9-3-4- تشكيلة الأنابيب التقليدية (Conventional Tubular Configuration):

إن طرق الإكمال التقليدية هي التي يكون فيها القطر الخارجي لماسورة التغليف الإنتاجية أكبر من 4 $^{1/2}$ in ، وتتضمن ما يلي:

9-3-4-1- إكمال الطبقة الواحدة (Singlezone Completion):

إن العوامل الرئيسية التي تدعو إلى اختيار هذا النوع من الإكمال هي: الإنتاج بمعدلات عالية، إمكانية تعرض البئر إلى ضغوط عالية، إمكانية تآكل معدات البئر بسبب إنتاج بعض الموائع.

هناك عدة احتمالات لإكمال البئر للطبقة المكمنية الواحدة، تعتمد على الأهداف التي حفر البئر من أجلها. والسؤال الذي يطرح نفسه هنا هو: هل يفضل استخدام أنبوب الإنتاج وعازل الإنتاج؟ فبعض الآبار تكمل وتنتج بدون أنبوب إنتاج، لكن هناك أسباب تدعو إلى استخدام أنبوب الإنتاج هي:

1- الإنتاج بكفاءة أعلى .

2- إمكانية تدوير سائل قتل البئر أو مضادات التآكل (Corrosion inhibitors) أو مذيبات البارافينات، كذلك إمكانية إحياء البئر بعد قتله.

3- إمكانية تخصيص مسارات متعددة للجريان لمنظومة الرفع الاصطناعي.

4- حماية مواسير التغليف الإنتاجية من التآكل والخدش والضغط (بوجود الباكر).

5- إمكانية التحكم بضغط جريان قاع البئر.

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه يجب أن تكون نهاية أنبوب الإنتاج مفتوحة عند إنزاله في البئر ثم يجب وضعه فوق المقطع المنتج، ليصبح إنجاز عمليات الاصلاح والاختبار ممكناً. أما بالنسبة للباكر فيستخدم فقط عندما يحقق أغراضاً مهمة مثل:

1- تحسين الجريان أو جعله مستقراً.

2- حماية مواسير التغليف من موائع البئر أو الضغط، إلا أنه تجدر الإشارة بأن استعمال الباكر قد يؤدي إلى زيادة الضغط المطبق على مواسير التغليف في حالة وجود تسرب في أنبوب الإنتاج (tubing leak).

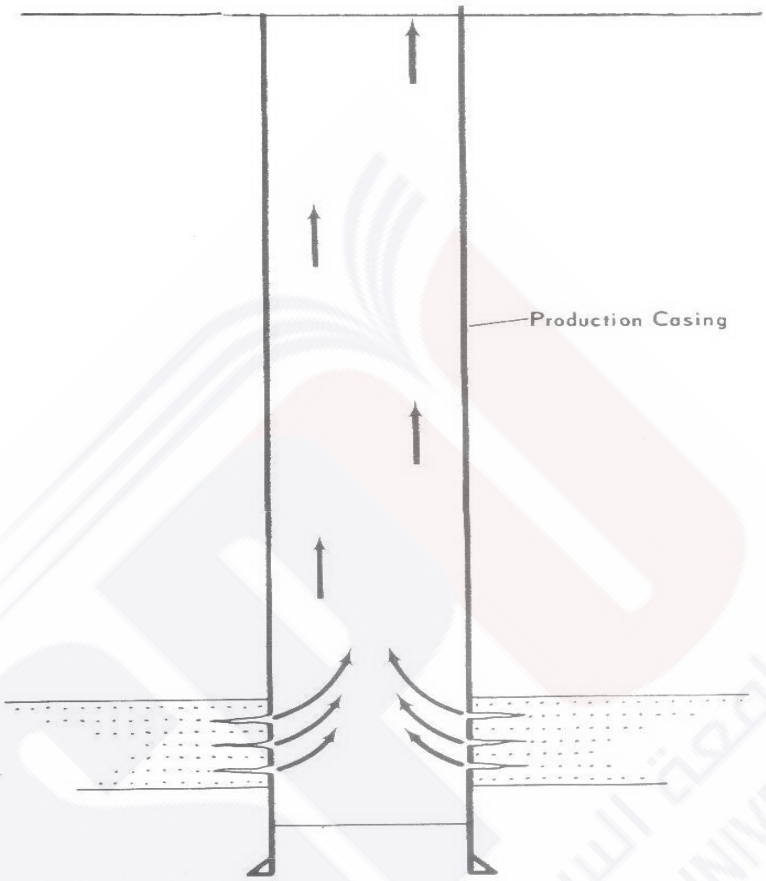
3- تهيئة سائل إكمال فوق العازل في الفراغ الحلقي يستعمل لقتل البئر عند الحاجة.

4- إمكانية احتوائه للضغط عندما يستعمل مع منظومة الرفع الاصطناعي أو منظومة الإغلاق الآمنة.

أما احتمالات إكمال البئر للطبقة الواحدة فتشمل ما يلي:

9-3-4-2- البئر المنتج – الإنتاج خلال مواسير التغليف:

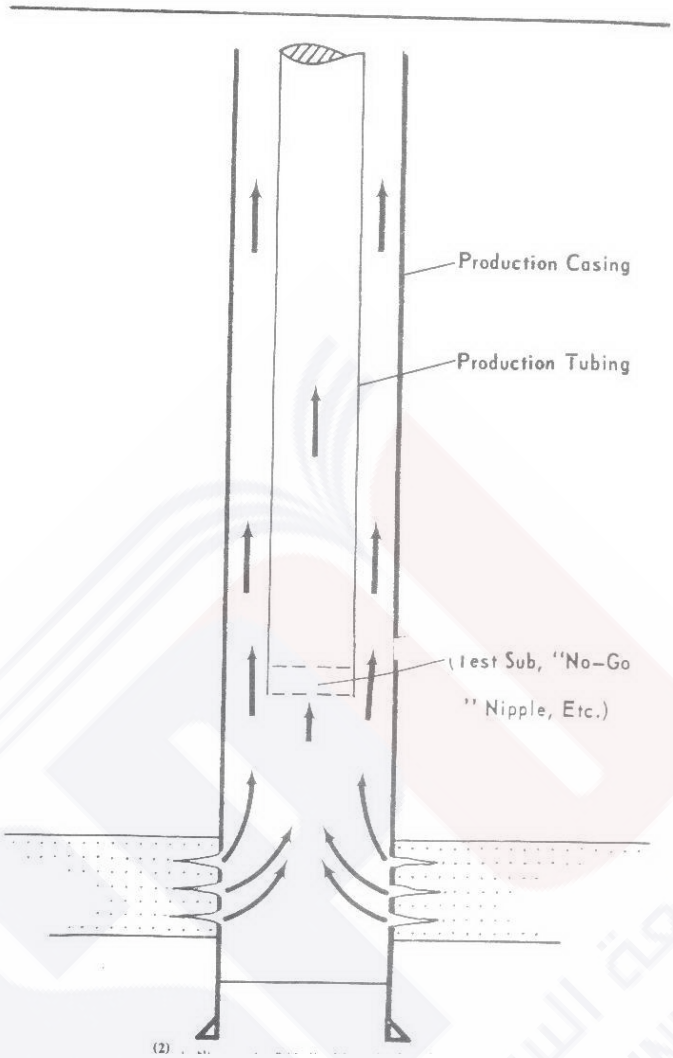
في هذا النوع من الإكمال يتم الإنتاج خلال مواسير التغليف، غير مقيد بأنبوب الإنتاج أو باكر الإنتاج. وينحصر استخدام هذا الإكمال في الآبار التي لها القدرة على الإنتاج بمعدلات عالية جداً وبضغوط جريان وإغلاق منخفضة إلى متوسطة (الشكل 9-5).



