بسم الله الرحمن الرحيم

دراسة نظرية ومختبرية لمضخات الطرد المركزى

Theoretical and experimental study on Centrifugal pumps

اعداد : عصام الدين على التوم ابومازن

مشروع تخرج تكميلى لنيل درجة بكلاريوس الشرف فى الهندسة الميكانيكية

supervisor : osama Mohammed Elmardi suleiman
Assistant professor

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادى النيل

ديسمبر 2005 م

صدق الله العظيم

سورة الشرح

الإهـــــــــــداء

إلي أمي،،،

التي علمتني معني الحياة، ورفع عنقي مشرئباً نحو الأهداف، وأعطتني الصبر....

مفتاح وقضية،،،

أهــدي حصاد السنين..

إلي روح أبي الطاهرة،،،

إلي رفيقة دربي،،،

إلي زهراتي (شهد & وجن)

لكم أنتقت خمسة نجمات أيقونة تضئ سبيلي رشداً دون مزالق الحياة، أتيتكم اليــوم أحمــل تاجاً من النجاح أطوق به أعناقكم...

إلي أخوتي وزملائي وأستاذتي الأجلاء،،،

أمنكم أستمد بريق الأمل وزاد الأيام عشماً في بلوغ رضاكم....

الباحث

شكـــــــر وعرفـــــــان

كل شكري وتقديري إلي إدارة كلية الهندسة والتقنية بجامعة وادي النيل.....

وينتهي شكرنا بالطبع عند من هم السبب في ترتيب وتصويب وإخراج هذه الدراســة إلــي الوجود، نحاول أن نوفيهم حقهم من الشكر، أتقدم بكل حياء لأسجي أسمي آيات الشكر معلمي الجليل الأستاذ/ أسامة محمد المرضي لمده لي بالوصاية التي احتجت إليها في هذا البحث.

لهم مني جميعاً كل حباً وتقديراً واحترام،،،

المحتويات

الموضوع		رقم الصفحة
الإهداء		I
شكر وعرفان		II
المحتويات		III
ملخص		V
Abstract		VII
الفصل الأول:	1.0 مقدمة	1
	1.1 مقدمة عامة	1
	1.2 تصنيف المضخات	1
	1.3 أهداف الدراسة الحالية	5
الفصل الثاني:	2.0 اختبار المضخات	7
	2.1 قياس السمت	7
	2.3 قياس السعة	8
	2.4 قياس السرعة	9
الفصل الثالث:	3.0 دراسة نظرية	11
	3.1 معايرة مقياس الفنشورى	11
	3.2 خلفية نظرية عن المضخات	13
	3.3 تطبيق معادلة أويلر لماكينات سريان الطرد المركزي	18
	3.4 خصائص الأداء	20
	3.5 الفقودات	21

3.6 الكفاءة	23
3.7 تأثير الانزلاق على نظرية أويلر.	24
3.8 قوانين التشابه	27
3.9 السرعة النوعية	28
3.10 التكهف في المضخات	30
الفصل الرابع: 4.0 دراسة مختبرية	31
4.1 جهاز التجرُبة	31
4.2 مواصفات جهاز التجربة	33
4.3 خطوات التجربة	34
4.4 نماذج من العمليات الحسابية	35
4.5 النتائج المختبرية والمناقشة	41
الفصل الخامس: 5.0 تعقيبات على جهاز التجربة	45
5.1 توافق الجهاز مع الشروط القياسية	45
5.2 معوقات إجراء الإختبارات	45
الفصل السادس: 6.0 الخاتمة	47
المراجع ملحقات	49
ملحق (أ): جداول.	50
ملحق (ب): مخططات	55

ملخـــــــص

(Summary)

يتم تحديد أداء المضخة من أربعة كميات أساسية هي الطاقة الكلية المضافة للمـــائع بواســـطة المضخة، تصريف السريان، القدرة المدخلة لعمود المضخة، وسرعة عمود المضخة، يتم حساب الطاقة الكلية من قياسات السريان والضغط ويتم قياس الكميات الثلاث المتبقية مباشرة خلال أجهزة القيـــاس المتوفرة بجهاز التجربة. من الأرقام المتحصل عليها حلال الاختبار يمكن حساب الكفـــاءة الإجماليـــة (Gross efficiency).إضافياً، فإن قياسات مثل صافي سمت الـــسحب الموجـــب (NPSH) يمكـــن استدعاؤها بحيث يمكن تقدير أداء التكهف.

كل أو جميع المضخات بغض النظر عن مقاساتها أو تصنيفها يجب أن تعطـــي أداءاً مقبـــولاً خلال الاختبارات قبل القبول النهائي للمشتري. (أي يجب أن تلائم متطلبات ومواصفات المشتري).

أهداف الاختبارات يمكن حصرها في الآتي:

1. تحسين التصميم والتشغيل الفعلي للمضخة بدراسة التأثيرات المترتبة على أداء المضخة عنـــد تعديل التصميم.
2. للتأكد من المواصفات المطلوبة للمضخة.

على أي حال، فإن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو إجراء اختبارات أداء علـــى مـــضخة طـــرد مركزي ودراسة خصائصها.

استخدم في هذا البحث جهاز اختبار صغير الحجم عبارة عن وحدة ضخ ذات مرحلتين تتكـــون مـــن مضختين متشابهتين في مواصفاتهما يمكن تشغيلهما بالتوصيل إما على التوالي أو التـــوازي وهكـــذا يسمح بإجراء اختبارات على مضخة متعددة المراحل.

وجد من خلال هذا البحث أن النتائج المختبرية المتحصل عليها توافق تماماً النتائج المعطاة بواســـطة المصنع. ووجد أيضاً أن كفاءة المضخة تكون متدنية (حوالي 45%) مقارنة بالقيم المقبولة التي تكون

في حدود 75% ويرجع ذلك إلى صغر حجم الماكينة الذي ينشأ عنه عدم تناسب في أجزاء الماكينة وبالتالي يقود إلى فقودات عالية.

Abstract

Pump performance is determined from four quantities , total energy added to the fluid by the pump , flow discharge, power input to the pump shaft and pump shaft speed. Total energy is calculated from the flow and pressure measurements and the other three quantities are measured directly. From the test figures, the gross efficiency can be computed. Additionally, measurements of the net positive suction head, NPSH, may be called for, so that cavitation performance of the pump may be estimated.

Every pump regardless of size or classification should have at least some kind of performance test before final acceptance by the purchaser. If not, the customer or user does not have any way of knowing that his or her requirements have been fulfilled. Performance tests of pumps and the test methods will depend on the ultimate purpose of the tests. Tests normally fall into one of tow purposes or objectives:-

1. Improvement in design, or actual operation, thus enabling any effect on performance by a change or modification in design to be evaluated.
2. To determine if contractual commitments have been met, thus making possible the comparison of specified, predicted, and actual performance.

However, the main objective of this research is to run performance test on a centrifugal pump and to study its characteristics. The test set is of a small scale designed as a simple self- contained to permit this study. It is a two-stage unit consists of two identical pumps that may be operated either in parallel or in series, thus permitting a study of amulti- stage pump. It is a specially built scale model pumps made by plint and parteners limited company which specializes in manufacturing engineering education equipment.

The experimental results obtained were absolutely satisfactory and almost identical to those provided by the manufacturer. The efficiency of the pump

was found to be of a low value compared with accepted values for industrial units which reach a value a round 75%. The reason for this low efficiency about 45% is the small size of the machine which results in a disport portioned losses (i.e. bearing, gland and skin friction).

الفصـــــل الأول

1.0 المقـــــدمة

1.1 مقدمة عامة (General Introduction) :

هنالك ماكينات ومعدات قليلة لها تاريخ أطول في خدمة الإنسان أكثر من المـضخة. جميـع الإجراءات الصناعية التي تقع تحت مظلة حضارتنا الحديثة غالباً ما تتـضمن بـصورة أو بـأخرى عمليات نقل أو سريان للموائع. وعليه، فإن المضخة والتي هي وسيلة ميكانيكية لإنجاز نقل الموائـع تعتبر من الوحدات الأساسية للإجراءات الصناعية ونمو وتطور هـذه الإجـراءات ارتباطـا وثيقـا بتطورات وتحسينات وحدة الضخ.

يقدر في الوقت الحالي أن إنتاج مضخات الطرد المركزي في الأسواق العالمية هـو حـوالي (80%-85%) من الإنتاج الإجمالي للمضخات. ولقد مرت المضخات بمتسلـسلة مـن التطـورات والتحسينات أدت إلى زيادة كفاءتها، اعتماديتها، وتكيفها ومواءمتها مع النمو المـضطرد للتكنولوجيـا وحاجيات العنصر البشري.

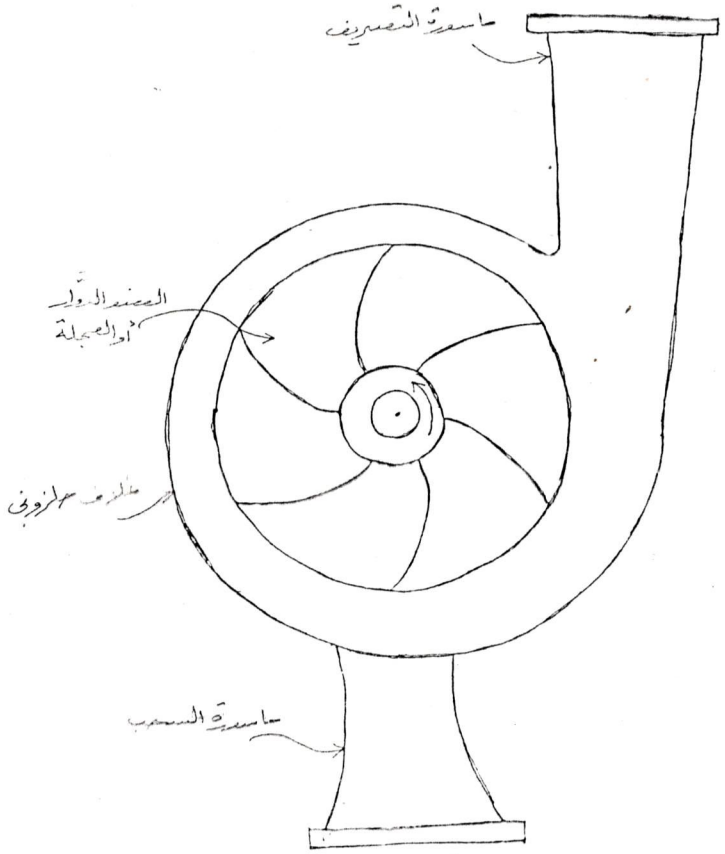
1.2 تصنيف المضخات (Classification of pumps):

بالرغم من أن هنالك وسائل عديدة لتصنيف المضخات، فأن التعريف الأوضح يكون مؤسـسا على الأسلوب الذي تنقل به القدرة إلى المائع، المبدأ الميكانيكي الذي يقف وراء نقل الطاقة، وأخيـرا الجهاز الميكانيكي لتحريك المائع. هذا الأسلوب يمكن استخدامه لتـصنيف المـضخات إلـى قـسمين رئيسيين هما المضخات الديناميكية الدوارة ومضخات الإزاحة الموجبة.

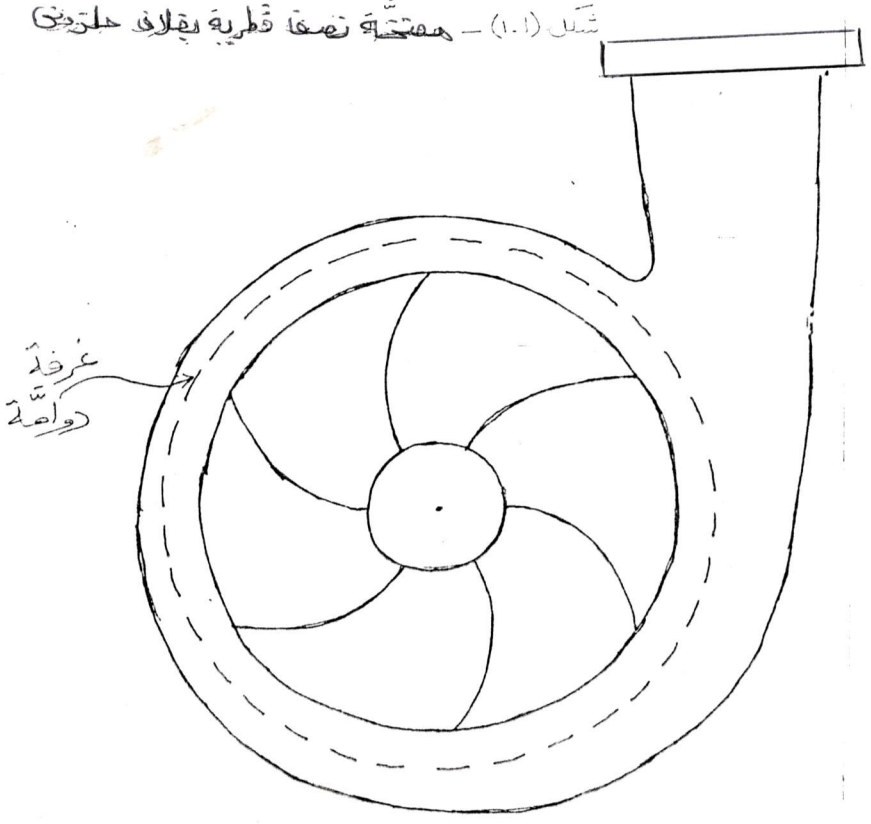
1.2.1 المضخات الديناميكية (Roto- Dynamic Pumps):

هذه المضخات تولد ضغوطا وبالتالي عملية ضخ بقوة الطرد المركزي، الرفع الـديناميكي، أو تبادل كمية الحركة. يتم إمداد الطاقة باستمرار إلى المائع في مضخات الطرد المركزي ليتنج سـريان نصف قطري، محوري أو مختلط.

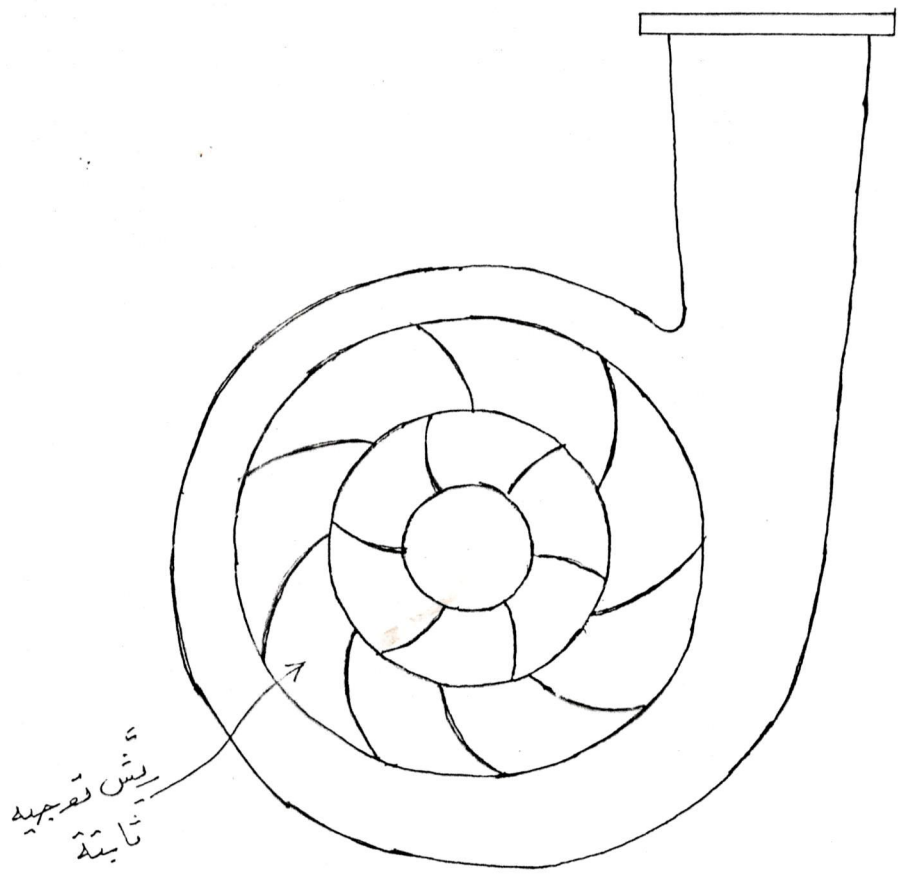
تتكون المضخة الديناميكية الدوارة أساسيا من عجلة (Impeller) تحمل عددا من الريش المقوسة إلى الخلف التي تدور في الغلاف شكل رقم (1.1) أدناه. يدخل السائل إلى المضخة عند منتصفها ويكون هنالك شغل عليه عندما يمر إلى الخارج بالطرد المركزي حيث يغادر العجلة بسرعة عالية وزيادة في الضغط. في الغلاف الحلزوني، هنالك جزء من طاقة السرعة للمائع يتحول إلى طاقة ضغط كلما مر السريان إلى ماسورة التصريف. الشكل رقم (1.1) يوضح غلافا حلزونيا (Volute casing) تزيد مساحة في اتجاه التصريف وهكذا يخفض سرعة السائل ويزيد الضغط لتخطي سمت التصريف. هذا النوع من الغلاف لديه كفاءة منخفضة لأن هنالك فقد كبير في الطاقة نتيجة للدوامات (eddies). الشكل رقم (1.2) أدناه يوضح مضخة بغرفة دوامة (a vortex or whirl pool chamber) التي هي اتحاد بين غرفة دائرية وغلاف حلزوني. هذا النوع من الغرف لديه كفاءة عالية لتحويل طاقة الحركة إلى طاقة ضغط أكبر مما يتم الحصول عليها من غلاف حلزوني فقط. أما إذا أريد الحصول على كفاءة قصوى أكبر من تلك للنوعين المذكورين عالية يتم استخدام ناشرة (diffuser) تتكون من حلقة بريش توجيه ثابتة وظيفتها تحويل جزء كبير من طاقة السرعة عند المدخل إلى طاقة ضغط وتوجيه الماء إلى الريش المتحركة وأيضا تتحكم في حجم الماء وبالتالي القدرة المدخلة إلى عمود المضخة. عندما يتم استخدام ريش توجيه ثابتة، تسمى المضخة بمضخة التوربينة أو مضخة فرانسيس لأنها تشبه توربينة تعمل عكسيا. شكل رقم (1.3) أدناه.



