الفصل السادس
وصل المضخات على التسلسل وعلى التوازي

٦-١- تمهيد :

قد تتطلب الحاجة في بعض المشاريع المائية إلى غزارة كبيرة أو ضاغط كبير بحيث لا يمكن لمضخة واحدة تأمينه ، لذلك نلجأ في هذه الحالة إلى وصل المضخات على التسلسل أو على التوازي لزيادة الضاغط أو الغزارة . تمتاز عملية الوصل على التسلسل أو على التوازي بالسهولة والاقتصادية في بعض الأحيان .

٦-٢- وصل المضخات على التسلسل Series Operating pumps :

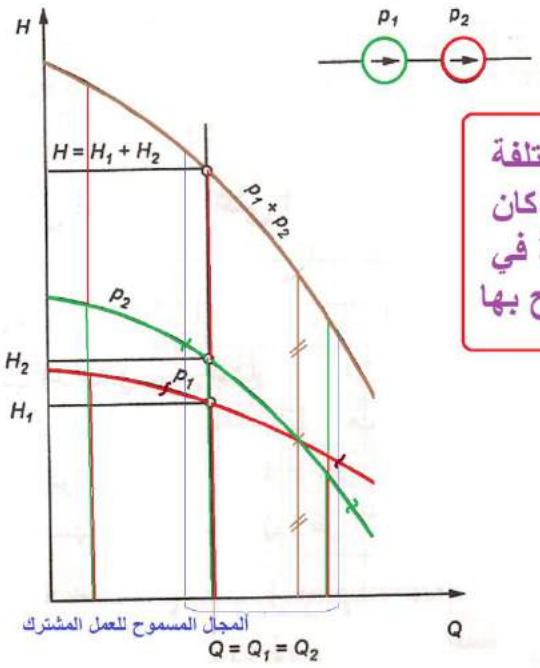
عند وصل مجموعة مضخات على التسلسل ، فإن الغزارة المضخوخة هي نفسها التي تمر في جميع المضخات ، أما الضاغط فيساوي مجموع الضواغط الجزئية لكل مضخة .

لتكن لدينا المضختان p_2 ، p_1 الموصولتان على التسلسل (الشكل ٦-١) . الغزارة المارة في المضخة الأولى وبحكم الاستمرار هي نفسها المارة في المضخة الثانية ، أما الضاغط عند مدخل المضخة p_2 فهو يساوي الضاغط عند مخرج المضخة p_1 . وعلى هذا فإن الضاغط الكلي للمضختين معاً يساوي مجموع ضاغطي المضختين :

$$Q_1 = Q_2 = Q \qquad (٦-١)$$

$$H_1 + H_2 = H \qquad (٦-٢)$$

ونحصل على المنحني المميز للمضختين الموصولتين على التسلسل بجمع المنحنيات المميزة للمضخات بشكل شاقولي ، أي بجمع قيم الضواغط وذلك من أجل قيم مختلفة للغزارة كما هو مبين في الشكل .



تعمل المضخات المختلفة معاًعلى التسلسل فقط إذا كان لها مجال مشترك للغزارة في منطقة العمل المنصوح بها

الشكل (٦-١) المنحني المميز عند وصل المضخات على التسلسل

عندما تكون معادلة المنحني المميز (Q-H) معطاة بشكل تحليلي على النحو التالي:

$$H = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$$

وعلى افتراض أن المضخات الموصولة على التسلسل متماثلة وهي الحالة الأكثر شيوعاً ، عندها تصبح معادلة المنحني المميز لمجموعة المضخات على الشكل الآتي :

$$H = n \cdot (A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C) \qquad (٦-٣)$$

حيث n يساوي عدد المضخات الموصولة على التسلسل .

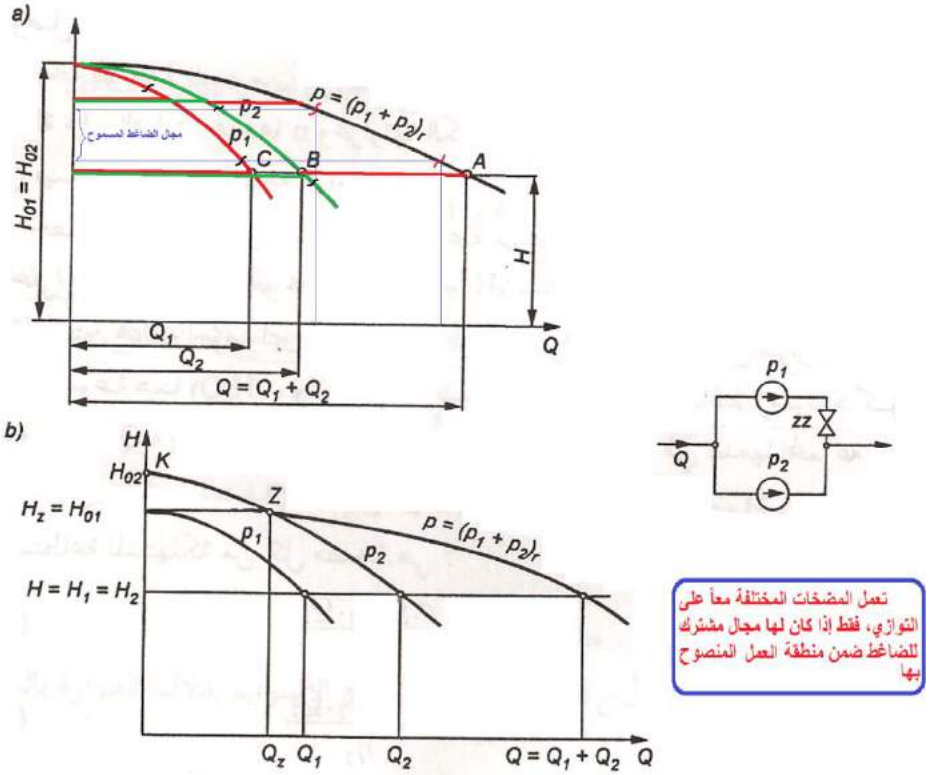
٦-٣- وصل المضخات على التوازي Parallel Operating Pumps

عند وصل عدة مضخات على التوازي ، تكون الغزارة الكلية المارة تساوي مجموع الغزارات الجزئية المارة في كل مضخة ، أما الضاغط المقدم فهو نفسه لجميع هذه المضخات .

لتكن لدينا المضختان p_2 ، p_1 الموصولتان على التوازي (الشكل ٦-٢) . الغزارة المارة في المضختين معاً تساوي مجموع غزارتي المضختين ، أما الضاغط عند مخرج كل مضخة فهو نفسه :

$$Q_1 + Q_2 = Q \qquad (٦-٤)$$

$$H_1 = H_2 = H \qquad (٦-٥)$$



تعمل المضخات المختلفة معاً على التوازي، فقط إذا كان لها مجال مشترك للضاغط ضمن منطقة العمل المنصوح بها

الشكل (٦-٢) المنحني المميز عند وصل المضخات على التوازي

a) المضخات متماثلة (من حيث الضاغط الصفري) **b) المضخات غير متماثلة**

وهكذا نحصل على المنحني المميز للمضختين الموصولتين على التوازي بجمع المنحنيات المميزة للمضخات بشكل أفقي ، أي بجمع قيم الغزارات من أجل قيم مختلفة للضاغط كما هو مبين في الشكل .

