

## 4-1-4- تصميم مجموعة مواسير الحفر (Drill String Design):

المقصود بتصميم مجموعة مواسير الحفر : تحديد قطرها والعمق الذي يمكن أن تستعمل عنده ، ذلك أن اختيار نوع المعدن المصنوعة منه يتم اعتماداً على الإجهادات التي يمكن أن تتعرض لها هذه المجموعة .

### 4-1-4-1- تصميم أعمدة الحفر :

#### 1- تحديد قطر أعمدة الحفر :

يتم تحديد قطر رأس الحفر من برنامج التغليف ، أما قطر أعمدة الحفر فيختار تبعاً لقطر رأس الحفر ، وبالتالي لقطر البئر وحسب وضعيته ( شاقولية أو مائلة ) ، أي أن القطر الخارجي لأعمدة الحفر يتراوح بين قطر أصغري و قطر أعظمي [ 23،2]:

- القطر الأعظمي لأعمدة الحفر يعتمد على :

1 - قطر البئر وعلى تكوين فراغ حلقي ( Annular Size ) مناسب لاستعمال أجهزة الاصطياد.

2 - السماح بدوران سائل الحفر بأقل فقدان للضغوط .

3 - خطورة الالتصاق بسبب فرق الضغط التفاضلي .

وفي الجدول ( 4 - 8 ) نوضح اختيار قطر أعمدة الحفر كتابع لقطر رأس الحفر .

- أما القطر الخارجي الأصغري لأعمدة الحفر فيتعلق مباشرةً بقساوة أعمدة الحفر . يحدد القطر الأصغري لأعمدة الحفر التي يمكن أن تستخدم لحفر بئر بقطر نموذجي مع الأخذ

قطر رأس الحفر (in)	القطر الخارجي لأعمدة الحفر (in)	القطر الداخلي لأعمدة الحفر (in)
12 <sup>1/4</sup> - 24	9 <sup>1/2</sup>	3
9 <sup>7/8</sup>	7 <sup>3/4</sup> - 8	2 <sup>13/16</sup>
8 <sup>1/2</sup> - 8 <sup>3/4</sup>	6 <sup>3/4</sup>	2 <sup>13/16</sup>
6 - 6 <sup>3/4</sup>	4 <sup>3/4</sup>	2 <sup>1/4</sup>

الجدول ( 4 - 8 ) : اختيار قطر أعمدة الحفر كتابع لقطر رأس الحفر .

الاعتبار ثبوتية الجزء السفلي من مجموعة مواسير الحفر ) Bottom ( باستخدام مبدأ النواس بالعلاقة الآتية : ( Hole Assembly ( BHA )

$$D_{ec} = 2D_{ecsg} - D_B \quad ( 60 - 4 )$$

حيث أن :  $D_{ecsg}$  - القطر الخارجي لمواسير التغليف عند الرأس ( النهاية المغلطة ) .

$D_B$  - قطر رأس الحفر .

واعتماداً على هذه العلاقة فإنه يمكن أن نحصل على القطر الأصغري لأعمدة الحفر المبينة في الجدول ( 4 - 9 ) .

القطر الأصغري لأعمدة الحفر in.	أقطار مواسير التغليف ( in )		قطر رأس الحفر ) قطر البئر ( ، in
	القطر الخارجي عند الرأس	القطر الخارجي عند الجسم	
6.562	7.656	7	$8^{1/2}$
9	10.625	$9^{5/8}$	$12^{1/4}$
11.250	14.375	$13^{3/8}$	$17^{1/2}$
15.500	19.750	$18^{5/8}$	24

الجدول ( 4 - 9 ) : اختيار القطر الأصغري لأعمدة الحفر .

## 2- تحديد الطول الأصغري لأعمدة الحفر :

الطول الأصغري لأعمدة الحفر الذي يجب إنزاله في البئر يحدد من العلاقة الآتية:

$$L_{DC} = \frac{W_{OB}}{\cos \alpha \cdot C \cdot q_C \cdot b} \quad ( 4 - 61 )$$

حيث أن :  $L_{DC}$  - طول أعمدة الحفر المطلوب ، m

$W_{OB}$  - الحمل الذي سوف يترك على رأس الحفر ، والذي يحدد تبعاً لقساوة الصخر ، وبحيث يكون كافياً لتحطيمه .

