التصميم بمساعدة الحاسوب وإيجاد الأبعاد المثلى لمقطع ذراع رافعة دوارة

د. سمير كفا*

د. رائد نجار**

مجدلين غدير***

(تاريخ الإيداع 17 / 5 / 2020. قُبِل للنشر في 7/ 2 / 2021)

□ ملخّص □

تؤدي أنظمة نقل وشحن السلع اليوم دوراً كبيراً في عمل أي مؤسسة صناعية، والغرض من هذه الأنظمة هو مساعدة العمال لنقل الأجسام بدءاً من الأوزان الخفيفة حتى 1000 طن من نقطة إلى أخرى، وتعتبر الروافع الدوارة من أكثر أنواع الروافع استخداماً لشمولية استخدامها من حيث الحمولة التي تستطيع رفعها والمتطلبات التي تلبيها، فتستخدم بشكل كبير في المصانع للقيام بعمليات المناولة، وفي الورش الصناعية والميكانيكية التي تحتاج إلى نقل حمولات صغيرة.

ناقش هذا البحث إمكانية إيجاد حل للمشاكل التصميمية التي تنشأ أثناء انهيار الرافعة، حيث يعرّف الانهيار بأنه: الفقدان الفجائي للسلامة الإنشائية بفشل المادة. تمت نمذجة الرافعة المدروسة بواسطة برنامج التصميم الهندسي (Inventor)، ومن ثم استخدمتْ طريقة العناصر المنتهية (FEM) لإيجاد التصميم الأمثل للرافعة بتعديل ذراع الرافعة من خلال دراسة عدة مقاطع للحصول على المقطع الأفضل، وبالتالي تفادي المخاطر الناتجة عن الانهيار الممكن حدوثه في المقطع الأخطر، وتخفيض كلفة الرافعة.

الكلمات المفتاحية: الرافعة الدوارة، التحليل بالعناصر المنتهية، تحليل الاجهادات، المحاكاة، التصميم الأمثل.

*أستاذ – قسم التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية– إيميل samirkafa63@gmail.com.

**أستاذ مساعد– قسم التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية–إيميل raidnjr@hotmail.com.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين –اللاذقية– سورية. موبايل 963988777879+ إيميل majdolinemajd41@gmail.com.

Computer Aided Design and Finding the Optimum Dimensions for a Section of a Rotary Jib Crane Arm

Dr. Samir Kafa*
Dr. Raeed Najar**
Majdoline Ghadir***

(Received 17 / 5 / 2020. Accepted 7 / 2 / 2021)

□ ABSTRACT □

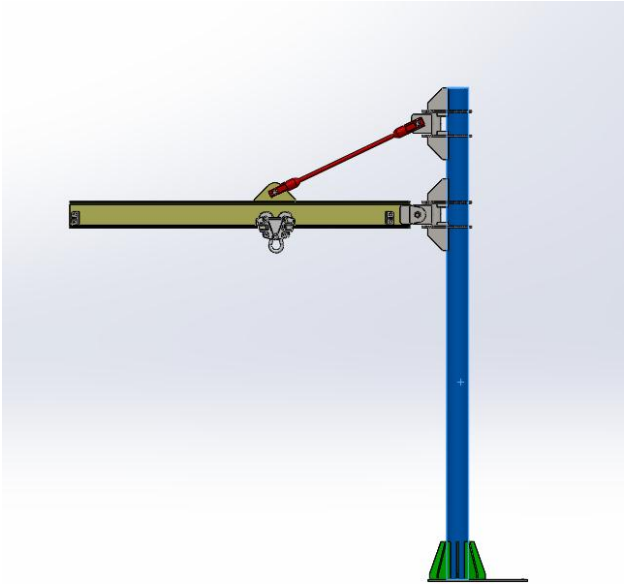
Today, the systems of transportation and shipping of goods play a significant role in the work of any industrial establishment. These systems are intended to help workers move objects from one point to another starting with light weights up to 1,000 tons.
Rotary Jib cranes are considered to be one of the most commonly used cranes for its comprehensive utilization in terms of the load that they can lift and the requirements that they meet. Thus they are widely used in factories for handling operations and in industrial and mechanical workshops that require transporting small loads.
This research discussed the possibility of finding a solution to the design problems that arise during the crane failure, where failure is defined as the sudden loss of structural safety by failure of the material.
The considered crane was modeled by Inventor, and then the finite element method (FEM) was used to find the optimal design of the crane through modified the crane arm by studying several sections to obtain the best section, thus avoiding the risks resulting from the possible failure in the most dangerous section, and reducing crane cost.

Keywords: Jib crane, Stress Analysis, Simulation, Finite Element Method, Optimum Design.

* **Professor, Department of Design and Production engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria, Email: samirkafa63@gmail.com.**
** **Associate Professor, Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria, Email: raidnjr@hotmail.com.**
*** **Postgraduate Student, Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Syria, Email: majdolinemajd41@gmail.com. Tel:+963988777879**

مقدمة:

الرافعة هي آلة تستخدم لرفع أو تنزيل المواد أو الأشياء الثقيلة ونقلها أفقياً إلى أماكن أخرى، ولهذه الأغراض يتم تجهيزها في الأغلب بمرفاع وأسلاك حديدية أو سلاسل، وبكرات و خلافه. في العادة تستخدم الرافعات في أعمال النقل لتحميل وتفريغ شحنات البضائع في المخازن والموانئ ومحطات القطار، وفي أعمال البناء والتشييد لنقل مواد البناء وفي أعمال التصنيع (المصانع) لتركيب وتجميع المعدات الثقيلة. الرافعة الذراعية هي أول أداة من أدوات نقل وشحن السلع ذات ثلاث درجات حرية (3 DOF) اثنان منها في المستوي الأفقي نتيجة حركة العربة و الذراع ، و درجة الحرية الثالثة في الاتجاه العمودي نتيجة رفع الحمل. يبين الشكل (1) الرافعة الدوارة المدروسة.[1]

