

دراسة تجريبية لقياس ضياع الطاقة بالتهوية المطبقة على آلية نقل الحركة في آلة عنفية ريحية

الدكتور صلاح داوود*

الدكتور ياسر دياب**

انديرا سليمان***

تاريخ الإيداع 13 / 3 / 2008. قُبِلَ للنشر في 2008/6/23

□ الملخص □

يُعدّ الحساب الحقيقي للطاقة الضائعة في علب السرعة في المحطات الرياحية عنصراً مهماً من أجل تحسين أنظمة النقل، وكذلك حساب الأبعاد الهندسية للدواليب المسننة (المسننات) المستخدمة فيها. في هذه الدراسة تم التركيز على ضياع الطاقة في المحامل و في المسننات و ضياع التهوية التي تؤثر في كفاءة نظام النقل تبعاً لشروط العمل. تم العمل على جهاز اختبار لقياس ضياع التهوية بالمسننات يعتمد على مبدأ Dawson، ثم أجريت التجارب على أربعة مسننات من الفولاذ بأبعاد هندسية مختلفة (عرض - قطر - مودول)، كما تم التعامل مع نموذج رياضي متطور من أجل تمليس القياسات التجريبية بهدف قياس ضياع الطاقة بالتهوية وعلاقته مع الأبعاد الهندسية للمسننات.

الكلمات المفتاحية: نقل الحركة عبر المسننات - ضياع الطاقة - انضغاط الزيت بين الأسنان - احتكاك .

* أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

** وزارة الصناعة - دمشق - سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Une étude expérimentale pour mesurer la perte de puissance par ventilation. Application au mécanisme de la transmission dans l'éolienne

Dr . Salah dawwoud*
Dr . Yasser diab**
Andera Suleiman***

(Received 13 / 3 / 2008. Accepted 23 / 6 / 2008)

□ ABSTRACT □

L'estimation des puissances dissipées dans le carter des éoliennes est un facteur important afin d'optimiser le système de la transmission et de la géométrie des roues dentées. Dans cette étude on focalise les efforts sur les pertes de puissance dans les roulements et les engrenages, ainsi que sur les pertes de ventilation, ce qui peut dominer la performance du système. On a développé un banc d'essais basé sur le principe de Dawson pour mesurer la perte de puissance par ventilation. Les expériences ont été effectuées pour quatre roues dentées en acier dont les caractéristiques géométriques sont diverses (largeur, diamètre, module), puis on a développé une démarche de modélisation pour regresser les mesures afin de pouvoir penser à la perte de ventilation concernant les caractéristiques géométriques des roués dentées.

Keywords : transmission par engrenage ; pertes de puissance ; ventilation ; piégeage ; frottement .

* Associate Prof ,Department Of Mechanical forces Engineering - Faculty Of Mechanical & Electrical Engineering – Tishreen University – Lattakia -Syria .

** Ministry Of Industry - Damascus- Syria .

*** Postgraduate Student , Department Of Mechanical forces Engineering - Faculty Of Mechanical & Electrical Engineering – Tishreen University – Lattakia-Syria .

مقدمة:

إن الحاجة إلى توفير الطاقة، الذي يضغط حالياً على المجتمع، والذي سوف يزداد يوماً بعد يوم بسبب الاستهلاك المتزايد لطاقة الوقود الاحفوري، والذي يترافق مع النمو الاقتصادي في معظم دول العالم مما تؤدي إلى انخفاض الاحتياطي العالمي من هذه المادة، وضرورة حماية البيئة من التلوث الناتج عن احتراق الوقود الاحفوري ، إضافة إلى ارتفاع سعره والذي وصل إلى مائة دولار أمريكي للبرميل الواحد، كما أن استغلال الطاقة النووية في توليد الكهرباء محفوف بالمخاطر البيئية؛ لذا أصبح حتماً على دول العالم أن تبحث في أمرين أحدهما : تخفيض ضياعات الطاقة في الميكانيزمات بشكل عام وذلك من خلال تخفيض كتلتها وغير ذلك من العوامل التي تؤدي إلى تخفيض القوى المسببة لهذه الضياعات، حيث أن ضياع الطاقة بالنقل بالمسنتات مثلاً يرتبط بطريقة التزييت مثل ضياع انضغاط خليط الزيت - هواء في قعر الفراغ بين الأسنان، ضياع التهوية وضياع الرشاش وجميعها لا تتعلق بالحمل المنقول، وهناك أيضاً ضياع الاحتكاك، وهو متعلق بالحمل المنقول. الأمر الآخر هو البحث عن مصادر بديلة للطاقة تؤمن مصدراً دائماً لها وفي الوقت نفسه تحافظ على البيئة من خلال تخفيض الغازات الضارة المنبعثة في الجو ، فالطاقة المتجددة بأنواعها من طاقة شمسية، و طاقة رياح، وطاقة الكتلة الحيوية، وطاقة المساقط المائية، والطاقة الحرارية، وطاقة المدّ والجزر، وغيرها من الطاقات "الطبيعية" تعدّ الأمل في توفير الطاقة في المستقبل وهي مفتاح تحسين الظروف المعيشية لسكان الريف ،حيث أن تمديد خطوط الطاقة الكهربائية من المدن كي تخدم مناطق الريف عمل مكلف للغاية، وهو ليس في مقدور بلدان نامية كثيرة..

