

The failure of the pulley system study in Takraf cranes at general company of Latakia port: factors and possibilities of improving performance

Dr. Ahmad slamah *
Rama jaabari **

(Received 22 / 6 / 2017. Accepted 5 / 9 / 2017)

□ ABSTRACT □

In this paper, we study the causes of the collapse of the pulley system (pulley-bearing- rope) in the electric Takraf crane, statistically and dynamically. Statistical study showed the effect of load factors on various designs of the pulley (basic, basic with increasing number of nerves or strengthening nerves, locally cast ...), the breakdown factors of the pulley system are not due to the loading or the type of metal. All the above cases of the system showed the ability to withstand the maximum load designed on its basis, where the stress value did not exceed the point of the yield stress metal. Therefore, a dynamic study was carried out that took into account the effect of angular velocity on the forces of sliding and dynamic load corresponding to it, and thus on the thickness of lubrication layer in the bearing.

Keywords: cranes, pulley, bearing, rope

* Assistant Professor, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Postgraduate Student, Tishreen University, Lattakia, Syria.

دراسة عوامل انهيار منظومة البكرة في روافع Takraf العاملة في الشركة العامة لمرفأ اللاذقية وامكانية تحسين أدائها

د. أحمد سلامة*

راما جعبري**

(تاريخ الإيداع 22 / 6 / 2017. قُبل للنشر في 5 / 9 / 2017)

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة أسباب انهيار منظومة البكرة (بكرة - محمل - حبل) في الرافعة الكهربائية Takraf ستاتيكيًا وديناميكيًا. حيث بينت الدراسة الستاتيكية لتأثير عوامل التحميل على تصاميم مختلفة للبكرة (الأساسية، الأساسية مع زيادة عدد الأعصاب أو تدعيم الأعصاب، والمصبوبة محلياً ..) أن عوامل انهيار منظومة البكرة لا تتم بسبب التحميل أو نوع المعدن. أوضحت جميع الحالات المدروسة ستاتيكيًا للمنظومة قدرتها على تحمل الحمولة الأعظمية المصممة على أساسها، ولم تتجاوز قيمة الاجهاد حد الخضوع للمعدن. لذلك تم إجراء دراسة ديناميكية أخذت بعين الاعتبار تأثير السرعة الزاوية على قوى الانزلاق والحمل الديناميكي المقابل لها، وبالتالي على سماكة طبقة التزبييت في المحمل.

الكلمات المفتاحية: روافع، بكرة، محمل، حبل.

* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالبة ماجستير - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة

تتم بمساعدة الآلات الرافعة عمليات تركيب المنشآت الصناعية وأعمال الصيانة وفي الموانئ وتستخدم أيضاً في المستودعات. ولها أنواع عديدة نذكر منها : الروافع الجسرية ، الروافع الجدارية ،الروافع البرجية ،الروافع الشوكية ، والروافع الدوارة ... الخ .

عموماً يتم اختيار أي نوع من أنواع الآلات الرافعة على أساس تحليل مختلف العوامل التي تتصف بها العملية الانتاجية مثل (مقدار الحمولة و مواصفاتها، نوع القدرة المتوفرة ، نظام العمل وغير ذلك).

تعد الروافع الدوارة من أهم الآليات المستخدمة في تفريغ وتحميل حمولات السفن ، حيث يتم تغيير المسافة بين مركز الثقل ومحور الدوران أو مايسمى بذراع التطويل للرافعة ، في هذه الرافعة يرفع الذراع المتفصل مع الجزء الدوار من الهيكل المعدني للرافعة في المستوي الشاقولي ، وتتم عملية الرفع بواسطة الحبال أو السواعد الهيدروليكية [1] . ومن هذه الروافع الموجودة في مرفأ اللاذقية الرافعة الكهربائية TAKRAF ألمانية الصنع من عام 1989 م والمتحركة على سكة والموضحة بالشكل(1).



الشكل (1) - الرافعة TAKRAF

من أهم مواصفات الفنية لهذه الرافعة :

- ◊ الحمولة الأعظمية للرافعة "6.3 Ton" .
- ◊ طول الجائز الشبكي 35 m .
- ◊ المسقط الأفقي للجائز الشبكي " 32m " المقابل لأقل زاوية رفع وهي بالحساب مساوية لـ 24° درجة، و المسقط الأفقي للجائز " 9m " وعنده تكون اكبر زاوية رفع وتساوي 75° درجة.

- ❖ مقدار الرفع "25 m" Hoisting height .
- ❖ العمق الأدنى "13 m" Lowering depth .
- ❖ سرعات العمل Working speeds :
- Lifting سرعة الرفع $v \approx 60 \text{ m/min}$ ، Travelling سرعة تنقل الرافعة $v \approx 20 \text{ m/min}$.

عناصر آلات الرفع :

تتألف الآلات الرافعة من مجموعة عناصر وهي:

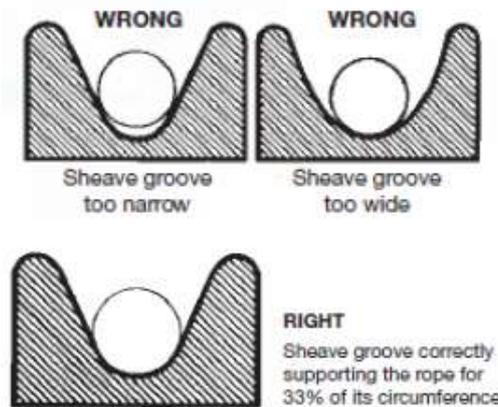
- الأسطوانات ، البكرات ، المسننات ، العتلات ، المحامل .
- الحبال الفولاذية و السلاسل [1].

وسنورد فيما يأتي بعض المعلومات العامة عن العناصر الموجودة ضمن المنظومة المدروسة للرافعة وهي

(البكرة ، المحمل ، الحبل) :

تعد البكرات من أقدم عناصر نقل الحركة والطاقة والأوسع انتشاراً ولكنها تتطلب تصميماً دقيقاً . ويتوضع بين الكابل والآلة ثقل من الاحتكاك الناتج عن تحرك السير أو الكابل حول العمود، والذي يؤدي بدوره لخفض الفعالية وتعرض الكابل للاهتراء السريع [2] .

