مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(9) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (9) 2022

أثر تغيير مواصفات معدن النابض الحلزوني المستخدم بنظام تعليق المركبات على أدائه

أ.د.م سمير كفا*

د.م رائد النجار**

م. فادي طحان***

(تاريخ الإيداع 7/4 /2022 . قُبِل للنشر في 2022/10/19)

□ ملخّص□

تصف هذه الدراسة تصميم وتحليل عمل النابض الحلزوني في نظام تعليق المركبات وتقييم أدائه للوصول إلى مواصفاته المثلى، حيث تم تطبيق التحليلات بمساعدة *Autodesk Inventor Professional* وذلك لتحديد سلوكه وأدائه من خلال معرفة قيم الأحمال العظمى المطبقة على النابض المصنّع من المعدن السبائكي ذو المواصفات المختلفة.

جدير بالذكر أن قدرة النابض على تحمل القوى المطبقة عليه تتعلق بكل من: قطر السلك، قطر لفات النابض، عدد اللفات، والخطوة. يصل النابض إلى مرحلة الفشل عند تعرضه لإجهادات أكبر من إجهاد خضوع المعدن المصنّع للنابض.

الكلمات المفتاحية :نظام التعليق، المعدن السبائكي، تحليل الإجهادات.

* 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.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(9) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (9) 2022

The Impact of Changing Specifications of the Vehicle's Suspension Coil Spring on Performance

Dr. Samir Kafa*
Dr. Raed Najjar**
Eng. Fadi Tahhan***

(Received 4/7/ 2022 . Accepted 19/10/ 2022)

□ ABSTRACT

This study discusses the design and analysis of the operation of the coil spring of the suspension system of vehicles and then evaluates its performance. Analyses were performed using Autodesk Inventor Professional to define the behaviour and performance of the coil spring throughout determining the maximum values of applied load on the Coil Spring made from Coil springs of various specifications.

It is important to note that ability of the spring to withstand applied force is dependent on the diameter of the wire, the diameter of the coil, and the number of turns and pitch. The spring fails when it is subject to stresses greater than the yield stress of the spring's material.

Keywords: Suspension system, metal alloy, stress analysis

*Professor, Department of Design and Manufacture Engineering Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.
**Assistant Professor, Design and Manufacture Department. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.
***PhD candidate, Department of Design and Manufacture Engineering. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

1-مقدمـــــــــة *Introduction*:

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].

يتم تصميم مخمد الصدمات – وهو أحد عناصر أنظمة التعليق – ميكانيكياً للتعامل مع دفعة الصدمة وتبديد الطاقة الحركية، مما يقلل من سعة الاضطرابات التي تؤدي إلى زيادة الراحة وتحسين جودة الركوب، لذلك يعتبر تصميم النابض في نظام التعليق أمراً بالغ الأهمية.

يتم تصميم النابض الحلزوني باستخدام برنامج *Autodesk Inventor Professional* وهو عبارة عن برنامج تصميم ميكانيكي ثلاثي الأبعاد يمتاز بسهولة الاستخدام، وهذا البرنامج يختص بنمذجة المجسمات الهندسية ثلاثية الأبعاد من جهة، و إمكانية تحريكها واختبارها من جهة أخرى، ويقدم حلاً متكاملاً وواقعياً إلى أقصى حد، ويساعد في خلق رؤية أوضح للتصاميم والاختراعات الهندسية ويسهل العمل بشكل ملحوظ.

كما أن للبرنامج بيئات عمل متعددة تضمن سهولة العمل عليه، بحيث تجمع كل بيئة عمل الأدوات المطلوبة لإنجاز المهام الخاصة بها دون غيرها، مما يضمن تكاملية أجزاء البرنامج وعناصره كنظام متكامل للتصميمات الميكانيكية.

يستهلك رسم نموذج النابض الوقت الأطول أثناء عملية النمذجة، وللقيام بعملية التحليل يتم تطبيق الحمل وملاحظة النتائج، حيث تحسب الضغوط وتأثيرها بدون تدخلات يدوية وبالتالي تقليل الوقت مقارنة بالعمل النظري اليدوي.

2- نظام التعليق:

نظام التعليق هو واحد من أهم مكونات المركبة، 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 [2]:

- ✓ تعليق *Strut* ماكفيرسون *Mac-Pherson*.
- ✓ نظام تعليق *Double Wishbone*.
- ✓ تعليق *Trailing Arm*.

من أصل 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.

3 – أهمية البحث وأهدافه:

وتتلخص في النقاط التالية:

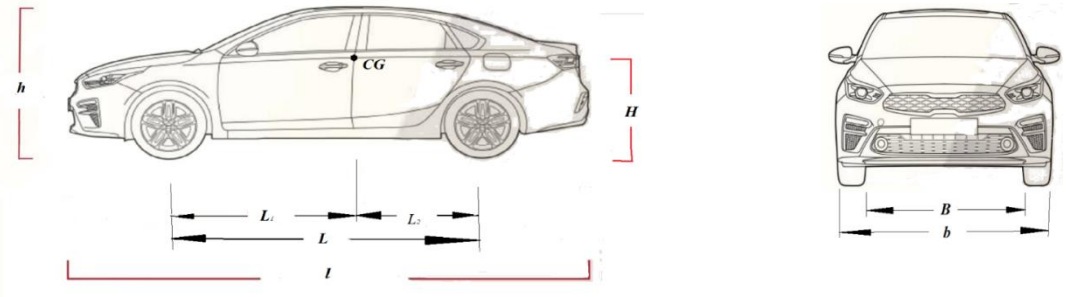
- ✓ الارتقاء بأداء نظام التعليق في المركبة إلى حده الأقصى.
- ✓ الحصول على أفضل قيادة للمركبات أثناء المنعطفات.

فعندما تسير مركبة على طريق مستوي يتم ضغط النابض بسرعة، وذلك عندما تصطدم العجلة بمطب ما، مما يؤدي الى ارتداد النابض المضغوط إلى طوله الطبيعي وبالتالي رفع جسم المركبة، بعدها ينخفض النابض تحت تأثير وزن المركبة إلى أسفل ما دون الطبيعي، وهذا بدوره يؤدي إلى ارتداد النابض مرة أخرى. تحدث عملية الارتداد النابضي مراراً وتكراراً في كل مرة حتى تتوقف في النهاية الحركة الاهتزازية للأعلى والأسفل، وهذا يجعل التعامل مع المركبة صعباً للغاية، ويؤدي إلى قيادة غير مريحة ناتجة من عدم السيطرة على هذا الاهتزاز.

بناءً على ما سبق ذكره فإن تصميم النابض في نظام التعليق يعتبر أمراً بالغ الأهمية.

4 – طريقة البحث:

إن العينة المختارة لأجراء البحث هي السيارة الصينية *FAW/B70* المبينة بالشكل (1)



الشكل (1) يبين أبعاد المركبة

ملاحظة : وجب التنويه بأن عينة البحث التي قمنا باختيارها بداية كانت السيارة شام كونها تنتج محليا ويرتبط دراسة نظام التعليق فيها بتحديد كفاءة عمله ، و إمكانية تحديد إيجابياته و سلبياته بهدف تطويره ولكن لم نستطع الحصول على بياناتها لتوقف انتاجها محليا فاستبدلت العينة بالسيارة الصينية *FAW/B70* لأنها تجمع محلياً و أصبحت منتشرة بالسوق السورية و استطعنا الحصول على بياناتها.