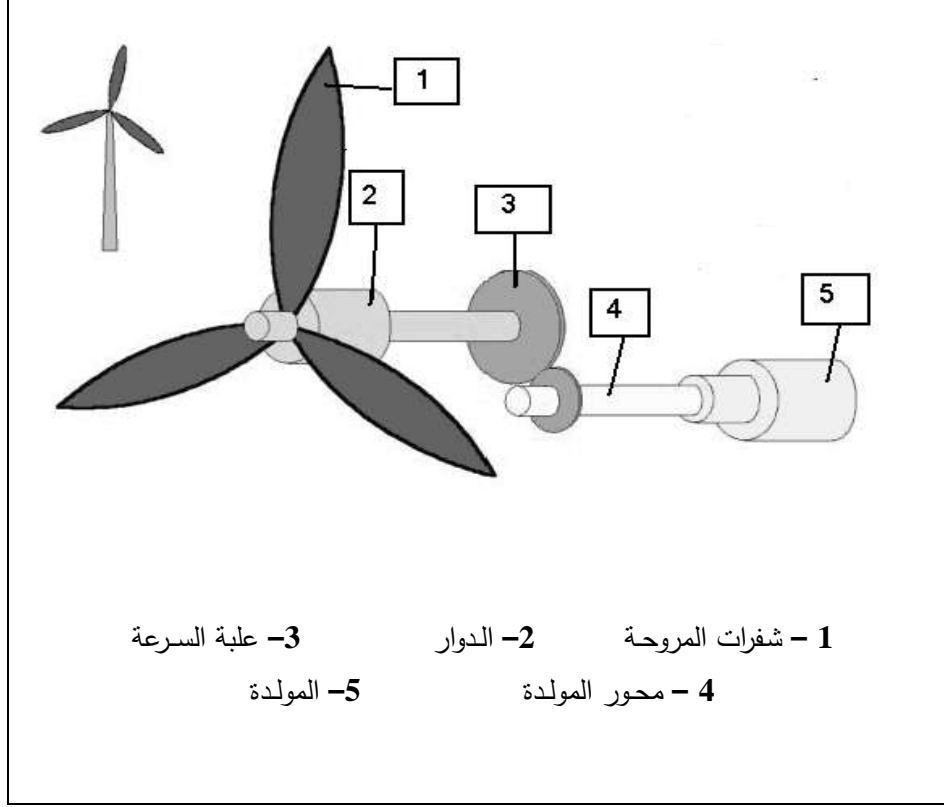
فالطاقة الشمسية استخدمت في مجالات مختلفة منها تجفيف الأغذية بحيث يمكن تخزينها لمدة أطول ، وأعمال الطهو ، وتسخين مياه المنازل ،وعمليات ضخ المياه، وتحلية مياه البحر ، إضافة إلى إنتاج التيار الكهربائي إما باستخدام الدارة الترموديناميكية وإما بالتحويل المباشر باستخدام الخلايا الكهروضوئية . ويتم أيضاً الاستفادة من الطاقة الريحية والمائية في تحويل قوة الرياح والماء بصورة مباشرة إلى كهرباء . فهذه الطاقات هي مجانية و نظيفة حيث بلغت نسبة إنتاج الطاقة النظيفة في ألمانيا على سبيل المثال حوالي 20% من مجمل الطاقة الكهربائية المستهلكة. بالنسبة إلى بلدنا سورية فإن توفر الطاقات البديلة (شمسية - رياحية) يعدّ الحل الأمثل في ظروف انخفاض كمية الطاقة الناتجة عن احتراق الوقود، وبسبب الموقع الجغرافي لسورية من خلال تواجدها على خطوط العرض و الطول المناسبة لظروف الطاقات البديلة.

هدف البحث وأهميته:

إن هدف هذا البحث يتمثل في الحساب الحقيقي للطاقة الضائعة في آلية نقل الحركة وفي ضوئها حساب الأبعاد الهندسية. إن مردود علبة السرعة يتعلق بالضياعات في المحامل (الرولمانات) و في المسنتات. إن ضياع الاحتكاك بين الأسنان يؤثر بشكل كبير في المردود الكلي للنظام عند سرعات منخفضة، أما عند السرعات المرتفعة فإن تأثير ضياعات الاحتكاك على المردود يصبح قليلاً إذا ما قورن بضياعات التزييت و التهوية [1] .

لهذا السبب قمنا باستخدام آلة عنفية رياحية أفقية لتأمين الطاقة الكهربائية لمنزل يحتاج إلى 5 kw من الطاقة الكهربائية. حيث درسنا بطريقة تجريبية ضياع الطاقة بالتهوية المطبقة على آلية نقل الحركة الخاص بهذه الآلة انظر الشكل (1).

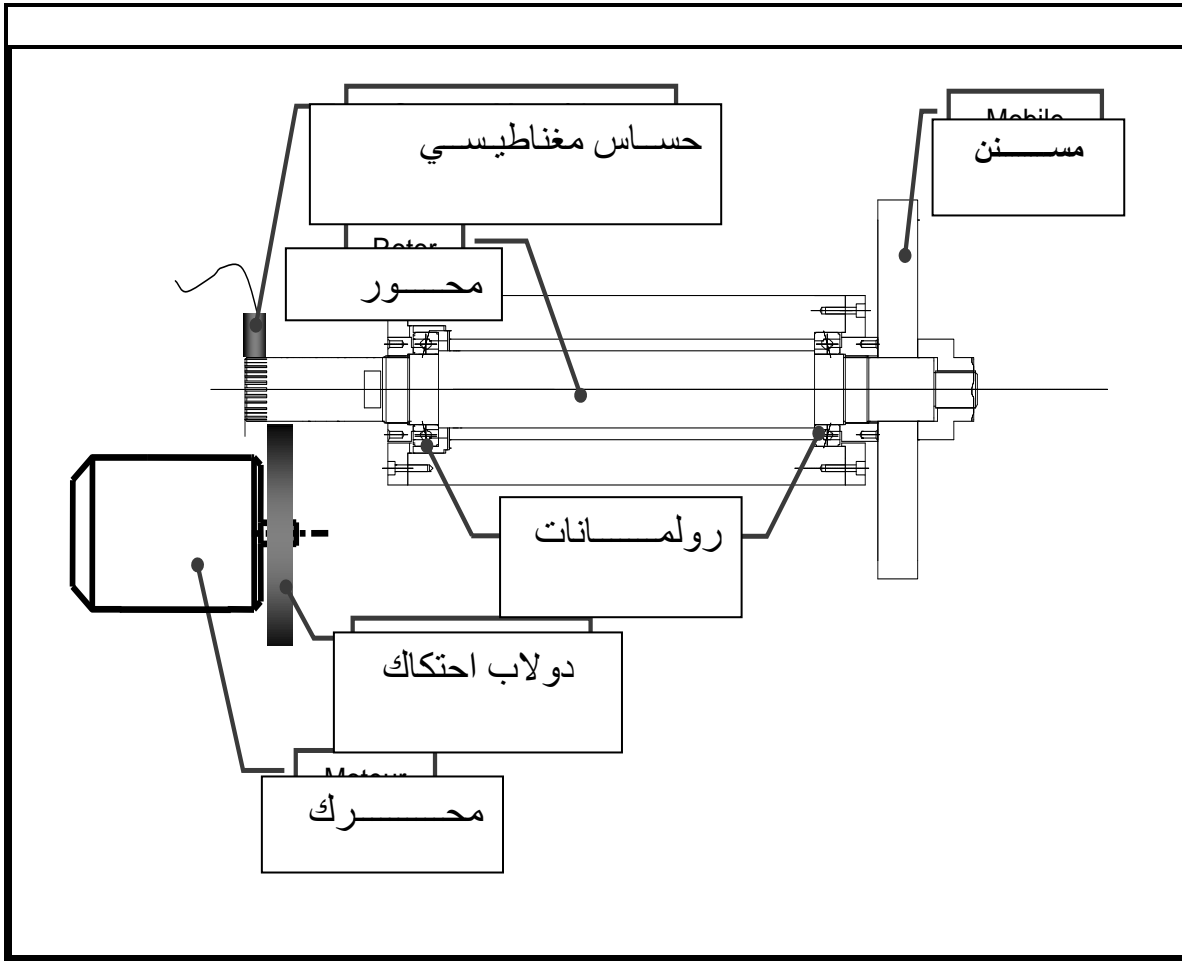
مع الإشارة إلى أن الدراسات التي عالجت ضياع التهوية في نواقل القدرة بالمسننات عند سرعات عالية تعدّ حديثة نوعاً ما [2] ، [3] .
إن نتائج الدراسة تسمح لنا بالاختيار الأفضل لآلية نقل حركة في آلة عنفية رياحية تستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية.



