« الفصل الخامس »

الآلات الهيدروليكية

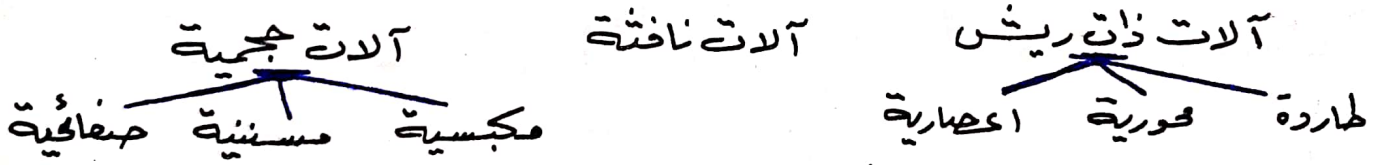
5-1- المبدأ الأساسي لعمل المحطات الكهرمائية ومحطات الضخ :

تستخدم في المحطات الكهرمائية العنفات المائية لتدوير المولدات الكهربائية حيث تقوم العنفة "Turbine" بتحويل الطاقة الهيدروليكية للماء إلى طاقة ميكانيكية تدير محور العنفة المتصل بقلب المولدة الكهربائية "Rotor" الذي بدوره يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية تنتقل إلى المستهلك بواسطة شبكات نقل القدرة .

أما المضخات "Pumps" المستخدمة في محطات الضخ تحول الطاقة الميكانيكية المعطاة للمضخة إلى طاقة هيدروليكية ممنوحة للسائل تساعده على الانتقال للأعلى بواسطة الأنابيب . يجب الملاحظة هنا أن قدرة السائل بعد المضخة تزيد عن قدرته قبل المضخة بينما في حالة العنفة العكس صحيح تماماً .

5-2- تصنيف آلات الضخ :

يمكن تصنيف آلات الضخ وفق معايير مختلفة ومتعددة ، منها حسب مبدأ عملها بغض النظر عن مواصفات السائل الذي يجري عبرها إلى :



5-3- المميزات الفنية لآلات الضخ :

تتمتع كل آلة ضخ بمعطيات فنية أساسية محددة أهمها :

أ- الغزارة أو التدفق $[m^3/h]$.

ب- الضغط $[N/m^2]$ أو الضاغط $[m]$.

ج- عدد الدورات n $[r.p.m]$ حيث عنده تتمتع الآلة بغزارة وضغط معينين .

د- المردود η الذي يناسب مجال الاستثمار الاقتصادي للآلة .

ه- الاستطاعة N $[Kw]$ اللازمة للآلة كي تولد ضغط وغزارة محددين .

5-4- الشروط الأساسية المفروضة على آلة الضخ عند اختيارها :

أ- التوافق بين معطياتها وبين شروط العمل أو الاستخدام .

ب- إمكانية تنظيم الغزارة والضغط في حدود معينة .

Scanned with CamScanner

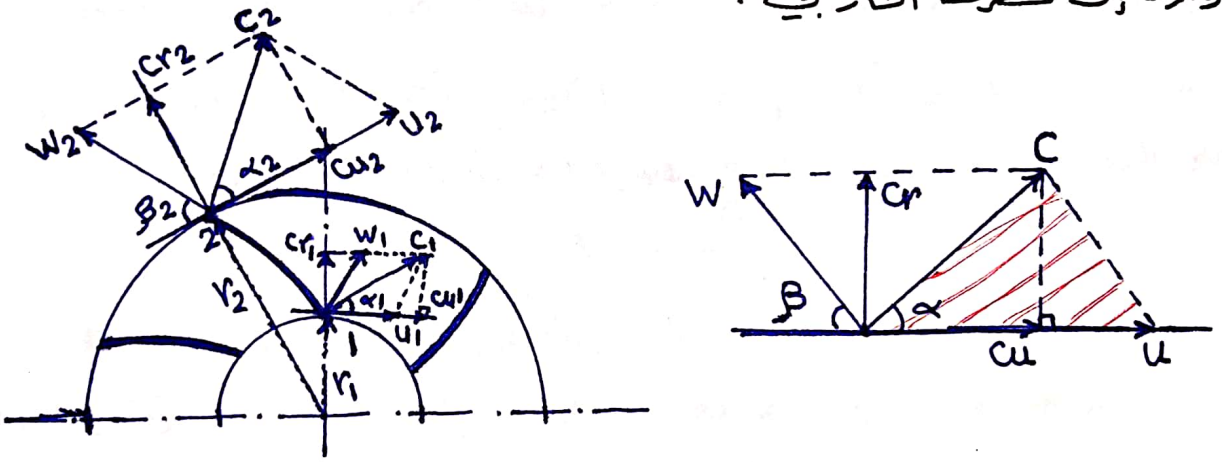
٣ - سهولة التركيب، الثبات في العمل، سهولة الصيانة .

