطلبات الجلسة الصوتية، وليس على معيار ثابت. **الكلمات المفتاح:** المحاكى أوبنت، بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت، خوارزمية التشفير AES، خوارزميات ترميز الصوت، جودة الخدمة.

Performance Analysis of Voice over IP Protocol under the Impact of AES Encryption and Voice codec Algorithms Using the OPNET Simulator

Dr.Eng Yaman Ghazi*

ABSTRACT

Voice over Internet Protocol (VoIP) is considered one of the most prominent modern communication technologies, offering flexibility and cost-efficiency compared to traditional systems. Quality of Service (QoS) is a critical factor in the success of VoIP applications, as it directly affects the user experience in terms of voice clarity, response time, and connection stability. With the growing need to secure voice communications, encryption emerges as a fundamental tool to protect voice data from eavesdropping or tampering, without compromising service quality. This study presents a detailed analysis of the impact of integrating the AES encryption algorithm (after simulating its effect within the environment) with three voice encoding schemes—G.711, G.729, and G.723.1—on QoS indicators, within a realistic simulation environment that models the network of the Faculty of Informatics Engineering at the University of Homs, using the OPNET 14.5 simulator. Six experimental scenarios were implemented, measuring performance indicators such as Mean Opinion Score (MOS), end-to-end delay, jitter, and overall network delay. The results showed that G.711 with encryption achieved the highest voice quality (MOS), but also recorded the highest delay and jitter, making it suitable for applications requiring high clarity and strict confidentiality, provided sufficient network capacity is available. Conversely, G.729 without encryption excelled in temporal performance, achieving the lowest delay, jitter, and network latency, making it the optimal choice for dynamic educational environments that demand real-time responsiveness and connection stability, despite its relatively lower voice quality. G.723 demonstrated moderate performance across all indicators, making it a flexible option for resource-constrained environments. These findings highlight the importance of balancing security and performance efficiency, and affirm that selecting the optimal configuration should be based on the

nature of usage and the specific requirements of the voice session, rather than relying on a fixed standard.

Keywords: OPNET Simulator, Voice over Internet Protocol, AES Algorithms, Voice Codec, Quality of Service.

*Associate Professor, Department of Systems and Computer Network, Faculty of Informatics Engineering, Homs University.

1. مقدمة حول بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت:

يشير بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت الى تكامل الخدمات الهاتفية مع شبكات تبديل الحزم وهو خدمة تلفونية رقمية تستخدم شبكة الانترنت العامة بالإضافة الى الشبكة الخاصة بدلاً من شبكة الهواتف التقليدية. تحول أنظمة الـ VOIP الاشارة التماثلية الى اشارة رقمية لكي يتم نقلها على شكل حزم باستخدام بروتوكول الانترنت حيث توزع هذه الحزم عبر شبكة الانترنت أو أي شبكة تبديل حزم أخرى. يعتبر بروتوكول VOIP أحد أهم تقنيات الاتصالات الحالية حيث أنه يساعد في تحقيق الاستخدام الفعال لكل من عرض الحزمة والمعدات وخطوط النقل بالإضافة إلى تقليله لكلفة الاتصال. كما أنه يسمح بنقل أكثر من مكالمة هاتفية واحدة بالإضافة الى البيانات عبر نفس الحزمة. كما أنه من الممكن ترميز الكلام باستخدام خوارزميات مختلفة بغرض التكييف مع سعة القناة والملائمة مع الجودة المطلوبة مما يسمح بكفاءة وتحكم أكثر لاستخدام القناة. أي أنه مكن من استخدام المصادر الشبكية لاستخدامات متعددة، كما حقق كل من المرونة في التنقل، وإمكانية التوسعة، سهولة في الاستخدام، تكامل خدمات جديدة مثل [1]:

- القدرة على المحادثات الجماعية والبريد الصوتي.
- إمكانية تخصيص النغمات بالإضافة إلى إمكانية الاحتفاظ وإضافة تفاصيل الأشخاص المتصل بهم.
- إمكانية التحكم في الأرقام ومنع اتصال أو استقبال رقم معين.
- تسجيل سجل بجميع المكالمات الصادرة والواردة.
- رسائل تنبيهية والسماح بإعادة توجيه المكالمات من رقم معين إلى البريد الصوتي.

▪ عند الاتصال على رقم محدد يمكن أن نجعل أكثر من جهاز يقومون بعملية الرنين بشكل متزامن أو على التوالي (هذه الخاصية ملائمة كثيراً للأشخاص متعددي الخطوط الهاتفية).

▪ تحديد رقم واحد افتراضي يمكن أن يرتبط مع العديد من الخطوط الفعلية.

أدى نمو وزيادة استخدام بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت إلى زيادة الحمل على الشبكة مما شكل مشكلة إذا لم يتم أخذه بعين الاعتبار حيث أنه من المتوقع أن خدمات VOIP سوف تستبدل كامل خدمات الاتصالات التقليدية. أحد الحلول الممكنة لكن المكلفة هي انشاء شبكة بيانات جديدة خاصة بالVoIP. إلا أن شبكات بروتوكول الإنترنت المتقاربة تسعى إلى تحقيق التعاون والنقل لكل من البيانات والصوت والفيديو باستخدام نفس العتاد الصلب أي تحقيق الدمج بين شبكة البيانات الموجودة مع خدمة VoIP وهو الحل الأفضل. مما يتطلب مراقبة النظام لمعرفة هل يلبي حاجة المستخدم أم لا. لكي نحصل على جودة كلام جيدة بواسطة تطبيقات VOIP يجب أن نحلل مجموعة من وسائل جودة الخدمة. هذه الوسائط تساعدنا بتقييم كل من أداء مختلف البروتوكولات الشبكية، خوارزميات ترميز الكلام وغيرها. على أية حال فإن التكامل بين جميع أنواع الحمل في شبكة IP واحدة له العديد من الميزات والسلبيات. فرغم أنه يخفف الكلفة ويزيد كل من الوظيفية والحركة، إلا أنه يعاني أحياناً من تراجع في جودة الصوت، وعدم التوافق وغيرها [2].

2.الهدف من البحث:

المساهمة الرئيسية في هذا البحث تتمثل في تحليل تأثير دمج خوارزمية التشفير AES مع خوارزميات ترميز الصوت على جودة الخدمة (QoS) في بيئة نقل الصوت عبر الإنترنت. وقد تم تنفيذ هذا التحليل - بعد اضافة الخوارزمية AES الى بنية المحاكي أوبنت عن طريق اضافة اثر هذه الخوارزمية - من خلال اختبار ثلاث خوارزميات ترميز صوتية شائعة الاستخدام، وهي (G.711, G.729, G.723.1)، وذلك في حالي تفعيل خوارزمية AES وعدم تفعيلها. تم إجراء المحاكاة ضمن سيناريو شبكي واقعي يحاكي البنية التحتية لشبكة كلية الهندسة المعلوماتية في جامعة حمص، بما في ذلك التوزيع الفعلي للعقد، ونمط الحركة الشبكية، وتنوع الحمل الشبكي المستخدم. يهدف هذا التصميم إلى تقديم تقييم دقيق لأثر التشفير على مؤشرات جودة الخدمة مثل

التأخير، التقطيع، متوسط الرأي الشخصي، والإنتاجية وغيرها في بيئة قريبة من الواقع الأكاديمي والتطبيقي.

3. خوارزمية التشفير AES:

تُعد خوارزمية التشفير المتقدمة (AES - Advanced Encryption Standard) من أبرز خوارزميات التشفير المتناظرة المستخدمة في تأمين البيانات عبر الشبكات الحديثة، وقد تم اعتمادها رسمياً من قبل المعهد الوطني الأمريكي للمعايير والتكنولوجيا (NIST) عام 2001 كبديل آمن وفعال لخوارزمية DES التي أصبحت عرضة للهجمات المتقدمة. تعتمد AES على بنية كتلية بطول ثابت يبلغ 128 بت، وتدعم مفاتيح بطول 128، 192، أو 256 بت، مما يوفر مستويات متعددة من الأمان حسب الحاجة.

تعمل AES على تقسيم البيانات إلى كتل ثابتة، وتُطبق عليها سلسلة من الجولات التشفيرية تختلف حسب طول المفتاح المستخدم:

(AES-128: 10 جولات - AES-192: 12 جولة - AES-256: 14 جولة)

كل جولة تتضمن أربع عمليات رئيسية:

1. استبدال البايتات (SubBytes) : تحويل غير خطي باستخدام جدول S-box .
2. إزاحة الصفوف (ShiftRows): تدوير الصفوف في مصفوفة البيانات لتوزيع البايتات.
3. خلط الأعمدة (MixColumns): دمج الأعمدة باستخدام عمليات رياضية في حقل غالوا (Galois Field) .

