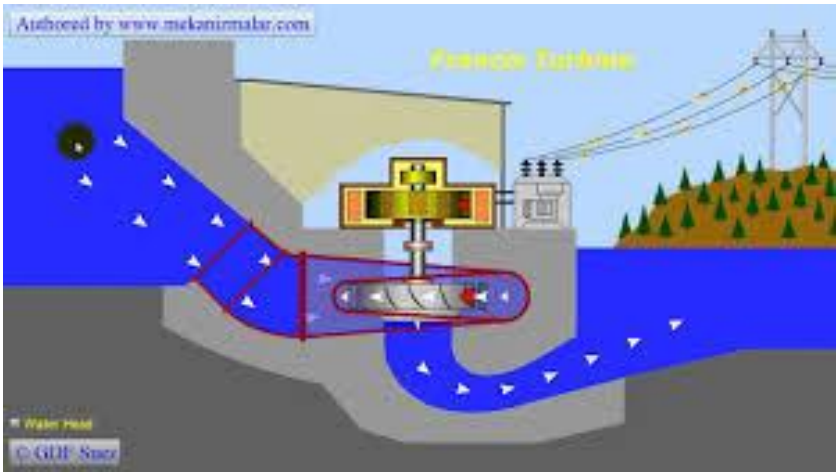
التوربينات نصف القطرية

Radial Flow Turbines

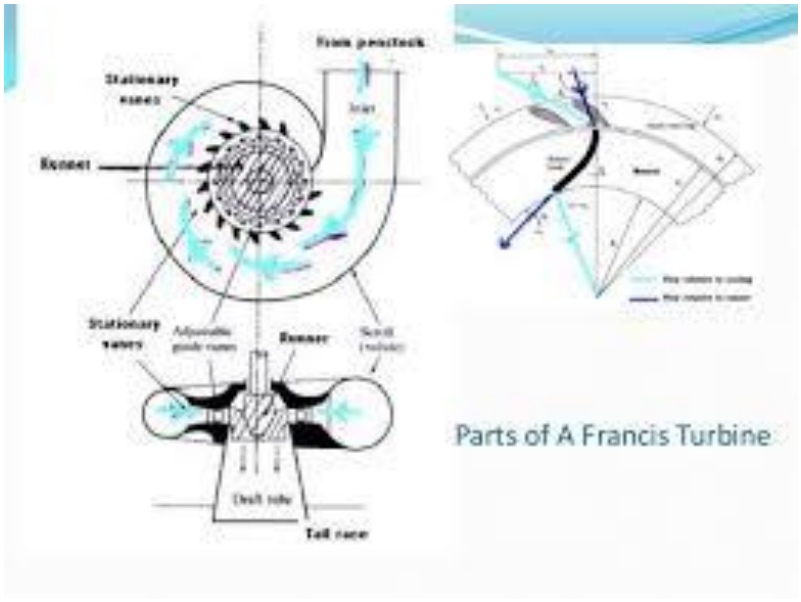


تأليف

أسامة محمد المرضي سليمان خيَّال

أستاذ مساعد بقسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة والتقنية،

جامعة وادي النيل، عطبرة، السودان



مارس 2017م

التوربينات نصف القطرية

Radial Flow Turbines

تأليف

أسامة محمد المرضي سليمان خيال

أستاذ مساعد بقسم الهندسة الميكانيكية ، كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل ، عطبرة ، السودان

Author

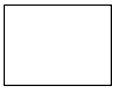
Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal

Assistant Professor at Mechanical Engineering Department

Faculty of Engineering and Technology, Nile Valley University

Atbara, Sudan

مارس 2017



شكر وعرفان

الشكر والعرفان لله والتبريكات والصلوات على رسوله وخادمه محمد صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه وجميع من تبعه إلى يوم القيامة.

لذكرى كُلٍّ من أمي 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 خاصَّةً عندما تتعقد وتتشابك الأمور.

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

يَوَّدُ 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 والعرفان للبروفيسور محمود يس عثمان الذي ساهم بقدر كبير في مراجعة وإعادة مراجعة محتويات الكتاب.

أُهدي هذا الكتاب لذكرى كُلٍّ من بروفيسور صابر محمد صالح وبروفيسور الفاضل آدم عبد الله وبروفيسور مشارك عبد الجليل يوسف العطا وبروفيسور مشارك محي الدين إدريس حربة، الذين ساهموا في تأسيس الصرح الشامخ كلية الهندسة الميكانيكية عطبرة، رحمهم الله جميعاً وأسكنهم فسيح جناته مع الصديقين والشهداء وحسن أولئك رفيقاً.

أهدي هذا الكتاب بصفة أساسية لطلاب دبلوم وبكالوريوس الهندسة في جميع التخصصات خاصة طلاب قسم الهندسة الميكانيكية حيث يستعرض هذا الكتاب علم وتكنولوجيا التوربينات نصف القطرية {radial flow turbines}.

وأُعبِّر عن شكري وامتناني إلى المهندس أسامة محمود بمركز دانية لخدمات الطباعة والنشر بمدينة عطبرة الذي أنفق العديد من الساعات في طباعة، مراجعة وإعادة طباعة هذا الكتاب أكثر من مرة.

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

مقدمة

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

إنَّ مؤلِّف هذا الكتاب إيماناً منه بالدور العظيم والمقدَّر 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 والهندسة الكهربائية والمدنية.

يتفَّق هذا الكتاب لغوياً مع القاموس الهندسي الموَّحد السوداني، ويُعد الكتاب مرجعاً في مجاله حيث يمكن أن يستفيد منه الطالب والمهندس والباحث ويعتبر الكتاب مقتبساً من مذكرات مؤلفه في تدريسه لهذا المقرر لفترة لا تقل عن ثلاث وعشرون عاماً.

يهدف هذا الكتاب لتأكيد أهمية استخدام التوربينات لتوليد قدرة ميكانيكية يُستفاد منها في توليد قدرة كهربائية أو تشغيل منظومة مضخَّات أو غيرها من التطبيقات الهندسية.

يشتمل هذا الكتاب على ثلاث فصول. يشتمل الفصل الأول على مدخل ودراسة نظرية للتوربينات الرد فعلية أو توربينة فرانسيس حيث يحتوي هذا الفصل على تعريفات أساسية لأجزاء توربين فرانسيس، إشتقاق المعادلات للوصول إلى حلول لقدرة خرج التوربين، الكفاءة الهايدروليكية، الكفاءة الإجمالية وغيرها بالإضافة لتأكيد أهمية استخدام أنابيب السحب في التوربينات.

أما الفصل الثاني فيشتمل على طيف واسع من الأمثلة المحلولة في توربينة السريان نصف القطري أو توربينة فرانسيس. يتم من خلال هذه الأمثلة تحديد سرعة دوران التوربين وقدرة خرج العمود وحساب زوايا الريشة عند مدخل ومخرج العجلة، تحديد سرعات وإتجاهات الماء الداخل إلى عجلة التوربين والخارج منها، توضيح أهمية أنبوب السحب، تحديد القدرة القصوى المتاحة من التوربينات وعددها، إشتقاق السرعة النوعية ووحدة القدرة ووحدة السرعة وحسابها، وأيضاً تحديد السرعة النوعية اللابعدية أو رقم النوع وكيفية حسابها.

يتناول الفصل الثالث مجموعة كبيرة من المسائل غير المحلولة في التوربينات الرد فعلية، أو توربينة الضغط أو توربينة فرانسيس وهي عبارة عن تدريبات وتمارين للطلاب لتنمية وتطوير قدراتهم على حل مثل هذه المسائل التي تشبه إلى حدٍ كبير تلك الموجودة في الحياة العملية.

إنَّ 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 إلاَّ ما جعلته سهلاً

وأنت تجعل الحزن إذا شئت سهلاً

والله ولي التوفيق

المؤلف
أسامة محمد المرضي سليمان
قسم الهندسة الميكانيكية
كلية الهندسة والتقنية
جامعة واي النيل
مارس 2017م

المحتويات

	الموضوع	الصفحة
	شكر وعرفان	ii
	مقدمة	iv
	المحتويات	vi
	الفصل الأول: التوربينة الرد فعلية أو توربينة الضغط أو توربينة فرانسيس	
1.1	مدخل	1
1.2	توربينة سريان نصف قطري رد فعلية (توربينة فرانسيس) مؤسسة على نظرية كمية الحركة	2
1.3	مثلثات سرعات الدخل والخرج لتوربينة فرانسيس	4
1.4	استخدام الفوهات	6
1.5	استخدام أنابيب السحب	9
	الفصل الثاني: أمثلة محلولة في توربينة السريان نصف القطري أو توربينة فرانسيس	
2.1	مثال (1) تحديد سرعة الدوران التي يدخل بها الماء إلى العجلة دون صدمة وقدرة خرج العمود	12
2.2	مثال (2) إثبات صيغة رياضية للسرعة المحيطية مع حساب زوايا الريشة عند التصريف وقدرة الخرج المتولِّدة	16
2.3	مثال (3) تحديد سرعة وإتجاه الماء الداخل إلى عجلة التوربين، زاوية الدخول إلى عجلة التوربين وفقد السمت في ريشة التوربين مع أهمية أنبوب السحب	19
2.4	مثال (4) تحديد السرعة القصوى المتاحة من التوربينات وعدد التوربينات المطلوب	23
2.5	مثال (5) وحدة السرعة ووحدة القدرة للتوربينات الهايدروليكية	26
2.6	مثال (6) السرعة النوعية اللابعدية أو رقم النوع للتوربينات	28
2.7	مثال (7) تحديد سرعة التدويم وقطر العجلة عند المدخل، مُعدَّل السريان وزاوية ريشة التوجيه	31
2.8	مثال (8) تحديد السمت وقدرة الخرج لتوربين فرانسيس	33
2.9	مثال (9) تصميم توربين فرانسيس	34
2.10	مثال (10) تحديد زاوية ريشة التوجيه وزاوية ريشة الدوَّار عند المخرج	37

2.11 مثال (11) تحديد قدرة العمود، الكفاءة الهايدروليكية والسرعات النوعية البعدية واللابعدية 39

2.12 مثال (12) رسم مخططات السرعة عند المدخل وإيجاد زاوية ريش الدوَّار، السرعة المماسية للدوَّار، السرعة المطلقة للماء والسرعة النسبية للماء 40

2.13 مثال (13) إيجاد القدرة الناتجة وزاوية ريش الدوَّار عند المخرج 42

2.14 مثال (14) إيجاد زاويتي ريش الدوَّار وسرعة السريان عند المدخل والمخرج 43

2.15 مثال (15) إيجاد زاوية ريش التوجيه، زاوية ريش الدوَّار عند المخرج وعرض الدوَّار عند المدخل والمخرج 44

الفصل الثالث : مسائل غير محلولة في توربينة السريان نصف القطري أو توربينة فرانسيس

3.1 مسألة (1) تحديد السرعة المحيطية الصحيحة للعجلة، زاوية التصريف الصحيحة للريش والنسبة المئوية للسمت التي تُرفض كطاقة سرعة 46

3.2 مسألة (2) تحديد زاوية ريشة التوجيه، زاوية الريشة عند المخرج لتصريف نصف قطري وعرض العجلة عند المدخل والمخرج 46

3.3 مسألة (3) تحديد زاوية الريشة عند مدخل العجلة، قطر مخرجد أنبوب السحب وفواقد السمت في ريش التوجيه 47

3.4 مسألة (4) سرعة العجلة بدون صدمة عند المدخل، زاوية الخرج من العجلة لتصريف نصف قطري، القدرة عند العجلة والضغط عند مدخل العجلة 47

3.5 مسألة (5) تحديد قطر العجلة، زاوية ريشة التوجيه، زاوية ريشة العجلة عند المدخل وعرض العجلة عند المدخل 48

3.6 مسألة (6) حساب زاوية الخرج للعجلة دون صدمة، السرعة، الكفاءة الهايدروليكية وقدرة الخرج 48

3.7 مسألة (7) حساب زاوية الدخول لريش العجلة، فقد السمت في الغلاف الحلزوني وريش التوجيه والعجلة وأنبوب السحب، وتحديد قطر المدخل لأنبوب السحب 49

3.8 مسألة (8) حساب الكفاءة الهايدروليكية، زاوية ريشة العجلة عند المدخل، القدرة المتولدة بواسطة التوربينة، سمت الغضط عند مدخل أنبوب السحب والسرعة النوعية لعجلة التوربينة 50

3.9 مسألة (9) إيجاد زاوية ريشة العجلة عند حافة المدخل وعند نقطة على حافة 50

المخرج، سرعة العجلة بالـ rev/min والقدرة المنقولة بواسطة العجلة إلى العمود
3.10 مسألة (10) تعريف السرعة النوعية للتوربينة وإشتقاق تعبير لها وكيفية حسابها 51
3.11 مسألة (11) تحديد عدد التوربينات المطلوبة 51
3.12 مسألة (12) حساب نسبة المقياس للماكينة والسرعة التصميمية 51
3.13 مسألة (13) إشتقاق صيغ مناسبة لوحدة القدرة ووحدة السرعة 52
3.14 مسألة (14) إشتقاق صيغة رياضية للتوربين المائي، وحساب نسبة المقياس، سرعة التوربين والسرعة النوعية 52
3.15 مسألة (15) تعريف وإشتقاق معادلات لوحدة القدرة ووحدة السرعة وإيجاد السريان، القدرة والزيادة المئوية في السرعة 53
3.16 مسألة (16) توضيح شروط التشابه الديناميكي للتوربين وإشتقاق صيغة مناسبة لوحدة السرعة، وحدة القدرة والسرعة النوعية وحساب القطر، السرعة النوعية وقدرة خرج المقياس الكامل 53
3.17 مسألة (17) رسم منحنى الكفاءة الإجمالية ضد وحدة السرعة وإيجاد سرعة التوربين عند الكفاءة القصوى والسرعة النوعية للتوربين 54
3.18 مسألة (18) إشتقاق السرعة النوعية لتوربين وإيجاد سرعة النموذج المتشابه هندسياً وقدرته 54
3.19 مسألة (19) تحديد سرعة مدخل الماء إلى العجلة عندما يغادر ريش التوجيه، زاوية الدخول إلى الريشة والقدرة المنتجة 55
3.20 مسألة (20) تحديد السرعة، السمت ومعدَّل السريان لنموذج 55
3.21 مسألة (21) مناقشة وظائف أنابيب السحب وتحديد زاوية ريش التوجيه عند المدخل، زاوية العجلة عند المدخل، قدرة الخرج، السرعة النوعية للتوربينة والنسبة المئوية لصافي السمت الذي هو طاقة السرعة عند مدخل العجلة 55
3.22 مسألة (22) حساب زاويا الريش المتحركة عند المدخل والمخرج، زاوية ريشة التوجيه، وسمت الضغط المفقود في الغلاف الحلزوني وريش التوجيه والعجلة وأنبوب السحب، القدرة المتولِّدة وقطر أنبوب السحب عند المدخل والخرج 57
3.23 أشرح أهمية السرعة النوعية في اختيار المضخات والتوربينات وتحديد مقياس وسرعة النموذج للحصلول على نتائج صحيحة، وحساب القدرة والكفاءة للتوربين 58

بالحجم الكامل

الكتب والمراجع

الكتب والمراجع العربية 59

الكتب والمراجع الإنجليزية 60

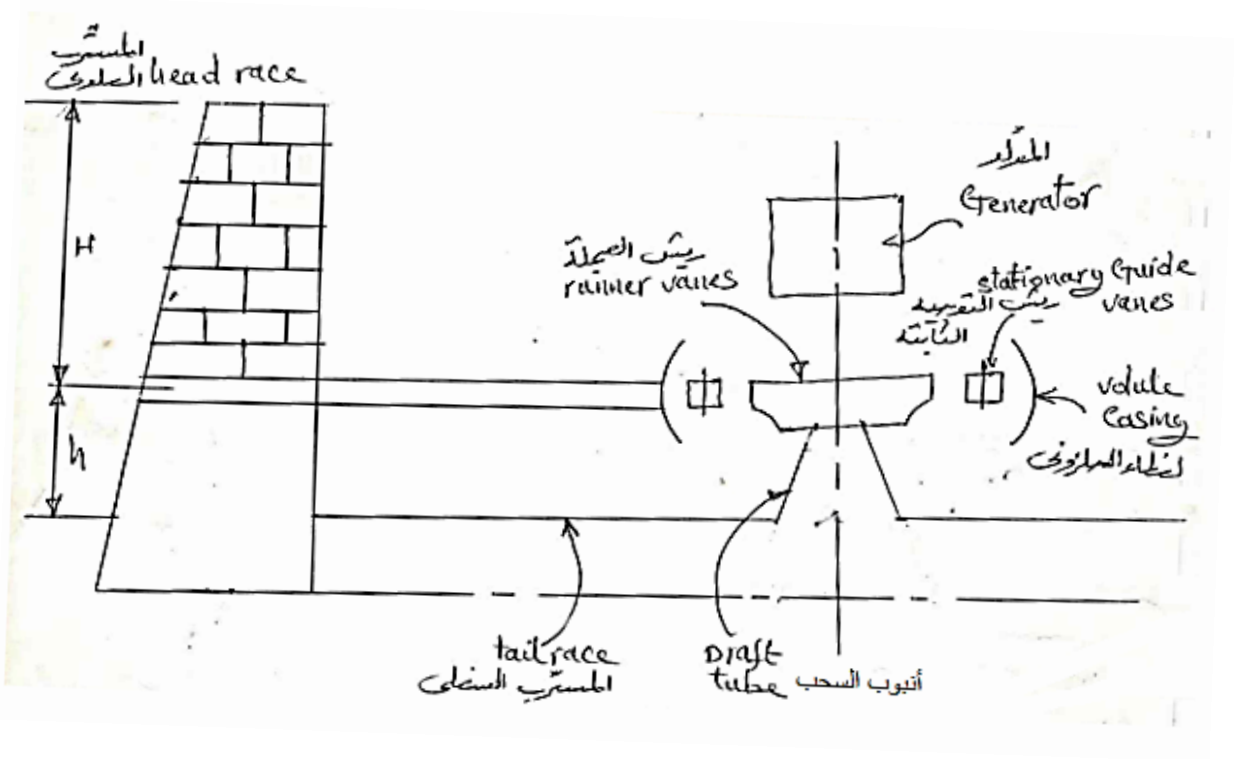
الفصل الأول

التوربينة الرد فعلية أو توربينة الضغط أو توربينة فرانسيس

(Reaction, Pressure or Francis Turbine)

1.1 مدخل (Introduction):

الشكل (1.1) أدناه يوضَّح ترتيبة توربينة فرانسيس أو كابلان في سد لتوليد الكهرباء.



