

# المحاضرة 13

## الفصل العاشر

### مشاكل إنتاج الغازات الطبيعية

تواجه عمليات إنتاج الغاز بعض المشاكل الحقلية المتعلقة بالخواص الجيولوجية للطبقة المنتجة وبالنظام التكنولوجي لعمل الآبار وبخواص الموائع الطبقيّة وتركيبها...إلخ. وسوف نستعرض أهم هذه المشاكل وطرق تلافيها.

**10-1- إجهاد مواسير التغليف الإنتاجية بالضغط والحرارة**  
تتعرض مواسير التغليف لإجهادات محورية ناتجة عن تأثير قيم الضغط والحرارة العالية، فقد تصل درجة حرارة الطبقة إلى حوالي 150C°.

من خلال نظريات مقاومة المواد، نعلم بأنه تظهر في المعادن إجهادات شد أو انضغاط بتأثير تغير درجة الحرارة ويمكن حساب قيمة هذه الإجهادات بالعلاقة:

$$\sigma_t = \alpha E(t_2 - t_1) \quad (10-1)$$

حيث أن:

$\alpha$  - معامل التمدد الحراري للمعدن.  $E$  - معامل مرونة المعدن.  
 $t_1$  - درجة الحرارة الأولية.  $t_2$  - درجة الحرارة النهائية.

إذا كانت إشارة نتيجة الحساب بالمعادلة (10-1) موجبة فهذا يعني أن الجملة تخضع لإجهاد الشد، وعندما تكون الإشارة سالبة فالجملة تحت تأثير إجهاد الانضغاط، وتتناسب قيمة الإجهادات طردياً مع الفرق في درجة الحرارة نظراً لكون قيم  $\alpha$  و  $E$  ثابتة لمعدن مواسير التغليف من النوع الواحد.

أجريت مجموعة من الأبحاث التجريبية والنظرية لدراسة تأثير الضغط الداخلي على مواسير التغليف، وقد تم التوصل إلى النتائج التالية:

1 - تتعرض مواسير التغليف لإجهادات محورية ومماسية تحت تأثير الضغط الداخلي وعند تثبيت المواسير على السطح بهدف الحد من الإجهادات المحورية، تظهر إجهادات إضافية

2 - بسبب ازدياد الضغط الداخلي ضمن مواسير التغليف، ظهور جهد ناتج عن التمدد وذلك عند التثبيت المحكم لنهايات المواسير

وبهذا الشكل تتعرض مواسير التغليف للتمدد بالاتجاه المحوري بتأثير الحرارة والضغط. وإن الحد من هذا التمدد عن طريق تثبيت النهايات يؤدي إلى ظهور إجهادات انضغاط وبالتالي تشوه نقاط الوصل بين المواسير سواء أكانت شرارات أم لحام.

بهدف تحاشي هذه المشكلة، من الضروري تأمين الشروط التي من أجلها ينتج تمدد أو استطالة في المواسير بتأثير الضغط والحرارة. ويتم تحقيق ذلك باحتساب حمولة إضافية زائدة عن وزن الجزء غير المسمنت من المواسير، حيث يحسب وزن هذا الجزء بغض النظر عن أنه مغمور في السائل.

يمكن حساب الإجهادات الإضافية في مواسير التغليف الإنتاجية كما يلي:

1- يحدد مجموع الإجهادات الإضافية بالعلاقة:

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_t \quad (10-2)$$

حيث أن:

$\sigma_p$  - الإجهاد الإضافي الناتج عن تأثير الضغط  $\text{kgf/cm}^2$ .

$\sigma_t$  - الإجهاد الحراري الإضافي.  $\text{kgf/cm}^2$ .

2- تحسب قيمة  $\sigma_p$  بالعلاقة:

$$\sigma_p = \frac{u}{2\delta} \left[ p_{c_1} \cdot d + \frac{(\rho_d - \rho_l D)L_1}{20} \right] \quad (10-3)$$

حيث أن:

$u$  - معامل بواسون.  $\delta$  - السماكة الوسطية لجدار المواسير غير المسمنتة  $\text{cm}$ .

$p_{c1}$  - قيمة الضغط الأعظمي في مواسير التغليف ( عند الفوهة ) خلال فترة استثمار البئر  $\text{kgf/cm}^2$ .

$d$  - القطر الداخلي الوسطي لمواسير التغليف  $\text{cm}$ .

$D$  - القطر الخارجي لمواسير التغليف.