4. إضافة مفتاح الجولة (AddRoundKey): دمج البيانات مع مفتاح الجولة باستخدام XOR.

في الجولة الأخيرة، يتم تجاوز عملية MixColumns لتقليل التعقيد دون التأثير على الأمان. أما فك التشفير، فيتم عبر تنفيذ العمليات العكسية باستخدام نفس المفتاح، مما يجعل AES خوارزمية متناظرة بالكامل.

في تطبيقات نقل الصوت عبر الإنترنت (VoIP)، يُعد تأمين البيانات الصوتية أمراً بالغ الأهمية، خاصة في البيئات الحساسة مثل الاتصالات الحكومية أو المؤسسية. توفر AES مستوى عالي

من الأمان، ولكن إدماجها في مسار نقل الصوت يتطلب دراسة دقيقة لتأثيرها على مؤشرات جودة الخدمة (QoS)، مثل:

- **زمن التأخير:** قد يزداد نتيجة عمليات التشفير وفك التشفير.
- **التقطيع:** قد يتأثر بتفاوت زمن المعالجة بين الحزم.
- **فقد الحزم:** في حال عدم توافق التشفير مع آليات إعادة الإرسال أو التزامن.

4. خوارزميات ترميز الصوت:

الكلمة codec هي اختصار لـ compressor-decompressor أو كما هو شائع أكثر coder-decoder (ترميز ضغط) وفك الترميز (فك الضغط) الإشارة الصوتية إلى بتات رقمية لكي تستخدم من قبل شبكات الحاسب. يأخذ المرز الصوت المحلي ويحوه إلى صيغة قابلة للنقل عبر الشبكة الرقمية. بينما يقوم مفك الترميز بالعمل المعاكس أي يأخذ الإشارات الرقمية من الشبكة ويحولها أو يفك تشفيرها إلى صيغة تمكن مكبر الصوت من قراءة الصوت المستقبل من الموقع البعيد [3]. بالعموم إن ترميز الكلام هو إجرائية تمثيل إشارة الكلام الرقمية باستخدام عدد بتات مختصر قدر الإمكان، مع تقدير مستوى الإجابة لجودة الصوت في الوقت ذاته. نتيجة لزيادة الحاجة إلى الاتصالات الصوتية فإن تقنيات ترميز الكلام حصلت على اهتمام واسع من قبل الباحثين وهيئات التقييس ومجتمعات رجال الأعمال. حيث أكدت الدراسات أن الترميز هي أحد أهم الجوانب في اتصالات VOIP وهناك العديد من الترميز المتاحة. حتى نحقق جودة صحيحة للصوت علينا اختيار الترميز الصحيح والمناسب.

الهدف الرئيسي لترميز الكلام هو إما زيادة الدقة مع معدل بتات ثابت أو إنقاص معدل البتات مع الحفاظ على جودة معينة. معدل البتات المناسب الذي سوف يرسل به الكلام أو يخزن يعتمد على كل من كلفة الإرسال أو التخزين، وكلفة الترميز (الضغط) لإشارة الكلام ومتطلبات جودة الكلام. في معظم الحالات وفي جميع مرمزات الكلام إن الإشارة المعاد بناؤها تختلف عن الإشارة الأصلية. معدل البتات سوف يتناقص من خلال تمثيل إشارة الكلام مع نقصان الدقة [4]، لذا فإن الخصائص المطلوبة في مرمزات الكلام تتضمن: معدل بتات منخفض، جودة كلام عالية، المرونة من خلال الاختلافات بين المتكلمين / اللغات، الأداء الجيد عند ترميز الإشارات غير الصوتية (الانغمات مثلاً)، استخدام حجم قليل من الذاكرة وتعقيد حسابي أقل، تأخير ترميز منخفض [4]. يمكن

تصنيف خوارزميات ترميز الكلام بعدة جهات نظر مثل معدل بتات الخرج (ثابت ومتغير)، ووفقاً لتقنيات الترميز (التراميز المعتمدة على شكل الموجة، المعتمدة على الوسطاء، التراميز الخليطة، التراميز ذات النمط الوحيد والتراميز ذات الأنماط المتعددة)، وغيرها [5]. سوف نقدم في الجزء التالي لمحة سريعة عن التراميز المراد مقارنتها في عملية الاختبار.

ITU-T G.711: هو أحد أنواع ترميز التعديل النبضي للترددات الصوتية ، مقيس من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات [6] بالتوصيات [7] ، صدر لأول مرة للاستخدام في عام 1972 من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات. خوارزمية G.711 مستخدمة بشكل كبير في الاتصالات الهاتفية (شبكات PSTN)، في الوقت الحاضر يتم تضمينه في معظم الخدمات الصوتية ومنتجاتها. معدل أخذ العينات في هذا الترميز هو 8000 عينة في الثانية الواحدة. مع نسبة تسامح بمعدل 50 جزء في المليون [7]. كما أنه يستخدم التكميم غير الموحد (لوغاريتمي) ب 8 بت لتمثيل كل عينة مما ينتج معدل نقل مقداره 64 كيلو بايت في الثانية ومدة الإطار هي 10 ميلي ثانية. لهذا الترميز اصدارين مختلفين قليلاً: الأول هو μ -law ويستخدم بشكل أساسي في شمال أمريكا واليابان، والأخر هو A-law ويستخدم في باقي البلدان. خوارزمية الترميز G.711 لا تنتج تأخير كبير. الملحق الأول للتوثيق الصادر عن الاتحاد العالمي للاتصالات [8] يعرف خوارزمية اخفاء فقدان الحزم (PLC)، أما الملحق الثاني [9] يعرف خوارزمية الارسال غير المستمر (DTX) والتي تستخدم نماذج الكشف عن نشاط الصوت (VAD) ونماذج تحمل توليد الضجيج (CNG) كي نقل من عرض الحزمة خلال فترات الصمت من المحادثة.

ITU-T G.729: أصبح هذا الترميز معياراً في عام 1996 بعد أن تم تقيسه من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات بالمعيار [10]، وهو خوارزمية تستخدم لترميز إشارات الكلام بمعدل 8 كيلو بت في الثانية باستخدام طريقة التنبؤ الخطي ذو الشفرة الجبرية المنفصلة ذات البنية المترافقة (CS-ACELP). المرمز مصمم ليعمل بمعدل أخذ عينات هو 8000 هرتز يتبع بتحويل PCM خطي ب 16 بت. خرج عملية فك الترميز يجب أن يتم تحويله الى اشارة تشابهية بطريقة مماثلة [10]. العملية التفصيلية لكل من اجرائية الترميز وفك الترميز يمكن أن نجدها في البندين 3 و 4 من [10]. حجم الإطار الناتج عن الترميز هو 10 بايت ومدة الإطار هي 10 ميلي ثانية. عرض الحزمة الناتج هو 8 كيلوبت في الثانية. في G.729 يتم تطبيق تأخير 5 ميلي ثانية وتقييم

تعقيد هذه الخوارزمية هو 15 وذلك باستخدام مقياس نسبي حيث أن خوارزمية G.711 [7] تقيمها 1 وخوارزمية G.723.1 [11] تقيمه 25. هنالك أكثر من 12 مرفق تم اضافتها الى المعيار الأصل. في بعض هذه الملاحق تم وصف الوظائف الجديدة التي تم تضمينها. يفتقر هذا الترميز يفتقر لمعدل النقر المتغير وDTX.

ITU-T G.723.1: هو ترميز معياري تم تقيسه من قبل الاتحاد الدولي للاتصالات في عام 1996 بالمعيار [11] ، ويعد من ترميز الكلام ذات معدل البتات المنخفضة ويعمل بنمطين (5.3 و 6.4 كيلو بت في الثانية) حيث أن النمط الأعلى يعطي جودة أفضل ويستخدم بشكل كبير مع المعيار H.323. يحتاج استخدامه الى ترخيص من قبل منظمة Spiro Lab Telecom، يستخدم هذا الترميز خوارزمية التعديل النبضي ذو التكيف التفاضلي (ADPCM) ولكن ينتج عنه تأخير كبير، وحجم الإطار الناتج عن الترميز في النمط 6.4 هو 24 بايت و20 بايت في النمط 5.3 ومدة الإطار هي 30 ميلي ثانية ويتم تطبيق تأخير بمقدار 7.5 ميلي ثانية [11]. الجدول (1): يظهر مقارنة بين خوارزميات الترميز الثلاثة المدروسة.

