

التحليل بالعناصر المنتهية لانحناء سهم الرافعة التلسكوبي ذي المقطع المستطيل الأجوف بمساعدة الحاسوب

د. سمير كفا*

د. رائد النجار**

فادي طحان***

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2016. قُبِلَ للنشر في 28 / 9 / 2016)

□ ملخص □

يُستخدم الجائز الكابولي التلسكوبي بشكل واسع في العديد من أنواع الروافع. وباعتبار أن هذه الجوائز مرنة ويمكن تمديدها وتقليصها ضمن ظروف تشغيل مختلفة ، يتغير الطول الكلي للجائز ديناميكياً ، مما يؤدي إلى خصائص اهتزاز متغيرة مع الزمن.

ما سبق يجعل عملية نمذجة الجائز أمراً صعباً على الرغم من الاحتياجات المهمة لهذه النمذجة بهدف تحليل الاجهادات والتشوهات أثناء عمل الرافعة بمساعدة برامج الـ CAD .

يناقش هذا البحث إمكانية إيجاد حل للمشاكل التصميمية التي تنشأ أثناء انهيار سهم الرافعة التلسكوبي وذلك من خلال تطبيق تقنيات التحليل باستخدام العناصر المنتهية FEA وصولاً إلى الأبعاد المثلى للجائز والتي ستشكل التصميم الأمثل لسهم الرافعة التلسكوبي.

الكلمات المفتاحية: الجائز الكابولي التلسكوبي ، تحليل الاجهادات والتشوهات ، العناصر المنتهية .

*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 (ماجستير) - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Computer Assisted FEA of the Hollow Rectangular Telescopic Cantilever Beam Buckling

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

(Received 1 / 8 / 2016. Accepted 28 / 9 / 2016)

□ ABSTRACT □

The telescopic cantilever beam is widely used in different types of cranes. These structures are flexible; it can expand or shrink according to the operating conditions. The dynamic changes of the total length of the structure lead to time-dependent vibrational characteristics. In practice, CAD modeling for this case is a challenging matter due to the nature of the problem of analyzing stress and deformation occurring during the operation of the crane. This research discusses the feasibility of finding a solution for the design problems initialized during the failure of the telescopic cantilever beam through the application of Finite Element Analyses (FEA) in order to find the ideal dimension of the structure which represents the best design for the telescopic cantilever beam.

Key words: The telescopic cantilever beam - Stress and deformation analyses - Finite Element Analyses (FEA) .

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

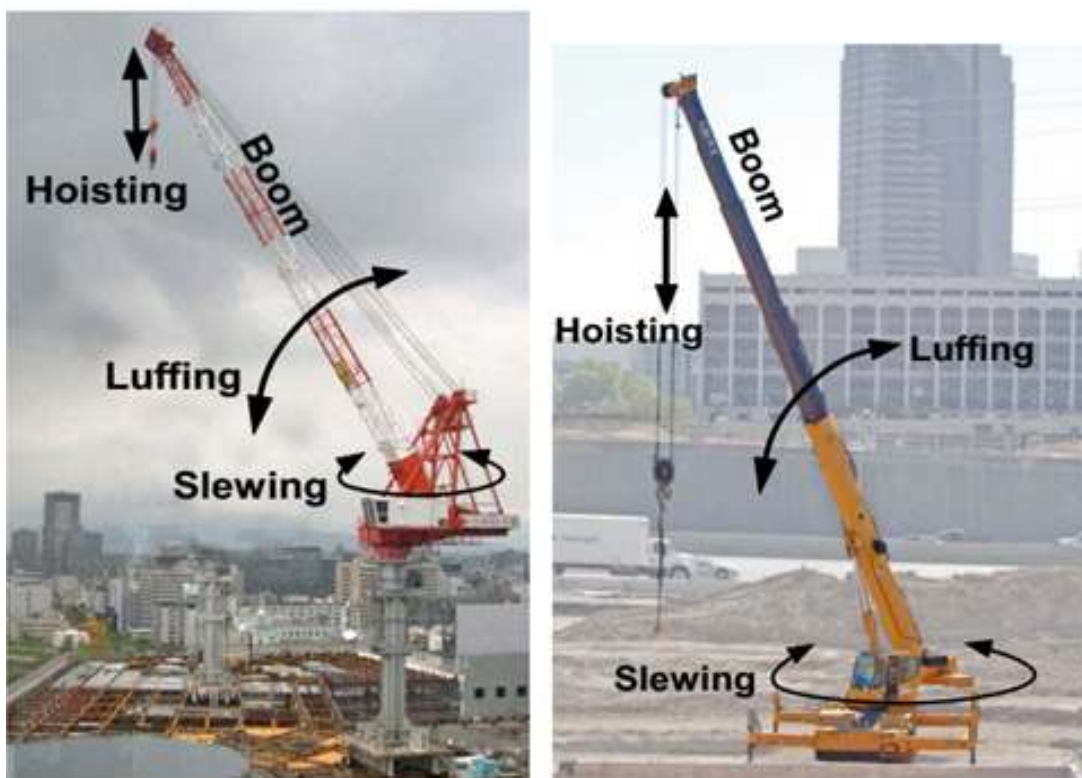
** Associate professor , design and production engineering- Faculty of mechanical and electrical engineering - Tishreen University- Lattakia -Syria.

*** Postgraduate student , design and production engineering- Faculty of mechanical and electrical engineering - Tishreen University- Lattakia - Syria.

مقدمة :

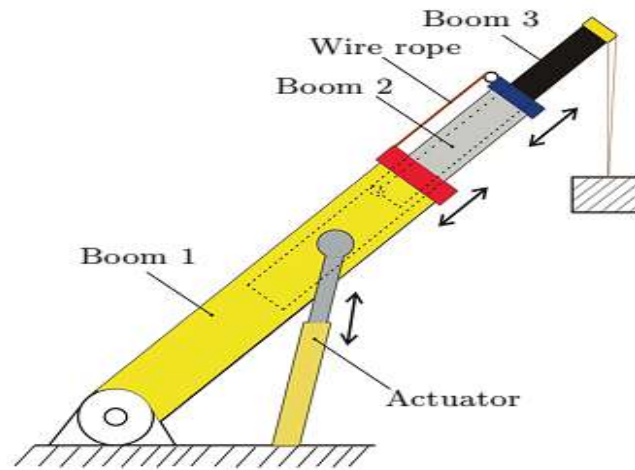
تعتبر الرافعة الآلة الأساسية المستعملة في نقل الأحمال الثقيلة والمواد الخطرة في السفن و المرافئ والمصانع والمحطات الكهرونيوية والأبنية العالية... الخ. وتصنف أكاديمياً بنوعين هما: رافعات جسرية / قنطرية ورافعات سهمية دوارة .

تتميز الرافعة السهمية عن غيرها من الروافع بوجود ذراع أحادي يتمحور ويدور على قاعدة من أحد الأطراف ويرفع الحمولة من الطرف الآخر. وتوجد بشكلين أساسيين : أما رافعة جمالونية بسهم ثابت الطول ، أو رافعة تلسكوبية متغيرة طول السهم. يبين الشكل (1) أنواع الروافع السهمية ونظام تشغيلها. وسيتم التركيز لاحقاً فقط على الروافع التلسكوبية - موضوع البحث - والتي تختلف عن باقي أنواع الروافع بنوع السهم الذي يستطيع أن يعمل بشكل متداخل وعند أطوال مختلفة [1,2] .



الشكل(1) يبين مخططاً لنظام تشغيل الروافع السهمية.

مع الإشارة الى ان مبدأ عمل الجانز الكابولي التلسكوبي الموضح في الشكل (2) هو المطبق بشكل واسع في العديد من أنواع الروافع السهمية المتحركة .