$\rho$  - كثافة الغاز عند الضغط  $p_{c1}$   $\text{gr/cm}^3$ .

$\rho_1$  - كثافة السائل الموجود خلف المواسير  $\text{gr/cm}^3$ .

$L_1$  - طول الجزء غير المسمنت من مواسير التغليف  $\text{cm}$ .

3- تحسب قيمة  $\sigma_t$  بالعلاقة:

$$\sigma_t = -\alpha E \Delta t \quad (10-4)$$

حيث أن:

$$\alpha = 13 \times 10^{-6} \text{.C}^{-1}, \quad E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$\Delta t$  - القيمة الوسطية لتغير درجة حرارة المواسير.

4- من أجل الحسابات العملية، يمكن وبدقة كافية حساب قيمة  $\Delta t$  بالعلاقة:

$$\Delta t = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 + t_3)}{2} \quad (10-5)$$

حيث أن:  $t_1$  - القيمة الوسطية لدرجة حرارة التربة المحيطة بفوهة البئر  $^{\circ}\text{C}$ .

$t_2$  - حرارة الغاز عند فوهة البئر خلال عملية الاستثمار  $^{\circ}\text{C}$ . وتعين بالقياس

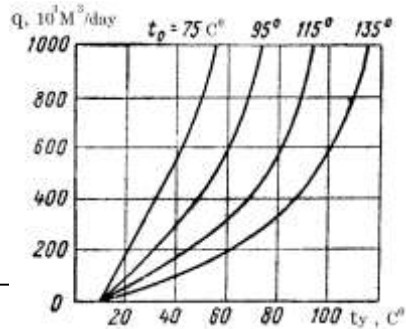
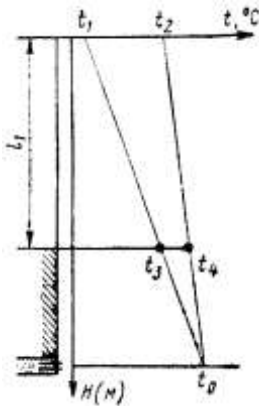
المباشر أو من خلال الشكل (10-1).

$t_3, t_4$  - درجة حرارة الصخور والغاز في المجال أسفل الخاتم الإسمنتي  $^{\circ}\text{C}$ .

ويمكن تحديد قيم كل من  $t_3, t_4$  عن طريق رسم منحنى التدرج الحراري في البئر .

الشكل (10-2). تعتبر قيمة درجة حرارة الغاز وصخور الطبقة المنتجة واحدة ومساوية

للتدرج الحراري الجيولوجي  $t_0$ .



الشكل (10-1) مخطط لتحديد درجة حرارة الغاز عند فوهة البئر  
 الشكل (10-2) يوضح التوزيع الحراري في البئر  
 الجزء غير المسمنت من مواسير التغليف  $L_1$

5- بعد حساب المجموع  $(\sigma_p + \sigma_t)$  يمكن إيجاد الشد الإضافي في المواسير:

$$p_d = F(\sigma_p + \sigma_t) \quad (10-6)$$

حيث أن:

F- مساحة المقطع المعدني للمواسير عند مستوي الخاتم الإسمنتي  $\text{cm}^2$ .

وبذلك يكون الشد الكلي المؤثر في المواسير المثبتة عند فوهة البئر:

$$P = P_{k_0} + P_d \quad (10-7)$$

$P_{k_0}$  - وزن المواسير غير المسمنتة في الهواء  $\text{kg}$ .

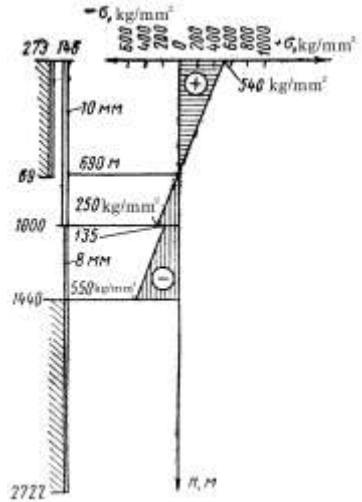
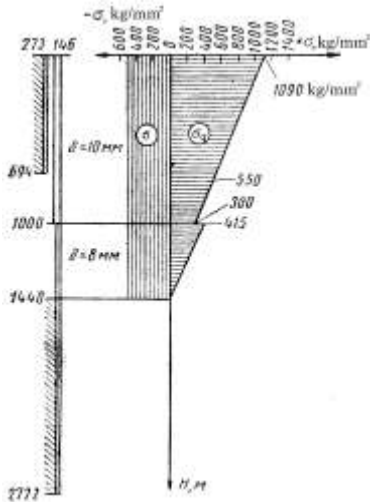
مثال:

