استعمال التحليل البعدي لايجاد موديل رياضي لعملية تنظيف البئر الافقية

Using Dimensional Analysis to Develop Mathematical Model of Horizontal Well Cleaning

Dr. Kareem Abdulhasan Alwan, Phd.Senior chief engineer,PRDC

Abstract

Cleaning the directional and horizontal sections of the horizontal well could be considered the most complex process during well construction, and the main limiting factor of horizontal elongation of the well. This is due to many factors that affect on cutting transportation toward the wellhead, such as, the tendency of drilling string to rest on the lower side of the hole, drilling hydraulic (mud flow rate and flow regime), properties of drilled rocks (cutting weight, size and shape), drilling fluid properties (weight, viscosity and other rheological properties), hole geometry (hole and drill pipes diameters), drill string movements (type and speed of movements), penetration rate (quantity of cutting to be moved out of the hole) and others.

Studying horizontal well cleaning process needs the full understanding of the combination effects of all above mentioned factors, taking in consideration that some of them affect each other. This understanding did not exist yet, neither through theoretical nor experimental studies.

The effect of some of individual above mentioned factors have been studied which lead to form an acceptable description about cutting particles transportation while horizontal drilling. It is well proved that insufficient cleaning leads to form a bed of cutting on the lower side of the hole.

This study tried to analyze most the affecting factors on cutting transportation through the horizontal well sections using the dimensional analysis method to get some dimensionless factors which controlling hole cleaning process.

A mathematical model has been developed, relating the cleaning efficiency (the ratio of annulus section area equipped by cutting bed) as a function of some dimensionless numbers consisting from the affecting factors mentioned above. Relations for both laminar and turbulent flow regimes have been introduced.

These relations were applied on some previous published

experimental works and found that the most controlling dimensionless items affecting on cleaning process is that items which are referring to the fluid flow rate (Fraud Number) and to drilling string movement (Taylor Number). While the secondary controlling factors are the items referring to drilling fluid and cutting properties, and hole inclination. This model may give a good tool for the drilling engineers to modify the drilling parameters to get the most suitable hole cleaning.

Further work is recommended to develop these functions to logical equilibrium equations to be instantaneously used in practical engineering.

دراسة عملية تنظيف البئر الافقية يتطلب معرفة تأثير كل العوامل المذكورة وتأثير بعضها على بعض حيث تم في الدراسات السابقة تقييم تأثير بعض العوامل اعلاه كل على حدة على عملية تنظيف البئر الافقية مما ا عطى تصورا جيدا عن عملية انتقال حبيبة الفتات خارج المقطع الافقي وما يؤثر فيها. وتم التأكد من انه عندما يكون التنظيف غير كفوء فان طبقة من الفتات المحفورة تتكون على الجدار السفلي للبئر.

الدراسة الحالية حاولت تحليل معظم العوامل المؤثرة على عملية نقل حبيبات الصخور المحفورة خارج البئر تحليلا بعديا لايجاد علاقة بين مجموعة حدود لابعدية (dimensionless) متحكمة بعملية التنظيف. تم الخروج بتمثيل رياضي يربط كفاءة عملية التنظيف (نسبة مساحة مقطع الفراغ الحلقي المشغول بطبقة الفتات المترسبة) كدالة لمجموعة حدود لابعدية تكونت من العوامل المؤثرة المذكورة . ثم اوجدت علاقات لكل من حالة الجريان الصفائحي والمضطرب.

هذه العلاقة اللابعدية اتاحت امكانية تطبيقها على نتائج كل الدراسات المختبرية السابقة حيث ان اختلاف الابعاد ومواصفات سائل الحفر والصخور بين دراسة واخرى اختزل تأثيرها ضمن الحدود اللابع دية الممثلة لها . وجد ان اهم الحدود اللابعدية المؤثرة على عملية تنظيف المقطع الافقي هي تلك التي تمثل سرعة تدفق سائل الحفر بالفراغ الحلقي (عدد فرويد) وتلك التي تمثل حركة عمود الحفر (عدد تايلر). وتأتي بالاهمية الدانوية المواصفات الريولوجية لسائل الحفر ونوع الصخور المحفورة وزاوية ميل المقطع المراد تنظيفه وغيرها. هذه العلاقات وفرت لمهندسي الحفر امكانية ترتيب متغيرات الحفر المتوفرة من اجل الحصول على تنظيف مرضي للمقطع المحفور.

دراسات اخرى مطلوبة لتطوير هذه العلاقات التناسبية (الدوال) الى علاقات رياضية منطقية (علاقات تساوي) لوضعها في خدمة الاستعمال الهندسي التطبيقي .

الخلاصة

تعتبر عملية تنظيف المقطع المائل والافقي من اعقد عمليات بناء البئر الافقية واهم محددات الامتداد الافقي للبئر. يأتي هذا التعقيد من تعدد العوامل التي تؤثر على انتقال حبيبة الصخور باتجاه فوهة البئر التي اهمها ميل خيط الحفر للرقود على الجدار السفلي للبئر، هيدروليكية عملية الحفر (نوع جريان سائل الحفر ومعدل تدفقه)، مواصفات الصخور المحفورة (الكثافة، الابعاد والشكل)، مواصفات سائل الحفر (الكثافة واللزوجة والمواصفات الريولوجية الاخرى)، شكل الفراغ الحلقي (قطر البئر وقطر عمود الحفر)، حركة خيط الحفر (شكل الحركة وترددها) وسرعة الحفر (متمثلة بكمية فتات الصخور المطلوب نقلها خارج البئر) وعوامل اخرى كثيرة.

التسميت والذي بدوره يؤدي الى صعوبة عزل الطبقات عن بعضها وتعقد حالة الإكمال .

ويمكن تقسيم الدر اسات في تنظيف البئر الافقية الى ثلاث مجاميع رئيسية هي :-

1 -**دراسات نظرية**. يتم فيها تمثيل القوى التي يسلطها سائل الحفر وتسلطها قوى الجاذبية على الفتات . وقد وضعت نماذج رياضية لتمثيل مسير حبيبات الفتات من القاع الى السطح مروراً بالمقاطع الأفقية ثم المائلة ثم ال عمودية مع التر كيز على تأثير العوامل ا لتيارية لسائل الحفر على عملية نقل الفتات (تفصيل ذلك في فقرات البحث اللاحقة).

2 - **دراسات مختبرية** : حيث يتم تصنيع نماذج مختبرية تمثل المقاطع المائلة من البئر او المقاطع الأفقية وتدرس عملية نقل الفتات (مختبريا) خلال تدوير سائل مماثل لسائل الحفر (ذو أساس مائي أو نفطي [1] مع إستعمال الماء[2] أو الهواء[3] في بعض الدراسات). ومن نتائج التجارب وضعت الاستنتاجات (التي تناقضت احياناً مع ما كان متصوراً على ضوء التحليل النظري فقط) مما أوجد دراسات نظرية جديدة قامت بتفسير هذا الاختلاف وتعديل النماذج الرياضية بما يلائم الحقائق الجديدة .

3 - **دراسات تطبيقية**: في هذا النوع من الدراسات تنصب أجهزة لتسجيل (حجم الفتات الخارجة من البئر، الوزن على الحافرة، سرعة تقدم الحفر) وتدرس تأثيرات تغير العوامل الأكثر أهمية على عملية التنظيف وتراقب النتائج . وهذه الدرا سات أعطت الحكم الفصل على الجدل بين النوعين الاول والثاني من الدراسات وعززت الحقائق المتفق عليها وخرجت منها أيضاً معادلات رياضية تجريبية لتأثير معدل تدوير سائل الحفر أو مواصفات سائل الحفر على عملية التنظيف.

المقدمـــة

تقنية حفر الآبار الافقية انتشرت انتشاراً سريعاً في كل العالم في السنوات الأخيرة لأنها تمثل أهم وسائل زيادة الطاقة الانتاجية للمكامن إ ضافة الى أنها تمثل حلاً ناجحاً للكثير من المشاكل التي قد تحول دون إستثمار حقل بكامله كرداءة المواصفات البتروفيزياوية او كون سمك الغطاء (Pay Zone) قليلاً او نفاذيته العمودية عالية مع وجود دفع مائي قوي او في حالة وقوع المكمن تحت موانع طبيعية او صناعية وغيرها.

ولكن هذه التقنية تواجهها الكثير من المشاكل وتتطلب الكثير من المهارات والدقة في توجيه البئر وإنجازه بشكل يحقق الهدف. ومن أهم هذه المشاكل هي صعوبة نقل الفتات الصخرية المحفورة خارج البئر . فخلال حفر البئر الأفقية تتطلب عملية التنظيف شروط أشد منها في عملية حفر البئر العمودية حيث يتكئ خيط الحفر على الجدار السفلي في المقاطع المائلة والأفقية. بفعل قوى الجاذبية مع حدوث ترسيب لنسبة عالية من الفتات بتأثير نفس القوى، ولأن خيط الحفر (على الأغلب) خلال حفر هذه المقاطع غير متحرك فأن عملية التنظيف تصبح في غاية الصعوبة . وبنفس الوقت وللظروف أعلاه تزداد قوى المقاومة لتزحيف خيط الحفر باتجاه قاع البئر لتسليط الوزن المطلوب على الحافرة الضروري لتوجيه الحافرة والأستمرار بالحفر مما يعرض بل ويحدد عملية حفر المقطع الأفقي. لهذا اتجهت الدراسات والبحوث لحل مشكلة رفع الفتات وبالتالي اطالة المقطع الأفقي مع الحصول على تجويف ملائم للتبطين ويحقق الهدف الذي حفر من أجله.

