الفصل الثامن

معدات الضخ

8 - 1 متطلبات الطاقة وكفاءة وحدات الضخ

8 - 2 ارتفاعات الضخ

8 - 3 خصائص المضخة

8 - 4 أنواع المضخات

8 - 4 - 1 المضخات الطاردة

8 - 4 - 2 المضخات التوربينية للآبار العميقة

8 - 4 - 3 المضخات التوربينية الغاطسة

8 - 4 - 4 المضخات المروحية ذات الدفع المختلط

8 - 5 ضائعات الاحتكاك في أنظمة المضخات

8 - 6 إختيار وحدة الطاقة

الفصل الثامن

معدات الضخ

نادراً ما تظهر المياه الجوفية على سطح الأرض بالشكل الذي يسمح باستثمارها في الأغراض المختلفة . حيث تتدفق المياه في مناطق محدودة من العالم على شكل ينابيع أو نافورات ذات إنتاجية عالية من المياه . لذلك في معظم الحالات يتطلب إستثمار المياه الأرضية حفر الأبار العميقة وضخ المياه منها إلى سطح الأرض لغرض الاستثمار . حيث يتم رفع المياه من مصادرها بواسطة المضخات التي تحتاج بدورها إلى محركات لتديرها وهذه المحركات بحاجة إلى طاقة . وفي الفقرات التالية من هذا الفصل سنعرض أنواع المضخات المناسبة .

8 - 1 : متطلبات الطاقة وكفاءة وَحدات الضخ :

يعرف الشغل work على أنه حاصل ضرب القوة في الإزاحة ، وتعرف القدرة الميكانيكية على أنها المعدل الزمني للشغل . إن وحدات القدرة الشائعة الاستعمال هي قدر پا/ ثانية والقدرة الحصانية . لأجل رمح 2 قدم مكعب من المياه (125 پا) مسافة عمودية مقدارها قدم واحد بالثانية يستلزم طاقة أو قدرة مقدارها 125 قد - پا/ثا على شرط أن تكون كفاءة آلة الرفع (المضخة) 100% . أما إذا كانت كفاءة وحدة الضخ 50% فإن ذلك يتطلب قدره 125 قدر پا/ثا للتعويض عن الاحتكاك والحرارة المتولدة - إن وحدة القدرة الشائعة الاستعمال هي الحصان horse power والتي تساوي 550 قد - پا/ثا أو 33000 قدر پا/دقيقة . إن حصان واحد يرفع قدم مكعب واحد من الماء

بالثانية مساحة عمودية مقدارها 8.8 قدم إذا كانت الكفاءة 100% كما مبين أدناه :

$$\text{Horse Power} = \frac{1 \times 62.5 \times 8.8}{550} = 1$$

ونظراً لاستحالة الحصول على كفاءة 100% فإن القدرة المحسوبة لرفع قدم مكعب واحد بالثانية لأي ارتفاع كما مبين أعلاه يشار إليها بالقدرة النظرية The ortical horse power .

Gallons per Minute	Cubic Feet per Second	Horsepower Required for Elevations of							
		10 ft	20 ft	30 ft	40 ft	50 ft	60 ft	70 ft	80 ft
100	0.22	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
150	0.33	0.8	1.5	2.3	3.0	3.8	4.6	5.3	6.1
200	0.45	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.1	7.1	8.1
250	0.56	1.3	2.5	3.8	5.0	6.3	7.6	8.8	10.1
300	0.67	1.5	3.0	4.6	6.1	7.6	9.1	10.6	12.1
350	0.78	1.8	3.5	5.3	7.1	8.8	10.6	12.4	14.1
400	0.89	2.0	4.0	6.1	8.1	10.1	12.1	14.1	16.2
450	1.00	2.3	4.6	6.8	9.1	11.4	13.6	15.9	18.2
500	1.11	2.5	5.0	6.7	10.1	12.6	15.2	17.7	20.2
600	1.34	3.0	6.1	9.1	12.1	15.2	18.2	21.2	24.2
700	1.56	3.5	7.1	10.6	14.1	17.7	21.2	24.8	28.3
800	1.78	4.0	8.1	12.1	16.2	20.2	24.2	28.8	32.3
900	2.01	4.6	9.1	13.6	18.2	22.7	27.3	31.8	36.4
1000	2.23	5.0	10.1	15.2	20.2	25.2	30.3	35.4	40.4
1250	2.78	6.3	12.6	18.9	25.2	31.6	37.9	44.2	50.5
1500	3.34	7.6	15.2	22.7	30.3	37.9	45.4	53.0	60.6

(**الجدول 8 - 1**) القدرة الحصانية اللازمة لرفع كميات مختلفة من الماء إلى ارتفاعات من 10 - 80 قدم (كفاءة وحدة الضخ 50% من الكفاءة النظرية) .

تعرف كفاءة المضخة على أنها النسبة بين القدرة الناتجة إلى القدرة الداخلة. فالكهرباء ، الغاز ، الزيت ، أو الفحم المستهلكة من قبل المحرك أو الماكنة تمثل القدرة الداخلة . الجدول 8 - 1 مأخوذ عن محطة التجارب الزراعية في نيومكسيكو (Bulletin 237) وهو يبين القدرة الحقيقية اللازمة لرفع تيار مائي يتراوح بين 0.22 إلى 3.34 قد مكعب / ثا لارتفاع يتراوح بين 10 - 80 قدم عندما تكون كفاءة المضخة 50% . لإيجاد القدرة الحصانية لرفع أي كمية من المياه لارتفاع معين فإن القاري لا يحتاج إلا ضرب القيمة الملاحظة في الجدول للقدرة الحصانية اللازمة لرفع قدم مكعب واحد في الثانية لارتفاع 40 قدم يتطلب 9.1 حصان . وعليه فإن 5 قدم مكعب بالثانية سوف نحتاج إلى 5.0 × 9.1 = 45.5 حصان لرفعها 40 قدم . لإيجاد القدرة الحصانية النظرية اضرب القيمة الحقيقية (45.5) في الكفاءة المفترضة 50% كما يلي القدرة الحصانية النظرية = 45.5 × 0.50 = 22.7 حصان . تسمى القدرة الحصانية المحولة من محرك كهربائي أو أية ماكنة إلى الآلة التي تدار (المضخة أو غيرها) بـ « القدرة الحصانية الكابحة brake horse power » . وتعرف النسبة بين القدرة الحصانية المائية المفيدة الناتجة من المضخة (The out put) إلى القدرة الحصانية الكابحة (الداخلة إلى المضخة The input to the pump) على أنها كفاءة المضخة .

