A Computer Aided Study of the Vehicle's Suspension System and a Determination of its Optimal Specifications

Dr. Samir Kafa [*]
Dr. Raed Al-Naggar [**]
Fadi Tahhan [***]

(Received 29 / 12 / 2019. Accepted 14 / 6 / 2020)

□ ABSTRACT □

This study describes the analysis of a suspension system and its upper and lower arm with a spring. The analyses are performed using Autodesk Inventor Professional software package to determine the stress behavior during the course of operation for the components of the suspension system.

The suspension is considered one of the important component parts of the vehicle and it is directly affect safety, performance, noise level and driving comfort. The primary aim of this study is to minimize the applied load on the suspension system in order to limit the build-up stresses during the course of operation.

Moreover, the stress created by the road is directly related to the lower arm of the suspension system. Therefore, this study investigates the parameters for the ideal design of the suspension system to minimize the impact of stresses that are imposed by the road.

To analyze stresses, the loading conditions for the lower and upper arms should be determined beforehand. Therefore, a double wishbone suspension system model is used for analysis where the obtained results are used for identifying the dynamic status of the lower and upper arms when the system is in operation.

Keywords: double wishbone, suspension system, lower arm, upper arm and spring.

[*] **Professor, Department of Design and Production, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

[**] **Associate Professor, Department of Design and Production, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University. Lattakia, Syria.**

[***] **Postgraduate Student (Ph.D.), Department of Design and Production, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University. Lattakia, Syria**

دراسة نظام التعليق في المركبة بمساعدة الحاسوب وإيجاد مواصفاته المثلى

د. سمير كفا*

د. رائد النجار**

فادي طحان***

(تاريخ الإيداع 29 / 12 / 2019. قُبِل للنشر في 14/ 6 / 2020)

□ ملخّص □

تصف هذه الدراسة تحليل نظام التعليق وذراعه السفلى والعلوي مع النابض.

تم انجاز التحليل بمساعدة Autodesk Inventor Professional وذلك لتحديد سلوك الإجهاد أثناء عمل مكونات نظام التعليق.

يعتبر نظام التعليق واحداً من أهم مكونات المركبة، ويؤثر مباشرة على السلامة والأداء ومستوى الضوضاء والأناقة.

إن الهدف الرئيسي من الدراسة هو أن يكون التحميل المطبق على نظام ذراع التعليق

أقل ما يمكن، وذلك للحد من الاجهادات الناشئة أثناء التشغيل.

وجدير بالذكر أن الاجهادات التي تتولد عن طبيعة الطريق ترتبط بشكل مباشر بالفخذ السفلي في نظلم التعليق حيث سيتم البحث عن تحديد قيم التصميم الأمثل لنظام التعليق لتقليل القوى الناشئة عن طبيعة الطريق.

لتحليل الاجهادات، يجب أن تكون حالة تحميل نظام ذراع التعليق السفلي والعلوي محددة مسبقا. وبالتالي، فإن موديل نموذجي لنظام تعليق الفخذ المزدوج Double Wishbone تم اختياره للتحليل، حيث يتم استخدام هذه القيم لتحديد الحالة الديناميكية لنظام تعليق الذراع السفلى والعلوي أثناء عملهم.

الكلمات المفتاحية: نظام التعليق المزدوج المستقل، الفخذ السفلي، الفخذ العلوي، النابض.

* **أستاذ – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

** **أستاذ مساعد– قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

*** **طالب دراسات عليا (دكتوراه)– قسم التصميم والانتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمـــــــــة:

إن المركبات الصالحة للسير فوق جميع أنواع الطرقات لابد أن تمتلك مجموعة أنظمة مختلفة تهدف إلى إثراء الأداء وتوفير الراحة للسائق والركاب. وتشمل هذه الأنظمة المختلفة الأجزاء التالية: الهيكل، نظام التوجيه، نظام التعليق، نظام الكبح ومجموعة الحركة. وجميع هذه الأنظمة المذكورة أعلاه مترابطة وتعمل معاً على التوازي. وقد يؤدي فشل نظام واحد أو جزء منه إلى وفاة الركاب والسائق.

إن نظام تعليق المركبات الصالحة لجميع الطرقات هو النظام الأكثر أهمية الذي يجب أن يعنى بتصميمه لأنه المسؤول عن تحسين استقرار وراحة الركاب والسائق وهو عموماً يصمم ليعمل بشكل متوازي مع نظام التوجيه بالمركبة.

1- نظام التعليق:

نظام التعليق هو واحد من أهم مكونات السيارة، والتي تؤثر بشكل مباشر على السلامة والأداء ومستوى الضوضاء والأناقة. ويسمح نظام التعليق المستقل لأي عجلة بالحركة الرأسية دون أن يؤثر ذلك على العجلة الأخرى. تُستخدم أنظمة التعليق هذه أساساً في سيارات الركاب والشاحنات الخفيفة كما أنها توفر مساحة أكبر للمحرك، ولديها أيضا مقاومة أفضل لاهتزازات التوجيه. والأنواع المختلفة لنظام التعليق المستقل هي [1]

- ✓ تعليق المحور البديل Swing Axle.
- ✓ تعليق Strut ماكفيرسون Mac-Pherson.
- ✓ نظام تعليق Double Wishbone .
- ✓ تعليق Trailing Arm.
- ✓ تعليق Semi-trailing.
- ✓ تعليق النابض الصفيحي المستعرض Transverse Leaf Spring.