اما التنظيف غير الكفوء في المقاطع المائلة والأفقية فيؤدي الى فشل عملية

عالية نسبياً من المواصفات التيارية لمنع انزلاق الحبيبات) ولأن السرع العالية المسببة للاضطراب أو القريبة من ذلك تتطلب معدات ضخ عملاقة وتسبب زيادة سرعة تدوير الحافرة (في الحفر التوربيني) مما يسبب زيادة سرعة الحفر وزيادة كمية الفتات الواجب رفعها و كذلك تسبب تهدم جدار البئر خصوصاً من المناطق القليلة التماسك لذلك بدأ الاتجاه نحو الأختيار الثاني (الجريان الخطي) مع الاهتمام بمواصفات سائل الحفر لأن كل ذلك ضمن الإمكانات المتاحة حقلياً ويضمن سلامة البئر.

وعلى ضوء ما تقدم اتجهت الدراسات المختبرية نحو حل مشكلة تنظيف البئر الأفقية باستعمال نمط الجريان الخطي فوجد انه في كل معدل تدوير لسائل الحفر تترسب طبقة من الفتات (Cutting Bed) على الجدار السفلي من البئر (يتناسب سمكها عكسيا مع معدل تدوير سائل الحفر) وتشغل حيزاً من التجويف الحلقي مما يسبب زيادة سرعة الجريا ن في الجزء المتبقي من التجويف حتى يتم الحصول على السرعة التي ترفع كل الفتات الداخلة في المقطع تحت الدراسة. هذه السرعة سميت السرعة الحرجة (Critical Velocity) التي يدخل في تحديد قيمتها عدة عوامل منها الصفات التيارية لسائل الحفر وكثافته وأبعاد البئر وحجم الفتلت وكثافتها [6]. طبقة الفتات لا يمكن التخلص منها إلا بعد ايقاف عملية الحفر والإستمرار بالتدوير لوقت كاف مع زيادة سرعة التدوير (ضمن الحدود المسموحة).

وتأسيساً على ذلك ظهرت تقنيات اضافية تضمن التخلص من طبقة الفتات (دون الاعتماد كليا على سائل الحفر) مثل وضع منافث (Nozzles) على طول عمود الحفر في الجزء الأفقي من البئر تفتح بفارق ضغط هيدروليكي معين (بعد سحب الحافرة مسافة قليلة من القاع) فيتدفق السائل من أنبوب الحفر الى التجويف الحلقي من خلال هذه المنافث فيقوم بتحريك الفتات المترسبة ونقلها [7]. في حين أستعملت تقنية أخرى

كيف يتحقق تنظيف البئر الأفقية

إعتماداً على تجارب مختبرية مكثفة اقترح مجموعة باحثين [4] الأسلوب التالي لتنظيف البئر الأفقية :-

1. المقاطع ذات الميل من (0-45) درجة: يتم التنظيف بالجريان الخطي مع رفع قيمة Yp ولزوجة طين الحفر.
2. المقاطع ذات الميل من (45-55) درجة: لا فرق بين إستعمال نمطي الجريان الخطي أو المضطرب مع ملاحظة ان تجمعات فتات الصخور تميل للأنزلاق للأسفل في هذه المقاطع.
3. المقاطع ذات الميل من (55-90) درجة: أفضل التنظيف يتحقق بالجريان المضطرب حيث ان تغيير الصفات الريولوجية هنا لايؤثر على كفاءة التنظيف.

مجموعة أخرى من الباحثين [5] اقترحوا الأسلوب التالي لتنظيف المقطع :-

1. تكوين جريان مضطرب لسائل الحفر بالتجويف الحلقي ولا دور حينها لريولوجية سائل الحفر.
2. أو تكوين جريان خطي مع إستعمال سائل حفر يعطي قراءة عالية في جهاز (V.G. Meter) في السرع (3 و 6) دورة/دقيقة ويمتلك قيمة عالية للـ Yp.

يتضح من هذا انه للحصول على تنظيف جيد للبئر وبأقل معدل تدوير لسائل الحفر يتطلب تقليل قيم المواصفات التيارية (أذا كان نمط الجريان المقرر مضطرب لتقليل السرعة اللازمة للدخول في الحالة المضطربة) ويتطلب زيادة قيم المواصفات التيارية للسائل كاللزوجة و Yp (أذا كان نمط الجريان المقرر خطي لتحسين كفاءة الرفع لدى السائل وبالتالي تقليل السرعة اللازمة لنقل الفتات).

ونظراً لصعوبة الحصول على الجريان المضطرب في الأجزاء المائلة والأفقية من البئر لسوائل الحفر التي عليها ايضاً ان ترفع الفتات في الجزء العمودي من البئر وبجريان خطي (أي عليها ان تمتلك قيم

العوامل المؤثرة على عملية نقل الفتات في البئر الأفقية :

كنتيجة لما ورد من الدراسات المذكورة وبانواعها الثلاث اصبح من البديهيات أن العوامل ادناه هي التي تتحكم بعملية نقل حبيبات الصخور المحفورة من قاع البئر الأفقية مروراً بالمقاطع المائلة الى فوهة التجويف:-

1. سرعة الأختراق : والتي تعكس كمية الصخور الواجب نقلها خارج التجويف وتأثيرها حتماً سلبي على عملية التنظيف.
2. معدل تدوير سائل الحفر : ويعكس سرعة مرور السائل في التجويف الحلقي وبالتالي زيادة قوى الرفع.
3. طول المقطع الأفقي أو المائل : حيث أن معظم التعقيدات في عملية التنظيف تحدث مع إنحراف البئر عن الشاقول لذلك فكلما طال هذا المقطع صعب تنظيفه أي أن هذا العامل يمتلك تأثيراً سلبياً.
4. المواصفات الريولوجية لسائل الحفر : وتأثيرها فعال في نمط الجريان الخطي وأقل فاعلية في نمط الجريان لمضطرب.
5. مواصفات الفتات : والمقصود بها متوسط حجم الحبيبات ومساحتها السطحية، شكلها، كثافتها، قوى الشد السطحي بينها وبين سائل الحفر. وكل من هذه المواصفات يمتلك تأثيراً على عملية تنظيف البئر يختلف عن تأثير المواصفات الأخرى. فزيادة المساحة السطحية لحبيبة الصخور المحفورة يساعد على رفعها خصوصاً في نمط الجريان الخطي حيث تزداد قوى الدفع (Drag Forces) في حين صغر حجم الحبيبة يسهل رفعها في دوامات نمط الجريان المضطرب . اما كثافة الصخور فتأثيرها سلبي وقوى الشد السطحي تأثيرها ايجابي.
6. حركة خيط الحفر : خلال حفر البئر العمودية وجد ان تدوير عمود الحفر يساعد على رفع الفتات خصوصاً في نمط الجريان الخطي لكن تأثيره يمكن إهماله لقلته ولأن الكثير من العوامل تؤثر سلباً

أسلوب التنظيف بالتدوير العكسي لسائل الحفر حيث يوقف الحفر ويضخ سائل الحفر (باستعمال منظومة معدات سطحية خاصة) من خلال التجويف الحلقي ل تجريف الفتات المترسبة ويدخلها في عمود الحفر لتنقل الى السطح بالجريان المضطرب الذي ينشأ نتيجة لصغر مقطع عمود الحفر[8].

بعد إتضاح الصورة بدأت الدراسات تتوجه نحو تقليل السرعة الحرجة أو تقليل سمك طبقة الفتات مع ثبات معدل تدوير سائل الحفر. وكنتيجة لسلسلة تجارب مختبرية وجد أن تدوير عمود الحفر بسرعة دوران (100-150) دورة/دقيقة يقلل مساحة جزء المقطع العرضي للتجويف الحلقي المشغول بطبقة الفتات بنسبة (80) بالمائة[9].

هذه النتائج المشجعة حولت انظار الشركات والباحثين الى التركيز على دراسة تأثير انواع أخرى من حركة عمود الحفر على تنظيف البئر حيث ان التدوير الكامل لعمود الحفر لايمكن إنجازه دائماً خصوصاً في الحفر التوربيني ولأنه يسبب تهدم البئر في المقطع المائل ولأنه ايضاً يتطلب عزم تدوير عالي جداً لا يتحمله عمود الحفر نفسه. وعلى هذا الأساس جاء في إحدى الدراسات [10] (التي درست مختبرياً تأثير الالتواء الترددي لعمود الحفر والذي يتولد بفعل إضافة مسبب لهذه الحركة على المحور الناقل للحركة من المحرك التوربيني الى الحافرة) ان توليد هذا النوع من الحركة يقلل مساحة المقطع المشغول بالفتات المترسبة بنسبة تصل الى (90) بالمائة مع ثبات معدل تدوير ومواصفات سائل الحفر.