ومن التعريف : القدرة = $\frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$ ومنها الشغل = القدرة × الزمن

ويستعمل التعبير « حصان - ساعة » ليمثل الاستهلاك المستمر أو تحويل حصان واحد لفترة ساعة واحدة وهو بذلك يساوي إلى 550 × 60 × 60 قد - با من الشغل .

تعرف القدرة الحصانية المائية على أنها القدرة النظرية The oretical

horepower اللازمة لرفع كمية معينة من المياه لكل ثانية لارتفاع معين . ويمكن التعبير عنها كقدرة ناتجة Out put :

$$WHP = \frac{62.5\ Qh}{550} = \frac{Qh}{8.8}$$

حيث : WHP = القدرة الحصانية المائية (Water horse power) .

Q = التصريف (قدم 3 / الثانية)

h = الرفع العمودى (قدم)

إذا قيست Q بالفالون / دقيقة بدلاً من قدم 3 / ثا فأن :

$$WSP = \frac{8.33\ Qh}{33000} = \frac{Qh}{3960}$$

إن كفاءة حمولات الطاقة (من ضمنها المضخات) هي نسبة الطاقة الناتجة إلى الطاقة المستهلكة (الداخلة) . يشار إلى القدرة الداخلة إلى المضخة على أنها القدرة الحصانية الكابحة BHP وهي القدرة الحصانية المجهزة إلى المحرك أو أية وحدة قدرة أخرى . وبذلك تكون كفاءة المضخة كما يلي :

$$EP = \frac{ou\ put}{in\ put} = \frac{WHP}{BHP}$$

وقد أجريت عدة فحوصات حقلية على أنواع المضخات في كلفورنيا فكانت نتائج تلك الاختبارات كما يلي : كفاءة المضخات الطاردة (Centerifugal pumps) = 49.8% ، كفاءة المضخات التوربينية (Turbine Pumps) للآبار العميقة = 40.5% ، كفاءة المضخات اللولبية (Serew pumps) للآبار العميقة = 44.5% . ووجد أن أعلى كفاءة 70% داخل كفاءة 15.2% . ومن المهم المحافظة على معدات الضخ بحالة جيدة قدر الإمكان . إن الكفاءات

المنخفضة تأتي بدرجة كبيرة نتيجة فشل مالكي المضخات للمحافظة عليها بحالة تشغيلية جيدة .

* * *

8 - 2 : إرتفاعات الضَخ :

تختلف المسافات العمودية التي ترفع بها المياه للأغراض المختلفة اختلافات واسعة من منطقة إلى أخرى حسب عمق البئر ومستوى المياه الأرضية والهدف الذي تستعمل لأجله المياه . في بعض المناطق ترفع المياه لعدة أقدام فقط ، وفي مناطق أخرى ترفع المياه لعدة مئات من الأقدام . يسمى الفرق في الارتفاع بين سطح الماء في البئر وسطح الماء في قناة التعريف على سطح الأرض «الارتفاع الاستاتيكي» Static head .

أما الهبوط في مستوى المياه الأرضية حول البئر فهو يمثل الفرق في الارتفاع بين منسوب المياه الأرضية وسطح الماء عند البئر أثناء الضخ وهو نفسه يمثل الفرق في المنسوب اللازم لسحب نفس الكمية من المياه بالثانية من الحشرج إلى البئر كلما تم رفع مياه بالضخ إلى سطح التربة . وأنه من المرغوب دائمًا تجنب الهبوط المفرط لأجل تقليل الزيادة في الطاقة اللازمة لسحب المياه إضافة إلى الارتفاع الأستاتيكي الذي يجب أن تتغلب عليه المضخة فإن جزءاً إضافيًا من الطاقة يستهلك للتغلب على الاحتكاك داخل الأنابيب والمنحنيات الحادة في تلك الأنابيب والعوامل الأخرى التي تعيق حركة المياه خلال عملية رفعها من البئر إلى سطح الأرض ومن العوامل التي تؤدي إلى إنخفاض كفاءة الضخ هي :

1 - التصميم الردئ للمضخات .

2 - التأكل الذي يحدث في أجزاء المضخة المتحركة .

3 - إنسداد الثقوب في بطانة البئر التي تنضخ منها المياه .

هذه العوامل تؤدي إلى خفض كفاءة وحدة الضخ إلى 75% في أحسن الظروف حتى تصل إلى 20% تحت الظروف السيئة أو أقل من ذلك . لذلك فأن كلفة الضخ لا تعتمد فقط على ارتفاع الضخ نظراً لتداخل تلك العوامل وتأثيرها على الكفاءة . يجب دراسة الجدول الاقتصادية لعمليات ضخ المياه للارتفاعات عالية قبل إتخاذ القرار باستثمار تلك المياه الأرضية المنخفضة المنسوب .