الشكل (2) شكل تخطيطي لسهم رافعة تلسكوبية

وباعتبار ان هذه الجوائز مرنة ويمكن تمديدها وتقليصها ضمن ظروف تشغيل مختلفة يتغير الطول الكلي للجائز ديناميكياً، مما يؤدي إلى خصائص اهتزاز متغيرة مع الزمن. إن هذه القضية بالواقع تجعل عملية تصميم الجائز أمراً صعباً وشائكاً وتؤدي بسهم الرافعة إلى التحنيب والانهياب الشكل (3) .



الشكل (3) حالة الانحناء /التحنيب/ وحالة الانهياب للسهم التلسكوبي.

يعتبر الانحناء (التحنيب) من أكثر أنماط الفشل شيوعاً في العناصر الإنشائية التي قد تحصل ضمن الحد المرن. ويتأثر نمط الفشل هذا بالعوامل التالية: خاصية المادة ، المقطع العرضي للعنصر ونسبة النحف وهي نسبة طول العنصر إلى ثخانتته. ويعتمد تحذب المقطع في حالة الجوائز الكابولية بشكل كبير على نوع المقطع العرضي المستخدم و الثخانات و طول الجائز و طول التداخل ووسائد التآكل المستخدمة في الجوائز. ومن أجل إيجاد التحميل الأقصى (تحميل التحذب) للجائز يتوجب البحث عن التصميم الأمثل للسهم [3,4].

سيتم في هذا البحث دراسة تحذب الجائز الكابولي التلسكوبي المتداخل من أجل المقاطع المستطيلة وشبه المستطيلة الجوفاء تحت التحميل الطرفي باستخدام طريقة العناصر المنتهية *FEA* وذلك خلال مراحل إنجاز تصميم الجائز التلسكوبي للرافعة بكامل عناصره و تجميعه ومن ثم تحريكه واختبار بنيته الإنشائية بمساعدة الحزم البرمجية للتصميم بمساعدة الحاسوب ونظم الـ *CAD* .

أهمية البحث وأهدافه :

تكمن أهمية البحث في إيجاد حل للمشاكل التصميمية التي تنشأ أثناء انهيار سهم الرافعة التلسكوبية ، حيث يعرف الانهيار بأنه فقدان الفجائي للسلامة الإنشائية بفشل المادة . ويعتبر الانحناء / التحنيب (*Buckling*) من أكثر أنواع الفشل شيوعاً على العناصر الإنشائية التي قد تحصل ضمن الحد المرين .

إن هدف البحث هو دراسة سلوك الانحناء/التحنيب (*Buckling*) للجائز الكابولي المتداخل ذو المقطع القشري المستطيل الأجوف أو شبه المستطيل (حالة السهم التلسكوبي لرافعة) وذلك من خلال تطبيق تقنيات التحليل باستخدام العناصر المنتهية *FEA* وصولاً إلى الأبعاد المثلى للجائز والتي ستشكل التصميم الأمثل لعملية تحنيب وانحناء سهم الرافعة التلسكوبية [5].

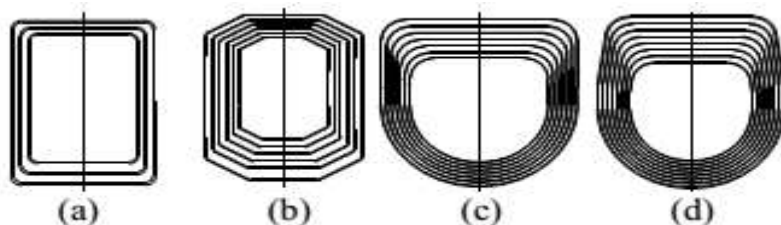
طرائق البحث و موادہ :

تتلخص بدراسة وبحث النقاط التالية :

- معرفة سلوك التحذب لجائز مستطيل قشري أجوف ومتداخل / حالة تلسكوب / .
- إجراء عملية التصميم الأولية ورسم كافة أجزاء السهم التلسكوبي لرافعة بمساعدة برنامج *Autodesk Inventor Professional (AIP)* من أجل بحث طرق انجاز عملية محاكاة التحذب والتحذب اللاحق للسهم التلسكوبي .
- اختيار معادن كافة عناصر الجائز التلسكوبي ومواده .
- تحديد قيم القوى المطبقة على طرف الجائز وبالتالي حمولة الرافعة في الوضعية الأخطر .
- التحليل الستاتيكي بمساعدة طريقة العناصر المنتهية *FEM* وحساب كافة الاجهادات والانتقالات على الجائز لتحديد أماكن وقيم فشل وانهيار الجائز .
- إجراء عملية التحقق .

سلوك التحذب لجائز مستطيل قشري أجوف ومتداخل :

يعتبر سهم الرافعة القسم الأساسي في الرافعة ويستخدم لرفع الحمولة ، ويصل عادة إلى الطرف الأمامي من الرافعة. يتضمن هذا الجزء مقاطع متعددة متصلة مع بعضها بأسطوانة وحبال الشكل (4) . يعتمد رقم المقطع على المواصفات المطلوبة للرافعة [6,7] . وسيتم في هذا البحث مناقشة توزيع القوة على سهم الرافعة التلسكوبي خلال مرحلة التحميل . ومن أجل ذلك سوف نقوم بعملية تحليل التحذب باستخدام العناصر المنتهية بمساعدة برنامج *AIP* .