تصمم البكرات بحيث لا تعيق حركة الحبل وبحيث يكون سطح التماس بينها وبين الحبل أكبر ما يمكن الشكل(2)، و غالباً ترتكز البكرات على محاور ثابتة وبشكل حر وذلك بواسطة جلب (Bush) مصنوعة من مواد مقاومة للاحتكاك ، كما يمكن أن ترتكز على المحاور بواسطة محامل دحرجية (Bearing anti - Friction). ويظهر من الشكل(2) ثلاث حالات لتوضع الحبل مع البكرة ونلاحظ التوضع غير الصحيح في كل من الحالتين إذا كان مجرى البكرة عريض جداً أو ضيق جداً كما هو موضح بالشكل. بينما تحقق الحالة الثالثة أكبر سطح تماس ممكن بين مجرى البكرة والحبل حيث تدعم 33% من محيط الحبل وهو ما يضمن آلية عمل صحيحة[3].



الشكل (2) - توضع الحبل على البكرات

تستخدم الحبال المعدنية عندما يراد نقل كمية كبيرة من الطاقة من بكرة لأخرى ولمسافات طويلة (مثال : عندما تكون البكرات على ارتفاع يزيد عن 150 m) . وتستخدم بشكل واسع في المصاعد ، الروافع ، الناقلات ، أجهزة الشد.... الخ .

تصنع الحبال من الأسلاك المبردة المسحوبة من أجل زيادة مقاومتها للشد وقوة التحمل ومن المحتمل ملاحظة زيادة مقاومة الشد (strength) مع تناقص قطرها (size) ، كما تركز البكرة على حمل أو أكثر لتقليل الاحتكاك ورفع مردود النقل في البكرة، كما يوفر إمكانية لزيادة سرعات الدوران وزيادة نسب التحميل على المحاور [4] .

الدراسات السابقة :

إن الحاجة المستمرة لحل مشكلة انهيار البكرة ، وتأثير هذه الحلول على بقية أجزاء المنظومة ، وعلى أداء الرافعة بشكل عام ، أدت إلى سعي حثيث ، ودراسات مكثفة، للعمل على اقتراح حلول علمية تصميمية ، بخواص مكافئة تقريباً ، وبكلفة اقتصادية مناسبة.

وفي بحث قام به كل من العالمين (Hee-Jin Shim , Jung-Kyu Kim) [5] بهدف دراسة مراحل التعب الأمثل للبكرة، باستخدام طريقة تحليل العناصر المنتهية، وتم الحصول على توزيع الإجهاد المطبق على البكرة ، وذلك تحت تأثير شد عالي وعزم دوران ، وبناءً على هذه النتائج تم تقدير حياة التعب للبكرة ، مع اختلاف مقاومة التعب باستخدام جهاز محاكاة تحليل المتانة، وقد قورنت النتائج من 1% إلى 50% لاحتمالية الانهيار مع حياة التعب، و تم الحصول على حياة التعب من طريقة استجابة السطح بالإضافة للتصميم الأمثل ، وهذه الطريقة هي وسيلة إحصائية لنموذج تقريبي وتحليل استجابة السطح ، وقد تم التحقق من صحة التصميم الأمثل مع الأخذ بعين الاعتبار المتانة . وتم التوصل للنتائج التالية :

- تم التحقق في جزء هام من البكرة باستخدام طريقة العناصر المنتهية تحت شد عالي وعزم دوران.
- تم تقييم توزيع حياة التعب للبكرة وفقاً لاحتمال الانهيار والتطمح .
- تم تحديد متغيرات التصميم باستخدام طريقة استجابة السطح وتحديد التصميم الأمثل.

كما قام كل من (A. Chaikittiratana, S. Koetnyom, S. Lakkam) [6] بدراسة حول الاحتكاك الستاتيكي والديناميكي، الحاصل في مناطق اتصال المواد ، والمعرضة لاختلاف بدرجات الحرارة والضغط وذلك باستخدام جهاز اختبار الاحتكاك الانزلاقي ، وقد وجد أن الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة قابلة لإعطاء فعالية ناجحة لقياس معامل الاحتكاك في مناطق تلامس المواد.

كما تم إجراء دراسة تجريبية لسلوك الاهتزاز في المحامل الكروية عميقة المدرج ، تحت تأثير حمل ديناميكي شعاعي (نصف قطري) من قبل الباحثين (R. K. Pandey , N. Tandon , V. N. Patel) [7] حيث تم في هذا البحث التجريبي دراسة سلوكيات الاهتزاز للمحامل الكروية العميقة المدرج السليمة ، وأخرى ذات عيوب موضعية، مع الأخذ بالاعتبار قياسات دائرية مختلفة للعيوب في المحامل من أجل أن تكون النتائج أكثر عمومية ، والعاملة تحت تأثير حمل ديناميكي شعاعي ، والذي طبق باستخدام الهزازة الكهروميكانيكية (electromechanical shaker) ، وقد تم مقارنة أطياف الاهتزاز بمجالات الزمن والتردد ، لكلا نوعي المحامل الكروية المستخدمة ومناقشتها. أظهرت النتائج أن :

- في المحامل السليمة وبدون تأثير ظروف التحميل كانت قمم الاهتزاز متوافقة مع تردد العمود الدوراني.

- وفي حال تطبيق الحمل الديناميكي الشعاعي، يتردد مختلف على المحامل السليمة المختبرة ، فإن مدى الاهتزاز عند تردد العمود الدوراني أصبح مختلفاً تحت أنواع أخرى للاهتزازات .
- وعموماً فإن زيادة الاهتزاز كانت في حال وجود عيوب موضعية وتحميل ديناميكي شعاعي .