الشكل (1) آلة عنفة رياحية أفقية سريعة

طريقة البحث ومواده:

باعتبار أن ضياع الطاقة بالتهوية هو الطاقة الضائعة الناتجة عن الجر الهيدروديناميكي للسفن في خليط (هواء - زيت) في علبة السرعة، فقد تمت الاستفادة من جهاز اختبار لقياس ضياع التهوية بالمسننات [4] في مخابر معهد INSA في ليون - فرنسا يعتمد على مبدأ Dawson لقياس الضياعات [5] .
يتألف هذا الجهاز الشكل (2) من محرك كهربائي يقوم بتدوير محور المسنن عن طريق دولاب احتكاكي ، يركب الدولاب المسنن على أحد طرفي المحور، بينما يركب على الطرف الآخر حساس كهرومغناطيسي يقوم بقياس سرعة الدوران بوصفه تابعاً للزمن . عندما تبلغ سرعة دوران الجملة (محور - مسنن) أو المحور بمفرده السرعة العظمى فإنه يتم فصل الجملة، و تترك الجملة تتباطأ تحت تأثير ضياع التهوية و الضياعات في المحامل .



الشكل (2) جهاز الاختبار

بتطبيق نظرية الطاقة الحركية على الجملة (محور - مسنن) ينتج الضياع الكلي بوصفه تابعاً لتحويلات

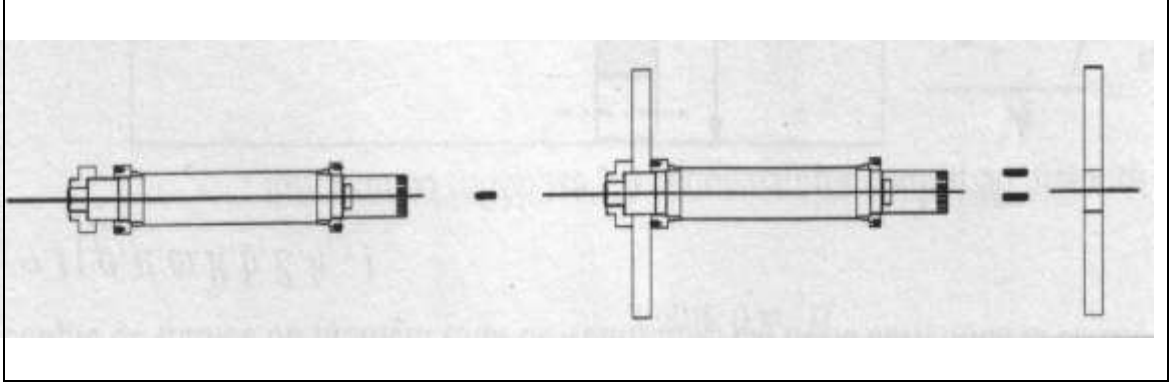
السرعة:

$$p = 0.5 \times I_0 \times \frac{d}{dt} (\omega^2)$$

$I_0 = [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$: عزم العطالة القطبي الكلي للجملة (محور - مسنن أو محور بمفرده)

$\omega = [\text{rad/sec}]$: سرعة الدوران

يتم تحديد ضياع الطاقة بالتهوية الناتج عن المسنن من خلال طرح ضياع الطاقة الناتج عن تدوير المحور بمفرده من ضياع الطاقة الناتج عن تدوير الجملة (محور - مسنن) كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) ضياع المسنن = الضياع الكلي (لجملة المحور والمسنن) - ضياع المحور وحده

و بغية عدم تأثر الضياع في المحامل بالقوى الناتجة عن وزن المسنن تمّ تحميل المحامل بقوى محورية ثابتة (pre load)، كما أنه من أجل تجنب الاهتزازات التي يمكن أن تحصل في الجهاز والناتجة عن كتل غير مركزية فقد أعطيت لعملية التصنيع دقة كبيرة في أثناء عملية الخراطة للمحور و المسنن. تمّ إجراء التجارب على أربعة مسننات بأسنان مستقيمة مصنوعة من الفولاذ حيث المعطيات الهندسية لها موضحة بالجدول (1).

الجدول [1] الأبعاد الهندسية للدواليب المسننة

زاوية الميل [درجة]	زاوية الضغط [درجة]	المودول (mm)	عرض المسنن (mm)	القطر الابتدائي (mm)	الدولاب المسنن
0	20	4	30	288	n ₁
0	20	4	30	144	n ₂
0	20	4	60	144	n ₃
0	20	6	60	144	n ₄

العمل التجريبي:

قمنا بإجراء التجارب في شهر تشرين الأول من عام 2006 في مخبر INSA [6] على المسننات السابقة، وهنا سنستعرض النتائج من أجل المسنن (n^o1) ذي الأبعاد:

$$D = 288 \text{ mm} , \quad b = 30 \text{ mm} , \quad m = 4 \text{ mm} .$$

النتائج التي حصلنا عليها و المتعلقة بضياع الطاقة أوردناها على شكل منحنيات مبينة في الأشكال

(4÷12):

يظهر الشكل (4) ضياع الطاقة الناتج عن المحور وحده مع تغير السرعة، حيث يلاحظ ازدياد ضياع الطاقة مع ازدياد السرعة. كما يبين الشكل (5) مخطط السرعة مع تغير الزمن و ذلك بعد تركيب المسنن (n^o1) على محور الدوران السابق . ويتم الحصول على قيم التباطؤ للمجموعة من خلال مشتق علاقة السرعة مع الزمن كما هو مبين بالشكل (6) . نلاحظ من المخطط (6) وجود نقاط شاذة حيث أن القيم الموجبة تعني أن الجهاز يعطي طاقة و القيم السالبة تعني أن الجهاز يأخذ الطاقة؛ لذلك ومن أجل سهولة قراءة المنحني نقوم بعملية تلميس لهذا المنحني (المحل الهندسي للمخطط البياني) كما يلي :

1- من معادلة تمليس السرعة و هي معادلة أسية من الشكل :

$$\omega = y_0 + a \times e^{b.t} + c \times e^{d.t} + e \times e^{g.t}$$

حيث y_0, a, b, c, d, e, g : قيم تجريبية، و تعوض في هذه المعادلة؛ لينتج لدينا معادلة سرعة تمليس . (ثوابت التمليس معطاة في الجداول المرافقة للمخططات) .

t (sec) : الزمن المقاس

2- نشق معادلة تمليس السرعة؛ لنحصل على معادلة تمليس التباطؤ :

$$a = \frac{d\omega}{dt} = a \times b \times e^{b.t} + c \times d \times e^{d.t} + e \times g \times e^{g.t}$$

وبالتعويض نحصل على قيم التباطؤ بعد التمليس ، ويظهر المنحني المميز لها في الشكل (6).