ان هذا التقديم لمشكلة تنظيف البئر المائلة والأفقية والأساليب المتبعة لحلها والافتراضات التي لا زالت قيد التطبيق يجعل الدخول الى دراسة تمثيلها رياضياً اكثر وضوحاً وصولاً الى التمثيل الأشمل.

الصخرية ومن ثم يقود الى عصيان الانابيب ما لم تجري عملية تدوير لسائل الحفر ولوقت كافي وبمعدل تدوير ملائم[11].

10. قطر عمود الحفر : كلما كانت النسبة بين قطر أنبوب الحفر الى قطر البئر كبيرة كلما كانت سرعة جريان سائل الحفر في التجويف الحلقي بينهما كبيرة مع ثبات معدل التدوير وبالتالي ستتاح إمكانية أكبر لرفع الفتات من هذا التجويف.

العوامل المذكورة أعلاه اضافة الى عوامل ثانوية أخرى هي التي تتحكم بعملية تنظيف البئر من الفتات الصخرية كما تم اثبات ذلك من الدراسات المختبرية والنظرية والتطبيقية لكن الجدل يبقى قائماً حول تسلسل أهمية تأثير كل من هذه العوامل من ب ين العوامل الاخرى.

الكثير من الدراسات [16,15,14,13,12,11,10] لم تتطرق لتأثير حركة عمود الحفر على رفع الفتات في حين اعتبرته دراسات أخرى [20,19,18,17,9] عاملاً مهماً جدا . كذلك أعتبر عدم تمركز عمود الحفر في تجويف البئر (Eccentricity) من العوامل المهمة المؤثرة على نقل الفتات في بعض الدراسات [14] في حين اهملته تماماً دراسات اخرى [21,13].

من ناحية اخرى اعتبرت الدراسة [16] تقليل الفرق بين كثافة الصخور المحفورة وكثافة سائل الحفر هو العامل الحاسم في نقل الفتات في الآبار المائلة والأفقية في حين نفس العامل أعتبر ثانوياً في دراسات الاخرى [15,14] وهكذا ...

ايضاً تهمل لقلة تأثيرها لذا لم يدخل في معادلات رفع الفتات كعامل مؤثر . اما في حفر البئر المائلة والأفقية فالدراسات المختبرية أكدت على أهمية حركة عمود الحفر على رفع الفتات بسبب اثارته لما مترسب منها في الجزء السفلي من التجويف ووضعها في الجزء العلوي منه حيث يجري سائل الحفر بسرعة أعلى منها في جزء التجويف الس فلي الذي يرقد فيه عمود الحفر وقسم من الفتات.

7. زاوية ميل مقطع البئر : أثبتت الدراسات المختبرية [9] بأن أسهل المقاطع في عملية التنظيف هو المقطع العمودي واصعبها المقطع ذو الميل بين (50) الى (70) درجة عن الشاقول.

8. كثافة سائل الحفر : الذي يؤثر ايجابياً على تنظيف ال بئر لانه يقلل من سرعة انزلاق الحبيبة الصخرية (Slip Velocity) نحو الاسفل.

9. موقع عمود الحفر في تجويف البئر : (Eccentricity of Drilling String)

خلال إختراق المقاطع المائلة والأفقية من البئر فان عمود الحفر وبفعل تأثير قوى الجاذبية يميل باتجاه الجدار السفلي من التجويف ويضطجع على الجدار السفلي عندما يكون طول المقطع المائل أو الأفقي كافيا. ان تواجد عمود الحفر في الجزء السفلي للبئر يجعل سرعة سائل الحفر في هذا الجزء أقل مما هي عليه في الجزء العلوي (الخالي من عمود الحفر) وقد تصل الى الصفر عندما يكون عمود الحفر متكئاً تماماً على الجدار السفلي للبئر . ان قلة سرعة سائل التنظيف في الجزء الذي تترسب فيه حبيبات الصخور المحفورة يجعل من عملية نقل الفتات أمراً غاية في الصعوبة وقد يؤدي الى زيادة قوى مقاومة تدوير عمود الحفر وطمره بالفتات

2. الشكل المعقد للعلاقات الرياضية في مثل هذة النماذج يجعل من الصعب تطبيقها و تقييمها على نتائج تجارب مختبرية لمعرفة مدى التطابق بين الانموذج والعمل المختبري . ان معظم الصعوبات التي واجهت التطبيق جاءت من الحاجة لح ساب قيم من الصعب تحديدها مثل قوى الشد السطحي بين الحبيبات وسائل الحفر او فيما بينها (مع بعضها البع ض) وزاوية ارتباط كتلة الفتات مع جدار البئر وهكذا.
3. الفرضيات التي بدأ منها الاشتقاق مختلفة عن بعضها حيث افترض معضمها ان شكل الحبيبة هي كروي [17,15,8] واهمل بعضها وجود عمود الحفر وافترض البئر كالقناة [8] أو أفترض أن مقطع البئر يتكون من منطقة فتات ثابتة ومنطقة سائل حفر محمل بالفتات العالقة [14] أو من ثلاث مناطق [16]. إن الأختلاف في فرضيات الحالة الأبتدائية بالأشتقاق حتماً يجعل المعادلة النهائية تختلف في تفسير الظاهرة الواحدة المراد تفسيرها رياضياً . لذلك أصبح من الضروري أيجاد مدخل جديد لتمثيل عملية نقل الفتات وتفسير كل ظواهرها رياضياً مع محاكمة هذه العوامل المذكورة في عملية تنظيف البئر وصولاً إلى تحديد التسلسل المنطقي لأهمية هذه العوامل وبالتالي ألى أمكانية حل مشاكل تنظيف البئر الأفقية من خلال الترك يز على العوامل الأكثر أهمية من بين كل هذه المجموعة من العوامل وهذا هو الهدف ال ذي تربو لتحقيقه هذه الدراسة .

أسباب وجود التناقض في نتائج النماذج الرياضية الممثلة لعملية نقل الفتات في المقاطع المائلة والأفقية في البئر:

ان الاختلافات التي برزت عند استعمال عدة نماذج رياضية ممثلة لعملية نقل الفتات الصخرية في البئر الأفقية (على الرغم من الأتفاق على المفهوم العام لعملية التنظيف ومشاكلها) يمكن حصرها بالأسباب التالية :-

1. اسلوب اشتقاق النموذج الرياضي:-
   اعتمد الباحثون في تكوينهم لنماذجهم الرياضية على ثلاث أساليب مختلفة هي :-
   أ - موازنة القوى التي تدفع الحبيبة للسطح مع القوى التي تدفعها للترسب وإيجاد سرعة جريان تكون فيها الحبيبة عالقة (ثابتة في موقعها) واعتبارها الاساس لحساب معدل تدوير سائل الحفر اللازمة للتنظيف [21,17,13].
   ب -مبد أ موازنة الكتلة- بمعنى ان كتلة الصخور المحفورة (بسرعة اختراق معينة) تساوي كتلة حبيبات الفتات المنتشرة في سائل الحفر بنسبة حجمية معينة في التجويف الحلقي حيث ان سائل الحفر يتدفق بالسرعة الكافية لتعليق كل الحبيبات فيه، يتم تحدد سرعة تدفق سائل الحفر هذه باعتبارها الاساس للاشتقاقات الاخرى[15].
   ت - مزيج بين الاسلوبين - اي باستعمال موازنة القوى وموازنة الكتل معا لاشتقاق معادلات الموديل الرياضي الممثل لعملية نقل الفتات[16,14].

ان استعمال هذه الاساليب في اشتقاق النموذج يبرز عوامل معينة كالكثافة وسرعة التدفق مثلاً ويضمر عوامل اخرى كحركة خيط الحفر وعدم تمركزه في البئر .

مختبرات آخرى يختلف فيها مثلاً قطر البئر أو قطر أنبوب الحفر أو سرعة الحفر أو سرعة سائل الحفر وغير ذلك. إن كثيراً من الأستنتاجات سبق وأن بنيت على أساس مجموعة تجارب أجريت في ظروف معينة ثب ت عدم صحتها بعد أجراء تجارب مشابهة ولكن في ظروف وأبعاد مختبرية مختلفة لذلك من الضروري جداً تعميم نتائج كل التجارب ومقارنتها مع بعضها على الأساس اللابعدي الذي يحققه هذا التحليل .