من بين جميع أنظمة التعليق المستقلة المذكورة أعلاه، يعد "نظام تعليق الفخذ المزدوج Double Wishbone " النظام الأكثر استخداماً في سيارات الركوب والأهم من ذلك هو نظام التعليق الصالح لجميع أنواع الطرقات.

أهمية البحث وأهدافه:

وتتلخص في النقاط التالية:

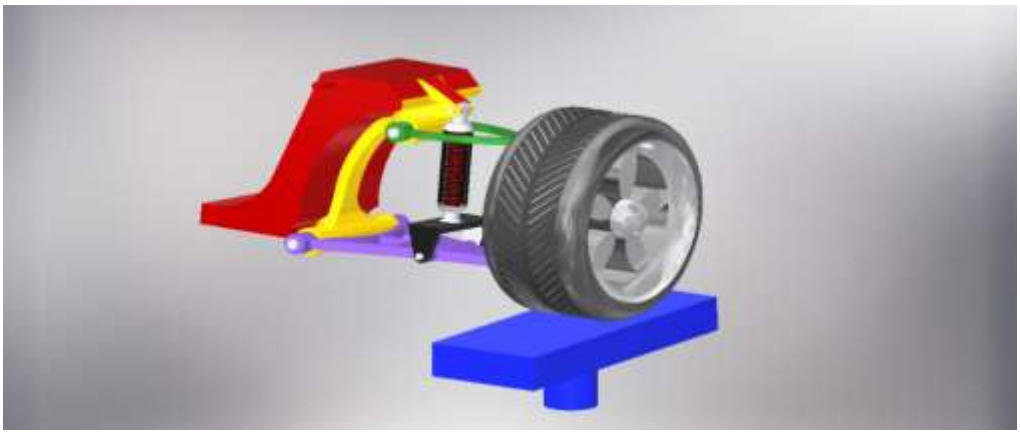
- ✓ توفير أكبر حركة للتعليق.
- ✓ الحد من الكتلة غير المرتدة للمركبة.
- ✓ الارتقاء بأداء نظام التعليق في السيارة إلى حده الأقصى.
- ✓ الحصول على أفضل قيادة للمركبات أثناء المنعطفات.

ويتم تحقيق ذلك بتعديل نظام التعليق ومحاولة الوصول إلى تصميمه الأمثل من خلال خفض الوزن والتكلفة للفخذ بشكل خاص، وللنظام ككل بشكل عام. وأيضاً محاولة استخدام نابض عرضي لإنقاص وزن مجموعة التعليق.

طرائق البحث ومواده:

1. نظام تعليق الفخذ المزدوج Double Wishbone:

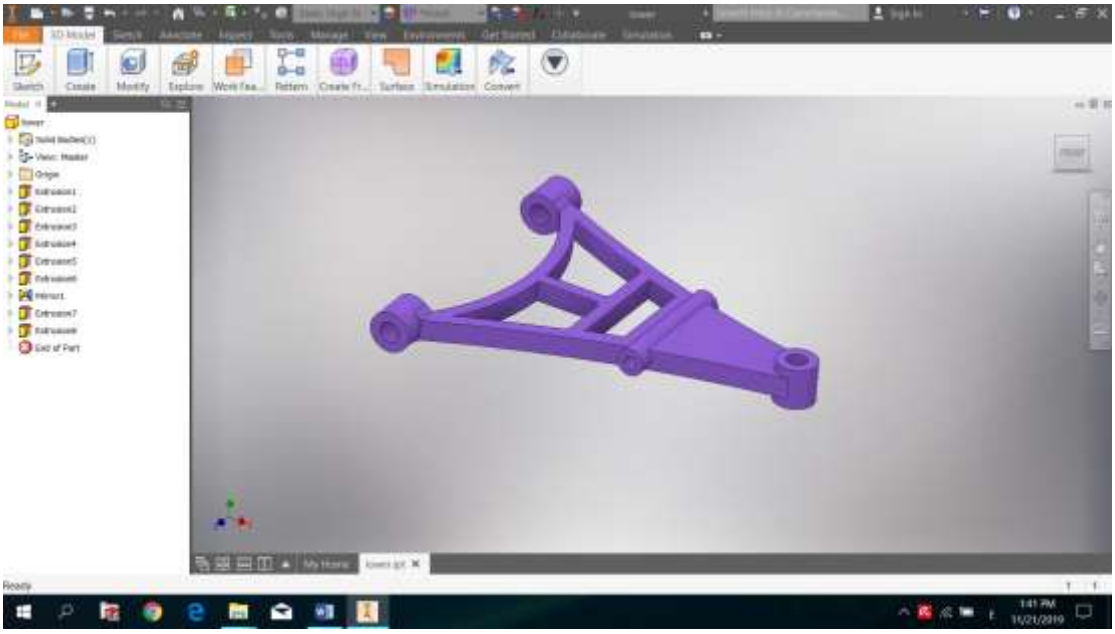
يتكون "نظام تعليق الفخذ المزدوج Double Wishbone System من ذراعين للتحكم الأفقي (الذراع العلوي والذراع السفلي) واللذين يكونان عادة غير متساويين في الطول جنباً إلى جنب مع نابض حلزوني ومخمد للصدمات. وهو يحظى بشعبية كتعليق أمامي مستخدم في غالبية المركبات ذات الدفع الخلفي ، يلعب تصميم هندسة نظام تعليق الفخذ المزدوج جنباً إلى جنب مع تصميم النابض والمخمد دوراً هاما جداً في الحفاظ على استقرار المركبة[1]. يوفر هذا النوع من نظام التعليق زيادة كسب الميلان السلبي وصولاً إلى ارتداد كامل للانتقال الشاقولي خلافاً لـ Mac– Strut Pherson. كما أنه يتيح سهولة تعديل معيار العجلة مثل الميلان. وقد حقق نظام تعليق الفخذ المزدوج خصائص ديناميكية متفوقة، فضلاً عن إمكانيات معالجة التحميل[2]. كماهو مبين بالشكل /1/.