3 - ضياع الطاقة الكلي للمجموعة (محور - مسنن) تعطى بالعلاقة:

$$P = I_0 \times \omega \times a \quad (\text{قبل التمليس وبعده})$$

$I_0 = [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$: عزم العطالة القطبي

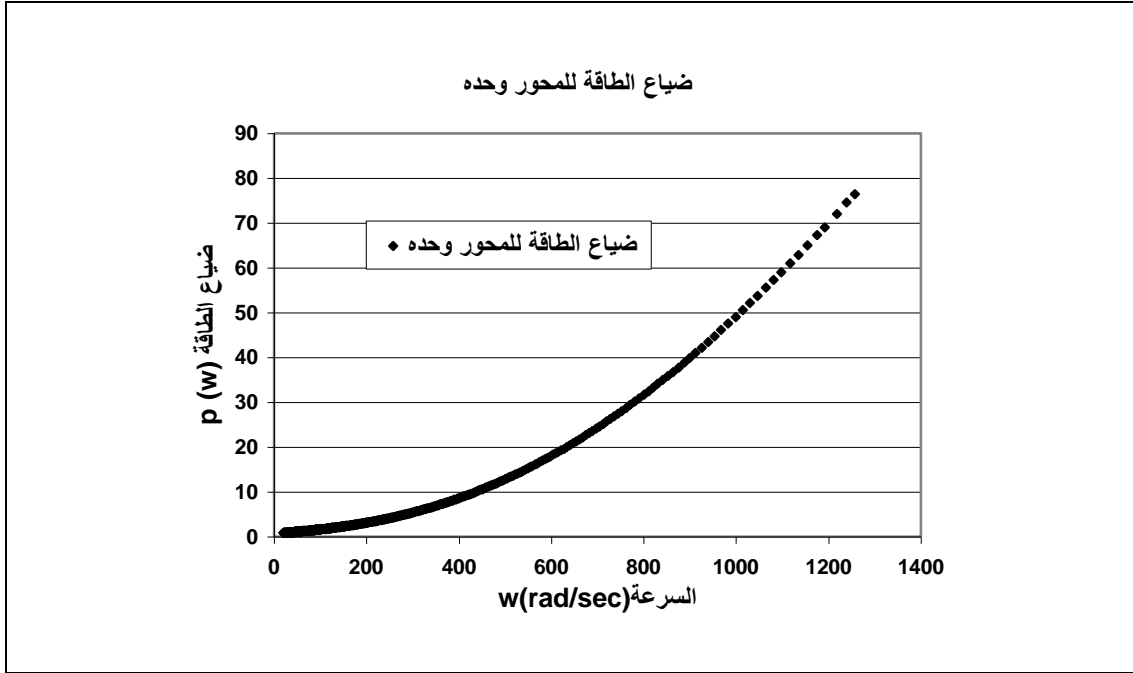
حساب النسب المئوية لضياع المحور و المسنن :

إن الضياع في المحور هو مجموع ضياع المحامل (الرولمان) مع ضياع القص على المحيط الخارجي للمحور، و لكن ضياع القص صغير جداً؛ لذا يمكن إهماله وعدّ ضياع المحور هو ضياع المحامل فقط .
 علماً أن الضياع في المسنن موضح في الشكل (3) ، وبالتالي النسبة المئوية لضياع المحور و المسنن تعطى بالعلاقة التالية :

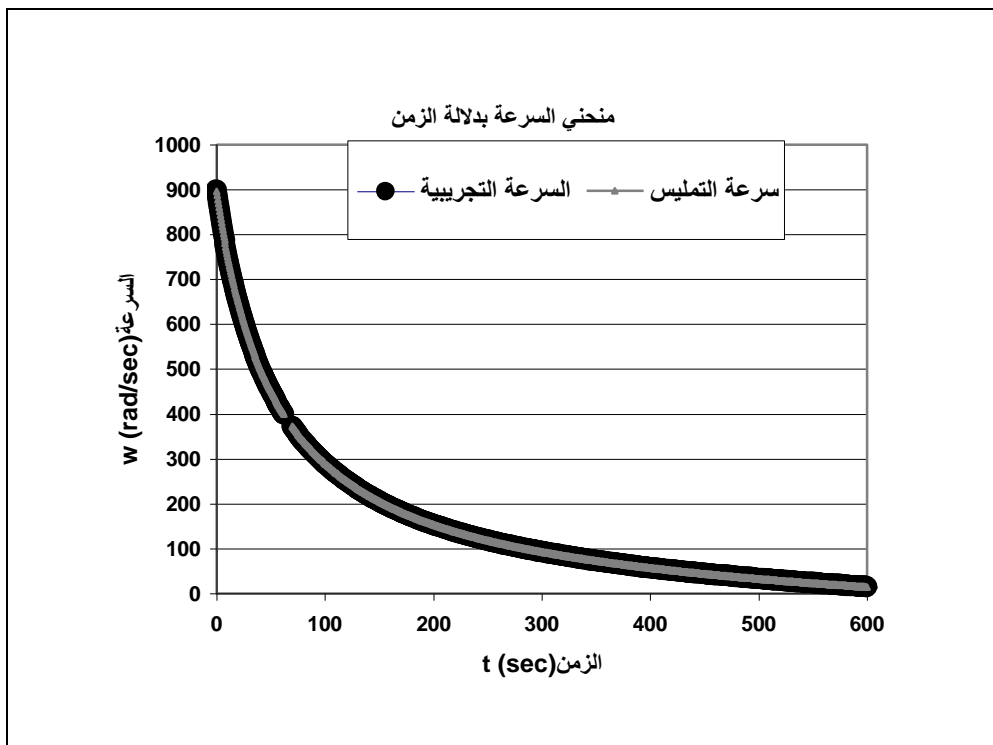
$$\text{النسبة المئوية لضياع المحامل(المحور)} = \{ \text{ضياع المحور/الضياع الكلي} \} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية لضياع المسنن} = \{ \text{ضياع المسنن/الضياع الكلي} \} \times 100$$

