

# مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 9

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية	أ. د. وليد حمادة
رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية	د.نعيمة عجيب

عضو هيئة التحرير	د. محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : [www.homs-univ.edu.sy](http://www.homs-univ.edu.sy)

. البريد الإلكتروني : [journal.homs-univ.edu.sy](http://journal.homs-univ.edu.sy)

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
  - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
  - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:  
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:  
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :  
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
  - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :  
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
  - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):  
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
  - 2- هدف البحث
  - 3- مواد وطرق البحث
  - 4- النتائج ومناقشتها .
  - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
  - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات ( الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
  - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
  - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
  - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
  - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي - العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج. يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة  
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام ورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة - الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة - سنة النشر - وتتبعها معترضة ( - ) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة - دار النشر وتتبعها فاصلة - الطبعة ( ثانية . ثالثة ) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .  
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

— بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة — المجلد والعدد ( كتابة مختزلة ) وبعدها فاصلة — أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.  
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: ( المراجع In Arabic )

## رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
40-11	الباحث: د.أنس قرمو	دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة
52-41	الباحث: د.م. عمر الزعبي	تقييم أداء الوصلة المساعدة للشبكة MIMO NOMA – في الجيل الخامس 5G
82-53	د.م. يمان غازي	تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكى أوبنت
118-83	م.علي عصام يوسف د.غالب أحمد د.هيثم عيسى د.سليمان العلي	دراسة تصميمية لتحسين مائة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks
150-119	م. عهد خليل صافي د.لينا مراد	إخفاء البيانات في الصور الرقمية



## دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحض ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة

اعداد الباحث : د. أنس قرمو

### الملخص

في ظل التوجه العالمي المتزايد نحو الاستدامة البيئية وترشيد استهلاك الطاقة، يكتسب تطوير مواد بناء ذات خصائص حرارية وميكانيكية محسنة أهمية كبيرة، خاصة في سياق مرحلة إعادة الإعمار في الجمهورية العربية السورية. يهدف هذا البحث إلى دراسة تصنيع نوعين من الطوب الإسمنتي الرغوي خفيف الوزن باستخدام مادتين مولدتين للرغوة: بودرة الألمنيوم لإنتاج الطوب من نوع (Cellular Lightweight Concrete (CLC)، ومادة ألفا أولفين سلفات لإنتاج الطوب من نوع (Foam Concrete Blocks (FCB)، تم إعداد عدة عينات بنسب مختلفة من المواد المولدة للرغوة، وتم اختبارها تجريبياً لتحديد الكثافة، ومعامل التوصيل الحراري، ومقاومة الانضغاط.

أظهرت النتائج أن الطوب من نوع (FCB) يمتاز بكثافة أقل  $(711-401) \text{kg/m}^3$  مقارنةً بـ (CLC)  $(1004-598) \text{kg/m}^3$ ، مع انخفاض واضح في معامل التوصيل الحراري ليصل إلى  $0.09 \text{W/m.K}$  في (FCB)، مقابل  $0.21 \text{W/m.K}$  في (CLC)، مما يجعله أكثر كفاءة في العزل الحراري. في المقابل، تفوق (CLC) من حيث الخواص الميكانيكية، حيث بلغ إجهاد الكسر نتيجة الضغط حتى  $22.6 \text{kg/cm}^2$ ، مقارنةً بـ  $18.5 \text{kg/cm}^2$  في (FCB).

تُظهر الدراسة جدوى استخدام الطوب الرغوي في الأبنية الهيكلية غير الحاملة، مع إمكانية خفض الأوزان وتقليل استهلاك مواد البناء والطاقة. وتوصي الدراسة بتطوير الخلطات لتحسين المقاومة الميكانيكية، وتوسيع نطاق البحث لإدماج مزايا كلا النوعين ضمن خلطة هجينة، إلى جانب تشجيع الإنتاج المحلي لهذه المواد دعماً للاستدامة والاقتصاد الوطني.

## **Comparative Study of the Optimal Thermal and Mechanical Properties of Foamed Bricks Produced Using Aluminum Powder and Alpha-Olefin Sulfonate as Foaming Agents**

### **Abstract**

In light of the growing global emphasis on environmental sustainability and energy conservation, the development of building materials with enhanced thermal and mechanical properties is of critical importance—particularly within the context of the reconstruction phase in the Syrian Arab Republic. This study aims to investigate the production of two types of lightweight foamed concrete blocks using different foaming agents: aluminum powder for producing Cellular Lightweight Concrete (CLC), and alpha-olefin sulfonate for producing Foam Concrete Blocks (FCB). Several samples were prepared with varying proportions of foaming agents and experimentally tested to determine density, thermal conductivity, and compressive strength.

The results revealed that (FCB) exhibited lower density, ranging from 401 to 711 kg/m<sup>3</sup>, compared to (CLC), which ranged from 598 to 1004 kg/m<sup>3</sup>. (FCB) also showed significantly lower thermal conductivity values, reaching as low as 0.09 W/m·K, in contrast to 0.21 W/m·K for (CLC), making it more efficient in terms of thermal insulation. On the other hand, (CLC) demonstrated superior mechanical properties, with compressive strength reaching up to 22.6 kg/cm<sup>2</sup>, compared to 18.5 kg/cm<sup>2</sup> for (FCB).

This study highlights the viability of using foamed concrete blocks in non-load-bearing structural applications, offering the potential to reduce structural weight and minimize the consumption of construction materials and energy. The study recommends further development of mix designs to enhance mechanical strength and calls for expanded research into hybrid mixtures that integrate the advantages of both types. Additionally, it encourages local production of these materials to support sustainability and contribute to the national economy.

**Key Words: Cellular Lightweight Concrete (CLC), Foam Concrete Blocks (FCB), Thermal Conductivity of the Foam Concrete Block, Foam Concrete Block Testing.****مقدمة:**

تكتسب قضايا البيئة اهتماماً متزايداً في جميع أنحاء العالم بسبب التقلبات البيئية التي تجري في الآونة الأخيرة والسلوك البيئي السيئ الذي تنتهجه بعض الدول والذي أدى إلى التدهور على المستوى البيئي وظهور بعض الظواهر البيئية الخطيرة كظاهرة الاحتباس الحراري، وإن ازدياد عدد السكان العالمي جعل العالم أكثر وعياً لأهمية الاستدامة والحاجة إلى السلوك السليم لحماية البيئة [1].

تتوعدت سياسات دول العالم في تعاملها في هذا الملف، فمنها من اتبعت سياسات توليد الطاقة النظيفة للتقليل من انبعاثات الغازات الدفيئة، كاستثمار الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والمد والجزر وأنواع أخرى من الطاقات النظيفة، وبالتالي تقليل الغازات الدفيئة المنبعثة عن مولدات الطاقة ومحطات الطاقة التقليدية بشتى أنواعها، ودول أخرى اتبعت سياسات ترشيد استهلاك الطاقة للتقليل من الطاقة المصروفة في جميع المجالات، وكان هذا المحور بعدة طرق فبعض الدول اتبعت منهج تشجيع مواطنيها على استخدام الأجهزة المنزلية منخفضة الاستهلاك للطاقة (نظام انفيرتر) لتقليل استهلاك الطاقة المنزلية، وطبقت نفس السياسات على المعامل والمصانع والجهات الإنتاجية المستهلكة للطاقة، ودول أخرى اتبعت سياسة الترشيد من خلال التقليل من استهلاك الطاقة بطريقة السلبية أي استخدام نظم ومعايير تعمل لتقليل الطاقة المصروفة بتوفير بنى تحتية صديقة للبيئة كإنشاء المباني الذكية التي تعمل على أقل استهلاك للطاقة وخاصة بما يخص التدفئة والتكييف، فكانت بطرق متنوعة فمباني تم انشائها وتطبيق عليها معايير العزل الحراري الجيد، ومباني أخرى تم انشاؤها بمواد متغيرة الطور بحيث تحقق شروط الراحة الحرارية، ومباني أخرى تم انشاؤها بمواد بناء ذات مواصفات جيدة من الناحية الحرارية

والتي تحقق شروط الراحة الحرارية كاستخدام مواد البناء الرغوية سواء أكانت خلطات اسمنتية أو استخدام أنواع مختلفة من الطوب الاسمطي الرغوي.

في ظل المرحلة الجديدة التي تشهدها الجمهورية العربية السورية (مرحلة إعادة الاعمار) كان لابد من التفكير بإعادة البناء على أسس علمية سليمة تضمن شروط السلامة وتؤمن الراحة للقاطنين في الأبنية ولاسيما الراحة الحرارية، وتجنبهم الاستهلاك الزائد في الطاقة لأغراض التدفئة والتكييف، وتجنبهم أيضاً استخدام وسائل عزل حراري تقليدي لاحقاً وبالتالي تكاليف تأسيسية زائدة، لذلك تم التفكير في استخدام مواد البناء الرغوية كالطوب الرغوي والخرسانة الرغوية واللتان تعملان على العزل الحراري وتوفير شروط الراحة الحرارية للقاطنين في الأبنية.

وفي هذا البحث تم التطرق لإحدى تلك مواد البناء وهي الطوب الاسمطي الرغوي، حيث يتم انتاج الطوب الاسمطي الرغوي بطرق كثيرة ومتنوعة ويتم استخدام مواد متنوعة لإنتاجه وفقاً للطريقة المتبعة في إنتاجه. إن استخدام الرغوة في إنتاج الطوب هو من يجعل طبيعة تركيبها خلوية ويتخللها فراغات هوائية، ويتم استخدام تلك الرغوة إما أثناء مرحلة التصنيع أو يتم إنتاجها بمرحلة سابقة من ثم يتم دمجها مع الخلطة المكونة للطوب، حيث في كل طريقة من طرق يتم استخدام مادة مولدة للرغوة مختلفة عن الأخرى، وسندرس في هذا البحث كلتا الطريقتين ونستخدم إحدى المواد التي تقوم بتوليد الرغوة في كل طريقة ونقوم بدراسة كل حالة.

#### أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في هذا الوقت بالذات بربطه بعمليات إعادة الإعمار والتي يجب أن تكون على أسس علمية سليمة تأخذ بعين الاعتبار الاستدامة وترشيد الطاقة.

### يهدف البحث بشكل أساسي إلى:

- 1- دراسة تصنيع نوعين من البلوك الرغوي وهما البلوك الرغوي المضاف له بودرة الألمنيوم بعدة نسب والبلوك الرغوي المضاف له الرغوة بعدة نسب باستخدام ألفا ألفين سلفات.
- 2- تحديد كثافة الخلطات الخرسانية المدروسة تجريبياً.
- 3- دراسة الخواص الحرارية للعينات المصنعة تجريبياً وتحديد العينات الأفضل من هذه الناحية.
- 4- دراسة الخواص الميكانيكية للعينات المصنعة تجريبياً وتحديد العينات الأفضل من الناحية الميكانيكية.
- 5- مقارنة النتائج بخواص البلوك التقليدي.

### الدراسات المرجعية:

أُجريت الكثير من الدراسات والأبحاث التي تناولت موضوعات تتعلق بمواد البناء التي تعتمد على شكلها الرغوي في بنيتها، وقد أُجريت من عدة نواحي، فمن حيث طريقة إجراء البحث قام البعض بالدراسة بشكل تجريبي وأُجريت الاختبارات عليها تجريبياً، والبعض الآخر قام بالدراسة العددية (نمذجة). أما من حيث مواد البناء المدروسة فركزت بعض الدراسات على الخرسانة الرغوية ودراسات أخرى عملت على التركيز الطوب الاسمنتي الرغوي. وتناولت دراسات أخرى موضوعات المواد الداخلة في تركيبات كل من الخرسانة الرغوية والطوب الرغوي، فقامت دراسات على تجريب المواد الخام الجديدة ومنها من اعتمد على مواد معاد تدويرها والمواد المهذورة من بقايا الأبنية المهتمة كركام داخل في التركيبات الرغوية لمواد البناء. دراسات أخرى اختلفت بين بعضها من ناحية الهدف من الدراسة، فمنها كان هدفها معرفة الخواص الميكانيكية والخواص الفيزيائية الأخرى، والبعض الآخر كان الهدف منها معرفة خواصها الحرارية وآليات انتقال الحرارة ضمنها لتحديد معاملات التوصيل الحراري لها، وعلى هذا المنوال تمت الكثير من الدراسات، وسنستعرض فيما يلي بعض تلك الدراسات:

درس يانغ رفاقه [2] في عام 2020 خصائص الخرسانة الرغوية المحتوية على مسحوق الطوب الطيني المهودر المشتق من نفايات البناء والهدم، حيث عمل الباحثون على إضافة الطوب المهودر من نفايات البناء والهدم (CDW) للكتل الخرسانية الرغوية ، استخدام مسحوق الطوب الطيني (CBP) المشتق من نفايات الطوب الطيني، كمادة أسمنتية تكميلية (SCM)، لإعداد الخرسانة الرغوية، حُصرت الخرسانة الرغوية بكثافات مختلفة وبدائل CBP، واعتمد الباحثون على سلفات الألمنيوم في تكوين الرغوة التي جعلت الخليط رغوياً، حيث تمت إضافة نسب مختلفة من CBP، ثم حُدّد انكماش الجفاف، والخصائص الميكانيكية، وامتصاص الماء، وتوزيع المسام. أظهرت النتائج أن CBP يمتلك الخصائص الأساسية للخرسانة الرغوية، كما بينت الدراسة بأن الخرسانة الرغوية تتميز بكثافة منخفضة ووظائف ممتازة، وقد استُخدمت على نطاق واسع في تطبيقات البناء. وقد أظهرت النتائج أن استخدام CBP كـ SCM لتحضير الخرسانة الرغوية مستداماً وصديقاً للبيئة كما ووجدوا أيضاً أن استخدام CBP عالي النعومة كـ SCM مناسباً لتحضير الخرسانة الرغوية. على الرغم من أن CBP يمتلك بعض التأثيرات الإيجابية (مثل تأثير ملء الركام الدقيق النموذجي، إلخ)، إلا أن إضافة CBP تقلل من نواتج ترطيب المواد الأسمنتية. يُلاحظ انخفاض كبير في محتوى  $Ca(OH)_2$  عند إضافة CBP في المواد الأسمنتية. وبينت الدراسة أيضاً أنه ليس لإضافة CBP أي تأثير كبير على الكثافة الظاهرية الجافة للخرسانة الرغوية. تتشابه نسبة امتصاص الماء والمسامية وتوزيع المسام للخرسانة الرغوية مع CBP مع تلك الموجودة في المجموعة غير المستخدمة. سلوك انكماش الخرسانة الرغوية المستخدمة مع CBP أقل منه في المجموعة غير المستخدمة، وتتناقص قيمة الانكماش خطياً مع زيادة بدائل CBP. علاوة على ذلك، فإن تأثيرات استبدال CBP على سلوك انكماش الخرسانة الرغوية منخفضة الكثافة تكون أكثر وضوحاً من تأثير الخرسانة الرغوية عالية الكثافة. عندما تكون نسبة استبدالات CBP أقل من 15%، فإن إضافة CBP لها تأثير طفيف على قوة ضغط الخرسانة الرغوية المُجهزة، بل ويُلاحظ زيادة في قوة ضغط الخرسانة الرغوية عالية الكثافة بعد 28 يوماً

من المعالجة. ومع ذلك، فإن قوة ضغط الخرسانة الرغوية التي تحتوي على CBP بنسبة تصل إلى 30% أقل بكثير من قوة ضغط مجموعة المقارنة. ويكون تأثير استبدالات CBP على قوة ضغط الخرسانة الرغوية منخفضة الكثافة أكثر وضوحًا من تأثير الخرسانة الرغوية عالية الكثافة. يُحسّن إضافة محتوى مناسب من CBP قوة الضغط إلى نسبة محتوى الأسمنت في الخرسانة الرغوية، ويمكن ملاحظة كفاءة إعادة التدوير الممتازة والفوائد الاقتصادية والبيئية. من خلال النظر الشامل في خصائص الخرسانة الرغوية التي تحتوي على بدائل CBP، يُوصى باستبدال CBP بنسبة 15%.

عمل إبراهيم ورفاقه [3] في عام 2013 على دراسة قام فيها بإجراءات تجريبية شملت العمل على اختبار عينات خرسانية رغوية خفيفة الوزن قاموا بتصنيعها، واستخدموا في صناعتها مواد مهدورة من بقايا البناء كركام خشن، ركزت هذه الدراسة على أداء الخرسانة الرغوية خفيفة الوزن المُصنّعة من استبدال جزئي لطوب الطين المُهدر كركام خشن. هدف البحث إلى تحديد خصائص الخرسانة الرغوية خفيفة الوزن باستخدام الطوب الطيني المُهدر كمادة بديلة للحد من استنزاف الركام الخشن العادي من الجرانيت وتحديد فعالية الخرسانة بشكلها الرغوي. تم تحضير أربع نسب مئوية مختلفة من الخلطات الخرسانية باستخدام الركام الخشن الجديد، والتي تتكون من 25%، 50%، 75%، 100% من الطوب الطيني المُهدر. تم حقن الرغوة في خليط الخرسانة لإنتاج خرسانة خفيفة الوزن بنسب مناسبة. خضعت العينات لعدة اختبارات، بما في ذلك اختبار الضغط، واختبار امتصاص الماء، واختبار قابلية التشغيل، واختبار الكثافة. أظهرت النتائج المُحصَل عليها أن الخرسانة خفيفة الوزن المُنتجة باستخدام طوب الطين المُهدر بنسبة 25% أظهرت أعلى قوة ضغط بلغت 25 MPa، بكثافة  $1647 \text{ kg/m}^3$ .

درس ليو وأصدقائه [4] في 2014 بحثاً قاموا خلاله بتقييم التوصيل الحراري والخصائص الميكانيكية وخواص النقل للخرسانة الجيوبوليميرية الرغوية خفيفة الوزن، وكان الهدف من البحث بشكل رئيسي هو النتائج التجريبية المتعلقة بالتوصيل الحراري للخرسانة الجيوبوليميرية الرغوية

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة

وذلك بإضافة بعض المواد، وهي قشور زيت النخيل (OPSFGC)، باستخدام مواد مُهملة مثل الرماد المتطاير منخفض الكالسيوم (FA) ورماد وقود زيت النخيل (POFA) كمواد أسمنتية، وقشور زيت النخيل (OPS) كركام خشن خفيف الوزن (LWA). تم تحضير ثلاثة خلطات من الخرسانة الجيوبوليميرية الرغوية خفيفة الوزن (OPSFGC) بكثافة  $1300-1500-1700 \text{ kg/m}^3$  باستخدام عامل رغوة اصطناعي؛ واستُخدمت خلطة مرجعية خالية من الرغوة ومواد تقليدية - البلوك والطوب - للمقارنة. كما ناقشت نتائج الاختبارات المتعلقة بالخواص الميكانيكية وخواص النقل. كانت الموصلية الحرارية لـ OPSFGC13، البالغة حوالي  $0.47 \text{ W/mK}$ ، أقل بنسبة 22% و 48% من مواد الجدران التقليدية، البلوك والطوب، على التوالي. يمكن تصنيف OPSFGC، بكثافة  $1300 \text{ kg/m}^3$  و  $1500 \text{ kg/m}^3$ ، كخرسانة إنشائية عازلة من الفئة الثانية، وتُصنف OPSFGC، بكثافة  $1700 \text{ kg/m}^3$ ، كخرسانة إنشائية من الفئة الأولى، بقوة ضغط وموصلية حرارية تبلغ حوالي  $25 \text{ MPa}$  و  $0.58 \text{ W/mK}$ ، على التوالي.

في عام 2021 درس الشليف و رفاقه [5] الطوب الخرسانى الرغوي من حيث قوة الضغط، وقد هدف هذا البحث إلى تحسين قوة ضغط الطوب الخرسانى الرغوي الحيوي (B-FCB) من خلال الجمع بين الاحتجاز الطبيعي لثاني أكسيد الكربون والتفاعل الحيوي لإنزيمات *B. tequilensis*. وقد استرشدت التجارب بطريقتين للتحسين، وهما عامل k2 ومنهجية سطح الاستجابة (RSM). وأجري تحليل عامل k2 لفحص العوامل المهمة؛ ثم أُجري تحليل RSM لتحسين قوة ضغط B-FCB. وقد تم تغيير أربعة عوامل بشكل انتقائي أثناء الدراسة، وهي الكثافة (D)، وتركيز *B. tequilensis* (B)، ودرجة الحرارة (T)، وتركيز ثاني أكسيد الكربون. وكانت قوة الضغط المثلى  $8.22 \text{ MPa}$  لـ (B-FCB)، كما استنتج من الشروط التالية: 10% ثاني أكسيد الكربون،  $3 \times 107$  خلية/mm من B، ودرجة الحرارة  $27^\circ \text{C}$  و بكثافة  $1800 \text{ kg/m}^3$  D بعد 28 يوماً. أدى استخدام بكتيريا تيكيلينسيس في طوب الخرسانة الرغوية (B-FCB) إلى تحسين قوة الضغط بنسبة 35.5% مقارنةً بالطوب الخرسانى الرغوي (FCB) بعد 28 يوماً. وقد عكس تحليل البنية الدقيقة

باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، والأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX)، وتحليل حيود الأشعة السينية (XRD) التغيرات في مستويات العناصر الكيميائية وترسب كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) في مسام طوب الخرسانة الرغوية (B-FCB). ويعود ذلك إلى تفاعلات سطح بكتيريا تيكيلينسيس مع إنزيمي الكربونيك أنهيدراز (CA) واليوريز مع الكالسيوم في الأسمنت وثاني أكسيد الكربون المُخترن خلال فترة المعالجة.

درس كومار ورفاقه [6] في العام 2018 بحثاً تجريبياً حول السلوك الميكانيكي والحراري للخرسانة الرغوية. تمت دراسة خصائص مثل مقاومة الضغط والمقاومة الحرارية. استخدم الباحثون في صنع الخرسانة الرغوية الأسمنت، والرماد المتطاير، والماء، والفراغات الهوائية. عامل الرغوة المستخدم في إنتاج الرغوة هو كبريتات لوريل إيثر الصوديوم. وكانت عينات الخرسانة الرغوية تحتوي على نسبة هواء تتراوح بين 10% حتى 70%، مما نتج عنه مادة خفيفة الوزن، وقد أثر ذلك على خصائص مقاومة الضغط والمتانة. وعلى الرغم من أن البحث أثبت أن انخفاض نسبة الفراغات الهوائية المتصلة يُقلل من مقاومة الضغط، إلا أن زيادة الفراغات الهوائية أدت إلى زيادة المقاومة الحرارية. تم تحضير ست دفعات من الخرسانة الرغوية بنسب هواء متفاوتة تتراوح بين 15% و 17% و 20%. وتم استخدام مكعب وبلاطة الخرسانة الرغوية في اختبارات الضغط والحرارة. وتراوحت الكثافة الجافة للخرسانة الرغوية بين  $860 \text{ kg/m}^3$  و  $1245 \text{ kg/m}^3$ ، وتراوحت قوة الضغط بين 2.5 MPa و 6.5 MPa. وتم مقارنة الكثافة الجافة وقوة الضغط والتوصيل الحراري في هذا البحث مع الطوب الطيني. باستخدام كتل الخرسانة الرغوية بدلاً من الطوب الطيني، وبذلك يُمكن تقليل الحمل الميت للمبنى بنسبة 50% تقريباً. تتراوح الموصلية الحرارية للخرسانة الرغوية بين 0.021 W/mK و 0.035 W/mK. وفي النهاية بينت النتائج الرئيسية أن الخرسانة الرغوية تتمتع بإمكانيات جيدة للاستخدام في التطبيقات الإنشائية خفيفة الوزن للمباني منخفضة الارتفاع، نظراً لتطور خصائصها الميكانيكية وخصائص النقل ومقاومتها الحرارية.

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة

في العام 2018 درس وانغ ورفاقه [7] دمج طوب الرملي مع الخرسانة الرغوية ومواد التحكم في الرطوبة، تم تحضير خرسانة رغوية بخمس كثافات دون تلييد، ثم تم خلطها مع ملاط التحكم في الرطوبة لتحضير طوب الرملي (SBB). تم توصيف وتحديد قيم المعلمات المسامية الدقيقة للخرسانة الرغوية باستخدام برنامجي Image-pro Plus 6.0 و Matlab 2015a. ودرست آثار هذه المعلمات المسامية على خصائص الطوب. وتم تحقيق أفضل الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والتحكم في الرطوبة لطوب التنفس الرملي باستخدام Fca9 للخرسانة الرغوية. بلغت الكثافة الجافة المناسبة  $910 \text{ kg/m}^3$  ، مع قوة ضغط أعلى قدرها  $5.25 \text{ MPa}$  ، وبلغت الموصلية الحرارية  $0.08 \text{ W/mK}$  ، وبلغ أقصى امتصاص للرطوبة  $272.51 \text{ g/m}^3$  ، وأقصى امتصاص رطوبة  $143.09 \text{ g/m}^2$  ، مما يُمكن من استخدامها كمادة جدار لتقسيم المساحات وتحسين جودة الهواء الداخلي.

في العالم 2022 درس فيندو ورفاقه [8] كتل خرسانية رغوية خفيفة الوزن مُنتجة باستخدام البوليسترين الموسع (EPS). وقد ساهم ذلك في تقليل تأثير عمليات المحاجر والمعالجة على البيئة، كما أنه اقتصادي. بالمقارنة مع مواد أخرى مثل الفولاذ والخشب، يتميز استخدام الخرسانة الرغوية خفيفة الوزن بمزايا عديدة، بما في ذلك توفير التكاليف، وسهولة التطبيق. وبينت الدراسة أنه لا تُعتبر الخرسانة الخلوية خفيفة الوزن اختراعاً حديثاً، بل هي موجودة منذ فجر التاريخ. وقد استخدم فيها الأسمنت، والرمل المُصنَّع (M-Sand)، والرماد المتطاير (الفئة F)، وخبث فرن الصهر الحبيبي المطحون (GGBS)، وألياف البولي بروبيلين، وEPS، وعامل رغو من كحول البنزويل والماء. تُستخدم الخرسانة الخلوية خفيفة الوزن على نطاق واسع نظراً لانخفاض كثافتها. في هذا البحث، أُجريت اختبارات جودة المياه، ومقاومة الضغط، والتوصيل الحراري على كتل مُصلدة مُزودة بحبيبات البوليسترين الموسع (EPS). أدت إضافة الرماد المتطاير و GGBS إلى الخليط إلى تقليل استهلاك المياه من خلال تقليل الترطيب والبصمة الكربونية، مما أدى إلى انخفاض الانكماش، كما قلل من مقاومة ضغط الكتل بنسبة تتراوح بين 25% و 50% تُعرف

الخرسانة التي تقل كثافتها عن  $1800 \text{ kg/m}^3$  عادةً بالخرسانة خفيفة الوزن. يركز هذا البحث على أبحاث الخرسانة خفيفة الوزن المٌزودة بحبيبات البوليسترين الموسع (EPS).  
الأجهزة والمعدات المستخدمة:

تم استخدام مجموعة متنوعة من الأجهزة والمعدات خلال البحث الحالي. فقد استُخدمت بعض الأدوات لتجهيز المواد الأولية، بينما تم استخدام أدوات أخرى لتحضير العينات. كما تم استخدام معدات أجهز أخرى لإجراء الاختبارات على العينات المُعدة. وفيما يلي استعراض للأجهزة المستخدمة:

1- وعاء اسطواني للخلط: وهو عبارة عن وعاء بلاستيكي بسعة 50 | تتم فيه عملية الخلط ليحتوي جميع المكونات المكونة للخليط.

2- خلاط كهربائي (يدوي): تم استخدام الخلاط اليدوي المبين في الشكل (1) من أجل خلط مكونات الخليط، وهو خلاط يعمل على الطاقة الكهربائية ويعمل بعدة سرعات مختلفة وذلك حسب متطلبات العمل.

3- قوالب صب العينات البيتونية: وهي عبارة عن قوالب يتم فيها صب الخليط من أجل أن تأخذ شكلاً معيناً، وفي هذا البحث تم استخدام نموذجين من القوالب بأبعاد مختلفة، النموذج الأول بأبعاد  $21 \times 21 \times 6 \text{ cm}$  وهذه الأبعاد هي أبعاد العينات التي يمكن لجهاز قياس الموصلية الحرارية اختبارها كما هو مبين في الشكل (2). والنموذج الثاني هو عبارة عن قالب خشبي أيضاً لكن بأبعاد مختلفة عن النموذج الأول حيث تكون أبعاده  $40 \times 20 \times 15 \text{ cm}$  وهذه الأبعاد هي الأبعاد المناسبة لجهاز اختبار الضغط.

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة



الشكل (2) يبين القالب الخشبي المستخدم لصب العينات ذات النموذج الأول

الشكل (1) ويبين الخلاط الكهربائي اليدوي

4- مولد الرغوة: وهو جهاز استخدامه أساسي في تصنيع البلوك الرغوي، حيث يقوم

بإنتاج فقاعات هوائية دقيقة تدمج في خليط الاسمنت لتكوين بنية خلوية خفيفة الوزن، حيث يتكون مولد الرغوة من عدة مكونات وهي خزان محلول المادة الرغوية والذي يحتوي على المادة الرغوية الممزوجة بالماء- مضخة تدفع المحلول من الخزان إلى وحدة الخلط- ضاغط هوار مهمته التزويد بالهواء المضغوط اللازم لتكوين الرغوة- وحدة خلط تمزج المحلول مع الهواء المضغوط لإنتاج الرغوة بالإضافة لفوهة اخراج تقوم بإخراج الرغوة المتكونة لتضاف الى خليط الاسمنت.

أما مبدأ عمله فيعتمد على مزج محلول المادة الرغوية مع الهواء المضغوط داخل وحدة الخلط مما ينتج فقاعات هوائية دقيقة، ثم ضخ الرغوة المتشكلة عبر فوهة الخروج الى الخلطة الخرسانية. ويبين الشكل (3) مولد الرغوة.

5- ميزان الكتروني: تم استخدام ميزان الكتروني دقيق لتحديد وزن العينات المدروسة

والتي تم تحضيرها، حيث تصل دقة الميزان المستخدم هي  $g \pm 5$  ، ويبين الشكل (4) الميزان المستخدم.



الشكل (4) ميزان الكتروني المستخدم لوزن العينات



الشكل (3) يبين مولد الرغوة المستخدم

#### 6- بياكوليس:

من أجل تحديد أبعاد العينات بعد أن تم تجهيزها بشكل نهائي.