* * *

8 - 3 : خصائص المضخة :

لغرض استعمال المضخات بكفاءة أعلى وفائدة أكبر فأنه من الضروري اختيار المضخات المناسبة والمصممة وفق ظروف التشغيل الخاصة بالموقع إذا كانت كمية المياه التي يتم ضخها أقل من الكمية التي صممت لها المضخة وارتفاع الضخ العالي فأن كفاءة المضخة ستكون منخفضة . ونفس الشيء عندما ترفع المضخة مياه الحفر من الكمية التصميمية لها عند ارتفاع أقل من الاعتيادي مسببة انخفاضاً في الكفاءة .

إن معرفة خصائص المضخة تجعل من السهل اختيار المضخة التي تتطابق مع الظروف الخاصة بالموقع . وبالتالي زيادة كفاءة الضخ . العلاقات بين كل من السرعة والارتفاع والتصريف والقدرة الحصانية للمضخة تمثل عادة بمنحنيات تسمى منحنيات خصائص المضخة كما مبين في الشكل (8 - 1) .

يبين منحنى الارتفاع - السعة كمية المياه التي ترفعها المضخة عند ارتفاع

معين وكلما ازداد التصريف يتناقص ارتفاع الضخ ويلاحظ أن الكفاءة الناتجة تزداد من صفر عندما يكون التصريف صفر إلى قيمة عظمى مقدارها 82% عندما يصل التصريف إلى 1125 غالون بالدقيقة والارتفاع 22 قدم ، ثم تتناقص الكفاءة إلى الصفر عندما يتناقص الارتفاع إلى الصفر أيضًا . منحنى القدرة الحصانية الكابحة (BHP) للمضخة الطاردة يزداد مع زيادة التصريف حتى يصل إلى قيمة عظمى عند معدل تصريف أعلى من ذلك التصريف الذي يعطي أعلى كفاءة . تتغير المنحنيات المبينة في الشكل (8 - 1) مع سرعة المضخة ، لذلك يجب الأخذ بنظر الاعتبار سرعة المضخة عند اختيارها لضمان أعلى كفاءة ، كما أن كل منحنى يتغير مع نوع المضخة .

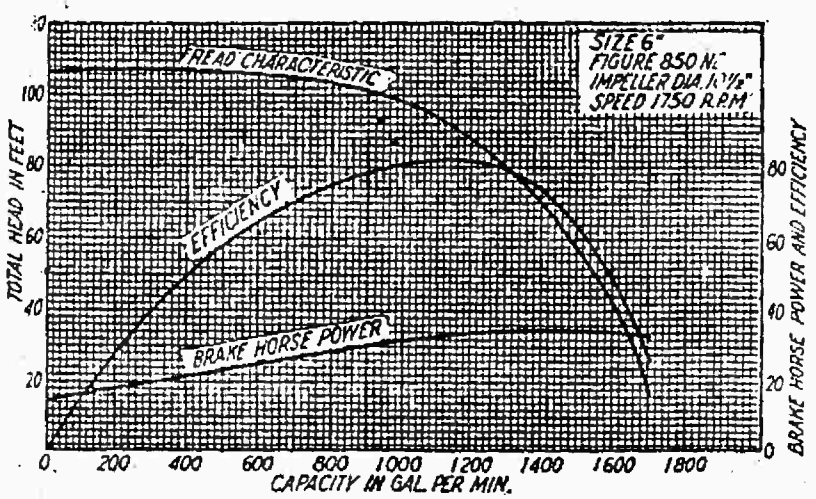
* * *

8 - 4 : أنواع المضخات :

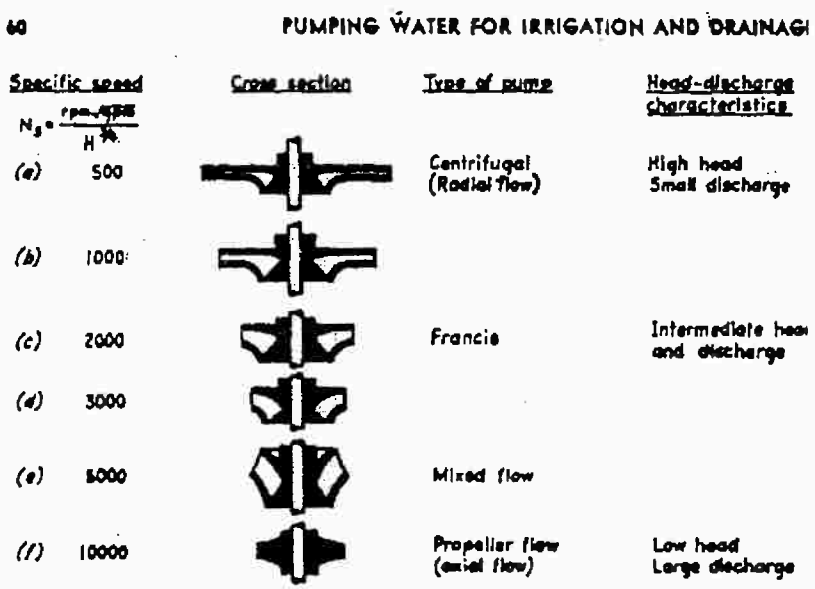
تختلف أنواع المضخات باختلاف الهدف منها وطبيعة الظروف المتعلقة بالموقع . وعمومًا تتراوح من مضخات ذات تصريف قليل وارتفاعات عالية إلى مضخات ذات تصاريف عالية مع ارتفاعات منخفضة . مضخات التعريف الواطئة والارتفاع العالي هي مضخات طاردة Sentrifugal pumps غالبًا ما تستعمل للأغراض التي تتطلب ضغطًا عاليًا كالري والرش وعندما يكون الارتفاع الاستاتيكي عاليًا أي عندما يكون منسوب المياه الأرضية منخفض جداً . إن المضخات ذات التصريف العالي والارتفاعات المنخفضة فإنها تستعمل لأغراض رفع كميات كبيرة من المياه لارتفاعات قليلة وخصوصًا في أعمال البزل ولتخفيض منسوب المياه الأرضية في الأراضي الزراعية أو السكنية . وقد اصطلح على استعمال دليل خصائص تشغيل المضخات يسمى بالسرعة النوعية (hs) وتعبر عن العلاقة بين السرعة (عدد الذرات بالدقيقة) والتصريف (غالون بالدقيقة) والارتفاع (H) بالقدم :

$$ns = \frac{RPM \times \sqrt{9pm}}{H\ 3/4}$$

تتميز المضخات الطاردة للسرع النوعية المنخفضة (جريان شعاعي) . أما السرع النوعية العالية فتتميز بها المضخات الدافعة (جريان محوري - axial flow) . هذه العلاقات مبينة في الشكل (8 - 2) .