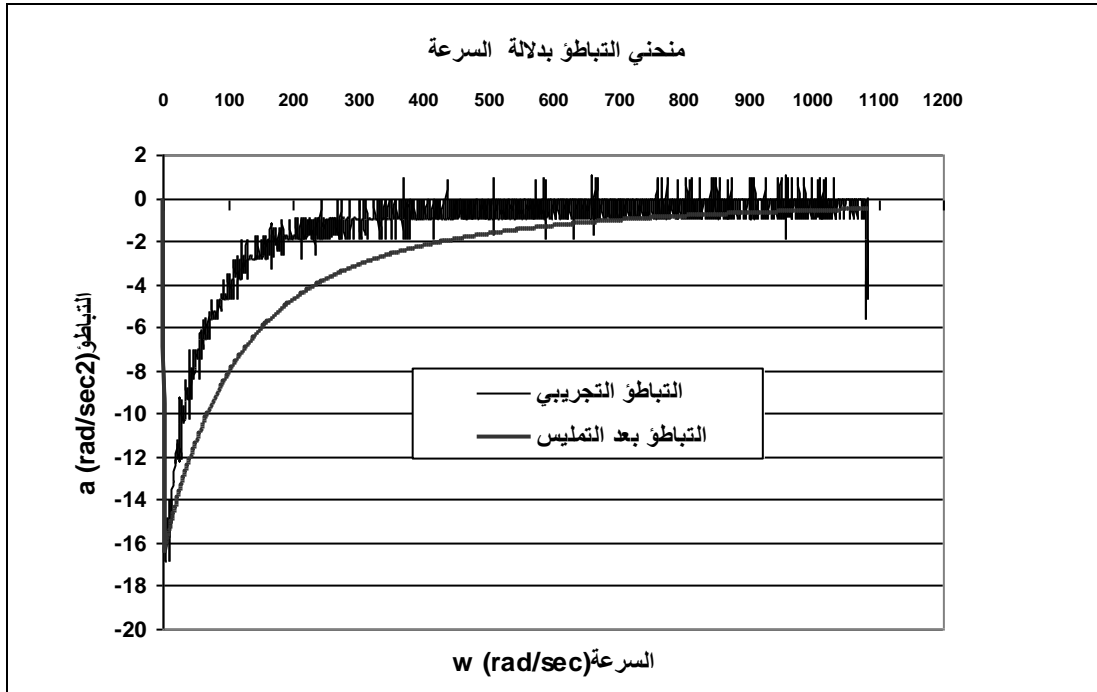
و تظهر النتيجة في الشكل (13) .



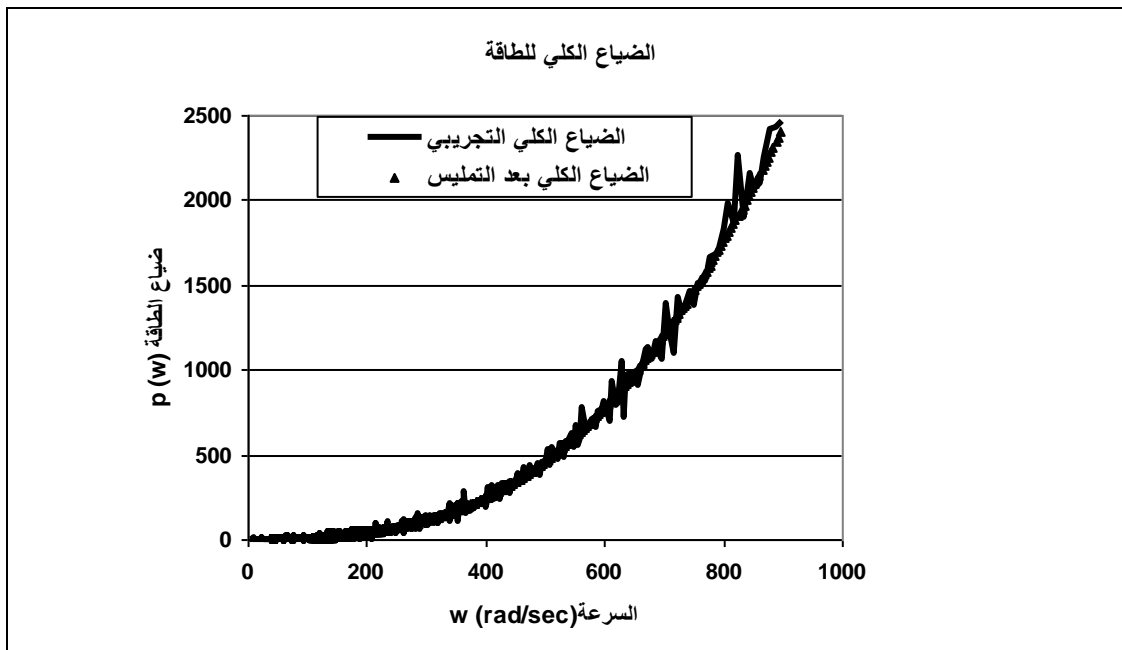
الشكل (4) مخطط ضياع الطاقة مع تغير السرعة للمحور وحده



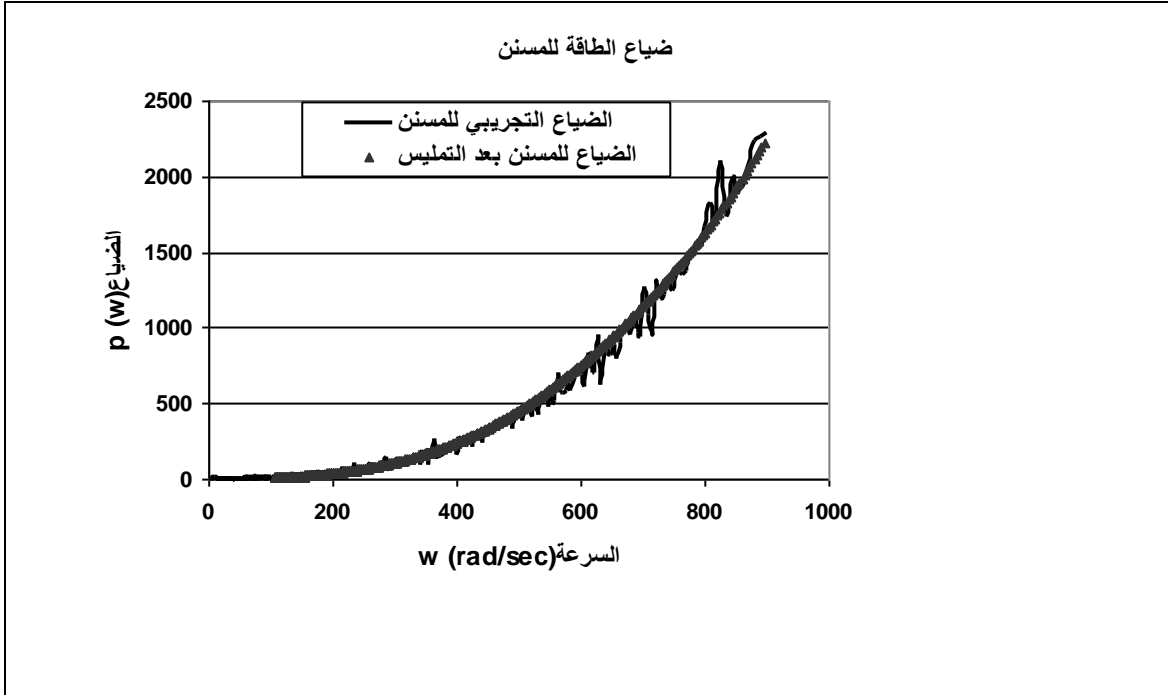
الشكل (5) مخطط السرعة مع تغير الزمن للجملة (محور - مسنن)