7- جهاز قياس الموصلية الحرارية: لتحديد الموصلية الحرارية للعينات التي تم تحضيرها تم استخدام جهاز قياس موصلية حرارية المبين في الشكل (5)، يعمل هذا الجهاز على مبدأ التدفق الحراري عبر العينة التي يتم فحصها، وبتحديد درجتي حرارة سطحي العينة ومعرفة كمية الحرارة المتدفقة عبر العينة ومعرفة مساحة سطح العينة وسماكتها يتم تطبيق قانون فورييه لمعرفة معامل التوصيل الحراري للعينة التي يتم فحصها والموضح بالعلاقة التالية [9],[10].

$$Q = A \cdot \lambda \cdot \frac{\Delta T}{\delta} \rightarrow \lambda = Q \cdot \frac{\delta}{A \cdot \Delta T} \quad (1)$$

حيث:

Q: التدفق الحراري يقدر بـ W.

$\Delta T$ : فرق درجة حرارة سطحي العينة ( $T_H - T_C$ )، يقدر بـ  $^{\circ}C$ .

$\lambda$ : عامل التوصيل الحراري يقدر بـ W/mK.

A: مساحة سطح العينة تقدر بـ  $m^2$ .

$\delta$ : سماكة العينة تقدر بـ m.

$$Q=V.I \quad (2)$$

حيث:

$V$ : جهد تغذية المنبع الحراري يقدر بـ  $V$ .

$I$ : شدة تيار تغذية المنبع الحراري يقدر بـ  $A$ .

8- جهاز اختبار اجهاد الكسر الناتج عن الضغط: جهاز اختبار اجهاد الكسر الناتج

عن الضغط هو جهاز هيدوليكي يحتوي على فكين أحدهما ثابت والآخر متحرك، يتم وضع العينة المراد اختبارها بين الفكين ويتم تطبيق ضغط هيدوليكي على الفك المتحرك فنضغط العينة ويرافق ذلك ارتفاع في ضغط الزيت داخل الدارة الهيدوليكية للجهاز والذي يعمل بدوره على تحريك ابرة ساعة الضغط للجهاز وتتم القراءة عند انهيار العينة، ويتم عندها تحديد اجهاد الكسر الناتج عن الضغط للعينة التي يتم اختبارها حيث يتم تطبيق العلاقة التالية:

$$\sigma = \frac{F}{Ad} \quad (3)$$

حيث:

$\sigma$  : اجهاد الكسر الناتج عن الضغط [ $kg/cm^2$ ]

$F$ : الحمل الأقصى الذي تتحمله العينة [ $kg$ ]

$Ad$ : مساحة سطح التحميل [ $cm^2$ ]



الشكل (6) جهاز اختبار اجهاد الكسر



الشكل (5) جهاز قياس الموصلية الحرارية

الناتج عن الضغط

### طرائق البحث:

#### تحضير العينات:

تم تحضير نوعان من الخلطات للعينات المدروسة، الاختلاف بينهما هو نوع المادة المولدة للزرغوة المستخدمة في كل منهما، فقد تم تحضير نوع CLC والنوع الثاني FCB بالإضافة لاختلاف طريقة تحضير العينات التي تم تحضيرها كانت بأبعاد مختلفة بحيث تكون أبعادها متناسبة مع الأجهزة التي سيتم اختبارها بها، فكانت الأبعاد  $(0.21 \times 0.21 \times 0.02)$  cm للعينات التي سيتم اختبارها حرارياً، و  $(20 \times 20 \times 40)$  cm للعينات التي سيتم اختبارها ميكانيكياً.

**1- تحضير عينات CLC:** تم تحضير عدد من عينات البلوك من نوع CLC والذي يعتمد على بودرة الألمنيوم كمادة مولدة للزرغوة. حيث تم وضع كمية من الاسمنت البورتلندي بنسبة 55% من الوزن الجاف من مجمل الكمية المراد تحضيرها في برميل بلاستيكي، من ثم وضع رمل ناعم بنسبة 35% من الوزن الجاف وازضافة جبر بنسبة 8% (محفر للتفاعل) وتم بعدها خلط المكونات الجافة بشكل جيد ومستمر حتى يتم تجانس الخليط، وتم بعدها البدء بإضافة الماء بشكل بطيء مع التحريك باستخدام خلاط كهربائي وذلك حتى وصول الخليط الى

قوام متوسط قابل للانسكاب، وتم بعد ذلك إضافة بودرة الألمنيوم بعدة نسب بحيث نحصل على عدة عينات تختلف كل منها عن الأخرى بنسبة بودرة الألمنيوم حيث كانت النسب -0.4-0.2) % (0.6-0.8-1 من الوزن الجاف مع الاستمرار بالخلط، من ثم إضافة الجبس بنسبة تتراوح ما بين 1-2% والخلط لمدة تتراوح ما بين الدقيقة والدقيقتين، وتم بعدها مباشرة صب الخليط في قوالب خشبية بأبعاد معينة مناسبة للاختبارات التي ستجري على العينات، حيث تكون الجدران الداخلية للقوالب مطلية بالزيت من أجل أن يشكل عازلاً بين البلوك والقالب بعد جفافه وعدم التصاقه، إن هذه العملية هي عملية كيميائية فيزيائية دقيقة تولد فقاعات هواء مستقرة ضمن مزيج اسمنتي، فمنذ اللحظة الأولى لإضافة مسحوق الألمنيوم والقلويات (الاسمنت والجير) يبدأ تفاعل كيميائي طارد للحرار يؤدي الى توليد تلك الفقاعات الدقيقة وهي عبارة عن غاز الهيدوجين. حيث يتمدد المزيج ليقوم بملء القالب بشكل كامل خلال فترة تتراوح ما بين 30-60 دقيقة، ويترك المزيج في القالب لمدة 24 ساعة ليتم بعدها إخراجها من القالب بدون تشوه، ويتم وضعه في الشمس ليجف بشكل كامل لمدة 28 يوم وبذلك نضمن جفاف العينات بشكل كامل.

## 2- تحضير عينات FCB:

تمت عملية تحضير عينات الطوب FCB على مرحلتين، الأولى هي تحضير الرغوة، والثانية هي تحضير الخليط وإضافة الرغوة، حيث يعتمد وجود الفراغات ضمن البلوك في هذا النوع على طريقة ميكانيكية (بالخلط الميكانيكي)، فقد تم تحضير الرغوة بوضع الماء في مولد رغوة كهربائي (مولد رغوة يتم استخدامه في مغاسل السيارات) وتم بعد ذلك إضافة مادة الفا الفين سلفات بتركيز 94% وهي مادة تستخدم في صناعة مواد التنظيف مهمتها تشكيل الرغوة لها، من ثم تم تشغيل مولد الرغوة لفترة زمنية مع مراقبة الرغوة الناتجة بشكل دوري حتى اكتمال تشكيل الرغوة، وبالتزامن مع تحضير الرغوة تم تحضير خليط في برميل حيث تم وضع الجبس بنسبة 85.7% من الوزن الجاف وإضافة نسبة 14.3% من اسمنت بورتلندي وتحريك المزيج الجاف حتى تجانسه بشكل جيد، وتم بعدها إضافة الماء للخليط بشكل بطيء والمزج باستخدام خلاط،

واستمرت عملية إضافة الماء والخلط حتى الوصول الى مزيج متوسط القوام وقابل للانسكاب حيث تم التوقف عن إضافة الماء مع الاستمرار بعملية الخلط حتى تجانس المزيج بشكل جيد، تم بعدها توزيع الخليط في عدة أوعية وذلك من أجل إضافة الرغوة، حيث تم إضافة الرغوة التي تم تحضيرها بمولد الرغوة للمزيج لكل وعاء بنسبة مختلفة عن الوعاء الاخر بحيث كل عينة تختلف عن العينة الأخرى بنسبة الرغوة المضافة حيث كانت النسب % (10-15-20-25-30) وكانت عملية إضافة الرغوة مترافقة مع عملية الخلط بالخلاط حيث استمرت عملية الخلط حتى الحصول على تجانس جيد، وتم بعدها مباشرة صب الخليط في قوالب خشبية بأبعاد معينة مناسبة للاختبارات التي ستجري على العينات، حيث تكون الجدران الداخلية للقوالب مطلية بالزيت من أجل أن يشكل عازلاً بين البلوك والقالب بعد جفافه وعدم التصاقه، تم اخراج العينات من القوالب بعد نصف ساعة من عملية الصب حيث حصلت العينات على قوام جيد متصلب لدرجة مناسبة لإخراجها دون حدوث تشوهات، وتم نشرها في الشمس حتى تجف بشكل جيد لمدة 28 يوم لضمان جفافها بشكل جيد.



الشكل (7) عملية انتاج الرغوة ومزجها مع الاسمنت

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة



الشكل (8) يبين العينات الناتجة

### اجراء الاختبارات:

بعد جفاف العينات بشكل كامل والتي بلغ عددها عشرة عينات من نوع CLC وعشر عينات FCB تم البدء بإجراء الاختبارات وتحديد مواصفات العينات المدروسة وقد جرت الاختبارات التالية:

1- تحديد الكثافة: تم تحديد كثافات العينات عن طريق تحديد حجم ووزن العينات، حيث تم تحيد أحجامها عن طريق معرفة أبعادها (الطول x العرض x الارتفاع)، أما أوزانها فقد تم تحديدها باستخدام ميزان الكتروني دقيق، ومن خلال تحديد الحجم والوزن وتم تطبيق قانون حساب الكثافة وهو:

$$\rho = \frac{G}{V} \quad (3)$$

حيث:

$\rho$ : كثافة العينة بعد الجفاف وتقدر بـ  $\text{kg/m}^3$ .

G: وزن العينة ويقدر بـ kg.

V: حجم العينة ويقدر بـ  $\text{m}^3$ .

تم تحديد كثافة العينات من نوع CLC حيث بلغت (1004,936,804,717,598)

$\text{kg/m}^3$  للعينات ذات نسب بودرة المنيموم % (0.2-0.4-0.6-0.8-1) على الترتيب.

وبلغت الكثافات للعينات من نوع FCB  $kg/m^3$  (711,613,563,480,401) ذات نسب رغوة % (10-15-20-25-30) على الترتيب.

2- قياس الموصلية الحرارية: تم تحديد معامل التوصيل الحراري باستخدام جهاز قياس الموصلية الحرارية المبين في الشكل (5) وقد بلغ معامل التوصيل الحراري لعينات CLC  $W/m.K$  (0.51,0.45,0.37,0.29,0.21) للعينات ذات نسب بودرة المنيوم -0.4-0.2) % (0.6-0.8-1) على الترتيب.

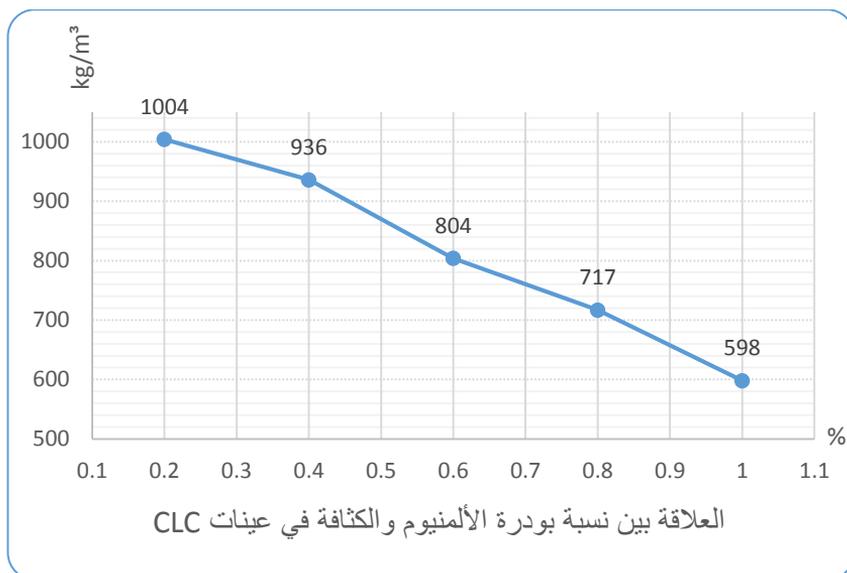
بينما كان معامل التوصيل الحراري لعينات FCB (0.27,0.23,0.15,0.13,0.09)  $W/m.K$  ذات نسب رغوة % (10-15-20-25-30) على الترتيب.

3- تحديد إجهاد الكسر الناتج عن الضغط: تم اخضاع جميع العينات لجهاز تحديد إجهاد الكسر الناتج عن الضغط الواضح في الشكل (6).

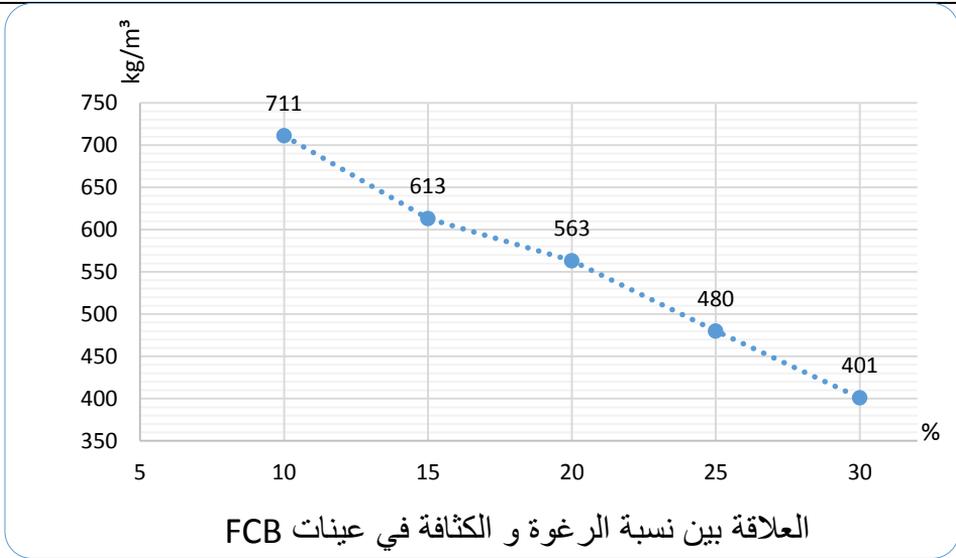
بلغ إجهاد الكسر الناتج عن الضغط لعينات CLC (22.6,18.4,17.5,15.2,14.1)  $kg/cm^2$  للعينات ذات نسب بودرة المنيوم % (0.2-0.4-0.6-0.8-1) على الترتيب. وقد بلغ هذا الإجهاد في عينات FCB (18.5,14.2,11.1,8.4,6.2)  $kg/cm^2$  ذات نسب رغوة % (10-15-20-25-30) على الترتيب.

### النتائج والمناقشة:

بعد الانتهاء من الاختبارات على جميع عينات CLC و FCB وبالنظر الى نتائج هذه الاختبارات، أظهرت نتائج تحديد الكثافة لعينات CLC المدروسة تغيراً في الكثافة وذلك مع تغير نسبة بودرة الألمنيوم المضافة للعينات، ويبين الشكل (9) العلاقة بين نسبة بودرة الألمنيوم المستخدمة والكثافة الناتجة.



الشكل رقم (9) مخطط يبين العلاقة بين نسبة بودرة الألمنيوم والكثافة في عينات CLC عند النظر على المخطط المبين في الشكل (9) نجد بأن الكثافة تتخفض بزيادة نسبة بودرة الألمنيوم المضافة للخليط، حيث بلغت الكثافة  $1004 \text{ kg/m}^3$  عند نسبة 0.2% بودرة ألمنيوم وقد بلغت الكثافة  $598 \text{ kg/m}^3$  عند نسبة 1% ، ويمكن تفسير ذلك بأنه بزيادة بودرة الألمنيوم تزداد الغازات التي تنتج عن تفاعل بودرة الألمنيوم بالخليط والتي تبقى ضمن المزيج على شكل فقاعات هواء منتشرة ضمن المزيج وبالتالي تقل نسبة المادة الاسمنتية مع ازدياد في نسبة الهواء ضمن الخلطة وهذه النسبة المتزايدة من الهواء تعمل على تقليل الكثافة للعينة.



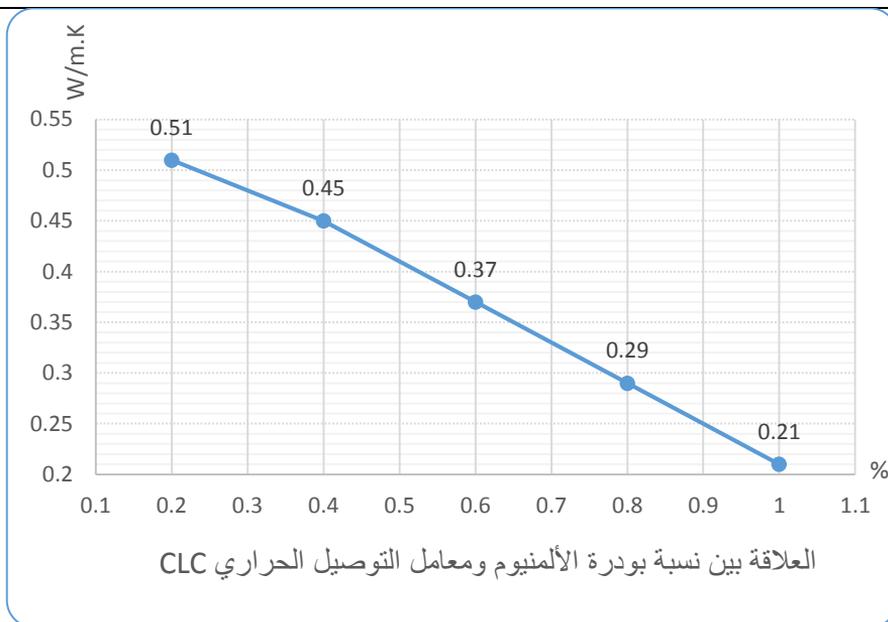
الشكل رقم (10) مخطط يبين العلاقة بين نسبة الرغوة والكثافة في عينات FCB

يُظهر الشكل (10) انخفاضاً واضحاً في كثافة العينات عند زيادة نسبة الرغوة المضافة للخليط، حيث تعمل زيادة نسبة الرغوة على زيادة كمية الهواء ضمن الخليط على شكل فقاعات هوائية متوزعة ضمن العينة والذي يعمل بدوره على خفض كثافة العينة ككل، فقد بلغت الكثافة 711 kg/m<sup>3</sup> عند نسبة رغوة 10% ، كما بلغت 401 kg/m<sup>3</sup> عند نسبة 30%.

من الملاحظ أن انخفاض الكثافة في عينة FCB يفوق انخفاضها في عينة CLC، وهذا يعطي عينة FCB ميزة خفة الوزن مقارنةً مع عينة CLC ويعتبر كلا النوعين يملكان أوزان خفيفة والتي تعمل بدورها على تخفيض الحمولات على الأبنية وبالتالي تقليل كميات مواد البناء المستخدمة.

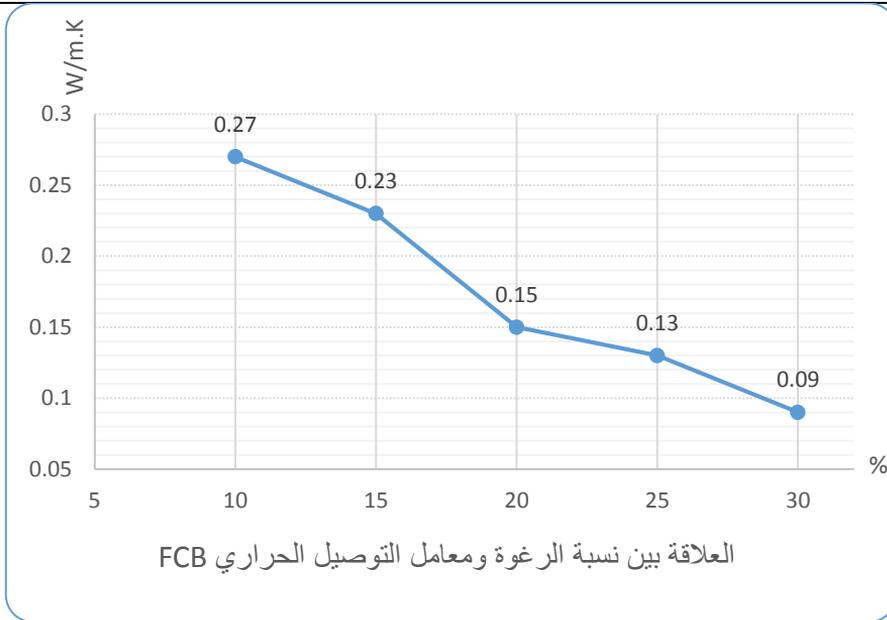
تم رسم مخطط العلاقة التي تربط بين نسبة بودرة الألمنيوم المضافة ومعامل التوصيل الحراري في الشكل (11)، والعلاقة التي تربط نسبة الرغوة المضافة ومعامل التوصيل الحراري في الشكل (12).

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرّغة



الشكل رقم (11) مخطط يبين العلاقة بين نسبة بودرة الألمنيوم ومعامل التوصيل الحراري في عينات CLC

يُظهر الشكل (11) الخاص بعينات CLC أن معامل التوصيل الحراري ينخفض بزيادة نسبة بودرة الألمنيوم المضافة للعينات، فقد بلغ معامل التوصيل الحراري في عينات CLC 0.51W/m.K عند نسبة بودرة ألمنيوم مضافة 0.2%، كما بلغ 0.21W/m.K عند نسبة 1% ، ويفسر ذلك أنه كلما زادت نسبة بودرة الألمنيوم يزداد وجود الفقاعات الهوائية ضمن التركيب الهيكلي للعينات المدروسة، وإن زيادة وجود هواء في بنية العينات يعمل على زيادة المقاومة الحرارية وعلى تغيير طبيعة انتقال الحرارة ضمن مسام العينة من التوصيل الى الحمل وهذا يعمل على زيادة المقاومة الحرارية ضمن الفجوات كونها ممتلئة بالهواء ذو معامل التوصيل الحراري المنخفض وبالتالي ينتج عن ذلك معامل توصيل حراري اجمالي منخفض للعينة ككل.



الشكل رقم (12) مخطط يبين العلاقة بين نسبة الرغوة ومعامل التوصيل الحراري في

عينات FCB

نجد من الشكل (12) الخاص بعينات FCB نجد بأن معامل التوصيل الحراري ينخفض بزيادة نسبة الرغوة المضافة للخليط حيث بلغ معامل التوصيل الحراري  $0.27\text{W/m.K}$  عند نسبة رغوة مضافة 10%، بينما بلغ  $0.09\text{W/m.K}$  عند نسبة 30%. وتفسير ذلك هو زيادة نسبة الفقاعات الهوائية ضمن العينات والذي يعمل بدوره على زيادة المقاومة الحرارية للعينة ككل من خلال معامل توصيل حراري منخفض للهواء وتغير طبيعة انتقال الحرارة من انتقالها بالتوصيل الى انتقالها بالحمل عبر الهواء ذي معامل التوصيل الحراري المنخفض.

من أجل اجراء مقارنة للنتائج من حيث معامل التوصيل الحراري لعينات CLC مع عينات FCB نقوم باجراء هذه المقارنة في المنطقة التي تتساوى فيها الكثافات في كلا النوعين من العينات حيث أن هذه المنطقة تمتد بين الكثافتين  $(711-598)\text{kg/m}^3$ ، فنجد أن معامل التوصيل الحراري للعينة ذات الكثافة  $711\text{kg/m}^3$  يبلغ  $0.286\text{W/m.K}$  في عينات CLC بينما بلغ

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة

المعامل  $0.27W/m.K$  في عينات FCB. وعند كثافة  $598kg/m^3$  بلغ معامل التوصيل الحراري في عينات CLC  $0.21W/m.K$  بينما بلغ هذا المعامل عند نفس الكثافة في عينات FCB  $0.19W/m.K$ . من خلال مقارنة معاملات التوصيل عند ذات الكثافات نجد بأن معامل التوصيل الحراري لعينات FCB أخفض منه في عينات CLC ويمكن أن يعود السبب لهذه النتيجة بأن معامل التوصيل الحراري للخلطة الاسمنتية دون فقاعات هواء في FCB أخفض منه في خلطة CLC كون احتواء الأول على نسبة جبس مرتفعة تصل الى 85% من مجمل الخليط الجاف حيث يعد معامل التوصيل الحراري للجبس منخفض نسبةً للمكونات الباقية، كما أن بودرة الألمنيوم المستخدمة في CLC قد يبقى منها جزء غير متفاعل والذي يعمل بدوره على زيادة الناقلية الحرارية كونها بودرة معدنية تملك معامل توصيل حراري مرتفع. وعند مقارنة المعامل بشكل مطلق للعينات نجد فرقاً كبيراً في معامل التوصيل الحراري لصالح FCB لذات الأسباب المذكورة سابقاً بالإضافة لنسبة الهواء الكبيرة ضمن العينات على شكل فقاعات التي تصل لـ 30% والتي تظهر أيضاً من خلال الكثافة المنخفضة للعينة ذات أقل معامل توصيل حراري. بعد ذلك تم تبيان العلاقة التي تربط بين نسبة بودرة الألمنيوم وبين إجهاد الكسر الناتج عن الضغط في عينات CLC والمبينة في الشكل (13)

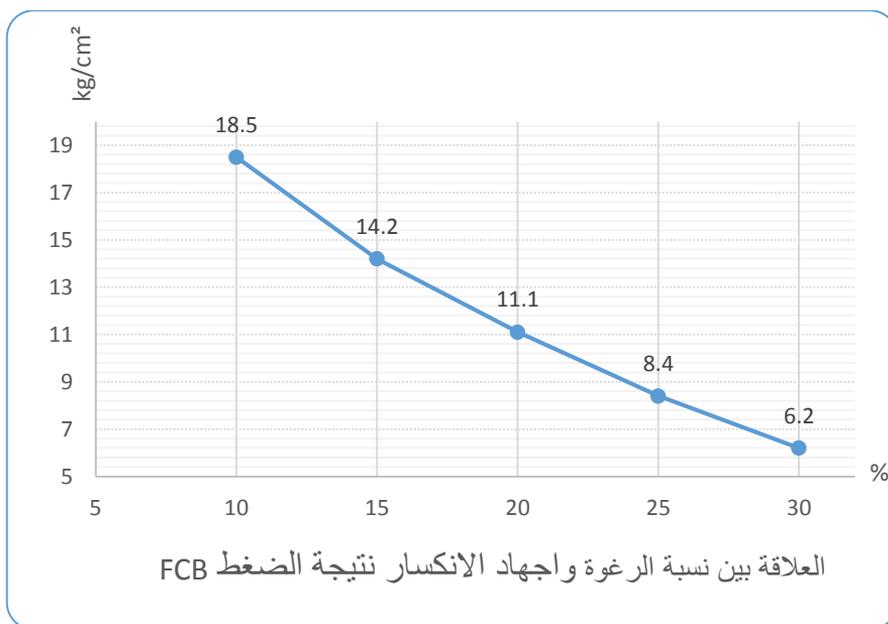


الشكل رقم (13) مخطط يبين العلاقة بين نسبة بودرة الألمنيوم واجهاد الانكسار نتيجة الضغط في عينات CLC

يُظهر الشكل (11) الخاص بعينات CLC أن مقاومة الكسر الناتجة عن الضغط في العينات تتغير بتغير نسبة بودرة الألمنيوم المضافة للعينات، فنجد أنخفاض في تلك المقاومة مع زيادة في نسبة بودرة الألمنيوم، فقد بلغت مقاومة الكسر  $22.6 \text{ kg/cm}^2$  عند نسبة بودرة المنيوم 0.2% وهبطت هذه المقاومة إلى  $17.5 \text{ kg/cm}^2$  عند نسبة 0.6% واستمرت هذه المقاومة بالهبوط حتى بلغت  $14.1 \text{ kg/cm}^2$  عند نسبة 1% من بودرة الألمنيوم. يمكن تفسير ذلك بأن زيادة نسبة بودرة الألمنيوم تعمل على زيادة نسبة فقاعات الهواء في العينات على حساب المادة الصلبة (المادة الرابطة) وذلك يقلل الروابط في بنية العينات ويزيد من نقاط الضعف من الناحية الميكانيكية، حيث تضعف البنية الهيكلية للعينات مع زيادة نقاط الضعف الناتجة عن زيادة فقاعات الهواء في العينات.

دراسة مقارنة الخواص الحرارية والميكانيكية الأفضل للطوب الرغوي المحضّر ببودرة الألمنيوم وآخر بألفا أولفين سلفات كعوامل مفرغة

من حيث طبيعة الانكسار عند انهيار العينات نتيجة الضغط، تم ملاحظة أنه في العينات ذات نسب منخفضة من بودرة الألمنيوم تنكسر العينات بشكل فجائي يمتد على شكل شقوق طولانية ممتدة موازية لمحور الضغط ثم تنهار العينة بشكل كامل، أما في العينات ذات نسب مرتفعة من بودرة الألمنيوم فإن الانكسار يبدأ تدريجياً بشكل انهيارات موضعية ذات طبيعة لدنة وتستمر بذلك حتى تنهار العينة بشكل كامل، ومع أن طبيعة الانهيار في الحالة الثانية يكون أفضل من حيث طبيعته إلا أن هذا الانهيار يحدث عند قيم منخفضة بشكل كبير مقارنة بقيم الانهيار في الحالة الأولى، أي أنه انخفاض نسبة البودرة تؤدي بالضرورة إلى زيادة متانة العينات.



الشكل رقم (14) مخطط يبين العلاقة بين نسبة الرغوة واجهاد الانكسار نتيجة الضغط

في عينات FCB

من خلال الشكل (14) الذي يبين العلاقة بين نسبة الرغوة واجهاد الانكسار نتيجة الضغط في عينات FCB نجد بأن سلوك الانكسار للعينات مشابه لسلوك الانكسار في عينات CLC حيث

ينخفض اجهاد الكسر نتيجة الضغط مع زيادة نسبة الرغوة المضافة للعينات فقد كان اجهاد الكسر في العينات التي فيها نسبة الرغوة 10% هو  $18.5\text{kg/cm}^2$  وانخفض هذا الاجهاد ليصبح  $11.1\text{kg/cm}^2$  عند نسبة رغوة تبلغ 20% واستمر هذا الهبوط في الاجهاد مع استمرار زيادة نسبة الرغوة ليصبح  $6.2\text{kg/cm}^2$  عند نسبة رغوة بلغت 30%. التفسير في ذلك مشابه لذلك الحاصل في عينات CLC مع وجود اخلاف واضح من حيث القيم، حيث نجد عند المقارنة أن عينات FCB أقوى بشكل واضح من عينات CLC سواءً أكانت المقارنة عند كثافات متشابهة أو المقارنة بشكل مطلق، حيث كانت أكبر مقاومة انكسار بالطلق في عينة CLC  $22.6\text{kg/m}^2$  التي تحمل نسبة بودرة ألمنيوم 0.2%، يمكن تفسير ذلك من خلال نسبة الاسمنت العالية في عينات CLC والتي تبلغ 55% مقارنةً مع عينات FCB والتي تبلغ فيها نسبة الاسمنت 14.3%، حيث يعمل الاسمنت كمادة رابطة تزيد من متانة العينات.