الشكل /1/ ويبين نظام التعليق ذو الفخذ المزدوج المنمذج حاسوبياً Double wishbone system

1.1. تصميم الفخـــذ DESIGN OF WISHBONES :

يُعد تصميم الفخذ WISHBONE الخطوة الأولى لتصميم نظام التعليق وهو مبين في الشكل المرفق /2/. في البداية يتم تحديد المواد باستخدام مفهوم بوغ للتحسين. واستناداً إلى خصائص المواد المختارة، يحسب الإجهاد المسموح به باستخدام نظرية إجهاد الفشل على القص. يتحدد مركز اللفة من أجل العثور على طول قضبان التعادل tie–rod. ويتم تصميم الفخذ ومن ثم يجري تحليله باستخدام برمجيات CAD /Inventor/ لإيجاد قيمة الإجهاد والانحراف الأعظميين المؤثرين على الفخذ.



الشكل /2/ ويبين الفخذ السفلي Lower Wishbone المنمذج حاسوبياً

2.1. اختيار مواد صنع الفخذ Material Selection of Wishbone

أصبح الاهتمام بنوع مواد الفخذ وتركيبه هو الأكثر أهميةً للتصميم والتصنيع. حيث يجب أن تملك مقاومة جيدة بما يكفي لتحمل جميع الأحمال المطبقة عليه في ظروف ديناميكية. كما يعتمد اختيار المواد أيضاً على عدد من العوامل مثل محتوى الكربون، خصائص المواد، والتوافر والمعيار الأكثر أهمية وهو التكلفة[3] .

في البداية، يتم تجريب المواد الثلاثة التالية استناداً إلى توفرها في السوق وهي: المبينة في الجدول /1/. وباستخدام مفهوم البحث عن التصميم الأمثل تم اختيار المعدن المناسب للفخذ. كانت المعايير الرئيسية هي الحصول على مقاومة أفضل للمادة وتقليل الوزن جنباً إلى جنب مع التكلفة للوصول إلى التصميم الأمثل للفخذ.

الجدول /1/. يبين خصائص المواد المختارة

Material Name	Poisson's Ratio (ul)	Young's Modulus (GPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)
Steel	0.3	210	345
Steel High Strength	0.287	200	448
Steel, Carbon	0.29	200	420

2. حساب الإجهاد Stress Calculation:

يتم الحصول على الإجهاد المسموح به للمواد اللدنة بالعلاقة التالية [4]:

$$\sigma = \frac{S_{yt}}{fs} \qquad (1)$$

وبفرض عامل الامان، fs = 1.2 (طالما أن المعادن المختارة مواد لدنة). [5]

$$\sigma = \frac{448}{1.2} = 373.33 \text{ MPa} \qquad (2)$$

وهي قيمة الإجهاد المسموح به في الفخذ. يكون الفخذ المصمم آمناً عندما يكون الاجهاد المطبق أقل من قيمة الإجهاد المسموح به. ويتحدد الاجهاد المطبق باستخدام برنامج التحليل بالعناصر المنتهية ومساعدة Autodesk Inventor Professional 2019.

2- تحليل الفخذ ANALYSIS OF WISHBONES:

إن التحليل بمساعدة برنامج الانفنتور أمر ضروري لتحديد الضغط الأقصى الناشئ وأيضاً الانحراف الأقصى الذي يصيب الفخذ.

للتحليل، أولاً ـ يتم نمذجة الفخذ بمساعدة البرنامج Autodesk Inventor Professional 2019.