شكل (1.1) ترتيبة توربينة فرانسيس أو كابلان مُركَّبة في أحد سدود توليد الكهرباء

يتم تحويل جزء من علو الضغط الكلي الى طاقة سرعة $(K.E)$ في ريَّش التوجيه وبقية الطاقة يتم تحويلها الى طاقة سرعة في الريَّش المتحركة (ريَّش العجلة).

علو الضغط هو الفرق في المستوى بين المسرِّب العلوي والمسرِّب السفلي.

هناك نوعان من التوربينات الرد فعلية:

1. توربينة سرَّيان نصف قطري رد فعلية (توربينة فرانسيس) $(radial\ flow\ reaction\ turbine)$.
2. توربينة سرَّيان محوري رد فعلية (توربينة كابلان) $(axial\ flow\ reaction\ turbine)$.

1.2 توربينة سرَّيان نصف قطري رد فعلية (توربينة فرانسيس) مؤسسة على نظرية كمية الحركة: (Francis Turbine Based on Momentum Theory)

هي توربينة نصف قطرية رد فعلية، يمكن أن تكون رأسية أو أفقية العمود ويمكن أن يكون سريانها الى الداخل أو الى الخارج. للسرَّيان الى الخارج تكون ريَّش التوجيه الى الداخل من العجلة.

تتكون هذه التوربينة من الآتي:

1. غطاء أو غلاف حلزوني $(volute\ or\ spiral\ casing)$.
2. حلقة من ريَّش التوجيه الثابتة محيطة بالمحور.

$(ring\ of\ stationary\ guide\ vanes\ surrounding\ the\ axis)$.

3. حلقة من الريَّش المتحركة $(ring\ of\ maving\ vanes)$.
4. أنبوب السحب $(draft\ tube)$.

يتم توضيح وظائف كل منها فيما يلي:

1) الغلاف الحلزوني $(volute\ casing)$:

يمتاز هذا الغلاف بجعل سرعة السرَّيان ثابتة $(constaul\ velocity)$ في الفراغ المحيط بريَّش التوجيه.

2) جهاز التوجيه $(the\ guide\ apparatus)$:

يحتوي على عدد كبير من ريَّش التوجيه محيطة بالمحور وهي مثبتة في محاور مسمارية حيث يمكنها الحركة أو الدوران حول المسامير. يمكن لجميع الريَّش أن تدور مع بعضها لزيادة أو نقصان مساحة السرَّيان.

وظائف جهاز التوجيه:

i. يقوم بتحويل جزء من علو الضغط الكلي عند المدخل الى طاقة سرعة.
ii. يقوم بتوجيه الماء الى الريَّش المتحركة.
iii. يتحكم في حجم الماء وبالتالي القدرة المخرجة.

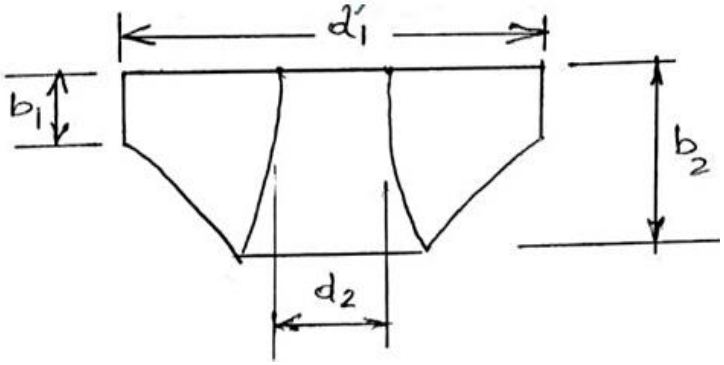
3) الريَّش المتحركة $(moving\ vanes)$:

هي عبارة عن ريَّش دوَّارة، تدور حول محور التوربينية بينما يمر الماء خلال الفراغات بين الريَّش. هناك جزء إضافي من علو الضغط يتم تحويله الى طاقة سرعة $(K.E)$.

في التصميم غالباً ما يتم جعل سرعة السريان v_f ثابتة؛ وهكذا فإنَّ:

$Q = k\pi d_1 b_1 v_{f_1} = k\pi d_2 b_2 v_{f_2}$ ، معدَّل السرَّيان الحجمي

الشكل (1.2) أدناه يوضَّح مقطعاً لعجلة توربينة فرانسيس يتم فيه توضيح أبعادها.



شكل (1.2) مقطع لعجلة توربينة فرانسيس

إذا كانت $v_{f_1} = v_{f_2}$

فإن $d_1 b_1 = d_2 b_2$

حيث k ≡ عامل مساحة الريشة $(blade\ area\ factor)$.

أيضاً يتم جعل سرعة التدويم عند المخرج مساوية للصفر لتخفيض الفقودات عند المخرج.

4) أنبوب السحب $(draft\ tube)$:

هو عبارة عن ممر متباعد $(divergent\ passage)$ يقوم بالآتي:

i. يقوم بتوصيل الماء من التوربينة الى المسرِّب السفلي.

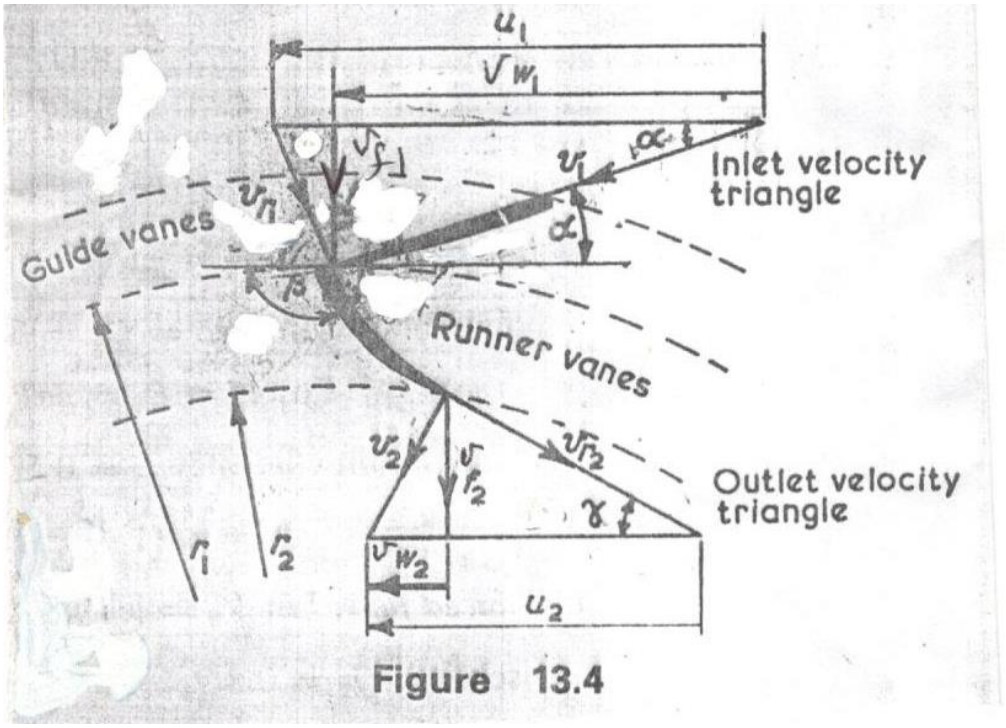
ii. يقوم بخلق ضغط سالب عند مخرج التوربينة.

iii. يُحوِّل الجزء الأكبر من طاقة السرعة عند مدخله الى طاقة ضغط.

1.3 مثلثات سرعات الدخل والخرج لتوربينة فرانسيس:

(Inlet and Outlet Velocity Diagrams for Francis Turbine)

الشكل (1.3) أدناه يوضّح مثلثات سرعات الدخل والخرج لتوربينة فرانسيس.



شكل (1.3) مثلثات سرعات الدخل والخرج لتوربينة فرانسيس

في مثلث سرعات الدخل:

v_1 ≡ السرعة المطلقة للماء عند المدخل.

u_1 ≡ السرعة المماسية لريشة التوربينة عند المدخل.

v_{f_1} ≡ سرعة السرَّيان عند المدخل (المكونة نصف القطرية لـ v_1).

v_{w_1} ≡ سرعة التدويم عند المدخل (المكونة المماسية لـ v_1).

v_{r_1} ≡ السرعة المماسية للماء بالنسبة لريشة التوربينة عند المدخل.

α ≡ زاوية ريشة التوجيه.

β ≡ زاوية الدخول لريشة التوربينة.

في مثلث سرعات الخرج:

v_2 ≡ السرعة المطلقة للماء عند المخرج.

u_2 ≡ السرعة المماسية لريشة التوربينة عند المخرج.

v_{f_2} ≡ سرعة السريان عند المخرج (المكونة نصف القطرية لـ v_2).

v_{w_2} ≡ سرعة التدويم عند المخرج (المكونة المماسية لـ v_2).

v_{r_2} ≡ السرعة المماسية للماء بالنسبة لريشة التوربينة عند المخرج.

γ ≡ زاوية الخروج من ريشة التوربينة.

اعتبر تغُّير كمية الحركة في ريشة التوربينة،

معَّدل تغير عزم كمية الحركة $(rate\ of\ change\ of\ moment\ of\ momentum)$ =

العزم الواقع على ريشة التوربينة $(torque\ on\ runner)$

اذا كانت:

$\dot{m}$ = معَّدل سرَّيان الكتلة

v_{w_1} = السرعة المماسية عند المدخل

∴ معَّدل عزم كمية الحركة عند المدخل = $\dot{m}\ v_{w_1}\ r_1$

v_{w_2} = السرعة المماسية عند المخرج

∴ معَّدل عزم كمية الحركة عند المخرج = $\dot{m}\ v_{w_2}\ r_2$

العزم الواقع على الريشة = معَّدل تغُّير عزم كمية الحركة = $\dot{m}\ (v_{w_1}\ r_1 - v_{w_2}\ r_2)$

الشغل المبذول في الثانية على ريشة التوربينة = العزم × السرعة الزاوية

$$\dot{m}\ (v_{w_1}\ r_1 - v_{w_2}\ r_2)\ \omega =$$

لكن $u_1 = r_1\ \omega$ و $u_2 = r_2\ \omega$

∴ الشغل المبذول في الثانية على ريشة التوربينة (قدرة الخرج) =

$$\dot{m}\left(u_1 \mathrm{v}_{w_1} - u_2\, \mathrm{v}_{w_2}\right)$$

الشغل المبذول في الثانية لكل وحدة وزن =

$$\frac{\left(u_1 \mathrm{v}_{w_1} - u_2\, \mathrm{v}_{w_2}\right)}{g}$$

الطاقة التي يتم امدادها في الثانية (قدرة الدخل) $= \rho g Q H$

الكفاءة الهايدروليكية ، $\eta_H = \dfrac{\text{قدرة الخرج}}{\text{قدرة الدخل}}$

الطاقة التي يتم امدادها في الثانية لكل وحدة وزن $= H$

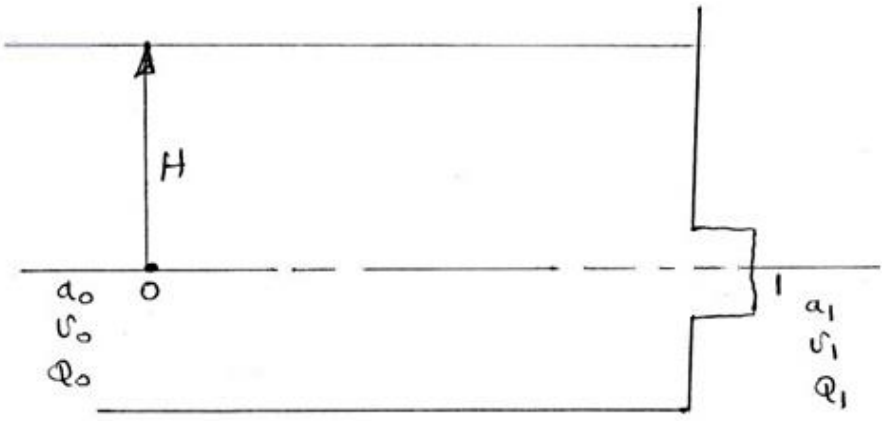
∴ الكفاءة الهايدروليكية ،

$$\eta_H = \frac{\left(u_1 \mathrm{v}_{w_1} - u_2\, \mathrm{v}_{w_2}\right)}{g\, H}$$

1.4 استخدام الفوهات (Use of Mouth Pieces):

1. بدون استخدام فوهة $(without\ mouth\ piece)$:

الشل (1.4) أدناه يوضّح تفريغ لخزان بدون استخدام فوهة.



شكل (1.4) تفريغ لخزان بدون فوهة

بتطبيق معادلة الطاقة (معادلة بيرنولي) $(energy\ equation)$ الى النقاط 0 , 1 نحصل على:

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_1 + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

$$H + 0 = 0 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

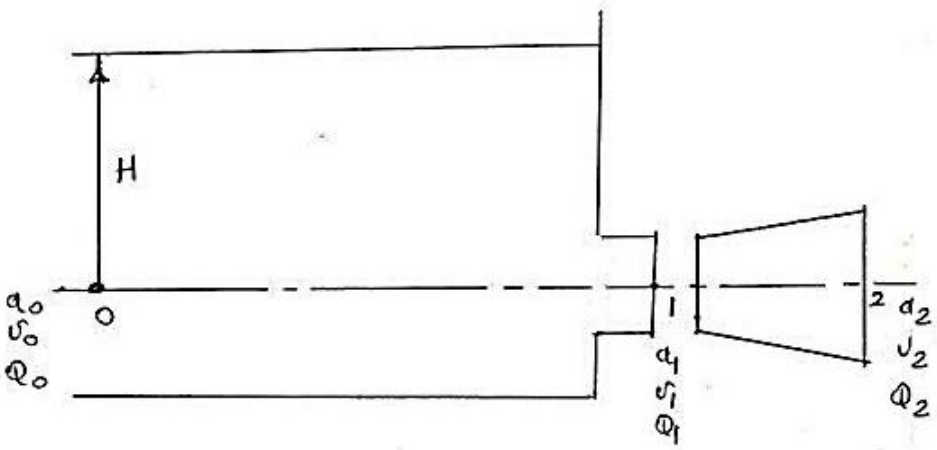
$$\frac{{v_1}^2}{2g} = H$$

$$v_1 = \sqrt{2\,g\,H}$$

$$Q_1 = a_1\sqrt{2\,g\,H}$$

2. باستخدام فوهة متباعدة $(using\ divergent\ mouth\ piece)$:

الشكل (1.5) أدناه يوضِّح تفريغاً لخزان من خلال فوهة متباعدة.



شكل (1.5) تفريغ لخزَّان من خلال فوهة متباعدة

باستخدام معادلة الطاقة بين النقطتين 0 , 2 نحصل على:

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_2 + Z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$H = \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$\therefore \mathrm{v}_2 = \sqrt{2\,g\,H}$$

$$Q_2 = a_2\sqrt{2\,g\,H} \qquad (1)$$

$$Q_1 = a_1\sqrt{2\,g\,H} \qquad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) نحصل على:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{a_2\sqrt{2\ g\ H}}{a_1\sqrt{2\ g\ H}}$$

$$\therefore \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{a_2}{a_1}$$

نظرياً، اذا كانت $a_2 = 2\ a_1$ فإنَّ:

$$Q_2 = 2\ Q_1$$

هذا يعني أن هناك مضاعفة لمعَّدل السرَّيان الحجمي.

بتركيب الفوهة في موضعها وباستخدام معادلة استمرارية السرَّيان:

$$a_1\ v_1 = a_2\ v_2$$

$$= a_2\sqrt{2\ g\ H}$$

$$\therefore v_1 = \frac{a_2}{a_1}\sqrt{2\ g\ H}$$

باستخدام معادلة الطاقة بين 0 , 1 ،

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_1 + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

$$H = H_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} = H_1 + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \times \frac{2g\ H}{2\ g}$$

$$\therefore \mathrm{H}_1 = H - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 H$$

$$= H\left[1 - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2\right]$$

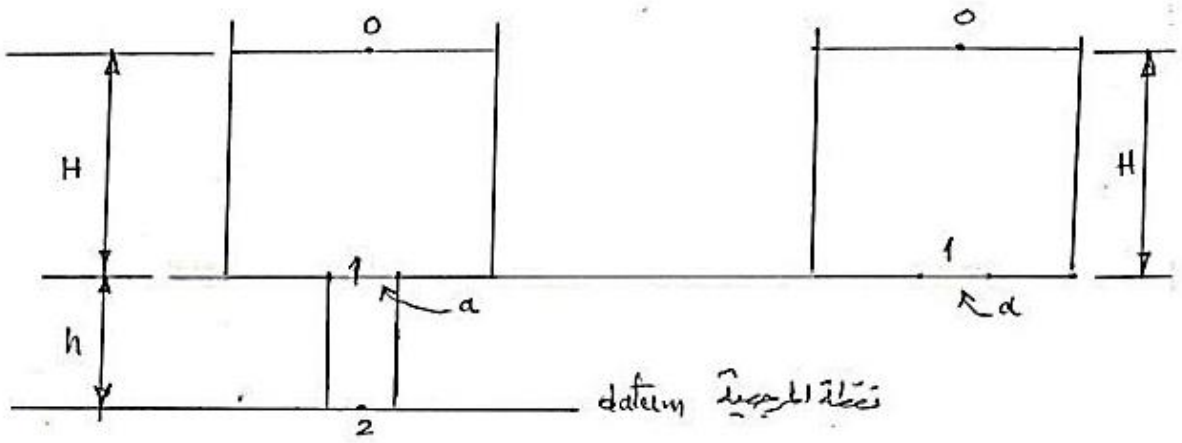
اذا كانت $a_2 = 2\ a_1$ ، فانَّ $H_1 = -3\ H$

وهذا يعني أن سمت الضغط عند المساحة الأصلية للفتحة هو أقلَّ من الضغط الجوي وبمقدار ثلاث أضعاف سمت الضغط في الخزان .