من خلال مناقشة النتائج بالمجمل يمكن ملاحظة تفوق عينات FCB على عينات CLC من ناحية انخفاض الكثافة (انخفاض الوزن) والعزل الحراري، بينما تفوقت عينات CLC على عينات FCB من ناحية مقاومتها للكسر.

#### الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال الدراسة التي تمت أصبح من الممكن صياغة بعض الاستنتاجات على النحو الآتي:

1. أكدت الدراسة نجاح تصنيع نوعين من البلوك الرغوي خفيف الوزن باستخدام بودرة الألمنيوم للنوع الأول وألفا ألفين سلفات للنوع الثاني.
2. بينت نتائج تحديد الكثافة أن البلوك من نوع FCB أقل كثافة من بلوك CLC وأن كثافة كلا النوعين منخفضة مقارنةً بالبلوك التقليدي حيث تراوحت الكثافة في النوع CLC بين (1004-598) $\text{kg/m}^3$  بينما تراوحت في البلوك من النوع FCB بين (711-401) $\text{kg/m}^3$  وتعد هذه

الكثافات منخفضة مقارنةً مع كثافة البلوك التقليدي التي تبلغ كثافته  $1600\text{kg/m}^3$  [11]. وبالتالي انخفاض وزن بلوك CLC الى 37% من وزن البلوك التقليدي، ونخفاضه إلى 25% في FCB وبالتالي استخدام هذه الأنواع يعمل على خفض أوزان الجدران والتقليل من كميات حديد التسليح ومواد المونة.

3. بينت الدراسة أن معامل التوصيل الحراري للبلوك FCB أقل من البلوك CLC بالتالي FCB يمتلك مقاومة حرارية أكبر، كما بينت أن معامل التوصيل الحراري لكلا النوعين منخفض مقارنةً بالبلوك التقليدي، حيث تراوح معامل التوصيل الحراري بين  $(0.21-0.51)\text{W/m.K}$  في النوع CLC بينما تراوح بين  $(0.09-0.27)\text{W/m.K}$  في النوع FCB، وإن هذا المعامل يبلغ في البلوك التقليدي  $1.2\text{W/m.K}$ .

4. أظهرت نتائج الاختبارات الميكانيكية أن عينات CLC أكثر متانة من عينات FCB حيث تراوح إجهاد الكسر نتيجة الضغط في CLC بين  $(14.1-22.6)\text{kg/cm}^2$  بينما تراوح في عينات FCB  $(6.2-18.5)\text{kg/cm}^2$  إلا أن كلا النوعان أقل مقاومة من البلوك التقليدي والذي يتراوح إجهاد الانكسار له بين  $(30-70)\text{kg/cm}^2$ .

5. تفوقت عينة CLC على FCB من الناحية الميكانيكية بينما كانت FCB هي الأفضل من الناحية الحرارية لذلك عندما يُراد تحديد الأفضل تجب المفاضلة وفقاً لأهمية الخاصية المرادة أي المقاومة الحرارية أم الميكانيكية.

#### التوصيات:

من خلال ما سبق يمكن أن نوصي بما يلي:

- 1- اجراء أبحاث تحسن المقاومة الميكانيكية عن طريق إضافة مواد مصلبة أو ما شابه للخلطات.
- 2- عدم استخدام هذه الأنواع من البلوك لبناء جدران حمالة والاقتصر في استخدامها على جدران الأبنية الهيكلية والجدران الداخلية للتقطيع.

3- العمل على دراسة خلطات تضم النوعين السابقين من المواد المولدة للرغوة للاستفادة من ميزة كل نوع.

4- اجراء دراسة نمذجية ومحاولة الاستفادة من نتائجها لتطوير الخواص الأساسية.

5- تشجيع الشركات على البدء بإنتاج البلوك الرغوي وتعريفهم بإيجابياته.

6- تشجيع الباحثين ومراكز الأبحاث والشركات العامة والخاصة على البدء بشكل جدي بإجراء أبحاث مشابهة تشجع الاستدامة وترشيد الطاقة.

7- توفير الدعم المادي للباحثين الشباب لتشجيعهم على البحث في هذا المجال والعمل على توفير جميع مستلزمات الأبحاث العلمية اللازمة كأجهزة قياس ومعدات اخرى.

## Referencesالمراجع

1. Qarmo A and Esteifi K., 2016- **Determination of Mechanical and Thermal Characteristics of some Waste Materials in Order to Be Used for Thermal Insulation Purposes.***Research Journal of Aleppo University, Engineering Science Series (2), 2016.129.*
2. YANG D et al. 2020 - **Properties of the foam concrete containing waste brick powder derived from construction and demolition waste.** *Science Direct, Journal of Building Engineering, Volume 32, November 2020, 101509.*
3. IBRAHIM N et al. 2013- **Performance of Lightweight Foamed Concrete with Waste Clay Brick as Coarse Aggregate.** *Science Direct, Journal of APCBEE Procedia ,Volume 5, January 2013, Pages 497-501.*
4. LIU M et al. 2014- **Evaluation of thermal conductivity, mechanical and transport properties of lightweight aggregate foamed geopolymer concrete.** *Journal of Energy and Buildings, Volume 72, April 2014, Pages 238-245.*
5. ALSHALIF A et al. 2021- **Optimization of Bio-Foamed Concrete Brick Strength via Bacteria Based Self-Healing and Bio-**

- 
- Sequestration of CO<sub>2</sub>**, *Journal of Materials* , Volume 14, Issue 16, August 2021, 20 Pages.
6. Kumar N et al. 2018- **Experimental Study on Mechanical and Thermal Behavior of Foamed Concrete**. *Science Direct, Journal of Materials Today: Proceedings, Volume 5, Pages 8753-8760*.
  7. Wang X et al. 2018- **Incorporation of sand-based breathing bricks with foamed concrete and humidity control materials**. *Science Direct, Journal of Construction and Building Materials, Volume 175, June 2018, Pages 187-195*.
  8. Vindo B et al. 2022- **Lightweight concrete blocks produced using expanded polystyrene and foaming agent**. *Science Direct, Journal of Materials Today: Proceedings, Volume 52, Part 3, Pages 1666-1670*.
  9. Qarmo A, Bakir M and Saleh F. 2019- **Design and manufacture a thermal conductivity measurement device with an Arduino controller to manage data input and output operations**. *magazine.albaath-univ, 41(2019), Pages 113-140*.
  10. Al Khaled B. 2019- **Improving Thermal Insulation of Walls Using New Models of Bricks**. *Study prepared to earn Master's degree in Mechanical Power Engineering, Al Baath University*.
  11. **Syrian Arab Code for the design and implementation of installations in reinforced concrete**.

## تقييم أداء الوصلة الصاعدة للشبكة MIMO – NOMA في الجيل

### الخامس 5G

الباحث : د.م. عمر الزعبي<sup>1</sup>

#### ملخص البحث:

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) تقنية واحدة للجيل الخامس 5G، لأنها توفر سعة إرسال أكبر من تقنيات النفاذ المتعدد المتعامد (OMA) الحالية، حيث تسمح NOMA بالإرسال المتزامن لمعطيات عدّة مستخدمين على نفس الحامل الترددي. يتم تجميع المستخدمين في مجال الاستطاعة باستخدام الترميز المتراكب في نهاية المرسل. في نهاية المستقبل تتم عملية إلغاء التداخل المتتالي (SIC) لإزالة التداخل وفصل رسائل المستخدمين. تُعتبر NOMA تقنية متعددة الاستخدامات، حيث يمكن دمجها مع الكثير من التقنيات الأخرى مثل Cooperative communication، SWIPT و MIMO. يتم في هذا البحث نمذجة التقنية NOMA من أجل الوصلة الصاعدة في شبكات الجيل الخامس 5G مع MIMO باستخدام MATLAB، حيث تمّ نمذجة الشبكة (4 users) UL NOMA (2x1) – MIMO. تمّ دراسة أداء هذه الشبكة بالنسبة للمعدلات الإجمالية Sum rates ومعدلات السعة القابلة للتحقيق Individual user rates والانقطاع Outage.

الكلمات المفتاحية: NOMA، المعدلات الإجمالية، الوصلة الصاعدة، الانقطاع.

<sup>1</sup> عضو هيئة تعليمية - قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة - جامعة حمص.

## Performance Evaluation of MIMO – NOMA Uplink network in 5G

Dr. Eng. Omar Alzoubi <sup>1</sup>

### **Abstract:**

Non-orthogonal multiple access (NOMA) is considered a promising technology for 5G, because it offers greater transmission capacity than current orthogonal multiple access (OMA) techniques, as NOMA allows simultaneous transmission of multiple user data in the same frequency carrier. At the transmitter end, the users are multiplexed in the power domain using superposition coding. At the receiver end, successive interference cancellation (SIC) is carried out to remove interference and to separate the individual users messages.

NOMA is considered a versatile technology, because it can be combined with lots of other techniques like cooperative communication, SWIPT, MIMO. In this research, NOMA technology is modeled for the uplink in 5G networks with MIMO using MATLAB, where MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users) network is modeled. The performance of this network is studied with respect to Sum rates, Individual user rates and Outage.

**Keywords:** NOMA, Sum rates, Uplink, Outage.

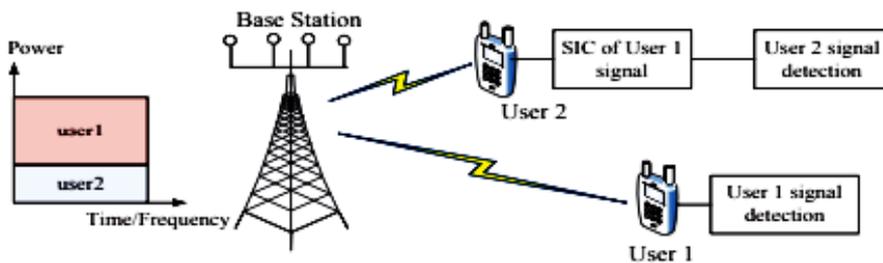
---

<sup>1</sup> – Lecturer - Department of Electronics and communications Engineering- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – University of Homs.

## 1- المقدمة:

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) تقنية واعدة لشبكات الجيل الخامس 5G، حيث تقدّم هذه التقنية تحسناً كبيراً في الكفاءة الطيفية [1-3]. تركز الفكرة الرئيسية لهذه التقنية على التجميع في مجال الاستطاعة، الذي لم يكن مُستخدماً في تقنيات النفاذ المتعدد المتعامد (OMA) في الأجيال السابقة. يتم في نماذج OMA التقليدية تخصيص المستخدمين بموارد راديوية متعامدة في مجال الزمن أو التردد أو الشيفرة من أجل تجنب أو تخفيف التداخل مع المستخدمين، لكن في NOMA تقوم محطة القاعدة (BS) بتخديم المستخدمين في الخلية الواحدة بنفس الموارد الزمنية والترددية، ثم يتم تجميع إشارات المستخدمين وتخصيصهم بمستويات استطاعة مختلفة وفقاً لظروف أقيمتهم. يُعتبر تخصيص الاستطاعة مفيداً أيضاً لفصل المستخدمين عن بعضهم البعض، حيث يُستخدَم غالباً إلغاء التداخل المتتالي (successive interference cancellation) (SIC) لإزالة التداخل متعدد المستخدمين [3].

يبين الشكل (1) النموذج الأساسي لتقنية NOMA مع التجميع في مجال الاستطاعة مع مستقبل SIC في الوصلة الهابطة [4]، كما يمكن أيضاً تطبيق هذا النموذج في حالة الوصلة الصاعدة [5]. يتم تجميع إشارات المستخدمين خطأً في المرسل BS بمستويات استطاعة معينة، كما يتم استخدام SIC في المستقبل للكشف متعدد المستخدمين (multi-user detection) (MUD)، حيث يتم تنفيذ SIC على المستخدمين الذين يتمتعون بنسبة عالية من الإشارة إلى التداخل مضافاً إلى الضجيج (signal-to-interference plus-noise ratio) (SINR) [3].



الشكل (1): مبدأ عمل التقنية NOMA [4]

## 2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة التقنية NOMA والتعرُّف على طريقة عملها ضمن الشبكة MIMO من أجل الوصلة الصاعدة، حيث يتم دراسة أداء الشبكة MIMO – NOMA بالنسبة للمعدلات الإجمالية ومعدلات السعة القابلة للتحقيق والانتقاع.

#### 4- مواد البحث وطرائقه:

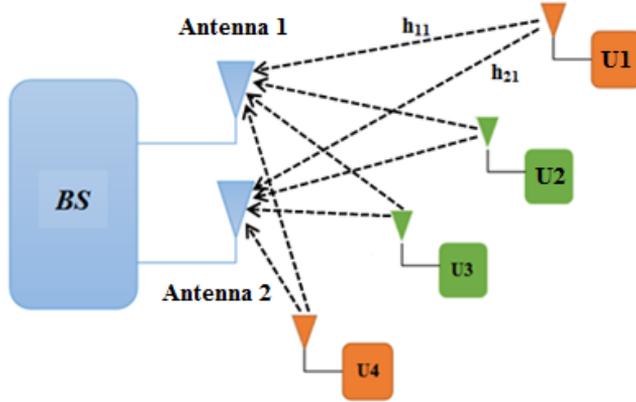
يتم في هذا البحث استخدام برنامج MATLAB لإجراء عملية النمذجة للشبكة MIMO – NOMA.

#### 5- الدراسات المرجعية:

تمَّ دراسة التقنية NOMA لتحسين الكفاءة الطيفية في الوصلة الهابطة للأنظمة الخليوية في [6]. تمَّ فيما بعد تطوير NOMA للعمل مع نظام متعدد المداخل متعدد المخارج MIMO في [7,8]. قام الباحثون في [4] بتحليل السعة للشبكة NOMA-MIMO. نعلم أنَّ NOMA تستخدم التقنية SIC لإلغاء التداخل بين المستخدمين، لكن SIC يزيد تعقيد جهاز الاستقبال عند المستخدمين، بالتالي تطبيق NOMA بدون SIC في [9] يخفِّض تعقيد جهاز الاستقبال. في حالة استخدام NOMA في الوصلة الصاعدة، يرسل المستخدمون إشاراتهم بشكل متزامن إلى محطة القاعدة BS المرتبطة بهم [10]. في [11]، تمَّ تخمين الحدود الدنيا والعليا للمعدلات القابلة للتحقيق للوصلة الصاعدة للأنظمة NOMA المتزامنة.

#### 6- الشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users):

إنَّ التجميع في مجال الاستطاعة للتقنية NOMA في الوصلة الصاعدة مختلف تماماً عن الوصلة الهابطة، حيث تُستخدم BS في الوصلة الهابطة الترميز المتراكب للتجميع في مجال الاستطاعة، كما يتم تخصيص المستخدمين الأبعد عن المرسل باستطاعة أكبر من استطاعة المستخدمين الأقرب إليه [12,13]، أمَّا بالنسبة للوصلة الصاعدة تكون استطاعة الإرسال للمستخدم مُحدَّدة فقط بسعة بطارية الهاتف النقال [14]. يبين الشكل (2) اتصال الوصلة الصاعدة في شبكة لاسلكية مكوَّنة من أربع مستخدمين مع النظام MIMO 2x1.



الشكل (2): الشبكة اللاسلكية MIMO (2x1) – UL NOMA – (4 users)

بفرض  $x_1, x_2, x_3, x_4$  الرسائل المُرسلة للمستخدمين الأربعة  $U_1, U_2, U_3, U_4$  على التوالي. بفرض شدة الإشارة هي نفسها لكل المستخدمين. ترمز  $d_1, d_2, d_3, d_4$  إلى أبعاد المستخدمين الأربعة عن المستقبل BS، حيث نرض  $d_1 > d_2 > d_3 > d_4$  عندئذ يكون المستخدم  $U_1$  هو الأبعد والأضعف، أمّا المستخدم  $U_4$  هو الأقرب والأقوى. ترمز  $h_{it}$  إلى القناة بخفوت Rayleigh بين هوائي الإرسال ذي الترتيب  $t$  وهوائي الاستقبال ذي الترتيب  $r$ ، بالتالي تكون أفضية المستخدمين مُرتبة بالشكل  $|h_4|^2 < |h_3|^2 < |h_2|^2 < |h_1|^2$ . تُعطى الإشارة المستقبلة عند BS بالعلاقة التالية [14]:

$$y = \left( \sqrt{P}x_1h_1 + \sqrt{P}x_2h_2 + \sqrt{P}x_3h_3 + \sqrt{P}x_4h_4 \right) + n \quad (1)$$

حيث  $P$ : الاستطاعة الكلية المُرسلة،  $n$ : عينات الضجيج AWGN بمتوسط معدوم وتباين  $\sigma^2$ .

### 6-1 معدلات السعة القابلة للتحقيق للمستخدمين في الشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users)

يتم في الوصلة الصاعدة بداية فك ترميز إشارة المستخدم  $U_4$  الأقرب إلى BS مع اعتبار إشارات المستخدمين الآخرين كتناخل، بالتالي يكون المعدل اللازم لـ BS لفك ترميز رسالة المستخدم الأقرب  $U_4$  [14]:

$$R_{U_4} = \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_4|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + P |h_3|^2 + \sigma^2} \right) \quad (2)$$

بينما يُعطى المعدل الأعظمي للمستخدم  $U_3$  بعد إجراء SIC بالعلاقة التالية [14]:

$$R_{U_3} = \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_3|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + \sigma^2} \right) \quad (3)$$

أمَّا المعدل الأعظمي للمستخدم  $U_2$  بعد إجراء SIC يُعطى بالعلاقة التالية [14]:

$$R_{U_2} = \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_2|^2}{P |h_1|^2 + \sigma^2} \right) \quad (4)$$

أخيراً يكون المعدل الأعظمي للمستخدم  $U_1$  بعد إجراء SIC وفق العلاقة التالية [14]:

$$R_{U_1} = \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_1|^2}{\sigma^2} \right) \quad (5)$$

## 2-6 احتمالات الانقطاع للشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users)

بفرض  $R_3^* = 3[\text{bps} / \text{Hz}]$  ،  $R_2^* = 2 [\text{bps} / \text{Hz}]$  ،  $R_1^* = 1[\text{bps} / \text{Hz}]$

هي المعدلات المطلوبة للمستخدمين  $U_1$  ،  $U_2$  ،  $U_3$  ،  $U_4$  على

التتالي. تُعطى السعة للمستخدم  $U_4$  بالعلاقة التالية [14]:

$$C_4 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_4|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + P |h_3|^2 + \sigma^2} \right) \quad (6)$$

بينما تُعطى السعة للمستخدم  $U_3$  بالعلاقة التالية [14]:

$$C_3 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_3|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + \sigma^2} \right) \quad (7)$$

أمَّا السعة للمستخدم  $U_2$  فتكون كما يلي [14]:

$$C_2 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_2|^2}{P |h_1|^2 + \sigma^2} \right) \quad (8)$$

أخيراً تُعطى السعة للمستخدم  $U_1$  بالعلاقة التالية [14]:

$$C_1 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left( 1 + \frac{P |h_1|^2}{\sigma^2} \right) \quad (9)$$

إنَّ شرط احتمال الانقطاع للمستخدم  $U_1$  هو:

$$\text{if } (C_1(k) < R_1^*) \parallel (C_2(k) < R_2^*) \parallel (C_3(k) < R_3^* \parallel (C_4(k) < R_4^*))$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم  $U_1$  [14]:

$$\Pr_{ULNOMA}(U_1) = \left( \sum_{i=1}^N \Pr(C_1(k) < R_1^*) \parallel \Pr(C_2(k) < R_2^*) \parallel \Pr(C_3(k) < R_3^* \parallel \Pr(C_4(k) < R_4^*)) \right) / N$$

بينما يكون شرط احتمال الانقطاع بالنسبة للمستخدم  $U_2$ :

$$\text{if } (C_2(k) < R_2^*) \parallel (C_3(k) < R_3^* \parallel (C_4(k) < R_4^*))$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم  $U_2$  [14]:

$$\Pr_{ULNOMA}(U_2) = \left( \sum_{i=1}^N \Pr(C_2(k) < R_2^*) \parallel \Pr \left( C_3(k) < R_3^* \parallel \Pr(C_4(k) < R_4^*) \right) \right) / N$$

أمَّا بالنسبة للمستخدم  $U_3$ ، يكون شرط احتمال الانقطاع:

$$\text{if } (C_3(k) < R_3^* \parallel C_4(k) < R_4^*)$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم  $U_3$  [14]:

$$\Pr(U_3) = \left( \sum_{i=1}^N \Pr(C_3(k) < R_3^* \parallel \Pr(C_4(k) < R_4^*)) \right) / N$$

أخيراً شرط احتمال الانقطاع للمستخدم  $U_4$  هو:

$$if \quad (C_4(k) < R_4^*)$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم  $U_4$  [14]:

$$\Pr(U_4) = \left( \sum_{i=1}^N \Pr(C_4(k) < R_4^*) \right) / N$$

حيث  $N$ : عدد العينات.

#### 7- النمذجة والمحاكاة:

تمّ نمذجة التقنية NOMA من أجل الوصلة الصاعدة في شبكات الجيل الخامس 5G مع MIMO باستخدام MATLAB، حيث تمّ نمذجة الشبكة MIMO – NOMA من أجل أربعة مستخدمين على الوصلة الصاعدة. تمّ دراسة أداء الشبكة بالنسبة للمعدلات الإجمالية Sum rates ومعدلات السعة القابلة للتحقيق Individual user rates والانقطاع Outage. يبيّن الجدول (1) عوامل النمذجة للوصلة الصاعدة بما يتلاءم مع شبكات الجيل الخامس 5G والتي تمّ إدخالها في نموذج المحاكاة. يبين الجدول (2) عوامل نمذجة الشبكة MIMO (2x1)–UL NOMA–(4 users).

#### الجدول (1): عوامل النمذجة للوصلة الصاعدة [14]

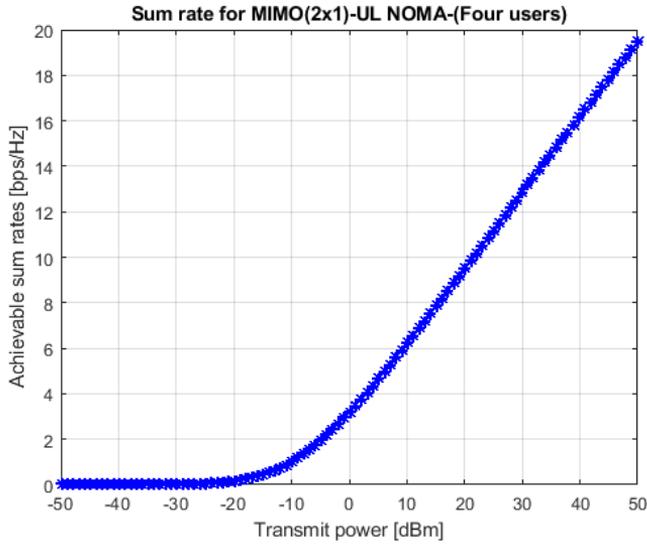
القيمة	العامل
4	عدد المستخدمين
$Bw = 200[MHz]$	عرض الحزمة الترددية
Rayleigh	نموذج القناة
2x1	MIMO

#### الجدول (2): عوامل نمذجة الشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA – (4 users)

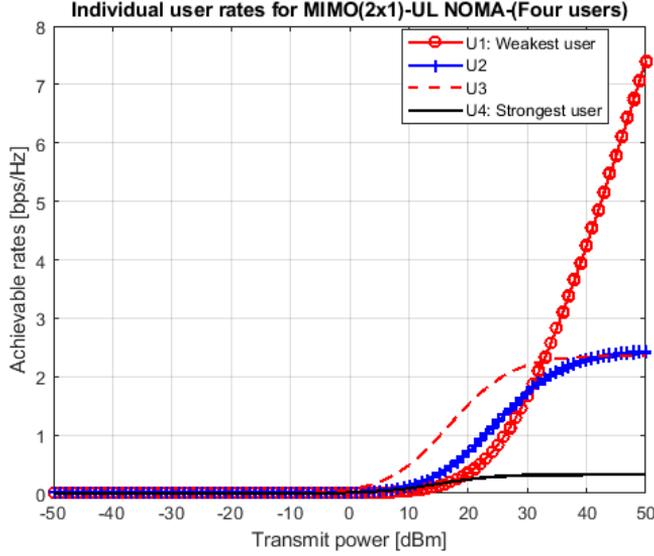
-50:50	مجال الاستطاعة المرسل بـ dBm
5	خطوة الاستطاعة المرسل بـ dBm
800	بعد المستخدم U1 بـ m
600	بعد المستخدم U2 بـ m

300	بعد المستخدم U3 بـ m
100	بعد المستخدم U4 بـ m
200 [MHz]	عرض الحزمة الترددية

يمكن دراسة أداء كل من المعدل الإجمالي Sum rate ومعدلات التحقيق Individual user rates للشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)، حيث بيّن الشكلين (3) و (4) المعدل الإجمالي ومعدلات التحقيق لهذه الشبكة على الترتيب.

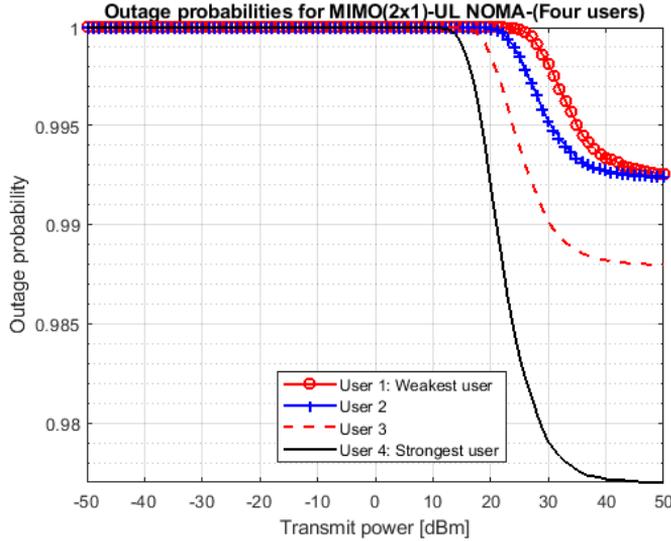


الشكل (3): المعدل الإجمالي للشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)



الشكل (4): معدلات التحقيق للشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)

نلاحظ أنّ المعدل اللازم لـ BS لفك ترميز رسالة المستخدم الأقوى أقل بالمقارنة مع بقية المستخدمين. أخيراً يمكن دراسة أداء الانقطاع لهذه الشبكة كما هو مُبيّن في الشكل (5).



الشكل (5): احتمالات انقطاع الشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)

نلاحظ من الشكل (5) أنَّ احتمال الانقطاع لهذه الشبكة أكبر بالنسبة للمستخدم الأبعد عن BS بالمقارنة مع المستخدم الأقرب إلى BS، كما أنَّ احتمال الانقطاع لهذه الشبكة يزداد بابتعاد المستخدمين عن BS.

#### 8- الاستنتاجات والتوصيات:

تمَّ نمذجة الشبكة اللاسلكية (4 users) UL NOMA (2x1) – MIMO باستخدام MATLAB، حيث تمَّ دراسة أداء هذه الشبكة بالنسبة للمعدلات الإجمالية ومعدلات السعة القابلة للتحقيق والانقطاع. لوحظ أنَّ المعدل المطلوب لـ BS لفك ترميز رسالة المستخدم الأقوى أقل بالمقارنة مع بقية المستخدمين، كما تبين أيضاً أنَّ احتمال الانقطاع لهذه الشبكة يزداد بابتعاد المستخدمين عن BS. يمكن القول أنَّ التقنية MIMO-NOMA تستخدم الطاقة بشكل فعّال، ممَّا يقلل استهلاك الطاقة ويساعد على تحسين كفاءة استخدام البطارية في الأجهزة الخليوية، كما تساعد التقنية MIMO-NOMA على تحسين كفاءة استخدام الترددات وزيادة سعة الشبكة وتحسين جودة الاتصال في شبكات الجيل الخامس 5G.

#### المراجع العلمية:

- [1] Benjebbovu, Anass, Anxin Li, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, Atsushi Harada, and Takehiro Nakamura, "System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancements", In 2013 IEEE globecom workshops (GC Wkshps), pp. 66-70, 2013.
- [2] Benjebbour, Anass, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, Anxin Li, Atsushi Harada, and Takehiro Nakamura, "Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access", In 2013 International symposium on intelligent signal processing and communication systems, pp. 770-774, 2013.
- [3] Saito, Yuya, Yoshihisa Kishiyama, Anass Benjebbour, Takehiro Nakamura, Anxin Li, and Kenichi Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access", In 2013 IEEE 77th vehicular technology conference (VTC Spring), pp. 1-5, 2013.
- [4] Q. Sun et al. , "On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems", IEEE wireless communication letters, vol. 4, no. 4, pp. 405-408, 2015.

- [5] Higuchi, K., and Y. Kishiyama, "Non-orthogonal access with successive interference cancellation for future radio access", APWCS2012, 2012.
- [6] L. Dai, B. Wang, Z. Ding, Z. Wang, S. Chen and L. Hanzo, "A Survey of Non- Orthogonal Multiple Access for 5G," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 2294-2323, third quarter 2018.
- [7] Z. Ding, F. Adachi, and H. Poor, "The application of MIMO to non-orthogonal multiple access," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 15, pp. 537-552, Jan 2016.
- [8] Hassan, M.B.; Ali, E.S.; Saeed, R.A. Ultra-Massive MIMO in THz Communications: Concepts, Challenges and Applications. In Next Generation Wireless Terahertz Communication Networks, 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2021; Chapter 10, pp. 267–297.
- [9] S. L. Shieh and Y. C. Huang, "A simple scheme for realizing the promised gains of downlink nonorthogonal multiple access," IEEE Trans. on Communications, vol. 64, pp. 1624-1635, April 2016.
- [10] Krishnamoorthy, A.; Huang, M.; Schober, R. Precoder design and power allocation for downlink MIMO-NOMA via simultaneous triangularization. In Proceedings of the 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Nanjing, China, 29 March–1 April 2021; pp. 1–6.
- [11] Alsaqour, R.; Ali, E.S.; Mokhtar, R.A.; Saeed, R.A.; Alhumyani, H.; Abdelhaq, M. Efficient Energy Mechanism in Heterogeneous WSNs for Underground Mining Monitoring Applications. IEEE Access 2022, 10, 72907–72924.
- [12] Do, Dinh-Thuan, Tu-Trinh Thi Nguyen, Tu N. Nguyen, Xingwang Li, and Miroslav Voznak, "Uplink and downlink NOMA transmission using full-duplex UAV", IEEE Access, pp. 164347-164364, 2020.
- [13] Krishnamoorthy, Aravindh, and Robert Schober, "Uplink and downlink MIMO-NOMA with simultaneous triangularization", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 20, no. 6, pp. 3381-3396, 2021.
- [14] Hassan, M., Singh, M., Hamid, K., Saeed, R., Abdelhaq, M., & Alsaqour, R, "Modeling of NOMA-MIMO-Based Power Domain for 5G Network under Selective Rayleigh Fading Channels", Energies, vol. 15, no. 15, 2022.