2.1 النمذجة بمساعدة الـ Inventor:

يعتبر الـ Inventor برنامج نمذجة هندسية يسمح بنمذجة ثلاثية الأبعاد 3D ورسم العناصر2D. ومن أجل القيام بتحليل الفخذ من الضروري نمذجته في أي من برامج التصميم مثل:

Pro-Engineers ، Catia أو Solid Works أو Inventor .... إلخ.

تم اختيار برنامج Autodesk Inventor Professional 2019 لتنفيذ النمذجة والتحليل بالعناصر المنتهية وتبين الأشكال /4، 5/ الفخذ السفلي والفخذ العلوي لنظام التعليق.

الشكل /4/ ويبين الفخذ السفلي Lower Wishbone المنمذج حاسوبياً

الشكل /5/ ويبين الفخذ العلوي Upper Wishbone المنمذج حاسوبياً

2.2 التحليل في Autodesk Inventor Professional 2019.

للبدء في التحليل البنيوي في Inventor ، ينبغي تعريف الشروط الحدية boundary conditions وحالات التحميل لتحديد قيم الإجهاد والانحراف الأعظمين للفخذ.

إن حالات التحميل والشروط الحدية للتحميل الستاتيكي للعربة يؤخذ بفرض أن وزن العربة هو تابع لمركز جاذبيتها، وعليه فإن ما يقرب من 39٪ من وزن جسم العربة كله يقع على العجلات الأمامية و61٪ من الوزن المتبقي يقع على العجلات الخلفية[4] .

وبالتالي تكون ردود الافعال كما يلي:

$$R_1 = 0.39\ G$$
$$R_2 = 0.61\ G$$

وتصبح المعادلة:

$$R_1\, S_1 = R_2 S_2$$

وكما نعلم أن:

$$S = S_1 + S_2$$

وبتطبيق معادلة التوازن على العجلات الامامية والخلفية:

$$G_{FA} = G\frac{S_2}{S}$$
$$G_{RA} = G\frac{S_1}{S}$$

وعليه تكون الحمولة الستاتيكية على العجلة الامامية تعطى بالعلاقة التالية:

$$G_{FAW} = \frac{G_{FA}}{2}$$

حيث أن:

G – وزن العربة (السيارة) المطبق في مركز ثقلها.

R_1– رد الفعل على العجلات الأمامية.

R_2 – رد الفعل على العجلات الخلفية.

S_1 – المسافة بين مركز ثقل العربة والمحور الأمامي.

S_2 – المسافة بين مركز ثقل العربة والمحور الخلقي.

S– المسافة الكلية بين العجلات.

G_{FA}– الحمولة على المحور الأمامي للعربة.

G_{RA}– الحمولة على المحور الخلفي للعربة.

G_{FAW}– الحمولة المطبقة على عجلة واحدة من المحور الأمامي للعربة.

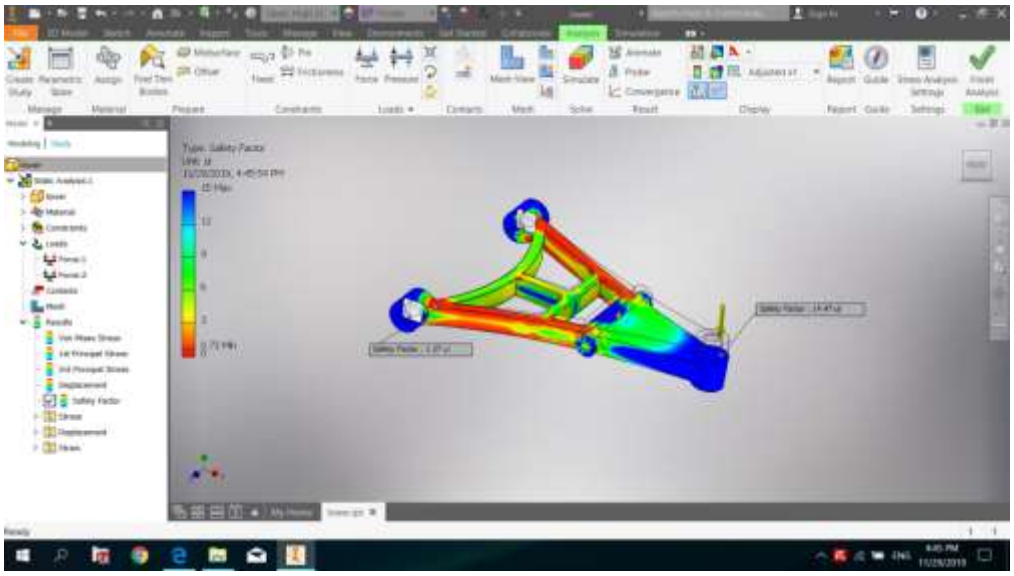
وبناءً على ما ذكر أعلاه يتم حساب الحمولات وتدرج في الجدول /3/ المرفق وهي معايير الإدخال للحالة (Input parameter) كما يلي:

