

# Simulating The effect Of The Mechanical Behavior Of The Crankshaft In Internal Combustion Engines Under The Influence Of A Range Of Materials

محاكاة تأثير السلوك الميكانيكي لعمود المرفق في محركات الاحتراق الداخلي تحت تأثير مجموعة من المواد

محسن عدرة:  كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.  
ثائر عثمان:  كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

[muhsenadrah1996@gmail.com](mailto:muhsenadrah1996@gmail.com)

عنوان التواصل:

تاريخ التسليم: ٦ تموز ٢٠٢٤ - تاريخ القبول: ١٩ أيلول ٢٠٢٤

## ABSTRACT

The crankshaft is one of the important components for the effective and precise operation of the internal combustion engine, as the automotive industry requires an appropriate selection of materials for power transmission. The main goal of selecting the appropriate materials is to increase the effectiveness of the resistance to bending and torsion, in addition to performing a surface treatment to obtain the highest performance of the column, which is crucial. Accordingly, this research aims to study the mechanical behavior of the types of materials most commonly used in crankshaft manufacturing, by designing a four-piston crankshaft, analyzing the stresses and displacements resulting from the impact of the applied load, and determining the vibration frequencies, which provide valuable insights into the dynamic behavior. For this purpose, a three-dimensional model of the crankshaft was designed using CATIA V5R18 software, and the finite elements were subsequently analyzed using the ANSYS 2019 R1 program. The model was prepared for analysis, where 249,630 elements and 427,888 nodes were created under static and dynamic conditions with four different materials in different directions, including structural steel, Aluminum alloy 7475, cast iron, stainless steel 308. To verify the effectiveness of the proposed design, the current design was compared with the design within the reference study in terms of stresses and displacements, and the safety factor was confirmed, as it led to a decrease in stress by %17.7 and displacement by %0.6. By comparing the results, a choice was made. Aluminum 7475 has the lowest value of equivalent stress, Von-misses, and displacement compared to other materials. The results show that the cast iron material has low values for vibration frequency compared to the other materials, while the structural steel material has very low values for total deformation under the influence of the applied load, as the results indicate. The result is that by choosing the appropriate material for the right working conditions, the crankshaft will help to improve engine performance, ensure high productivity, and provide the best durability.

**Keywords:** Crankshaft - Finite element method - Stress - Displacement - Vibration frequency.

## المخلص

يُعدُّ عمود المرفق أحد المكونات المهمة للعمل الفاعل والدقيق لمحرك الاحتراق الداخلي، حيث تتطلب صناعة السيارات اختياراً مناسباً للمواد اللازمة لنقل الطاقة. والهدف الرئيس من اختيار المواد المناسبة هو زيادة فاعلية مقاومة الانحناء والالتواء، إضافة إلى أن إجراء معالجة للسطح للحصول على أعلى أداء للعمود يعد أمراً بالغ الأهمية. وبناءً على ذلك يهدف هذا البحث إلى دراسة السلوك الميكانيكي لأنواع المواد الأكثر استخداماً في تصنيع عمود المرفق، وذلك من خلال تصميم عمود المرفق لمحرك احتراق داخلي له أربعة مكابس، وتحليل الإجهادات والازاحات الناتجة عن تأثير الحمل المطبق، وتحديد الترددات الاهتزازية ما يوفر رؤياً قيمة حول السلوك الديناميكي. ولأجل هذا الهدف، تم تصميم نموذج ثلاثي الأبعاد لعمود المرفق باستخدام برامج CATIA V5R18، وتم تحليل والإجهادات بطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج ANSYS 2019 R1، إذ جرى تقسيم النموذج إلى 249,630 عنصراً و427,888 عقدة ضمن شروط الحالة الثابتة والديناميكية بأربعة مواد مختلفة في اتجاهات مختلفة منها الفولاذ الهيكلي، وسبائك الألمنيوم 7475، وحديد الزهر، والفولاذ المقاوم للصدأ 308. وللتحقق من فاعلية التصميم المقترح، جرت مقارنة نتائج تحليل التصميم الحالي مع تصميم وارد في إحدى الدراسات المرجعية من حيث الإجهادات والازاحة وتم التأكد من عامل الأمان، إذ أدى إلى انخفاض الإجهاد بمقدار 17,7% والإزاحة 0,6%. وبمقارنة النتائج وجد أن مادة الألمنيوم 7475 تمتلك أدنى قيمة للإجهاد المكافئ Von-misses والإزاحة مقارنة مع المواد الأخرى، وأشارت النتائج إلى أن قيم التردد الاهتزازي لمادة حديد الزهر منخفضة مقارنة ببقية المواد، بينما مادة الفولاذ الهيكلي أظهرت قيمة منخفضة جداً للتشوهات الكلية الناتجة تحت تأثير الحمولة المطبقة، إذ تشير النتائج الحاصلة إلى أن اختيار المادة المناسبة في شروط العمل المطبقة يساعد عمود المرفق على تحسين أداء المحرك، وإعطاء إنتاجية عالية، ويوفر أفضل متانة.

**الكلمات المفتاحية:** عمود المرفق - طريقة العناصر المنتهية - الإجهاد - الإزاحة - التردد الاهتزازي.

المرفق، هو اختيار مادة تتميز بأقل إجهادات وبمقاومة مرتفعة للتشوه، وذلك بهدف تحقيق الخصائص الميكانيكية المرغوب بها من صلابة ومتانة مرتفعة، وكذلك تقييم القوى التي تسببها الأحمال الموزعة على طول عمود المرفق، ولتحقيق ذلك سيتم مقارنة أداء أربعة مواد مختلفة يصنع منها عمود المرفق وهي:

- فولاذ الهيكل (Structural Steel)
  - سبائك الألومنيوم 7475 (Aluminum Alloy7475)
  - حديد الزهر (CAST IRON)
  - الفولاذ المقاوم للصدأ 308 (Stainless steel EN308).
- ويظهر الجدول ١ الخصائص الميكانيكية لهذه المواد [1-12-14-15-16-17].