أما مواصفاتها فمدرجة بالجدول (1) وتشكل مدخلات الدراسة.

الجدول (1) ويبين قيم أبعاد المركبة ومدخلات الدراسة

البارامتر	القيمة العددية
b(mm)	1760
B(mm)	1550
G_1 (N)	7825.6
G_2 (N)	11774.4
h (mm)	1470
H (mm)	1000
l (mm)	4680
L (mm)	2730
L_1 (mm)	1640
L_2 (mm)	1090
M (Kg)	2000

حيث أن :

$G=M.g$ – وزن المركبة المطبق في مركز ثقلها.

R_1– رد الفعل على العجلات الأمامية.

R_2 – رد الفعل على العجلات الخلفية.

L_1 – المسافة بين مركز ثقل العربة والمحور الأمامي.

L_2 – المسافة بين مركز ثقل العربة والمحور الخلقي.

L – المسافة الكلية بين العجلات.

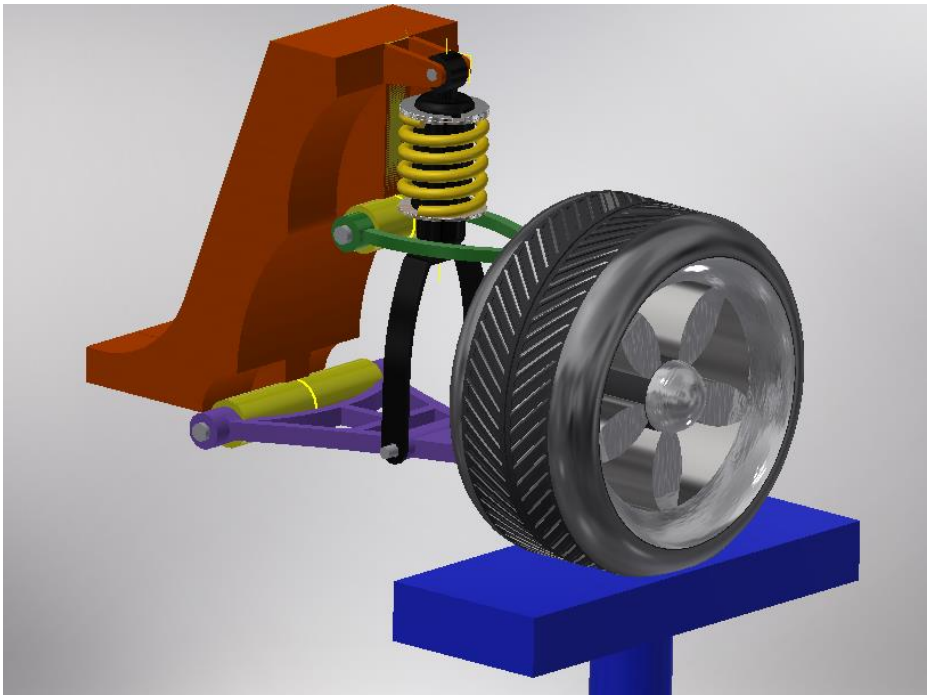
G_1– الحمولة على المحور الأمامي للعربة.

G_2– الحمولة على المحور الخلفي للعربة.

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

1.4 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. [3] يوفر هذا النوع من نظام التعليق زيادة كسب الميلان السلبي وصولاً إلى ارتداد كامل للانتقال الشاقولي خلافا لـ *Strut Mac-Pherson*. كما أنه يتيح سهولة تعديل معيار العجلة مثل الميلان. وقد حقق نظام تعليق الفخذ المزدوج خصائص ديناميكية متفوقة، فضلاً عن إمكانيات معالجة التحميل. [4] وهو مبين بالشكل /2/.



الشكل /2/ ويبين نظام التعليق ذو الفخذ المزدوج المنمذج حاسوبياً *Double wishbone system*

1.1.4 تصميم النابض: *DESIGN OF HELICAL SPRING*

النابض / كما هو مبين بالشكل (2) / هو جزء أساسي من نظام التعليق وهو جسم مرن يستخدم لتخزين الطاقة الميكانيكية عند شده أو ضغطه أو التوائه تحت تأثير قوة ثم العودة إلى شكله الأولي بعد إزالة هذه القوة وتحرير الطاقة المختزنة.

هناك عدة أنواع من النوابض تستخدم للحصول على هذا الهدف، ولكن بالنسبة للمركبات والعربات الخفيفة فإنها تعتمد على النابض الحلزوني، الذي تتم صناعته من سلك يُسخَّن إلى درجة حرارة معينة ثم يُلف بناءً على الشكل المطلوب.

إن قدرة النابض على تحمل القوى المطبقة عليه تتعلق بكل من قطر السلك، وقطر لفات النابض، وعدد اللفات، والمسافة بين لفتين متتاليتين (الخطوة). وتصل المادة المشكلة للنابض إلى مرحلة الفشل عند تعرضها لإجهادات أكبر من إجهاد الخضوع لمعدنه، أو لأحمال دورية كبيرة متكررة، أو إذا كان مصنوعاً من مواد منخفضة الجودة.

وعادة عند ضغط النابض أو تمديده، تكون القوة التي يفرضها متناسبة لتغيير طوله. ويكون معدل أو ثابت النابض هو التغير في القوة التي يفرضها مقسوماً على التغير في انحراف النابض[5] .

يستخدم النابض بهدف امتصاص الصدمات من جهة، وتوفير حركة ارتداد مناسبة تحقيق راحة أفضل للركاب من جهة أخرى.

2.1.4 مواصفات النابض *Specifications of Spring*:

تدرج مواصفات النابض المستخدم في السيارة الصينية ذات الموديل *FAW/B70* في الجدول(2) الاتي:

الجدول (2) ويبين قيم ادخال بارامترات مواصفات النابض

البارامترات	القيمة	الشكل الفعلي
ازاحة النابض	105 mm	
قطر سلك النابض	13 mm	
قطر اللفة في النابض	120 mm	
عدد اللفات في النابض	5 فعال + 2 غير فعالين	
طول النابض الحر	320 mm	

3.1.4 خصائص المواد *Material property*:

بالرجوع إلى قاعدة بيانات خواص المواد *Material property data* والمعنونة بـ *MatWeb* على الشبكة العنكبوتية، نأخذ خواص مواد السبائك المستخدمة في صناعة النوابض من النوع:

Bohler-Uddeholm UDDEHOLM DIEVAR® Hot Work Tool Steel

والموضحة بالجــداول (3) و (4) و (5) وتملك المواصفات الاتية:

الجدول (3) ويبين بارامترات مواصفات الفولاذ السبائكي للنوابض / الحالة الأولى:

البارامترات	القيمة
Modulus of Elasticity	E_1=210000 (Mpa)
Density	ρ_1=7780 (kg/m^3)
Tensile Strength, Ultimate	*1480*(Mpa)
Tensile Strength, Yield	*1210*(Mpa)

الجدول (4) ويبين بارامترات مواصفات الفولاذ السبائكي للنوابض / الحالة الثانية:

