تحليل الإجهادات لنابض صفائحي وتحسين أدائه باستخدام برنامج حاسوبي

محمد محمد سوالم[1] محمد عبد الله المدني محمد فرج أبو شعالة
[1]m.sawalem@eng.misuratau.edu.ly
قسم الهندسة الميكانيكية-كلية الهندسة- جامعة مصراته – ليبيا

الملخص
نظراً للأهمية الكبيرة للنوابض الصفائحية وتطبيقاتها الكثيرة في الحياة العملية فإن دراستها كانت ذات أهمية عظمى للباحثين والطلاب الأكاديميين، وفي هذا البحث تم القيام بمحاكاة تصميمية للنوابض الصفائحية باستخدام برنامج حاسوبي (Solid works) وتسليط الضوء على دراسة النابض الصفائحي المستخدم في الشاحنات الثقيلة ومحاولة معرفة الأحمال والإجهادات المؤثرة عليه وإجراء عملية تحسين للنابض وذلك بزيادة عدد الصفائح.
ومن خلال النتائج المتحصل عليها تم التعرف جليا على أماكن تركز الإجهادات وقيمها وكذلك التشوهات التي تحدث نتيجة زيادة الأحمال على الشاحنة كما تم زيادة عدد الصفائح بطريقتين لمعرفة تأثير ذلك على عمل النابض وتم الحصول على نتائج تؤكد إمكانية تحسين عمل النابض وذلك بزيادة عدد صفائحه الرئيسية حيث تم ملاحظة أن الإجهادات نقصت بنسبة تجاوزت 26.5 % وكذلك قل التشوه الذي يحصل للنابض بنسبة 32.8% مع إمكانية زيادة الأحمال على الشاحنة بمقدار 2000kg دون الوصول الى قيمة إجهاد الخضوع لمادة النابض والتي تم الوصول إليها عند استخدام النابض دون زيادة في صفائحه مما قد يشكل خطرا على الشاحنة.
الكلمات المفتاحية: النابض الصفائحي– تركيز الإجهادات – أنظمة التعليق

1. المقدمة

الأجزاء الرئيسية التي تؤدي وظيفة عزل السيارات من صدمات الطريق عند اجتماعها تسمى نظام التعليق والنابض الصفائحي هو أحد مكونات هذا النظام الذي يستخدم في حماية السيارة والشاغلين لها ، وكذلك المسؤولية عن راحة الركاب .
هذه الأهمية الكبيرة للنوابض الصفائحية و تطبيقاتها الكثيرة في الحياة العملية جعلت دراستها ذات أولوية عظمى للباحثين و الطلاب الأكاديميين الذين قاموا بالعديد من الأبحاث الخاصة بها ، فقد قام Dhiraj [1] بمناقشة التصميم الكامل لنظام التعليق الخلفي والمستخدم فيه نابض صفائحي وذلك للمحركات الخلفية أما Ramakanth[2] فقد حاول تحليل سلوك الكلل في النوابض الصفائحية باستخدام برنامج حاسوبي خاص واستهدف محمد حميد جعفر [3] عملية البحث في إعادة تنشيط النوابض الفولاذية الصناعية الإنضغاطية والمستخدمة في أحد المصانع وذلك بإجراء بعض المعاملات الحرارية بعدة أساليب مختلفة.
كما حاول S. Sali [4] إيجاد التصميم الأمثل لنابض صفائحي وذلك بتغيير قيم الأبعاد للنابض باستخدام.برنامج Solidworks. وقد حاول العديد من البحاث إيجاد بدائل لمواد تصنيع النوابض الصفائحية ودراسة التغيرات في الإجهادات والتشوهات التي قد تحدث عند استخدام المواد البديلة ونذكر منهم Venkatesan [5] و Ghodake[6] وفي هذا البحث ستتم محاولة تحليل الإجهادات التي يتعرض لها النابض والتشوهات التي تنتج له ومحاولة تحسين عمل النابض الصفائحي بزيادة عدد الصفائح المعدنية للنابض وتطبيقها على سيارات النقل الثقيلة.

1.1 النابض الصفائحي (Leaf spring)

النابض هو جزء مرن يتكون من عدة صفائح من قطع الفولاذ المسطح والمقوس بدرجات مختلفة، ووظيفته امتصاص الاهتزازات والصدمات والأحمال المؤثرة على السيارة. ويتكون النابض من عدة أجزاء وهي:

- الصفيحة الأولى تسمي بالصفيحة الرئيسيّة أو العظمي (Master leaf) وتكون نهايتا الصفيحة حلقة لتثبيت النابض بهيكل السيارة.
- الصفيحة الثانية وتكون بنفس طول الصفيحة الرئيسيّة دون حلقة تثبيت.
- صفائح متدرجة (Graduated leaves) مختلفة الأطوال مرتبة ترتيبا تنازليا الأطول فالأقصر.
- قطع تثبيت لتثبيت الصفائح مع بعضها**[7]**.