الخصائص الميكانيكية والحرارية (Aluminum Alloy7475, Structural Steel, Cast Iron, Stainless steel EN 308)				
Stainless steel EN 308	Cast Iron	Aluminum Alloy7475	Structural Steel	خصائص المواد
7850	7200	2810	7850	الكثافة (kg/m <sup>3</sup> )
0.29	0.28	0.33	0.3	نسبة بواسون
205	110	71.7	200	معامل يونغ (Gpa)
240	220	490	280	إجهاد الخضوع (Mpa)

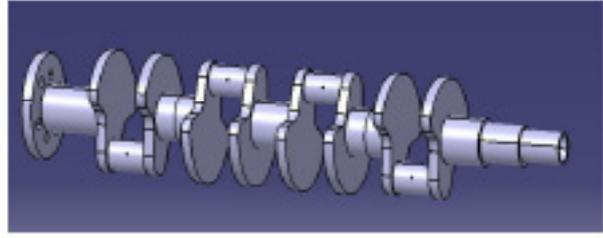
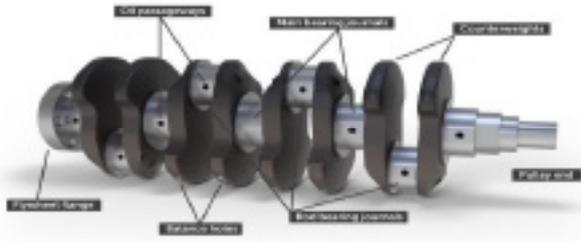
النموذج ثلاثي الأبعاد لعمود المرفق: تم رسم نموذج التجميع ثلاثي الأبعاد، وهو برنامج (CATIA V5 R18) لأبعاد عمود المرفق بوساطة تصميم متكامل طورته شركة داسو سيستمس. يدخل برنامج كاتيا في خانة برمجيات إدارة دورة حياة المنتجات وبرمجيات الإدارة. فهو يدعم إلى تصنيع (CAD) مراحل متعددة من تطوير المنتج من تصميم ويسهل أيضاً الهندسة التعاونية في مختلف التخصصات بما (CAM) في ذلك تصميم الشكل والهندسة الميكانيكية وهندسة النظم. ويبين الشكل ١ نموذج ثلاثي الأبعاد لعمود المرفق حيث يبين بالجدول 2 أبعاد عمود المرفق الذي تم أخذه من الدراسة المرجعية [14].

أبعاد عمود المرفق	
المتغيرات	الأبعاد
نصف قطر حمل ارتكاز زراع توصيل عمود المرفق	60mm
قطر عمود المرفق	90mm
سماكة عصب (web) عمود المرفق	50mm
طول حمل ارتكاز رئيس لعمود المرفق	197mm
الضغط الأقصى	35bar

مع التقدم المستمر في صناعة السيارات، يعمل الباحثون على تقنيات تحسين المواد لاختيار واستخدام المواد الفاعلة في نقل الطاقة، ومن المعروف أن أنظمة نقل الطاقة في الصناعات الميكانيكية، ولا سيما في السيارات، تتطلب مادة متينة ذات خصائص مناسبة لضمان ظروف التشغيل المثلى في أثناء نقل الطاقة، ويجب أن تتمتع المواد المستخدمة في عمود المرفق بقدرة تحمل مناسبة، ما يعني أن لديها تلك القدرة على مقاومة حمولات التعب في عناصر نقل الطاقة [1]. وتتمثل طريقة الدراسة بأن أعمدة المحرك تشكل جزءاً رئيسياً من السيارات، وأن إنتاج هذه الأعمدة يعد متطلباً مهماً لمقاومة الانحناء والالتواء، وبناءً على ذلك تعد قيم مقاومة الالتواء والانحناء مهمة قبل اختيار المادة. ونتيجة لذلك، يعد اختيار المادة المثالية وإجراءات معالجة السطح لتقديم أعلى أداء للعمود أمراً بالغ الأهمية. وبناءً على ذلك، تعد مقاومة التآكل من أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند اختيار مادة السطح [2]. يعد عمود المرفق أحد أهم الأجزاء الرئيسية المتحركة في محركات الاحتراق الداخلي، إذ يحول الحركة الترددية للمكبس إلى حركة دورانية، كما يتكون من محاور مركزية ثابتة تدور حول محور ثابت، وأخرى لامركزية متحركة تتركب عليها أذرع التوصيل [3]. وأصبحت الأبحاث تهتم برفع المردود من جهة، ورفع مدة عمر العمود المرفق من الجهة الثانية، لذلك قدمت الكثير من الدراسات المرجعية التي تهدف لتحقيق ذلك، فقد تمت دراسة أساليب النمذجة المختلفة باستخدام محرك FEV الافتراضي، وتمت مناقشة الاختلافات بين نتائج التقنيات المعتمدة من أجل حساب متانة عمود المرفق والتحسين في المردود [4]. وتمت دراسة نطاق تقليل الوزن والتكلفة للعمود المرفق المصنوع من الفولاذ المطروق، وتم تنفيذ التحليل مع الأخذ في الحسبان التحليل الديناميكي. [5] فقد قام الباحثون بتصميم وتطوير أعمدة المرفق التي يمكنها مقاومة الحمل الدوري دون التعرض للفشل فيها، كما كان الهدف دائماً هو تصنيع عمود مرفق يتميز بمقاومة عالية للإجهاد، بالمقابل تم الحصول على أعمدة المرفق ذات كفاءة عالية وإنتاج طاقة أعلى [6-7]. في ضوء ذلك فإن التصميم الأفضل لعمود المرفق هو الذي يحظى بالاهتمام الرئيس، وبناءً على ذلك يعد تصميم عمود مرفق مهماً للغاية في قطاع التصنيع وذلك لضمان تصميم متين وتكلفة منخفضة [8-9]. وبالتالي فإن التصميم الأمثل لعمود المرفق هو وسيلة فاعلة لزيادة كفاءة استهلاك الوقود والتكلفة الإجمالية للمحرك؛ إذ تبين أنه في أثناء تشغيل المحرك، يحدث نبضات للطاقة داخل عمود المرفق في مكان واحد ثم في مكان آخر، ونتيجة لذلك يظهر اهتزاز الفتل عندما تصطدم كمية الطاقة بعمود المرفق باتجاه مقدمة المحرك من جهة، وينتهي بشوط القدرة من جهة أخرى، بالمقابل إن لم يتم التحكم بكمية الطاقة، فإنه من الممكن أن ينهار عمود المرفق [10]. وبناءً على ذلك يتم تصميم وتطوير هذه الأعمدة بصورة مستمرة، وذلك بهدف رفع كفاءتها من جهة ومقاومة شروط التحميل الدوري دون التعرض للانهيار من جهة أخرى [13]. إذ توفر أعمدة المرفق ذات المادة الأفضل في التصنيع كفاءة أعلى وإنتاج طاقة أعلى [11-12]. في هذا البحث تم إجراء تحليل لمعرفة القيم الأقصى للإجهاد والتشوه. تم أيضاً اكتشاف الترددات الطبيعية وأشكال الأوضاع ٦ حيث تحدد النتائج الأساس النظري للتحسينات في تصميم العمود المرفق الحالي واختيار المادة المثلى.