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

د.م يمان غازي<sup>1</sup>

### 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

<sup>1</sup> 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 بالـ VoIP . 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 ويحوّله إلى صيغة قابلة للنقل عبر الشبكة الرقمية. بينما يقوم مفكك الترميز بالعمل المعاكس أي يأخذ الإشارات الرقمية من الشبكة ويحوّلها 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 (المنغمت مثلًا)، 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  $\mu$ -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. يفنقر هذا الترميز يفنقر 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 المحاكاة 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.

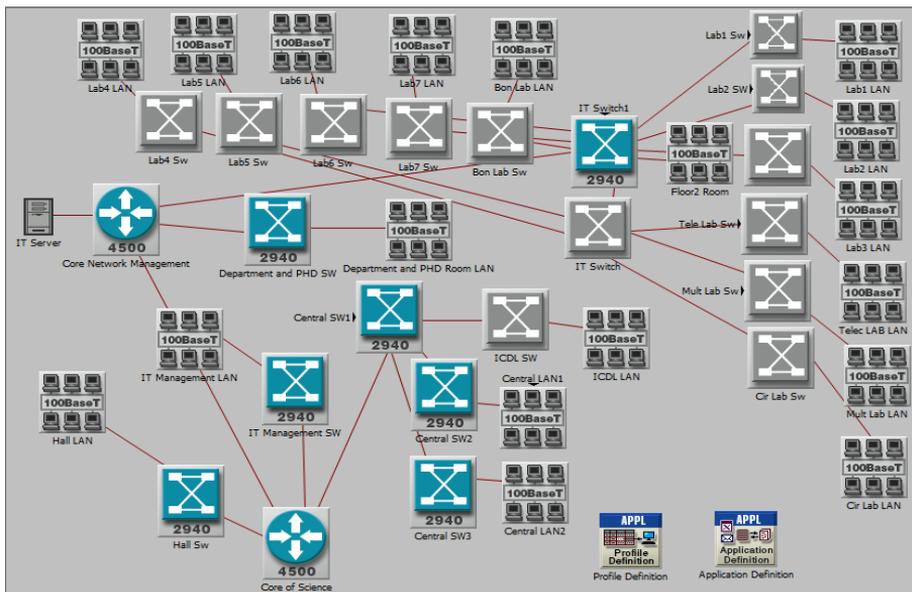
ميزته أنه يمتلك واجهات صورية قوية جداً للنموذج، محاكاة ديناميكية، وجدولة للأحداث، وأدوات تحليل متكاملة، وهرمية للبيانات [24]. ببساطة هو أداة محاكاة للشبكة تتيح تعريف طوبولوجيا الشبكة، العقد، التوصيلات، التطبيقات وغيرها. كما يمكن للمستخدم أن يعرف العمليات التي يمكن أن تحدث في عقدة جزئية وخصائص توصيلات 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، إضافة 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 - محاسب 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

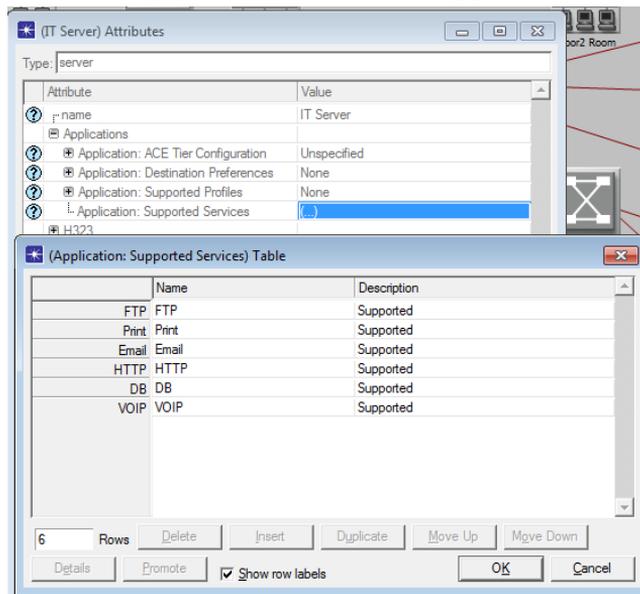
الجدول (3): التطبيقات المستخدمة في الشبكة

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)

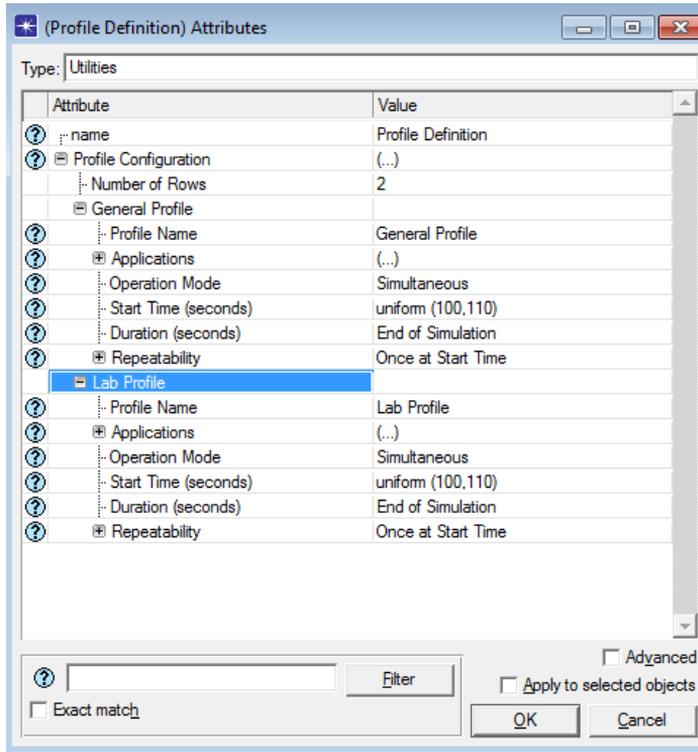
تم تعريف اثنان من البروفايل كما هو مبين في الشكل (3) الأول عام باسم (General Profile) يعمل بالتطبيقات الستة السابقة يتم استخدامه في أجهزة كل من المكاتب الإدارية وغرف أعضاء

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

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 يبدأان بالعمل عند الثانية 100 من بدء المحاكاة وينتهيان عند انتهاء زمن المحاكاة. تم ضبط استخدام كل من البروفایل الأول والثاني في العقد BaseT\_LAN100 من خلال ضبط قيمة الخاصية Supported Profile.



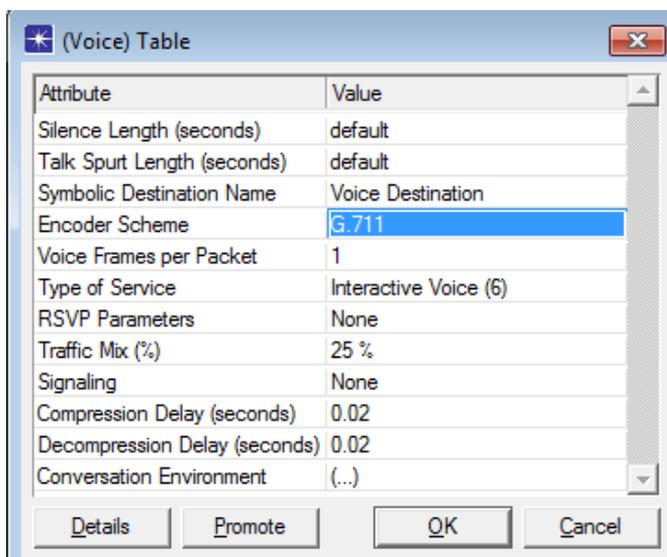
الشكل (2): ضبط الخاصية Supported Services في عقدة المخدم



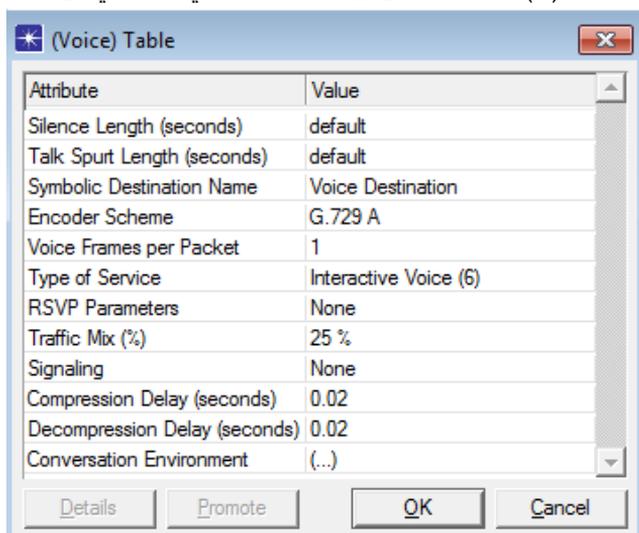
الشكل (3): اعدادات المحاكاة للمكون Profile Config

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.711، G.729، G.723.1 على الترتيب.

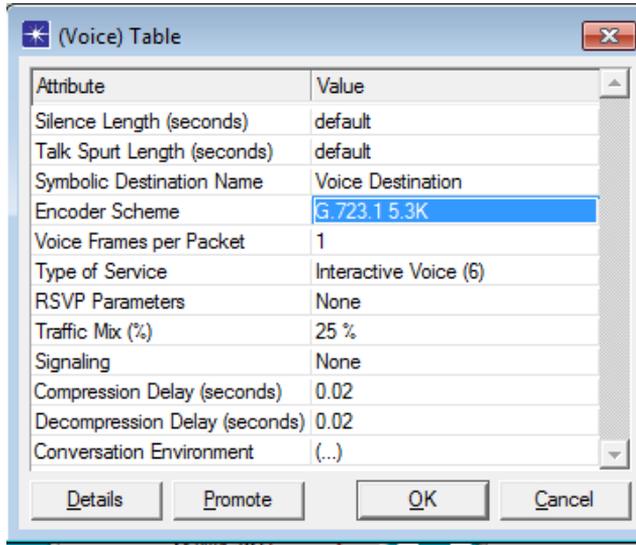
تحليل أداء بروتوكول نقل الصوت عبر الإنترنت تحت تأثير خوارزمية التشفير AES وخوارزميات الترميز الصوتي باستخدام المحاكى أوبنت



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.

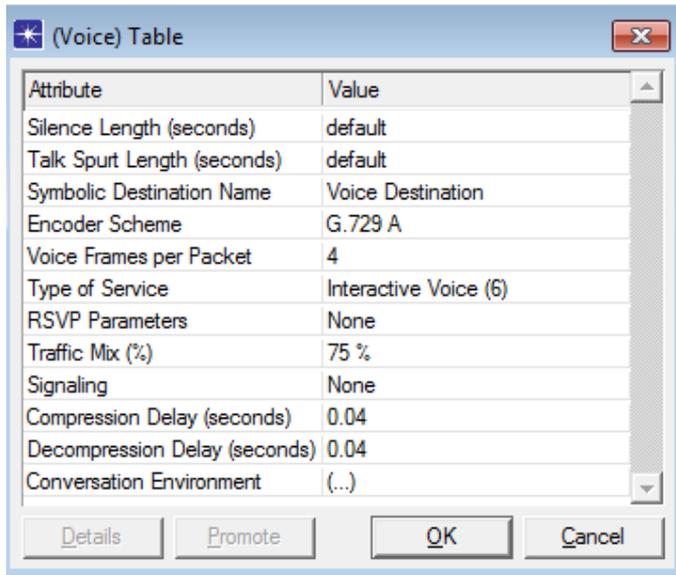
وبما أن هدف البحث لا يتمثل في تحليل البيانات المشفرة نفسها، بل في دراسة أثر إدراج التشفير على جودة الخدمة (QoS)، فقد تم اعتماد الطريقة الأولى، وهي محاكاة التأثير دون تنفيذ التشفير فعلياً.

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

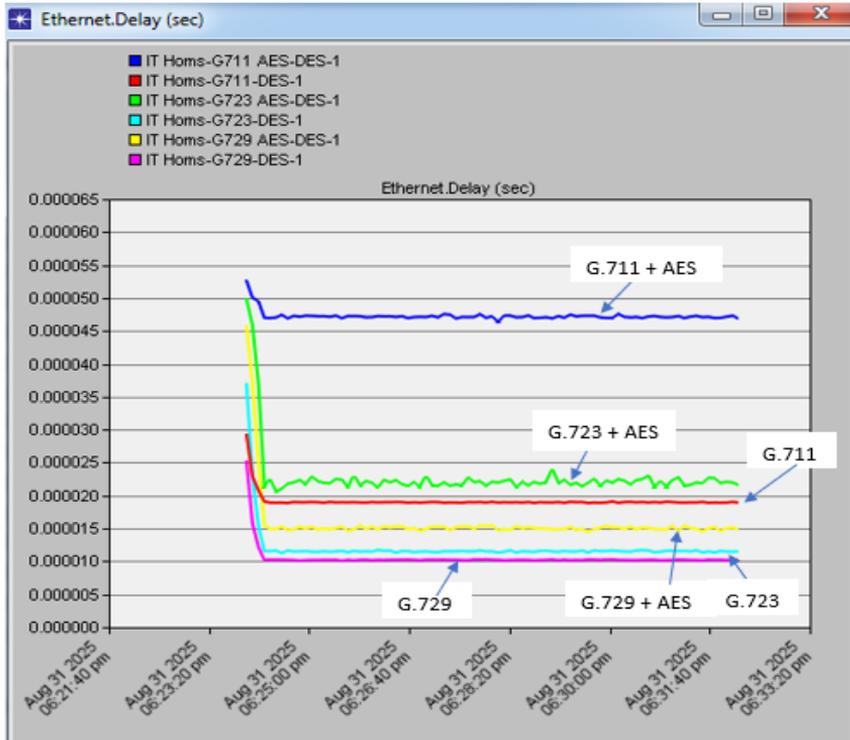
الترميز G.729

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 ويزمن 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 باستخدام هذه الخوارزمية.

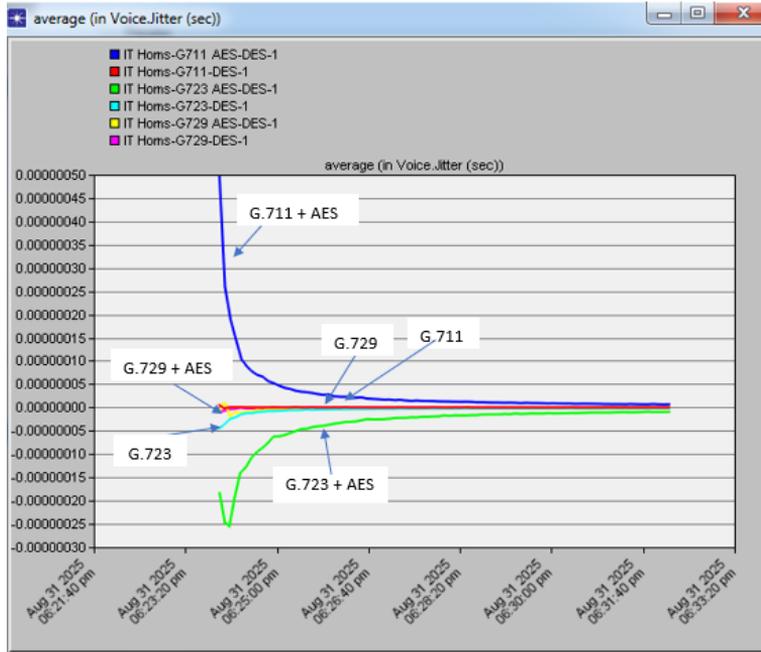
### 8. النتائج والمناقشة:

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.

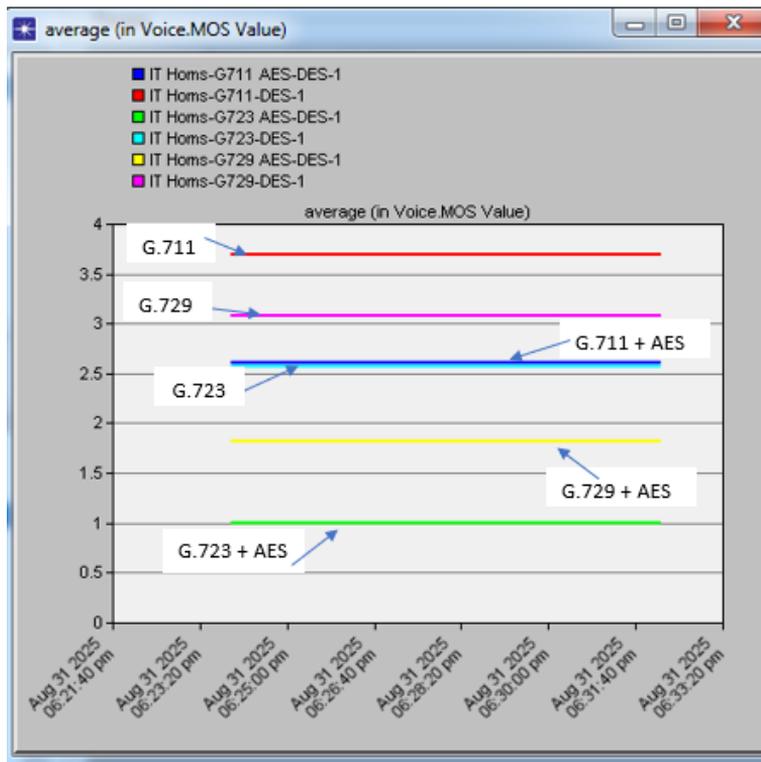


الشكل (8): متوسط التأخير لكامل الشبكة في سيناريوهات المحاكاة الستة

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

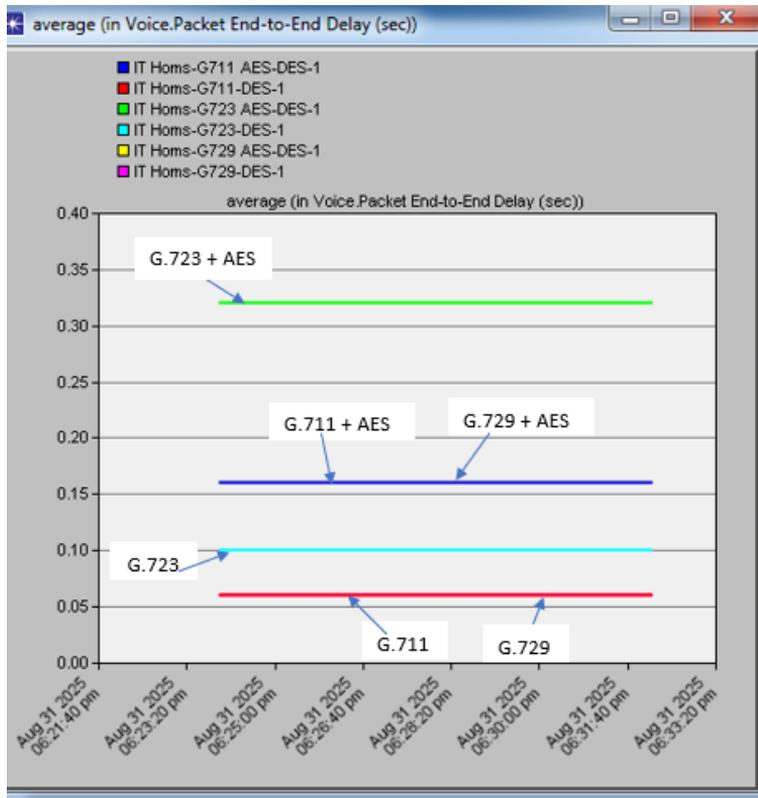


الشكل (9): متوسط التقطيع لبروتوكول VOIP في سيناريوهات المحاكاة الستة



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 المحاكى أوبنت



الشكل (11): متوسط التأخير من النهاية إلى 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 ( $\approx 0.08$  ثانية)، وأدنى تقطيع، وأقل تأخير شبكي، لكنها جاءت بأدنى جودة صوت ( $\approx 2.7$ )، 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.

## دراسة تصميمية لتحسين منانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة

### باستخدام برنامج SolidWorks

- \* الدكتور غالب أحمد  
\* الدكتور هيثم عيسى  
\* الدكتور سليمان العلي  
\* المهندس علي عصام يوسف

#### الملخص

تركز هذا البحث على دراسة منانة قائم القرينة الرئيسي Center Girder والقوائم الثانوية Side Girders في القاع المزدوج لسفينة بضائع سائبة، وذلك باستخدام برنامج SolidWorks. حيث تم الاعتماد على المقطع العرضي لسفينة البضائع السائبة ISSC-2000 [1]. تم في هذا البحث التوصل إلى تصاميم معدلة لقائم القرينة، حيث تم استخدام نوع واحد من التقويات الطولية ذات المقطع العرضي Bulb bar. اعتمدت هذه النماذج التصميمية على تقليل عدد عناصر التقوية الطولية وطريقة توزيعها وموقعها الشاقولي على قوائم القرينة. تم إجراء سبع عشرة اختبار لكل نموذج تصميمي مقترح للتنبؤ باستجابة قوائم القرينة بمجموع كلي للاختبارات يقدر بـ 85 اختبار، والتي تشمل الإجهاد، الانبعاج، والتشوه لهذه القطاعات، تحت تأثير الضغط الشاقولي. تم التوصل إلى نموذج تصميمي محسن لقائم القرينة مقارنة مع التصميم المرجعي المستخدم في الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** SolidWorks، الإجهاد، الانفعال، التشوه، ISSC سفن البضائع السائبة.

- \* أستاذ - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. ايميل: [dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy](mailto:dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy)
- \* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. ايميل: [dr.heithamyounesissa@tishreen.edu.sy](mailto:dr.heithamyounesissa@tishreen.edu.sy)
- \* مدرس - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. [slimanalali87@gmail.com](mailto:slimanalali87@gmail.com)
- \* \* طالب دكتوراه - قسم الهندسة البحرية - جامعة اللاذقية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - اللاذقية - سورية. [ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy](mailto:ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy)

## A Design Study to Improve the Strength of the Girders of a Bulk Cargo Ship Using SolidWorks

- \* Prof. Galeb Ahmad
- \*\* Prof. Heitham Issa
- \*\*\* Dr. Souliman AL Ali
- \*\*\*\* Eng. Ali Issam Yousef

### Abstract

This research focuses on studying the strength of the center girder and the side girders in the double bottom of a bulk cargo ship, SolidWorks. The study relied on the cross-sectional design of a bulk cargo ship [1] ISSC-2000. Modified designs for the girder were developed in this research, using a single type of longitudinal stiffener with a bulb bar cross-section. These design models aimed to reduce the number of longitudinal stiffening elements and adjust their distribution and vertical positioning on the girder. Seventeen tests were conducted for each proposed design model, with a total of 85 tests to predict the response of the girder, including stress, buckling, displacement and strain of these sections under vertical pressure. An improved design model for the girder was achieved compared to the reference design used in the study.

**Keywords:** SolidWorks, Stress, Strain, Displacement, Bulk Carrier, ISSC.

---

\* Prof., Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. Email: [dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy](mailto:dr.ghalebyousefahmad@tishreen.edu.sy)

\*\* Assistant prof., Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. Email: [dr.heithamyounesissa@tishreen.edu.sy](mailto:dr.heithamyounesissa@tishreen.edu.sy)

**\*\*\* Dr. Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria.**  
[slimanalali87@gmail.com](mailto:slimanalali87@gmail.com)

**\*\*\*\* PhD Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Latakia University, Latakia, Syria**  
[ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy](mailto:ali.issam.yousef@tishreen.edu.sy)

## 1. مقدمة

تُعدّ عارضة البدن (Hull Girder) التكوين البنوي الأشمل في السفينة، الناتج عن تكامل الألواح الخارجية (السطح، القاع، الجوانب) مع عناصر التقوية الطولية والعرضية، بما يشكل جسمًا إنشائيًا قادرًا على مقاومة الأحمال الكبرى. وتمثل هذه العارضة العنصر الأكثر أهمية في تقييم المتانة النهائية للسفينة، وذلك تحت تأثير نوعين رئيسيين من الأحمال: الأحمال المنتظمة مثل الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن وزن الماء، والضغط الداخلي الناتج عن وزن الحمولة، حيث تؤدي هذه الأحمال إلى عزم انحناء طولي يكون أعظميًا عند المنتصف مما يفرض أعلى إجهادات طولية عند السطح والقاع. والأحمال المتغيرة مثل تغير توزيع الحمولة، وحالات التشغيل غير المتزنة وأحمال الأمواج المسببة لحالات متعاقبة من الـ Hogging و Sagging تؤدي هذه الحالات إلى تغيرات دورية في عزم الانحناء الطولي وإجهادات الشد والضغط عند الأسطح، وتُحسب باستخدام ما يُعرف بحالات التصميم القصوى Extreme Loading Cases التي تعتمد على معايير التصنيف مثل DNV IACS CSR. وبناء على ذلك، فإن تحليل قائم القرينة يكتسب أهمية خاصة لكونه يشكل جزءًا من النظام البنوي المتكامل (Hull Girder) والذي يتأثر بعزم الانحناء الأعظمي الناتج عن الأحمال الطولية والأمواج. قام Paik et al 2013 [2] بتطوير صيغة Paik-Mansour لحساب المتانة النهائية لعارضة البدن المعرضة لعزم الانحناء الرأسي. حيث اعتمدت هذه الطريقة على توزيع إجهاد الانحناء على المقطع العرضي للهيكل المفترض، وتم التحقق من دقة هذه الطريقة من خلال مقارنتها مع طرق رقمية مثل طريقة العناصر المحدودة غير الخطية، وطريقة الوحدة الهيكلية المثالية. باستخدام صيغة تصميمية تعتمد على الحل التكراري قام [3] Piscopo et al 2021 بتحديد المتانة النهائية لعارضة البدن نتيجة تآكل الطلاء تحت تأثير الضغط أحادي المحور حيث سمحت الطريقة التكرارية التدريجية بتقييم المتانة النهائية لعارضة البدن بكفاءة عالية جنباً إلى جنب مع التآكل الناتج عن الحفر، وتم التحقق من النتائج من خلال أربع حالات مرجعية لمواقع مختلفة من البدن تعرضت للتآكل الناتج عن الحفر. كما قام الباحثون [4] Zaho et al 2022 بدراسة متانة بدن السفينة مع فتحات السطح، حيث صُمم نموذج بفتحات كبيرة نسبياً في مجموعة من المقصورات، وتم اختبارها حتى أقصى قدرة تحمل تحت عزم انحناء مترهل. حيث تم تحليل وضع الانهيار، ومنحنى الحمل-الإزاحة، والحمل الأقصى للنموذج التجريبي باستخدام طريقة العناصر المحدودة غير الخطية. كما حُسب الحمل الأقصى للنموذج التجريبي

باستخدام طريقة الانهيار التدريجي (طريقة سميث). توصل [5] Ristiyanto et al 2023 إلى اعتبار المتانة النهائية لعارضة البدن (HGUS) Hull girder ultimate strength هي أقصى قدرة انحناء يمكن لعارضة البدن أن تتحملها تحت تأثير الضغوط الطولية. حيث يمكن اعتبار بدن السفينة آمناً عندما تكون المتانة الحديدية لعارضة البدن أكبر من عزم الانحناء الكلي المسبب للانهيار والذي تتعرض له السفينة. قدم [6] Imaduddin et al 2023 دراسة لتقييم المتانة النهائية لعارضة البدن المعتمدة على الوقت مع مراعاة التآكل السميك وظروف الألواح المقواة. حيث تم حساب المتانة النهائية باستخدام طرق تكرارية تعتمد على IACS\_ CSR لنموذج سفينة بضائع سائبة. قام [7] Farzaneh et al 2024 بالتحقق من التأثير المشترك لأضرار التشقق والتآكل على المتانة النهائية لعارضة بدن السفينة من خلال استخدامه منهجية Monte Carlo، حيث قام بتحديد مؤشر الموثوقية لهيكل السفينة المتشققة والمتآكلة، واتضح أن مؤشرات الموثوقية لمختلف سيناريوهات الضرر متطابقة تقريباً عندما تكون السفينة في بداية عمرها. درس Joynal Abedin et al 2024 [8] استجابة هيكل لسفينة شحن متعددة الأغراض تحت تأثير أحمال الانحناء والالتواء المشتركة باستخدام تحليل العناصر المحدودة، حيث تم حساب عزوم الانحناء والفتل وفقاً للمعايير والأنظمة التي تعتمد على هيئات التصنيف البحري، كما تم التحقق من نموذج العناصر المحدودة ثلاثي الأبعاد للسفينة باستخدام نظرية العتبة والحسابات المباشرة، بينما تم التأكد من دقة الإجهادات الالتوائية من خلال مقارنة نتائج نظرية الجسور الرقيقة الجدران مع النتائج المباشرة. قام [9] A. Pintilie et al 2025 بتحسين المقطع الأوسط لناقلات البضائع السائبة التي تبلغ حمولتها الساكنة 165,000 طن، من خلال النمذجة الهيكلية والأبعادية، تحت تأثير الإجهادات العامة المركبة (الانحناء الطولي الرأسي، والانحناء العرضي الرأسي، والالتواء الطولي)، مع مراعاة الإجهادات الموضعية المحددة. باستخدام التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) وطريقة العناصر المحدودة (FEM)، مع توفير أداة حساب تشغيلية.