عندما تكون معادلة المنحني المميز (H-Q) معطاة بشكل تحليلي على النحو التالي:

$$H = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$$

وعلى افتراض أن المضخات الموصولة على التوازي متماثلة، تكون معادلة المنحني المميز لمجموعة المضخات هي على النحو التالي :

لذا تكون غزارة المضخات متساوية وعليه تكون غزارة المضخة الواحدة تساوي $\frac{Q}{n}$

$$H = A.(\frac{Q}{n})^2 + B.\frac{Q}{n} + C \qquad (٦-٦)$$

حيث n يساوي عدد المضخات الموصولة على التوازي .

٦-٤- مردود المضخات الموصولة على التسلسل وعلى التوازي

الفقرة مخذوفة

عند وصل المضخات المتماثلة على التسلسل ، يكون المردود الموافق لغزارة معينة هو مردود المضخة الواحدة نفسه من أجل تلك الغزارة .كما أن مردود مجموعة مضخات متماثلة موصولة على التوازي عددها n وغزارتها الكلية $Q = n . Q_i$ (Q_i هي غزارة كل مضخة) فيساوي مردود المضخة الواحدة .

ويتم الحصول على المردود المكافيء لمجموعة مضخات مختلفة تعمل على التسلسل أو على التوازي على النحو التالي :

نفرض وجود مضختين مختلفتين موصولتين على التسلسل أو على التوازي ، ونفرض أن الغزارة والضاغط لهذه المجموعة هما (H،Q) ، وأن غزارة وضاغط ومردود كل مضخة هي (H_1, Q_1, η_1) و (H_2 ، Q_2 ، η_2) . تحسب الاستطاعة التي تقدمها المجموعة من العلاقة :

$$P_a = \rho . g . H . Q \qquad (٦-٧)$$

أما الاستطاعة المستهلكة في كل مضخة هي :

$$P_{w1} = \frac{\rho.g.H_1.Q_1}{\eta_1} \qquad (٦-٨)$$

$$P_{w2} = \frac{\rho.g.H_2.Q_2}{\eta_2} \qquad (٦-٩)$$

وبالتالي تكون الاستطاعة الكلية المستهلكة من المجموعة :

$$P_w = \frac{\rho.g.H_1.Q_1}{\eta_1} + \frac{\rho.g.H_2.Q_2}{\eta_2} \qquad (٦-١٠)$$

ويكون المردود المكافيء للمجموعة هو :

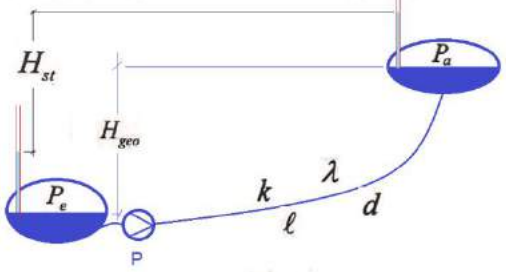
$$\eta_z = \frac{P_a}{P_w} = \frac{H.Q}{\frac{H_1.Q_1}{\eta_1} + \frac{H_2.Q_2}{\eta_2}} \qquad (٦-١١)$$

الفصل السابع
نقطـة عمـل المضخـة

٧-١- المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوب واحد

لنأخذ منظومة ضخ مؤلفة من أنبوب ضخ واحد ، حيث يعطى الضاغط الكلي **Total Head** لهذه المنظومة بالعلاقة :

$$H_A = H_{st} + H_{dyn} \qquad (١-٧)$$



نعلم أن الضاغط الستاتيكي H_{st} ليس له علاقة بالغزارة المارة وإنما يتعلق بالضاغط الهندسي وبقيمة الضغط في الخزانين السفلي والعلوي كما يتضح من العلاقة :

$$H_{st} = H_{geo} + \frac{(P_a - P_e)}{\gamma} \qquad (٢-٧)$$

أما الضاغط الديناميكي H_{dyn} مع إهمال السرعة في الخزانين العلوي والسفلي لصغرهما فيعطى بالعلاقة :

$$H_{dyn} = \Sigma h_f + \Sigma h_m \qquad (٣-٧)$$

كما يمكن التعبير عن الضياعات الطولية في الأنبوب بدلالة الغزارة بالعلاقة التالية:

$$\frac{8}{\pi^2 . g} = 0.0826$$

$$\Sigma h_f = Q^2 . \Sigma(\lambda . \frac{\ell}{d^5} . \frac{8}{\pi^2 . g}) \qquad (٤-٧)$$

كذلك يعبر عن الضياعات المحلية بدلالة الغزارة بالعلاقة التالية :

$$\Sigma h_m = Q^2 . \Sigma \frac{k}{d^4} . \frac{8}{\pi^2 . g} \qquad (٥-٧)$$

وبالتالي يمكن كتابة علاقة الضاغط الديناميكي كما يلي :

$$H_{dyn} = Q^2 \underbrace{\Sigma(\lambda . \frac{\ell}{d^5} . \frac{8}{\pi^2 . g} + \frac{k}{d^4} . \frac{8}{\pi^2 . g})}_{a} \quad \text{ومنه} \quad a = 0.0826(\lambda . \frac{\ell}{d^5} + \frac{k}{d^4}) \qquad (٦-٧)$$

وأخيراً بالشكل التالي :

$$H_{dyn} = a \, . \, Q^2 \qquad (٧-٧)$$

حيث a هو ثابت الأنبوب ، وهو يتعلق بالمواصفات الهندسية للأنبوب وبمعامل الضياعات الطولية (يمكن عدّ معامل الضياعات الطولية ثابتاً دون ارتكاب خطأ كبير).

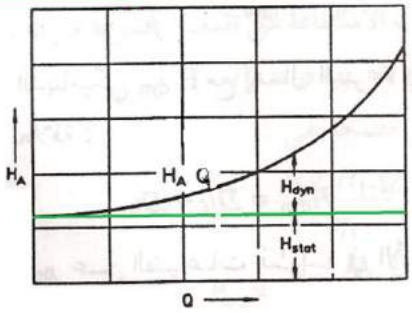
وهكذا تأخذ علاقة المنحني المميز لمنظومة الضخ الشكل التالي :

$$H_A = H_{st} + a \, . \, Q^2 \qquad (٨-٧)$$

وهي تمثل قطعاً مكافئاً من الدرجة الثانية كما هو مبين في الشكل (٧-١) .

