

## دراسة تجريبية لضياعات التهوية في علب السرعة

معالي عبد الله\*

(تاريخ الإيداع 14 / 12 / 2015. قُبِلَ للنشر في 9 / 6 / 2016)

### □ ملخص □

تمت دراسة ضياعات الطاقة بالتهوية في المسننات المائلة عند السرعات العالية من خلال اختبار مجموعة من المسننات المصنوعة من خشب الزان بمواصفات هندسية معينة ، ولتحقيق ذلك صمم وطور جهاز اختبار لقياس ضياع التهوية بالمسننات..

يتألف هذا الجهاز من محرك كهربائي ذو استطاعة (3 kW) يقوم بتدوير محور يرتكز على محملين دحرجيين عن طريق دولاب احتكاكي، حيث يركب الدولاب المسنن المختبر على أحد طرفي المحور في حين أن الطرف الحر الآخر تم تركيب حساس كهرومغناطيسي بحيث يقوم بقياس سرعة الدوران كتابع للزمن من خلال لوحة التحكم. يتم تحديد ضياع الطاقة بالتهوي الناتج عن المسنن من خلال طرح ضياع الطاقة الناتج عن تدوير المحور بمفرده من ضياع الطاقة الناتج عن تدوير الجملة (محور - مسنن) .

بعد إجراء التجارب و الاختبارات يتم رسم المخططات لكل من الضياعين النظري و التجريبي ، ثم مقارنة الضياع النظري لكل مسنن مع الضياع التجريبي الذي حصلنا عليه من اختبار المسننات على جهاز الاختبار المصمم.

**الكلمات المفتاحية:** تهوية- المسننات المائلة- ضياعات الطاقة.

\* قانم بالأعمال - قسم التصميم و الإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية-سورية.

## The experimental study on analysis of windage power losses at the Gearbox

Maali abd allh\*

(Received 14 / 12 / 2015. Accepted 9 / 6 / 2016)

### □ ABSTRACT □

The education of wasting energy by Windge in helical gears has achieved in high speed by testing a group of gears that made of beech in determined geometrical specifications. So a testing device is designed and developed to measure the Windge wasting energy in gears.

This device is consists of *electrical driver* (3kw) that turning a pivot that leaned on two rolling carrier across a *friction wheel*. This indented friction wheel is ride in the end of pivot, while the other free end is supplied with *electromagnetic sensor* to measure the turning speed as a function of time across a *control board*.

The Windge wasting energy is determined by minus the wasting energy that resulting from turning the pivot alone, from that resulting from turning the whole system (pivot-gear).

After doing the tests and experiments, the patterns of the losing (theoretical losses, practical losses) is draw. Then a comparative between the theoretical losses and that has gotten from testing device.

**Keywords:** Windage-helical gears-power losses

---

\* Academic Assistant Department of design and production, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

**مقدمة:**

تعرف ضياعات الطاقة بالتهوية الضياعات الناتجة عن حركة السن في خليط (زيت-هواء) الموجود ضمن الوسط المحيط بالمسنن. أي عبارة عن الطاقة الضائعة الناتجة عن الجر الهيدروديناميكي للسن في الخليط (هواء-زيت) ضمن صندوق علبة السرعة. إن هذا الضياع يكون مسيطراً في المسننات التي تدور عند سرعات عالية (سرعة محيطية تتراوح بين 90-120m/s).

سيتم التطرق لاحقاً إلى الدراسات المرجعية التي تناولت هذا المجال، حيث سيتم عرض الدراسات، و التجارب العملية التي أجريت ضمن هذا المجال ثم استعراض جميع المعادلات التي تم تطويرها لحساب ضياعات التهوية أثناء النقل بالمسننات، كما سيتم مقارنة النتائج التجريبية لبعض الباحثين مع المعادلات النظرية.

**أهمية البحث وأهدافه:**

دراسة ضياعات التهوية أثناء النقل بالمسننات الأسطوانية ذات الأسنان المائلة، وذلك عند السرعات العالية [1]، [2] حيث أن بمعرفة ضياعات التهوية الناتجة إضافة إلى ضياعات الاحتكاك و ضياعات التزبييت، يتيح إمكانية معرفة درجات الحرارة بدقة، وبالتالي يسمح بحساب دقيق لنظام التبريد المطلوب.

**الدراسات المرجعية و النظريات:**

تم الاعتماد في البحث [3] على طريقة التحليل المبسط للجريان حول المسنن الدائر؛ حيث قسّم الضياع إلى قسمين:

- 1- الضياع على وجهي المسنن الدائر في الوسط المحيط .
  - 2- الضياع الناتج عن قذف الهواء بواسطة الأسنان على محيط المسنن .
- ولتحديد ذلك لابد من تحليل الجريانات و توصيفها رياضياً.

