

كتاب ماكينات هيدروليكية (1)  
المضخّات الترددية ومضخّات السريان نصف القطري  
والمحوري

تأليف

دكتور أسامة محمد المرضي سليمان خيال  
أستاذ مشارك، قسم الميكانيكا، كلية الهندسة والتقنية، جامعة وادي النيل

مايو 2020 م

## شكر وعرfan

الشكر والعرfan لله والتبريكات والصلوات على رسوله وخادمه محمد وعلى آله وصحابه وجميع من تبعه إلى يوم القيامة.

لذكرى كُلي من أمة الغالية خضرة درار طه، وأبي العزيز محمد المرضي سليمان، وخالتي الحبيبة زعفران درار طه الذين تعلمت منهم القيمة العظيمة للعمل واحترام الوقت وترتيبه وتدبيره.

إلى زوجتي الأولى نوال عباس عبد المجيد وبناتي الثلاث رؤى، روان وآية تقديراً لحبهم وصبرهم ومثابرتهم في توفير الراحة والسكون خاصةً عندما تتعقد وتتشابك الأمور.

إلى زوجتي الثانية لمياء عبد الله علي فزاري التي مثّل حبها وتضرعها إلى الله الزخم الذي دفعني للمسير في طريق البحث والمعرفة الشائك.

أهدي هذا الكتاب لذكرى كُلي من بروفييسور صابر محمد صالح وبروفييسور الفاضل آدم عبد الله وبروفييسور مشارك عبد الجليل يوسف العطا وبروفييسور مشارك محي الدين إدريس حربة وبروفييسور مشارك هاشم احمد علي الهاشمي وبروفييسور مشارك صلاح احمد علي، والاستاذة اشراقة صالح عبد الله صالح، والاستاذة انتصار عبده الذين ساهموا في تأسيس الصرح الشامخ كلية الهندسة الميكانيكية عطبرة، رحمهم الله جميعاً وأسكنهم فسيح جناته مع الصديقين والشهداء وحسن أولئك رفيقاً.

يؤدّ الكاتب أن يتقدم بالشكر أجذله لكل من ساهم بجهده وفكره ووقته في إخراج هذا الكتاب بالصورة المطلوبة ويخص بذلك الزملاء الأساتذة بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة وادي النيل، وأيضاً الأخوة الأساتذة بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة البحر الأحمر وجامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا.

الشكر والتقدير والعرfan للبروفييسور محمود يس عثمان الذي ساهم بقدر كبير في مراجعة وإعادة مراجعة محتويات الكتاب.

أهدي هذا الكتاب بصفة أساسية لطلاب دبلوم وبكالوريوس الهندسة في جميع التخصصات خاصة طلاب قسم الهندسة الميكانيكية حيث يستعرض هذا الكتاب علم وتكنولوجيا المضخات الترددية ومضخات الطرد المركزي والسريان المحوري.

وأعبر عن شكري وامتناني إلى المهندس **بكري على بكري** بمركز الرسالة للدراسات الإحصائية بمدينة عطبرة الذي أنفق العديد من الساعات في طباعة، مراجعة وإعادة طباعة هذا الكتاب أكثر من مرة.

أخيراً، أرجو من الله سبحانه وتعالى أن يتقبّل هذا العمل المتواضع والذي آمل أن يكون ذو فائدة للقارئ.

## مقدمة الطبعة الأولى

بحمد الله و توفيقه فقد اكملت كتاب ماكينات هيدروليكية(1) . هذا الكتاب هو الكتاب الأول في سلسلة كتب ماكينات هيدروليكية لطلاب الهندسة في تخصصات هندسة ميكانيكية ومدنية .لقد تم تأليف هذا الكتاب اثناء فترة الحجر الصحي الذي فرضته السلطات الصحية في جميع عموم دولة السودان بسبب الأنتشار الوبائي العالمي لفيروس كورونا المستجد ( Pandemic Corona Virus) أو (COVID - 19). من خلال هذا المنبر المعرفي أسأل الله العلي القدير أن يديم علي البشرية جمعاء نعمة الصحة والعافية.

الحمد لله والصلاة والسلام علي رسوله محمد صلي الله عليه وسلم وبعد:

إنّ مؤلّف هذا الكتاب إيماناً منه بالدور العظيم والمقدّر للأستاذ الجامعي في إثراء حركة التأليف والتعريب والترجمة يأمل أن يفي هذا الكتاب بمتطلبات برامج البكالوريوس والدبلوم العام والمتوسط لطلاب وفنيي الهندسة الميكانيكية وهندسة الإنتاج أو التصنيع.

يتنقّق هذا الكتاب لغويّاً مع القاموس الهندسي الموحّد السوداني، ويُعدّ الكتاب مرجعاً في مجاله حيث يمكن أن يستفيد منه الطالب والمهندس والباحث ويعتبر الكتاب مقتبساً من مذكرات مؤلّفه في تدريسه لهذا المقرر لفترة لا تقل عن عشرون عاماً.

يهدف هذا الكتاب لتأكيد أهمية استخدام المضخات في عمليات الري، نقل البترول الخام وفي العديد من المنشآت الهندسية.

يشتمل هذا الكتاب على خمسة فصول. يستعرض الفصل الأول تعريفات أساسية لآلات الإزاحة الموجبة والآلات الديناميكية الدوّارة، أنواع الآلات الهيدروليكية، مميّزات أو محدّدات الآلات الديناميكية الدوّارة على آلات الإزاحة الموجبة الترددية.

يتطرق الفصل الثاني للمضخات الترددية من حيث أنواعها وآلية تشغيلها، معامل تصريفها، مخططها البياني النظري بالأخذ في الاعتبار تأثير التسارع والاحتكاك، بالإضافة لتأثير استخدام أوعية الهواء في أداء المضخات. في نهاية هذا الفصل هنالك العديد من المسائل الإضافية في المضخات الترددية.

يتناول الفصل الثالث مضخات الطرد المركزي أو مضخات السريان نصف القطري. حيث يتضمن هذا الفصل التحليل النظري للمضخة للوصول إلى الشغل المبذول لكل وحدة وزن وعزم التدوير، السرعة المطلوبة لبداية الضخ، الكفاءات الهيدروليكية والميكانيكية والإجمالية، فقودات العجلة والغلاف الحلزوني والناشرة، السرعة النوعية ورقم النوع بالإضافة لأداء المضخة بتضمين خط المواسير. في نهاية هذا الفصل هنالك مجموعة معتبرة من المسائل في مضخات الطرد المركزي.

يتناول الفصل الرابع مضخات أو مروحيات السريان المحوري من وجهة نظر التحليل النظري واشتقاق المعادلات مشفوعاً ببعض الأمثلة المحلولة. في نهاية هذا الفصل هنالك العديد من المسائل التي باكتمال حلها يكتمل فهم وهضم هذا الفصل بصورة جيّدة.

يناقش الفصل الخامس أداء مضخات الطرد المركزي من حيث تأثير التكهف على أداء المضخة، أنواع ريش عجلات مضخات الطرد المركزي، تهيئة وتحضير المضخة، خواصها بالإضافة لمنظومة المضخة كاملة بمواسير سحبها وتصريفها. يشتمل هذا الفصل أيضاً على العديد من الأمثلة المتنوعة والمسائل التي يُرجى حلها بواسطة القارئ.

إنّ الكاتب يأمل أن يُساهم هذا الجهد المتواضع في إثراء المكتبة الجامعية داخل السودان وخارجه في هذا المجال من المعرفة ويأمل من القارئ بضرورة إرسال تغذية راجعة إن كانت هنالك ثمة أخطاء حتى يستطيع الكاتب تصويبها في الطبعة التالية للكتاب.

اللهم لا سهل إلا ما جعلته سهلاً

وأنت تجعل الحزن إذا شئت سهلاً

والله ولي التوفيق

المؤلف

د. أسامة محمد المرضي سليمان خيال

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة واي النيل

مايو 2020م

## المحتويات

الصفحة	الموضوع
ii	شكر وعرfan
iv	مقدمة الطبعة الأولى
vi	المحتويات
	<b>الفصل الأول: مقدمة</b>
1	1.1 مقدمة عامة
1	1.2 أنواع الآلات الهيدروليكية
2	1.3 مميزات الآلات الديناميكية الدوارة على آلات الإزاحة الموجبة
	<b>الفصل الثاني: المضخات الترددية</b>
4	2.1 مضخات السحب
5	2.2 المضخات القسرية
5	2.3 المضخات أحادية الفعل
5	2.4 المضخات ثنائية أو مزدوجة الفعل
6	2.5 المضخة متعددة الاسطوانات
6	2.6 معامل التصريف
7	2.7 المخطط البياني النظري، تأثير التسارع والاحتكاك
12	2.8 استخدام أوعية الهواء
17	2.9 مسائل في المضخات الترددية
	<b>الفصل الثالث : مضخات الطرد المركزي أو مضخات السريان نصف القطري</b>
22	3.1 مدخل
25	3.2 الشغل المبذول لكل وحدة وزن وعزم التدوير
28	3.3 السرعة لبداية الضخ
30	3.4 الكفاءة والفقودات
33	3.5 كفاءة الناشرة
35	3.6 السرعة النوعية

38	3.7	رقم النوع أو السرعة النوعية اللابعدية
42	3.8	أداء المضخة وخط المواسير
45	3.9	مسائل في مضخات الطرد المركزي
		<b>الفصل الرابع : مضخات السريان المحوري</b>
53	4.1	مدخل
56	4.2	مسائل في مضخات السريان المحوري
		<b>الفصل الخامس : أداء مضخات الطرد المركزي</b>
59	5.1	التكهف في مضخات الطرد المركزي
63	5.2	أنواع ريش عجلات مضخات الطرد المركزي
63	5.3	تهيئة مضخة الطرد المركزي
64	5.4	خواص مضخات الطرد المركزي
69	5.5	مسائل إضافية في أداء مضخات الطرد المركزي
70	5.6	منظومة المضخة وخط المواسير
80	5.7	مسائل متنوعة في المضخات
82	5.8	اختيار المضخة
		<b>الكتب والمراجع</b>
85		الكتب والمراجع العربية
86		الكتب والمراجع الإنجليزية

## الفصل الأول

### مقدمة

### (Introduction)

#### 1.1 مقدمة عامة (General Introduction):

الطاقة الهيدروليكية (hydraulic energy) هي الطاقة التي تتوفر في مائع ويمكن أن تكون في شكل طاقة حركة أو سرعة (kinetic energy)، طاقة ضغط (pressure energy)، طاقة وضع (potential energy)، طاقة انفعال (strain energy)، أو طاقة حرارية (thermal energy).

الآلات الهيدروليكية هي الآلات التي تحول الطاقة من هيدروليكية الي ميكانيكية (i.e. التوربينات) أو من ميكانيكية الي هيدروليكية (i.e. المضخات) وعلي هذا الاساس فإن الآلات الهيدروليكية تنقسم الي مجموعتين: **المجموعة الاولى:** وتشمل التوربينات (turbines) والمحركات (motors) وهي التي تحول الطاقة الهيدروليكية الي طاقة ميكانيكية .

**المجموعة الثانية:** وتشمل المضخات (pumps)، المراوح (fans)، النافخات (blowers)، والضاغطات (compressors) وفي هذه المجموعة تتحول الطاقة من ميكانيكية الي هيدروليكية .

تستخدم المضخات مع السوائل بينما تستخدم المراوح، النافخات والضاغطات مع الغازات. وظيفة المراوح والنافخات هي تحريك الغاز (الهواء) عند الضغط الجوي ولا تكون هناك زيادة في ضغط الغاز إلا بالقدر المطلوب لمقاومة الاحتكاك والمقاومة الخارجية بعكس الضاغطات والتي وظيفتها هي تحريك الغاز إلي داخل وعاء معين ورفع ضغط ذلك الغاز .

#### 1.2 أنواع الآلات الهيدروليكية (Types of Hydraulic Machines):

تنقسم الآلات الهيدروليكية أيضاً من حيث مبدأ التشغيل (principle of operation) إلي نوعين :

**النوع الأول:** آلات إزاحة موجبة (positive displacement machines) وفيها يتم سحب أو دفع المائع في حجم محدود بأجزاء ميكانيكية ثم يدفع المائع أو يسمح له بالانسياب خارج الحجم المذكور ثم تتكرر الدورة وعليه فإن حجم المائع في آلات الإزاحة الموجبة متغير ويكون الانسياب متقطع (intermittent) أو متراوح (fluctuating).

**النوع الثاني:** آلات ديناميكية دوارة (rotodynamic machines) في هذا النوع ينساب المائع خلال ممر حر (free passage) ويكون الانسياب مستمر (continuous). كل الآلات الديناميكية الدوارة تشتمل على جزء يسمى الدوار (rotor) أو (runner) أو مروحية (impeller) والذي يتحرك بحرية حركة دورانية مستمرة في المائع.

يمكن أن تكون المضخات والضاغطات آلات إزاحة موجبة أو آلات ديناميكية دوارة بينما تكون المراوح دائماً الات ديناميكية دوارة. التوربينات هي آلات ديناميكية دوارة أما المحركات فهي آلات إزاحة موجبة. تستخدم الموائع في بعض الأحيان كوسط لنقل الطاقة مثل الرافعة الهيدروليكية (hydraulic jack) أو القارئة الهيدروليكية (hydraulic coupling) أو محول العزم (torque converter). تقوم هذه الآلات بتحويل الطاقة من ميكانيكية إلى هيدروليكية ثم إلى ميكانيكية مرة أخرى.

### 1.3 مميزات الآلات الديناميكية الدوارة على آلات الإزاحة الموجبة:

#### (Advantages of Rotodynamic Machines over Positive Displacement Machines)

للآلات الديناميكية الدوارة بعض المحاسن مقارنة بآلات الإزاحة الموجبة وهي:

- 1- في معظم آلات الإزاحة الموجبة يكون الانسياب غير مستقر بينما يكون في الآلات الديناميكية الدوارة في ظروف تشغيل طبيعية (normal condition of operation) مستقرًا.

2- معظم آلات الازاحة الموجبة تتطلب وجود خلوص صغير (clearance) بين الاجزاء المتحركة والاجزاء المثبتة وبالتالي فهي لا تتاسب الموائع التي تحتوي على اجسام صلبة (solid particles)، أما الآلات الديناميكية الدوارة فيمكنها أن تتعامل مع موائع تحتوي على اجسام صلبة الى حد ما.

3- إذا تم قفل صمام التصريف في مضخة إزاحة موجبة مثلا فان الضغط داخل المضخة يرتفع ارتفاعا شديدا مما يتسبب في أن تتوقف المضخة عن العمل أو ينكسر بعض أجزائها، أما إذا تم قفل صمام التصريف في مضخة ديناميكية دوارة فإنّ الدوار يظل يحرك المائع داخل المضخة وتتحول الطاقة المستهلكة إلي طاقة حرارية.

## الفصل الثاني

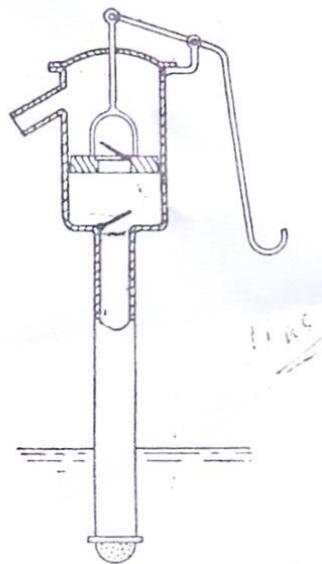
### المضخات الترددية

#### (Reciprocating Pumps)

تشتمل الآلية الترددية على مكبس أو عضو إزاحة يتحرك داخل أسطوانة يدخل إليها المائع أو يخرج خلال صمامات مناسبة. يتم إعطاء المكبس حركة ترددية بواسطة ذراع توصيل ومرفق.

#### 2.1 مضخات السحب (Suction Pumps):

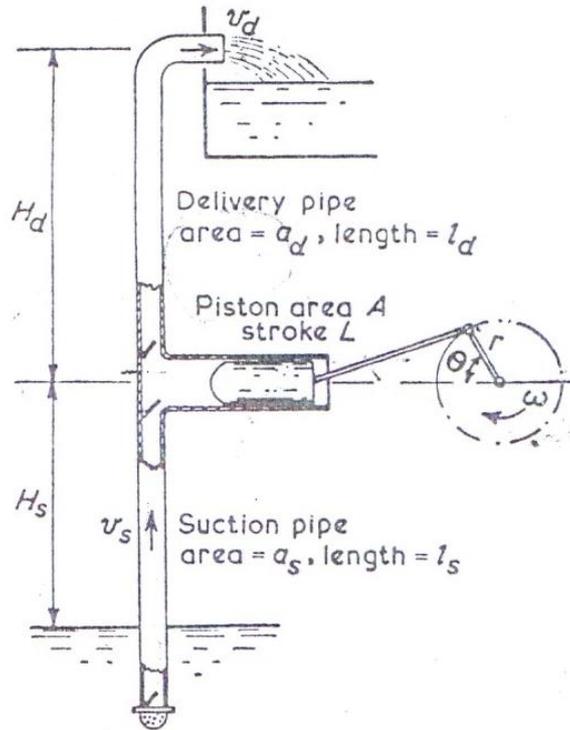
تستخدم فقط لرفع الماء إلى مستوي أسطوانة المضخة. في شوط السحب فإن حركة المكبس تكوّن فراغ جزئي (partial vacuum) في الاسطوانة ويقوم الضغط الجوي برفع السائل الموجود في الحوض السفلي الى الاسطوانة. نظرياً ، فإن العلو لا يمكن أن يزيد عن علو السائل المكافئ للضغط الجوي ، الذي هو 10.4m في حالة الماء ، ولكن إذا قلّ الضغط عن ضغط البخار فإن السائل سيغلي في الاسطوانة وتتوقف المضخة عند أداء وظيفتها. عليه يكون العلو المتاح في حالة الماء محدوداً بحوالي 8m عند درجات الحرارة العادية . الشكل (2.1) أدناه يوضح رسماً لمضخة سحب يدوية.



شكل رقم (2.1) مضخة سحب يدوية

## 2.2 المضخات القسرية (Force Pumps) :

تكون مشابهة لمضخات السحب بخلاف أن السائل على جانب أو شوط التصريف يتم دفعه قسرياً داخل ماسورة التصريف ويمكن رفعه الي أي ارتفاع مرغوب فوق خط منتصف المضخة . نفس المحددات للعلو من الحوض الي أسطوانة المضخة ستكون كما في مضخة السحب. الشكل (2.2) أدناه يوضِّح مضخة قسرية.



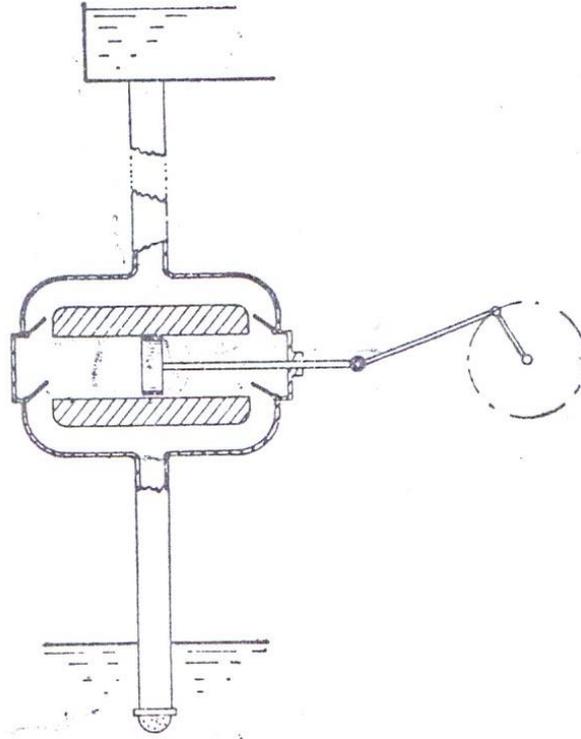
شكل رقم (2.2) مضخة ترددية قسرية

## 2.3 المضخات أحادية الفعل (Single Acting Pumps) :

تقوم بعمل شوط تصريف واحد لكل لفة للمرفق لكل أسطوانة كما موضح في الشكل (2.2) أعلاه.

## 2.4 المضخات ثنائية أو مزدوجة الفعل (Double Acting Pumps) :

تعمل شوطي تصريف لكل لفة من لفات المرفق لكل أسطوانة كما موضح في الشكل (2.3) أدناه.



شكل رقم (2.3) مضخة ثنائية أو مزدوجة الفعل

### 2.5 المضخة متعددة الاسطوانات (Multi-Stage Pumps):

لديها أسطوانتين أو أكثر. عموماً يتم استخدام ثلاثة أسطوانات مع ثلاثة أعمدة مرفق موضوعة بزاوية مقدارها 120 درجة مع بعضها البعض لإعطاء سريان مستقر.

### 2.6 معامل التصريف (Coefficient of Discharge):

إذا كانت  $A$  هي مساحة مقطع المكبس،  $L$  طول الشوط،  $n$  سرعة المرفق بالـ rev/sec و  $w$  هي الوزن النوعي للسائل، فإنَّ الوزن النظري المصْرَف في الثانية يتم كتابته كالاتي:

$$W^{\circ}_{\text{theoretical}} = w A L n$$

إذا كان  $W^{\circ}_{\text{actual}}$  هو الوزن الفعلي المصْرَف في الثانية.

فيمكن بالتالي اعطاء معامل التصريف كالاتي:

$$\text{معامل التصريف} = \frac{W^{\circ}_{\text{act}}}{w A L n} = \frac{W^{\circ}_{\text{act}}}{W^{\circ}_{\text{th}}} = \frac{\text{الوزن الفعلي المصْرَف في الثانية}}{\text{الوزن النظري المصْرَف في الثانية}}$$

وهو دائماً أقل من الواحد الصحيح نتيجة للتسريب (leakage).

يمكن إعطاء الأداء الحجمي للمضخة كالاتي:

$$100 \% \times \left\{ \frac{\text{الحجم المكتسح} - \text{الحجم المصروف}}{\text{الحجم المكتسح}} \right\} = \text{الانزلاق المئوي أو التفويت المئوي}$$

عندما يكون سمت التصريف منخفض وهناك ماسورة سحب طويلة، فإن القصور الذاتي للسائل يمكن أن يتسبب في فتح صمام التصريف باكراً بحيث ينساب السائل باستقامة خلال الأسطوانة معطياً تصريفاً أكبر من الحجم المكتسح وبالتالي معامل تصريف أكبر من الواحد الصحيح وانزلاق سالب (negative slip).

يحدث الانفصال (separation) عندما ينخفض الضغط عند وجه المكبس الى قيمة أقل من ضغط البخار وينفصل السائل عن المكبس بالبخار.

## 2.7 المخطط البياني النظري، تأثير التسارع والاحتكاك:

### (Theoretical Indicator Diagram, Effects of Acceleration and Friction)

#### مثال (2.1):

أرسم مخططاً نظرياً للضغط ضد الحجم لأسطوانة مضخة ترددية غير مُركَّب عليها أوعية هوائية (air vessels). وضح بوضوح تأثير التسارع والاحتكاك في كل من ماسورتي السحب والتصريف. أذكر الشروط التي يحتمل حدوث الانفصال عندها.

البيانات التالية تتعلق بمضخة ترددية غير مركب عليها أوعية هوائية: طول الشوط 0.3m ؛ قطر الكباس 125mm ؛ قطر ماسورة السحب 75mm ؛ طول ماسورة السحب 6m؛ سمت السحب 3m. الضغط الجوي يعادل 10.2m من الماء ويمكن افتراض حدوث الانفصال عندما يقل سمت (i. e. علو) الضغط المطلق في الأسطوانة عند 2.4m من الماء .

أحسب السرعة القصوى التي تشتغل بها المضخة إذا تمّ تقادي الانفصال.

**الحل:**

إذا كان  $H_s =$  سمت السحب ، و  $H_d =$  سمت التصريف وتم تجاهل التأثيرات الهيدروليكية لخط المواسير، فإن المخطط النظري للضغط ضد الحجم أو المخطط البياني يمكن توضيحه في الشكل (2.4-a)، يكون الضغط ثابتاً عند  $H_s$  خلال شوط السحب وعند  $H_d$  خلال شوط التصريف .

الشغل المبذول في شوط السحب = المساحة abcd

الشغل المبذول في شوط التصريف = المساحة defa

التأثيرات الهيدروليكية لمواسير السحب والتصريف ستغير هذا المخطط نتيجة لـ :

(a) تأثير تسارع وتباطؤ السريان في المواسير.

(b) الفقدوات الاحتكاكية في المواسير.

لمضخة أحادية الاسطوانة أحادية الفعل (التشغيل) يمكن حساب التأثيرات كالاتي:

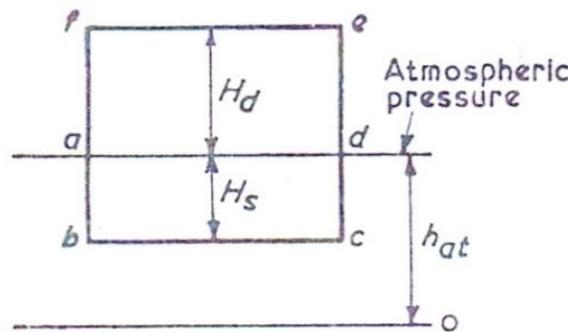
(a) السريان في ماسورة السحب يتراوح من صفر عند بداية شوط السحب الى اقصى قيمة له عند منتصف

الشوط ويرجع مرة أخرى للصفر عند نهاية الشوط.