البارامترات	القيمة
Modulus of Elasticity	E_2=145000 (Mpa)
Density	ρ_2=7580(kg/m^3)
Tensile Strength, Ultimate	*1630*(Mpa)
Tensile Strength, Yield	*1380*(Mpa)

الجدول (5) ويبين بارامترات مواصفات الفولاذ السبائكي للنوابض / الحالة الثالثة:

البارامترات	القيمة
Modulus of Elasticity	E_2=180000 (Mpa)
Density	ρ_2=7670(kg/m^3)
Tensile Strength, Ultimate	*1900*(Mpa)
Tensile Strength, Yield	*1560*(Mpa)

وهو مركب من العناصر ذات النسب التالية *Component elements properties*:

أسم العنصر	نسبته %
Carbon, C	*0.35*
Chromium, Cr	*5.00*
Manganese, Mn	*0.50*

0.20	*Silicon, Si*
91.05	*Iron, Fe*
2.30	*Molybdenum, Mo*
0.60	*Vanadium, V*

2.4 نمذجة النابض الحلزوني *MODELING OF HELICAL SPRING*:

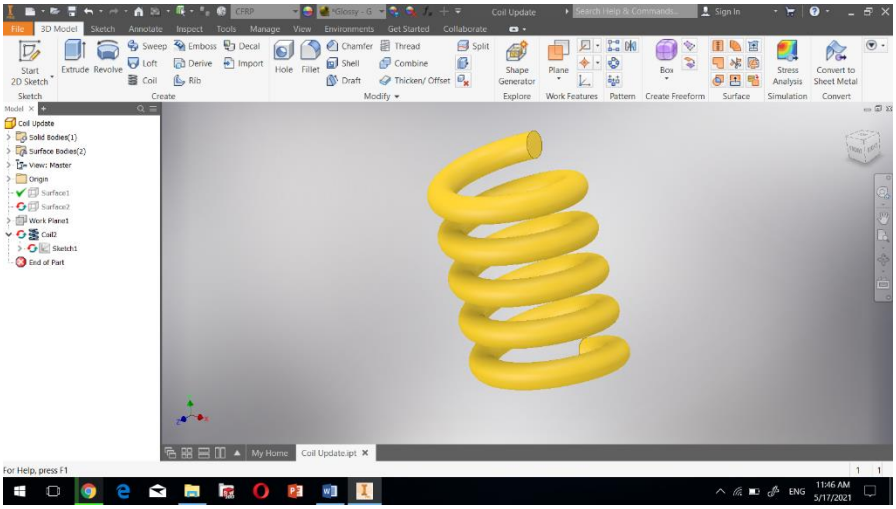
تتم عملية تصميم النابض بأحد برامج الـ *CAD*، وقد تم في البحث اعتماد برنامج *Autodesk Inventor Professional*. وهو عبارة عن برنامج تصميم ميكانيكي ثلاثي الأبعاد يمتاز بسهولة النمذجة وإمكانية تحريك النموذج واختباره، هذا البرنامج يختص بتصميم المجسمات الهندسية ثلاثية الابعاد ويقدم حلاً متكاملاً وواقعياً إلى أقصى حد ويساعد في خلق رؤية أوضح للتصاميم والاختراعات الهندسية ويسهل العمل بشكل ملحوظ.

كما أن للبرنامج بيئات عمل متعددة تضمن سهولة العمل عليه، بحيث تجمع كل بيئة عمل الأدوات المطلوبة لإنجاز المهام الخاصة بها دون غيرها، وقد يحدث بعض التداخل أحياناً فيما بينها مما يضمن تكاملية أجزاء البرنامج وعناصره كنظام متكامل للتصميمات الميكانيكية.

يمكن تصميم النابض / أنظر الجدول (2) / عن طريق إنشاء دائرة بقطر 13 mm تمثل قطر السلك، ثم سحبه على شكل حلزون بطول 320 mm وقطر 120 mm وإدخال قيمة الخطوة حيث يتم حسابها عن طريق طول النابض وعدد اللفات حيث أن خطوة النابض تعطى بالعلاقة التالية :

$$t_s = \frac{h_s}{n} = \frac{320}{5} = 64\ mm$$

والشكل (3) يبين النابض الحلزوني المنمذج.



ويبين نمذجة النابض الحلزوني.(3)الشكل

3.4 تحليل النابض *Analysis of Spring*:

بعد إنهاء عملية تصميم النابض بالأبعاد المطلوبة يمكن إجراء عملية التحليل أيضاً باستخدام برنامج *Autodesk Inventor Professional* . وهو عبارة عن برنامج مبني على طريقة العناصر المنتهية يُعنى

بحل المسائل الخطية واللاخطية للميكانيك الإنشائي، ويحتوي البرنامج على عدد من العناصر لحل المسائل ذات البعد الواحد والبعدين وثلاثة أبعاد.

وهو برنامج يتيح للمصمم استخدام أسهل لوصف المسألة الحسابية ولكتابتها، وتسهل عمليات البحث والربط مع مختلف أنظمة*CAD Systems* .

تفيد عملية التحليل في معرفة مدى تجاوب النابض ومقدار الانتقالات والتشوهات الحاصلة فيه نتيجة تطبيق قوة خارجية ومقدار تحمله للقوى والحمولات المؤثرة عليه.

تعتمد هذه العملية على مجموعة معقدة من النقاط تسمى العقد والتي تشكل فيما بينها شبكة، ويتم برمجة شبكة النقاط هذه وتضمينها خصائص المواد والبنية لتحديد كيفية تفاعل الهيكل مع ظروف التحميل المختلفة. حيث يتم تحديد قيمة الإجهاد الأقصى المقابلة لقوة النابض القصوى مبينة في الأشكال (4a–4b–4c–4d–4e).

1.3.4 التحليل في *Autodesk Inventor Professional 2019*.

للبدء في التحليل البنيوي في *Inventor* ، ينبغي تعريف الشروط الحدية *boundary condition* وحالات التحميل لتحديد قيم الإجهاد والانحراف الأعظمين للنابض الحلزوني.

إن حالات التحميل والشروط الحدية للتحميل الستاتيكي للمركبة يؤخذ بفرض أن وزن المركبة هو تابع لمركز جاذبيتها، وعليه ـ كما نعلم ـ فإن ما يقرب من 39٪ من وزن جسم المركبة كله أو السيارة يقع على العجلات الأمامية و 61٪ من الوزن المتبقي يقع على العجلات الخلفية [6] .