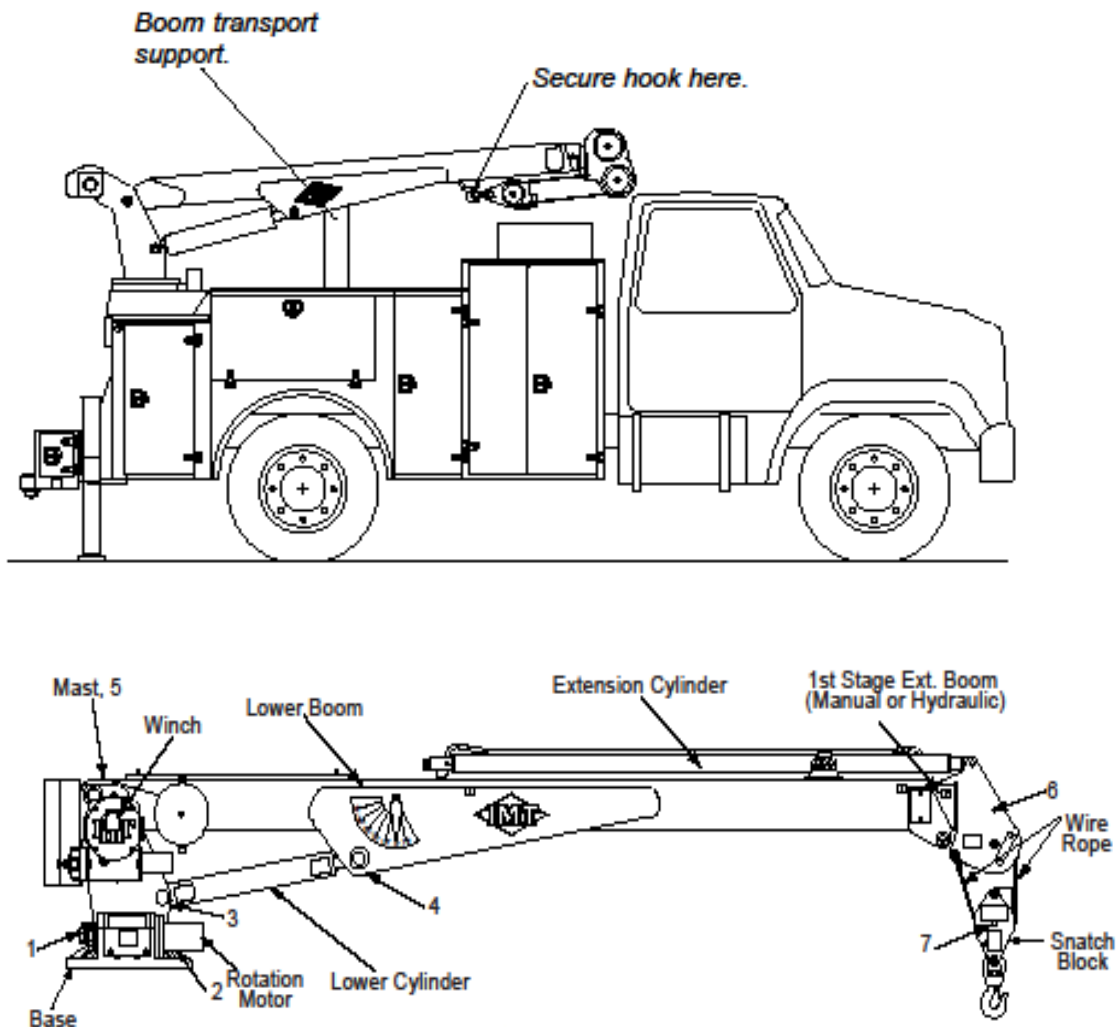


الشكل (4) نماذج المقطع القشري المستطيل و شبه المستطيل

يعتبر برنامج *(Autodesk Inventor Professional)* واحداً من أفضل منتجات شركة *Autodesk* المشهورة. وقد وفرت *AIP* حلاً ممتازاً لسنوات عديدة ليس فقط من أجل *FEA* بل من أجل التحليل الديناميكي أيضاً والعديد من المشاكل المعقدة الحقيقية نتيجة تطوراتها المستمرة. وفي *AIP* توجد العديد من الحلول لمشاكل التحذب والتي سيحاول هذا البحث الاستفادة منها [9,8].

عرض مشكلة البحث :

لقد تم اختيار رافعة تلسكوبية مكونة فقط من عنصرين مستطيلين أو شبه مستطيلين مجوفين (جوائز قشرية). حيث سيثبت الجائز الأم من طرفه ، بينما يتوجب إيجاد المقاطع الأخرى للجائز من خلال البحث عن الأبعاد المثلى للتصميم وتحليلها لسلوك التحذب والتحذب اللاحق. في هذا البحث سيتم استخدام *CAE / AIP* لإيجاد المقطع الأمثل للجائز الداخلي للتسكوب تحت تأثير التحميل الحرج للتحذب و تحليل النتائج لإجراء حسابات أكثر واقعية ومقارنتها مع النتائج التجريبية المستقبلية . الشكل (5) يبين تصميم الرافعة التلسكوبية قيد الدراسة [10].



الشكل (5) يبين الشكل العام للرافعة التلسكوبية قيد الدراسة .

المتطلبات الرئيسية لمسألة التصميم قيد الدراسة :

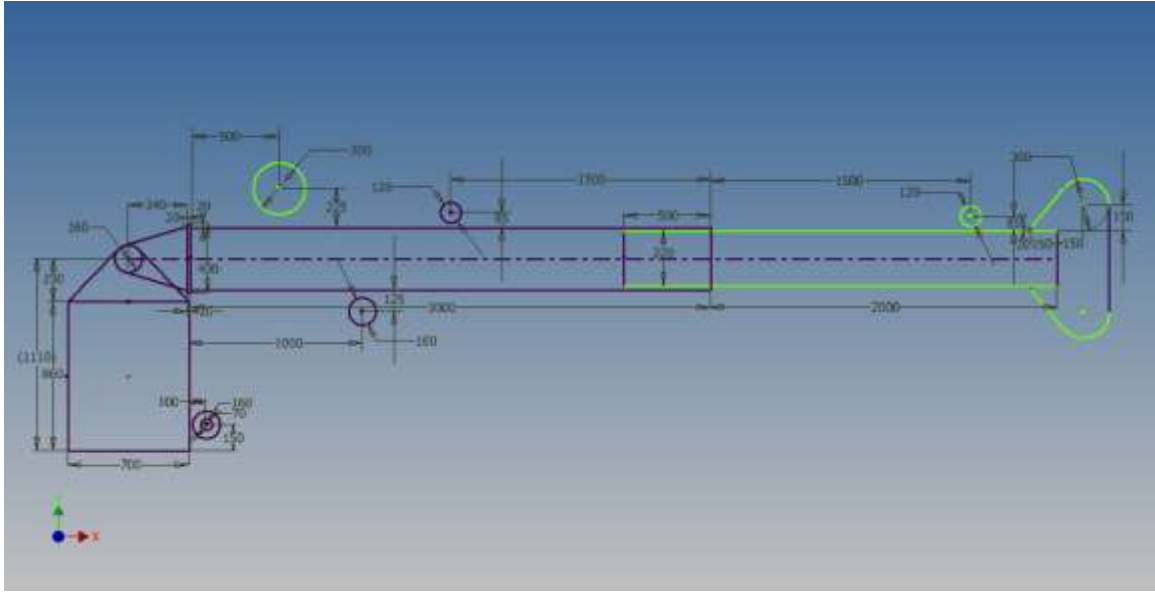
- الحمولة القصوى التي تعمل عندها الرافعة.
- عامل الأمان المطلوب.
- المواد المستخدمة في بناء أجزاء الرافعة .
- أقصى انحراف / إزاحة للجائز التلسكوبي .
- أقصى سماكة لجوائز التلسكوب .

ويبين الجدول التالي المواصفات الفنية لسهم الرافعة التلسكوبية قيد الدراسة : وهي عبارة عن جوائز قشرية جوفاء شبه مستطيلة عددها اثنين خارجي وداخلي ، مع قاعدة استنادها ، وأيضاً المكابس الهيدروليكية ومسامير التثبيت .

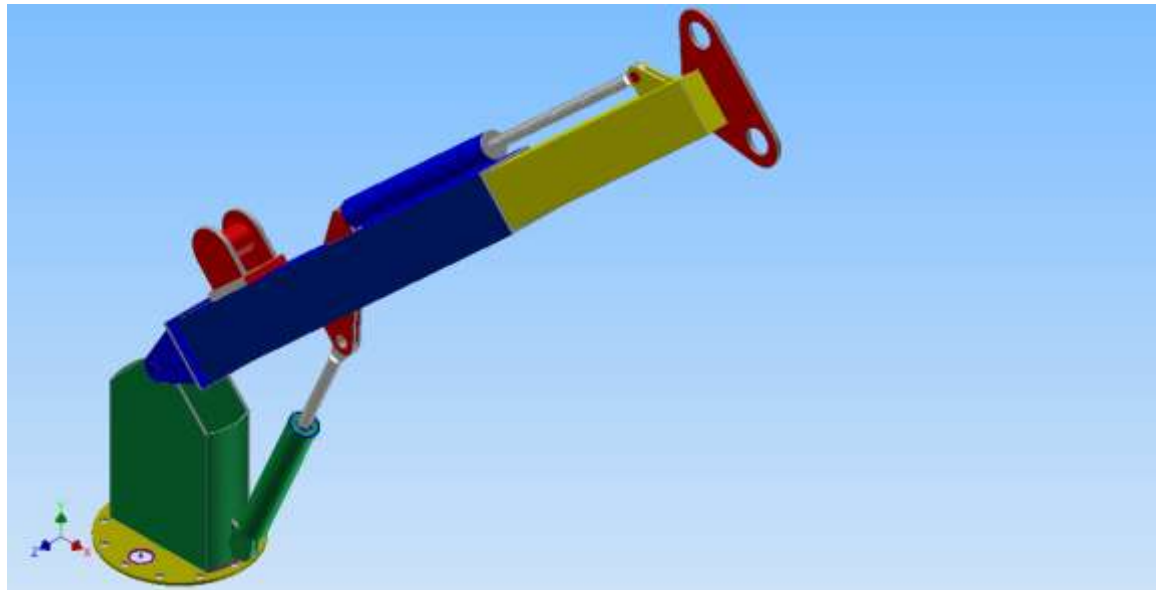
المواصفات الفنية لذراع الرافعة التلسكوبية قيد الدراسة [12,11]:

| ملاحظات | التفاصيل | المعلومات الفنية | Sr. No |
|------------|-----------------|------------------------------------|--------|
| 20 KN | 2 tons | الحمولة | 1 |
| شبه مستطيل | مربع أجوف | نوع المقطع | 2 |
| - | 3000x320x320 mm | أبعاد المقطع الخارجي | 3 |
| - | 2000x300x300 mm | أبعاد المقطع الداخلي | 4 |
| الأولية | 20 mm | أقصى سماكة لجوائز التلسكوب | 5 |
| الأولية | الفولاذ | مواد أجزاء السهم التلسكوبي | 6 |
| الأولية | 500 mm | نسبة التداخل بين الجوائز | 7 |
| - | 2.25 ÷ 1.25 | حدود عامل الأمان المطلوب | 8 |
| - | 45 mm | أقصى انحراف / إزاحة لكامل التلسكوب | 9 |

يبين الشكل (6) المقطع العرضي التخطيطي لكامل الرافعة التلسكوبية منفذاً بمساعدة AIP، أما الشكل (7) فيبين الرافعة بأبعادها الفراغية .