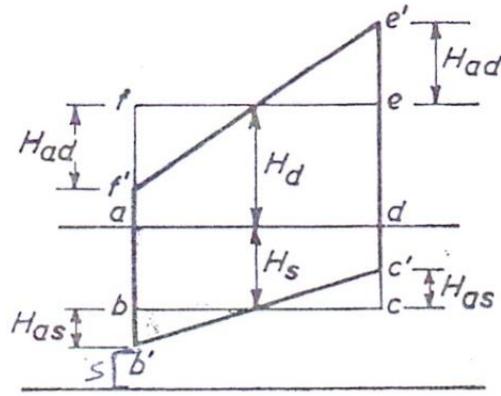
هناك سمت سحب إضافي  $H_{as}$  (additional suction head) مطلوب لتسريع السريان عند بداية الشوط

وسميت مساوٍ ومضادٍ لمضادٍ مطلوب لإرجاع السريان الى السكون عند نهاية الشوط . يتم نفس الشيء خلال شوط

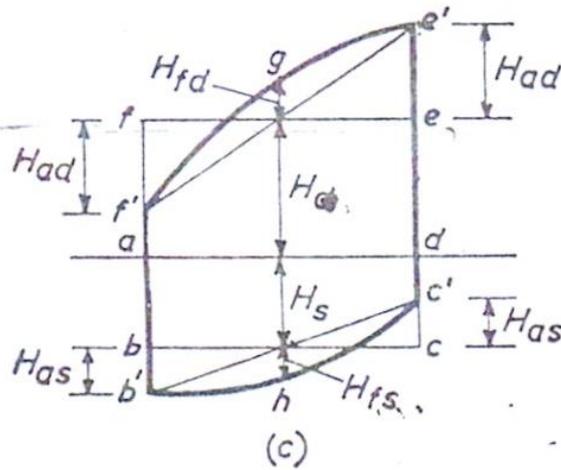
التصريف حيث يكون هناك سمت تسريع  $H_{ad}$  لماسورة التصريف.



(a) المخطط البياني للضغط ضد الحجم يتجاهل التأثيرات الهيدروليكية



(b) المخطط البياني للضغط ضد الحجم يتجاهل باعتبار تأثيرات التسارع والتباطؤ



(c) المخطط البياني للضغط ضد الحجم باعتبار تأثيرات التسارع والتباطؤ وتأثيرات الاحتكاك

شكل رقم (2.4) تأثير لتسارع والتباطؤ والفقودات الاحتكاكية

في مواسير السحب والتصريف لمضخة ترددية

بافتراض حركة توافقية بسيطة للكباس، من الشكل (2.5) أدناه إذا كانت  $\omega$  هي السرعة الزاوية للمرفق و  $\theta$

هي إزاحته من المركز،

$$\theta = \omega t$$

$$x = r - r \cos \theta = r - r \cos \omega t = r(1 - \cos \omega t)$$

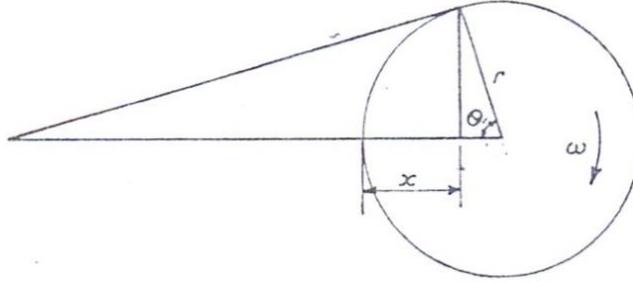
$$v = \frac{dx}{dt} = \omega r \sin \omega t$$

لأي من ماسورتي السحب أو التصريف بمساحة مقطع عرضي a،

$$، سرعة السريان في الماسورة ، v = \frac{A}{a} V = \frac{A}{a} \omega r \sin \omega t = \frac{A}{a} \omega r \sin \theta$$

$$، تسارع السائل في الماسورة ، \frac{dv}{dt} = \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \omega t = \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \theta$$

$$كتلة السائل في الماسورة = \rho a l$$



شكل رقم (2.5) الحركة التوافقية البسيطة للكباس داخل الاسطوانة

إذا كان  $H_a$  هو سمت التسارع المطلوب لإنتاج هذا التسارع.

مساحة مقطع الماسورة × الضغط نتيجة لهذا التسارع = القوة نتيجة لهذا التسارع =  $\rho g H_a a$

وبما أن:

$$\text{التسارع} \times \text{الكتلة} = \text{القوة}$$

$$\rho g H_a a = \rho a l \times \frac{A}{a} \omega^2 r \cos \theta$$

$$\therefore H_a = \frac{l}{g} \cdot \frac{A}{a} \cdot \omega^2 r \cos \theta$$

تعتمد إزاحة الكباس أيضاً علي  $\cos \theta$  بحيث إذا تم رسم  $H_a$  علي المخطط البياني فإنها ستعطي خطأ مستقيماً.

$$\theta = 0^\circ, H_{as} = \frac{l_s}{g} \cdot \frac{A}{a_s} \omega^2 r \quad \text{عند بداية الشوط:}$$

$$\theta = 90^\circ, H_{as} = 0 \quad \text{عند منتصف الشوط:}$$

$$\theta = 180^\circ, H_{as} = -\frac{l_s}{g} \cdot \frac{A}{a_s} \omega^2 r \quad \text{عند نهاية الشوط:}$$

وبرسم هذه القيم علي مخطط البيان الأصلي نحصل علي المخطط المعدل الموضح في الشكل (2.4-b). تأثير التسارع يتطلب زيادة في السحب من  $ab$  إلي  $a'b'$  عند بداية الشوط ونقصان من  $d'c$  إلى  $d'c'$  عند نهاية الشوط. السحب الزائد  $ab'$  يزيد من القابلية أو الميل للانفصال وبما أن  $H_a$  تعتمد علي  $\omega$  ستكون هنالك سرعة قصوى إذا تم تجاوزها سيحدث الانفصال.

نفس الشيء علي شوط التصريف يزداد الضغط بالمقدار

$$H_{ad} = \frac{l_d}{g} \cdot \frac{A}{a_d} \omega^2 r$$

عند بداية الشوط ويقل بنفس المقدار عند نهاية الشوط.

لاحظ أن مساحة المخطط البياني وبالتالي الشغل المبذول لا تتغير.

(b) فقد سمت الاحتكاكي في الماسورة المناسبة (سحب أو تصريف) عند أي نقطة في الشوط يعتمد علي

السرعة  $v$  ويتم حسابه من صيغة دراسي (Darcy Formula) الموضحة أدناه:

$$H_f = \frac{4fl}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{4fl}{2gd} \left( \frac{A}{a} \omega r \sin \theta \right)^2$$

وعندما يتم رسمه علي أساس الشوط فإنه يعطي تفاوت قطع مكافئ (parabolic variation).

لشوط السحب:

$$H_{fs} = 0, \theta = 180^\circ, \theta = 0^\circ$$

عند بداية ونهاية الشوط:

$$H_{fs} = \frac{4fl_s}{2gd_s} \left( \frac{A}{a_s} \omega r \right)^2 \text{ و } \theta = 90^\circ$$

عند منتصف الشوط :

نفس الشيء بالنسبة لشوط التصريف حيث يحدث الفقد الأقصى عند منتصف الشوط كما موضح أدناه:

$$H_{fd} = \frac{4fl_d}{2gd_d} \left( \frac{A}{a_d} \omega r \right)^2$$

يبذل الشغل ضد الاحتكاك وبما أن الاحداثي الرأسي المتوسط لقطع المكافئ هو  $\frac{2}{3}$  القيمة القصوى، عليه إذا

كان  $W^o$  هو الوزن المصرف لكل وحده زمن فأن:

الشغل المبذول ضد الاحتكاك:

$$H_{fs} \times W^o = \frac{2}{3} \times \frac{4fl_s}{2gd_s} \left( \frac{A}{a_s} \omega r \right)^2 \times W^o \quad \text{علي شوط السحب:}$$

$$H_{fd} \times W^o = \frac{2}{3} \times \frac{4fl_d}{2gd_d} \left( \frac{A}{a_d} \omega r \right)^2 \times W^o \quad \text{علي شوط التصريف:}$$

الشكل (2.4-c) يوضح المخطط البياني النظري الكامل بتضمين تأثيرات التسارع والاحتكاك.

$$\text{الشغل الكلي المبذول} = W^o (H_s + H_d + \frac{2}{3} H_{fs} + \frac{2}{3} H_{fd})$$

سيحدث الانفصال عند بداية شوط السحب إذا كان سمت الضغط في الاسطوانة أقل من 2.4m مطلق.

$$H = H_{at} - H_s - H_{as} - H_{fs}$$

$$H = H_{at} - H_s - \frac{l_s}{g} \cdot \frac{A}{a_s} \omega^2 r - 0$$

$$H = H_{at} - H_s - H_{as}$$

$$\text{بوضع: } H_{at} = 10.2 \text{ m}, H_s = 3 \text{ m}, H = 2.4 \text{ m}, l_s = 6 \text{ m}, \frac{A}{a_s} = \left( \frac{125}{75} \right)^2 = \frac{25}{9}$$

$$r = \frac{1}{2} L = 0.15 \text{ m}$$

$$H_{as} = \frac{l_s}{a_s} \cdot \frac{A}{a_s} \omega^2 r = \frac{6}{9.81} \times \frac{25}{9} \omega^2 \times 0.15 = 0.255 \omega^2$$

$$\therefore 2.4 = 10.2 - 3 - 0.255 \omega^2$$

$$\therefore \omega = \sqrt{18.8} = 4.34 \text{ rad/s}$$

$$= \frac{\omega \times 60}{2\pi} = \underline{\underline{41.44}} \text{ rev/min. السرعة القصوى بالـ rev / min.}$$

2.8 استخدام أوعية الهواء (Use of Air Vessels):

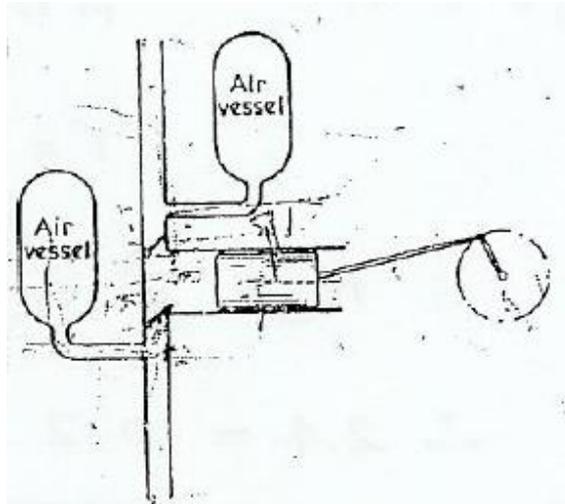
## 1. مضخة أحادية التشغيل (Single Acting Pump):

مثال (2.2):

وَصَّح سبب تركيب أوعية هواء كبيرة علي ماسورتي السحب والتصريف قريباً من الاسطوانة لمضخة ترددية. مضخة ترددية تعمل بحركة توافقيه بسيطة (S. H. M)، يمكن تركيب أوعية هواء ضخمة عليها قريباً من الاسطوانة في ماسورتي السحب والتصريف الاثنتان. مبتدئاً من المبادئ الأولية وَّصَّح أن نسبة الشغل المبذول ضد احتكاك الماسورة في حالة مضخة أحادية التشغيل مرَّكَّب عليها أوعية هواء إلي الشغل المبذول في حالة عدم تركيب أوعية هواء هو  $3/2\pi^2$ . أفترض أن معامل الاحتكاك لا يتغير مع السرعة.

الحل :

الغرض من تركيب أوعية هواء قريباً من الأسطوانة هو تنعيم السريان في ماسورتي السحب والتصريف بحيث يكون السريان متصلاً في الماسورتين خلال شوطي السحب والتصريف. في شوط التصريف عندما يُغلق صمام السحب يمر السريان في ماسورة السحب إلي وعاء الهواء (غرفة فراغية) علي ماسورة السحب، الشكل (2.6) أدناه. نفس الشيء علي شوط السحب يتم إعداد (إعانة) السريان في ماسورة التصريف بالسائل المصْرَف بواسطة هواء تحت ضغط من وعاء الهواء علي جانب التصريف الذي يستقبل جزء من التصريف من الأسطوانة علي شوط التصريف.



شكل (2.6) وعاء هواء مرَّكَّب على جانبي السحب والتصريف

من المعتاد في حالة تركيب أوعية هواء افتراض سرعات السائل في الماسورة ثابتة .

$$v_s = \frac{Q}{a_s} \text{ السرعة في ماسورة السحب}$$

$$v_d = \frac{Q}{a_d} \text{ السرعة في ماسورة التصريف}$$

حيث  $Q = \text{التصريف}$  ،  $a_s = \text{مساحة ماسورة السحب}$  ،  $a_d = \text{مساحة ماسورة التصريف}$ .

بما أن السرعة تكون ثابتة فليس هنالك سمت تسارع في المواسير إلا في طول قصير بين وعاء الهواء والأسطوانة. هذا يقلل من مخاطر الانفصال ويسمح للمضخة بالعمل عند سرعات عالية وتصريف عالي. أيضاً بما أن التصريف يكون متصلاً (continuous) فستتخفف السرعة في المواسير وبالتالي ينخفض السمت المفقود في الاحتكاك.

**لمضخة أحادية التشغيل:**

**عندما لا يتم تركيب وعاء هواء:**

من المثال (2.1) ، مفترضاً حركة توافقية بسيطة

$$v = \frac{A}{a} \omega r \sin \theta \text{ ، سرعة السريان في الماسورة}$$

$$H_{f \max} = \frac{4fl}{2gd} \left( \frac{A}{a} \omega r \right)^2 \text{ ، الفقد الأقصى للسمت في الاحتكاك}$$

وبما أن الجزء الاحتكاكي لمخطط البيان، الشكل (2.4-c)، هو عبارة عن قطع مكافئ، بالتالي:

$$\text{الشغل المبذول ضد الاحتكاك لكل وحدة وزن} = \frac{2}{3} \times \frac{4fl}{2gd} \left( \frac{A}{a} \omega r \right)^2$$

**عندما يتم تركيب أوعية هواء:**

$\text{rev / sec} \times \text{طول الشوط} \times \text{مساحة الكباس} = \text{التصريف}$

$$Q = 2r A n = 2r A \frac{\omega}{2\pi} = rA \frac{\omega}{\pi}$$

$$v = \frac{Q}{a} = \text{constant} = \frac{A}{a} \times \frac{\omega r}{\pi}$$

$$H_f = \frac{4fl}{2gd} \left( \frac{A}{a} \cdot \frac{\omega r}{\pi} \right)^2$$

نسبة الشغل المبذول ضد احتكاك الماسورة في حالة مضخة أحادية التشغيل مُركَّب عليها أوعية هواء إلى الشغل المبذول في حالة عدم تركيب أوعية هواء يتم إيجاده كالآتي:

$$= \frac{\left(\frac{1}{\pi}\right)^2}{\frac{2}{3}} = \frac{3}{2\pi^2} \frac{\text{الشغل المبذول ضد الاحتكاك باستخدام أوعية هواء}}{\text{الشغل المبذول ضد الاحتكاك بدون استخدام أوعية هواء}}$$

## 2. مضخة مزدوجة التشغيل (Double Acting Pump):

مثال (2.3):

مضخة ترددية مزدوجة التشغيل قطرها 175mm وطول شوطها 350mm تسحب من مصدر يبعد 3m أسفل مستواها وتصرف الي ارتفاع 46m فوق مستواها. كل من ماسورتي السحب والتصريف لهما قطر مقداره 100mm واطوالهما على الترتيب 6m و 75m. لكباس المضخة حركة توافقية بسيطة ويصنع 40 شوط مزدوج في الدقيقة . يتم تركيب أوعية هواء ضخمة على جانبي المضخة. يبعد وعاء الهواء علي جانب السحب 1.5m بعيداً عن الاسطوانة، بينما يبعد وعاء الهواء على جانب التصريف 4.5m بعيداً عن الاسطوانة. يكون معامل الاحتكاك للمواسير 0.008 . حدّد فرق الضغط بين جانبي الكباس عند بداية الشوط.

**الحل:**

عند بداية الشوط يكون الضغط علي أحد جانبي الكباس هو أقصى للتصريف وعلي الجانب الاخر هو اقصي للسحب، وكل منهما يتكون من الصعود (lift) + سمت التسارع لطول الماسورة بين وعاء الهواء والاسطوانة + سمت الاحتكاك لسريان منتظم في بقية الماسورة + سمت السرعة.

إذا عملت المضخة 40 شوط مزدوج في الدقيقة، بالتالي بما إنها مزدوجة الفعل .

$$Q = \text{rev / sec} \times 2 \times \text{طول الشوط} \times \text{المساحة} = \text{التصريف،}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 0.175^2 \times 0.35 \times 2 \times 40 / 60 = \underline{11.22} \times 10^{-3} m^3 / s$$

$$\text{مساحة ماسورة السحب} = a_s = \text{مساحة ماسورة التصريف} = a_d = \frac{\pi}{4} \times 0.1^2 = \underline{7.85} \times 10^{-3} m^2$$

$$= v_s = v_d = \frac{Q}{\text{المساحة}} = \frac{11.22 \times 10^{-3}}{7.85 \times 10^{-3}} = 1.43 m/s \text{ سرعة السائل في الماسورة}$$

لجانب السحب:

$$= H_s = 3m \text{ سمت السحب}$$

من المثال (2.1) ، باعتبار طول الماسورة  $l_s$  بين وعاء الهواء والاسطوانة:

$$H_{as} = \frac{l_s}{g} \cdot \frac{A}{a_s} \omega^2 r \text{ سمت التسارع ،}$$

$$l_s = 1.5m \text{ ، } \frac{A}{a_s} = \left(\frac{175}{100}\right)^2 = \frac{49}{16} \text{ ، } \omega = 2\pi \times \frac{40}{60} = 4.189 \text{ rad/s} \text{ ، } r = 0.175m$$

$$H_{as} = \frac{1.5}{g} \times \frac{49}{16} \times (4.189)^2 \times 0.175 = \underline{1.44m}$$

$$\text{سمت السرعة} = \frac{v_s^2}{2g} = \frac{1.43^2}{19.62} = \underline{0.104m}$$

$$H_{fs} = \frac{4fl_s}{d_s} \cdot \frac{v_s^2}{2g} \text{ سمت الاحتكاك لطول الماسورة } l_s \text{ حتي وعاء الهواء ،}$$

$$= \frac{4 \times 0.008 \times (6 - 1.5)}{0.1} \times 0.104 = \underline{0.15m}$$

$$= H_s + H_{as} + H_{fs} + \frac{v_s^2}{2g} = 3 + 1.44 + 0.15 + 0.104 = \underline{4.694m} \text{ سمت الكلي للسحب}$$

لجانب التصريف :

$$\text{سمت التصريف} = H_d = 46m$$

$$\frac{4.5}{g} \times \frac{49}{16} \times (4.189)^2 \times 0.175 = \underline{4.32m} \quad H_{ad} = \frac{l_d}{g} \frac{A}{a_d} \omega^2 r = \text{سمت التسارع} ،$$

$$\text{سمت السرعة} = \frac{v_d^2}{2g} = \frac{1.43^2}{19.62} = \underline{0.104m}$$

سمت الاحتكاك للماسورة خلف وعاء الهواء ،

$$H_{fd} = \frac{4fl_d}{d_d} \cdot \frac{v_d^2}{2g} = \frac{4 \times 0.008 \times (75 - 4.5)}{0.1} \times 0.104 = \underline{2.38m}$$

$$\text{السمت الكلي للتصريف} = H_d + H_{ad} + H_{fd} + \frac{v_d^2}{2g} = 46 + 4.32 + 2.38 + 0.104 = \underline{52.804m}$$

$$= 2.694 + 52.804 = \underline{57.498m} ، \text{ :. فرق سمت الضغط بين جانبي السحب والتصريف}$$

## 2.9 مسائل في المضخات الترددية (Problems in Reciprocating Pumps)

1/ مضخة ترددية مزدوجة التشغيل بكباس قطره 200mm وطول شوط مقداره 0.6m وتشتغل بسرعة 20 rev/min . تُصَرِّف المضخة خلال ماسورة رئيسية قطرها 150mm وطولها 75m ( $f = 0.0075$ ) بصعود رأسي مقداره 45 m. مفترضاً الكباس يتحرك بحركة توافقية بسيطة ولا يتم استخدام وعاء هواء ، أرسم جزء المخطط البياني المرتبط بالتصريف معطياً الاسمات في الاسطوانة عند نهايات ومنتصف الشوط. تجاهل الاحتكاك عند صمام التصريف.

Ans. {62.9m, 45.96m, 27.1m}

2/ قطر الكباس لمضخة ترددية أحادية التشغيل هو 115mm وطول الشوط 230mm. لماسورة السحب قطر مقداره 90mm وطول 4.2m. إذا حدث الانفصال عند ضغط مطلق مقداره 1.2m أوجد السرعة القصوى التي تم ستعمل بها المضخة بدون حدوث انفصال إذا كانت قراءة الباروميتر 10.3m من الماء ومستوي الماء في الحوض السفلي هو 3m تحت محور أسطوانة المضخة . ما هي القدرة التي يتم صرفها في تخطي الاحتكاك عند هذه السرعة. خذ  $f$  مساويه لـ 0.01.

Ans. {83.5 rev/min, 5.5 w}

3/ مضخة ترددية أحادية التشغيل قطر كباسها يساوي 250mm وطول شوطها 450mm. قطر ماسورة التصريف هو 110mm وطولها 4.8m. إذا تحرك الكباس بسرعة توافقيه بسيطة أوجد القدرة المدخلة لتخطي الاحتكاك في ماسورة التصريف نتيجة لتكوين وعاء هواء ضخم علي هذه الماسورة قريباً من الأسطوانة عندما تدار المضخة بسرعة 20 rev/min. خذ  $f = 0.1$ .

Ans. {215 w}

4/ مضخة ترددية مزدوجة التشغيل يتم استخدامها لرفع ماء لارتفاع 42m خلال ماسورة تصريف قطرها 75mm وطولها 81m. سرعة المضخة هي 180 rev/min، طول شوطها 250mm وقطر كباسها 115mm. إذا تم تركيب وعاء هواء ضخم في ماسورة التصريف علي بعد 6m من الأسطوانة مقاساً بطول الماسورة. حدّد الضغط المطلق في الاسطوانة عند نهاية كل شوط تصريف، بمعلومية أن معامل الاحتكاك في الماسورة يساوي 0.007. يجب افتراض أن الكباس يتحرك بحركة توافقيه بسيطة S.H.M بحيث يتم تجاهل تأثير عمود الكباس، وأن الضغط الجوي يساوي 10.2m من الماء.

Ans. {6.94 m of water}

5/ مضخة ترددية ثنائية التشغيل أحادية الأسطوانة قطرها الداخلي 190mm وطول شوطها 380mm تشتغل عند 36 شوط مزدوج في الدقيقة، سمت السحب 3.6m، وسمت التصريف 30m. طول ماسورة السحب هو 9m وطول ماسورة التصريف 60m، وقطر كل ماسورة يساوي 100mm. يتم توفير اوعية هواء علي بعد 3m علي المضخة علي جانب السحب، وعلي بعد 6m علي جانب التصريف، الاثنان مقاسان بطول خط المواشير،  $f = 0.008$ . بتجاهل فقودات المدخل والمخرج للمواشير، احسب لبداية الشوط:

(a) سمت عند طرفي الاسطوانة.

(b) الحمل على ذراع الكباس متجهاً لماً مقاس ذراع الكباس ومفترضاً حركة توافقيه بسيطة.

Ans. {34.04 m, -4.75 m, 10.8 k N}

6/ مضخة ترددية أحادية التشغيل لها كباس قطره 200mm وطول شوطه 600mm. تدور المضخة بسرعة 20rev/min بحركة توافقية بسيطة. يكون التصريف خلال ماسورة قطرها 100mm وطولها 45m لمعامل احتكاك مقداره  $f=0.008$ . أوجد القدرة المدخلة بتركيب وعاء هواء على جانب التصريف مفترضاً عدم حدوث تسارع في الماسورة .

Ans. {66w}

7/ ارسم مخططات البيان النظرية لمضخة ترددية أحادية الأسطوانة أحادية التشغيل غير مركب عليها اوعية هواء. استخدم المخططات لتشرح بوضوح تأثير التسارع والاحتكاك علي كل من شوطي السحب والتصريف. مفترضاً حركة توافقية بسيطة للكباس، اشتق تعبيراً لسمت التسارع في الاسطوانة عند بداية شوط السحب لمثل هذه المضخة.

تتعلق البيانات التالية بمضخة من النوع الموصوف عاليه: طول ماسورة السحب 9 m، قطر ماسورة السحب 75mm، صعود السحب 3m، قطر الكباس 125mm، طول الشوط 300mm، السرعة 30rev/min. احسب سمت الضغط المطلق النظري بالأمطار من الماء عند بداية ونهاية شوط السحب. الضغط البارومتري يناظر 10.2m من الماء .

Ans. {3.43m, 10.97m}

8/ مضخة ترددية بثلاث أسطوانات أحادية التشغيل تعمل بمرفاق تبعد عن بعضها زواياً بمقدار  $120^\circ$ . قطر الكباسات هو 75mm وطول شوطها 150mm. تصريف الاسطوانات الماء في ماسورة مفرده قطرها 50mm وطولها 60m. سرعة المضخة هي 60rev/min وليس هناك وعاء هواء على جانب التصريف .