الشكل (9-5): الإنتاج خلال مواسير التغليف.

9-3-4-3- البئر المنتج – الإنتاج خلال مواسير التغليف وأنبوب الإنتاج:

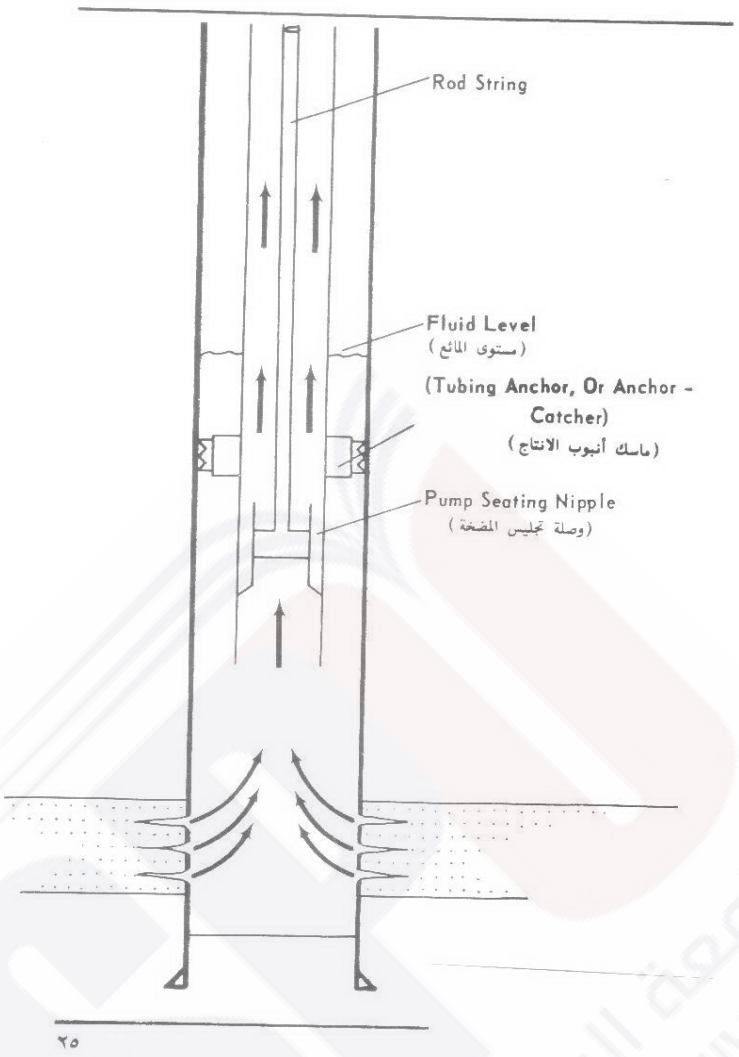
في هذا النوع من الإكمال يتم الإنتاج من خلال الفراغ الحلقي وأنبوب الإنتاج في آن واحد، إلا أن معدلات الإنتاج ستكون أقل بالمقارنة مع الإنتاج من خلال مواسير التغليف فقط. ويمكن هنا استخدام أنبوب الإنتاج في قتل البئر أو لحقن بعض المواد الكيميائية. أما وصلة عدم الذهاب (nipple "no-go") (راجع الشكل 9-6) فتتيح إمكانية اختبار ضغط أنبوب الإنتاج.



الشكل (9-6): الإنتاج خلال مواسير التغليف وأنبوب الإنتاج.

9-3-4-4- البئر الذي ينتج بمساعدة المضخات الرأسية (Pumping Well) :

يتم هنا إنزال أنبوب الإنتاج ووصلة تجليس المضخة (Pump Seating nipple) إلى عمق يقع تحت مستوى المائع العامل (working fluid level) في البئر. إن استخدام وصلة التعشيق (anchor) لتثبيت أنبوب الإنتاج أثناء دورة الضخ يعتبر اختيارياً (الشكل 9-7).

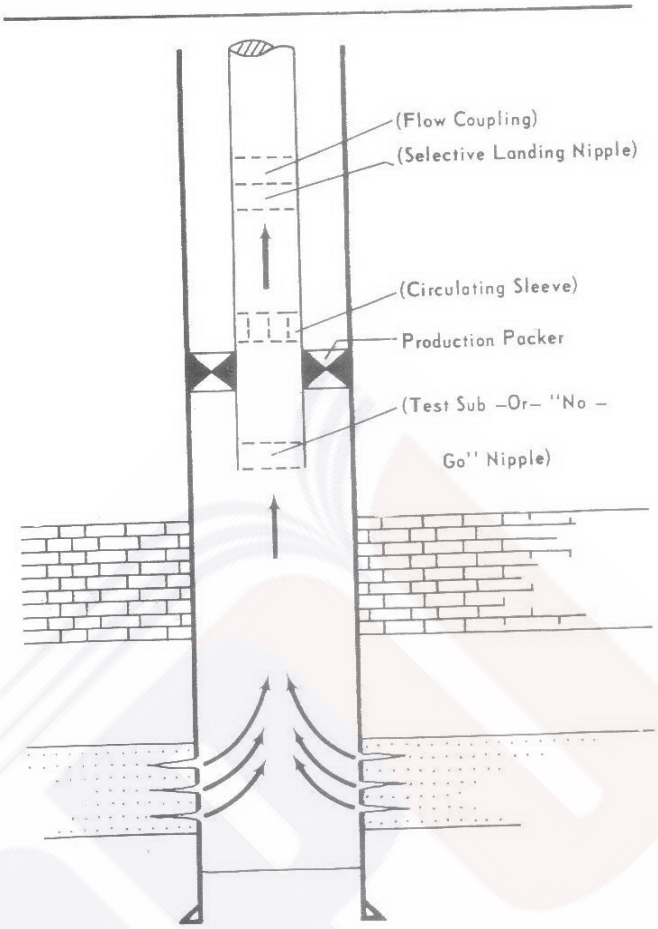


الشكل (9-7): إنتاج البئر بالمضخة.