على الرغم من وجود دراسات مرجعية سابقة تناولت تحسين أداء عوارض بدن السفينة تحت تأثير الأحمال المختلفة، إلا أن معظم تلك الدراسات ركزت بشكل عام على تحليل الاستجابة الكلية للهيكل أو على العوارض العرضية والطولية ذات التوزيع التقليدي، دون التطرق التفصيلي إلى تأثير التكوين الهندسي الداخلي لقوائم القرينة. حيث تتميز هذه الدراسة بأنها تُسلط الضوء على عنصر بنيوي دقيق ومهم في الهيكل الداخلي للسفن، وهو قائم القرينة (Girders)، حيث تم دراسة تأثير

## دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

توزيع عناصر التقوية الطولية على متانة هذا العنصر تحت ظروف تحميل مركبة تشمل الانحناء والضغط الجانبي والانبعاج. كما اعتمدت هذه الدراسة على نمذجة هندسية ثلاثية الأبعاد دقيقة باستخدام طريقة العناصر المحددة (FEA)، مع الأخذ في الحسبان الشروط الحدية الواقعية والأحمال التشغيلية المستمدة من أنماط الضغط الهيدروستاتيكي والهيدروديناميكي. وتمت مقارنة النتائج بمعايير التصنيف العالمية مثل IACS Common Structural Rules و DNV-RP-C201. كما عملت هذه الدراسة إلى تقديم تحسين هندسي فعلي وقابل للتطبيق على تصميم القائم من خلال إعادة توزيع عناصر التقوية، مما يحقق توازناً بين تقليل الوزن الكلي وزيادة مقاومة الانبعاج والإجهاد، وهو ما يجعل هذه الدراسة تساهم بشكل نوعي في تحسين تصميم البنية التحتية للسفن وفقاً لمتطلبات الأداء والمتانة الحديثة.

### 2. مشكلة البحث

تتعرض السفن أثناء عملها في البحر إلى أنواع متعددة من الأحمال، منها الأحمال الطولية الكبيرة الناتجة عن ظاهرتي Hogging و Sagging، واللتين تنشآن إما بسبب عدم التوازن في توزيع الحمولات على طول البدن، أو نتيجة تفاعل السفينة مع أمواج ذات أطوال تعادل طول السفينة، مما يؤدي إلى توليد عزم انحناء طولي أعظمي (Maximum Longitudinal Bending Moment) يؤثر على مناطق السطح والقاع، ويُنتج إجهادات شد وضغط متناوبة. في المقابل، تتعرض السفينة كذلك إلى ضغوط هيدروستاتيكية ساكنة ناتجة عن عمق الغاطس، وهذه تؤثر بشكل عرضي على البدن، وتُسبب إجهادات جانبية مستمرة تضغط الجوانب نحو الداخل. عند تراكم هذه الأحمال الطولية والعرضية ضمن ظروف تشغيل حقيقية تتعرض العناصر البنيوية، لا سيما قائم القرينة (Girder)، إلى حالات تحميل مركبة قد تؤثر سلباً على استقرارها المحلي ومقاومتها للانبعاج. بناءً على ذلك تظهر الحاجة الملحة إلى تحليل سلوك قائم القرينة تحت تأثير الأحمال المركبة باستخدام أدوات رقمية متقدمة تقدمها البرامج التصميمية مثل بهدف الوصول إلى تصميم هندسي مُحسّن قادر على مقاومة الإجهادات والانفعالات ضمن حدود السلامة التي تفرضها هيئات التصنيف البحرية الدولية.

### 3. أهمية البحث وأهدافه

يتم تصميم عارضة السفينة لتتحمل مختلف حالات الانهيار التي قد تتعرض لها والتي تحكم مدى قوة ومثانة هذه العارضة. حيث تندرج أوضاع الفشل الإنشائي في الهياكل البحرية عادة ضمن فئتين أساسيتين: الأولى تُعرف بحد المقاومة القصوى (ULS\_ Ultimate Limit State) ، حيث يحدث الانهيار نتيجة تجاوز مقاومة المادة، والثانية تُعرف بحدود الخدمة (SLS, Serviceability Limit State)، حيث يحدث الفشل بسبب تشوهات مفرطة أو اهتزازات غير مقبولة تؤثر على كفاءة التشغيل. تعتمد حالات حد المقاومة على اعتبارات السلامة والقدرة القصوى لعارضة البدن على تحمل الأحمال وتشتمل على المرونة واللدونة والانبعاج. أما حالات حد الخدمة تشير إلى أداء هيكل عارضة البدن تحت تأثير أحمال الخدمة العادية وتشمل الانحراف والخضوع الأولي. وبما أن قائم القرينة الرئيسي والقوائم الجانبية هي أكبر العناصر الشاقولية بهيكل عارضة البدن، فإن أهمية هذا البحث هو دراسة المثانة الحدية النهائية لقائم القرينة الرئيسي والقوائم الجانبية من خلال تقديم عدة نماذج تصميمية لكيفية تدعيم هذه القوائم بعناصر تقوية من النوع Bulb bar. وعليه يمكن تلخيص أهداف البحث:

1. دراسة مثانة عارضة البدن باستخدام (FEA) SolidWorks Simulation، وذلك في حالة عنبر فارغ للسفينة وتحت تأثير الضغط الموزع على كامل السفينة المرجعية، حيث يتم إجراء التعديلات على العارضة المركزية وعلى عناصر التقوية وحساب مثانتها.
2. دراسة المثانة الحدية لقوائم القرينة ضمن القاع المزدوج لمنطقة وسط سفينة بضائع سائبة.
3. تقديم نماذج تصميمية لطريقة تدعيم القوائم تهدف إلى تحقيق المثانة المطلوبة عند أقل وزن ممكن.

### 4. طرق ومواد البحث

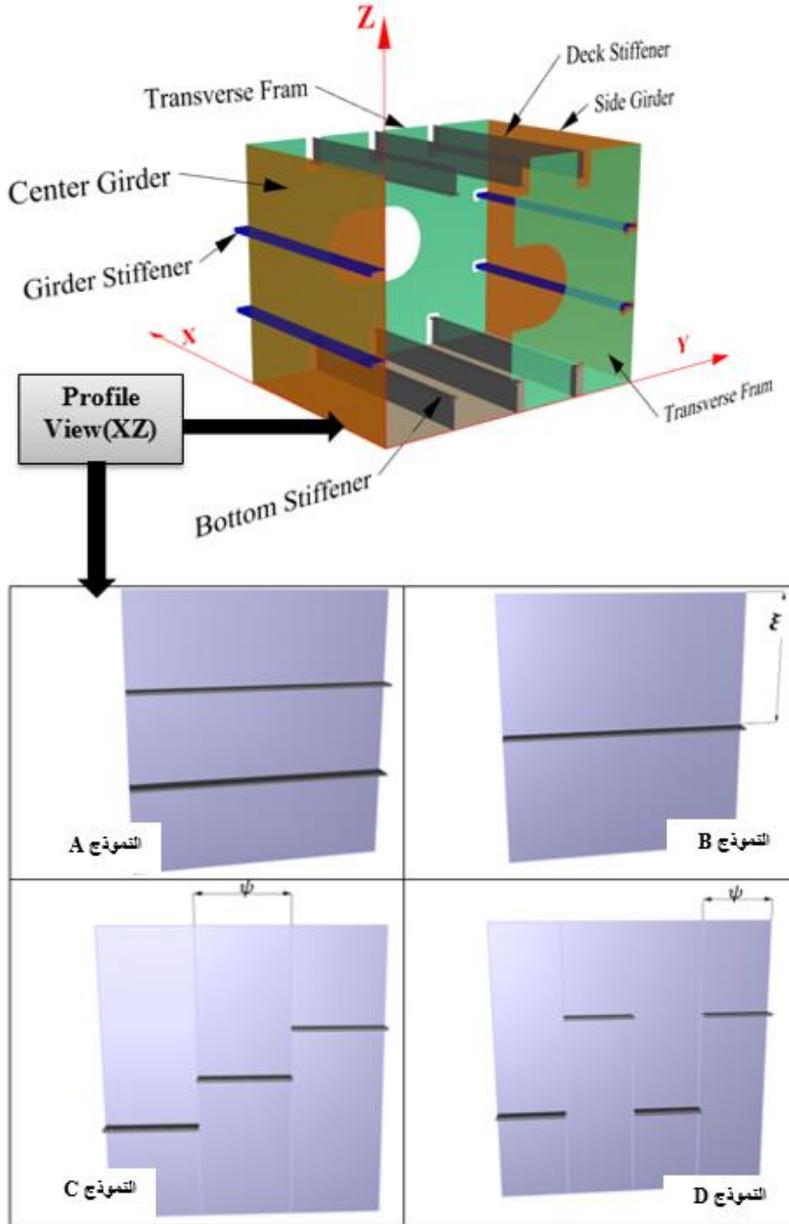
الطرق والمواد التي تم استخدامها في هذا البحث يمكن تلخيصها في الأمور التالية:

✓ المقطع العرضي لسفينة بضائع سائبة ISSC-2000 [1].

## 5. منهجية البحث

المنهجية التي يقوم عليها هذا البحث هي منهجية تحليلية تجريبية في بيئة افتراضية، حيث تم في هذا البحث إجراء اختبارات نمذجة على قائم القرينة ضمن القطاع المدروس باستخدام SolidWorks Simulation Static تحت تأثير ضغط شاقولي موزع بانتظام، وهذه الاختبارات هي: الإجهاد، الانفعال، الإزاحة والانبعاج.

يبين الشكل 1 قطاع جزئي ضمن القاع المزدوج للسفينة المرجعية المدروسة، والذي يحتوي على مجموعة من العناصر الإنشائية المدعمة بعناصر تقوية من النوع Bulb Bar. كما أنه يوضح النماذج التصميمية التي تمت دراستها في هذا البحث بهدف الوصول الى التصميم الأكثر تحقيقاً للمتانة، حيث يكمن الاختلاف الرئيسي بين هذه التصاميم بعدد عناصر التقوية الطولية وتوزعها الشاقولي والأفقي على قائم القرينة Girders.



الشكل 1: التصاميم المقترحة لتدعيم قائم القرينة بعناصر التقوية.

حيث أن:

النموذج A : التصميم المرجعي للسفينة المدروسة.

النموذج B : التصميم المعدل باستخدام عنصر تقوية طولي واحد.

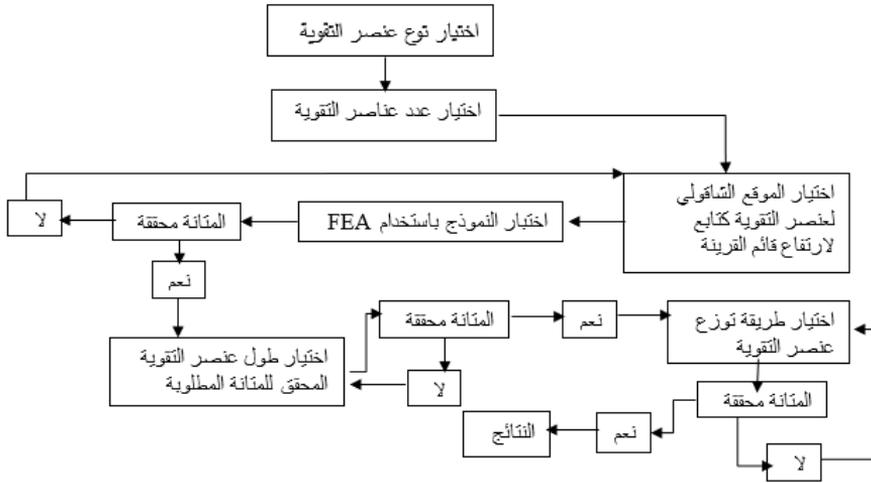
النموذج C : التصميم المعدل باستخدام عنصري تقوية طوليين.

النموذج D : التصميم المعدل باستخدام ثلاثة عناصر تقوية طولية.

ع: الموقع الشاقولي لعنصر التقوية.

$l$ : طول عنصر التقوية.

تمت عملية التوصل الى التصاميم المعدلة من خلال المخطط الصندوقي الموضح في الشكل 2.



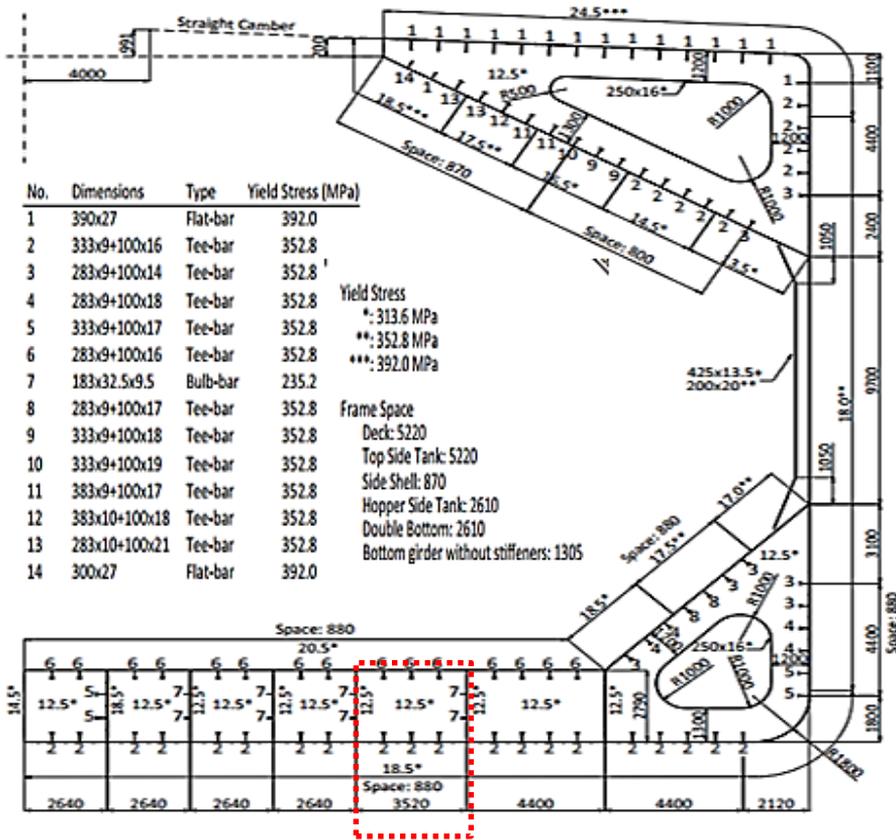
الشكل 2: المخطط الصندوقي المستخدم في عملية التصميم.

حيث تم اختبار نماذج من خلال مقارنة نتائجها مع نتائج التصميم الأولي للقطاع المدروس للسفينة المرجعية الشكل 1 النموذج A.

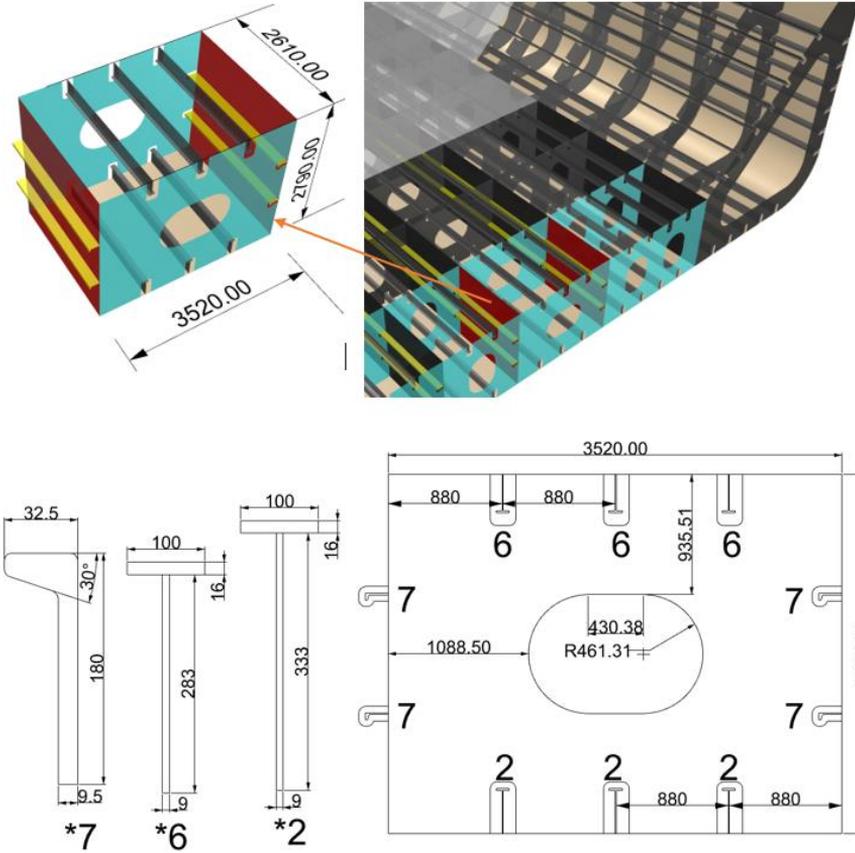
## 6. الأبعاد والخصائص الهندسية والبيئة الرقمية واعتباراتها

### 6.1. الأبعاد التصميمية للقطاع المدروس

يعتبر البدن المرجعي المستخدم في هذه الدراسة هو البدن المستخدم في جميع سفن البضائع السائبة والتي تملك نفس المقطع العرضي للسفينة. حيث تم الحصول عليه من المؤتمر الدولي The International Ship and Offshore Structures Congress 2000 (ISSC-2000) حيث يوضح الشكل 3 التصميم المرجعي ISSC-2000 [1]. كما يوضح الشكل 4 قطاع جزئي ضمن القاع المزوج يحتوي على قائم القرينة الذي تتم دراسته [1] [10].



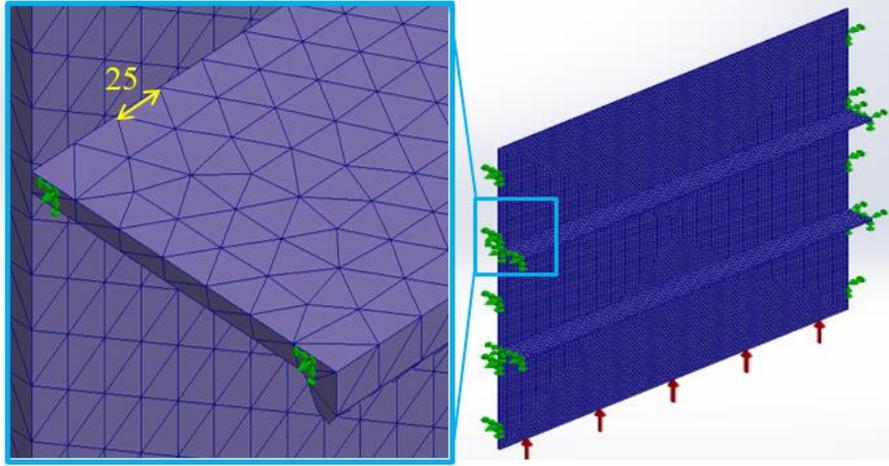
الشكل 3: المقطع العرضي للسفينة المرجعية المدروسة ISSC-2000.



الشكل 4: المقطع العرضي لقطاع جزئي من القاع المزدوج ضمن السفينة المرجعية [1].

## 6.2. الشبكة الرقمية

تم استخدام برنامج SolidWorks Simulation لبناء الشبكة الخاصة بـ FEA، حيث أن العنصر المستخدم بالشبكة هو عنصر هرمي الشكل وطول ضلعه هو (E25) والذي يبلغ 25mm. يوضح الشكل 5 الشبكة الرقمية التي تم الحصول عليها بتطبيقها على قائم القرينة للسفينة المدروسة. حيث بلغ عدد العقد 188792 عقدة، وعدد العناصر 93736 عنصراً.



الشكل 5: خصائص الشبكة المستخدمة في الدراسة.

إنّ عملية اختيار عناصر موحدة الحجم في جميع الاتجاهات لم تتم بطريق عشوائية، بل تم تبنيها بناءً على المبررات الآتية:

- تحقيق توازن بين دقة النتائج وكفاءة الحسابات العددية.
- ضمان استقرار النموذج العددي.
- تقليل حجم الحسابات وتجنب تعقيد غير ضروري قد يُحدث بطئاً أو أخطاء في الحلول.

### 6.3. الشروط الحدية

تعتبر عملية تحديد الشروط الحدية أمر مهم جداً في عملية النمذجة، فبالاعتماد على البيانات الرئيسية للسفينة المرجعية المدروسة والموضحة في الجدول 1 تم تحديد الشروط الحدية.

الجدول 1: البارامترات الرئيسية للسفينة المرجعية [1].

Length (B.P) [m]	Length (0.97 $L_{LWL}$ ) [m]	Breadth (MLD) [m]	Depth (MLD) [m]	Draft (Design ,MLD) [m]	Draft (Scantling, MLD) [m]
285	281.3	50	26.7	19.808	19.83

1- تم اعتبار أن الدراسة تمت على السفينة وهي فارغة من الحمولة. حيث أن الحالة التي تكون فيها السفينة غير محملة هي حالة تشغيلية شائعة، وتستخدم كمرجع مرن للقياس. وهي تماثل ما يسمى بـ Design Scantling Condition المعتمدة في معايير IACS & ISSC .

2- تم حساب الضغط الهيدروستاتيكي عند عمق يعادل الغاطس التصميمي ( $h=19.808$  m)، وهو العمق التقريبي لموقع القاع المزوج، بهدف تطبيق هذا الضغط كقيمة مرجعية على سطح العنصر المدروس، ولا يُقصد بها تمثيل التوزيع الكامل للضغط على ارتفاع بدن السفينة وهو يمثل الحالة الفارغة للسفينة (Ballast Condition) ، وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$P = \rho gh = 1025 \times 9.81 \times 19.83 \approx 0.2 \text{ [MPa]} \quad (1)$$

حيث أن:

$\rho$ : كثافة المياه. 1025.

$g$ : تسارع الجاذبية الأرضية.

$h$ : غاطس السفينة.

3- تم تحديد خصائص المواد المستخدمة في تركيبه القطاع المدروس كما هو موضح في الجدول 2.

الجدول 2: خصائص المواد المستخدمة في تركيبه القطاع المدروس [11].

Properties	Value	Unit
Material Name	AH32	-
Yield strength	3.136e+08	N/m <sup>2</sup>
Tensile strength:	4.4e+08	N/m <sup>2</sup>
Elastic modulus	2.1e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio	0.3	-
Mass density	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Shear modulus	7.9e+10	N/m <sup>2</sup>

4- تم استخدام التثبيت الأحادي الذي يعكس الواقع الإثنائي لقائم القرينة الذي يرتبط بلوحات السطح أو القاع في أحد طرفيه فقط، حيث تُستخدم هذه الفرضية في العديد من الأبحاث مثل:

➤ استخدم تثبيت أحادي الجانب في دراسة الانبعاج [4].

➤ نموذج ثلاثي الأبعاد تحت حمل شاقولي فقط (بغيب الأمواج الجانبية) [8].

#### 6.4. معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية

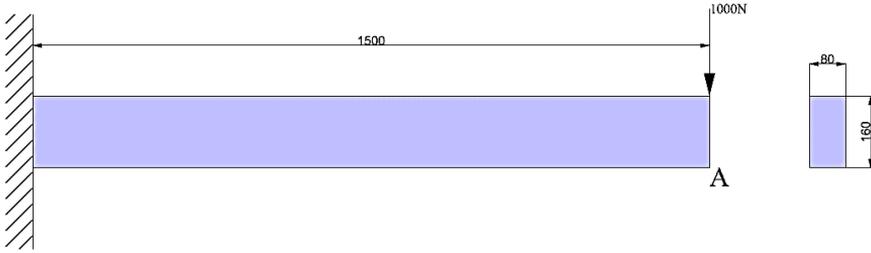
قبل البدء بإجراء الاختبارات على برنامج SolidWorks لا بد من معايرة الشبكة والإعدادات الرقمية التي تم اعتمادها في هذه الدراسة للتأكد من أن النتائج التي سيتم الحصول عليها ستكون صحيحة ومطابقة للواقع. هنا لا بد من التنويه إلى أن برنامج الـ SolidWorks معتمد عالمياً في الكثير من المجالات الأكاديمية والصناعية والنتائج التي يتم الحصول عليها من هذا البرنامج تكون قريبة جداً من الواقع، على سبيل المثال لا الحصر نشير إلى بعض الدراسات الحديثة التي تعتمد على استخدام هذا البرنامج [17]–[12]. بالرغم من ذلك لا بد من التأكد في البداية من دقة الحسابات التي يتم الحصول عليها باستخدام هذا البرنامج، ولهذا السبب تم اعتماد إجراء تحقق عددي أولي (Numerical Verification) من خلال مقارنة نتائج التحليل العددي لطريقة العناصر المحددة مع الحلول التحليلية لمثال مرجعي كلاسيكي، يتمثل في جائز مثبت من أحد طرفيه ومعرض لحمل مركز عند الطرف الحر. يُعد هذا المثال من المسائل القياسية ذات الحل التحليلي، حيث يمكن حساب الإزاحة العظمى بدقة وفق العلاقة (6) وهو ما يجعله مناسباً للتحقق من:

1. كفاءة إعدادات الشبكة العددية (Mesh Quality) .

2. تكامل نموذج العناصر المحددة (FE Model Integration)،

3. صحة تثبيت الشروط الحدية والتحميل.

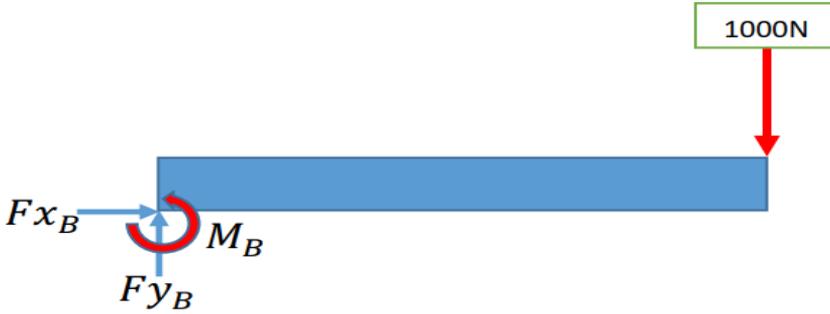
وتجدر الإشارة إلى أن هذا المثال لا يُمثل النموذج الهندسي الخاص بقائم القرينة من حيث الشكل أو شروط التثبيت، وإنما يُستخدم كخطوة معيارية لضمان موثوقية البرنامج وتوافقه مع النتائج التحليلية المعروفة قبل البدء بتطبيقات معقدة ذات شروط حدية هندسية غير مثالية. ولتحقيق هذا الأمر تم إجراء حساب تحليلي لقيمة الإجهاد الأعظمي ومقدار الإزاحة لجائز بسيط يتعرض لقوة مركزة على نهاية الجائز وقيمتها 1000N إذا كان  $Elastic\ Modulus = 210000 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$ . حيث يوضح الشكل 6 الجائز البسيط وتوزع القوة عليه، حيث أن جميع الأبعاد هي [mm].



الشكل 6: جائز بسيط يتعرض لقوة مركزة بنهايته.

### الحل التحليلي:

يبين الشكل 7 توزيع ردود الأفعال والعزم حول المسند البسيط ومقدار القوة المطبقة على الجائز.



الشكل 7: توزيع ردود الأفعال والعزم حول المسند البسيط.

$$\sum Fx = 0, \quad \text{then } Fx_B = 0 \quad (2)$$

$$\sum Fy = 0, \quad \text{then } Fy_B - 1000 = 0 \quad \text{then } Fy_B = 1000N \quad (3)$$

$$M_B = FL = 1000 \times 1.5 = 1500N.mm \quad (4)$$

نحسب أقصى إجهاد انحناء Upper bound axial and bending والمعبر عنه بالمعادلة (5)، حيث أن M هي العزم الأقصى، و Z معامل المقطع العرضي للجائز .

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{Fl}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{1000 \times 1500}{\frac{80 \times 160^2}{6}} = 4.394 N/mm^2 \quad (5)$$

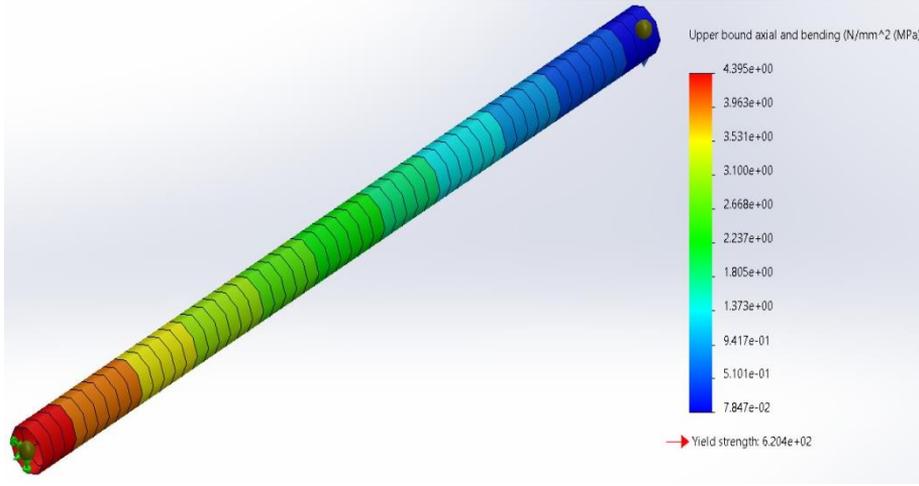
يتم حساب قيمة الإزاحة باستخدام المعادلة.

$$y = \frac{Fl^3}{3EI} = \frac{Fl^3}{3E \frac{bh^3}{12}} = 0.196 mm \quad (6)$$

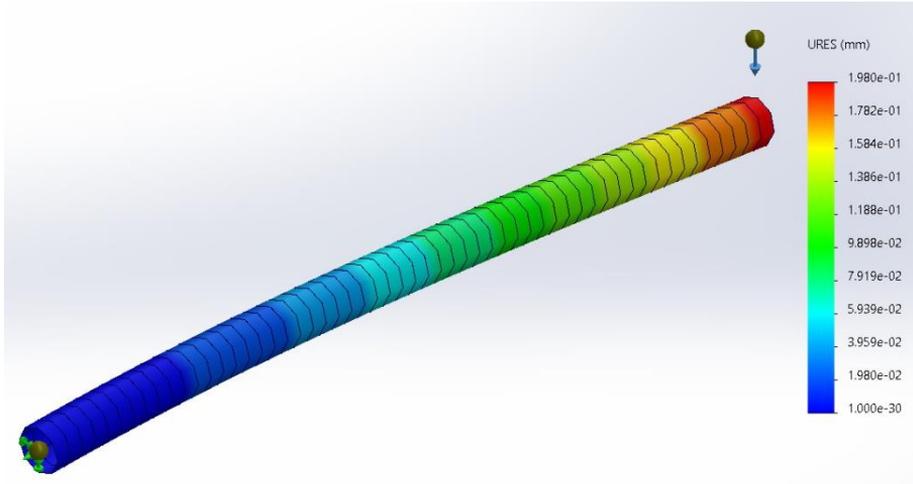
بإجراء الاختبار على نفس الجائز السابق باستخدام طريقة الـ FEM ضمن برنامج الـ SolidWorks، حيث أنّ الشبكة التي تم استخدامها هي شبكة تترا هيدرات رباعية الوجوه (Tetrahedral Mesh) والعنصر المستخدم هو عنصر رباعي هرمي الشكل وأبعاد العنصر هو 25 مم. يظهر الشكل 8 قيمة الإجهاد الأعظمي والبالغة  $4.395N/mm^2$ ، و الشكل 9 قيمة

## دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

الإزاحة والبالغة  $0.198\text{mm}$ . بالمقارنة بين الحل العددي التحليلي والحل الرقمي باستخدام SolidWorks نجد أن مقدار الفرق بقيمة إجهاد الانحناء يبلغ  $1\%$ ، والفرق بقيمة الإزاحة يبلغ  $2\%$ . وهذا يدل على دقة الحل الرقمي باستخدام SolidWorks، وبالتالي فإن الشبكة والإعدادات الرقمية المستخدمة تعطيان نتائج صحيحة ومطابقة للواقع.