(الشكل 8 - 1) منحنيات خصائص أداء المضخات المأخوذة عن نتائج فحوصات .



(الشكل 8 - 2) العلاقة بين تصميم البشارة (Impellar) والسرع النوعية وخصائص الارتفاع . التصريف للمضخات .

يمكن إيجار خصائص المضخات الدافعة (Impeller pumps) وتسمى أيضًا: (Propeller pumps) بتوضيح العلاقة بين التصريف Q والسرعة N في القطر D وعرض البشارة W (المروحة الدافعة Impeller) والارتفاع H والقدرة P .

$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{N}{N_o} = \frac{D}{D_o} = \frac{W}{W_o}$$

$$\frac{H}{H_o} = \left(\frac{N}{N_o}\right)^2 = \left(\frac{D}{D_o}\right)^2 = \left(\frac{W}{W_o}\right)^2$$

$$\frac{P}{P_o} = \left(\frac{N}{N_o}\right)^3 = \left(\frac{D}{D_o}\right)^3 = \left(\frac{W}{W_o}\right)^3$$

حيث Q_o ، N_o ، D_o ، W_o ، P_o ، Ho تمثل القيم الأصلية :

فالمعادلة الأولى تبين أن زيادة مقدارها 50% في سرعة البشارة أو قطرها أو عرضها تسبب زيادة في التصريف مقدارها 50% . بينما تبين المعادلة الثانية بأن 50% زيادة في سرعة البشارة أو قطرها أو عرضها سيزيد إمكانية المضخة لرفع المياه بمقدار . $(1.5)^2$ أي (2.25) من المرات زيادة في الارتفاع . لاحظ كذلك أن المعادلة الثالثة تبين أنه عند زيادة السرعة أو القطر أو العرض بمقدار 50% فإن الطاقة أو القدرة اللازمة لتدوير المضخة تزداد إلى $(1.5)^3$ أي ما يعادل 3.37 مرة .

8 - 4 - 1 : المضخات الطاردة Centrifagal pamps :

يسحب الماء إلى المضخة الطاردة محوريًا (باتجاه المحور) ويتركها باتجاه عمودي على المحور كما مبين في الشكل (8 - 3 - a) . ويمكن نصب هذه المضخات على محاور عمودية أو أفقية . المضخات الطاردة ذات المحور الأفقي تمتلك ميزات كونها كفوءة وسهلة النصب وقليلة المشاكل نسبيًا ومؤهلة للسرع العالية ، ولذلك عادة ما تربط مباشراً إلى المحركات الكهربائية وأحد مساوئها الأساسية هو ارتفاع السحب المحدود واستهلاكها السريع بتناقص ارتفاع السحب الأصلي مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر حيث لا يزيد على 20 قدم عند مستوى سطح البحر وأقل من 10 قدم عند إرتفاع 500 قدم إذا كانت أنابيب السحب محكمة الاتصال فإنه يمكن أن يزداد الدفع لأنه ليس من الحكمة تصميم المضخات لارتفاعات سحب أعلى ما لم تثبت المضخة بظروف عمل وتشغيل جيدة جداً .

تحتاج المضخة إلى ملئ أنابيب السحب بالماء بصورة كاملة ابتداءً من المضخة حتى نهاية أنبوب السحب داخل البئر مع وجود صمام في نهاية أنبوب السحب لا يسمح بمرور المياه خارج أنبوب السحب ويسمح بمرورها من البئر إلى داخل الأنبوب . وبسبب هذه المشكلة وبسبب ارتفاع السحب المحدود فإنه من المستحصل عادةً نصب المضخات قرب سطح المياه قدر الإمكان مع الأخذ بنظر الاعتبار حماية المضخة من أن تنغمر بالمياه عند إرتفاع مناسيبها وخصوصًا حماية المحركات الكهربائية التي تديرها من المياه .