**1-تحليل مبسط للجريان**

يقسم الجريان على جانبي المسنن إلى جريان صفائحي ومضطرب وذلك حسب البعد والقرب من مركز دوران المسنن. حيث أنه توصّف المعادلة الآتية:

$$= \frac{2n_{r1}\pi}{5-2m_{r1}} \frac{l}{Re^{*m_{r1}}} \left( \frac{R^*}{R} \right)^5 + \frac{2n_{r2}\pi}{5-2m_{r2}} \left[ \frac{l}{Re^{m_{r2}}} - \frac{l}{Re^{*m_{r2}}} \left( \frac{R^*}{R} \right)^5 \right] \quad (1.3)$$

بحيث أن:

- $n_{r1}, m_{r1}$  ثوابت من أجل الجريان الصفائحي.
- $n_{r2}, m_{r2}$  ثوابت من أجل الجريان المضرب.
- $Re^* \cong 3.10^5$  رقم رينولدز .
- $R = \sqrt{\frac{\mu Re^*}{\rho \omega}}$  نصف قطر القرص الأملس أو نصف القطر لدائرة المسنن الخطوة (m).
- $R^* = \sqrt{\frac{\mu Re^*}{\rho \omega}}$  نصف القطر الحرج الذي يفصل بين المنطقة الصفائحية عن تلك المضطربة.

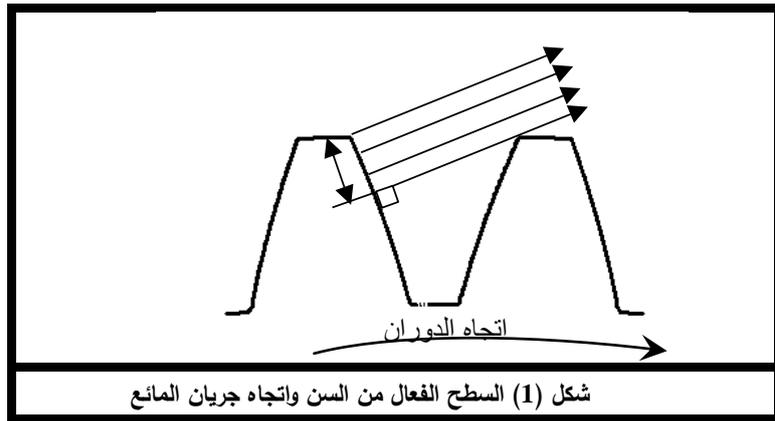
• في الحالة التي يكون كامل الجريان صفائحيًا على السطح الجانبي للمسنن أو القرص ، فإنه يمكن تبسيط المعادلة (1.3) بالتعويض  $R^*$  ب  $R$  و  $Re^*$  ب  $Re$

والجدول (1) يحدد المناطق حسب طبيعة الجريان [4].

جدول (1) تحديد المناطق حسب طبيعة الجريان

طبيعة الجريان	Re (رقم رينولدز)	$C_x$ (معامل مقاومة الهواء)
صفائحي $n_{r1} = 1.293$ $m_{r1} = 0.5$	$< 3.10^5$	$\frac{1.293}{Re^{0.5}}$
مضطرب $n_{r2} = 0.074$ $m_{r2} = 0.2$	$\geq 3.10^5$	$\frac{0.074}{Re^{0.2}}$

حيث أن  $n_{r1}, m_{r1}$  ،  $n_{r2}, m_{r2}$  : ثوابت ليس لها وحدة .



أما الشكل (1) فيبين السطح الفعال من السن واتجاه جريان المائع حيث أن:

•  $x$  : الطول الفعال (المساهم في القذف) للسن ( $m$ ). (واحدة قياس دولية).

إن تأثير الموانع على جانبي المسنن يتم التعبير عنها من خلال معامل تخفيض  $\xi$  الذي يعبر عن تأثير المانع

( الحاجز المثبت على بعد مناسب من المسنن) في عملية مص المائع من جانبي السن:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 \quad (1.2)$$

حيث:

$\xi_1, \xi_2$  : معاملات التخفيض لكل مانع مركب على جانبي المسنن،  $\xi_{1,2} = \left(\frac{h}{R}\right)^{0.56}$  في حال وجود مانع و

$\xi_{1,2} = 0.5$  في حال عدم وجود مانع. (حيث  $h$ : قيم انحرافات التدفق،  $R$ : نصف قطر القرص) الأرقام

الواردة مأخوذة من مشاهدات [5] Dawson.

بعد عدة عمليات تعويض واختصار، نحصل على المعادلة التي تعطي مزدوجة العزم الممانع اللابعدية من أجل سن

مستقيم أو مائل. أو معامل الاحتكاك اللابعدي لحساب ضياعات التهوية الناتجة عن الأسنان:

$$C_{td} \cong \xi \frac{Z}{4} \left( \frac{b}{R} \right) \left[ 1 + \frac{2(C_a + x_a)}{Z} \right]^4 (1 - \cos \phi) (1 + \cos \phi)^3 (1 - \sin^2 \beta) \quad (1.3)$$

مع :

•  $x_a$ : معامل تصحيح للسن .