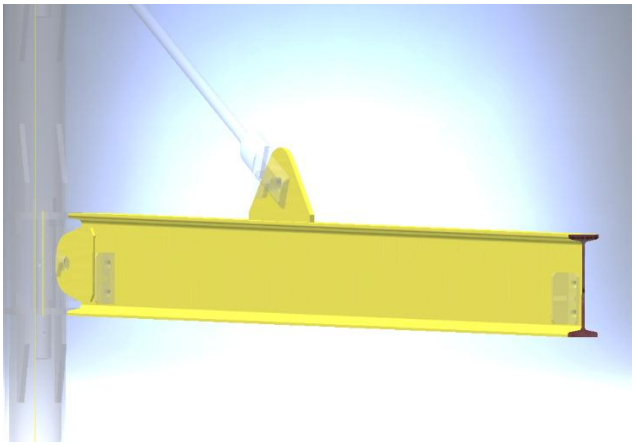


الشكل رقم (1): يبين الرافعة الدوارة المدروسة

يعتبر ذراع الرافعة القسم الأساسي فيها ويستخدم لرفع الحمولة ونقلها، لمقطع الذراع أشكال متعددة ويتكون هذا الذراع من سكة تتحرك عليها العربة التي ترتبط مع مجموعة بكرات وحبال ومحرك كهربائي، وتتمفصل مع العمود (السارية) بمفصلين يؤمنان لها الحركة الدورانية [1].

تتضمن الرافعة الدوارة الأجزاء الرئيسية التالية [4] :

- ذراع الرافعة (Boom): وهو الجزء الذي تتحرك عليه العربة في الحالة الأولى من الدراسة سيكون بشكل مقطع حرف I كما هو مبين بالشكل(2).
- السارية: وهي عبارة عن عمود مقطعها دائري مجوف تثبت على الأرض ولديها شفرات تقوية مثبته على الأرض أيضا كما يبين الشكل (3).
- كبل تقوية يربط بين الذراع والسارية كما هو موضح بالشكل (4).
- مفصلين يسمحان بالحركة الدورانية للذراع حول العمود.



الشكل رقم (2): يبين مقطع الذراع المستخدم

الشكل رقم (3): يبين السارية المستخدمة

الشكل رقم (4): يبين كبل التقوية

سيتم في هذا البحث دراسة الذراع باختيار مقاطع مختلفة والبحث عن المقطع الأفضل والأبعاد المثلى باستخدام التحليل بالعناصر المنتهية FEM على برنامج التصميم الميكانيكي Autodesk Inventor Professional لإيجاد المقطع الأمثل للذراع تحت تأثير الحمل المطبق واختبار بنيته الإنشائية بمساعدة الحزم البرمجية للتصميم بمساعدة الحاسوب ونظم الـ CAD. وتحليل النتائج التي حصلنا عليها من جراء تطبيق محاكاة على برنامج الإنفنتور.

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً للدور البارز الذي تلعبه الروافع الدوارة في المصانع على اختلاف أنواعها وأهمية قيامها بعملها بشكل دقيق دون أعطال أو توقف عن العمل نتيجة الانهيارات التي يمكن أن تحدث في جسم الرافعة، كان من الضروري البحث عن إمكانية الحصول على المقطع الأخطر وبالتالي تفادي المخاطر الناتجة عن الانهيار الممكن حدوثه، وعلى الصعيد التطبيقي تخفيض الكلفة وتقليل المخاطر. أما أهمية هذا البحث تكمن في إيجاد حل للمشاكل التصميمية التي تنشأ أثناء انهيار ذراع الرافعة الدوارة، حيث يعرَف الانهيار بأنه الفقدان الفجائي للسلامة الإنشائية بفشل المادة.

إن هدف البحث هو دراسة سلوك ذراع الرافعة الدوارة وذلك من خلال تطبيق تقنيات التحليل بالعناصر المنتهية (FEM) لنمذجة الرافعة المدروسة بواسطة برنامج التصميم الهندسي (Inventor)، ومن ثم البحث عن التصميم الأمثل للرافعة بدراسة عدة مقاطع لذراع الرافعة واختيار المقطع الأفضل.

طرائق البحث ومواده:

تتلخص طرائق البحث بدراسة وبحث النقاط التالية:

- إجراء عملية التصميم الأولية ورسم كافة أجزاء الرافعة الدوارة بمساعدة برنامج التصميم الهندسي Autodesk **I**nventor **P**rofessional (**AIP**) من أجل بحث سيناريوهات إنجاز عملية محاكاة للرافعة وذراعها.
- اختيار معادن كافة عناصر الرافعة وموادها.
- تحديد قيم القوى المطبقة على طرف الجائز وبالتالي حمولة الرافعة في الوضعية الأخطر.
- اختيار خمسة مقاطع مختلفة لذراع الرافعة الدوارة.
- التحليل الستاتيكي بمساعدة طريقة العناصر المنتهية (FEM) وحساب كافة الإجهادات والانتقالات على المقاطع الخمسة لتحديد المقطع الأمثل للرافعة.
- إجراء عملية التحقق.

عرض مشكلة البحث:

لقد تم اختيار رافعة دوارة مكونة فقط من سارية وذراع وكبل تقوية ومفاصل دورانية، حيث تثبت قاعدة الرافعة الدوارة بالأرض والحركة الدورانية للذراع تكون عند المفاصل التي تسمح بالحركة الدورانية. يتوجب إيجاد المقطع الأفضل لذراع الرافعة الدوارة بين المقاطع الخمسة المدروسة، سيتم استخدام AIP/CAE لإيجاد المقطع الأمثل للذراع و تحليل النتائج لإجراء حسابات أكثر واقعية و مقارنتها مع النتائج التجريبية المستقبلية .

يعتبر هذا البرنامج (AIP (Autodesk Inventor Professional واحداً من أفضل منتجات شركة Autodesk المشهورة. وقد وفرت AIP حلولاً ممتازة لسنوات عديدة ليس فقط من أجل FEA بل من أجل التحليل الديناميكي أيضاً والعديد من المشاكل المعقدة الحقيقية بتطوراتها المستمرة.

المتطلبات الرئيسية لمسألة التصميم قيد الدراسة:

- الحمولة القصوى التي تعمل عندها الرافعة.
- عامل الأمان المطلوب.
- المواد المستخدمة في بناء أجزاء الرافعة.