9-3-4-5- البئر المنتج – الإنتاج خلال أنبوب الإنتاج:

في هذا النوع من الإكمال يستخدم كلاً من أنبوب الإنتاج والباكر في البئر، وبذلك لن يكون تحقيق طاقة البئر القصوى لمعدل الإنتاج ممكناً مقارنة مع الإنتاج خلال مواسير التغليف فقط، أو الإنتاج خلال مواسير التغليف وأنبوب الإنتاج معاً (الشكل 9-8).

إن استخدام باكر الإنتاج في هذه الحالة مهم للأسباب التي وردت سابقاً. وتستعمل وصلة " عدم الذهاب " لتوفير بعض أجهزة السلامة الخاصة داخل البئر مثل خانق نهاية البئر



الشكل (9–8): إنتاج البئر خلال أنبوب الإنتاج.

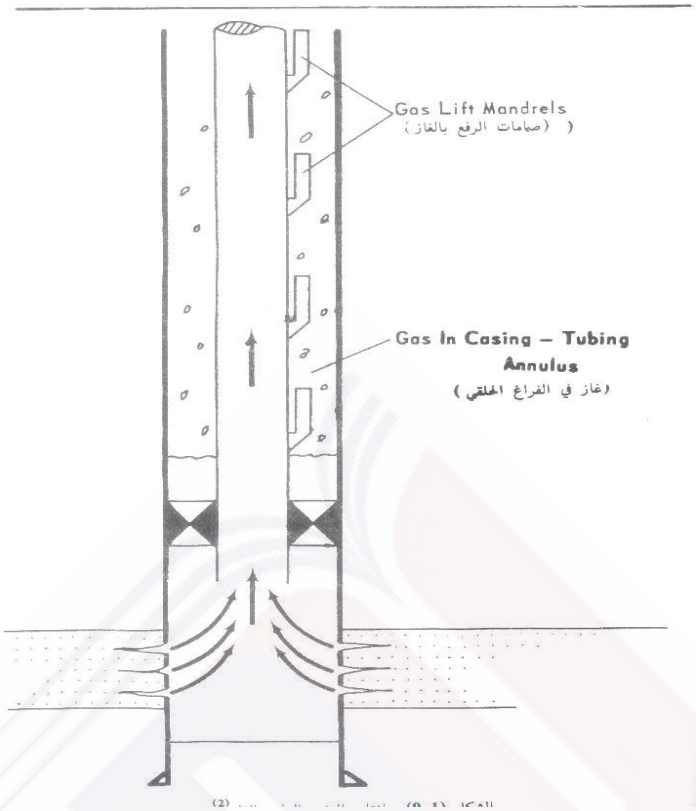
(bottom–hole choke) وصمام الأمان (safety valve) أو منظم الجريان(flow coupling) . أما وصلة الإنزال (landing nipple) فتستخدم أساساً لربط جهاز السيطرة

على الجريان. ويلاحظ في الشكل (9–8) أيضاً، وجود وصلة جريان (Flow coupling) فوق وصلة الإنزال مباشرة، الغرض منها امتصاص تأثير الاضطراب في الجريان. أما الغرض الأساسي من وجود بوابة التدوير (Circulating Sleeve) ضمن التشكيلة فهو لإزاحة أنبوب الإنتاج بمائع قليل الكثافة بعد تركيب مجموعة رأس البئر.

يلاحظ في الشكل (9–8) أيضاً مكمن غير مثقب كمقطع منتج بديل يمكن إكماله في المستقبل، حيث يتم فتحه إلى حفرة البئر بواسطة طرق تثقيب خاصة، دون حدوث تداخل مع تشكيلة الإنتاج الموجودة في البئر أصلاً.

9–3–4–6– البئر الذي ينتج بالرفع الغازي (Gas– Lift Well):

يتم هنا حقن الغاز في الفراغ الحلقي ثم من خلال صمامات رفع مخصصة لهذا الغرض. يصل هذا الغاز إلى داخل أنبوب الإنتاج، وبذلك يساعد في عملية رفع النفط إلى السطح عن طريق تخفيف وزن عمود النفط (الشكل 9–9).

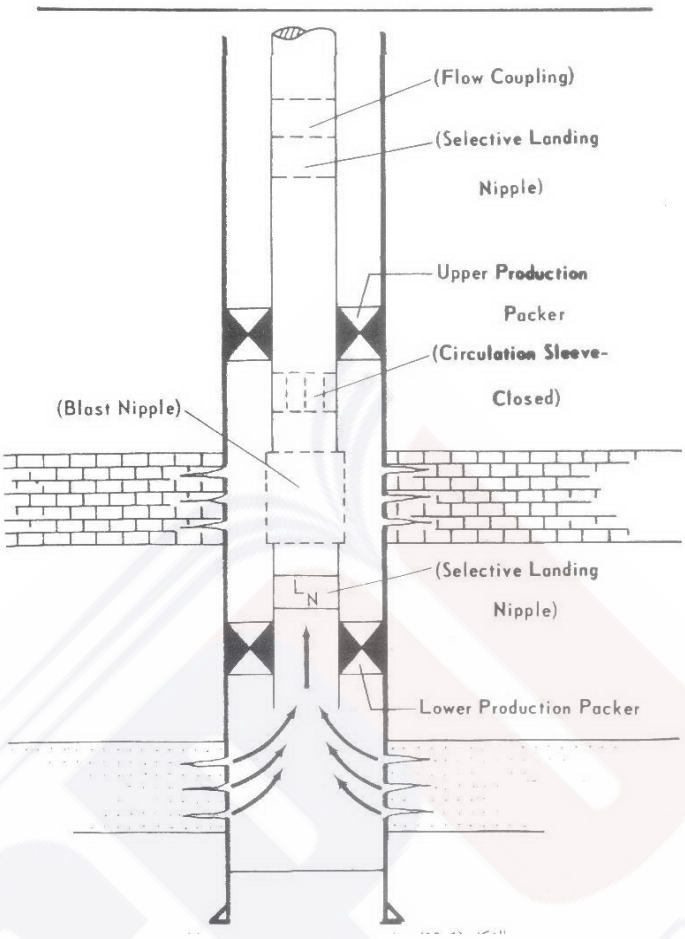


الشكل (9-9): إنتاج البئر بالرفع بالغاز.