شكل (1.1) – مضخة نصف قطرية بغلاف حلزوني



شكل (1.2) – مضخة نصف قطرية بغرفة دوّامة



شكل (1.3) – مضخة نصف قطرية بريش
توجيه ثابتة

1.2.2 مضخات الإزاحة الموجبة (positive displacement pumps):

تتكون من كباس أو عضو إزاحة يتحرك في أسطوانة يدخل إليها السائل أو يغادرها خلال صمامات مناسبة. يعطي الكباس حركة ترددية بواسطة ذراع توصيل وعمود مرفقي.

هنالك نوعان من المضخات الترددية أولاهما هي مضخة السحب (suction pump) والتي تستخدم فقط لرفع الماء إلى مستوى أسطوانة المضخة. في شوط السحب فإن حركة الكباس تصنع فراغا جزئيا في الأسطوانة مما يسمح للضغط الجوي بدفع السائل الموجود في الحوض السفلي إلى الأسطوانة. نظريا، فإن السمت لا يمكن أن يزيد عن سمت السائل المكافئ للضغط الجوي، الذي هو 10.4m في حالة الماء، ولكن إذا قل الضغط عن ضغط البخار فإن السائل سيغلي في الأسطوانة وتتوقف المضخة عن أداء وظيفتها. وهكذا فإن العلو أو السمت المتاح في حالة الماء يحدد بحوالي 8m عند درجات الحرارة العادية. أما الثانية فهي تعرف بالمضخة القسرية (force pump) وهي مشابهة إلى حد ما لطلمبة السحب إلا أنه في هذا النوع يتم دفع السائل إلى أي ارتفاع مرغوب فوق خط مركز المضخة.

1.3 أهداف الدراسة الحالية (objectives of present study):

الهدف من هذه الدراسة هو التأكد من المواصفات المطلوبة للمضخة بمقارنتها بالمواصفات القياسية للجهة المنتجة وذلك من خلال مجموعة من الاختبارات التي يمكن إيجازها في الأتي:-

1. معايرة مقياس الفنشوري.
2. خصائص الأداء للمضخة الأولى المفردة عند السرعة القصوى. 3000rev/min وعند سرعة متوسطة مقدارها 2000rev/min.
3. أداء المضختان على التوالي وعلى التوازي عند السرعة القصوى التي تكون مكافئة لـ3000rev/min.
4. تحديد الخصائص اللابعدية للمضخة المفردة الأولى.

5. تأثير تفاوت ضغط السحب على أداء المضخة.

الفصـــــل الثاني

2.0 اختبار المضخات

عموما يمكن إختبار أو فحص المضخات الديناميكية الدوارة في حالة واحـــدة أو أكثـــر مـــن الحالات الثلاث التالية:

i. اختبارات التشغيل الروتيني.

ii. اختبارات القبول أما في المصنع أو في موقع تشغيل المضخة.

iii. اختبارات خاصة.

نتيجة لأهمية التقويم المضبوط لأداء المضخات بالنسبة للمصنع والمستخدم، تم عمل شفرات إختبـــار قوميه وعالمية. هذه الشفرات تؤسس أحكاما لإجراء الاختبارات على المضخات. كمثال لـــذلك، فـــإن شفرة اختبار معهد الهايدروليكا البريطاني لمضخات الطـــرد المركـــزي تؤســـس لخطـــوات إجـــراء الاختبارات وكتابة التقارير لمضخات الطرد المركزي. تعطي الشفرة حالات محددة لجميـــع أســـاليب التحديد الكمي للسعة، السمت وقدرة الدخل.

بالنسبة لاختبارات القبول ولكي يتم الحصول على بيانات إختيار أداء مضبوطة يجب تـــوفير أجهزة الضبط والقياس المناسبة بعد معايرتها ومقارنتها بالمواصفات المطلوبة (المقبولة).

الكميات الأربع التي يتم قياسها لكي يتم تقييم أداء مضبوط للمضخة يمكن حصرها في الأتي:

2.1 قياس السمت (Measurement of Head):

من الضروري التأكد من حالات سريان مستقر عند نقطة توصيل أجهزة القياس. لذلك يجب أن يكون طول الماسورة بعد أي صمام كوع أو أي جهاز قياس من 5 إلى 10 أضعاف قطر الماسورة.

الأجهزة المستخدمة عادة في قياس السمت هي:

1. أعمدة الماء والمانومتيرات للأسمات المنخفضة.
2. مانوميتر زئبقي بعمود مفرد.

3. مانوميتر تفاضلي في شكل حرف U.

4. مقاييس محملة باليايات e.g أنبوب بوردون، مقاييس الرداخ والنفاخ لضغوط عالية.

2.2 قياس السعة (measurement of capacity):

الأسلوب الأفضل لقياس السعة يكون متعمدا على الوزن أو الحجم. الأسلوب الأول يعتمد على دقة المقاييس، ودقة قياس الزمن. أما الثاني فيعتمد على دقة القياسات الخطية لتحديد حجم الوعاء وقياس الزمن.

يتطلب الأسلوبان زمن كبير لإكمال اختبار المضخة عندما يكون هنالك أكثر من نقطة أداء يجب قياسها. لهذا السبب فإن معظم اختبارات المصنع يتم عملها باستخدام مقاييس فنشوري بما أن الدقة المتحصل عليها بواسطة مقياس فنشوري مركب جيدا هي حوالي $(\pm \frac{1}{2}\%)$. بالإضافة إلى مقياس الفنشوري هنالك مقاييس أخرى يتم استخدامها مثل الفوهة، اللوح المثقب وأنبوب بيتون. جميع هذه الأجهزة الحركية (kinetic meters) تتطلب حالات سريان منتظم. السريان غير المنتظم سيؤثر على قيمة المقياس وتبعا لذلك دقة المقياس. من الأهمية بمكان أن يتوافق مقاس المقياس مع مدى السعة المتوقع. ينصح أن تكون سرعة الماء خلال عنف الفنشوري، أو الفوهة أو اللوح المثقب أكبر من 6m/s حتى يمكن إكمال القياس بالدقة المطلوبة.

لتوفير سريان منتظم من مضخة طرد مركزي إلى مقياس مباشرة يجب تركيب ماسورة مستقيمة بين المضخة والمقياس لا يقل طولها عن عشرة أضعاف قطرها. لنتائج جيدة يجب توفير ماسورة مستقيمة طولها لا يقل عن 6 أضعاف قطرها قبل وبعد المقياس.

2.3 قياس قدرة الدخل (Measurement of power Input):

يمكن قياس القدرة الحصانية المدخلة لمضخة باستخدام ديناموترات نقل أو التواء (transmission or torsion dynamometers) ، أجهزة قياس العزم من نوع مقياس الانفعال وباستخدام محركات معايرة كهربائية.

إذا تمت إدارة المضخة بواسطة توربينة بخارية أو محرك زيت فسيكون من الصعوبة بمكان تقييم القدرة الحصانية الحقيقية التي يتم إمدادها إلى عمود المضخة.

2.4 قياس السرعة (Measurement of speed):

يتم قياس سرعة عمود المضخة بواسطة عداد لفات وساعة إيقاف أو تاكوميترات أو أجهزة إلكترونية.

في نظام ديناميكي، مثل مضخة في حالة تشغيل ستوثر البيئة المحيطة وبيئة المضخة في حدوث تفاوتات في قراءات الأجهزة. التفاوتات عبارة عن تأرجحات حول قيمة متوسطة عند فترة زمنية قصيرة وتحدث أثناء الزمن الذي تؤخذ عنده قراءة أو مشاهدة مفردة. أثبتت الدراسات الهندسية أنه وخلال حدود معينة يمكن تجاهل هذه التفاوتات باعتبارها حالات سريان مستقر.

حسب شفرات الاختبار يمكن حصر التفاوتات المقبولة فيما يلي:-

±2% لضغط التصريف.

±3% لضغط السحب.

±2% للسعة.

±3% للسرعة.

±1% للقدرة الحصانية الفرملية.

جميع هذه القيم يتم تطبيقها عند نقطة الكفاءة القصوى لمضخة تحت الاختبار في اختبار المصنع أو المعمل يمكن التحكم في هذه التفاوتات في حدود القيم المذكورة عالية وذلك بوضع أجهزة الاستشعار في مكانها الصحيح.

للإنتاج التجاري للمضخات للاستخدام العام يعتمد المستخدمين على تحكيم الجودة وبرامج اختبارات المصنع للحصول على قبول الأداء. أما في حالة المضخات الضخمة مثل خدمة الماء الخام

إلى محطة تنقية، إمداد أبراج التبريد، أو خدمة الحماية من الحرائق من العادة الحصول على اختبار القبول كجزء من العقد (التعاقد).

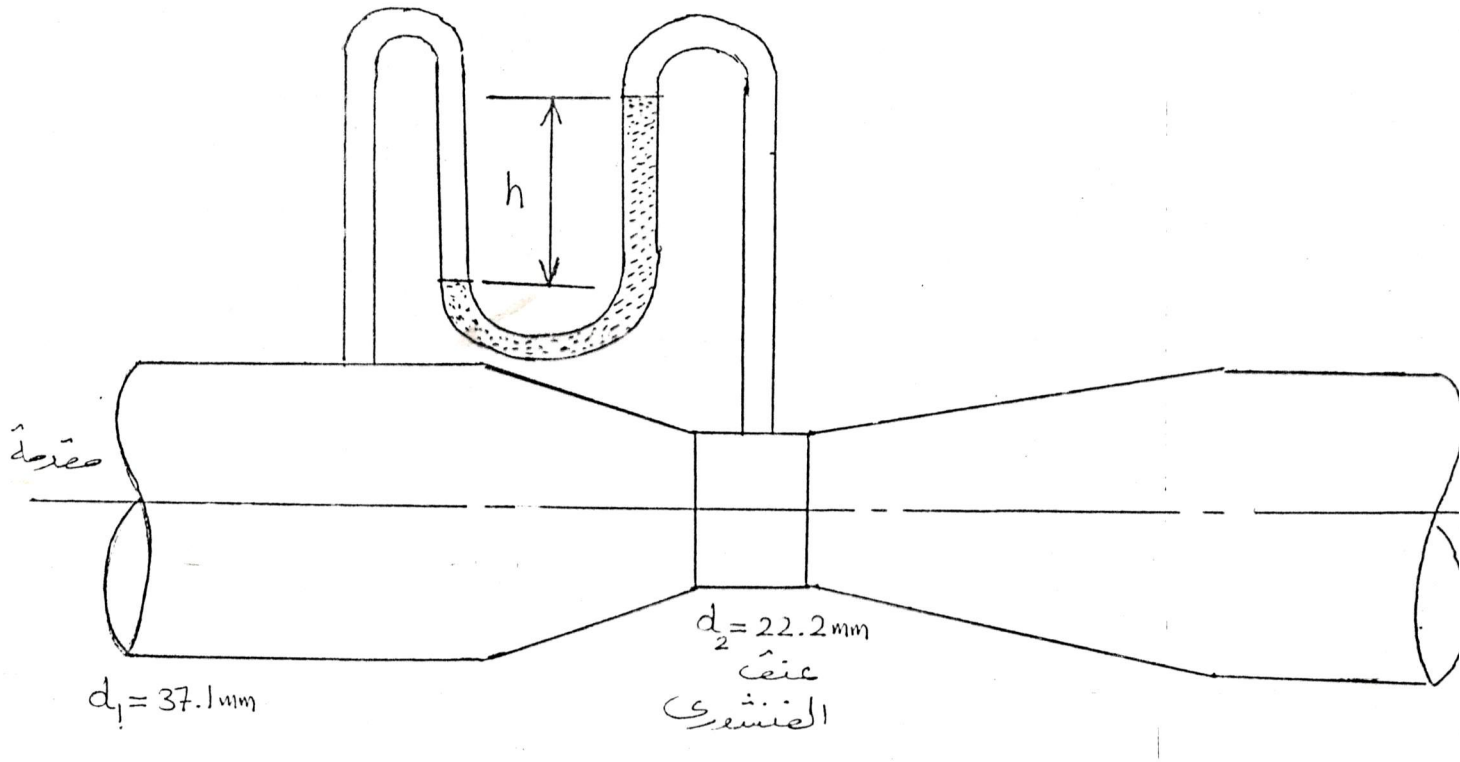
الفصـــــــل الثـــــالث

3.0 دراسة نظرية (Theoretical study)

3.1 معايرة مقياس الفنشوري (calibrating the venturi-meter):

كما ذكر سابقا في المقطع (2.2) من الفصل الثاني أن الأسلوب الأكثر شيوعا لقياس السريان هو استخدام جهاز الضغط التفاضلي. مقياس الفنشوري هو أحد هذه الأجهزة ويملك الأفضلية عندما يتم مقارنته بأساليب أخرى لإعطاء فروقات ضغوط صغيرة.

يتم توضيح المقياس تخطيطيا في الشكل (3.1). يتكون المقياس من ممـــر متقـــارب متباعـــد مـــزود بوصلات ضغط عند المدخل والعنف. يتم قياس فرق الضغط بين المدخل والعنف بواسطة مانوميتر في شكل حرف U.



شكل (3.1) – مقياس الفنشوري وأنبوب المانوميتر في شكل حرف U

يتم إعطاء العلاقة بين السريان الحجمي "Q" وفرق الضغط "h mm Hg" كما في المرجـــع {1} بالمعادلة التالية:-

$$Q = C_D\, a_2 \sqrt{\frac{1}{(1-\frac{a_2^2}{a_1^2})} \times \frac{2gh(e_{Hg}-e_w)}{10^3\, e_w}} \qquad \text{_____(3.1)}$$

حيث a_2= مساحة المقطع العرضي للعنق بالـــ mm^2

a_1 = مساحة المقطع العرضي للمدخل بالـــ mm^2

e_{Hg}= كثافة الزئبق $(13350 kg/m^3)$

e_w= كثافة الماء $(10^3 kg/m^3)$

C_D = معامل التصريف للمقياس.

تكون الأبعاد الاسمية للمقياس كما يلي:-

d_1 = قطر المدخل =37.1mm

d_2 = قطر العنق = 22.2mm

بتعويض القيم الاسمية لـــ d_1 و d_2 في المعادلة (3.1) للحصول على:

$$Q = 0.238 C_D \sqrt{h} \qquad \text{_____(3.2)}$$

حيث $C_D = C_1 \times C_2 \times C_3$

C_1 = معامل التصريف

C_2 = تصحيح رقم رينولوز.

C_3 =تصحيح الأقطار.