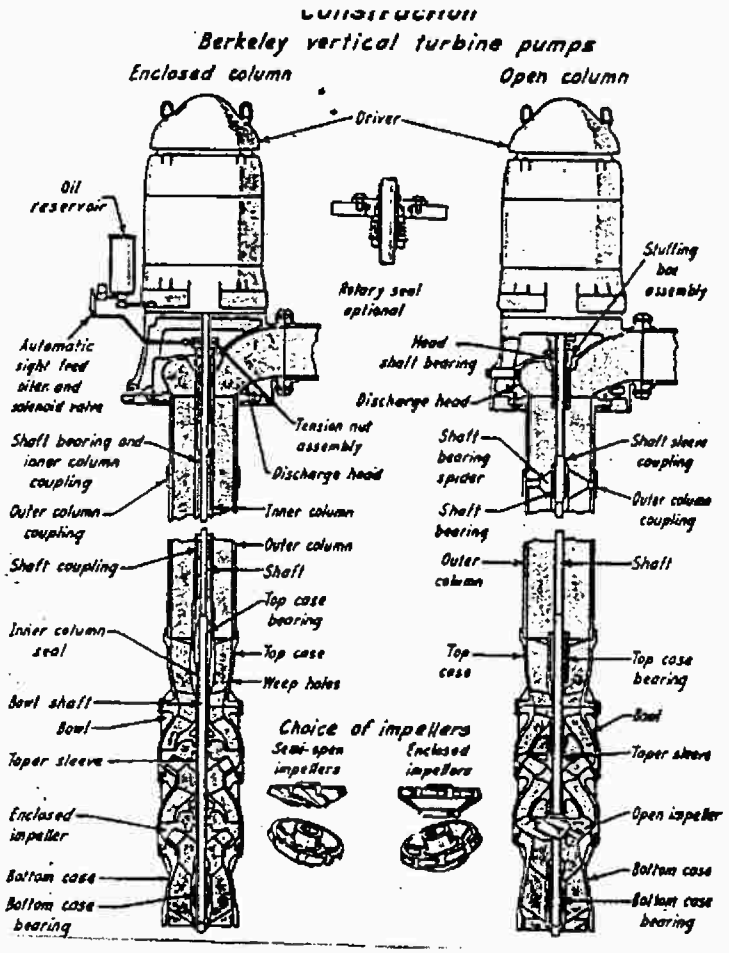
8 - 4 - 2 : المضخات التوربينية للآبار العميقة Deep well turbine pumps :

عندما تثبت البشارة عموديًا على محور الدوران ضمن أنبوب تصريف طويل تسمى المضخة توربين البئر العميق . يمكن أن تكون البشارة وحدة طاردة (جريان شعاعي عمودي على المحور) أو وحدة جريان محوري (موازي لمحور الدوران) أو أي تصميم يقع بين هذين الحدين حسب المطلوب من التصريف والارتفاع . عند ربط عدة بشارات على محور دوران عمودي واحد للحصول على الرفع الكلي المطلوب فإن المضخة تسمى مضخة متعددة المراحل Multiple stage pump - وتنزل هذه البشارات المرتبطة مع بعضها داخل أنبوب السحب تحت سطح الماء داخل البئر عادة . ويمكن تغيير موضع البشارات إلى الأعلى أو الأسفل برفع أو خفض القضيب العمودي الذي ربطت به البشارات المسافة المطلوبة . وتجهز مثل هذه المضخات عادة بتجهيزات ميكانيكية تمنع انعكاس دوران البشارات بعد إنقطاع الطاقة عن المضخة وذلك لتجنب تفكك أجزاء المضخة والبشارات نتيجة الدوران المعاكس الذي تسببه المياه المتبقية في أنبوب السحب عند نزولها إلى الأسفل وعكسها لدوران البشارات .

نستعمل المضخات التوربينية عادة عندما يكون سطح المياه في البئر تحت مقدار الرفع العملي للمضخات الطاردة . ويعتبر نصب المضخات التوربينية ناجحًا حتى عندما ينخفض سطح الماء إلى 1000 قدم تحت سطح الأرض .

تدار المضخة التوربينية بمحرك كهربائي أو أي مصدر آخر للطاقة ينصب عند سطح الأرض ويربط بقضيب عمودي طويل يمتد داخل أنبوب السحب ويحافظ على موضعه من خلال عدة حوامل خاصة مثبتة داخل أنبوب السحب . ونظراً لكون المضخات التوربينية غاطسة عادة تحت سطح الماء في البئر فإنها لا تحتاج إلى ملئ أنابيب السحب بالمياه قبل بدء التشغيل كما في المضخات الطاردة . كما أن هذه المضخات يمكن أن تعمل على مناسيب متذبذبة للمياه داخل البئر دون الحاجة إلى تصعيد أو تنزيل المضخة . وأحد مساوئها هو صعوبة تفحص وتفتيش أجزاء المضخة كونها غير ظاهرة ، أو قريبة من سطح الأرض .

الكفاءة المنخفضة مألوفة في المضخات العمودية المحور أكثر مما في المضخات الأفقية المحور وهذا يسبب الاستمرار في تشغيل المضخات التوربينية العمودية المحور لفترات طويلة بعد تأكل الحوامل وأجزاء المضخة الأخرى ويستمر التشغيل أحيانًا حتى تتعطل المضخة قبل إعادة إصلاح وتبديل للأجزاء المستهلكة ذلك بسبب صعوبة ملاحظة الأجزاء المستهلكة وتبديلها في الوقت المناسب الشكل (8 - 3) يبين مقطع عمودي نموذجي لمضخة توربين بئر عميق .



(الشكل 8 - 3) الأجزاء الرئيسية لمضخة توربينية عمودية .

8 - 4 - 3 : المضخات التوربينية الغاطسة Submersible Tarbine pumps :

عندما تربط مضخة توربين البئر العميق مباشرة إلى محرك كهربائي غطاس ذي قطر صغير فإنها تسمى مضخة غاطسة Submersible pamp . وخصائص هذه المضخة مماثلة لما في المضخة الغاطسة التقليدية في الآبار العميقة . وتزداد

كفاءة هذه المضخة نتيجة الربط المباشر مع المحرك والتبريد الفعال الناتج من الغمر الكلي والذي يسمح بتقليل نسبة الحديد والنحاس في معدن المضخة والمحرك .

تستعمل المضخات الغاطسة في الآبار ذات الأعماق التي تزيد على 12000 قدم بمراحل تزيد على 250 مرحلة . والمحركات الغاطسة ذات القدرة الحصانية التي تصل إلى 250 حصان تستعمل في آبار ذات قطر 8 إنج وهناك محركات أكبر تستعمل للآبار الأوسع . كما تتوفر مضخات غاطسة يمكن استعمالها في آبار بقطر 4 إنج أو أكبر .