1.5 استخدام أنابيب السحب (Use of Draft Tubes):

1. استخدام أنبوب سحب متوازي (Use of Parallel Draft Tube):

الشكل (1.6) أدناه يوضّح خزاناً يُفرَّغ من خلال أنبوب سحب متوازي.



(ب) (أ)

شكل (1.6) خزّان يُفرّغ من خلال أنبوب سحب متوازي

بدون استخدام أنبوب متوازي (Without Parallel Tube):

من الشكل (1.6) – أ ، وباستخدام معادلة الطاقة بين 0 و 1 :

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_1 + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

$$H = \frac{{v_0}^2}{2g}\ , \qquad \therefore v_1 = \sqrt{2gH}\ , \qquad Q_1 = a\sqrt{2gH}$$

باستخدام الأنبوب المتوازي (With Parallel Tube):

من الشكل (1.6) – ب ، وباستخدام معادلة الطاقة بين 0 و 2 :

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_2 + Z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$H + h = 0 + 0 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$H + h = \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$\therefore v_2 = \sqrt{2g\,(H+h)}$$

$$\therefore Q = a\sqrt{2g\,(H+h)}$$

بتطبيق معادلة استمرارية السرَّيان بين النقطتين 1 و 2 ،

$$a_1\,v_1 = a_2\,v_2$$

$a_1 = a_2$ (أنبوب متوازي)

$$\therefore v_1 = v_2 = \sqrt{2g\,(H+h)}$$

باستخدام معادلة الطاقة بين 0 و 1 ،

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_1 + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

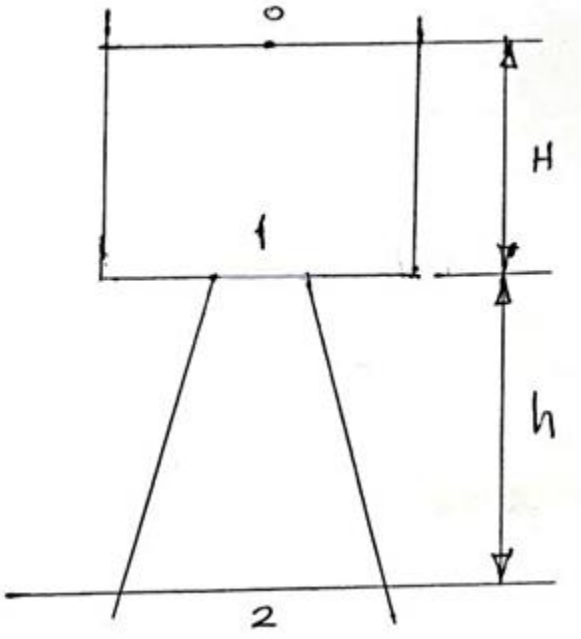
$$0 + (H+h) + 0 = H_1 + h + \frac{2g(H+h)}{2g}$$

$$H + h = H_1 + h + (H+h)$$

$$\therefore H_1 = -h$$

2. استخدام أنبوب سحب متباعد (Use of Divergent Draft Tube):

الشكل (1.7) أدناه يوضَّح حزاناً يقوم بالتفريغ من خلال أنبوب متباعد.



شكل (1.7) خزان يفرِّغ من خلال أنبوب متباعد

باستخدام معادلة بيرنولي بين 0 و 2 نحصل على:

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_2 + Z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$0 + H + h + 0 = 0 + 0 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$H + h = \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{2g\,(H + h)}$$

$$Q_2 = a_2\sqrt{2g\,(H + h)}$$

لاستمرارية السرَّيان ، $Q_2 = Q_1$

$$Q_2 = Q_1 = a_2\sqrt{2g\,(H + h)} = a_1\,v_1$$

$$v_1 = \frac{a_2}{a_1}\sqrt{2g\,(H + h)}$$

بإستخدام معادلة الطاقة بين 0 و 1 نحصل على:

$$H_0 + Z_0 + \frac{{v_0}^2}{2g} = H_1 + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g}$$

$$0 + H + h + 0 = H_1 + h + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \frac{2g(H + h)}{2\,g}$$

$$\therefore \mathrm{H_1} = \mathrm{H} + \mathrm{h} - \mathrm{h} - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 (\mathrm{H} + \mathrm{h}) = \mathrm{H} - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 (\mathrm{H} + \mathrm{h})$$

$$= \mathrm{H} - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \mathrm{H} - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \mathrm{h}$$

$$H_1 = H\left(1 - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2\right) - h\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2$$

بوضع ، $\frac{a_2}{a_1} = 2$

$$H_1 = -3H - 4h$$

الفصل الثاني

أمثلة محلولة في توربينة السرَّيان نصف القطري أو توربينة فرانسيس

(Solved Examples in Radial Flow Turbine or Francis Turbine)

2.1 مثال (1): تحديد سرعة الدوران التي يدخل بها الماء إلى العجلة دون صدمة وقدرة خرج العمود

توربينة سرَّيان الى الداخل رد فعلية لها عجلة قطرها $0.5\ m$ وعرضها عند المدخل $75\ mm$. القطر الداخلي للعجلة هو $0.35\ m$. مساحة السرَّيان الفع!اَلة هي 93% من المساحة الاجمالية وسرعة السرَّيان ثابتة . زاوية ريشة التوجيه هي 23° ، وزاوية الدخول لريشة التوربينة هي 93° ، وزاوية الخروج من ريشة التوربينة هي 30° . أحسب السرعة بالـ rev/min التي يدخل بها الماء دون صدمة ، وقدرة الخرج للعمود عندما يكون علو الامداد الفعال هو $60\ m$. افترض فقدان إحتكاكي هايدروليكي مقداره 10% وكفاءة ميكانيكية قدرها 94%.

الحل:

بالرجوع للشكل رقم (1.3) الذي يوضَّح مثلثات سرعات الدخل والخرج لتوربينة السرَّيان نصف القطري أو توربينة فرانسيس.

لإيجاد سرعة ريشة التوربينة في حالة عدم وجود صدمة عند المدخل . لهذا الشرط فإنَّ الماء يدخل الى ريشة التوربينة بسرعة نسبية موازية لسطح ريشة التوربينة وهكذا فان v_{r_1} تميل بزاوية β مع خط التماس كما هو واضح في الشكل (1.3).

من مثلث الدخل:

$$\frac{v_1}{\sin(180-\beta)} = \frac{u_1}{sin[180-\alpha-(180-\beta)]}$$

$$\frac{v_1}{\sin(180-93)} = \frac{u_1}{sin[180-23-(180-93)]}$$

$$\frac{v_1}{\sin 87^{\circ}} = \frac{u_1}{\sin 70^{\circ}}$$

$$u_1 = v_1 \frac{\sin 70^\circ}{\sin 87^\circ} \qquad *$$

بما أن $(sin\,\alpha = \frac{v_{f_1}}{v_1})$، بالتالي:

$$v_1 = \frac{v_{f_1}}{\sin 23^\circ}$$

بالتعويض عن قيمة v_1 في المعادلة *

$$u_1 = v_{f_1} \frac{\sin 70^\circ}{\sin 23^\circ \times \sin 87^\circ} = 2.408\, v_{f_1}$$

$$\therefore\ v_{f_1} = 0.415\, u_1 \qquad (1)$$

اعتبر تغير كمية الحركة في ريشة التوربينة:

معدَّل تغيُّر عزم كمية الحركة = العزم الواقع على ريشة التوربينة

إذا كان ، $\dot{m}$ = معدَّل سرَّيان الكتلة.

v_{w_1} = السرعة المماسية عند المدخل.

$\dot{m}\, v_{w_1}\, r_1$ = معدَّل عزم كمية الحركة عند المدخل.

v_{w_2} = السرعة المماسية عند المخرج.

$\dot{m}\, v_{w_2}\, r_2$ = معدَّل عزم كمية الحركة عند المخرج.

العزم الواقع على الريشة = $\dot{m}\,(v_{w_1}\, r_1 - v_{w_2}\, r_2)$ = معدَّل تغيُّر عزم كمية الحركة

السرعة الزاوية × العزم = الشغل المبذول في الثانية على ريشة التوربينة (قدرة الخرج)

$$= \dot{m}\,(v_{w_1}\, r_1 - v_{w_2}\, r_2)$$

ولكن $u_2 = r_2\, \omega$, $u_1 = r_1\, \omega$

الشغل المبذول في الثانية على ريشة التوربينة $= \dot{m}\left(u_1\, v_{w_1} - u_2\, v_{w_2}\right)$ (2)

إذا كان العلو الفعال ، $H = 60\, m$ والفقودات الهايدروليكية هي 10% بالتالي:

الطاقة التي يتم امدادها في الثانية (قدرة الدخل) $= \rho g Q H$

$$\eta_H = \frac{\text{(قدرة الخرج) الشغل المبذول في الثانية على ريشة التوربينة}}{\text{(قدرة الدخل) الطاقة التي يتم امدادها في الثانية}}$$

$$\eta_H = 1 - 0.1 = 0.9$$

قدرة الدخل × η_H = قدرة الخرج

$$0.9\,\dot{m}gH = \dot{m}(u_1\,v_{w_1} - u_2\,v_{w_2})$$

$$0.9 \times 60 = \frac{u_1\,v_{w_1} - u_2\,v_{w_2}}{g} \qquad (3)$$

من المعادلتين (1) و (3)، يمكن ايجاد قيمة u_1 بالتعبير v_{w_1} ، v_{w_2} و u_2 بدلالات u_1 :

السرعة الزاوية $\omega = \frac{u_1}{r_1} = \frac{u_2}{r_2}$

$$u_2 = u_1\frac{r_2}{r_1} = u_1\left(\frac{0.35}{0.5}\right) = 0.7\,u_1$$

من مثلث الدخل:

$$v_{w_1} = \frac{v_{f_1}}{tan\,\alpha} = \frac{v_{f_1}}{tan23^\circ} = 2.356\,v_{f_1}$$

من المعادلة (1)،

$$v_{w_1} = 2.356 \times 0.415\,u_1 = 0.98\,u_1$$

من مثلث الخرج:

$$tan\,\gamma = \frac{v_{f_2}}{u_2 - v_{w_2}}$$

بما أنَّ $v_{f_1} = v_{f_2}$

$$v_{w_2} = \mathrm{u}_2 - \frac{v_{f_2}}{tan\,\gamma} = 0.7\,u_1 - \frac{v_{f_1}}{tan\,30^\circ}$$

$$v_{w_2} = 0.7\,\mathrm{u}_1 - 1.73\,v_{f_1} = 0.7\,u_1 - 1.73 \times 0.415\,u_1$$

$$= 0.7\,u_1 - 0.72\,u_1 = -0.02\,u_1$$

بالتعويض في المعادلة (3)، وبوضع $H = 60\,m$

$$0.9 \times 60 = \frac{u_1 \times 0.98\, u_1 - 0.7\, u_1 \times -0.02\, u_1}{9.81}$$

$$0.9 \times 60 = \frac{0.98\, {u_1}^2 + 0.02 \times 0.7\, {u_1}^2}{9.81} = \frac{0.994\, {u_1}^2}{9.81}$$

$$\therefore \mathrm{u}_1 = \sqrt{\frac{0.9 \times 60 \times 9.81}{0.994}} \approx 23\ m/s$$

بما أنَّ $u_1 = r_1\, \omega$

$$\omega = \frac{u_1}{r_1} = \frac{23}{0.5/2} = 92\ rad/s$$

$$= \frac{92 \times 60}{2\pi} = 878.5\ rev/min$$

السرعة بالـ rev/min في حالة عدم وجود صدمة عند المدخل = $878.5\ rev/min$

لإيجاد قدرة عمود الخرج:

الشغل المبذول في الثانية على ريشة التوربينة،

$$= \dot{m}\left(u_1\, v_{w_1} - u_2\, v_{w_2}\right)$$

$$= \dot{m}(0.98\, {u_1}^2 + 0.02 \times 0.7\, {u_1}^2)$$

$$= 0.994\, \dot{m}\, {u_1}^2$$

$$\dot{m} = \rho\, Q = \rho\, a_f\, v_{f_1}$$

مساحة الدخل باعتبار سمك الريشة،

$$a_f = k\pi d_1 b_1 = 0.93 \times \pi \times 0.5 \times 0.075 = 0.11\ m^2$$

$$v_{f_1} = 0.415\, u_1 = 0.415 \times 23 = 9.545\ m/s$$

$$\dot{m} = 10^3 \times 0.11 \times 9.545 = 1050\ kg/s$$

وهكذا فإنَّ الشغل المبذول على ريشة التوربينة في الثانية،

$$= 0.994 \times 1050 \times 23^2$$

$$= 552117.3\ w$$

$$\simeq 552.12\ kw$$

الكفاءة الميكانيكية، $\eta_{mech.} = 0.94$

∴ قدرة خرج العمود يتم إعطاؤها كالآتي:

$$0.94 \times 552.12 = 519\ kw$$

2.2 مثال (2): إثبات صيغة رياضية للسرعة المحيطية مع حساب زوايا الريشة عند التصريف وقدرة الخرج المتولَّدة

يغادر الماء ريَّش التوجيه لتوربينة سرَّيان الى الداخل نصف قطرياً بزاوية مقدارها α على مماس العجلة. وزاوية الريشة عند مدخل العجلة هي 90 درجة وسرعة السرَّيان عند المخرج تعادل k مرة السرعة عند المدخل. برهن ان السرعة المحيطية $(peripheral\ speed)$ عند الكفاءة القصوى تحت سمت ضغط H يجب ان تساوي المقدار التالي:

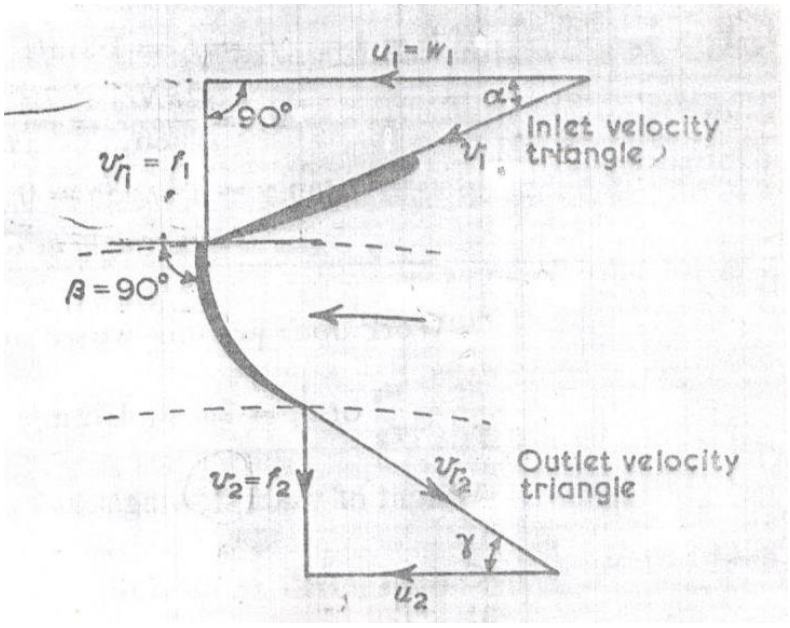
$$\sqrt{\frac{2\ g\ H}{2 + k^2\ tan^2\alpha}}$$

في توربينة مشابهة، تدور بسرعة $75\ rev/min$، نصف القطر الخارجي للعجلة هو $0.6\ m$ ونصف القطر الداخلي $0.3\ m$ ، سرعة السرَّيان عند المدخل هي $1.8\ m/s$ و k تساوي 1 .

يتصَّرف الماء في اتجاه نصف قطري. أحسب زوايا الريشة عند التصريف وقدرة الخرج المتولدة عند معَّدل سرَّيان حجمي مقداره $1.42\ m^3/s$. تجاهل الاحتكاك في عجلة التوربينة.

الحل:

الشكل (2.1) أدناه يُوضِّح الترتيبة ومخططات السرعة. لشروط الكفاءة القصوى نجد أنَّ السرَّيان يغادر ريشة التوربينة نصف قطرياً.



شكل (2.1) مخططات السرعة لتصريف نصف قطري

اذا كانت H هي الطاقة الكلية بالنسبة لوحدة وزن و p_2 هو الضغط عند المخرج.