الشكل 8 : نتائج اختبار الإجهاد الأعظمي للجائز.



الشكل 9 : نتائج اختبار الإزاحة للجائز.

## 7. النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث إجراء اختبارات النمذجة على قائم القرينة للقطاع المدروس باستخدام SolidWorks Simulation، وشملت هذه الاختبارات أربع حالات دراسية، وهي: الإجهاد، الانفعال، الإزاحة والانبعاج.

في الأشكال (10-12) تم تمثيل نتائج تحليل العناصر المحددة باستخدام ألوان تشير إلى توزيع مجموعة من البارامترات الهندسية، والتي تم توضيحها كما يلي:

a. Von Mises: الإجهاد المكافئ وفق معيار فون ميسيس، يُستخدم لتحديد قرب المادة من الفشل.

b. Yield Strength: مقاومة الخضوع للمادة AH32 وتُستخدم كحد مرجعي لمقارنة الإجهادات.

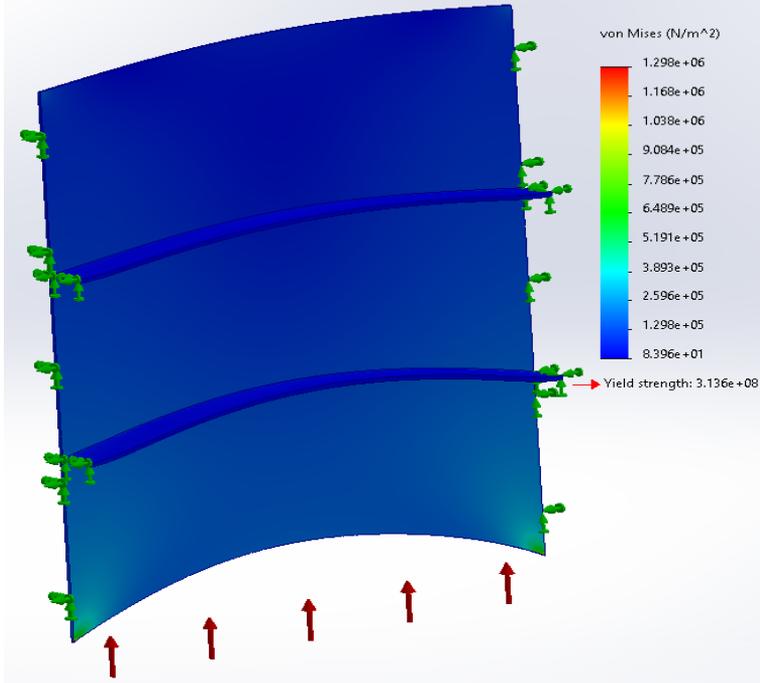
c. URES: الإزاحة الكلية الناتجة عن القوى المؤثرة، وتشمل جميع الاتجاهات الثلاثية.

d. ESTRN: الانفعال المكافئ الناتج عن التشوه المرن أو البلاستيكي.

وتُقاس هذه القيم بالمليمتر (للإزاحة) أو ميغاباسكال (للإجهاد)، أو تُعطى بلا وحدة في حالة الانفعال.

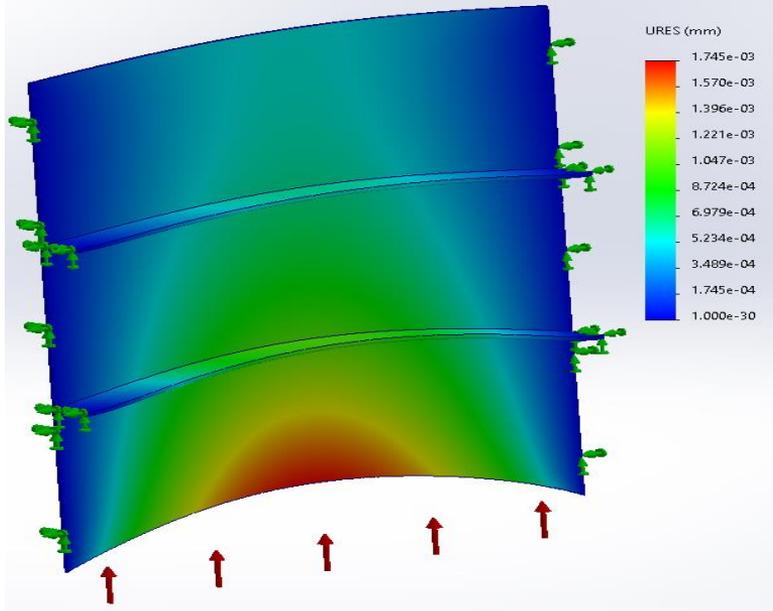
### 7.1. اختبارات النمذجة لقائم القرينة المرجعي

أجريت الاختبارات الأربعة على قائم القرينة للسفينة المرجعية للحصول على نتائج معيارية سيتم استخدامها كقيم مرجعية، بحيث يتم تحديد قيم إجهاد الانحناء والإزاحة والانفعال والانبعاج للنموذج المدروس، والتي ستم مقارنتها مع نتائج اختبار التصميم المعدل بهدف التأكد من دقة التصميم من أجل تحقيق وتحسين المئانة عند أقل عدد ممكن لعناصر التقوية. يظهر الشكل 10 نتائج اختبار Stress Test، حيث تظهر أنّ قيمة الإجهاد المكافئ Von Mises بلغت  $129.6 [MPa]$ ، وهي أقل من قيمة إجهاد الانبعاج للمادة المدروسة Yield Strength AH32 والتي قيمتها  $313 [MPa]$ .



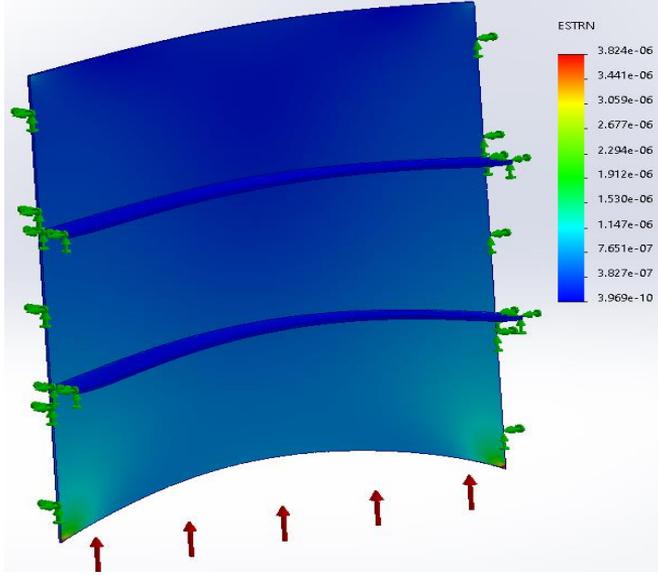
الشكل 10: نتائج اختبار الـ Stress Test.

يحدد اختبار الإزاحة الكلي Displacement (URES) مقدار تشوه العنصر الإنشائي المدروس وذلك في حالتي الشد والضغط بأعلى وأسفل العنصر في حالتي التقوس والتدلي & Sagging Hogging. حيث يوضح الشكل 11 مقدار الإزاحة الذي يتعرض له النموذج المدروس، حيث بلغت قيمة الإزاحة 0.001745 mm.



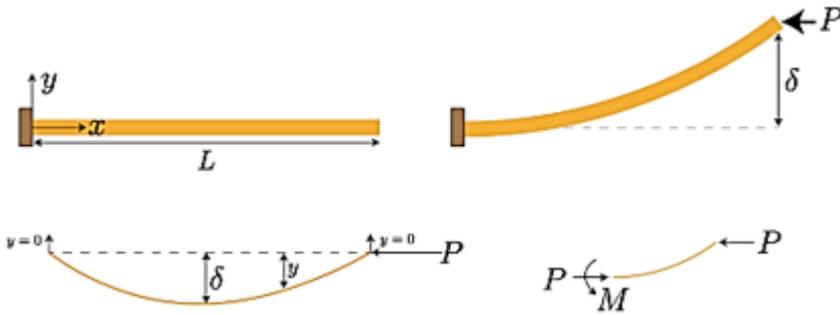
الشكل 11: نتائج اختبار الـ Displacement Test.

يظهر الشكل 12 مقدار الانفعال الذي يتعرض له النموذج المدروس، حيث بلغت القيمة العظمى للانفعال  $3.824e-06$  في حين أن القيمة الدنيا بلغت  $3.969e-10$ .



الشكل 12: مقدار الانفعال الذي يتعرض له النموذج المدروس.

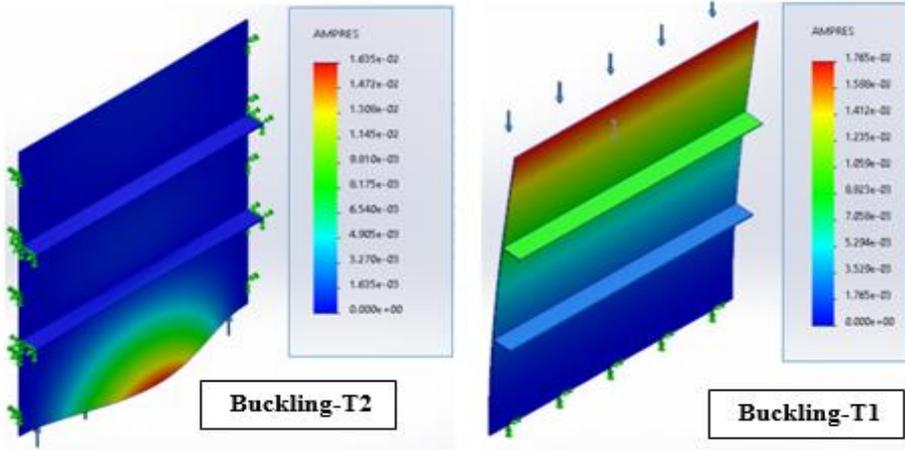
يعتبر اختبار Buckling من أهم اختبارات النمذجة لدراسة متانة الألواح الشاقولية من خلال دراسة متانتها تحت تأثير القوى والضغط الشاقولية. يقوم اختبار Buckling Test ضمن برنامج SolidWorks Simulation بحساب قيمة الانحراف  $\delta$  كما في الشكل 13.



الشكل 13: مخطط توضيح الانحراف الذي يتعرض له قائم القرينة بفعل الانبعاج

يظهر الشكل 14 قيمة الانحراف الذي يتعرض له النموذج المدروس تحت تأثير الضغط الشاقولي. تم إجراء هذا الاختبار وفق شرطين حدين مختلفين لتثبيت قائم القرينة، ففي الاختبار الأول Buckling-T1 تم تثبيت قائم القرينة من جهة واحدة (تثبيت من الأسفل عن طريق ألواح القاع

الخارجي ويتطبيق ضغوط شاقوليه من الأعلى\_ تثبيت من الأعلى عن طريق ألواح القاع الداخلي تحت تأثير ضغوط شاقوليه من الأسفل) حيث بلغت قيمة الانحراف وفق هذا الاختبار  $\delta = 0.01765$ . كما تم تثبيت قائم القرينة وفق الاختبار الثاني Buckling-T2 من الجانبين بواسطة Transverse Floors وبلغت قيمة الانحراف وفق هذا الاختبار  $\delta = 0.01635$ .



الشكل 14: نتائج اختبار الـ Buckling Test.

تم إجراء باقي الاختبارات على التصميم المرجعي للسفينة المدروسة ووضع النتائج ضمن الجدول 6.

### 7.2. اختبارات النمذجة على التصاميم المعدلة لقائم القرينة

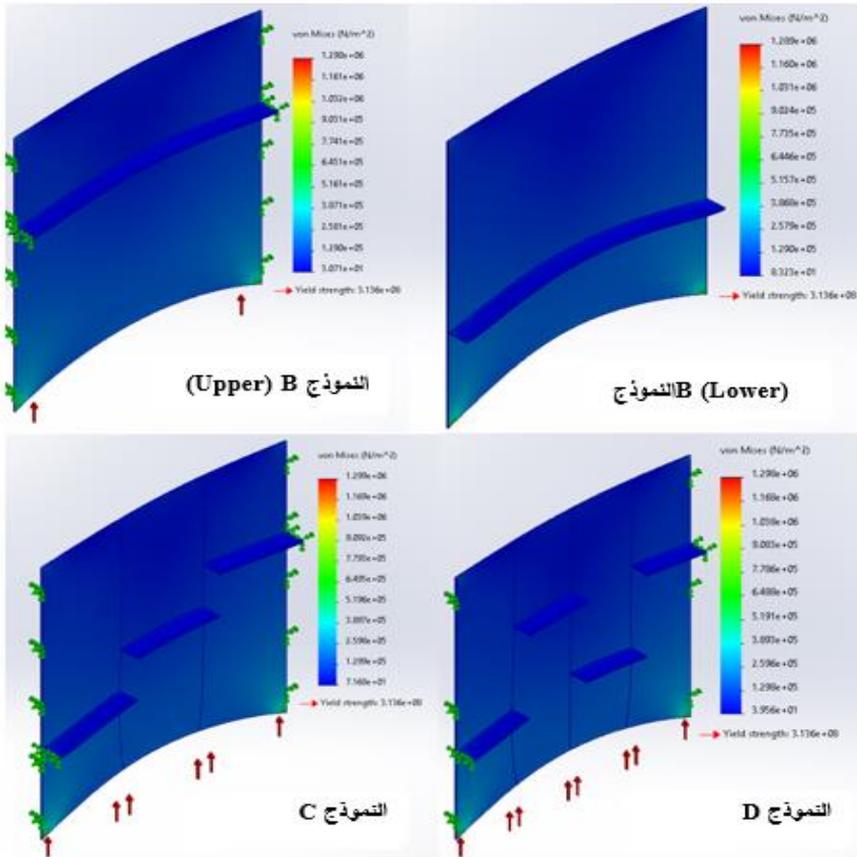
تم تثبيت قيمة الموقع الشاقولي لعنصر التقوية  $\xi = 930mm$  في جميع التصاميم المعدلة، وتم تغيير المعامل الآخر  $\psi$  كما هو موضح في الجدول 3.

الجدول 3: قيم المعامل  $\psi$  للتصاميم المعدلة.

التصميم	$\psi$ [mm]
الشكل B-1 (Upper, Lower)	2610
الشكل C-1	870
الشكل D-1	652.5

### 1.1.1.1 نتائج اختبار إجهاد الانحناء

خضعت التصميمات الثلاثة المعدلة إلى اختبار إجهاد الانحناء وذلك بهدف مقارنة قيمة الإجهاد لكل تصميم مع القيمة المرجعية للإجهاد الموضحة في الشكل 10. أجريت الاختبارات الأربعة على قائم القرينة للسفينة المرجعية للحصول على نتائج معيارية سيتم استخدامها كقيم مرجعية، بحيث يتم تحديد قيم إجهاد الانحناء والازاحة والانفعال والانبعاج للنموذج المدروس، والتي سنتم مقارنتها مع نتائج اختبار التصميم المعدل بهدف التأكد من دقة التصميم من أجل تحقيق وتحسين المتانة عند أقل عدد ممكن لعناصر التقوية. يظهر الشكل 15 نتائج اختبار الإجهاد للتصاميم المعدلة.



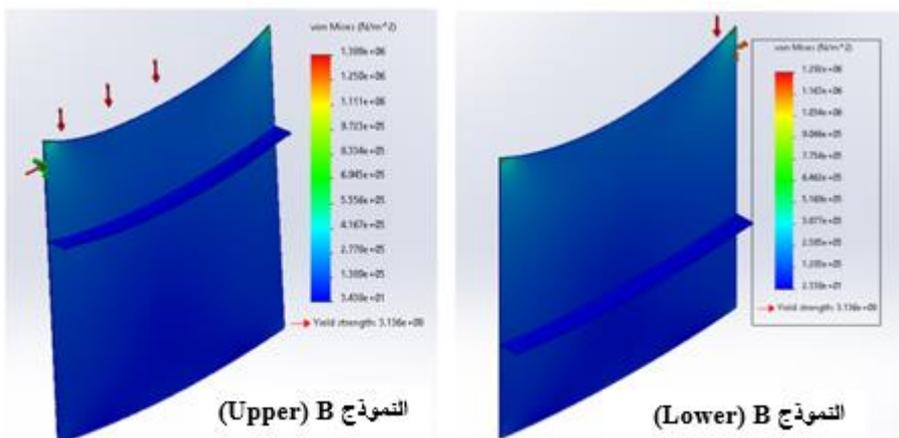
الشكل 15: نتائج اختبار الإجهاد للتصاميم المعدلة.

الجدول 4: نتائج اختبار الاجهاد للتصاميم ومقارنتها مع القيمة المرجعية.

التصميم	Stress Value [MPa]
النموذج A (القيمة المرجعية)	129.8
النموذج B (Upper)	129
النموذج B (Lower)	128.9
النموذج C	129.9
النموذج D	129.8

من الجدول 4 نلاحظ أن قيمة الإجهاد الذي تتعرض له للتصاميم المعدلة قريبة جدا من قيمة الإجهاد المرجعية، حيث تظهر النتائج أن النموذج B (Lower) في الشكل 15 هو الذي يتعرض لقيم إجهاد [MPa] 128.9 أقل مقارنة مع باقي النماذج وبالتالي هو الأفضل من ناحية مقاومته للضغوط الشاقولية التي يتعرض لها في الأسفل.

تم حساب قيمة الإجهاد الذي يتعرض له النموذج B نتيجة للضغوط الشاقولية المطبقة من الأعلى كما يظهر في الشكل 16، حيث بلغت قيمة إجهاد الانحناء للنموذج B (Lower) 129.2 [MPa]، وبلغت القيمة للنموذج B (Upper) 138.9 [MPa].



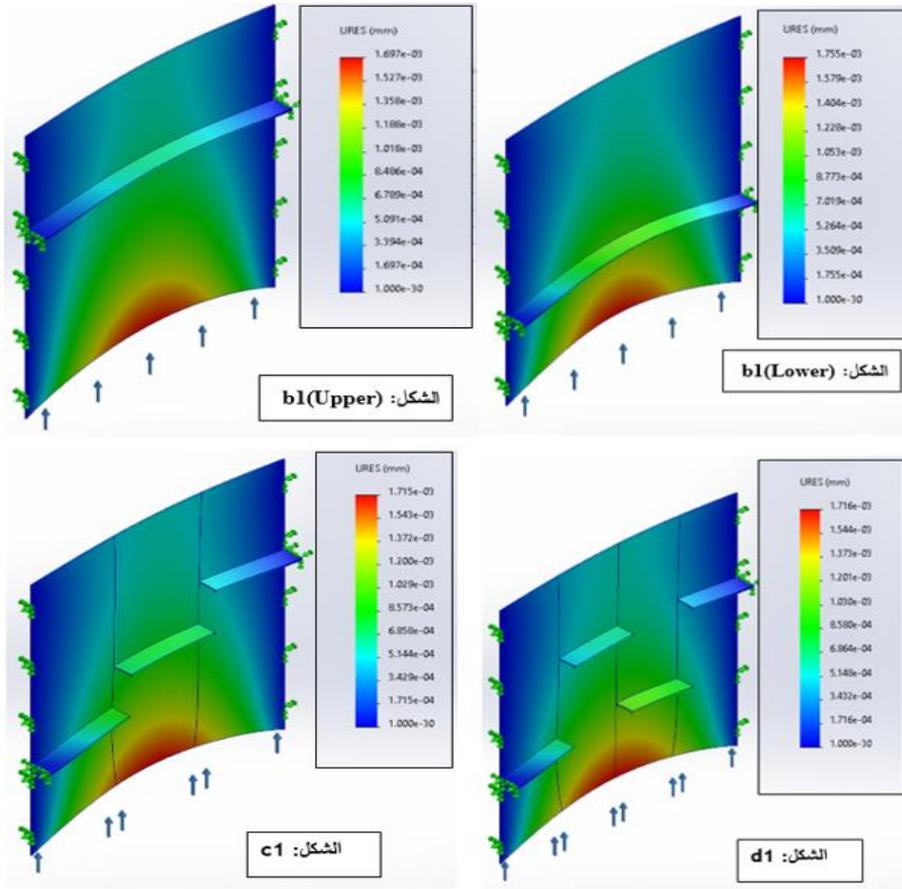
الشكل 16: قيمة إجهاد الانحناء للنموذج B نتيجة للضغوط الشاقولية المطبقة من الأعلى.

## دراسة تصميمية لتحسين مائة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

نتيجة تناظر تموضع عنصر التقوية الطولي على قائم القرينة في النموذج C والنموذج D، فإن قيمة إجهاد الانحناء الذي يتعرض له قائم القرينة بفعل الضغوط الشاقولية من الأعلى والأسفل ستكون نفسها والمعبر عنها ضمن الجدول 4.

### 1.1.1.2 نتائج اختبار (URES) Displacement

خضعت التصميمات الثلاثة المعدلة إلى اختبار الإزاحة وذلك بهدف مقارنة قيمة الإزاحة لكل تصميم مع القيمة المرجعية للإزاحة الموضحة في الشكل 11 وبالبالغة قيمتها 0.001745 mm. يظهر الشكل 17 نتائج اختبار الإزاحة للتصاميم المعدلة.



الشكل 17: نتائج اختبار الإزاحة للتصاميم المعدلة.

الجدول 5: نتائج اختبار الإزاحة للتصاميم ومقارنتها مع القيمة المرجعية.

التصميم	Displacement (URES) Values [mm]
النموذج A (القيمة المرجعية)	0.001745
النموذج B (Upper)	0.001697
النموذج B (Lower)	0.001775
النموذج C	0.001715
النموذج D	0.001716

من الجدول 5 نلاحظ أن قيمة الإزاحة التي تتعرض له للتصاميم المعدلة قريبة من قيمة الإزاحة المرجعية، حيث تظهر النتائج أن النموذج B (Upper) في الشكل 17 هو الذي يتعرض لقيمة إزاحة أقل مقارنة مع باقي النماذج، وبالتالي هو الأفضل من ناحية مقاومته للضغوط الشاقولية التي يتعرض لها في الأسفل.

يوضح الجدول 6 قيم نتائج الاختبارات التي أجريت على قائم القرينة للسفينة المرجعية المدروسة وعلى النماذج المعدلة، حيث شملت هذه الاختبارات:

- I. Stress - Lower Pressure [MPa]: إجهاد الانحناء بفعل الضغوط الشاقولية من الأسفل.
- II. Stress - Upper Pressure [MPa]: إجهاد الانحناء بفعل الضغوط الشاقولية من الأعلى.
- III. Displacement (URES) [mm]: اختبار الإزاحة الكلي المكافئ.
- IV. Strain: الانفعال.
- V. Buckling T1 - Upper Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأعلى حيث تم تثبيت قائم القرينة من الأسفل بألواح القاع الخارجي Outer Shell Plating.
- VI. Buckling T1 - Lower Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأسفل حيث تم تثبيت قائم القرينة من الأعلى بألواح القاع الداخلي Inner Shell Plating.
- VII. Buckling T2 - Upper Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأعلى حيث تم تثبيت قائم القرينة من الجانبين باستخدام Solid Floor.

دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

- VIII. Buckling T2 - Lower Pressure: اختبار الانبعاج تحت تأثير الضغوط الشاقولية من الأسفل حيث تم تثبيت قائم القرينة من الجانبين باستخدام Solid Floor.
- IX. SX: X Normal Stress [MPa]: إجهاد الانحناء الناتج عن تطبيق ضغوط محورية وفق الاتجاه الطولي للسفينة X.
- X. SY: Y Normal Stress [MPa]: إجهاد الانحناء الناتج عن تطبيق ضغوط محورية وفق الاتجاه العرضي للسفينة Y.
- XI. SZ: Z Normal Stress [MPa]: إجهاد الانحناء الناتج عن تطبيق ضغوط محورية وفق الاتجاه الشاقولي للسفينة Z.
- XII. TXY: Shear Stress [MPa]: إجهاد القص الناتج عن تطبيق ضغوط محورية على السطح XY.
- XIII. TXZ: Shear Stress [MPa]: إجهاد القص الناتج عن تطبيق ضغوط محورية على السطح XZ.
- XIV. TYZ: Shear Stress [MPa]: إجهاد القص الناتج عن تطبيق ضغوط محورية على السطح YZ.
- XV. UX: X Displacement [mm]: الإزاحة تحت تأثير ضغوط محورية وفق X.
- XVI. UY: Y Displacement [mm]: الإزاحة تحت تأثير ضغوط محورية وفق Y.
- XVII. UZ: Z Displacement [mm]: الإزاحة تحت تأثير ضغوط محورية وفق Z.

الجدول 6: نتائج الاختبارات الأخرى التي أجريت على التصاميم المعدلة.

الاختبار	النموذج A	النموذج B(Upper)	النموذج B(Lower)	النموذج C	النموذج D
.I	129.8	129	128.9	129.8	129.9
.II	129.8	138.9	129.2	129.8	129.9
.III	0.00174	0.00169	0.00175	0.00171	0.001716
.IV	3.824e-06	4.414e-06	4.415e-06	4.395e-06	3.822e-06
.V	17.65	17.63	17.7	17.72	17.72
.VI	17.65	17.7	17.63	17.72	17.72
.VII	16.35	16.47	16.38	16.43	16.41
.VIII	16.35	16.38	16.47	16.43	16.41
.IX	66.21	65.97	65.98	65.86	66.23

.X	66.21	65.97	65.98	65.86	66.23
.XI	154.5	153.9	154	153.7	154.5
.XII	4.43	5.809	5.811	5.883	3.858
.XIII	7.519	7.528	7.576	7.911	7.685
.XIV	54.21	54.38	54.34	54.68	54.41
.XV	6.485e-06	9.824 e-06	9.827 e-06	9.715 e-06	1.184 e-05
.XVI	1.694e-03	1.697 e-03	1.695 e-03	1.696 e-03	1.696 e-03
.XVII	3.601e-04	3.578 e-04	3.607 e-04	3.589 e-04	3.59 e-04

### 7.3. مناقشة النتائج

- تظهر نتائج الاختبارات السابقة أن النموذج المعدل B يمتلك خصائص تصميمية وإنشائية أفضل مقارنة مع باقي النماذج A,C,D، وهذا مرده إلى الخصائص التالية:
  - يمتلك قيم أقل لإجهاد الانحناء الذي يتعرض له النموذج B وفق الاختبارين I، II.
  - يمتلك قيمة إزاحة أقل وفق الاختبارات III، XV، XVI، XVII.
  - يمتلك قيمة أقل للانفعال وفق الاختبار IV.
  - يمتلك قيم منخفضة للانحراف  $\delta$  وفق اختبارات الانبعاج V، VI، VII، VIII.
- بمقارنة نتائج الاختبارات B(Upper)، B(Lower) نجد أن النموذج B(Lower) هو الأفضل من ناحية المتانة التي يحققها تحت تأثير الضغوط الشاقولية والمحورية.
3. تعطى العلاقة العامة للإجهاد المكافئ Von Mises Stress

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} \quad (7)$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(66.23 - 66.23)^2 + (154.5 - 66.23)^2 + (66.23 - 154.5)^2] + 3(4.43^2 + 7.519^2 + 54.21^2)}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{7784 + 9024} \approx 129.6 \text{ [MPa]}$$

### دراسة تصميمية لتحسين متانة قوائم القرينة لسفينة بضائع سائبة باستخدام برنامج SolidWorks

هذه القيمة الحسابية تطابق القيمة الرقمية المحسوبة في الشكل 18 وهي أقل من حد الخضوع للمادة  $Yield\ Strength\ AH32 = 313 [MPa]$ ، وهو ما يدل على أن التصميم يتحمل الإجهاد المطبق عليه دون الدخول في مرحلة الخضوع.

4. يتم التحقق من حدود الأمان بناء على قيمة الإجهاد المحسوبة من خلال معامل الأمان SF والمعطى بالعلاقة:

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VM}} = \frac{313}{129.6} = 2.43 \quad (8)$$

حيث تنص القواعد الموحدة IACS CSR-B (Common Structural Rules[18] على أن الحد الأدنى لمعامل الأمان (على إجهاد الخضوع) في حالات التشغيل الدائم هو:  $SF \approx 1.5$  - 2 حسب نوع العنصر ووظيفته. في حين أن قيمة معامل الأمان وفق [19] DNV-RP-C201 يجب أن تكون:  $SF \geq 1.67$  لحالات التشغيل العادية،  $SF \geq 2.0$  للحالات الحرجة أو غير المتكررة ومنه فإن قيمة معامل الأمان تتوافق مع توصيات DNV تمامًا.

5. يتم حساب الإزاحة الطولية المحورية الموزعة على كامل الطول نتيجة إجهاد طولي منتظم بالعلاقة التالية:

$$\delta = \frac{\sigma L}{E}, \quad \delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (9)$$

ومنه فإن قيمة الإزاحة للنموذج B\_Lower  $\delta = \sigma L/E = 1.289 \times 10^6 \times 2.610 / (2.1 \times 10^{11}) \approx 0.016 [mm]$

تنص القواعد العامة IACS CSR-B Rules على أن الإزاحة المسموح بها للعناصر الهيكلية يجب ألا تتجاوز  $\delta_{max} = L/200 = \frac{2610}{200} = 13.05 [mm]$  كما توصي DNV-RP-C201 بأن الإزاحة القصوى  $\delta_{max} = L/(250 \sim 300) = 2610/250 = 10.44 [mm]$  وبالتالي فإن قيمة الإزاحة للنموذج B (Lower) الناتجة عن الضغط الشاقولي الموزع على قائم القرينة تحت ظروف تشغيلية تماثل الحالة الفارغة (Ballast) تقع بالكامل ضمن المجال المرن للمادة AH32، ولا تشير إلى أي فشل أو تشوه دائم، بل تعكس استجابة مرنة طبيعية.