إن عملية تنظيف البئر هي نتيجة لتفاعل عدة عوامل بعضها رئيسي وبعضها ثانوي فلو اخذنا معدل تدفق الفتات(Q_c) الخارجة من مقطع معين من البئر طوله (ΔL) كدليل لكفاءة عملية التنظيف لوجدنا إنه داله لعدة عوامل وكما يلي:-

$$Q_c = f\,(Q_L, \Delta P, \Delta L, \rho_L, \rho_c, \xi, \xi_s, \delta, \alpha, S, S_c, S_{cn}, e, \omega, Q_b, g, t, \ldots) \quad \ldots(1)$$

حيث تمثل عناصر الدالة (الجزء الايمن من العلاقة) اهم العوامل التي تتحكم بعملية نقل الفتات من البئر وكما يلي :

Q_L = معدل تدوير سائل الحفر

ΔP = فرق الضغط بين بداية ونهاية طول المقطع المدروس من البئر (ΔL)

ρ_L , ρ_c = كثافة سائل الحفر وكثافة الصخور والمحفورة على التوالي

ξ = الخواص الريولوجية (التيارية) لسائل الحفر

ξ_s = خواص الصخور المحفورة

δ = معامل الشد السطحي بين ا لفتات والسائل

α = زاوية الميل (عن الشاقول) لمقطع البئر

S = مساحة مقطع التجويف الحلقي للبئر

S_c = مساحة مقطع التجويف الحلقي المشغول بالفتات المتحركة (العالقة)

S_{cn} = مساحة مقطع التجويف الحلقي المشغول بالفتات الثابتة (المترسبة)

e = العلاقة بين محورالبئر ومحور عمود الحفر بتعبير آخر لا تمركز عمود الحفر

التحليل البعدي للعوامل المؤثرة على عملية نقل الفتات

أن أسلوب التحليل البعدي (Dimensional Analysis) على الرغم من أنه أسلوب قديم ظهر منذ بداية القرن العشرين ألا إن الدراسات الحديثة إتجهت لإستعماله في حل المشا كل الصناعية والطبيعية في مختلف المجالات لما يمتلكه من إمكانية إدخال أكبر عدد من العوامل المؤثرة على أي ظاهرة كانت ثم تحليلها على أساس الأبعاد الرئيسية (طول , كتلة , زمن) او (قوة ، طول ، زمن) لإيجاد مجاميع يختصر بعضها مع بعض ويبقى فقط عدة أرقام لابعدية معر وفة مثل رقم رينولد أو فرويد وغيرها والتي تعبر عن مفاهيم معينة كسرعة جريان سائل او تردد حركي أو غير ذلك وهكذا وبأتباع هذا الأسلوب بالأمكان أشتقاق اي معادلة وتفسير أي ظاهرة مع ضمان سهولة التطبيق وشمولية النموذج الرياضي ودقته [22،23].

ومن جانب اخر فقد يكو ن التحليل البعدي فقط لوضع الأساس الصحيح لايجاد معادلات تطبيقية عالية الدقة تعتمد عليه لأن التحليل اللابعدي قد لا ينتهي (في الحالات المعقدة مثلاً) بالمساواة بين طرفي العلاقة وأنما يكتفي بأيجاد علاقة دالة فقط.

إن الغرض من إتباع إسلوب التحليل البعدي لعملية نقل الفتات الصخري في مقاطع البئر هو:-

1. لأدخال أكبر عدد من العوامل المؤثرة على عملية تنظيف البئر والتي ستندمج مع بعضها وتختصر لتشكل ارقام لابعدية معروفة يسهل حسابها.
2. لضمان حالة الشمولية بمعنى إن نتائج كل التجارب المختبرية بالإمكان الأستفادة منها هنا لأنها ستد خل بشكل لابعدي يحقق صحة مقارنة هذه النتائج مع نتائج تجارب أخرى أجريت في

$$\frac{\Delta p\,(S-S_{cn})^{2.5}}{\Delta L \rho_m (Q_b+Q_L)^2} = \lambda_m$$

عدد اولر او معامل المقاومة الهيدروليكية للمزيج [23]

$$(Q_c + Q_L)\,\rho_m / (S-S_{cn})^{0.5}\,\mu_m = Re_m$$

عدد رينولد للمزيج[22]

حيث μ_m = اللزوجة الفعالة للمزيج

ρ_m = كثافة المزيج $= \rho_m$ و ρ_L (1-F) + F. ρ_c و F = النسبة الحجمية للفتات في المزيج.

$$\frac{\omega^2 (S-S_{cn})^{0.5}}{g} = Ta$$

عدد تايلر المعبر عن الطاقة المتسببة من دوران عمود الحفر [23]

$$\frac{(\rho_c - \rho_L)(Q_c + Q_L)^2}{\delta (S-S_{cn})^{2.5}} = We$$

عدد ويبر المعبر عن تماسك المزيج [22]

$$\frac{(Q_b+Q_L)^2 .t}{(S-S_{cn})^{1.5}} = Sh$$

عدد ستروهال الذي يعبر عن الحالة اللامستقرة للجريان وبضمن ذلك حالة ترسب الفتات [23]

$$\frac{\rho_L}{\rho_c} = \bar{\rho}$$ تناسب الكثافات

ζ = عامل يعبر عن الصفات اللانيوتونية للسائل

فمثلاً لسائل من نوع بنكهام ـ بلاستك فهذا العامل يساوي عدد هيدسترم [23]

$$\zeta = \bar{He} = Yp\,(S-S_{cn})\rho/\mu^2$$

حيث:

(eccentricity)

ω = تردد حركة عمود الحفر (دوران ، تذبذب .....)

Q_b = معدل تدفق الفتات الصخرية في قاع البئر والتي تعتمد على قطر الحافرة ومعدل الاختراق او هي معدل تدفق الفتات الصخرية التي تدخ ل بداية المقطع تحت الدراسة.

g = التعجيل الارضي

t= الزمن

وباجراء التحليل البعدي (dimensional analysis) تتحول العلاقة البعدية رقم (1) الى العلاقة اللابعدية التالية :-

$$\varphi = f(\varphi n\,,\ \beta,\ \beta_b\,,\ Fr_m\,,\ \lambda_m,\ Re_m\,,Ta,\ We,\ .Sh,\ \bar{p},\ \bar{\xi},\ \bar{\zeta},\ \bar{\beta},\ \alpha,\ e\ldots) \quad ....(2)$$

حيث:

φ = (Sc /S) محتوى الفتات المتحركة في التجويف الحلقي

φn = (Scn /S) محتوى الفتات غير المتحركة (المترسبة) في التجويف الحلقي

$$\frac{Q_c}{(Q_c + Q_L)} = \beta$$

نسبة تدفق الفتات المنقولة خارج المقطع المدروس الى التدفق الكلي للفتات والسائل

$$\frac{Q_b}{Q_b + Q_L} = \beta_b$$

نسبة تدفق الفتات الداخلة في قاع المقطع المدروس الى التدفق الكلي للفتات والسائل

$$\frac{(Q_c + Q_L)^2}{g\,(S-S_{cn})^{2.5}} = Fr_m$$ عدد فرويد

للمزيج المتحرك (سائل +فتات) وهو يعبر عن الطاقة المتسببة من حركة المزيج [22]

وعندما يكون الجري ان مضطرب تكون الغلبة لقوى الرفع (بفعل دوامات الجريان) ولا يكون للمواصفات التيارية لسائل الحفر تأثير واضح على عملية نقل الفتات ولكن كلما كانت الـ Yp قليلة كلما ازدادت حركة الاضطراب مما يزيد من قوى الرفع التي تجعل حبيبة الفتات تحقق حالة نقل بشكل قفزات متعاقب ة في دوامات الاضطراب بإتجاه فوهة البئر. ومن هذا نستنتج بأنه في حالة كون الجريان مضطرب فأن معدل التدوير اللازم لتنظيف المقطع المائل او الافقي ينخفض قليلاً مع انخفاض قيمة الـ Yp. اما في حالة الجريان الخطي فالقيمة المرتفعة للـ Yp تسبب ارتفاع قيمة قوى الاحتكاك بين السائل والفتات مما يمكّن السائل من نقل الفتات الصخرية على شكل دفع (إنزلاق) لطبقة الفتات المترسبة وبإتجاه الجريان أي ان المواصفات التيارية هنا تلعب دوراً مهماً في عملية نقل الصخور المحفورة.

من جانب آخر فأن عمود الحفر خلال حركته يقوم بتحريك طبقة الفتات المترسبة ويبعثرها مسبباً دخول بعض حبيبات الفتات في منطقة الجريان السريع لسائل الحفر الذي يقوم بدوره بنقلها . ولكن حبيبة الصخور تترسب بسرعة عندما يكون السائل قليل اللزوجة وقليل الـ Yp من هذا يتضح بأن دوران عمود الحفر يساعد كثيراً في نقل الفتات خصوصاً في الجريان الخطي عندما يكون السائل ذو لزوجة عالية و Yp عالية ايضاً [6].

Yp = جهد المطاوعة و μ اللزوجة الفعالة ...

ζ = عامل يعبر عن مواصفات الصخور

α = زاوية الميل للمقطع المدروس من البئر

e= قيمة تعكس موقع محور عمود الحفر نسبة الى محور البئر وهو يساوي القيمة اللابعدية لعدم التمركز (Eccentricity)

من العلاقة رقم (2) يتضح بأن أفضل تنظيف للمقطع المدروس من البئر يحدث عندما $\varphi n=0$ أو $\beta = \beta_b$ أي ان كل الفتات الداخلة في المقطع تبقى في حالة حركة بإتجاه فوهة هذا المقطع. ولكن هذه الحالة المثالية لا تحدث دائماً حتى في الآبار العمودية لأن من الصعب واقعياً تحقيق كل الظروف المثلى المطلوبة في الحفر.