الجدول (1): خصائص الترميز الصوتية المدروسة

الترميز	خوارزمية الترميز	معدل البتات	مدة الإطار
G.711	PCM	64 Kb/s	10 ms
G.729A	CS-ACELP	8 kb/s	10 ms
G.723.1	ACELP	5.3/6.4 kb/s	30 ms

5. الدراسات السابقة:

شهدت الأبحاث في مجال نقل الصوت عبر الإنترنت تطوراً ملحوظاً في السنوات الأخيرة، خاصة فيما يتعلق بتأثير تقنيات التشفير والترميز على جودة الخدمة، وقد ركزت العديد من الدراسات على خوارزمية AES باعتبارها معياراً ذائع الصيت في تأمين البيانات الصوتية. في دراسة أجرتها جامعة الموصل عام 2021، تم اقتراح نظام تشفير صوتي باستخدام خوارزمية AES إلى جانب TDES، مع تطبيق تقنية كبس الصوت A-law PCM، وقد أظهرت النتائج أن AES توفر مستوى أمان مرتفع مع تأثير محدود على جودة الإشارة الصوتية، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات VOIP الحساسة [12]. من جهة أخرى، تناولت دراسة أجرتها الجامعة الافتراضية السورية الأسس النظرية لتطبيق

AES في الشبكات الزمنية، مشيرة إلى أهمية التوازن بين قوة التشفير وكفاءة الأداء، خاصة في البيئات التي تتطلب استجابة فورية مثل المكالمات الصوتية [13]. وفي السياق ذاته، تناولت دراسة أجرتها جامعة حمص عام 2017 تأثير عدد المستخدمين على أداء بروتوكولي SIP و H.323 في بيئة VoIP، باستخدام محاكي OPNET، حيث تم تحليل مؤشرات مثل التأخير وضياح الحزم وعدد المكالمات الفعالة، وأظهرت الدراسة أن بروتوكول SIP أكثر مرونة في التعامل مع الزيادة في عدد المستخدمين، بينما يتطلب H.323 موارد أكبر للحفاظ على جودة الاتصال [14].

كما قدمت جامعة القدس دراسة تطبيقية عام 2017 تناولت تحسين خوارزمية AES عبر دمجها مع بروتوكول تبادل المفاتيح (DH) Diffie-Hellman، بهدف تعزيز الأمان في تطبيقات VoIP على الهواتف الذكية، وقد أظهرت النتائج أن AES-DH يوفر قوة تشفير أعلى مع زيادة زمنية طفيفة (4-7%) مقارنة بـ AES التقليدية، دون تأثير ملحوظ على جودة الصوت أو زمن التأخير [15].

وفي دراسة أخرى [16] أجريت باستخدام محاكي NS2، تم تحليل تأثير تطبيق AES على تدفقات VOIP في شبكات لاسلكية، وأظهرت النتائج أن استخدام AES-256 يزيد من زمن التأخير بنسبة تصل إلى 12% مقارنة بالاتصالات غير المشفرة، لكنه يوفر حماية عالية المستوى، مما يجعله مناسباً للبيئات التي تتطلب سرية مشدد. كما أشار تقرير تقني صادر عن Microsoft حول خدمات Azure Communication إلى أن جودة مكالمات VoIP تتأثر بعدة عوامل منها فقد الحزم، التقطيع، وزمن الانتقال، وهي عوامل يمكن أن تتفاقم عند استخدام تقنيات التشفير غير المحسنة، مما يبرز أهمية اختيار خوارزميات تشفير فعالة وسريعة مثل AES عند تصميم أنظمة VoIP عالية الأداء [17].

كما تناولت دراسة أجرتها جامعة تشرين [18] تأثير خوارزميات ترميز الصوت المختلفة على جودة المكالمات في بيئة VoIP متعددة المستخدمين، باستخدام محاكي الأوبنت. وقد تم تحليل أداء كل من G.711 و G.723.1 و G.729 من حيث التأخير، التقطيع، وفقد الحزم، وأظهرت النتائج أن G.729 يوفر أداءً أكثر استقراراً في البيئات ذات النطاق المحدود، بينما يحقق G.711 جودة صوت أعلى في الشبكات ذات السعة الكبيرة.

في الدراسة [19] تم استخدام محاكي OPNET لدراسة أداء ترميز الصوت مثل G.711 و GSM-FR في شبكة WiMAX مع أخذ التنقل (handover) بعين الاعتبار. تم تحليل مؤشرات مثل معدل الإرسال، التأخير، ومتوسط الرأي الشخصي أظهرت النتائج أن G.711 يقدم أداءً جيداً من حيث MOS، بينما يتأثر الأداء بشكل كبير أثناء التنقل، مما يبرز أهمية اختيار الترميز المناسب حسب بيئة الشبكة. كما ركزت الدراسة [20] على تأثير اختيار ترميز VoIP وتقنيات الازتال (Queuing) على أداء الشبكة في بيئة تشمل VoIP و FTP ومؤتمرات الفيديو. تم تحليل مؤشرات مثل التأخير والتقطيع باستخدام أدوات محاكاة. أظهرت النتائج أن ترميزات مثل G.729 تقدم أداءً متوازناً في بيئات الضغط العالي، بينما تؤثر تقنيات الانتظار بشكل مباشر على جودة الخدمة. كما أجريت الدراسة [21] على 64 مكالمات VoIP حقيقية باستخدام ثمانية ترميزات صوت مختلفة من بينها G.711u، G.722، LBC تم قياس مؤشرات QoS مثل التأخير، التقطيع، وفقد الحزم، إلى جانب تقييم جودة الصوت باستخدام MOS. أظهرت النتائج أن ترميز LBC-13.33 أفضل أداءً من حيث جودة الصوت في بيئة WLAN، خاصة في ظروف الشبكة المتغيرة.

من خلال هذه الدراسات، يتضح أن نجاح تطبيق التشفير في بيئة VoIP لا يعتمد فقط على قوة الخوارزمية، بل على مدى توافقها مع خوارزميات الترميز والبروتوكولات المستخدمة، بالإضافة إلى طبيعة الشبكة وحساسيتها الزمنية. كما تؤكد نتائج الدراسات السابقة أن استخدام أدوات المحاكاة مثل OPNET يسمح بتحليل دقيق لتأثير التشفير والترميز على مؤشرات جودة الخدمة، مثل التأخير والتقطيع وفقد الحزم، مما يساعد في اتخاذ قرارات تصميمية مدروسة تحقق التوازن بين الأمان وكفاءة الأداء. هذه الرؤية المتكاملة تفتح المجال أمامنا في هذه الدراسة إلى اختبار تأثير دمج كل من التشفير باستخدام خوارزمية AES مع ترميز الصوت لمعرفة مدى التأثير الحاص على جودة الخدمة لبروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت باستخدام المحاكي أوبنت وذلك في نموذج شبكي واقعي يحاكي شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص.

6. محاكي الشبكات أوبنت:

إن OPNET عبارة عن أداة تجارية من شركة MIL3 [22] طورها الطالب Alain Cohen في عام 1986 وهو اختصار لـ Optimized Network Engineering Tools أي أدوات

هندسة الشبكات المحسنة. هو أحد أشهر المحاكيات الشبكية وأكثرها شعبية نتيجةً لاستخدامه الواسع في مجالي الصناعة والأبحاث الشبكية [23]، وهو نظام هندسي قادر على محاكاة شبكات اتصال ضخمة مع نمذجة تفصيلية للبروتوكولات، والتطبيقات، والأجهزة، وتحليل للأداء. في عام 2000 تم تغيير اسم الشركة MIL3 إلى OPNET Technologies, Inc وذلك تزامناً مع الإصدار السابع منه، وتم شراؤها من قبل Riverbed في عام 2012.