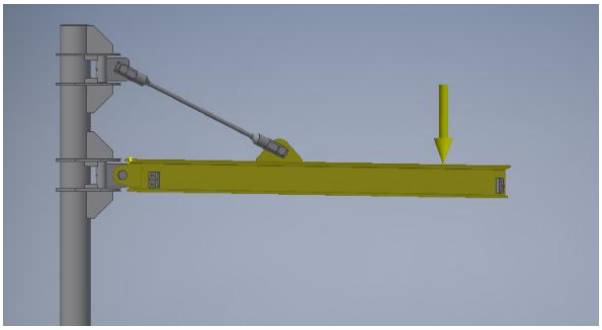
- أقصى انحراف / إزاحة لذراع الرافعة.

ويبين الجدول (1) المواصفات الفنية للرافعة الدوارة قيد الدراسة [5,6]:

الجدول رقم (1): المواصفات الفنية للرافعة

Sr. No	المعلومات الفنية	التفاصيل
1	الحمولة	200 كغ
2	دوران الذراع	180°
3	التثبيت	الأرض
4	الموقع	داخل ورشة ميكانيكية
5	مسافة الرفع	2000 مم
6	طول الذراع	1800 مم
7	ارتفاع السارية	2600 مم
8	معدن الرافعة	فولاذ

تمت الدراسات التالية باعتبار المعدن المستخدم هو الفولاذ (Steel) لجميع المقاطع والحمولة المطبقة وضعت على بعد 300 مم من حافة الذراع الذي يبلغ طولة 1800مم كما هو مبين بالشكل (5) .

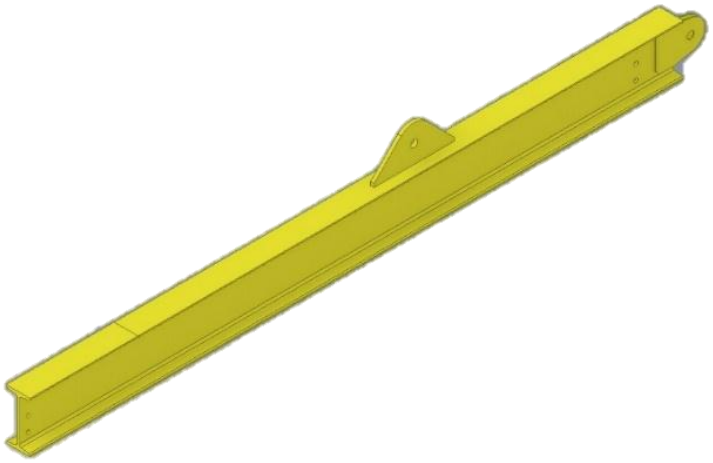


الشكل رقم(5): يبين مكان الحمولة المطبقة

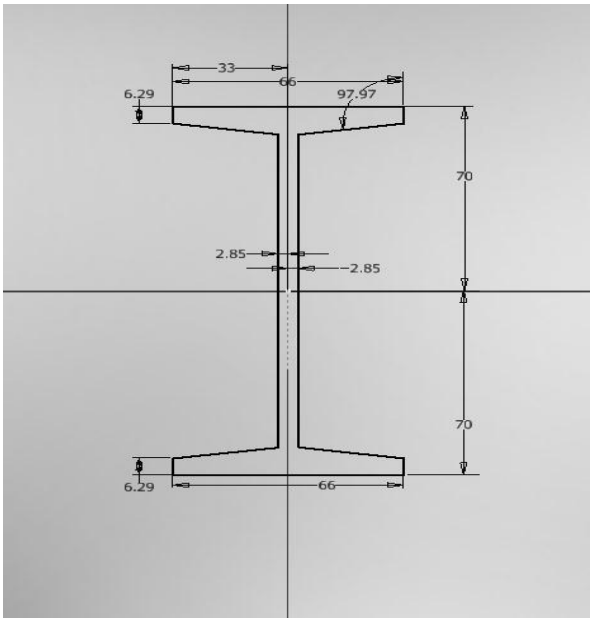
في دراسة تحليل الإجهادات للذراع سنقوم بدراسة خمسة مقاطع مختلفة للذراع ومقارنة النتائج التي حصلنا عليها من تحليل الإجهادات، وفيما يلي المقاطع الخمسة المدروسة والنتائج التي حصلنا عليها:

أولاً : المقطع الأول

في البداية أجريت دراسة على المقطع بشكل حرف I لذراع الرافعة كما هو مبين بالشكل (6) بحيث تم زيادة الحمولات تدريجيا من 150 كغ حتى حدوث الفشل والوصول من خلال ذلك إلى الحمولة القصوى التي يمكن للرافعة أن تحملها قبل حدوث الانهيار. أبعاد المقطع موضحة بالشكل (7) [3]:

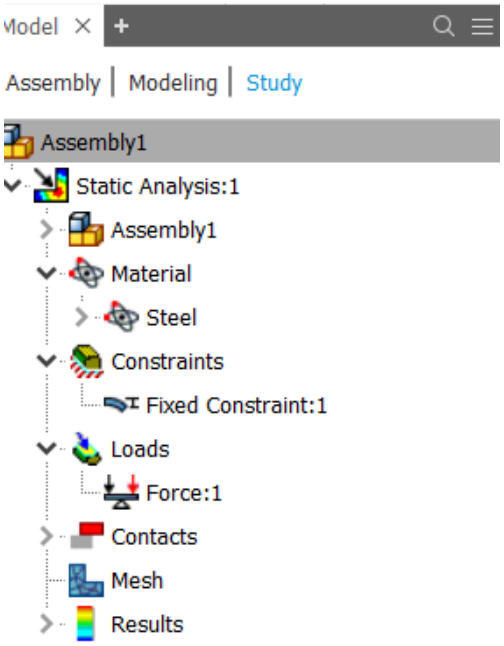


الشكل رقم (6): شكل يبين الذراع الأول للرافعة الدوارة



الشكل رقم (7): أبعاد مقطع الذراع الأول

نجري تحليل اجهادات للذراع باستخدام برنامج (Autodesk Inventor Professional) بعد أن نكون قد حددنا نوع المعدن و القوة المطبقة الناتجة عن وزن العربة و الحمل و مكان تثبيت الرافعة كما هو موضح بالشكل (8).