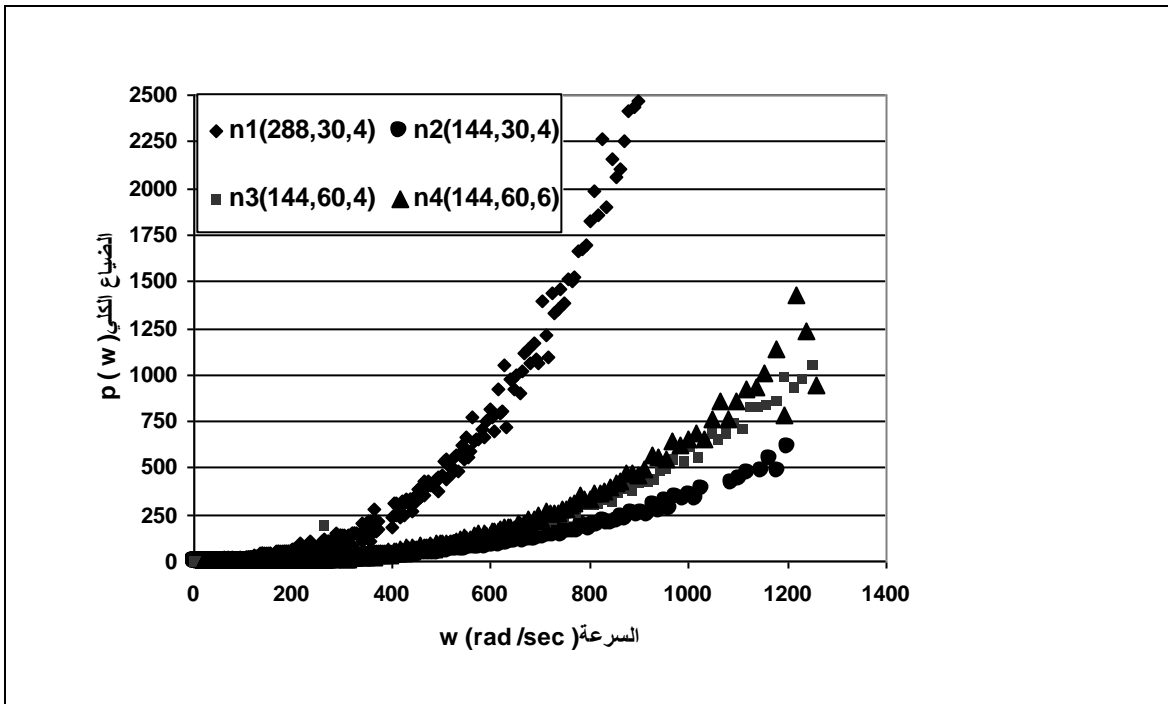
الشكل (6) مخطط التباطؤ مع تغير السرعة للجملة (محور - مسنن)



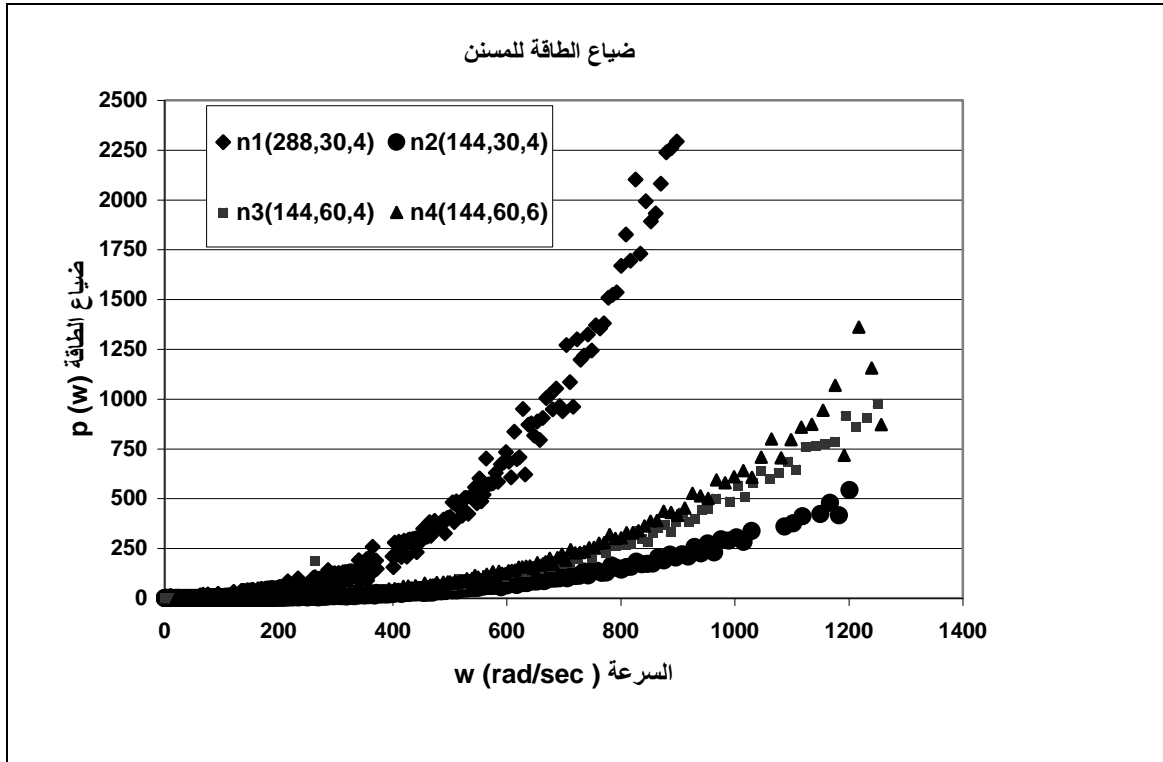
الشكل (7) مخطط ضياع الطاقة الكلي مع تغير السرعة للجملة (محور - مسنن)