الشكل (6) رسم المقطع العرضي التخطيطي لكامل الرافعة التلسكوبية مع كافة الأبعاد.



الشكل (7) ويبين الرافعة التلسكوبية المجمعّة بشكل ثلاثي الأبعاد.

إجراء التحليل الستاتيكي/ العام مع دراسة التحدب :

في AIP ولحساب تحميل تحدب المنشأة و قبل خطوة التحدب *Buckling* ينبغي إعداد خطوة *Static/General*. ومن أجل تحليل التحدب وحساب تحميله يحتاج إلى تحديد "الحمولة الساكنة" (*Dead Load*) وأيضاً "الحمولة الحية" (*Live Load*) التي سيحسب البرنامج عندها الجذور الكامنة. وفي هذا

الإجراء يكون إنشاء التحليل باختيار معادن مختلفة لعناصر المنشأة المؤلفة لتسكوب الرافعة ، الحالات التالية تبين الخواص الميكانيكية لهذه المعادن وفق إعدادات AIP.

A - الحالة الأولى :

وتكون معادن الجائزين الخارجي والداخلي في التسكوب مصنعة من الفولاذ *Steel* وتملك المواصفات التالية:

الجدول (1) المواصفات الميكانيكية للمعادن المستخدمة في جوائز تسكوب الرافعة / الحالة الأولى/

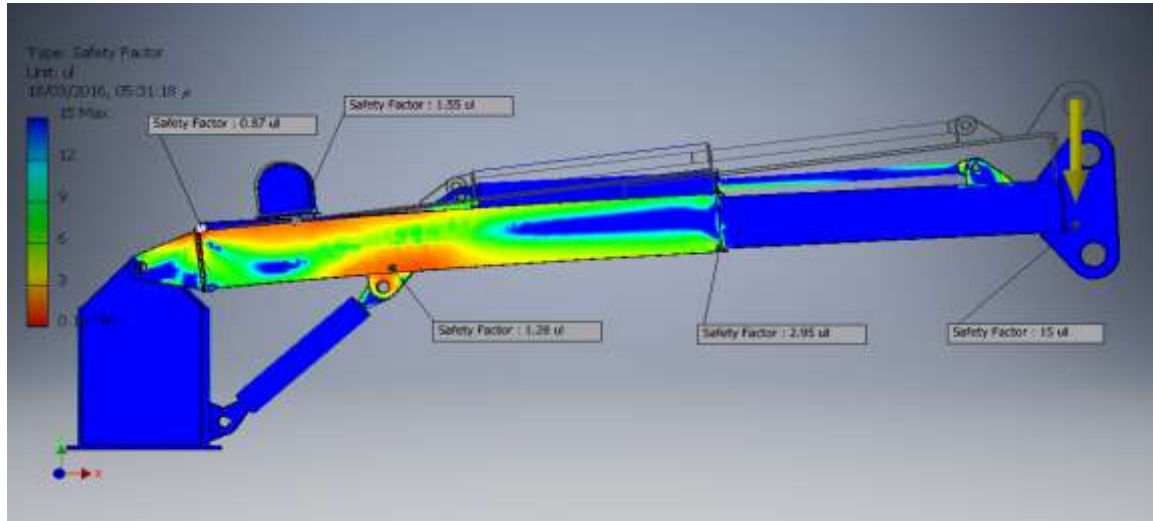
| Part Name | Material Name | Poisson's Ratio (ul) | Young's Modulus (Gpa) | Mass Density (g/cm ³) | Yield Strength (Mpa) | Ultimate Tensile Strength (Mpa) |
|----------------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| outer boom.ipt | Steel | 0.3 | 210 | 7.85 | 207 | 345 |
| inner boom.ipt | Steel | 0.3 | 210 | 7.85 | 207 | 345 |

يتم تطبيق حمولة أعظمية وقدرها (20 KM أو مايعادل 2 ton) على نهاية الجائز وفي أخطر وضعية للرافعة التسكوبية ، والتي تشترك بطريقة التثبيت الموحدة في كل الحالات مع الحفاظ على الشروط الحدية المطبقة. عند بدء تفعيل الخيار *Stress Analysis Update* يتم تحليل الاجهادات في المنشأة والحصول في النهاية على النتائج الموضحة في الجدول (2) الأتي:

الجدول (2) نتائج التحليل الستاتيكي لجوائز الرافعة التسكوبية قيد الدراسة / الحالة الأولى/

| Part Name | Maximum Safety Factor | Minimum Safety Factor | Maximum Deformation (mm) | Maximum Equivalent Stress (Mpa) | Minimum Equivalent Stress (Mpa) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| outer boom.ipt | 2.95 | 0.87 | 18.08 | 238 | 70 |
| inner boom.ipt | 15 | 6.11 | 36.35 | 34 | 6 |

تعطي نتائج التحليل الستاتيكي المرتبطة بالتحميل المطبق *Load* ، وتظهر المعاينة *Visualisation* : الإجهاد الأعظمي المكافئ *Von Mises Stress* ، التشوه / الإزاحة الأعظمية *Displacement* ، معامل الأمان *Safety Factor* و يبين (الشكل 8) تحليل النتائج للحالة الأولى بأن عامل الأمان للجائز الخارجي أقل من الواحد مما يجعل التصميم غير مقبول ويقود للبحث عن حلول لرفع عامل الأمان كتغيير المعدن .



الشكل (8) ويبين نتيجة التحليل مع عرض كامل معلومات التحميل الأساسية للحالة الأولى

B - الحالة الثانية :

في هذه الحالة يتم تغيير معدن الجائز الخارجي الى *Steel High Strength* ويبقى معدن الجائز الداخلي من الفولاذ *Steel* لتصبح المواصفات كما يلي:

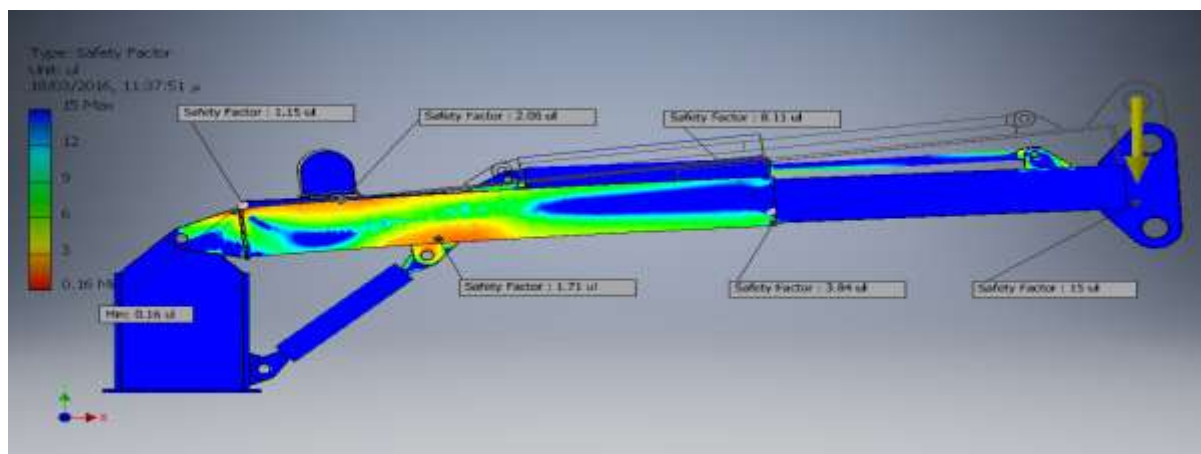
الجدول (3) المواصفات الميكانيكية للمعادن المستخدمة في جوائز تلسكوب الرافعة / الحالة الثانية/

| Part Name | Material Name | Poisson's Ratio (ul) | Young's Modulus (Gpa) | Mass Density (g/cm ³) | Yield Strength (Mpa) | Ultimate Tensile Strength (Mpa) |
|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| outer boom.ipt | Steel, High Strength | 0.287 | 200 | 7.85 | 275.8 | 448 |
| inner boom.ipt | Steel | 0.3 | 210 | 7.85 | 207 | 345 |