مشكلة البحث :

من خلال الزيارات الميدانية المتعددة لدائرة الشؤون الفنية في الشركة العامة لمرافق اللاذقية ، والاطلاع على جداول الصيانة الفنية للكثير من الآليات العاملة في مرافق اللاذقية ، لفت نظري موضوع الصيانة للرافعة من نوع TAKRAF إذ بينت جداول الصيانة لعدة سنوات وجود مشكلة حقيقية في منظومة البكرة العائدة لهذا النوع من الروافع وفق مايلي :

- حدوث انهيار في البكرة وتقطع للحبال وانهيارها نتيجة الاحتكاك الحاصل بين البكرة والحبل، والحمل الغير متوازن، والعوامل الخارجية المؤثرة (بيئة بحرية) . ويحدث الانهيار بعد حوالي 200 ساعة عمل، مع العلم أن اليوم الواحد فيه تقريباً 20 ساعة عمل، يظهر الشكل (3) الانهيار الحاصل في البكرة وتقطع الحبل نتيجة الاحتكاك الحاصل بين الحبل والبكرة.



الشكل (3) - الانهيار الحاصل في البكرة والحبل نتيجة الاحتكاك الحاصل بينهما

- انهيار المحامل المستخدمة نتيجة الحمل الزائد وطبيعة العمل بالإضافة لتأثير التآكل الناتج عن البيئة البحرية. متوسط عمر المحمل حالياً هو 1600 ساعة عمل . والشكل (4) يوضح الاهتراء الحاصل في المحامل :



الشكل (4) - انهيار المحامل

أهمية البحث وأهدافه:

تعود أهمية البحث للأهمية التي تشغلها الروافع في الشركة العامة لمرافأ اللاذقية، ومدى تأثيرها في العملية الإنتاجية (تفريغ الواردات ، تحميل الصادرات)، إذ أن انهيار منظومة البكرة تؤدي لتوقف الرافعة، التي تؤثر سلباً على الطاقة الإنتاجية للمرفأ وعلى توقف نشاطه أحياناً أخرى. وبالتالي فإن زيادة كفاءة عمل منظومة البكرة في الروافع وتقليل توقفاتها، يؤثر ايجاباً على العملية الإنتاجية للمرفأ. لذلك فإن هدف البحث، تحديد المشاكل التي تتعرض لها منظومة البكرة والمحامل التي تتركز عليها وأسبابها ، والعمل على زيادة كفاءتها وعمرها التشغيلي، من خلال تحديد أسباب الفشل والانهيار ، وإمكانية تلافيها، وتحديد أفضل الشروط الفنية لعملها مما يؤدي إلى رفع عمرها الاستثماري الذي يعتبر ذو أهمية كبيرة من الناحية الاقتصادية.

طرائق البحث و مواد:

جهاز التحليل الطيفي :

تم إجراء اختبار التحليل الطيفي لمعدن البكرة بهدف تحديد نوع المعدن المستخدم في تصنيعها وتركيبه الكيميائي. وهذا الجهاز موجود في مخابر جامعة تشرين كما يظهر الشكل (5) .



الشكل (5) - جهاز التحليل الطيفي

المعادن المستخدمة في تصنيع البكرة :

حيث تم إجراء التحليل الطيفي لعينات من البكرة التي تم الحصول عليها من الشؤون الفنية في الشركة العامة لمرافأ اللاذقية ، ويوضح الجدولين (1) و(2) التركيب الكيميائي لمعدن البكرة والأعصاب الداعمة المضافة حيث أخذت ثلاث قراءات للعينات ومن ثم حساب المتوسط الحسابي لها:

الجدول (1) - التركيب الكيميائي لمعدن البكرة

عينة من البكرات الأصلية المستخدمة في روافع TAKRAF								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Averag	97.8	0.145	0.401	1.30	0.0206	0.0188	0.02	0.0050
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
Averag	0.018	0.002	0.0053	0.0318	0.0020	0.0020	0.05	0.0343
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As		
Averag	0.050	0.006	0.0010	0.0007	0.0024	0.0098		

الجدول (2) - التركيب الكيميائي للمعدن المستخدم في تدعيم البكرة

عينة من المعدن المضاف المستخدم في تدعيم البكرة في روافع TAKRAF								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Averag	98.4	0.111	0.159	0.596	0.0287	0.0303	0.0890	0.005
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
Averag	0.078	0.078	0.0072	0.357	0.0020	0.0020	0.0020	0.031
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As		
Averag	0.050	0.026	0.0012	0.000	0.0027	0.0175		

ومن خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من التحليل الطيفي مع المواصفة القياسية الألمانية DIN ،
وجد أن البكرة الأصلية من معدن 3-52 st والأعصاب المضافة من معدن 3-37 st .
والمواصفات الرئيسية للمعدنين 3-52 st و 3-37 st موضحة بالجدول (3) :

الجدول (3) - المواصفات الميكانيكية للمعدنين 3-52 st و 3-37 st

	إجهاد الخضوع Yield strength	الكثافة Mass density	الاستطالة النسبية	مقاومة شد Tensile strength	نسبة بواسون Poisson's ratio
st 52- 3	$3.35 * 10^8$ N/m ²	7800 kg/m ³	25%	$5.6 * 10^8$ N/m ²	0.28
st37- 3	$2.015 * 10^9$ N/m ²	7800 kg/m ³	22%	$3.8 * 10^8$ N/m ²	0.28

وبعد تحديد نوعية المعدن للعينات تم ادخال هذه المواصفات في برنامج Solidworks لدراسة المنظومة ستاتيكيًا. أما الدراسة الديناميكية فقد تمت باستخدام برنامج Matlab .

الدراسة الستاتيكية

تناولت الدراسة الستاتيكية الحالات التالية:

1. حالة البكرة الأساسية وزنها 39 Kg ، ويعدد أعصاب 8 ، قطر الاطار الخارجي للبكرة قطرها 756 mm وقطر الاطار الداخلي 24mm .
2. حالة البكرة الأساسية و المدعمة بأسلوبين :
(a) عن طريق زيادة عدد الأعصاب مع ملاحظة اختلاف شكل العصب.
(b) من خلال وضع دعامة بشكل حرف U حول كل عصب كما هو موضح بالشكل (6) .