إن الميزة الأساسية للمضخات الغاطسة هي إمكانية استخدامها في الآبار العميقة جداً حيث يتعذر استعمال المضخات العمودية ذات القضيب (المحور) الطويل ، حيث يصبح ذلك غير عملي لتعرض هذا القضيب الطويل إلى اللي والأعوجاج أو الكسر . كما أن مثل هذه المضخات الغاطسة ملائمة جداً لاستعمالها في الآبار المعقوفة (عندما لا تقع المياه تحت فتحة البئر بصورة عمودية) حيث يتعذر استعمال المضخات الاعتيادية . والمضخات الغاطسة مفيدة وملائمة للاستعمال في الأماكن التي قد تتعرض إلى أخطار الفيضان والانغمار بالمياه ضمن مواسم معينة . أو عند عدم إمكانية بناء مسقف خاص للمضخات الاعتيادية أو أية أسباب أخرى .

8 - 4 - 4 : المضخات المروحية ذات الدفق المختلط Propeller ond Mixed flow pumps :

تستعمل المضخات المروحية (جريان محوري) ذات الدفق المختلط للعمل المتضمن تصريف عالي وارتفاع منخفض . عند تغيير ارتفاع وميل ريشات البشارة وانحناء البشارة ذاتها يمكن الحصول على تصاريف وارتفاعات مختلفة من دون الحاجة إلى تغيير قطر البشارة . ويمكن استعمال مراحل متعددة

للحصول على ارتفاع عال . يجب أن تنغمر البشارة كليًا بالماء داخل البئر لتجنب ظاهرة التكهف (وجود الفراغات المملوءة بالهواء داخل المضخة) كما يجب أن تكون البشارة عميقة بما فيه الكفاية تحت سطح الماء لتقليل تكوين البخار على صفائح البشارة في نقاط السرعة الموضعية العليا . إن تكوين الفقاعات البخارية هذه وإنفجارها السريع والذي يحدث مرات عديدة في الثانية الواحدة يسبب ضغط موضعي متذبذب ينجم عنه تآكل وتكسر معدن البشارة مع تنقر خطير لسطحها وانخفاض في كفائتها . ويجب عدم إهمال التعليمات المثبتة على المضخة منا قبل المنتج حول عمق الغطس والأمور الأخرى المتعلقة بظروف الموقع والتشغيل .

إن ميل مضخات الجريان المحوري (axial flow) للحمل الزائد يجعلها غير مستحسنة للاستعمال عندما تكون هناك رغبة في تقليل التصريف لتوفير الطاقة . كذلك فإن الميل للحمل الزائد في الارتفاعات الكبيرة يجعل من المهم اختيار محرك يستطيع إدارة المضخة تحت مختلف ظروف التشغيل .

تعتبر المضخات المروحية ذات كلفة أولية منخفضة . كل مرحلة محددة برفع أقل من 10 قدم. ويمكن إضافة مراحل أخرى إضافية لزيادة الرفع إلى 30 أو 40 قدم . الارتفاعات العالية جداً يجب استعمال مضخات الدفق المختلط .

8 - 5 : ضائعات الاحتكاك في أنظمة المضخات :

ترفع المياه بالمضخة من ارتفاع إلى آخر حيث ينبغي الأخذ بنظر الاعتبار عوامل مختلفة عند تحديد القدرة الحصانية اللازمة لتحقيق عملية الضخ . فالفقدان في مقدار الدفع نتيجة الاحتكاك في كل جزء من أجزاء نظام الضخ كأنابيب السحب وأنابيب الدفع وداخل المضخة ذاتها . هذا الفقدان يجب إضافته إلى الارتفاع العمودي الكلي لرفع المياه . تتضمن مصادر الضائعات

هذه - صمام نهاية أنبوب السحب ، أنبوب السحب ، المضخة ، أنبوب الدفع ، وجميع الصمامات الوسطية ومختلف أشكال الربط والاتصال بين الأنابيب . الشكل (8 - 4) يبين الفقدان في الارتفاع نتيجة احتكاك الوصلات elbows الصمامات values وأشكال الربط الأخرى بما يكافئها من طول الأنبوب . مجموع الضائعات المكافئة المشتركة بسبب نقاط الربط هذه تضاف إلى المفقودات في الأجزاء المستقيمة من الأنابيب للحصول على الطول المكافئ الكلي للأنبوب . بعد إيجاد الطول الكلي المكافئ للمفقودات نستعمل الجدول (8 - 2) لإيجاد الدفع الكلي اللازم للمحل نظام الضخ ، القيم الواردة في الجدول (8 - 2) تمثل أنبوب بعمر 15 سنة ذلك لأن نظام الضخ سيعمل للعديد من السنين لذلك من الحكمة أن لا تؤخذ القيم للأنابيب الجديدة لضمان قدرة كافية خلال كل فترة التشغيل . والمثال التالي يوضح استعمال الشكل (8 - 4) والجدول (8 - 2) لإيجاد القدرة الحصانية الكلية .

نفترض لغرض السهولة إما مجمل نظام الضخ يتألف من أنبوب قطر (6 إنج) مع موصلات وأن التصريف يساوي 500 غالون بالدقيقة ورفع استاتيكي مقدارها 75 قدم وكفاءة المضخة 70% .

1 - صمام نوع (Foot value) يفترض أنه يكافئ صمام نوع (Open globe value) $\frac{\text{الطول المكافئ للفقدان}}{\text{170 قدم}}$

2 - صمام نوع (Gate Value) مفتوح كليًا 4 قدم .

3 - عكس متوسط قائم الزاوية (Sweep elbow) عدد 3 ، كل منها يسبب ضائعات تكافئ 14 قدم 42 قدم .

4 - طول الأنبوب قطر 6 إنج لخطي السحب والدفع .