H = total energy/unit weight = الطاقة الكلية لكل وحدة وزن

$H = \frac{p_2}{w} + \frac{{v_2}^2}{2g}$ + الشغل المبذول لكل وحدة وزن في ريشة أو عجلة التوربينة

سيكون الشغل المبذول عند أقصى قيمة له عندما v_{w_2} تكون عند أدني قيمة والتي تحدث عند $v_2 = v_{f_2}$ وتكون نصف قطرية. من مثلث الدخل، بما أنَّ $\beta = 90^\circ$

$$u_1 = v_{w_1} \quad , \qquad v_{f_1} = u_1 \, tan\alpha$$

من مثلث الخرج،

$v_{w_2} = 0$ (سرعة التدويم) (للخروج نصف القطري)

أيضاً، سرعة السرَّيان:

$$v_{f_2} = k \, v_{f_1} = v_2$$

الشغل المبذول في الثانية لكل وحدة وزن على العجلة،

$$= \frac{u_1 \, v_{w_1} - u_2 \, v_{w_2}}{g}$$

بوضع، $v_{w_2} = 0$ ، $v_{w_1} = u$ بالتالي:

الشغل المبذول في الثانية لكل وحدة وزن على ريشة التوربينة،

$$= \frac{{u_1}^2}{2\,g} \qquad (1)$$

الطاقة المرفوضة في الثانية عند المخرج لكل وحدة وزن،

$$= \frac{{v_2}^2}{2\,g}$$

$$= \frac{k^2\,{v_{f_1}}^2}{2\,g} = \frac{k^2\,{u_1}^2\,tan^2\alpha}{2\,g}$$

بما أنَّ،

$$v_{f_1} = \mathrm{u}_1\,tan\,\alpha \quad ،\quad tan\alpha = \frac{v_{f_1}}{u_1}$$

$H =$ الطاقة المدخلة في الثانية لكل وحدة وزن

$$H = \frac{{u_1}^2}{g} + \frac{k^2\,{u_1}^2\,tan^2\alpha}{2\,g}$$

وهكذا فإنَّ الطاقة المدخلة في الثانية لكل وحدة وزن يتم إعطاؤها كما يلي:

$$H = \frac{2{u_1}^2 + k^2{u_1}^2 tan^2\alpha}{2\,g} = \frac{{u_1}^2(2 + k^2\,tan^2\alpha)}{2\,g}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{2\,g\,H}{2 + k^2\,tan^2\alpha}}$$

γ = زاوية الريشة عند التصريف

$$tan\,\gamma = \frac{v_{f_2}}{u_2}$$

إذا كانت $k = 1$ و $v_{f_2} = v_{f_1} = 1.8\,m/s$

$$u_2 = r_2\,\omega = \frac{2\pi N r_2}{60} = \frac{2\pi \times 75}{60} \times 0.3 = 2.36\,m/s$$

$$tan\gamma = 1.8/2.36 = 0.764$$

زاوية الريشة عند التصريف،

$$\gamma = \tan^{-1} 0.764 = 37^{\circ}23'$$

من المعادلة (1)، الشغل المبذول في الثانية لكل وحدة وزن على عجلة التوربينة

$$= \frac{{u_1}^2}{g}$$

$$u_1 = 2u_2 = 4.7\ m/s \quad \text{أو} \quad \frac{u_1}{r_1} = \frac{u_2}{r_2} \quad \text{و}$$

$w^{\circ} = \rho\ g\ Q$ وزن الماء المنساب في الثانية،

الشغل المبذول في الثانية = قدرة الخرج $= \rho g Q \times \frac{{u_1}^2}{g} = \rho\ Q {u_1}^2$

$$= 10^{\ 3} \times 1.42 \times 4.72^2\ w$$

$$= 31.7\ kw$$

2.3 مثال (3): تحديد سرعة وإتجاه الماء الداخل إلى عجلة التوربين، زاوية الدخول إلى عجلة التوربين وفقد السمت في ريشة التوربين مع توضيح أهمية أنبوب السحب

توربينة سرَّيان الى الداخل رد فعلي بعمود رأسي تنتج قدرة مقدارها $12500kw$ وتستخدم $12.3\ m^3/s$ من الماء عندما يكون صافي سمت الضغط هو $115\ m$. عجلة التوربينة $(runner)$ قطرها $1.5\ m$ وتدور بسرعة $430rev/min$. يدخل الماء الى عجلة التوربينة دون صدمة بسرعة سرَّيان مقدارها $9.6\ m/s$ ويمر من عجلة التوربينة الى أنبوب السحب دون تدويم بسرعة $7.2\ m/s$. مجموع فروقات أسمات الضغط والوضع عند مدخل ريشة التوربينة وعند مدخل أنبوب السحب هو $60\ m$.

حدِّد الآتي:

أ) سرعة واتجاه الماء الداخل الى عجلة التوربينة من ريَّش التوجيه الثابتة. $\alpha = ?, v_1 = ?$

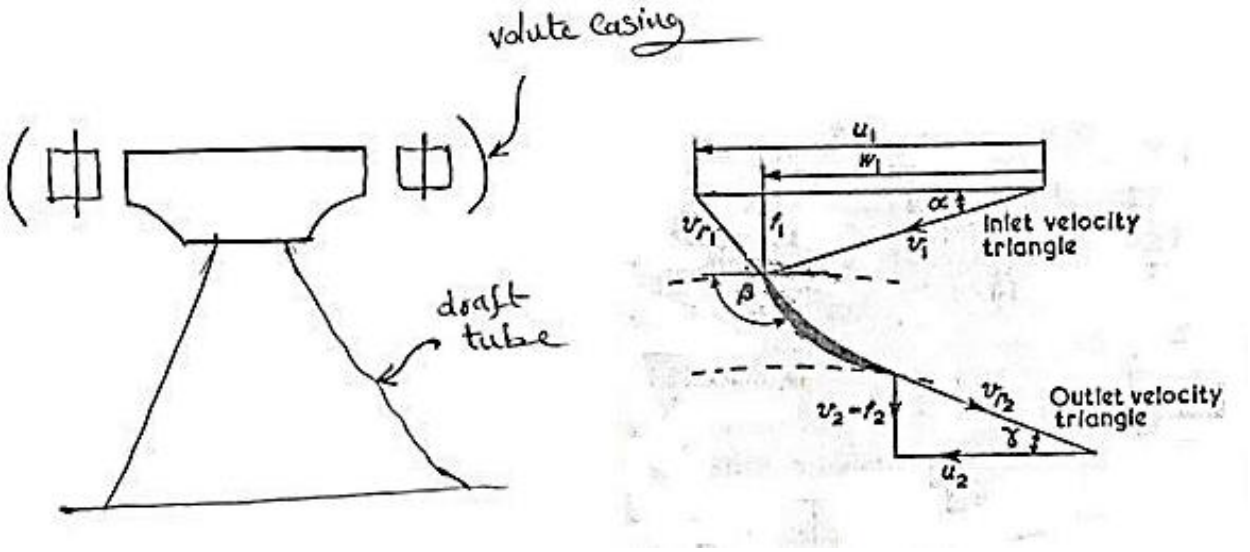
ب) زاوية الدخول لريَّش التوربينة. $\beta = ?$

ج) فقد السمت في ريشة التوربينة.

أيضاً وضِّح باختصار وظيفة أنبوب السحب وأذكر التحوطات التي يجب اتخاذها بالنسبة لشكله.

الحل:

الشكل (2.2) أدناه يوضَّح زوايا الريشة والسمت المفقود في عجلة التوربينة.



شكل (2.2) زوايا الريشة وسمت الضغط المفقود في عجلة التوربينة

أ) السرعة المطلقة للماء عند المدخل:

$$v_1 = \sqrt{\left[\left(v_{f_1}\right)^2 + \left(v_{w_1}\right)^2\right]}$$

$v_{f_1} = 9.6\ m/s$ ، و v_{w_1} يمكن ايجادها من القدرة (p)

وللسرَّيان نصف القطري عند المخرج $(for\ radial\ outflow)$ ، $v_{w_1} = 0$

القدرة ، $p = \rho\ Q\ (u_1\ v_{w_1} - u_1 v_{w_2}) = \rho\ Q\ u\ v_{w_1}$

$$u_1 = \frac{\pi DN}{60} = r_1\omega = \frac{\pi \times 1.5 \times 430}{60} = 33.8\ m/s$$

وبوضع ، $p = 12500 \times 10^3 w\ , \rho = 1000 kg/m^3\ , Q = 12.3\ m^3/s$

وهكذا،

$$v_{w_1} = \frac{\mathrm{p}}{\rho\, \mathrm{Q}\, u_1} = \frac{12500 \times 10^3}{1000 \times 12.3 \times 33.8} = 30.1\ \mathrm{m/s}$$

∴ السرعة المطلقة عند الدخول،

$$v_1 = \sqrt{(9.6)^2 + (30.1)^2} = 31.5\ \mathrm{m}/s$$

زاوية ريشة التوجيه،

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{v_{f_1}}{v_{w_1}} = \tan^{-1}\frac{9.6}{30.1} = \tan^{-1} 0.139 = 17^\circ 42'$$

ب) زاوية الدخول لريشة التوربينة β ، وفي حالة عدم وجود صدمة عند مدخل العجلة،

$$\tan(180 - \beta) = \frac{v_{f_1}}{u_1 - v_{w_1}} = \frac{9.6}{33.8 - 30.1} = 2.59$$

$$180 - \beta = tan^{-1}2.59 = 68^\circ\ 54'$$

زاوية الدخول β ،

$$\beta = 180^\circ - 68^\circ\ 5\acute{4} = 111^\circ\ 6'$$

ج) فقد السمت في ريشة التوربينة = السمت الكلي عبر الريشة – الطاقة لكل وحدة وزن المتحولة الى قدرة.

اذا كانت p_2 , p_1 هما الضغوط عند المدخل والمخرج، و z_1 و z_2 هما ارتفاع المدخل والمخرج فوق خط المرجعية.

الطاقة الكلية لكل وحدة وزن عند المدخل،

$$= \frac{p_1}{w} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2\,g}$$

الطاقة الكلية لكل وحدة وزن عند المخرج،

$$= \frac{p_2}{w} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2\,g}$$

الطاقة لكل وحدة وزن المتحولة الى قدرة،

$$= \frac{u_1 \, v_{w_1}}{g}$$

فقد السمت في الريشة أو العجلة،

$$= \frac{p_1 - p_2}{w} + z_1 - z_2 + \frac{{v_1}^2 - {v_2}^2}{2\,g} - \frac{u_1 \, v_{w_1}}{g}$$

إذا كان ، $\frac{p_1 - p_2}{w} + z_1 - z_2 = 60m \, , v_1 = 31.5m/s \, , v_2 = v_{f_2} = 7.2m/s$

فقد السمت في العجلة،

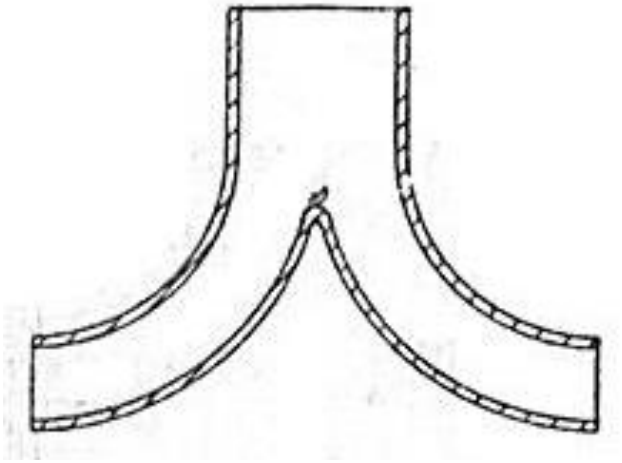
$$= 60 + \frac{31.5^2 - 7.2^2}{2\,\mathrm{g}} - \frac{33.8 \times 30.1}{\mathrm{g}}$$

$$= 60 + 47.8 - 103.6 = 4.2\ m$$

الشكل رقم (2.3) يوضح توربينة مركِّب عليها أنبوب سحب. الغرض من هذا الأنبوب هو السماح للتوربينة بحيث يمكن وضعها فوق المسرب السفلي $(tail\ water\ level)$ دون فقد السمت الفعال $(effective\ head)$ واسترداد بعض طاقة الحركة للسرَّيان المغادر للتوربينة ولهذا السبب فان الأنبوب يجب أن يكون مخرطياً لتخفيض سرعة التصريف عند المسرَّب السفلي. اذا كانت زاوية التفليج (التباعد) كبيرة $(angle\ of\ flare)$ فان الفقودات الدوامية $(eddy\ losses)$ في السرَّيان المتباعد ستكون كبيرة بالرغم من أن الفقد في طاقة السرعة (الحركة) سيكون أقَّل عما اذا ما تمَّ استخدام زاوية صغيرة وعليه فإنَّ الحذر مطلوب في اختيار الزاوية التي تجعل الفقد المتحِّد $(combined\ loss)$ أدنى ما يمكن.

بالرغم من أنه عند الكفاءة القصوى يجب أن يكون التصريف نصف قطرياً عند كل السرعات فإنَّ التصريف سيكون لديه سرعة تدويم $(velocity\ of\ whirl)$ وتتكَّون دوأَّمة حرة في أنبوب السحب. الضغط المنخفض عند مركز الدوأَّمة يمكن أن يتسبَّب في تمرير هواء تحت ريشة التوربينة مما يتسبب في مشاكل.

الشكل (2.3) أدناه يوضح أنبوب سحب مخروطي بقلب مركزي صلب يُقصد منه منع مثل هذه المشاكل.



شكل (2.3) أنبوب سحب مخروطي بقلب مركزي

يجب أن لا يكون طول أنبوب السحب زائداً للأسباب التالية:

أ) بما أنَّ الضغط عند التوربينة ينخفض اضافياً تحت الضغط الجوي كلما زاد طول الأنبوب فإنَّ ذلك سيزيد من إحتمال حدوث التكهف وتحرير الهواء $(cavitation\ and\ air\ release)$.

ب) لتجنُّب الانفصال والطرق المائي $(water\ Hammer)$ نتيجة للقصور الذاتي $(Inertia)$ لعمود السحب اذا تغيَّر السرَّيان فجأة.

2.4 مثال (4): تحديد السرعة القصوى المتاحة من التوربينات وعدد التوربينات المطلوب

اشتق تعبيراً للسرعة النوعية $(specific\ speed)$ لتوربينة بدلالات سرعتها N، قدرة الخرج p وسمت الضغط H .

في محطة كهرومائية جديدة $(Hydro-eletric\ station)$، سمت الضغط المتاح هو $60\ m$ ومن المتوقع أن يكون السرَّيان الحجمي المتاح للماء هو $32.3\ m^3/s$. يتم تركيب توربينات فرانسيس بسرعة نوعية مقدارها 190 وسرعة دوران مقدارها $500\ rev/min.$ بكفاءة اجمالية مقدارها 82% . حدِّد القدرة القصوى المتاحة من التوربينات والعدد المطلوب .

الحل:

لغرض مقارنة توربينات مختلفة الأنواع وتصنيفها فان الكمية التي تُعرف بالسرعة النوعية يتم استخدامها

وتعريفها كالآتي: (هي السرعة بالـ $rev/min.$ التي تدور بها التوربينة اذا تم تخفيض حجمها (مقاسها) بتناسب هندسي إلى حجم يقوم بتطوير 1 كيلوواط تحت سمت ضغط تشغيلي مقداره 1 متر).

لأي عجلة توربينة بقطر خارجي D وعرض B تشتغل تحت سمت ضغط H .

سرعة السرَّيان ، $v_f \; \alpha \sqrt{2\, g\, H}$

$$\alpha \, \mathrm{H}^{\frac{1}{2}}$$

مساحة السرَّيان ، $A \alpha B \times D$ ، حيث $A = k\pi DB$

بما أن B/D هي ثابتة لريَّش متشابهة هندسياً، بالتالي:

$$\frac{B}{D} = constant \; , \qquad \therefore B = D \times constant$$

$$\therefore \; A \; \propto \; D^2$$

معَّدل السرَّيان الحجمي،

$$Q = A \; v_f \; \alpha \; D^2 \; \mathrm{H}^{\frac{1}{2}}$$

القدرة، $p \propto \; \rho \; g \; Q \; H$

$$\propto \; \mathrm{Q \; H \; \alpha \; D^2 \; H^{\frac{1}{2}} . H}$$

حيث أنَّ،

$$D^2 \; \propto \; \frac{p}{\mathrm{H}^{\frac{3}{2}}}$$

$$\therefore \; D = \frac{p^{\frac{1}{2}}}{\mathrm{H}^{\frac{3}{4}}} \qquad (1)$$

سرعة عجلة التوربينة $(runner\ speed)$ بالـ rev/min ستعتمد على سرعة السرَّيان وعلى قطر عجلة التوربينة.

$$(\, u = r \, w \, , \qquad \omega = \frac{u}{r} \qquad i.e.)$$

$$N = \frac{peripheral\ velocilty}{runner\ diameter}\ \alpha\ \frac{\sqrt{H}}{D}$$

تجنَّب D باستخدام المعادلة (1)،

$$N\alpha \frac{H^{\frac{1}{2}}}{p^{\frac{1}{2}} / H^{\frac{3}{4}}}\ \alpha\ \frac{H^{\frac{5}{4}}}{p^{\frac{1}{2}}}$$

في المنظومة المترية $(in\ the\ metric\ system)$ يتم تعريف السرعة النوعية كقيمة N عندما $H = 1\ m$ ، و $p = 1\ kw$. عليه،

$$N = N_s\ \frac{H^{\frac{5}{4}}}{p^{\frac{1}{2}}}$$

أو السرعة النوعية،

$$N_s = \frac{N\ p^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

هناك كمية بديلة للسرعة النوعية تُعرف بالسرعة النوعية اللابعدية أو رقم النوع

$(dimensionless\ specific\ speed\ or\ type\ number)$.

$\eta\ \rho\ g\ Q\ H =$ القدرة المتاحة من التوربينات (قدرة الخرج)

حيث $\eta =$ الكفاءة الاجمالية $(overell\ efficiency)$،

$$\eta = 0.82$$

$\rho =$ كثافة الكتلة $(mass\ density)$،

$$\rho = 1000\ kg/m^3$$

$$Q = 32.3\ m^3/s \quad , \quad H = 60\ m$$

القدرة المتاحة من التوربينات،

$$= 0.82 \times 1000 \times 9.81 \times 32.3 \times 60\ w$$

$$= 15650\ \text{kw}$$

وبما أنَّ،

$$N_s = \frac{N\, p^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

فان قدرة الخرج من توربينة واحدة،

$$p = \left(\frac{N_s}{N}\right)^2 . H^{\frac{5}{2}}$$

$$= \left(\frac{190}{500}\right)^2 \times 60^{\frac{5}{2}} = 4020\ kw$$

∴ عدد التوربينات المطلوبة،

$$n = \frac{15650}{4020} \simeq 4$$

2.5 مثال (5): وحدة السرعة ووحدة القدرة للتوربينات الهايدروليكية

عرِّف المصطلحات وحدة السرعة $(unit\ speed)$ ووحدة القدرة $(unit\ power)$ المستخدمة في تشغيل التوربينات الهايدورليكية. بالرمز الى الأولى بـ N_1 والثانية بـ p_1 . وضِّح أنَّ حاصل الضرب $N_1\sqrt{p_1}$، والذي يُصطلح عليه بالسرعة النوعية، هو قيمة ثابتة لكل التوربينات المتشابهة هندسياً والتي تشتغل تحت ظروف متشابهة ديناميكياً .

وضِّح بمساعدة المخططات كيف أن النوع المميَّز $(characteristic\ type)$ والشكل $(shape)$ لريشة التوربينة تتغيَّر كلما زادت السرعة النوعية وأذكر باختصار لماذا يكون هذا التغير في شكل الريشة ضرورياً.