#### المواد والظرائق:

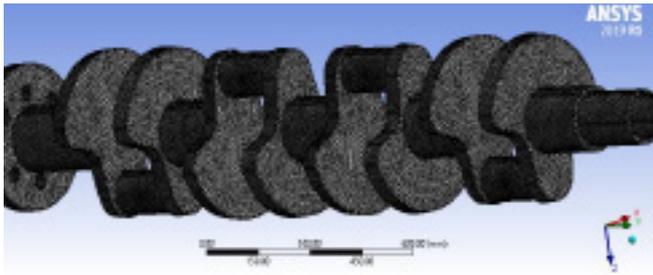
مواد صناعة عمود المرفق: بناءً على ما تقدم من دراسات وأبحاث، نجد أن التحدي الأبرز في اختيار نموذج ثلاثي الأبعاد لعمود



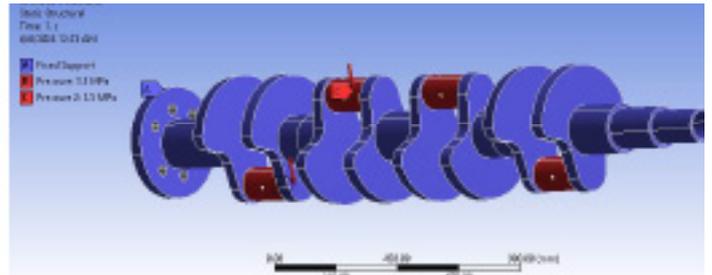
### الشكل ١: نموذج ثلاثي الأبعاد لعمود المرفق.

٢٤٩٦٣٠ عنصراً و٤٢٧٨٨٨ عقدة، إضافة إلى ذلك يوجد مصدران مختلفان للحمل يعملان على عمود المرفق، حيث يطبق القصور الذاتي للمكونات الدوارة (مثل قضيب التوصيل) قوى على عمود المرفق وتزداد هذه القوة مع زيادة سرعة المحرك، إذ ترتبط هذه القوة ارتباطاً مباشراً بسرعة الدوران وتسارع المكونات الدوارة. وثمة مصدر الحمل الثاني هو القوة المطبقة على عمود المرفق بسبب احتراق الغاز في الأسطوانة [١٨]. إن لتحديد الشروط الحدية دوراً مهماً في تحليل العناصر المنتهية؛ إذ تم تثبيت عمود المرفق وتطبيق الضغط على الجزء العلوي منه بمقدار  $3,0\text{Mpa}$  وتم تطبيق الضغط في جميع الزوايا كما في الجدول ٤ بناءً على الدراسة المرجعية [١٤]. ويوضح الشكل ٢. نموذج العناصر المنتهية لعمود المرفق والشروط الحدية المعطاة للنموذج.

تحليل عمود المرفق باستخدام طريقة العناصر المنتهية: يجب أن يكون كل جزء في عمود المرفق قادراً على مقاومة كل من أحمال الشد والضغط على التوالي؛ وفي المقابل، يجب أن تكون الإجهادات والانحرافات ضمن الحدود المسموح بها، حيث يجب صياغة زوج الاتصال المثالي، ويجب أيضاً أن تُربط أجزاء المكون بعضها ببعض، ويُصَدَّر النموذج كملف IGS، بعد ذلك يُستورد هذا الملف إلى البيئة ANSYS 19 R1 من أجل إجراء تحليل العناصر المنتهية (FEA)، وللتحقق من صحة النموذج، فيما يتعلق بالشبكة الحجمية (Mesh) للمكون المدروس، تم اختيار الشبكة المناسبة للتصميم وهي شبكة من عناصر رباعية السطوح (Tetrahedrons). وأخيراً أعد النموذج للتحليل؛ إذ جرى إنشاء



الشبكة الحجمية للنموذج



الشروط الحدية

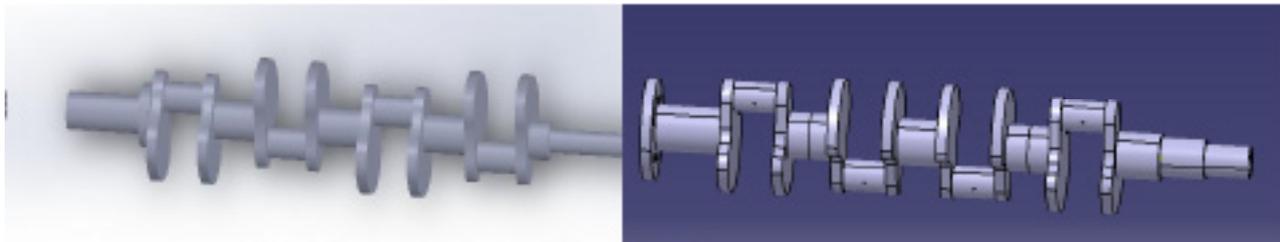
### الشكل ٢: نموذج العناصر المنتهية لعمود المرفق

#### النتائج

#### التأكد من صحة التصميم:

أخذ المقاسات ونتائج التصميم من الدراسة المرجعية وتطبيقها ضمن التصميم المعتمد في هذا البحث، وبين الشكل ٣ والجدول ٣ مقارنة بين تصاميم عمود المرفق، حيث أظهرت نتائج تحليل الإجهادات والإزاحة لمادة Structural Steel أن التصميم المدروس أعطى قيم إزاحات وإجهادات أقل، وقيم عوامل أمان أكبر، عند كل زاوية؛ ومن ثم فهو أفضل من التصميم الوارد في الدراسة المرجعية.

بهدف الحصول على التصميم الأمثل لعمود المرفق، تمت مقارنة هذا التصميم مع التصميم ضمن الدراسة المرجعية [14]. من حيث الإجهادات والإزاحة ومقارنة نتائج المادة المستخدمة في تصنيع عمود المرفق، وذلك من أجل تقييم التصميم من حيث الجودة والكفاءة ما يتيح لنا استخدام عمود مرفق ذو مواصفات آمنة وإنتاجية عالية، تم



(أ)

(ب)

الشكل ٣: مقارنة بين تصاميم عمود المرفق (أ) التصميم ضمن الدراسة المرجعية [14] (ب) التصميم ضمن هذه الدراسة