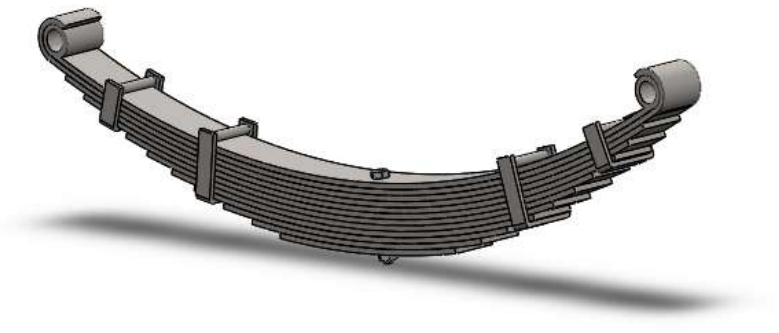
تم اختيار نابض صفائحي لشاحنة من نوع ايفيكو IVECO (100 E 18)، وتم آخذ كافة القياسات والأبعاد له واختياره كنموذج تصميمي للدراسة وإجراء عملية المحاكاة عليه.وكانت الأبعاد كالتالي:

- سمك الصفائح Width of all leaves (12mm)
- عرض الصفائح Thickness of all leaves (100 mm)

- عدد الصفائح الرئيسية Number of full length leaves (2)
- طول الصفائح الرئيسية Length of full length leaves (1720 mm)
- عدد الصفائح المتدرجة Number of graduated length leaves (10)
- طول الصفائح المتدرجة بحسب الترتيب Length of graduated length leaves1650,1555,1480,1330,1220,10 (90,970,810,655,50 mm)
- قطر عين التثبيت Diameter of the eye (45 mm)
- كتلة الشاحنة Mass of truck (6000 kg)

2. طريقة رسم النابض الصفائحي

بعد الانتهاء من عملية قياس الأبعاد للنابض الصفائحي بالشاحنة ومعرفة أبعاد جميعا لمكونات تم استخدام برنامج حاسوبي (SolidWorks) في النمذجة، وتم استخدام الأدوات المتوفرة فيه لعمل نماذج للمكونات، تبعتها عملية التجميع (Assembly) والمحاكاة(Simulation)للنابض بصورته النهائية (شكل رقم 1).



شكل 1 النابض الصفائحي بعد التجميع.

3. اختيار المواد

تمتلك المادة المعدة لتصنيع النوابض عادة مواصفات مرونة مرتفعة لأن النابض مصمم لتحمل تشوهات كبيرة أي يجب أن تمتلك مادة النابض مجال مرونة واسع، .

وهناك العديد من المواد التي تدخل في تركيب النابض وكانت مادة النابض قيد الدراسة هي صلب منخفض الكربون(Plain carbon steel) ويوضح الجدول التالي المواصفات الخاصة للمادة المستخدمة للنابض

الجدول (1) خواص الصلب منخفض الكربون(Plain carbon steel)[7]

ت	الخاصية	القيمة	الوحدة
1	معامل المرونة (Elastic Modulus)	210000	N/mm^2
2	نسبة بويسون (Poisson's Ratio)	0.28	N/A
3	معامل القص (Shear Modulus)	79000	N/mm^2
4	كثافة الكتلة(Mass Density)	7800	Kg/m^3
5	إجهاد الشد(Tensile Strength)	399.826	N/mm^2
6	إجهاد المرونة(Yield Strength)	220.594	N/mm^2
7	معامل التمدد الحراري (Thermal Expansion Coefficient)	1.3 e -005	/k

4. عملية تحسين النابض الصفائحي.

تم في هذا البحث محاولة تحسين عمل النابض وذلك بزيادة عدد صفائحه في حالتين. ففي الحالة الأولى تمت زيادة صفيحة واحدة رئيسية بنفس سمك الصفائح الأخرى الى عدد الصفائح الرئيسيّة وفي الحالة الثانية تمت زيادة صفيحة متدرجة عند نهاية النابض ودراسة تأثير ذلك على أداء النابض في كل حاله.

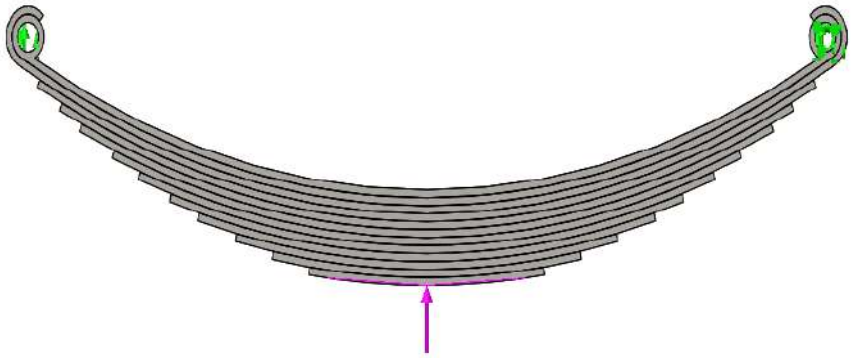
5. محاكاة النابض الصفائحي.