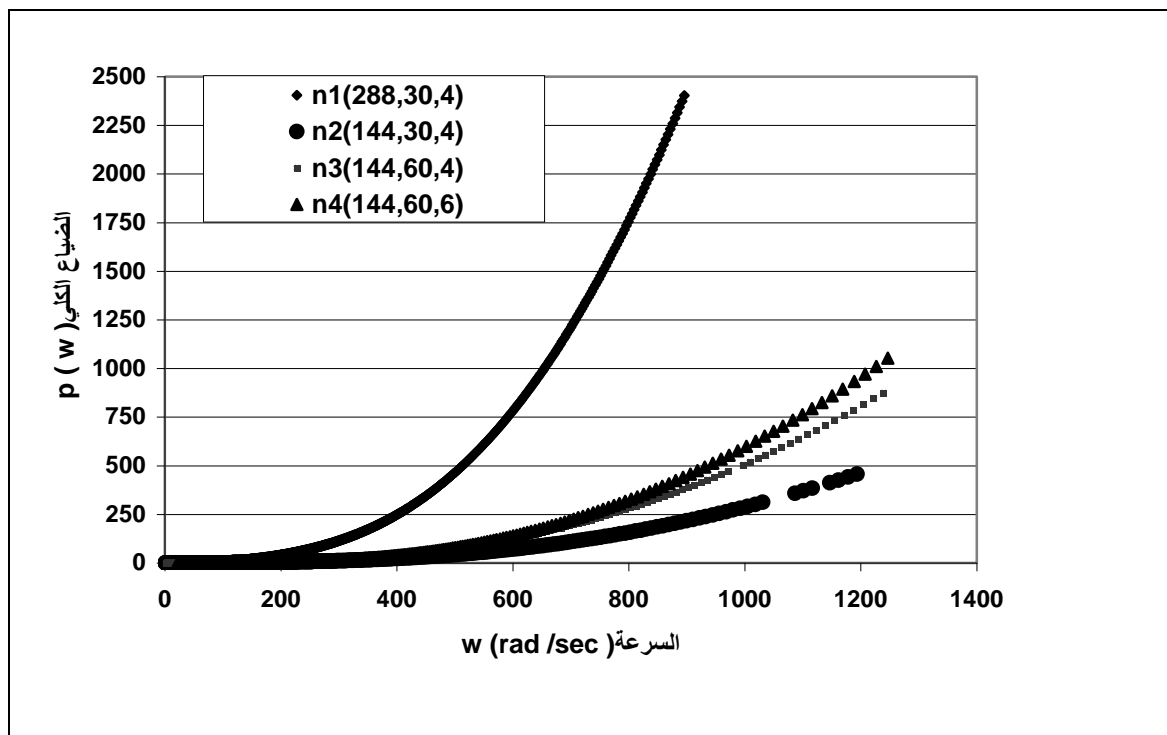
الشكل (8) مخطط ضياع الطاقة بدلالة السرعة للمسنن فقط



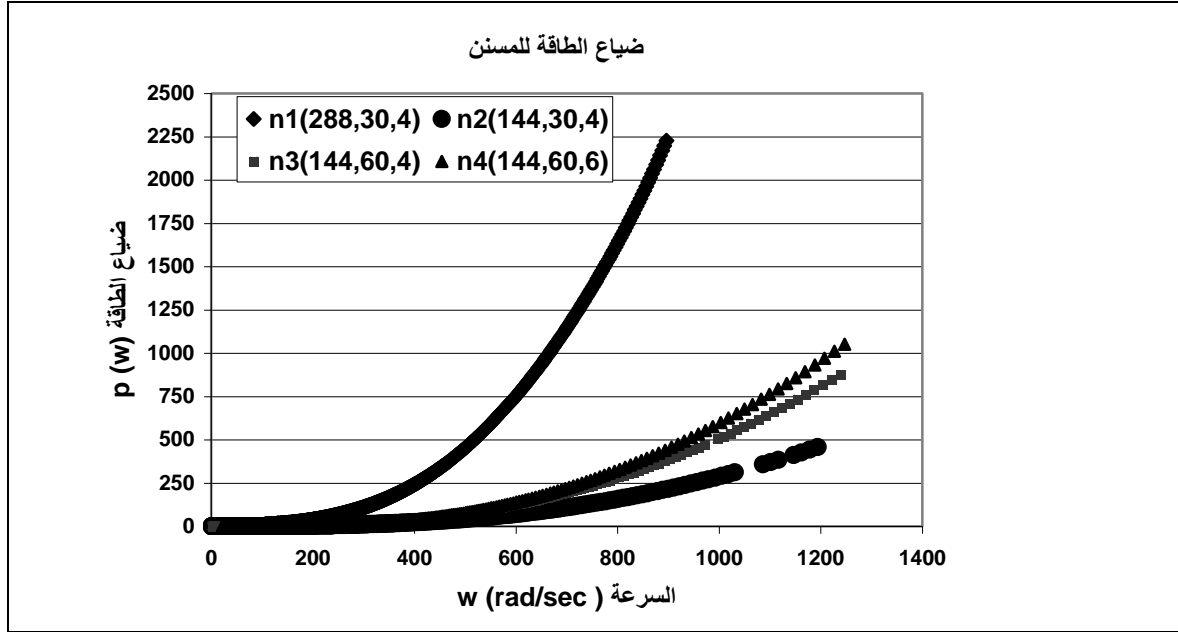
الشكل (9) مخطط ضياع الطاقة الكلي (مسننات + محامل) على مخطط واحد



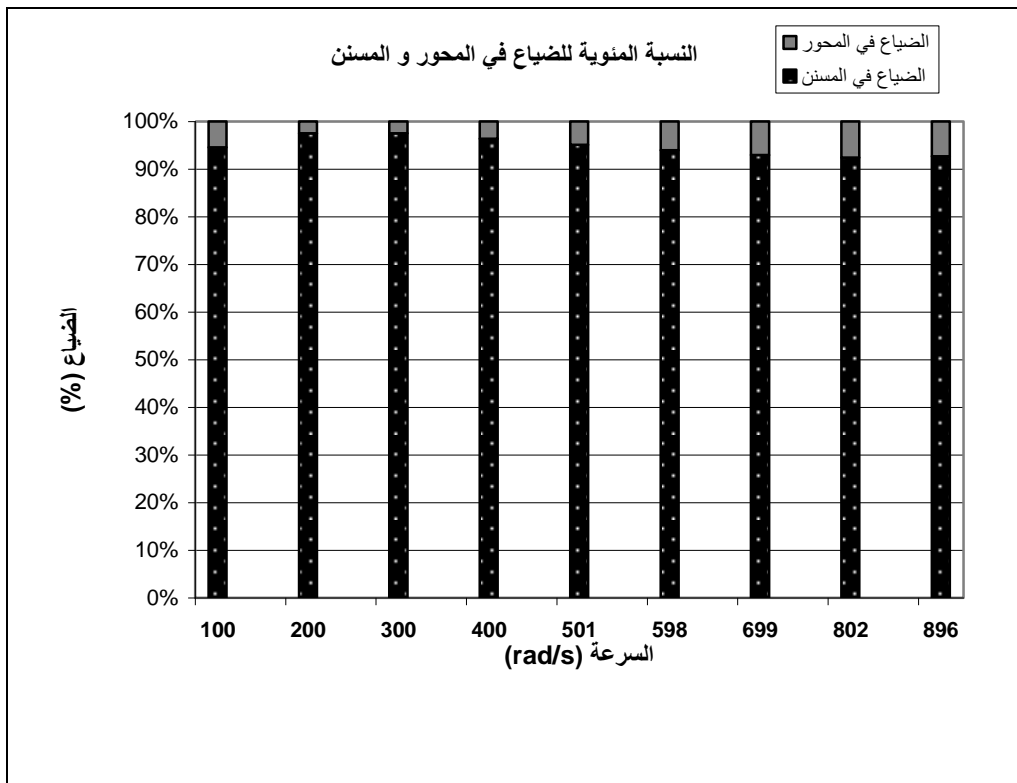
الشكل (10) مخطط ضياع طاقة للدواليب المسننة جميعها (من دون محامل) على مخطط واحد