وبالتالي تكون ردود الافعال كما يلي:

$$R_1 = 0.39\ G \quad (1)$$

$$R_2 = 0.61\ G \quad (2)$$

وتصبح المعادلة:

$$R_1 L_1 = R_2 L_2 \quad (3)$$

وكما نعلم أن:

$$L = L_1 + L_2 \quad (4)$$

وبتطبيق معادلة التوازن على العجلات الامامية والخلفية:

$$G_1 = G\frac{L_2}{L} \quad (5)$$

$$G_2 = G\frac{L_1}{L} \quad (6)$$

وعليه تكون الحمولة الستاتيكية على العجلة الامامية تعطى بالعلاقة التالية:

$$G_{FAW} = \frac{G_1}{2} \quad (7)$$

وبناءً على ما ذكر أعلاه وبالتعويض بالعلاقات السابقة يتم حساب الحمولات وتدرج في الجدول /4/ المرفق وهي معايير الإدخال للحالة (*Input parameter*) كما يلي:

الجدول /4/. ويبين قيم ادخال بارامترات تحليل النابض الحلزوني

الصفـــــة	القيمـــــة
الحمولة الشاقولية	4000 (N)
قوة دفع النابض	1500 (N)

تم تطبيق الشروط المذكورة أعلاه لتحليل النابض الحلزوني بمساعدة العناصر المنتهية وبرنامج الـ *Inventor* على المعدن الوارد بالجداول /3/

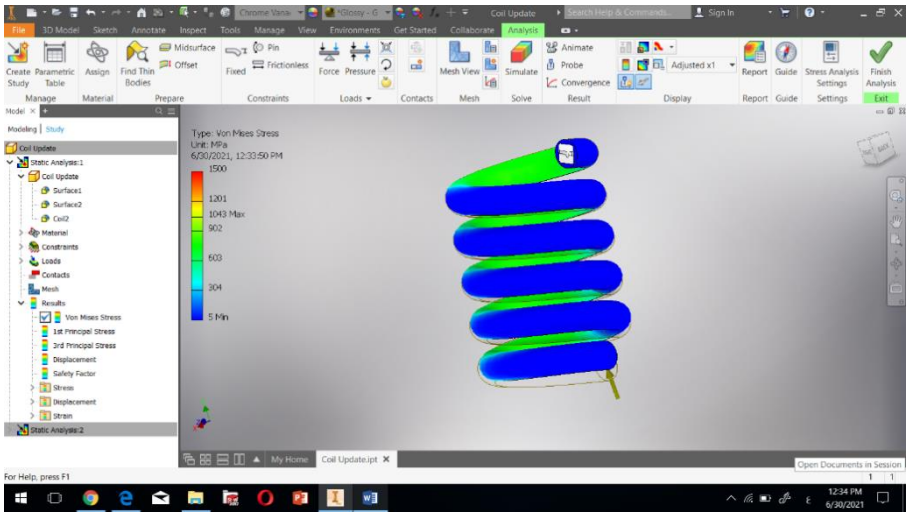
5 – النتائج والمناقشة *RESULT AND DISCUSSION*:

5-1 نتائج التحليل الستاتيكي للفولاذ السبائكي (الحالة الأولى)

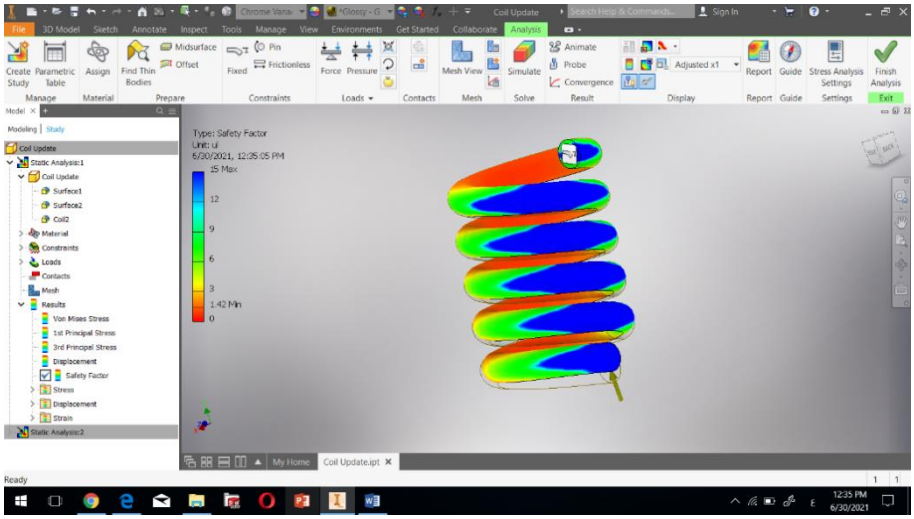
Static analysis of alloy steel material (First Case) :

<u>أولاً- تصميم الحالة الأولى:</u> لإجراء عملية التحليل لنابض مصنوع من فولاذ سبائكي، يجب إدخال الخواص المادية لمعدن النابض *Bohler-Uddeholm UDDEHOLM DIEVAR* من / الجدول (3) / ثم تحديد شروط التحميل [7]. ولتحقيق ذلك يتم تثبيت طرف النابض وتطبيق تحميل عمودي على الطرف الآخر بقوة قيمتها *F=4000 (N)* / الجدول (4) /.

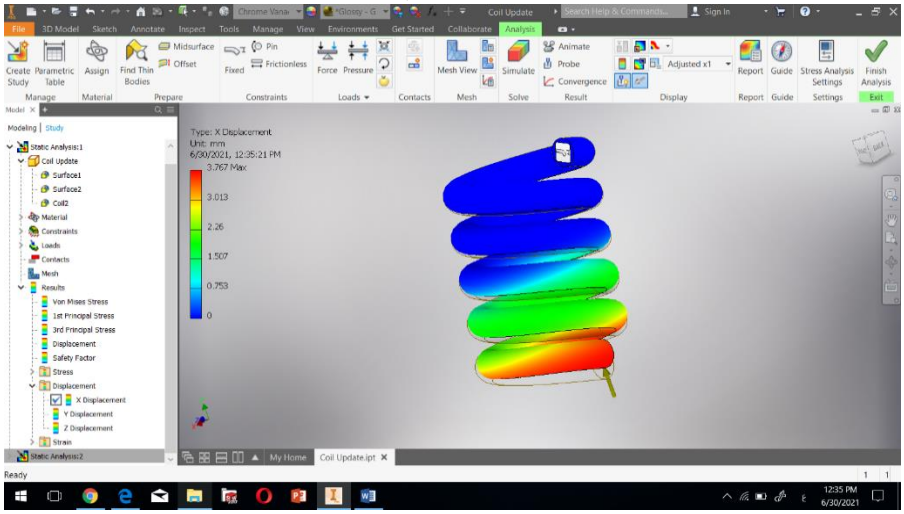
وعليه نحصل على النتائج المبينة في الأشكال (4a-4b-4c-4d-4e) التالية: إجهادات *Von Mises*، معامل الأمان *Safety factor*، الإزاحات *Displacement* باتجاه المحاور الثلاث X-Y-Z:



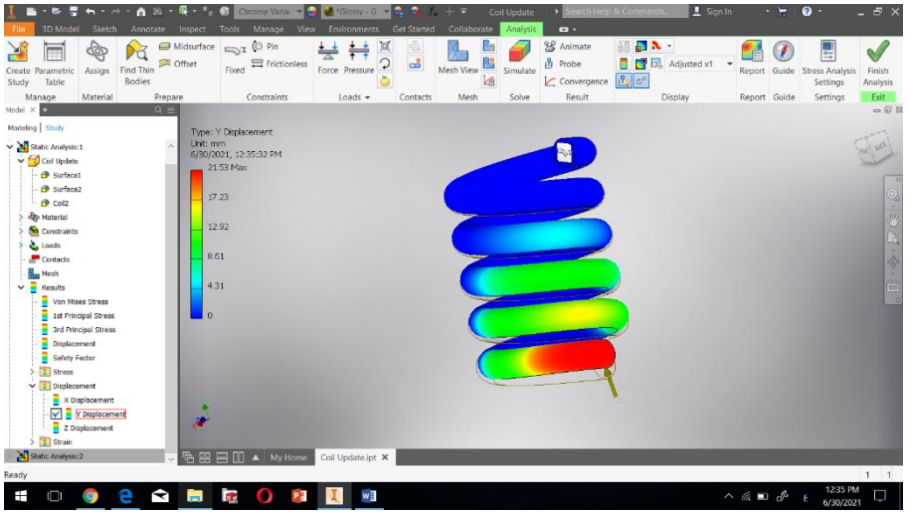
الشكل/ 4a/ وتبين نتائج تحليل النابض الحلزوني /إجهادات */Von Mises/* .