بعد تصميم أجزاء النابض الصفائحي وإعداد النماذج الرياضية لحساب الإجهادات على كافة أجزاء النابض، تمت محاكاة هذه الإجهادات من خلال البرنامج الحاسوبي (SolidWorks) والمتمثل في حساب الإجهادات الناتجة من تسليط حمل على النابض، والتغيرات التي يمكن أن تحدث عند تغيير هذا الحمل وزيادة عدد الصفائح في تصميم النابض الصفائحي.

6. فرضيات المحاكاة.

اعتمدت عملية المحاكاة على افتراض أن وزن الشاحنة بالحمولة والذي يمثل التحميل في هذا البحث يؤثر بنسبة 60% على المحور الخلفي للشاحنة في حين يؤثر 40% من الوزن على المحور الأمامي لها، وبالتالي يكون الحمل موزع بالتساوي على الجانبين. وبفرض أن أجزاء النابض التي تم اعتمادها في هذا البحث هي صفائح النابض فقط بدون أجزاء التثبيت، وبالتالي يتم إلغاء أجزاء التثبت عند إجراء عملية المحاكاة وتم تقسيم النابض إلى مجموعة من الشرائح الصغيرة بحجم (4.5mm) كما هو موضح في الشكل (2) وتثبيت النابض عند عين التثبيت (الحلقة) في جميع الاتجاهات وتثبيت العين الأخرى في الاتجاهين Y وZ وجعله حر الحركة في اتجاه Xمع تسليط الحمل على السطح السفلي للنابض كما هو موضح في الشكل (3).

شكل 2 تقسيم النابض الصفائحي إلى شرائح صغيرة لتحليل الإجهادات



شكل 3 تسليط الحمل على النابض الصفائحي.

7. عمليات المحاكاة ونتائجها

1.7 محاكاة النابض عند الحمل الأساسي [وزن الشاحنة + الحمل الأقصى].

تم تسليط الحمل الأساسي الأقصى على النابض وتم احتساب حمولة (8000 kg) كحمولة قصوى وذلك بحسب مواصفات الشاحنة قيد الدراسة وعمل محاكاة للنابض.

وزن الشاحنة بالإضافة إلى أقصى حمولة يمكن تحميلها على الشاحنة هو

كتلة الشاحنة 6000 kg +كتلة الحمولة الأولى (14000 kg) = 8000 kg

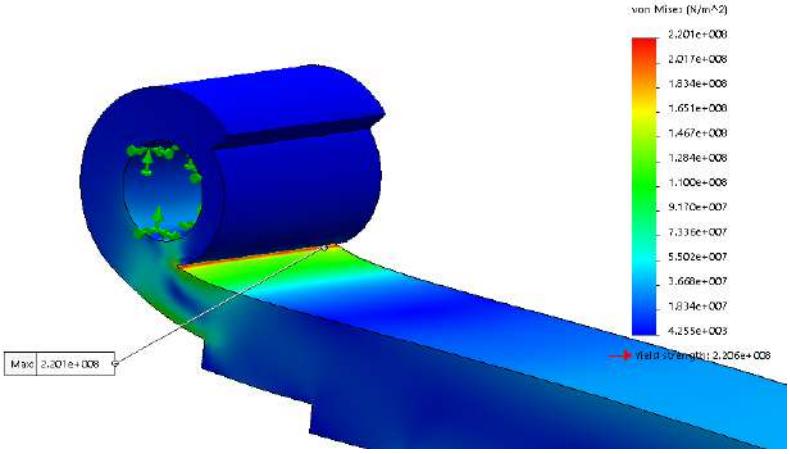
$$1400 \times 9.81 = 137340 \qquad (1)$$

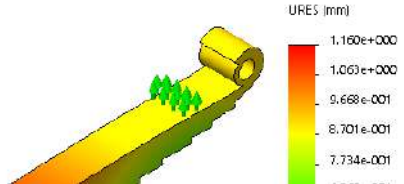
وبفرض ان نسبة 60 % من الوزن يتم تحميلة على الجزء الخلفي للشاحنة مقسم على الجانبين بالتساوي يصبح الوزن المؤثر على النابض الواحد.

$$137340 \times 0.6 \times 0.5 = 41202 \qquad (2)$$

من النتائج المتحصل عليها كانت أعلى قيمة للإجهاد (2.20073e+008 N/m^2)والتي تركزت عند عين النابض المثبتة وكان أقصى قيمة للتشوه (1.1601 mm) والتي كانت في منتصف النابض كما هو موضح بالأشكال (4 ، 5) .