الحل:

أرمز للتوربينتين بالحروف A و B ،

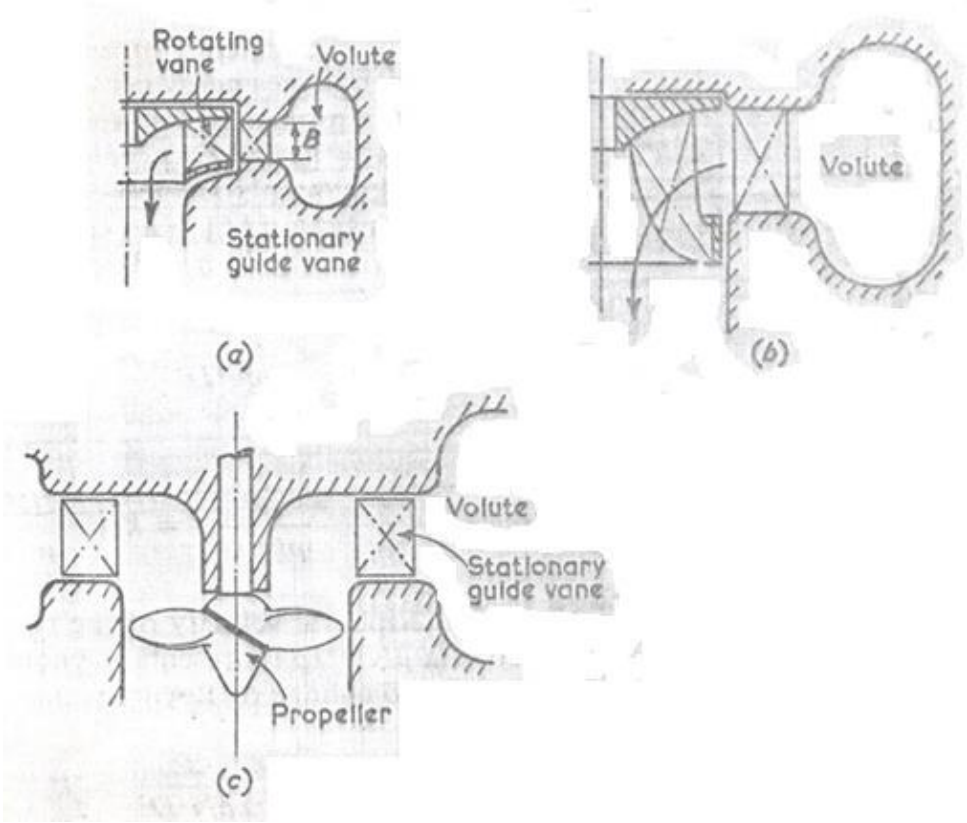
$$\frac{N_{sA}}{N_{sB}} = \frac{N_A}{N_B} \times \frac{\sqrt{p_A}}{\sqrt{p_B}} \times \frac{{H_B}^{\frac{5}{4}}}{{H_A}^{\frac{5}{4}}}$$

$$= \frac{{H_A}^{\frac{1}{2}}}{D_A} . \frac{D_B}{{H_B}^{\frac{1}{2}}} \times \frac{D_A \, {H_A}^{\frac{3}{4}}}{D_B \, {H_B}^{\frac{3}{4}}} \times \frac{{H_B}^{\frac{5}{4}}}{{H_A}^{\frac{5}{4}}} = 1$$

هكذا فإنَّ $N_{sA} = N_{sB}$ ، عليه فان السرعة النوعية تكون ثابتة.

لتوربينة عجلة بلتون سرعة نوعية منخفضة، لماكينة ذات نفث مفرد فإنَّ السرعة النوعية N_s تساوي حوالي 19 . إذا كانت قيمة كُلٍّ من سمت الضغط المتاح وسرعة التشغيل ثابتة فان القدرة المتاحة سيتم تحديدها بالسرعة النوعية. يمكن زيادة القدرة بزيادة السرَّيان خلال الماكينة باستخدام 2 , 4 أو 6 نفث وهكذا يمكن زيادة السرعة النوعية الى حوالي 60 . إذا تمَّ استخدام أكثر من 6 أنفاث وُجِد أنها تتداخل مع بعضها البعض وبالتالي تنخفض الكفاءة.

للحصول على سرعات نوعية عالية وبالتالي مخرجات قدرة عالية لسمت ضغط وسرعة يجب زيادة مساحة السرَّيان إضافياً. وهذا يمكن عمله فقط بالتغيير الكامل للتصميم من عجلة بلتون الى توربينة فرانسيس حيث يدخل السرَّيان حول المحيط الكامل للعجلة شكل رقم (1.3). يمكن تطوير هذه الماكينة للحصول على سرعة نوعية من 75 الى 400 . عند السرعة النوعية المنخفضة يكون عرض الريشة B صغيراً (شكل 2.4 – a) ويكون السرَّيان نصف قطرياً. كلما زاد العرض B بزيادة السرَّيان والسرعة النوعية فإنَّ السرَّيان نصف القطري الخالص يتسبَّب في صعوبة التصريف من الريشة. وُجِد أنه من الأفضل دخول الماء نصف قطرياً والسماح له بالدوران في الريشة والخروج محورياً كما في الشكل $(b - 2.4)$ الذي يُوضَّح ريشة توربينة مختلطة السرَّيان. لقيم كبيرة للسرعة النوعية، يتم استخدام ريشة توربينة دفَّاعة $(propeller\ type\ runner)$ الموضحة في الشكل $(c - 2.4)$. يتم وضع التدويم في السرَّيان بريَّش ثابتة ويمر الماء خلال الريشة محورياً. هنالك ترتيبة أخرى لها أنبوبة دخل محورية مع العمود وطقم ثابت من ريَّش التوجيه أعلى السرَّيان لخلق دوامات.



شكل (2.4) السرَّيان خلال توربينة نصف قطرية، مختلطة السرَّيان وتوربينة محورية

2.6 مثال (6): السرعة النوعية اللابعدية أو رقم النوع للتوربينات:

اشتق مستخدماً التحليل البعدي تعبيراً للسرعة النوعية اللابعدية أو رقم النوع لتوربينة بدلالات سرعة الدوران N ، القدرة المنقولة بين المائع والريشة p ، كثافة الكتلة ρ ومعامل اللزوجة الديناميكي للمائع μ ، التسارع نتيجة للتثاقل g والفرق في سمت الضغط خلال الماكينة H .

الحل:

لملائمة التحليل يتم توحيد H , g لتكون $g\ H$ والتي هي الطاقة لكل وحدة كتلة من المائع.

أبعاد الكميات هي:

$$N = rev/\min = [T^{-1}]$$

$$p = w = J/s = N.m/s = kgm/s^2.m/s = \frac{kgm^2}{s^3} = [M\ L^2\ T^{-3}]$$

$$\rho = kg/m^3 = [M\ T^{-3}]$$

$$\mu = \text{kg/m.s} = \frac{\text{m}}{\text{s}} = [M\ L^{-1}T^{-1}]$$

$$gH = m/s^2.m = m^2/s^2 = [L^2T^{-2}]$$

$$D = m = \ [L]$$

باستخدام نظرية بكنجهام π (Buckingham's π Theorem)

هنالك ثلاث أبعاد رئيسية هي M ، L و T وست متغيرات. بالتالي ستحتوي هذه العلاقة على ثلاث مجموعات لابعدية $(6-3=3 \ \ i.e)$.

المتغيرات هي $p\ ,\ \rho\ ,\ N\ ,\ D\ ,\ \mu\ ,\ g\ H$

المتغيرات الأساسية هي ρ ، N و D

عدد مجموعات π ، $6-3=3$

$$\pi_1 = p\ \rho^a\ N^b\ D^c$$

$$\pi_2 = \mu\ \rho^a\ N^b\ D^c$$

$$\pi_3 = g\ H\ \rho^a\ N^b\ D^c$$

بالتالي،

$$\pi_1 = p\ \rho^a\ N^b\ D^c$$

$$= \ [M\ L^2\ T^{-3}][M\ L^{-3}]^a[T^{-1}]^b[L]^c = M^\circ L^\circ T^\circ$$

بمساواة أس M بالصفر،

$$1 + \ a = 0 \quad \therefore a = -1 \qquad (1)$$

بمساواة أس T بالصفر،

$$-3 - b = 0 \quad \therefore b = 3 \qquad (2)$$

بمساواة أس L بالصفر،

$$2 - 3a + c = 0$$

$$c = -2 + 3a = -2 - 3 = -5 \quad \therefore c = -5 \quad (3)$$

$$\therefore \pi_1 = p\ \rho^{-1}\ N^{-3}\ D^{-5} = \frac{p}{\rho\ N^3\ D^5}$$

$$\pi_2 = \mu\ \rho^a\ N^b\ D^c$$

$$= [M\ L^{-1}\ T^{-1}][\eta\ L^{-3}]^a[T^{-1}]^b[L]^c$$

بمساواة أس M بالصفر،

$$1 + a = 0 \quad \therefore a = -1 \quad (1)$$

بمساواة أس T بالصفر،

$$-1 - b = 0 \quad \therefore b = -1 \quad (2)$$

بمساواة أس L بالصفر،

$$-1 - 3a + c = 0$$

$$\therefore \mathrm{c} = 1 + 3\mathrm{a} = 1 - 3 = -2$$

$$\therefore \mathrm{c} = -2 \quad (3)$$

$$\therefore \pi_2 = \mu\ \rho^{-1}\ N^{-1}\ D^{-2} = \frac{\mu}{\rho\ N\ D^2}$$

$$\pi_3 = g\ H\ \rho^a\ N^b\ D^c$$

$$= [\ L^2\ T^{-2}][\ ML^{-3}]^a[T^{-1}]^b[L]^c$$

بمساواة أس M بالصفر،

$$a = 0 \qquad (1)$$

بمساواة أس T بالصفر،

$$-2 - b = 0 \quad \therefore b = -2 \quad (2)$$

بمساواة أس L بالصفر،

$$2 - 3a + c = 0 \quad \therefore c = 3a - 2 = -2$$

$$\therefore c = -2 \qquad (3)$$

$$\therefore \pi_3 = g\ H\ \rho^0\ N^{-2}\ D^{-2} = \frac{g\ H}{N^2\ D^2}$$

π تحتوي على المتغير التابع p ،

$$\pi_1 = f\ (\pi_2.\pi_3)$$

$$\frac{p}{\rho\ N^3\ D^5} = \emptyset\left[\frac{\mu}{\rho\ N\ D^2}.\frac{g\ H}{N^2\ D^2}\right]$$

$$\frac{p}{\rho\ N^3\ D^5} = \mathrm{k}_1\left(\frac{\rho\ \mathrm{N}\ \mathrm{D}^2}{\mu}\right)^{\mathrm{a}}\left(\frac{g\ H}{N^2\ D^2}\right)^{\mathrm{b}}$$

والآن فإنَّ السرعة المحيطية $(peripheral\ velocity)$ للريشة تتناسب طردياً مع ND ، حيث أن الكمية $\rho ND^2/\mu$ تمثّل رقم رينولدز. إذا تمَّ إفتراض أن التغييرات الناتجة من تغير رقم رينولدز يمكن تجاهلها، بالتالي فإن المعادلة أعلاه تصبح كالآتي:

$$\frac{p}{\rho\ N^3\ D^5} = \mathrm{k}_2\left(\frac{g\ H}{N^2\ D^2}\right)^{\mathrm{b}}$$

للمتسلسلات المتناظرة $(analogous\ series)$ للماكينات المتشابهة هندسياً ستكون هذه العلاقة مستقلَّة عن D ، والتي تتطلب أنَّ الأس b يساوي $5/2$.

$$\frac{p}{\rho\ N^3\ D^5} = \mathrm{k}_2\left(\frac{g\ H}{N^2\ D^2}\right)^{\frac{5}{2}}$$

بالتالي،

$$k_2 = \frac{(p/\rho)}{N^3\ D^5} \times \frac{N^5\ D^5}{(g\ H)^{\frac{5}{2}}} = \frac{N^2(p/\rho)}{(g\ H)^{\frac{5}{2}}}$$

بأخذ الجذر التربيعي للمعادلة أعلاه نحصل على السرعة النوعية اللابعدية،

$n_s = \dfrac{N(p/\rho)^{\frac{1}{2}}}{(g\ H)^{\frac{5}{2}}}$ ، السرعة النوعية اللابعدية

2.7 مثال (7): تحديد سرعة التدويم وقطر العجلة عند المدخل، معَّدل السرَّيان وزاوية ريشة التوجيه

توربين سرَّيان إلى الداخل بتصريف نصف قطري وبكفاءة إجمالية 80% يقوم بتوليد 150kw. السمت $8m$ والسرعة المحيطية عند المدخل $0.96\sqrt{2g\,H}$ وسرعة السرَّيان $0.36\sqrt{2g\,H}$. سرعة العجلة $150rev/min$، والكفاءة الهايدروليكية 85%.

حدِّد:

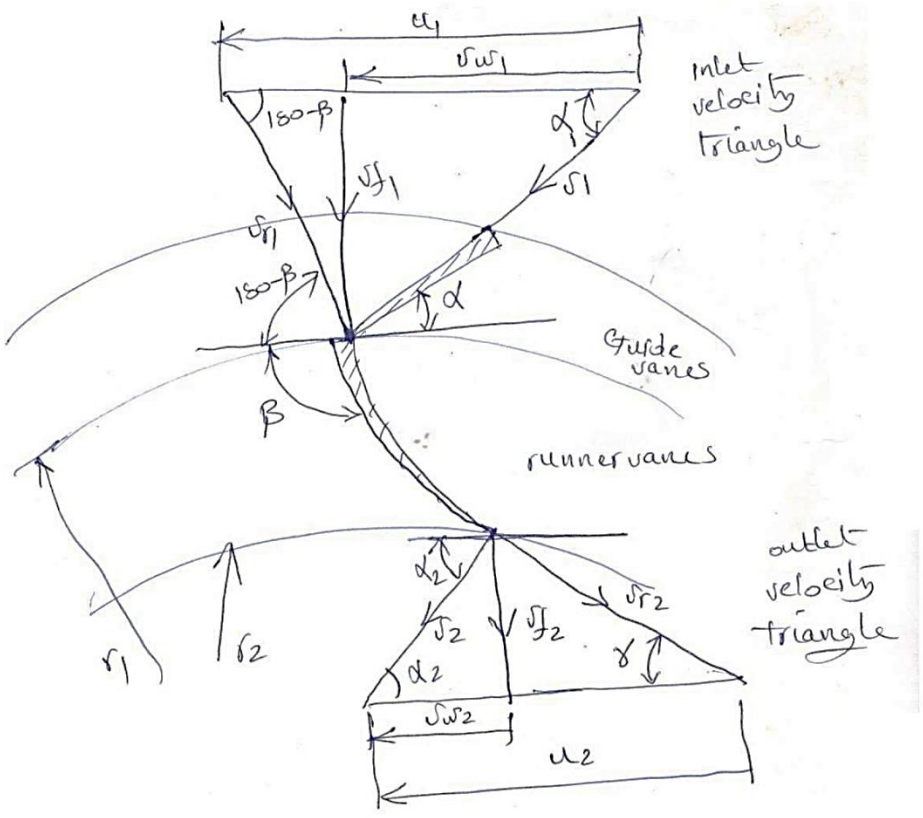
أ) سرعة التدويم عند المدخل.

ب) قطر العجلة عند المدخل.

ج) معدَّل السرَّيان.

د) زاوية ريشة التوجيه.

الحل:



السرعة المحيطية ، $u_1 = 0.96\sqrt{2\,g\,H}$

$= 0.96\sqrt{2 \times 9.8 \times 8} = \ 12.02\ m/s$

سرعة السرَّيان ، $v_{f_1} = 0.36\sqrt{2\ g\ H}$

$$v_{f_1} = 0.36\sqrt{2 \times 9.8 \times 8} = 4.5\ m/s$$

$$\eta_H = \frac{u_1 v_{w_1} - u_2 v_{w_2}}{g\ H}$$

وبما أنَّ التصريف نصف قطري فإنَّ $v_{w_2} = 0$

$$\therefore\ \eta_H = \frac{u_1 v_{w_1}}{g\ H}$$

$$0.85 = \frac{12.02\ v_{w_1}}{9.8\ \times 8}$$

$$\therefore\ v_{w_1} = 5.54\ m/s$$

$$\alpha = tan^{-1}\ \frac{v_{f_1}}{v_{w_1}} = tan^{-1}\ \frac{4.5}{5.54} = 39^o$$

$$u_1 = \frac{\pi D_1 N}{60}$$

$$D_1 = \frac{60\ u_1}{\pi\ N} = \frac{60\ \times 12.02}{\pi\ \times 150} = 1.53\ m$$

الكفاءة الإجمالية ، $\eta_o = \frac{p}{\rho g Q H}$

$$\therefore Q = \frac{p}{\eta_o \rho g H} = \frac{150 \times 10^3}{0.8 \times 10^3 \times 9.8 \times 8} = 2.4\ m^3/s$$

2.8 مثال (8): تحديد السمت وقدرة الخرج لتوربين فرانسيس

توربين فرانسيس بالمواصفات التالية:

نصف قطر المخرج $150\ mm$، معَّدل السرَّيان $0.05\ m^3/s$، زاوية مدخل ريشة التوجيه 30^o، السرعة المطلقة عند المخرج تصنع زاوية مقدارها 80^o مع المحور، السرعة المطلقة عند المدخل 6m/s ، السرعة

المطلقة عند المخرج 3m/s ، الكفاءة الإجمالية 80%، الكفاءة الهايدروليكية 90% . حدَّد السمت وقدرة الخرج إذا كانت السرعة الزاوية مساوية لـ $25\ rad/s$.

الحل:

بالرجوع لمخططات السرعة ، نحصل على:

$$r_1 = 300\ mm\ , r_2 = 150\ mm\ , Q = 0.05\ m^3/s$$

$$\alpha_1 = 30^o\ , \alpha_2 = \ 80^o\ , v_1 = 6\ m/s\ \ , v_2 = 3\ m/s$$

$$\eta_o = 80\%\ , \eta_H = 90\%\ , \omega = 25\ rad/s$$

$$u_1 = \ r_1\ \omega = 0.3 \times 25 = 7.5\ m/s$$

$$u_2 = \ r_2\ \omega = 0.15 \times 25 = 3.75\ m/s$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{v_{w_1}}{v_1} \qquad \therefore v_{w_1} = v_1\ \cos\alpha_1 = 6 \times cos\ 30^o = 5.2\ m/s$$

$$\cos\alpha_2 = \frac{v_{w_2}}{v_2} \qquad \therefore v_{w_2} = v_2\ \cos\alpha_2 = 3 \times cos\ 80^o = 0.52\ m/s$$

$E = \frac{u_1 v_{w_1} - u_2 v_{w_2}}{g}$ ، سمت أويلر

$$E = \frac{7.5 \times 5.2 - 3.75 \times 0.52}{9.8} = 3.7\ m$$

$$\eta_H = \frac{E}{H}$$

$$\therefore H = \ \frac{E}{\eta_H} = \frac{3.7}{0.9} = 4.1\ m$$

قدرة الدخل $= \rho g Q H = 10^3 \times 9.81 \times 0.05 \times 4.1 = 2000\ w = 2\ kw$

قدرة الخرج $= \eta_o \times$ قدرة الدخل $= 0.8 \times 2 = 1.6\ kw$

2.9 مثال (9): تصميم توربين فرانسيس

صمِّم توربين فرانسيس بالمواصفات التالية:

السمت المتاح	$68\ m$
السرعة	$750\ rev/min$
قدرة الخرج	$330\ kw$
الكفاءة الهايدروليكية	94%
الكفاءة الإجمالية	85%
نسبة السرَّيان	0.15
نسبة عرض العجلة إلى قطرها عند المدخل	0.1
نسبة القطر الداخلي إلى الخارجي	$\frac{1}{2}$

إفترض أنَّ 6% من المساحة المحيطية للعجلة تكون محتلَّة بسمك الريَّش وسرعة السرَّيان تظل ثابتة وأنَّ السرَّيان يكون نصف قطرياً عند المخرج.