الشكل (6) - الوجه الأمامي والجانبى للبكرة المدعمة بالأسلوبين

3. حالة البكرة الحالية المصبوبة محلياً بنفس القطر 756 mm ، ويوزن حوالي 112 Kg ، ويعدد أعصاب 6. مع ملاحظة الاختلاف في شكل العصب و سماكته ، وسماكة الإطار الداخلي والخارجي مقارنة بالبكرة الأساسية كما يبين الشكل (7).



الشكل (7) - الوجه الامامي والجانبى للبكرة المصبوبة محلياً

* علماً أن البكرة في الحالات الأربعة ترتكز على محملين من نوع SKF 6220 .

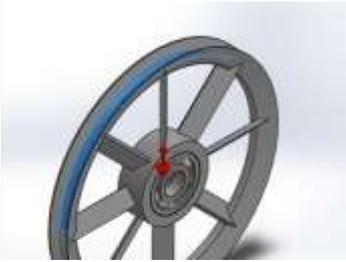
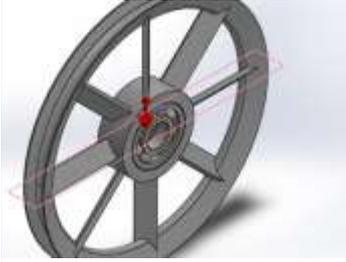
تطبيق القوى :

تم الاستعاضة في الحالات الأربعة عن الحبل بقوة موزعة مقدارها 6.3 Ton (6300 kgf) وهي الحمولة الأعظمية المصممة الرافعة على أساسها، و بزوايا إحاطة 30 درجة أخذت من مخطط الرافعة عند زاوية الرفع الصغرى. حيث تمت عملية التثبيت **Fixture** على السطح الداخلي للحلقة الداخلية للمحملين، كما هو موضح بالشكل (8) ، وذلك بعد تمثيل ثلاثي الأبعاد للبكرة وتجميعها مع المحملين و ثم إجراء المحاكاة:

Fixture Image	Fixture Details
	<p>Entities: 2 face(s) Type: Fixed Geometr y</p>

الشكل (8) - سطح التثبيت

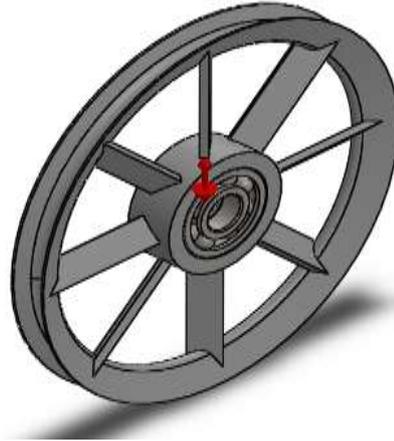
ومن ثم تطبيق القوى المؤثرة 6.3 Ton أي 6300 kgf ، حول الإطار الخارجي للبكرة بزوايا 130 درجة (زاوية الاحاطة) ، بالإضافة للجاذبية كما هو مبين في الشكل (9):

Load name	Load Image	Load Details
Force		<p>Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 6300 kgf</p>
Gravi		<p>Reference: Top Plane Values: 0 0 -9.81 Units: SI</p>

الشكل (9) - القوى المؤثرة على منظومة البكرة

وتم الحصول على النتائج التالية :

أولاً: البكرة الأساسية: تم تمثيلها في البرنامج كما هو موضح في الشكل (10) ، مع مراعاة أبعاد البكرة التي تم الحصول عليها بالقياس من الشؤون الفنية في الشركة العامة لمرافئ اللاذقية ، وكل من نوع المعدن ، وشكل الأعصاب ومن ثم عملية التجميع مع المحملين :



الشكل (10) - البكرة الأساسية

إن تحليل الانهيار يحدد السبب الرئيسي لفشل المنظومة، و بناءً على نتائج تحليل الإجهاد وفق نظرية العناصر المنتهية، الذي يستخدم لتحديد مستوى تركيز الإجهاد عند المنطقة المنهارة للمنظومة. تم توليد نموذج العناصر المنتهية لجميع الحالات المدروسة، حيث تم استخدام عناصر هرمية ثلاثية الأبعاد مع الاختلاف بعدد العقد والعناصر في كل حالة، وكما يوضح الشكل (11) نموذج العناصر المنتهية لمنظومة البكرة في الحالة الأولى، حيث يتألف من 10764 عنصر (Element) و 21425 عقدة (Node) :



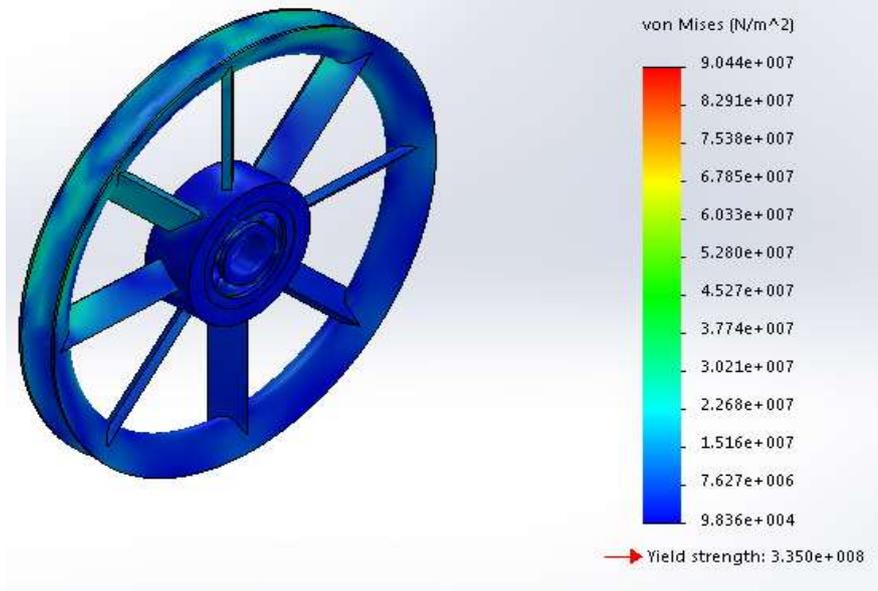
الشكل (11) - نموذج العناصر المنتهية (الشبكة العنصرية) للمنظومة المدروسة