•  $C_a$ : معامل رأس السن .

•  $\alpha_p, \alpha_A$ : زاوية الضغط عند مستوى نصف القطر الخطوي ونصف قطر دائرة رأس السن على الترتيب

(°).

$$\phi = \frac{\pi}{Z} - 2(\text{inv} \alpha_p - \text{inv} \alpha_A) \bullet$$

Z: عدد الأسنان.

$\xi$ : معامل تخفيض.

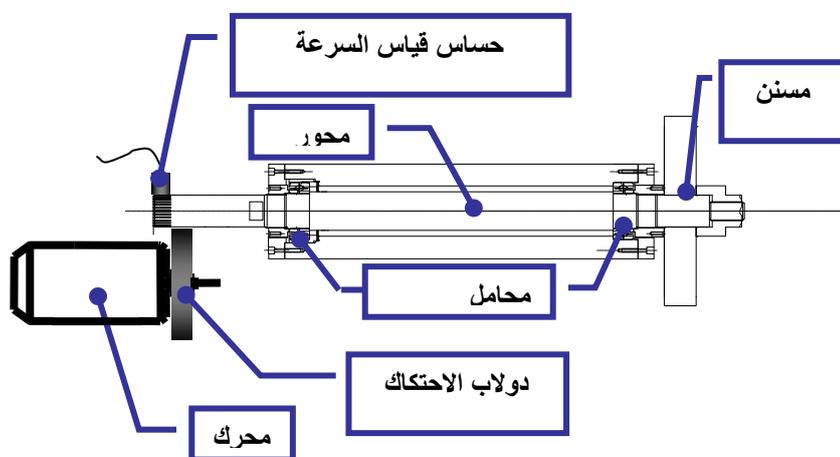
حيث  $\alpha$  مقدرة بالراديان.

R: نصف قطر المسنن.

b: عرض وجه المسنن.

### طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الهدف من البحث تم تطوير جهاز اختبار لقياس ضياع التهوية بالمسننات. يعتمد في عمله على مبدأ [5] (Dawson) لقياس الضياع. يتألف هذا الجهاز المبين في (الشكل 2) من: محرك كهربائي ذو استطاعة 3 (kW) يقوم بتدوير محور يرتكز على محملين دحرجيين عن طريق دولاب احتكاكي، يركب الدولاب المسنن على أحد طرفي المحور بينما على الطرف الآخر تم تركيب حساس كهرومغناطيسي عليه بحيث يقوم بقياس سرعة الدوران كتابع للزمن أي نستطيع أخذ قيم سرعة الدوران أثناء التباطؤ خلال كل ثانية مثلاً من خلال اللوحة الرقمية الموجودة على لوحة التحكم كما يظهر في الشكل التالي:



الشكل (2) الأجزاء الرئيسية لجهاز الاختبار

	
الشكل ( 4 ) لوحة التحكم	الشكل ( 3 ) طاولة الاختبار

يظهر الشكل (3) صورة لطاولة الاختبار التي تم تصميمها وتنفيذها بدقة من أجل اختبار ضياعات التهوية في المسننات الاسطوانية ذات الأسنان المائلة عند السرعات العالية، أما الشكل (4) فيظهر لوحة التحكم الكهربائية التي تم تركيبها على مسافة كافية من طاولة الاختبار، بحيث تضمن السلامة والضمان للمستخدم.

#### 2-4-مبدأ القياس :

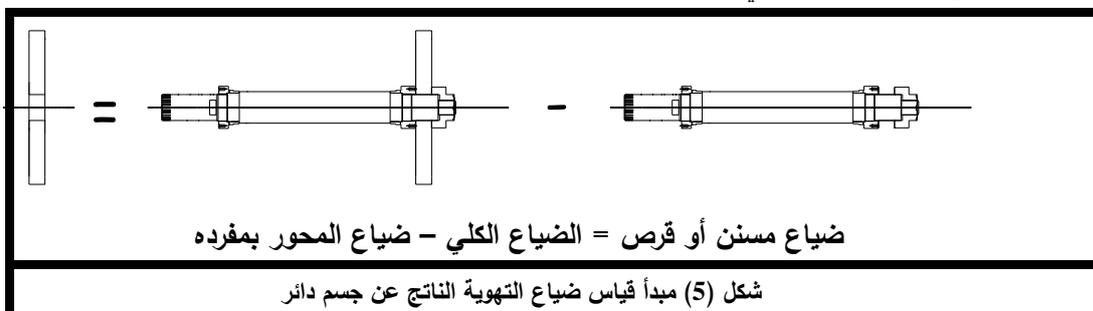
حالما تبلغ سرعة الدوران للجملة (محور-مسنن) أو محور بمفرده، القيمة العظمى فإنه يتم فصل الجملة (محور-مسنن) أو المحور بمفرده عن مصدر الطاقة ، وتترك الجملة تتباطأ تحت تأثير ضياعات التهوية والضياعات في المحامل. يقوم الحساس الكهرومغناطيسي بتسجيل السرعة كتابع للزمن. بتطبيق نظرية الطاقة الحركية على الجملة (محور-مسنن) نحصل على الضياعات الكلي كتابع لتحويلات السرعة:

$$P = 0.5 \cdot I_0 \cdot \frac{d}{dt} (\omega^2) \quad (4-1)$$

حيث أن :

- $I_0$  : عزم العطالة القطبي الكلي للجملة (محور -مسنن أو محور-قرص أملس) ( $\text{kg.m}^2$ ).
- $\omega$  : السرعة الزاوية ( $\text{rad/s}$ ).

يتم تحديد ضياع الطاقة بالتهوي 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 5).  
إن المسننات التي تم استخدامها هي مسننات مصنوعة من الخشب وبالتالي القوى الناتجة عن وزن المسنن صغيرة و يمكن إهمال تأثيرها من الضياعات في المحامل.



### 3-القسم العملي :

لقد تم تصميم و تنفيذ طاولة الاختبار (الجهاز) محلياً ،حيث تم تصنيع المحور من الفولاذ المعالج ،وقد أعطي عناية كبيرة لدقة التصنيع حرصاً من تشكل نقطة عدم تمرکز مؤكأن تؤدي إلى مشاكل كبيرة في أثناء التجربة كما أن عدم الدقة في تصنيع المحور يمكن أن يكون له آثار جانبية من حيث تحطم المحور عند السرعات العالية في أثناء سير التجربة .  
أما بالنسبة للمسننات فقد تم تصميمها من الخشب وذلك حرصاً على تخفيف الحمل على المحور ، وبالتالي زيادة الأمان في التشغيل عند السرعات العالية .

المواصفات الهندسية للمسننات التي أجريت التجارب عليها مبينة في الجدول (2) ؛حيث المسننات مصنوعة من خشب الزان وقد تم تفريز الأسنان بزوايا مائلة ؛أي المسننات ذات أسنان مائلة .

جدول (2) يبين المواصفات الهندسية للمسننات المختبرة ( المصنوعة من الخشب) .

المسّنن	زاوية الميل (°)	القطر الخطوي d (mm)	العرض (mm)b	المودول m
1 - ( g1 )	10	288	30	4
2 - ( g2 )	20	288	30	4
3 - ( g3 )	25	288	30	4
4 - ( g4 )	30	288	30	4

أما بالنسبة للثقب الداخلي للمسننات فقد تم تصميمه بقطر (mm) 50.

دولاب الاحتكاك :

تم تركيب دولاب الاحتكاك على محور موصول مباشرة" مع المحرك ؛ مهمة دولاب الاحتكاك هي نقل الحركة ( الدورانية) من المحرك الكهربائي إلى المحور الذي تم تركيب مسنن الخشب (مسنن الاختبار) عليه ؛ بما أن قطر دولاب الاحتكاك (mm) 200 بينما قطر المحور (mm) 50 فإنه كلما دار دولاب الاحتكاك دورة واحدة يدور المحور 4

دورات حيث أن نسبة النقل بين الدولاب و المحور هي 1/4 وبالتالي تكون السرعة العظمى للمحور (5600rpm) و هذه السرعة الاسمية للمحور . إذ إن سرعة الدوران الاسمية للمحرك الكهربائي (3 KW) هي (1400 rpm).

#### 4 - آلية اجراء التجربة:

لحساب ضياعات التهوية للمحور بمفرده ( بدون مسنن مركب عليه) بعد التأكد من أن التوصيلات الكهربائية سليمة إلى لوحة التحكم ،وأن الحساس الكهرومغناطيسي على بعد مناسب من المحور والتأكد أن ضاغط الهواء جاهز حيث أن العمل تم بعد ضبط مقياس الضغط على (2 bar) ،البداية مع مفتاح تغذية Inventor ( محدد عدد الدورات التشابهي) و تغذية الشاشة RPM ،يكون مفتاح التحكم بضغط الهواء مضبوط على خط الوسط أي أن ضغط الهواء صفرأ ،ليتم تعشيق دولاب الاحتكاك مع المحور لضبط مفتاح الهواء على وضعية الوصل (حيث أن عملية الوصل و الفصل لتعشيق دولاب الاحتكاك مع المحور تتم بواسطة مكبس هواء يتم التحكم به عن بعد بواسطة لوحة التحكم التي تم تثبيتها على مسافة كافية بحيث تضمن الأمان و السلامة للمستخدم ) .