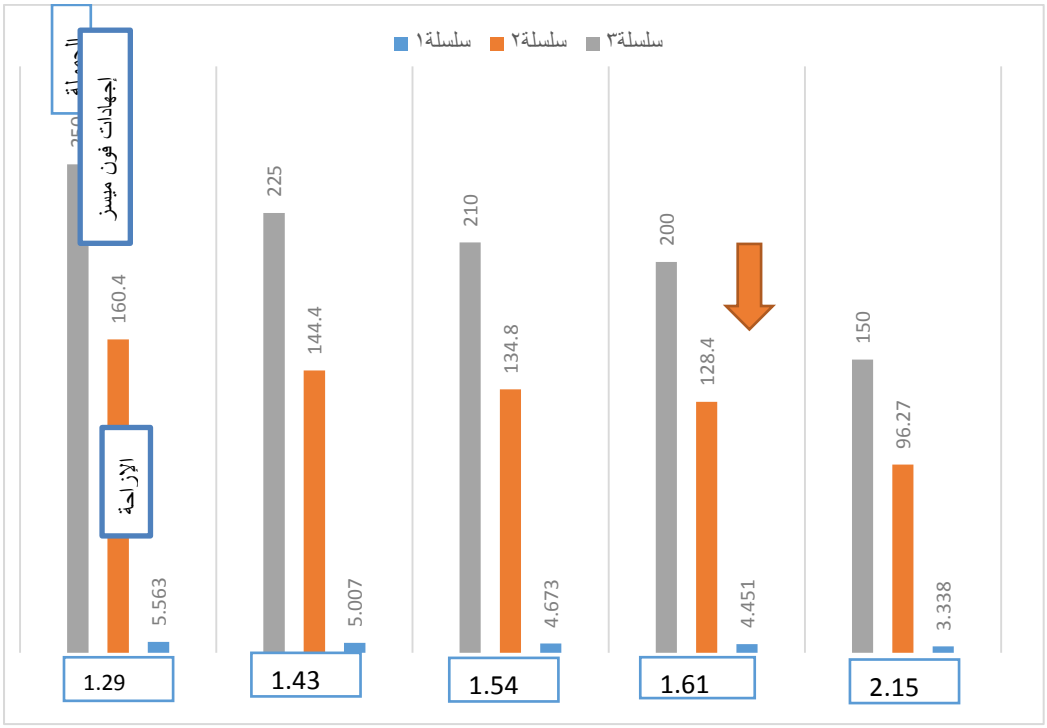
الشكل رقم (8): شكل يبين محددات اللازمة ببدء تحليل الإجهادات

نزيد الحمولة تدريجياً حتى نحصل على معامل أمان أقل من 1.5 كما هو موضح بالجدول (2) بحيث مكننا البرنامج من الحصول على إجهادات فون و الإزاحة الحاصلة و معامل الأمان في كل حالة مدروسة وفقاً للحمل المطبق.

الجدول رقم(2): نتائج تحليل الإجهادات للذراع بتغير الحمولة المطبقة

الحمولة الكلية	إجهاد فون (mpa)	إزاحة (mm)	معامل امان
150	96.27	3.338	2.15
200	128.4	4.451	1.61
210	134.8	4.673	1.54
225	144.4	5.007	1.43
250	160.4	5.563	1.29

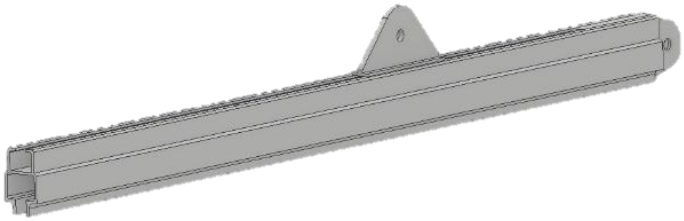
يوضح الجدول أن أقصى حمولة تتمكن الرافعة من العمل عليها ضمن حدود الأمان هي210 كغ وبعدها تبدأ الرافعة بالانهيار. ستجرى الدراسات اللاحقة على حمولة 200 كغ وعامل أمان 1.61 بحيث تم في هذه المرحلة اعتماد الحمولة 200 كغ كحمولة اسمية للعمل عليها ضمن حدود الأمان، والمخطط التالي شكل (9) يوضح ذلك.



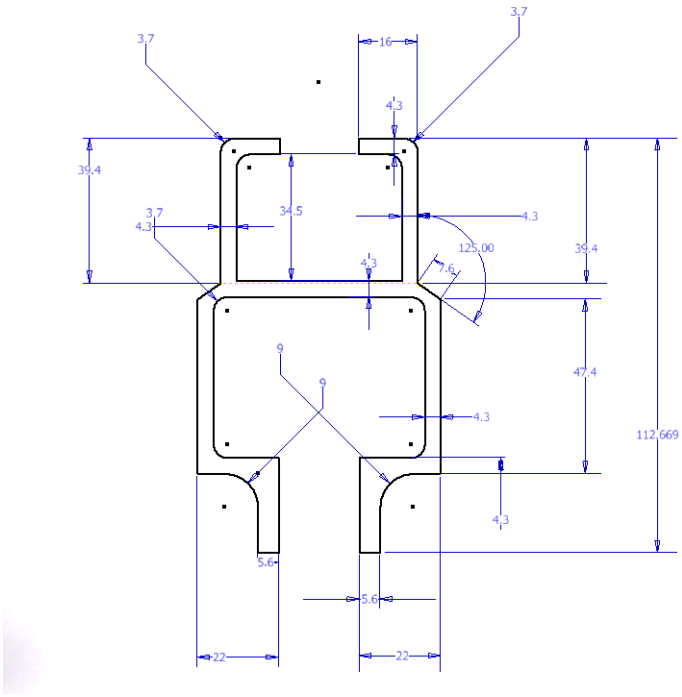
الشكل رقم (9): مخطط يبين نتائج تحليل الإجهاد للذراع

ثانياً: المقطع الثاني

تمت في هذه الحالة دراسة مقطع ثاني للذراع كما هو موضح بالشكل (10) وبأبعاد قريبة من المقطع السابق كما هو مبين بالشكل (11) و بنفس السماكة 5.7 mm [2] .