٤ - عدم الضجيج خلال العمل .

٥ - امكانية الاقتران والتركيب على محور واحد مع المحرك .

5-5 - آلة الضخ الطاردة "Centrifugal-Pump":

العناصر الأساسية في تصميم آلة الضخ الطاردة هي الدوارة مع الريش "Rotor" المثبتة على عمود الدوران . والناشرة الحلزونية "Casing" الحاضنة للدوارة . يتم سحب السائل عبر فتحة الدخول المصنعة في الناشرة الحلزونية بشكل موازي لمحور دوران الدوارة، ثم يطرد من عليها بعد انحراف زاوية 90° إلى الناشرة الحلزونية حيث يجري نحو فتحة الخروج . يتحرك السائل الوارد على الدوارة في الأقنية ما بين الريش بفعل القوى النابذة التي يولدها دورانها، مبتدئة الحركة من القطر الداخلي للدوارة إلى قطرها الخارجي .



الشكل (1) مثلثات السرعة عند الدخول والخروج

يكتسب السائل خلال وجوده على ريشة الدوارة سرعة محيطية U منطبقة مع المماس على الدائرة المارة في النقطة المدروسة، وسرعة نسبية W ناتجة عن توسع قطع القناة ما بين ريشتين متتاليتين يبقى سعاها منطبقاً مع المماس على الريشة . كما في الشكل (1) . بالتالي السرعة المطلقة C (المحصلة) تتحدد بقطر متوازي الأضلاع المنشأ على سعاي السرعتين المحيطية والنسبية .

ملاحظة: من مثلثات السرعة يمكن تحديد العلاقة بين U، W، C بحسب العلاقات المثلثية الشهيرة:

$$W^2 = C^2 + U^2 - 2CU\cos\alpha$$

$$\frac{W}{\sin\alpha} = \frac{C}{\sin\beta} = \frac{U}{\sin(\alpha+\beta)}$$

Scanned with CamScanner

5-6- الضغط النظري والفعلي الذي تولده آلة الضخ الطاردة :

يمكن تحديد القدرة المثالية التي يتلقاها السائل من قبل الدوارة ، أي الضغط الذي تولده آلة الضخ الطاردة بالعلاقة :

$$P_T = \rho (u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1}) \quad [\frac{N}{m^2}]$$

حيث : ρ - كثافة السائل $[Kg/m^3]$.

u - السرعة المحيطية $[m/s]$.

c_u - المركبة المماسية للسرعة المطلقة c $[m/s]$.

هذه العلاقة تدعى بمعادلة أويلر العنفية . وهي تعبر عن قيمة الضغط النظري الذي تولده الدوارة في آلة الضخ الطاردة ، لأن هذه العلاقة تم استخراجها دون الأخذ بعين الاعتبار الضياعات المختلفة .