وتمثل القيمة $a \, . \, Q^2$ الضياعات الهيدروليكية لمنظومة الضخ ويعبر عنها بالعلاقة

تابع الفواقد الهيدروليكية $h = a \, . \, Q^2$



الشكل (٧-١) المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوب واحد

٧-٢- المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين موصولين على التسلسل :

لتكن لدينا منظومة الضخ المبينة في الشكل (٧-٢) ، والمؤلفة من أنبوبين مختلفين A ، B موصولين على التسلسل . المنحني المميز للضياعات في الأنبوب A هو $h_A = a_A \, . \, Q^2$ و المنحني المميز للضياعات في الأنبوب B هو $h_B = a_B \, . \, Q^2$.

وصل الأنابيب على التسلسل مشابه تماماً لوصل المضخات على التسلسل ،

حيث يمكن كتابة ما يلي :

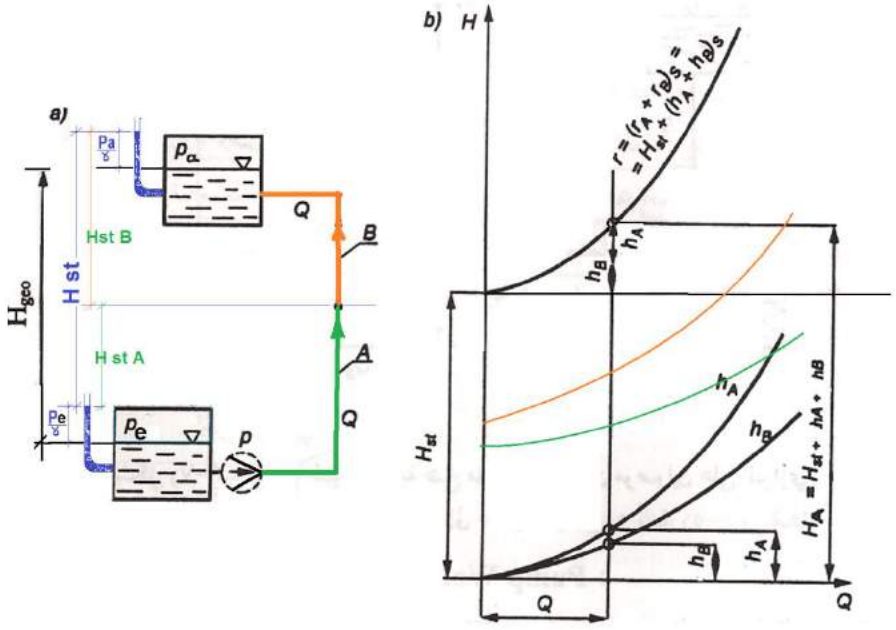
$$Q_A = Q_B = Q \qquad (٩-٧)$$

$$h = h_A + h_B = (a_A + a_B)Q^2 \qquad (١٠-٧)$$

ومن ثم تكون معادلة المنحني المميز للمنظومة كما يلي :

$$H_A = H_{st} + h = H_{st} + (a_A + a_B)Q^2 \qquad (١١-٧)$$

يمكن أن نحصل تخطيطياً على المنحني المميز للمنظومة بالجمع الشاقولي للمنحنيات المميزة للضياعات في الأنابيب h_B و h_A ، ثم تضاف إليها قيمة الضاغط الستاتيكي H_{st} ، وبذلك نحصل على المنحني المميز r للمنظومة كما هو مبين في الشكل.



الشكل (٧-٢) المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين موصولين على التسلسل

حيث يمكن كتابة ما يلي :

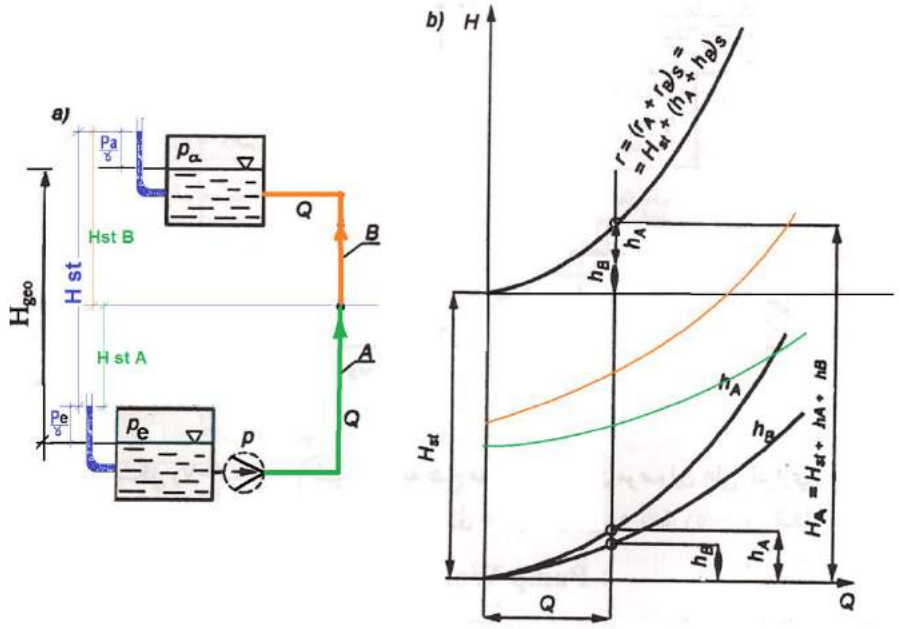
$$Q_A = Q_B = Q \qquad (٩-٧)$$

$$h = h_A + h_B = (a_A + a_B)Q^2 \qquad (١٠-٧)$$

ومن ثم تكون معادلة المنحني المميز للمنظومة كما يلي :

$$H_A = H_{st} + h = H_{st} + (a_A + a_B)Q^2 \qquad (١١-٧)$$

يمكن أن نحصل تخطيطياً على المنحني المميز للمنظومة بالجمع الشاقولي للمنحنيات المميزة للضياعات في الأنابيب h_B و h_A ، ثم تضاف إليها قيمة الضاغط الستاتيكي H_{st} ، وبذلك نحصل على المنحني المميز r للمنظومة كما هو مبين في الشكل.



الشكل (٧-٢) المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين موصولين على التسلسل

٧-٣- المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين موصولين على التوازي :

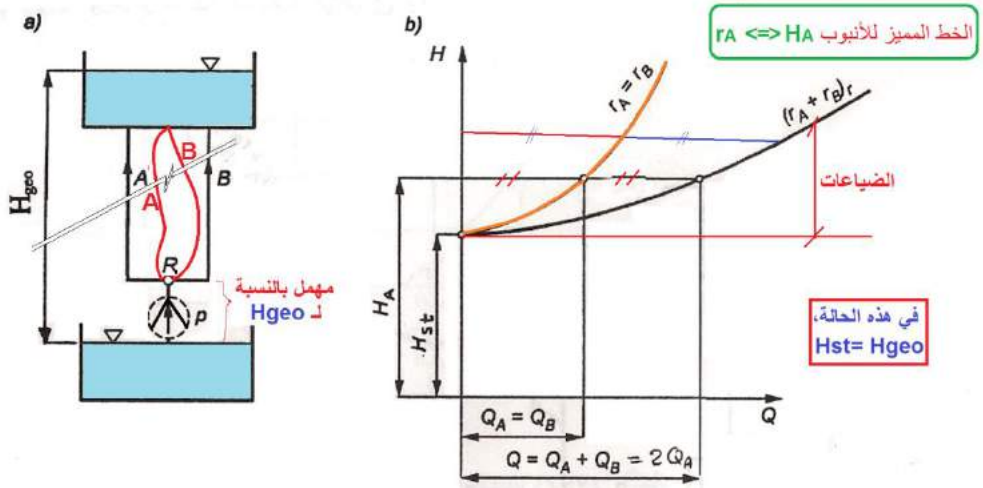
يبين الشكل (٧-٣) منظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين متماثلين موصولين على التوازي . كما يبين الشكل (٧-٤) منظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين مختلفين وموصولين على التوازي ، ويقومان بإيصال السائل إلى خزانين ذات منسوبين مختلفين .