نجري التحليل للمنشأة على هذه المعادن فنحصل على نتائج مختلفة لقطع متشابهة بالأبعاد والشكل ولكن مختلفة بنوع المعدن ، ونتائج الحالة الثانية موضحة في الجدول (4) الآتي :

الجدول (4) نتائج التحليل الستاتيكي لجوائز الرافعة التلسكوبية قيد الدراسة / الحالة الثانية/

| Part Name | Maximum Safety Factor | Minimum Safety Factor | Maximum Deformation (mm) | Maximum Equivalent Stress (Mpa) | Minimum Equivalent Stress (Mpa) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| outer boom.ipt | 3.84 | 1.15 | 19.03 | 240 | 72 |
| inner boom.ipt | 15 | 8.11 | 38.2 | 34 | 6 |



الشكل (9) ويبين نتيجة التحليل مع عرض كامل معلومات التحميل الأساسية للحالة الثانية

يتبين من تحليل النتائج للحالة الثانية المبينة في الشكل (9) بأن عامل الأمان للجائز الخارجي أفضل وهو أكبر من الواحد ولكنه أقل من 1.3 مما يجعل التصميم غير مقبول ويستمر البحث عن معدن آخر .

C - الحالة الثالثة :

في هذه الحالة يتم تغيير معدن الجائز الخارجي لـ *Steel Carbon* (المتوسط الكربون) ويبقى معدن الجائز الداخلي من الفولاذ *Steel* لتصبح المواصفات كما يلي :

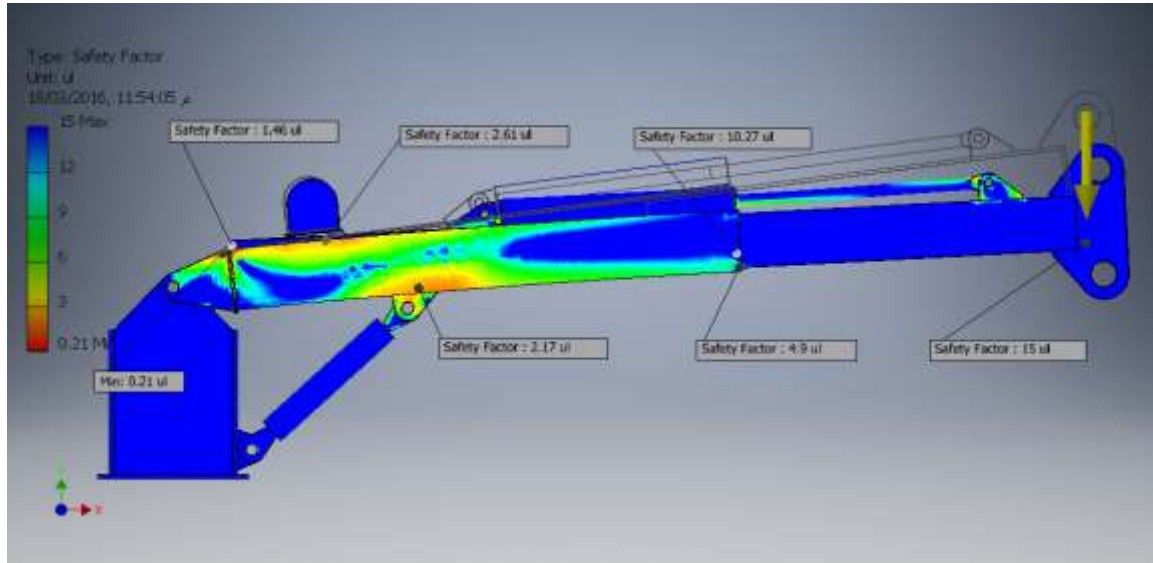
الجدول (5) المواصفات الميكانيكية للمعادن المستخدمة في جوائز التلسكوب الرافعة / الحالة الثالثة/

| Part Name | Material Name | Poisson's Ratio (ul) | Young's Modulus (Gpa) | Mass Density (g/cm ³) | Yield Strength (Mpa) | Ultimate Tensile Strength (Mpa) |
|----------------|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| outer boom.ipt | Steel, Carbon | 0.29 | 200 | 7.85 | 350 | 420 |
| inner boom.ipt | Steel | 0.3 | 210 | 7.85 | 207 | 345 |

نجري التحليل للمنشأة على هذه المعادن فنحصل على نتائج مختلفة لقطع متشابهة بالأبعاد والشكل ولكن مختلفة بنوع المعدن. ونتائج الحالة الثالثة موضحة في الجدول (6) الآتي :

الجدول (6) نتائج التحليل الستاتيكي لجوائز الرافعة التلسكوبية قيد الدراسة / الحالة الثالثة/

| Part Name | Maximum Safety Factor | Minimum Safety Factor | Maximum Deformation (mm) | Maximum Equivalent Stress (Mpa) | Minimum Equivalent Stress (Mpa) |
|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| outer boom.ipt | 4.9 | 1.46 | 19.03 | 239 | 71 |
| inner boom.ipt | 15 | 10.27 | 38.17 | 34 | 6 |

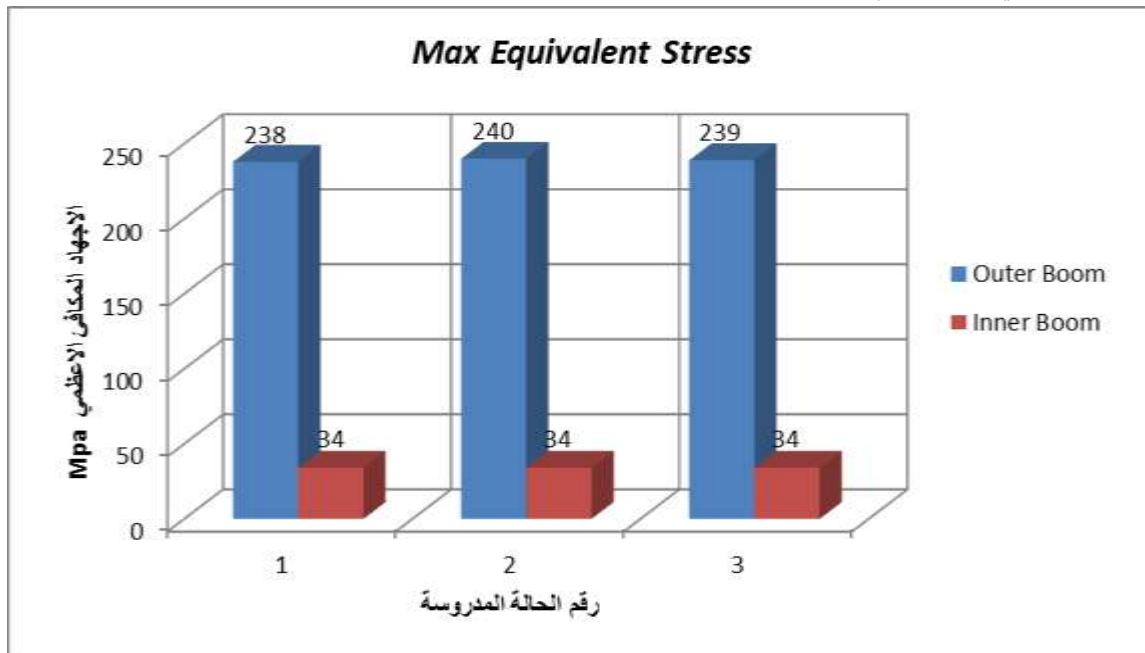


الشكل (10). ويبين نتيجة التحليل مع عرض كامل معلومات التحميل الأساسية للحالة الثالثة

يتبين من تحليل النتائج للحالة الثالثة بأن عامل الأمان الأصغري للجائز الخارجي هو أكبر من (1.3) و يبلغ (1.46) أما الأعظمي فيبلغ (4.9) ، بينما عامل الأمان الأصغري للجائز الداخلي يبلغ (10.27) والأعظمي (15)، مما يجعل التصميم مقبولاً ويمكن اعتماده .