بعد أن تتم عملية التلامس بين دولاب الاحتكاك و المحور أي يتم التلامس نقوم بتدوير المحرك من خلال المفتاح الخاص بذلك الموجود على لوحة التحكم الذي رمز له turn ،عندما يبدأ المحرك بالدوران تدور معه الطارة (دولاب الاحتكاك) التي بدورها تقوم بتدوير المحور (أو المحور و المسنن المركب على الطرف الحر الآخر للمحورفي حال اختبار أحد المسننات المائلة ) ،نستطيع التحكم بسرعة دوران المحور (زيادتها أو إنقاصها ) من خلال المقاومتغيرة التي زودت بها لوحة التحكم وقد رمزت ب SPEED

حيث من خلال هذه المقاومة المتغيرة نستطيع زيادة سرعة دوران المحرك (KW) 3 حتى تصل إلى سرعة الدوران الاسمية (1400 rpm) ، وبما أن قطر دولاب الاحتكاك أكبر بأربع مرات من قطر المحور، فانه كلما دار دولاب الاحتكاك دورة واحدة يدور المحور 4 دورات حيث أن نسبة النقل بين الدولاب و المحور هي 1/4 وبالتالي تكون السرعة العظمى للمحور (5600rpm) و هذه السرعة الاسمية للمحور مقابلة ل (50 Hz) (هزة/ثانية تردد التيار).  
عندما نصل إلى السرعة المطلوبة يتم فصل تعشيق الدولاب عن المحور بواسطة مفتاح التحكم بصمام الهواء،عند فصل المحور أو الجملة (محور + مسنن) عن مصدر الطاقة فإنها تتباطأ تحت تأثير ضياع التهوية يقوم الحساس الكهرومغناطيسي بتسجيل السرعة كتابع للزمن . و عندها بتطبيق نظرية الطاقة الحركية على الجملة (محور + مسنن) نحصل على الضياع الكلي كتابع لتحويلات السرعة:

$$P = 0.5 \cdot I_0 \cdot \frac{d}{dt} (\omega^2) \quad (4-2)$$

حيث أن:

$I_0$ : عزم العطالة القطبي الكلي للجملة (محور -مسنن أو محور-قرص أملس) ( $\text{kg.m}^2$ ) .

$\omega$ : السرعة الزاوية ( $\text{rad/s}$ ).

إن العداد الرقمي الموجود في لوحة التحكم يعطينا عدد الدورات للمحور من خلالها نستطيع حساب السرعة

الزاوية ( $\text{rad/s}$ ) وفق العلاقة:

$$\omega = \pi \cdot n / 30 \quad (4-3)$$

$\omega$ : السرعة الزاوية ( $\text{rad/s}$ ).

$n$ : عدد الدورات (r.p.m).

ثم يمكن حساب التباطؤ  $a$  حيث:  $a = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$

أما عزم العطالة  $I_0$  فيتم حسابه من العلاقة :

$$I = \frac{1}{2} m * R^2 \quad (4-4)$$

حيث أن:

m: هي كتلة أو وزن الجزء المدروس (Kg).

R: نصف قطر الجزء الهندسي المدروس (m).

### النتائج والمناقشة:

وللتأكد من صحة ودقة الجهاز تم اختبار المحور لوحده مرتين متتاليتين - وقد تم اجراء البحث في مختبر الات التشغيل في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين و الجهاز موجود في المختبر - ورسمت العلاقة بين سرعة الدوران والزمن ، كذلك تم التأكد من دقة القياس لجملة (محور+مسنن) لكل من المسننات الأربعة المختبرة. من خلال المخططات السابقة وبملاحظة التطابق بين النتائج التجريبية بيانياً عند اختبار الجهاز لمرتين متتاليتين ومن أجل المحور بمفرده أو من أجل الجمل المختبرة المختلفة التي تم ذكرها سابقاً يتبين لنا أن الجهاز الذي تم تصنيعه على دقة جيدة تمكننا من القيام بالتجارب المطلوبة .