9-3-4-7- الإكمال البديل ضمن البئر الواحدة (Single-Well With Alternate Completion):

يتم هنا تثقيب المقطع المنتج البديل عند الإكمال الابتدائي للبئر، ويعزل بين باكرين (عازلين). ويمكن الإنتاج من هذا المقطع بعد أن يتم استنزاف المقطع المنتج السفلي، وذلك بتثقيب جزء أنبوب الإنتاج المواجه للمقطع المنتج البديل (الشكل 9-10).

تجدر الإشارة هنا إلى أنه يفضل استخدام مقطع تفجير (blasting joint) في جزء أنبوب الإنتاج المواجه لثقوب المقطع المنتج البديل، لمقاومة الخدش الذي تحدثه الموائع المنتجة وذلك لما يتميز به مقطع التفجير من سمك بالجدران.

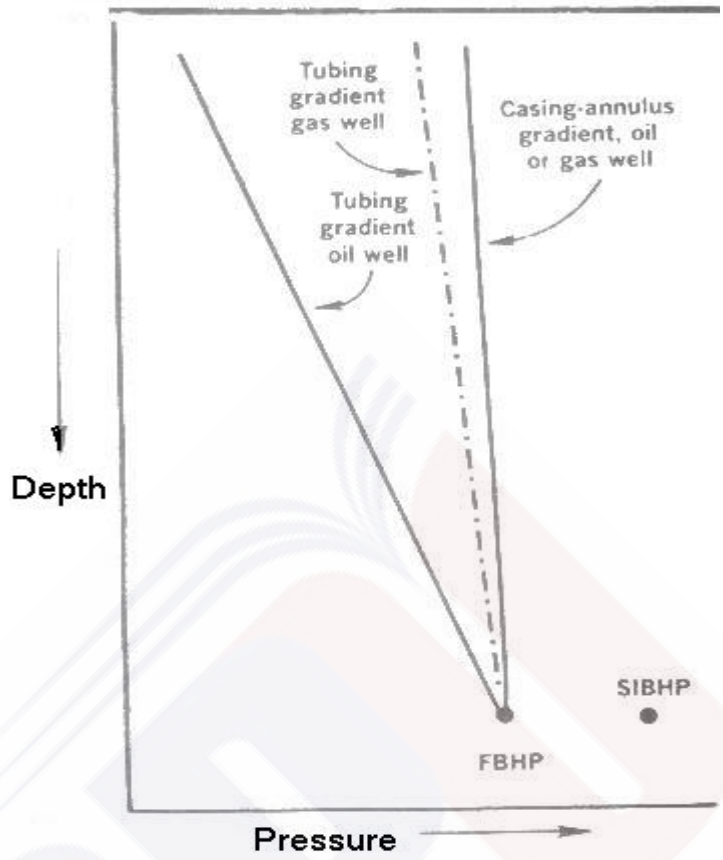


الشكل (9–10): الإكمال البديل ضمن البئر الواحدة.

أ – تأثير أنبوب الإنتاج والباكر (العازل):

يجب معرفة تأثير أنبوب الإنتاج، مع أو بدون باكر، على تدرج الضغط في البئر تحت ظروف إنتاجية متنوعة لأخذ الاحتياطات اللازمة.

أنبوب الإنتاج بدون باكر (بئر منتج) – يبين الشكل (9–11) حالة تدرج الضغط لبئر نفطي وآخر غازي، وفي كلتا الحالتين يكون أنبوب الإنتاج متدلي. إن الفراغ الحلقي



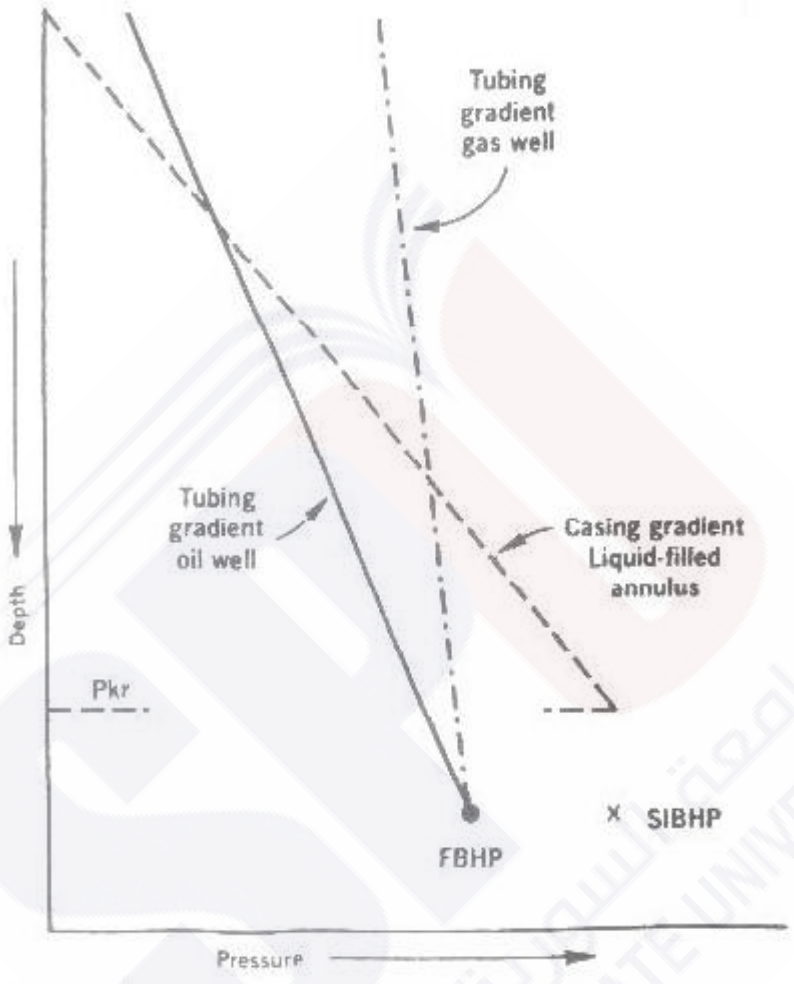
الشكل (9-11): تدرج الضغط داخل وخارج أنبوب إنتاج متدلي بدون باكر (بئر نفطية وأخرى غازية).

(annulus) في هذه الحالة سيكون مملوءاً بالغاز، وبذلك فإن ضغط رأس البئر للفراغ الحلقي سيكون أقل بقليل من ضغط جريان قاع البئر.