أرسم مخططات علي أساس زاوية مرفق موضعاً كيف أن سرعة الماء وتسارعه في ماسورة التصريف يختلف عند تلك المتحصل عليها بمضخة أحادية التشغيل أحادية الاسطوانة بنفس الأبعاد والسرعة الموضحة عاليه. إذا كانت الماسورة تصرف إلي الهواء علي بعد 30m فوق مستوي الأسطوانات أحسب مدى الضغط في الماسورة خلف المضخة مباشرة . خذ  $f$  للماسورة مساوية لـ 0.01.

Ans. {52.46to 11.66 m of water}

9/ مضخة ترددية بأسطوانتين ومرفقين موضوعان بزاوية  $180^\circ$ . تكون الكباسات أحادية التشغيل بقطر 40mm وطول شوط 150mm. تدور المضخة بسرعة 80rev/min وتصرّف مباشرة إلى مركم (مجمّع) قطر كباسه (مدكه) 100mm ويتم تحميله بأوزان كتلتها 8000kg. يُقدّر احتكاك المدك (ram) بـ 900 N.

إذا كان السريان الداخلي الكلي إلى المركم في الدقيقة يتم موازنته بالضبط بواسطة السريان الخرجي الذي هو منتظم جداً، أحسب مدى الضغط في أسطوانة المضخة وارسم رسماً كروكياً لمخطط البيان النظري مفترضاً ماسورة سحب قصيرة جداً. افترض حركة توافقية بسيطة (S.H.M) للكباسات.

Ans. { 1716kN / m<sup>2</sup> }

10/ أشرح الهدف من تركيب وعاء هواء علي: (a) جانب السحب و (b) جانب التصريف لمضخة ترددية.

مضخة ترددية أحادية التشغيل بكباس قطره 100mm وبطول شوط مقداره 150mm لها سرعة مقدارها 75 rev/min. يبعد مركز اسطوانة المضخة مسافة 1.5m فوق مستوي الماء في الحوض السفلي. ماسورة السحب التي قطرها 75mm يُقدّر طولها بـ 7.2m. يبعد مستوى خزان التصريف 30m فوق مركز أسطوانة المضخة، ويكون قطر ماسورة التصريف 63mm وطولها 7.5m. يكون معامل الاحتكاك لماسورتي السحب والتصريف هو 0.01. ليس هنالك وعاء هواء على جانب السحب لكن هنالك وعاء هواء بكفاءة جيّده يتم تركيبه على جانب التصريف.

مفترضاً أن الكباس يتحرك أفقياً بحركة توافقية بسيطة، حدّد: (a) الضغط على الكباس عند بداية، منتصف ونهاية شوط السحب؛ (b) قدرة الماء للمضخة. أيضاً تحصل على الضغط الواقع على الكباس عند بداية شوط التصريف إذا لم يكن هنالك وعاء هواء مركب على جانب التصريف.

Ans. { (a) -7.56m , -1.71m , + 4.56m of water, (b) 465 w , -119 m of water }

11/ مضخة ترددية لها أسطوانة بقطر داخلي 75mm وبطول شوط 150mm. تسحب الماء من حوض سفلي يبعد مستواه 1.5m أسفل محور المضخة. إذا كانت ماسورة السحب بطول 2.4m وبقطر 50mm. أوجد سرعة المضخة بالـ rev/min التي يحدث عندها الانفصال إذا حدث هذا عند سمت فراغي مقداره 7.9m من الماء.

افتراض حركة توافقية بسيطة للكباس. إذا كان  $f = 0.01$  للماسورة ، ما هو سمت الاحتكاك عند منتصف الشوط عندما تدار المضخة بهذه السرعة ؟

Ans. {119rev/min, 0.435m}

12/ مضخة ترددية مزدوجة التشغيل أحادية الأسطوانة بقطر أسطوانة مقداره 150mm وطول شوط 450mm. لماسورتي السحب والتصريف أقطار وأطوال مقاديرها 100mm ، 6m و 75mm ، 60m على التوالي. يبعد الحوض السفلى 4.5m أسفل خط المركز للمضخة ويبعد المستودع مسافة 4s.5m فوق خط المركز للمضخة. إذا تم تشغيل المضخة بسرعة 60 rev/min ، حدّد قدرة موتور الإدارة إذا كانت كفاءته 85% . خذ  $f = 0.005$  وافترض حركة توافقية بسيطة (S.H.M) للكباس.

Ans. {12.6 kW}

## الفصل الثالث

## مضخات الطرد المركزي أو مضخات السريان نصف القطري

## (Centrifugal or Radial Flow Pumps)

## 3.1 مدخل (Introduction):

تتكون مضخة الطرد المركزي أساسياً من عجلة أو مروحية (runner or impeller) تحمل عدداً من الريش المقوسة للخلف (backward curved vanes) التي تدور في غلاف (casing) كما موضح في الشكل (3.1-a) أدناه . يدخل السائل المضخة عند المنتصف حيث يبذل عليه شغلاً عندما يمر بالطرد المركزي إلى الخارج حيث يغادر العجلة (impeller) بسرعة عالية وزيادة في الضغط. في الغلاف، يتم تحويل جزء من طاقة حركة المائع إلى طاقة ضغط عندما يمر السريان لماسورة التصريف. الشكل (3.1-a) يوضح غلافاً حلزونياً تزيد مساحته تجاه التصريف بالتالي يعمل على خفض سرعة السائل وزيادة الضغط لتجاوز سمت التصريف. هذا النوع من الغلاف ذو كفاءة منخفضة بما أن هنالك فقد ضخم للطاقة في شكل دوامات (eddies).

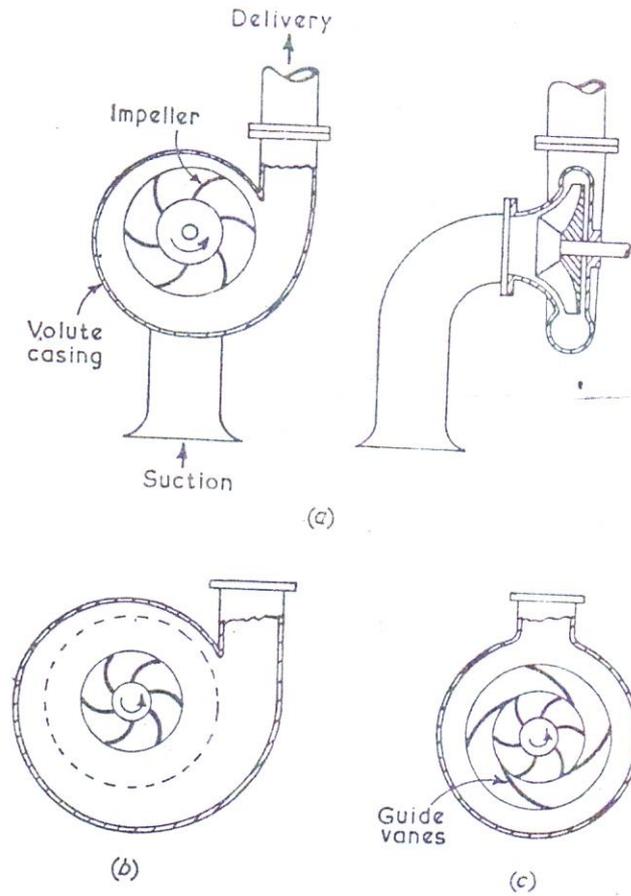
الشكل (3.1-b) يوضح مضخة بغرفة دوامة {vortex or whirlpool chamber} والتي هي اتحاد لغرفة دائرية وغلاف حلزوني. لهذا النوع من الغرف كفاءة أعلى لتحويل طاقة السرعة إلى طاقة ضغط من الغلاف الحلزوني. يمكن أيضاً الحصول على كفاءة أعلى باستخدام ناشرة تتكون من حلقة من ريش التوجيه الثابتة، الشكل (3.1-c)، يوضح ترتيبية تعرف بمضخة التوربينه بما أنها تشبه توربينه تشتغل عكسياً.

الشكل (3.2) أدناه يوضح تخطيطياً مضخة طرد مركزي بمواسير سحبها وتصريفها.

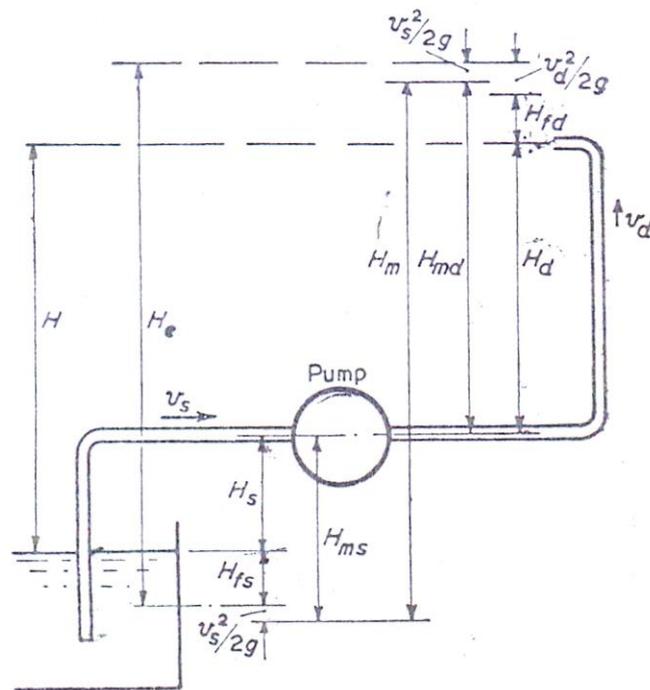
$$H_s = \text{علو أو صعود السحب (suction lift)}$$

$$H_d = \text{علو أو صعود التصريف (delivery lift)}$$

$$H = \text{السمت الكلي السكوني (total static head)} = H_s + H_d$$



شكل (3.1) أنواع مضخات الطرد المركزي



شكل (3.2) مضخة طرد مركزي بمواسير سحبها وتصريفها

ستكون هنالك فقودات للسمت في خط المواسير نتيجة لفقودات الاحتكاك والصدمة عند التراكيب والوصلات.

فقد السمت الاحتكاكي في ماسورة السحب  $H_{fs}$

فقد السمت الاحتكاكي في ماسورة التصريف  $H_{fd}$

إذا كان  $v_d$  و  $v_s$  هما سرعتا السائل في ماسورتي السحب والتصريف.

$$\frac{v_s^2}{2g} = \text{سمت السرعة في ماسورة السحب}$$

$$\frac{v_d^2}{2g} = \text{سمت السرعة في ماسورة التصريف}$$

السمت الفعال  $H_e$  الذي يجب أن تعطيه المضخة يجب أن يكون مساوياً للصعود أو العلو الكلي زائداً فقد الاحتكاك زائداً طاقة حركة المائع عند التصريف:

$$H_e = H_s + H_d + H_{fs} + H_{fd} + \frac{v_d^2}{2g}$$

إذا تمّ وضع مانوميترات أو مقاييس ضغط عند نفس المستوي علي المدخل والمخرج عند المضخة .

$$\text{سمت السحب المانومتري} = H_{ms} = H_s + H_{fs} + \frac{v_s^2}{2g}$$

$$\text{سمت التصريف المانومتري} = H_{md} = H_d + H_{fd} + \frac{v_d^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}$$

$$\text{السمت المانومتري} = H_m = H_{ms} + H_{md}$$

$$= H_s + H_d + H_{fs} + H_{fd} + \frac{v_d^2}{2g}$$

$$= \text{ارتفاع السمّ خلال المضخة}$$

باعتبار مضخة بمواسير سحبها وتصريفها، إذا كان  $W^0$  هو الوزن المصرف في الثانية و  $H$  هو سمت المائع ،

بالتالي:

$$\eta_{ov} = \frac{\text{الشغل المبذول المستفاد أو ارتفاع السمت خلال المضخة}}{\text{الطاقة التي يتم إمدادها إلى عمود المضخة}} = \text{الكفاءة الإجمالية}$$

$$= \frac{W^0 H}{\text{قدرة الدخل لعمود المضخة (قدرة دخل العمود)}}$$

$$\eta_{man} = \frac{\text{ارتفاع السمت خلال المضخة}}{\text{الطاقة لكل وحدة التوازن يتم إمدادها إلى المائع بواسطة العجلة}} = \text{الكفاءة المانومترية}$$

$$= \frac{H_m}{u_2 v_{w_2} / g}$$

$$\eta_{mech} = \frac{\text{الطاقة لكل وحدة وزن التي يتم إمدادها إلى المائع بواسطة العجلة}}{\text{الطاقة الميكانيكية لكل وحدة وزن التي يتم إمدادها إلى العمود (قدرة دخل العمود)}} = \text{الكفاءة الميكانيكية}$$

### 3.2 الشغل المبذول لكل وحدة وزن وعزم التدوير :

#### (Work Done per unit Weight and Turning Moment)

##### مثال (3.1):

مضخة طرد مركزي بعجلة ذات نصف قطر خارجي  $r_2$  ونصف قطر داخلي  $r_1$  والسرعات المحيطية المناظرة هي  $u_1$  و  $u_2$ . إذا كان السريان يدخل إلي العجلة نصف قطرياً تحصل علي تعبير للشغل المبذول لكل وحدة وزن على المائع بواسطة العجلة بدلالات  $u_2$  وسرعة التدويم عند المخرج  $v_{w_2}$ .

قطر العجلة لمضخة هو 1.2m وسرعتها المحيطية هي 9m/s. يدخل الماء نصف قطرياً ويتم تصريفه من العجلة بسرعة ذات مركبة نصف قطريه مقدارها 1.5m/s. تكون الريش مقوسة إلي الخلف عند المخرج وتصنع زاوية مقدارها 30 درجة مع المحيط. إذا كان تصريف المضخة يعادل  $3.4\text{m}^3/\text{min}$  ، ما هو مقدار عزم

التدوير علي العمود؟

الحل:

الشكل (3.3) أدناه يوضح مثلثات سرعات الدخل والخرج لريشة عجلة طرد مركزي . لتجنب الصدمة يجب أن تكون السرعة النسبية عند المدخل مماسة للريشة، لكن هذه سوف لن تحل هذه المشكلة عند جميع السرعات والتصريفات. أيضاً ستكون السرعة النسبية عند المخرج مماسة للريشة. يتم إيجاد السرعة المطلقة عند المخرج  $v_2$  بتراكب  $v_{r_2}$  و  $u_2$  ، لكنها غالباً ما تكون ملائمة في اعتبار مركبات  $v_2$  النصف قطرية والمماسية التي هي  $v_{w_2}$  و  $v_{f_2}$  .

لاحظ أن القيم المعطاة لزاويا الريشة في المسائل هي غالباً  $(180^\circ - \alpha)$  و  $(180^\circ - \beta)$  .

السرعة نصف القطرية أو سرعة السريان  $\times$  المساحة المحيطية = التصريف

$$Q = A v_f$$

$$Q = 2\pi r_1 B_1 v_{f_1} = 2\pi r_2 B_2 v_{f_2}$$

إذا كانت  $\omega$  = السرعة الزاوية للعجلة بالتالي:

$$u_2 = r_2 \omega \text{ و } u_1 = r_1 \omega$$

في المرور خلال العجلة تتغير المركبة المماسية للسرعة المطلقة للمائع ويكون هنالك تغيراً في عزم كمية الحركة:

$$\text{معدل تغير عزم كمية الحركة} = T = \text{العزم الواقع من العجلة على الماء}$$

مفترضاً  $v_1$  نصف قطريه، تكون السرعة المماسية عند المدخل هي صفر لوحدة كتلة ( $v_{w_1} = 0$ ):

$$\text{عزم كمية الحركة عند المدخل} = 0 = v_{w_1} r_1$$

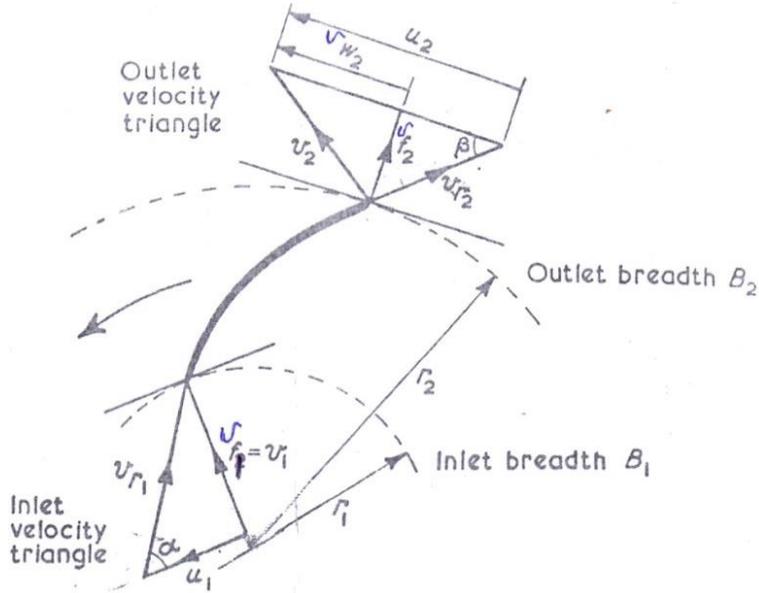
ستكون المركبة المماسية للسرعة المطلقة عند المخرج هي  $v_{w_2}$  .

$$\text{عزم كمية الحركة عند المخرج} = v_{w_2} r_2$$

$$\text{التغير في عزم كمية الحركة} = v_{w_2} r_2$$

$$m^o = \rho Q$$
 ، الكتلة المارة في الثانية

حيث  $\rho$  هي كثافة الكتلة.



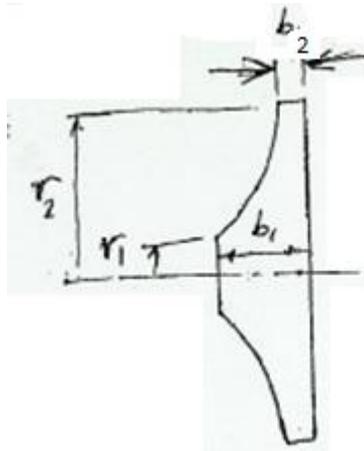
شكل رقم (3.3) مثلثات سرعات الدخل والخرج

$$T = \rho Q v_{w2} r_2 \rightarrow (1)$$
 ، العزم

السرعة الزاوية  $\times$  العزم = الشغل المبذول في الثانية (القدرة)

$$T \times \omega = \rho Q v_{w2} r_2 \omega = \rho Q v_{w2} u_2$$

الشكل (3.4) أدناه يوضح مقطعاً لريشة عجلة طرد مركزي.



شكل رقم (3.4) مقطع طولي لريشة عجلة طرد مركزي

$$W^o = \rho g Q = m^o g$$

الوزن المناسب في الثانية

$$\text{الشغل المبذول لكل وحدة وزن} = \frac{\rho Q v_{w_2} u_2}{\rho g Q} = \frac{v_{w_2} u_2}{g}$$

$$.d_2 = 1.2 \text{ m} , u_2 = 9 \text{ m/s}$$

يدخل الماء نصف قطرياً وهذا يعني أن  $v_{w_1} = 0$  ، وبالتالي  $v_1 = v_{f_1}$  .

$$. Q = 3.4 \text{ m}^3/\text{min} , \beta = 30^\circ , v_{f_2} = 1.5 \text{ m/s}$$

$$\text{الشغل المبذول لكل وحدة وزن} = \frac{v_{w_2} u_2}{g}$$

من المعادلة (1):

$$T = \rho Q v_{w_2} r_2$$

عزم التدوير على العمود

من مثلث سرعات الخرج ،

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

بوضع  $\beta = 30^\circ$  ،  $v_{f_2} = 1.5 \text{ m/s}$  ،  $u_2 = 9 \text{ m/s}$

$$v_{w_2} = 9 - 1.5\sqrt{3} = 6.4 \text{ m/s}$$

أيضاً  $r_2 = 0.6 \text{ m}$  ،  $Q = \frac{3.4}{60} \text{ m}^3/\text{s}$  ،  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$T = 1000 \times \frac{3.4}{60} \times 6.4 \times 0.6 = \underline{\underline{217 \text{ N.m}}}$$

العزم على العمود،

**3.3 السرعة لبداية الضخ (Speed to Commence Pumping):**

**مثال (3.2):**

إذا كان الصعود أو العلو السكوني (static lift) لمضخة طرد مركزي هو  $h \text{ m}$  ، سرعة الدوران  $N \text{ rev/min}$

$$N = 83.5 \frac{\sqrt{h}}{D}$$

والقطر الخارجي للعجلة  $D \text{ m}$ ، اشتق التعبير التالي :

للسرعة عند بداية الضخ ، افترض فقط دوران الماء في العجلة في حالة اللاسريان "no flow condition".

مثل هذه المضخة تقوم بتصريف  $1.27m^3$  من الماء في الدقيقة بسرعة  $1200rev/min$ . يكون قطر العجلة

$350mm$  والعرض عند المخرج  $12.7mm$ . يكون فرق الضغط بين فلنشات الدخل والمخرج هو  $272kN/m^2$ .

بأخذ الكفاءة المانومترية مساوية لـ 63% ، أحسب زاوية ريشة العجلة عند المخرج .

**الحل:**

تحت حالات اللاسريان تتكون دوامة قسرية بواسطة العجلة. يبدأ الضخ عندما يكون فرق الضغط من مركز الدوامة

إلى خارجها مساوٍ للعلو السكوني (static lift) أو { سمت السرعة المحيطية = سمت الضغط }

$$\frac{u_2^2}{2g} = h$$

حيث  $u_2$  = السرعة المحيطية ،

$$u_2 = \sqrt{(2gh)}$$

$$u_2 = \frac{\pi DN}{60} \text{ الآن}$$

$$u_2 = \frac{\pi DN}{60} = \sqrt{(2gh)} \text{ عليه}$$

$$N = \frac{60\sqrt{(2g)}}{\pi D} \sqrt{h} = 83.5 \frac{\sqrt{h}}{D}$$

سيكون مخطط سرعة المخرج كما موضح في الشكل (3.3) . زاوية مخرج الريشة هي  $\beta$  ويمكن إيجادها من

المعادلة التالية من مثلث سرعات المخرج:

$$\tan \beta = \frac{v_{f2}}{u_2 - v_{w2}}$$

$$\text{السرعة المحيطية} = u_2 = \frac{\pi d_2 N}{60} = \pi \times 0.35 \times \frac{1200}{60} = 22m/s$$

$$\text{سرعة السريان} = v_{f_2} = \frac{Q}{\pi d_2 B_2} = \frac{1.27}{60\pi \times 0.35 \times 0.0127} = \underline{1.52 m/s}$$

بما أن قيمة كل من الكفاءة المانومترية وارتفاع الضغط خلال المضخة معلومة يمكن إيجاد الشغل المبذول لكل

وحدة وزن واستخدامه لحساب  $v_{w_2}$ .

$$\text{الشغل المبذول لكل وحده وزن} = \frac{u_2 v_{w_2}}{g} = \frac{\text{ارتفاع السميت خلال المضخة}}{\text{الكفاءة المانومترية}} = \frac{p / \rho g}{\eta_m}$$

$$\therefore v_{w_2} = \frac{p}{\rho \eta_m u_2}$$

بوضع  $u_2 = 22 m/s$  ،  $\eta_m = 0.63$  ،  $\rho = 10^3 kg/m^3$  ،  $p = 272 \times 10^3 N/m^2$

$$v_{w_2} = \frac{272 \times 10^3}{10^3 \times 0.63 \times 22} = \underline{19.6 m/s}$$

$$\tan \beta = \frac{v_{f_2}}{u_2 - v_{w_2}} = \frac{1.52}{22 - 19.6} = \frac{1.52}{2.4} = \underline{0.633} ، \text{عليه}$$

$$\beta = \tan^{-1} 0.633 = \underline{\underline{32^\circ 20'}}$$

### 3.4 الكفاءة والفقودات (Efficiency and Losses):

مثال (3.3):

نفاخ طرد مركزي بعجلة ذات قطر خارجي 500mm وعرض 75mm بريش مقوسة إلي الخلف عند

زاوية مقدارها 70 درجة إلى المماس عند المحيط الخارجي. عندما يُصَرَّف النفاخ هواء يزن  $1.25 kg/m^3$  بمعدل

$3.1 m^3/s$  تكون السرعة  $900 rev/min$  وفرق الضغط عبر النفاخ مقاساً بمانومتر هو  $33mm$  من الماء. القدرة

التي يتم إمدادها إلى عمود النفاخ هي  $1.65 kw$  والكفاءة الميكانيكية هي 93% . بافتراض دخول نصف قطري

إلي العجلة وبتجاهل سمك الريش، أوجد الكفاءات المانومترية والإجمالية . أيضاً حدد القدرة المفقودة في (a)

احتكاك المحامل والرياح (windage losses) ، (b) الناشئة (diffuser) و (c) العجلة (impeller).