الجدول ٣. مقارنة بين قيم الإزاحة والإجهاد الأعظمي وعامل الأمان للعمود المرفق

Crank Angle (Deg)	Pressure (bar)	ضمن هذه الدراسة			ضمن الدراسة المرجعية [14]			Low percentage Von misses Stress Max (Mpa)	Low percentage Deformation Max (mm)
		Deformation Max (mm)	Von misses Stress Max (Mpa)	Safety factor	Deformation Max (mm)	Von misses Stress Max (Mpa)	Safety factor		
		Structural Steel			Structural Steel				
0	35	0.0145	56.725	4.9360	0.0146	66.82	4.1903	17.7%	0.6%
30	30.3	0.0125	49.108	5.7017	0.0125	57.27	4.8891	16.6%	0%
60	17.5	0.0073	28.363	9.872	0.0073	33.41	8.3807	17.7%	0%
90	0	0	0	-	0	0	-	0%	0%
120	-17.5	0.0073	28.363	9.872	0.0073	33.41	8.3807	17.7%	0%
150	-30.3	0.0126	49.108	5.7017	0.0125	57.27	4.8891	16.6%	0%
180	-35	0.0145	56.725	4.9360	0.0146	66.82	4.1903	17.7%	0.6%
210	-30.3	0.0126	49.108	5.7017	0.0125	57.27	4.8891	16.6%	0%
240	-17.5	0.0073	28.363	9.872	0.0073	33.41	8.3807	17.7%	0%
270	0	0	0	-	0	0	-	0%	0%
300	17.5	0.0073	28.363	9.872	0.0073	33.41	8.3807	17.7%	0%
330	30.3	0.0126	49.108	5.7017	0.0125	57.27	4.8891	16.6%	0%
360	35	0.0145	56.725	4.9360	0.0146	66.82	4.1903	17.7%	0.6%

**تحليل الإزاحة:** يبين الشكلان ٦ و ٧ نتائج تحليل الإزاحة تحت ظروف التحميل للمواد الأربعة باستخدام برنامج Ansys. وعلى اعتبار أن الضغط المطبق ٣,٥ Mpa نلاحظ أن المادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ تمتلك أدنى قيمة للإزاحة مقارنة مع المواد الأخرى المستخدمة، إذ تبلغ الإزاحة الأعظمية ٠,٠٠٤١ mm، وتظهر تلك الإزاحة في المنطقة الواقعة بين ثقل التوازن ومنتصف حمل ذراع المكبس، وبناء عليه فإن مادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ هي الأفضل من حيث الإزاحة المتكونة، وفي المقابل فإن المادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ هي الأفضل بعد Aluminum Alloy ٧٤٧٥ حيث تبلغ الإزاحة العظمى ٠,٠١٤١ mm. وفي المقابل ازدادت قيمة الإزاحة لمادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ بمقدار ٣,٠٨ mm. هذه مقارنة مع Aluminum Alloy ٧٤٧٥ بمقدار ٠,٠١ mm (هذه النسبة تشكل ٢,٤٣٪) بينما الإزاحة العظمى في مادة Structural Steel بلغت قيمتها ٠,٠١٤٥ mm، إذ ازدادت قيمة الإزاحة لمادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ بمقدار ٠,٠١٠٤ mm (هذه النسبة تشكل ٢,٥٣٪)، وكذلك ازدادت قيمة الإزاحة لمادة Cast Iron مقارنة مع Aluminum Alloy ٧٤٧٥، إذ تبلغ قيمتها ٠,٠٢٦٣ mm، وقد ازدادت بمقدار ٠,٠٢٢٢ mm (أي تشكل ٥,٤١٪) وهي أعلى قيمة بين المواد كما يبين الجدول ٤. ويبين الجدول ٥ قيم عامل الأمان للمواد المدروسة.

#### تحليل السلوك الاهتزازي

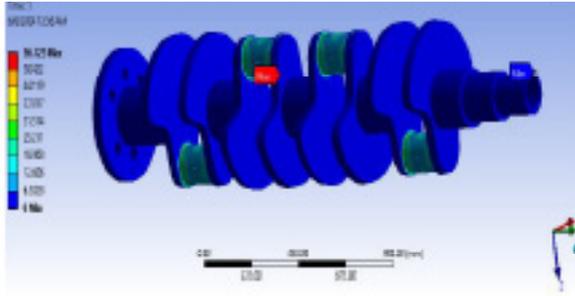
يقصد بالتحليل الاهتزازي دراسة الخصائص الديناميكية للهياكل تحت تأثير التحريض الاهتزازي في عمود المرفق، إذ يجري تشييته من جانبيين فقط كما يبين الشكل ٨ [١]. إضافة إلى ذلك، يعد التفاعل الديناميكي بين المكون والهيكल الداعم له مهماً للغاية،

#### التحليل الثابت:

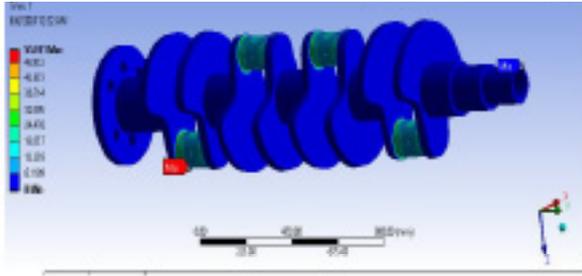
**الإجهاد المكافئ لفون ميسس (Von-mises stress):** يبين الشكلان ٤ و ٥ نتائج التحليل للإجهاد المكافئ Von misses تحت ظروف التحميل للمواد الأربعة المستخدمة في هذا البحث، باستخدام برنامج Ansys، وعلى اعتبار أن حمولة الضغط المطبقة ٣,٥ Mpa، نلاحظ من الدراسة التي تم تقديمها بنمذجة السلوك الميكانيكي لعمود المرفق وبطريقة FE أن عمود المرفق المصنوع من مادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ يمتلك أدنى قيمة للإجهاد المكافئ Von-mises مقارنة مع المواد الأخرى المستخدمة؛ إذ يبلغ الإجهاد الأعظمي ٥٥,٠٧١ Mpa، وبالنتيجة فإن مادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ هي الأفضل من حيث قيمة الإجهادات المتكونة في عمود المرفق، حيث يظهر الضغط الأقصى في المنطقة الواقعة بين حمل عمود المرفق وثقل التوازن، بينما نلاحظ أن المادة Structural Steel هي الأفضل بعد مادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ من حيث قيم الإجهادات المتكونة، إذ يبلغ الإجهاد الأعظمي ٥٦,٧٢٥ Mpa، فقيمة الإجهاد لمادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ قد ازدادت مقارنة مع Aluminum Alloy ٧٤٧٥ بمقدار ١,٦٥٤ Mpa (هذه النسبة تشكل ٣٪)، بينما مادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ بلغت قيمته ٥٧,٢٧٣ Mpa، فقيمة الإجهاد لمادة Aluminum Alloy ٧٤٧٥ قد ازدادت مقارنة مع Aluminum Alloy ٧٤٧٥ بمقدار ٢,٢٠٢ Mpa (هذه النسبة تشكل ٤٪)، كما ازدادت قيمة الإجهاد لمادة Cast Iron مقارنة مع Aluminum Alloy ٧٤٧٥ حيث تبلغ قيمتها ٥٧,٧٩٥ Mpa، ازدادت بمقدار ٢,٧٢٤ Mpa (أي تشكل ٥٪) وهي أعلى قيمة بين المواد كما يبين الجدول ٤ (ملحق).