بالنسبة للبئر الغازية، يلاحظ أن ضغط رأس البئر للفراغ الحلقي أكبر قليلاً في حالة وجود أنبوب الإنتاج في البئر منه بدون وجود الأنبوب، أما بالنسبة لبئر النفط، فإن ضغط رأس البئر للفراغ الحلقي أكبر كثيراً بوجود أنبوب الإنتاج منه بدون وجود الأنبوب.

مما تقدم نلاحظ أن احتمال تسريب أنبوب الإنتاج المتدلي في الآبار الغازية يكاد يكون معدوماً، وليس هناك ما يدعو لاستخدام أنابيب باهظة الثمن، وبعبارة أخرى يمكن استخدام ما هو متوفر من الأنابيب. أما في حالة البئر النفطية، فإن احتمال تسريب أنبوب الإنتاج يكون قائماً، ويعود السبب في ذلك إلى وجود فرق بالضغط بين الفراغ الحلقي وأنبوب الإنتاج، خاصة وصلات ربط أنبوب الإنتاج القريبة من السطح. وعند حدوث ذلك في أنبوب الإنتاج وتسريب الموائع سيلاحظ انخفاض بضغط رأس البئر للفراغ الحلقي نتيجة لارتفاع مستوى المائع فيه.

أنبوب الإنتاج مع باكر (بئر منتج) – يبين الشكل (9-12) تدرجات ضغط كل من أنبوب الإنتاج والفراغ الحلقي لبئر نفطية وأخرى غازية في حالة تثبيت أنبوب الإنتاج بواسطة الباكر. إن المائع الذي يملأ الفراغ الحلقي فوق الباكر يجب أن يؤثر نتيجة لوزنه بضغط يزيد قليلاً على ضغط إغلاق البئر (shut– in pressure) .



الشكل (9–12): تدرج الضغط داخل وخارج أنبوب إنتاج عند تثبيت

الأخير بواسطة الباكر (بئر نفطية وأخرى غازية).

فبالنسبة للبئر النفطية، يلاحظ أن فرق الضغط على أنبوب الإنتاج سيكون قليلاً جداً في هذه الحالة، وتبعاً لذلك فإن احتمال حدوث كسر وتسرب في أنبوب الإنتاج يكاد يكون معدوماً. أما للبئر الغازية فإن فرق الضغط على أنبوب الإنتاج يزداد إلى حد أقصى قرب السطح، لذلك فإن احتمالات حدوث كسر وتسريب في ذلك الأنبوب ستكون أعلى ما يمكن.

ب – تأثير تسريب أنبوب الإنتاج (بئر منتج):

يبين الشكل (9-13) تأثير التسريب لأنبوب الإنتاج على تدرج الضغط في الفراغ الحلقي في بئر نفطية وأخرى غازية في حالة تثبيت أنبوب الإنتاج بواسطة الباكر. ففي البئر الغازية سيكون احتمال حدوث كسر ومن ثم تسريب في وصلة ربط أنابيب الإنتاج قرب السطح، كبيراً للأسباب الآتية:

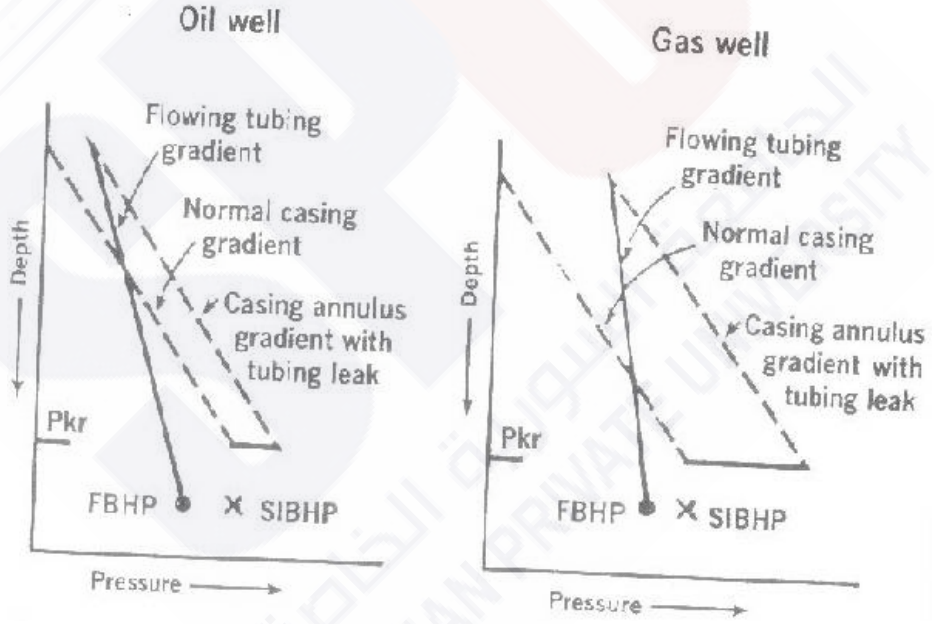
1- زيادة فرق الضغط إلى الحد الأقصى.

2- حمولة أنبوب الإنتاج قرب السطح ستكون أكبر ما يمكن.

١ -تغير كبير في درجة الحرارة.

ولحل هذه المشكلة يملأ الفراغ الحلقي بسائل خفيف الوزن (الماء مثلاً) ثم يعرض رأس الفراغ الحلقي لضغط معين وبذلك يتحقق تدرج بالضغط في الفراغ الحلقي مماثلاً لقرينه في أنبوب الإنتاج.

أما في البئر النفطية فإن حدوث كسر ومن ثم تسريب في أنبوب الإنتاج قرب السطح سيشكل ضغطاً إضافياً على نهاية مواسير التغليف، ولكن استناداً إلى قيمة ضغط جريان أنبوب الإنتاج، سوف لا يشكل ذلك خطورة كبيرة على مواسير التغليف.



الشكل (9-13): تأثير تسريب أنبوب الإنتاج على تدرج الضغط في البئر بوجود الباكر.

9-3-4-8- إكمال الطبقات المتعددة (Multiplezone Completion) :

يأتي في مقدمة العوامل التي تدعو إلى إجراء هذا النوع من الإكمال ما يلي:

الإنتاج بمعدل أعلى، وقت أسرع لاسترجاع الأموال المصروفة (faster payout) وأمور تتعلق بالتحكم بالإنتاج من المكامن المتعددة. سنتعرف في هذا المقطع على تشكيلات مختلفة للإكمال التي يستخدم فيها أنبوب إنتاج واحد أو أكثر.