$\alpha$  - زاوية ميل البئر عن الشاقول .

$C$  - متحول يبين النسبة من طول أعمدة الحفر التي تستخدم في التحميل على رأس الحفر ، ويحدد قيمته مهندس البئر وذلك تبعاً لطريقة الحفر ( حفر عادي أو تليبي ) .

$q_C$  - وزن واحدة الطول من أعمدة الحفر ( kgf/m ) .

$b$  - عامل الطفو ( Buoyancy Factor ) ويحسب من العلاقة ( 4-3 ) .

## 4-1-4-2 تصميم مواسير الحفر :

## 1- تحديد قطر مواسير الحفر :

يحدد قطر مواسير الحفر بحيث يكون الضغط الضائع في أثناء دوران سائل الحفر في البئر أصغرياً [ 1، 6 ] ، أي يجب أن يتحقق الشرط الآتي :

$$\Delta P_{ip} + \Delta P_{ep} = \min \quad ( 62 - 4 )$$

حيث أن :

$\Delta P_{ip}$  - الضغوط الضائعة نتيجة جريان سائل الحفر داخل مواسير الحفر  $Pa(N/m^2)$  ويحدد بالعلاقة الآتية :

$$\Delta P_{ip} = A \frac{Q^2 \cdot \gamma_f \cdot L}{d_i^5} \quad ( 63-4 )$$

$\Delta P_{ep}$  - الضغوط الضائعة نتيجة جريان سائل الحفر خارج مواسير الحفر  $Pa(N/m^2)$  ويحدد بالعلاقة الآتية :

$$\Delta P_{ep} = B \frac{Q^2 \cdot \gamma_f \cdot L}{(D_B - d_e)^3 (D_B + d_e)^2} \quad ( 64-4 )$$

حيث أن :

$Q$  - غزارة سائل الحفر ،  $m^3/s$

$d_i$  - القطر الداخلي لمواسير الحفر وهو يعين من العلاقة الآتية :

$$d_i = d_e - 2t \quad ( 56-4 )$$

$d_e$  - القطر الخارجي لمواسير الحفر .

$t$  - سماكة جدار مواسير الحفر .

$D_B$  - قطر رأس الحفر أو قطر البئر .

$\gamma_f$  - الوزن النوعي لسائل الحفر .

$L$  - طول مواسير الحفر (  $L = H$  ،  $H$  عمق البئر ) .

$A, B$  - معاملات المقومات الهيدروليكية داخل مواسير الحفر وخارجها على التوالي .

يمكن تحديد قطر مواسير الحفر بالطرق الآتية [6،27]:

## آ - الطريقة الرياضية :

من أجل تحديد قطر مواسير الحفر بالطريقة الرياضية نعوض العلاقاتين ( 63-4 ) ( 64-4 ) في العلاقة ( 4 -

62 ) فنحصل على العلاقة :

$$( 66-4 ) A \frac{Q^2 \cdot \gamma_f \cdot L}{d_i^5} + B \frac{Q^2 \cdot \gamma_f \cdot L}{(D_B - d_e)^3 (D_B + d_e)^2} = \min$$

لتحقيق الشرط المحدد بالعلاقة ( 4 - 62 ) يجب أن يكون مشتق العلاقة (4-66) بالنسبة إلى نصف القطر يساوي الصفر ، أي :

$$\frac{d(\Delta P)}{d(d_e)} = 0 \quad (67-4)$$

باشتقاق العلاقة ( 4-66 ) وحلها بالنسبة لقطر المواسير ، وهو المجهول الوحيد فيها نحصل على القيمة المثالية لهذا القطر .