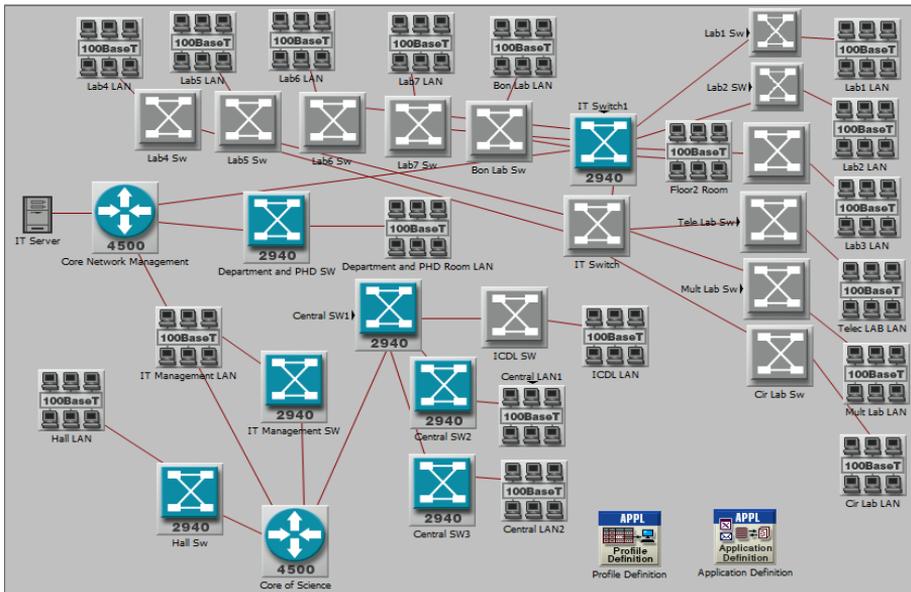
ميزته أنه يمتلك واجهات صورية قوية جداً للنموذج، محاكاة ديناميكية، وجدولة للأحداث، وأدوات تحليل متكاملة، وهرمية للبيانات [24]. ببساطة هو أداة محاكاة للشبكة تتيح تعريف طوبولوجيا الشبكة، العقد، التوصيلات، التطبيقات وغيرها. كما يمكن للمستخدم أن يعرف العمليات التي يمكن أن تحدث في عقدة جزئية وخصائص توصيلات الإرسال، وبعد ذلك تنفذ المحاكاة وتحلل النتائج لأي عنصر في شبكة المحاكاة [25]. كما إن OPNET هو بيئة محاكاة غرضية التوجه يحقق كل المتطلبات ويعتبر محاكي الشبكة الأكثر فعالية للأغراض العامة، ويشمل أيضاً على أدوات التحليل المخصصة لتفسير وتركيب الخرج ويعتمد محاكاة الأحداث المنقطعة. علاوة على ذلك فهو يتضمن دعم للغة C مزوداً بالقدرة على تحقيق أي مهمة أو بروتوكول. إن مجال واسع من أنظمة الاتصال بدءاً من شبكات LAN البسيطة حتى شبكات الأقمار الصناعية مدعومة من قبل OPNET. لكن من سيئاته أنه يحتاج إلى Compiler مثبت على جهاز الكمبيوتر لكي يستطيع العمل كما انه كبير الحجم وغالي الثمن إذا استخدم للأغراض التجارية ولكنه مجاني للأغراض البحثية بالإضافة إلى انه معقد مما يستغرق الكثير من الوقت أثناء التعلم.

لقد قمنا في هذا البحث باختيار برنامج (OPNET Modeler version 14.5) وهو برنامج معروف عالمياً في مجال محاكاة الشبكات ذات الأغراض العامة، وقد تم اختياره نتيجة لدعمه المميز لبروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت كما أنه يعد السباق في محاكاة خوارزميات ترميز الكلام، كما أن معظم الأبحاث المرجعية التي شملتها الدراسة المرجعية قامت باستخدامه، ومعظم المحاكيات الأخرى التي قمنا بتجريبها لا تحتوي على نماذج تدعم أبسط خوارزميات الترميز الشائعة، بالإضافة إلى ما يتمتع به من ميزات سواء احتواء على واجهة رسومية GUI تسهل على المستخدم تصميم النماذج، كما أنه يملك مكتبة كبيرة جداً من النماذج الجاهزة للاستخدام والقابلة

للتعديل، إضافةً إلى دعمه للعديد من نماذج التطبيقات كالبريد الإلكتروني وتصفح الإنترنت ونقل الملفات والاستعلامات وغيرها والتي يمكن تخصيصها بسهولة، بالإضافة إلى أنه موثوق بشكل جيد ويؤمن إمكانية عرض النتائج بشكل رسومي مما يسهل تحليلها، أي انه ببساطة يؤمن متطلبات البحث.

7. التطبيق العملي:

في هذا السيناريو سوف يتم تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت باستخدام مجموعة خوارزميات الترميز الثلاثة المدروسة قبل وبعد تطبيق خوارزمية التشفير AES وذلك في نموذج شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص التي تم توصيفها سابقاً بشكل مفصل سابقاً في الدراسة [26] والدراسة [27] والدراسة [28]. في البداية نذكر بتوصيف نموذج الشبكة مع كافة اعداداته مع اعداد خوارزميات الترميز الثلاثة المدروسة قبل إضافة التشفير .



الشكل (1): الطوبولوجيا الشبكية الداخلية لشبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص حيث أن شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص تنوزع على ثلاثة طوابق في الطابق الأول تتوضع المكاتب الإدارية (العميد - سكرتاريا العميد - نواب العميد - محاسن الرواتب - رئيس

الدائرة - الذاتية - شؤون الطلاب العام - شؤون الطلاب الموازي - الديوان - الامتحانات - قاعة السمنا - التصوير - معتمد الرسوم) بالإضافة إلى المخبر المركزي الذي يحتوي على شبكة مكونة من 100 جهاز حاسوب ومخبر علوم الحاسب والقاعات حيث أن جميع تجهيزات هذا الطابق تتصل شبكياً بالمبدلة الرئيسية في كلية العلوم التي تتوضع في الطابق الأرضي لكلية العلوم والتي تتصل بدورها بالمبدلة الرئيسية الأخرى الموجودة في غرفة إدارة الشبكة في الطابق الثاني. أما بالنسبة للطابق الثاني فيحتوي على بعض الغرف الإدارية (المكتبة - المخبرين - مراقب الدوام - الدراسات العليا) والمخابر (1-2-3- الوسائط المتعددة - الاتصالات - الدارات) التي تتصل جميعها بالمبدلتين IT_Switch و IT_Switch1 الموجودتين في نفس الطابق والتي تتصل احدهما بشكل مباشر مع المبدلة الرئيسية في غرفة إدارة الشبكة في نفس الطابق، وفي الطرف الأخر يوجد بعض الغرف الإدارية التي تخص أعضاء الهيئة التدريسية وغرفة أعضاء الهيئة الفنية والأقسام والسكرتارية الخاصة بهم وجميعها تتصل بالمبدلة Department and PHD SW التي تتصل بدورها بالمبدلة الرئيسية في غرفة إدارة الشبكة. أما الطابق الثالث يحتوي على المخابر (البنيان - 4 - 5 - 6 - 7) والتي تتصل جميعها بالمبدلتين IT_Switch و IT_Switch1 الموجودتين في الطابق الثاني. يبين الشكل (1) الطوبولوجيا الشبكية لكلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص. كما يجمع الجدول (2) كافة التجهيزات الشبكية الخاصة بكلية الهندسة المعلوماتية. حيث تم استخدام المكون BaseT_LAN100 الموجود ضمن المحاكى أوبنت للتعبير عن الشبكات الداخلية للمكاتب الإدارية والمخابر والقاعات وغيرها بحيث تم ضبط عدد الأجهزة ضمنها باستخدام الخاصية (Number of Workstations). كما تم تعريف ستة أنواع من الحمل في هذه الشبكة كما هو مبين في الجدول (3)، وتم ضبط استخدام الأنواع الستة من الحمل في عقدة المخدم الخاصة بالكلية كما هو مبين في الشكل (2) والمتوضع في غرفة إدارة الشبكة من خلال ضبط قيمة الخاصية Supported Services. بالنسبة لسرعة الكابلات فإن جميع سرع الكابلات المستخدمة في الشبكات الداخلية الفرعية (داخل كل من المخابر والقاعات والمكاتب الإدارية والوصلات بين مبدلات المخابر (الغير قابلة للإدارة) والمبدلات الرئيسية في الطوابق والوصلات بين المبدلة الرئيسية في المخبر المركزي والمبدلات الأخرى داخله) هي 100 ميغابت في الثانية، أما بالنسبة للكابلات التي تربط بين المبدلات الرئيسية (التي من النوع سيسكو 2940)

في الطوابق والمبدلتين الرئيسيتين (من النوع سيسكو 4500) في كلية العلوم وفي إدارة الشبكة هي من النوع فايبر بسرعة 1000 ميغابت في الثانية.