9-3-4-9- الإكمال المزدوج – باكر واحد وأنبوب إنتاج واحد:

(Dual Completion – Single Packer, Single Tubing String)

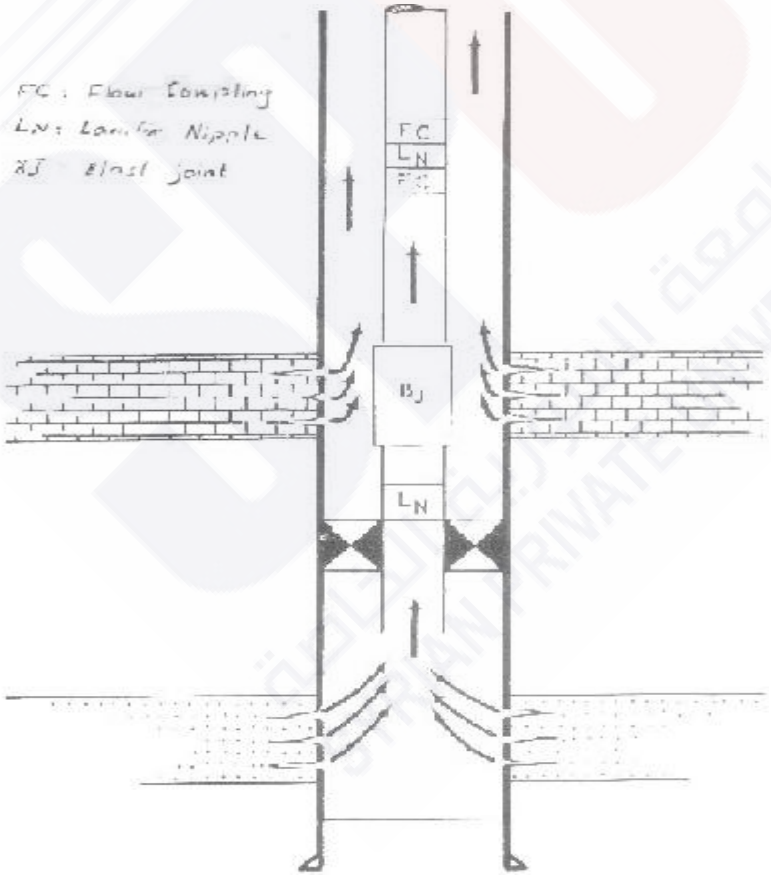
يتم هنا الإنتاج المقطع المنتج السفلي من خلال أنبوب الإنتاج، بينما يُنتج المقطع المنتج العلوي من خلال الفراغ الحلقي (الشكل 9-14) . ويتميز هذا النوع من الإكمال بقلة التكاليف، إلا أن استعماله يتحدد بما يلي:

1- تعرض مواسير التغليف الإنتاجية إلى ضغط البئر وموائعه، وبالتالي احتمال تآكلها مع مرور الزمن.

2- اقتصار الرفع الاصطناعي على المقطع المنتج السفلي فقط.

3- لاستصلاح المقطع المنتج العلوي يجب قتل المقطع المنتج السفلي أولاً.

4- تساقط المواد الصلبة القادمة من المقطع المنتج العلوي يمكن أن تؤدي إلى استعصاء أنبوب الإنتاج.



الشكل (9-14): الإكمال المزدوج – باكر واحد وأنبوب إنتاج واحد.

9-3-4-10- الإكمال المزدوج – باكرين وأنبوب إنتاج واحد:

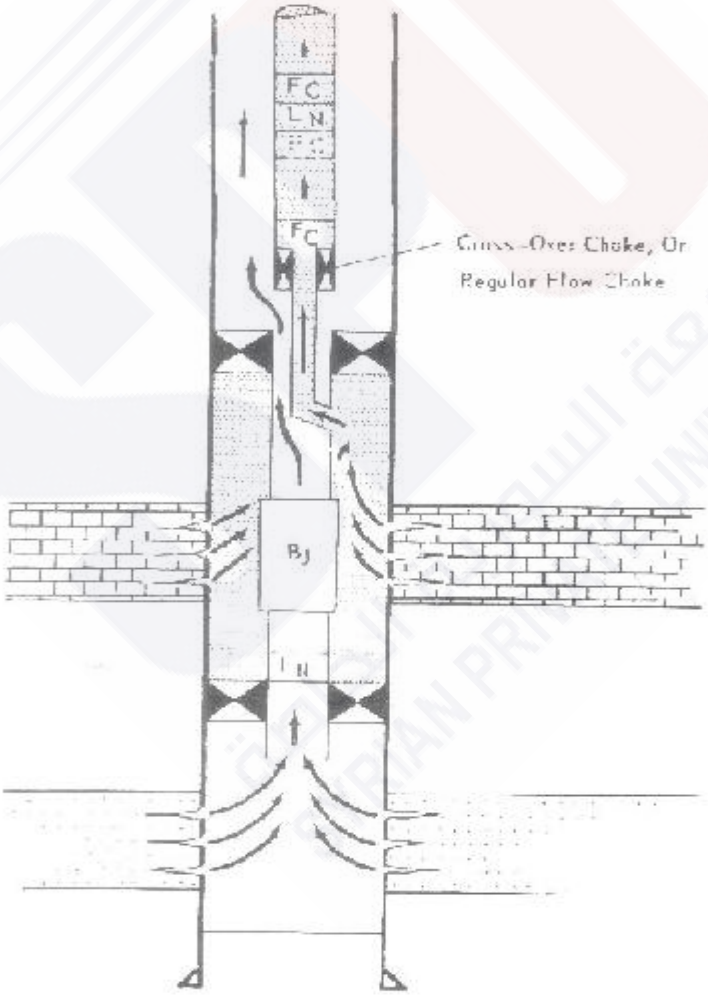
(Cross – Over Dual Completion – Single Tubing)

مع هذا التصميم يمكن الإنتاج من أي مقطع منتج من خلال أنبوب الإنتاج باستخدام خانق جريان اعتيادي (regular Flow choke) أو خانق عرضي (Cross– over choke) (الشكل 9–15). من مزايا هذا التصميم إمكانية انتقاء المقطع الذي سينتج من خلال الفراغ الحلقي. أما استعماله فيتحدد بما يلي :

1– تعرض مواسير التغليف إلى ضغط وموائع البئر، وبالتالي إمكانية تآكلها مع مرور الزمن.

2– لا يمكن الإنتاج من الطبقات بالرفع الاصطناعي الميكانيكي.

3– إصلاح المقطع المنتج العلوي يتطلب قتل المقطع المنتج السفلي أولاً.



الشكل (9–15): الإكمال المزدوج – باكران وأنبوب إنتاج واحد.