الحل:

$$N = 900 \text{ rev/min}, Q = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}, \rho_{air} = 1.25 \text{ kg/m}^3, \beta = 70^\circ, b_2 = 75 \text{ mm}, d_2 = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{قدرة الدخل الى عمود النفاخ} = 1.65 \text{ kw}, H_m = 33 \text{ mm of water}, \eta_{mech} = 0.93, \text{ دخول نصف قطري بالتالي}$$

$$v_{f1} = v_1 \text{ و } v_{w1} = 0$$

المطلوب:

$$\text{impeller losses}=? , \text{ diffuser losses}=? , \text{ bearing and windage losses}=? , \eta_{ov}=? , \eta_m=?$$

$$\eta_m \text{ الكفاءة المانومترية} = \frac{\text{السمت المانومتري}}{\text{الشغل المبذول في الثانية لكل وحدة وزن في العجلة}} = \frac{H_m}{u_2 v_{w2} / g}$$

بما أن المائع هو هواء، يتم التعبير عن فرق الضغط المانومتري كسمت هواء.

$$\text{السمت المانومتري } (H_m) = 0.033 \times \frac{10^3}{1.25} = \underline{26.4 \text{ m of air}}$$

$$\text{الشغل المبذول لكل وحدة وزن في العجلة} = \frac{u_2 v_{w2}}{g}$$

تكون سرعة المخرج مشابهة لتلك في الشكل (3.3).

$$\text{السرعة المحيطة عند المخرج} = u_2 = \frac{\pi d_2 N}{60}$$

$$= \pi \times 0.5 \times \frac{900}{60} = \underline{23.55 \text{ m/s}}$$

$$v_{w2} = u_2 - v_{f2} \cot \beta$$

التصريف

$$\frac{\text{التصريف}}{\text{مساحة المخرج (مساحة سطح العجلة عند المخرج)}} = v_{f1}$$

$$v_{f1} = \frac{Q}{\pi d_2 B_2} = \frac{3.1}{\pi \times 0.5 \times 0.075} = \underline{26.35 \text{ m/s}}$$

$$v_{w2} = u_2 - v_{f2} \cot \beta$$

عليه،

$$v_{w2} = 23.55 - 26.35 \cot 70^\circ$$

$$= 23.55 - 9.6 = \underline{14.05} m/s$$

الشغل المبذول لكل وحدة وزن في العجلة،

$$W.D/unit\ weight\ in\ impeller = \frac{u_2 v_{w_2}}{g} = \frac{23.55 \times 14.05}{9.81} = \underline{33.8} J/N$$

$$\text{الكفاءة المانومترية} = \frac{H_m}{u_2 v_{w_2} / g} = \frac{26.4}{33.8} = \underline{78.3\%}$$

$$\text{وزن الهواء المصرف في الثانية} = W^o = m^o g = \rho g Q = 1.25 \times 9.81 \times 3.1 \text{ N/s} = \underline{38.1} \text{ N/s}$$

$$\text{قدرة الخرج للنفاخ} = W^o H_m = m^o g = 38.1 \times 26.4 \text{ N.m/s} = \underline{1.005} \text{ kw}$$

$$\text{الدخل الميكانيكي للعمود} = \underline{1.65} \text{ kw}$$

$$\eta_{ov} = \frac{o/p}{i/p} = \frac{\text{قدرة الخرج للنفاخ}}{\text{الدخل الميكانيكي للعمود}} = \frac{1.005}{1.65} = \underline{60.9\%}$$

الفقدات هي:

(a) الكفاءة الميكانيكية هي 93% ، عليه:

$$\text{القدرة التي يتم امدادها الى العمود} \times \frac{7}{100} = \text{فقد المحامل والرياح}$$

$$= 0.07 \times 1.65 = \underline{0.115} \text{ kw}$$

(b) الفقد في الناشرة هو الفرق بين القدرة الموضوعية في المائع المغادر للريشة وقدرة الخرج.

$$\text{فقد القدرة في الناشرة} = \text{الشغل المبذول في العجلة في الثانية} - \text{قدرة الخرج}$$

$$= W^o \times \frac{u_2 v_{w_2}}{g} = 38.1 \times 33.8 = 1290 \text{ w} = \underline{1.29} \text{ kw}$$

$$\text{قدرة الخرج} = 1.005 \text{ kw}$$

$$\text{القدرة المفقودة في الناشرة} = 1.29 - 1.005 = \underline{0.285} \text{ kw}$$

(c) الفقد في العجلة:

الفقد في العجلة = القدرة التي يتم إمدادها إلى العمود - فقد المحامل والرياح - فقد الناشرة - قدرة الخرج

$$= 1.65 - 0.115 - 0.285 - 1.005$$

$$= 1.65 - 1.405 = \underline{0.245 \text{ kw}}$$

### 3.5 كفاءة الناشرة (Diffuser Efficiency):

#### مثال (3.4):

مضخة طرد مركزي تشتغل بسرعة  $700 \text{ rev/min}$  وتقوم بإمداد  $9 \text{ m}^3/\text{min}$  ضد سمت مقداره  $19.8 \text{ m}$ . زاوية الريشة عند المخرج هي  $135^\circ$  من اتجاه حركة طرف الريشة. افترض أن السرعة النسبية للماء عند المخرج هي على طول الريشة والسرعة المطلقة عند المدخل هي نصف قطرية. تكون سرعة السريان ثابتة عند  $1.8 \text{ m/s}$ . أحسب قطر العجلة الضروري في الحالات التالية: (a) إذا لم يتم استرجاع أي من الطاقة المناظرة للسرعة عند المخرج من العجلة؛ (b) إذا تم استرجاع 40% من هذه الطاقة.

في الحالة (b) أوجد أيضاً عرض العجلة عند المخرج معطياً سماحية مقدارها 8% لسماك الريشة.

#### الحل:

يكون مخطط السرعة عند المخرج مشابهاً للشكل (3.3)، حيث:  $\beta = 180^\circ - 135^\circ = 45^\circ$

(a) إذا لم يتم استرجاع طاقة الحركة (if no kinetic energy is recovered):

سمت السرعة + سمت الإستاتيكي أو السكوني = الشغل المبذول لكل وحدة وزن في العجلة

$$\frac{u_2 v_{w_2}}{g} = H + \frac{v_2^2}{2g} \rightarrow (1)$$

من مثلث سرعات الخرج ،

$$v_{w_2} = u_2 - v_{f_2} \cot 45^\circ, \quad v_{f_2} = 1.8 \text{ m/s} \text{ بوضع}$$

$$\therefore v_{w_2} = u_2 - 1.8$$

$$v_2^2 = v_{f_2}^2 + v_{w_2}^2 = 1.8^2 + (u_2^2 - 3.6u_2 + 1.8^2) \quad \text{أيضاً،}$$

$$= u_2^2 - 3.6u_2 + 6.48$$

بالتعويض في المعادلة (1) وبضرب طرفي المعادلة  $\times 2g$  نحصل على:

$$2u_2 v_{w_2} = 2gH + v_2^2$$

$$2u_2(u_2 - 1.8) = 2gH + (u_2^2 - 3.6u_2 + 6.48)$$

بوضع  $H = 19.8m$  وبالحل لإيجاد  $u_2$ :

$$2u_2^2 - 3.6u_2 - (u_2^2 - 3.6u_2 + 6.48) = 2 \times 9.81 \times 19.8$$

$$u_2^2 = 389 + 6.48 = \underline{395.48}$$

$$\therefore u_2 = \underline{19.9m/s}$$

$$d_2 = \frac{u_2 \times 60}{\pi N} = \frac{19.9 \times 60}{\pi \times 700} = \underline{0.542m}$$
 ، قطر العجلة

(b) إذا تم استرجاع 40% من طاقة الحركة، هذا يعني أن 60% من طاقة الحركة تم فقدها .

سمت السرعة  $\times 0.6$  + السمت السكوني (الاستاتيكي) = الشغل المبذول لكل وحدة وزن في العجلة

$$\frac{u_2 v_{w_2}}{g} = H + 0.6 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{u_2 v_{w_2}}{g} - 0.6 \frac{v_2^2}{2g} = H$$

بضرب طرفي المعادلة  $\times 2g$  نحصل على:

$$2u_2 v_{w_2} - 0.6v_2^2 = 2gH$$

$$2u_2(u_2 - 1.8) - 0.6(u_2^2 - 3.6u_2 + 6.48) = 19.8 \times 2g$$

$$1.4u_2^2 - 1.44u_2 - 399.37 = 0$$

$$\therefore u_2 = \underline{17.35m/s}$$

$$d_2 = \frac{u_2 \times 60}{\pi N} = \frac{17.35 \times 60}{\pi \times 700} = \underline{0.473m}$$
 ، قطر العجلة

المساحة الفعالة عند المخرج يتم تخفيضها بمقدار 8% نتيجة لعمل سماحية لسمك الريشة

السرعة نصف القطرية  $\times$  المساحة المحيطية الفعالة = التصريف

$$Q = 0.92\pi d_2 B_2 v_{f_2}$$

$$\therefore B_2 = \frac{Q}{0.92\pi d_2 v_{f_2}}$$

بوضع،

$$v_{f_2} = 1.8m/s ، d_2 = 0.473m ، Q = 9m^3 / \text{min} = 9/60m^3 / s$$

$$B_2 = \frac{9}{60 \times 0.92 \times \pi \times 0.473 \times 1.8} = 0.061m = \underline{\underline{61mm}}$$

3.6 السرعة النوعية (Specific Speed):

مثال (3.5):

أشرح ماذا يُعني بالسرعة النوعية لمضخة طرد مركزي ووضح أن قيمتها هي  $NQ^{1/2} / H^{3/4}$  حيث  $N$  هي

سرعة دوران العجلة،  $Q$  هو التصريف و  $H$  هو سمت التشغيل .

مضخة طرد مركزي بأربع مراحل علي التوازي، تقوم بتصريف  $11m^3 / \text{min}$  من السائل عند سمت مقداره

$24.7m$  ، قطر العجلات هو  $225mm$  والسرعة  $1700rev / \text{min}$ .

هنالك مضخة يراد تصنيعها بعدد من المراحل المتطابقة على التوالي بنفس إنشاء المضخة الأولي لتدور بسرعة

$1250rev / \text{min}$  ولتصرف  $14.5m^3 / \text{min}$  عند سمت مقداره  $248m$  أوجد قطر العجلات وعدد المراحل

المطلوبة .

الحل:

تستخدم السرعة النوعية كأساس لمقارنة أداء مضخات مختلفة وتعرف بالسرعة النظرية (theoretical speed)

التي تصرف بها مضخة معطاة وحدة كمية ضد وحدة سمت . كمثال هي السرعة بالـ  $rev / \text{min}$  التي تصرف

بها مضخة  $1 m^3 / min$  تحت سمت مقداره  $1m$ .

السرعة النوعية لمضخة معطاة تعتمد على نظام الوحدات الذي يتم اختياره.

لإيجاد هذه السرعة النظرية لوحد تصريف تحت وحدة سمت من الضروري تصغير نطاق القيم التشغيلية للمضخة . يتم هذا بافتراض أن تصغير نطاق التناسب يظل متشابهاً هندسياً وتكون كل الأبعاد الخطية متناسبة مع قطر العجلة . أيضاً يفترض أن مخططات السرعة تكون متشابهة وكل السرعات تتناسب مع الجذر التربيعي للسمت  $H$ .

$$D \propto B \alpha \text{ عرض العجلة}$$

$$u \propto H^{1/2} \alpha \text{ سرعة العجلة}$$

أيضاً إذا كانت سرعة العجلة هي  $N \text{ rev/min}$

$$u \propto ND \text{ or } D \propto \frac{u}{N}$$

$$\text{or } D \propto \frac{H^{1/2}}{N}$$

مساحة السريان  $\times$  سرعة السريان  $Q \propto$  ، التصريف

$$Q \propto \pi D B v_f$$

والآن،

$$v_f \propto H^{1/2} , \quad B \propto D$$

$$Q \propto D^2 H^{1/2}$$

بتعويض،

$$D \propto \frac{H^{1/2}}{N}$$

$$Q \propto \frac{H}{N^2} \cdot H^{1/2} , \quad N^2 \propto \frac{H^{3/2}}{Q} , \quad N \propto \frac{H^{3/4}}{Q^{1/2}}$$

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

$$N_s = \frac{NQ^{1/2}}{H^{3/4}} \text{ ، السرعة النوعية}$$

باعتبار مضخة ذات أربع مراحل على التوازي،

$$\text{التصريف لمرحلة واحدة} = \frac{11}{4} m^3 / \text{min}$$

$$Q_1 = 2.75 m^3 / \text{min}$$

$$H_1 = 24.7 m \text{ ، سمت التشغيل}$$

$$N_1 = 1700 \text{ rev/min} \text{ ، سرعة التشغيل}$$

$$N_s = \frac{N_1 Q_1^{1/2}}{H_1^{3/4}} = \frac{1700 \times \sqrt{2.75}}{24.7^{3/4}} = 254 \text{ ، السرعة النوعية}$$

للمضخة متعددة المراحل على التوازي:

إذا كانت أي مرحلة مشابهة لتلك في المضخة الأولى:

$$N_s = 254 = \text{السرعة النوعية لكل مرحلة}$$

يمر التصريف خلال كل مرحلة ، بحيث أن:

$$Q_2 = 14.5 m^3 / \text{min}$$

$$N_2 = 1250 \text{ rev/min}$$

$$N_s = \frac{N_2 \sqrt{Q_2}}{H_2^{3/4}}$$

حيث، ارتفاع السمت لكل مرحلة =  $H_2$

$$254 = \frac{1250 \sqrt{14.5}}{H_2^{3/4}}$$

$$H_2^{3/4} = 18.7 \text{ ، } H_2 = 49.64 m$$

$$m = 248 \text{ السمتم الكلي المطلوب}$$

$$\text{عدد المراحل المطلوبة} = \frac{248}{H_2} = \frac{248}{49.64} = \underline{5}$$

بما أن السمتم  $H$  يتناسب مع مربع سرعة العجلة  $u$  وأن  $u \propto ND$  ،

$$H \propto u^2 , \quad H \propto N^2 D^2$$

$$\therefore H = k N^2 D^2$$

بمقارنة المضخة الأصلية ومرحلة واحدة من المضخة الثانية، للتشابه:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

$$D_2 = D_1 \frac{N_1}{N_2} \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \quad \text{عليه ،}$$

$$H_2 = 49.64m \text{ ، } H_1 = 24.7m \text{ ، } N_2 = 1250 \text{ rev/min} \text{ ، } N_1 = 1700 \text{ rev/min} \text{ ، } D_1 = 0.225m$$

$$\text{قطر العجلة ، } D_2 = 0.225 \times \frac{1700}{1250} \sqrt{\frac{49.64}{24.7}} = \underline{\underline{0.433m}} = \underline{\underline{433mm}}$$

3.7 رقم النوع أو السرعة النوعية اللابعديّة:

(Type Number or Dimensionless Specific Speed)

مثال (3.6):

(a) بالتحليل البعدي اشتق تعبيرات لمعامل السمتم  $k_H$  ، معامل السريان  $K_Q$  ، ومعامل القدرة  $K_P$  لمضخة

طرد مركزي أو مروحة ووضح كيف يتم توحيد هذه الكميات لإعطاء رقم النوع أو السرعة النوعية اللابعديّة

(b) مضخة طرد مركزي تدور بسرعة  $2950 \text{ rev/min}$  تحت اختبار عند أقصى كفاءة أعطت النتائج الآتية:

السمتم الفعّال  $= 75m$  من الماء ، معدّل السريان  $Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$  ، الكفاءة الاجمالية  $\eta = 70\%$  . أحسب

السرعة النوعية اللابعديّة لهذه المضخة المؤسسة على سرعة الدوران بالـ  $\text{rev/s}$  .

(c) مضخة مشابهة ديناميكياً تشتغل عند نقطة مناظرة لخواصها عندما تُصرف  $0.45m^3/s$  خلال ماسورة طولها  $8000m$  وقطرها  $1m$  ومعامل احتكاكها  $f = 0.05$ . تُصرف الماسورة إلى ارتفاع  $90m$  فوق مستوى المستودع. حدّد سرعة الدوران التي تدور بها المضخة لمقابلة شغلها ونسبة قطر عجلتها إلى قطر عجلة المضخة في الجزء (b)، ذاكراً جميع الافتراضات التي يتم عملها. ماهي القدرة التي ستستهلكها المضخة؟

الحل:

(a) للتحليل البعدي العام لأي ماكينة ديناميكية دوارة وُجِدَ أنَّ المتغيرات التي يتم اعتبارها هي:

$$Q = \text{معدل السريان الحجمي } m^3/s \text{ ، البعد } \{L^3 T^{-1}\}$$

$$P = \text{القدرة المنقولة من العجلة إلى المائع } \frac{kg m^2}{s^3} \text{ ، البعد } \{M L^2 T^{-3}\}$$

$$D = \text{قطر العجلة للمضخة } m \text{ ، البعد } \{L\}$$

$$N = \text{سرعة دوران العجلة } rev/min \text{ ، البعد } \{T^{-1}\}$$

$$H = \text{فرق السمات عبر الماكينة } m \text{ ، البعد } \{L\}$$

$$\rho = \text{كثافة كتلة المائع } kg/m^3 \text{ ، البعد } \{M L^{-3}\}$$

$$\mu = \text{معامل اللزوجة الديناميكي للمائع } kg/m.s \text{ ، البعد } \{M L^{-1} T^{-1}\}$$

$$K = \text{معايير المرونة الحجمي للمائع } N/m^2 \text{ (kg/ms}^2\text{) ، البعد } \{M L^{-1} T^{-2}\}$$

$$\varepsilon = \text{خشونة الممرات الداخلية لريشة العجلة ويتم تمثيلها بالبعد } \{L\}$$

السمت  $H$  هو الطاقة لكل وحدة وزن للمائع ومن الملائم تعويض  $gH$  التي هي الطاقة لكل وحدة كتلة .

باستخدام نظرية (Buckingham's) بكنجهام، هنالك تسع متغيرات وثلاث أبعاد رئيسية، عليه ستكون هنالك 6

مجموعات لابعدية في العلاقة  $\{9-3 = 6\}$  حيث الأبعاد الرئيسية هي  $(M, L, T)$ . يتم حصر المجموعات

اللابعديه في الآتي:

$$\pi_1 = \frac{gH}{N^2 D^2} K_H \text{ وتعرف بمعامل السمات}$$

$$\pi_2 = \frac{Q}{ND^3} K_Q \text{ تعرف بمعامل السريان}$$

$$\pi_3 = \frac{P}{N^3 D^5 \rho} K_P \text{ تعرف بمعامل القدرة}$$

$$\pi_4 = \frac{\mu}{ND^2 \rho} \text{ ، } 1/Re \text{ ، وهي متناسبة مع } 1/Re \text{ ، حيث أن } ND \text{ هي السرعة المحيطية وهي متناسبة مع } 1/Re$$

حيث  $Re$  هو رقم رينولدز (Reynolds's number) المؤسس على قطر العجلة.

$$\pi_5 = \frac{K}{N^2 D^2 \rho} \text{ ، } 1/Ma \text{ ، وهي متناسبة مع } 1/Ma \text{ ، بما أن } \sqrt{K/\rho} \text{ هي سرعه الصوت } a \text{ ، وهي متناسبة مع } 1/Ma$$

حيث  $Ma$  هو رقم ماخ (Mach number).

$$\pi_6 = \frac{\varepsilon}{D} \text{ الذي هو الخشونة النسبية للمرات الداخلية للماكينة}$$

$$\pi_1 = \phi\{\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6\} \text{ ، والآن ،}$$

$$\frac{gH}{N^2 D^2} = \phi\left\{\frac{Q}{ND^3}, \frac{P}{N^3 D^5 \rho}, \frac{\mu}{ND^2 \rho}, \frac{K}{N^2 D^2 \rho}, \frac{\varepsilon}{D}\right\} \text{ أو}$$

$$K_H = \phi(K_Q, K_P, Re, Ma, \varepsilon/D) \text{ أو}$$

مقارنة الماكينات الديناميكية الدوارة يمكن عملها على أساس قيم  $K_Q$  ،  $K_H$  ،  $K_P$  .

للمضخات  $K_Q$  و  $K_H$  هي أكثر العوامل أهمية ونسبتها  $K_Q / K_H$  تشير إلي ما إذا كانت مضخة معينة مناسبة

لسريان كبير أو صغير لسمت معطى. لماكينات متشابهة هندسياً {Geometrically similar machines}

يمكن تجنب قطر العجلة باستخدام النسبة  $K_Q^{1/2}$  إلى  $K_H^{3/4}$  والتي تعرف برقم النوع أو السرعة النوعية

اللابعدية  $n_s$ .

$$n_s = \frac{(K_Q)^{1/2}}{(K_H)^{3/4}} = \left(\frac{Q}{ND^3}\right)^{1/2} \left(\frac{N^2 D^2}{gH}\right)^{3/4}$$

$$n_s = \frac{NQ^{1/2}}{(gH)^{3/4}}$$

قيمة  $n_s$  التي هي رقم النوع يتم حسابها من القيم  $N$  بالـ  $rev/s$  ،  $Q$  بالـ  $m^3/s$  ، و  $H$  بالـ  $m$  المناظرة لنقطة التصميم، بمعنى الخدمة المعينة التي تم تصميم الماكينة من أجلها.

(b) بوضع  $N = 2950 \text{ rev/min}$  ، أي  $N = 49.17 \text{ rev/s}$  ،  $Q = 0.05 \text{ m}^3/s$  ،  $H = 75 \text{ m of water}$

$$n_s = 49.17 \times \frac{0.05^{1/2}}{(9.81 \times 75)^{3/4}} = 7.79 \times 10^{-2}$$

(c)  $\text{علو المضخة} = 90 \text{ m}$

$$hf = \frac{f l Q^2}{3 d^5} = \frac{0.05 \times 8000 \times (0.45)^2}{3 \times (1)^5} = 27 \text{ m}$$

$$H_2 = h + h_f = 90 + 27 = 117 \text{ m}$$

للتشغيل عند نفس نقطة منحنى الخاصية ستكون قيمة  $n_s$  هي نفسها.

بما أن  $n_s = 7.79 \times 10^{-2}$  وبالتعويض في معادلة السرعة النوعية نحصل على الآتي:

$$7.79 \times 10^{-2} = N \frac{(0.45)^{1/2}}{(9.81 \times 117)^{3/4}} = 3.4 \times 10^{-3} N$$

$$N = \frac{7.79}{0.34} \text{ rev/s} = 1375 \text{ rev/min}$$

بما أن معامل السميت يجب إن يكون متساوياً للمضختين بالتالي:

$$\frac{gH_1}{(N_1 D_1)^2} = \frac{gH_2}{(N_2 D_2)^2}$$

$$\frac{D_2}{D_1} = \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^{1/2} \left( \frac{N_1}{N_2} \right) = \left( \frac{117}{75} \right)^{1/2} \left( \frac{2950}{1375} \right) = 2.68$$

بافتراض عدم وجود تأثيرات مقياس رسم (scale effects) ولا تفاوت في الكفاءة.

الكفاءة / القدرة المنقولة الى المائع = القدرة المستهلكة بواسطة المضخة

$$= \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

$$= \frac{1000 \times 9.81 \times 0.45 \times 117}{0.7} \text{ W}$$

$$= \underline{\underline{736}} \text{ kW}$$

### 3.8 أداء المضخة وخط المواسير (Pump Performance and Pipe Line):

مثال (3.7):

مضخة طرد مركزي تدور بسرعة 1000rev/min تُعطي العلاقة التالية بين السمات والتصريف:

التصريف ( $m^3 / \text{min}$ )	0	4.5	9.0	13.5	18.0	22.5
السمت (m)	22.5	22.2	21.6	19.5	14.1	0

يتم توصيل المضخة بماسورتي سحب وتصريف بقطر 300 mm وبطول كلي 69m وسمت التصريف الى

الجو 15m فوق مستوي الحوض السفلي. يكون فقد الدخول مكافئاً لـ 6m إضافية من الماسورة ويتم افتراض قيمة

f مكافئة لـ 0.006. أحسب التصريف بالـ  $m^3 / \text{min}$ .

إذا طلب ضبط السريان بتنظيم سرعة المضخة، أحسب السرعة التي تخفّض السريان الى النصف.

الحل:

السمت المطلوب من المضخة لتخطّي المقاومة = السمات السكوني + سمات الاحتكاك + سمات السرعة

$$H_{req} = H + H_f + H_v$$

$$\therefore H_{req} = 15 + H_f + H_v$$

كُلٌّ من  $H_v$  و  $H_f$  تعتمد على التصريف  $Q$ ، عليه فان كل من السمات المطلوب والسمات المتاح هما دوال في

التصريف وإذا تم رسمهما على أساس الكمية فأن تقاطع المنحنيين سيعطي التصريف المطلوب.

$$H_f = \frac{f l Q^2}{3 d^5} = \frac{0.006 \times (69 + 6) Q^2}{3 \times (0.3)^5}$$

حيث  $Q$  بالـ  $m^3/s$ .