تختلف قيمة الضغط الفعلي الذي تولده آلة الضخ الطاردة عن القيمة النظرية بسبب وجود المقاومات أو الضياعات الهيدروليكية المختلفة في الناشرة الحلزونية وعلى الدوارة ، يُعبر عن مجمل هذه الضياعات بالمردود الهيدروليكي η_H :

$$\eta_H = \frac{P}{P_T} = \frac{\text{الضغط الفعلي}}{\text{الضغط النظري}}$$

بالتالي : $P = \rho (u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1}) . \eta_H$ الضغط الفعلي

يمكن بسهولة ايجاد قيمة الضاغط النظري والضاغط الفعلي من العلاقتين السابقتين :

النظري $H_T = \frac{P_T}{\gamma} = \frac{1}{g}(u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1})$ $[m]$

الفعلي $H = \frac{P}{\gamma} = \frac{1}{g}(u_2 c_{u2} - u_1 c_{u1}) . \eta_H$ $[m]$

ملاحظات :

- عند دخول السائل القطري للدوارة ، تنعدم المركبة المماسية عند الدخول $c_{u1} = 0$ لأن السرعة c_1 تصبح عمودية على المحيط u_1 أي $\alpha_1 = 90^\circ$.
- في غالب الأحيان يمكن حساب c_{u2} من مثلثات السرعة عند الخروج (وأيضاً c_{u1} من مثلثات السرعة عند الدخول) إلى الدوارة بينما u يحسب من العلاقة :

$$u = \frac{\pi . D . n}{60} \quad [m/s]$$

حيث : D - قطر الدائرة المار بمكان وجود الجزيء $[m]$.

n - عدد الدورات أو سرعة الدوران $[r.p.m]$.

Scanned with CamScanner

5-7- قوانين التناسب الخاصة :

تعبر هذه القوانين عن علاقة الفازة و الضغط و الاستطاعة بعدد لدورات n في آلة الضخ الطاردة . ويمكن استخراجها بالاعتماد على علاقة التدفق (الحجمي ، وعلاقة الضغط الفعلي ، وعلاقة الاستطاعة الفعلية التي تستهلكها آلة الضخ . بمساعدة معادلة الاستمرار يمكن تحديد قيمة التدفق الحجمي لآلة الضخ الطاردة :

$$Q = V \cdot A$$

$V \equiv Cr_2$ السرعة الناظمية على المقطع وتمثل هنا المركبة القطرية للسرعة المطلقة c .

A مساحة مقطع الدخول أو الخروج وعليه:

$$Q = Cr_2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot b_2 = Cr_1 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot b_1$$

حيث: b_1 ، b_2 هما عرض الدوارة عند الدخول و الخروج على الترتيب .

تصاغ قوانين التناسب الخاصة بالشكل:

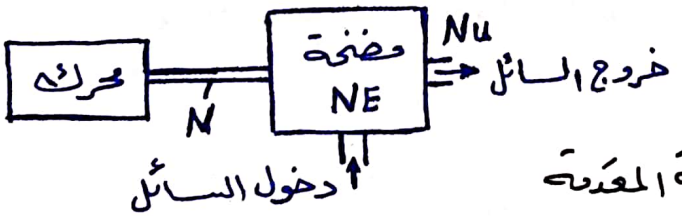
$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad ; \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad ; \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad ; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

من هذه القوانين يمكن ايجاد علاقات تناسب مباشرة بين الضغط و الفازة :

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

أو بين الفازة و الاستطاعة : $\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3$ وهكذا ...

5-8 - استطاعة ومردود المضخة :



الطاقة (الاستطاعة) المزودة من المحرك إلى عمود دوران المضخة أكبر من الطاقة (الاستطاعة) المفيدة المعدة أو الممنوحة من المضخة للسائل ، بسبب وجود الضياعات المختلفة (الهيدروليكية والميكانيكية) أثناء عملية تحويل الطاقة .

• إن الضياعات الهيدروليكية (الاحتكاك، تشكل الاعاصير) يُعبر عنها من خلال المردود الهيدروليكي :

$$\eta_H = \frac{H}{H + \Delta H} = \frac{H_T - \Delta H}{H_T} = 1 - \frac{\Delta H}{H_T}$$

حيث ΔH - فاقد الضغط الهيدروليكي

تتراوح قيمة η_H في المضخات الطاردة الحديثة بين 80% - 96% .