الجدول (2): تجميع التجهيزات الشبكية الخاصة بكلية الهندسة المعلوماتية

العدد	التجهيز الشبكية
338	النقاط الشبكية
5	مبدلة ب 24 منفذ قابلة للإدارة
2	مبدلة ب 48 منفذ قابلة للإدارة
13	مبدلة ب 24 منفذ غير قابلة للإدارة
2	مبدلة شبكية مركزية من النوع سيسكو 4500
1	مخدم تطبيقات
325	أجهزة حواسيب
1	طابعة شبكية

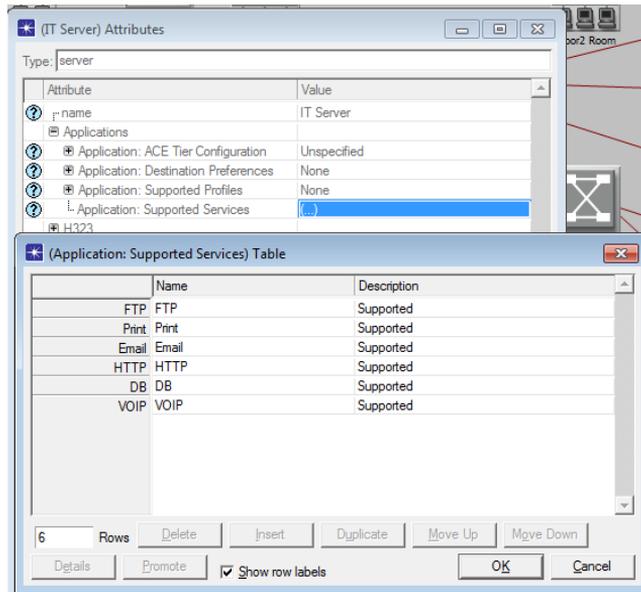
الجدول (3): التطبيقات المستخدمة في الشبكة

نوع الحمل	اسم التطبيق
عالي	نقل الملفات (FTP)
متوسط	طباعة (Print)
ملفات نصية	بريد الكتروني ((Email (POP 3 , SMTP))
متوسط	قواعد بيانات (Database)
عالي جداً	تصفح مواقع الويب والتحميل (HTTPS)
متوسط	الحمل الصوتي (VOIP)

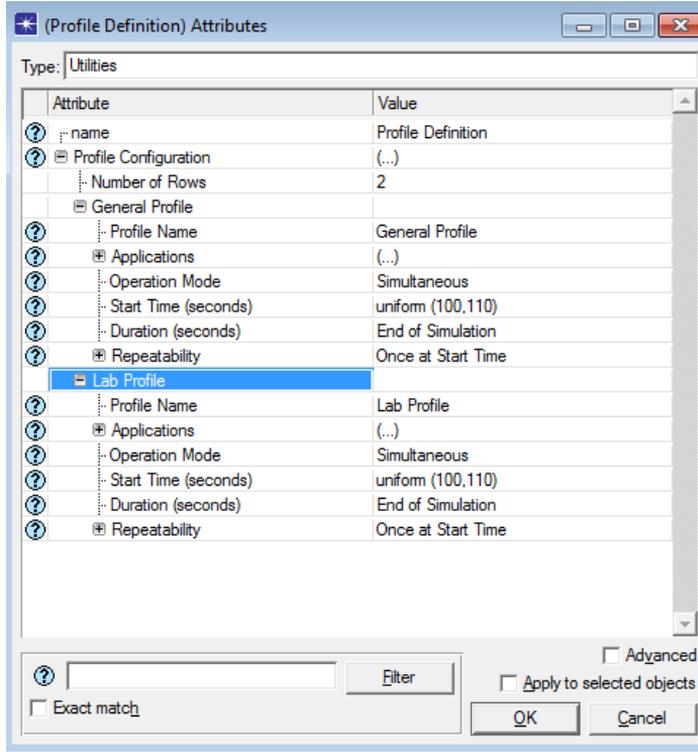
تم تعريف اثنان من البروفايل كما هو مبين في الشكل (3) الأول عام باسم (General Profile) يعمل بالتطبيقات الستة السابقة يتم استخدامه في أجهزة كل من المكاتب الإدارية وغرف أعضاء

تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكى أونبت

الهيئة التدريسية والفنية والأقسام ومخبر علوم الحاسب والمخبر المركزي، والثاني محدود باسم (Lab Profile) يعمل بثلاثة من التطبيقات فقط (نقل الملفات – تصفح الويب – الحمل الصوتي) تعمل بشكل متزامن مع بعضها ويتم استخدامه في أجهزة المخابر جميعها وفي القاعات. حيث أن كلاهما يبدأ بالعمل عند الثانية 100 من بدء المحاكاة وينتهي عند انتهاء زمن المحاكاة. تم ضبط استخدام كل من البروفایل الأول والثاني في العقد BaseT_LAN100 من خلال ضبط قيمة الخاصية Supported Profile.



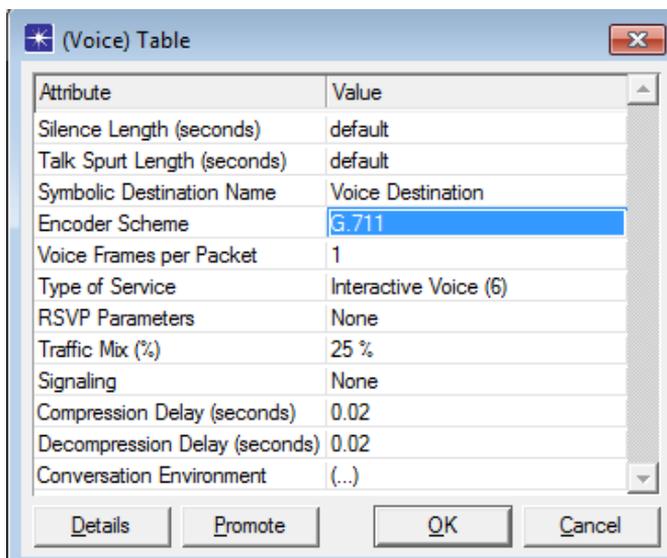
الشكل (2): ضبط الخاصية Supported Services في عقدة المخدم



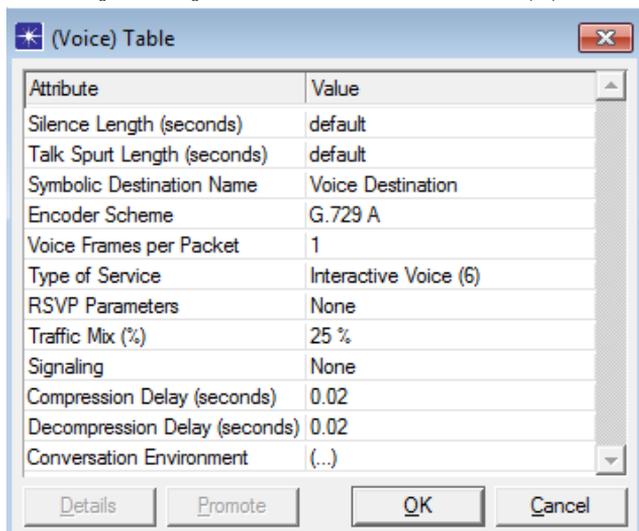
الشكل (3): اعدادات المحاكاة للمكون Profile Config

تم تطبيق كل خوارزمية من خوارزميات الترميز الثلاثة على حدا في سيناريو مستقل حيث تم ضبط اعدادات كل منها بالإعدادات التالية (عدد الإطارات الصوتية في الحزمة هو إطار واحد، تأخير الضغط وفكك الضغط هو 20 ميلي ثانية لكل منهما) كما هو مبين في الأشكال (4) (5) (6) للترميز G.723.1، G.729، G.711 على الترتيب.