باختبار المحور أو كل مسنن لوحده ، نستطيع الحصول على قيم عدد الدورات (rpm) كتابع للزمن ( s ) من عداد لوحة التحكم الموصولة مع الحساس الكهرومغناطيسي ؛من قيم rpm نحصل على قيم السرعة الزاوية  $\omega$  مقدرة ب(rad/s) حيث أنه بتطبيق نظرية الطاقة الحركية نحصل على الضياع الكلي ؛ لكل من المحور لوحده وللجملة (محور + مسنن ) وفق العلاقة:

$$P = I * \omega * a \quad (4-5)$$

حيث إن :

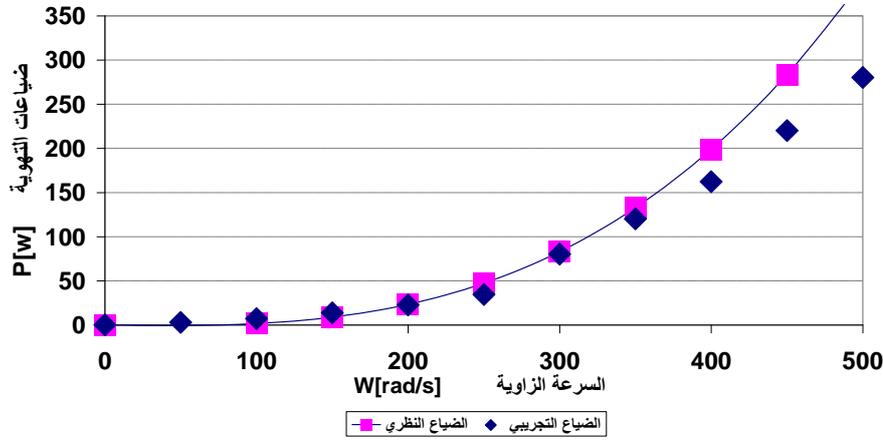
- p : ضياعات التهوية (w).
- I: عزم العطالة القطبي الكلي للجملة (محور - مسنن أو محور - قرص أملس) ( $kg.m^2$ ).
- $\omega$  : السرعة الزاوية (rad/s).
- a: التباطؤ الزاوي .

نحصل على ضياعات التهوية الناتجة وباستخدام برنامج تمليس (fitting) ، وتحديد درجة كثير الحدود (تم اختيارها من الدرجة الثالثة لأنه من اجل هذه الدرجة تم التطابق بين الضياع التجريبي و الضياع المملس)، نحصل على قيم ضياع التهوية المملس ، كما يتضح من خلال المنحنيات التالية التي تظهر كلاً من الضياع التجريبي و الضياع المملس على مخطط واحد .

الضياع المملس : منحنيات بيانية سميت بمنحنيات التمليس وهي عبارة عن المحل الهندسي للنقاط التي ترسم اقرب منحنى صحيح بعد حذف النقاط الشاذة.

وبالتالي نستطيع المقارنة بين ضياع التهوية النظري مع الضياع التجريبي الناتج لكل من المسننات المختبرة:

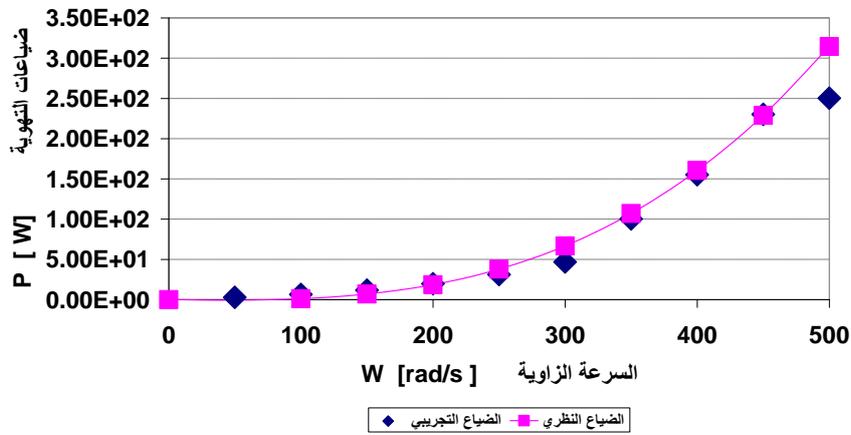
## مقارنة بين الضياعات النظرية مع التجريبي للمسنن g1



الشكل (6) مقارنة بين الضياعات النظرية مع الضياعات التجريبية ل g1

حيث يظهر الشكل (6) مدى التطابق بين النتائج التجريبية لضياعات التهوية مع الضياعات النظرية التي حصلنا هلي من تطبيق المعادلة (1-3) على المسنن g1 ذو الأسنان المائلة بزواوية ميل (10°) .