الحل:

معطى:

$N = 750\ rev/min$, نسبة السرَّيان $= 0.15$, $H = 68\ m$, $\eta_H = 0.94$, $D_2/D_1 = \frac{1}{2}$

$P = 330\ kw$, $\frac{B_1}{D_1} = 0.1$, $k = 1 - 0.06 = 0.94$, $\eta_o = 0.85$

الكفاءة الإجمالية ، $\eta_o = \frac{p}{egQH}$

$$0.85 = \frac{330 \times 10^3}{10^3 \times 9.8 \times Q \times 68}$$

$$\therefore Q = 0.582\ m^3/s$$

$$\text{نسبة السرَّيان} = \frac{v_f}{\sqrt{2gh}}\ , \qquad \therefore\ v_f = \text{نسبة السرَّيان} \times \sqrt{2gH}$$

$$\therefore\ v_f = 0.15\sqrt{2 \times 9.8 \times 68} = 5.47\ m/s$$

$$v_f = v_{f_1} = v_{f_2} = 5.47\ m/s$$

$$Q = (kHD_1B_1)v_{f_1} = \left(k\pi\frac{B_1}{D_1} \times D_1^2\right)v_{f_1}$$

$$\therefore 0.582 = 0.94\pi \times 0.1 \times D_1^2 \times 5.47$$

$$D_1 = 0.6\ m = 600\ mm$$

$$\frac{B_1}{D_1} = 0.1\ ;\ \therefore\ B_1 = 600 \times 0.1 = 60\ mm$$

$$u_1 = \frac{\pi D_1 N}{60}\ , \qquad \therefore u_1 = \frac{\pi \times 0.6 \times 750}{60} = 23.5\ m/s$$

$$\eta_H = \frac{u_1 v_{w_1} - u_2 v_{w_2}}{g\ H}$$

بمان أنَّ $v_{w_2} = 0$ (تصريف نصف قطري)،

$$\therefore\ \eta_H = \frac{u_1 v_{w_1}}{g\ H}$$

$$\therefore\ v_{w_1} = \frac{\eta_H gH}{u_1} = \frac{0.94 \times 9.8 \times 68}{23.5} = 26.6\ m/s$$

من مخطط سرعات الدخل والخرج، نحصل على:

$$\alpha_1 = tan^{-1}\frac{v_{f_1}}{v_{w_1}} = tan^{-1}\frac{5.47}{26.6} = 11.6^o$$

القطر الداخلي ، $D_1 = \frac{1}{2}D_1 = \frac{1}{2} \times 600 = 300\ mm$

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60} = \frac{\pi \times 0.3 \times 750}{60} = 11.7\ m/s$$

$$\gamma = tan^{-1}\frac{v_{f_2}}{u_2} = tan^{-1}\frac{5.47}{11.7} = 25^o$$

$$Q = k_1\pi D_1^2\frac{B_1}{D_1}v_{f_1} = k_2\pi D_2^2\frac{B_2}{D_2}v_{f_2}$$

افترض $k_1 = k_2$ ، $v_{f_1} = v_{f_2}$

$$0.6^2 \times 0.1 = \frac{B_2}{D_2} \times 0.3^2$$

$$\therefore \frac{B_2}{D_2} = 0.4$$

2.10 مثال (10): تحديد زاوية ريشة التوجيه وزاوية ريشة الدوَّار عند المخرج

في توربين فرانسيس يكون سمت الإمداد $12\ m$ ومعَّدل السرَّيان $0.28\ m^3/s$، قطر المخرج هو نصف قطر المدخل ويساوي $12\ m$. سرعة السرَّيان $0.15\sqrt{2gH}$. تكون الريَّش نصف قطرية عند المدخل ويدور الدوَّار بسرعة $300\ rev/min$. الكفاءة الهيدروليكية 80% . حدِّد زاوية ريشة التوجيه وزاوية ريشة الدوَّار عند المخرج لسرَّيان نصف قطري.

الحل:

المعطيات:

$$H = 12m, Q = 0.28m^3/s, d_2 = \frac{1}{2}d_1 = 12m, v_f = 0.15\sqrt{2gh}, v_{f_1} = v_{r_1}\ and\ hence$$
$$u_1 = v_{w_1}, N = 300rev/min, \eta_H = 0.8,$$
$$\alpha_1 = ?, \gamma = ?, v_{w_2} = 0, \therefore v_{f_2} = v_2$$

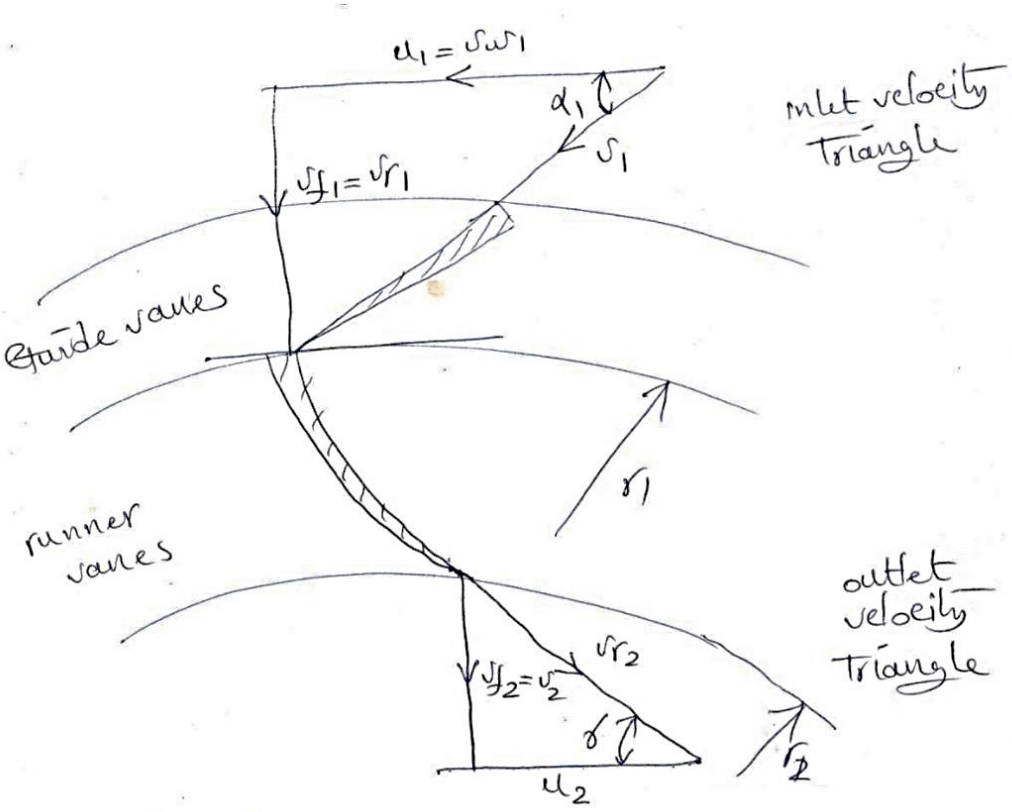
$v_{f_1} = v_{f_2} = 0.15\sqrt{2gH} = 0.15\sqrt{2 \times 9.8 \times 12} = 2.3m/s$ ، سرعة السريان

$$\eta_H = \frac{u_1 v_{w_1} - u_2 v_{w_2}}{g\ H}$$

$$\eta_H = \frac{u_1 v_{w_1}}{g_2\ H} \quad as\ v_{w_2} = 0$$

$$\eta_H = \frac{v_{w_1}}{g\ H} \quad as \quad v_{w_1} = u_1$$

$$0.8 = \frac{v_{w_1}}{9.8 \times 12}\ ; \quad \therefore\ v_{w_1} = 9.7\ m/s$$



$u_1 = v_{w_1} = 9.7\ m/s$; أيضاً $u_1 = r_1\omega\ , u_2 = r_2\omega$

$$\therefore\ \omega = \frac{u_1}{r_1} = \frac{u_2}{r_2}$$

$$u_2 = u_1 \frac{r_2}{r_1} = 9.7 \times \frac{1}{2} = 4.85\ m/s$$

$$\gamma = tan^{-1} \frac{v_{f_2}}{u_2} = tan^{-1} \frac{2.3}{4.85} = 25^o$$

$$\alpha_1 = tan^{-1} \frac{v_{f_1}}{u_1} = tan^{-1} \frac{2.3}{9.7} = 13^o$$

2.11 مثـال (11): تحديـد قـدرة العمـود، الكفـاءة الهايدروليكيـة والسـرعات النوعيـة البعديـة واللابعدية

توربين فرانسيس بالمواصفات التالية:

معدَّل السرَّيان $0.4\ m^3/s$ ، السمت $92\ m$ ، سرعة الدوَّار $1260\ rev/min$. زاوية ريشة التوجيه 20^o ، نصف القطر عند المدخل $600\ m$ ، عرض الريَّش $30\ m$. حدِّد قدرة العمود، الكفاءة الهايدروليكية والسرعات النوعية $(n_s\ ,N_s)$. إفترض تصريف نصف قطري.

الحل:

معطى:

$$\alpha_1 = 20^o, N = 1260\ rev/min, H = 92m, Q = 0.4m^3/s, b_1 = 30mm, r_1 = 600\ mm$$

العزم المنتج بواسطة الدوَّار ، $T = \dot{m}(v_{w_1}r_1 - v_{w_2}r_2)$

بمان أنَّ $v_{w_2} = 0$ (تصريف نصف قطري)،

$$\therefore T = \dot{m}v_{w_1}r_1 = \rho Q\ v_{w_1}r_1$$

أيضاً،

$$Q = \pi d_1 b_1 v_{f_1}$$

$$0.4 = \pi \times 0.6 \times 0.3\ v_{f_1}$$

$$\therefore\ v_{f_1} = 3.5\ m/s$$

من مخطط سرعات المدخل،

$$\alpha_1 = tan^{-1}\frac{v_{f_1}}{v_{w_1}}$$

$$tan\ \alpha_1 = \frac{v_{f_1}}{v_{w_1}}$$

$$v_{w_1} = \frac{v_{f_1}}{tan\ \alpha_1} = \frac{3.5}{\tan 20^o} = 9.61\ m/s$$

$$T = \rho Q v_{w_1} r_1 = 10^3 \times 0.4 \times 9.61 \times 0.6 = 2304 N.m$$

قدرة العمود ، $P = T\omega = T \cdot \frac{2\pi N}{60} = 2304 \times \frac{2\pi \times 1260}{60} = 30\ kw$

$$\text{الكفاءة الإجمالية} = \frac{\text{قدرة العمود}}{\text{القدرة الهايدوليكية}} = \frac{304}{360} = 0.84 = 84\%$$

بما أنَّ القدرة الهايدروليكية،

$$p_i/p = \rho g Q H = 10^3 \times 9.81 \times 0.4 \times 92 = 360$$

السرعة النوعية اللابعدية ، $n_s = \frac{N(p/\rho)^{\frac{1}{2}}}{(g\ H)^{\frac{5}{4}}} = \frac{\left(\frac{1260}{60}\right)\left(\frac{304 \times 10^3}{10^3}\right)^{\frac{1}{2}}}{(9.8 \times 92)^{\frac{5}{4}}} = 0.074\ rev$

$$= 0.466\ rad$$

السرعة النوعية ، $N_s = \frac{N\ p^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$

$$N_s = \frac{1260\ (304)^{\frac{1}{2}}}{(92)^{1.25}} = 77.1$$

2.12 مثال (12): رسم مخططات السرعة عند المدخل وإيجاد زاوية ريَّش الدوَّار، السرعة المماسية للدوَّار، السرعة المطلقة للماء والسرعة النسبية للماء

القطر الخارجي لدوَّار إنسياب إلى الداخل $1\ m$ وعرضه عند المدخل $250\ mm$. سرعة الانسياب عند المدخل $2\ m/s$. اذا كان سمك الريَّش يشغل 10% من مساحة الانسياب عند المدخل فما هو وزن الماء المنساب خلال التوربين في الثانية . اذا كانت زاوية ريَّش التوجيه 10° وسرعة دوران التوربين $210\ rev/min$ ، أرسم مخططات السرعة عند المدخل ثم أوجد:

i. زاوية ريَّش الدوَّار عند المدخل.

ii. السرعة المماسية للدوَّار عند المدخل .

iii. السرعة المطلقة للماء عند المدخل .

iv. السرعة النسبية للماء عند المدخل .

الحل :

مساحة السرَّيان عند المدخل،

$$A_{f_1} = 0.9\pi D_1 B_1 = 0.9\pi \times 1 \times 0.25 = 0.707\ m^2$$

معَّدل السرَّيان الحجمي للمائع،

$$Q = A_f\ v_{f_1} = 0.707 \times 2 = 1.414\ m^3/s$$

الوزن المنساب خلال التوربين في الثانية،

$$\dot{w} = \dot{m}g = \rho g Q = 10^3 \times 9.81 \times 1.414 = 13871kN/s = 13.871kN/s$$

i. السرعة المماسية للدوَّار عند المدخل،

$$u_i = \frac{\pi D_1 N}{60} = \frac{\pi \times 1 \times 210}{60} = 11\ m/s$$

من مثلث سرعات الدخل،

$$tan\alpha = \frac{v_{f_1}}{v_{w_1}}$$

$$\therefore v_{w_1} = \frac{v_{f_1}}{tan\ \alpha} = \frac{2}{tan10^\circ} = 11.36\ m/s$$

$$\tan(180 - \beta) = \frac{v_{f_1}}{u_1 - v_{w_1}} = \frac{2}{11 - 11.36} = -79.8^\circ = 79.8^\circ$$

ii. السرعة المماسية للدوَّار عند المدخل u_1 ،

$$u_1 = 11\ m/s$$

iii. السرعة المطلقة للماء عند المدخل v_1 ،

$$sin\alpha = \frac{v_{f_1}}{v_1}\ , \therefore v = \frac{v_{f_1}}{tan\alpha} = \frac{2}{tan10^\circ} = 11.5\ m/s$$

iv. السرعة النسبية للماء عند المدخل ، v_{r_1} ،

$$\sin(180-\beta)=\frac{v_{f_1}}{v_{r_1}},\qquad \therefore v_{r_1}=\frac{v_{f_1}}{\sin(180-\beta)}=\frac{2}{sin79.8^{\circ}}$$

$$=2.03\ m/s$$

2.13 مثال (13): إيجاد القدرة الناتجة وزاوية ريَّش الدوَّار عند المخرج:

توربين سرَّيان الى الداخل يدور بسرعة $750\ rev/min$ القطر الداخلي للدوَّار $0.3\ m$ والخارجي $0.6\ m$. دخل الماء الى ريَّش الدوَّار بزاوية مقدارها 12° ، سرعة سرَّيان ثابتة وتساوي $6\ m/s$ ، يكون التصريف عند المخرج في اتجاه نصف القطر ومعَّدل السرَّيان يعادل $1\ m^3/s$.

أوجد الآتي :

i. القدرة الناتجة .

ii. زاوية ريَّش الدوَّار عند المخرج .

الحل :

السرعة المماسية عند المدخل،

$$u_1=\frac{\pi D_1 N}{60}=\frac{\pi\times 0.6\times 750}{60}=23.6\ m/s$$

السرعة المماسية عند المخرج،

$$u_2=\frac{\pi D_2 N}{60}=\frac{\pi\times 0.3\times 750}{60}=11.78\ m/s$$

من مثلث السرعة عند المدخل،

$$tan\ \alpha=\frac{v_{f_1}}{v_{w_1}}\Longrightarrow\therefore v_{w_1}=\frac{v_{f_1}}{tan\ \alpha}=\frac{6}{tan12^{\circ}}=28.23\ m/s$$

الشغل المبذول في الثانية لكل وحدة وزن أو سمت أويلر،

$$E=\frac{u_1 v_{w_1}}{g}=\frac{23.6\times 28.23}{9.81}=67.9\ m$$

القدرة الناتجة،

$$p = \rho\, g\, Q\, E = 10^3 \times 9.81 \times 1 \times 67.9 = 666w$$

من مثلث السرعة عند المخرج،

$$tan\,\gamma = \frac{v_{f_2}}{u_2}, \therefore \gamma = \tan^{-1}\frac{v_{f_1}}{u_1} = \tan^{-1}\frac{6}{11.78} = 27^{\circ}$$

2.14 مثال (14): إيجاد زاويتي ريَّش الدوَّار وسرعة السرَّيان عند المدخل والمخرج

توربين سرَّيان الى الخارج يعمل تحت سمت $150\ m$ ويدور بسرعة $250\ rev/min$. القطر الداخلي للدوَّار $2m$ والخارجي $2.75\ m$ ، معَّدل السرَّيان $5\ m^3/s$ ، عرض الدوَّار عند المدخل والمخرج ثابت ويساوي $250\ mm$ ، يكون التصريف عند المخرج في اتجاه نصف القطر . بإهمال سمك الريَّش أوجد زاويتي ريَّش الدوَّار وسرعة السرَّيان عند المدخل والمخرج .