في المقاطع المائلة للآبار يمكن ان يقال بأن عملية نقل حبيبة الفتات الصخرية تحدث بأشتراك عمليتين هما (الطفرات Jumping) و (الانزلاق Sliding) [24]. فالطفرات هي ان تتعرض حبيبة الصخرة الى قوى تجعلها تقفز ثم تستقر وتعاود القفز باتجاه جريان سائل الحفر والأنزلاق هو ان تتزحلق طبقة الفتات المترسبة على الجدار السفلي للبئر (وبضمنه ا حبيبة الفتات المقصودة) بفعل تيار سائل الحفر بإتجاه فوهة البئر.

ميكانيكية نقل الفتات تحدث نتيجة لقوى الرفع التي يسببها سائل الحفر وقوى الأحتكاك المؤثرة على طبقة الفتات المترسبة على جدار البئر فعندما يكون الجريان خطي تكون الغلبة لقوى الاحتكاك

حالة لا تمركز ويستقر تماماً على الجدار السفلي للبئر.
وبتثبيت العاملين الاخيرين بالمعادلة (4) تصبح العلاقة لئما يلي :-

$$\varphi_n = f\ (\beta, Fr_m, Ta, \rho) \quad (5)$$

وعند الأستمرار بالتدوير لفترة طويلة وعندما يكون البئر نظيفاً تصبح $\varphi_n = 0$

نقل الفتات الصخرية في الجريان الخطي

إعتماداً على ماورد سابقاً تكون العلاقة (2) في الجريان الخطي كما يلي:-

$$\varphi n = f\ \beta_b, Fr, Ta, \zeta, \xi, \rho, \alpha, e) \quad (6)$$

حيث تلعب مواصفات الصخرة (شكل الفتات, قطرها, مقاومتها للتكسر ...الخ) في نمط الجريان الخطي دوراً مهماً في عملية النقل وكذلك تلعب مواصفات سائل الحفر كما ذكر دوراً هاماً لذلك لا يصح اهمالها.
ولكي تبقى العلاقتين (4) و (6) أكثر شمولية وتصلح لكل مقاطع البئر سواءاً العمودية أو المائلة أو الأفقية، وعند تثبيت العاملين الأخيرين فتكون العلاقة كما يلي :-

$$\varphi n = f(\beta_b, Fr, Ta, \zeta, \xi, \rho) \quad (7)$$

نقل الفتات الصخرية في الجريان المضطرب

في الجريان المضطرب وكما ورد سابقاً يكون تأثير المواصفات التيارية لسائل الحفر محدوداً جداً ومن ناحية أخرى يكون معامل المقاومة الهيدرو ليكية وعامل ومواصفات الصخور ثابتين ولذلك يمكن مع بعض التقريب إهمال العوامل الثلاث أعلاه من طرف المعادلة الأيمن ويصبح لدينا ما يلي :-

$$\varphi = f(\varphi_n, \beta, \beta_b, Fr_m, Ta, Sh, \rho, \alpha, e) \ldots (3)$$

وعند الوصول الى حالة الأستقرار اي إن $\varphi = \beta = \beta_b$ أي أن جميع الفتات الداخلة من الحافرة تكون بحالة حركة وتصل للسطح كذلك ينتهي دور عدد ستروهال Sh فتصبح العلاقة وبدلالة نسبة مقطع التجويف المشغول بالفتات (المترسبة) φn كما يلي :-

$$\varphi n = f(\beta_b, Fr_m, Ta, \rho, \alpha, e) \ldots (4)$$

والعلاقة هذه تصبح اكثر بساطة عند تثبيت العاملين الأخيرين فيها , حيث للجزء العمودي من البئر $\alpha = 0$, $e = 0$ وللأفقي $\alpha = \pi/2$ و $e = 0.5(1-\delta)$ حيث δ = هي نسبة قطر أنبوب الحفر الى قطر البئر لأن للجزء العمودي من البئر يعتبر عمود الحفر متمركزاً فيه أما للجزء الأفقي منه فأن عمود الحفر يأخذ أقصى

تأثيراتها على ضوء نتائج أعمال مختبرية معتمدة وهذا ما سنراه فيما تبقى من البحث

تعميم نتائج تجارب نقل الفتات على أساس التمثيل البعدي

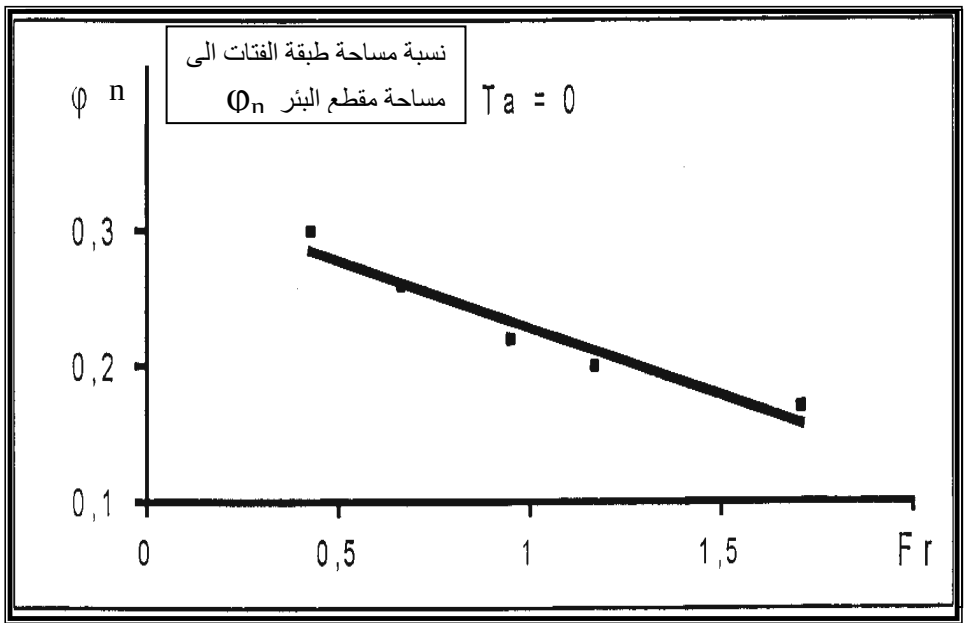
في تسعينيات القرن الماضي نفذت مجاميع عديدة من التجار ب المختبرية التي درست مشكلة نقل الفتات في الآبار المائلة والأفقية بتحريك عمود الحفر أو بدون تحريكه . ولكن معظم التجارب ولظروف تقنية نفذت بوجود نمط الجريان الخطي ولم تنشر نتائج لتجارب أجريت بوجود نمط الجريان المضطرب . سيتم هنا ملاحظة تأثير العوامل اللابعدية المذكورة في المعادلة (6) على نقل الفتات وعلى ضوء النتائج المختبرية.

ان غياب تجارب الجريان المضطرب سيجعل التركيز ينصب فقط على المعادلة أعلاه بالجريان الخطي مع ملاحظة أن المعادلة المذكورة هي بدلالة نسبة حيز التجويف الحلقي المشغول بطبقة الفتات المترسبة (φ_n) لأن جميع النشريات الخاصة بهذا الموضوع أكدت وجود الطبقة ما دام نمط الجريان خطيا [17,16,15,14,8,6].

في الشكل رقم (1) الذي يعكس تأثير سرعة جريان سائل الحفر في التجويف الحلقي على طبقة الفتات المترسبة بثبات عمود الحفر نلاحظ ان العلاقة عكسية تماماً بين سمك طبقة الفتات وسرعة الجريان، أي ان إزدياد عدد فرويد يقلل محتوى الفتات المترسبة في التجويف الحلقي لأن قوى الأحتكاك التي يسلطها السائل على حبيبات الفتات تتعاظم مع تزايد السرعة مما يسهل نقل هذه الحبيبات .

من هذا التمثيل اللابعدي لعملية نقل الفتات في الآبار المائلة والأفقية نستنتج ما يلي :-