الطول المكافئ الكلي للأنبوب : $\frac{130 \text{ قدم}}{346 \text{ قدم}}$

ومن الجدول (8 - 2) نلاحظ أن الفقدان في الارتفاع (عندما يكون التصريف 500 غالون / دقيقة في أنبوب قطر 6 إنج) هو 3.34 قدم لكل 100 قدم طول من الأنبوب .

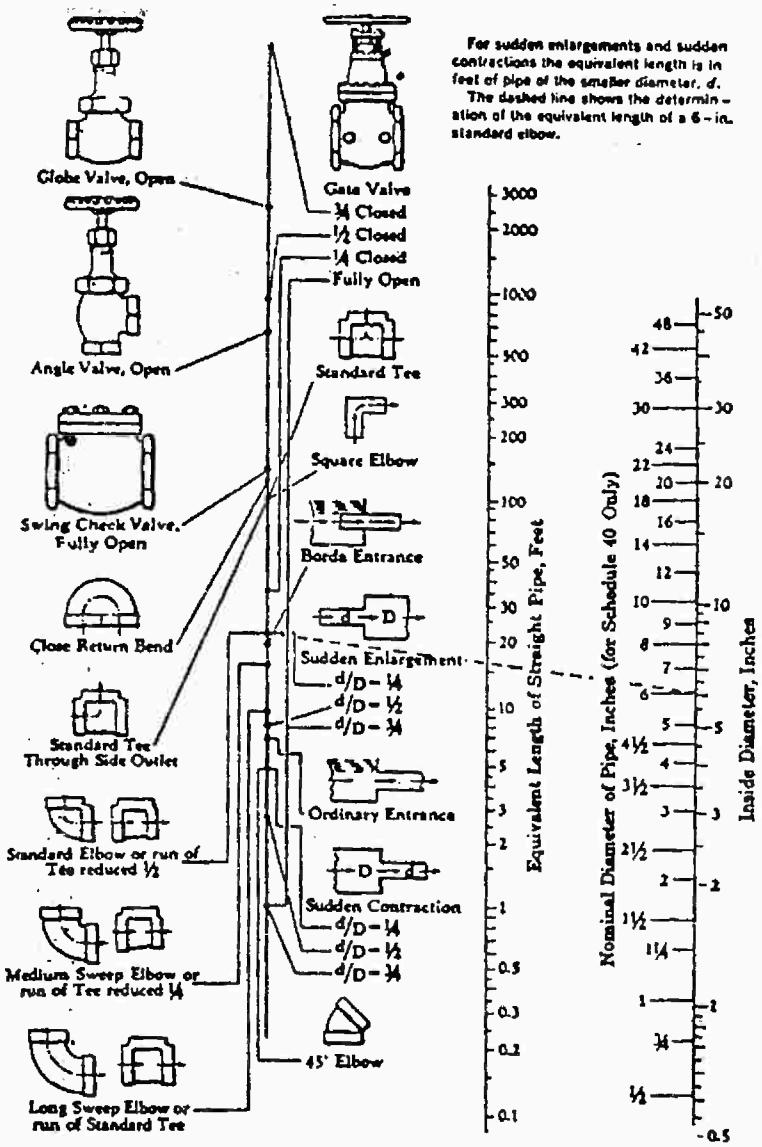
∴ الفقدان في الارتفاع لطول 346 قدم = $\frac{346}{100} \times 3.34 = 12$ قدم .

الارتفاع الديناميكي الكلي = 75 قدم (الارتفاع الستاتيكي) + 12 قدم (الفقدان بالاحتكاك) = 87 قدم .

وتستعمل 90 قدم بدل عن 87 قدم لتغطية الضائعات خلال مدخل ومخرج المياه .

القدرة الحصانية المائية (WHP) = $\frac{QH}{3960} = \frac{500 \times 90}{3960} = 11.4$

القدرة الحصانية الكابحة (BHP) = $\frac{WHP}{EP} = \frac{11.4}{\%70} = 16.3$



(الشكل 8 - 4) ضائعات الاحتكاك التي تسببها الصمامات ، والعكوس ، والموصلات الأخرى .

Rate of Flow in Gallons per Minute	Nominal Diameter of Pipe									
	¾"	1"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
1										
2	1.9									
3	4.1	1.26								
4	7.0	2.14								
5	10.5	3.25								
10	38.0	11.7	0.50	0.17	0.07					
15	80.0	23.0	1.08	0.36	0.15					
20	136.0	42.0	1.82	0.61	0.25					
25		64.0	2.73	0.92	0.38					
30		89.0	3.84	1.29	0.54					
35		119.0	5.1	1.72	0.75					
40		152.0	6.6	2.20	0.91	0.22				
45			8.2	2.80	1.15	0.28				
50			9.9	3.32	1.35	0.34				
70			19.4	6.20	2.57	0.63	0.21			
75			20.0	7.1	3.00	0.73	0.24			
100			33.8	12.0	4.98	1.22	0.41	0.17		
120			50.0	16.8	7.0	1.71	0.58	0.24		
125			54.0	18.2	7.6	1.80	0.64	0.27		
150			76.0	25.5	10.5	2.62	0.88	0.30		
175			102	33.8	14.0	3.44	1.18	0.48		
200			120	43.1	17.8	4.40	1.48	0.62		
225				54.3	22.3	5.43	1.80	0.77		
250				66.0	27.2	6.72	2.24	0.93	0.23	
270					31.3	7.70	2.60	1.08	0.20	
275					32.5	8.05	2.70	1.12	0.27	
300					38.0	9.30	3.14	1.32	0.32	
350						12.40	4.10	1.75	0.42	
400						16.00	5.40	2.21	0.55	
450						19.80	6.70	2.37	0.69	0.23
470						21.60	7.22	2.99	0.74	0.25
475						22.00	7.42	3.02	0.76	0.25
500						24.00	8.10	3.34	0.83	0.28
550							9.60	4.02	0.98	0.33
600							11.30	4.91	1.16	0.40
650							13.20	5.40	1.34	0.45
700							15.10	6.20	1.54	0.52
750							17.20	7.12	1.77	0.60
800								8.00	1.90	0.67
850								8.95	2.20	0.75
900								10.11	2.46	0.83
950								11.20	2.71	0.92
1000								12.04	2.98	1.01
1050								13.25	3.22	1.09
1100								14.55	3.55	1.21
1150								15.60	3.83	1.31
1200								17.10	4.17	1.42
1250								18.50	4.43	1.51
1500									6.29	2.14
2000									10.50	3.00
2500										5.40
3000										7.72
3500										10.00
4000										

Courtesy Goulds Pumps, Inc.