ومن خلال مقارنة أقصى إجهاد المتحصل عليه مع إجهاد الخضوع لمادة النابض يتضح أن النابض يعمل في المجال المسموح به.





الشكل 5 التشوه الناتج عند الحمل الأساسي

2.7 محاكاة النابض بعد زيادة الحمل على الشاحنة بمعدل 2000 kg

في هذه الخطوة تم زيادة الحمولة القصوى بمقدار 2000kg، حيث أصبح الحمل الكلي على الشاحنةkg 16000 وتم محاكاة النابض لاختبار مدى قدرته على تحمل هذا الحمل ودراسة التغيرات التي قد تحدث.

كتلة الشاحنة 6000 kg + كتلة الحمولة الثانية (16000 kg) = 10000 kg

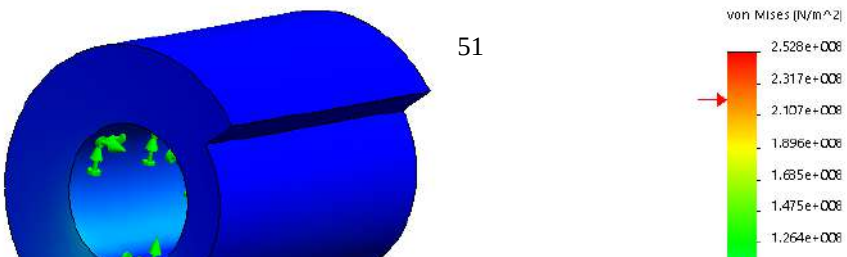
$$16000 \times 9.81 = 15960\ N \qquad (1)$$

الوزن المؤثر على النابض الواحد.

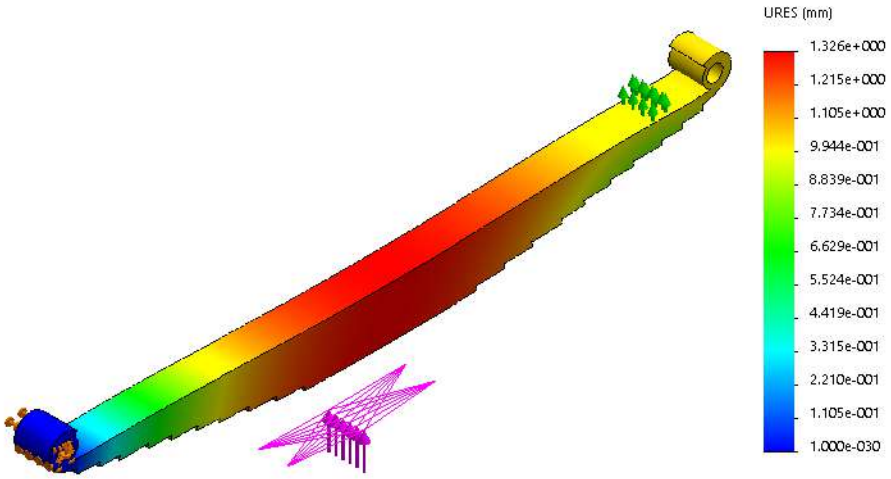
$$156960 \times 0.6 \times 0.5 = 47088 \qquad (2)$$

وكانت النتائج هي زيادة أقصى قيمة للإجهاد (2.52811e+008 N/m^2)، الأمر الذي زاد معه التشوه حيث كان قيمته (1.32584 mm).الشكل (6,7)

ونلاحظ من النتائج أن الإجهادات زادت عن معدلها السابق عند زيادة الحمل الأقصى على الشاحنة ليصبح أعلى من إجهاد الخضوع لمادة النابض مما قد يدخل النابض لمرحلة حرجة وهي مرحلة التشوه اللدن ويتضح ذلك أيضا من خلال الزيادة في التشوه الذي حصل للنابض عند زيادة الحمل.



شكل 6 تركيز الإجهادات الناشئة في النابض عند زيادة الحمل



الشكل 7 التشوه الناتج عند زيادة الحمل

3.7 زيادة عدد الصفائح.

لمحاولة تحسين عمل النابض تم زيادة عدد الصفائح للنابض بطريقتين مختلفتين لاختبار التغير الذي قد يطرأ على النابض نتيجة هذه الزيادة ،وتكون هذه الزيادة إما بزيادة عدد الصفائح الرئيسيّة، أو بزيادة عدد الصفائح المتدرجة، ودراسة تأثير ذلك على أداء النابض.