وبشكل مشابه لوصل المضخات على التوازي يمكن أن نكتب :

$$Q = Q_A + Q_B \qquad (١٢-٧)$$

$$H_{A(A)} = H_{A(B)} = H_A \qquad (١٣-٧)$$

يتم الحصول على المنحني المميز للمنظومة من خلال الجمع الأفقي للمنحنيات المميزة r_B ، r_A للأنابيب ، وبذلك نحصل على المنحني المميز r لمنظومة الضخ كما هو مبين في الشكل .

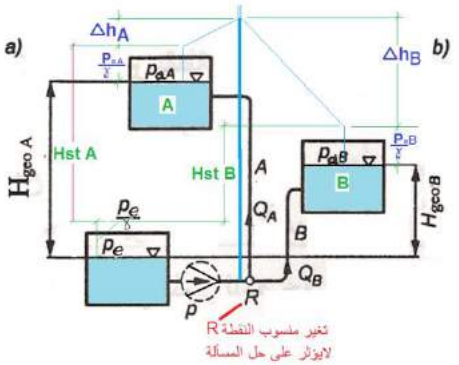


الشكل (٧-٣) المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين موصولين على التوازي حيث يتم الضخ إلى منسوب واحد

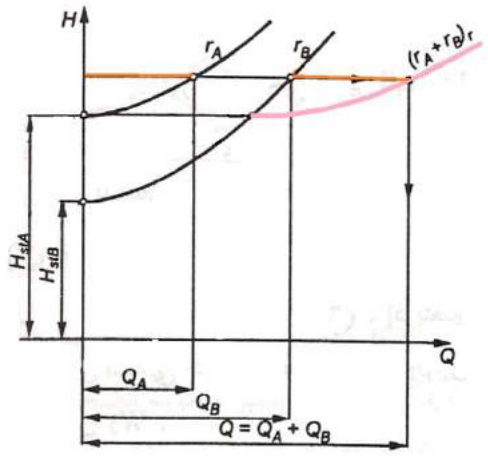
٧-٤- نقطة عمل المضخة Pump Working Point :

يعبر المنحنى المميز للمضخة p عن العلاقة التي تربط بين الضاغط الذي تقدمه المضخة والغزارة ، حيث يتعلق هذا المنحني بقطر الدولاب والأبعاد الهندسية له وبعدد دوراته . ولا يتغير هذا المنحني إلا إذا تغير مقدار من المقادير السابقة .

يبدأ الأنبوبان المختلفان، الموصولان على التوازي بالعمل المشترك
عند بلوغ الضاغط قيمة الضاغط الستاتيكي للأنبوب ذي الـ Hst الأكبر



الضاغط H المشترك الموجود في النقطة R سيستهلك في التغلب على الضاغط الستاتيكي للخزان A وتغطية الفواقد في الأنبوب المؤدي إليه
نفس هذا الضاغط سيستهلك لذات الغرض فيما يخص الخزان B
ويمكن أن يكون عدد الخزانات المشتركة في النقطة R أكثر من اثنين

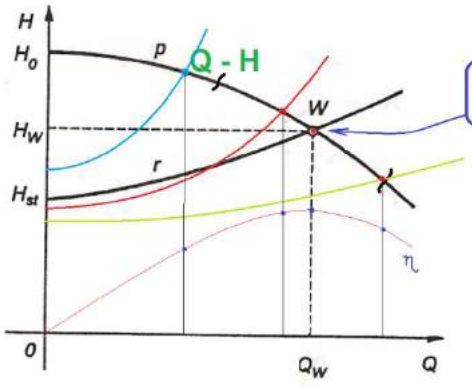


الشكل (٧–٤) المنحني المميز لمنظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين موصولين على التوازي ويتم الضخ إلى منسوبين مختلفين

أما المنحني المميز r لمنظومة الضخ فهو يمثل العلاقة بين الضاغط الواجب تطبيقه والغزارة المارّة

أو: الضاغط الذي تحتاجه المنظومة كي تمرر غزارة معينة

وعند تركيب مضخة في منظومة ضخ ، تقوم هذه المضخة بتقديم الضاغط الذي تحتاجه المنظومة . ندعو النقطة التي يتساوى فيها الضاغط الذي تقدمه المضخة مع الضاغط الذي تحتاجه منظومة الضخ عند مرور غزارة معينة بنقطة عمل المضخة . ونحصل عليها بالحل المشترك للمنحني المميز للمضخة مع المنحني المميز لمنظومة الضخ ، وبذلك نحصل على النقطة W والتي تمثل نقطة عمل المضخة كما هو مبين في الشكل (٧–٥) .

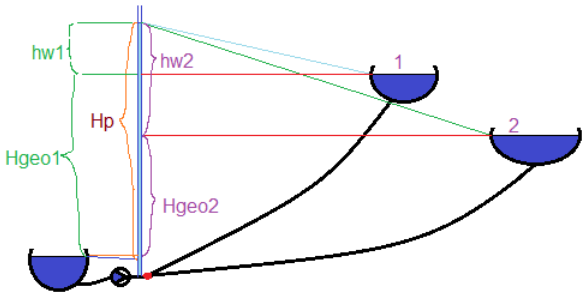


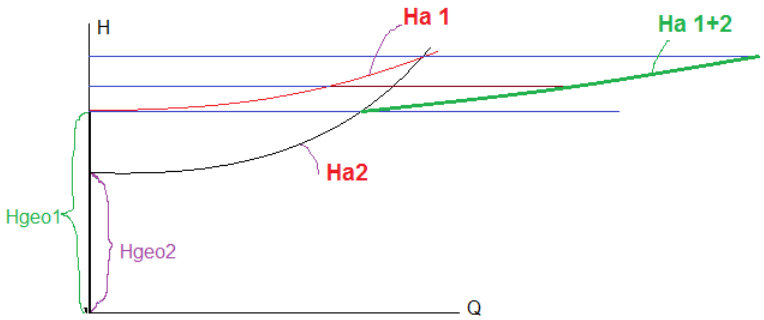
Working Point

الشكل (٧–٥) نقطة عمل المضخة

يفضل أن تكون نقطة العمل أقرب ما يمكن إلى نقطة العمل المثلى للمضخة، والتي توافق أعلى قيمة للمردود.