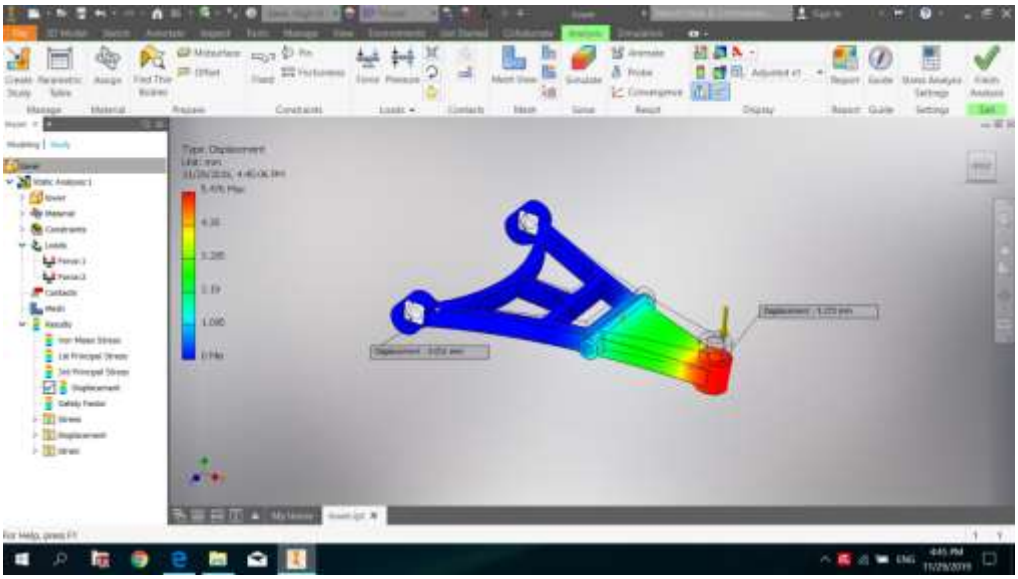
الجدول /3/. ويبين قيم ادخال بارامترات تحليل الفخذ السفلي

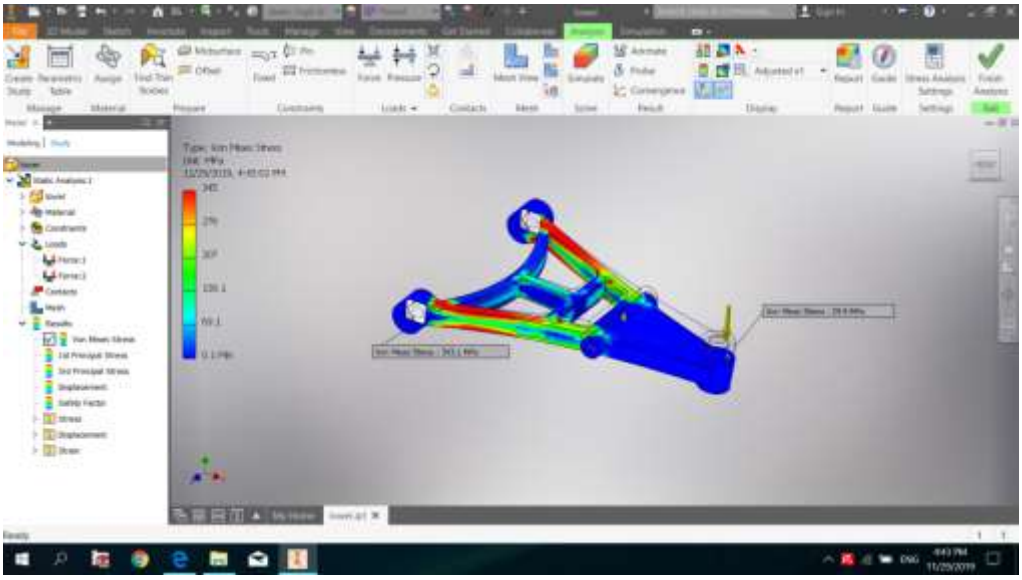
قيم بارامترات الادخال	
الحمولة الشاقولية	3000 (N)
قوة دفع النابض	1500 (N)

تم تطبيق الشروط المذكورة أعلاه لتحليل الفخذ السفلي بمساعدة العناصر المنتهية وبرنامج الـ Inventor على كل المعادن الواردة بالجدول /1/ وكان المعدن المحقق لخيار الأمثلية هو Steel High Strength لذلك تم اعتماده.

أما نتائج التحليل للفخذ السفلي فهي مبينة بالأشكال /6/ وتضم قيم الاجهاد Von misses Stress و الانتقال Displacement و عامل الأمان Safety Factor.







الشكل /6/ ويبين نتائج تحليل الفخذ السفلي في Inventor.

3.2 نتائج تحليل الفخذ السفلي Results of Analysis of Lower Wishbones: وندرج فيما يلي أدناه في الجدول / 4 / نتائج تحليل الفخذ السفلي في Inventor للمعدن المختار Steel High Strength .