وبدراسة منظومة البكرة دراسة ستاتيكية تم فيها تحليل قيم الإجهاد المكافئ بالاعتماد على معيار (Von Mises) وبحسب من العلاقة :

$$\sigma_{\text{Eq}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

حيث: σ_1 ، σ_2 ، σ_3 الإجهادات الأساسية المؤثرة على العنصر الحجمي. تم الحصول على النتائج التالية:

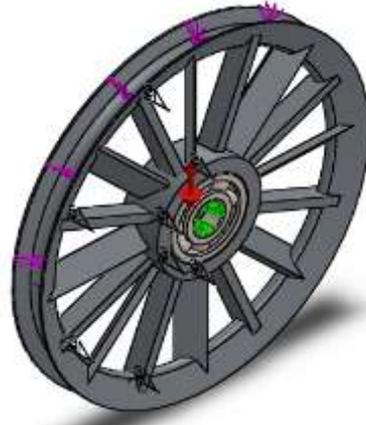
• الإجهاد Stress: يتضح من الشكل (12) كيفية توزع الإجهاد في مكان تركيز الحمل، والأعصاب المجاورة لهذه المنطقة، مع تدرج القيم بين أكبرها $9.044 * 10^7 N/m^2$ وأصغرها $98355.7 N/m^2$:



الشكل(12)- تدرج قيم الاجهاد

ثانياً : البكرة الأساسية المدعمة بأسلوبيين :

(a) من خلال زيادة عدد الأعصاب : وذلك بتهيئة عصب إضافي باللحام بين كل عصبين أساسيين ، مع ملاحظة الاختلاف في طريقة التوضع ، حيث أن الاعصاب الاساسية مائلة بزواوية معينة بينما المضافة مستقيمة ، كما هو موضح بالشكل(13) :

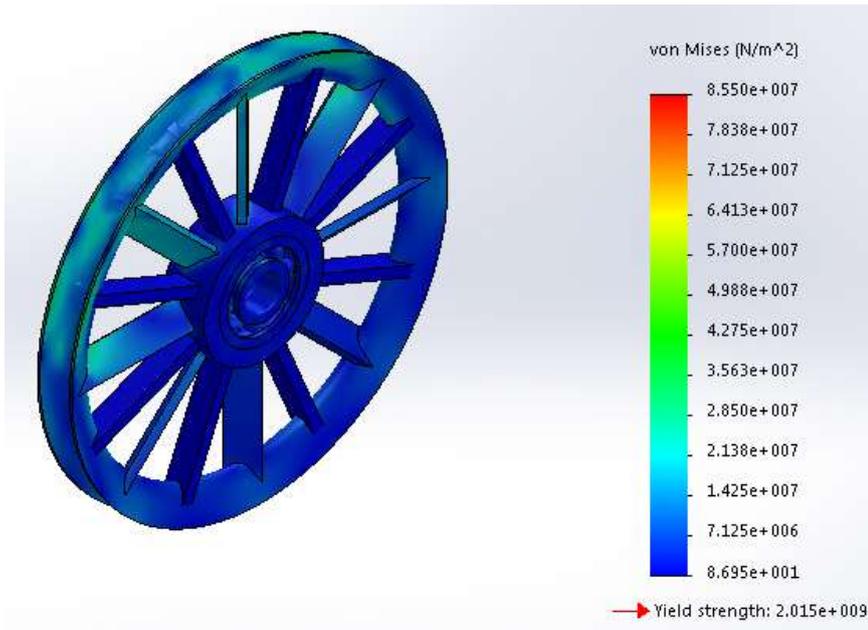


الشكل(13)- البكرة الأساسية المدعمة بزيادة عدد الأعصاب

وبشكل مماثل للحالة الأولى الشكل(11)، تم توليد نموذج العناصر المنتهية لمنظومة البكرة، ويتألف من 20386 عنصر (Element) و 39906 عقدة (Node) .

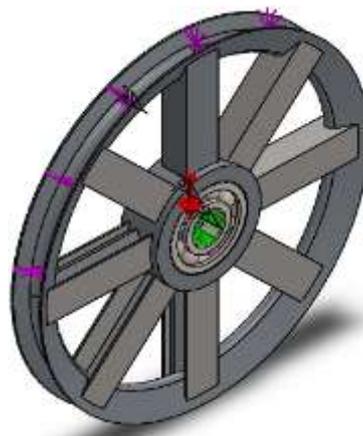
وتم التوصل للنتائج التالية:

• الإجهاد **Stress**: ويتضح في الشكل (14) تدرج قيم للإجهاد بين أعظمها وهي $8.550 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ، وأصغرها 86.9525 N/m^2 ، وتوضعها في مكان إحاطة الحبل حول مجرى البكرة ومناطق اتصال العصب بالإطار، ونلاحظ هنا أن القيمة العظمى للإجهاد انخفضت عند زيادة الأعصاب في البكرة نتيجة لزيادة نقاط توزع القوة وبالتالي زيادة السطح :



الشكل (14) - تدرج الإجهاد

(b) تدعيم البكرة الأساسية من خلال إحاطة العصب بدعامة بشكل حرف U حول العصب وملحومة من جهة الإطار الكبير والصغير للبكرة، كما هو مبين بالشكل (15) :