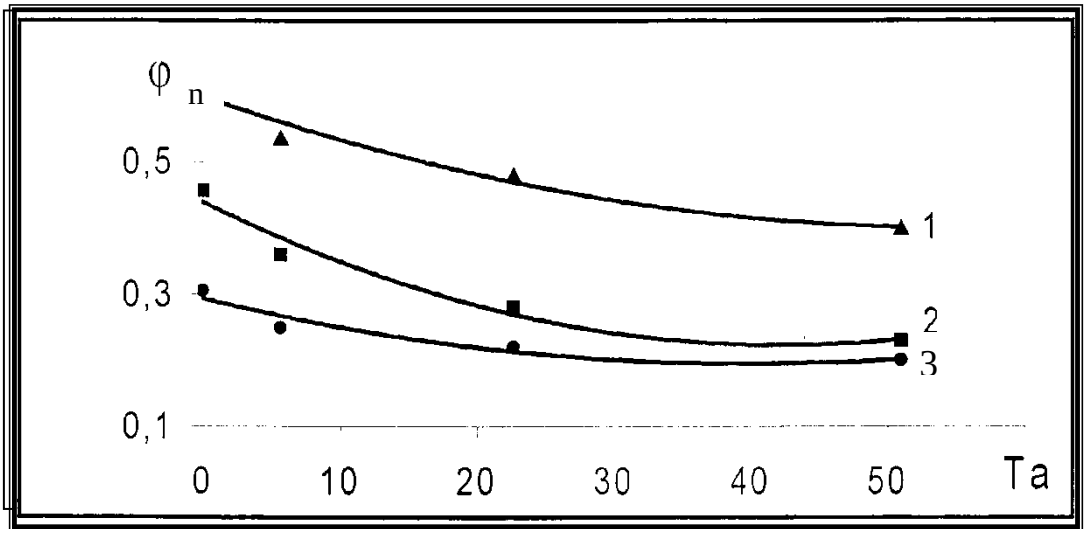
1. العلاقة رقم (2) هي الأكثر شمولية لأحتوائها على كل العوامل التي يمكن ان تتحكم بعملية نقل الفتات.
2. في حالة الجريان الاضطرابي وبعد التركيز على العوامل الرئيسية في عملية نقل الفتات تكون هذه العوامل المتحكمة هي معدل تدوير سائل الحفر (عدد فرويد)، تردد حركة عمود الحفر (عدد تيلر)، نسبة كثافة الصخرة الى كثافة سائل الحفر بالأضافة الى زاوية ال ميل. اما معامل اللاتمركز لعمود الحفر فيمكن اهماله لأنه عند الدخول الى حالة كاملة من حالات الاضطراب للجريان فان الاضطراب يشمل جميع سائل الحفر في كل المقطع العرضي للتجويف الحلقي فينتفي دور موقع عمود الحفر.
3. أما في حالة كون نمط الجريان خطياً فإن العوامل المتحكمة الرئيسية في عملية نقل الفتات في الآبار المائلة والأفقية هي عدد فرويد (المعبر عن معدل تدوير السائل) وعدد تيلر (المعبر عن تردد حركة عمود الحفر) ومواصفات سائل الحفر ومواصفات حبيبات الفتات الصخرية ونسبة الكثافات وزاوية ال ميل وموقع عمود الحفر في البئر الذي يلعب دوراً مهماً جداً هنا لأ نه يشوه خارطة توزيع السرع لسائل الحفر في المقطع العرضي في التجويف الحلقي حيث تتراوح السرع من قيمتها العليا في النصف العلوي (الفارغ من عمود الحفر) الى أدنى قيمة لها وأحياناً صفر أ في النصف السفلي للتجويف (حيث يتكيء عمود الحفر على الجدار السفلي للبئر).
4. ان ترتيب هذه العوامل اللابعدية الرئيسية حسب أولوياتها يحتاج الى دراسة



شكل رقم (1)
تأثير عدد فرويد على نقل الفتات الرملية في البئر الأفقي بإستعمال سائل حفر ذو اساس مائي (FWB) ذو كثافة 1.08غم/سم3 ولزوجة 11 سنتي بويز[10].

في الشكل رقم (2) يظهر التأثير المشترك لعددي تيلر وفرويد على نقل الفتات في البئر الأفقية. من الشكل المذكور يمكن الخروج بالاستنتاجات التالية:-

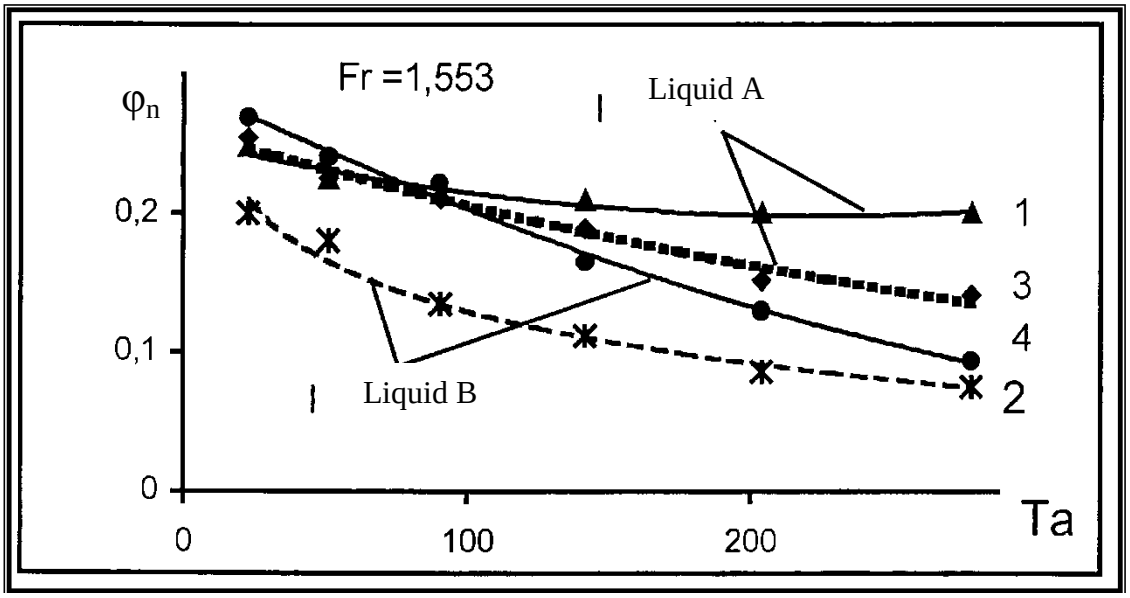
1. بثبات قيمة عدد فرويد يكون تأثير زيادة عدد تيلر فعال جداً حتى قيمة معينة بعدها زيادة تردد دوران عمود الحفر لا تقلل محتوى الفتات المترسبة في التجويف الحلقي.
2. كلما ازداد عدد فرويد يقل محتوى الفتات المترسبة ولكل قيم عدد تيلر.



شكل رقم (2)
تأثـــتير عدد تيـــلر وفرويد على نقل الفتات في البئر الأفقيـــة. المنحنيـــات (1,2,3) تعبـــر عن حـــالات دوران كـامل لعمود الحفر لقيم عـدد فرويـــد (1-0.386, 2-0.8735, 3-1.553) على التوالي[10].

الجيرية المترسبة أقل من محتوى الفتات الرملية المترسبة لكل قيم عدد تيلر . هذه الظاهرة تؤكد وجهة النظر القائلة بأن حبيبة الفتات الجيرية تتهشم بسرعة تحت تأثير دوران عمود الحفر. سائل الحفر اللزج يزيد من تواجد الحبيبة في الجزء العلوي من التجويف الحلقي حيث تكون سرعة جريان السائل أعلى مما يساعد على نقلها مع تيار السائل ويقلل تعرضها لعملية الطحن تحت عمود الحفر[10,9].

من الشكل رقم (3) يتضح لنا بأنه بتدوير عمود الحفر بترددات قليلة بإستعما ل سائل حفر ذو لزوجة (5) سنتي بويز و Yp (7) با/ 100قدم^2 القليلتين وبثبات عدد فرويد يكون محتوى فتات الصخور الجيرية (limestone) المترسبة في التجويف الحلقي أقل منه عندما تكون الفتات من الصخور الرملية وتنعكس الصورة في الترددات العالية لتدوير عمود الحفر[10]. وتحت نفس الظروف ولكن بإستعمال سائل حفر أكثر لزوجة يكون محتوى الفتات



شكل رقم (3)
تأثير المواصفات الريولوجية لسائل الحفر على محتوى الفتات المترسبة في التجويف الحلقي خلال تدوير عمود الحفر. سائل A: سائل حفر لزوجته 5 سنتي بويز و(Yp) 7 باوند /100 قدم مربع، والسائل B: لزوجته 15 سنتي بويز و(Yp) 20 باوند /100 قدم مربع. الخطوط 1 و 2 فتات جيرية والخطوط 3 و 4 فتات رملية[9]

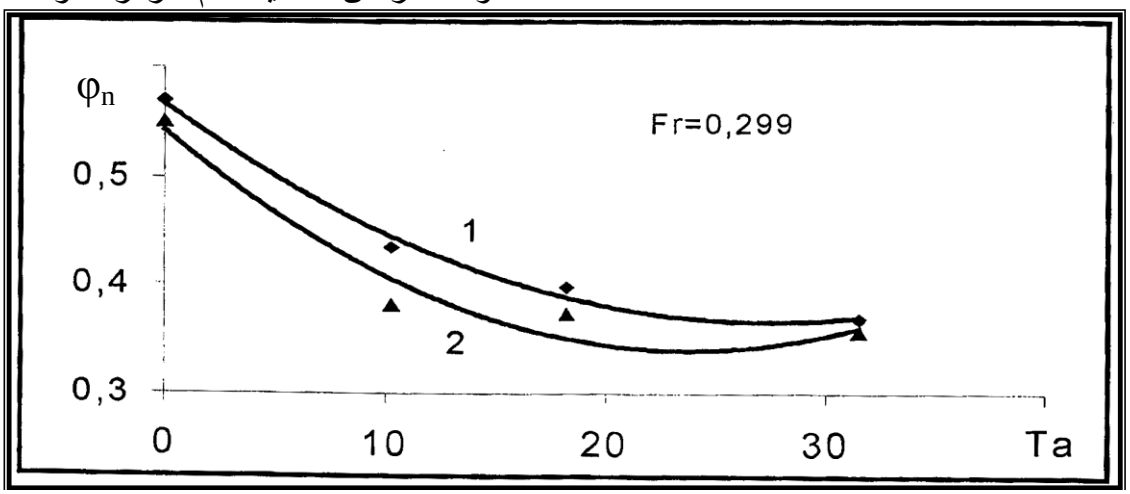
وتنقل كل الفتات الداخلة في مقطع البئر (مع بقاء وجود طبقة مترسبة من الفتات الصخرية).