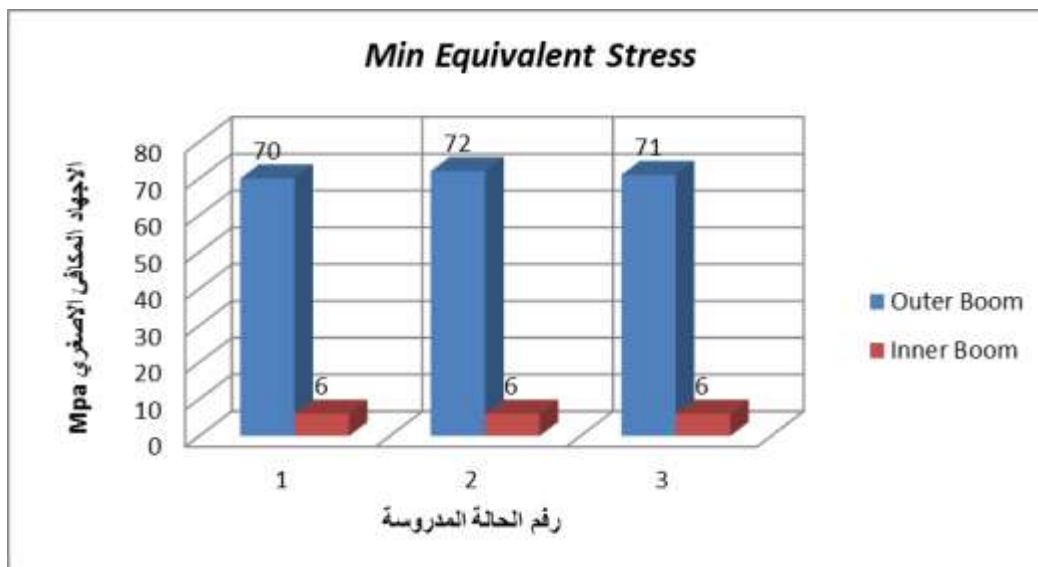
المقارنة بين النتائج السابقة :

تبين المنحنيات التالية تمثيلاً للنتائج الموضحة في الجداول السابقة في الحالات الثلاثة كعلاقة (نوع المعدن - في الجائزين الخارجي والداخلي لتسكوب الرافعة) مع الإجهاد المكافئ الأعظمي والأصغري ، التشوه/الإزاحة الأعظمية وعامل الأمان الأعظمي و الأصغري.



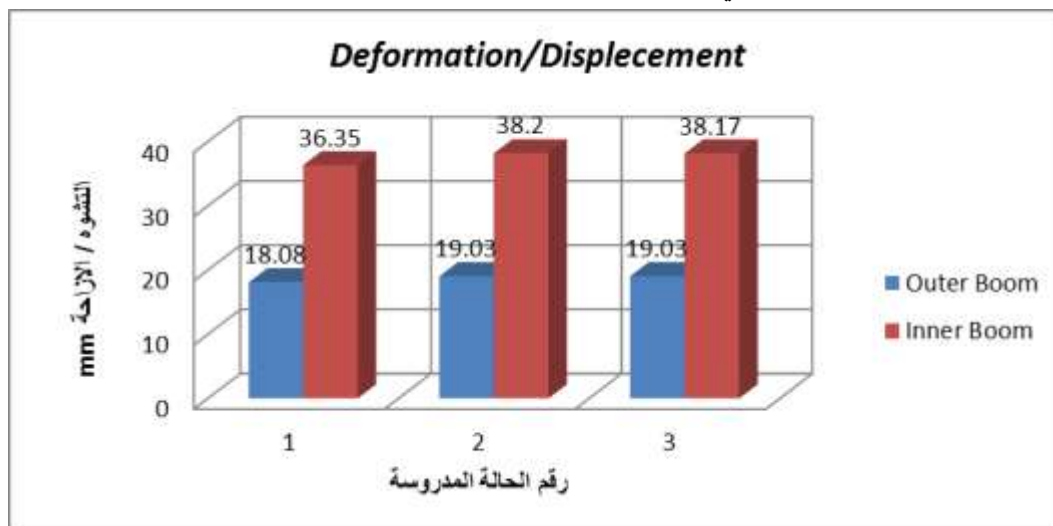
الشكل (11) ويبين قيم الإجهاد الأعظمي المكافئ لتحليل الحالات الثلاثة للجائزين

يلاحظ من منحنى (الإجهاد المكافئ الأعظمي - نوع المعدن) المبين بالشكل (11) أن قيمة الإجهاد المكافئ الأعظمي للجائز الخارجي المصنوع من *Steel, High Strength* ذو الرقم (2) هي 240 Mpa وهي قيمة مقبولة وغير بعيدة عن القيم الباقية للمعادن الأخرى. أما قيم الجائز الداخلي المصنوع من الـ *Steel* فهي متساوية 34 Mpa وتعتبر صغيرة مقارنة بإجهاد الجائز الخارجي .



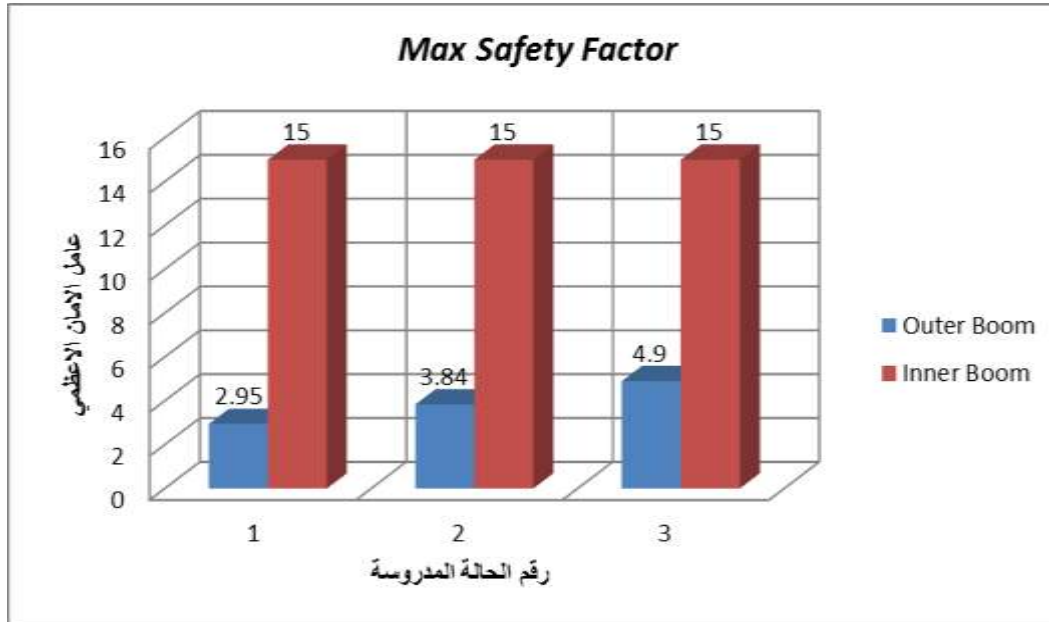
الشكل (12) ويبين قيم الإجهاد الأصغري المكافئ لتحليل الحالات الثلاث

يلاحظ من منحنى (الإجهاد المكافئ الأصغري - نوع المعدن) المبينة بالشكل (12) أن قيمة الإجهاد المكافئ الأصغري للجائز الخارجي المصنوع من *Steel, High Strength* ذو الرقم (2) هي 72 Mpa وهي قيمة مقبولة وغير بعيدة عن القيم الباقية للمعادن الأخرى . أما قيم الجائز الداخلي المصنوع من الـ *Steel* فهي متساوية 6 Mpa وتعتبر صغيرة مقارنة بإجهاد الجائز الخارجي .