كما يجب ألا تخرج نقطة العمل عن مجال العمل المنصوح به لفترات عمل طويلة


hw1
hw2
1
Hp
2
Hgeo1
Hgeo2

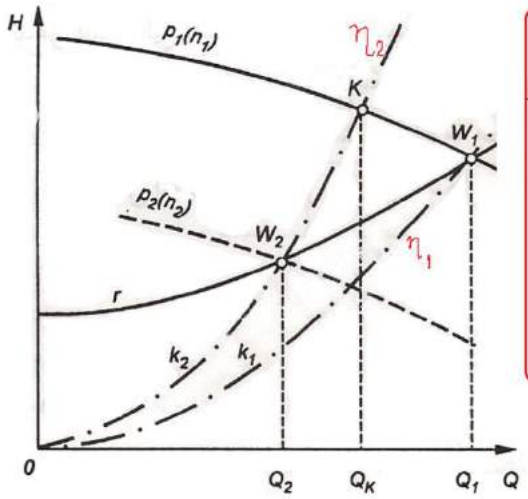

H
Ha 1
Ha 1+2
Ha2
Hgeo1
Hgeo2
Q

٧-٥- تغير نقطة عمل المضخة :

كما ذكرنا سابقاً تمثل نقطة عمل المضخة الحل المشترك للمنحني المميز للمضخة مع معادلة المنحني المميز لمنظومة الضخ . ولذلك تتغير نقطة عمل المضخة عندما يتغير المنحني المميز للمضخة أو عندما يتغير المنحني المميز للمنظومة .

المنحني المميز للمضخة يمكن أن يتغير في حالتين :

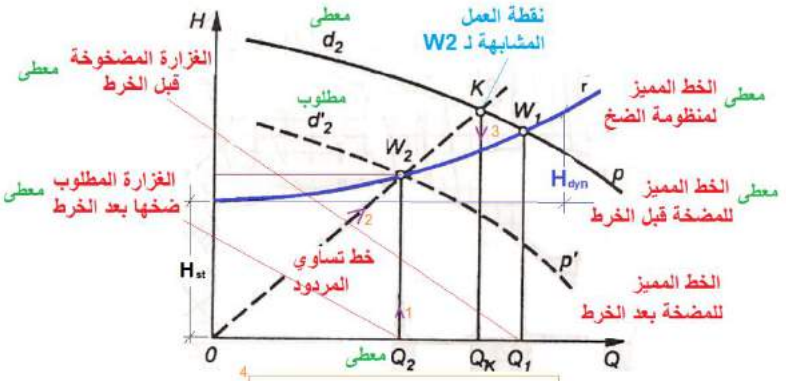
- إما بتغيير عدد دورات المضخة كما هو مبين في الشكل (٧-٦) . إذ بتغير عدد دورات المضخة من n_1 إلى n_2 ينزلق المنحني المميز للمضخة من p_1 إلى p_2 وتتغير نقطة عمل المضخة من W_1 إلى W_2 .
- أو بإنقاص القطر الخارجي للدولاب كما هو مبين في الشكل (٧-٧). فبإنقاص القطر الخارجي لدولاب المضخة من d_2 إلى d'_2 يتغير المنحني المميز للمضخة من p إلى p′ وتتغير نقطة عمل المضخة من W_1 إلى W_2 .



تطرح المسألة على الوجه الآتي:
يعطى المنحنى المميز للمضخة لعدد دورات معلوم $p_1(n_1)$ كما يعطى المنحنى المميز لمنظومة الضخ r وهذا يمكننا من معرفة نقطة العمل W_1 (الغزارة المضخوخة والضاغط) ويكون المطلوب: معرفة عدد الدورات اللازم لضخ غزارة أخرى Q_2 محددة في منظومة الضخ أكبر أو أصغر من الغزارة السابقة.
الحل يكون بتحديد نقطة العمل الجديدة W_2 على المنحني المميز للمنظومة ثم تحديد النقطة K المشابهة لـ W_2 عن طريق رسم منحنى النظم المتشابهة المار من W_2 ومن ثم الحصول على Q_K وعليه يمكن أن نوجد عدد الدورات الجديد

$$\frac{Q_K}{n_1}=\frac{Q_2}{n_2} \qquad n_2=\frac{Q_2}{Q_K}n_1$$

الشكل (٧-٦) تغير نقطة عمل المضخة عند تغير عدد دوراتها



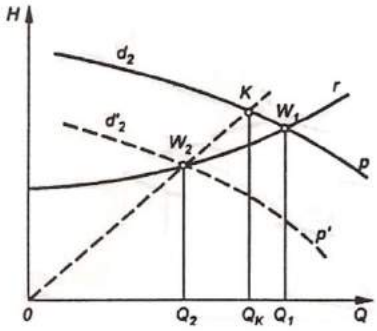
$$\frac{Q_2}{Q_K} = \left(\frac{d2'}{d2}\right)^2 \Rightarrow d2' = d2\sqrt{\frac{Q_2}{Q_K}}$$

مضخة منحناها المميز P وقطر دولابها d_2 تضخ في منظومة منحناها المميز r
المراد حساب نسبة الخرط (أو القطر بعد الخرط) الذي يسمح بتقليل الغزارة Q_1
المضخوخة في المنظومة بنسبة معلومة

الحل: W_1 هي الحل المشترك لـ r و P ، Q_2 نحصل عليها من تخفيض Q_1 بالنسبة المعلومة ومنها نحصل على W_2 ، نمرر مستقيم النظم المتشابهة من W_2 فنحصل على K منها نحدد Q_K وبهذا يمكننا تطبيق قانون التشابه بين K و W_2 ومنها نحصل على

$$\frac{Q_2}{Q_K}=\left(\frac{d_2'}{d_2}\right)^2$$

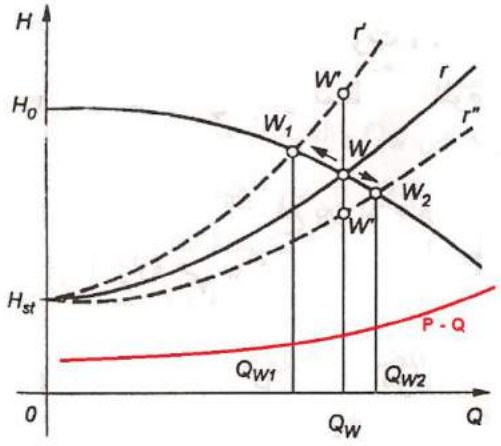
$$\Rightarrow \quad d_2' = d_2\sqrt{\left(\frac{Q_2}{Q_K}\right)}$$