بئر غازي مجهز بمواسير تغليف إنتاجية قطر 146mm موضح بالشكل (10-3).  
 بفرض أن:

$$\sigma_t = -950 \text{ kgf/cm}^2, \quad \sigma_p = 400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma = 400 - 950 = -550 \text{ kgf/cm}^2$$

نرسم مخطط الإجهاد الناتج عن وزن المواسير والإجهاد الإضافي نتيجة تأثير الضغط والحرارة. الشكل (10-3). بجمع الإجهادات نحصل على توزعها على طول المواسير خلال عملية الاستمرار الشكل (10-4).



الشكل (10-3) مخطط الإجهاد على طول المواسير تحت تأثير وزنها  $\sigma q$  وتأثير الحرارة والضغط  $\sigma$

الشكل (10-4) مخطط محصلة الإجهادات خلال عملية استثمار البئر

يلاحظ أن الجزء السفلي للمواسير (960-1440)M سوف يقع تحت تأثير الانضغاط وبقيمة عظمى  $550 \text{ kg/cm}^2$  تحت مستوى الخاتم الإسمنتي مباشرة.

من أجل تلافي ظهور قوى الانضغاط، فإنه لابد من تطبيق تقوية إضافية زيادة على (وزن الجزء غير المسمنت في الهواء  $46720 \text{ kg}$ ):

$$p_d = \sigma F = 550 \times 34.68 = 19100 \text{ kg}$$

حيث أن:  $F = 34.68 \text{ cm}^2$  من أجل السماكة  $8 \text{ mm}$  بالنسبة للمواسير  $146 \text{ mm}$ .  
وبذلك يكون الشد الإجمالي:

$$p = p_{k_0} + p_d = 46720 + 19100 = 65920 \text{ kg} = 66 \text{ ton}$$

## 10-2- السدادات الرملية:

تتشكل السدادات الرملية في قاع الآبار المنتجة من طبقات هشة وغير متماسكة، وقد يصل طول السدادة إلى قيم م تعتبره بحيث تغطي كامل المجال المتقرب وأحياناً يبلغ ارتفاعها بحدود (200-400)M. أثبتت الدراسات أن السدادة الرملية في الآبار الغازية تؤدي إلى الإخلال بنظام عملها وتؤثر بشكل كبير على إنتاجيتها من خلال التأثير على معامل تمامية البئر من ناحية درجة فتح الطبقة. يوضح الشكل (10-5) تأثير الارتفاع

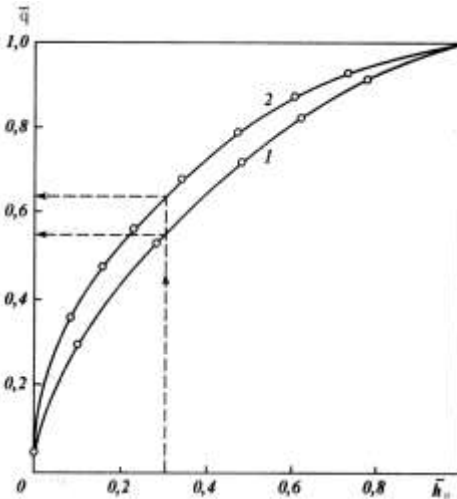
النسبي  $\bar{h}_p$  للسدادة الرملية على إنتاجية

الآبار الشاقولية وذلك من أجل قيم مختلفة

لنفوذية السدادة الرملية  $k_p = k$ .

(المنحني رقم 1) و  $k_p = 50k$  (المنحني

رقم 2).