التحليل الاهتزازي لإيجاد التشوه الكلي في 6 أوضاع مختلفة. والنتائج الحاصلة لقيم التردد والتشوهات الكلية مبينة في الشكل 9، والجداول 6-7-8-9 للمواد المستخدمة في الدراسة، حيث يمكننا ملاحظة أن قيم التردد لمادة Cast Iron منخفضة مقارنة مع بقية المواد المستعملة، حيث أظهرت النتائج أن قيمة التردد لحديد الصب بلغت 165.52 HZ، بينما أظهرت مادة Structural Steel أقل قيمة للتشوه (2.453mm) وذلك عند الوضع 6 بالمقارنة مع بقية المواد المستخدمة في الدراسة.

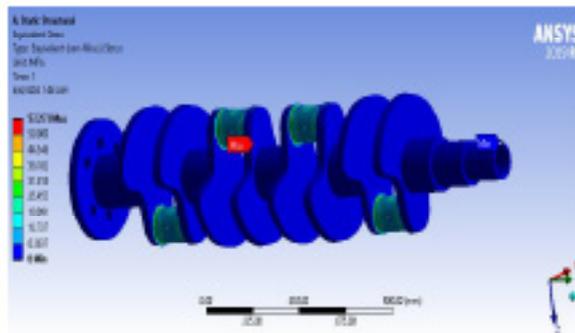
لأن المكون قد يتسبب في تلف هيكلي أو فشل إذا كان التردد الطبيعي للتشغيل الخاص به مماثلاً لأحد الترددات الطبيعية للهيكل، وباستخدام برنامج ANSYS، تم إجراء تحليل مشروط وذلك من أجل العثور على خاصية الاهتزاز لعمود المرفق. وفي المقابل، فإن التردد المنخفض فقط هو المصدر الأكبر لاهتزاز المحرك [8]. ما يعني أن التردد المنخفض المطلوب لعمود المرفق له تأثير أكبر في رد فعل النظام، وبناء عليه فقد تم إجراء



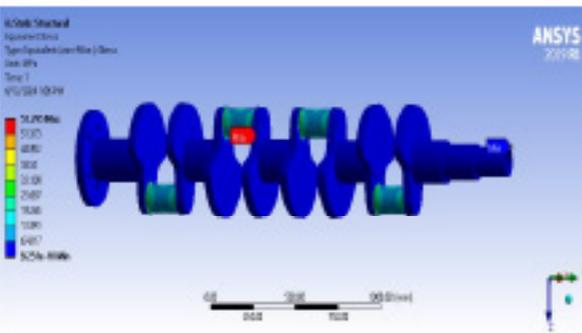
Structural Steel



Aluminum Alloy 7475

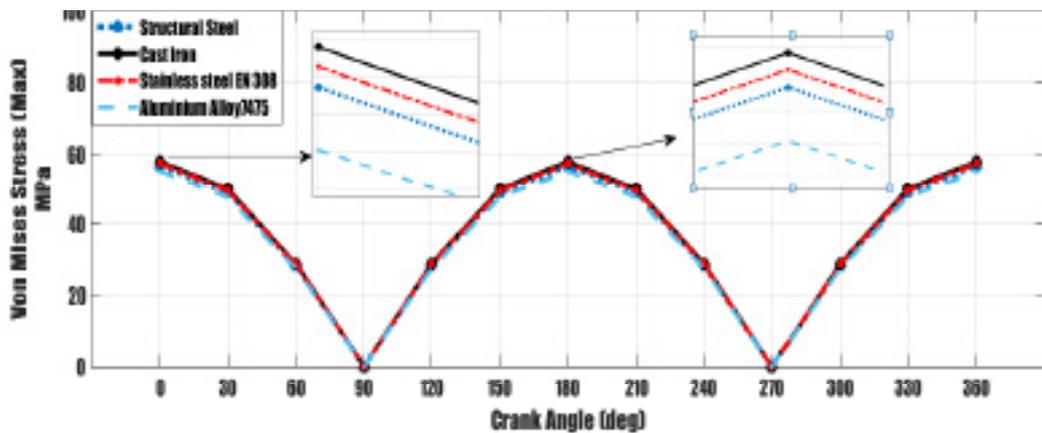


Stainless Steel EN 308

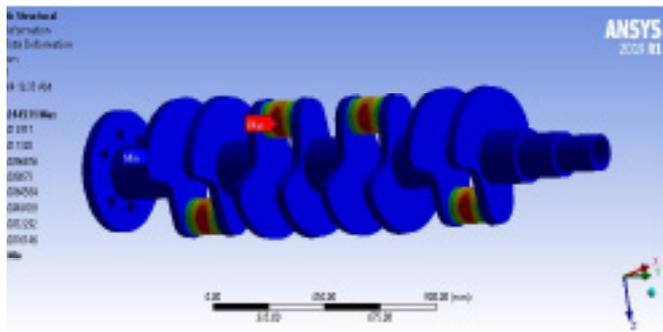


Cast Iron

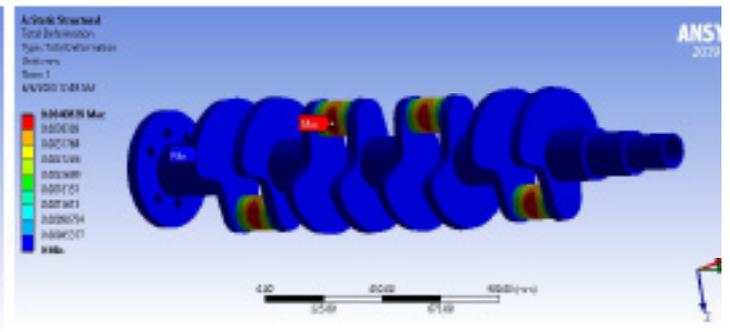
الشكل ٤: نتائج تحليل إجهادات VON-MISES لعمود المرفق