الشكل (٧-٧) تغير نقطة عمل المضخة عند إنقاص القطر الخارجي لدولابها

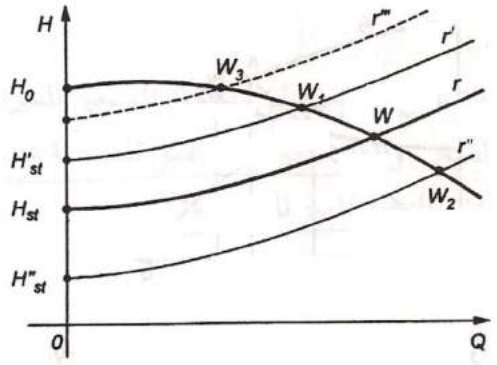
كما يمكن للمنحني المميز لمنظومة الضخ أن يتغير في حالتين أيضاً :

- أن يحصل تغير في معامل الضياعات الطولية مع الزمن بسبب زيادة خشونة الأنابيب . أو يحصل تغير في معامل الضياعات المحلية وذلك بتضيق مقطع أنبوب الضخ بسبب انسداده أو تغيير فتحة السكر المركب على طرف دفع المضخة كما هو مبين في الشكل (٧-٨) .
- أن يحصل تغير في قيمة الضاغط الستاتيكي H_{st} لمنظومة الضخ . ويمكن أن يتم ذلك إما بتغير الضاغط الهندسي H_{geo} ، أو بتغير قيمة الضغط المطبق في الخزان العلوي أو السفلي (في حالة الخزانات المضغوطة فقط) كما هو مبين في الشكل (٧-٩) . ويمكن أن نستنتج من الشكل أنه عند انخفاض منسوب السائل في الخزان السفلي وبالتالي زيادة الضاغط الهندسي ومن ثم الستاتيكي فإن الغزارة تنخفض والعكس صحيح .



الشكل (٧-٨) تغير نقطة عمل المضخة عند تغيير فتحة السكر الموجود على طرف دفعها

لاحظ أن انزياح نقطة العمل إلى اليمين،أي (زيادة الغزارة) في المضخات النابذة تزيد من الاستطاعة المستهلكة في المضخة



الشكل (٧-٩) تغير نقطة عمل المضخة عند تغير الضاغط الستاتيكي لمنظومة الضخ

٧-٦- إيجاد نقطة عمل المضخات في بعض حالات منظومات الضخ :

سنورد فيما يلي طريقة إيجاد نقطة عمل المضخات من أجل بعض حالات منظومات الضخ والتي قد تكون الأكثر استخداماً وانتشاراً ، ولكنها لا تمثل جميع الحالات .

الحالة الأولى :

يبين الشكل (٧-١٠) منظومة ضخ مؤلفة من أنبوب واحد (مع إهمال أنبوب الامتصاص) ذي منحني مميز(r) ومضختين مختلفتين موصولتين على التسلسل ذات منحنيات مميزة p_1 ، p_2 .

ومن أجل إيجاد نقطة العمل نقوم بما يلي:

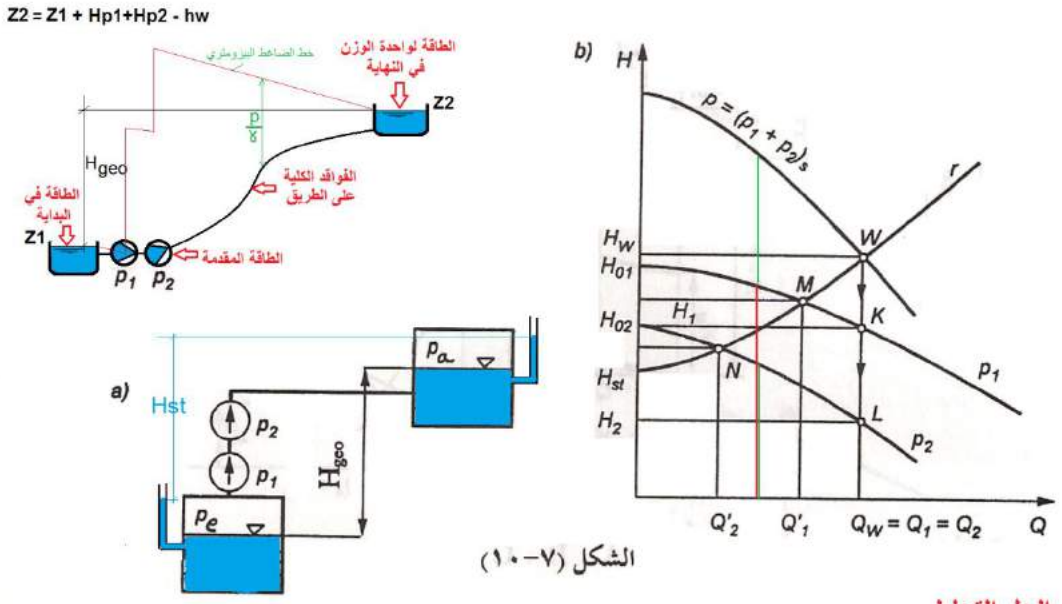
١- نرسم المنحني المميز للأنبوب r . (H_A)

٢- نرسم المنحني المميز للمضختين الموصولتين على التسلسل p وذلك بالجمع شاقولياً .

٣- وعند إجراء التقاطع بين المنحنين r ، p نحصل على نقطة العمل W حيث الغزارة هي Q_W والضاغط هو H_W ، وتكون الغزارة المارة في المضختين متساوية وقيمتها هي Q_W .

٤- لإيجاد ضاغط كل مضخة ننزل خطاً شاقولياً يتقاطع مع المنحني المميز p_1 للمضخة الأولى في النقطة K ، ومع المنحني المميز p_2 للمضخة الثانية في

النقطة L ، فتكون ضواغط المضخات هي H_2 ، H_1 .



الشكل (٧-١٠)

الحل التحليلي

$$Pa/\gamma + Hgeo = Pe/\gamma + Hp1 + Hp2 - a^* Q^2$$

الحالة الثانية :

يبين الشكل (٧-١١) منظومة ضخ مؤلفة من أنبوبين مختلفين B ، A ، ومضختين مختلفتين موصولتين على التوازي ذواتي منحنيات مميزة p_2 ، p_1 .

لإيجاد نقطة العمل نقوم بما يلي :

١- نرسم المنحني المميز r للأنبوبين B ، A الموصولين على التسلسل

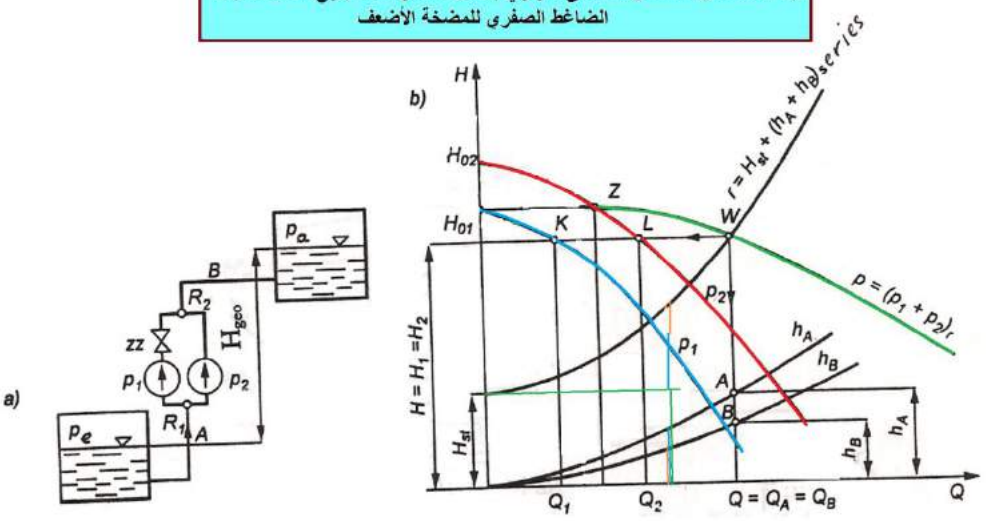
٢- نرسم المنحني المميز p للمضختين الموصولتين على التوازي .