9-3-4-11- الإكمال المزدوج: باكران وأنبوبان للإنتاج (Parallel Dual Completion)

يمكن بهذا التصميم الإنتاج من كل مقطع منتج بشكل منفصل (الشكل9-16). ومن مزاياه[7]:

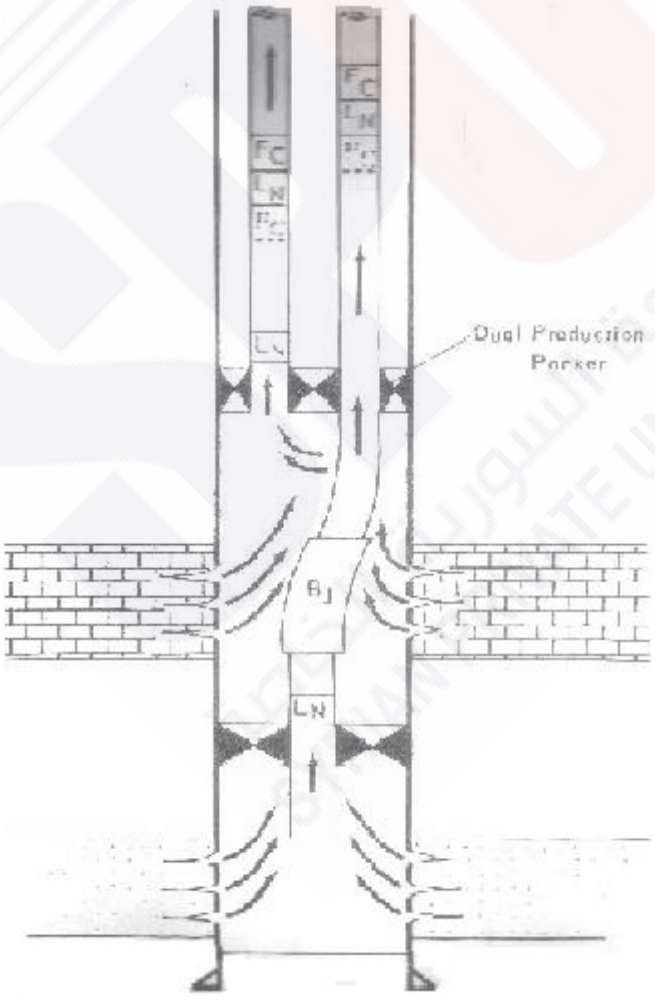
1- إمكانية الإنعاش أو الاستصلاح أو الرفع بصورة اصطناعية لأي مقطع منتج دون التأثير على المقطع الآخر.

2- إمكانية تعديل هذا التصميم ليصبح مناسباً في السيطرة على مشكلة الرمل.

أما استعماله فيتحدد بما يلي:

1- ارتفاع الكلفة الابتدائية.

2- عمليات الاستصلاح تتطلب رفع المعدات الإنتاجية القائمة، مما يجعلها باهظة التكاليف.

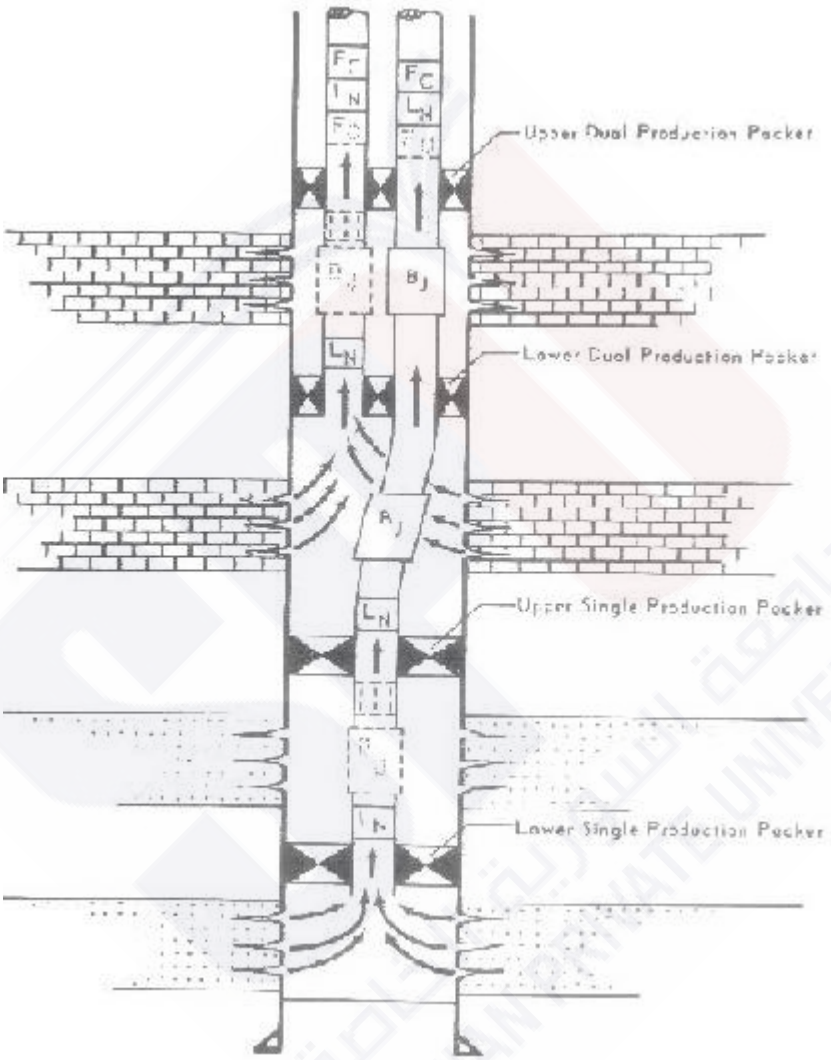


الشكل (9-16): الإكمال المزدوج – باكران وأنبوبان للإنتاج.

9-3-4-12- الإكمال المزدوج بزوج من بدائل الإكمال

(**Parallel Dual With Two Alternate Completions**)

يمكن أن تتم بدائل الإكمال في كلا أنبوبي الإنتاج القصير والطويل (راجع الإكمال البديل ضمن البئر الواحدة) (الشكل 9-17).