Scanned with CamScanner

أما الضياعات الحجمية والناتجة عن تسربات السائل عبر الخلوص بين الدوارة وجسم الآلة ومن منطقة الضغط المرتفع عند القطر الخارجي D_2 إلى منطقة السحب عند القطر الداخلي D_1 يُعبر عنها بالمردود الحجمي η_0 :

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q+\Delta Q}$$

حيث ΔQ - مقدار التسربات في السائل

تتراوح قيمة المردود الحجمي في المضخات الحديثة ضمن حدود 96% - 98% .

• إن الاستطاعة المفيدة للمضخة الطاردة « المنوحة للسائل » تتحدد بالعلاقة :

$$Nu = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

في حين أن الاستطاعة الداخلية أي تلك الاستطاعة الممنوحة لريش الدوارة (أو للدولاب العامل) هي :

$$NE = \rho \cdot g (Q+\Delta Q)(H+\Delta H)$$

وبالتالي فإن المردود الداخلي للمضخة :

$$\eta_E = \frac{Nu}{NE} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\rho g (Q+\Delta Q)(H+\Delta H)} = \eta_H \cdot \eta_0$$

$$NE = \frac{Nu}{\eta_H \eta_0} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_H \cdot \eta_0} \quad \ldots\ldots (1) \quad \text{بالتالي :}$$

لكن الاستطاعة المقدمة من المحرك إلى عمود المضخة أكبر من الاستطاعة الداخلية بسبب الضياعات الميكانيكية الناتجة عن الاحتكاك في الحامل (المضاجع) والموانع، والضياعات الهيدروليكية الناتجة عن احتكاك السطح الخارجي للدوارة مع السائل والتي يُعبر عنها (مجمل الضياعات) المردود الميكانيكي :

$$\eta_M = \frac{NE}{N} = \frac{\text{الداخلية}}{\text{المقدمة للمضخة}} \quad \ldots\ldots (2)$$

والذي تتراوح قيمته حوالي 92% - 95% .

بتعويض العلاقة (1) في العلاقة (2) نحصل على قيمة الاستطاعة عند عمود المضخة أو استطاعة المضخة :

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_H \eta_0 \eta_M} = \frac{\rho g Q H}{\eta} \; [w]$$

حيث : $\rho \; [Kg/m^3]$ ؛ $g \; [m/s^2]$ ؛ $Q [m^3/s]$ ، $H \; [m]$

وأن : $\eta = \eta_H \eta_0 \eta_M$ يمثل المردود الكامل للمضخة والتي تتراوح قيمته في المضخات الحديثة بحدود 75% - 92% .

Scanned with CamScanner

عادة يتم حساب استطاعة المضخة بالشكل:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000\,\eta} \quad [KW]$$ عندما يقدر $\gamma \left[\frac{N}{m^3}\right]$.

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta} \quad [KW]$$ عندما يقدر $\gamma \left[\frac{KP}{m^3}\right]$.

حسب استطاعة المحرك الكهربائي اللازم لإدارة أو تشغيل المضخة عند وصله مباشرة مع المضخة بالعلاقة:

$$Nm = K \cdot N = K \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad [KW]$$

وفي حالة الوصل غير المباشر (بواسطة سيور أو أشطة) بالعلاقة:

$$Nm = K \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_n}$$

حيث: K- عامل أمان يأخذ بالحسبان الحمولات الطارئة.