يمكن الحصول على القيم C_3, C_2, C_1 من مرجع {2} mechanical Hand book حـــسب توصـــية المؤسسة البريطانية للمعايير والقياسات (B.S.1042) إذا كانت ترتيبة المواسير تنطبق مع التوصيات في هذا المرجع.

في هذه الحالة، ستكون هذه القيم كما يلي:-

C_1=0.99

C_3=0.98

$C_2=f(\mathrm{Re})$ حيث $\mathrm{Re}=\frac{eud}{\mu}$

حيث e = كثافة الماء

u = سرعة الماء في الماسورة.

d = قطر الماسورة.

μ = معامل اللزوجة الديناميكي.

وبالتالي فإن المعادلة (3.2) ستنخفض إلى:

$$Q=0.231C_2\sqrt{h} \quad \text{_____(3.3)}$$

على أي حال، تركيب مقياس الفنشورى بعد إنحناء مزدوج وطول الماسورة المستقيمة بين الانحناء المزدوج ومقياس الفنشوري يكون أقل من ذلك الموصوف في المرجع {2}، هذا يعني أن مقياس الفنشوري يجب معايرته.

3.2 خلفية نظرية عن المضخات (pump theoretical background):

جميع الماكينات الديناميكية الدوارة لها جزء دوار يسمى بالعجلة أو العضو الدوار، يسري خلاله المائع باتصال. اتجاه سريان المائع بالنسبة لمستوى دوران العجلة يميز أصناف متنوعة من الماكينات الديناميكية الدوارة. عندما يكون السريان متعامداً مع محور دوران العجلة يُسمى السريان نصف قطرياً وعندما يكون السريان موازياً لمحور العجلة يسمى السريان سرياناً محورياً. في ماكينات السريان نصف القطري التي يطلق عليها أيضاً ماكينات الطرد المركزي، فبالرغم من أن المائع يتقارب من العجلة محورياً إلا أنه يغير اتجاهه عند مدخل الماكينة بحيث يكون السريان خلال العجلة في مستوى دوران العجلة.

الماكينات مختلطة السريان تشكل تصنيفاً ثالثاً بما أن السريان خلالها يكون جزئياً محورياً وجزئياً نصف قطرياً.

كلٍ من المضخات والتوربينات يمكن أن تكون محورية السريان، نصف قطرية السريان أو مختلطة السريان. جميع العجلات تتكون من قرص إسناد أو أسطوانة تكون الريش متصلة عليه. حركة الريش هي التي تتسبب في حركة المائع أو العكس بالعكس في حالة التوربينات. في أيّ حالة هنالك قوى مسلطة على الريش وبما أنها تدور مع العجلة فإنّ العزم يُنقل بمعدل التغير في كمية الحركة الزاوية.

بتطبيق قانون نيوتن الثاني إلى الحركة الزاوية.

معدل التغير في عزم كمية الحركة الزاوية = العزم على العجلة

والآن:

نصف القطر × السرعة المماسية × الكتلة = كمية الحركة الزاوية

وعليه:

$\left(\frac{w}{g}\right) v_{w_1} r_1 =$ كمية الحركة الزاوية المدخلة إلى العجلة في الثانية.

$\left(\frac{w}{g}\right) v_{w_2} r_2 =$ كمية الحركة الزاوية المخرجة من العجلة في الثانية.

حيث $w =$ وزن المائع في الثانية.

$v_{w_1} =$ المكونة المماسية للسرعة المطلقة.

$r_1 , r_2 =$ هما أنصاف أقطار العجلة الخارجي والداخلي على الترتيب.

عليه:

$\frac{w}{g} (v_{w_2} r_2 - v_{w_1} r_1) =$ معدّل التغير في كمية الحركة الزاوية.

العزم المنقول = معدل التغير في كمية الحركة الزاوية

بما أنّ الشغل المبذول لكل وحدة زمن يمكن إعطاؤها بحاصل ضرب العزم والسرعة الزاوية،

الشغل المبذول كل ثانية $= T\omega$

$$= \frac{w}{g}(v_{w_2} r_2 - v_{w_1} r_1)\omega \quad \text{_____(3.4)}$$

لكن، $$u = r\omega$$

وبالتالي $$r_1 \omega_1 = u_1$$

$$r_2 \omega_2 = u_2$$

حيث u هي السرعة المحيطة للعجلة و ω السرعة الزاوية للعجلة.

وبالتالي بالتعويض في المعادلة (3.4) سنتحصل على:-

$$E_t = \frac{w}{g}(u_2 v_{w_2} - u_1 v_{w_1}) \quad \text{.....(3.5)}$$ الشغل المبذول كل ثانية.

تكون وحدة E_t بالـــJ/sec، وبما أن الشغل المبذول كل ثانية بالعجلة على المائع هو معـــدل انتقـــال الطاقة بالتالي:

$(E) = E_t / w$ معدل انتقال الطاقة لكل وحدة وزن من المائع المنساب. (3-6)

حيث:

$$E = \frac{u_2 v_{w_2} - u_1 v_{w_1}}{g} \quad \text{_____(3.6)}$$

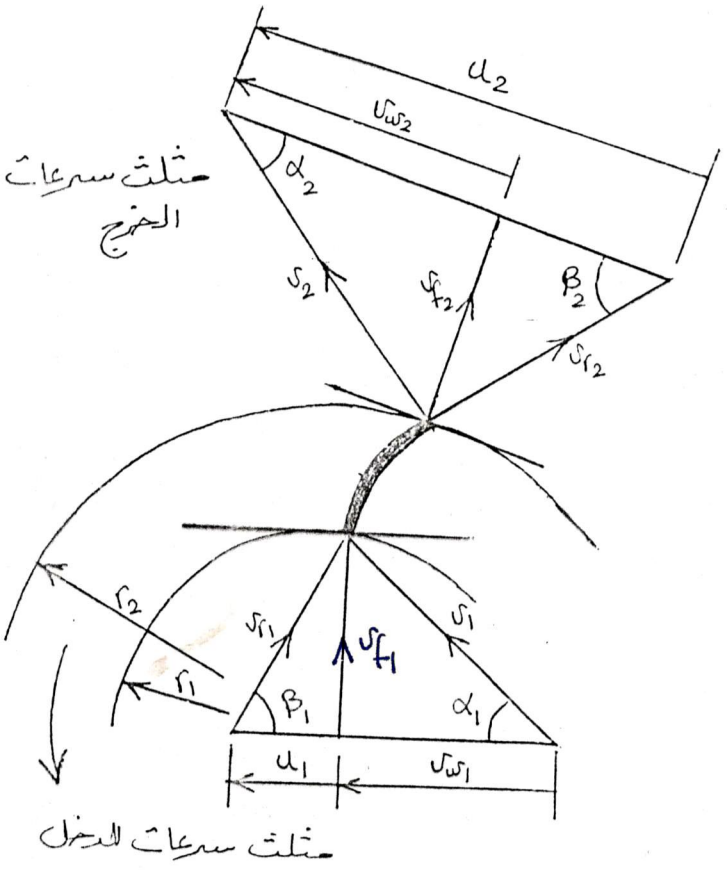
وحدة E هي، $$\frac{J}{s} \Big/ \frac{N}{s} = \frac{J}{N} = \frac{N.m}{N} = m$$

تعرف المعادلة (3.6) عالية بمعادلة أويلر (Euler's eqn) وبما أن وحدتها هي الأمتار كما في جميع عناصر معادلة بيرنولي، بالتالي يمكن استخدامها بالترافق معه. بمـــا أن وحـــدة E يمكـــن تخفيضها إلى الأمتار للمائع المناول بالتالي يمكن الرجوع إليها كسمت أويلر (Euler's Head)، وفي

حالة المضخات فهي تمثل السمت النظري المثالي "H_{th}" الذي يستفاد منه في التعبير عن سمت أويلر بدلالات سرعات المائع المطلقة بدلا عن مكوناتها.

$$i.e \qquad H_{th} = \frac{u_2 v_{w_2} - u_1 v_{w_1}}{g} \qquad m \quad \text{_____} (3.7)$$

من مثلثات السرعة، شكل رقم (3.2) أدناه،



شكل رقم (3.2) مثلثات سرعات الدخول والخروج لمضخة طرد مركزي

$$v_{w_1} = v_1 \cos\alpha_1 \qquad , v_{w_2} = v_2 \cos\alpha_2$$

بحيث أنَّ:

$$E = \frac{u_2 v_2 \cos\alpha_2 - u_1 v_1 \cos\alpha_1}{g} \quad \text{_____(3.8)}$$

لكن باستخدام قانون جيوب تمام الزوايا

$$v_{r_1}^2 = u_1^2 + v_1^2 - 2u_1 v_1 \cos\alpha_1$$

$$u_1 v_1 \cos\alpha_1 = \frac{1}{2}(u_1^2 - v_{r_1}^2 + v_1^2)$$

بالمثل،

$$u_2 v_2 \cos\alpha_2 = \frac{1}{2}(u_2^2 - v_{r_2}^2 + v_2^2)$$

بالتعويض في المعادلة (3.8)

$$E = \frac{\left(v_2^2 - v_1^2\right)}{2g} + \frac{\left(u_2^2 - u_1^2\right)}{2g} + \frac{\left(v_{r_1}^2 - v_{r_2}^2\right)}{2g} \quad \text{_____(3.9)}$$

في هذا التعبير، فإن العنصر الأول يرمز لزيادة طاقة سرعة المائع في العجلة. العنصر الثاني يمثل الطاقة المستخدمة في وضع المائع في حركة دائرية حول محور العجلة (دوامة قسرية). أما العنصر الثالث فهو استرجاع للسمت السكوني نتيجة انخفاض السرعة النسبية للمائع المار خلال العجلة. شكل (3.2).

(3.3) تطبيق معادلة أويلر لماكينات سريان الطرد المركزي:

(Application of Euler's equation to centrifugal flow machines)

في حالة مضخات الطرد المركزي، يتم توضيح مثلثات السرعة كما في الشكل (3.2) بما أنه، في العموم $u = r\omega$، يتبع ذلك أن سرعات الريشة المماسية عند المدخل والمخرج تعطي بـــ:

$$u_1 = r_1 \omega$$

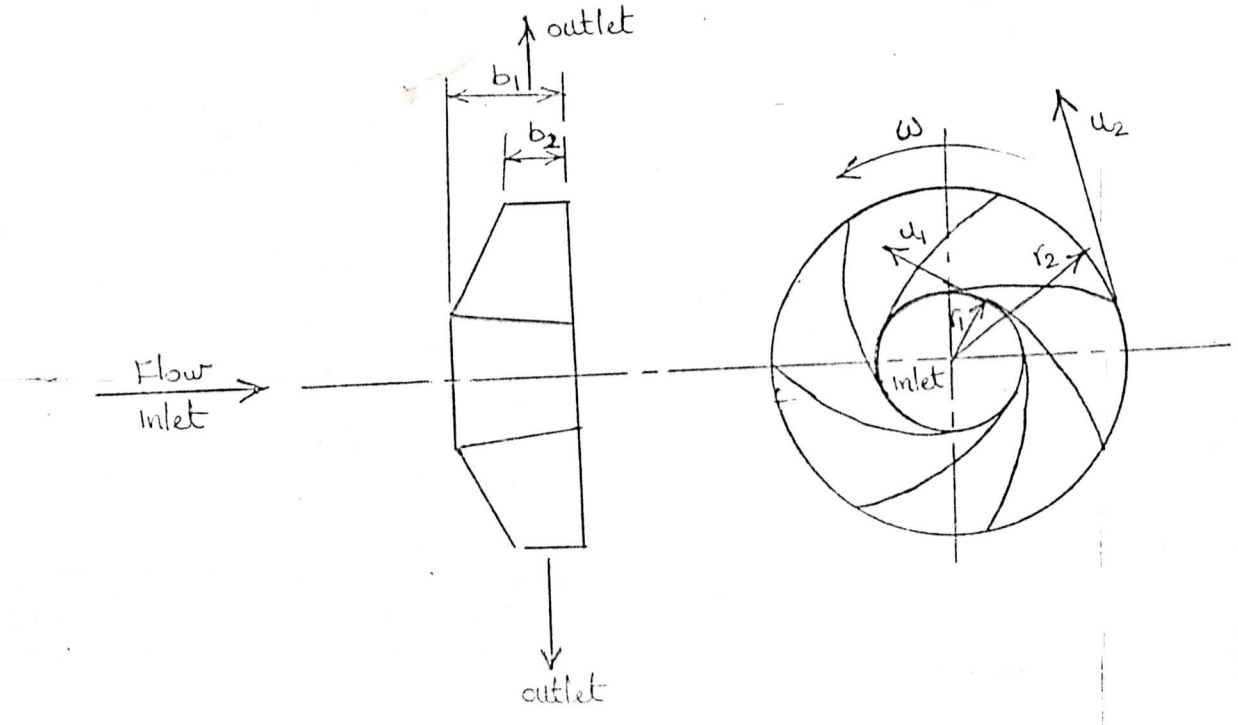
$$u_2 = r_2 \omega$$

بما أن السريان عند المدخل والمخرج يكون من خلال أسطح أسطوانية ومكونـــات الـــسرعة المتعامدة عليهما هما v_{f_1} , v_{f_2}، فإن معادلة استمرار سريان الكتلة m تعطى بـــ:

$$m = e_1 2\pi r_1 b_1 v_{f_1} = e_2 2\pi r_2 b_2 v_{f_2} \qquad \text{_____(3.10)}$$

حيث b_1 , b_2 هما عمق العجلة كما هو واضح في الـــشكل (3.3) و e_1 , e_2 همـــا كثـــافتي المدخل والمخرج. لسريان لا انضغاطي، تنخفض المعادلة إلى:

$$r_1 b_1 v_{f_1} = r_2 b_2 v_{f_2} \qquad \text{_____(3.11)}$$



شكل (3.3) – مسقط أمامي وجانبي لعجلة طرد مركزي

بافتراض أن m, w, r_1, r_2 هي معلومة المقدار، يتم عادة استخدام الافتراضات التالية لكي يتم رسم مثلثات السرعة.

i. تكون السرعة المطلقة عند المدخل نصف قطرية، بالتالي:

$$v_1 = v_{f_1} \quad , \quad v_{w_1} = 0$$

أما إذا كانت هنالك مكونة سرعة تدويم عند المدخل v_{w_1}، فيتم حساب v_{f_1} من المعادلة (3.11)

ii. تكون زاوية الريشة عند المدخل β_1 بحيث أن الريشة تستقبل السرعة النسبية مماسيا. هذا الافتراض يعرف بحالة عدم حدوث صدمة ويتم تطبيقه لتحديد زاوية مدخل الريشة خلال التصميم لكي يتم تخفيض فقودات المدخل.

هذا يتم تحقيقه عندما يتم تخفيض السريان ثلاثي الأبعاد بافتراض الفرضيات التالية:

1. تكون الريش رفيعة جدا.
2. يكون عدد الريش كبيرا جدا.
3. **لا يكون هنالك تفاوتاً في السرعة في مستوى العجلة.**

لمثلث الخرج، يتم إفتراض أن المائع يغادر العجلة بسرعة نسبية مماسه لمخرج الريشة، وإن سرعة السريان v_{r_2} تكون نصف قطرية.

من مثلث سرعة الخرج،

$$\cot \beta_2 = (u_2 - v_{w_2}) / v_{r_2}$$

وبالتالي:

$$v_{w_2} = u_2 - v_{f_2} \cot \beta_2$$

بتعويض المعادلة عالية في معادلة أويلر (3.2) وبالأخذ في الاعتبار، $v_{w_1} = 0$

$$E = \left(\frac{u_2}{g}\right)\left(u_2 - v_{f_2} \cot \beta_2\right) \quad \text{_____(3.12)}$$

3.4 خصائص الأداء (Performance characteristics):

كميات المائع المشتركة في جميع الماكينات الهيدروليكية هي معدل السريان الحجمي (Q) والسمت (H)، بينما الكميات الميكانيكية المرتبطة بالماكينة نفسها هي القدرة (P)، السرعة (N)، قطر العجلة (D) والكفاءة (η).

قدرة خرج مضخة تدور بسرعة معطاة هي معدل السريان المصرف من خلالها والسمت المولد. عليه فإن المخطط البياني للسمت ضد معدل السريان عند سرعة ثابتة بشكل خصائص الأداء الأساسي للمضخة. لكي يتم تحقيق هذا الأداء، يتطلب أن تكون هنالك قدرة دخل تشمل كفاءة نقل الطاقة. عليه من المفيد أيضا رسم مخطط القدرة (P) والكفاءة (η) ضد Q.