أما عندما يكون عمود الحفر متمركز فأن سرعة جريان سائل الحفر في جزء التجويف الحلقي العلوي أقل مما في حالة اللاتمركز مما يتطلب تكون طبقة من الفتات أسمك للوصول الى السرعة الحرجة التي تضمن نقل الفتات الجديدة التي تدخل المقطع قيد الدراسة . ان لاتمركز عمود الحفر في

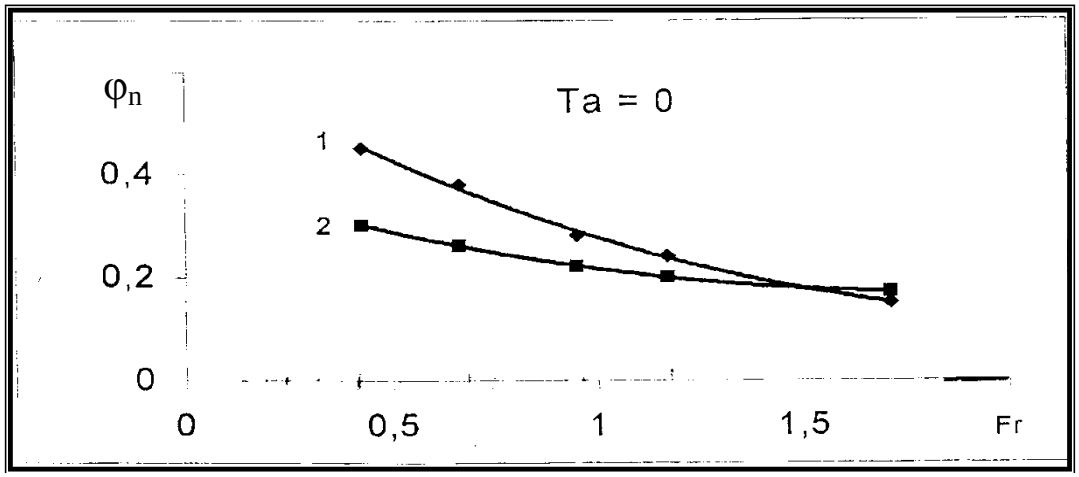
عندما يكون عمود الحفر غير متمركز في البئر الأفقية فأن متوسط سرعة جريان سائل الحفر في الأجزاء العليا من مقطع التجويف الحلقي أكثر مما هي في الأجزاء السفلى التي يتواجد فيها عمود الحفر ولكن مع ترسب طبقة الفتات على الجدار السفلي للبئر يندفع كل سائل الحفر للجريان في الأجزاء العليا من ال تجويف الحلقي فيزداد متوسط سرعته الى ان تصل الى القيمة الحرجة التي عندها لا يحدث ترسب اضافي

الحفر تقل مع زيادة سرعة تدوير سائل الحفر الى ان يصبح وجود عمود الحفر اللامتمركز في الجزء الاسفل من التجويف عائقا امام دفع كميات اكثر من الفتات المترسبة مع تيار سائل الحفر (شكل رقم 4 – ب)

البئر الأفقية يعتبر عاملاً مساعداً لتقليل الفتات المترسبة (سمك طبقة الفتات الصخرية) خصوصاً مع تحريك عمود الحفر(الشكل رقم 4-أ) حيث يلاحظ ا فضلية اللاتمركز في التنظيف لكل سرع دوران عمود الحفر التي تم دراستها . اما بثبات عمود الحفر فان افضلية عدم تمركز عمود

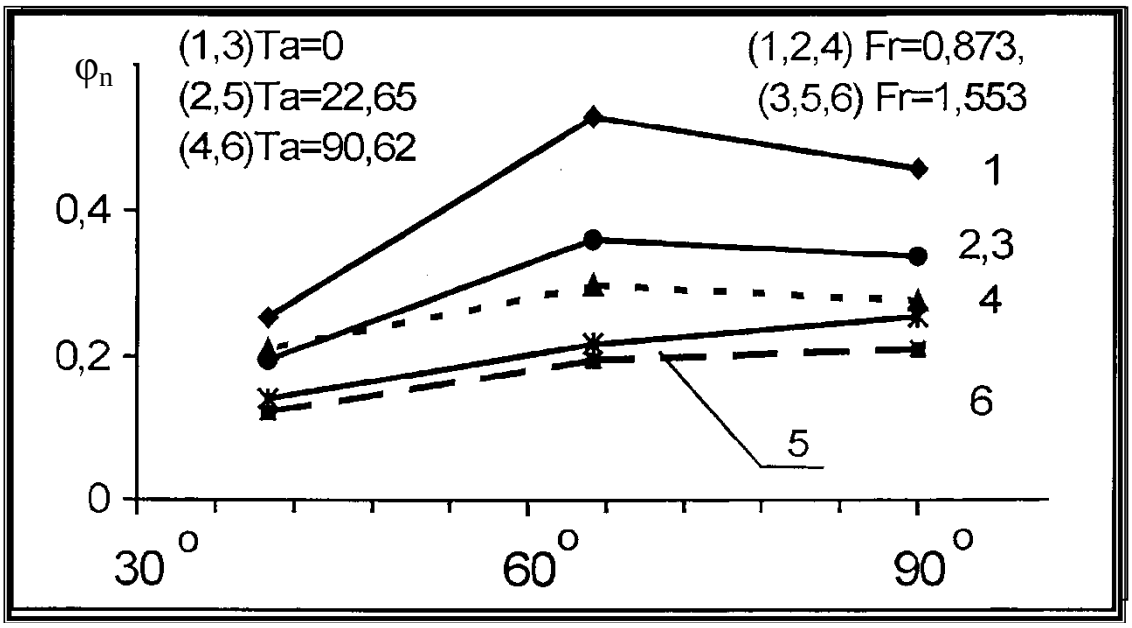


شكل (4-أ)
تأثير لاتمركز عمود الحفر (مع دورانه) على نقل الفتات الرملية في البئر الأفقية باستعمال سائل حفر (FWB) ذو كثافة (1.08 غم/سم3) ولزوجة (11سنتي بويز). المنحني (1) عمود الحفر متمركز، والمنحني (2) عمود الحفر يتكئ على الجدار السفلي[10].



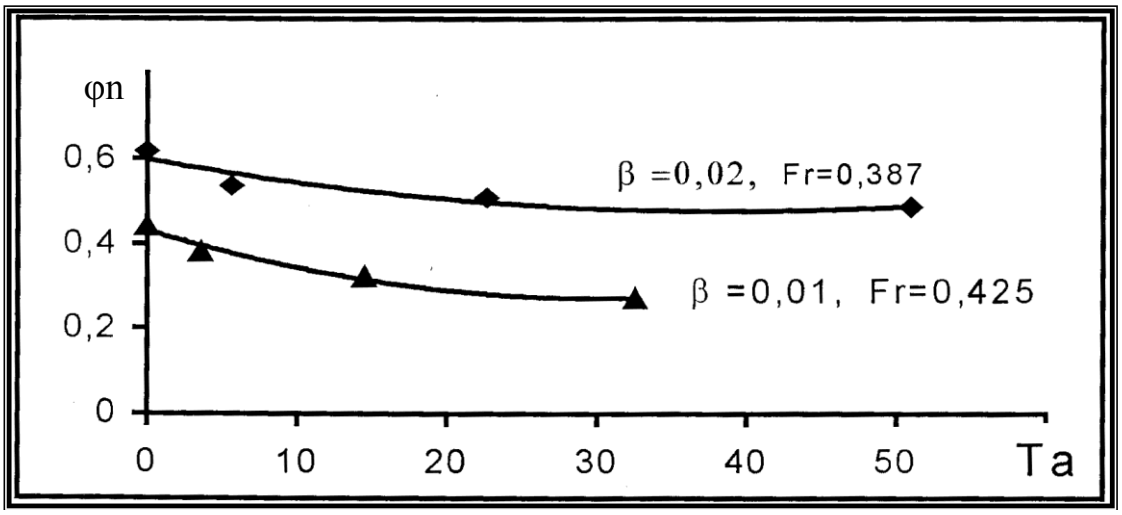
شكل (4-ب)
تأثير لاتمركز عمود الحفر (الغير متحرك) على نقل الفتات الرملية في البئر الأفقية بإستعمال سائل حفر (FWB) ذو كثافة (1.08 غم/سم3) ولزوجة (12سنتي بويز). المنحني (1) عمود الحفر متمركز، والمنحني (2) عمود الحفر يتكأ على الجدار السفلي[19].

اما الشكل (5) فيعكس لنا كيف ان نقل الفتات يصبح أكثر صعوبة عندما يكون ميل مقطع البئر يقع بين (55-75) درجة خصوصاً عندما تكون قيمة عدد فرويد قليلة وعندما يكون عمود الحفر غير متحرك Ta=0 . ولكن عندما يكون ميل البئر أكبر من (65) فإن نقل الفتات ستعود بالتحسن خصوصاً في قيم اعداد فرويد وتيلر العاليتين.