### الشكل (10-5)

تغير الإنتاجية النسبية للبئر الشاقولية  
بالعلاقة مع الارتفاع النسبي للسدادة الرملية

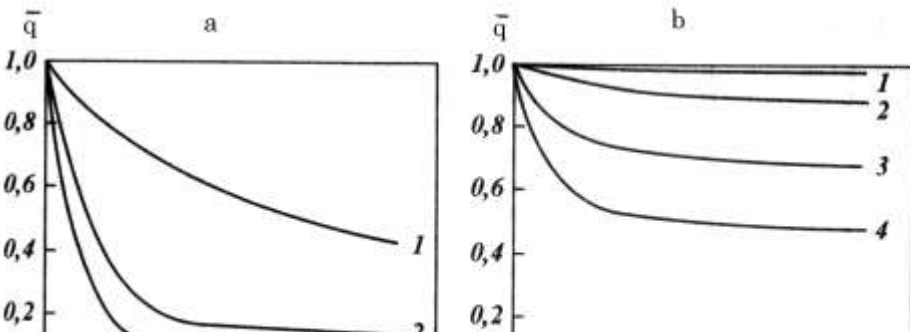
$$1- \text{ من أجل } k_p = k$$

$$2- \text{ من أجل } k_p = 50k$$

نلاحظ من الشكل (10-5) أنه حتى لو كانت نفوذية السدادة الرملية عالية فإنها تؤثر بشكل كبير على إنتاجية البئر . فمن أجل ارتفاعات متساوية للسدادة الرملية يكون الفرق في الإنتاجية بحدود 10%. فمثلاً عندما تكون  $h_p = 0.3$  فإنه من أجل  $k_p = \bar{k}$  نلاحظ أن الإنتاجية النسبية  $\bar{q} = 0.55$  أما من أجل  $k_p = 50k$  فإن الإنتاجية النسبية لا تزداد كثيراً وتصبح  $\bar{q} = 0.65$  من قيمة الإنتاجية بدون وجود سدادة رملية.

يكمُن سبب الانخفاض الكبير في قيمة الإنتاجية في أن تيار الغاز يجري ضمن السدادة الرملية بدلاً من كامل مقطع مواسير التغليف وبذلك تكون ضياعات الضغط كبيرة جداً.

يوضح الشكل (10-6-a-b) كيفية تغير الإنتاجية النسبية عندما تغطي السدادة الرملية المجال المنتج بشكل جزئي أو كامل . كما هو واضح من الشكل (10-6-a) أن سماكة الطبقة تؤثر بشكل ملحوظ على الإنتاجية وذلك عندما يغطي ارتفاع السدادة الرملية كامل الطبقة المنتجة، حيث أنه كلما ازدادت سماكة الطبقة ازداد تأثير السدادة . أما في حالة التغطية الجزئية للطبقة المنتجة فنلاحظ أن تناقص سماكة الطبقة يقابله تناقص تأثير السدادة الرملية. الشكل (10-6-b).



الشكل (10-6) الإنتاجية النسبية مع النسبة  $\frac{k}{k_p}$ .

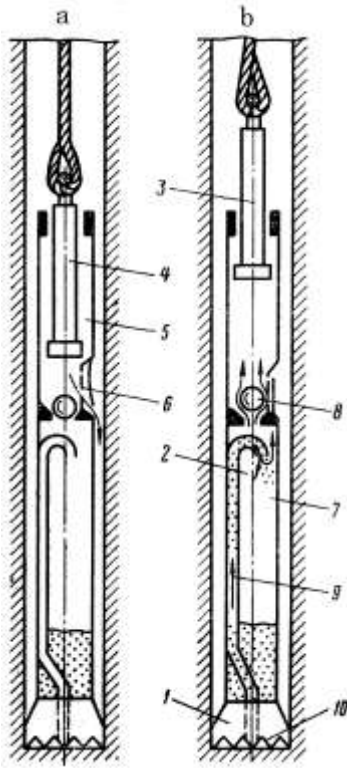
- a- السدادة الرملية تغطيها الطبقة المنتجة ذات السماكة 1,5,10M (المنحنيات 1,2,3) على الترتيب  
b- السدادة الرملية تغطي جزئياً الطبقة المنتجة ذات السماكة 1,10,20,30M (المنحنيات 1,2,3,4) على الترتيب

### 10-2-1- طرق إزالة السدادات الرملية:

من أبسط الوسائل المستخدمة لإزالة الرمال من قيعان الآبار، يستخدم جهاز بسيط يمكن أن نسميه المصيدة، والمصيدة عبارة عن ماسورة معدنية ذات قطر (75-100)MM مزودة بنهايتها السفلى بصمام كروي ومن الأعلى بقبضة تربط مع كبل. يبلغ طول الماسورة بحدود (8-12)M.