للماكينات الديناميكية الدوارة فإن مفهوم الخصائص ينبع دائما من معادلة أويلر. إذا تم استبدال E بـ H الذي هو انتقال الطاقة لكل وحدة وزن واستبدال v_{f_2} بـ Q/A_2 حيث A_2 هو مساحة مخرج العجلة فيتم الحصول على:

$$H = \frac{u_2}{g}\left(u_2 - \frac{Q}{A_2} \tan \beta_2 \right)$$

أو

$$H = \frac{u_2^2}{g} - \left(\frac{u_2}{A_2 g} \right) Q \tan \beta_2 \qquad \text{(3.13)}$$

لسرعة دوران ثابتة ولقطر عجلة معطى بحيث أن u_2 = constant و A_2 = const فإن المعادلة (3.13) يمكن كتابتها بالصورة التالية:

$$H = K_1 - K_2 Q \tan \beta_2 \qquad \text{(3.14)}$$

المعادلة (3.14) عاليه توضح علاقة وظيفية محددة Q, H وتوضح خصائص الأداء للماكينة الذي يتم تحديده مختبريا. وهكذا فإن المضخة كمثال تولد سمتا يعتمد على كمية المائع الذي يتم

مناولته. إضافيا، بما أنه لماكينات ذات ملامح تصميم ومقاسات متفاوتة ستتفاوت فيها قيم K_1 , K_2 , β_2 وأيضا خصائصها.

3.5 الفقودات (Losses):

بما أن الماكينات ذات تركيب معقد فهنالك فقودات عديدة تنشأ نتيجة لتشغيل الماكينة ولمرور المائع خلال الماكينة . هذه الفقودات يتم تصنيفها إلى قسمين رئيسيين هي فقودات هيدروليكية وفقودات ميكانيكية .

3.5.1 الفقودات الهيدروليكية (Hydraulic losses):

3.5.1.1 فقودات العجلة (Impeller losses)

تشتمل على فقودات الاحتكاك نتيجة للتلامس فيما بين المائع المتحرك والأسطح المصمتة ، وفقودات الانفصال أو الصدمة نتيجة لتغير اتجاه سريان المائع .

إذا كان h_i هو فقد السمت في العجلة و Q_i هو معدل السريان الحجمي خلال العجلة ، بالتالي فإن فقد قدرة العجلة هو :

$$P_i = \ell g h_i Q_i \qquad \text{_____(3.15)}$$

3.5.1.2 فقودات التسرّب (Leakage losses)

المائع الذي يمر خلال العجلة Q_i هو ليس كل المائع المنساب خلال المضخة هذا ببساطة يكون بسبب أن بعض المائع يمر خلال الخلوصات بين العجلة والغلاف . ودائماً ما تناول العجلة حجماً أكبر من ذلك المصرّف بواسطة المضخة إذا كانت q ترمز إلى معدل سريان المائع المسرّب و H_i هو السمت الإجمالي عبر العجلة ، بالتالي فإن فقد القدرة نتيجة للتسرب هو :

$$P_L = egH_i q \qquad \text{_____(3.16)}$$

3.5.1.3 فقودات الغلاف (Casing losses)

هو فقد احتكاكي نتيجة لتلامس المائع مع الغلاف قبل وبعد دخوله وخروجه من العجلـــة . إذا كان السريان خلال الغلاف وبالتالي خلال المضخة هو Q (الذي هو أقل قيمة من Q_i) ، وفقد السمت في الغلاف هو h_c ، بالتالي فإن فقد القدرة في الغلاف هو

$$P_c = e g h_c Q \qquad \text{_____(3.17)}$$

3.5.2 الفقودات الميكانيكية (P_m) (Mechanical Losses)

هي فقودات الطاقة مثل تلك التي في المحامل وموانع التسرب وفقودات الاحتكـــاك القرصـــية (فقودات الرياح) فقودات القرص يتم تعريفها بالقدرة المطلوبة لتدوير العجلة بالسرعة المطلوبة بـــدون أي شغل مبذول بواسطة العجلة على المائع.

يمكن الآن تطبيق معادلة موازنة الطاقة للماكينة كما يلي:

قدرة دخل العمود = الفقودات الميكانيكية + الفقودات الهيدروليكية (العجلة ، التسرب، الغلاف) + قدرة المائع المستفادة.

$$P_i = P_m + eg\left[h_i Q_i + H_i q + h_c Q + HQ\right] \qquad \text{_____(3.18)}$$

حيث:

P_i = قدرة دخل العمود

P_m = الفقودات الميكانيكية

$egh_i Q_i$ = فقودات العجلة

$egH_i q$ = فقودات التسرب

$egh_c Q$ = فقودات الغلاف

HQ = قدرة المائع المستفاد

3.6 الكفاءات (efficiencies):

3.6.1 الكفاءة الإجمالية (η_o) :

هي الكفاءة التي دائما ما يتم رسمها بيانيا كواحدة من خصائص الأداء لمضخة لأنها ترجع إلى الماكينة ككل وبالتالي فهي هامة.

$$\eta_o = \frac{\text{قدرة خرج الماكينة}}{\text{قدرة الدخل للماكينة}} \quad \text{أو}$$

$$\eta_o = \frac{\text{قدرة خرج المائع}}{\text{قدرة الدخل إلى العمود}} = \frac{egQH}{P_i} \qquad (3.19)$$

3.6.2 الكفاءة الميكانيكية η_m :

إذا كانت P_m هي فقودات القدرة الميكانيكية، بالتالي فإن قدرة الدخل إلى العجلة هي $P_i - P_m$

$$\eta_m = \frac{P_i - P_m}{P_i} \qquad (3.20)$$

3.6.3 كفاءة العجلة (η_i):

هذه تجمع جميع الفقودات في العجلة، بالتالي:

$$\eta_i = \frac{\text{قدرة المائع المتولد بالعجلة}}{\text{القدرة الميكانيكية التي يتم إمدادها إلى العجلة}}$$

$$\eta_i = \frac{e\,g\,H_i\,Q_i}{P_i - P_m}$$

لكن من المعادلة (3.20) ، $P_i - P_m = \eta_m P_i$ بالتالي فإن:

$$\eta_i = \frac{e\,g\,H_i\,Q_i}{\eta_m\,P_i} \qquad (3.21)$$

3.6.4 الكفاءة الحجمية $(\eta)_v$:

$$\eta_v = \frac{\text{معدل السريان خلال العجلة}}{\text{معدل السريان خلال الماكينة}}$$

$$= \frac{Q}{Q_i} = \frac{Q_i - q}{Q_i} \qquad \text{_____(3.22)}$$

3.6.5 كفاءة الغلاف (η_c)

$$\eta_c = \frac{\text{قدرة خرج المائع المستفاد}}{\text{قدرة الخرج المولدة بواسطة العجلة – فقد التسرب}}$$

$$= \frac{e\,g\,Q\,H}{e\,g\,H_i\,Q_i - e\,g\,H_i\,q} = \frac{H}{H_i} \qquad \text{_____(3.23)}$$

يمكن إثبات أن الكفاءة الإجمالية تكون مساوية لحاصل ضرب الكفاءة العديدة المذكورة عاليه.

$$\eta_o = \eta_m\,\eta_i\,\eta_v\,\eta_c \qquad \text{_____(3.24)}$$

3.6.6 الكفاءة الهيدروليكية (η_H):

تعرف فقودات العجلة واحتكاك الغلاف التي يرجع إليها الفقودات الهيدروليكية.

$$\eta_H = \frac{\text{السمت الفعلي}}{\text{السمت النظري}} = \frac{H}{H_{th}} = \eta_i\,\eta_c \qquad \text{_____(3.25)}$$

بالتالي فإن المعادلة (3.24) تصبح كالآتي:

$$\eta_o = \eta_m\,\eta_H\,\eta_v \qquad \text{_____(3.26)}$$

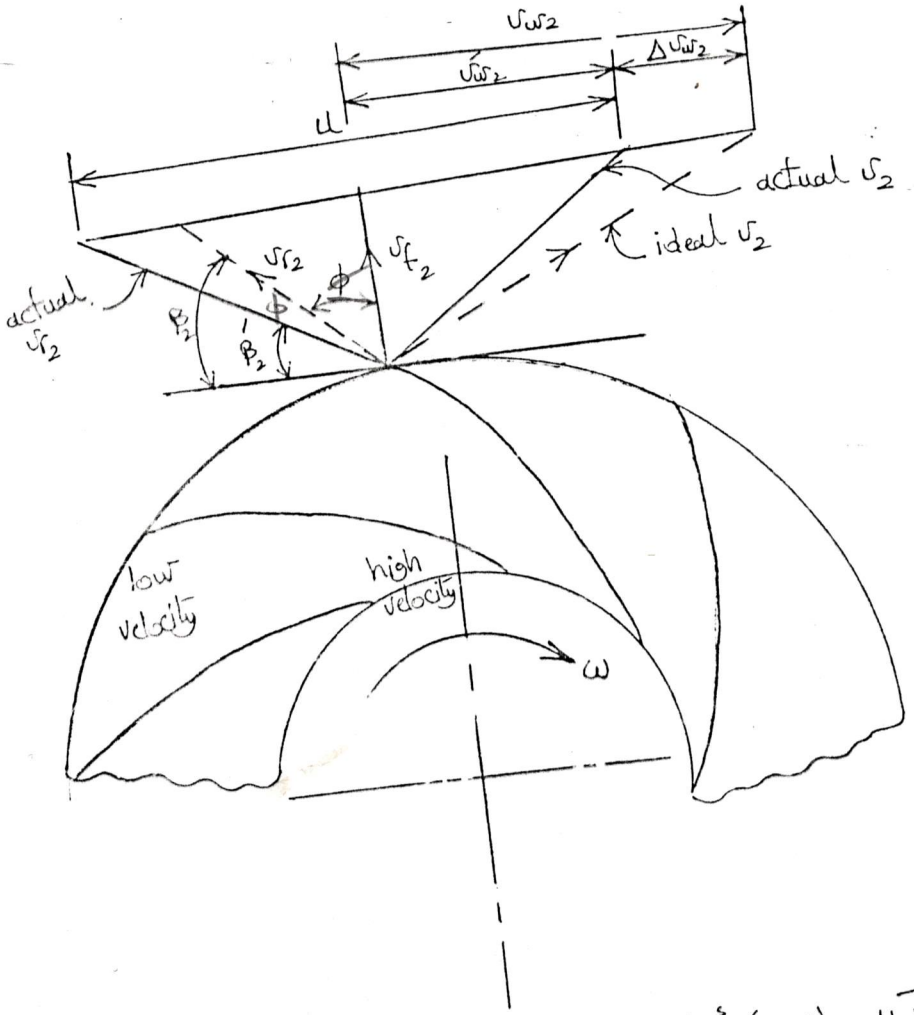
3.7 تأثير الانزلاق على نظرية أويلر(Slip effect on Euler's theory) :

لقد ذكر في مقطع سابق أن نقل الطاقة الفعلية بواسطة مضخة يكون أصغر من ذلك المتوقع بمعادلة أويلر، ليس هذا فقط نتيجة للفقودات الاحتكاكية المذكورة عالية، لكن أيضا بسبب الانزلاق الذي له أثر أكبر على المغادرة (الانحراف) من نظرية أويلر.

في عجلة مضخة الطرد المركزي فإن الريش تؤدي عملا على المائع بتسليط قوة دفع عليه. هذا يتم أداؤه بالسطح الأعلى أو الأمامي للريشة. يتبع ذلك أن ضغط المائع على هذا الجانب يكون أكبر من ذلك على الجانب الآخر، كما هو واضح في الشكل رقم (3.4) أدناه. بالتالي، فإن السرعة في الجانب الخلفي تكون أكبر. هذا التوزيع الغير منتظم للسرعة يكون مسئولا عن الاتجاه المتوسط للسريان

المغادر للعجلة الذي يساوي $\beta_2' = (\beta_2 - \phi)$ وليس β_2 الذي يفترض أن يكون في حالة السريان المثالي. هذا التأثير يتسبب في خفض مكونة السرعة المماسية من v_{w_2} إلى v'_{w_2}، حيث يكون الانخفاض بمقدار Δv_w ويسمى بالانزلاق، يتم تعريفه كالآتي:

$$S_F = \frac{v'_{w_2}}{v_{w_2}} \qquad \text{_____(3.27)}$$



شكل (3.4) أثر تضخيم السرعة على مثلث سرعات الخروج

هذا الانخفاض في قيمة v_{w_2} ينتج عنه انخفاض في سمت أويلر. هذا التأثير لا ينتج عن الاحتكـــاك وبالتالي لا يمثل فقدا إنما ينشأ من تحليل السريان المثالي لتوزيع الضغط والسرعة.

عليه إذا كان السمت النظري المقترح بواسطة معادلة أويلر مكافئا لـــ $H_{th}=\frac{u_2 v_{w_2}}{g}$ يتبع ذلك أن صافي السمت النظري $(H_{th})_n$ الذي يسمح بعامل الانزلاق يكون مساوياً لـــ:

$$(H_{th})_n=\frac{u_2 v'_{w_2}}{g}=H_{th} S_F \quad \text{_____(3.28)}$$

من الممكن الآن ربط الخصائص النظرية المتحصل عليها من معادلة أويلر بالخصائص الفعليـــة باعتبار الفقودات المختلفة. المعادلات التي تحكم هذه الفقودات يتم توضيحها أدناه:

3.7.1 سمت فقودات الصدمة (h_{sh}):

$$h_{sh}=K(Q-QN)^2 \quad \text{_____(3.29)}$$

حيث QN هي معدل السريان الحجمي المقابل لنقطة الكفاءة القصوى في منحنى الأداء. يتم افتـــراض أن فقودات الصدمة تكون مكافئة للعنصر عند Q = QN.

3.7.2 سمت فقودات الاحتكاك (h_f):

$$h_f=\bar{k} Q^2 \quad \text{_____(3.30)}$$

حيث $\bar{k}$ هو مقدار ثابت لماكينة معطاه.

3.7.3 الفقودات الميكانيكية:

لا تؤثر الفقودات الميكانيكية على خصائص السمت ضد معدل السريان، لكنها تؤثر فقط علـــى الدخل وبالتالي الكفاءة الإجمالية.

3.8 قوانين التشابه (Similarity Laws)

من المرغوب فيه أحيانا التنبؤ بأداء ماكينة كبيرة الحجم من نموذج بنفس التصميم. يقترح التحليل البعدي أن قوانين التشابه تحكم أداء ماكينات السريان من نفس النوع.

بالتحليل البعدي يمكن اشتقاق المعادلة التالية:

$$\frac{P}{N^3 D^5 e} = \phi\left[\left(\frac{Q}{N D^3}\right);\left(\frac{g H}{N^2 D^2}\right);\left(\frac{\mu}{N D^2 e}\right);\left(\frac{k}{N^2 D^2 e}\right);\left(\frac{\in}{D}\right)\right] \quad \text{_____(3.31)}$$

حيث $\frac{P}{N^3 D^5 e}$ هو معامل القدرة k_p

$\frac{Q}{N D^3}$ هو معامل السريان أو k_Q

$\frac{g H}{N^2 D^2}$ هو معامل السمت k_{II}

الآن:

$$\frac{\mu}{N D^2 e} \alpha \frac{\mu}{u D e} \alpha \frac{1}{Re}$$

بما أن $N D \alpha u$

الذي هو مقلوب رقم رينولرز.

وأيضاً، $\frac{k}{N^2 D^2 e} \alpha \frac{1}{Ma}$ الذي هو معكوس رقم ماخ و $\frac{\in}{D}$ هي الخشونة النسبية للمرات الداخلية للماكينة.

يمكن كتابة المعادلة (3.31) كالآتي:-

$$k_p = \phi\,(k_Q, k_H, R_e, Ma, \frac{E}{D}) \quad \text{_____(3.32)}$$

العلاقة الوظيفية بين k_H , k_Q , k_p يمكن تحديدها مختبريا وهي تحتوي على مجموعة من خصائص الأداء التي هي بنفس الشكل مثل خصائص P,H ضد Q، لكنها تمثل جميع عائلة الماكينات المتشابهة هندسيا. i.e إذا كان رقم ماخ Ma و $\frac{\in}{D}$ هي نفسها لمضختين ، بالتالي:

$$k_{Q_1} = k_{Q_2} , \; k_{H_1} = k_{H_2} , \; k_{p_1} = k_{p_2} , ...$$

أو عموماً ، بما أن

$$k_Q = cons\tan t \; , \quad Q \alpha N D^3 \quad _____ (3.33)$$

$$k_H = cons\tan t \; , \quad gH \alpha N^2 D^2 \quad _____ (3.34)$$

$$k_p = cons\tan t \; , \quad P \alpha e N^3 D^5 \quad _____ (3.35)$$

بإعطاء أن R_e و Ma و $\frac{\in}{D}$ هي أيضا نفسها.