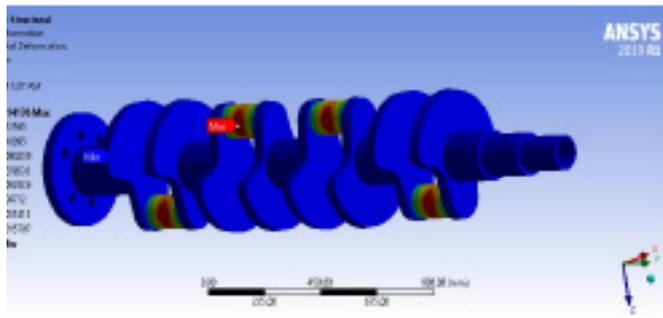
الشكل ٥: إجهاد Von-mises للمواد المدروسة



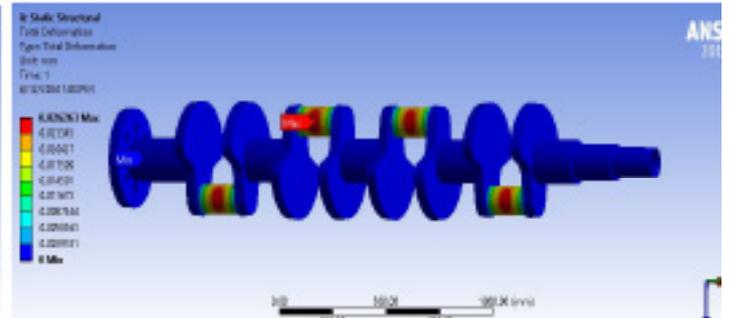
Structural Steel



Aluminum Alloy 7475

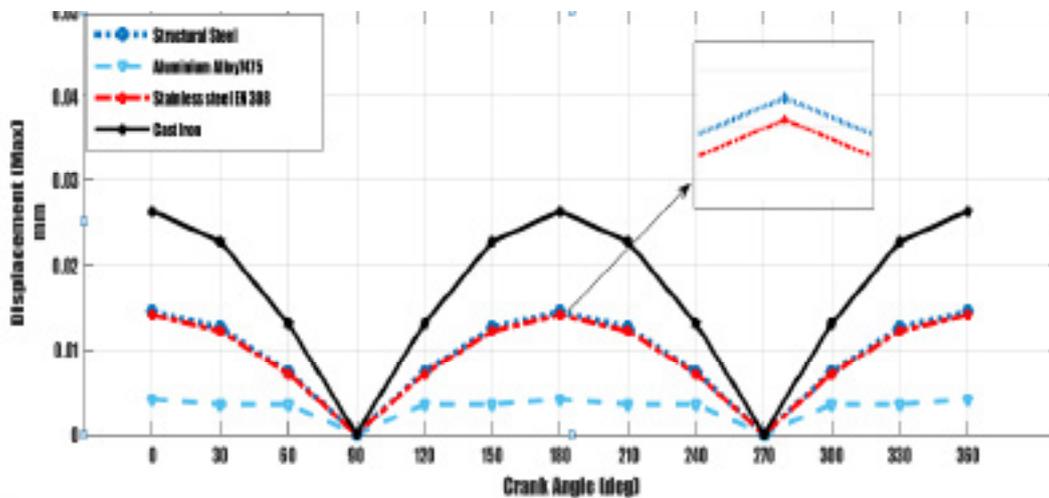


Stainless steel EN 30B

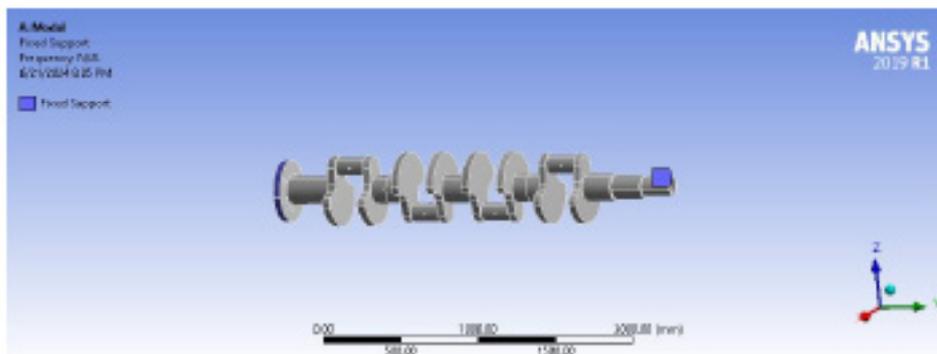


Cast Iron

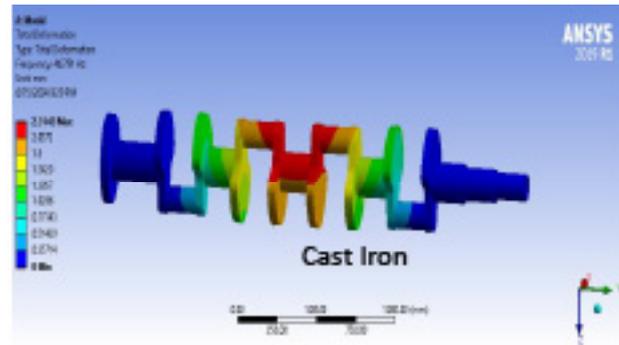
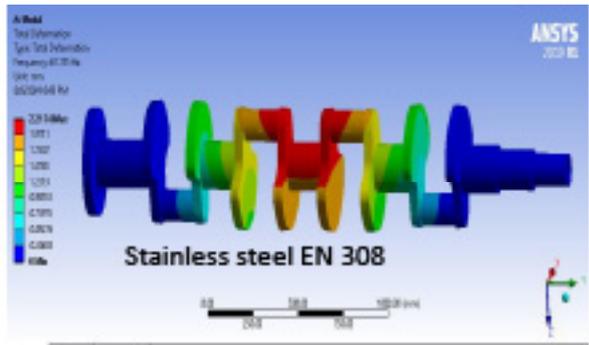
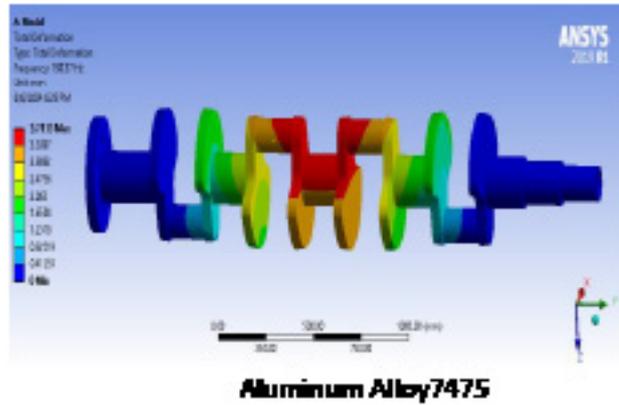
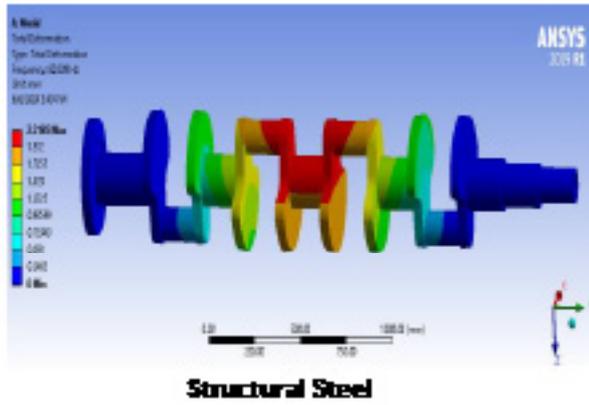
الشكل ٦. نتائج تحليل الإزاحة لاصود المحرك