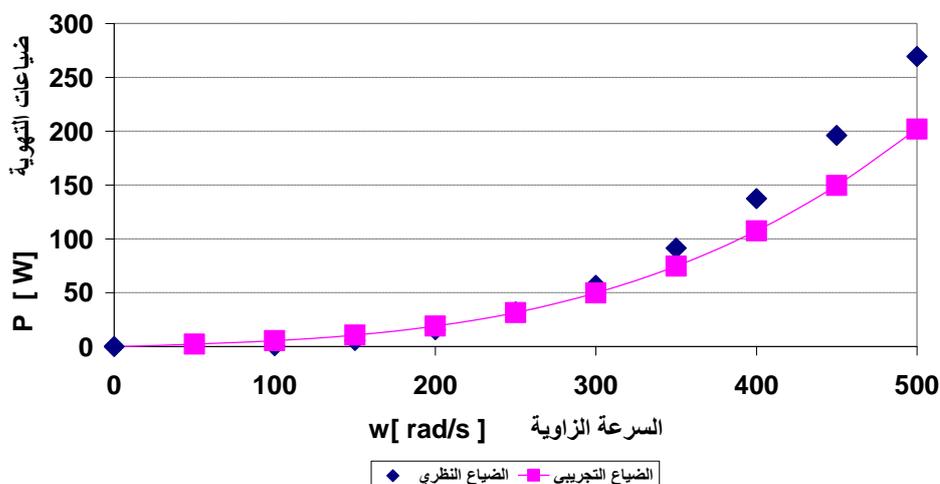
## المقارنة بين الضياعات النظرية مع الضياعات التجريبية للمسنن g2



الشكل (7) مقارنة بين الضياعات النظرية مع الضياعات التجريبية ل g2

كذلك يبين الشكل (7) مدى التطابق بين النتائج التجريبية لضياعات التهوية مع الضياعات النظرية التي حصلنا هلي من تطبيق المعادلة (1-3) على المسنن g2 ذو الأسنان المائلة بزواوية ميل (20°) .

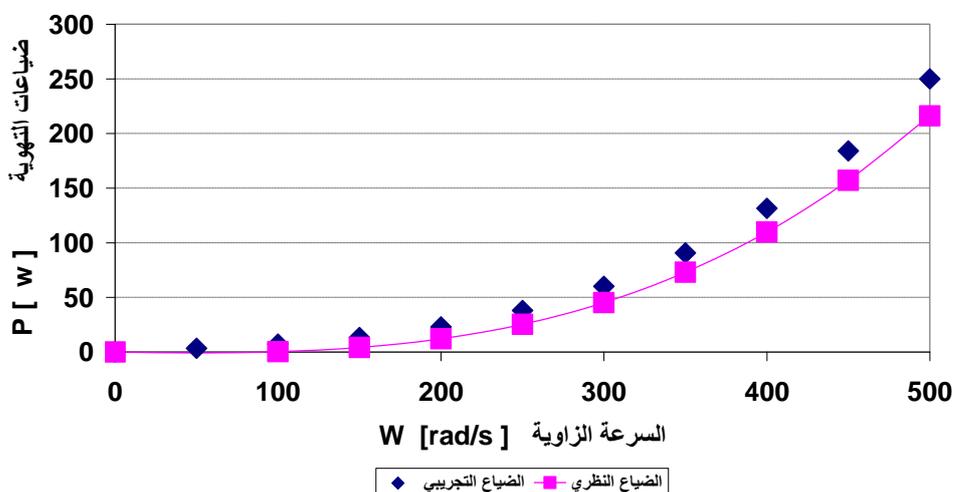
## مقارنة بين الضياع النظري مع الضياع التجريبي للمسنن g3



الشكل (8) مقارنة بين الضياع النظري مع الضياع التجريبي ل g3

يبين الشكل (8) مدى التطابق بين النتائج التجريبية لضياعات التهوية مع الضياع النظري التي تم الحصول علي من تطبيق المعادلة (1-3) على المسنن g3 ذو الأسنان المائلة بزاوية ميل  $(25^\circ)$ .