عليه، بقوانين التشابه من الممكن التنبؤ بأداء ماكينة ذات مقياس وسرعة معطيان من خصائص الأداء المعلوم لماكينة متشابهة هندسيا.

3.9 السرعة النوعية (Specific speed) :

باستخدام قوانين التشابه من الممكن مقارنة ماكينات تتبع لعائلات مختلفة برسم خصائصها اللابعدية على نفس المخطط. وستكون المقارنة أكثر أهمية إذا تمت بمعلومية السرعة النوعية للماكينات.

لكي يتم تحقيق قاعدة جيدة للمقارنة، من العادة تحديد خصائص ماكينة تخيلية مطابقة في شكلها مع الماكينة الفعلية لكن يتم تخفيض مقاسها بحيث تصرف وحدة كمية عندما تشتغل ضد وحدة سمت. السرعة لمثل هذه الماكينة تسمى بالسرعة النوعية. يتم اشتقاق تعبير السرعة النوعية (N_s) من k_H , k_Q بما أنهما المتغيران المهمان للمضخات.

عليه:

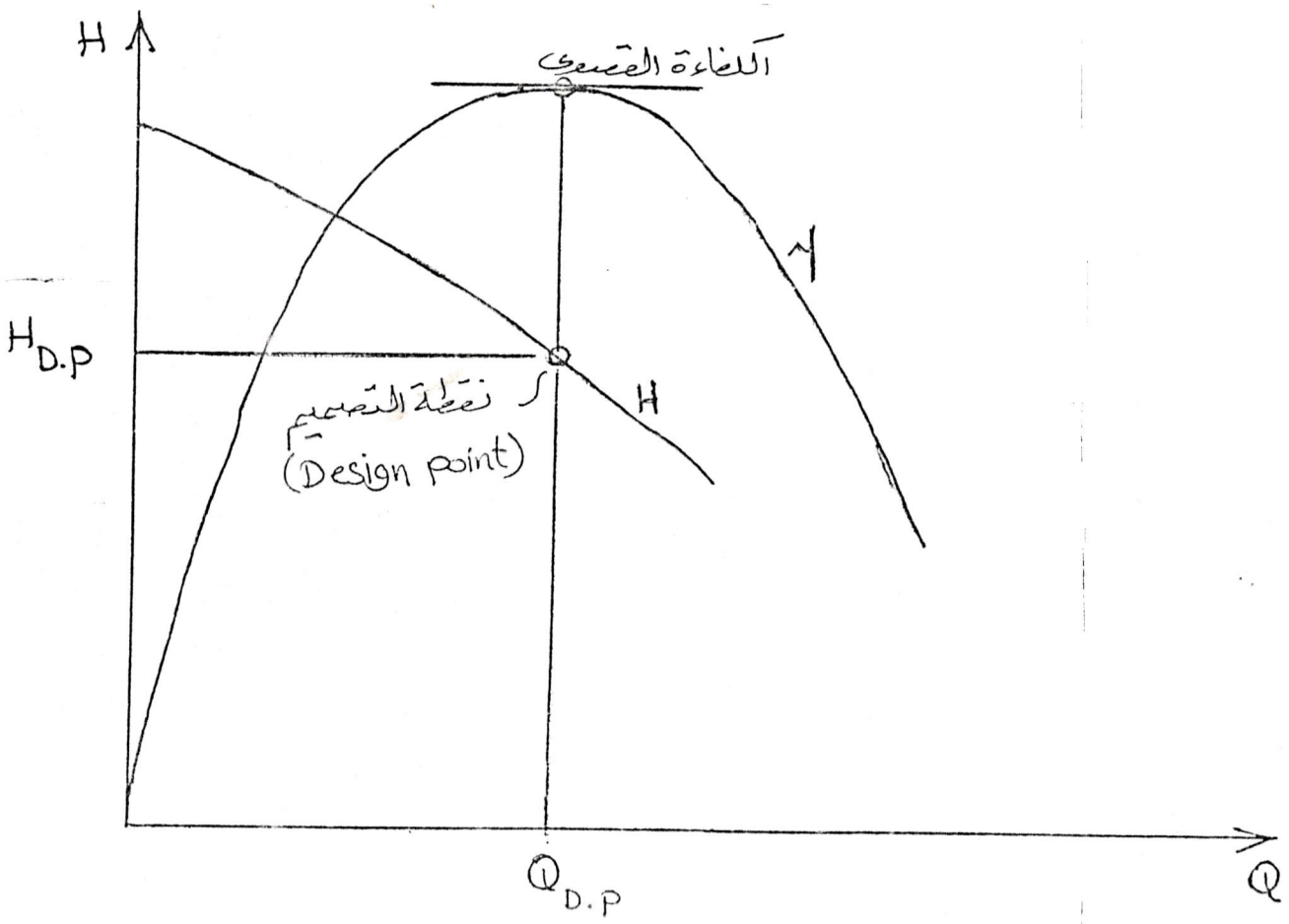
$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{gH}{N^2D^2}\right)actual &= \frac{g\times 1}{N_s^2 D_s^2}\\ \left(\frac{Q}{N\,D^3}\right)actual &= \frac{1}{N_s\,D_s^5}\end{aligned}\right] \quad H_s \text{ and } Q_s = 1 \text{ by definition}$$

بتفادي D_s من هذه التعبيرات سنتحصل على:

$$N_s = \frac{N Q^{1/2}}{H^{3/4}} \qquad (3.36)$$

يمكن حساب السرعة النوعية لأي نقطة على منحنى الخصائص، لكن دائما ما يتم الرجوع إليها كالسرعة النوعية عند نقطة التصميم للماكينة.

يتم عادة تحديد نقطة التصميم بدلالات معدل السريان والسمت المنتج ويتم ربطها بالكفاءة القصوى للماكينة. السرعة النوعية هي وسيلة جيدة لأغراض التصنيف، المقارنة والتصميم. الشكل رقم (3.5)

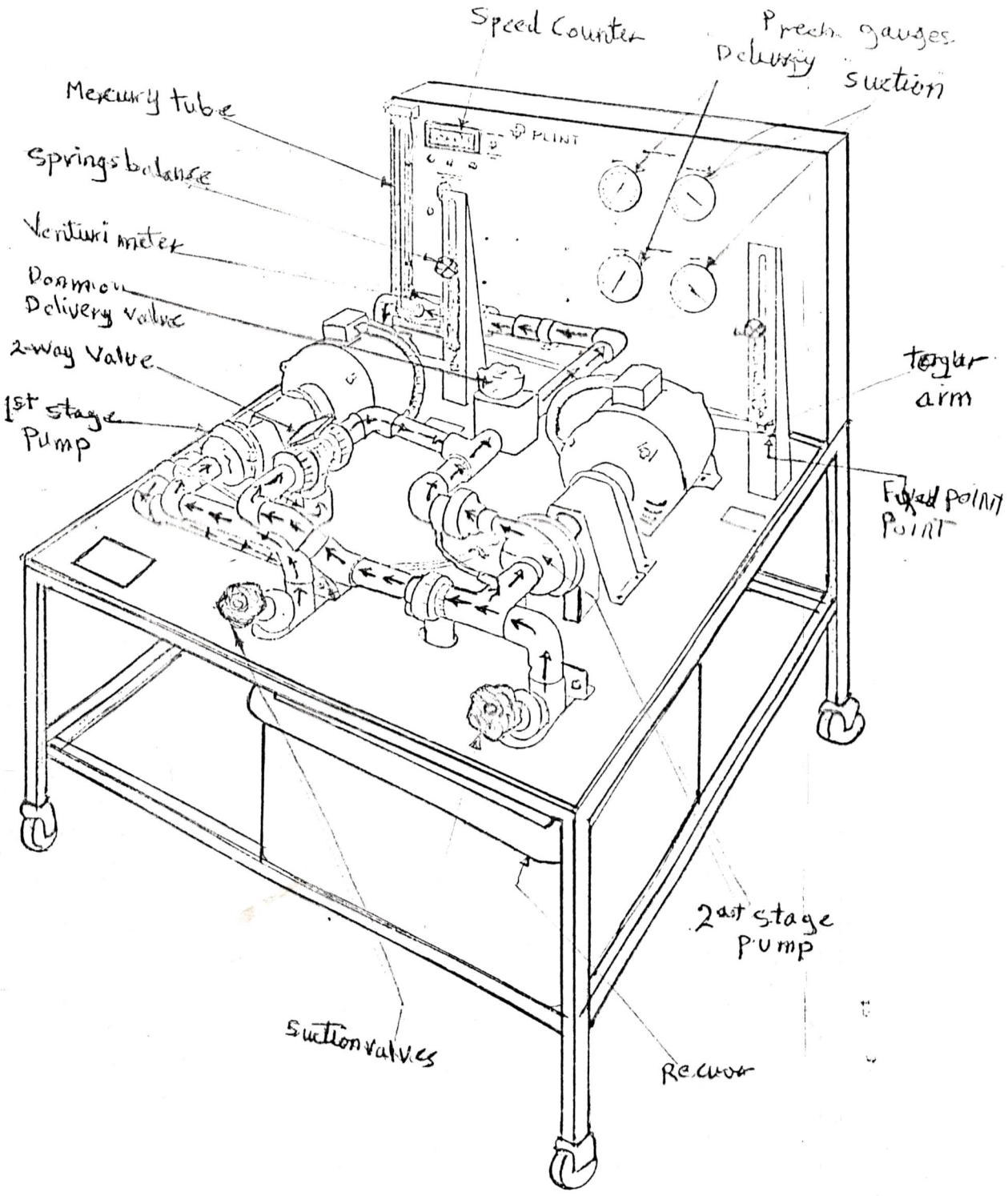


شكل (3.5) — نقطة التصميم على منحنى خصائص أداء مضخة طرد مركزي

3.10 التكهف في المضخات(Cavitations in pumps)

عدم انتظام السريان في المضخات يتسبب في التفاوت الواسع في الضغط. على جانب الضغط المنخفض في العجلة يمكن أن تكون هنالك مناطق يهبط فيها الضغط إلى قيم أقل بكثير من الضغط الجوي. على أي حال، في سائل فإن الضغط لا يمكن أن يهبط أسفل ضغط البخار عند درجة الحرارة المعينة. إذا وصلت أي نقطة لضغط البخار فإن المائع يغلي وتتكون فقاعات صغيرة من البخار بأعداد ضخمة. يتم حمل هذه الفقاعات على مجرى السريان وعند الوصول إلى نقطة يكون فيها الضغط بقيمة أكبر تنهار هذه الفقاعات فجائيا عندما يتكثف البخار إلى ماء مرة أخرى وينشأ عن ذلك فجوة حيث يتوزع السائل المحيط لملئها. المائع المتحرك من جميع الاتجاهات يصطدم بمركز الفجوة ، معطيا ارتفاعا عاليا لضغوط موضعية تنتشر من الفجوات بموجات ضغطية. بالرغم من أن هذه الضغوط تعمل لزمن صغير فقط على مساحة صغيرة جدا فإنها تسبب انهيارا كبيرا في السطح. تفشل مادة العجلة بالكلال مضافا إليه التآكل حيث يصبح السطح منقرا بصورة سيئة. يكون مصاحبا للسريان التكهفي اهتزاز وضجيج عالي.

بما أن التكهف يبدأ عندما يصل الضغط إلى قيمة منخفضة جدا، من المحتمل أيضا حدوثه عند نقاط تكون فيها السرعة أو ارتفاع ماسورة السحب عالية. المقدار وخصوصا عند تلك النقاط التي تجتمع فيها السرعة العالية وارتفاع السحب العالي.



شكل (4.1) – جهاز التجربة

الفصـــــل الرابع

4.0 دراسة مختبريه (Experimental study)

4.1 جهاز التجربة (Experimental Equipment):

جهاز المستخدم شكل رقم (4.1) تم تصنيفه بواسطة شركة بلنت وشركاؤها المحدودة التي هي رائدة في تصنيع الأجهزة العلمية المستخدمة في تدريس الهندسة. تم تصميم أطقم الاختبـــارات هـــذه كوحدة مبسطة تسمح بدراسة خصائص مضخات الطرد المركزي.

الوحدة ذات المرحلتين تتكون من طلمبتين متشابهتين يمكن تشغيلها إمـــا علـــى التـــوالي أو التوازي، وبالتالي السماح بدراسة مضخة متعددة المراحل. المضخة ذات المرحلتين هي ذات تـــصميم مبسط وتتكون من عجلة (Impeller) لها ريش مقوسة للإمام تعطي أقصى ضغوط تـــصريف علـــى حساب فقد معين للكفاءة. تدار العجلة محامل كروية وهنالك مانع تسرب للعمود يتكون من ياي حلقـــي كربوني يتم تحميله ضد وجه مستو ساكن.

كل مضخة يتم إدارتها بواسطة موتور دينامومیتر DC متغير السرعة يحمل علـــى محامـــل محور ارتكاز ويتم تزويده بميزان زنبركي لقياس العزم وعداد لقياس السرعة. يتم أخذ القدرة من التيار التردـي الرئيسي (AC Mains) بواسطة متحكم تيرستور (thyristor controller)

4.2 مواصفات جهاز التجربة:

يتم حمل وحدتا المضخة على تروللي يحمل مستودع للماء.

يتم سحب الماء خلال صمام رداخ (Foot vale) ومصفاة (strainer)، ويتم أخذ تصريف المضخة خلال مقياس فنشوري إلى المستودع مرة أخرى.

هنالك صمام على جانب التصريف المشترك وهنالك صمام على كل جانب سحب يتم تركيبهما بغرض التحكم في ضغوط السحب والتصريف. يتم بيان الضغوط بواسطة مقاييس محملة باليايات. هنالك صمام باتجاهين يتم تركيبه على جانب التصريف لمضخة المرحلة الأولى الذي يمكن بواسطته توجيه تصريف المضخة إلى مضخة المرحلة الثانية. وبالتالي فأن هذا الصمام يسمح للمضختين أن تكونا إما في ترتيبه التوالي أو التوازي.

كمية السريان يتم قياسها بواسطة مقياس فنشوري من بيرسيكس شفاف (transparent Perspex).

4.3 خطوات التجربة (Experimental procedures):

4.3.1 خطوات معايرة مقياس الفنشوري:

1. يتم فصل ماسورة تصريف الخرج أسفل مقياس الفنشوري (عند مدخلها إلى مستوى الماء)، ويتم إعادة توجيه السريان إلى معايرة (weighing tank).
2. للحفاظ على منسوب الماء في المستودع عند معايرة الفنشوري يتم توصيل خرطوم ماء من صنبور ماء في الشبكة الرئيسية إلى المستودع.
3. يتم تسجيل الزمن المطلوب "t" لتصريف ماء مقداره 50 لتر (e.g $50.000cm^3$ في خزان قياس خطي) ويتم أيضا أخذ قراءة السمت المقابل h في مانوميتر شكل حرف U.
4. يتم تكرار الخطوة (3) عاليه عند أحد عشر موضعا لتغطية مدى معدل السريان الكامل ويتم توضيحها في ملاحق جدول رقم (أ-1)

5. معدل السريان "Q" يتم حسابه من:-

$$Q(L/\sec) = \frac{\text{حجم الماء الذي يمثل 50 لتر (V)}}{\text{الزمن المطلوب لتصريف هذا المقدار (t)}}$$

6. يتم رسم منحنى $\sqrt{h}$ ضد معدل السريان (Q) ومنه يمكن حساب المقدار الثابت C (i.e ميل المنحنى= C) كما هو واضح في ملاحق الشكل رقم (ب – 1).

$$Q = C\sqrt{h}$$

4.3.2 خطوات اختبار المضخات:

يجب قياس أربعة لتقييم أداء المضخة هي العلو H، معدل السريان Q ، قدرة الدخل P_i ، والسرعة N.

الخطوات التي يجب إتباعها لأخذ نقطة اختبار مفردة لمضخة. تكون كالأتي:

1. يجب تشغيل المضخة لثوان قليلة قبل أخذ أي قراءات وذلك لضمان حالات مستقرة، وهذا يجب إتباعه كل مرة عند أخذ قراءة مفردة.
2. يتم تسجيل ضغوط السحب والتصريف.
3. يتم قراءة العزم على الموتور بعد ضبط مستوى الميزان الزنبركي (i.e عند تطابق نقطة ذراع العزم مع المؤشر الثابت).
4. يتم تسجيل سرعة المضخة كما مبين بالعداد الإلكتروني.
5. يتم قراءة مانوميتر مقياس الفنشورى.