إذا كان  $q$  هو التصريف بالـ  $m^3/min$  ، فإن  $q = 60Q$

$$Q^2 = \frac{q^2}{3600}$$

$$H_f = \frac{f l Q^2}{3 d^5} = \frac{0.006 \times (75) q^2}{3 \times (0.3)^5 \times 3600} = \frac{17.15 \times 10^{-3} q^2}{3600}$$

$$H_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g \left( \frac{\pi d^2}{4} \right)^2}$$

$$= \frac{q^2 \times 16}{3600 \times 2 \times 9.81 \times \pi^2 \times (0.3)^4}$$

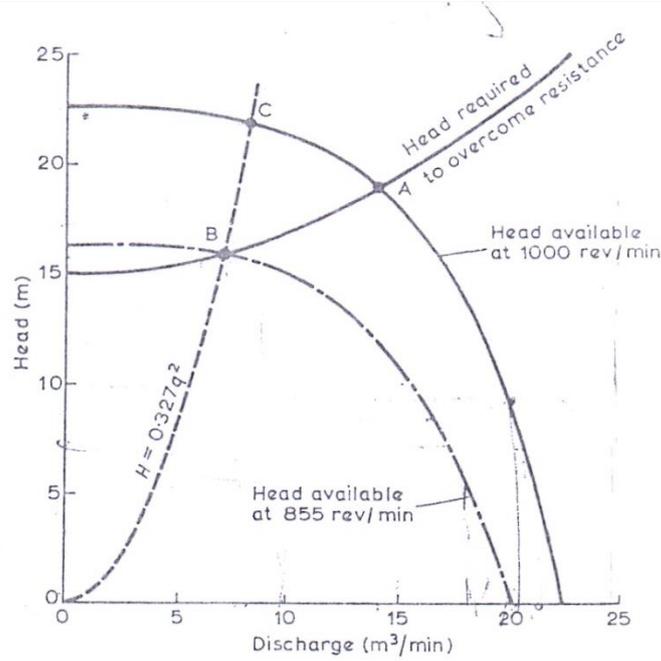
$$= \frac{2.83 \times 10^{-3} q^2}{3600}$$

حيث  $q$  بالـ  $m^3/min$  ،

$$H = 15 + 19.98 \times 10^{-3} q^2$$

من هذا التعبير ومن الأرقام المعطاة في المسألة يمكن تكوين الجدول التالي:

التصريف ( $m^3/min$ ) $q$	0	4.5	9.0	13.5	18.0	22.5
السمت المتاح (m)	22.5	22.2	21.6	19.5	14.1	0
السمت المطلوب (m)	15	15.4	16.6	18.6	21.5	25.1



شكل رقم (3.5)

هذه القيم يتم رسمها في الشكل عاليه (شكل 3.5)). ومنها نجد أن نقطة التشغيل للمنظومة ستكون عند النقطة A التي عندها:

السمت المطلوب (Head required) = السمت المتاح (Head Available)

$$q_A = 14 \text{ m}^3 / \text{min} \text{ ، } H_A = 19 \text{ m} \text{ سمت التشغيل}$$

عند سرعة مُحَفَّضَة، لنصف السريان ستكون هناك نقطة تشغيل جديدة B والتي عندها  $q_B = 7 \text{ m}^3 / \text{min}$

من الشكل (3.5) ،  $H_B = 16.0 \text{ m}$  = السمت المطلوب لتخطي المقاومة

لكل سرعة  $N$  يمكن رسم منحنيات  $H$  ضد  $q$  للمضخة المشابهة لتلك التي تم رسمها مسبقاً لـ  $N = 1000 \text{ rev/min}$ . المشكلة هي إيجاد السرعة  $N_2$  للمضخة التي منحناها المناظر لـ  $H$  ضد  $q$  يمر خلال النقطة B.

بما أنه لمضخة معطاة،  $q \propto N$  و  $H \propto N^2$  سنحصل على:

$$\frac{q}{N} = \frac{q_B}{N_2} \rightarrow (1) \quad \frac{N}{N_2} = \frac{q}{q_B} \rightarrow \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 = \left(\frac{q}{q_B}\right)^2$$

$$\frac{H}{N^2} = \frac{H_B}{N_2^2} \rightarrow (2) \quad \left(\frac{N}{N_2}\right)^2 = \frac{H}{H_B} \rightarrow \frac{H}{H_B} = \left(\frac{q}{q_B}\right)^2$$

بتقادي N ،

$$H = H_B \left(\frac{q}{q_B}\right)^2$$

بوضع  $H_B = 16.0 \text{ m}$  عندما  $q_B = 7 \text{ m}^3 / \text{min}$

$$H = \frac{16}{7^2} q^2 = 0.327 q^2$$

هذه المعادلة هي عبارة عن قطع مكافئ (Parabola) ماره خلال نقطة الاصل والنقطة B وتقاطع المنحني الاصيلي لـ H ضد  $q$  لـ  $N_1 = 1000 \text{ rev/min}$  عند النقطة c . نقطة التشغيل المناظرة لـ  $H_c = 21.9 \text{ m}$  و  $q_c = 8.2 \text{ m}^3 / \text{min}$  . هذا المنحني يربط القيم المناظرة لـ H و q عندما تتغير مع N حسب المعادلات (1) و (2) أعلاه ويمكننا بالتالي إيجاد السرعة  $N_2$  المناظرة لـ  $H_B$  و  $q_B$  من أي من هذه المعادلات:

من المعادلة (1)،

$$\frac{q_c}{N_1} = \frac{q_B}{N_2} \quad \therefore N_2 = N_1 \frac{q_B}{q_c} = 1000 \times \frac{7}{8.2} = \underline{855} \text{ rev/min}$$

من المعادلة (2)،

$$\frac{H_c}{N_1^2} = \frac{H_B}{N_2^2} \quad \therefore N_2 = N_1 \sqrt{\frac{H_B}{H_c}} = 1000 \times \sqrt{\frac{16}{21.9}} = \underline{855} \text{ rev/min}$$

باستخدام المعادلتين (1) و (2) لتصغير نطاق القيم الاصلية لـ H و q يمكن رسم خواص المضخة عند  $855 \text{ rev/min}$  كما موضَّح في الشكل (3.5) أعلاه.

### 3.9 مسائل في مضخَّات الطرد المركزي: (Problems in Centrifugal Pumps)

1/ القطر الخارجي للعجلة لمضخة طرد مركزي هو  $250 \text{ mm}$  والقطر الداخلي هو  $150 \text{ mm}$ ، العرض المناظر للعجلة عند هذه النقطة الاخيرة هو  $15 \text{ mm}$ . الريشة عند المخرج تصنع زاوية مقدارها  $45$  درجة في اتجاه الخلف

الى مماس دائرة العجلة. إذا كانت السرعة نصف القطرية للسريان ثابتة، ويكون التصريف  $2.7m^3/min$  عندما تكون السرعة  $1100 rev/min$  أحسب الآتي: (a) زاوية العجلة عند المدخل ، (b) زاوية ريش التوجيه في حلقة الناشرة، (c) ارتفاع الضغط خلال المضخة بافتراض كفاءة حلقة ناشره مقدها 60% ويتجاهل الفقدوات الاحتكاكية.

$$Ans. \{143^\circ 39', 38^\circ 27', 11.8 m\}$$

2/ مضخة طرد مركزي عندما تشتغل بسرعة  $1500 rev/min$  تقوم بتصريف  $90 dm^3/s$  ضد سمت مقداره  $24m$ . يكون السريان عند المدخل نصف قطرياً، وتكون السرعة نصف القطرية للسريان ثابتة خلال العجلة عند  $3.6m/s$ . يمكن افتراض أن ريش الناشرة تقوم بتحويل 50% من سمت الحركة عند المخرج من العجلة الى سمت ضغط. يكون القطر الخارجي مكافئاً لضعف القطر الداخلي، وعرض العجلة عند المخرج مساوياً لـ 12% من القطر. متجاهلاً فقودات العجلة وتأثير سمك الريشة، حدّد القطر والعرض عند المدخل والمخرج وزوايا العجلة وريش التوجيه.

$$Ans. \{129mm, 258mm, 62mm, 31mm, 19^\circ 33', 28^\circ 55', 14^\circ 38'\}$$

3/ مضخة طرد مركزي تقوم برفع ماء ضد سمت مقداره  $36m$ ، تكون الكفاءة المانوميترية مساوية لـ 80%. كل من مواسير السحب والتصريف لهما قطر داخلي مقداره  $150mm$ ، للعجلة قطر مقداره  $375mm$  وعرض مقداره  $25mm$  عند المخرج: زاوية الريشة للعجلة عند المخرج مقدارها 25 درجة وسرعة الدوران المخصصة للعجلة هي  $1320 rev/min$ . إذا كان الفقد الكلي بالاحتكاك في خط المواسير عند هذه السرعة يتم تقديره بـ  $9m$ ، أحسب المعدل المحتمل للتصريف عند هذه السرعة .

$$Ans. \{0.06 m^3 / s\}$$

4/ عجلة مضخة طرد مركزي بقطر  $325mm$  وعرض  $19mm$  عند المخرج. زاوية الريشة عند المخرج 35 درجة، سرعة العجلة  $1600 rev/min$ ، صعود أو علو السحب  $1.5m$ ، وفقد السمات المقدّر علي جانب السحب  $2.1m$ . الصعود أو العلو السكوني من مركز المضخة هو  $39m$  وفقدوات ماسورة التصريف  $9.6m$ . إذا كانت

الكفاءة المانومترية للمضخة 76% والكفاءة الإجمالية 68% أوجد التصريف بالـ  $dm^3/s$  والطاقة المطلوبة إذا كان قطر كلٍ من ماسورتي السحب والتصريف هو  $125mm$  .

$$Ans. \{35.5dm^3/s, 20.74kw\}$$

5/ عجلة مضخة طرد مركزي لها قطر خارجي مقداره  $300mm$  ومساحة التصريف هي  $0.11m^2$ . يتم حني الريش إلى الخلف بحيث يصنع اتجاه السرعة النسبية عند سطح التصريف زاوية مقدارها  $145$  درجة مع المماس إلى هذا السطح مرسوماً في اتجاه دوران العجلة. تكون أقطار كل من ماسورتي السحب والتصريف هما  $300mm$  و  $225mm$  علي الترتيب .

هنالك مقاييس عند نقاط على ماسورتي السحب والتصريف قريباً إلى المضخة وكل منها يبعد  $1.5m$  فوق مستوي خزان الإمداد السفلى أوضحت اسماء مقدارها  $3.6m$  أسفل و  $18.6m$  أعلى الضغط الجوي عندما

تُصَرَّف المضخة  $0.2m^3/s$  من الماء بسرعة  $1200rev/min$ . تتطلب المضخة قدرة مقدارها  $71kw$  لإدارتها . أوجد: (a) الكفاءة الإجمالية؛ (b) الكفاءة المانومترية أو الهايدروليكية ، مفترضاً أن الماء يدخل العجلة بدون صدمة او دوامة ؛ (c) فقد السميت في ماسورة السحب .

$$Ans. \{61.3\% , 71.3\% , 1.7m\}$$

6/ مضخة طرد مركزي تقوم بتصريف  $225dm^3/s$  من الماء وتنتج سمناً مقداره  $22.5m$  عندما تدور العجلة بمقدار  $1500rev/min$ . حدّد: (a) قطر العجلة و (b) زاوية الريشة عند حافة مخرج العجلة.

افتراض كفاءة مانومترية مقدارها 75% ؛ فقد السميت في المضخة نتيجة لمقاومة المائع هو  $0.033v^2 m$ ، حيث  $v$  بالـ  $m/s$  هي السرعة المطلقة التي يتم بها تصريف الماء من العجلة؛ مساحة سطح مخرج العجلة هي  $1.2D^2 m^2$  حيث  $D$  هو قطر العجلة بالـ  $m$  ؛ ويدخل الماء العجلة بدون دوامة .

$$Ans. \{0.253m, 30^\circ\}$$

7/ مضخة طرد مركزي مطلوب منها تصريف  $0.56m^3/s$  من الماء وإنتاج سمناً مقداره  $12m$  عندما تدور العجلة بسرعة  $750rev/min$ . تكون الكفاءة المانوميترية مكافئة لـ 80%، يتم افتراض فقد السمات في المضخة نتيجة للاحتكاك مساوياً لـ  $0.0276v^2 m$  من الماء، حيث  $v$  هي السرعة التي يغادر بها الماء العجلة. يدخل الماء العجلة بدون صدمة أو دوامة وتكون سرعة السريان ثابتة عند  $2.7m/s$ . تحضّل على: (a) قطر العجلة ومساحة المخرج، و (b) زاوية الريشة عند حافة المخرج للعجلة. أشرح باختصار لماذا عادة ما يختلف اتجاه السرعة الفعلية عند التصريف من العجلة عن الاتجاه المعطى بمخطط سرعة الخرج.

$$Ans. \{0.364m, 0.207m^2, 34^\circ\}$$

8/ مضخة طرد مركزي بعجلة قطرها  $190mm$  تعطى عند كفاءة قصوى تصريفاً قدره  $3.9m^3/min$  من الماء الطازج عند سرعة قدرها  $1800rev/min$  ضد سمات مقداره  $4.2m$ . ما هي سرعة الدوران لعجلة مشابهة قطرها  $380mm$  لتعطي تصريفاً قدره  $54.5m^3/min$  من ماء البحر الذي كثافته تعادل  $1025kg/m^3$  وما مقدار الضغط الذي سيتم توليده عندئذٍ؟

$$Ans. \{3150 rev/min, 515kN/m^2\}$$

9/ نموذج مصغر بخمس الحجم الكامل يتم اختياره للتنبؤ بأداء مضخة طرد مركزي ضخمة تعمل ضد سمات  $H$ . وضح أنه، بمعلومية أن لزوجة المائع ليس لها تأثير واضح على أداء المضخة أن الاختبار يمكن تنفيذه تحت أي سمات ملائم.

ما هو السمات الذي سيكون مطلوباً للاختبار إذا تم اخذ اللزوجة في الاعتبار: (a) عندما يستخدم كُلي من المضخة والنموذج الماء، (b) عندما تعادل اللزوجة الكاينماتيكية للمائع المستخدم بواسطة المضخة 5 إضعاف ذلك المستخدم بواسطة النموذج، وماهي نسبة سرعات الدوران المناظرة في كل حالة؟ أسس الصيغ المطلوبة.

$$Ans. \{(a) H_m = 25 H, N_m = 25 N, (b) H_m = H, N_m = 5 N\}$$

10/ مروحة طرد مركزي تقوم بتصريف  $4.25m^3/s$  عندما تعمل بسرعة  $750 rev/min$ . قطر العجلة عند المدخل هو  $525mm$  وعند المخرج هو  $750mm$ . يمكن افتراض أن الهواء يدخل نصف قطرياً بسرعة مقدارها

15m/s . يتم ضبط الريش إلى الخلف عند المخرج بزاوية مقدارها 70 درجة إلى المماس ويكون العرض عند المخرج مساوياً لـ 100mm . يعطي الغلاف الحلزوني استرجاعاً مقداره 30% من سمت سرعة المخرج. يمكن أخذ الفقدوات في العجلة مكافئةً لـ 25% من سمت سرعة المخرج. يكون الحجم النوعي للهواء  $0.8 \text{ m}^3 / \text{kg}$  ويمكن تجاهل تأثيرات سمك الريشة. حدّد الكميات الآتية: الكفاءة المانوميترية، القدرة المطلوبة والضغط عند التصريف.

Ans. {57.9% , 2.08kw , 39.2m of air}

11/ عجلة مضخة طرد مركزي بقطر خارجي مقداره 250mm ويكون ممر الماء بعرض مقداره 32mm عند المخرج . يتم تخفيض المحيط بمقدار 12% علي حساب سمك الريش . تكون ريش العجلة مائلة بزاوية مقدارها 140 درجة مع المماس الأمامي عند المخرج. الكفاءة المانوميترية = 83% ،  $rev/min$  ،  $Q=2.86 \text{ m}^3 / \text{min}$  ،  $\omega=1000$  . أحسب كفاءة التحويل لحلقة الناشرة. افترض عدم وجود فقدوات في العجلة.

Ans. {56%}

12/ عجلة مضخة طرد مركزي لها قطر خارجي مقداره 250mm ومساحة مخرج فعالة مقدارها  $170 \text{ cm}^2$  . تكون الريش مقوسة إلى الخلف بحيث تصنع الزاوية عند حافة المخرج 148 درجة مع المماس المرسوم إلى اتجاه دوران العجلة. أقطار فتحات السحب والتصريف هما 150mm و 125mm على التوالي.

عندما تدور بسرعة  $1450 \text{ rev/min}$  وتقوم بتصريف  $28 \text{ dm}^3 / \text{s}$  من الماء ، وجد ان أسمات الضغط عند فتحات السحب والتصريف هما علي التوالي 4.5m أسفل و 13.5m أعلي الضغط الجوي، النقاط التي تقاس عندها أسمات الضغط هذه تكون عند نفس المستوي. الموتور الذي يدير المضخة يقوم بإمداد قدرة مقدارها  $8 \text{ kw}$  . يدخل الماء للريشة (العجلة) بدون صدمة أو دوامة. مفترضاً أن مكونة تدويم المخرج الحقيقية = 0.7 من المثالية، تحصل علي الآتي: (a) الكفاءة الاجمالية ؛ (b) الكفاءة المانوميترية المؤسسة على مركبة التدويم الحقيقية .

Ans. {(a) 61.4 %; (b) 83.4%}

13/ مضخة طرد مركزي تقوم بتصريف 11.8 متر مكعب من الماء في الدقيقة بسرعة  $1200\text{rev}/\text{min}$  بكفاءة مانوميترية قدرها 75%. يكون قطر العجلة  $300\text{mm}$  بعرض عند المخرج  $75\text{mm}$ . تحتل الريش 12% من المحيط وتكون مقوسة إلى الخلف صانعة زاوية مقدارها 40 درجة مع المماس عند المحيط الخارجي. أحسب الكسر  $k$  لطاقة حركة التصريف من العجلة الذي يتم استرجاعه في الغلاف بافتراض عدم وجود فرق سمت في العجلة. ما هي قيمة الكفاءة المانوميترية اذا كان  $k=0$ ؟

أرسم رسومات توضيحية لعرض أسلوبين تقليديين يستخدمان لاسترجاع طاقة الحركة للتصريف من العجلة.

Ans. {0.402, 58%}

14/ اشتق تعبيراً للسرعة النوعية لمضخة طرد مركزي بدلالات سرعة دوران العجلة  $N$ ، الكمية المصروفة  $Q$  والسمت المنتج  $H$ .

مضخة طرد مركزي متعددة المراحل لها 6 مراحل بقطر عجلات مقدارها  $225\text{mm}$  تنتج سمتا مقدارها  $120\text{m}$  عندما تشتغل بسرعة  $1500\text{rev}/\text{min}$  وتقوم بتصريف 5.45 متر مكعب من الماء في الدقيقة.

يتم استخدام أربع مراحل متشابهة هندسياً بقطر عجلات مقدارها  $300\text{mm}$  لإنشاء مضخة متعددة المراحل تعمل بسرعة  $1000\text{rev}/\text{min}$  بافتراض أن كل مرحلة في كلا المضختين تعمل تحت حالات متشابهة ديناميكياً، تحصل علي الآتي: (a) الكمية بالـ  $\text{m}^3/\text{min}$  التي سيتم تصريفها بواسطة هذه المضخة و (b) السمت الذي سينتج

Ans. {(a)  $8.61/\text{m}^3/\text{min}$  ، (b)  $63.2\text{m}$ }

15/ مضخة طرد مركزي تنتج بيانات الأداء التالية عندما تشتغل بسرعة  $1500\text{rev}/\text{min}$  على اختبار تشغيل.

السرمان ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.075	0.150	0.200	0.250	0.300
السمت الكلي ( $\text{m}$ )	70	68	64	58	49
قدرة الدخل ( $\text{kw}$ )	97	127	147	163	170

مطلوب من المضخة تصريف ماء من حوض سفلي الي مستودع مستواه  $60m$  فوق ذلك للحوض السفلي. ماسورتي السحب والتصريف بقطر  $300mm$  وبطول متحد مقداره  $120m$  وبمعامل احتكاك  $(f=0.006)$  ، يكون  $12m$  من الطول على جانب السحب، ويبعد مدخل المضخة  $3m$  فوق مستوي الحوض السفلي. ما هو مقداري الكفاءة والتصريف عند سرعة الاختبار؟ ماهي السرعة التي ستكون أكثر اقتصادية لتشغيل المضخة وماهو مقدار سمت السحب الذي سيحدث عند مدخل المضخة تحت ظروف السرعة المثالية هذه؟

Ans.  $\{85.3\% , 0.2m^3/s , 1620 rev/min , 4.3m\}$

16/ عرف مصطلح السرعة النوعية لمضخة طرد مركزي واستنبط تعبيراً له بدالات سمت  $H$ ، التصريف  $Q$  والسرعة  $N$ .

مضخة طرد مركزي مطلوب منها رفع  $1.8m^3/min$  من الماء من منجم، سمت الكلي بتضمين الاحتكاك يكافئ  $750m$ . إذا كانت سرعة المضخة  $2900 rev/min$ ، أوجد العدد الأقل من المراحل إذا كانت السرعة النوعية في المرحلة الواحدة لاتقل عن 150 باستخدام وحدات المنظومة الدولية (SI units).

Ans.  $\{10 stages\}$

17/ مضخة طرد مركزي تضخ ماء بمعدل  $8.5m^3/hr$  عندما تكون سرعتها  $750 rev/min$ ، قطر العجلة (*impeller*) عند المخرج هو  $d_2 = 0.1m$  وعرضها هو  $B_2 = 15 mm$ . زاوية الخرج للريشة هي  $\beta = 25^\circ$ . أوجد سمت الناتج.

Ans.  $\{1.14m\}$

18/ مضخة طرد مركزي تدور بسرعة  $1400 rev/min$  وتضخ الماء بمعدل  $0.3m^3/s$  تحت سمت كلي مقداره  $20m$ . قطر العجلة عند المخرج هو  $0.3m$ ، وعرضها  $32mm$ ، سرعة السريان ثابتة  $(v_{f_1} = v_{f_2})$ . يدخل الماء الي العجلة في اتجاه نصف القطر. أوجد الزوايا الآتية:  
أ) زاوية الريشة عند المخرج.

ب) زاوية المدخل للريش المثبتة والتي تحيط بالعجلة.

Ans.  $\{37^\circ, 184^\circ\}$

19/ مروحة طرد مركزي تدور بسرعة  $960 \text{ rev/min}$ . معدّل سريان الهواء  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ، القطر الخارجي

للعجلة  $0.7 \text{ m}$  والداخلي  $0.48 \text{ m}$ ، عرض المروحية عند المدخل  $0.16 \text{ m}$ ، سرعة السريان ثابتة. تميل الريش

الي الخلف بالزوايا  $22.5^\circ$ ،  $50^\circ$  علي المماس عند المدخل والمخرج علي التوالي. أرسم مخططات السرعة ثم

أوجد السمتم النظري الناتج. خذ  $\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$

Ans.  $\{91.1 \text{ m of air}\}$

## الفصل الرابع

### مضخات السريان المحوري

### (Axial Flow Pumps)

#### 4.1 مدخل (Introduction):

في آلات السريان المحوري يكون التغيير بين المدخل والمخرج عند نفس نصف القطر، أي أن:

$$u_1 = u_2 = u = r \omega$$

أيضاً بما أن مساحة السريان متساوية عند المدخل والمخرج فإن سرعة السريان هي :

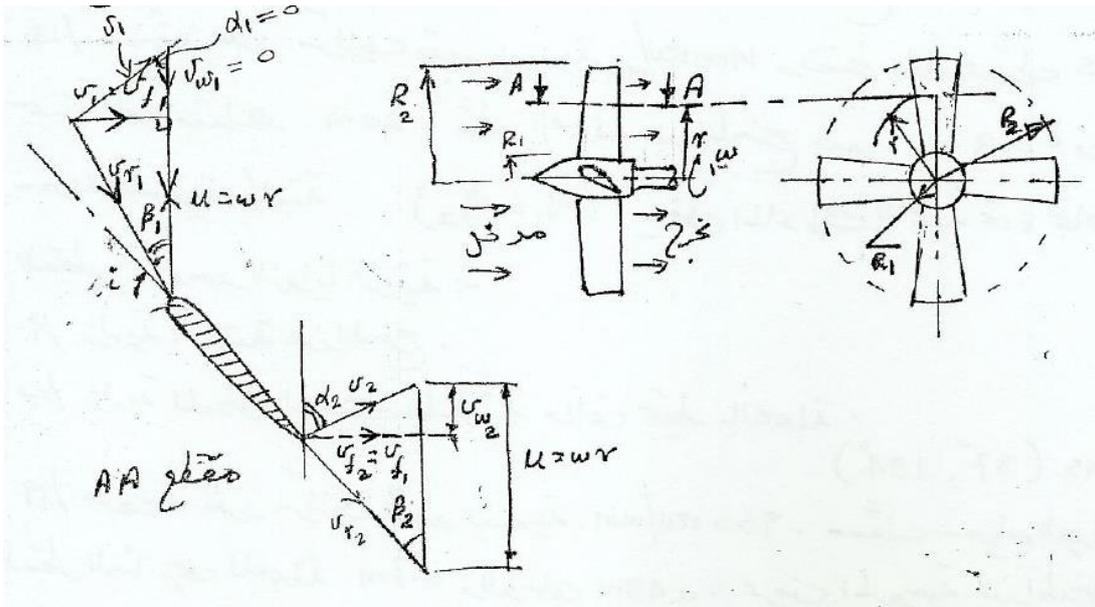
$$v_{f1} = v_{f2} = v_f$$

ويمكن إيجادها من المعادلة:

$$\dot{m} = \rho A v_f$$

$$\dot{m} = \rho v_f \pi (R_2^2 - R_1^2)$$

حيث  $R_2$  هي نصف قطر الدوار،  $R_1$  نصف قطر الصرة كما يوضح الشكل (4.1) ادناه:



شكل (4.1) مسقط أمامي وجانبي لمضخة سريان محوري ومثلثات سرعات الدخل والمخرج

يتم عمل الافتراضات التالية:

1/ لا يوجد تدويم عند المدخل وبالتالي فإن:

$$v_{w_1} = 0 , v_1 = v_{f_1} , \alpha_1 = 0$$

2/ لتحقيق حالة عدم وجود صدمات يتم ضبط زاوية الريشة بحيث تكون السرعة النسبية للمائع في اتجاه المماس

للريشة أو في اتجاه يناظر زاوية الهجوم (angle of attack) لسطح الجسيم الهوائي المعني.