يُنزل الجهاز في البئر بواسطة كبل ملفوف على السطح بواسطة ملف اف، وقبل أن تصل المصيدة إلى أعلى السدادة الرملية بحوالي (10-15)M، يُحرر الكبل من السطح فتسقط تحت تأثير ثقلها لتصطدم بالسدادة الرملية، وبنتيجة ذلك يفتح الصمام الكروي فيدخل الرمل إلى داخل الماسورة تعاد العملية أكثر من مرة وذلك بحسب كمية الرمال المتجمعة

هناك بعض الأنواع من المصائد المجهزة بمكبس داخل الماسورة، حيث يتم شفط الرمال تحت تأثير حركة المكبس نحو الأعلى. إن حركة المكبس نحو الأعلى تؤدي إلى خلخلة في الضغط أسفله فتتحرك الرمال إلى داخل الماسورة.



عندما تكون الرمال متراسة في قعر البئر فإن الطرق المذكورة أعلاه لا تعتبر فعالة، وإنما يستخدم جهاز يعمل على حث الرمال وإزاحتها هيدروليكيًا، هذا الجهاز غير موصول مع السطح بواسطة مواسير، الشكل (10-7).

الشكل (10-7) جهاز حفر هيدروليكي بدون مواسير

يتألف الجهاز الموضح في الشكل (10-7) من

الأقسام التالية:

- 1- رأس حفر (يعمل على مبدأ الدق)، حيث يقوم بتفتيت الرمال.
- 2- مصيدة، تتجمع فيها الرمال.
- 3- مضخة مكبسية، بواسطة هذه المضخة يتم دوران للسائل في المنطقة القاعية.

تتم عملية حث الرمال وإزاحتها وفق الآلية التالية:

- 4 بنتيجة اصطدام الجهاز بقاع البئر الشكل (10-7-a)، فإن مكبس المضخة يتحرك نحو الأسفل مزيحاً أمامه السائل من الحجرة 5 ليخرج من الصمام 6. وعند رفع الجهاز فوق القاع الشكل (10-7-b) يتحرك المكبس نحو الأعلى مشكلاً خلفه خلخلة في الضغط، مما يساعد على شفط السائل الموجود في المصيدة 7 من خلال الصمام الكروي 8 وبنفس الوقت يتم سحب السائل من تحت الدقاق 10 إلى المصيدة عن طريق الأنبوبة المركزية 9، حيث يحمل معه الرمال من القاع. هذه الرمال سوف



تترسب في المصيدة نتيجة نقصان سرعة تيار السائل ، وهكذا تُكرر عملية اصطدام الجهاز بقاع البئر عدة مرات حتى تمتلئ المصيدة بالرمال.

من سليات الطرق المذكورة أعلاه:

- تعتبر ذات فعالية قليلة، بسبب كون كمية الرمال التي تحملها المصيدة إلى

السطح قليلة، خلال كل عملية رفع وإنزال.

- في أثناء عملية الرفع والإنزال، يحصل احتكاك بين عقدة ربط الكبل مع الجهاز

ومواسير التغليف، مما قد يسبب ضرر في المواسير، لذلك ينصح باستخدام هـ ذه

الطرق في الآبار القليلة العمق والتي تتشكل فيها سدادات رملية ليست كبيرة.

تعتبر طريقة الغسل بهدف إزالة الرمال المترسبة في قاع الآبار، من أكثر الطرق

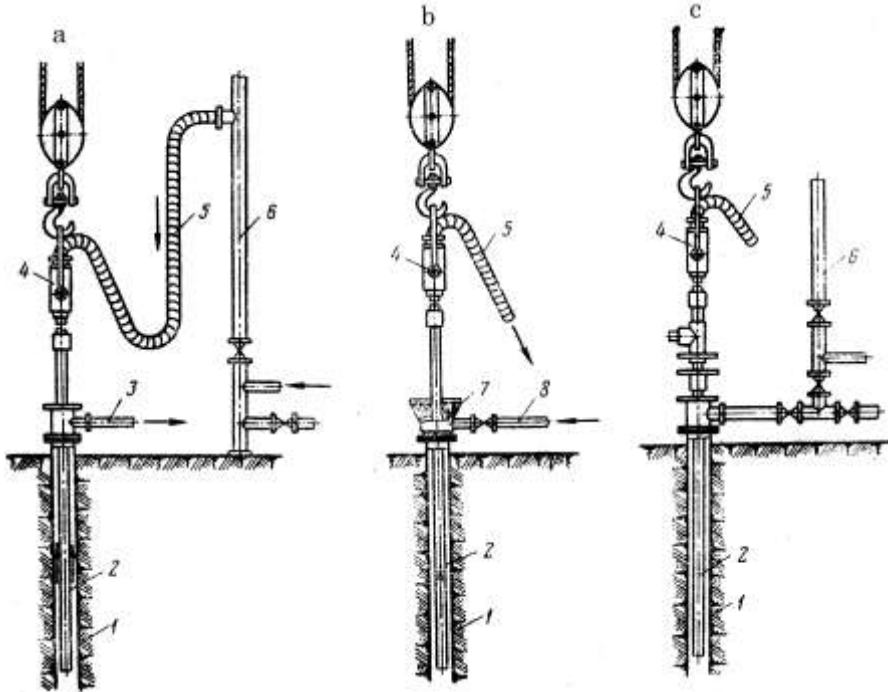
انتشاراً وموثوقية من الناحية العملية، حيث يتم ضخ سوائل بضغط عالٍ في أنابيب