## مقارنة بين الضياع النظري مع الضياع التجريبي للمسنن g4

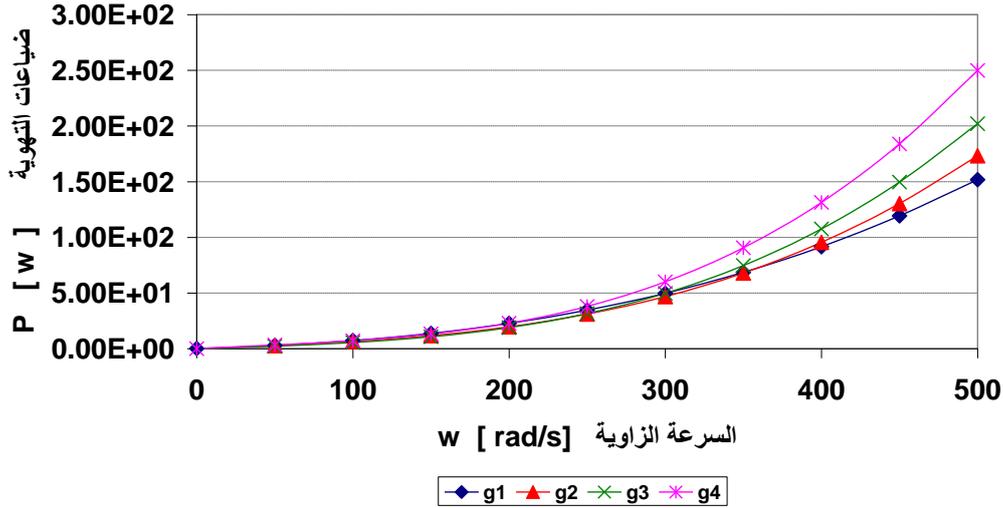


الشكل (9) مقارنة بين الضياع النظري مع الضياع التجريبي ل g4

يبين الشكل (9) مدى التطابق بين النتائج التجريبية لضياعات التهوية مع الضياع النظري التي حصلنا عليها من تطبيق المعادلة (1-3) على المسنن g4 ذو الأسنان المائلة بزاوية ميل  $(30^\circ)$ . كذلك فإن مدى التطابق الجيد بين النتائج التجريبية لضياعات التهوية عند مقارنتها مع الضياعات النظرية التي تم الحصول عليها. يتضح لنا صحة القوانين و المعادلة

النظرية التي تدرس ضياعات التهوية في المسننات ذات الأسنان المائلة. الدراسة التجريبية التي اجريت اكدت صحة القانون النظري (1.3) الذي تم دراسته في الدراسة المرجعية .  
بالمحصلة نستطيع رسم جميع المنحنيات التي تبين الضياعات التجريبية للمسننات التي تم دراستها كما هو واضح في المخطط الآتي:

### الضياعات التجريبية للمسننات



الشكل (10) الضياعات التجريبية للمسننات

من خلال المخطط السابق شكل (10) يتضح أن ضياعات التهوية تزداد و بشكل واضح بزيادة زاوية الميل لسن المسنن أي إن ضياعات التهوية في المسننات ذات الأسنان المائلة تتناسب طردياً مع زاوية الميل ( مع المحافظة على المودول والقطر القطري و عرض السن).

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### –الاستنتاجات:

ونلخصها بالنقاط التالية:

- ❖ سرعة الدوران لها تأثير كبير في ضياعات الطاقة الكلي في أثناء النقل بواسطة المسننات.
- ❖ الأسنان هي المصدر الرئيسي للضياعات بالتهوية.
- ❖ ضياعات الطاقة بالتهوية يتأثر بشكل كبير بتغير زاوية الميل للأسنان.
- ❖ يوجد تطابق مقبول بين القانون النظري المدروس و النتائج التجريبية.

#### – التوصيات:

- من الطبيعي أن يفتح هذا العمل المجال لعمل مستقبلي كبير و يمكن تلخيصه بما يأتي:
- اختبار النموذج الرياضي الذي يعطي ضياعات الطاقة بالتهوية على مسننين في حالة تعشيق من أجل دراسة تأثير اتجاه الدوران في هذا الضياعات.

- إدخال النماذج الرياضية السابقة في نموذج رياضي للحساب الحراري لعملية النقل يسمح بتحسين مواصفات النقل.
- تطوير الدراسات السابقة من أجل أنواع أخرى من المسننات (مسننات مخروطية، مسننات حلزونية، مسننات ذات تعشيق داخلي.....الخ).
- لا بد من الإشارة إلى أنه من المهم إجراء دراسة على مصادر الضياع الأخرى مثل مانعات التسرب والمحامل.
- دراسة وجود قطرات من الزيت و بخار الزيت في علبة السرعة دراسة تأثير في الكتلة النوعية والكثافة واللزوجة للوسط، وبالتالي إظهار التأثير الناتج على ضياعات التهوية.
- في النهاية إنه من المهم دراسة استخدام حاجز على بعد مناسب من المسنن و دراسة تأثيره على ضياعات التهوية.

### المراجع:

- [1]- WEISS, T. ;HIRT, M. *Efficiency improvements for high speed gears of the MWclass. VDI Berichte, Vol. 2, No. 1665,2002,1161-1174.*
- [2] Handschuh, R. F. ;Kilmain, C. J. *Preliminary investigation on the thermal behavior of high-speed helical gear trains. VDI Berichte, Vol. 2, No. 1665, 2002,867-879.*
- [3]- DIAB, Y.; VILLE, F.; HOJJOH, H. ;SAINOT, P. VELEX, P. *Experimental and numerical investigations on the air-pumping phenomenon in high speed spur and helical gears - Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Mechanical Engineering Sciences, Part C, 2004.*
- [4]- ITOH, M. ; Hasegawa, I. *Turbulent boundary layer on a rotating disk in infinite quiescent fluid. JSME International Journal, Vol. 37, No.3, 1994,449-456.*
- [5] - Dawson, P. H. *Windage loss in larger high-speed gears .Vol. 198, No. 1, 1984, 51-59.*
- [6] MANN, R. W. ; MARSTON, C. H. *Friction drag on bladed disks in housing. Vol. 83, No.4, 1961, 719-723.*