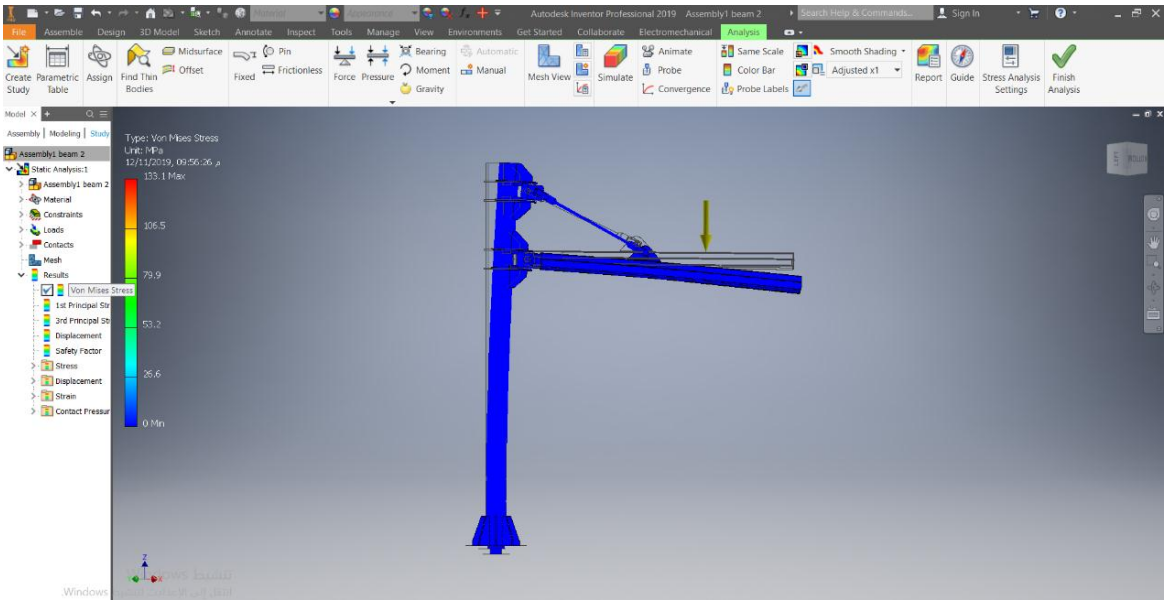


الشكل رقم (10): يوضح شكل الذراع المدروس في الحالة الثانية

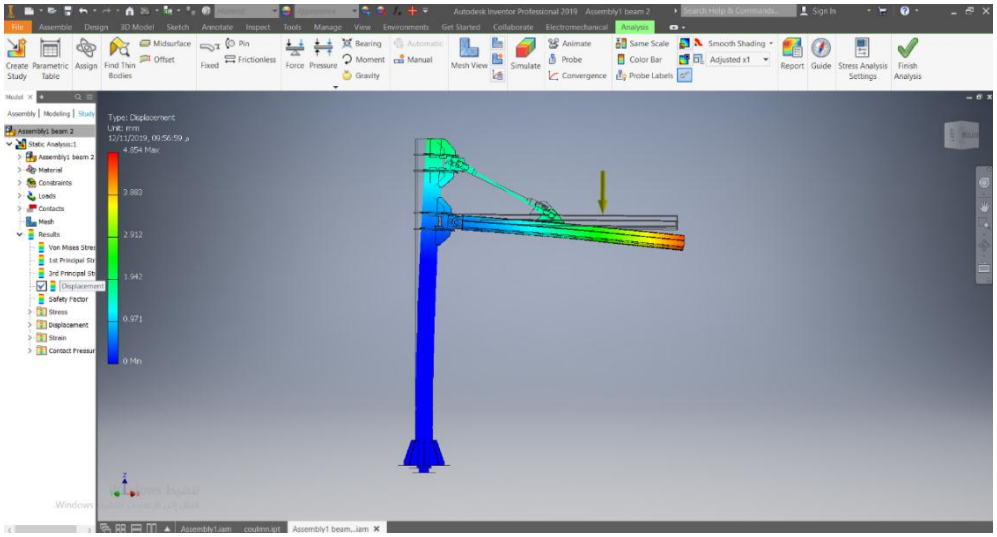


الشكل رقم (11): يوضح أبعاد مقطع الذراع المدروس في الحالة الثانية

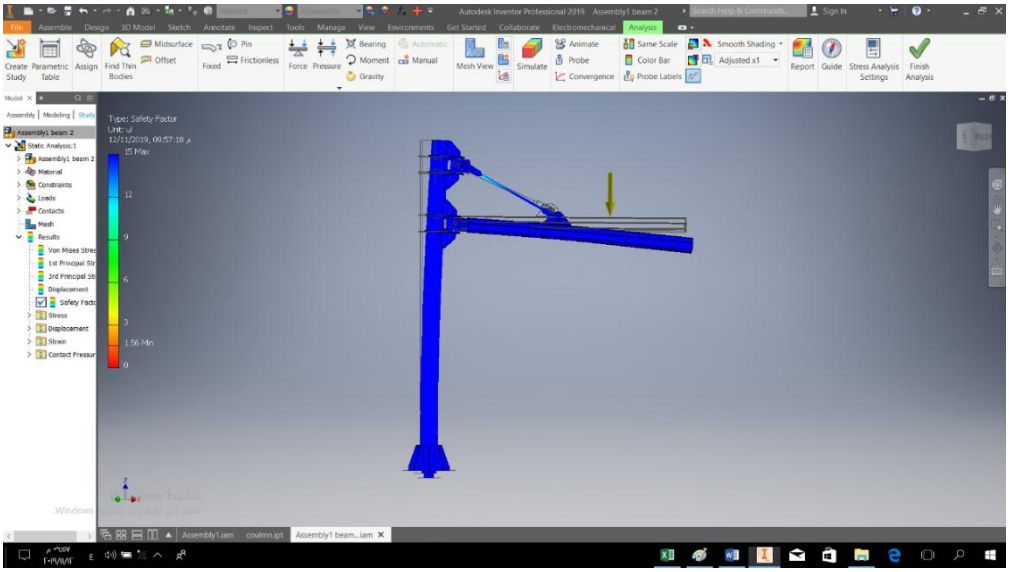
بتطبيق الحمولة 200 كغ على الذراع والمعدن المستخدم فولاذ لكافة المقاطع المدروسة حالياً حصلنا على النتائج الواردة في الجدول (3). توضح الأشكال (12-13-14) نتائج تطبيق تحليل الإجهادات على الرافعة الدوارة ضمن بيئة التحليل لبرنامج Inventor والإزاحة الحاصلة عند التحميل، كما نلاحظ تدرج الألوان على ذراع الرافعة بحيث يعبّر اللون الأحمر عن أقصى إزاحة حاصلة.