3/ عند المخرج تكون السرعة النسبية في اتجاه المماس .

من مثلث السرعة عند المخرج:

$$\cot \beta_2 = \frac{u - v_{w_2}}{v_{f_2}}$$

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

وبالتعويض في معادلة أويلر فإن:

$$E = \frac{u_2 v_{w_2}}{g} = \frac{u}{g} (u - v_f \cot \beta_2)$$

الشغل المبذول لكل وحدة وزن في العجلة

بضرب طرفي المعادلة عاليه  $\times g$ :

$$Eg = u^2 - u v_f \cot \beta_2$$

من المعادلة عاليه يتضح أن الكمية:  $u^2 - u v_f \cot \beta_2$  هي كمية ثابتة ولكن  $u$  تتغير مع نصف القطر حسب

المعادلة:  $u = r\omega$  وبما ان  $v_f$  ثابتة لأي نصف قطر فإنه يجب إن تكون الزاوية  $\beta_2$  متغيرة مع نصف القطر

أي أنه يوجد التواء في الريشة .

مثال (4.1):

مروحة سريان محوري (axial flow fan) قطر الصرة (hub diameter) فيها 1.5m ، والقطر الخارجي 2m

(tip diameter). تدور المروحة بسرعة زاوية مقدارها 18 rad/s وتعطي هواء بمعدل 5m<sup>3</sup>/s وكان السمتم

النظري الناتج يعادل  $17mm$  من الماء . أوجد زاوية المخرج وزاوية المدخل للريشة عند الصرة وعند الطرف الخارجي . افرض أن الطاقة المحوَّلة في وحدة الطول للريشة تظل ثابتة. كثافة الهواء  $1.2kg/m^3$  ، وكثافة الماء  $1000 kg/m^3$ .

الحل:

$$v_f = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} = \frac{5}{\pi(1^2 - 0.75^2)} = 3.64 m/s$$

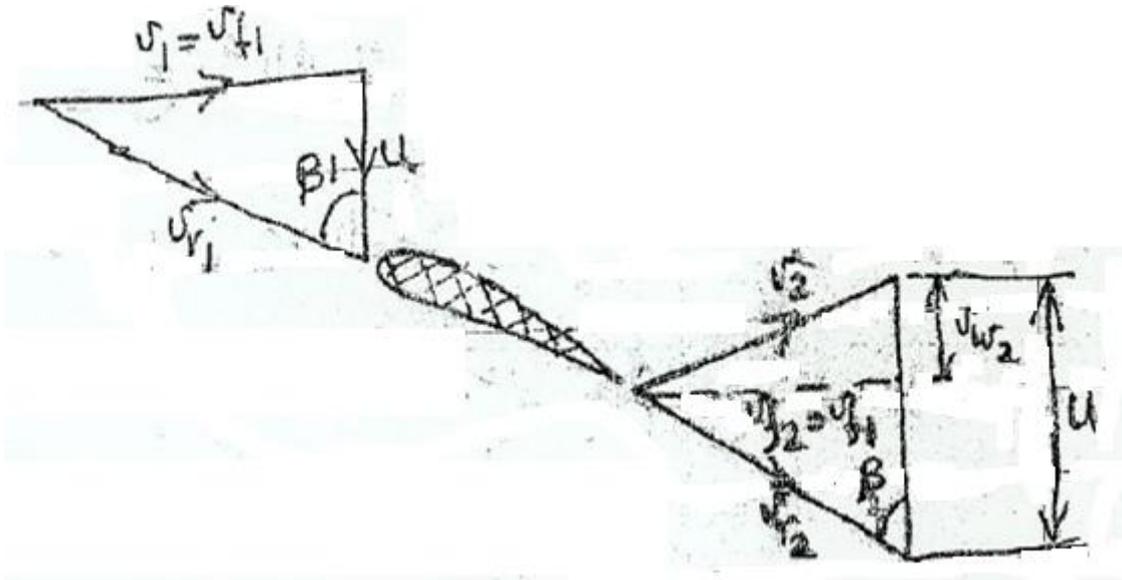
سرعة طرف الريشة:

$$u_t = R_2 \omega = 1 \times 18 = 18 m/s \text{ (tip)}$$

سرعة الريشة عند الصرة:

$$u_h = R_1 \omega = 0.75 \times 18 = 13.5 m/s \text{ (hub)}$$

الشكل (4.2) أدناه يوضح مخططات سرعات الدخل والمخرج لمروحة سريان محوري



شكل (4.2) سرعات الدخل والمخرج لمروحة سريان محوري

في حالة عدم وجود صدمات عند المدخل:

$$\tan \beta_1 = \frac{v_{f1}}{u} \quad \therefore \beta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{v_{f1}}{u} \right)$$

زاوية المدخل عند الصرة هي:

$$\beta_{1_h} = \tan^{-1} \frac{v_{f_1}}{u_h} \quad , \quad \therefore \beta_{1_h} = \tan^{-1} \frac{3.64}{13.5} = \underline{15^\circ}$$

زاوية المدخل عند الطرف هي:

$$\beta_{1_t} = \tan^{-1} \frac{v_{f_1}}{u_t} \quad , \quad \therefore \beta_{1_t} = \tan^{-1} \frac{3.64}{18} = \underline{11.4^\circ}$$

وبما إن السمتمت المتولّد بواسطة الريشة عند الطرف وعند الصرة ثابت وباستخدام المعادلة أدناه (أويلر):

$$E = \frac{u}{g} (u - v_f \cot \beta_2)$$

$$E = H_{th} = H_{water} \times \frac{\rho_{water}}{\rho_{air}} = \frac{0.017 \times 1000}{1.2} = \underline{14.16m \text{ of air}} \text{ أيضاً:}$$

عند الصرة:

$$E = \frac{u_h}{g} (u_h - v_f \cot \beta_{2_h})$$

$$14.16 = \frac{13.5}{9.81} (13.5 - 3.64 \cot \beta_{2_h})$$

زاوية المخرج للريشة عند الصرة ،  $\beta_{2_h} = \underline{\underline{48.6^\circ}}$

عند الطرف:

$$E = \frac{u_t}{g} (u_t - v_f \cot \beta_{2_t})$$

$$14.16 = \frac{18}{9.81} (18 - 3.64 \cot \beta_{2_t})$$

زاوية المخرج للريشة عند الطرف الخارجي ،  $\beta_{2_t} = \underline{\underline{19.5^\circ}}$

#### 4.2 مسائل في مضخّات السريان المحوري: (Problems in Axial Flow Pumps)

1/ في مضخّة سريان محوري يدخل الماء إلي الريش بزواوية  $30^\circ$  ويخرج بزواوية  $45^\circ$  بالنسبة لمستوي الدوران

وذلك عند نصف قطر متوسط مقداره  $300 \text{ mm}$ . سرعة السريان ثابتة في اتجاه المحور. أرسم مخططات

السرعة عند المدخل والمخرج عندما تكون سرعة الدوران  $600 \text{ rev/min}$ ، ثم أوجد السميت النظري خلال

المروحية. *Ans.* {15.25m}

2/ مضخة سريان محوري تدور بسرعة  $500 \text{ rev/min}$ ، القطر الخارجي للمروحية  $750 \text{ mm}$ ، و قطر الصرة  $400 \text{ mm}$ . زاوية المدخل للريشة عند القطر المتوسط  $12^\circ$  درجة وزاوية المخرج  $15^\circ$  بالنسبة لمستوي الدوران . ارسم مخططات السرعة عند المدخل والمخرج ، ثم أوجد :

(أ) السميت الناتج عن المضخة.

(ب) معدل السريان خلال المضخة.

(ج) لقدرة المطلوبة لتشغيل المضخة.

*Ans.* {4.732m<sup>3</sup> / s، 1.01m<sup>3</sup> / s، 46.9kw}

3/ السرعة النوعية لعجلة مضخة سريان محوري هي  $1150$  وسرعة السريان هي  $2.5 \text{ m/s}$  . الأقطار الخارجية والداخلية للعجلة هما  $0.9 \text{ m}$  و  $0.45 \text{ m}$  على الترتيب. أحسب السرعة المناسبة للمضخة التي تعطي سمياً مقداره  $5.5 \text{ m}$  . أيضاً، أحسب زاوية الريشة عند مدخل المضخة.

*Ans.* {120 rev/ min, 41.56°}

4/ مضخة سريان محوري مطلوب منها تصريف  $1 \text{ m}^3 / \text{min}$  عند سميت مقداره  $7 \text{ m}$  بينما تدور بسرعة  $960 \text{ rev/min}$  . قطر المضخة الخارجي  $50 \text{ cm}$  و قطر صرتها  $25 \text{ cm}$  . أوجد الآتي: (أ) سرعة السريان التي يفترض أن تكون ثابتة من الصرة إلى الطرف، و (ب) القدرة المطلوبة لإدارة المضخة إذا كانت الكفاءة

الإجمالية %84 . *Ans.* {6.791 m/s, 81.75 kW}

5/ مضخة سريان محوري لديها البيانات التالية:

750 rev/ min

سرعة الدوران

1.75 m<sup>3</sup> /s

معدل التصريف الحجمي للماء

7.5 m

السميت

نسبة قطر الصرة إلى قطر العجلة 0.45

سرعة السريان خلال المضخة تمثّل 0.35 مضروبة في السرعة المحيطية. أوجد القطر ونسبة السرعة الدنيا.

Ans. {0.59 m ، 0.83}

6/ في مضخة سريان محوري، للدوار قطر خارجي مقداره 75 cm و قطر داخلي مقداره 40 cm ؛ يدور الدوار بسرعة 500 rev / min . عند متوسط نصف قطر الريشة ، زاوية مدخل الريشة هي 12° وزاوية مخرج الريشة هي 15° . أرسّم مخططات السرعة المناظرة عند المدخل والمخرج، وحدّد منهما: (أ) السمّت المتولد بواسطة المضخة ، (ب) التصريف أو معدل السريان بالـ L/ s ، (ج) القدرة الحصانية المدخلة للعمود والمطلوبة لإدارة المضخة، و (د) السرعة النوعية للمضخة . افترض كفاءة مانومترية أو هيدروليكية مقدارها 88% وكفاءة كلية أو إجمالية مقدارها 81%.

Ans. {19.8m ، 705 L/ S ، 230 hp ، 45}

7/ إذا قامت مضخة سريان محوري بتصريف معدّل سريان حجمي Q ضد سمّت H عندما كانت تدور بسرعة N . اشتقّ تعبيراً لسرعة مضخة مشابهة هندسياً بنفس الحجم عندما تشتغل ضد وحدة سمّت تقوم بنقل وحدة قدرة إلى الماء المناسب خلالها. وضح أنّ هذه القيمة تكون متناسبة مع السرعة النوعية للمضخة.

## الفصل الخامس

### أداء مضخات الطرد المركزي

#### (Performance of Centrifugal Pumps)

##### 5.1 التكيف في مضخات الطرد المركزي (Cavitation in Centrifugal Pumps):

إذا زادت السرعة على طول خط السريان (stream line) فإنَّ الضغط المطلق سينخفض. بما أن الضغط لا يمكن إن ينخفض الي قيمة أقل من ضغط البخار المقابل أو المناظر لدرجة حرارة المائع، فإنَّ انخفاض الضغط الي ضغط البخار يتسبب في غليان السائل وتتكون فقاعات صغيرة من البخار بكميات كبيرة. تتحرك هذه الفقاعات اسفل السريان وعندما تصل الي نقطة يكون فيها الضغط عالٍ تنهار هذه الفقاعات عندما يتكثف البخار الي سائل مرة أخرى. تتكون فجوة ويندفع السائل المحيط لملئها. السائل المندفع نحو الفجوة من جميع الاتجاهات يصطدم عند مركز الفجوة لإعطاء ارتفاع كبير جداً في الضغط (i. e. أكبر من 10000 bar). وتتعرض أيضاً الأسطح الصلبة في هذه المنطقة لشدة الضغوط هذه. موجات الضغط تنمو وتزداد من المركز. عملية تكوُّن فقاعات البخار وانهارها يمكن أن يتكرر بضعة ألف مرة في الثانية . شدة الضغط المتكررة الواقعة على مساحات صغيرة للأسطح الصلبة تتسبب في كلال المادة والتآكل (fatigue and corrosion) مما يؤدي لتحفر السطح وتمزقه. ينتج عن ذلك اهتزاز وضجة كبيرين. في التوربينات والمضخات يظهر صوتاً كأنما هنالك حصي (gravels) يمر خلال راس الماكينة ( machine head) وتتأثر كفاءة الماكينة كثيراً.

أيضاً يمكن أن يحدث تكيف هوائي إذا كان السائل يحتوي أصلاً على هواء مذاب (dissolved air)، ولكنه أقل فاعلية.

يكون حدوث التكيف أكثر احتمالاً عندما تكون السرعة أو الصعود (السمت) عالٍ ويكون أكثر خطورة عندما

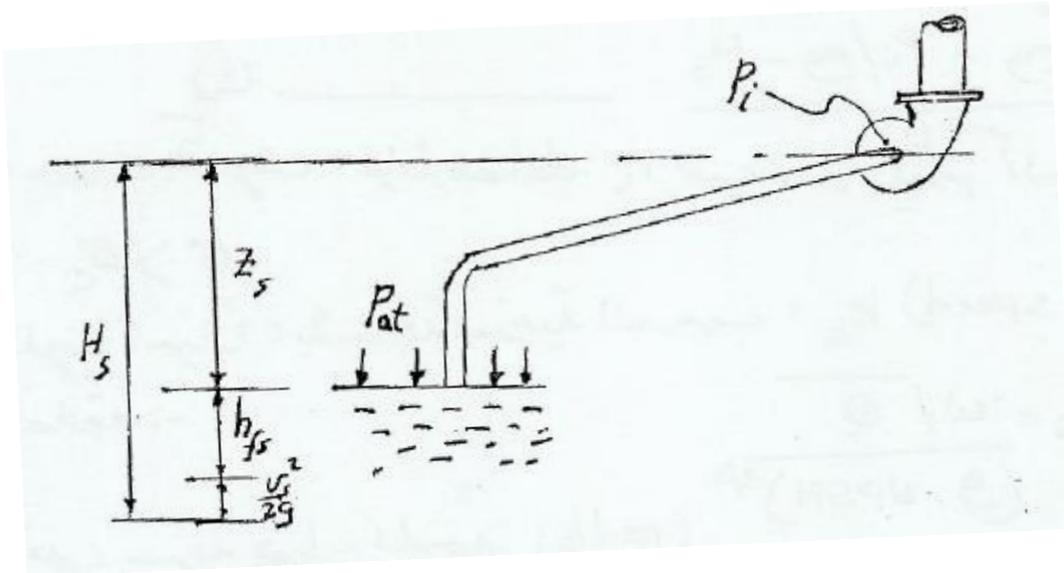
يكون الاثنان قيمتهما عالية e.g عند مدخل المضخة وعند مخرج التوربينة.

تتسبب ظاهرة التكهف في :

1/ تأكل السطوح المعدنية.

2/ أحداث اهتزاز وضوضاء في المضخة.

3/ فقدان الطاقة وانخفاض الكفاءة.



شكل (5.1) جانب السحب لمضخة طرد مركزي

من الشكل (5.1) أعلاه الذي يوضح جانب السحب لمضخة طرد مركزي، فإن:

الضغط المطلق داخل المضخة هو:

$$P_i = P_{at} - \rho g H_s \rightarrow (1)$$

حيث  $P_{at}$  هو الضغط الجوي (atmospheric pressure)،  $H_s$  هو سمت السحب (suction head)

والذي يشتمل علي ارتفاع المضخة عن مستوي سطح السائل في المصدر والفاقد في ماسورة السحب وسمت

السرعة. أي إن:

$$H_s = Z_s + h_{fs} + \frac{v^2}{2g} \rightarrow (2)$$

إذا كان ضغط البخار هو  $p_{vap}$  فإن التكهف يحدث عندما يكون:

$$P_i \leq P_{vap}$$

وبالتالي يكون السمتم المطلق للمضخة قبل بداية التكهف هو الفرق:

$$\frac{P_i - P_{vap}}{\rho g}$$

يعرف هذا الفرق بسمتم السحب الموجب الصافي (Net Positive Suction Head) (NPSH)

وعليه فإن:

$$NPSH = \frac{P_i - P_{vap}}{\rho g} = \frac{P_{at} - \rho g H_s - P_{vap}}{\rho g}$$

$$NPSH = \frac{P_{at}}{\rho g} - \frac{P_{vap}}{\rho g} - H_s \rightarrow (3) \text{ أو}$$

يُعرّف معامل التكهف (cavitation coefficient)  $\sigma$  بالنسبة الآتية:

$$\sigma = \frac{NPSH}{H}$$

حيث  $H$  هو السمتم الكلي للمضخة . أي أنّ:

$$\sigma = \frac{(P_{at} / \rho g) - (P_{vap} / \rho g) - H_s}{H} \rightarrow (4)$$

عندما يكون الضغط  $P_i$  مساوياً للضغط  $P_{vap}$  فإن النسبة أعلاه تُعرف بمعامل التكهف الحرج (critical)

(cavitation coefficient)  $\sigma_c$  ، والذي يعطي بالعلاقة :

$$\sigma_c = \frac{(P_{at} / \rho g) - (P_i / \rho g) - H_s}{H} \rightarrow (5)$$

لتفادي حدوث التكهف، فإنّ الضغط  $P_i$  يجب أن يكون أكبر من ضغط البخار  $P_{vap}$  ، أي إنّ:  $\sigma > \sigma_c$  .

يُعطى التكهف أحياناً، بالسرعة النوعية للسحب،  $k_s$  (suction specific speed) وتعطي بالعلاقة:

$$k_s = \frac{\omega \sqrt{Q}}{(g \times NPSH)^{3/4}}$$

حيث  $\omega$  هي سرعة دوران المضخة ( $rad/s$ )

$Q$  معدل السريان الحجمي للمضخة ( $m^3/s$ )

$NPSH$  سمت السحب الموجب الصافي ( $m$ )

العلاقة بين رقم النوع (السرعة النوعية اللابعدية)،  $n_s$  والسرعة النوعية للسحب  $k_s$  هي :

$$\frac{n_s}{k_s} = \frac{\omega\sqrt{Q}}{(gH)^{3/4}} \div \frac{\omega\sqrt{Q}}{(g \times NPSH)^{3/4}} = \frac{(NPSH)^{3/4}}{H^{3/4}} = \sigma^{3/4}$$

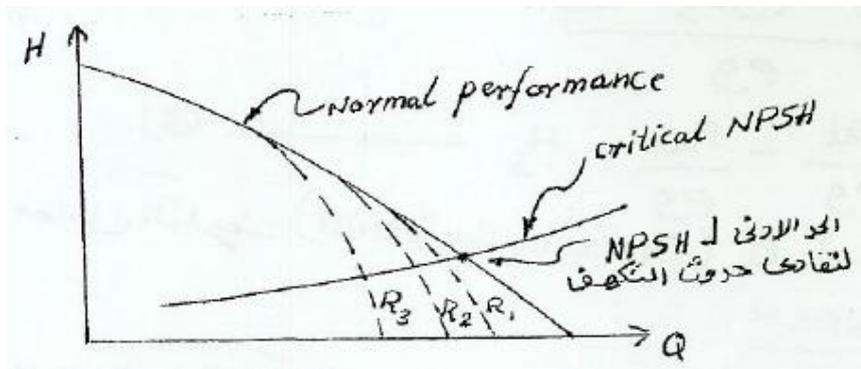
إي أن،

$$\sigma = \left( \frac{n_s}{k_s} \right)^{4/3} \rightarrow (6)$$

بالنسبة لمضخات متشابهة، يمكن استخدام قوانين التشابه للحصول على العلاقة الآتية:

$$\frac{(NPSH)_1}{(NPSH)_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \rightarrow (7)$$

من العيوب الناتجة عن التكيف، تقليل الأداء كما يوضح الشكل (5.2) أدناها:



شكل (5.2) أثر التكيف في تقليل أداء مضخات الطرد المركزي

مثال (5.1):

السمت الكلي لمضخة طرد مركزي  $40m$  ، والضغط الجوي يعادل  $10.2m$  و ضغط البخار  $1.2m$  من الماء .

إذا كان معامل التكيف عند نقطة التشغيل هو  $0.05$  فما هي قيمة سمت السحب الكلي ( $H_s$ ) .

الحل:

$$\sigma = 0.05$$

عند نقطة التشغيل فإن:

$$\frac{NPSH}{H} = 0.05$$

أي أن:

$$NPSH = 0.05 \times 40 = 2m \text{ أو}$$

$$NPSH = \frac{P_{at}}{\rho g} - \frac{P_{vap}}{\rho g} - H_s \text{ من المعادلة:}$$

$$NPSH = 2m, \frac{P_{at}}{\rho g} = 10.2m, \frac{P_{vap}}{\rho g} = 1.2m \text{ وبالتعويض عن القيم:}$$

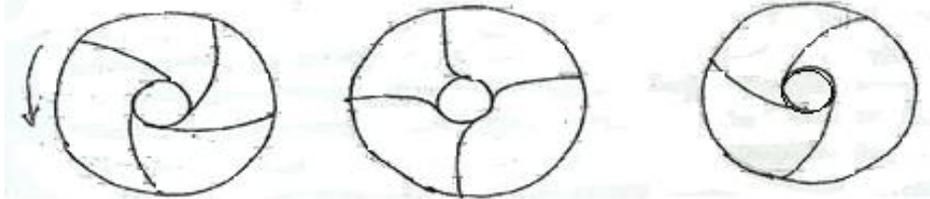
$$2 = 10.2 - 1.2 - H_s \text{ فإن:}$$

$$H_s = 10.2 - 1.2 - 2 = \underline{7m} \text{ هو: } H_s \text{ ، سم السحب الكلي ،}$$

### 5.2 أنواع ريش عجلات مضخات الطرد المركزي:

Rotation

الشكل (5.3) أدناه يوضح أنواع ريش عجلات مضخة الطرد المركزي.



ريش مقوسة إلى الأمام	ريش نصف قطرية	ريش مقوسة إلى الخلف
سمت عالي ولكن هنالك ضجة	سمت أقل وهنالك ضجة	سمت جيد وأقل ضجة
forward vanes	Radial vanes less	Backward vanes
High head and noise	head and noise	Good head and less noise

### شكل (5.3) أنواع عجلات مضخة الطرد المركزي

### 5.3 تهيئة مضخة الطرد المركزي (Priming of the Centrifugal Pump):

لإعداد مضخة لبدء الدوران فإن ماسورة السحب (suction pipe)، غلاف التصريف (delivery casing)، وجزء من ماسورة التصريف (delivery pipe) يجب ملئها بالسائل، لهذا الغرض هناك جزرة (صنبور) هواء (air cock) وصبابة (قُمع) (funnel) توجد على الغلاف.

يتم فتح الصمامات، ويتم صب السائل بالصَّبابة حتى يخرج من صنوبر الهواء، عندئذٍ يتم غلق صنوبر الهواء. عملية صب الماء تستمر حتى تمتلئ الصبابة تماماً، عندئذٍ يتم غلق صنوبر الصبابة. وهكذا تكون المضخة جاهزة لبدء التشغيل.

قبل إيقاف المضخة، يتم غلق صمام التصريف. وهذا هام لحماية المواسير من ضغوط القصور الذاتي (inertia pressures).

#### 5.4 خواص مضخات الطرد المركزي (Characteristics of Centrifugal Pumps):

خواص مضخات الطرد المركزي يتم الحصول عليها باختبار المضخة عند سرعات ثابتة لقياس معدل التصريف  $Q$ ، السمات المانومتري  $H_m$ ، وقدرة العمود  $P_s$  التي يمكن من خلالها حساب الكفاءة الإجمالية.

#### 1. خطوات الاختبار (Test Procedure):

شغل المضخة بالسرعة المطلوبة، اغلق صمام التصريف تماماً، سجل قيمة  $Q$  و  $H_m$ . افتح صمام التصريف بخطوات منتظمة، تأكد من إن السرعة تكون ثابتة. سجل  $H_m$ ،  $Q$ ، و  $P_s$ . استمر حتى اقصي فتحة لصمام التصريف. كرر الاختبار عاليه لسرعات أخرى  $N_2$ ،  $N_3$ ،  $N_4$ ، ... الخ.

$$\eta_{(overall)} = \frac{\rho g Q H_m}{P_s}$$

حيث  $P_s$  = قدرة العمود (shaft power)

#### 2. رسم منحنيات ثابت الكفاءة (Iso - Efficiency Curves):

##### الخطوات:

1/ أرسم مخطط  $H - Q$  فوق مخطط  $\eta - Q$  لسرعات مختلفة كما موضَّح في الشكل (5.4) أدناه.  $H$  و  $\eta$  يتم توضيحهما على الإحداثي الرأسي.

2/ أرسم خطاً أفقياً عند الكفاءة  $\eta_A$  على مخطط  $\eta - Q$  ليتقاطع مع منحنيات الكفاءة عند سرعات مختلفة:

$N_1$ ،  $N_2$ ،  $N_3$ ، ..... الخ.

3/ اسقط نقاط التقاطع المذكورة إلى أعلى لتتقاطع مع منحنيات  $H-Q$  عند السرعات المناظرة

$A_1, A_2, A_3, \dots$  الخ.