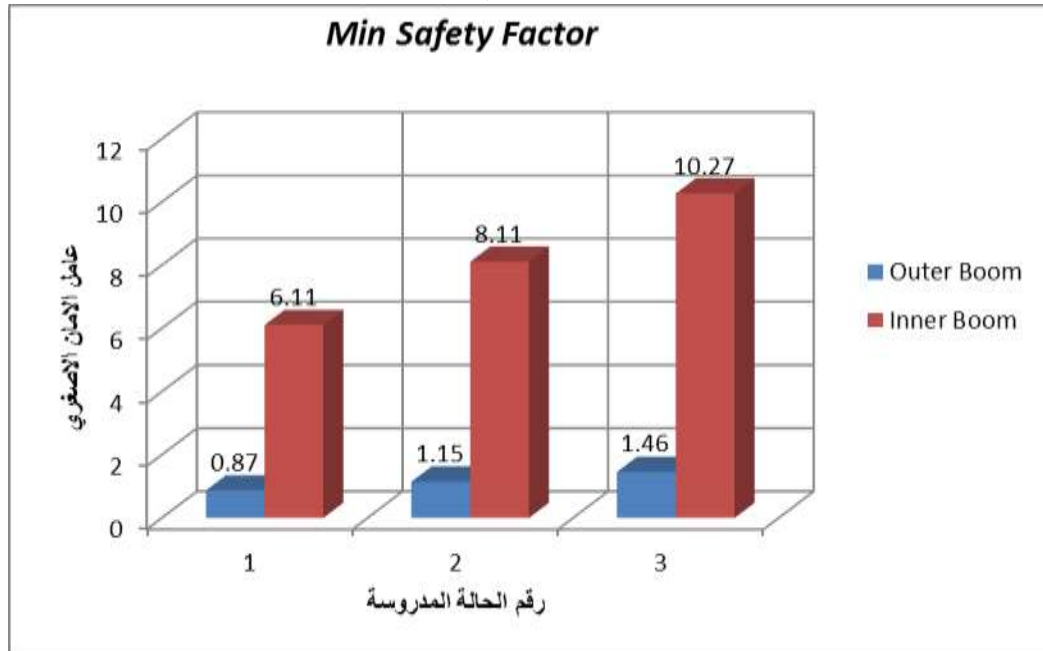


الشكل (13) ويبين قيم التشوه الأعظمي لتحليل الحالات الثلاث للجائزين

يلاحظ من منحني (التشوه / الازاحة - نوع المعدن) المبين بالشكل (13) أن قيمة التشوه للجائز الخارجي المصنوع من *Steel, High Strength* ذو الرقم (2) هي 38.2 mm وهي قيمة مقبولة وغير بعيدة عن القيم الباقية للمعادن الأخرى . أما قيم التشوه للجائز الداخلي المصنوع من الـ *Steel* فهي متساوية بالحالتين (2) و (3) وقيمتها 19.03 mm وتعتبر قيمة مقبولة مقارنة بإجهاد الجائز الخارجي.

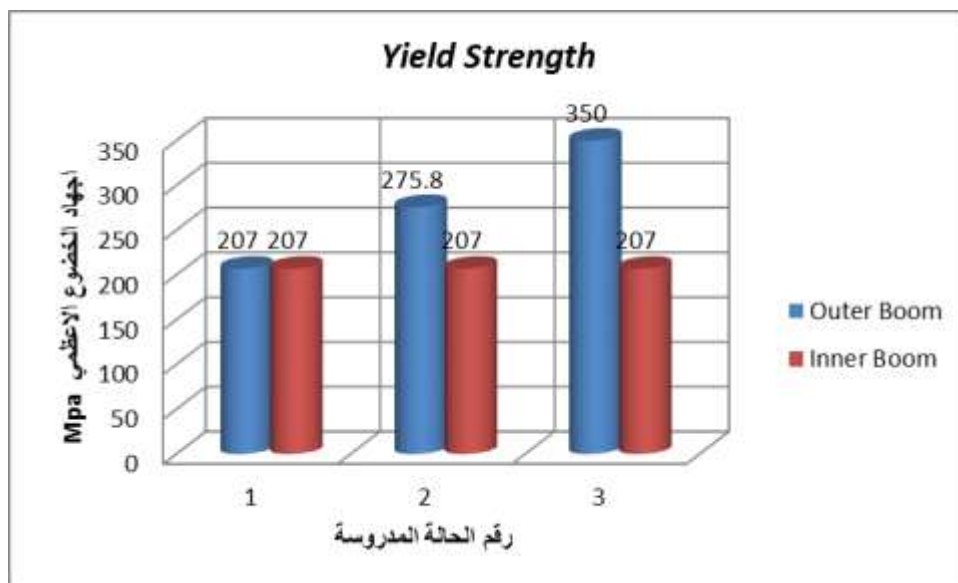


الشكل (14) ويبين قيم عامل الأمان الأعظمي لتحليل الحالات الثلاث للجائزين



الشكل (15) ويبين قيم التشوه الأعظمي لتحليل الحالات الثلاث للجائزين

نلاحظ من منحنيات (معامل الأمان - نوع المعدن) إن قيمة معامل الأمان الأصغري للجائز الخارجي المصنوع من *Steel, Carbon* وذو الرقم (3) هي (1.46) وهي قيمة أكبر من قيم بقية المعادن الأخرى . هذا المؤشر يدفع إلى اختيار معدن الحالة الثالثة أي *Steel Carbon* كأفضل معدن لصناعة الجائز الخارجي في الرافعة التلسكوبية ، حيث يملك هذا المعدن مواصفات وخواص ميكانيكية أفضل من بقية المعادن المدروسة كما تبين ذلك المنحنيات المبينة في الشكل (16) التي تحدد العلاقة بين (اجهاد الخضوع الأعظمي - نوع المعدن).



الشكل (16) ويبين قيم إجهاد الخضوع الأعظمي للمعادن الثلاث المدروسة

البحث عن التصميم الأمثل :

خلال إجراء تحليل التحدب يكون أحد أهم الأجزاء أهميةً وصعوبةً هو جعل الجائز الداخلي يتحدب ضمن الحد المرين. وفي العديد من الحالات لم يكن الجائز واقعاً ضمن الحد المرين عندما يتم تحميله، وهذا ما يدفع للقيام بالبحث عن تصميم أفضل.