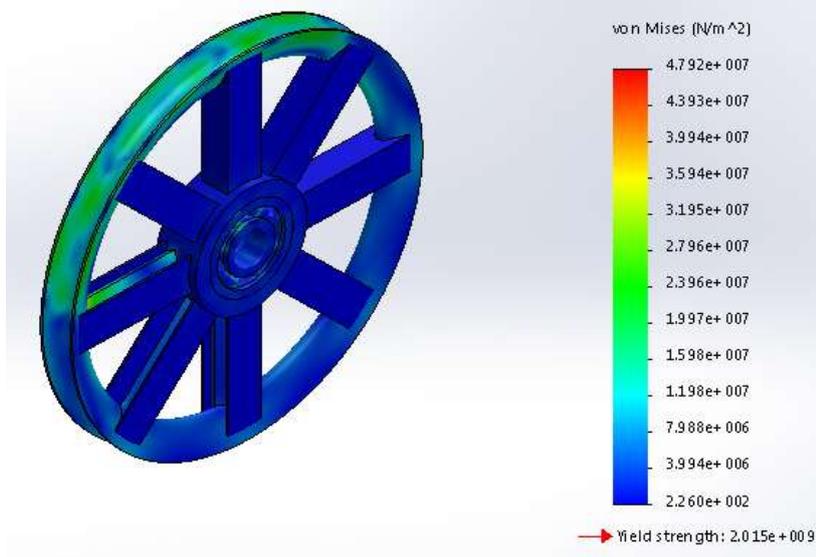


الشكل (15) - البكرة الأساسية المدعمة بوضع دعامة حول العصب

ويتألف نموذج العناصر المنتهية لمنظومة البكرة في هذه الحالة من 42403 عنصر (Element) و79186 عقدة (Node) :

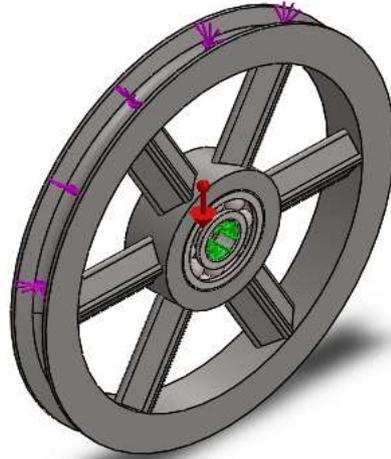
أما بالنسبة لنتائج الإجهاد التي تم الحصول عليها فكانت :

- الإجهاد **Stress**: أعظم قيمة في هذه الحالة هي $4.79246 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ وأصغرها هي 226.037 N/m^2 ، ونلاحظ تناقص القيمة العظمى للإجهاد مقارنة بالحالتين السابقتين كما يوضح الشكل (16) :



الشكل (16) - تدرج الاجهاد

- ثالثاً : حالة البكرة الحالية المصبوبة محلياً: تم تمثيلها وفقاً للمعلومات المذكورة سابقاً من حيث أقطار الاطارات والوزن وعدد الأعصاب وشكل مقطعها ، كما هو موضح بالشكل(17):

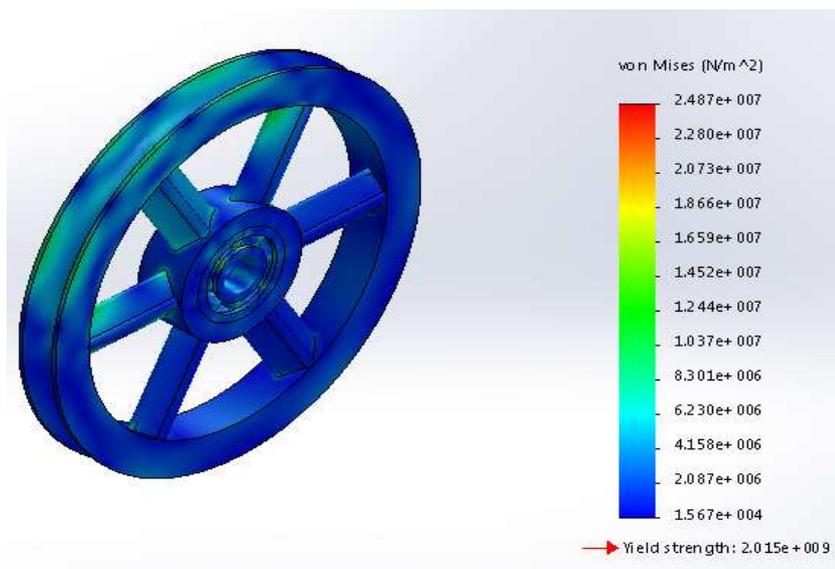


الشكل(17)- البكرة المصبوبة محلياً

ومن ثم تم توليد نموذج العناصر المنتهية للبكرة المصبوبة محلياً مع المحملين ، ويتألف من 35461 عنصر (Element) و 60212 عقدة (Node).

وأظهرت نتائج الدراسة لهذه الحالة مايلي :

- الإجهاد **Stress** : ويوضح الشكل (18) أعظم قيمة للإجهاد وهي $2.48727 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ وأدناها كانت 15667.6 N/m^2 ، ومكان توزيعه ونلاحظ تناقص قيم الإجهاد مقارنة بالحالات السابقة :



الشكل (18) - تدرج الاجهاد

يظهر من النتائج السابقة ، أنه لم يتمكن من خلال التحليل الستاتيكي تحديد مشكلة انهيار منظومة البكرة، ولم يتم التوصل لأسباب حقيقة ودقيقة لحدوث الانهيار، ولذلك كان لابد من إجراء تحليل ديناميكي لتحديد السرعة الحرجة والأحمال الديناميكية الموافقة لها ، واقتراح أفضل الحلول الممكنة.

الدراسة الديناميكية :

تعتبر المحامل المرتكز الأساسي للمنظومة المدروسة وهي عبارة عن عنصر ميكانيكي يسمح بالحركة الدورانية للأجزاء الميكانيكية المتحركة حركة نسبية فيما بينها، ويتيح المحمل الدحرجي إمكانية لتخفيض الاحتكاك بين المحاور والتقوُّب الحاملة لها، كما يوفر إمكانية لزيادة سرعة الدوران وزيادة نسب التحميل على المحاور [8].