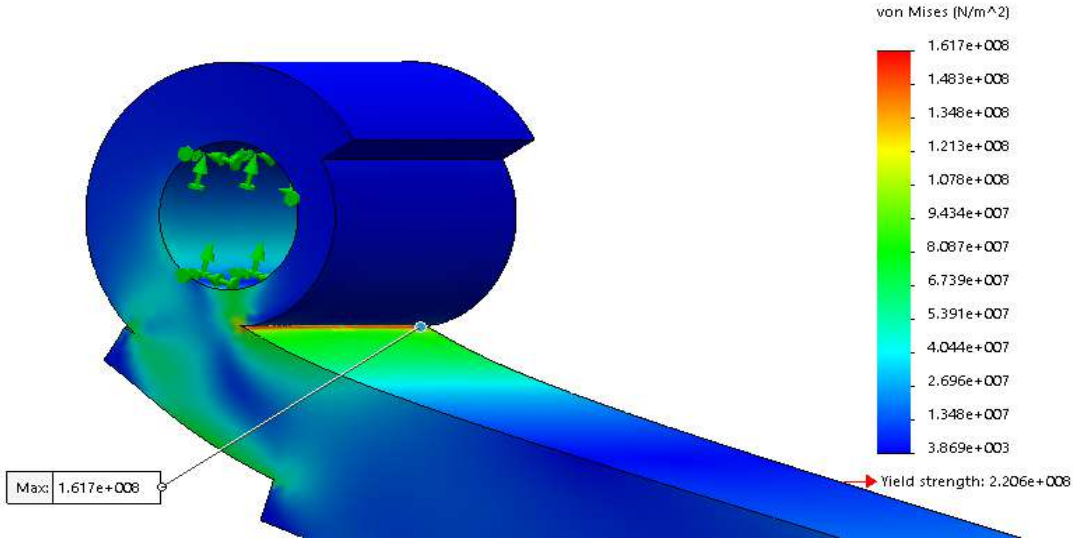
1.3.7 زيادة عدد صفيحة واحدة رئيسية.

تم زيادة صفيحة واحدة رئيسية ترتيبها الثالث من الأعلى وتمت المحاكاة على النابض بالشكل الجديد لاختبار التغير الذي قد يطرأ.

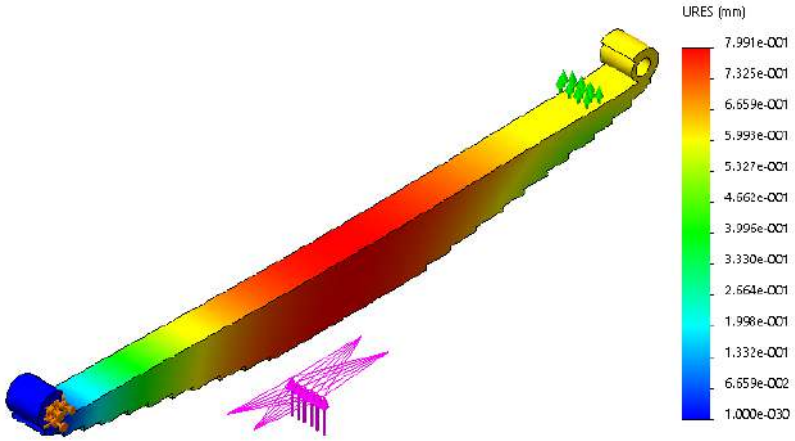
أ- **محاكاة النابض عند الحمل الأساسي [وزن الشاحنة + الحمل الأقصى].**

من خلال النتائج الموضحة بالأشكال(8,9)يتضح أن أعلى قيمة للإجهاد كانت (1.61731e+008) N/m^2 وأعلى قيمة للتشوه هي (0.799118mm).

إن محاولة زيادة صفيحة واحدة رئيسية أعطت نقص في قيم الإجهادات عن التي نتجت بدون استخدام هذه الزيادة عند نفس الحمل وكذلك فإن قيمة التشوه نقصت.



شكل 8 تركيز الإجهادات بزيادة صفيحة رئيسية عند الحمل الأساسي



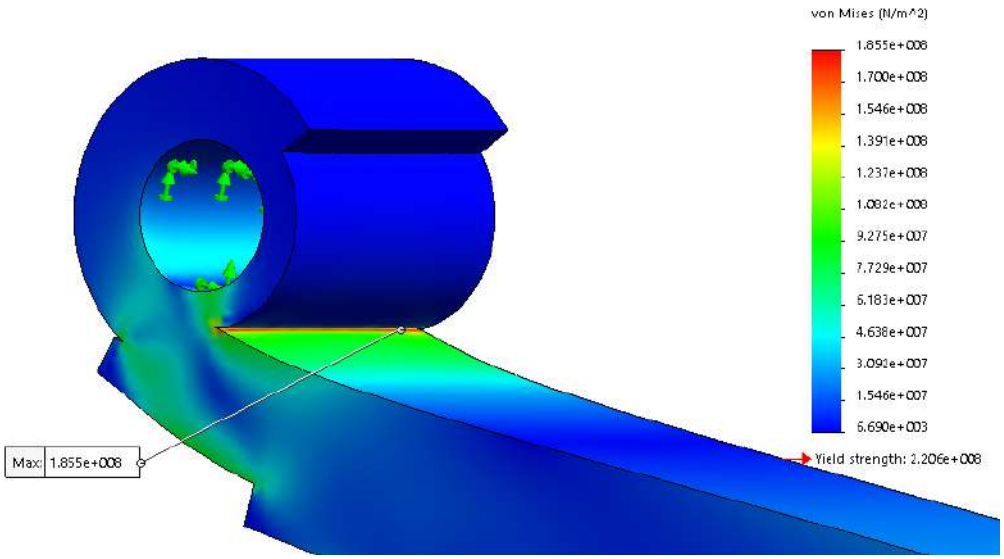
شكل 9 التشوه الناتج بزيادة صفيحة رئيسية عند الحمل الأساسي