## ب - الطريقة البيانية :

تترافق الطريقة الرياضية ببعض الصعوبات ، لذلك يحدد قطر مواسير الحفر بالطريقة البيانية وفق الخطوات الآتية :

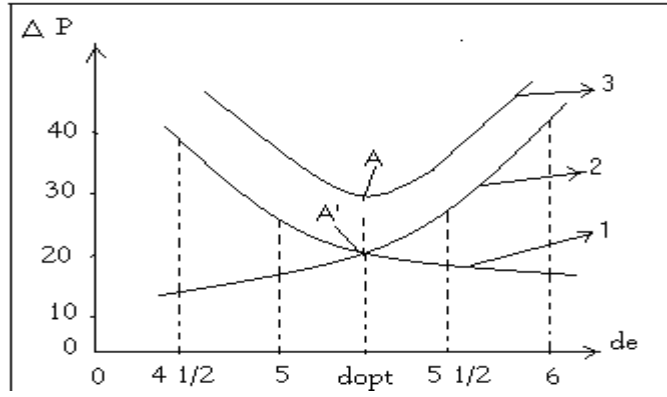
- 1 - تؤخذ عدة أقطار لمواسير الحفر ( ثلاثة أقطار على الأقل ) ، وكلما كان العدد أكبر كانت الطريقة أكثر دقة .
  - 2 - تحسب الضغوط الضائعة داخل هذه المواسير وخارجها مع الأخذ بالاعتبار الشروط التي سوف تصادف في البئر من غزارة سائل الحفر وخواصه .
  - 3 - تمثل قيم الضغوط الضائعة بيانياً بالعلاقة مع تغير أقطار المواسير  $(( \Delta P_i , \Delta P_e ) = f ( d_e ))$  ، ثم منحنى تحول الضغط الكلي الذي تتعرض له مضخات سائل الحفر داخل مواسير الحفر وخارجها ( منحنى المحصلة ، ويساوي مجموع المنحنيين السابقين ) ، الشكل ( 4-41 ) . وكما يظهر من هذا الشكل فإن لمنحنى المحصلة نهاية صغرى تقابل نقطة تقاطع المنحنيين ، أي تساوي الضغط الضائع داخل المواسير وخارجها . ويقابل نقطة التقاطع هذه قطر لمواسير الحفر يحقق الشرط (4-62) . وقد لا يصنع هذا القطر ، وفي هذه الحالة يؤخذ القطر الأقرب لهذا القطر الحسابي (سواءً الأصغر أو الأكبر) ، والذي يسمى بالقطر المثالي لمواسير الحفر .
- يمكن استخدام نتائج الطريقة البيانية في تبسيط الحل الرياضي على النحو الآتي : إن نقطة تقاطع المنحنيين ( 1 و 2 ) تقابل تساوي الضغط الضائع داخل المواسير وخارجها ، أي :  $\Delta P_i = \Delta P_e$  أي أن :

$$(68-4) \frac{A}{d_i^5} = \frac{B}{(D_B - d_e)^3 (D_B + d_e)^2}$$

ويمكن افتراض أن  $A = B$  عندئذ يكون :

$$(69-4) \frac{1}{d_i^5} = \frac{1}{(D_B - d_e)^3 (D_B + d_e)^2}$$

وهذه العلاقة تحوي مجهول واحد هو القطر الخارجي  $( d_e )$  ( لأن القطر الداخلي  $d_i$  يمكن حسابه من القطر الخارجي بمعرفة سماكة الجدار .



الشكل (4-41) تحول الضغط الضائع تبعاً لقطر مواسير الحفر .

- 1- منحنى تحول الضغط الضائع داخل المواسير .
- 2- منحنى تحول الضغط الضائع خارج المواسير .
- 3- منحنى المحصلة للضغط الضائع داخل المواسير وخارجها .

في العلاقات السابقة تم فرض أن للمواسير قطرين داخلي وخارجي ثابتين ، أي أنها لا تحوي وصلات أو نهايات مغلظة ، ولذلك ، ومن أجل المواسير الحقيقية ، حيث تستخدم وصلات ذات أقطار داخلية وخارجية متغيرة وتختلف عن قطر مواسير الحفر يؤخذ قطر أصغر من القطر الحسابي .