٣- تقاطع المنحني r مع المنحني p تمثل نقطة العمل W وتكون عندها قيمة الغزارة المارة في المنظومة هي Q_W والضاغط هو H_W .

٤- من أجل حساب الغزارة المارة في كل من المضختين ، نرسم خطاً أفقياً من النقطة W فيقطع المنحني المميز p_2 للمضخة الثانية في النقطة L ويقطع المنحني المميز p_1 للمضخة الأولى في النقطة K ، وتكون الغزارة المارة في المضخة الثانية هي Q_2 وفي المضخة الأولى هي Q_1 .

٥- الضاغطان في المضختين واحد وقيمته هي H_W .

تبدأ المضختان العاملتان معاً على التوازي بالعمل المشترك عند بلوغ الضاغط قيمة الضاغط الصفري للمضخة الأضعف



الشكل (٧-١١)

الحل التحليلي:

$$Pa/\gamma + H\,geo = Pe/\gamma - a_A * Q^2 + Hp1 - a_B * Q^2 \quad (1)$$

$$Pa/\gamma + H\,geo = Pe/\gamma - a_A * Q^2 + Hp2 - a_B * Q^2 \quad (2)$$

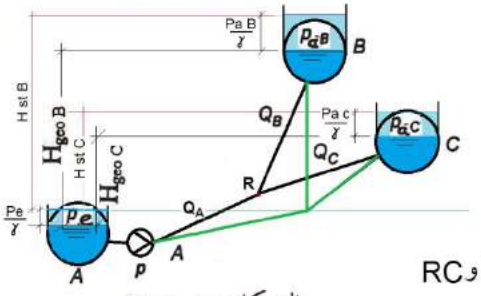
$$Q = Q1 + Q2 \quad (3)$$

$$Hp1 = f(Q_1) \qquad Hp2 = f(Q_2)$$

الحالة الثالثة :

يبين الشكل (٧-١٢) منظومة ضخ مؤلفة من مضخة تقوم بضخ السائل في مم خزان سفلي إلى خزانين عبر الأنابيب C ، B ، A .

لتحديد نقطة العمل نقوم بما يلي :



الشكل (٧-١٢)

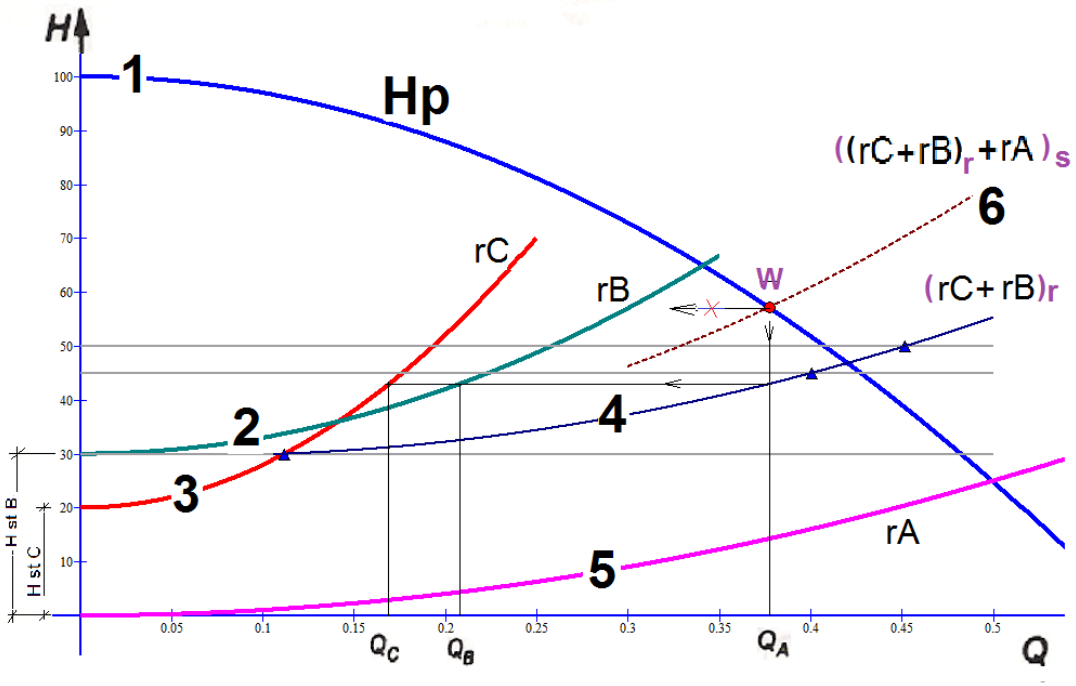
— نرسم الخط المميز لكل من الأنبوبين RB و RC على اعتبار أن منسوب النقطة R يقع على المنسوب الوهمي لسطح الماء في الخزان السفلي

— نقوم بجمع هذين الخطين على التفرع(جمع أفقي)

— نرسم الخط المميز للأنبوب AR الذي يعبر عن الفواقد فقط (لأن بدايته ونهايته على نفس المنسوب)

— نجمع على التسلسل الخط المميز المكافئ للأنبوبين RB و RC مع الخط المميز للأنبوب AR فنحصل على الخط المميز المكافئ للمنظومة. وتكون نقطة العمل هي W نقطة التقاطع مع المنحني المميز للمضخة

ملحوظة: منسوب النقطة R لا يؤثر على حل المسألة ويمكن حلها دون معرفته. لذلك يمكن اعتباره مساوياً لمنسوب الماء في الخزان السفلي تسهيلاً للحل


H
1
Hp
((rC+rB)r+rA)s
6
rC
rB
W
(rC+ rB)r
2
4
3
rA
5
H st B
H st C
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
QC
QB
QA
Q

الحل التحليلي:

$$Pa_B/\gamma + Hgeo_B = Pe_A/\gamma + Hp - a_A * Q_A^2 - a_B * Q_B^2 \quad (1)$$

$$Pa_C/\gamma + Hgeo_C = Pe_A/\gamma + Hp - a_A * Q_A^2 - a_C * Q_C^2 \quad (1)$$

$$Q_A = Q_B + Q_C \quad (3)$$

$$Hp = f(Q_A)$$

هذا الحل صحيح فقط عندما تكون المضخة قادرة على إيصال المياه إلى الخزانين، وإلا سيكون الحل على أساس أن المضخة والخزان العلوي يغذيان الخزان السفلي

$$Pa_B/\gamma + Hgeo_B = Pe_A/\gamma + Hp - a_A * Q_A^2 - a_C * Q_C^2 \quad (1)$$

$$Pa_B/\gamma + Hgeo_B = Pa_C/\gamma + Hgeo_C - a_B * Q_B^2 - a_C * Q_C^2 \quad (2)$$

$$Q_C = Q_B + Q_A \quad (3)$$

الحالة الرابعة :

يبين الشكل (٧-١٣) منظومة ضخ مؤلفة من مضختين تقومان بضخ الماء من خزانين بمنسوبين مختلفين عبر أنبوبين B , A ومن ثم يتم تجميع هذين الأنبوبين في أنبوب واحد C . ولإيجاد نقطة العمل نقوم بما يلي :

١ - نرسم المنحنيات المميزة r_A , r_B , r_C للأنابيب الثلاثة .