الشكل ٧. نتائج تحليل الإزاحة للمواد المتروبوطة لاصود المحرك



الشكل ٨: التصريف لتحديد تساوكة الاصطري



النتائج 4- التحليل الاهتزازي للمواد الأربعة

الجدول 8: قيم التردد والتشوه الكلي Cast Iron

Modal orders	Frequency(Hz)	Total Deformation (mm)
1	46.791	2.3143
2	73.654	2.1305
3	82.397	3.4083
4	110.61	3.8606
5	126.43	2.498
6	165.52	2.5615

الجدول 5: عامل الأمان للمواد المدروسة

Crank Angle (Deg)	Pressure (bar)	material	Safety factor
0	35	Structural Steel	4.9360
		Aluminum Alloy7475	8.897
		Stainless steel EN 308	4.1904
		Cast Iron	3.8065

الجدول 9: قيم التردد والتشوه الكلي Stainless steel EN 308

Modal orders	Frequency(Hz)	Total Deformation (mm)
1	61,110	2.2174
2	96,447	2.0404
3	107,91	3.2643
4	144,19	3.6994
5	160,13	2.395
6	216,76	2.4531

الجدول 6: قيم التردد والتشوه الكلي Structural Steel

Modal orders	Frequency(Hz)	Total Deformation (mm)
1	60.309	2.2185
2	95.419	2.0404
3	106.77	3.2644
4	142	3.7015
5	162.94	2.3977
6	214.46	2.453

الجدول 7: قيم التردد والتشوه الكلي Aluminum Alloy7475

Modal orders	Frequency(Hz)	Total Deformation (mm)
1	190.37	3.7133
2	303.58	3.4104
3	339.74	5.4568
4	445.53	6.1975
5	514.22	4.021
6	682.46	4.0997

### المناقشة

تعمل طريقة العناصر المنتهية (FEM) كتقنية عددية كفوءة، تستخدم على نحو فاعل في التحليلات الرقمية المعقدة. في إطار البحث المستمر عمل الباحثون على تطوير آلية عمل عمود المرفق وتحسين أدائه وزيادة إنتاجيته مع تخفيف في الوزن. حيث قام K.SANDYA وآخرون [14] بدراسة عمود المرفق وذلك عند تغير زوايا الضغط، حيث تم التأكد من صحة التصميم المقدم في هذا البحث بالمقارنة مع النتائج المقدمة في المرجع [14]، حيث تبين أن قيم الإجهادات والإزاحة في هذا البحث

تظهر قيم منخفضة مقارنة مع بقية مواد التصنيع. تعتبر مادة Cast Iron هي الأفضل من ناحية القيم المنخفضة للترددات الاهتزازية بينما أظهرت Structural Steel قيم منخفضة جداً للتشوهات الكلية الناتجة تحت تأثير الحمل المطبقة. وبناء على النتائج الحاصلة في هذا البحث واختلاف السلوك الميكانيكي لكل مادة، يمكننا القول بأن تطوير مادة جديدة ذات كثافة منخفضة وخصائص ميكانيكية جيدة للحصول على أفضل إنتاجية وطاقة عالية وتقليل إجهادات الالتواء والانحناء، من جهة، وإدخال دراسة جديدة لتطوير تصميم عمود المرفق لتأمين أفضل إنتاجية للمحرك ومردود عالي، من جهة أخرى، هو مستقبل هذا العمل.

### المراجع

1. Asiri S. "Modeling and Analysis of Automotive Engine Crankshaft Made of Composite and Functionally Graded Materials", Hindawi Advances in Materials Science and Engineering, 2022 VOL Article ID 4005368, p 15 doi.org/4005368/2022/10.1155.
2. Zhu S, Cong J, Yuan W, Guo Q, Yao X, Chi B, Yan A. "Simulation of heavy-duty crankshaft sub-dynamics and experimental study of wear mechanisms". Materials today, vol 36 August ,2023 106826.
3. Naveen R, M. "Crank Shaft Design And Thermal Analysis Of Forged Steel And Metal Matrix Composite Materials Using ANSYS". International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management, and Research, Srikanakulam, India, 2015Vol. 2 138-132,12.(.
4. Pravardhan S . Shenoy, "Dynamic load analysis and optimization of connecting rod", published by AISI, University of Toledo, 2004, VOL 60-56 ,4.
5. Fatemi A, Williams J and Montazersadgh F, "Fatigue Performance Evaluation of Forged Steel versus Ductile Cast Iron Crankshaft: A Comparative Study", Engineering Materials Science University of Toledo, 2007.Vol (5) 21 DOI:1001-200701/10.4271.
6. Yingkui GU, Zhibo Z . "Strength analysis of diesel engine crankshaft based on PRO/E and ANSYS", Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, Print ISBN: -978 2011 3-9010-4244-1, DOI: 10.1109/ICMTMA .2011.661.
7. Ramani hB, Kumar N, Kasundra P.M – "Analysis of Connecting Rod below Different Loading Condition Using Software". International Journal of Engineering Research & Technology 2005 (IJERT).Vol 1, P 5-1.
8. Patel K . "Fatigue and modal analysis of Crankshaft using ANSYS software". ISME 2019, vol. 214, no.3: p. 430-413.
9. Kurbet SN, Kuppast V V, Basavaraj Talikoti, "Material testing and evaluation of crankshafts for structural analysis", Materials Today: Proceedings, Vol 34, Part 2,2021, Pages 562-556.
10. Shahan V. "Optimization of the crankshaft using finite element analysis Approach". Springer International Publishing Switzerland 2017, Vol. (2).1,23.
11. Sandeep, A. "Theoretical modeling and analysis of a four-wheeler crank shaft different aluminum alloys". Journal homepage:elsevie com/locate/matpr2020 DOI.ORG/10.1016/J. MATPR.08.560
12. Witek L ; Stachowicz,F. "Failure investigation of the crankshaft of diesel engine". Procedia Structural Integrity, 2017, Vol. 376-4.7,369
13. Karthick L, Mallireddy N, Yogaraja J., "Modelling and Analysis of an ENS crankshaft material in comparison with Forged steel crankshaft", Materials Today: Proceedings ,2021, DOI: 10.1016/j.matpr.2021.05.079.
14. Sandya K, M Keerthi, Srinivas K, - "Modeling and stress analysis of crankshaft using fem package ANSYS" 2016 Vol (1) 3 IRJET, 693 -687..
15. Kurbet N . "Material testing and evaluation of crankshafts for structural analysis". Materials Today.Proceedings, 2020. DOI. ORG /10.1016 /J. MATPR .03.112
16. Magryta P , Pietrykowski K and. Skiba K. "FEM simulation research of natural frequency vibration of the crankshaft from the internal combustion engine". ITM Web of Conferences - 15 2017 CMES'17- DOI: 10.1051/itmcont/20171507004
17. Shariffudin K A., Karuppanan S and Patil S. S. "Finite element analysis of residual stress in a cold expanded plate with different thickness and expansion ratio"- IOP Publishing. 2017
18. Reddy AB and, Sreenivasulu R. "Design and Vibration Mode