الشكل رقم (12): يبين قيمة إجهاد فون الذي حصلنا عليه بالمحاكاة



الشكل رقم (13): يبين قيمة الإزاحة الذي حصلنا عليه بالمحاكاة



الشكل رقم (14): يبين قيمة معامل الأمان الذي حصلنا عليه بالمحاكاة

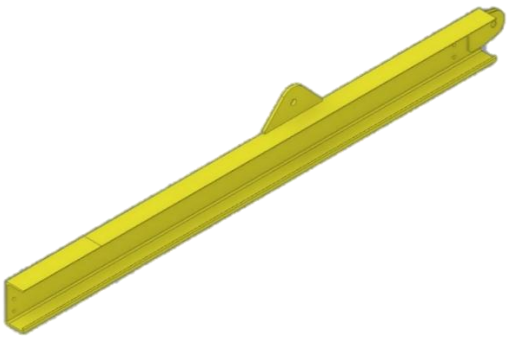
بحيث يبين الجدول التالي قيمة إجهاد فون والإزاحة وعامل الأمان التي حصلنا عليها للمقطع الثاني المدروس.

الجدول رقم (3): يبين نتائج تحليل الاجهاد للمقطع الثاني

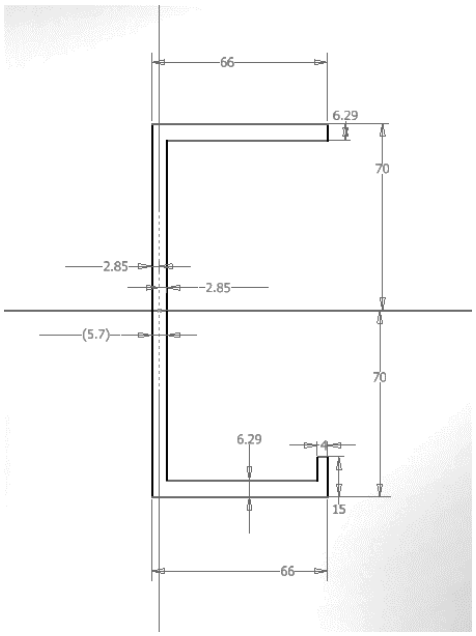
عامل الأمان Safety factor	الإزاحة (mm)Displacement	اجهادات فون Mpa	الحمولة N
1.56	4.854	133	9.81*200

ثالثاً : المقطع الثالث

المقطع الثالث في هذه الدراسة بشكل حرف C بحيث يبين الشكلين (15) و(16) شكل المقطع المدروس وأبعاده [2].



الشكل رقم (15): يبين شكل الذراع الثالث



الشكل رقم (16): مقطع الذراع الثالث

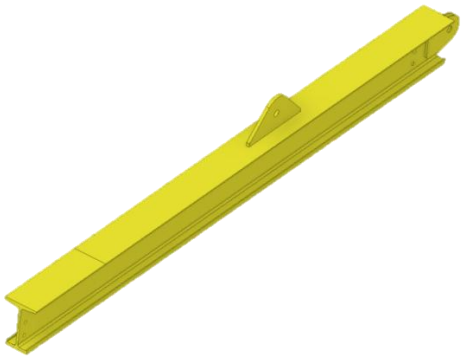
بتطبيق الحمولة 200 كغ وإجراء تحليل إجهادات على البرنامج نحصل على قيمة إجهادات فون والإزاحة وعامل الأمان كما هو مبين بالجدول (4).

الجدول رقم (4): نتائج تحليل الإجهادات للمقطع الثالث

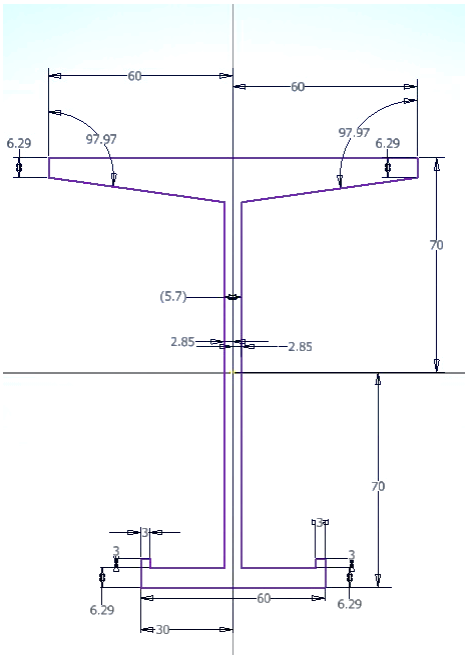
الحمولة N	إجهادات فون Mpa	الإزاحة (mm)Displacement	عامل الأمان Safety factor
9.81*200	129.1	5.561	1.6

رابعاً : المقطع الرابع

المقطع الرابع المدروس في هذا البحث بشكل حرف T كما هو مبين بالشكل (17) وأبعاده معطاة بالشكل(18).[2]



الشكل رقم (17): مقطع الذراع الرابع



الشكل رقم (18): ابعاد مقطع الذراع الرابع

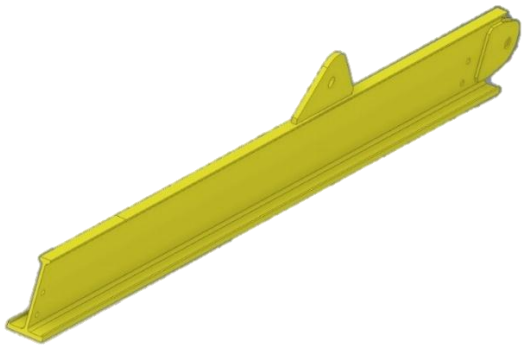
بتطبيق الحمولة 200 كغ وإجراء تحليل إجهادات على البرنامج نحصل على قيمة إجهادات فون والإزاحة وعامل الأمان كما هو مبين بالجدول رقم (5).