[1] Pipe coefficients: The values of friction given in this table are for commercial wrought iron or cast iron pipe of 15 years' service when handling soft clear water. In order to be able to use that table for other classes of pipe, the values taken from the table should be multiplied by a coefficient, selected from the list below, to correspond to the required condition:

New smooth brass and steel pipe (Durand) coefficient	=0.8
New smooth iron pipe (Williams & Hazen C = 120)	=0.7
15-year-old ordinary pipe (Williams & Hazen C = 100)	=1.0
25-year-old ordinary pipe (Williams & Hazen C = 90)	=1.2
Portable aluminum with couplers (Williams & Hazen C = 120)	=0.7

(Bulletin 481, Oregon Agricultural Experiment Station.)

(الشكل 8 - 2) الفقدان في الارتفاع بالقدم نتيجة الاحتكاك لكل 100 قدم لأنبوب حديدي طبيعي بعمر 15 سنة .

8 - 6 : إختيار وحَدَة الطاقة :

يجب أن تكون وحدة الطاقة قادرة على تحويل القدرة المطلوبة تحت الظروف المختلفة . إن التغيرات الحاصلة في ظروف التشغيل والتي يجب أن تتسع لها وحدة الطاقة ستؤثر على اختيار هذه الوحدة . تتضمن العوامل التي ينبغي أخذها بنظر الاعتبار عند اختيار وحدة الطاقة ما يلي :

1 - القدرة الحصانية اللازمة .

2 - الكلفة الابتدائيه .

3 - توفر وكلفة الطاقة أو الوقود .

4 - الاستهلاك .

5 - درجة الثقة بالوحدة والاعتماد عليها .

6 - النقلية (Portability) المطلوبة .

7 - الصيانة وملائمة التشغيل .

8 - الأيدي العاملة المتوفرة ونوعيتها .

وفي كل الحالات يؤمن الاختيار الجيد عندما يكون مصدر وحدة الطاقة ذو سمعة جيدة سواء كان المنتج أو الموزع . في بعض الأحيان تستعمل وحدات الطاقة القديمة لتقليل الكلفة الإبتدائية . لكن الكفاءات المنخفضة جداً التي تسبب زيادة في استهلاك الوقود ربما تكون أكبر من التخفيض في الكلفة الابتدائية . ويجب أن تتبع تعليمات وتوصيات المنتج لوحدة الطاقة .

إن المحركات الكهربائية التي يتم اختيارها ونصبها يمكن أن تعطي القدرة المطلوبة بلا مشاكل ولسنوات عديدة . ومن مميزات المحركات الكهربائية الحياة الطويلة نسبيًا . إمكانية الاعتماد عليها والوثوق بها ، سهولة التشغيل، كلفة الصيانة المنخفضة . في بعض المناطق تعتبر انقطاعات الطاقة الكهربائية

المتكررة من أهم المساوئ التي ترافق استعمال المحركات الكهربائية . كما إن الحاجة إلى إنشاء خطوط الطاقة إلى كل موقع مضخة وكلفة المحولات في مواقع الضخ تعتبر أيضًا من مساوئ المحركات الكهربائية . كما تتعرض مواقع الطاقة الكهربائية للمضخات في بعض الأحيان إلى الصواعق مما تتسبب في خسائر مادية وفترات طويلة من التوقفات . وتؤدي التغيرات في الفولتية إلى حرق المحرك الكهربائي وتعطله عن العمل.

إن المحركات الكهربائية ذات الطور المنفرد Single phase غير مناسبة عادة للعمل الذي يتجاوز 7.5 حصان . وقد لا تتوفر في بعض المناطق محركات تعمل على ثلاثة أطوار Three phases . ينبغي استعمال الربط المباشر بين المحرك والمضخة قدر الإمكان للحصول على أقل كلفة وأعلى كفاءة .

أما مكائن الاحتراق الداخلي فهناك نوعان رئيسيان منها تستعمل كوحدات طاقة تدير المضخات وهما :

1 - مكائن الإشعال بالشرارة Spark ignition .

2 - مكائن الإشعال بالانضغاط Compression ignition والمعروفة بمكائن الديزل .

ويستعمل النوع الأول الكازولين أو غاز LP أو الغاز الطبيعي كوقود ، أما مكائن الديزل فأن وقودها هو المعروف باسم وقود الديزل . ونظراً لكون الكلفة الابتدائية لمكائن الديزل أعلى بكثير من مكائن الإشعال بالشرارة فأنه من الضروري تشغيل مكائن الديزل بعدد من الساعات للموسم أعلى بعدة مرات من عدد ساعات تشغيل مكائن الإشعال بالشرارة . وذلك لتعويض الكلفة العالية . وعمومًا تستعمل مكائن الإشعال بالشرارة كما في المحركات الكهربائية ذات الطور الواحد لقدرة حصانية لا تزيد على 7.5 حصان . وتستعمل المحركات الكهربائية ذات الثلاث أطوار لحد 40 حصان ، وتستعمل مكائن الديزل لإنتاج قدرة حصانية أعلى من 40 حصان .