الجدول /4/. ويبين نتائج تحليل الفخذ السفلي

البارامترات	القيمة
الاجهاد الأعظمي المطبق	343.1 MPa
الإزاحة الأعظمية	5.272 mm
معامل الأمان	1.27>1.2
الاجهاد المسموح به	373.33 MPa

مما سبق يلاحظ بأن قيمة الإجهاد الأقصى في الفخذ أقل مقارنةً بقيمة الإجهاد المسموح به وعليه نعتبر الفخذ آمناً.

3- تصميم النابض DESIGN OF SPRING:

النابض جسم مرن يستخدم لتخزين الطاقة الميكانيكية. عادة ما تكون النوابض مصنوعة من الفولاذ النابضي. عند ضغط النابض أو تمديده، تكون القوة التي يفرضها متناسبة لتغيير طوله. يكون معدل أو ثابت النابض هو التغير في القوة التي يفرضها، مقسوماً على التغير في انحراف النابض[6] .

يستخدم النابض بهدف امتصاص الصدمات وتوفير حركة ارتداد لتحقيق راحة أفضل للركاب.

1.3 الاعتبارات التصميمية في تصميم نابض:

- الكتلة المرتدة = 240 Kg
- الكتلة غير المرتدة = 80 Kg

- إزاحة العجلة = 228 mm (9 بوصة)
- نسبة الحركة = 0.46

2.3 مواصفات النابض Specifications of Spring:

وهي موضحة بالجدول /5/ التالي:

الجدول /5/. ويبين قيم ادخال بارامترات مواصفات النابض

البارامترات	القيمة
ازاحة النابض	105.156 mm
قطر سلك النابض	8 mm
قطر اللفة في النابض	64 mm
عدد اللفات في النابض	11 فعال + 2 غير فعالين
طول النابض المضغوط	104 mm
طول النابض الحر	245.15 mm

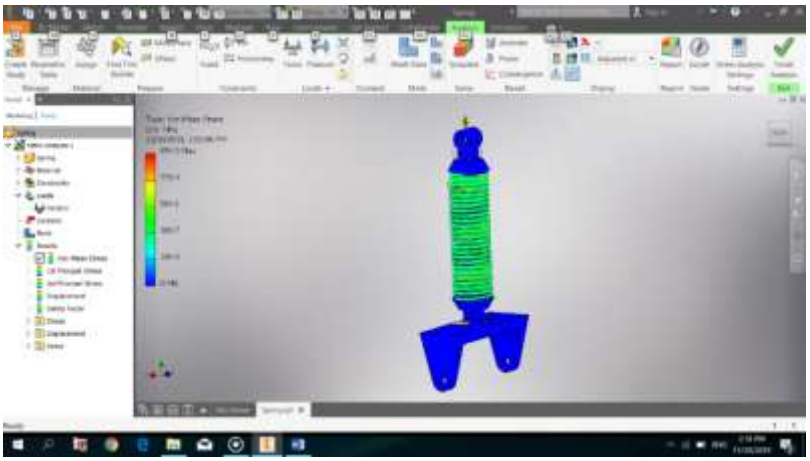
3.3 تحليل النابض Analysis of Spring :

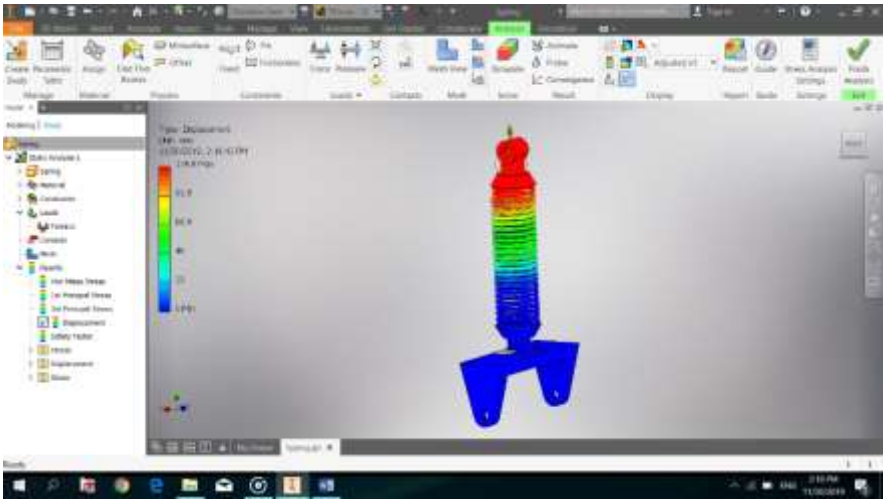
ويتم تحليل النابض في برنامج التحليل Inventor بغية تحديد الانحراف الأقصى الفعلي المقابل للقوة القصوى للنابض. وأيضاً يتم تحديد قيمة الإجهاد الأقصى المقابلة لقوة النابض القصوى مبينة في الأشكال /7/.