4.3.2.1 قائمة الاختبارات التي يمكن إجراؤها:

مستخدما الخطوات الموصوفة يمكن إجراء اختبارات الأداء التالية:

A. أداء المضخة الأولى عند السرعة القصوى 3000rev/min وعند سرعة متوسطة مقدارها 2000rev/min.

B. أداء المضختان على التوالي وعلى التوازي عند السرعة القصوى 3000rev/min.

C. الخصائص اللابعدية للمضخة المفردة الأولى. في هذا الاختبار يجب أن يحافظ على ضغط السحب ثابتا في المقدار ويتم أخذ القراءات عند ضغوط تصريف مختلفة عند نفس السرعة. يتم إجراء الاختبار عند مدى واسع من السرعات، بالتالي يمكن الحصول على عائلة من منحنيات الأداء (characteristic curves).

D. تأثير ضغط السحب المتغير على أداء المضخة. هذا الاختبار يتم إجراؤه على مضخة المرحلة الأولى المفردة عند السرعة القصوى. في بداية الاختبار يكون صمام السحب مفتوحا تماما بعدها يتم خفض السحب تدريجيا بغلق صمام السحب بينما يتم ضبط التصريف بحيث أن مجموع ضغط السحب وضغط التصريف يبقى ثابت المقدار.

4.4 نماذج العمليات الحسابات:

4.4.1 إختبار الأداء (A):

يتم توضيح القراءات المأخوذة من الجهاز فيما يلي:-

1. عند سرعة متوسطة مقدارها 2000rev/min:

$$h = 37mm\,Hg,\ F = 2.9N,\ p_2 = p_d = 0.14bar,\ p_1 = p_s = 0.14bar$$

حيث p_1 = ضغط السحب ، p_2 = ضغط التصريف، h = عمود الضغط التفاضلي بالـ mm زئبق.

يتم حساب معدل السريان الحجمي بالمعادلة:-

$h = 37mm\,Hg,\ F = 2.9N,\ p_2 = p_d = 0.14bar,\ p_1 = p_s = 0.14bar$

حيث p_1 = ضغط السحب ، p_2 = ضغط التصريف، h = عمود الضغط التفاضلي بالـــmm زئبق.

يتم حساب معدل السريان الحجمي بالمعادلة:-

$$Q = C\sqrt{h}$$
$$= 0.2\sqrt{37} = 1.22\,Liter/\sec$$

وحساب قدرة الدخل (w_1) بالمعادلة:

$$w_1 = \frac{F \times N}{K}$$ قدرة الدخل

حيث

F= القوة على الميزان الزنبركي

N= سرعة الدوران بالـــ (rev/min)

K= ثابت الديناموميتر = 53.35

بالتالي قدرة الدخل،

$$w_1 = \frac{2.9 \times 2000}{53.35} = 109w$$ قدرة الدخل

ويتم حساب القدرة الايدروليكية (w_2) بالمعادلة:

$$w_2 = Q \times p$$ القدرة الهايدروليكية

حيث p= الضغط الكلي = ضغط السحب + ضغط التصريف $p_d + p_s$

$$\therefore w_2 = 1.22 \times 10^{-3} \times 28 \times 10^3 = 34w$$

والكفاءة الإجمالية، $\eta_{overall} = \frac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}} = \frac{34}{109} = 31$

2. عند سرعة قصوى مقدارها 3000rev/min:

$h = 77mm\,Hg,\ p_2 = p_d = 0.36bar,\ p_1 = p_s = 0.24bar,\ Q = 0.2\sqrt{77} = 1.75liter/s$

$F = 6.2\,N$

وبالتالي قدرة الدخل (w_1)،

والكفاءة الإجمالية ($\eta_{overall}$)

$$\eta_{overall} = \frac{105}{349} = 30\%$$

4.4.2 اختبار الأداء (B):

1. في حالة التوازي:

$$Q = 0.2\sqrt{225} = 3l/s,\ N = 3000rev/\min,\ H = 225mm\ Hg$$

i. المضخة الأولى:

$$F = 502N, p_d = 0.84bar, p_s = 0.17bar$$

بالتالي قدرة الدخل (w_1)،

$$\text{قدرة الدخل } w_1 = \frac{F \times N}{K} = \frac{5.2 \times 3000}{53.35} = 292.4w$$

والضغط الكلي (P)،

$$P = P_s + P_d = (0.17 + 0.84)10^2 = 101kN/m^2$$

ii. المضخة الثانية:

$$F = 505N, P_d = 0.82bar, P_s = 0.18bar$$

بالتالي قدرة الدخل (w_1)

$$w_1 = \frac{F \times N}{K} = \frac{5.5 \times 3000}{53.35} = 309.3w$$

الضغط الكلى (P)

$$P = (0.18 + 0.82) \times 10^2 = 100kN/m^2$$

بالتالي متوسط الضغط الكلي،

$$\text{متوسط الضغط الكلي} = \frac{100 + 101}{2} = 100.5kN/m^2$$

وقدرة الدخل الكلية،

$$\text{قدرة الدخل الكلية} = 292.4 + 309.3 = 601.7w$$

بالتالي يمكن حساب الهايدروليكية بالمعادلة،

$$w_2 = P_{mt} Q$$

حيث،

P_{mt} = متوسط الضغط الكلي.

$$\text{متوسط الضغط الكلي} = \frac{100+101}{2} = 100.5 kN/m^2$$

وقدرة الدخل الكلية،

$$\text{قدرة الدخل الكلية} = 292.4 + 309.3 = 601.7 w$$

بالتالي يمكن حساب الهيدروليكية بالمعادلة،

$$w_2 = P_{mt} Q$$

حيث،

P_{mt} = متوسط الضغط الكلي.

عليه،

$$w_2 = 100.5 \times 3 = 301.5 w$$

والكفاءة الإجمالية ،

$$\eta_{overall} = \frac{301.5}{601.7} = 50.1\%$$

2. في حالة التوالي:

$$Q = 0.2\sqrt{130} = 2.28 L/s \ , N = 3000 rev/\min \ , h = 130 mm\,Hg$$

i. لمضخة المرحلة الأولى:

$$F = 6.7N \ , \ P_s = 0.29 bar$$

بالتالي، قدرة الدخل (w_1)،

$$\text{قدرة الدخل} = \frac{6.7 \times 3000}{53.35} = 376.76 w$$

ii. لمضخة المرحلة الثانية:

$$F = 7.1N \ , \ P_d = 0.5 bar$$

بالتالي قدرة الدخل (w_1)

$$\text{قدرة الدخل } w_1 = \frac{7.1\times 3000}{53.35} = 399.25w$$

$$\text{الضغط الكلي } P_t = P_s + P_d = (0.29+0.5)\times 10^2 = 79kN/m^2$$

$$\text{قدرة الدخل الكلي} = 376.76 + 399025 = 776w$$

$$\text{القدرة الهيدروليكية} = P_t \times Q = 79\times 2.28 = 180.12w$$

$$\text{الكفاءة الإجمالية} = \frac{180.12}{776} = 23.2\%$$

4.4.3 اختبار الأداء (c):

يتم أخذ قراءات لسرعات متباينة تتراوح فيما بين 1470rev/min إلى 3000rev/min. فمثلاً القراءات المأخوذة عن سرعة مقدارها 2800rev/min:

$$\text{السرعة بالـ rad/s} = \frac{2800\times 2\pi}{60} = 293rad/s$$

$$h = 83mm\,Hg,\ P_d = 0.33,\ P_s = 0.23bar\,(cons\tan t),\ F = 5.5N$$

$$\text{الضغط الكلي} = 56kN/m^2 = (0.23+0.33)\times 10^2 = P_s + P_d$$

$$289w = \frac{2800\times 5.5}{53.35} = \text{قدرة الدخل}\ ،\ Q = 0.2\sqrt{83} = 1.82L/s$$

ويتم حساب بعض الخصائص اللابعدية فيما يلي:-

معامل السريان:-

$$\text{معامل السريان } K_Q = \frac{Q}{ND^3} = \frac{1.82\times 10^{-3}}{293\times (0.1004)^3} = 6.14\times 10^{-3}$$

حيث Q = معدل السريان الحجمي بالـ (m^3/s).

N = السرعة بالـ (rsd/s).

D = قطر العجلة بالـــ (m).

رقم رينولرز:-

$$29.5\times10^{5}=\frac{10^{3}\times293\times(0.1004)^{2}}{1002\times10^{-6}}=\frac{eND^{2}}{\mu}$$ = (Re) رقم رينولرز

حيث e = كثافة الماء بالـــ (kg/m^3)

$1002\times10^{-6}\,kg/ms=\mu$ (يتم أخذها من جدول خواص الماء عند درجـــة حـــرارة مقدارها $20^{\circ}c$)

معامل السمت:

$$64.7\times10^{-3}=\frac{0.56\times10^{5}}{10^{3}\times293^{2}\times0.1004^{4}}=\frac{(P_1+P_2)}{eN^{2}D^{2}}=\frac{P}{eN^{2}D^{2}}=\frac{gH}{N^{2}D^{2}}=(k_H)$$

حيث P = الضغط الكلي.

H = سمت الضغط بالـــ (m).

معامل القدرة:

$$1.12\times10^{-3}=\frac{289}{10^{3}\times293^{3}\times(0.1004)^{5}}=\frac{w_1}{eN^{3}D^{5}}=(k_p)$$ معامل القدرة

4.4.4 اختبار الأداء (D):

يتم أخذ القراءات عند سرعة قصوى ثابتة مقدارها 3000rev/min وفرق ضغط ثابـــت مقـــداره 0.12bar

$0.12bar=(P_d-P_s)$ فرق الضغط ، $P_d=0.36bar$, $P_s=0.24bar$

الـــ

$Q=0.2\sqrt{77}=1.755L/s, h=77mmHg$, $F=6.2N$, $60kN/m^2$

بالتالي قدرة الدخل $w_i = \frac{3000 \times 6.2}{53.35} = 348.6w$ قدرة الدخل

والقدرة الهيدروليكية،

$$\text{القدرة الهيدروليكية} = (P_s + P_d) \times Q = 60 \times 1.755 = 105.3w$$

والكفاءة الإجمالية، $\eta_{overall} = \frac{105.3}{348.6} = 30.2\%$

4.5 النتائج المختبرية والمناقشة (Experimental results and Discussion):

4.5.1 اختبار معايرة الفنشورى:

يتم إجراء الاختبار باستخدام مضخة المرحلة الأولى المفردة فقط بينما جهاز الفنشوري مصمم حقيقة للعمل مع معدل سريان ثنائي المرحلة بالتالي فإن النتيجة (e.g ثابت الفنشوري = ميل المنحنى = 0.243) .

شكل رقم (ب – 1) لا يمكن مقارنتها مع نتيجة الجهة المصنعة التي تكون مكافئة لـــ 0.20 هذا ببساطة لأن الجهة المصنعة أجرت اختبارها على المرحلتين معا.

لم يتم إجراء الاختبار المناسب لمعايرة الفنشوري نتيجة للصعوبات التي تنشأ عند إجراء الاختبار والتي يمكن تلخيصها في الأتي:

1. الخزان الوحيد المتاح بسعة 50 لترا والمستخدم كخزان قياس وجد أن سعته صغيرة جدا و لا تتناسب مع معدل السريان العالي نسبيا لمرحلتي المضخة. أيضا القياس الخطي على الخزان ليس بالدقة الكافية.
2. بما أن الجهاز وشبكة مواسيره محصورة في مساحة ضيقة، فإن نقطة إعادة توجيه السريان إلى الخزان لا يمكن عملها أسفل الفنشوري أو حتى على نقطة قريبة بقدر الإمكان كما ينصح المصنع.

3. يتم إجراء إعادة توجيه السريان باستخدام مواسير كبيرة الحجم ومفتوحة الطـرفين يتم تركيبها عند الطرف البعيد لماسورة التصريف. هذه الترتيبة ينجم عنها تـسريب عالي للماء وبالتالي نتائج خاطئة.

4. هنالك مشكلة أخرى تنشأ من حقيقة أن معدل سريان الماء في صنبور إمداد الماء من الشبكة الرئيسية المتاحة في المعمل غير كاف لإعادة ملء مستودع الجهـاز وذلـك للحفاظ على ثبات منسوب الماء للسريان المستمر.

تستخدم الجهة المـصنعة جهـاز الماسـتر (master device) e.g مقيـاس سـريان (Rotameter) لمعايرة الفنشوري. في هذه الحالة فإنه يتم توصيل الماستر على التوالي مع الفنشوري وتسجيل معدل السريان كما مبين بواسطة الماستر. مثل هذا الجهاز سيعطي بوضوح نتائج جيدة. بمـا أن التجربة لا يتوفر فيها جهاز ماستر فإن الطريقة السابقة يمكن استخدامها لإعطاء نتائج مقبولـة إذا تمت معالجة الصعوبات المذكورة عاليه.

4.5.2 إختبار الأداء (A):

بما أن المضختان متطابقتان في البنية، فإن إختبار الأداء (A) سـيكون الرئيـسي فـي الدراسة. يتم إجراء هذا الاختبار على مضخة المرحلة الأولـى المفـردة عنـد الـسرعة القـصوى 3000rcv/min وعند سرعة متوسطة مقدارها 2000rev/min.

الجداول و المخططات التي يتم الحصول عليها (ملحق جدول (أ-2)، وشـكل (ب-2)) تكون مشابهة لنتائج المصنع. الخطوط الرأسية المنظمة خلال نقطة الكفاءة القصوى هي التي تعطـي حالة التشغيل الأفضل للمضخة.

من المخطط عند السرعة القصوى، تعطي نقطة التشغيل الأفضل الخصائص التالية:

الكفاءة القصوى = 47%

سمت التشغيل الكلي = $10.7m \approx 105kN/m^2$

معدل السريان = $1.2\,L/\sec$

استهلاك القدرة = $270\,W$

عندما يتم تخفيض السرعة إلى 2000rev/min. فإن السريان والعلو سينخفضان تقريباً إلى نصف القيم عالية، بينما ستنخفض القدرة المستهلكة بصورة كبيرة وتزيد الكفاءة.

4.5.3 اختبار الأداء (B):

يتبع هذا الاختبار الحقيقة التي تقول أن ترتيبة التوازي تُعطي معدّل سريان عالي عند علو منخفض نسبياً مساوٍ تقريباً للعلو الذي يتم انجازه بمضخة مفردة بينما ترتيبه التوالي تُعطي العلو الأعلى على حساب معدّل السريان. تنشأ من هذه الخصائص أنّ كل ترتيبه يمكن استخدامها بكفاءة من وجهة نظر التطبيق. (ملحق جدول (أ-3)، وشكل (ب-3))

4.5.4 اختبار الأداء (C):

أما اختبار الخصائص اللابعدية (C) فيتم إجراؤه على مضخة المرحلة الأولى المفردة بالتخفيض التدريجي للسرعة بتثبيت ضغط السحب عند قيمة ثابتة وذلك لأن له أثر عميق في الأداء.

تُوضّح النتائج المختبرية (ملحق جدول (أ-4)، وشكل (ب-4)) أنه كلما انخفضت السرعة ينخفض معامل السريان "ϕ" ومعامل القدرة "τ" بينما يزداد معامل العلو "ψ" بالتالي فإن النتائج والمنحنيات تتبع التحليل النظري.

4.5.5 اختبار الأداء (D):

يوضح هذا الاختبار أنه كلما زاد ضغط السحب بالغلق التدريجي لصمام السحب ينخفض تبعاً لذلك معدّل السريان.

يتضح من هذا الاختبار (ملحق جدول (أ-5) وشكل (ب-5)) أن الزيادة الصغيرة تتسبب في انخفاض كبير للسريان وينتج عن ذلك زيادة في الكفاءة الهيدروليكية وعند هذا المدى الصغير يلاحظ تكوّن

فقاعات من الهواء عند جدران لفنشوري الشفاف. أما الزيادة الإضافية في ضغط السحب فينتج عنها حالة لا سريان وهذا يرجع لتكوُّن فراغ جزئي في عين العجلة.