نصادف حالات الاحتكاك بين الأجزاء، التي تملك حركة نسبية فيما بينها، أينما اتجهنا في الواقع العملي، بحيث يندر أن نصادف جهازاً أو آلية تخلو من أحد أنواع التماسات التي تعمل في ظروف متغيرة، وتقوم طبقة التزيت بفصل السطوح المتماسية بعضهما عن البعض الآخر، وبالتالي فهي تقل كثيراً من عواقب الاحتكاك المباشر بين المعادن. وبالتالي يعتبر التزيت مفتاحاً لإطالة عمر المحامل وأدائها بشكل مناسب. القليل أو الكثير من الزيت أو استخدام الأنواع غير الجيدة للتزيت سنؤدي إلى العديد من المشاكل التي تتعلق بالتزيت، والتي قد تصل إلى عطل كارثي في الآلة [8,9].

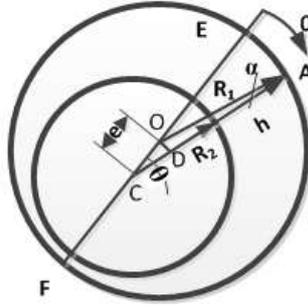
يعتبر كلاً من مقدار تدفق الزيت ، وكذلك قياس وموقع السماكة الأصغرية لطبقة الزيت، من المقادير ذات الأهمية الكبيرة في المحامل، كما يبين الشكل (20) ، ويتم تحديدها من خلال الدراسة الديناميكية للمحمل، الذي ترتكز عليه البكرة. وتم اجراء هذه الدراسة باستخدام برنامج Matlab .

ويهدف حساب قوى الانزلاق الديناميكية تم حساب قيمة الضغط وفق العلاقة التالية :

$$P(x) = \sqrt{1 - \left(\frac{y}{a}\right)^2}$$

حيث a : عرض منطقة التماس

ومن ثم حساب سماكة طبقة التزييت وفق مايلي :



الشكل (20) - الشكل الهندسي للمحمل [10]

$$h = (R_1 - R_2) + e \cos \theta = c + e \cos \alpha = c (1 + \varepsilon \cos \theta)$$

حيث يوضح الشكل (20) أن :

h : سماكة طبقة التزييت

R_1 : نصف قطر المحمل

R_2 : نصف قطر المحور

c : وهو الخلوص نصف القطري (أو الشعاعي) ويساوي $(R_1 - R_2)$.

ε : معدل اللامركزية ويساوي e/c [8]

تحسب قوى الانزلاق F_{sn} من العلاقة التالية :

$$F_{sn} = A \left\{ \sum_{i=1}^l \left(\eta^* \left(\frac{u_2 - u_1}{h} \right) \right) \right\}$$

حيث A ثابت الانزلاق ويساوي 2.7 للمحامل الدحرجية حسب المعيار العالمي ISO6336

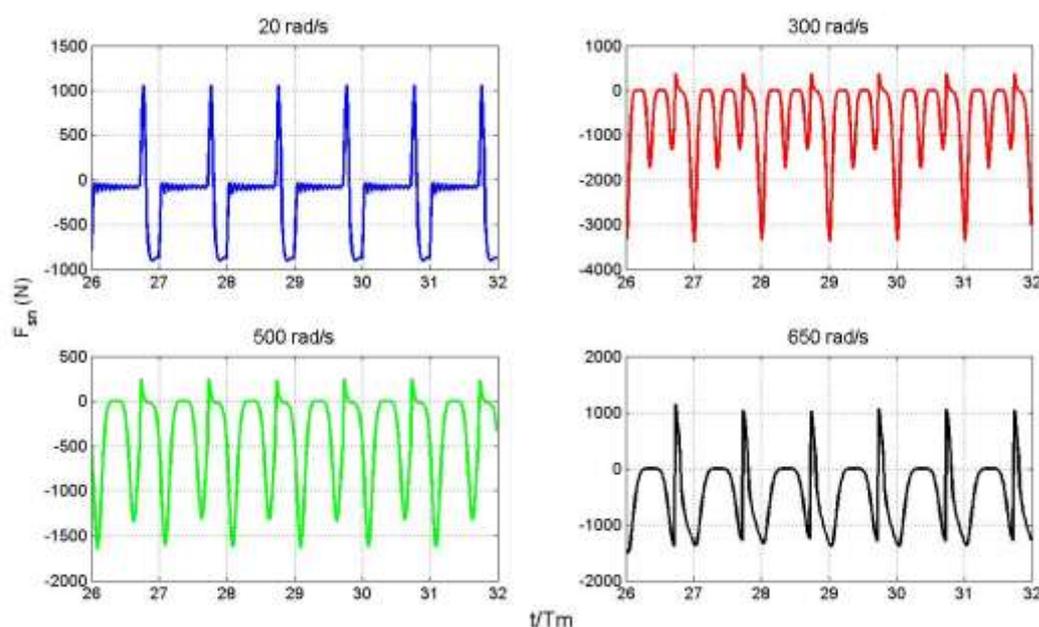
l : عدد الدحارج .

η^* : اللزوجة الديناميكية .

h : سماكة طبقة التزييت .

u_1, u_2 : سرعة انزلاق الأجسام وهي السرعة المحيطية تطبق حسابياً باستخدام المبدأ التكامل مع الزمن

وتم التوصل للنتائج التالية :



شكل (21)- قوى الانزلاق مع تغيير السرعة الزاوية

من خلال التحليل الديناميكي وحساب علاقة قوى الانزلاق مع السرعة الزاوية الشكل (21) تبين مايلي:

أنه عند القيم الصغيرة للسرعة الزاوية وهي مساوية لـ 20 rad/s أن القسم الموجب لقوى الانزلاق متجانس مع القسم السالب أي الجملة مستقرة والتغيرات ممكن إهمالها عندما يتساوى الجزء الموجب مع الجزء السالب من قوى الانزلاق ، أما عندما يكون أحد الجزئين أكبر من الآخر فهذا يعني أن الانزلاق غير متجانس ، وبالتالي الاحتكاك كبير ، وهذا دليل على أن سماكة طبقة التزييت قليلة ، ويتضح ذلك عند السرعة الحرجة حيث يكون الحمل الديناميكي أعظمي ، كما يظهر الشكل (21) عند السرعة 300 rad/s كانت قوى الانزلاق 3000 (N) عندما يكون الانزلاق كبير ← الاحتكاك كبير ← سماكة طبقة التزييت قليلة.