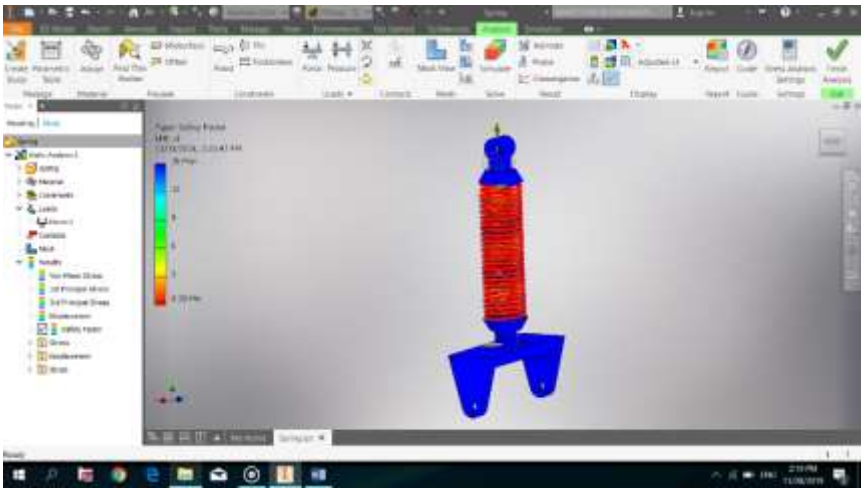
في تحليل النابض، يتم تثبيت طرف النابض ويتم تطبيق تحميل عمودي على الطرف الآخر. وعليه يتضمن الجدول التالي /6/ نتائج تحليل النابض .

الجدول /6/ ويبين نتائج تحليل النابض.

البارامترات	القيمة
القوة العظمى	1500 N
الارتداد الأقصى	106 mm
الاجهاد الأعظمي	967.32 MPa