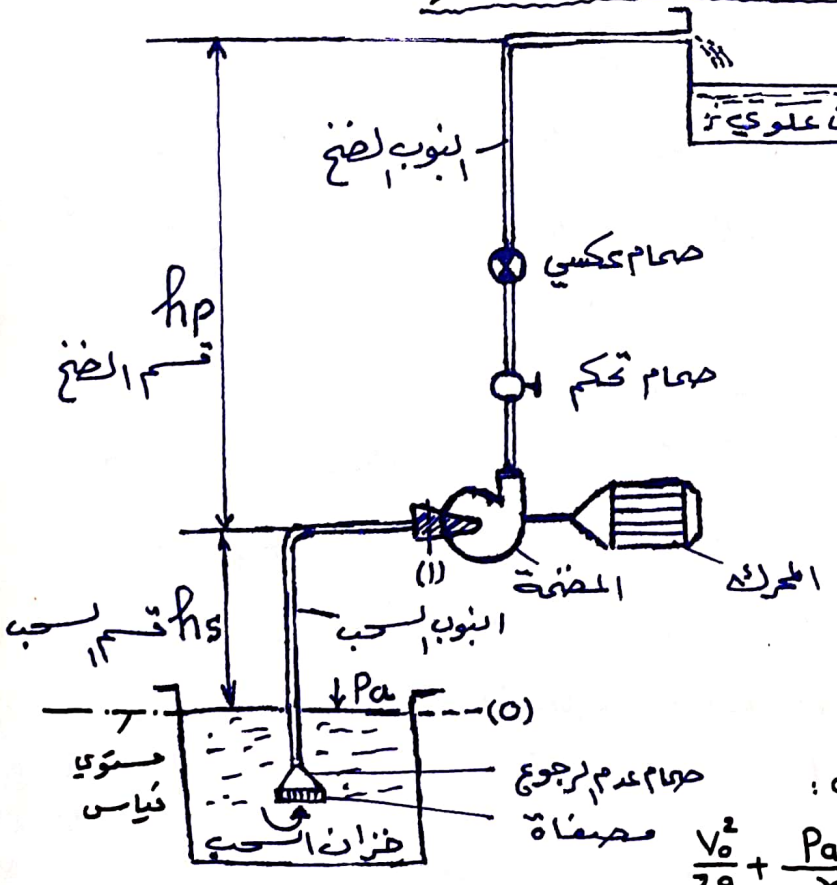
η_n- مردود جملة نقل الحركة.

5-19- ارتفاع السحب، ظاهرة التكهف "Cavitation":

عملية السحب بواسطة آلة الضخ الطاردة تتم تحت تأثير فرق الضغط بين Pa عند سطح السائل و P_1 الضغط عند مدخل المضخة، بالنظر إلى الشكل (2) وبتطبيق معادلة برنولي بين المقطعين (0)، (1)، وباعتبار المستوي (0) مستوٍ للقياس، نحصل على حقيقة انخفاض الضغط أو ضغط التخلخل الذي يؤمن عملية السحب:

$$\frac{V_0^2}{2g} + \frac{Pa}{\gamma} = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + hs + \sum hs$$

حيث: $\sum hs$ تمثل مجموع الضياعات الطولية والمكانية في أنبوب السحب.



الشكل (2) المخطط التمثيلي لعمل المضخة ضمن الشبكة

Scanned with CamScanner

باعتبار أن $V_1 = 0$ (مقطع خزان السحب كبير) نحصل:

$$\frac{P_a - P_1}{\gamma} = \frac{V_1^2}{2g} + h_s + \sum h_s \quad \ldots\ldots (1)$$ (ضغط التخلخل أو قيمة انخفاض الضغط).

إن انخفاض قيمة الضغط في المضخة لتصبح أقل من قيمة ضغط التبخر أو ضغط الاشباع P_v الموافق لدرجة حرارة السائل المضخوخ، يحدث غليان السائل وتظهر ظاهرة التكهف.