الجدول رقم (5): نتائج تحليل الاجهادات للمقطع الرابع

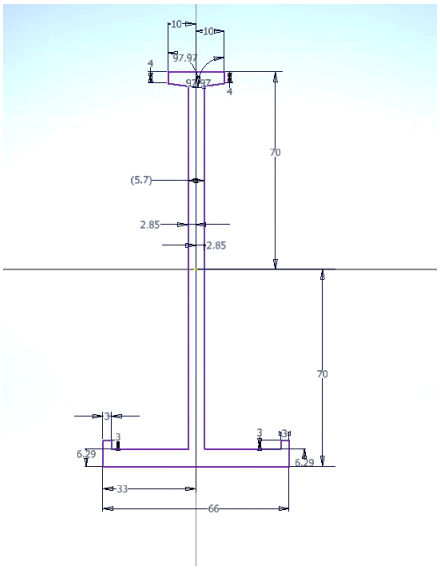
الحمولة N	اجهادات فون Mpa	الإزاحة (mm)Displacement	عامل الأمان Safety factor
9.81*200	124	4.345	1.67

خامساً : المقطع الخامس

المقطع الخامس المدروس في هذا البحث بشكل حرف T مقلوب كما هو مبين بالشكل (19)، وأبعاده معطاة بالشكل (20).



الشكل رقم (19): شكل الذراع الخامس



الشكل (20) أبعاد مقطع الذراع الخامس

بتطبيق الحمولة 200 كغ وإجراء تحليل إجهادات على البرنامج نحصل على قيمة إجهادات فون والإزاحة وعامل الأمان كما هو مبين بالجدول التالي (6).

الجدول رقم (6): نتائج تحليل الاجهادات للمقطع الخامس

الحمولة N	إجهادات فون Mpa	الإزاحة (mm)Displacement	عامل الأمان Safety factor
200*9.81	137.2	4.385	1.51

النتائج والمناقشة:

بعد القيام بإجراء محاكاة للمقاطع الخمسة للذراع وتحليل الإجهادات تم الحصول على الجدول التالي (7) الذي يبين أشكال المقاطع الخمسة وإجهاد فون ميسز والإزاحة وعامل الأمان لكل مقطع من المقاطع الخمسة تحت تأثير الحمولة المطبقة (200 كغ).

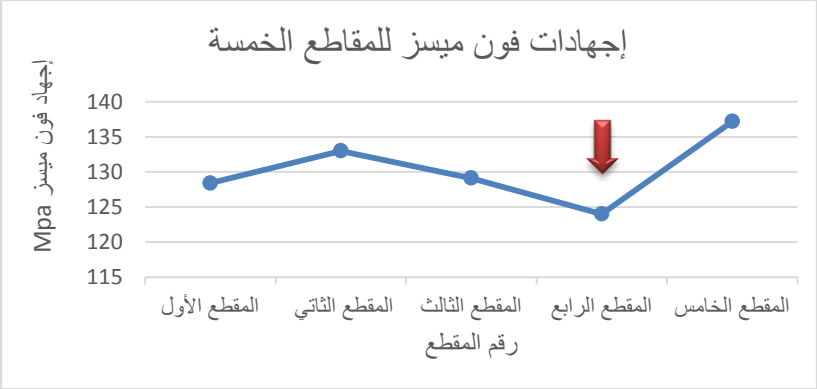
الجدول رقم (7): يوضح قيم اجهادات فون ميسز والإزاحة ومعامل الأمان للمقاطع الخمسة معاً

شكل المقطع	الحمولة kg 200	إجهادات فون ميسز Mpa	الإزاحة (mm)Displacement	عامل الأمان Safety factor
المقطع 1	200	128.4	4.451	1.61
المقطع 2	200	133	4.854	1.56
المقطع 3	200	129.1	5.561	1.6
المقطع 4	200	124	4.345	1.67
المقطع 5	200	137.2	4.385	1.51

من الجدول السابق وبمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بتحليل الإجهادات للرافعة بواسطة برنامج inventor لكل مقطع من المقاطع الخمسة يلاحظ التباين الحاصل في النتائج، وبقراءة القيم الناتجة عن تحليل الإجهادات يلاحظ أيضاً أن المقطع الرابع بشكل حرف (T) هو المقطع الأفضل بين المقاطع الخمسة المدروسة بحيث تم الحصول على أقل قيمة لإجهاد فون وأقل إزاحة بين المقاطع المدروسة ومعامل الأمان له أعلى من باقي المقاطع، تعتبر هذه المقاطع أكثر المقاطع استخداماً في هذا النوع من الرافعات.

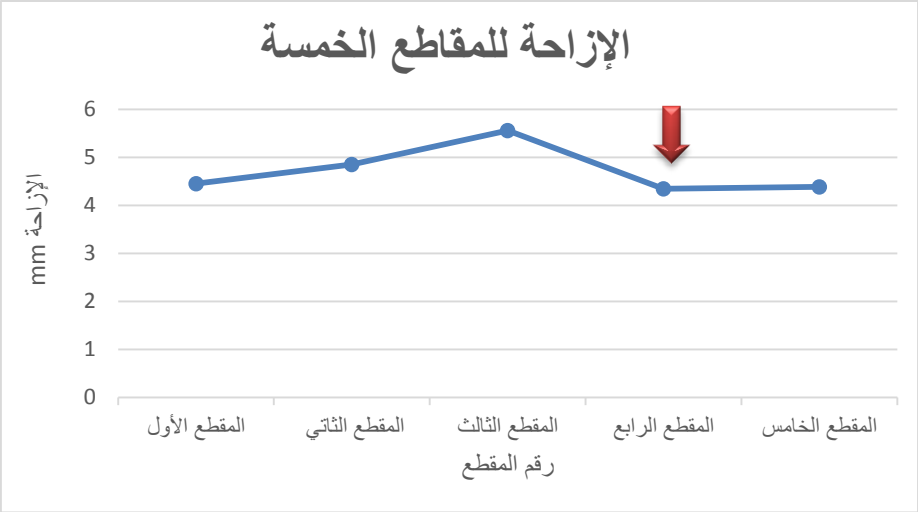
الانخفاض الحاصل في قيمة إجهادات فون ميسز للمقطع الرابع يعطي نتائج أفضل وأداء وعمر أفضل للرافعة ككل وبالتالي إزاحة أقل للمقطع وثبات ومتانة أعلى، لذلك تم رفع قيمة معامل الأمان والحصول على اعلى قيمة لمعامل الأمان بين المقاطع الخمسة.