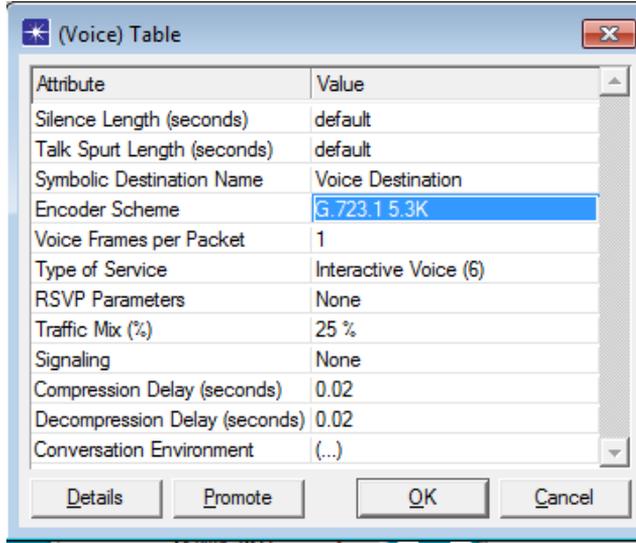
تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكى أوبنت



الشكل (4): اعدادات خوارزمية G.711 في المحاكى أوبنت



الشكل (5): اعدادات خوارزمية G.729 في المحاكى أوبنت



الشكل (6): اعدادات خوارزمية G.723.1 في المحاكى أوبنت

ومن ثم سوف نقوم بإضافة التشفير باستخدام الخوارزمية AES لتشفير البيانات الصوتية: نظراً لعدم دعم المحاكى OPNET لخوارزميات التشفير بشكل مباشر، توجد طريقتان لمحاكاة خوارزمية AES ضمن بيئة المحاكاة:

- محاكاة تأثير التشفير دون تنفيذ فعلي.
- دمج مكتبة خارجية لتنفيذ التشفير الحقيقي.

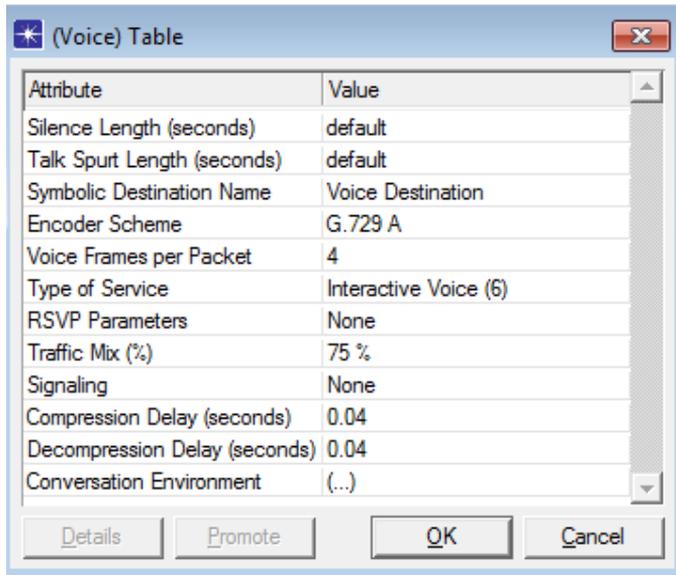
وبما أن هدف البحث لا يتمثل في تحليل البيانات المشفرة نفسها، بل في دراسة أثر إدراج التشفير على جودة الخدمة (QoS)، فقد تم اعتماد الطريقة الأولى، وهي محاكاة التأثير دون تنفيذ التشفير فعلياً.

لتحقيق ذلك، تم تعديل خصائص تطبيق VoIP داخل مكون **Application Configuration** لمحاكاة التأثير الزمني والحسابي الناتج عن استخدام خوارزمية AES، وتحديدًا نمط **AES-256** الذي يُعد الأكثر تعقيداً من حيث المعالجة.

خطوات محاكاة إضافة تأثير التشفير:

1- تعديل الخاصية **Voice Frames per Packet** تم رفع القيمة من 1 إلى 4، مما يزيد من حجم الحزمة الصوتية ويعكس تأثير التشفير على البيانات المنقولة.

- 2- زيادة قيمة **Compression Delay** تم ضبط التأخير إلى **4 ميلي ثانية** لمحاكاة زمن التشفير في طرف الإرسال.
- 3- زيادة قيمة **Decompression Delay** تم ضبط التأخير إلى **4 ميلي ثانية** لمحاكاة زمن فك التشفير في طرف الاستقبال.
- 4- **تعديل نمط Traffic Mix** تم اختيار نمط **75%** بدلاً من 25% لمحاكاة بيئة ذات حمل شبكي مرتفع، يعكس الضغط الناتج عن التشفير.
- تم اعتماد تعديل القيم السابقة، استناداً إلى منهجية وردت في الدراسة [29] والدراسة [30]، والتي استخدمت OPNET لمحاكاة تأثير ظروف الشبكة والمعالجة على جودة خدمة VoIP في بيئات متعددة البروتوكولات بالإضافة إلى التجريب للوصول إلى القيم التقريبية المناسبة.
- يظهر الشكل (7) التعديلات المقترحة على تطبيق الـ VOIP لمحاكاة أثر إضافة التشفير باستخدام الخوارزمية AES لأحد الترميز الصوتية وليكن G.729 ونكرر نفس العملية للترميز G.711 و الترميز G.723.1.



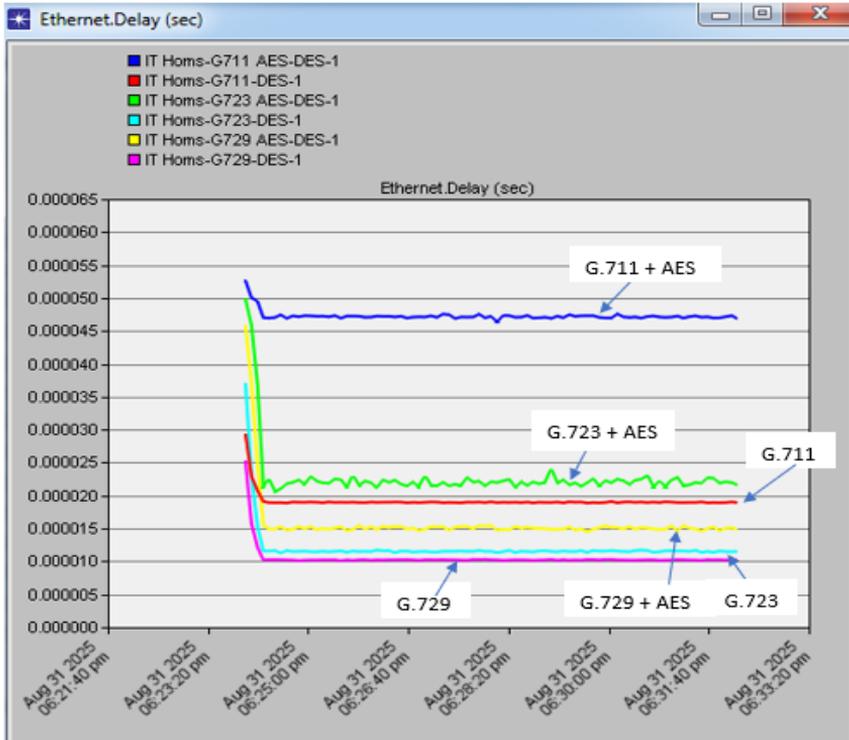
الشكل (7): تعديل الإعدادات الصوتية لمحاكاة أثر إضافة التشفير باستخدام AES على

الترميز G.729

في المجمل حصلنا على ستة سيناريوهات، لكل خوارزمية ترميز صوتي سيناريو مع تطبيق خوارزمية التشفير AES وآخر دون تطبيق التشفير، وقمنا بقياس كل من متوسط الرأي الشخصي، والتقطيع، وتأخير الحزم من النهاية للنهاية، وقيمة البيانات الصوتية المستلمة، ومتوسط الرأي الشخصي بواسطة المحاكى أوبنت وبزمن محاكاة مقداره 10 دقائق لكل سيناريو. ملاحظة هامة: في هذه الدراسة ندرس تأثير التشفير باستخدام الخوارزمية AES على بروتوكول الـ VOIP وليس تشفير كامل الحمل الشبكي بإستخدام هذه الخوارزمية.