الحل :

$$u_1 = \frac{\pi D_1 N}{60} = \frac{\pi \times 2 \times 250}{60} = 26.2\ m/s$$

$$u_2 = \frac{\pi D_2 N}{60} = \frac{\pi \times 2.75 \times 250}{60} = 36\ m/s$$

$$Q = \pi D_1 B_1 v_{f_1} = 5$$

سرعة السرَّيان عند المدخل،

$$v_{f_1} = \frac{5}{\pi \times 2 \times 0.25} = 3.18\ m/s$$

سرعة السرَّيان عند المخرج،

$$v_{f_2} = \frac{5}{\pi \times 2.75 \times 0.25} = 2.32\ m/s$$

الطاقة المحوَّلة للدوَّار هي :

$$E = H - \frac{{v_2}^2}{2g} = 150 - \frac{2.32^2}{2 \times 9.81} = 149.73\ m$$

$$E = \frac{u_1 v_{w_1}}{g} = 149.73$$

$$\therefore v_{w_1} = \frac{E\ g}{u_1} = \frac{149.73 \times 9.81}{26.2} = 56.1\ m/s$$

من مثلث السرعة عند المدخل،

$$tan\ \beta_1 = \frac{v_{f_1}}{v_{w_1} - u_1} \Longrightarrow \beta_1 = 6.1^{\circ}$$

من مثلث السرعة عند المخرج:

$$tan\ \beta_2 = \frac{v_{f_2}}{u_2} \Longrightarrow \beta_2 = 3.7^{\circ}$$

2.15 مثال (15): إيجاد زاوية ريَّش التوجيه، زاوية ريَّش الدوَّار عند المخرج وعرض الدوأَّر عند المدخل والمخرج

السمت المتاح لتوربين فرنسيس هو $12m$ ، مُعَّدل السرَّيان $0.28\ m^3/s$. القطر الخارجي للدوَّار يساوي ضعف قطره الداخلي، سرعة السرَّيان تساوي $0.15\sqrt{2gH}$ ، $v_{f_1} = v_{f_2}$ ، ريَّش الدوَّار عند المدخل نصف قطرية، سرعة الدوَّار $300\ rev/min$ ، يخرج الماء من الدوَّار في اتجاه نصف القطر. يشِّكل سمك الريَّش 10% من المحيط ، الكفاءة الهايدروليكية 80% .

أوجد : 1/ زاوية ريَّش التوجيه .

2/ زاوية ريَّش الدوَّار عند المخرج .

3/ عرض الدوَّار عند المدخل والمخرج .

الحل :

$$v_{f_2} = v_{f_1} = 0.15\sqrt{2gH}$$

$$\therefore v_{f_2} = v_{f_1} = 0.15\sqrt{2 \times 9.81 \times 12} = 2.3\ m/s$$

$$\eta_H = \frac{E}{H_2} = \frac{{v_{w_1}}^2}{gH}\left(1 + \frac{tan\theta}{tan\beta_1}\right)$$

$$0.8 = \frac{v_{w_1}}{9.81 \times 12}\ \therefore v_{w_1} = u_1 = 9.7\ m/s$$

من مثلث السرعة عند المدخل،

$$tan\,\theta = \frac{v_{f_1}}{u_1} = \frac{23}{9.7}\,, \qquad \therefore\ \theta = 13.3^{\circ}$$

الفصل الثالث

مسائل غير محلولة في توربينة السريان نصف القطري أو توربينة فرانسيس

Unsolved Problems in Radial Flow Turbine or Francis Turbine

3.1 مسألة (1): تحديد السرعة المحيطية الصحيحة للعجلة، زاوية التصريف الصحيحة للريش والنسبة المئوية للسمت ترفض كطاقة سرعة

توربينة ضغط ذات سريان إلى الداخل لديها عجلة ريشها نصف قطرية عند المدخل ومائلة إلى الخلف عند التصريف. قطر المخرج يعادل $2/3$ من قطر المدخل وسرعة السريان ثابتة عند $4.5\ m/s$. تكون ريش التوجيه مائلة بزاوية مقدارها 18 درجة. حدَّد السرعة المحيطية الصحيحة للعجلة وزاوية التصريف الصحيحة للريش لأقصى شغل. إذا كان سمت التشغيل هو $20\ m$ ما هي النسبة المئوية لهذا السمت التي ترفض كطاقة حركة للتصريف.

$\boldsymbol{Ans.}\{\mathbf{13.85}m/s\ ,\mathbf{26\ deg}\ ,\mathbf{5.2}\%\}$

3.2 مسألة (2): تحديد زاوية ريشة التوجيه، زاوية الريشة عند المخرج لتصريف نصف قطري وعرض العجلة عند المدخل والمخرج

في توربينة سريان الى الداخل رد فعلية سمت الامداد يساوي $12\ m$ وأقصى تصريف $0.28\ m^3/s$. القطر الخارجي = $2 \times$ القطر الداخلي. سرعة السريان ثابتة = $0.15\sqrt{2\ gH}$. السرعة = $300\ rev/min$. تكون ريش العجلة عند المدخل نصف قطرية. حدِّد الآتي:

أ) زاوية ريشة التوجيه.

ب) زاوية الريشة عند المخرج لتصريف نصف قطري.

ج) عرض العجلة عند المدخل والمخرج.

الكفاءة الهايدروليكية تساوي 0.8 . وتحتل الريش 10% من المحيط.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{13^{\circ}\ 20',25^{\circ}\ 20',69.6\ mm,139.2\ mm}\}$

3.3 مسألة (3): تحديد زاوية الريشة عند مدخل العجلة، قطر مخرج السحب وفواقد السمت في ريش التوجيه، العجلة وأنبوب السحب

عجلة رد فعلية رأسية ذات سريان مختلط وتعمل تحت صافي سمت مقداره $46\ m$ وتنتج قدرة خرج عمود مقدارها $3700\ kw$ عند كفاءة قصوى مقدارها 82% . سرعة العمود هي $280\ rev/min$ والكفاءة الهايدروليكية هي 90% . يبعد المدخل الى العجلة مسافة $1.5\ m$ فوق منسوب المسرِّب السفلي ويكون ضغط القياس عند المدخل مساوٍ لـ $250\ kN/m^2$. والقيم المقابلة عند مخرج العجلة هي $1.2\ m$ وضغط فراغي مقداره $14\ kN/m^2$. ليس هنالك تدويم في أنبوب السحب ويدخل الماء بسرعة $5.4\ m/s$ ويخرج بسرعة $3\ m/s$. قطر العجلة الخارجي هو $1.55\ m$ وسرعة السريان هي $6\ m/s$.

حدِّد الآتي:

أ) زاوية الريشة عند مدخل العجلة.

ب) قطر مخرج أنبوب السحب.

ج) فواقد السمت في ريش التوجيه ، العجلة وأنبوب السحب.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{51.11^{\circ},2.06\ m,0.89\ m,2.1\ m,1.14\ m}\}$

3.4 مسألة (4): سرعة العجلة بدون صدمة عند المدخل، زوايا الخرج من العجلة لتصريف نصف قطري، القدرة عند العجلة والضغط عند مدخل العجلة

سمت الضغط في غلاف توربينة رد فعلية هو $48\ m$ وسمت السرعة يتم تجاهله. تصنع ريش التوجيه زاوية مقدارها 25 درجة مع المماس عند المدخل. تكون الريش المتحركة عند المدخل متعامدة مع الريش الثابتة. أقطار العجلة الخارجي والداخلي هما $500\ mm$ و $300\ mm$ على الترتيب، ويكون العرض عند المدخل والمخرج هما $75mm$ و $125mm$ على الترتيب. تحتل الريش 6% من المحيط. سمت الضغط داخل العجلة هو $-2.7m$. افترض ان الفقودات في ريش التوجيه تعادل $1.2m$ وفي العجلة تعادل $1.8m$ من

الماء، أحسب الآتي:

أ) سرعة العجلة بدون صدمة عند المدخل.

ب) زوايا الخرج من العجلة لتصريف نصف قطري.

ج) القدرة عند العجلة.

د) الضغط عند مدخل العجلة.

$$\boldsymbol{Ans.}\ \left\{\mathbf{883}\ \boldsymbol{rev/min}\ ,\mathbf{32}\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\boldsymbol{deg}\ ,\mathbf{432}\ \boldsymbol{kw}\ ,\mathbf{250}\ \boldsymbol{kN/m^2}\right\}$$

3.5 مسألة (5): تحديد قطر العجلة، زاوية ريشة العجلة عند المدخل وعرض العجلة عند المدخل

توربينة سريان الى الداخل مطلوب منها اعطاء قدرة مقدارها $150kw$ تحت سمت $H = 10.5\ m$. الكفاءة الاجمالية هي 78% والكفاءة الهايدروليكية هي 85% . تدور التوربينة بسرعة $150\ rev/min$. سرعة السريان قيمتها ثابتة عند $0.2\sqrt{2gH}$ ، السرعة المحيطية عند المدخل هي $0.7\sqrt{2gH}$ ويكون التصريف نصف قطرياً. حدِّد الآتي:

أ) قطر العجلة.

ب) زاوية ريشة التوجيه.

ج) زاوية ريشة العجلة عند المدخل.

د) عرض العجلة عند المدخل بافتراض ان سمك الريشة 10% من المحيط.

$$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{1.28}\ \boldsymbol{m}\ ,\mathbf{18}^{\circ}\ \mathbf{1}\acute{\mathbf{5}}\ ,\mathbf{114}^{\circ}\ \mathbf{5}\acute{\mathbf{5}}\ ,\mathbf{0.179}\ \boldsymbol{m}\}$$

3.6 مسألة (6): حساب زاوية الخرج للعجلة دون صدمة ، السرعة، الكفاءة الهايدروليكية وقدرة الخرج

زاوية ريشة التوجيه لتوربينة سريان نصف قطري الى الداخل رد فعلية تصنع 20 درجة مع المماس عند المدخل . زاوية الريشة المتحركة عند المدخل هي 120 درجة. القطر الخارجي للعجلة هو $450\ mm$ والقطر الداخلي

هو $300\ mm$. العرض عند المدخل هو $62.5\ mm$ وعند المخرج $100\ mm$. أحسب زاوية الخرج للعجلة بحيث أنه عندما لا يكون هنالك فقد صدمي عند المدخل يكون التصريف نصف قطري . اذا كان سمت الامداد في الغلاف هو $18\ m$ ، الفقد في ريش التوجيه والعجلة هو $1.5\ m$ ، وهنالك ضغط جوي عند مخرج العجلة ، أحسب السرعة بالـ rev/min والكفاءة الهايدروليكية . اذا كانت الكفاءة الميكانيكية هي 90% ، أحسب قدرة الخرج . تجاهل سمك الريشة .

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{23^{\circ}, 613\ rev/min, 91.7\%, 56\ kw}\}$

3.7 مسألة (7): حساب زاوية الدخول لريش العجلة، فقد السمت في الغلاف الحلزوني وريش التوجيه والعجلة وأنبوب السحب، وتحديد قطر المدخل لأنبوب السحب

توربينة سريان الى داخل رأسية العمود رد فعلية بصافي سمت مقداره $60\ m$ وتدور بسرعة $375\ rev/min$. السرعة النوعية هي 150 وتكون مؤسسة على القدرة المنقولة بواسطة العجلة الى العمود. القطر الخارجي للعجلة هو $1.25\ m$.

يدخل الماء الى العجلة دون صدمة بسرعة سريان قدرها $8.4\ m/s$ ويمر داخل أنبوب السحب بدون تدويم بسرعة مقدارها $7.2\ m/s$ ويخرج من أنبوب السحب الى المسرِّب السفلي بسرعة $2.4\ m/s$.

سمت الضغط عند مدخل العجلة هو $28.8\ m$ فوق الضغط الجوي، وعند مدخل أنبوب السحب هو $2.4\ m$ دون الضغط الجوي. متوسط الارتفاع الى مدخل العجلة هو $1.8\ m$ والى مدخل أنبوب السحب هو $1.5\ m$ فوق المسرِّب السفلي.

افترض كفاءة هايدروليكية مقدارها 90% أوجد:

أ) زاوية الدخول لريش العجلة.

ب) فقد السمت في: $i/$ الغلاف الحلزوني وريش التوجيه ، $ii/$ العجلة ، $iii/$ أنبوب السحب.

ج) قطر المدخل لأنبوب السحب.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{108^{\circ}\ 48', 1.8\ m, 2.5\ m, 1.4m, 1.212m}\}$

3.8 مسألة (8): حساب الكفاءة الهايدروليكية، زاوية ريشة العجلة عند المدخل، القدرة المتولّدة بواسطة التوربينة، سمت الضغط عند مدخل أنبوب السحب والسرعة النوعية لعجلة التوربينة

توربينة سريان الى الداخل رأسية العمود رد فعلية تعمل تحت صافي سمت مقداره $90\ m$ وتدور العجلة بسرعة $500\ rev/min$. قطر وعرض العجلة عند المدخل هما $1.1\ m$ و $0.29\ m$ على الترتيب، معامل سمك الريشة هو 5% وزاوية ريشة التوجيه عند المدخل هي 18 درجة. سرعة السريان عند المدخل هي $0.93\sqrt{H}\ m/s$ يدخل الماء أنبوب السحب الذي هو في شكل كوع دون تدويم عند $0.6\ m$ فوق منسوب المسرِّب السفلي. قطر أنبوب السحب عند المدخل هو $1.1\ m$ ومقطع الخرج المستطيل لأنبوب السحب هو $1.5\ m$ عمق و $2.4\ m$ عرض.

اذا كانت كفاءة أنبوب السحب هي 75% ، متوسط السرعة في المسرِّب السفلي دون أي أضطراب أو تشوش من أنبوب السحب هي $0.6\ m/s$ ، والكفاءة الاجمالية للتوربينة هي الكفاءة الهايدروليكية $\times\ 0.95$ ، أحسب الآتي:

أ) الكفاءة الهايدروليكية.

ب) زاوية ريشة العجلة عند سطح المدخل.

ج) القدرة المتولدة بواسطة التوربينة.

د) سمت الضغط عند مدخل أنبوب السحب.

هـ) السرعة النوعية لعجلة التوربينة.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{88.5\%, 79^\circ\ 2'5, 6240\ kw, -3.71\ m, 142.5}\}$

3.9 مسألة (9): إيجاد زاوية ريشة العجلة عند حافة المدخل وعند نقطة على حافة المخرج، سرعة العجلة بالـ rev/min والقدرة المنقولة بواسطة العجلة إلى العمود

توربينة سريان الى الداخل رد فعلية لديها قطر عجلة مقداره $1.27\ m$ وتعمل تحت صافي سمت مقداره

$61m$. السرعة النوعية، المؤسسة على القدرة المنقولة بواسطة العجلة الى العمود هي 152 ، الكفاءة الهايدروليكية هي 90%، مساحة مدخل العجلة هي $1.11\ m^2$ وزاوية ريشة التوجيه عند المدخل هي 20 درجة. يدخل الماء الى العجلة دون صدمة ويغادر العجلة دون تدويم. إذا كانت سرعة السريان خلال العجلة ثابتة. تحصل على الآتي:

أ) زاوية ريشة العجلة عند حافة المدخل وعند نقطة على حافة المخرج حيث نصف القطر يساوي $0.45\ m$،

ب) سرعة العجلة بالـ rev/min ،

ج) القدرة المنقولة بواسطة العجلة الى العمود.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{117.7\ ,23.3^{\circ}\ ,381\ rev/min\ \ ,4614\ kw}\}$

3.10 مسألة (10): تعريف السرعة النوعية لتوربينة واشتقاق تعبير لها وكيفية حسابها

ماذا نعني بالسرعة النوعية لتوربينة ؟ اشتق تعبيراً لها.

إذا انتجت توربينة قدرة مقدارها $15000\ kw$ عند سرعة مقدارها $120\ rev/min$ تحت سمت مقداره $18\ m$ ، ما هي سرعتها النوعية ؟

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{396}\}$

3.11 مسألة (11): تحديد عدد التوربينات المطلوبة

منشأة هندسية مطلوب منها امداد قدرة مقدارها $30000\ kw$ عند سرعة مقدارها $120\ rev/min$ تحت سمت مقداره $18m$. اذا كانت التوربينات المقترحة لديها سرعة نوعية مقدارها 300 ، كم عدد الماكينات التي يجب تركيبها؟

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{4\ machines}\}$

3.12 مسألة (12): حساب نسبة المقياس والسرعة التصميمية

توربينة تعطي قدرة مقدارها $3750\ kw$ تحت سمت مقداره $12\ m$ وتدور بسرعة تصميمية مقدارها $250\ rev/min$. تَّم اقتراح استخدام نفس التصميم بمقياس مناسب لتوربينة تعطى قدرة مقدارها

$2250\ kw$ تحت سمت مقداره $7.5\ m$ أحسب الآتي:

أ) نسبة المقياس للماكينة الجديدة ، ب) السرعة التصميمية.

اشتَّق الصيغة المناسبة موضَّحاً بعناية الافتراضات الأساسية.

$\boldsymbol{Ans.\ \{1.1\ to\ 1,179\ rev/min\}}$

3.13 مسألة (13): إشتقاق صيغ مناسبة لوحدة القدرة ووحدة السرعة

طوِّر الصيغة $p/H^{\frac{3}{2}}$ لوحدة القدرة و وحدة السرعة بالترتيب لتوربينة. لماذا يتم رسم وحدة القدرة ضد وحدة السرعة لتوربينة عند تركيبها على الموقع ، بدلاً عن منحنى القدرة من السرعة؟

البيانات التالية تتعلق بتوربينة تعمل عند سرعة $200\ rev/min$ بفتحة كاملة للبوابة $(full\ gate\ opening)$.

السمت (m)	7.50	6.78	6.18	5.67	5.22	4.80
القدرة (kw)	266	231	201	176	153	131
الكفاءة	0.811	0.831	0.844	0.848	0.85	0.841

أرسم مخططات وحدة القدرة والكفاءة ضد وحدة السرعة و أوجد الحجم المطلوب للماء لكل ثانية لأقصى خرج تحت سمت مقداره $6.3\ m$.

$\boldsymbol{Ans.\ \{4.02\ m^3\}}$

3.14 مسألة (14): إشتقاق صيغة رياضية للتوربين المائي، وحساب نسبة المقياس، سرعة التوربين والسرعة النوعية

أسس التعبير التالي للتوربينات المائية:

$$p = \rho\ D^5\ N^3\ \emptyset\left(\frac{\rho\ D^2\ N}{\mu}, \frac{DN}{\sqrt{gH}}, \frac{B}{D}\right)$$

حيث $p =$ القدرة المنتجة ، B و $D =$ عرض وقطر العجلة ، $N =$ السرعة ، $H =$ سمت التشغيل ،

μ و ρ = اللزوجة الديناميكية والكثافة لمائع التشغيل.