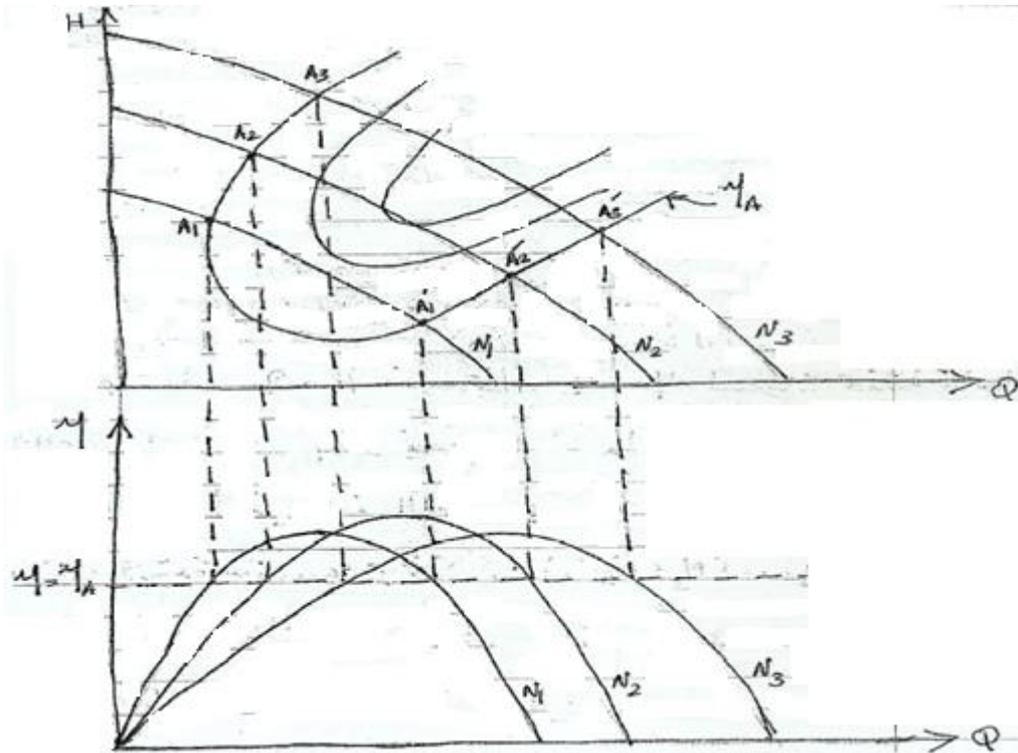
4/ أرسم خط الكفاءة المتساوية خلال النقاط  $A_1, A_2, A_3, \dots$  الخ.

### استخدام منحنيات ثابت الكفاءة (The Use of Iso-Efficiency Curves)

لأى مشروع، فإن قيم  $Q$  و  $H_m$  يجب أن تكون معلومة. القيم المزدوجة تُنَبِّت نقطة على منحنى الخاصية

$H_m - Q$ . نقاط السرعة الأفضل والكفاءة للمشروع المعين يمكن معرفتها. من الكفاءة المتحصل عليها، يمكن

حساب القدرة المطلوبة لإدارة المضخة. الشكل (5.4) أدناه يوضح منحنيات ثابت الكفاءة لمضخة طرد مركزي.



شكل (5.4) منحنيات ثابت الكفاءة لمضخة طرد مركزي

مثال (5.2):

قطر العجلة في مضخة طرد مركزي  $0.5m$ . تم اختبار هذه المضخة عند السرعة  $750 \text{ rev/min}$  حيث

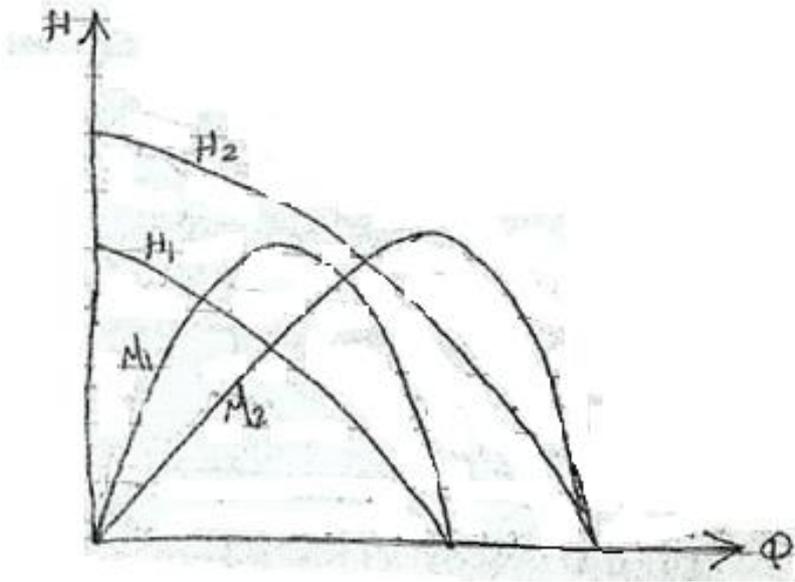
أعطت النتائج التالية:

$Q m^3 / min$	0	7	14	21	28	35	42	49	56
$H m$	40	40.6	40.4	39.3	38.0	33.6	25.6	14.5	0
$\eta (\%)$	0	41	60	74	83	83	74	51	0

أوجد أداء مضخة مشابهة قطرها  $0.35m$  وسرعتها  $1450rev/min$ .

الحل:

الشكل (5.5) أدناه يوضح منحنى الأداء لمضختين متشابهتين.



شكل (5.5) منحنى الأداء لمضختين متشابهتين

$$d_1 = 0.5m , N_1 = 750rev/min , d_2 = 0.35m , N_2 = 1450rev/min$$

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3 = \left( \frac{1450}{750} \right) \times \left( \frac{0.35}{0.5} \right)^3 Q_1 = 0.663Q_1$$

$$H_2 = H_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 = \left( \frac{1450}{750} \right)^2 \times \left( \frac{0.35}{0.5} \right)^2 H_1 = 1.83H_1$$

وبالتالي يمكن إعداد الجدول التالي ورسم منحنيات الأداء للمضخة عند السرعة  $N_2$  كما يوضح الشكل

(5.5) عاليه:

$Q_2 m^3 / min$	0	4.64	9.28	13.92	18.56	32.2	27.8	32.5	37.0
-----------------	---	------	------	-------	-------	------	------	------	------

$H_2 m$	73.4	74.3	74	71.9	69.5	61.5	46.8	26.5	0
$\eta_2 (\%)$	0	41	60	74	83	83	74	51	0

مثال (5.3):

تمّ اختبار نموذج لمضخة طرد مركزي عند السرعة  $2950 \text{ rev/min}$  وكانت النتائج عند الكفاءة القصوى كما يلي:

$$H = 75m , Q = 0.05m^3/s , \eta_0 = 0.76$$

أوجد رقم النوع لهذه المضخة مستخدماً الوحدات  $\text{rev/s}$ .

مطلوب تشغيل مضخة مشابهة عند النقطة المناظرة لتعطي معدّل سريان مقداره  $0.45 m^3/s$  عند سمّ  $117m$ . أوجد السرعة التي يجب أن تعمل بها المضخة والقدرة المطلوبة لتشغيل المضخة. ماهي نسبة قطر المضخة الثانية إلى قطر النموذج.

الحل:

$$N_1 = 2950 \text{ rev/min}, Q_1 = 0.05m^3/s, H_1 = 75m, \eta_0 = 76\%$$

$$\text{رقم النوع أو السرعة النوعية اللابعديّة} , n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{(gH)^{3/4}}$$

$$\therefore n_s = \frac{(2950/60) \times \sqrt{0.05}}{(9.81 \times 75)^{3/4}} = \underline{\underline{0.0778}}$$

بالنسبة للمضخة الثانية:

بما أنها مضخة مشابهة فإنه يجب إن يكون لها نفس رقم النوع، أي  $0.0778$  وعليه فإن:

$$n_s = 0.0778 = \frac{N_2 \times \sqrt{0.45}}{(9.81 \times 117)^{3/4}}$$

عليه فإن سرعة المضخة الثانية هي  $N_2 = \underline{1372 rev/min}$ :

تُعطي القدرة المطلوبة لتشغيل المضخة بالعلاقة:

$$P = \rho g Q H / \eta$$

$$P = \frac{9810 \times 0.45 \times 117}{0.76} = \underline{680 \times 10^3 W}$$

أو

$$P = \underline{680 \text{ kw}}$$

من علاقة معامل السريان:

$$\frac{Q_2}{N_2 D_2^3} = \frac{Q_1}{N_1 D_1^3} = \text{constant}$$

$$\frac{D_2}{D_1} = \sqrt[3]{\frac{Q_2 N_1}{Q_1 N_2}} = \underline{2.68} \therefore$$

مثال (5.4):

مضخة طرد مركزي بمرحلة واحدة قطر العجلة فيها 0.2 m تعطي الماء بمعدل  $12.3 L/s$  عند سمت فعال 21m عندما تدور بسرعة  $930 rev/min$ .

مضخة طرد مركزي متعددة المراحل تتكون من ثلاث عجلات متشابهة قطر كل منها 0.25m، سرعة المضخة  $1430 rev/min$ . افترض تحقق التشابه الديناميكي للمضختين. أوجد معدل السريان والسمت الأقصى الفعال للمضخة متعددة المراحل.

الحل:

$$d=0.2 \text{ m}, Q=12.3 L/s, H=21 \text{ m}, N= 930 rev/min$$

$$1430 rev/min, d_2 = 0.25 \text{ m } N_2 =$$

$$k_H = \frac{gH}{N^2 D^2} = \text{constant} \text{ معامل السمّت ،}$$

$$\frac{gH_2}{(1430)^2(0.25)^2} = \frac{21g}{(930)^2(0.2)^2}$$

$$\therefore H_2 = \underline{77.58m}$$

∴ السمت الكلي الناتج هو:

$$3 \times 77.58 = \underline{238.7m}$$

$$K_Q = \frac{Q}{ND^3} = \text{constant} \quad \text{معامل السريان}$$

$$= \frac{Q_2}{1430 \times (0.25)^3} = \frac{12.3}{930 \times (0.2)^3}$$

$$\therefore Q_2 = \underline{37 L/s}$$

### 5.5 مسائل إضافية أداء مضخات الطرد المركزي:

#### (Additional Problems in Performance Estimation of Centrifugal Pumps)

1. أجرى اختبار تكهف لإحدى المضخات التي أعطت النتائج التالية:

$$Q = 0.05m^3/s, H = 37m, P_{at} = 10.42m, P_v = 0.33m$$

حدث التكهف عندما كان سمت السحب الكلي  $H_s = 4m$ . أوجد قيم معامل التكهف وسمت السحب الموجب الصافي. وما هو اقصى ارتفاع لهذه المضخة بما فيه الفاقد عند مستوى سطح الماء في المصدر إذا كان المطلوب تشغيلها عند نفس النقطة على المنحني المميز لها وكان ضغط البخار يعادل  $h_{vap} = 0.17m$  ، والضغط الجوي يعادل  $h_{at} = 8.8m$ .

$$Ans. \{0.165, 6.08, 2.5m\}$$

2. مضخة طرد مركزي تتكون من 4 مراحل على التوازي تصرف سائل بمعدل سريان  $218 L/s$  عند سمت مقداره  $26m$ ، قطر العجلات  $0.229m$ ، وسرعة الدوران  $1700 rev/min$ . مطلوب تصنيع مضخة متعددة المراحل تتكون من عجلات متماثلة على التوالي مشابهة لمروحيات (عجلات) المضخة الأولى سرعة دورانها  $1250 rev/min$  لتعطي معدل سريان  $282 L/s$  عند سمت  $265m$ . أوجد قطر العجلة وعدد المراحل المطلوبة.

$$Ans. \{439mm, 5 stages\}$$

## 5.6 منظومة المضخة وخط المواسير (Pump and Pipeline System) :

## 1. العلاقة بين المضخة والمنظومة (Relation between the pump and the system):

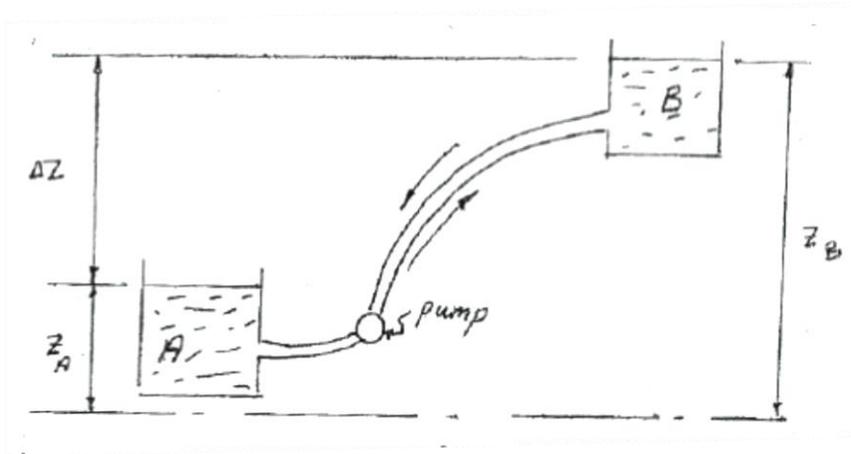
في أي خط أنابيب ينقل سائل فإنَّ الفاقد في الطاقة يُعطي بالعلاقة:

$$h_f = KQ^2 \rightarrow (1)$$

المعادلة عاليه تُسمي معادلة مقاومة المنظومة وعليه وللمحافظة على معدّل السريان  $Q$  يجب تزويد المنظومة بطاقة  $E$ . في حالة منظومة تتكوّن من خزانين يصل بينهما خط أنابيب فإنّ الفرق في منسوب الماء هو الذي يسبّب السريان وفي هذه الحالة فإنّ:

$$\Delta Z = E = h = KQ^2 \rightarrow (2)$$

حيث  $Q$  معدل السريان الحجمي، و  $K$  مقدار ثابت.



شكل (5.6) خزانان بينهما مضخة

سوف لن يكون هناك حاجة للمضخة في حالة السريان من الخزان B إلى A، ولكن عندما يكون السريان من A إلى B فيجب استخدام مضخة لتزويد السائل بطاقة تعادل فاقد الاحتكاك والفرق في مستوي السائل في الخزانين أي إنّ الطاقة الكلية المطلوبة هي:

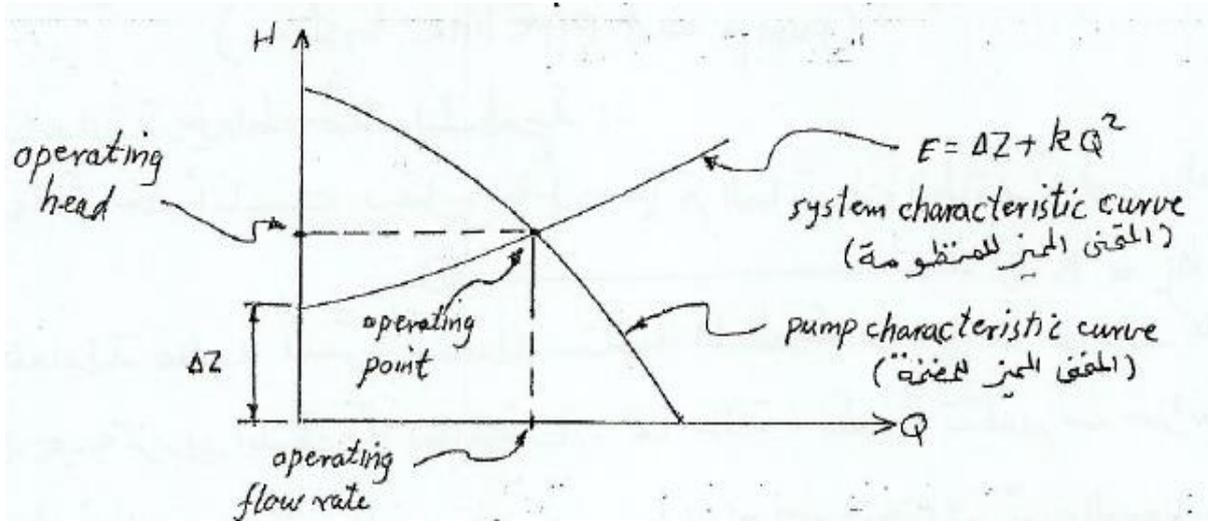
$$E = \Delta Z + KQ^2 \rightarrow (3)$$

يُسمَّى الفرق  $\Delta Z$  بالارتفاع أو الصعود السكوني  $h_s$  (static lift). يشتمل الحد  $KQ^2$  على فاقد المدخل والمخرج وفاقد الاحتكاك في ماسورتي السحب والتصريف بالإضافة إلى الفاقد نتيجة للانحناءات والتركيبات المختلفة الموجودة في الخط.

السمت الكلي المكتسب نتيجة للمضخة،  $H$  يعادل الفرق في المنسوب بين الخزانين زائداً مجموع الفواقد في ماسورتي السحب والتصريف أي أن:

$$H = \Delta Z + KQ^2 \rightarrow (4)$$

المعادلة (4) مماثلة للمعادلة (3) وذلك لأن الطاقة المطلوبة للمنظومة،  $E$  يجب إن تكون مساوية للطاقة الناتجة من المضخة،  $H$ .



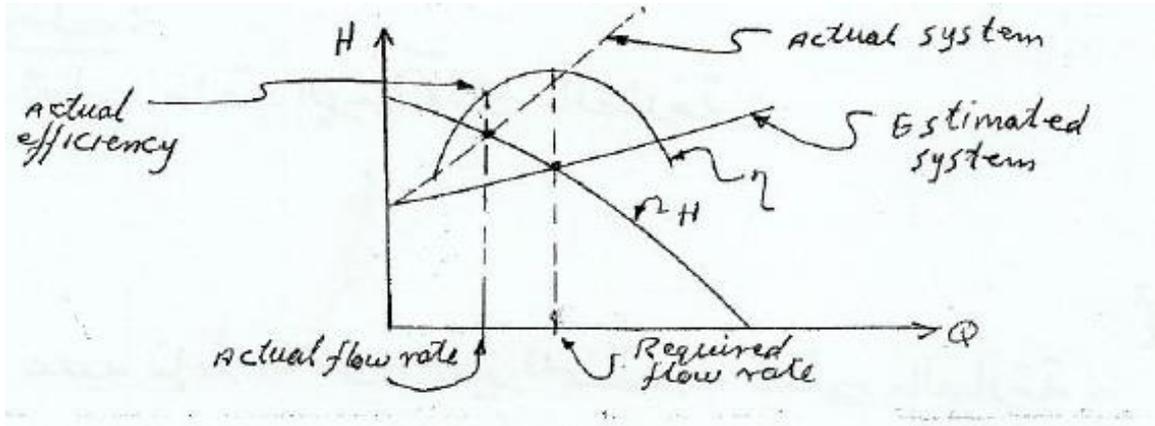
شكل (5.7) المنحنى المميز للمنظومة والمضخة

برسم المعادلة (4) يمكن الحصول على المنحنى المميز للمنظومة والذي يعطي بسهولة فاقد السمات لأي قيمة لمعدل السريان  $Q$ . من الواضح أنه عند تشغيل مضخة طرد مركزي مثلاً في منظومة خط أنابيب فإن معدل السريان في المضخة يجب أن يكون مساوياً لمعدل السريان في المنظومة كما إن السمات المتولد في المضخة يجب إن يكون مساوياً للطاقة المطلوبة بواسطة المنظومة عند معدل السريان المعني أي إن:

$$H = E$$

عند رسم المنحني المميّز (characteristic curve) للمنظومة والمنحني المميز للمضخة في نفس الرسم البياني فإن نقطة التقاطع تسمى بنقطة التشغيل (operating point) أو نقطة الموائمة (matching point) كما هو موضح في الشكل (5.7) أعلاه.

عملية موائمة المضخة عادة تعني عملية اختيار مضخة لتعمل في منظومة معينة بحيث تعطي معدل السريان المطلوب عند نقطة الكفاءة القصوى أي نقطة التصميم للمضخة (pump design point). عملياً لا يمكن حساب مقاومة منظومة معينة بدقة عالية وعادةً تكون نقطة التشغيل منحرفة عن نقطة التصميم للمضخة كما يُوضّح الشكل أدناه:



شكل (5.8) انحراف نقطة التشغيل عن نقطة التصميم للمضخة

في الشكل (5.8) عاليه يكون معدل السريان الفعلي اقل من معدل السريان المطلوب كما إن الكفاءة التي تعمل عندها المضخة منخفضة وبالتالي فإن القدرة المستهلكة تكون كبيرة.

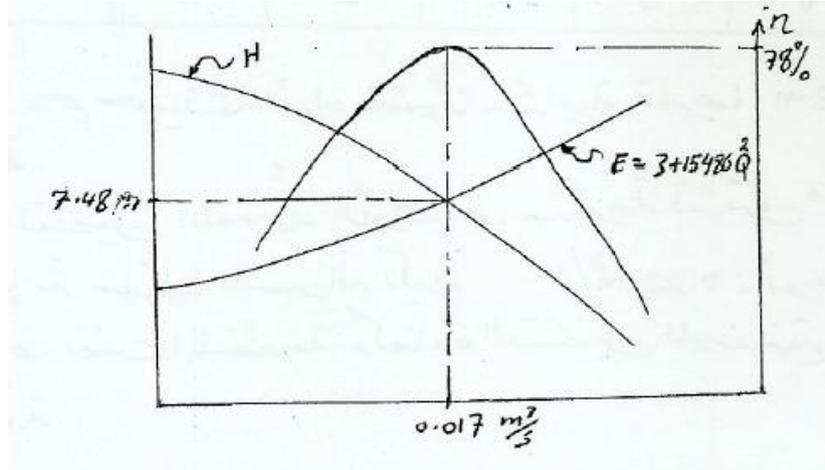
مثال (5.5):

الجدول أدناه يُوضّح نتائج اختبار لمضخة طرد مركزي:

$Q \text{ m}^3/s$	0.01	0.014	0.017	0.019	0.024
$H \text{ m}$	9.5	8.7	7.4	6.1	0.9
$\eta \%$	65	81	78	68	12

يتم تركيب المضخة في منظومة تتكون من خط أنابيب قطره 0.15m وطوله 840m، عامل الاحتكاك 0.0042. يصل خط الأنابيب بين خزانين الفرق في مستوي الماء فيهما 3m ويتم ضخ الماء من الخزان الأسفل إلى الخزان الأعلى. بإهمال كل الفواقد ما عدا الاحتكاك أوجد معدّل السريران والقدرة المستهلكة.

الحل:



شكل (5.9) المنحنى المميّز للمنظومة

يُعطى فاقد الاحتكاك بالعلاقة:

$$h_f = \frac{f l Q^2}{3d^5}$$

$$\therefore h_f = 15486 Q^2$$

عليه فإنّ المنحنى المميّز للمنظومة يعطى بالعلاقة:

$$E = 3 + 15486 Q^2$$

من المعادلة عاليه يمكن إعداد الجدول التالي للمنظومة:

Q	0	0.01	0.014	0.017	0.019	0.024
E	3	4.55	6.04	7.48	8.59	11.92

برسم هذه المعلومات يتم الحصول على المنحنى المميّز للمنظومة كما موضّح في الشكل (5.9) عالية.

عند نقطة التشغيل للمضخة فإن:  $Q = 0.017 m^3 / s$

$$H = 7.48 m , \quad \eta = 78\%$$

القدرة المستهلكة بالنسبة للمضخة:

$$p = \frac{\rho g Q H}{\eta} = \frac{9810 \times 0.017 \times 7.4}{0.78} = \underline{\underline{1.59}} \text{ kw}$$

مثال (5.6):

الجدول أدناه يوضح نتائج اختبار مضخة طرد مركزي قطرها 0.5m عند سرعة محددة :

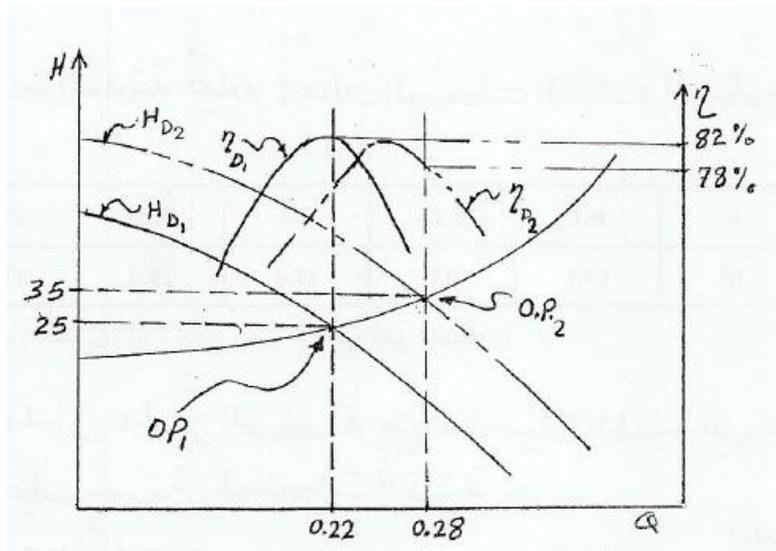
Q m <sup>3</sup> /s	0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
H m	40	37.5	33	27.5	20	12
η%	0	73	82	81	71	48

مطلوب رسم منحنيات الأداء لمضخة مشابهة قطرها 0.562m تدور بنفس السرعة.