الفصل الخامس

5.0 تعقيبات على الجهاز

(Comments on the equipment)

5.1 توافق الجهاز مع الشروط القياسية:

نظرة أخرى للجهاز توضح أنه يتوافق بصورة كبيرة مع الشفرات الدولية الموضحة في الفصل الثاني. حيث يتم إمداد الجهاز بأجهزة معيارية لقياس الكميات الأربعة المطلوبة. أيضاً وجد بالفحص أنَّ:

1. صنابير الضغط تبعد حوالي 8cm من فلنشات المضخة.
2. هنالك ماسورة مستقيمة طولها حوالي 50cm قبل الفنشورى وأخرى طولها 20cm بعد الفنشورى.

تتوافق الأرقام المذكورة عالية مع شفرات الاختبار بما أن قطر الماسورة الداخلي يساوي 3.3cm.

نلاحظ أن المضخات لا تحتاج لتنفيس بالرغم من أنها في بعض الأحيان تترك عاطلة عن العمل لفترات طويلة. ويرجع ذلك لصغر حجم الجهاز وإحكام وصلاته وقصر ماسورة السحب ووجود صمام رداخ.

5.2 معوقات إجراء الاختبارات:

الصعوبات التي تنجم عن عمل الاختبارات يمكن تلخيصها في الآتي:

1. كما ذكر سابقاً فإن تجربة معايرة الفنشورى لا يمكن أداؤها بخزان القياس المتاح ذو السعة 50 لتراً. يمكن تخطي هذه المعضلة بتوفير خزان ذو سعة معقولة.
2. هنالك صعوبة كبيرة في أخذ قراءات مضبوطة من الوحدة المحَّملة بالياي ولهذا يجب أخذ أكثر من قراءة عند كل عملية ضبط جديدة.

3. صمامات الشبكة لينة جداً، عليه يُرجى توخي الجزر في تشغيلها عند فتح أو غلـق الصمامات بالكامل.

4. قبضة الصمام ذو الاتجاهين مكسورة وبالتالي يمكن أن يكون الصمام غير مـضبوط جزئياً وعليه فإن ضبط التوالي أو التوازي لا يتم إنجازه بصورة جيِّدة.

الفصـــــل الســـادس

6.0 الخاتمة

النقاط المذكورة أدناه يمكن اعتبارها كخاتمة:

1. النتائج التي يتم الحصول عليها لجميع الاختبارات هي مقنعة جداً وتكون تقريباً مطابقـــة للتي يتم إمدادها بواسطة الشركة المنتجة.
2. اختبار معايرة الفنشورى المناسب لم يتم تنفيذه نتيجة للصعوبات التي تنشأ مـــن تنفيـــذه بالتسهيلات المتاحة في المعمل. بالتالي فإن حساب جميع معدلات السريان لاختبـــارات الأداء يتم تنفيذها باستخدام قيمة ثابتة الفنشورى المعطـــاة بواســـطة الـــشركة المنتجـــة كـــ0.02.
3. تُصرَّف المضَّخة (1.2L/s) بعلو تشغيل مقداره 10.7m عند كفاءة قـــصوى مقـــدارها 47% عندما تشتغل بالسرعة القصوى. تعتبر هذه الكفاءة منخفضة عندما يتم مقارنتهـــا بالقيم المقبولة للوحدات الصناعية (حوالي 75%) وسبب ذلك هو الحجم الصغير للماكينة الذي ينجم عنه فقودات محامل (bearing losses) حشوه (Gland) وقشرة (skin).
4. ترتيبه التوازي تعطي علو منخفض ثابت أكبر قليلاً من المضخة المفردة، لكنها تعطـــي مدى واسع لمعدلات السريان. بينما ترتيبه التوالي تعطي علواً عالياً على حساب معدلات السريان.
5. بما أن جهاز المضخة ذو سرعة متغيرة فيمكنه أن يعطي الميزان التالية:
   أ. ينخفض استهلاك القدرة.
   ب. ينخفض الضغوط التفاضلية للتشغيل.
   ت. تقلَّل من المضخات المطلوبة.
   ث. يُسهل عملية التركيب.

6. عموماً فإن الماكينة سهلة التشغيل وذات كفاءة عالية بحيث يمكن الاعتماد عليها.

المراجع

1. J. F. Douglas, "solution of problems in Fluid mechanics", volume I and II.
2. Mechanical Hand book.

جدول رقم (أ-1)

معايرة مقياس الفنشورى

السرعة (rev/min)	حجم السريان المصرف (لتر)	الزمن (ثانية)	علو التصريف h (mmHg)	$\sqrt{h}$	معدل السريان الحقيقي (L/s)
3000	50	23.4	95	9.75	2.137
2875	50	26.4	85	9.22	1.894
2700	50	28.2	77	8.78	1.773
2560	50	30.0	71	8.43	1.667
2407	50	32.4	64	8.00	1.543
2200	50	36.6	56	7.48	1.366
2000	50	39.0	48	6.93	1.282
1850	50	40.8	43	6.56	1.225
1770	50	43.8	41	6.40	1.142
1600	50	46.8	36	6.00	1.068
1400	50	57.0	31	5.57	0.088

جدول (أ–2) اختبار الأداء (A)

مسلسل	ضغط السحب P_1 (bar)	ضغط التصريف P_2 (bar)	الضغط الكلي $\frac{(KN)}{m^2}$	الحمل F (N)	السرعة (rev/min)	h (mmHg)	Q liter/sec	قدرة الدخل W1 (Watt)	القدرة الهيدروليكية W2 (Watt)	الكفاءة الإجمالية (%)
1	0.14	0.14	28	2.9	2000	37	1.22	109	34	31
2	0.16	0.16	32	2.8	2000	32	1.13	105	36	34
3	0.18	0.18	36	2.7	2000	28	1.06	101	38	38
4	0.20	0.20	40	2.6	2000	24	0.98	98	39	40
5	0.24	0.24	48	2.1	2000	16	0.80	79	38	49
6	0.26	0.26	52	1.9	2000	10	0.63	71	33	46
1	0.24	0.36	60	6.2	3000	77	1.75	349	105	30
2	0.26	0.38	64	6.1	3000	74	1.72	343	110	32
3	0.28	0.40	68	6.0	3000	73	1.71	337	116	35
4	0.32	0.44	79	5.9	3000	67	1.64	332	125	38
5	0.36	0.48	84	5.6	3000	59	1.54	315	129	41
6	0.40	0.52	92	5.4	3000	52	1.44	304	132	44
7	0.46	0.58	104	4.9	3000	38	1.233	276	128	47
8	0.50	0.62	112	4.4	3000	27	1.04	247	117	48

جدول (أ–3)، اختبار الأداء (B)

مسلسل	1 st stage						2nd stage						Venture Flow						
	قدرة الدخل W_1 (watt)	السرعة (rev/min)	الحمل F(N)	ضغط السحب P_s	ضغط التصريف P_d	الضغط الكلي (Pd+Ps) KN/m^2	السرعة (rev/min)	الحمل F(N)	ضغط السحب bar	ضغط التصريف bar	الضغط الكلي Pd+Ps KN/m^2	قدرة الدخل W_1 (watt)	h mmHg	Q L/s	Q L/hour	الضغط الإجمالي (KN/m^2)	قدرة الدخل الإجمالي w_1 watt	القدرة الهيدروليكية w_2 watt	الكفاءة %
1	292.4	3000	5.2	0.17	0.84	101	3000	5.5	0.18	0.82	100	309	225	3.0	10800	1005	601.69	301.5	50.1
2	269.9	3000	4.8	0.15	0.935	108.5	3000	5.3	0.16	0.95	111	298	190	2.76	9936	109.75	567.94	302.91	53.3
3	253	3000	4.5	0.13	1.03	116	3000	4.9	0.14	1.06	120	275	147	2.43	8730	1181.00	528.58	286.15	54.1
4	230	3000	4.1	0.11	1.13	124	3000	4.75	0.11	1.18	129	267	110	2.09	7551	126.5	497.65	265.4	53.3
5	185.6	3000	3.3	0.09	1.21	130	3000	4.0	0.1	1.205	130.5	224	67	2.64	5893	130.25	410.49	213.22	51.9
6	149.1	3000	2.65	0.07	1.3	173	3000	3.2	0.07	1.30	137	179	24	0.979	3527	137.0	428.95	134.12	40.8
1	376	3000	6.7	0.29			3000	7.1		0.15	79	399	130	2.28	8209	79	776.01	180.12	23.2
2	365.5	3000	6.5	0.27			3000	6.7		0.70	97	376	118	2.17	7821	97	742.27	210.78	28.4
3	348.6	3000	6.2	0.22			3000	6.5		1.00	122	365	104	2.04	7343	122	714.15	248.76	34.8
4	326.2	3000	5.8	0.20			3000	6.2		1.47	167	348	84	1.83	6599	167	674.15	306.11	45.4
5	292	3000	5.2	0.17			3000	5.9		1.75	192	331	70	1.67	6024	192	624.18	321.22	51.5
6	269	3000	4.8	0.14			3000	5.5		2.00	214	309	55	1.48	5340	214	579.4	317.36	54.8

جدول (أ-4) ، اختبار الأداء (C)

ρ = 1000 Kg/m^2

μ = 1002* 10^{-6} Kg/m.s

مسلسل	السرعة (rev/min)	السرعة (rad/s)	ضغط السحب P_1 (bar)	ضغط التصريف P_2 (bar)	العلو h (mmHg)	الحمل F (N)	الضغط الكلي (P_1+P_2) (KN/m^2)	معدل السريان Q (liter)/sec	قدرة الدخل W_1 (watt)	معامل السريان $\emptyset = Q*10^3 / ND^3$	رقم رينولوز $R = PND^2/\mu$	معامل السمت $= (P2+P1) * 10^3 / eN^2D^2$	معامل القدرة $\pi = W/PN^3D^5$
1	3000	214	0.23	0.38	96	6.5	61	1.96	366	$6.16*10^{-3}$	$31.6*10^5$	$61.3*10^{-3}$	$1.165*10^{-3}$
2	2800	293	0.23	0.33	83	5.5	56	1.82	289	$6.13*10^{-3}$	$29.5*10^5$	$64.0*10^{-3}$	$1.130*10^{-3}$
3	2700	283	0.23	0.3	76	5.1	53	1.74	258	$6.08*10^{-3}$	$28.5*10^5$	$65.8*10^{-3}$	$1.163*10^{-3}$
4	2600	272	0.23	0.26	69	4.8	49	1.66	234	$6.02*10^{-3}$	$27.4*10^5$	$65.6*10^{-3}$	$1.136*10^{-3}$
5	2500	262	0.23	0.24	63	4.5	47	1.59	211	$6.01*10^{-3}$	$26.4*10^5$	$68.0*10^{-3}$	$1.152*10^{-3}$
6	2400	251	0.23	0.22	57	4.2	45	1.51	189	$5.94*10^{-3}$	$25.25*10^5$	$70.0*10^{-3}$	$1.167*10^{-3}$
7	2300	241	0.23	0.19	51	3.75	42	1.43	162	$5.86*10^{-3}$	$24.25*10^5$	$71.8*10^{-3}$	$1.164*10^{-3}$
8	2200	230	0.23	0.17	45	3.4	40	1.34	140	$5.75*10^{-3}$	$23.1*10^5$	$74.8*10^{-3}$	$1.161*10^{-3}$
9	2000	209	0.23	0.12	35	2.9	35	1.18	109	$5.75*10^{-3}$	$21.0*10^5$	$79.2*10^{-3}$	$1.160*10^{-3}$
10	1900	199	0.23	0.1	30	2.6	33	1.1	93	$5.46*10^{-3}$	$20.0*10^5$	$82.7*10^{-3}$	$1.152*10^{-3}$
11	1750	183	0.23	0.06	23	2.2	29	0.96	72	$5.18*10^{-3}$	$13.4*10^5$	$85.6*10^{-3}$	$1.150*10^{-3}$
12	1660	174	0.23	0.05	19	109	28	0.87	59	$4.95*10^{-3}$	$17.5*10^5$	$92.0*10^{-3}$	$1.105*10^{-3}$
13	1540	161	0.23	0.02	14	1.65	25	0.75	48	$4.60*10^{-3}$	$16.2*10^5$	$95.4*10^{-3}$	$1.113*10^{-3}$
14	1470	154	0.23	0	11	1.5	23	0.66	41	$4.24*10^{-3}$	$15.5*10^5$	$96.3*10^{-3}$	$1.1105*10^{-3}$

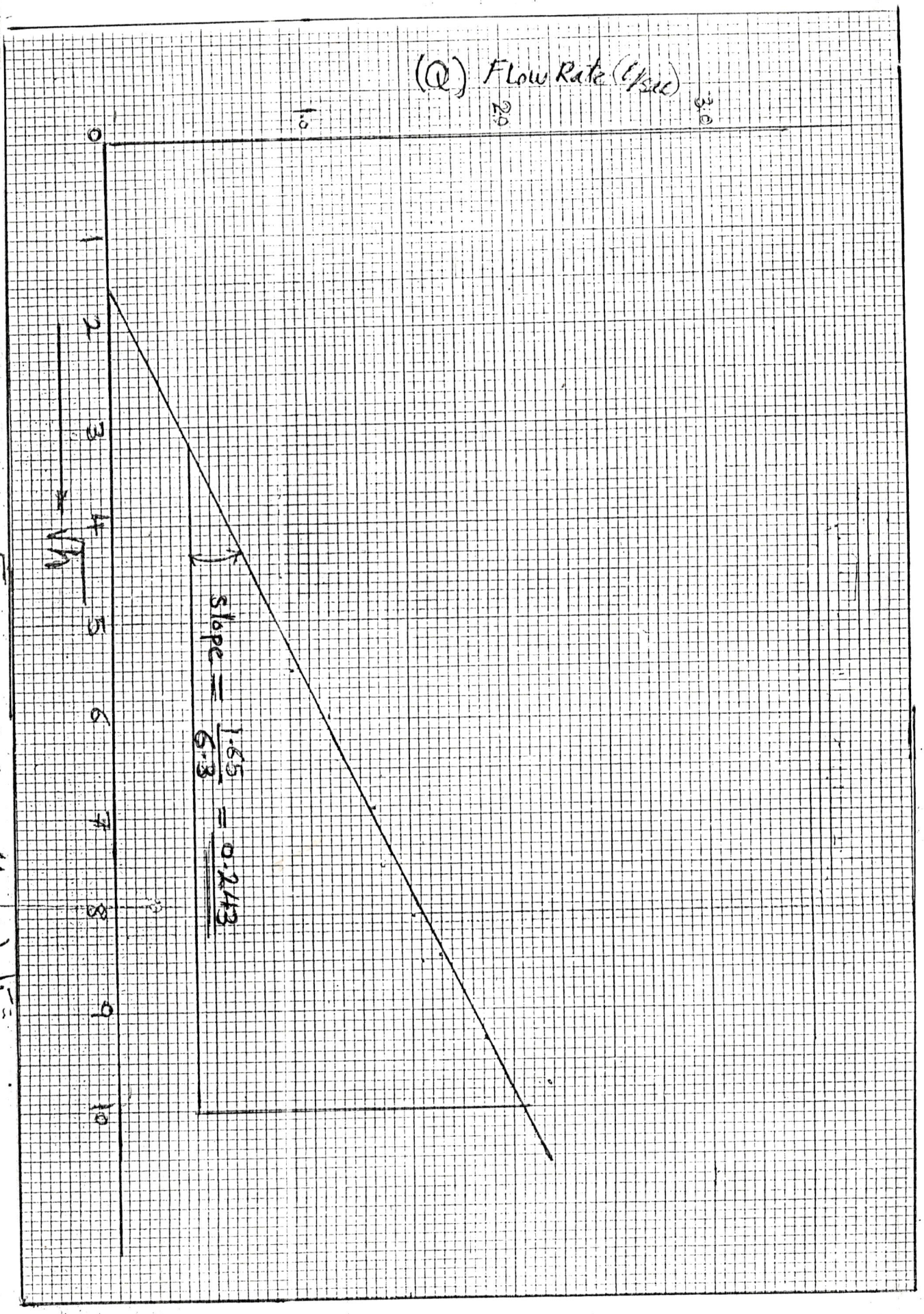
جدول (أ-5)، اختبار الأداء (D)

قطر العجلة D = 0.100 4(m)