مما يثبت أن النموذج الإنشائي المقترح يحقق كفاءة ممتازة من ناحية مقاومة التشوه تحت الضغط التصميمي، ويظهر توافقًا تامًا مع حدود الأمان الدولية.

6. تعطى معادلة أولير لحساب الانبعاج بالعلاقة التالية:

$$\delta = \frac{P_{cr}}{k}, P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}, k = 48EI/L^3 \quad (10)$$

حيث:

K: معامل الطول الفعال (يعتمد على نوع تثبيت الأطراف).

K=1 لتثبيت بسيط، K=0.5 لتثبيت من الجانبين.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^{11} \times 4.07 \times 10^{-5}}{(2.61 \times 1)^2} = 1.242 \times 10^7 N$$

$$k = \frac{48EI}{(L)^3} = \frac{48 \times 2.1 \times 10^{11} \times 4.07 \times 10^{-5}}{(2.61)^3} = 9.3 \times 10^8 N/m$$

$$\delta = \frac{1.242 \times 10^7}{9.3 \times 10^8} \approx 13.3 [mm]$$

بمقارنة قيمة الانبعاج التحليلية مع القيمة العددية FEA في الجدول 6 والتي تبلغ [mm] 17.7 نجد أن الفرق هو [mm] 4.4، أي أن قيمة الانبعاج العددي أكبر من التحليلي بـ 1.3 وهو أمر متوقع تمامًا. يعزى هذا الفرق إلى أن النماذج العددية تأخذ في الحسبان التأثيرات الهندسية الثلاثية، توزيع السماكات، الشروط الحدية الواقعية، في حين أن التحليل النظري يفترض حالات مثالية مبسطة. ورغم ذلك، تبقى القيم متقاربة وفي نفس الرتبة، مما يعزز مصداقية النمذجة العددية ودقة الشبكة المستخدمة.

## 8. الاستنتاجات والتوصيات

### 8.1. الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة يمكن الوصول إلى الاستنتاجات التالية:

- ✓ أظهرت نتائج الاختبارات السابقة للنماذج التصميمية المقترحة ومقارنتها مع التصميم المرجعي بأن استخدام عنصر تقوية واحد وفق النموذج التصميمي B1 يحقق خصائص إنشائية أفضل مقارنة مع النماذج الأخرى المقترحة.
- ✓ يتميز النموذج B1 بمميزات إنشائية مقارنة مع التصميم المرجعي A1 وخاصة فيما يتعلق باختبارات الإجهاد والانفعال والإزاحة والانبعاج.
- ✓ إن استخدام النموذج B1 يحقق توفيراً في الوزن مقارنة مع التصميم المرجعي A1، وهذا من شأنه يقلل من تكاليف إنتاج السفينة [20], [10].
- ✓ تم حساب معامل الأمان لجميع النماذج التصميمية، وقد بينت النتائج أن جميع القيم تقع ضمن النطاق المسموح به وفقاً لمعايير IACS CSR-B و DNV-RP-C201. النموذج الأفضل (B-Lower) حقق معامل أمان قدره 2.43، وهو أعلى من القيم الدنيا المطلوبة (1.67-2.0)، مما يدل على كفاءة التصميم المقترح.
- ✓ القيم الناتجة ضمن المجال الأمان المحدد بواسطة معايير [IACS, 2022] و [DNV]، حيث أن إجهاد فون ميسيس لم يتجاوز 41% من قيمة الخضوع لمادة AH32، مما يضمن الأمان التصميمي المطلوب.

### 8.2. التوصيات

استناداً إلى النتائج العددية والتحليلية التي تم التوصل إليها في هذا البحث، يُوصى باعتماد النموذج (Lower) B كتصميم مقترح لقوائم القرينة في السفن من نوع Bulk Carrier، وذلك نظراً لما أثبتته من أداء إنشائي متميز من حيث:

- انخفاض قيم الإجهاد المكافئ (Von Mises) مقارنة بالنموذج المرجعي،

تحسين سلوك الانبعاج بشكل ملحوظ ضمن الحدود المسموح بها حسب معايير التصنيف (IACS CSR-B)، (DNV-RP-C201)،

- تقليل الإزاحة الكلية مع الحفاظ على صلابة كافية لتحمل الأحمال المركبة.
- كما يتميز النموذج المقترح بكفاءة في توزيع عناصر التقوية الطولية بما يساهم في تحقيق توازن بين تقليل الوزن الكلي ورفع مستوى المتانة والاستقرار المحلي.

وعليه، توصي الدراسة بدمج هذا التصميم ضمن مراحل التطوير الهندسي الأولي لتصاميم الهياكل الجانبية في السفن، كما يُقترح إجراء دراسة إضافية على تأثير هذا التصميم ضمن نموذج كامل الهيكل (Global Model) في المستقبل للتأكد من توافقه مع متطلبات الأداء الشامل للسفينة.

### 8.3. التوصيات للأعمال المستقبلية

تم في هذا البحث تثبيت قيمة الموقع الشاقولي لعنصر التقوية  $\xi$  وتغيير قيمة طول عنصر التقوية المستخدم  $\psi$  وبالتالي عدد هذه العناصر، لذلك نوصي من خلال نتائج هذه الدراسة بالأمر التالي:

✓ إعادة نفس الاختبارات على النماذج المقترحة بتثبيت قيمة المعامل  $\psi$  وتغيير قيمة المعامل  $\xi$ .

✓ تغيير شكل عنصر التقوية Bulb Bar واستخدام عناصر تقوية ذات مقاطع عرضية أخرى [21]T,L، وباستخدام نفس المنهجية المتبعة في هذه الدراسة من خلال تغيير قيم المعاملات  $\xi$  و  $\psi$ .

✓ تم الاقتصار على الحالة الستاتيكية الشاقولية للسفينة ولم تُدرج الأحمال الجانبية أو الديناميكية لسببين: السبب الأول: لتثبيت الفروقات التصميمية في نموذج واحد فقط دون تعقيد متعدد المتغيرات. وأما السبب الثاني: لأن الأمواج الجانبية تتطلب إدخال الزمن في الحسابات (Transient/Dynamic) وهذا خارج نطاق البحث الحالي. ومنه يمكن التوصية ببحث مستقبلي يعتمد نمذجة الأمواج الجانبية باستخدام Spectrum Wave Loads أو تطبيق الأحمال الديناميكية بواسطة معامل التضخيم الديناميكي  $\sigma_{dyn}$

حيث أن:  $\sigma_{dyn}$  الإجهاد الديناميكي الفعلي الناتج عن حمل متغير بمرور الزمن.  $\sigma_{stat}$  الإجهاد الناتج عن نفس الحمل في حالته الساكنة (الاستاتيكية).  $\gamma$  معامل تضخيم ديناميكي (Dynamic Amplification Factor).

## References:

- [1] H. K. K. Amlashi and T. Moan, "Ultimate strength analysis of a bulk carrier hull girder under alternate hold loading condition - A case study. Part 1: Nonlinear finite element modelling and ultimate hull girder capacity," *Mar. Struct.*, vol. 21, no. 4, pp. 327–352, 2008, doi: 10.1016/j.marstruc.2007.12.006.
- [2] J. K. Paik, D. K. Kim, D. H. Park, H. B. Kim, A. E. Mansour, and J. B. Caldwell, "Modified Paik-Mansour formula for ultimate strength calculations of ship hulls," *Ships Offshore Struct.*, vol. 8, no. 3–4, pp. 245–260, 2013, doi: 10.1080/17445302.2012.676247.
- [3] V. Piscopo and A. Scamardella, "Incidence of Pitting Corrosion Wastage on the Hull Girder Ultimate Strength," *J. Mar. Sci. Appl.*, vol. 20, no. 3, pp. 477–490, Sep. 2021, doi: 10.1007/s11804-021-00218-x.
- [4] N. Zhao, B. Q. Chen, Y. Q. Zhou, Z. J. Li, J. J. Hu, and C. Guedes Soares, "Experimental and numerical investigation on the ultimate strength of a ship hull girder model with deck openings," *Mar. Struct.*, vol. 83, p. 103175, May 2022, doi: 10.1016/J.MARSTRUC.2022.103175.
- [5] R. Adiputra, T. Yoshikawa, and E. Erwandi, "Reliability-based assessment of ship hull girder ultimate strength," *Curved Layer. Struct.*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1515/cls-2022-0189.
- [6] I. Faqih, R. Adiputra, A. R. Prabowo, N. Muhayat, S. Ehlers, and M. Braun, "Hull girder ultimate strength of bulk carrier (HGUS-BC) evaluation: Structural performances subjected to true inclination conditions of stiffened panel members," *Results Eng.*, vol. 18, no.

- [7] F. Ahmadi and A. R. Ranji, "Reliability assessment of ship hull girders considering pitting corrosion and crack," *Eng. Res. Express*, vol. 6, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.1088/2631-8695/ad2641.
- [8] J. Abedin, F. Franklin, and S. M. I. Mahmud, "Linear Longitudinal Strength Analysis of a Multipurpose Cargo Ship under Combined Bending and Torsional Load," *J. Mar. Sci. Eng. 2024, Vol. 12, Page 59*, vol. 12, no. 1, p. 59, Dec. 2023, doi: 10.3390/JMSE12010059.
- [9] A. Pintilie *et al.*, "Optimization of bulk carrier hull design through CAD modelling and FEM structural analysis – a case study," *Results Eng.*, vol. 26, p. 104846, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.104846.
- [10] A. I. Yousef, "Evaluation of the Ship's Panels Weight Reinforced with Structural Elements Based on their Shape and the Distance between them," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 45, no. 1, pp. 77–91, 2023.
- [11] Z. Shu and T. Moan, "Ultimate hull girder strength of a bulk carrier under combined global and local loads in the hogging and alternate hold loading condition using nonlinear finite element analysis," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 1, pp. 94–113, Mar. 2012, doi: 10.1007/s00773-011-0147-9.
- [12] H. P. Singh, A. Rawat, A. R. Manral, and P. Kumar, "Computational analysis of a gas turbine blade with different materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 63–69, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.06.486.
- [13] M. Yadav, A. Misra, A. Malhotra, and N. Kumar, "Design and analysis of a high-pressure turbine blade in a jet engine using advanced materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 25, pp. 639–645, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.MATPR.2019.07.530.
- [14] S. Mishra and A. V. Ullas, "Concept Modelling of Small Scale Device for Continuous Production of Graphene using Solidworks,"

- Mater. Today Proc.*, vol. 79, pp. 345–348, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.12.034.
- [15] A. Arora, A. Pathak, A. Juneja, P. Shakkarwal, and R. Kumar, “Design & analysis of progressive die using SOLIDWORKS,” *Mater. Today Proc.*, vol. 51, pp. 956–960, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.06.335.
- [16] R. Abdallah *et al.*, “The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine,” *Energy Nexus*, vol. 7, p. 100135, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.NEXUS.2022.100135.
- [17] K. Vardaan and P. Kumar, “Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation,” *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3651–3655, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.12.348.
- [18] M. W. Nieuwenhuijs, J. F. Segretain, and P. Baumans, “IACS common structural rules for bulk carriers,” *RINA, R. Inst. Nav. Archit. Int. Conf. - Des. Oper. Bulk Carriers*, vol. 2005, no. January 2006, pp. 11–21, 2005.
- [19] Det Norske Veritas, “Buckling strength of plated structures, DNV-RP-C201,” *Recomm. Pract. DNV-RPC201, Høvik, Norw.*, no. OCTOBER, 2002.
- [20] G. Ahmad, H. Issa, S. AL Ali, and A. Issam Yousef, “Studying the Strength of Stiffened Panels in Double Bottom of Bulk Carrier under the Influence of Vertical Pressure and Horizontal Axial Forces using FEA,” *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. Sci. Ser.*, vol. 46, no. 4, p. 2024.
- [21] A. E. Yousef, “Effect of Stiffeners Type I on the Strength of Stiffened Panels of Ships,” *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 41, no. 5, pp. 579–601, 2019.

## إخفاء البيانات في الصور الرقمية

م. عهد خليل صافي

د.لينا مراد

### الملخص

يتناول هذا البحث إخفاء البيانات في الصور الرقمية باعتباره أحد الأساليب المتقدمة في أمن المعلومات، ضمن إطار علم التورية الرقمية (Steganography)، الذي يهدف إلى إخفاء وجود البيانات لا مجرد محتواها. انطلق البحث من الحاجة الملحة إلى وسائل حماية أكثر تعقيداً تواكب تطور التهديدات السيبرانية، وقدم خوارزمية هجينة متقدمة تدمج بين ضغط البيانات، وخوارزمية هامينغ لتصحيح الأخطاء، والتشفير المتماثل، بالإضافة إلى تقنيتي التحويل المويجي المتقطع (DWT) والبت الأقل أهمية (LSB) تم تنفيذ الخوارزمية عملياً وتحليل أدائها باستخدام مؤشرات معيارية مثل PSNR و MSE، حيث أثبتت التجارب كفاءتها العالية من حيث مقاومة التحليل الإحصائي، وزيادة سعة الإخفاء، والمحافظة على جودة الصورة البصرية.

**الكلمات المفتاحية:** التورية الرقمية، إخفاء البيانات، الصور الرقمية، خوارزمية الهجينة، التحويل المويجي (DWT)، البت الأقل أهمية (LSB).

## Hiding Data in Digital Image

### Abstract

This research investigates the domain of data hiding within digital images as a critical approach to contemporary information security, specifically through the lens of digital steganography. Unlike cryptographic techniques that obscure content, steganography conceals the existence of the data itself. The proposed research introduces a hybrid algorithm that integrates data compression, hamming error correction, symmetric encryption, and dual embedding using both Discrete Wavelet Transform (DWT) and Least Significant Bit (LSB) substitution. The algorithm was implemented and evaluated under standard performance metrics such as Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Mean Squared Error (MSE). Experimental outcomes indicate superior performance in terms of visual imperceptibility, resistance to statistical attacks, and high embedding capacity.

**Keywords:** Digital Steganography, Data Hiding, Digital Images, Hybrid Algorithm, Discrete Wavelet Transform (DWT), Least Significant Bit (LSB).

## 1- المقدمة:

مع التطور السريع في تقنيات الاتصال وتبادل المعلومات، أصبحت حماية البيانات الرقمية أحد أبرز التحديات التي تواجه الأفراد والمؤسسات. لم تعد التهديدات الأمنية محصورة في الوصول غير المصرح به، بل تطورت لتشمل اعتراض البيانات وتحليلها والتلاعب بها بوسائل معقدة. في هذا السياق، ظهرت التورية الرقمية (Steganography) كفرع متخصص من علوم أمن المعلومات، يركّز على إخفاء وجود البيانات ذاتها داخل وسائط متعددة، بما يجعل اكتشافها أمراً بالغ الصعوبة حتى باستخدام التحليل المتقدم.

وعلى خلاف التشفير، الذي يُحوّل البيانات إلى صيغة غير مقروءة ولكن قابلة للاشتباه، تهدف التورية إلى جعل البيانات "غير مرئية" كلياً ضمن وسيط مثل صورة أو ملف صوتي، دون أي مؤشر على وجودها. هذا يجعل من التورية خياراً مثالياً في الحالات التي يُشكّل فيها وجود التشفير بحد ذاته خطراً أو دافعاً للهجوم.

تُعد الصور الرقمية من أكثر الوسائط استخداماً في عمليات الإخفاء، لما تتميز به من انتشار واسع، وبنية بيانات غنية تسمح بتضمين معلومات دون التأثير الملحوظ على الجودة. بناءً على ذلك، تختلف تقنيات الإخفاء باختلاف خصائص الصورة، وحجم البيانات، ومتطلبات السرية ومدى تحمل الوسيط للتغييرات [27] [1] .

## 2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تقديم معالجة منهجية لمفاهيم إخفاء البيانات داخل الصور الرقمية، من خلال تحليل ومقارنة بين أشهر الخوارزميات في هذا المجال مثل LSB، DWT، DCT، وخوارزميات أكثر تطوراً تعتمد على الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق. كما يقترح البحث خوارزمية هجينة

جديدة، تدمج بين ضغط البيانات، وتقنيات التصحيح والتشفير، وخطوات متعددة للإخفاء، بهدف تحقيق توازن بين سعة الإخفاء، الشفافية البصرية، ومستوى الأمان ضد محاولات الاكتشاف والتحليل.

### 3- التورية الرقمية (Digital Steganography) :

تُعرف التورية الرقمية بأنها تقنية تُستخدم لإخفاء وجود المعلومات نفسها ضمن وسائط رقمية (مثل الصور، الصوت، الفيديو، النصوص)، بحيث لا يُثير الملف المعدل أي شك لدى الأطراف غير المعنيين.

بعكس التشفير الذي يُظهر وجود بيانات مشفرة ويهدف إلى إخفاء المعنى، فإن التورية تُخفي وجود البيانات بالكامل. هذا يجعلها مفيدة في بيئات تتطلب سرية قصوى دون لفت الانتباه، مثل الاتصالات السرية، وتأمين البيانات الحساسة، وحماية الملكية الفكرية .

#### - التورية في الصور الرقمية:

الصور تُعد أكثر الوسائط استخداماً في التورية الرقمية، لعدة أسباب:

- سهولة تداولها وتنوع تنسيقاتها.
- قدرتها على احتواء كميات كبيرة من البيانات دون أن تُظهر تشوهاً مرئياً.
- وجود قنوات لونية مثل RGB تسمح بتوزيع البيانات بشكل متوازن وغير ملحوظ [7].

### 4- الخوارزميات الكلاسيكية المستخدمة في التورية:

في هذا القسم، نقدم تحليلاً نقدياً للخوارزميات الكلاسيكية المستخدمة في إخفاء البيانات الرقمية (Steganography) ، مع التركيز على مزايا وعيوب كل خوارزمية، الفروق بينها، وعلاقتها بالخوارزمية المقترحة في هذا البحث.

#### 1.4 خوارزمية البت الأقل أهمية (Least Significant Bit – LSB) :

تُعد LSB من أبسط وأكثر الخوارزميات شيوعاً، حيث تعتمد على استبدال البت الأخير في كل بايت من بيانات الصورة ببت من الرسالة السرية. في الصور الملونة، يمكن استخدام القنوات الثلاث (Red, Green, Blue) لزيادة السعة دون تشويه مرئي ملحوظ.

- الميزات: سهولة التنفيذ، سعة عالية لإخفاء البيانات.
- العيوب: قابلة للكشف باستخدام التحليل الإحصائي، ضعيفة ضد الهجمات.
- التحليل النقدي: مناسبة للتطبيقات التي تتطلب سعة كبيرة وسهولة تنفيذ، لكنها غير ملائمة للتطبيقات الحساسة للأمان [9] [11].

#### 2.4 التحويل المويجي المتقطع (Discrete Wavelet Transform – DWT) :

يقوم DWT بتحويل الصورة من المجال المكاني إلى المجال الترددي، مما يسمح بإخفاء البيانات في الترددات العالية التي يصعب ملاحظتها بصرياً.

- الميزات: مقاومة أعلى للهجمات، تأثير بصري منخفض.
- العيوب: يتطلب حسابات أكثر تعقيداً مقارنة بخوارزمية LSB
- التحليل النقدي: أفضل من LSB للتطبيقات التي تتطلب متانة ضد التعديلات أو الضغط البسيط، لكنه أقل كفاءة من حيث سهولة التنفيذ [12].

#### 3.4 التحويل الجيبي (Discrete Cosine Transform – DCT) :

يُستخدم غالباً في صور JPEG، حيث يتم تقسيم الصورة إلى كتل وتطبيق تحويل DCT عليها، ثم تُخفى البيانات في معاملات التردد الأقل أهمية.

- الميزات: مناسب للصور المضغوطة ويحافظ على الجودة البصرية.
- العيوب: سعة أقل مقارنة بـ LSB، ويتطلب معالجة إضافية للصور.
- التحليل النقدي: ملائم للتطبيقات التي تتطلب توافقاً مع ضغط JPEG، لكنه أقل كفاءة من حيث السعة مقارنة بخوارزميات المجال المكاني.

#### 4.4 الإخفاء العكسي (Reversible Data Hiding – RDH) :

تمكن هذه التقنية من استرجاع الصورة الأصلية بعد استخراج البيانات دون أي فقدان، وتستخدم في التطبيقات التي تتطلب حفظ كامل لمحتوى الغلاف الأصلي مثل الصور الطبية أو الوثائق القانونية.

- **الميزات:** فقدان صفر، مناسب للتطبيقات الحساسة.
  - **العيوب:** سعة أقل مقارنة بالخوارزميات الأخرى، تعقيد أعلى في التنفيذ.
- التحليل النقدي:** الخيار الأمثل للتطبيقات التي تتطلب سلامة البيانات المطلقة، لكنه أقل كفاءة في السعة والسرعة [45].

#### 4.4 الإخفاء بالتعلم العميق (Deep Learning-based Steganography)

تعتمد على الشبكات العصبية لإخفاء واستخراج البيانات بدون تدخل يدوي.

- **الميزات:** مرونة عالية، قوة ضد الهجمات المتقدمة.
- **العيوب:** تحتاج موارد حسابية كبيرة وبيانات تدريب واسعة.
- **التحليل النقدي:** مناسبة للتطبيقات الحديثة التي تتطلب أماناً عالياً ومرونة في التعامل مع أنواع متعددة من البيانات، لكنها غير مناسبة للتطبيقات ذات الموارد المحدودة.

[18] [19]

#### المقارنة العامة بين الخوارزميات:

السعة	الأمان	سهولة التنفيذ	أفضل استخدام	الخوارزمية
عالية	منخفض	سهلة	التطبيقات غير الحساسة للأمان	LSB
متوسطة	جيد	متوسط	تطبيقات مقاومة للتعديلات	DWT
منخفضة	متوسط	متوسط	الصور المضغوطة (JPEG)	DCT
منخفضة	عالي	صعب	التطبيقات الحساسة للبيانات	RDH
عالية	عالي	صعب جداً	التطبيقات الحديثة والمرنة	Deep Learning

### الخلاصة:

يعتمد اختيار الخوارزمية على متطلبات التطبيق: السعة، الأمان، سهولة التنفيذ، والموارد المتاحة. الخوارزمية المقترحة في هذا البحث تستفيد من نقاط القوة في هذه الخوارزميات مع تحسين الأمان والسعة لتطبيقات محددة، مما يعزز كفاءتها مقارنة بالطرق التقليدية.

### 4- الدراسات السابقة في مجال إخفاء البيانات الرقمية

شهد مجال إخفاء البيانات الرقمية تطوراً كبيراً خلال العقد الأخيرين، حيث ركز الباحثون على تعزيز كفاءة الإخفاء، زيادة السعة التخزينية، تحسين الأمان، والحفاظ على جودة الصورة، مع الحد من فرص كشف البيانات المخفية. على الرغم من التقدم الملحوظ، تظهر الحاجة إلى تحليل نقدي للفجوات البحثية وإبراز العلاقة بين الخوارزميات التقليدية والحل المقترح في هذا البحث، وهو ما سنتناوله فيما يلي.

### 1. تحسينات خوارزمية البت الأقل أهمية (LSB Enhancements)

- **Ker (2005)** قدم خوارزمية LSB Matching لتجاوز القيود التقليدية، من خلال تعديل قيمة البيكسل بزيادة أو نقصان واحد بدل الاستبدال المباشر.

أدخل مفهوم Embedding Efficiency لموازنة السعة التشويشية واحتمالية الكشف. تحليل نقدي: تنقل هذه الطريقة الأثر الإحصائي، لكنها ضعيفة أمام الهجمات الإحصائية المعقدة الحديثة.

الفجوات البحثية: الحاجة لتطوير مقاومة قوية للتحليل الإحصائي وتوسيع التطبيق للصور الملونة [9] [10] [11].

- **Koppola (2009)** استخدم التعديل التكيفي على الصور الملونة RGB ، مع اختيار مواقع الإخفاء بناءً على الخصائص المحلية للصورة.  
**تحليل نقدي** :حسن السعة والشفافية، لكن التعقيد الحسابي مرتفع.  
**الفجوات البحثية** :تعميم النتائج على أنواع مختلفة من الصور يحتاج مزيداً من الدراسة.
- **Singh & Agarwal (2010)** دمجا LSB مع تحسينات أمنية مثل التشفير المسبق والاختيار العشوائي لمواقع الإخفاء.  
**تحليل نقدي** :توفر توازناً بين السعة والأمان وجودة الصورة، إلا أن الاعتماد على مفتاح سري يزيد من التعقيد.  
**الفجوات البحثية** :لم يتم دراسة فعالية الخوارزمية ضد هجمات التحليل الإحصائي المتقدمة أو معالجة الصور المتكررة.

## 2. دمج تقنيات التحويل والتشفير:

- **Ahmed Badrani (2013)** دمج DWT مع LSB لإخفاء البيانات في الترددات المنخفضة مع تشفير إضافي.  
**تحليل نقدي** :تعزيز الأمان وجودة الصورة، لكن يزيد التعقيد الحسابي.  
**الفجوات البحثية** :غياب المقارنات الكمية مع أساليب حديثة مثل التعلم العميق، وعدم تحليل الفجوات البحثية بشكل كامل.
- **Wisam Munir (2017)** تعديل عشوائي للبيكسلات بدعم مفتاح سري.  
**تحليل نقدي** :أمان محسن، لكنه محدود على مجموعات صغيرة من الصور.  
**الفجوات البحثية** :عدم اختبار الأداء على أحجام وصور متنوعة، نقص التحليل الكمي.

- **Swati Bhargava & Manish Mukhija (2019)** دمج LSB و DWT و RSA تحليل نقدي: أمان عالي، لكن مكلفة حسابياً، وتأثير الأداء لم يتم تقييمه بشكل شامل. الفجوات البحثية: الحاجة لتقييم الأداء الكمي على مجموعات بيانات أكبر [14].

### 3. تقنيات التشفير المتقدمة مع LSB

- **Sana Haimour (2021)** دمج تشفير التدفق الفوضوي (Chaotic Stream Cipher) مع LSB [15]
- **AES (2020)** تشفير البيانات مسبقاً باستخدام معيار AES مع توزيع غير منتظم داخل الصورة. تحليل نقدي: تعزيز أمان المعلومات، لكن يزيد التعقيد الحسابي. الفجوات البحثية: لم يتم دراسة التوازن بين السعة والأمان بشكل كمي، ولا مقارنة الأداء مع طرق حديثة (2022-2025)

### 4. التقنيات الحديثة والمتقدمة:

- **تقسيم الملفات على عدة صور (2020)**: زيادة أمان الإخفاء عبر توزيع البيانات على صور متعددة.
- **Wang et al. (2021)** نموذج Hybrid Deep Autoencoder مع LSB لزيادة السعة وجودة الصورة (PSNR ~48 dB) [18]
- **Liu (2022)** دمج LSB مع ChaCha20 لتحقيق مقاومة عالية لهجمات التحليل واسترجاع بيانات دقيق.

- **Al-Faydi (2023)** مطابقة ذكية بين البيكسلات دون تعديل فعلي، مما أتاح جودة صورة مثالية وعدم إمكانية الكشف إحصائياً.
  - **Mustafa M. Abd Zaid (2024)** LSB مزدوجة الطبقات مع RC4 لتحقيق توازن بين الجودة والأمان [21].
  - **Raiyan & Kabir (2025)** إطار SCReedSolo يجمع بين LSB ، تشفير Fernet ، وتصحيح الأخطاء Reed-Solomon ECC [22]
- تحليل نقدي: توفر هذه الطرق أماناً عالياً، مقاومة للتحليل الإحصائي، وتحسن جودة الصورة، لكنها مكلفة حسابياً وتحتاج مجموعات بيانات كبيرة للتدريب والتحليل.
- الفجوات البحثية:** تقييم الأداء في سيناريوهات متعددة، دراسة مقاومة الهجمات المتقدمة، وتحليل كمي مقارنة بأساليب تقليدية وحديثة

**جدول المقارنة النقدية للخوارزميات السابقة:**

الخوارزمية	الوصف	الفوائد	نقاط الضعف	الفجوات البحثية / الملاحظات البحثية
LSB Enhancement	تحسين البتات الأقل أهمية لتضمين البيانات	بسيطة وسهلة التنفيذ، قدرة عالية على الإخفاء، تأثير منخفض على جودة الصورة	عرضة لهجمات إحصائية بسيطة، متانة منخفضة ضد	ضعف المقاومة ضد التحليل الإحصائي، الحاجة لتطبيقات عامة على صور ملونة

			معالجة الصور	
DCT-Based Hiding	تعديل معاملات DCT في صور JPEG	متانة أعلى ضد الضغط، أمان محسن	أكثر تعقيداً في التنفيذ، قدرة معالجة أقل	الحاجة لمقارنة كمية مع طرق حديثة، مقاومة الهجمات
Deep Learning-Based Hiding	الشبكات العصبية لتعلم أنماط الإخفاء	أمان مشدد، متكيف مع بيانات معقدة	مكثف حسابياً، يحتاج بيانات تدريب كبيرة	تقييم الأداء على مجموعات بيانات متنوعة، مقاومة الهجمات العملية
Wavelet Transform-Based Hiding	إخفاء البيانات في معاملات الموجات	توازن جيد بين القدرة والمتانة، مقاومة لهجمات معالجة الصور	أكثر تعقيداً من LSB ، قدرة أقل مقارنة ببعض الطرق	تقييم شامل لمقاومة التحليلات الإحصائية، تحسين الأداء في الصور الكبيرة
Reversible Data Hiding	استرجاع الصورة الأصلية بعد استخراج البيانات	إعادة بناء مثالية، أمان ومثانة عالية	قدرة محدودة، تنفيذ معقد	دراسة مقاومة الهجمات الحديثة، تقييم الأداء الكمي مع طرق حديثة

### الخلاصة النقدية:

تحليل الدراسات السابقة يوضح أن كل مجموعة خوارزميات لها مزاياها وعيوبه. معظم الأعمال ركزت على تحسين السعة والأمان، لكن الفجوات البحثية المهمة لا تزال قائمة:

1. مقاومة الهجمات الإحصائية والتحليلات المتقدمة.
  2. التقييم الكمي الشامل لمقارنة الخوارزميات الحديثة. (2022-2025)
  3. اختبار الأداء على مجموعات بيانات متنوعة وأحجام صور مختلفة.
  4. تحليل العلاقة بين الخوارزميات التقليدية والحديثة والخوارزمية المقترحة في هذا البحث.
- يهدف هذا البحث إلى سد هذه الفجوات عبر تقديم خوارزمية تجمع بين مزايا LSB و DWT والتشفير الحديث، مع تبسيط التعقيد الحسابي، لتحقيق توازن مثالي بين السعة والأمان وجودة الصورة، بما يعزز القيمة العلمية مقارنة بالأعمال المنشورة سابقاً.