الإنتاج (الغسل المباشر) أو في الفراغ الحلقي (الغسل العكسي) حيث يقوم تيار السائل

باحت السدادة الرملية الشكل (8-10) ومن ثم يرفع الفتات إلى السطح عبر الفراغ

الحلقي أو مواسير الإنتاج. تستمر عملية ضخ السائل في البئر حتى يتم التأكد من انتهاء

السدادة الرملية وذلك بمراقبة السائل الخارج من البئر.



الشكل (10-8) يوضح التجهيزات المستخدمة لغسل السدادات الرملية

a- الغسل المباشر. b- الغسل العكسي. c- الغسل المختلط

- 1- مواسير التغليف الإنتاجية. 2- مواسير الغسل (الإنتاج). 3- خط خروج السائل.
- 4- الرأس الهيدروليكي 5- خرطوم. 6- ماسورة معدنية عمودية. 7- مانعة تسرب 8- خط الضخ

يتميز الغسل العكسي مقارنة مع الغسل المباشر بعدة حسنات:

- تكون سرعة تيار السائل الخارج من البئر عبر مواسير الغسل (الإنتاج) أكبر بكثير من سرعة خروجه عبر الفراغ الحلقي (الغسل المباشر) أمام استطاعة واحدة للمضخات وهذا يساهم بشكل كبير في إنقاص زمن إزاحة السدادة الرملية
- حماية مواسير التغليف من التآكل، حيث يجري السائل المحمل بالرمال ضمن مواسير الغسل.
- يمكن إجراء الغسل العكسي بضغط ليست كبيرة على مخرج المضخة وذلك عندما يمكن الوصول إلى سرعة تيار السائل اللازمة لإزاحة الرمال باستخدام معدلات ضخ ليست كبيرة نسبياً.

وبالمقابل هناك مجموعة من السلبيات منها:

- ضرورة استخدام تجهيزات خاصة لإحكام فوهة البئر.
- سرعة تيار السائل في الفراغ الحلقي ليست كبيرة، وأحياناً لا يمكن تحقيق السرعة المطلوبة لحت السدادة الرملية. ولذلك في مثل هذه الحالات تستخدم طريقة الغسل المختلطة الشكل (10-8-c) التي تتضمن ما يلي:

- يُضخ السائل في مواسير الغسل بهدف رفع فعالية حت الرمال (الغسل المباشر) ومن ثم يوجه السائل إلى الفراغ الحلقي لتحقيق سرعة رفع الفتات عبر مواسير الغسل (الغسل العكسي) وهكذا يوجه السائل بشكل دوري.
- تعتبر عملية الغسل المختلط أكثر تعقيداً من الغسل العكسي، لكنها أكثر فعالية.

تستخدم مجموعة من السوائل في عمليات غسل السدادات الرملية ومنها: الماء – النفط – السوائل الطينية. ومن الطبيعي أن الماء أرخص ثمناً مقارنة مع بقية السوائل، إلا أن استخدامه غالباً ما يعقد عمليات الإحياء والاستثمار اللاحقة، لذلك من الضروري اختيار سائل الغسل، بحيث يناسب ظروف البئر، فالمحاليل الطينية تناسب الآبار التي تخترق طبقات ذات ضغط عالي، أي أنه من المفروض أن يحق للسائل ضغطاً هيدروستاتيكياً لتحاشي اندفاع الموائع الطبقية. عملياً، تصادف بعض الحالات التي يحصل فيها هروب سائل الغسل في الطبقة وخاصة حين تنظيف المجال المقابل للطبقة المنتجة ويصبح من الصعب إجراء دوران. عندئذ من الضروري استخدام الغسل العكسي بواسطة سوائل مهواة.