في البداية تتحرك فقاعات البخار المتشكلة مع تيار السائل، ثم لا تلبث أن تنفصل مقتربة من الجسم الصلب (الريش)، وتأخذ بالتكاثف، مما يؤدي إلى أن جزيئات السائل المحيطة تتحرك بسرعة هائلة لتملأ الفراغ المتشكل من خلال عملية التكاثف، فتحصل الصدمات الهيدروليكية. هذه الصدمات تؤدي إلى ظهور ضجيج واهتزازات غير مسموح بها في آلة الضخ، انخفاض في مردود الآلة، وأحياناً تحطيم أو كسر في أجزاء آلة الضخ. لذلك يجب تجنب هذه الظاهرة عن طريق الاختيار الصحيح لارتفاع السحب. من العلاقة (1) نكتب:

$$h_s = \frac{P_a - P_1}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} - \sum h_s \quad \ldots\ldots (2)$$

الحد الأول $\frac{P_a - P_1}{\gamma}$ يمثل الارتفاع التكهفي للسحب، والذي يعطى عادة ضمن النشرات الفنية لآلة الضخ وعند درجة $20^\circ C$ مئوية للسائل المضخوخ، ويرمز له بـ h_c ويدعى الارتفاع التكهفي للسحب المسموح به، بالتالي:

$$h_s = h_c - \frac{V_1^2}{2g} - \sum h_s \quad \ldots\ldots (3)$$

نلاحظ من العلاقة (3) أن قيمة h_s تتعلق بدرجة حرارة السائل المضخوخ، لأن h_c يتعلق مباشرة بها، إذ أن زيادة $T \uparrow \Rightarrow$ نقصان $h_c \downarrow \Rightarrow$ نقصان $h_s \downarrow$. ومنه في حالة ضخ السائل عند درجة حرارة مغايرة للقيمة الموافقة لـ h_c، يتم حساب h_s آخذين بعين الاعتبار تغير درجة الحرارة من العلاقة:

$$h_s = h_c - \frac{V_1^2}{2g} - \sum h_s - \frac{P_v}{\gamma} \quad \ldots (4)$$

حيث P_v – ضغط التبخر أو الإشباع عند درجة الحرارة المعتبرة.

إضافة يتأثر ارتفاع السحب للمضخة بالمكان الذي سوف تركب فيه أي بتغيرات الضغط الجوي لذلك:

$$h_H \equiv h_s = h_c - \frac{V_1^2}{2g} - \sum h_s - \frac{P_v}{\gamma} - \frac{\Delta P_a}{\gamma} \quad \ldots (5)$$

حيث ΔP_a – الفرق بين الضغط الجوي عند سطح البحر والضغط الجوي في مكان تثبيت المضخة.

Scanned with CamScanner

العلاقة الأخيرة (5) تعطي قيمة ارتفاع تثبيت المضخة h_H أو ارتفاع السحب للمضخة المسموح به h_s دون حدوث ظاهرة التكهف وبالأخذ بعين الاعتبار تغيرات قيمة الضغط الجوي، ودرجة حرارة السائل المضخوخ.

5-10- الضاغط الكلي لآلة الضخ: يحدد الضاغط الكامل لآلة الضخ الطاردة بالعلاقة: $H = h_s + h_p + \sum h_s + \sum h_p$

حيث: h_s ارتفاع السحب [m]

h_p ارتفاع الضخ [m]

$\sum h_s$ مجموع الضياعات في أنبوب السحب والتي يتم حسابها كما تعلم سابقاً:

$$\sum h_s = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} + k \frac{V^2}{2g} = (\lambda \frac{L}{d} + k) \frac{V^2}{2g} = \sum \xi \frac{V^2}{2g}$$

في حالة مقطع أنبوب السحب ثابت أي أن السرعة لا تتغير وبالانتباه إلى أن

$\sum \xi$ هو معامل الفقد الإجمالي.

$\sum h_p$ مجموع الضياعات في أنبوب الضخ.

H الضاغط الكلي للمضخة.

5-11- العنفات المائية: تعرف العنفة "Turbine" بأنها محرك يقوم بتحويل الطاقة الهيدروليكية للسائل إلى طاقة ميكانيكية متمثلة بدوران دولاب العنفة. على هذا الأساس تقسم العنفات عادة حسب الوسيط العامل (المستخدم فيها) إلى:

- العنفات المائية: التي تستخدم الماء وسيطاً عاملاً - عنفات سد الفرات
- العنفات الغازية: تستخدم الغاز المضغوط عالية وسيط عامل - عنفة محطة جندر - عنفة محطة الناصرية
- العنفات البخارية: تستخدم البخار المضغوط عالية وسيط عامل - عنفات محطة تشرين الحرارية.