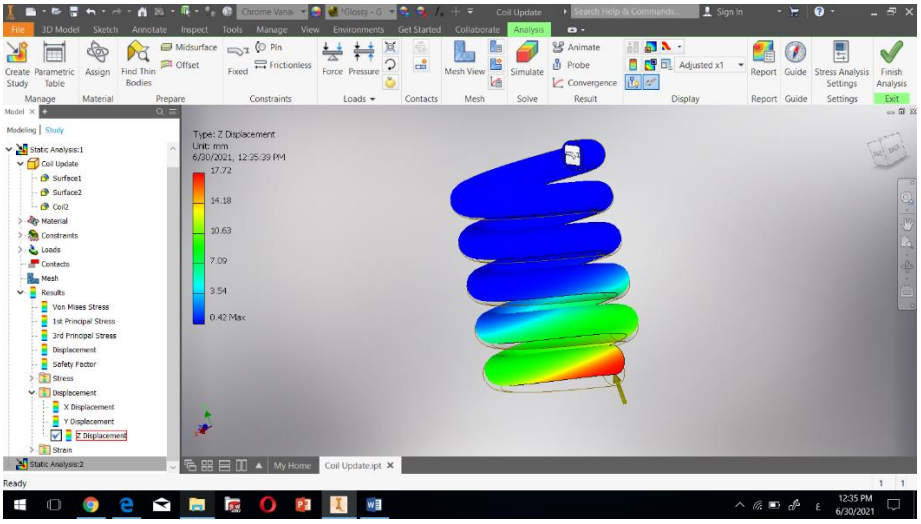
الشكل /4b/وتبين نتائج تحليل النابض الحلزوني /معامل الأمان Safety factor .



الشكل /4c/ وتبين نتائج تحليل النابض الحلزوني /الازاحة على المحور Displacement x/



الشكل /4d/ وتبين نتائج تحليل النابض الحلزوني /الازاحة على المحور y */Displacement*



الشكل /4e/ وتبين نتائج تحليل النابض الحلزوني /الازاحة على المحور Z Displacement/

وبناءً على ما سبق أعلاه يتضمن الجدول /1-4/ نتائج تحليل النابض للتصميم الحالي.

الجدول (1-4) ويبين نتائج تحليل النابض للتصميم الحالي.

البارامترات	القيمة
القوة العظمى	4000 N
الازاحة الأعظمية	27 mm
الاجهاد الأعظمي	1043 MPa
معامل الأمان	1.42 > 1.25

حيث أن قيمة معامل الأمان هي قيمة مرجعية تحسب تجريبيا.

ثانياً- التصميم الأمثل للحالة الأولى: لإجراء عملية تعديل تصميم النابض السابق وإيجاد مواصفاته المثلى نقوم بتقليل قطره ضمن المجال (*13-14 mm*) وبخطوة (*0.5*) واعادة التحليل الانشائي للنابض مع الحفاظ على بقية مواصفاته من نوع المعدن المختار وقيمة التحميل.

وعليه ندرج نتائج التحليل في الجدول (5) الاتي [8,9]:

الجدول (5) ويبين نتائج تحليل النابض / الحالة الأولى للمعدن.

القطر /mm/	الازاحة /mm/	الاجهاد الأعظمي /MPa/	معامل الأمان الأصغري
13	36.18	1390	1.06443
13.4	32	1165	1.27>1.25
13.5	31	1144	1.29
14	27	1043	1.32

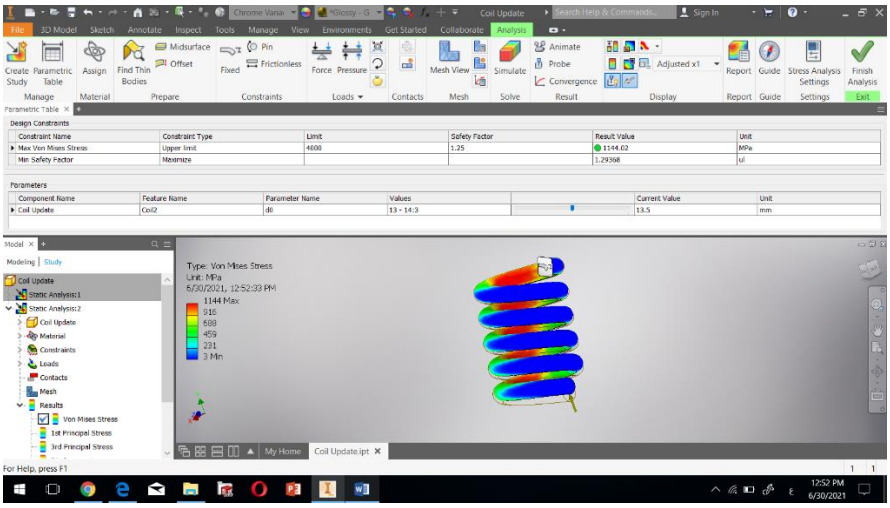
معامل الأمان بالنسبة للنوابض يعتمد ضمن مجال أصغري و أعظمي ويتعلق ذلك بحالة النابض المرتبطة بحركته (انضغاط – رجوع) .

بمقارنة النتائج المدرجة بالجدول (5) نحصل على القطر الأمثل للنابض الحلزوني وهو *d=13.4 mm*، حيث يحقق قيمة إجهاد أقل في النابض المعدل مقارنة بالنابض الأصلي مما يضيف ميزة إلى التصميم المعدل بكتلة وكلفة أقل وأمان محقق.

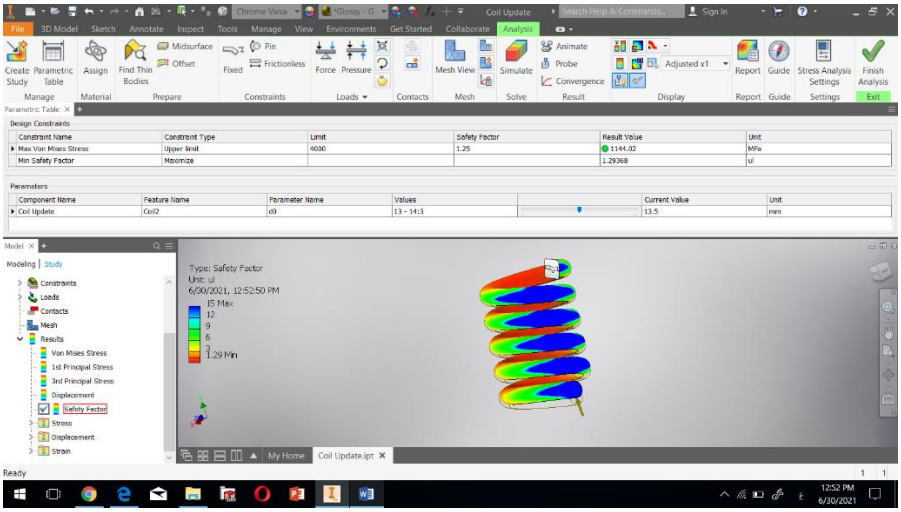
ملاحظة : تعتبر دالة الهدف في البحث عن القيمة المثلى في النابض هي الإجهاد الأعظمي أما محددات دالة الهدف فهي معامل أمان أصغري والذي يجب أن يكون أكبر من 1.25 .