لابد من الإشارة إلى أن تجهيزات الضخ اللازمة لعملية إزالة السدادات الرملية تكون مركبة على آليات خاصة وتعمل بواسطة محركاتها.

## 10-2-2- الحساب الهيدروليكي لعملية غسل السدادات: الرملية

لإجراء الحساب الهيدروليكي لعملية الغسل، يجب الانطلاق من الأمور التالية:

1- يجب أن تكون سرعة تيار السائل الصاعد ضمن البئر أكبر من سرعة سقوط

الحبيبات الرملية ذات القطر الأكبر بموجب التحليل الحبيبي، أي أن:

$$v_s = v_B - w \quad (10-8)$$

حيث أن:

$v_s$  - سرعة صعود الحبيبات الرملية.

$v_B$  - سرعة صعود تيار السائل.

$w$  - القيمة الوسطية لسرعة سقوط الحبيبات الرملية فيئل البشكول حر(السرعة الحرجة)

فنتوض أن سرعة صعود تيار سائل الغسل، والتي من أجلها لا يزداد تركيز الحبيبات

الصلبة في الفراغ الحلقي أو في مواسير الإنتاج  $v_B = 2w$ ، عندئذ يمكن كتابة

$$v_s = v_B - \frac{v_B}{2} = \frac{v_B}{2} \quad (10-9)$$

بنتيجة الأبحاث المختلفة، تم التوصل إلى قيم سرعة سقوط الحبيبات الرملية مختلفة الأقطار في الماء:

0.3	0.25	0.2	0.1	0.01	mm	قطر الحبيبات الرملية
3.12	2.53	1.95	0.65	0.007	cm/s	قيم السرعة w

2- في أثناء الغسل المباشر، فإن الضياعات الهيدروليكية تحسب بموجب العلاقة:

$$h_1 = \lambda \cdot \frac{H}{d} \cdot \frac{v_n^2}{2} \rho \quad (10-10)$$

حيث أن:

$h_1$  - ضياع الضغط في المواسير Pa.

H - طول مواسير الغسل M.

d - القطر الداخلي للمواسير M.

$v_n$  - سرعة السائل النازل في المواسير.

$\lambda$  - معامل الضياع بالاحتكاك، حيث يمكن حسابه من العلاقات الخاصة أو يمكن

اعتماد القيم التي حُدثت تجريبياً:

48	60	73	89	114	mm	قطر المواسير
0.04	0.037	0.035	0.034	0.032		$\lambda$

أما ضياع الضغط في أثناء صعود السائل ضمن الفراغ الحلقي فيحسب بالعلاقة:

$$h_2 = \lambda_1 \cdot \lambda \cdot \frac{H}{D - d_1} \cdot \frac{v_B}{2} \rho \quad (10-11)$$

حيث أن:

$\lambda_1$  - معامل، يأخذ بالاعتبار ازدياد ضياع الضغط نتيجة احتواء السائل على

الحبيبات الصلبة ( $\lambda = 1.12 - 1.2$ ).

D - القطر الداخلي لمواسير التغليف الإنتاجية، M.

$d_1$  - القطر الخارجي لمواسير الغسل، M.

3- لحساب الضياع الهيدروليكية  $h_2, h_1$  خلال الغسل العكسي، يتم التبديل بين

العلاقتين (10-10) ، (10-11). بحيث أن المعامل  $\lambda_1$  يحسب لتيار السائل الصاعد.

4- بالعلاقة مع الفرق في قيمة الضغط الستاتيكي للسائل بين مواسير الغسل والفراغ الحلقي فإنه يظهر ضغط إضافي  $h_3$ . تحسب قيمة  $h_3$  من العلاقة التي أوجدها العالم K.A.Aprecof:

$$h_3 = \frac{(1-m)FL\rho g}{f} \left[ \frac{\rho_s}{\rho} \left( 1 - \frac{w}{v_B} \right) - 1 \right] \quad (10-12)$$

حيث أن:

$m$  - الحجم النسبي للسائل الذي يشغل الفراغ بين الحبيبات  $0.3 - 0.45$

$F$  - مقطع مواسير التغليف  $m^2$ .

$L$  - حجم الرمال الناتجة عن الغسل في ماسورة واحدة  $m$ .