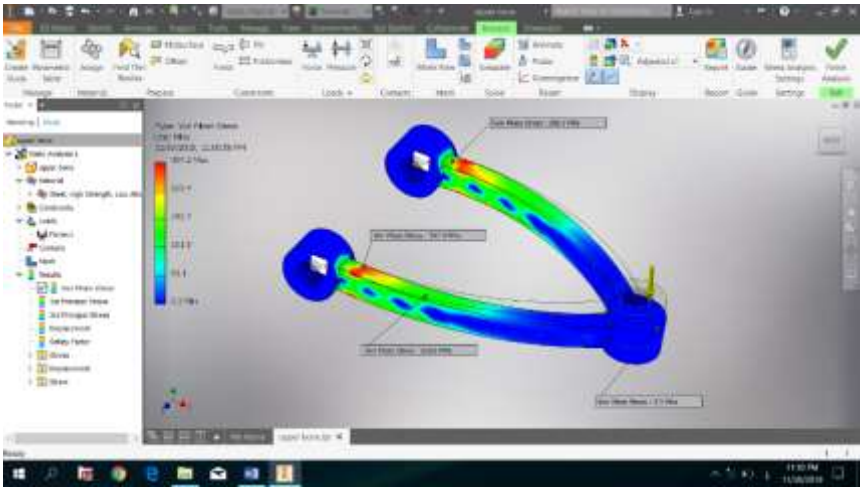


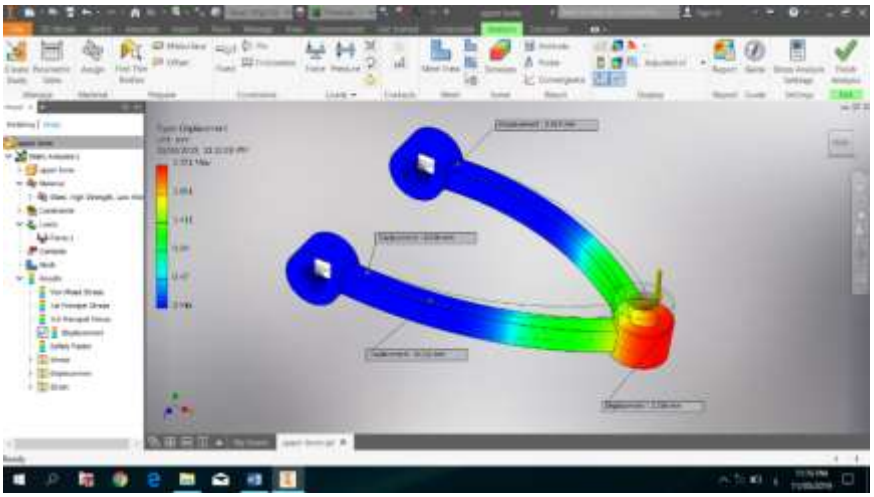


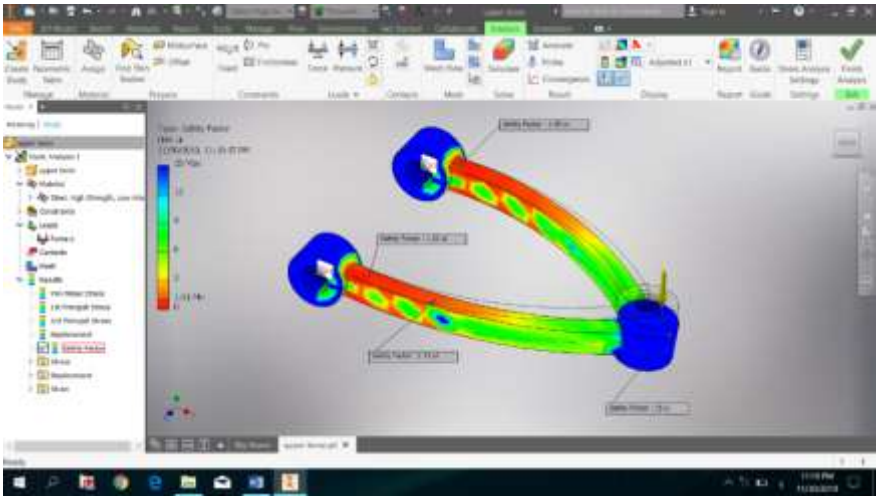
الشكل /7/ ويبين نتائج تحليل النابض في Inventor.

4- نتائج تحليل الفخذ العلوي Results of Analysis of Upper Wishbones :

نتائج التحليل للفخذ العلوي مبينة بالأشكال /8/ وتضم قيم الاجهاد Von misses Stress والانتقال Displacementو عامل الأمان Safety Factor.







الشكل /8/ ويبين نتائج تحليل الفخذ العلوي في Inventor.

وندرج فيما يلي أدناه في الجدول /7/ نتائج تحليل الفخذ العلوي في Inventor للمعدن المختار Steel High Strength ووفق نفس الشروط المطبقة في الحالة السابقة.

الجدول /7/. ويبين نتائج تحليل الفخذ السفلي

البارامترات	القيمة
الاجهاد الأعظمي المطبق	347 MPa
الإزاحة الأعظمية	2.316 mm
معامل الأمان	1.22>1.2
الاجهاد المسموح به	373.33 MPa

مما سبق يلاحظ بأن قيمة الإجهاد الأقصى في الفخذ أقل مقارنةً بقيمة الإجهاد المسموح به وعليه نعتبر الفخذ آمناً.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. الاستنتاجات:

تم تحليل الاجهادات المؤثرة مباشرة على إطار المركبة للوصول إلى التصميم الامثل لمكونات نظام التعليق بحيث كانت القيم المثلى لعناصر النظام هي :

1. معامل أمان 1.27>1.2 عند قيم اجهاد مطبق على الفخذ العلوي 347 . MPa
2. معامل أمان 1.22>1.2 عند قيم اجهاد مطبق على الفخذ السفلي 343.1 MPa .
3. أما بالنسبة للنابض فقد كانت قيمة الارتداد القصوى 106 mm عند اجهاد أعظمي قيمته 967.32 MPa.
4. من اجل تقليل الاهتزازات على الفخذ السفلي توجب تقليل القوى المفروضة من قبل الطريق لما لها من تأثير متبادل مع القوى المتولدة داخل نظام التعليق.
5. يمكن تحديد البارامترات المؤثرة على حالة التحميل لذارع نظام التعليق سواء باستخدام متغيرات مثلى او غير مثلى وتوظيفها في عملية التحليل باستخدام العناصر المنتهية وهذا سيعطي وجهة نظر دقيقة حول حالة وشروط التحميل بحيث يمكننا من مقارنة النتائج باعتماد المتغيرات المثلى وغير المثلى والتوصل لأفضل النتائج.

2. التوصيات:

1. من اجل الحصول على دراسة مستقبلية ضمن هذا المجال بشكل أفضل فإن البارامترات والمتغيرات التي تم دراستها يمكن اجراء تجارب مخبرية عليها ومقارنتها مع نتائج المحاكاة للتأكد من صحتها.
2. من الضروري ان يتم تحديد المجال الترددي لذراع نظام التعليق بالتحليل التجريبي وذلك لمقارنته مع نتائج المحاكاة والنمذجة ويمكن تطبيق هذا من اجل القوى الديناميكية.
3. باعتماد متغيرات الطريق من الممكن الحصول إلى تسارع كتلة مركز الفخذ السفلي اضافة لردود فعل المناطق المجاورة له في نظام التعليق وشروطها.

References:

[1] John C. Dixon "Suspension Geometry and Computation", John C. Dixon, Wiley and Sons Ltd. 2017,52-65.
[2] Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE Inc. 2018,115-135.
[3] Shpetim Lajqi, Stanislav Pehan, "Design of Independent Suspension Mechanism for a terrain vehicle with four wheel drive and four wheels steering", International Journal of Engineering, 2013,75-90.
[4] V.B. Bhandari, "Machine Design", McGraw Hill, 2012,33-35.
[5] "Design Data Book", PSG College, Coimbatore, 2011,211-298.
[6] Ahmad Keshavarzi, "Optimization of Double Wishbone System with Variable Camber angle by Hydraulic Mechanism", World Academy of Science, Engineering and Technology, 2010,166-174.