ب - **زيادة الحمل على الشاحنة بمعدل 2000 kg**

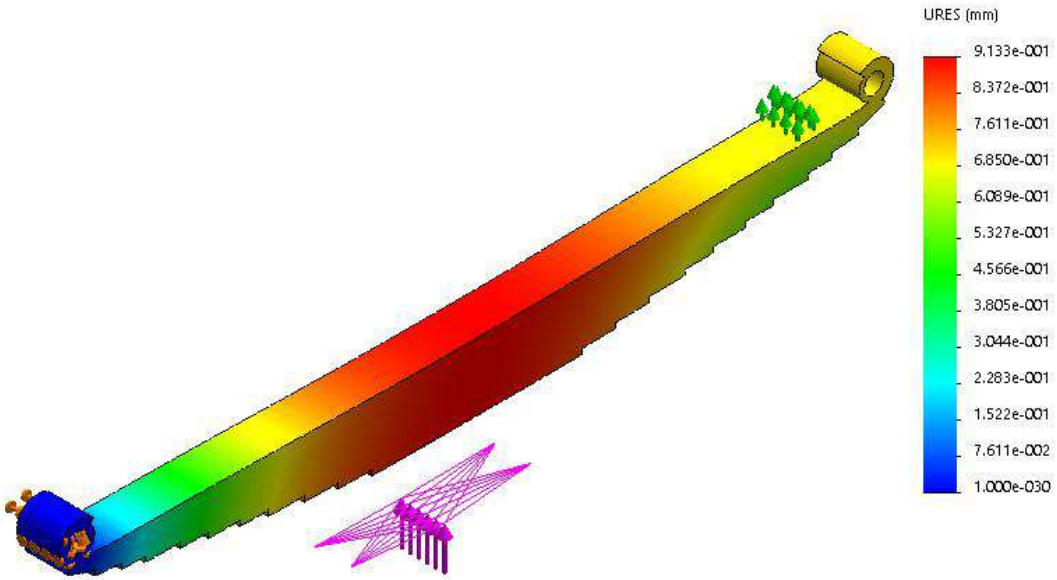
الشكلين (10,11) يوضحان النتائج المتحصل

عليها عند زيادة الحمل فكانت قيمة أقصى إجهاد (1.85489e+008 N/m^2) وأقصى تشوه (0.913277 mm) .

ونلاحظ من هذه النتائج أنه عند زيادة صفيحة رئيسية على النابض وزيادة الحمل الأقصى بمعدل 2000 kgk لم تتجاوز قيمة أقصى إجهاد قيم إجهاد الخضوع لمادة النابض (2.206e+008 N/m^2).



شكل 9 تركيز الإجهادات بزيادة صفيحة رئيسية عند زيادة الحمل



شكل 11 التشوه الناتج عند زيادة صفيحة رئيسية وزيادة الحمل

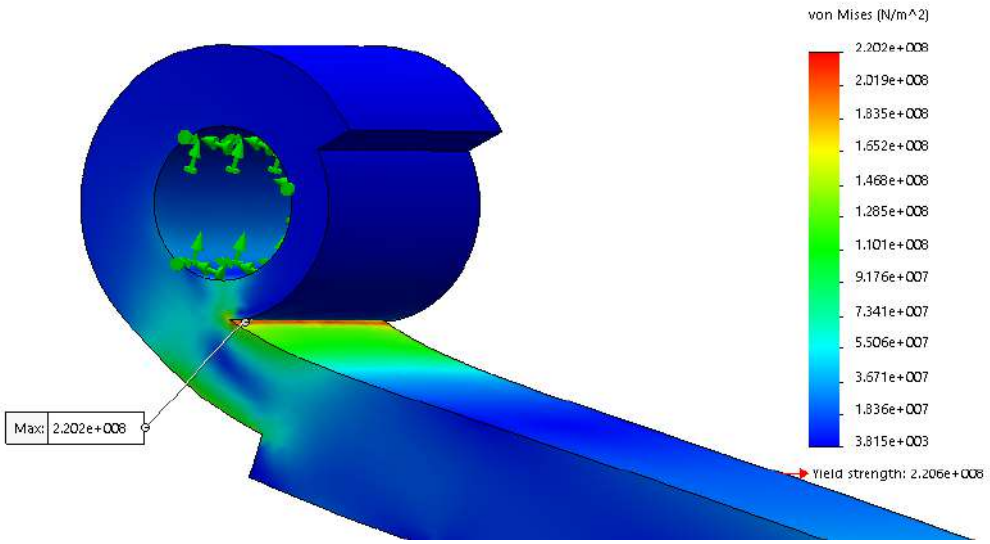
4.7 زيادة عدد صفيحة واحدة متدرجة.