وعليه ندرج نتائج التصميم الأمثل للحالة الأولى في الأشكال (5a–5b–5c) التالية:

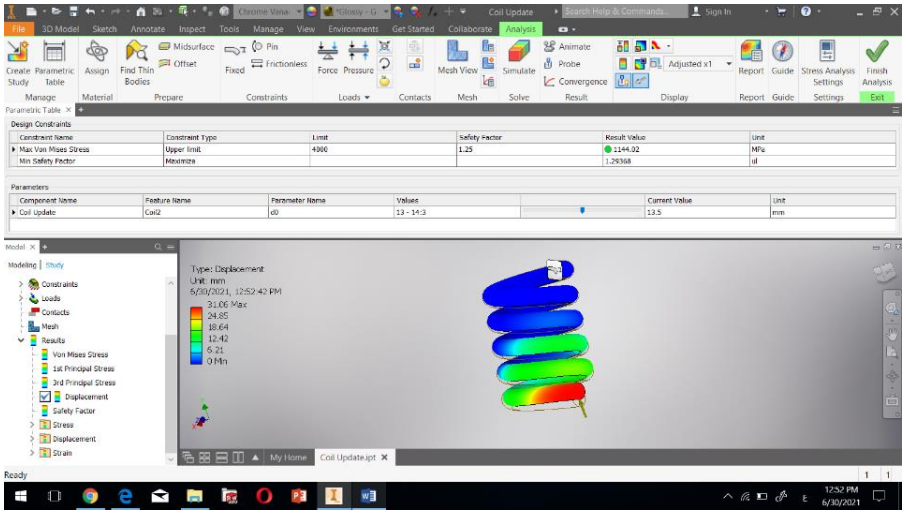
إجهادات *Von Mises*، معامل الأمان *Safety factor*، الإزاحة *Displacement*:



الشكل /5a/ وتبين نتائج تحليل النابض المعدل /إجهادات *Von Mises*/.



الشكل /5b/ وتبين نتائج تحليل النابض المعدل /معامل الأمان *Safety factor* /.



الشكل /5c/ وتبين نتائج تحليل النابض المعدل /الازاحة Displacement/

2-6-7 نتائج التحليل الستاتيكي للفولاذ السبائكي (الحالة الثانية)

Static analysis of alloy steel material(Second Case) :

نكرر إجراء عملية التحليل للنابض، بإدخال الخواص المادية للمعدن الجديد للنابض الحالة الثانية من /الجدول (4)/ مع الحفاظ على نفس شروط التحميل السابقة وقيمتها.

وعليه ندرج نتائج التحليل في الجدول (6) الاتي:

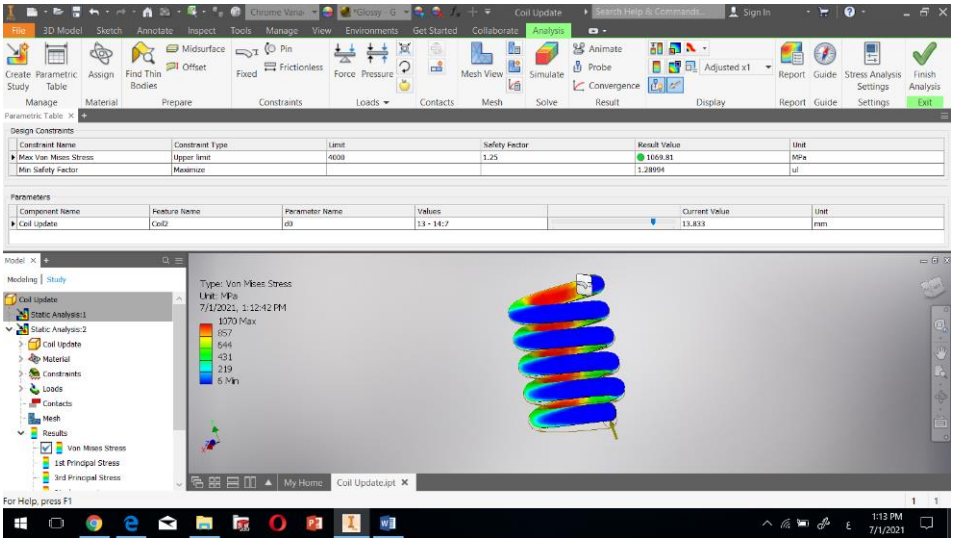
الجدول (6) ويبين نتائج تحليل النابض / الحالة الثانية للمعدن .

معامل الأمان الأصغري	الاجهاد الأعظمي /MPa/	الازاحة/mm/	القطر /mm/
1.206	1144	45	13,5
1.27>1.25	1085.23	41.85	13.75
1.29	1069.8	40	13.833
1.323	1043	39	14

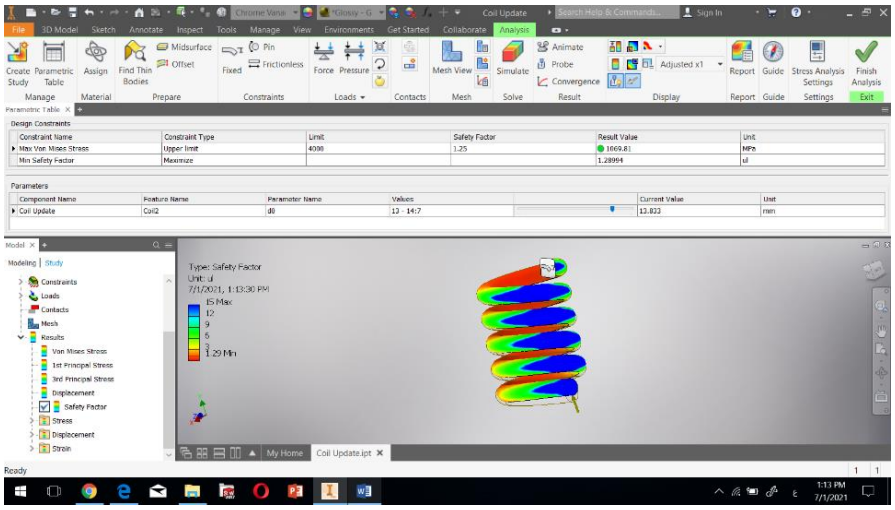
بمقارنة النتائج المدرجة بالجدول (6) نحص على القطر الأمثل للنابض الحلزوني وهو $d=13.75$ *mm*، حيث يحقق أقل قيمة لمعامل الأمان.