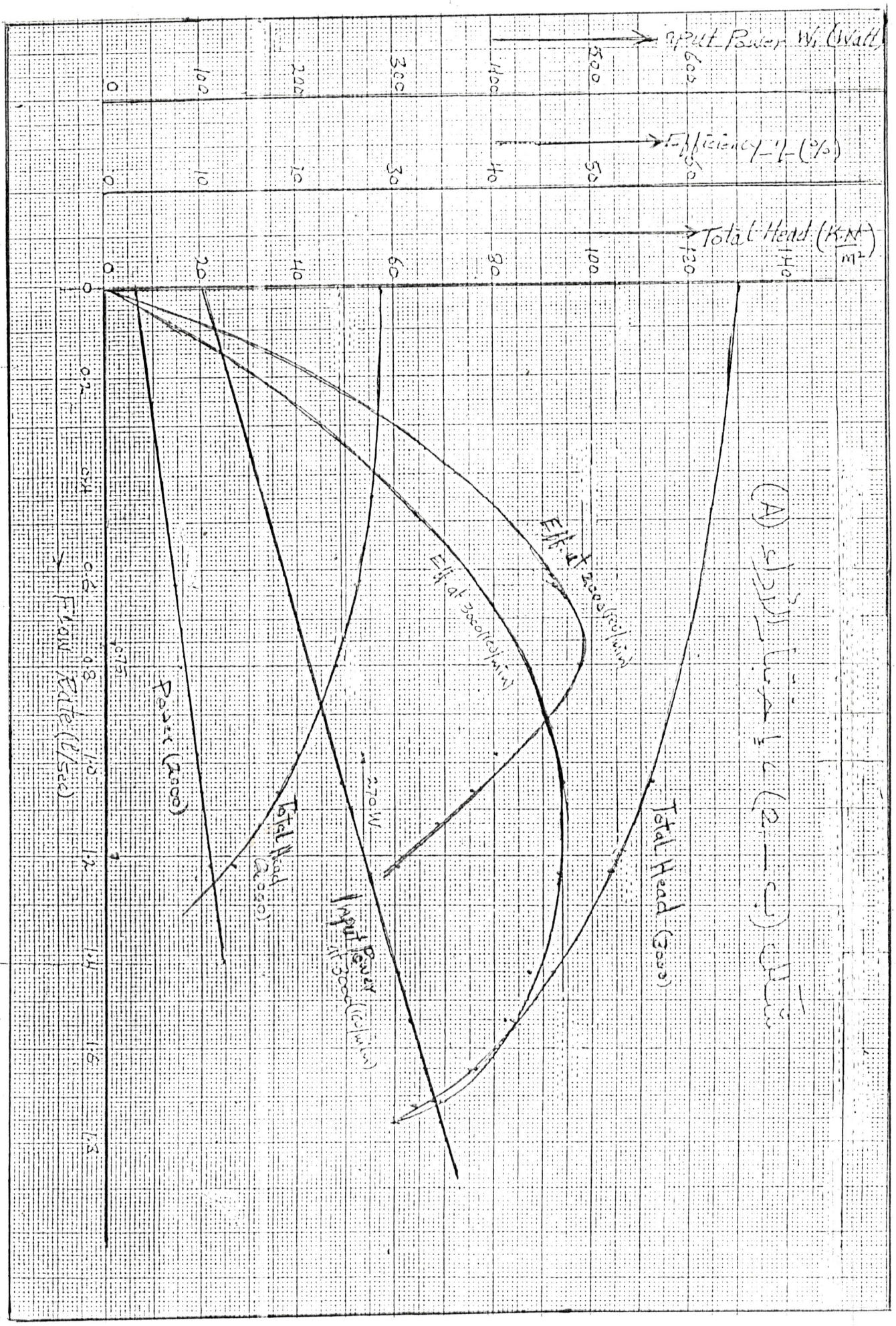
معاير الفيشوري Q = 0.2 ✓h (L/sec)

ثابت الديناموميتر K = 53.35

ضغط السحب P_1	ضغط التصريف P_2 (bar)	فرق الضغط P_2-P_1	الضغط الكلي P_1+P_2	الحمل F	السرعة N	الفيشوري		$W_1=\frac{FN}{K}$	$W_2=(P_1+P_2)Q$	الكفاءة
(bar)	(bar)	(bar)	(KN/m^2)	(N)	(rev/min)	H(mmHg)	Q(L/sec)	(Watt)	(Watt)	(%)
0.24	0.36	0.12	60	6.2	3000	77	1.755	105.3	348.6	30.2
0.26	0.38	0.12	64	6.1	3000	74	1.72	110.1	343.0	32.1
0.28	0.40	0.12	68	6.0	3000	73	17.1	116.3	337.4	34.5
0.32	0.44	0.12	67	5.9	3000	67	1.64	124.6	331.8	37.6
0.36	0.48	0.12	84	5.6	3000	59	1.54	129.4	315.0	41.1
0.24	0.52	0.12	92	5.4	3000	52	1.44	132.4	303.7	43.6
0.46	0.58	0.12	104	4.9	3000	38	1.233	128.2	275.5	46.5
0.50	0.62	0.12	112	4.4	3000	27	1.04	116.5	247.4	47.1

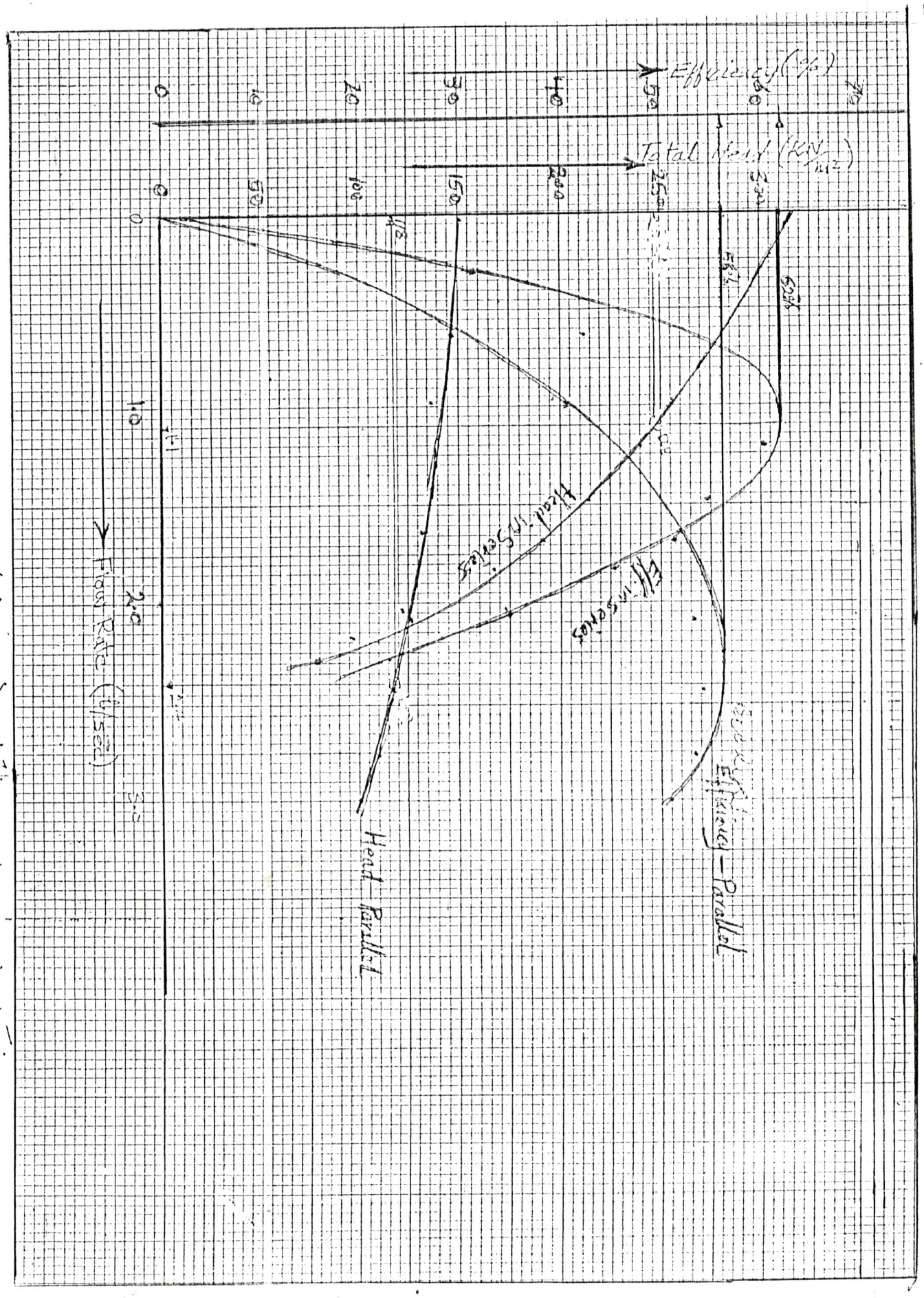


شكل (ب-1) - منحنى Q ضد $\sqrt{h}$

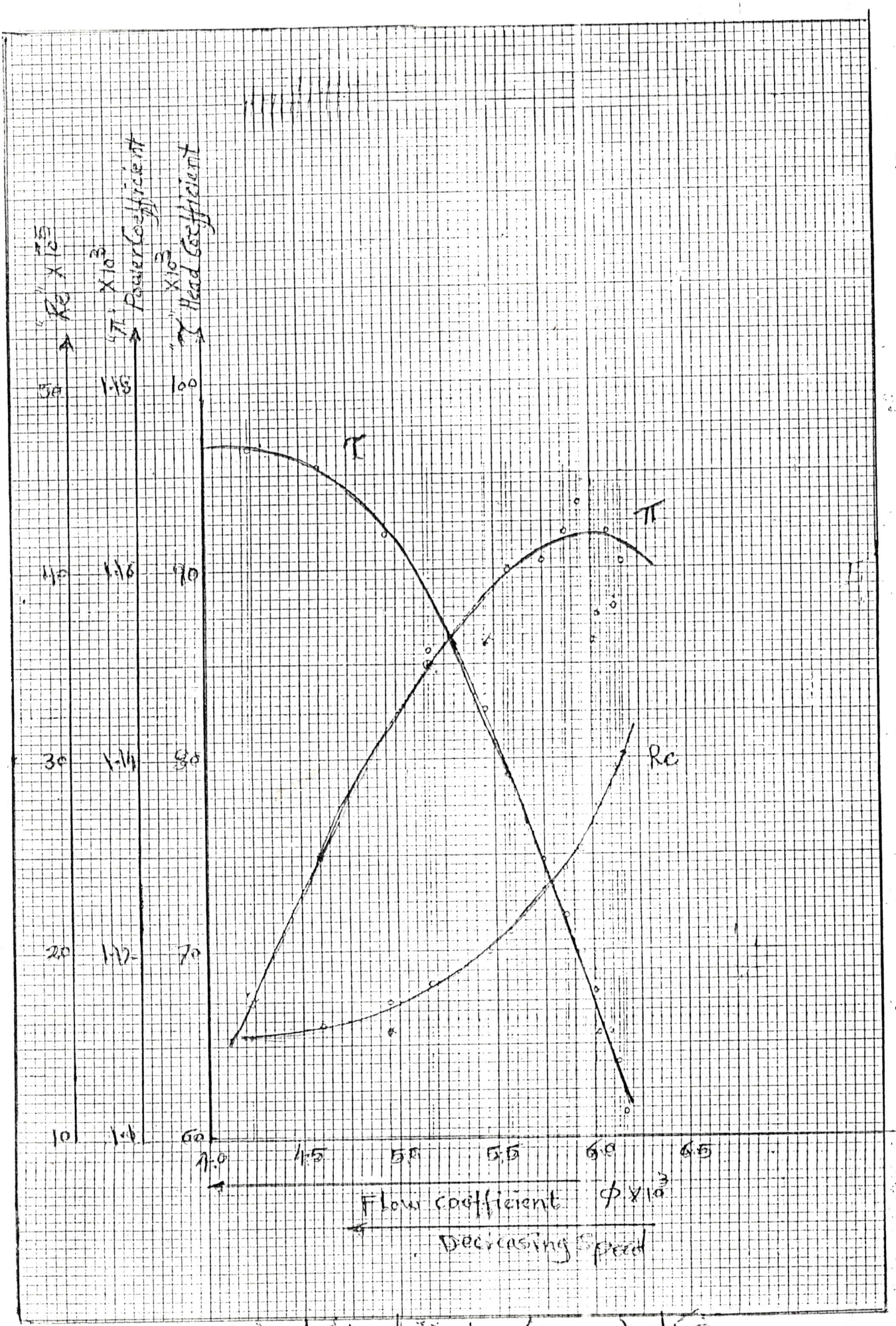


شكل (ب – 2) ، أ منحنيات الأداء (A)

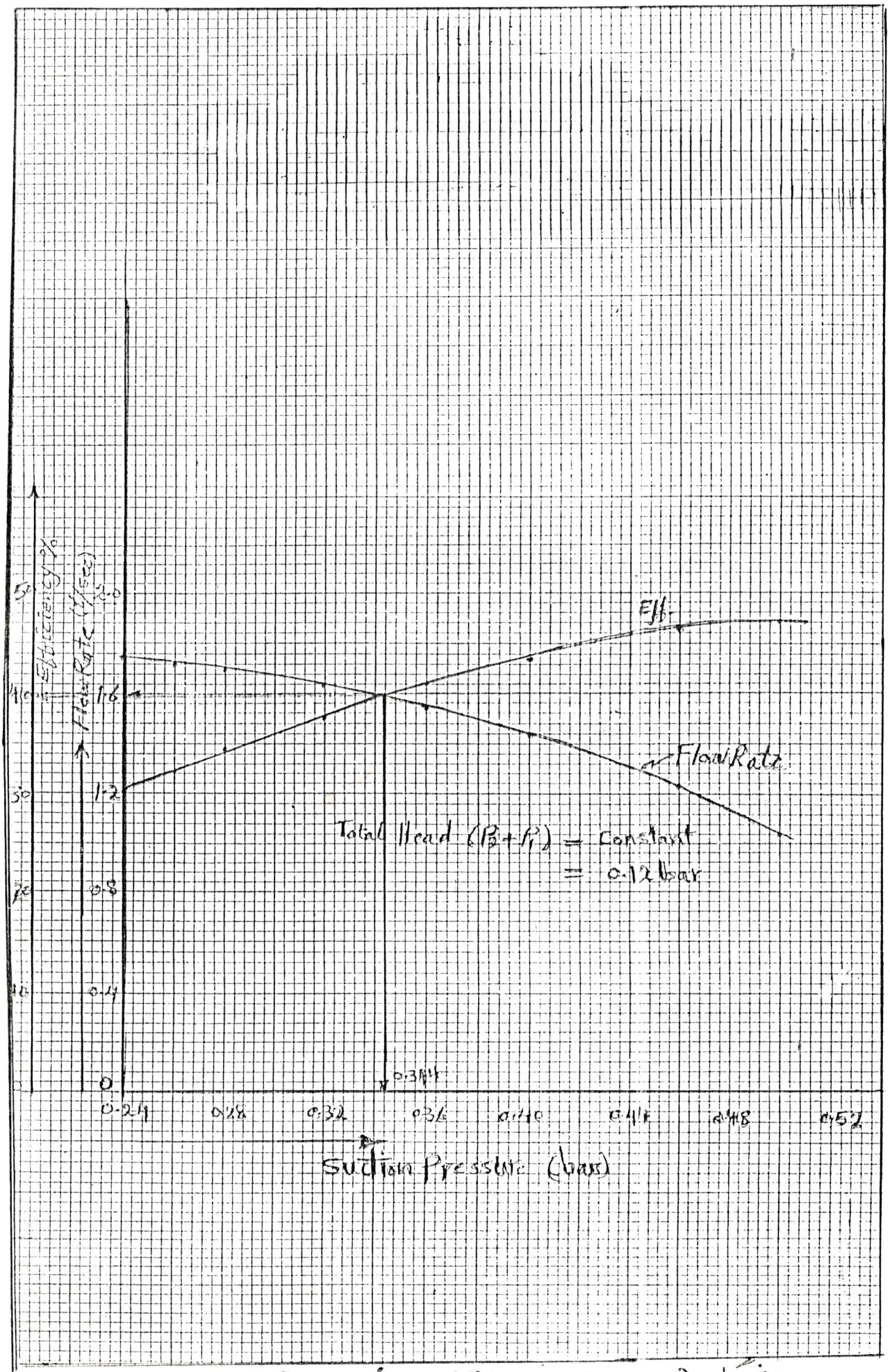
(A) أداء المضخة (ب – 2) ، أ منحنيات



شكل (ب – 3) ، 1/2 هيدار الأدراء (B)



شكل (ب-٤) - إحتبار الأداء (c)



شكل (ب – 5) ، إختبار الأداء (D)