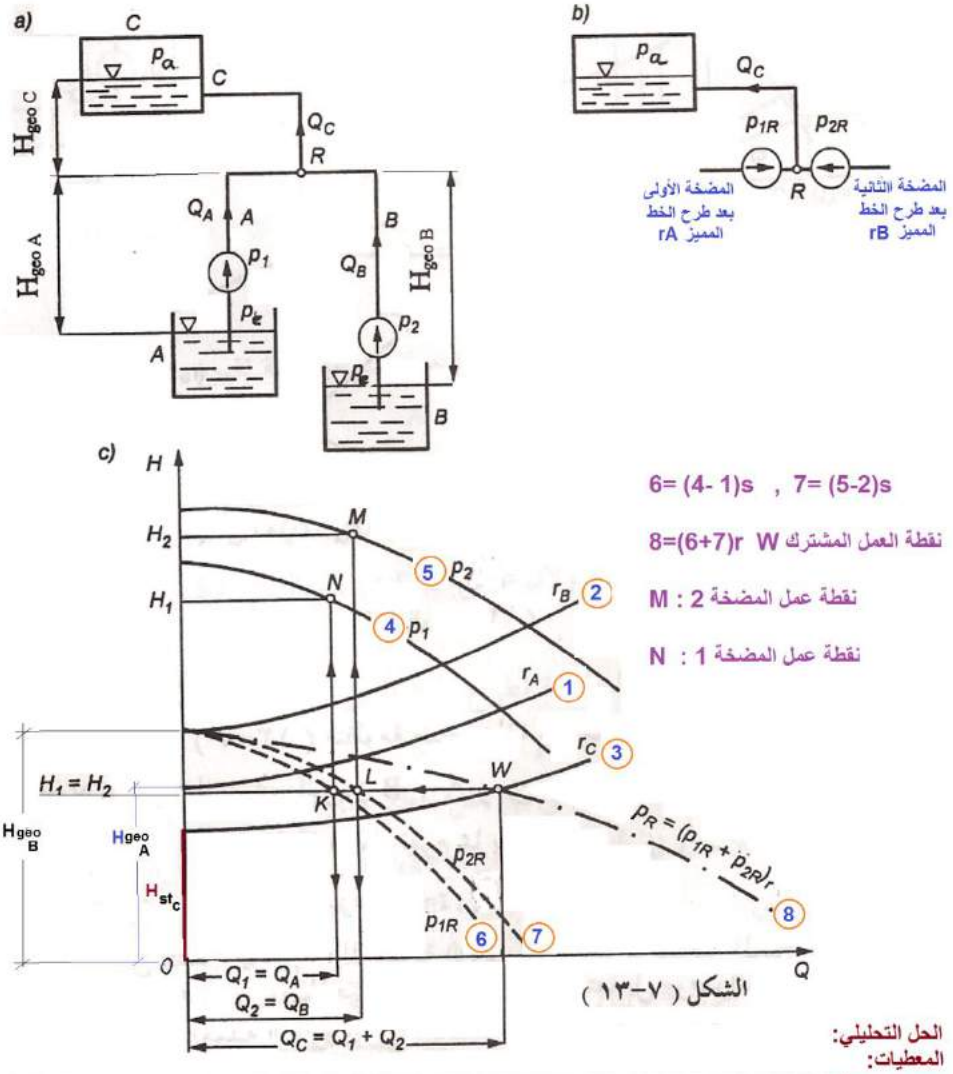
٢ - من المنحني المميز p_1 للمضخة الأولى نقوم بطرح المنحني المميز r_A للأنبوب A فنحصل على المنحني المميز المعدل p_{1R} للمضخة الأولى .

٣ - نكرر العملية السابقة نفسها بالنسبة للمضخة الثانية فنحصل على المنحني المعدل p_{2R} للمضخة الثانية .

٤ - نفترض أن المضختين بعد التعديل موصولتان على التوازي ، ونقوم برسم

المنحني المميز لهما p_R .

٥ – نجري تقاطع المنحني المميز p_R مع المنحني المميز r_C للأنبوب C فنحصل على نقطة العمل W للمنظومة .



الشكل (٧-١٣)

6= (4- 1)s , 7= (5-2)s

8=(6+7)r نقطة العمل المشترك W

M : 2 نقطة عمل المضخة

N : 1 نقطة عمل المضخة

الحل التحليلي:

المعطيات:

Hp1=f1(Q1) , Hp2=f2(Q2) , hA=f3(Q1) ,hB=f4(Q2),hC=f5(Q) حيث: hA , hB,hC تابع الفواقد فقط في الأنابيب

المجاهيل: (Q1) ,(Q2), (Q)

معادلات الحل هي معادلتا الطاقة بين كل من سطحي السائل في الخزانين السفليين وسطح السائل في الخزان العلوي ومعادلة الاستمرار في العقدة R

Ec=EA+Hp1-hA-hc , Ec=EB+Hp2-hB-hc , Q=Q1+Q2

٦ – لحساب الغزارة المارة في كل مضخة ، نرسم خطاً أفقياً من النقطة W فيتقاطع مع المنحنيين p_{1R} , p_{2R} في النقطتين K , L ، وتكون الغزارة المارة في المضخة الأولى والأنبوب A هي Q_A والغزارة المارة في المضخة الثانية والأنبوب B هي Q_B .

٧ – لحساب قيمة ضاغط كل مضخة ، ننشئ من النقطتين L , K خطين شاقوليين فيتقاطعان مع المنحنيين المميزين الأصليين p_2 , p_1 للمضختين في النقطتين M , N فيكون ضاغط الأولى هو H_1 والثانية هو H_2 .

وعند تحديد المنحنيات المميزة للأنابيب الثلاثة يتم حساب الضاغط الستاتيكي من العلاقات التالية :

$$H_{st\,C} = H_{geo\,C} + \frac{(P_a - P_e)}{\gamma}$$

$$H_{st\,B} = H_{geo\,B}$$

$$H_{st\,A} = H_{geo\,A}$$