وعليه ندرج نتائج التصميم الأمثل للحالة الثانية في الأشكال (6a-6b-6c) التالية:

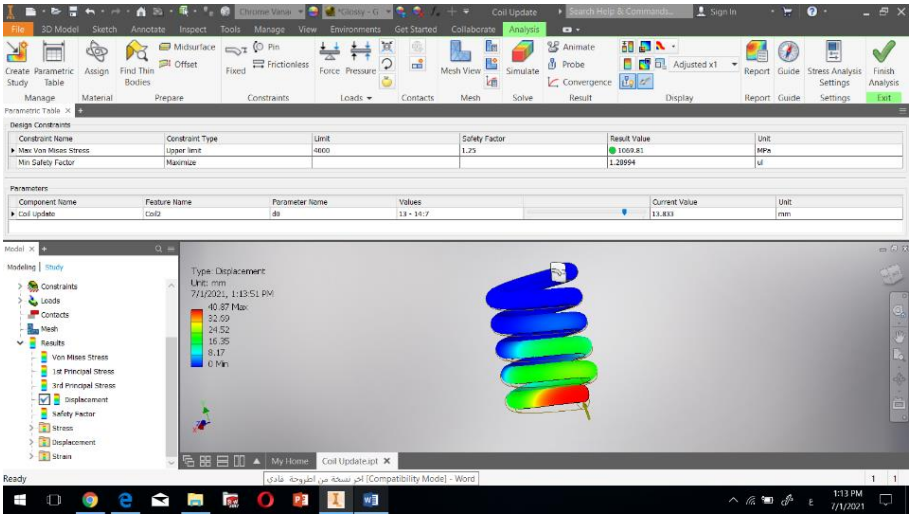
إجهادات *Von Mises*، معامل الأمان *Safety factor*، الإزاحة *Displacement*:



الشكل /6a/ وتبين نتائج تحليل النابض الحالة الثانية للمعدن /إجهادات *Von Mises*/.



الشكل /6b/ وتبين نتائج تحليل النابض الحالة الثانية للمعدن /معامل الأمان Safty Factor/



الشكل /6c/ وتبين نتائج تحليل النابض الحالة الثانية للمعدن /الازاحة *Displacement*/

3-6-7 نتائج التحليل الستاتيكي للفولاذ السبائكي (الحالة الثالثة)

Static analysis of alloy steel material(Three Case) :

نكرر إجراء عملية التحليل للنابض، بإدخال الخواص المادية للمعدن الجديد للنابض الحالة الثالثة من / الجدول (5) / مع الحفاظ على نفس شروط التحميل السابقة وقيمتها.

وعليه ندرج نتائج التحليل في الجدول (7) الاتي:

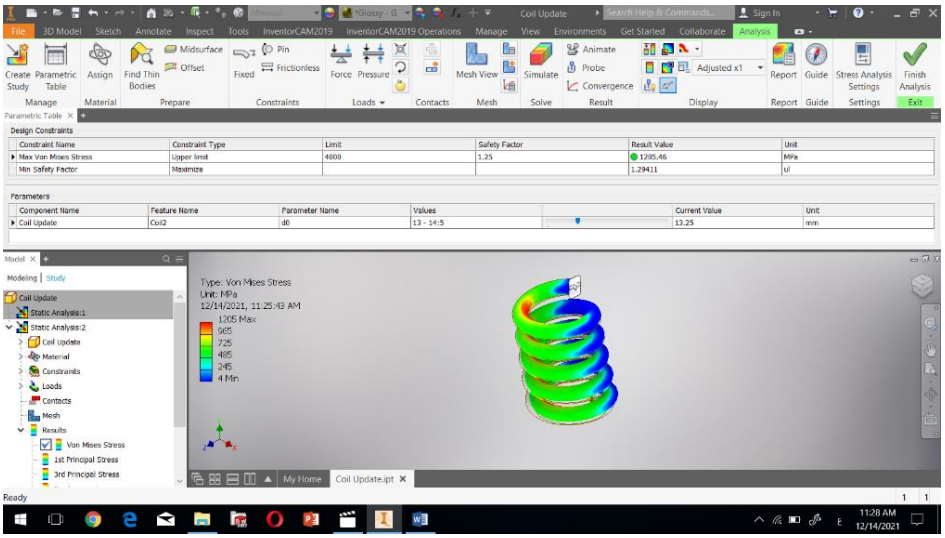
الجدول (7) ويبين نتائج تحليل النابض / الحالة الثالثة للمعدن .

معامل الأمان الأصغري	الاجهاد الأعظمي /MPa/	الازاحة /mm/	القطر /mm/
1.122	1390.45	42.2	13
1.294>1.25	1205.47	39	13.25
1.3636	1144	36.24	13.5
1.496	1042.77	31.46	14

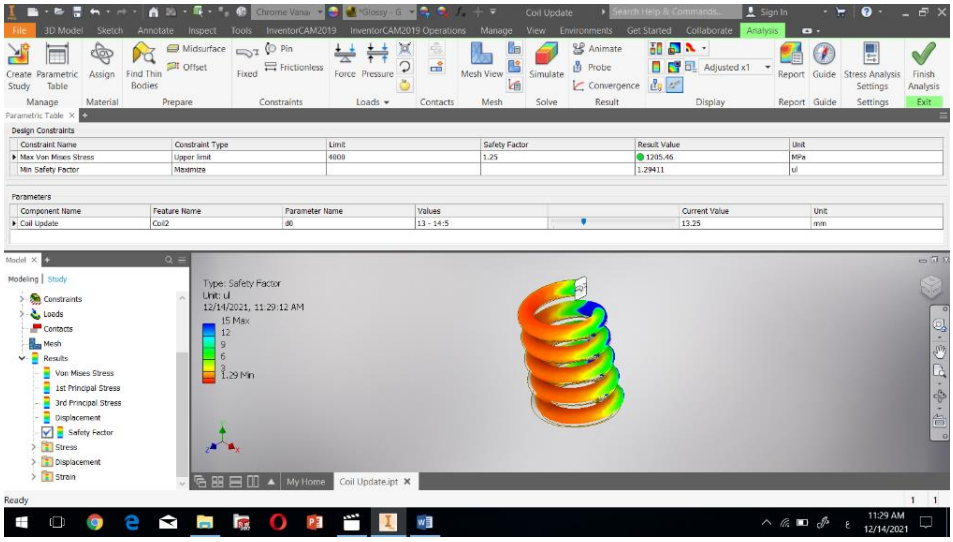
بمقارنة النتائج المدرجة بالجدول (7) نحص على القطر الأمثل للنابض الحلزوني وهو $d=13.25\ mm$، حيث يحقق أقل قيمة محققة لمعامل الأمان.