## 2- تحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفر ذات قطر معين :

لتحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفر ذات قطر معين نميز الحالات الآتية [29،6] :

أولاً - المواسير معرضة لجهد الشد فقط :

هذه الحالة تصادف عند الحفر التوربيني أو الحفر بمحركات مغمورة . وتوجد حالتان :

آ - مجموعة المواسير متجانسة القطر :

عند استخدام مجموعة مواسير حفر متجانسة القطر (إما مواسير حفر أو أعمدة حفر) فإن القيمة العظمى لجهد الشد

تعطى بالعلاقة :

$$\sigma_s = \left( \frac{\sigma_c}{C_t} \right) = L_P \cdot q_P \left( 1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_o} \right) \frac{1}{A_P} \quad (70-4)$$

وبالتالي فإن طول مواسير الحفر يحسب بالعلاقة :

$$l_P = \frac{\sigma_c}{C_t} \cdot \frac{1}{\gamma_o - \gamma_f} \quad (71-4)$$

حسب هذه العلاقة فإنه لا يمكن استخدام مواسير الحفر بمفردها ( أي دون وجود أعمدة حفر ) ، لأن مواسير الحفر لا يمكنها تأمين الحمل المطلوب على رأس الحفر ، ولذلك فإن هذه العلاقة تستخدم عندما تكون مجموعة مواسير الحفر مكونة من أعمدة الحفر فقط ( دون وجود مواسير الحفر ) ، وهذا ما يطبق عملياً أثناء حفر المرحلة السطحية، وذلك لإنجازها بأكثر شاقولية ممكنة ( بسبب القساوة الكبيرة لأعمدة الحفر )

#### ب - مجموعة المواسير غير متجانسة القطر :

تستخدم في هذه الحالة مواسير حفر وأعمدة حفر . القيمة العظمى لجهد الشد في هذه الحالة عند الطرف العلوي لمواسير الحفر تعطى بالعلاقة :

$$\sigma_s = \left( \frac{\sigma_c}{C_t} \right) = \frac{(l_p \cdot q_p + l_c \cdot q_c)}{A_p} \left( 1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_o} \right) \quad (72 - 4)$$

ويكون طول المواسير في هذه الحالة :

$$l_p = \frac{\sigma_c}{C_t} \cdot \frac{1}{\gamma_o - \gamma_f} - l_c \cdot \frac{A_c}{A_p} \quad (73 - 4)$$

حيث أن :  $A_p, A_c$  - مساحة المقطع العرضي لأعمدة الحفر ، ثم لمواسير الحفر .

ثانياً - المواسير معرضة لجهد الشد والفتل ( حالة الحفر الطاحوني ) :

آ - عند استخدام مجموعة مواسير حفر متجانسة القطر :

في هذه الحالة فإن الجهد المكافئ لكل من جهدي الشد والفتل يعطى بالعلاقة :

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_s^2 + 4\tau^2} \quad (74-4)$$

حيث أن :

$\sigma_s$  - جهد الشد ، ويعطى بالعلاقة (72 - 4) .

$T$  - جهد الفتل الذي تتعرض له المواسير ، ويعطى بالعلاقة :

$$\tau = \frac{M}{W_p} \quad (75 - 4)$$

$M$  - جهد الفتل الذي تتعرض له المواسير .

$W_p$  - معامل المقاومة العرضي للمواسير .

ويكون طول المواسير :

$$l_p = \frac{1}{\gamma_o - \gamma_f} \sqrt{\left( \frac{\sigma_c}{C_t} \right)^2 - 4\tau_{\max}^2} \quad (76 - 4)$$

ب - عند استخدام مجموعة مواسير حفر غير متجانسة القطر ( أعمدة حفر ومواسير حفر ) :

جهد الشد الذي تتعرض له مواسير الحفر في هذه الحالة يعطى بالعلاقة ( 4-70 ). بتعويض هذه العلاقة في

العلاقة ( 4-74 ) نجد أن طول مواسير الحفر يساوي :

$$l_P = \frac{1}{\gamma_o - \gamma_f} \sqrt{\left(\frac{\sigma_C}{C_t}\right)^2 - 4\tau_{\max}^2} - l_C \cdot \frac{A_C}{A_P} \quad (77 - 4)$$

**ملاحظة ( 1 ) :** في العلاقات السابقة فرضنا أن البئر شاقولية ، كما أخذنا في الاعتبار تأثير عامل الطفو ، لذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار احتمال ميل البئر والزيادة في جهد الشد أثناء رفع مجموعة مواسير الحفر ، والنتيجة عن احتكاكها مع جدران البئر ، هذه الزيادة تؤخذ عادةً 20% من وزن مجموعة المواسير ، ويمكن تغطيتها بزيادة قيمة عامل الأمان بحيث تكون قريبة من  $C_t = 2$  ، كما أن طول مواسير الحفر في الآبار الاستكشافية يحسب بإهمال عامل الطفو ، ويمكن استخدام عامل أمان كبير يغطي مثل هذه الزيادة .