### 5- الخوارزمية المقترحة:

#### 1- الهدف من الخوارزمية المقترحة :

تهدف الخوارزمية المقترحة إلى تطوير نهج هجين لإخفاء البيانات داخل الصور الرقمية من خلال دمج تقنيات التحويل المويجي المتقطع (DWT) مع التشفير. يُعتمد في هذه الطريقة على تشفير البيانات أولاً، مما يرفع من مستوى الأمان، ثم يتم تضمينها في المكونات عالية التردد مثل CH الناتجة عن تحويل DWT، عبر تعديل البتات بما يتوافق مع البيانات الثنائية المشفرة. بعد الإخفاء، يُعاد تشكيل الصورة بواسطة التحويل العكسي (Inverse DWT)، لتبدو كالصورة الأصلية ولكنها تحتوي على معلومات سرية مخفية.

عند الحاجة إلى استخراج البيانات، يتم تطبيق DWT مجدداً لاستخراج البتات من القنوات المناسبة، ثم يتم فك التشفير وفك شفرة هامينغ لاستعادة النص الأصلي.

يرتكز هذا النهج الهجين على ثلاثة أهداف رئيسية:

**1. تعزيز الأمان:** من خلال التشفير المسبق للبيانات لضمان وصولها فقط للمستخدمين المصرح لهم.

**2. زيادة كفاءة التضمين:** عبر ضغط البيانات لتقليل تأثيرها على جودة الصورة.

**3. رفع مستوى الإخفاء:** باستخدام تقنيات تجعل من الصعب اكتشاف أو استخراج البيانات بدون المعرفة اللازمة.

## 2- الخوارزميات المستخدمة :

يعتمد النموذج المقترح لإخفاء البيانات على مجموعة من الخوارزميات المتكاملة التي تضمن الأمان، والكفاءة، والدقة، وتشمل ما يلي:

### خوارزمية هامينغ (Hamming Code) :

تستخدم هذه الخوارزمية للكشف عن الأخطاء وتصحيحها عند نقل أو تخزين البيانات، عبر إدراج بتات إضافية (Parity Bits) تحدد موقع الخطأ وتصححه تلقائياً وتم اعتمادها نظراً لقدرتها على تحسين موثوقية النظام باستخدام عدد محدود من البتات الإضافية مقارنةً بغيرها من خوارزميات تصحيح الأخطاء.

### خوارزمية التشفير المتماثل:

يستخدم هذا النوع من التشفير لحماية البيانات المخفأة من خلال تشفيرها وفك تشفيرها باستخدام نفس المفتاح، ما يعزز سرية المحتوى ويمنع قراءته في حال اكتشافه.

### التحويل المويجي المتقطع (DWT) :

تقنية تحليل زمني-ترددية تسمح بتقسيم الصورة إلى مكونات منخفضة وعالية التردد باستخدام مرشحات low-pass و high-pass، مما يتيح تضمين البيانات في المناطق ذات التأثير البصري الأقل، مع الحفاظ على جودة الصورة.

### التحويل المويجي العكسي (IDWT) :

هو العملية المعاكسة لـ DWT ، تُستخدم لإعادة بناء الصورة الأصلية بعد تضمين البيانات المخفية، مع المحافظة على مظهرها العام دون تغيير ملحوظ.

### الخوارزمية الهجينة:

تجمع هذه الخوارزمية بين تقنيات متعددة DWT، تقنية أقل البتات أهمية (LSB) ، ضغط البيانات (Zlib)، التشفير باستخدام مكتبة Fernet ، وخوارزمية هامينغ. ويهدف هذا الدمج إلى تحقيق:

- أمان مرتفع من خلال التشفير.
- تقليل حجم البيانات وتحسين السعة باستخدام الضغط.
- تصحيح الأخطاء للحفاظ على موثوقية البيانات.
- جودة بصرية عالية من خلال استخدام DWT و LSB

### 3- خطوات عمل الخوارزمية المقترحة

تتبنى الخوارزمية المقترحة نهجاً هجيناً يجمع بين التشفير، ضغط البيانات، وتحويل المويجات

(Least Wavelet Transform) مع طريقة البت الأقل أهمية

(Significant Bit - LSB) لإخفاء الرسائل داخل الصور الرقمية، بما يضمن أماناً عالياً،

سعة كبيرة، وجودة صورة مرتفع الخطوات موضحة أدناه بأسلوب أكاديمي نقدي:

الخطوة 1: توليد أو تحميل مفتاح التشفير (Encryption)

### Key Generation/Loading)

- يُعد مفتاح التشفير الركيزة الأساسية لحماية الرسائل.
- يتم التحقق أولاً من وجود ملف المفتاح (encryption.key)
  - إذا وُجد → تحميل المفتاح المستخدم لتشفير وفك تشفير الرسائل.
  - إذا لم يُوجد → توليد مفتاح جديد باستخدام مكتبة Fernet من مكتبة cryptography، ثم حفظه للاستخدام المستقبلي.

- هذه الخطوة تضمن ثبات المفاتيح وأمان العملية، مع الحد من الوصول غير المصرح به.

### الخطوة 2: تحضير الرسالة للتضمين (Message Preprocessing)

- تُشفّر الرسالة النصية بالمفتاح المحمّل أو المولد لتصبح غير قابلة للقراءة بدون المفتاح الصحيح.
- بعد التشفير، تُضغَط الرسالة باستخدام مكتبة **zlib** لتقليل حجمها، ما يعزز كفاءة التضمين ويحافظ على جودة الصورة.

- هذه الإجراءات تعكس التوازن بين الأمان وسعة الإخفاء.

### الخطوة 3: تضمين الرسائل داخل الصورة (Data Embedding)

تتم العملية باستخدام نهج هجين **DWT-LSB**

1. تحويل الصورة إلى تدرج رمادي (**Grayscale**) لتسهيل المعالجة الرقمية.
2. تحويل الصورة إلى مصفوفة رقمية باستخدام **NumPy**
3. دمج الرسالة المشفرة والمضغوطة في الترددات العالية باستخدام مكتبة **PyWavelets**، حيث تكون التغيرات أقل وضوحاً بصرياً.
4. بالتوازي، استخدام **LSB** لاستبدال أقل بت في كل بكسل بقيم من الرسالة، مما يزيد من سعة البيانات المخفية ويصعب كشفها.

### الخطوة 4: حفظ الصورة المدمجة (Saving the Embedded Image)

- تحويل المصفوفة المعدلة إلى صورة باستخدام مكتبة **Pillow**
- حفظ الصورة في المسار المحدد، ما يضمن سلامة البيانات المخفية وإمكانية استرجاعها بدقة لاحقاً.

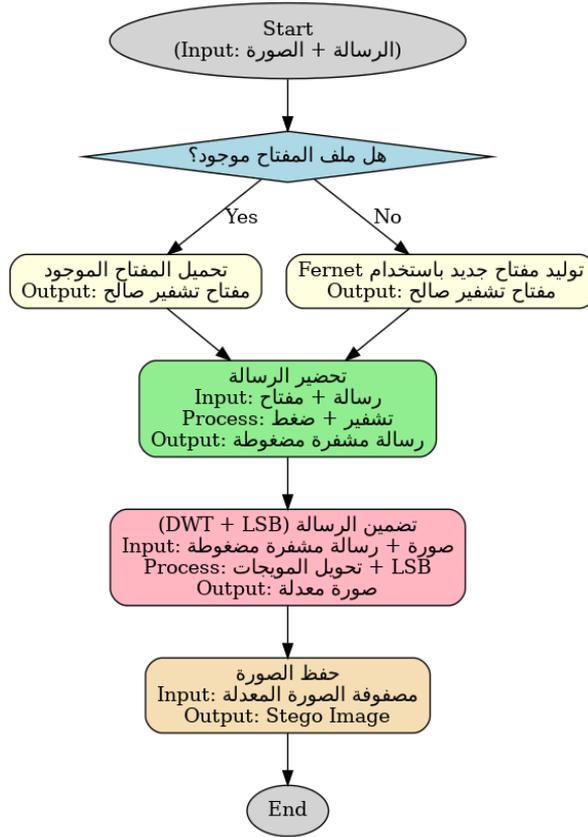
### التحليل الأكاديمي للخطوات:

1. التشفير والضغط: توفر حماية قوية للرسائل مع تحسين السعة التخزينية.
2. دمج **DWT** و **LSB**: يحافظ على جودة الصورة ويصعب اكتشاف البيانات المخفية.
3. حفظ الصورة: يضمن استرجاع الرسالة بدقة مع الحفاظ على سلامة الصورة الأصلية.

إنشاء جدول Input / Process / Output

المرحلة	المدخلات (Inputs)	العمليات (Process)	المخرجات (Outputs)
توليد/تحميل المفتاح	ملف مفتاح (إن وجد) أو نظام توليد جديد	تحميل أو توليد مفتاح باستخدام Fernet	مفتاح تشفير صالح
تحضير الرسالة	الرسالة النصية + مفتاح	تشفير الرسالة + ضغطها باستخدام zlib	رسالة مشفرة مضغوطة
التضمين (DWT + LSB)	صورة + رسالة مشفرة مضغوطة	تحويل الموجات + تضمين LSB	مصفوفة صورة معدلة
حفظ الصورة	مصفوفة صورة معدلة	تحويل إلى صورة وحفظ باستخدام Pillow	صورة Stego

المخطط الانسيابي :



#### 4- تحليل النتائج:

بعد إتمام عملية الإخفاء الرقمي للبيانات داخل الصور باستخدام تقنيات مختلفة، من الضروري إجراء تحليل دقيق للصور الناتجة لضمان أن عملية الإخفاء قد تمت بنجاح دون التأثير الكبير على جودة الصورة الأصلية. يهدف هذا التحليل إلى تقييم مدى تأثير عملية الإخفاء على الخصائص

البصرية للصورة، مثل توزيع القيم اللونية أو الرمادية، والتغيرات في تفاصيل الصورة التي يمكن أن تكون مؤشراً على وجود بيانات مخفية.

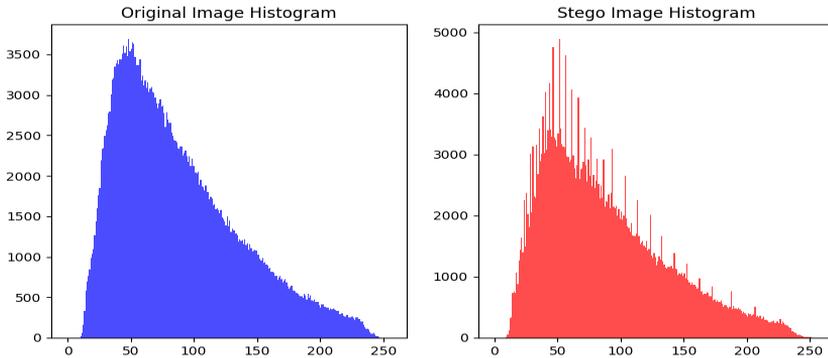
في هذا السياق، يتضمن التحليل عدة مراحل، بما في ذلك مقارنة الصورة الأصلية بالصورة المخفية، وفحص توزيع القيم اللونية باستخدام الهستوجرام، بالإضافة إلى تحليل المعاملات المويجية التي توفر معلومات دقيقة حول التغيرات التي طرأت على ترددات الصورة المختلفة، يساهم هذا التحليل في التأكد من أن عملية الإخفاء لم تُحدث تغييرات ملحوظة يمكن كشفها بسهولة، مما يضمن بقاء البيانات المخفية آمنة وغير قابلة للكشف من قبل الأطراف غير المخولة.

#### الشكل (1-4) : Visual Comparison



✓ في الشكل (1-4) تبدو الصورة الأصلية و الصورة المخفأة متطابقة بالنسبة للعين المجردة، إلا أن هذا يعتبر مؤشراً جيداً على أن عملية الإخفاء تمت بنجاح دون التأثير الواضح على جودة الصورة،

إذا كانت الفروق غير مرئية، فهذا يعني أن المعلومات المخفية قد أُدرجت بشكل غير ملحوظ، وهو هدف رئيسي في تقنيات الإخفاء الرقمي.



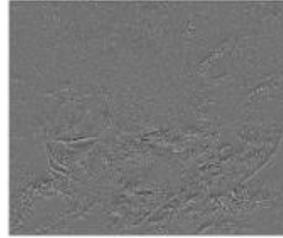
الشكل (4-2): Histogram Analysis

✓ يظهر الشكل (4-2) توزيعاً قياسيًّا للبيكسلات بالاعتماد على تدرجات اللون الرمادي، هذا التوزيع يعكس المحتوى الطبيعي للصورة دون أي تشويش أو تعديل، في الصورة التي تحتوي على البيانات المخفية يظهر بعض التغييرات في التوزيع مقارنة بالصورة الأصلية و تكون هذه التغييرات طفيفة أو ملحوظة بناءً على الطريقة التي تم بها إخفاء البيانات، إما التوزع في الصورة المخفية يظهر توزيعاً مشابهاً جداً للصورة الأصلية، ولكن مع وجود بعض التغييرات الطفيفة. هذه التغييرات تشير إلى أن عملية الإخفاء قد أثرت بشكل طفيف على توزيع القيم الرمادية، ولكن ليس بشكل كبير لدرجة أن يتم اكتشافها بسهولة، أي تغييرات كبيرة قد تشير إلى أن الإخفاء أثر على القيم الرمادية للصورة، مما قد يجعل الإخفاء أكثر قابلية للاكتشاف من خلال تحليل الهستوجرام. ومع ذلك، إذا كانت التغييرات طفيفة، فهذا يشير إلى أن الإخفاء كان فعالاً في الحفاظ على التوزيع الأصلي.

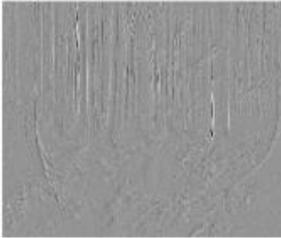
Original Image - Approximation Coefficients



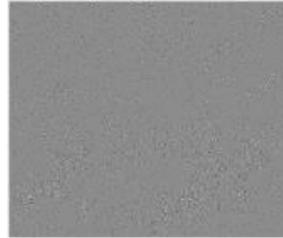
Original Image - Horizontal Detail Coefficients



Original Image - Vertical Detail Coefficients



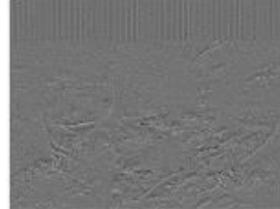
Original Image - Diagonal Detail Coefficients



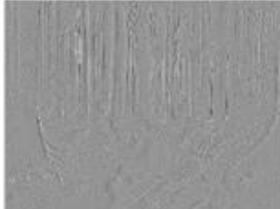
Stego image - Approximation Coefficients



Stego image - Horizontal Detail Coefficients



Stego image - Vertical Detail Coefficients



Stego image - Diagonal Detail Coefficients



Wavelet Coefficient Analysis: الشكل (3-4)

✓ تحليل معامل الموجات:

معاملات التقريب (Approximation Coefficients):

تظهر الصورة المخفية معاملات تقريب مشابهة جداً للصورة الأصلية، هذا يشير إلى أن البنية الأساسية للصورة لم تتأثر بشكل كبير بعملية الإخفاء.

التفاصيل الأفقية (Horizontal Detail Coefficients):

تظهر الصورة المخفية تفاصيل أفقية مشابهة لتلك الموجودة في الصورة الأصلية، أي اختلافات هنا كانت طفيفة، مما يعني أن الإخفاء لم يؤثر بشكل كبير على التفاصيل الأفقية.

التفاصيل العمودية (Vertical Detail Coefficients):

التفاصيل العمودية في الصورة المخفية مشابهة أيضاً للصورة الأصلية، وهذا يعني أن الحواف والتفاصيل العمودية لم تتأثر كثيراً بعملية الإخفاء.

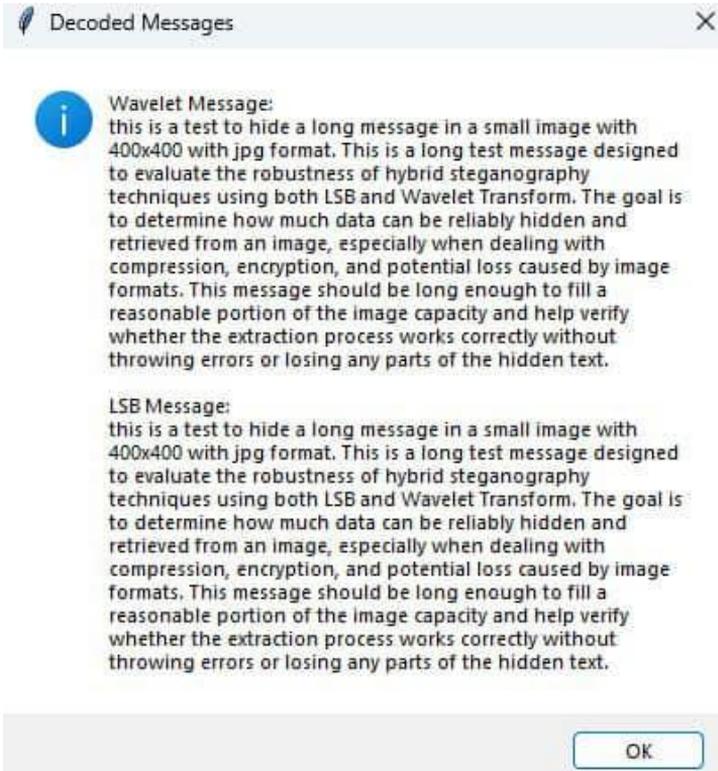
التفاصيل القطرية (Diagonal Detail Coefficients):

مثل المعاملات الأخرى، التفاصيل القطرية في الصورة المخفية مشابهة لتلك الموجودة في الصورة الأصلية، مما يشير إلى أن التأثير على هذه التفاصيل كان طفيفاً.

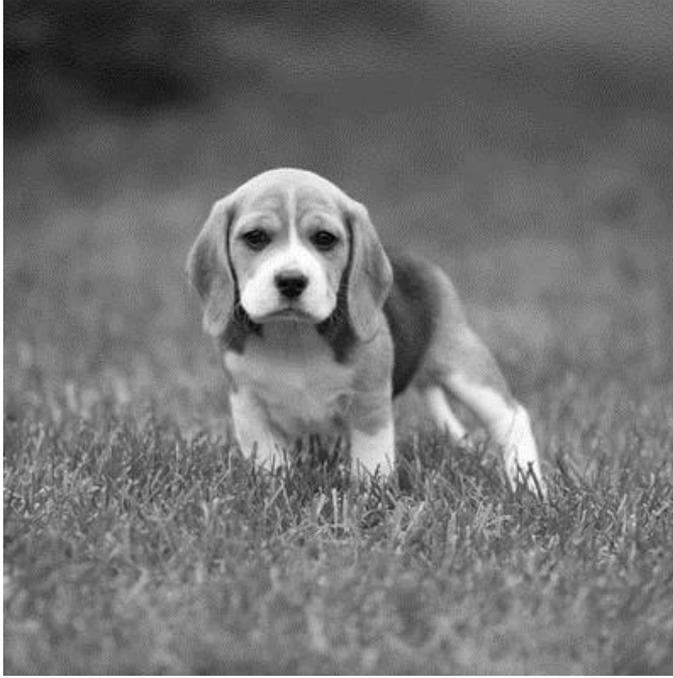
بعد الانتهاء من إعداد الخوارزمية الهدينة قمنا بتجريب نص كبير مع صورة صغيرة بصيغة JPEG بأبعاد 400\*400 وكانت النتائج مرضية إلى حد كبير وموضحة في الأشكال التالية:



الشكل (4-4): الصورة قبل التنفيذ



الشكل (4-5) النص الذي استخدمناه



الشكل (4-6) خرج الخوارزمية

**ملاحظة :** الصورة بالأبيض والأسود كون الخوارزمية هجينة مع خوارزمية DWT حيث خرج هذه الخوارزمية دوماً هو صور رمادية وهذه أحد نقاط القوة ضمن هذه الخوارزمية حيث من الصعب تمييز البسكلات التي تحمل النصوص المورية.

**تأثير خوارزمية الإخفاء الهجينة على الصور (LSB+DWT)**

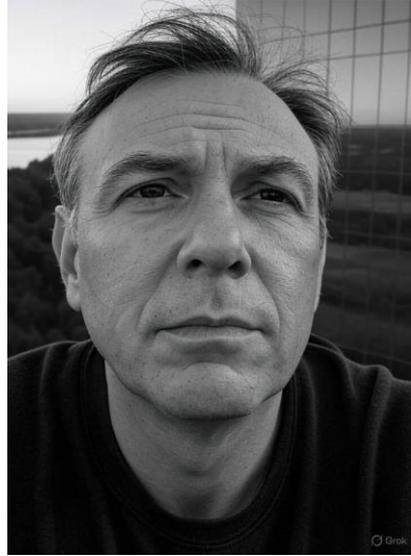
هذا المستند يوضح النتائج المتوقعة لتطبيق خوارزمية الإخفاء الهجينة التي تجمع بين (LSB,DWT) على أنواع مختلفة من الصور.

**الفكرة الأساسية:**

تعتمد على تغيير البت الأقل أهمية في البكسل لإخفاء البيانات ، وبالتالي LSB : تقنية التغيير غير ملحوظ بالعين المجردة.

تعتمد على تحويل الموجات، حيث يتم توزيع البيانات المخفية، DWT: تقنية معاملات الترددن وغالباً ماينتج عنها صورة رمادية أقل وضوحاً.

التقنية الهجينة: مزيج بين الطريقتين لتوفير قوة أعلى في الإخفاء مع الحفاظ على جودة الصورة.



الشرح التفصيلي للنائج:

وجه الإنسان:

قبل التنفيذ : صورة ملونة طبيعية بملامح واضحة لا يوجد فرق ملحوظ.

LSB بعد : لا يوجد فرق ملحوظ.

DWT بعد : تتحول إلى صورة رمادية، ملامح الوجه أقل وضوح.

بعد التهجين : صورة رمادية أنعم مع فقدان بسيط في التفاصيل



الشرح التفصيلي للناتج:

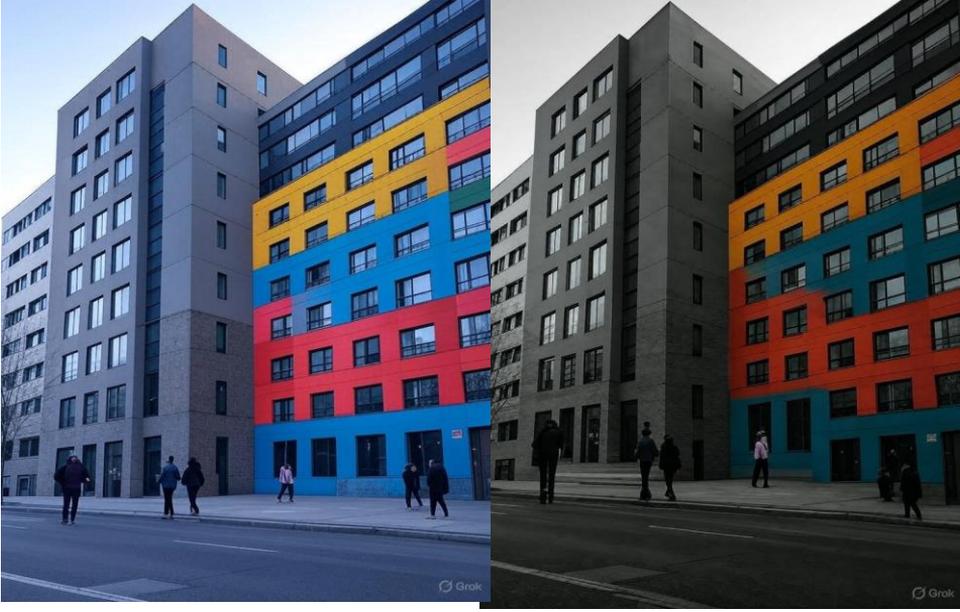
**منظر طبيعي:**

قبل التنفيذ : ألوان زاهية (سماء، أشجار، جبال)

LSB بعد: لاتغيير ملحوظ.

DWT بعد: تتحول إلى رمادي،السماء تبدو أنعم.

بعد التهجين: رمادي بتفاصيل أقل ونعومة أعلى.



الشرح التفصيلي للنتائج:

جسم - مبنى :

قبل التنفيذ : صورة ملونة بخطوط واضحة وحادة.

بعد: LSB مثل الأصل تقريباً.

بعد: DWT تتحول إلى رمادي، الحواف تبقى واضحة لكن التفاصيل أقل.

بعد التهجين: رمادي مع فقدان للتباين والحدة.

الخلاصة:

توفر توازناً جيداً بين إخفاء البيانات وحماية (LSB+DWT) الخوارزمية الهجينة جودتها البصرية والصور النهائية غالباً ما تكون رمادية وأقل حدة، لكن من الصعب على العين المجردة اكتشاف وجود بيانات مخفية

### الخاتمة :

يشكل إخفاء البيانات في الصور الرقمية أحد المسارات البحثية الحيوية في مجال أمن المعلومات، خاصةً في ظل التطور المتسارع لأساليب الهجوم وكشف البيانات. ومن خلال هذا البحث، تم استعراض وتحليل أبرز التقنيات الكلاسيكية والحديثة في التورية الرقمية، مع التركيز على خوارزميات LSB، DWT، DCT، والخوارزميات المستندة إلى الذكاء الاصطناعي، إضافةً إلى تقييمها وفق معايير الأداء والأمان وسعة الإخفاء.

انطلاقاً من التحديات العملية المرتبطة بفعالية الإخفاء وسريته، تم اقتراح خوارزمية هجينة تدمج بين ضغط البيانات، تصحيح الأخطاء باستخدام كود هامينغ، التشفير المتماثل، وتقنيتي LSB وDWT، وقد أظهرت هذه الخوارزمية نتائج واعدة على صعيد تحقيق توازن دقيق بين الشفافية البصرية، متانة الإخفاء، وسعة التخزين.

أظهرت النتائج التجريبية كفاءة النموذج المقترح من خلال تحليلات بصرية وإحصائية ومعاملات ترددية، حيث تمت عملية الإخفاء دون تأثير ملحوظ على جودة الصور، مع صعوبة الكشف عن البيانات المخفية بالطرق التقليدية. كما ساهم دمج خوارزميات التشفير وتصحيح الأخطاء في رفع مستوى الموثوقية والأمان.

وبناءً على هذه المعطيات، يمكن اعتبار هذا البحث خطوة أولية نحو تطوير نماذج أكثر ذكاءً وتطوراً في إخفاء البيانات، تواكب متطلبات السرية العالية وتعقيدات الهجمات الرقمية الحديثة. كما تفتح الخوارزمية المقترحة آفاقاً واسعة للبحث المستقبلي، خاصةً في اتجاه التورية القائمة على التعلم

العميق، والتحسين التلقائي لجودة الصور، وتكييف أساليب الإخفاء مع طبيعة البيانات والوسائط المستخدمة.

### المراجع

[1] M. Warkentin, M.B. Schmidt, E. Bickering, Steganography and Steganalysis, Premier reference Source–Intellectual Property Protection for Multimedia Information technology, Chapter XIX, 2008

[2] N.N. El-Emam, hiding a large amount of data with high security using steganography algorithm, Journal of Computer Science 3 (2007) 223–232

[3] M. Chen, N. Memon, E.K. Wong, Data hiding in document images, in: H. Nemati (Ed.). Premier Reference Source–Information Security and Ethics: Concepts, Methodologies, Tools and Applications, New York: Information Science Reference, 2008, pp. 438–450.

[4] A. Ker, “Steganalysis of LSB matching in greyscale images,” IEEE Signal Process Letter, vol. 12, no.6, pp. 441– 444, Jun. 2005.

[5] Koppola, R. R., (2009), “A High Capacity Data–Hiding Scheme in LSB–Based Image Steganography”, M.Sc. Thesis Presented to Akron University.

[6] Singh, S. and Agarwal, G., (2010), “Use of Image to Secure Text Message with the Help of LSB Replacement”, International Journal of Applied Engineering Research, Din Digul Vol. 1No.1.

أحمد حامد صالح البدراي في تشفير وإخفاء المعلومات في الصور الرقمية باستخدام التحويل  
الموجي [7]

وتقنية lsb في المؤتمر العلمي الخامس 2013 في كلية علوم الحاسوب والرياضيات مجلة الرافدين.

[8] Wesam Monir Saqer, Steganography within LSB and Second LSB with Randomness Depending on Indicators Using Secret Key,2017 The Islamic University – Gaza, Research and Postgraduate Affairs, Faculty of Information Technology

Master of Information Technology

[9] Hide Image and Text Using LSB, DWT, and RSA Based on Image Steganography– 2019 – Swati Bhargava, Manish Mukhija. (Modern Institute of Technology and Research Centre

[10] Enhancing Image Steganography Using Chaotic Stream Cipher for Secure Data Hiding – 2021. Sana Haimour,Mohammad Rasmi AL– Mousa,Rashiq R. Marie

[11] Data Hiding Using Specific Pixel Sequence with AES Encryption – 2020.

[12] A Novel Technique for Hiding a File in Multiple Images Using Segmented Map – 2020.

[13] Wang, J., Li, Y., & Zhao, M. Hybrid Deep Autoencoder for High Capacity Image Steganography. (2021).

[14] Liu, H., Zhang, Q., & Sun, Y. Secure Steganography Using LSB and ChaCha20 Pre-encryption Scheme. (2022).

- [15] Al-Faydi, T. A. Improved LSB image steganography with high imperceptibility based on cover–stego matching. (2023).
- [16] Zaid, M. M. A., Jawad, M. M., & Abass, H. S. LSB Steganography using Dual Layer for Text Crypto–Stego. – ISCKU 2024 – International Scientific Conference of Knowledge University. (2024).
- [17] Raiyan, M. T., & Kabir, M. A. SCReedSolo: A Secure and Robust LSB Image Steganography Framework with Randomized Symmetric Encryption and Reed–Solomon Coding. (2025).
- [18] "Cryptography and Network Security: Principles and Practice" by William Stallings 2022.
- [19] "Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications" by Jessica Fridrich
- [20] "Information Hiding: Steganography and Watermarking–Attacks and Countermeasures" by Neil F. Johnson, Zoran Duric, and Sushil Jajodia
- [21] "A Survey of Steganography Techniques" by Souvik Bhattacharyya and Gautam Sanyal
- [22] A discrete wavelet transforms based technique for image data hiding, Ahmed A. Abdelwahab; Lobna A. Hassaan 2023
- [23] Reversible Data Hiding, Nirwan Ansari 2019