$f$  - مقطع الفراغ الحلقي  $m^2$ .

$\rho_s$  - كثافة الحبيبات الصلبة.  $\rho_s = 2650 - 2700 \text{ kg/m}^3$ .

5- يحدد الضغط الضائع في الخرطوم  $h_4$  والرأس الهيدروليكي  $h_5$  كقيمة واحدة

( $h_4 + h_5$ ) من خلال المعطيات التجريبية:

التدفق L/S	3	4	5	6	8	10	15	20
( $h_4 + h_5$ )	$0.4 \times 10^5$	$0.8 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$	$1.7 \times 10^5$	$2.9 \times 10^5$	$5 \times 10^5$	$11 \times 10^5$	$20 \times 10^5$

6- الضياع الكلي للضغط خلال عملية غسل السدادات الرملية:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \quad (10-13)$$

7- الزمن اللازم لرفع الحبيبات الصلبة إلى السطح:

$$t = \frac{H}{v_s} \quad (10-14)$$

في حال كون سائل الغسل هو النفط، فيجب حساب قيمة  $\lambda$ . فمن أجل الجريان

المضطرب ( $Re > 2800$ ) تحسب من العلاقة:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \quad (10-15)$$

وللجريان الخطي ( $\text{Re} < 2320$ ):

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (10-16)$$

ويحسب عدد رينولدز  $\text{Re}$ :

$$\text{Re} = \frac{v_n \cdot d}{\nu} \quad (10-17)$$

وللجريان في الفراغ الحلقي:

$$\text{Re} = \frac{v_s (D - d_1)}{\nu} \quad (10-18)$$

حيث أن:

$\nu$  - لزوجة النفط الحركية M/S.

### 10-3- ترسب الأملاح:

تعتبر المياه الطبقيّة المصدر الأساسي للأملاح التي يمكن أن تترسب في منظومة الإنتاج، حيث تمثل هذه المياه محاليل ملحية عالية التركيز، ومن العناصر الرئيسية التي تدخل في تركيب الأملاح (Na, CL, Ba, Ca, Mg...). تنفصل الأملاح وتترسب من المياه الطبقيّة بسبب العديد من العوامل منفردة أو متجمعة. ومن أهم هذه الأملاح:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ . تلعب الأملاح المترسبة دوراً في خروج تجهيزات البئر الغازية من العمل، حيث تؤدي إلى تضيق مقطع مواسير الإنتاج وانخفاض الضغط والحرارة وبالتالي الإخلال بنظام عمل الجملة (طبقة - بئر - محطات المعالجة).

أثبتت الدراسات، أنه عندما تتواجد مختلف الأملاح في المياه الطبقيّة المنتجة مع الغاز، فسوف تترسب كبريتات الكالسيوم والباريوم في الجزء السفلي للمواسير بينما تترسب كربونات الكالسيوم والصدويوم بالقرب من فوهة البئر وخطوط التصريف من

شجرة الميلاد. وبشكل عام تعتبر الترسبات المرافقة لعمليات إنتاج الغاز معقدة التركيب، وترسب هذه الأملاح عندما يصبح تركيزها في المياه فوق درجة الإشباع، ويحصل ذلك نتيجة التبخر أو اختلاط غير متوافق للمياه مع سوائل مثل الميثانول وانهلال الصخور والغازات إضافة إلى تغيرات الضغط والحرارة وانفصال الغازات من المياه. ترتبط كل هذه الأمور بالعوامل الجيولوجية للمكمن، نظام الاستثمار، تقنية وتكنولوجيا عمليات الإنتاج والتجميع التجفيف. فمثلاً، يعد اختلاط المياه غير المتجانس مع سوائل أخرى وانهلال الجبس من الصخور الطبقية السبب الرئيسي لترسب أملاح الكبريتات، بينما تغير شروط الضغط والحرارة وانفصال الغازات من المياه سبباً لترسب أملاح الكربونات. أما ترسب ملح كلور الصوديوم فيحدث نتيجة عمليات تبخر المياه وانخفاض درجة الحرارة.

يؤثر الميثانول بشكل واضح على ترسب الأملاح عند امتزاجه مع المياه الحاوية على أملاح وذلك بغض النظر عن نسبة المزج . فمن أجل نسب المزج المختلفة يساهم الميثانول في ترسيب الأملاح غير العضوية وحتى إذا لم تتغير شروط الضغط والحرارة .