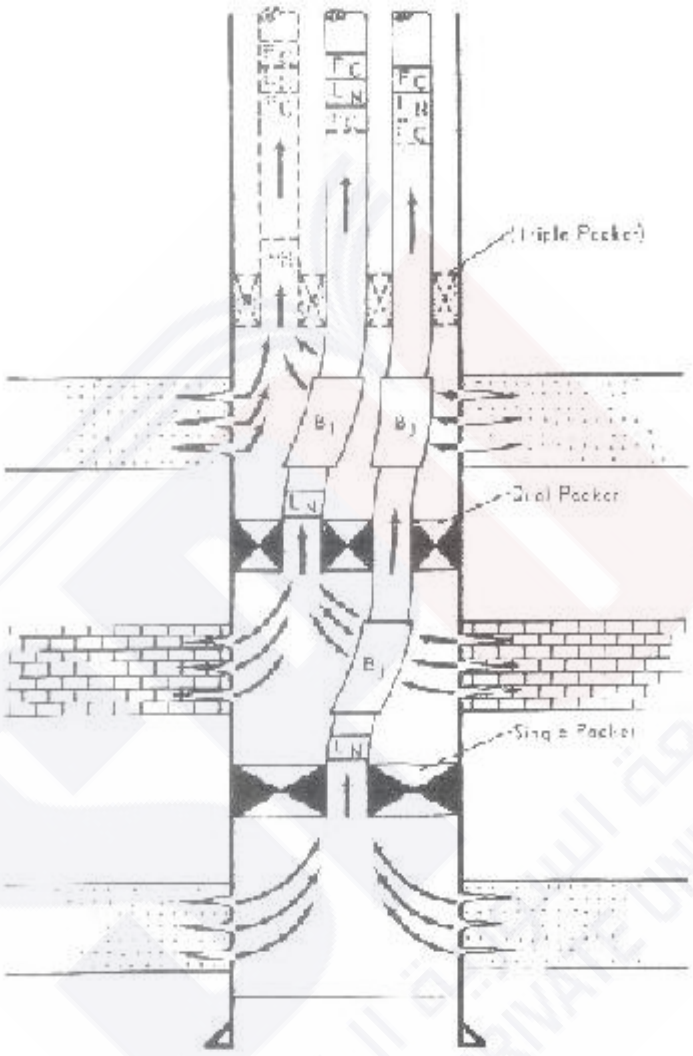


الشكل (9-17): الإكمال المزدوج – زوج من بدائل الإكمال.

9-3-4-13- الإكمال الثلاثي (Triple Completion):

يمكن تنفيذ هذا التصميم باستعمال أنبوبين أو ثلاثة أنابيب إنتاج مع بواكر، وبذلك تتحقق معدلات إنتاجية عالية للبئر الواحدة، وتحسن ملموس في سرعة استرجاع رؤوس الأموال المصروفة. إلا أن استعمال هذا النوع من الإكمال يتحدد

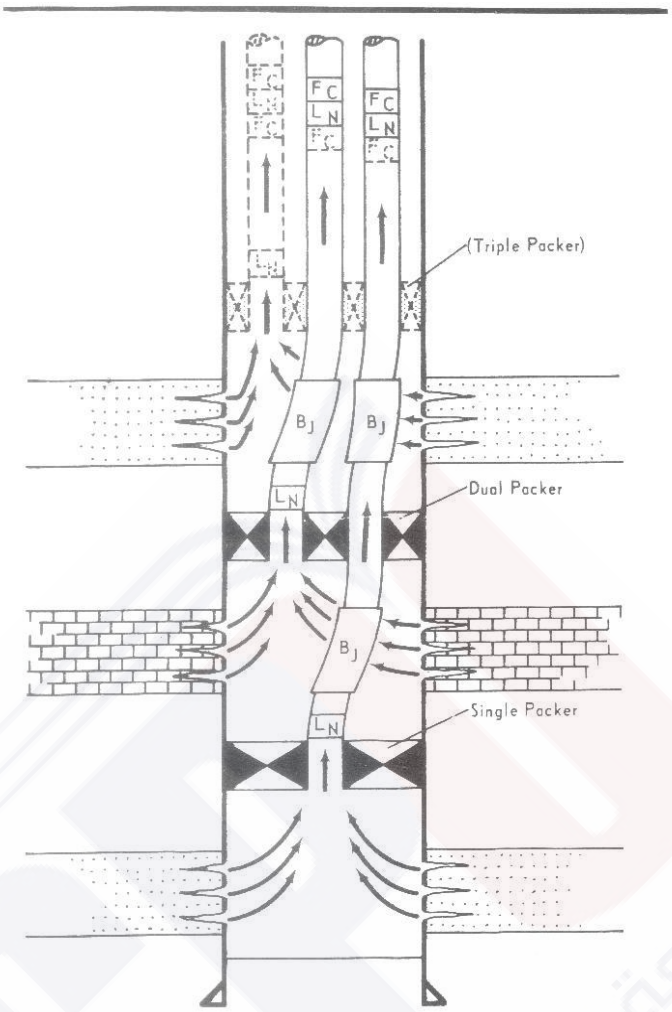
بصعوبة تنفيذه من الناحية العملية، واحتمال تعرض البئر لمشاكل الاتصال بين موائع المقاطع المنتجة الثلاثة (الشكل-18 9).



الشكل (9-18): الإكمال الثلاثي.

9-3-5- تشكيلة الأنابيب غير التقليدية (Unconventional Tubular Configuration)

يمكن تسمية هذا التصميم بإكمال البئر الدائم (Permanent Well Completion) ويتضمن هذا النوع من الإكمال سمنتة عدد من الأنابيب بداخل البئر كما هو مبين في الشكل (9-19)، حيث يمكن أن يصل القطر الخارجي لكل أنبوب إلى $4^{1/2}$ in.



الشكل (9-19): تشكيلة الأنابيب الغير تقليدية

وتجدر الإشارة إلى أن تطبيق هذا التصميم لا ينحصر كلياً على آبار الحقن أو الآبار القليلة المعدل. ومن مزاياه[30,7,3]:

1- انخفاض الكلفة، بما في ذلك الإكمال الابتدائي وكلف الاستصلاح اللاحقة.

2 – استقلالية كل مقطع منتج من حيث إجراء العمليات الإنتاجية وعمليات الاصلاح وغيرها دون أي تداخل مع المقاطع المنتجة الأخرى.

3- سهولة تحديد الاتصال بين الأنابيب عند حدوثه ثم معالجته.

أما استعمال هذا النوع من الإكمال فيتحدد بما يلي :

1- تقيد معدل الإنتاج.

2- صعوبة التحكم بمشكلة التآكل وتجمع البارافينات.

3- صعوبة معالجة المقاطع المنتجة لأغراض الإنعاش التي تتطلب معدلات حقن عالية.

4 – صعوبة التحكم بمشكلة الرمل للمقاطع المنتجة الطويلة.

5- تعرض الأنابيب إلى ضغط البئر مباشرة.