يوضح المخطط التالي شكل رقم(21) قيم اجهادات فون للمقاطع الخمسة ويبين السهم الأحمر أقل قيمة تم الحصول عليها وهي للمقطع الرابع.



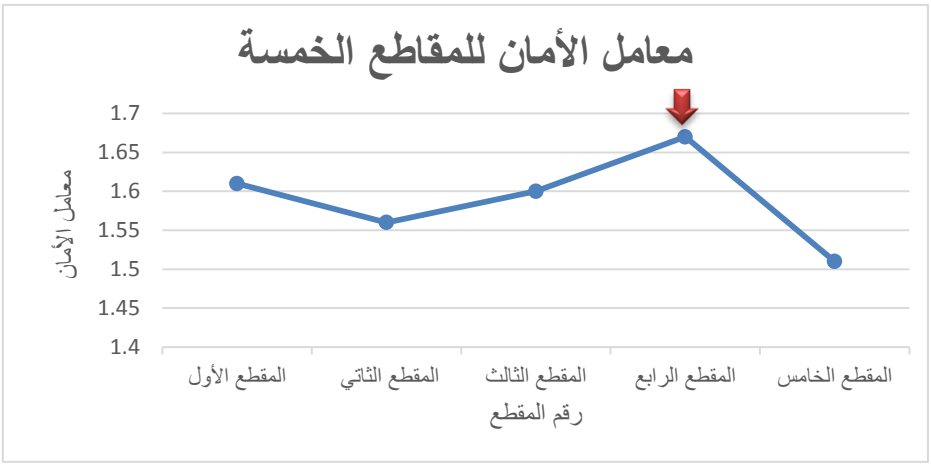
الجدول رقم (21): مخطط يبين إجهادات فون ميسز للمقاطع الخمسة

يوضح المخطط التالي شكل رقم (22) قيم الإزاحة الحاصلة لذراع الرافعة الدوارة للمقاطع الخمسة المدروسة، وتظهر أقل قيمة للإزاحة عند المقطع الرابع مشاراً إليها بالسهم الأحمر.



الشكل رقم (22): مخطط يبين الإزاحة للمقاطع الخمسة المدروسة

يوضح المخطط التالي شكل رقم (23) قيم معامل الأمان لذراع الرافعة الدوارة للمقاطع الخمسة المدروسة، وتظهر أعلى قيمة لمعامل الأمان عند المقطع الرابع.



الشكل رقم (23): مخطط يبين معاملات الأمان للمقاطع المدروسة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- استخدم في البحث أساليب متنوعة كانت نتائجها الرئيسية متوافقة مع بعضها البعض ولاحقاً يمكن اعتبار هذه الأساليب منهجية ممتازة لأي تحليل منشأة أُخرى في المستقبل.
- دراسة حالات التحميل لخمسة مقاطع مختلفة غير مدروسة معيارياً في الروافع الدوارة والوصول إلى المقطع الأمثل المقابل للحمولات المطبقة. حيث تعتبر نتائج الدراسة ذات أهمية في الوصول إلى التصميم الصحيح للمجموعة الميكانيكية. فمثلاً عند الحمولة 200 كغ توصي النتائج باستخدام المقطع بشكل حرف T (معامل الأمان 1.67) (الإزاحة mm4.345) (إجهادات فون ميسز 124 Mpa).

- تتيح المحاكاة وطريقة العناصر المنتهية دراسة كل الأحمال ووضع تصور للإجهاد والانفعال والانزياح في كل نقطة. مما يغني عن إجراء نماذج أولية مكلفه للرافعة والقيام بعملية دراستها والتي تتطلب جهد ووقت كبيرين بالإضافة للكلفة الكبيرة المترتبة على اختبار خمسة مقاطع مختلفة لذراع الرافعة.
- يعتبر المقطع الرابع بشكل حرف T كأفضل مقطع بين المقاطع الخمسة المدروسة نظراً لأنه أعطانا أعلى قيمة لمعامل الأمان وأقل قيمة لإجهادات فون ميسز و الإزاحة.

التوصيات:

تتلخص بالنقاط التالية :

- دراسة مقاطع أخرى واستخدام معادن مختلفة عن المعدن المستخدم.
- أجراء التحليل الديناميكي لذراع الرافعة.
- دراسة الوصلات اللحامية للأجزاء الملحومة من ذراع الرافعة الدوارة.
- إجراء الأعمال المستقبلية على جائز حقيقي مع اختبارها للتحقق من نتائج التصميم الحاسوبي.
- الانفتاح على التجارب العالمية في هذا المجال في الدول المتقدمة والاستفادة من تطبيقاتها.
- اختيار نفس الأسلوب لدراسة بارامترات أخرى للنظام من أجل تطويره وإيجاد حلول مثلى لمشاكل أخرى مع إضافة قيود جديدة لنقترب أكثر من الواقع الصناعي.

References:

1- PEARCE, M. H. *The Design and Construction of an Intelligent Power Assist Jib Crane*. Department of Mechanical Engineering Northwestern University, 1999.

2- MHD56209. *Parts, Operation And Maintenance Manual For Jib Crane Models,* Edition 2 Ingersoll-Rand Company, USA, 2002.

3- KHETRE, S. N., CHAPHALKAR, S. P. and MESHRAM, A. *Modelling And Stress Analysis Of Column Bracket For rotary Jib Crane.* 2014, p139.

4- ARVINDKUMAR, V. C. *Design And Analysis Of Beam For Deformation Of Floor Mounted Jib Crane.* Gujarat Technological University, India, 2015, p76.

5- DHANOOSHA, M. and REDDY,G. V. *Detail Design and Analysis of A Free Standing I Beam Jib Crane,* International Research Journal of Engineering and Technology, Volume: 03 Issue: 12 , 2016.

6- CHAVAN, V. S. and WAYDANDE, S. S. *Design optimization and Modal Analysis of Cantilever I-section Beam For 0.5 ton capacity of Floor Mounted Jib Crane.* International Journal of Mechanical and Industrial Technology, India, 2017, p16.