• تصنف العنفات المائية بناء على نوع القدرة التي يكتسبها دولاب العنفة من الجريان المائي إلى صنفين:

أ- العنفات المائية ذات رد الفعل.

ب- العنفات المائية ذات الفعل.

بدورها يمكن ترتيب هذين الصنفين إلى أنواع اعتماداً على جريان التيار

Scanned with CamScanner

المائي في الدولاب الدائر (العامل)، وعلى طريقة التحكم بغزارة العنفة:

العنفات المائية ذات رد الفعل

- محورية (عنفة كابلان)
- قطرية (عنفة فرنسيس)
- مروحية (عنفة دارياس)

العنفات المائية ذات الفعل

- المفرغية
- ذات خط الأثر المائل
- الثنائية

• استناداً إلى معادلة برنولي يمكن تحديد الطاقة (القدرة) النوعية H_1 عند مدخل الدولاب الدائر للعنفة:

$$H_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1$$

وعند مخرج الدولاب الدائر للعنفة:

$$H_2 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2$$

أي أن الطاقة التي يمنحها الماء للدولاب الدائر تساوي إلى الفرق في الطاقة بين مدخل ومخرج العنفة:

$$H = H_1 - H_2 = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{P_1 - P_2}{\gamma g} + Z_1 - Z_2$$

الحد: $\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$ يمثل الطاقة (القدرة) الحركية.

الحدين: $\frac{P_1 - P_2}{\gamma g} + Z_1 - Z_2$ يمثلان الطاقة الكامنة.

• إن العنفات التي تستفيد من الطاقة الكامنة للماء ولو جزئياً تسمى عنفات مائية ذات رد الفعل $\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 > 0$.

• أما العنفات التي تستخدم الطاقة الحركية للجريان فقط تدعى بالعنفات المائية ذات الفعل $Z_1 = Z_2$ ، $P_1 = P_2$. أي أن الدولاب الدائر يستقبل الماء تحت ضغط جوي بدون أي ضغط إضافي. وبهدف زيادة مردود هذا النوع من العنفات يتم تحويل الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية يستفيد منها الدولاب الدائر.

(يجدر الانتباه أن عند العنفات ذات رد الفعل تخضع العنفة إلى فرق في الضغط بين المدخل والمخرج للسائل. بينما في العنفات ذات الفعل فرق الضغط معدوم).

Scanned with CamScanner

- استطاعة العنفة المائية: إذا كان الارتفاع H يدل على مدى نقصان الطاقة (القدرة) النوعية للماء خلال مروره في العنفة، وأن التدفق الحجمي الكامل خلال العنفة Q فإن الطاقة النظرية التي يفقدها الماء خلال مروره بالعنفة أي الاستطاعة النظرية المقدمة للعنفة هي:

$$N_T = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000} \ [Kw] \quad \text{(الاستطاعة النظرية)}$$

والسؤال المطروح هنا: ما هو الجزء من هذه الاستطاعة الذي يتحول إلى استطاعة مفيدة N على محور العنفة؟

الإجابة على هذا السؤال تتعلق بدقة تصميم وتصنيع العنفة ومدى توافقها للعمل المناط بها. لكن بشكل عام لابد من وجود ضياعات أو مقاومات مختلفة يعبر عنها بمردود العنفة:

$$\eta = \frac{N}{N_T} = \frac{\text{المفيدة}}{\text{النظرية}}$$

وبالتالي: $N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000} \cdot \eta \ [Kw]$ (الاستطاعة المفيدة).

بما أن العنفات المائية تعمل على ماء كثافته $\rho = 10^3 \ [Kg/m^3]$ فإن استطاعة العنفة تصبح: $N = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \ [Kw]$ (المفيدة أو الفعلية).

Scanned with CamScanner