توربينة مائية تنتج قدرة مقدارها $150\ kw$ عند $300\ rev/min$ تحت سمت مقداره $15\ m$ هنالك ماكينة مشابهة يتم تصميمها لاعطاء قدرة مقدارها $750\ kw$ تحت سمت مقداره $18\ m$ ولكنها تحت نفس الظروف. أوجد نسبة المقياس $(scale\ ratio)$ والسرعة لهذه الماكينة أيضاً وسرعتها النوعية.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\boldsymbol{1\ to\ 1.95\ ,169.5\ rev/min\ ,125}\}$

3.15 مسألة (15): تعريف وإشتقاق معادلات لوحدة القدرة ووحدة السرعة وإيجاد السريان، القدرة والزيادة المئوية في السرعة

عرف وحدة القدرة الحقيقة ووحدة السرعة عندما يتم تطبيقها الى توربينة هايدروليكية وطوِّر تعبيرات لهما بدلالات القدرة الحقيقية، سمت السرعة والامداد. أذكر بعناية الافتراضات التي يتم عملها.

توربينة تنتج قدرة مقدارها $3750\ kw$ تحت سمت امداد مقداره $12\ m$ وكفاءة اجمالية مقدارها 82% . إذا تمَّ استخدام مصدر إمداد جديد وزاد السمت إلى $18\ m$ ، افترض أن الكفاءة تظل عند 82% ، أوجد السريان المطلوب بالـ m^3/s ، القدرة التي يتم الحصول عليها والزيادة المئوية في السرعة.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\boldsymbol{47.65\ m^3/s\ ,6900\ kw\ ,22.5\%}\}$

3.16 مسألة (16): توضيح شروط التشابه الديناميكي للتوربين وإشتقاق صيغة مناسبة لوحدة السرعة، وحدة القدرة والسرعة النوعية وحساب القطر، السرعة النوعية وقدرة خرج المقياس الكامل

وضح الشروط الضرورية للتشابه الديناميكي للتشغيل للتوربينات الهايدروليكية واشرح كيف يتم اشتقاق صيغة وحدة السرعة، وحدة القدرة، والسرعة النوعية.

توربينة تنتج قدرة مقدارها $7500\ kw$ عند 0.85 من الفتحة الكاملة للبوابة تحت سمت مقداره $30\ m$. هنالك نموذج لهذه التوربينة قطره $300\ mm$ عندما يدور بسرعة $900\ rev/min$ تحت صافي سمت مقداره $10.8m$ يُعطِي النتائج التالية:

كسر فتحة البوابة $Fraction\ of\ gate\ opening$	0.4	0.6	0.8	1.0
قدرة الخرج	8.5	13.5	17.7	20

افترض نفس الكفاءة عند فتحات البوابة المناظرة للتوربينتين ، أحسب الآتي:

أ) القطر المطلوب والسرعة لتوربينة المقياس الكامل.

ب) قدرة خرج المقياس الكامل عند 0.5 من فتحة البوابة الكاملة.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{2.84\ m\ ,159\ rev/min\ \ ,4550\ kw}\}$

3.17 مسألة (19): رسم منحنى الكفاءة الإجمالية ضد وحدة السرعة وإيجاد سرعة التوربين عند الكفاءة القصوى والسرعة النوعية للتوربين

الأرقام التالية ترتبط باختبار على توربينة مائية تعمل تحت سمت تصميمي مقداره $8.4\ m$.

وحدة القدرة	8.9	9.3	9.57	9.57	9.4	9.1
وحدة السرعة	56	65	75	84	93	102
سريان الكتلة (kg/s)	3590	3540	3470	3390	3300	3200

أرسم منحنى الكفاءة الاجمالية ضد وحدة السرعة. أوجد سرعة التوربينة عند الكفاءة القصوى، ومنها تحصَّل على السرعة النوعية للماكينة.

اذا تمَّ تغيير السمت الى $9.9\ m$ أوجد القدرة المنتجة والكفاءة عند سرعة توربينة مقدارها $250\ rev/min$.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{270\ rev/min\ ,285\ ,298\ kw\ ,83.3\%}\}$

3.18 مسألة (18): إشتقاق السرعة النوعية لتوربين وإيجاد سرعة النموذج المتشابه هندسياً وقدرته

إشتَّق من المبادئ الأولية تعبيراً للسرعة النوعية لتوربينة.

$$N_s = N\sqrt{p}/H^{\frac{5}{4}}$$

توربينة يتم تصميمها لاعطاء قدرة مقدارها $3750\ kw$ تحت سمت مقداره $15\ m$ عند $240\ rev/min$.

عند أيَّ سرعة يجب لنموذج متشابه هندسياً بمقياس $1/10$ ، أن يدور تحت سمت $9\ m$ وما هي قدرته ؟

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{1858\ rev/min\ ,18.1\ kw}\}$

3.19 مسألة (19): تحديد سرعة مدخل الماء إلى العجلة عندما يغادر ريش التوجيه، زاوية الدخول إلى الريشة والقدرة المنتجة

توربينة سريان نصف قطري بقطر دوَّار مقداره $400\ mm$ وتدور بسرعة $600\ rev/min.$. ارتفاع الريش هو $30\ mm$ عند الحافة الخارجية. تكون الريش مائلة بزاوية 42° الى المماس الى الحافة. معدَّل السريان $0.5\ m^3/s$ ويغادر الدوَّار نصف قطرياً. حدِّد:

i. سرعة المدخل عندما تغادر ريش التوجيه.

ii. زاوية الدخول الى الريشة.

iii. القدرة المنتجة.

$\boldsymbol{Ans.}\ \{\mathbf{19.81\ m/s\ ,80.8^{\circ}\ ,92.5\ kw}\}$

3.20 مسألة (20): تحديد السرعة، السمت ومعدَّل السريان لنموذج

توربين فرانسيس لمحطة قدرة يتم تصميمه لتوليد قدرة مقدارها $30Mw$. السمت المتاح هو $190\ m$ والسرعة $180\ rev/min.$. يتم تصميم نموذج للوحدة القدرة المتاحة في المختبر هي $40\ kw$. يتم اعتماد نموذج بمقياس يعادل سدس المقياس الكامل. حدِّد السرعة، السمت، ومعدَّل السريان للنموذج. افترض كفاءة اجمالية مقدارها 98% .

3.21 مسألة (21): مناقشة وظائف أنابيب السحب وتحديد زاوية ريش التوجيه عند المدخل، زاوية العجلة عند المدخل، قدرة الخرج، السرعة النوعية للتوربينة والنسبة المئوية لصافي السمت الذي هو طاقة السرعة عند مدخل العجلة

أ/ أشرح باختصار وظائف أنابيب السحب .

ب/ توربينة فرانسيس ذات سريان الى الداخل رأسية العمود بالمواصفات التالية:

سرعة العجلة $400\ rev/min$.

معدل سريان الماء $18\ m^3/s$.

السرعة عند مدخل الغلاف الحلزوني $8.8\ m/s$.

سمت الضغط السكوني عند مدخل الغلاف الحلزوني $240\ m$.

يبعد خط المركز للغلاف مسافة $2.8\ m$ فوق منسوب المسرب السفلي .

قطر العجلة عند المدخل يساوي $2.8\ m$.

عرض العجلة عند المدخل يساوي $350\ mm$.

تحتل الريش 6% من المساحة النظرية للسريان .

الكفاءة الهايدروليكية تعادل 89%.

الكفاءة الاجمالية تعادل 83%.

يغادر الماء التوربينة دون تدويم .

أحسب الآتي :

i. زاوية ريش التوجيه عند المدخل .

ii. زاوية العجلة عند المدخل .

iii. قدرة الخرج .

iv. السرعة النوعية للتوربينة .

v. النسبة المئوية لصافي السمت الذي هو طاقة السرعة عند مدخل العجلة .

3.22 مسألة (22): حساب زوايا الريش المتحركة عند المدخل والمخرج، زاوية ريشة التوجيه، وسمت الضغط المفقود في الغلاف الحلزوني وريش التوجيه والعجلة وأنبوب السحب، القدرة المتولدة وقطر أنبوب السحب عند المدخل والمخرج

توربينة رد فعلية ذات سريان الى الداخل رأسية العمود . فرق السمت الفعال بين المدخل والمخرج هو $80\ m$. سرعة الدوران هي $480\ rev/min$ ، والسرعة النوعية هي 180 مؤسسة على القدرة المتولدة . القطر الخارجي للعجلة هو $1.4\ m$ والقطر الداخلي $700\ mm$. عرض السريان عند المدخل $300\ mm$ وسرعة السريان ثابتة عند $4.8\ m/s$. يغادر الماء العجلة دون تدويم ويدخل أنبوب السحب بسرعة مطلقة مقدارها $8\ m/s$ ويغادر الأنبوب بسرعة مقدارها $3\ m/s$. مقدار سمت الضغط عند مدخل الريش المتحركة هو $50\ m$ فوق أو أعلى الضغط الجوي وعند المخرج هو $3.8\ m$ أسفل الضغط الجوي . الكفاءة الهايدروليكية هي 90% ، متوسط ارتفاع العجلة والمدخل الى أنبوب السحب يبعدان مسافة $2.5\ m$ و $1.8\ m$ فوق منسوب المسرِّب السفلي . أحسب الآتي:

i. زوايا الريش المتحركة عند المدخل والمخرج .

ii. زاوية ريشة التوجيه .

iii. سمت الضغط المفقود في :

أ) الغلاف الحلزوني وريش التوجيه .

ب) العجلة أو الدوارَّ .

ج) أنبوب السحب .

iv. القدرة المتولدة .

v. قطر أنبوب السحب عند المدخل والمخرج .

3.23 مسألة (23): أشرح أهمية السرعة النوعية في اختيار المضخات والتوربينات وتحديد مقياس وسرعة النموذج للحصلول على نتائج صحيحة، وحساب القدرة والكفاءة للتوربين بالحجم الكامل

أ/ أشرح أهمية استخدام السرعة النوعية في اختيار المضخات والتوربينات.

ب/ توربينة تشتغل بسرعة $150\ rev/min$ تحت فرق سمت مقداره 22 m ومعدل سريان مقداره $85\ m^3/s$. تم تصنيع نموذج واختباره بمعدل سريان مقداره $0.1\ m^3/s$ وفرق مست مقداره 5 m . حدِّد مقياس وسرعة النموذج لكي يتم الحصول على نتائج صحيحة.

عندما يتم اختباره بالسرعة التي يتم حسابها، وجد أنَّ القدرة تساوي 4.5 kw ، أحسب القدرة والكفاءة للتوربين بالمقاس (الحجم) الكامل.

$\boldsymbol{Ans.}\{\mathbf{0.05\ scale, 16.17\ Mw, 88\%}\}$

الكتب والمراجع

الكتب والمراجع العربية :

1. أسامة محمد المرضي سليمان خيال، "مذكرة محاضرات آلات هايدروليكية (1)"، جامعة وادي النيل، كلية الهندسة والتقنية، قسم الهندسة الميكانيكية، (1995م).

2. فتح الرحمن أحمد الماحي، "مذكرة محاضرات آلات هايدروليكية (1)"، جامعة وادي النيل، كلية الهندسة والتقنية، قسم الهندسة الميكانيكية، (1997م).

3. أسامة محمد المرضي سليمان خيال، "مذكرة محاضرات ميكانيكا الموائع (B3)"، جامعة وادي النيل، كلية الهندسة والتقنية، قسم الهندسة الميكانيكية، (1995م).

4. محمد هاشم صديق، "ميكانيكا الموائع"، الإصدارة الكتابية، (2016م).

5. المهندس محمد خليل مدور، "دليل المهندس في مشاريع مياه الشرب"، (2014م).

6. محمد عصام محمد عبد الماجد، "ميكانيكا الموائع"، (2015م).

7. عبد الرحمن العذبة، "ميكانيكا الموائع التطبيقية"، (2010م).

8. عصام محمد عبد الماجد، صابر محمد صالح إبراهيم، "الموائع"، الدار السودانية للكتب، الخرطوم، السودان، (2001م).

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

10. محمد بشير المنجد، "الهايدروليك (1)"، جامعة دمشق، (1980م).

11. أسامة محمد المرضي سليمان خيال، "مذكرة محاضرات آلات هايدروليكية (2)"، جامعة وادي النيل، كلية الهندسة والتقنية، قسم الهندسة الميكانيكية، (1997م).

12. فتح الرحمن أحمد الماحي، "مذكرة محاضرات ألات هايدروليكية (2)، جامعة وادي النيل، كلية الهندسة والتقنية، قسم الهندسة الميكانيكية، (1997م).

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 “5th 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, 2nd 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. Osama Mohammed Elmardi Suleiman, "Fluid Mechanics Examples and Answers”, (2016).
10. Jack B. Evett, and 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. 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).
14. John F. Douglas and et. al, "Fluid Mechanics" Fifth Edition, Ashford Color Press Ltd, Gosport, (2005).
15. Andrew Sleigh, "An Introduction to Fluid Mechanics", May 2001.

16. M. Bahrami, "Introduction and Properties of Fluids", Simon Fraser University, (2009).
17. Fred Stern, "Fluid Mechanics", (2013).
18. John F. Douglas, R. D. Mathews, "Solving Problems in Fluid Mechanics – Volume (2)", Prentice Hall Publisher, (1996).
19. T. Al-Shemmeri, "Engineering Fluid Mechanics", Al-Shemmeri and Ventus Publishing, (2012).
20. Zhang Z., "Pelton Turbines", ISBN: 978 – 3 – 319 – 31908 – 7, http://www.springer.com/978-3-319-31908-7, (2016).
21. Sayers A.T., "Hydraulic and Compressible Flow Turbo machines", (1990).
22. Jeremy Thake, "The Micro – Hydro Pelton Turbine Manual: Design, Manufacture and Installation for Small – Scale Hydro – Power", Amazon Publishers and Distributors, (2001).
23. Loice K. Gudukeya, and Shepherd Misi, "Strategies of Improving Turbine Efficiency in Micro – Hydro Power Plants: Pelton Wheel and Cross – Flow Turbine", Amazon Publishers and Distributors, (2001).
24. Felix Meinikheim, Harry Langhome, and John McGeorge, "Alternative Sources of Energy", Amazon Publishers and Distributors, (1977).
25. Paul Hodges, "Test of Thirty Samson Turbine", Amazon Publishers and Distributers, (2015).
26. Bachelor, G. K., "An introduction to fluid dynamics", Cambridge University Press, 1967.
27. S. Gahin, Moustafa M. Elsayed, Mohammed A. Ghazi, "Introduction to engineering mechanics", King Abdul-Aziz University, Jeddah, Saudi Arabia, 1985.
28. Garman P., "Water current turbines", a fluid worker's guide, II Publications, London, 1986.
29. Robert W. Shortidge, "Viktor Kaplan and the Adjustable – Blade Propeller Turbine", Hydro Review, December 1989.
30. Michele Manno, "Hydraulic Turbines and Hydroelectric Power Plants",

Energy Systems Course, Lecture Notes, Department of Industrial Engineering, University of Rome, May 2013.

31. Arne Kjolle, "Mechanical Equipment", Norwegian University of Science and Technology, Torndheim, December 2001.
32. Grant Ingram, "Basic Concepts in Turbo Machinery", ISBN 978-87-7681-435-9, 2009.
33. Hermod Brekke, "Design, performance and maintenance of Francis turbines", Global Journal of Researches in Engineering, Mechanical and Mechanics Engineering, USA, Volume 13, issue 5, version 1.0, (2013).
34. Dixon, "Theory of turbo – machinery", Hydraulic Turbines, chapter 9.
35. Zhenmu Chen, Patrick M. Singh and Young – Do Choi, "Francis turbine blade design on the basis of port area loss and loss analysis", Energies, 9, 164, doi: 10.3390/ en 9030164, (2016), pp. (1 – 12).
36. Peter Joachim Gogstad, "Hydraulic design of Francis turbine exposed to sediment erosion", Master of energy and environmental engineering thesis, Norwegian University of Science and Technology, January (2012).
37. Joule Center Annual Conference, "Small hydro – power schemes in the north west of England: Overcoming the Barriers", Rheged Center, 3rd April (2008).
38. Miriam Flores, Gustavo Urquiza, Jose Maria Rodriguez, "A fatigue analysis of a hydraulic Francis turbine runner", World Journal of Mechanics, 2, (2012), pp. (28 – 34).

نبـذة عـن المـؤلـف:

أسـامة محمـد المرضـي سـليمان وُلِـدَ بمدينـة عطبـرة بالسـودان فـي العـام 1966م. حـاز علـى دبلـوم هندسـة ميكانيكيـة مـن كليـة الهندسـة الميكانيكيـة – عطبـرة فـي العـام 1990م. تحصَّـل أيضـاً علـى درجـة البكـالوريوس فـي الهندسـة الميكانيكيـة مـن جامعـة السـودان للعلـوم والتكنولوجيـا – الخرطـوم فـي العـام 1998م ، كمـا حـاز علـى درجـة الماجسـتير فـي تخصـص ميكانيكـا المـواد مـن جامعـة وادي النيـل – عطبـرة فـي العـام 2003م . قـام بالتـدريس فـي العديـد مـن الجامعـات داخـل السـودان، بالإضـافة لتأليفـه لسـبع كتـب باللغـة العربيـة ولأربـع كتـب باللغـة الإنجليزيـة بالإضـافة لثمانيـة ورقـات علميـة منشـورة فـي دور نشـر ومجـلات عالميـة إلـى جانـب إشـرافه علـى أكثـر مـن مـائتي بحـث تخـرج لكـل مـن طـلاب الماجسـتير، الـدبلوم العـالي، البكـالوريوس، والـدبلوم العـام. يشـغِل الآن وظيفـة أسـتاذ مسـاعد بقسـم الميكانيكـا بكليـة الهندسـة والتقنيـة – جامعـة وادي النيـل. بالإضـافة لعملـه كاستشـاري لـبعض الـورش الهندسـية بالمنطقـة الصـناعية عطبـرة. هـذا بجانـب عملـه كمـدير فنـي لمجموعـة ورش الكمـالي الهندسـية لخراطـة أعمـدة المرافـق واسـطوانات السـيارات والخراطـة العامـة وكـبس خـراطيش الهيدروليك.