تم زيادة صفيحة واحدة متدرجة ترتيبها الثالث عشر من الأعلى أي أنها الصفيحة الأخيرة وتمت محاكاة النابض بالشكل الجديد لاختبار التغير الذي قد يطرأ.

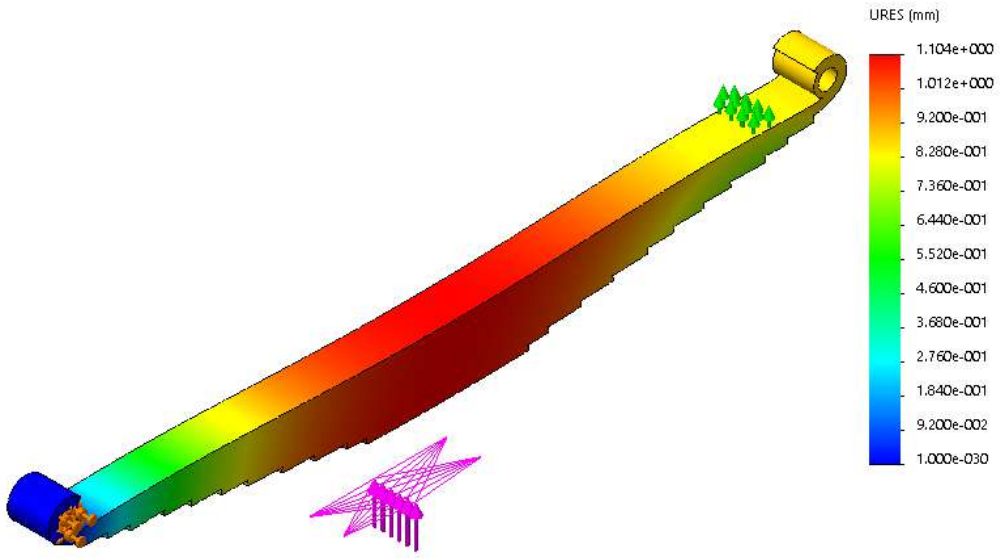
أ- محاكاة النابض عند الحمل الأساسي [وزن الشاحنة+الحمل الأقصى].

من خلال النتائج الموضحة بالأشكال (12,13) يتضح أن أعلى قيمة للإجهـــاد كانت (2.20219e+008 N/m^2) وكان أعلى تشوه (1.10403 mm).

من النتائج المتحصل عليها نلاحظ أن قيم الإجهادات وكذلك التشوه لم يطرأ عليها تغير كبير مقارنة بتلك التي تحصلنا عليها بدون زيادة أي صفيحة على النابض