هي الأمثل، من خلال انخفاض النسبة المئوية للإجهاد الأعظمي لفون ميسس بنسبة تصل إلى 17,7% والإزاحة إلى 0,6%، ويعود ذلك إلى شكل التصميم المطور والمقدم في دراستنا من خلال الأخذ بعين الاعتبار فتحات التزيت ضمن المادة نفسها. بالمقابل تم التأكد من عامل الأمان في التصميم، حيث أظهرت النتائج بأن التصميم المعتمد في هذا البحث يقدم عامل أمان أكبر مقارنة مع الدراسات المرجعية، حيث أن قيم الإجهادات الأعظمية الناشئة في النقاط الأخطر لعمود المرفق تبقى ضمن حدود أمان وأصغر من قيمة إجهاد الخضوع لجميع المواد المستخدمة في الدراسة. إن الهدف الأساسي للدراسات الميكانيكية يكمن في تحسين جودة اختيار المواد بهدف تحقيق إنتاجية عالية وفعالة في نقل الطاقة، حيث تعتبر المتانة من المتطلبات الرئيسية لضمان تحقيق استمرارية في ظروف التشغيل المناسبة، حيث أظهرت النتائج المقدمة من قبل A. Sandeep وآخرون [11]، أن مادة Aluminum Alloy 7075 هي الأفضل تشغيلياً، بالإضافة لذلك قام G. Gopal وآخرون [19] بمقارنة مادة Aluminum Alloy مع مادة Stainless steel EN 308 حيث تبين أن مادة الألمنيوم هي الأفضل من حيث قيم الإجهادات والإزاحة، بالمقابل لذلك، أظهرت النتائج المقدمة في هذا البحث أن مادة Aluminum Alloy 7075 هي الأفضل مقارنة مع المواد المدروسة، من حيث قيم الإجهادات والإزاحة ويمكن تفسير ذلك بالاعتماد على التركيب البنوي لهذه المادة الذي يتميز بنسبة وزنية عالية من الزنك، كما أن هذه المادة تحتوي على المغنيسيوم والسيليكون والكروم، مما يسبب مقاومة جيدة. من ناحية دراسة السلوك الاهتزازي، قام S. Asiri وآخرون [1] بدراسة مجموعة مختلفة من المواد من أجل إيجاد المادة المناسبة والتي تكون قادرة على تجنب الفشل قدر الإمكان تحت تأثير السلوك الاهتزازي، وأظهرت النتائج أن التردد الطبيعي لمادة Structural Steel يبلغ قيمة وقدها 329,31 Hz بينما تصل قيمة التشوه الكلي إلى 9,30 mm في الموضع الأول، حيث نلاحظ ضمن النتائج التي أظهرها البحث لدينا لنفس المادة أن قيمة التردد لهذه المادة 60,309 Hz بينما كانت قيم التشوه الكلي 2,2185 mm، مما يشير إلى انخفاض ملموس وهام في قيم كل من التردد والتشوه الكلي في تصميمنا ، من جهة أخرى، تظهر مادة Cast Iron قيماً منخفضة في التردد مما يشير إلى أنها الأفضل مقارنة مع المواد المدروسة من ناحية مقاومة السلوك الاهتزازي، وذلك بسبب خصائصها البنوية والميكانيكية، كما نلاحظ بأن قيم التشوه الكلي لمادة Structural Steel هي الأقل، مما يتيح لنا الاختيار الأفضل للمادة الواجب استخدامها في صناعة عمود المرفق وذلك بهدف زيادة عمر عمود المرفق وتحسين إنتاجية أداء المحرك في جميع الظروف.

### الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تقديم دراسة تحليلية لتأثير نوع المادة المصنوع منها عمود المرفق على السلوك الستاتيكي والديناميكي، من خلال دراسة قيم الإجهادات والإزاحات الناشئة في عمود المرفق من جهة، والسلوك الاهتزازي من جهة أخرى وذلك باستخدام طريقة العناصر المنتهية تحت تأثير شروط التحميل، ومن خلال النتائج التي تم الحصول عليها، يمكننا أن نستنتج الآتي:

- تمت مقارنة التصميم الحالي مع التصميم المقدم في الدراسات المرجعية من حيث الإجهادات والإزاحة ومقارنة النتائج للمادة الأكثر استخداماً في عملية التصنيع، إذ تبين بأن التصميم الأمثل هو التصميم الحالي، حيث انخفضت قيم الإجهاد بمقدار 17.7% وأن التصميم الحالي أكثر أماناً.
- تعتبر مادة Aluminum Alloy 7475 هي الأفضل من ناحية قيم الإجهادات والإزاحة حيث

Analysis of Crank Shaft for Four Stroke Single Cylinder Petrol Engine 2016 Akgec” international journal of technology, Vol. 6, No. 2.P61-50.

19. Gopala G, Kumarb L. S, Reddy K V, Raod M, Srinivasulue G – “Analysis of Piston, Connecting rod and Crank shaft assembly”. Materials Today: Proceedings-2017,Dol. 7819-7810 2017 4.

التمويل: لا يوجد.

مساهمات المؤلفين: البرمجيات، والتحليل الرسمي، والتحقق من

صحة البيانات، والكتابة: محسن عدرة - ثائر عثمان.

تضارب المصالح: يعلن المؤلف أنه ليس لديه أي مصالح متضاربة.

توافر البيانات والمواد: جميع البيانات متوفرة في النص الرئيس.