شكل (5)
تأثير زاوية ميل البئر على نقل الفتات الرملية بإستعمال سائل حفر (FWB)[9]

من الشكل رقم (6) يتضح كيف ان تأ ثير سرعة الاختراق (العامل اللابعدي β) عكسي على عملية التنظيف حيث انه كلما كانت سرعة الاختراق أعلى كلما كانت كمية الفتات المترسبة أكثر بثبات ظروف التنظيف الأخرى (نفس سائل الحفر وسرع تحريك عمود الحفر مع اختلاف بسيط بسرعة سائل الحفر لم تؤثر على الاستنتاج) [9,19].



شكل (6)
تأثير سرعة الاختراق على نقل الفتات في البئر الأفقية بإستعمال سائل حفر (FWB)[9,19].

الاستنتاجات

1. ان استعمال اسلوب التحليل اللابعدي أمكننا من الحصول ولأول مرة على علاقة تمثل عملية نقل الفتات والتي تصلح للبئر العمودي والمائل والأفقي ولأنماط الجريان الخطي والمضطرب ولكل انواع سوائل الحفر.
2. إن هذا التمثيل بالأضافة الى بساطته وشموليته فأنه يمتلك ميزة إضافية تتمثل في امكانية تعزيز نتائجه بتطبيقها على تجارب مختبرية معتمدة لتحديد دور كل حد من حدوده في عملية تنظيف البئر.
3. على ضوء الحقائق التي برزت من التمثيل الرياضي و من تطبيقه على التجارب المختبرية.

أصبح بالإمكان تحسين حالة تنظيف أي بئر أثناء عمليةالحفر بالتركيز على العوامل الأكثر أهمية كسرعة تدوير سائل الحفر وتردد حركة عمود الحفر وبالإستفادة من معرفة نوع الفتات الصخرية لتحديد مواصفات سائل الحفر الملائمة والتردد الملائم لعمود الحفر.
دراسات لاحقة تعتبر ضرورية لتطوير هذه العلاقات الى معادلات متساوية الاطراف من اجل استكمال الصورة حول برمجة عملية تنظيف البئر الافقية من خلال التحكم في العوامل اللاعبة الرئيسية في عملية انتقال حبيبات الصخور المحفورة الى فوهة البئر.

تسلسل عوامل تنظيف البئر الأفقية حسب أهميتها

بتثبيت سرعة الأختراق (العامل β) يكون تسلسل العوامل المؤثرة على عملية تنظيف البئر الأفقية (المعادلة 6) وحسب الأهمية كما يلي:-

1. عدد فرويد Fr
2. عدد تيلر Ta
3. المواصفات الريولوجية لسائل الحفر
4. زاوية ميل مقطع البئر α
5. نوع وابعاد وكثافة حبيبات الفتات
6. لا تمركز عمود الحفر e

العاملان الاول والثاني هما العاملان الأساسيان في عملية نقل الفتات أما العوامل الأربعة الأ خيرة إضافة الى نسبة قطر عمود الحفر الى قطر البئر فهي عوامل ثانوية ويمكن ان يحل أحدها محل الآخر إعتماداً على ظروف عملية التنظيف في البئر لكن تأثير كل عامل لا يمكن تحديده على حده دون الأخذ بنظر الإعتبار التأثير المتبادل مع العوامل الأخرى.
عدد تيلر يحتل المرتبة الثانية في تسلسل الأهمية بعد عدد Fr وهذا يعتبر من أهم نتائج هذه الدراسة .

References

1. Hemphill A.T., Larsen T.I "Hole Cleaning Capabilities of Water & Oil Based Drilling Fluids: A Compressive Experimental Study", SPE Drilling & Completion, Dec.1996, p.201.
2. Hemphill A.T. "Tests Determine Oil Mud Properties to Watch in High Angle Wells", Oil & Gas Journal, Nov. 26, 1990, p 64.
3. Hager J.M., Tian S., Adewumi V.A., Watson R.W "An Experimental Study of Particle Transport in Deviated Wellbore", Canadian JPT, Feb. 1995, p.51.
4. Okrajni S.S., Azar J.J. "The Effect of Mud Rheology on Annular Hole Cleaning in Directional Wells" SPEDC, Aug. 1986, p 297.
5. Becker T.E., Azar j.j, Okrajni S.S. "Correlations of Mud Rheology with Cuttings Transport Performance in Directional Drilling", SPEDC, March 1991, p.16.
6. Pilehvari A.A., Azar J.J., Shirai S.A. "State of The Art Cutting Transport in Horizontal Wellbores" SPEDC. Sep. 1999, p.196.
7. Mutual D.K., Rokwell, M.C., Chagirwa R.M., "A Computer Simulation Model of Horizontal Wellbore Cleaning Using a Transverse Axial Traveling Dynamic Pressure Jet System" Canadian JPT, special 1999, Vol. 38, No.13.
8. Lavrntov F.S., Likhshin A.M., Mikola A.Y., Shamshin F. Y. "Cleaning of The Horizontal Wellbore" Gasovaya Promishlinnost Journal (in Russian language), No 1, 1998, p. 20.
9. Sanches R.A., Azar J.J., Bassal A.A., Martines A.L. "The effect of drillpipe rotating on hole cleaning during directional well drilling" SPE 37626, presented at the 1997 SPE/IADC drilling conference held in Amsterdam, The Netherlands, 4-6 March 1997.
10. Alwan K.A. "Effect of The Frequencies Rotational Movements of Drilling String on Cutting Transportation in Horizontal Wells" Ph. D. Thesis, The Russian State University of Oil & Gas, Moscow 2001.
11. Robert F. Mitchell (editor), "Petroleum engineering handbook, drilling engineering" SPE, 2006.
12. Doan Q., Farouq Ali. M., George A.E. "Flow of oil and sand in Horizontal Wells" Canadian JPT, Oct. 1998 p.39.
13. Ford J.T., Gao E., Oyeneyin M.B., Peden J.M., Larrucia M.B., Packer D. "A new MTV computer package for hole cleaning design and analysis" SPEDC, Sep.1996 , p.168 .
14. Gavignet A., Sobey I. "Model Aids Cutting Transport Prediction", JPT, Sep. 1989, p. 916.

15. Larsen T.I., Pilehvar A.A., Azar J.J. "Development of A New Cutting Transport Model for High Angle Wellbores Including Horizontal Wells", SPEDC, June 1997, p. 129.
16. Nguyen D., Rahman S.S. "A Three Layer Hydraulic Program For Effective Cutting Transport And Hole Cleaning in Highly Deviated and Horizontal Wells", SPEDC, Sep. 1998, p. 182.
17. Akblatov T.O. "Cutting Lifting in Horizontal Well", Oil & Gas Izvestya Vuzof Journal (Russian Language), No 16 2000, p. 34.
18. Alwan K.A., Issaev V.I., Markov O. A. "Effects of Rotational Frequencies' Movements of Drilling String on Cutting Transportation and Putting Weight on Bit in Horizontal Drilling" The Third International Conference, Moscow 24-25 April 2000, p. 48.
19. Sifferman T.R., Becker T.E. "Hole Cleaning in Full Scale Inclined Wellborse", SPEDC, June 1992, p.115.
20. Zamora M., Hanson P. "Rules of Thumb to Improve High Angle Hole Cleaning" Petroleum Engineering International, Jan. 1991, p. 44.
21. Leonov Y.K., Issaev V.I., Lukyanov I.B. "Optimum Flow Rate Determination of Different Rheological Properties Liquid for a Single Solid Particle Transportation in Inclined Holes & Annuluses", VINIIT Institute, No 1991, p. 93.
22. Kothandaraman, C. P. and Rudramoorthy, R. " Fluid Mechanics and Machinery" New Age International Limited Publishers, 2007.
23. Leonof E. G., Icaeef V. I. "Hydroerodynamic in Drilling' Nedra publishing, Moscow, 1987.
24. Krilov V.E., Kristil F.F."Hydrodynamic Characteristics of Horizontal Wells Drilling" Nefteyanye Khazaystvo Journal (in Russian Language), May 2000, p. 20.

الاســـم الثلاثي : د. كريم عبد الحسن علوان

العنوان الوظيفي : ر . مهندسين اقدم .

المواليـــــــد : 1961.

الشركـــــــــة : مدير مركز البحث والتطوير النفطي منذ اب 2009

التحصيل الدراسي : ماجستير (انعاش نسيجي) و دكتوراه (حفر افقي).

مهندس نفط ، 26 سنة خبرة في شركات نفط الجنوب ونفط الشمال ومعهد التدريب النفطي/ البصرة ومكتب المفتش العام ،عضو spe

About the author

Kareem A. Alwan, SPE member

Petroleum engineer with 26 years of experience in SOC, NOC, Basra Petroleum Training Institute and General Inspector Bureau.

General Manager of Petroleum Research & Development Center since Aug. 2009.

Ph.D (Horizontal drilling), Msc (Matrix Stimulation).