إذا تم تشغيل المضخة الأولى في منظومة تشتمل علي ارتفاع سكوني مقداره 10m فإن معدل السريان يكون  $0.22 m^3 / s$ . أوجد نقطة التشغيل للمضخة الثانية في نفس المنظومة وكفاءة التشغيل للمضختين والقدرة

المطلوبة لإدارة كل مضخة.

الحل:



شكل (5.10) منحنيات الأداء لمضختين

باستخدام قوانين التشابه وعند سرعة ثابتة:

$$Q_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 Q_1 = \left(\frac{0.562}{0.5}\right)^3 Q_1$$

$$\therefore Q_2 = 1.42Q_1$$

أيضاً:

$$H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 H_1 = 1.263H_1$$

باستخدام هذه العلاقات يمكن إعداد الجدول التالي للمضخة الثانية :

$Q \text{ m}^3 / \text{s}$	0	0.142	0.213	0.284	0.355	0.426
$H \text{ m}$	50.52	47.36	41.68	34.73	25.26	15.16
$\eta \%$	0	73	82	81	71	48

من الجدول أعلاه يمكن رسم منحنيات المضخة الثانية كما موضَّح في الشكل (5.10).

يُعطى المنحنى المميّز للمنظومة بالعلاقة:  $E = \Delta Z + KQ^2$

عند نقطة تشغيل المضخة الأولى فإنّ:  $Q = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s}$

بالرجوع إلى المنحنى وعند نقطة التشغيل فإنّ  $Q = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s}$

عليه من الرسم {شكل (5.10)} فإنّ E عند نقطة التشغيل 25m كما إنّ  $\Delta z = 10\text{m}$  وباستخدام هذه القيم في

معادلة المنحني المميّز للمنظومة فإنّ:

$$25 = 10 + K(0.22)^2$$

$$\therefore K = 310$$

$$\therefore E = 10 + 310 Q^2$$

من هذه العلاقة يمكن إعداد الجدول التالي للمنظومة:

$Q \text{ m}^3 / s$	0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
$E \text{ m}$	10	13.1	17	22.4	29.4	37.9

من الجدول أعلاه يمكن رسم المنحنى المميز للمنظومة كما موضح في الشكل (5.10).

تقاطع المنحنى المميز للمنظومة مع منحنيات المضختين يعطى نقاط التشغيل ومنها يمكن معرفة المعلومات

الآتية:

المضخة الأولى:

$$Q = 0.22 \text{ m}^3 / s$$

$$H = 25 \text{ m}$$

$$\eta = 78\%$$

$$p = \frac{\rho g Q H}{\eta} = 69.2 \text{ kw}$$

المضخة الثانية:

$$Q = 0.28 \text{ m}^3 / s$$

$$H = 35 \text{ m}$$

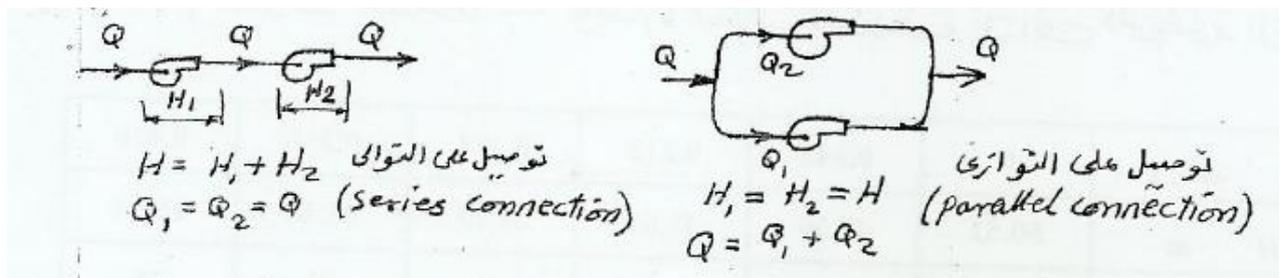
$$\eta = 82\%$$

$$p = 117.2 \text{ kw}$$

2. تشغيل المضخات على التوالي والتوازي:

### (Operation of Pumps in Series and Parallel)

الشكل (5.11) أدناه يوضح مضختان موصلتان على التوالي ومضختان أخريان موصلتان على التوالي.



شكل (5.11) توصيل مضخات على التوالي والتوازي

في حالة التوصيل على التوازي (Parallel Connection) :

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$H_1 = H_2 = H$$

في حالة التوصيل على التوالي (Series Connection) :

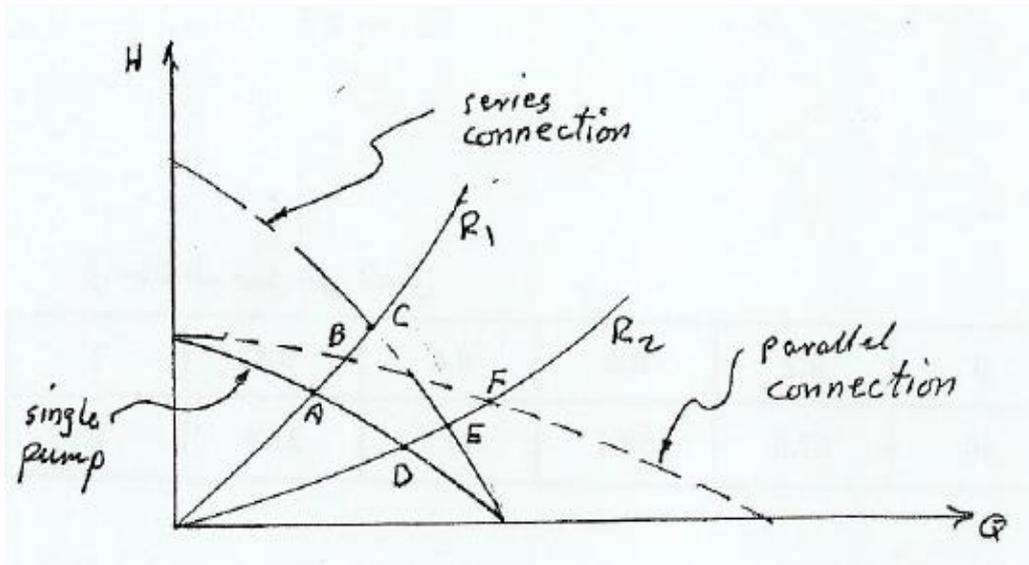
$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$H = H_1 + H_2$$

للحصول على المنحني المميز في حالة التوصيل على التوازي يتم إضافة معدّل السريان للمضختين عند نفس

السمت وفي حالة التوصيل على التوالي يتم إضافة السمت للمضختين عند نفس معدّل السريان. الشكل (5.12)

أدناه يُوضّح مضخّات متماثلة موصّلة على التوالي والتوازي.



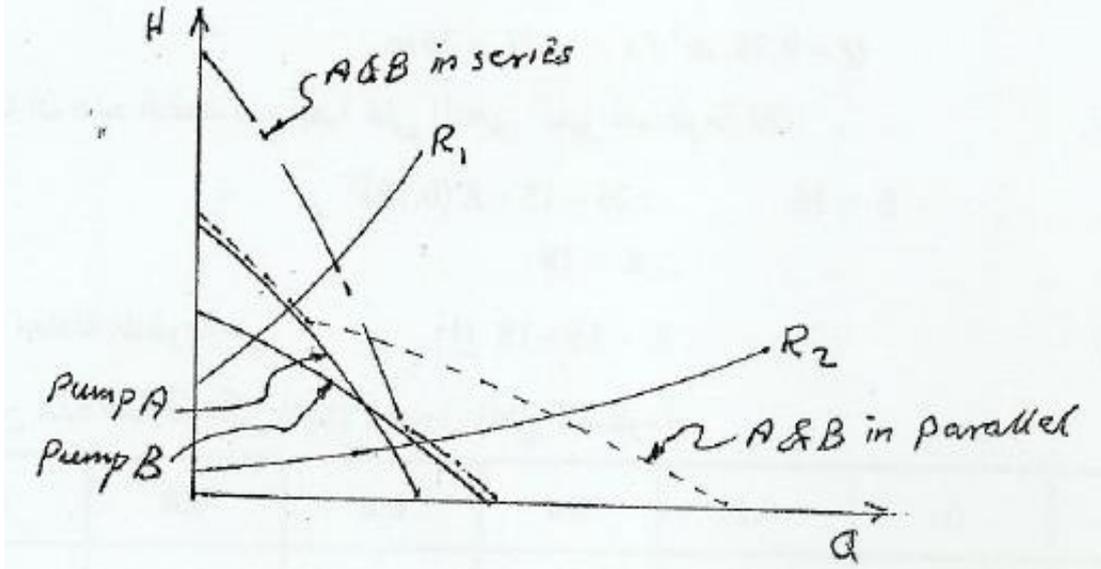
تمثل (5.12) المنحنيات المميزة لمضخات متماثلة موصلة على التوالي والتوازي

أفرض مقاومتين  $R_1$  و  $R_2$  للمنظومة (للتوضيح أفرض أن:  $\Delta Z = 0$ ) وتسمى هذه الحالة منظومة احتكاكية

بحته (خالصة).

يمكن أيضاً توصيل مضخّات غير متماثلة ويتم الحصول على المنحنيات المميزة بنفس الطريقة السابقة كما هو

موضح في الشكل (5.13) أدناه .



شكل (5.13) المنحنيات المميزة لمضخات غير متماثلة موصلة على التوالي والتوازي

مثال (5.7):

الجدول أدناه يوضح نتيجة اختبار مضخة طرد مركزي:

$Q \text{ m}^3 / \text{s}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$H \text{ m}$	30	28.8	25.2	19.2	10.8	0

عند توصيل مضختين متماثلتين على التوالي في منظومة كان معدل الانسياب هو نفس معدل الانسياب عند

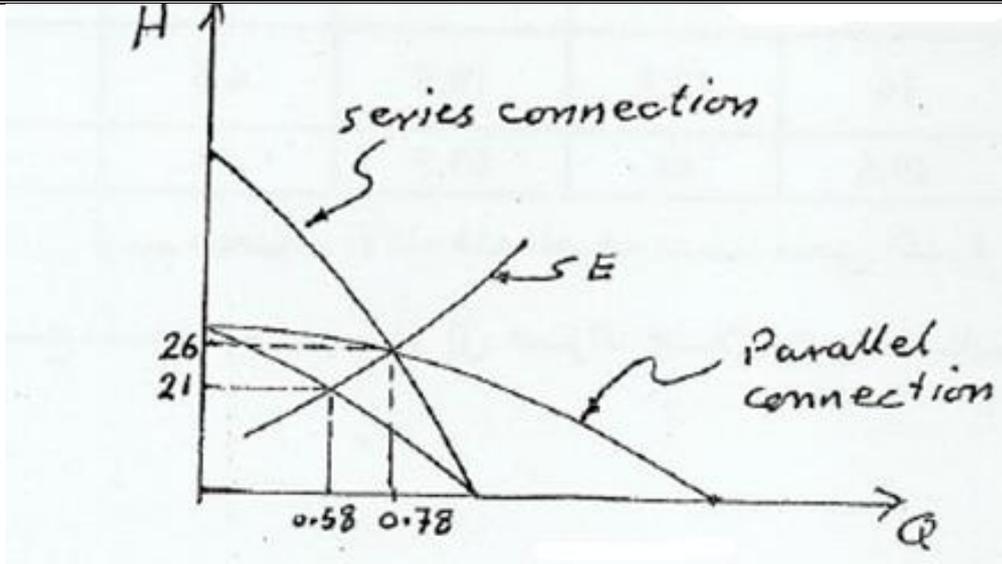
توصيلهما على التوالي. الارتفاع السكوني 15m . أوجد معدل الانسياب في المنظومة عند تركيب مضخة

مفردة.

الحل:

الشكل (5.14) يوضح منحنيات الأداء في حال توصيل مضختين على التوالي وعلى التوالي وفي حال

مضخة مفردة.



شكل (5.14) منحنيات الأداء في حال التوصيل على التوالي والتوازي وفي حال مضخة مفردة

في حالة التوصيل على التوالي:

$Q \text{ m}^3 / \text{s}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
$H \text{ m}$	60	57.6	50.4	38.4	21.6	0

وفي حالة التوصيل على التوازي:

$Q \text{ m}^3 / \text{s}$	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2
$H \text{ m}$	30	28.8	25.2	19.2	10.8	0

من معادلة المنحني المميز للمنظومة :

$$E = 15 + KQ^2$$

من الرسم وعند نقطة تقاطع منحنيات التوازي والتوالي فإن :

$$Q = 0.78 \text{ m}^3 / \text{s} , H = 26 \text{ m}$$

وبما أن هذه النقطة تقع أيضاً على المنحني المميز للمنظومة فإن:

$$E = 26 \quad \therefore 26 = 15 + K(0.78)^2$$

$$\therefore K = 18$$

∴ معادلة المنظومة هي :

$$E = 15 + 18Q^2$$

ومن هذه العلاقة يمكن إعداد الجدول التالي للمنظومة :

$Q \text{ m}^3 / \text{s}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$H \text{ m}$	15	15.72	17.88	21.48	26.52	33

وعليه فان نقطة تشغيل المضخة المفردة في المنظومة هي :

$$Q = 0.58 \text{ m}^3 / \text{s} \quad , \quad H = 21 \text{ m}$$

### 5.7 مسائل متنوعة في المضخات (Different Problems of Pumps):

1. الجدول أدناه يوضح نتيجة اختبار مضخة طرد مركزي عند السرعة 1350 rpm.

$Q \text{ m}^3 / \text{s}$	0	23	46	69	92	115
$H \text{ m}$	17	16	13.5	10.5	6.6	2
$\eta \%$	0	49.5	61	63.5	53	10

أرسم منحنيات الأداء لهذه المضخة مضمناً منحنى القدرة . تم استخدام هذه المضخة لضخ الماء من مصدر إلى خزان خلال خط أنابيب طوله 800m ، قطره 0.15m و  $f = 0.004$  و  $\Delta z = 8 \text{ m}$  . أوجد معدّل الانسياب والقدرة المستهلكة.

$$\text{Ans.} \{60 \text{ m}^3 / \text{hr} \text{ , } 3.14 \text{ KW}\}$$

أوجد معدّل الانسياب والقدرة المستهلكة إذا زادت السرعة إلى 1450 rpm.

2. الجدول أدناه يوضح أداء مضخة انسياب محوري عند السرعة 1450rpm.

$Q \text{ m}^3/s$	0	0.046	0.069	0.092	0.115	0.138	0.18
$H \text{ m}$	5.6	4.2	4.35	4.03	3.38	2.42	0

عند توصيل مضختين من هذا النوع على التوازي في منظومة كان معدّل الانسياب مساوياً لمعدّل الانسياب في حالة التوصيل على التوالي . المنظومة لا تشتمل على ارتفاع سكوني (منظومة مقاومة بحتة). أوجد السرعة التي يجب أن تعمل بها مضخة مفردة من نفس النوع لإعطاء نفس معدّل الانسياب في المنظومة

*Ans.*{1691 rpm}

3. الجداول أدناه توضح أداء مضختي طرد مركزي:

**المضخة (1):**

$Q \text{ m}^3/s$	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
$H \text{ m}$	25	24.3	22.2	18.75	13.89	7.66	0

**المضخة (2):**

$Q \text{ m}^3/s$	0	0.5	1	1.5	2
$H \text{ m}$	20	18.25	15	8.75	0

مطلوب تركيب المضختين في منظومة تشتمل على خط انابيب طوله 76.5m وقطره 0.5m ، و

$f = 0.001$  . أوجد معدّل الانسياب والسمت الناتج في حالة:

- i. استخدام المضخة الأولى فقط.
- ii. استخدام المضخة الثانية فقط.
- iii. توصيل المضختين على التوالي.

.iv. توصيل المضختين علي التوازي.

4. الجداول أدناه تُوضِّح أداء مضختين A و B عند سرعة ثابتة:

PUMP: A

$Q \text{ m}^3 / s$	0	0.006	0.012	0.018	0.024	0.03	0.036
$H \text{ m}$	22.6	21.9	20.3	17.7	14.2	9.7	3.8
$\eta \%$	0	32	74	86	85	66	28

PUMP: B

$Q \text{ m}^3 / s$	0	0.006	0.012	0.018	0.024	0.03	0.036
$H \text{ m}$	16.2	13.6	11.9	11.6	10.7	9	6.4
$\eta \%$	0	14	22	60	80	80	60

مطلوب تركيب احدي المضختين في منظومة تتكون من ارتفاع سكوني 3.2 m و ماسورة قطرها 100 mm وطولها 21 m ، معامل الاحتكاك 0.005. أيّ المضختين تقترح أن يتم استخدامها .

### 5.8 اختيار المضخة (Pump Selection):

عادة تبدأ عملية اختيار المضخة لتركيبها في منظومة معينة بمعرفة السمات ومعدّل التصريف المطلوب. هنالك بعض العوامل التي قد تؤثر في اختيار المضخة المناسبة:

(1) سرعة المضخة (سرعة المحرك).

(2) الكفاءة الكلية الدنيا  $\eta$ .

(3) الارتفاع السكوني.

(4) الحيز المتاح للمضخة ونوع المحرك.

(5) نوع السائل المطلوب ضخه (الكثافة، اللزوجة، .... الخ) وهل يحتوي على أجسام صلبة ، حامض.... الخ.

(6) مستوي الضوضاء المسموح به (noise).

(7) خاصية عدم التحميل الزائد .

(8) سهولة التركيب في منظومة معينة .

### الخطوات:

1. بمعرفة السمات ومعدل التصريف المطلوب وسرعة المضخة يمكن معرفة رقم النوع المطلوب من

$$n_s = \frac{N\sqrt{Q}}{(gH)^{3/4}} \rightarrow (1) \text{ العلاقة}$$

2. من منحنيات المجموعات اللابعدية يمكن معرفة قيم  $K_H$  و  $K_Q$  عند الكفاءة القصوى لأنواع مختلفة من المضخات المتاحة أي:

$K_{H1}, K_{Q1}, K_{H2}, K_{Q2}, \dots$  الخ وبالتالي يمكن معرفة رقم النوع لكل منها  $n_{s1}, n_{s2}, n_{s3}, \dots$  الخ

من العلاقة :

$$n_s = \frac{(K_Q)^{1/2}}{(K_H)^{3/4}} \rightarrow (2)$$

3. بعد ذلك يمكن إجراء مقارنة بين رقم النوع المطلوب (1) ورقم النوع للمضخات المتاحة (2) وبالتالي تحديد نوع المضخة .

4. إذا كان رقم النوع المطلوب (1) لا يطابق رقم النوع لأي من المضخات المتاحة (2) ففي هذه الحالة يتم

استخدام مضخة يكون رقم النوع لها اقرب ما يمكن ولكنه أكبر من رقم النوع المطلوب. هذا يعني أن

المضخة سوف تعمل على يمين نقطة التصميم وسف تكون الكفاءة أقل من الكفاءة القصوى.

5. يمكن تحديد القطر المطلوب (حجم المضخة) من العلاقة:

$$K_Q = \frac{Q}{ND^3}$$

6. تعطى القدرة المطلوبة لتشغيل المضخة بالعلاقة:

$$P = \frac{\rho gQH}{\eta}$$

7. من منحنيات المضخة يمكن معرفة قيمة معامل التكهف للمضخة عند نقطة التشغيل ( $\sigma$ ) ومن المعادلة

:

$$\sigma = \frac{NPSH}{H}$$

يمكن معرفة سمت السحب الموجب الصافي من المعادلة :

$$NPSH = \frac{P_{at}}{\rho g} - \frac{P_{vap}}{\rho g} - H_s$$

وبمعرفة  $P_{at}$  و  $P_{vap}$  للسائل المعين يمكن معرفة  $H_s$  (الذي يشمل سمت السحب السكوني والفواقد) وبالتالي

يمكن تحديد أقصى ارتفاع للمضخة عن مستوي السائل في المصدر .

**ملحوظة:** للحصول على سمت عالي يمكن استخدام مضخة متعددة المراحل (Multi stages pump)

## الكتب والمراجع

## الكتب والمراجع العربية:

1. دكتور أسامة محمد المرضي سليمان ، " مذكرة آلات هيدروليكية (1) أو ميكانيكا الموائع (A3) " ،  
جامعة وادي النيل ، كلية الهندسة والتقنية ، قسم الهندسة الميكانيكية ، (1995م) .
2. دكتور فتح الرحمن احمد الماحي ، " مذكرة آلات هيدروليكية (2) " ، جامعة وادي النيل ، كلية الهندسة  
والقنية ، قسم الهندسة الميكانيكية ، ( 1997 م ) .
3. دكتور اسامة محمد المرضي سليمان، " مذكرة آلات هيدروليكية (2) أو ميكانيكا الموائع (B3) " ، جامعة  
وادي النيل ، كلية الهندسة والتقنية ، قسم الهندسة الميكانيكية، ( 1995 م ) .
4. دكتور محمد هاشم صديق ، " ميكانيكا الموائع " ، الاصدار الكتابية ، ( 2016 م ) .
5. المهندس محمد خليل مدور ، " دليل المهندس في مشاريع مياه الشرب" ، (2014م).
6. دكتور أسامة محمد المرضي سليمان ، " تكنولوجيا المضخات " ، (2016م).
7. عماد توما بني كرش ، " تصميم مضخة الطرد المركزي " ، (2014م).
8. دكتور محمد عصام محمد عبد الماجد ، " ميكانيكا الموائع " ، (2015م).
9. عبد الرحمن على العذبة ، " ميكانيكا الموائع التطبيقية " ، (2010م).
10. المهندس عز الدين مجيد خسرو ، " المضخات وانواعها " ، (2016م).
11. الاشتراطات الخاصة بمعدات الاطفاء والانذار - الجزء الثاني ، يناير (2016م).
12. دكتور عصام محمد عبد الماجد، صابر محمد صالح ابراهيم، " الموائع " ، الدار السودانية للكتب،  
الخرطوم ، السودان، (2001م).

13. بشير عبد السلام ، " ميكانيكا الموائع " ، بيروت ، (1988م).

14. محمد بشير المنجد ، " الهيدروليك (1) " جامعة دمشق 1980م .

### الكتب والمراجع الإنجليزية:

1. Bernard Massey, "Mechanics of Fluid", Eighth edition, Taylor and Francis Publisher, (2006).
2. S.L. Dixon , " Fluid Mechanics , Thermodynamics of Turbo machinery " 5<sup>th</sup> edition , ( 2004 ) .
3. Zoeb Husain , Zulkifly Abdullah , Zainal Alimuddin , " Basic Fluid Mechanics and Hydraulic Machines " , BS Publications , Hyderabad , India , (2008 ) .
4. Jyh- cherng shieh, Department of Bio – Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, " Fundamentals of Fluid Mechanics, chapter (12) Pumps and Turbines " , (2014).
5. Colin Caprani, "Fluid Mechanics, 2<sup>nd</sup> year, Civil and Structural Engineering", (2007) .
6. Csaba Hos, "Fluid Machinery lecture notes", may (2014).
7. Frank M. White , University of Rhode Island , " Fluid Mechanics " , Seventh edition , McGraw Hill Publishers , ( 2009 ) .
8. Bruce Hunt , Department of Civil Engineering , University of Canterbury , Christchurch , New Zealand , " Fluid Mechanics for Civil Engineers " , (1995).
9. Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman, "Fluid Mechanics Examples and Answers", (2016).

10. Jack B. Evett, cheng Liu, "2500 Solved problems in fluid Mechanics and Hydraulics", McGraw Hill Publishers, New York, (1989) .
11. Goswami D. Y. and et. al., "Energy Conversion", CRC Press LLC, (1999).
12. Dr. Osama Mohammed Elmardi, "Further Experimental Research Work on Water Current Turbines", Lambert Academic Publishing, (2015).
13. Rama S. R. Gorla, Aijaz A. khan, "Turbo machinery – Design and theory", Marcel Dekker, (2003).

## نبذة عن المؤلف:



دكتور أسامة محمد المرضي سليمان خيال وُلِدَ بمدينة عطبرة بالسودان في العام 1966م. حاز على دبلوم هندسة ميكانيكية من كلية الهندسة الميكانيكية - عطبرة في العام 1990م. تحوّل أيضاً على درجة البكالوريوس في الهندسة الميكانيكية من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا - الخرطوم في العام 1998م ، كما حاز على

درجة الماجستير في تخصص ميكانيكا المواد من جامعة وادي النيل - عطبرة في العام 2003م ودرجة الدكتوراه من جامعة وادي النيل في العام 2017م. قام بالتدريس في العديد من الجامعات داخل السودان، بالإضافة لتأليفه لأكثر من أربعين كتابا باللغة العربية ولعشرين كتابا باللغة الإنجليزية بالإضافة لمائة ورقة علمية منشورة في دور نشر ومجلات عالمية إلى جانب إشرافه على أكثر من ثلاثمائة بحث تخرج لكل من طلاب الماجستير، الدبلوم العالي، البكالوريوس، والدبلوم العام. يشغل الآن وظيفة أستاذ مشارك بقسم الميكانيكا بكلية الهندسة والتقنية - جامعة وادي النيل وأيضاً عميدا لكلية الهندسة. بالإضافة لعمله كاستشاري لبعض الورش الهندسية بالمنطقة الصناعية عطبرة. هذا بجانب عمله كمدير فني لمجموعة ورش الكمالي الهندسية لخرافة أعمدة المرافق واسطوانات السيارات والخرافة العامة وكبس خراطيش الهيدروليك.