شكل 12 تركيز الإجهادات بزيادة صفيحة متدرجة عند الحمل الأساسي

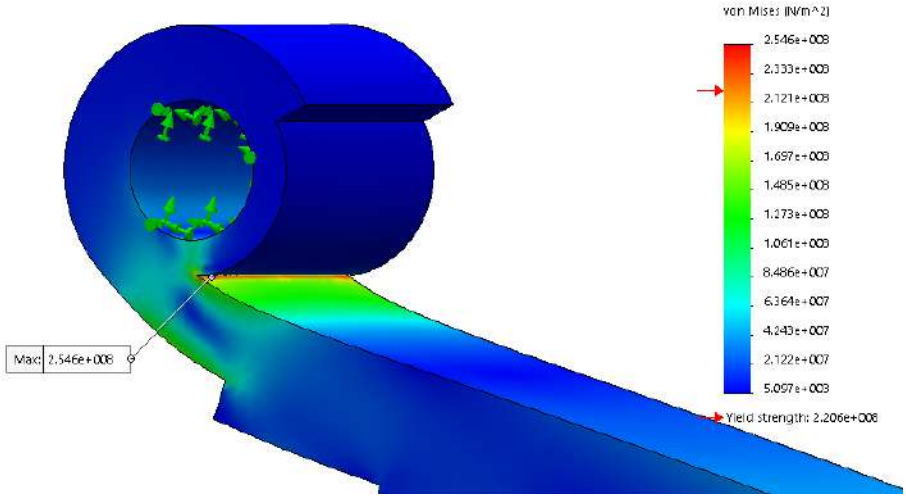


شكل 13 التشوه الناتج بزيادة صفيحة متدرجة عند الحمل الأساسي

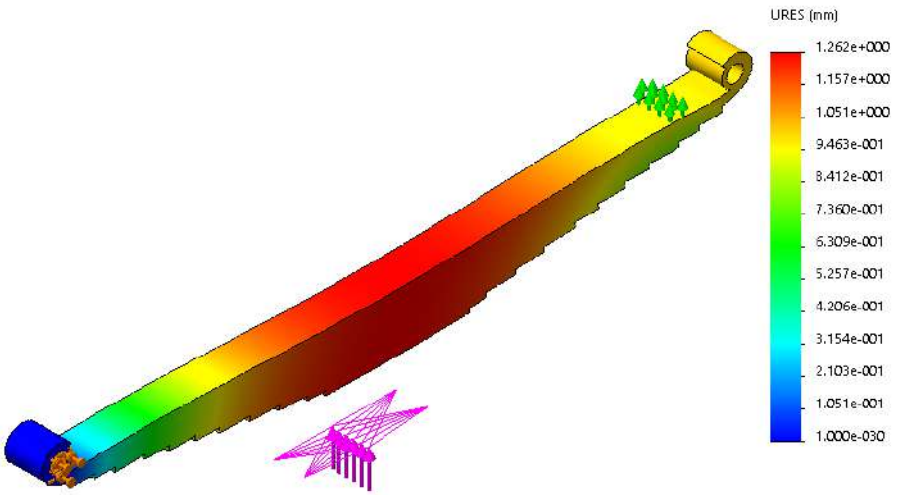
ب- زيادة الحمل على السيارة بمعدل 2000 kg

من النتائج المتحصل عليها فإن أعلى قيمة للإجهـــاد كانـت (2.20219e+008 N/m^2) وكـان أعلـى تشــوه (1.10403 mm) الشكلين (14,15)

هذه النتائج تؤكد لنا أن زيادة صفيحة متدرجة أسفل النابض لم تغير كثيرا من النتائج المتحصل عليها عند استخدام النابض دون هذه الزيادة في عدد الصفائح



شكل 14 تركيز الإجهادات عند زيادة صفيحة متدرجة مع زيادة الحمل



شكل 15 التشوه الناتج عند زيادة صفيحة متدرجة مع زيادة الحمل

8. الخلاصة

باستخدام البرنامج الحاسوبي (Solidworks)تم تحليل الإجهادات الناتجة في النابض الصفائحي ومعرفة أماكن تركيزهاوأمكن استنتاج أن زيادة قطعة صفائحية إضافية على النابض الصفائحي يعطي نتائج جيدة تحسن من أداء النابض ويمكن معها زيادة أحمال إضافية على الشاحنة مع ملاحظة أن تحسين أداء النابض بزيادة قطعة إضافية يعتمد على وضعية القطعة. فزيادة قطعة رئيسية إضافية يعطي تحسن أفضل من زيادة قطعة إضافية متدرجة.نوصي بعدم استخدام الشاحنات الثقيلة في نقل حمولة تزيد عن الحد الأقصى المسموح به فزيادة الأحمال المسلطة عن الحد المسموح به قد يعطي نتائج غير مرضية الأمر الذي قد يؤدي الى تحطم النابض ويشكل خطرا.

9. المراجع

[1] Dhiraj K. Bhandarkar, Sanjay P. Shekhawat, Design, Analysis and Optimization of Leaf Spring**,** International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol.3,Issue 6, June 2014

[2] US. Ramakanth, K.Sowjanya, Design and Analysis of Automotive Multi-leaf springs using Composite Materials, International Journal of Mechanical Production Engineering Research and Development ,Vol. 3, Issue 1, Mar 2013, 155-162

[3] محمد حميد جعفر، موجد هادي، سعد رزاق، إعادة تنشيط النوابض الفولاذية الإنضغاطية نوع -ASTM A232مجلة الكوفة الهندسية ، المجلد الثاني، العدد الأول ، 2010

[4] S.Sali, B.kamanna,S.Chawkekar,R.Pote, Parametric Designing and Simulation of Mono Leaf Spring using Solidworks, International Journal of latest trends in Engineering and Technology, Vol.6, Issue 4, 2016

[5] T.N.V.Ashok Kumar, 2E.Venkateswara Rao, 3S.V.Gopal Krishna, Design and Material Optimization of Heavy Vehicle Leaf Spring ,IJRMET, Vol. 4, Issue1, April 2014

[6] Ghodake A. P, Patil K.N. Analysis of Steel and Composite Leaf Spring for Vehicle, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering , Vol. 5, Issue 4 (Jan. - Feb. 2013), PP 68-76

[7]- R.S.Khurmi, J.K. Gupta, A Text Book of Machine Design, Eurasia Publishing House (PVT.) LTD.RAM NAGAR, NEW DELHI-110 055**,** 200