وعليه ندرج نتائج التصميم الأمثل للحالة الثالثة في الأشكال (7a-7b-7c) التالية:

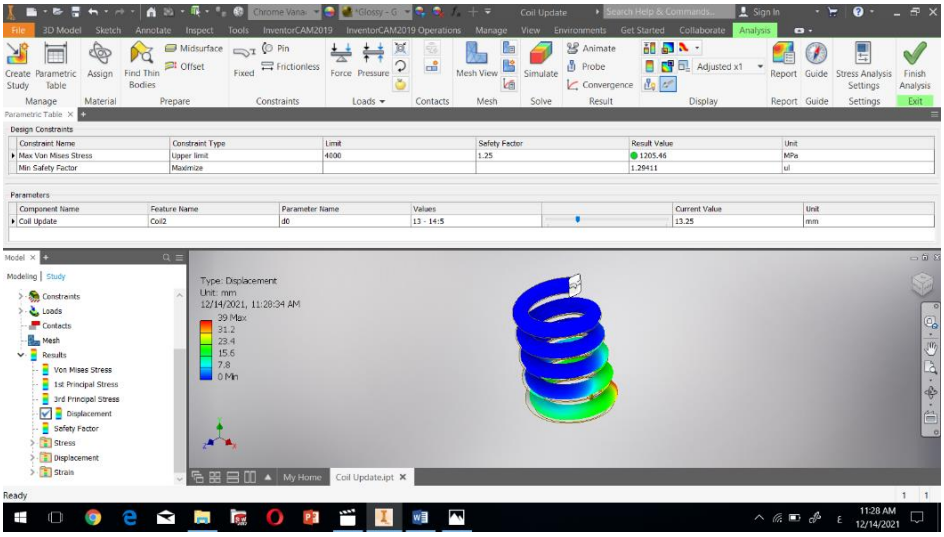
إجهادات *Von Mises*، معامل الأمان *Safety factor*، الإزاحة *Displacement*:



الشكل /7a/ وتبين نتائج تحليل النابض الحالة الثانية للمعدن /إجهادات *Von Mises*/.



الشكل /7b/ وتبين نتائج تحليل النابض الحالة الثانية للمعدن /معامل الأمان Safty Factor/



الشكل /7c/ وتبين نتائج تحليل النابض الحالة الثانية للمعدن /الازاحة Displacement/

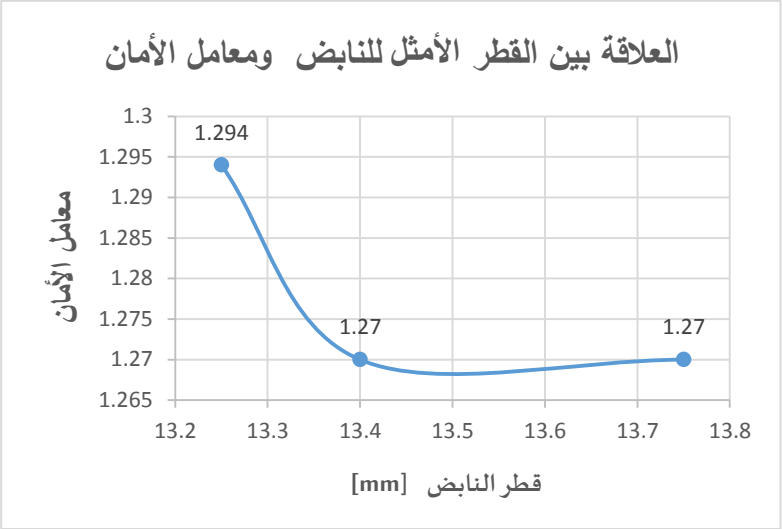
4-6-7 مقارنة النتائج المثلى لتحليل الحالات الثلاثة السابقة:

Compered of optimal results for threaded :

ندرج فيما يأتي أدناه في الجدول (8) النتائج الأفضل للتحليل الستاتيكي في حالات السبائك المعدنية الثلاثة المختبرة للوصول إلى لمواصفات المثلى للنابض من حيث السبيكة المعدنية المختارة وقطر النابض:

الجدول (8) ويبين المواصفات المثلى النابض:

معامل الأمان الأصغري	الاجهاد الأعظمي /MPa/	الازاحة /mm/	القطر /mm/
1.27>1.25	1165	32	13.4
1.27>1.25	1085.23	41.85	13.75
1.294>1.25	1205.47	39	13.25



الشكل /8/ ويبين مواصفات النابض الحلزوني المثلى.

واعتماداً على ما سبق ذكره أعلاه فأن المواصفات المثلى للنابض الحلزوني في مجموعة التعليق قيد الدراسة هي الحالة الثالثة من الفولاذ السبائكي *Bohler-Uddeholm UDDEHOLM DIEVAR* ذو المواصفات المبينة في الجدول (8) والقطر 13.25 mm.

6 – الاستنتاجات والتوصيات *Conclusions and Recommendations* :

1.6 الاستنتاجات:

1. تم التركيز بالدراسة على تحليل الإجهادات المؤثرة مباشرة على النابض الحلزوني في المركبة وذلك للوصول إلى التصميم الامثل لأهم مكونات نظام التعليق.
2. تم اعتماد منهجية اساسية في هذا البحث لدراسة النابض الحلزوني في نظام التعليق وهي الاهتزازات والإجهادات، وجرى الاعتماد على النمذجة والمحاكاة بشكل أساسي والبرنامج التي تم استخدامه لهذا الغرض هو *Autodesk Inventor Professional 2019* . حيث تم جمع نتائج المحاكاة في كل مرة من أجل التحديد الدقيق لقطر سلك النابض ومعرفة تأثيره للوصول إلى معامل أمان مناسب.
3. تم تعديل تصميم النابض الحلزوني في مخمد الصدمات عن طريق تقليل القطر وإجراء تحليل الإجهاد للحث عن الأمثلية في التصميم، حيث تم دراسة تغير قطر سلك النابض بين القيمتين 13mm و 14mm ، وحساب الإجهادات الأعظمية الناشئة باستخدام طريقة العناصر المنتهية وكانت القيمة المثلى للقطر 13.25 mm .
4. تكون قيمة الإجهاد أقل في النابض المعدل مقارنة بالنابض الأصلي مما يضيف ميزة إلى التصميم المعدل، أنظر مقارنة النتائج الواردة في الجدول(6) .
5. التصميم المعدل ذو القطر 13.25mm يمنح كتلة وكلفة أقل وأمان محقق للمنظومة.

2.6 التوصيات:

1. من أجل الحصول على دراسة مستقبلية ضمن هذا المجال بشكل أفضل فإن البارامترات والمتغيرات التي تم دراستها يمكن إجراء تجارب مخبرية عليها ومقارنتها مع نتائج المحاكاة للتأكد من صحتها.
2. من الضروري أن يتم إجراء دراسات على معادن أخرى ومقارنة النتائج.

المراجـــــــــــــــع:

[1] Pinjarla Poormohan and Lakshmana Kishore "Design and Analysis of a shock absorber", International journal of research in engineering and technology, ISSN: 2319-1163, Volume 1, Issue: 4, pp578-592, 2012.

[2] John C. Dixon "Suspension Geometry and Computation", John C. Dixon, Wiley and Sons Ltd. 2017

[3] Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE Inc. 2018

[4] 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.

[5] Y Pramoto, M Ikeda, S K Manville, "Design and Failure modes of automotive suspension spring", Engineering failure analyses 15, 2008.

[6] Carlson H. "Spring designer's handbook". New York: Marcel Dekker Inc.; 2019.

[7] John C. Dixon, The Shock Absorber Handbook. John Wiley & Sons, Ltd; 2017.

[8] *AIP, References, Inventor/Answer, Available , 2019.*

[9] *Meyer, C. J. (2006) "Finite Element Analysis for the Masses; an Introduction", FEAdomian.com, 2006.*