الشكل (11) مخطط ضياع الطاقة الكلي (مسننات + محامل) على مخطط واحد (بعد التمليس)



الشكل (12) مخطط ضياع الطاقة للدواليب المسننة جميعها (من دون محامل) على مخطط واحد (بعد التمليس)



الشكل (13) مخطط النسبة المئوية للضياع في المحور و المسنن

الاستنتاجات و التوصيات:

إن إجراء الاختبارات على أربعة مسننات بأبعاد هندسية مختلفة (مودولات مختلفة، أقطار قطرية مختلفة، عرض مختلف) و بسرعات مختلفة قد تم بهدف دراسة تأثير هذه الميزات في ضياع الطاقة بالتهوية. وبهدف الحصول على معنى فيزيائي واضح للحكم على المنحنيات الناتجة تم إجراء تمليس المنحني البياني للضياعات وذلك بطريقة رياضية . ومن الضروري بمكان أن يكون حجم ميكانيزم نقل الحركة المركب ووزنه في أعلى برج المحطة الرياحية صغيراً دون أن يتعارض ذلك مع قدرة هذا الميكانيزم على طرح الحرارة المتولدة فيه نتيجة انخفاض سطوح التماس مع الوسط المحيط. بالنظر إلى الجدول (1) نلاحظ أن المسننين $n1$ و $n2$ لهما المودول و العرض نفسه، أما قطر المسنن $n1$ فيساوي ضعف قطر المسنن $n2$ ، في حين النتائج التجريبية المبينة في الشكل (12) تبين أن الضياع الناتج عن المسنن الأول يساوي تقريباً عشرة أضعاف الضياع الناتج عن المسنن الثاني (حيث عند السرعة 800 rad/s ضياع المسنن الأول يساوي (1648 w) في حين الضياع الناتج عن المسنن الثاني يساوي (158 w)).

بمقارنة الضياع الناتج عن المسننين $n2$ و $n3$ اللذين لهما القطر و المودول نفسه بينما عرض المسنن $n3$ يساوي ضعف عرض المسنن $n2$ نلاحظ من الشكل (12) الذي يمثل النتائج التجريبية أن الضياع الناتج عن المسنن $n3$ يساوي تقريباً ضعف الضياع الناتج عن المسنن $n2$ (عند السرعة 800 rad/s ضياع المسنن الثاني يساوي (158 w) في حين أن ضياع المسنن الثالث (283 w)) يبرهن أن الضياع يزداد بشكل خطي مع زيادة عرض المسنن . أخيراً بمقارنة الضياع الناتج عن المسنن $n3$ و $n4$ اللذين لهما العرض و القطر نفسه ولكن لهما مودول مختلف ، نلاحظ أن المسنن $n4$ (ذا المودول الأكبر) يعطي ضياعاً أكبر من المسنن $n3$ (329 w للمسنن $n4$ و 283 w للمسنن $n3$) الذي يؤدي إلى النتيجة التالية و هي أن الضياع بالتهوية الناتج عن دوران المسنن في الهواء يزداد مع زيادة المودول .

إن المناقشة السابقة تبين أن:

1. ضياع الطاقة بالتهوية يزداد بشكل عام مع زيادة سرعة الدوران أي كانت الأبعاد الهندسية للمسننات.
2. ضياع التهوية يزداد مع زيادة عرض المسنن عند القطر و المودول نفسه.
3. ضياع التهوية يزداد مع زيادة المودول عند القطر و المودول نفسه.
4. ضياع التهوية يزداد مع زيادة قطر المسنن عند القطر و المودول نفسه بفارق كبير عما هو عند تغير المودول أو العرض ، حيث أنه من الشكل (12) عند سرعة دوران (600 rad/sec) نلاحظ أن الضياع عند تغير العرض أو المودول (مع ثبات القطر) يأخذ قيمةً متقاربة (تتراوح بين 70 w و 140 w) بينما قيمة هذا الضياع كبيرة في حال تغير القطر (تقريباً 750 w) .

5. الضياع في المحور صغير نسبياً إذا ما قورن بالضياع في المسنن كما هو مبين في الشكل (13)؛

لذا يجب التركيز في أية دراسات مستقبلية على دراسة الضياع في المسننات أكثر منه في المحاور. ولا بد من الإشارة إلى أن هذا العمل يفتح المجال لقياس ضياع الطاقة من أجل المسننات المائلة أو مسننات من أنواع خاصة (مخروطية - مسننات ذات تعشيق داخلي)، بهدف إيجاد العلاقة بين ضياعات الطاقة في هذه الآليات و علاقتها بكفاءة أنظمة النقل وذلك تبعاً لشروط العمل .

المراجع :

-
- [1] DIAB . Y. THESE pour obtenir le grade de docteur "*analyse des pertes de puissance dans les transmissions par engrenages A grande vite*" lyon.france;2005
- [2] WEISS, T.and HIRT. M. "*Efficiency improvements for speed gears of the 100 mW classe*" VDI Berichte,2002,Vol.2,No.1665,pp.1161-1174.
- [3] HANDSCUH R.F.and ROHN D. "*Efficiency testing of a helicopter planetary reduction stage*" NASA,1988,TP-2795,AVSCOM TR 87-C-28.
- [4] DIAB . Y.VILL F.VELEX P.CHANGENET C. "*Windage losses in high speed gears preliminary experimental and theoretical results*" ASME,journal of mechanical Design,2004,Vol.126,pp.903-908
- [5] DAWSON P.H. . "*Windage loss in larger high – speed gears*" Proc.I.mech.E. power and process engineering,1984,Vol.198,No.1,pp.51-59.
DAWSON P.H." *high – speed gear Windage*" GEC Review, 1988,Vol.4,No.3, pp.164-167.
- INSA : L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon- France [6]