بعد تجاوز السرعة الحرجة عند السرعة 500 rad/s تناقصت قوى الانزلاق إلى 1500 (N) ، ومن ثم نلاحظ عودة الجملة إلى الحالة المستقرة مع تزايد السرعة ، ويتضح ذلك عند السرعة 650 rad/s .

وبالتالي من الممكن أن تكون الجملة مستقرة بشرط العمل بسرعات عالية أكبر من 500 rad/sec .

النتائج والمناقشة :

نتيجة لقراءة قيم الإجهاد لمنظومة البكرة في الحالات المذكورة سابقاً وفقاً للتحليل الستاتيكي تبين مايلي :

1. أعلى قيم للإجهاد لوحظت في المناطق التالية :
 - مجرى البكرة (مكان إحاطة الحبل).
 - نقاط اتصال الأعصاب (القريبة من مكان تركيز الحمولة).
 - نقطة اتصال العصب بكل من الإطار الكبير والصغير ، و جزء المجرى المحصور بين عصبين أساسيين .
2. عند تدعيم البكرة بالمقارنة مع حالة البكرة الأساسية لوحظ تناقص في قيم الإجهاد العظمى نتيجة لزيادة السطح الموزع عليه القوى المؤثرة .

3. لم يحصل انهيار للمنظومة تحت تأثير الحمولة الاعظمية المطبقة 6300 kg ستاتيكيًا.
4. عموماً كان الاجهاد الأعظمي أصغر من حد الخضوع للمادة المصنوعة منها البكرة ، وبالتالي يمكن توقع حدوث الفشل الوظيفي نتيجة زيادة الاهتزازات والاحمال الديناميكية في الجملة .
ومن خلال التحليل الديناميكي تبين مايلي:
1. عند العمل في مجال السرعة الحرجة فإن قوى الانزلاق تكون أعظمية وبالتالي زيادة الاحتكاك وانخفاض في سماكة طبقة التزييت، ونتيجة لذلك يحدث الانهيار مباشر في نطاق عمل هذه السرعة مما يستدعي العمل في مجالات أخرى بعيدة عن عمل هذه السرعة.
2. إن المنظومة مستقرة مع إضافة الأعصاب، عند العمل بسرعات زاوية عالية أكبر من 500 rad/sec حيث أن زيادة الاعصاب في هذه الحالة يكون له تأثير منخفض لزيادة الحمل الديناميكي مقارنة بعدم وجود أعصاب داعمة، وذلك نتيجة لزيادة السرعات الزاوية والتي تتوافق مع زيادة في سماكة طبقات التزييت.

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

1. تبين من خلال الدراسة الستاتيكية أن انهيار منظومة البكرة، لا يتم بسبب التحميل أو نوع المعدن ، حيث أوضحت جميع الحالات المدروسة للمنظومة قدرتها على تحمل الحمولة الأعظمية المصممة على أساسها ، ولم تتجاوز قيمة الاجهاد حد الخضوع للمعدن المصنوع منه البكرة .
2. إن الفشل الوظيفي يحدث نتيجة زيادة الاهتزازات والاحمال الديناميكية في الجملة ،حيث وجد من خلال الدراسة الديناميكية أن قوى الانزلاق تكون بأكبر قيمها عند السرعة الزاوية الحرجة، و بالتالي سماكة طبقة التزييت صغيرة والاحتكاك كبير ، لذلك يقترح تغيير نوع الزيت المستخدم لزيادة تخميد استجابة المحمل للاهتزاز .

التوصيات :

1. دراسة تأثير تغير زاوية الرفع للجائز الشبكي وسرعة الرفع.
2. دراسة تأثير تغيير نوع المعدن المستخدم للبكرة .
3. دراسة تأثير إجراء معالجة حرارية للبكرة بعد عملية انتاجها بالصب .
4. دراسة تأثير تغيير نوع المحامل المستخدم في منظومة البكرة .

المراجع

- [1]- د. الشرجي، محمد . د. هولا ، عيسى. *آلات النقل والرفع*. جامعة دمشق. 1982. 201-207.
- [2] - SLOCUM A. , *Fundamentals of Design Topic 5 Power Transmission Elements*, Massachusetts Institute of Technology, 2008,1-10.
- [3] Barre W. , *Specialist steel & fibre rope solutions for the oil & gas industry* , Edition 5, 2011,30-37.
- [4]- KHURMI R. S. ; GUPTA J. k. , *A Textbook of Machine Desing*, S. I. UNITS, 2015, 727-745.
- [5]- HEE J ; JUNG K., *Consideration of fatigue life optimization of pulley in power-steering system* , Materials Science and Engineering A 483-484, 2008, 452-455.
- [6]- CHAIKITTIRATANA A ; KOETNIYOM S ; LAKKAM S. , *Static/kinetic Friction behaviour of a Clutch Facing Material : Effects of Temperature and Pressure* , World Academy of Science, Engineering and Technology 66 , 2012 ,1-4.
- [7]-V. N. PATEL; N. TANDON; R. K. PANDEY, *Experimental Study for Vibration Behaviors of Locally Defective Deep Groove Ball Bearings under Dynamic Radial Load*, Hindawi Publishing Corporation, 2014 ,1-7.
- [8]- FRENE J ; NICOLAS D ; DEGUEURCE B; BERTHE D; GODE M. , *Hydrodynamic Lubrication 1st Edition Bearings and Thrust Bearings*, Elsevier Science, Volume 33,1997 ,469 pages.
- [9]-COLLINS J ;BUSBY H; STASB G., *Mechanical Design of Machine Elements and Machines* , Printed of United States of America, second Edition , 2010 ,403-457.
- [10]- CAMERON A. , *Basic Lubrication theory Third Edition* , University of London, 1981, 91-125.