**ملاحظة ( 2 ) :** قطر الوصلات يختار تبعاً لقطر مواسير الحفر ، الذي يحدد بدوره بحيث تتعرض مضخات سائل الحفر لأصغر ضغط ممكن أثناء ضخها لسائل الحفر ضمن هذه المواسير .

## 4-1-4-3-مواسير الحفر المركبة(Compound drillpipes)

### 4-1-4-3-1- حساب مواسير الحفر المركبة :

فيما سبق فرضنا أن مواسير الحفر متجانسة من حيث القطر وسماكة الجدار . إذا كان عمق الإنزال الحدي لمواسير المتجانسة أقل من عمق البئر ، تستخدم عندئذٍ مواسير الحفر المركبة ، وهي مؤلفة من عدة أقسام ذات أقطار مختلفة . وفي أغلب الحالات تستخدم مواسير حفر مركبة من قسمين : قسم علوي ذي قطر كبير ، وآخر سفلي ذي قطر أصغر . تمكن هذه المواسير من الحفر لأعماق أكبر من المواسير البسيطة المكونة من قسم واحد (بقطر موحد) ، وتعرض مضخات سائل الحفر لضغط أقل من الضغط الذي تتعرض له عند استخدام مواسير حفر ذات قطر مساوي لقطر مواسير القسم السفلي .

من أجل تعيين طول كل من قسمي المواسير نفرض أن المواسير تتعرض لجهد الشد فقط ( الحفر توربيني ) وأن قيمة جهد الشد واحدة عند طرفيهما العلويين ، أي أن جهد الشد عند الطرف العلوي للمواسير العليا يساوي جهد الشد عند الطرف العلوي للمواسير السفلي ، أي أن :

$$\sigma_{Si} = \sigma_{SS} \quad (78-4)$$

وهنا توجد حالتان [ 6,23]:

1 - عندما تستخدم مواسير حفر فقط ( دون أعمدة حفر ) :

طول القسم السفلي من المواسير ( ذات القطر الأصغر من القسم العلوي ) :

$$l_{ip} = \frac{L_P}{\frac{2q_{ip}}{q_{sp}}} \quad (79 - 4)$$

طول القسم العلوي من المواسير يعطى بالعلاقة :

$$l_{sp} = \frac{L_P (q_{sp} - q_{ip})}{2q_{sp} - q_{ip}} \quad (80 - 4)$$

2 - عند عدم تجانس مجموعة مواسير الحفر ( أي وجود مواسير مركبة وأعمدة حفر ) :

طول القسم السفلي من المواسير يعطى بالعلاقة :

$$l_{ip} = \frac{l_C \cdot q_C \left( \frac{1}{q_{sp}} - \frac{1}{q_{ip}} \right) + l_{sp}}{1 - \frac{q_{ip}}{q_{sp}}} \quad (81 - 4)$$

طول القسم العلوي من المواسير يعطى بالعلاقة :

$$l_{sp} = \frac{L_P + l_C \frac{q_C}{q_{ip}} - l_C}{\frac{2q_{sp} - q_{ip}}{q_{sp} - q_{ip}}} \quad (82 - 4)$$

حيث أن :  $L_P$  - الطول الكلي لمجموعة مواسير الحفر ( ويساوي عمق البئر ) .

$q_{ip}$  - وزن واحدة الطول لمواسير الحفر في القسم السفلي .

$q_{sp}$  - وزن واحدة الطول لمواسير الحفر في القسم العلوي .

#### 4-1-4-3-2 - كيف يتم استخدام مواسير الحفر المركبة :

يتم استخدام مواسير الحفر المركبة على النحو التالي :تستعمل في البداية مواسير الحفر ذات القطر الكبير فقط بعمق مساو لطول هذه المواسير ، بعد ذلك ترفع وتطرح جانباً على المنصة الخاصة بالمواسير وتستبدل بالقطر الأصغر منها وبالطول المحدد ، ثم تتبع بمواسير النوع الأول ، ومع تزايد عمق البئر تضاف مواسير هذا النوع ، وهكذا حتى الوصول إلى العمق النهائي للبئر .