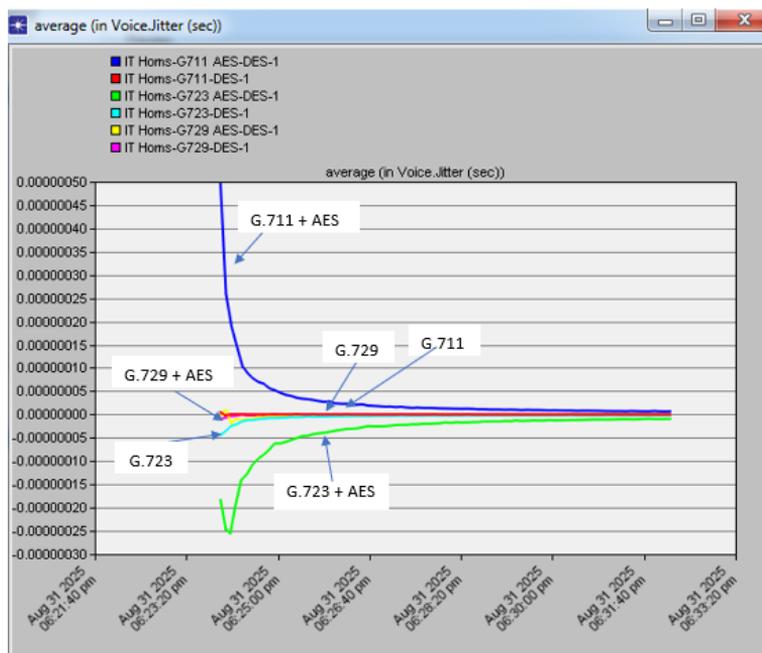
8. النتائج والمناقشة:

تظهر الأشكال (8) (9) (10) (11) نتائج تنفيذ المحاكاة للسيناريوهات الستة المدروسة حيث تظهر كل من متوسط قيمة التأخير في الشبكة كاملة ومتوسط كل من التقطيع والرأي الشخصي والتأخير من النهاية الى نهاية لبروتوكول الـ VOIP على الترتيب.

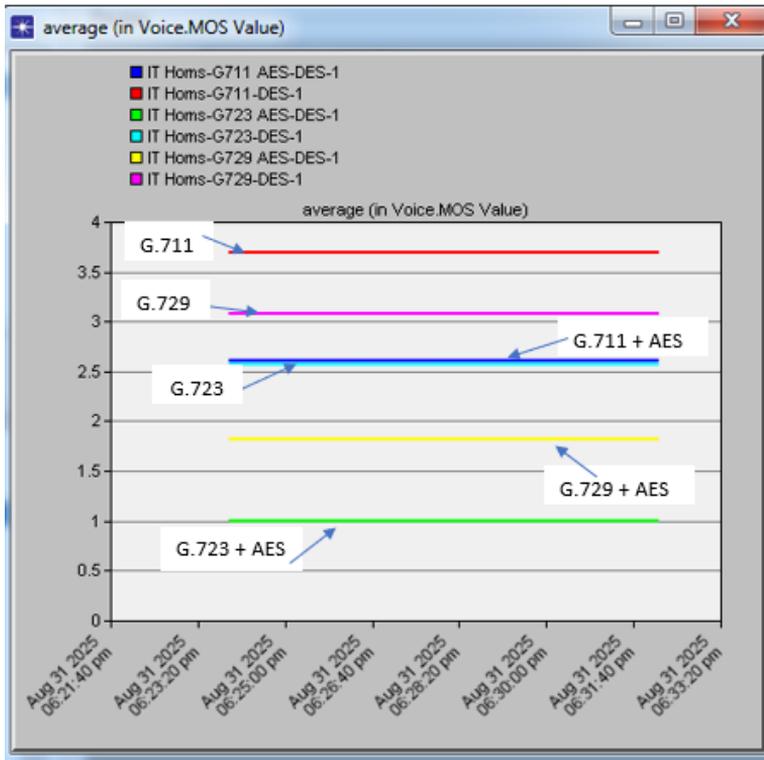


الشكل (8): متوسط التأخير لكامل الشبكة في سيناريوهات المحاكاة الستة

تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكى أوبنت

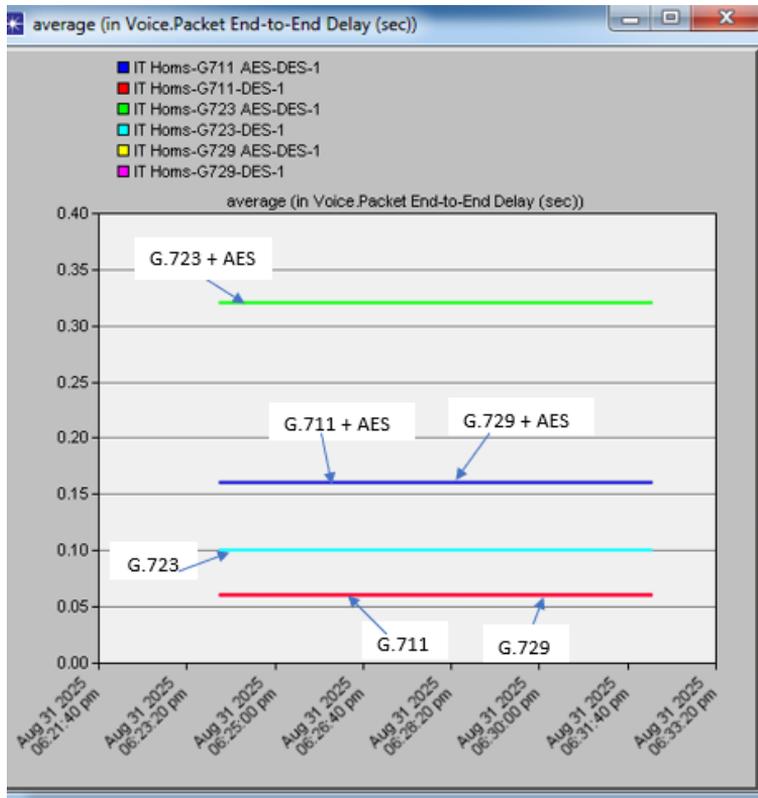


الشكل (9): متوسط التقطيع لبروتوكول VOIP في سيناريوهات المحاكاة الستة



الشكل (10): متوسط الرأي الشخصي لبروتوكول VOIP في سيناريوهات المحاكاة الستة

تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكاة أوبنت



الشكل (11): متوسط التأخير من النهاية الى النهاية لبروتوكول VOIP في سيناريوهات المحاكاة الستة

أظهرت النتائج تفاوتاً واضحاً في الأداء بين السيناريوهات، مما يتيح استخلاص توصيات تطبيقية مناسبة للنموذج المدروس، وهو نموذج كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة حمص.

أظهرت خوارزمية G.711 مع التشفير أعلى قيمة لمتوسط الرأي الشخصي (≈ 4.3)، مما يدل على جودة صوت ممتازة أي أن التشفير لم يؤثر على وضوح الصوت بل ساهم في استقرار تدفق البيانات الصوتية عبر الحزم الأكبر حجماً، إلا أنها سجلت أيضاً أعلى تأخير من النهاية إلى النهاية (≈ 0.35 ثانية) وأعلى Jitter وتأخير شبكي، وهو ما قد يشكل تحدياً في بيئة تعليمية تعتمد على استجابة فورية وتعدد المستخدمين. في المقابل، حققت G.729 بدون تشفير أفضل أداء

زمني، حيث سجلت أقل تأخير (≈ 0.08 ثانية)، وأدنى تقطيع، وأقل تأخير شبكي، لكنها جاءت بأدنى جودة صوت (≈ 2.7)، ما قد يؤثر على وضوح المكالمات أو النقاشات الصوتية. أما G.723 فقد قدمت أداءً متوسطاً في جميع المؤشرات، مما يجعلها خياراً متوازناً في حال كانت الشبكة محدودة الموارد ولكن تتطلب جودة صوت مقبولة.

الاستنتاج التطبيقي هو أن استخدام G.729 بدون تشفير يُعد الأنسب في بيئة الكلية عند الحاجة إلى تقليل التأخير وضمان استقرار الشبكة، خاصة في الجلسات التفاعلية أو المحاضرات المباشرة. أما في الحالات التي تتطلب خصوصية عالية وجودة صوت ممتازة، مثل الاجتماعات الإدارية أو نقل بيانات حساسة، فإن G.711 مع AES يمكن اعتماده بشرط توفر عرض حزمة شبكية كافية. بالتالي، يُوصى بتبني نموذج ترميز وتشفير مرن يتكيف مع نوع الجلسة ومتطلبات الأداء، مع مراعاة التوازن بين الأمان والكفاءة الزمنية، حيث يمكن القول إن اختيار الترميز والتشفير لا يجب أن يكون موحداً عبر جميع أقسام الكلية، بل يجب أن يُبنى على طبيعة الاستخدام، عدد المستخدمين، وحساسية البيانات المنقولة.