تمت الاختبارات مع أبعاد الجائز التالية:

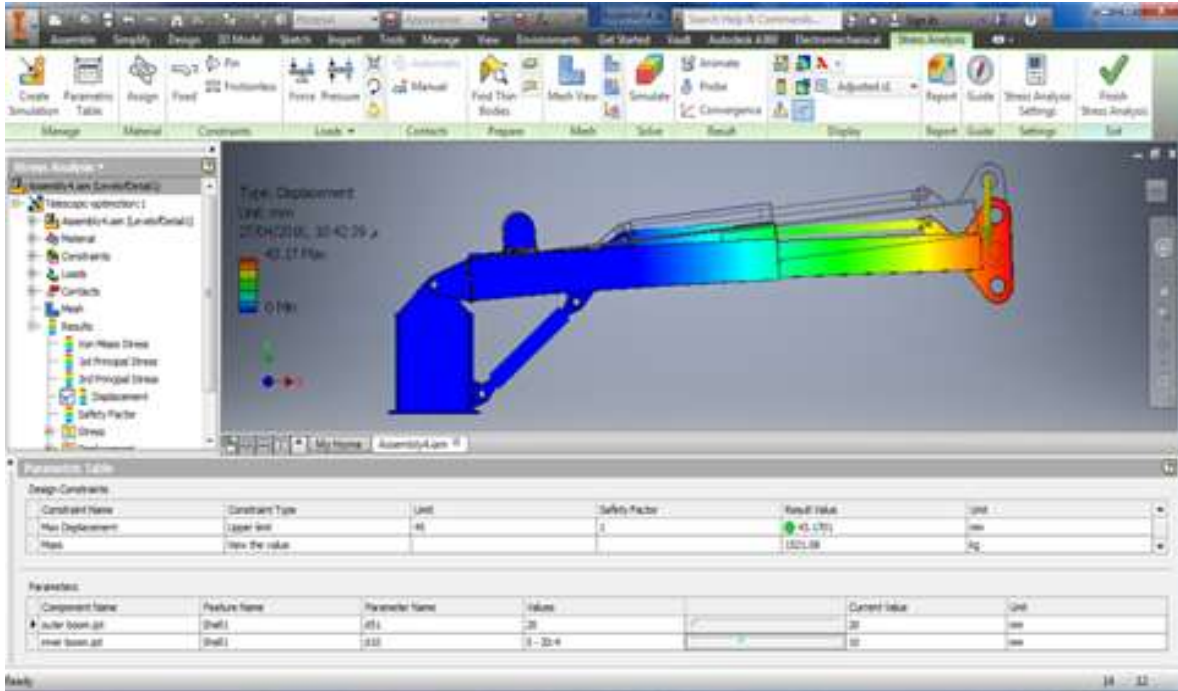
الجائز الخارجي: أبعاده 3000x320x320 mm ، ثخانة مقطعه 20 mm .

الجائز الداخلي: أبعاده 2000x300x300 mm ، ثخانة مقطعه 20 mm .

التداخل: 500 mm .

يلاحظ مما سبق بأن التصميم ونوع المعدن المستخدم تلعب دوراً مهماً جداً خلال عملية التحليل وعليه في التجارب المستقبلية سيتم تثبيت المعدن المختبر في الحالة الثالثة والذي أعطى أفضل نتائج أي *Steel Carbon* ومن ثم متابعة البحث عن التصميم الأفضل *Optimum Design* وذلك من خلال عملية التحكم في البارامترات بمساعدة الـ *Parametric Table* والمحاكاة النهائية في *AIP* للوصول إلى الحل النهائي الأمثل لتصميم تلسكوب الرافعة ،

حيث يتم أيضا تثبيت ثخانة الجائز الخارجي *Outer Boom* عند 20 mm وتغيير بارامترات أبعاد مقطع الجائز الداخلي *Inner Boom* عند 5 mm كما هو مبين بالشكل (17).



الشكل (17) ويبين قيم تغير البارامترات وإيجاد الكتلة الأمثل .

تكون الكتلة الأمثل للرافعة بهذه الحالة هي 1398.07 Kg مقارنة بـ 1753.97 Kg في حالة ثخانة قدرها 20 mm للجائز الداخلي وعليه فإن نتائج الدراسة تبين بأن الإزاحة العظمى (*Max Displacement*) بهذه الحالة قد تجاوزت الحد المسموح به بقليل وظهرت علامة حمراء في حقل (*Result Value*) لأن قيمة الإزاحة بهذه الحالة تكون $45.0065 > 45 \text{ mm}$ لذلك نعتبر بأن هذه الحالة هي الأفضل.

التحليل والنتائج:

- في خطوة التحذب *Buckle*، كانت النتائج مرئية بشكل جيد. ويظهر كل جذر نمط تحذب مختلف على الجائز.
- استخدم في البحث أساليب متنوعة كانت نتائجها الرئيسية متوافقة مع بعضها البعض ولاحقاً يمكن اعتبار هذه الأساليب منهجية ممتازة لتحليل اي منشأة أخرى في المستقبل.
- كان الاكتشاف المهم الآخر هو الاعتقاد الهندسي الشائع أن التحليل بالعناصر المنتهية يعطي دائماً أشكالاً تم الإفراط بتوقعها لتحليل التحذب. وعند هذه المرحلة، وبدون اختبار تجريبي، وبمقارنة عوامل تحميل التحذب *Buckling Load Factors* مع تلك التي من أنواع المحاكاة الأخرى، كانت نتائج المحاكاة في علاقة مع أنماط تحذبها.
- أثبتت كل أنواع التحاليل أنه يمكن للجائز الداخلي أن يتحذب في منطقتين رئيسيتين، عند النهاية الطرفية لكل جزء من التلسكوب .
- أعطى كل من تحكم الإزاحة وتحكم التحميل إجابة جيدة لتحميل التحذب الداخلي .

- أظهر حجم الحمولات أنه إذا تم الاختبار التجريبي ينبغي الانتباه الزائد بأن التحذب الأولي خلال فترة التحميل ممكن أن يحدث عند أية جهة من الجائز ، وفي أي نمط ، حتى أثناء التحميل بفروقات صغيرة بالقيمة .
- تم اختيار المعدن المناسب وبمعامل أمان مناسبة لكل جزء من الجائز التلسكوبي .

الاستنتاجات والتوصيات:

- في AIP ينبغي أن يتم المزيد من التحليل باعتبار العيوب تكون عند مواضع متنوعة على الجائز الداخلي.
- بعد تحديد عيوب العقد الداخلية، يمكن أن تتم معالجة عيوب اللحام في AIP لتقليل نسبة الخطأ المثوية خلال المقارنة التجريبية .
- أجزاء التحليل الديناميكي للجائز التلسكوبي للرافعة ودراسة تأثيره على التحذب .
- إجراء الأعمال المستقبلية على جائز حقيقي مع اختبارها للتحقق من نتائج التصميم الحاسوبي.
- تضمين نموذج مجموعة الاختبار التجريبي في تحليل AIP اللاحق .
- تطوير حساب نظري للتحذب يمكن أن يعبر عن سلوك الجائز التلسكوبي .

المراجع :

1. Hanafy M. Omar, "Control of Gantry and Tower Cranes ", Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, January 2003, 65.
2. Jon Danielson , "Mobile Boom Cranes and Advanced Input Shaping Control, Georgia Institute of Technology" , August 2008, 33-36.
3. Hiroki Fujita, and Hiroyuki Sugiyama, " Development of flexible telescopic boom model using ANCF sliding joint constraints with LuGre friction" , Tokyo University, 2012, 78-82.
4. Rumin Teng, Fuzheng Qu, "Research on the Section Type for Telescopic Boom of 100m AWP Base on Similarity Theorem" , Dalian University of Technology, Dalian Liaoning, China, Feb 2013, 123-129.
5. Meyer, C. J. (2006) "Finite Element Analysis for the Masses; an Introduction", FEAdomian.com, 2006, 27-90.
6. Duan, L., Chen, W.F., "Effective Length Factors of Compression Members", 1999, 54-66.
7. Falzon, B. G., Hitchings, "An Introduction to Modelling Buckling and Collapse" , NAFEMS, 2006, 117-141.
8. Wasim Younes, "Up and Running with Autodesk Inventor Simulation ", USA, 2011, 22-71.
9. Navneet Kumar and Mohd. Parvez, "Force Distribution on Telescopic Boom Of Crane" , Al-Falah School of Engineering & Technology Dhauj, Faridabad, Haryana, India, July 2012, 111-148.
10. "Structural Engineering Handbook" , Ed. Chen Wai-Fah, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999 , 62-89.
11. " Reference On Cranes" , Russia, St.Petersburg, 2010, 44-47.