9. التطلعات المستقبلية:

يمثل هذا البحث خطوة أولية نحو فهم العلاقة المعقدة بين خوارزميات التشفير وخوارزميات ترميز الصوت في بيئة VOIP، خاصة عند استخدام المحاكي OPNET لتقييم جودة الخدمة. وبناءً على النتائج المتوقعة، يمكن توسيع نطاق الدراسة مستقبلاً ليشمل عدة محاور بحثية متقدمة. من أبرز هذه التطلعات، دراسة تأثير خوارزميات تشفير بديلة مثل ChaCha20 أو خوارزميات التشفير المتماثل المعتمدة على الحوسبة الكمية، ومقارنتها بأداء AES من حيث الكفاءة الزمنية والاستهلاك الحوسبي في بيئات VoIP ذات الحمل العالي.

كما يمكن تطوير نماذج محاكاة أكثر تعقيداً تشمل سيناريوهات متعددة المستخدمين، وتنوع في البنية التحتية الشبكية (سلكية ولاسلكية)، مع دمج تقنيات QoS الديناميكية مثل DiffServ و p802.1، وذلك لتحليل التفاعل بين التشفير والترميز في ظروف أخرى. ومن التوجهات الواعدة أيضاً، دراسة تأثير التشفير على أداء بروتوكولات التحكم في الجلسات مثل SIP و H.323، خاصة في حالات إعادة الاتصال، التفاوض على الترميز، وتبادل المفاتيح.

وفي سياق أمني أعمق، يمكن دمج تقنيات التوثيق المتقدمة مثل المصادقة الثنائية (2FA) أو التشفير الطرفي (End-to-End Encryption) ضمن سيناريوهات المحاكاة، وتحليل أثرها على زمن الإعداد وجودة المكالمات. كما يُعد تحليل الأداء في بيئات الحوسبة السحابية مجالاً خصباً للبحث، خاصة مع انتشار خدمات الاتصال السحابي مثل Microsoft Teams و Zoom، التي تعتمد على تشفير ديناميكي وتوزيع جغرافي للخوادم. كما يمكن تجريب خوارزميات ترميز أخرى مثل الـ AMR و Speex وغيرها.

10. جدول المختصرات:

MOS	Mean Opinion Score
OPNET	Optimized Network Engineering Tool
VOIP	Voice over Internet Protocol
AES	Advanced Encryption Standard
DES	Data Encryption Standard
NIST	National Institute of Standards and Technology
MOS	Mean Opinion Score
PCM	Pulse Code Modulation
QoS	Quality of Service
CS- ACELP	Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear- Prediction
PSTN	Public Switched Telephone Network
PLC	Packet Loss Concealment
DTX	Discontinuous Transmission
VAD	Voice Activity Detection
CNG	Comfort Noise Generation
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
SIP	Session Initiation Protocol
GSM-FR	Global System for Mobile Communications – Full Rate
FTP	File Transfer Protocol
iLBC	Internet Low Bitrate Codec
WLAN	Wireless Local Area Network
AMR	Adaptive Multi-Rate

11. المراجع:

- [1] Sheetal Jalendr و Shradha Verma ، "A Detail Review on Voice over Internet Protocol (VoIP) "، *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* ، May 2015 .

- [2] Rahul Singh و Ritu Chauhan ، "A Review Paper: Voice over Internet Protocol "، *International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications* ، January 2014 .
- [3] J. D. Gibson ، "Speech Coding Methods, Standards, and Applications."، *Department of Electrical & Computer Engineering - University of California, Santa Barbara* .
- [4] W. C. CHU ، SPEECH CODING ALGORITHMS Foundation and Evolution of Standardized Coders ، San Jose, California - USA: John Wiley & Sons, Inc. .2003 ،
- [5] "Performance Analysis Of VOIP Codec's With QoS Parameters "، *International Journal of Advance Foundation and Research in Computer (IJAFRC)* ، pp. 96-103 ، May 2015 .
- [6] "International Telecommunications Union . [متصل] . Available: <http://www.itu.int> [تاريخ الوصول Dec 2017].
- [7] I.-T. R. G. 711 ، "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies "، *International Telecommunication Union* .2003 ، تأليف
- [8] I. T. Union ، "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. Appendix I: A High Quality Low-Complexity Algorithm for Packet Loss Concealment for G.711 "، *ITU-T Recommendation G.711* .1999 ،
- [9] I. T. Union ، "Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. Appendix II: A Comfort Noise Payload Definition for ITU-T G.711 Use in Packet-Based Multimedia Communication Systems "، *ITU-T Recommendation G.711* .2000 ،
- [10] I. T. Union ، Coding of speech at 8 kbps using conjugate structure algebraic-codec-excited linear-prediction ، ITU-T Recommendation G. 729 .1996 ،
- [11] I.-T. R. G.723.1 ، "Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communication Transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s "، تأليف ، *International Telecommunication Union* .1996 ،

- [12] m. alshomari ، "Design A Tool to Gauge the Resistance of Block Cipher Algorithm to Linear and Differential Cryptanalysis "، *Master thiese, Almosel Uni* .2022 ،
- [13] ص. ا. جي، مقدمة في التشفير، الجامعة الافتراضية السورية، 2018.
- [14] ع. الزعبي، "تقييم أداء بروتوكولات VOIP باستخدام OPNET"، جامعة حمص، 2017.
- [15] n. a. k. m. jabali ، "Extending AES with DH Key-Exchange to Enhance VoIP Encryption in Mobile Networks "، *AL-Quds University* .2017 ،
- [16] Badugu Nikhil Teja ، Shweta Helchel ، P. Sai Krishna Pratap Reddy و V. Seetha Rama Rao ، "Implementation of Advanced Encryption Standard (AES) for High-Security Applications "، *International Journal of Advanced Research* ، المجلد 7، pp. 498-504 .2019 ،
- [17] M. Learn ، "Troubleshooting VoIP Call Quality in Azure Communication Services"، *Azure Communication Services*.2022 ،
- [18] " Performance analysis of G.711, G.723.1, G.729 codecs over VoIP apps و شروق ميا، "، *مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية : سلسلة العلوم الهندسية، المجلد 3، رقم 40، 2018.*
- [19] Hayder Rashid ، "Audio Codecs Impact on Quality of VoIP Based on IEEE802.16e Considering Mobile IP Handover "، *American Journal of Networks and Communications* .2015 ،
- [20] E. MUNTHALI ، "PERFORMANCE ANALYSIS OF VoIP CODEC SCHEMES AND QUEUING TECHNIQUES AND THEIR IMPACT ON FTP AND VIDEO CONFERENCING "، *UNIVERSITY OF ZAMBIA* .2023 ،
- [21] Martín ORTEGA ORTEGA و Josué ORTEGA ORTEGA ، "An Assessment of Voice Quality and QoS in Real VoIP Calls Using Multiple Voice Codecs "، *Proceedings of the 15th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics* ، .2024

- [22] "OPNET official websit [متصل]. Available: <http://www.riverbed.com/products/performance-management-control/opnet.html>.
- [23] S. Siraj ،A. K. Gupta و R. Badgujar ،"Network Simulation Tools Survey "،*International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* ، المجلد 1، رقم 4، p. 10 .2012 ،
- [24] J. Pan و R. Jain ،"A Survey of Network Simulation Tools: Current Status and Future Developments "،*Project* .2008 ،
- [25] A .S. Sethi و V .Y. Hnatyshin ،"The Practical OPNET® User Guide forComputer Network Simulation ،CRC Press is an imprint of Taylor &Francis Group, an Informa business .2013 ،
- [26] م. يمان غازي و د. ماهر عباس، "تحقيق خوارزمية ترميز الكلام AMR-NB ذات معدل بنات الخرج المتغير في المحاكى أوبنت واختبار أداؤها على شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث،" *مجلة جامعة حمص*، المجلد 40، 2018.
- [27] م. يمان غازي و د. ماهر عباس، "مقارنة خوارزميات ترميز الكلام ذات معدل بنات الخرج الثابت على شبكة كلية الهندسة المعلوماتية في جامعة البعث باستخدام المحاكى أوبنت،" *مجلة جامعة حمص*، المجلد 40، 2018.
- [28] د.م يمان غازي، "تحقيق عقدة توليد حمل الكلام الحقيقي في المحاكى أوبنت وتقييمها باستخدام خوارزميات ترميز الصوت في شبكة كلية الهندسة المعلوماتية بجامعة البعث،" *مجلة جامعة حمص*، 2021.