

تحديد الحمل اللازم على رؤوس الحفر ثلاثية التروس المخروطية (WOB) باستخدام نموذج رياضي

مصطفى المصري*

مهند عبدالله المشعل**

الملخص

تم في هذا البحث دراسة إمكانية تحديد الوزن المطلوب تطبيقه على رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية من خلال تطبيق نموذج رياضي يعطي تحليلاً للمؤشرات المؤثرة على عملها وفعاليتها مثل شكل الأسنان و توزيعها الهندسي ، مواصفات الصخر ، سرعة دوران رأس الحفر،.....الخ، بحيث يمكننا تغيير هذه المؤشرات ضمن حدود عمل هذا الرأس مما ينعكس بشكل ايجابي على أدائه وفعاليتها وما يترتب عليه من تقليل تكاليف الاستهلاك والتلف السريع له وما إلى ذلك من ترشيد زمن انجاز المرحلة التي يجتازها، وتوفير الكلفة المصروفة على حفرها ، تم الحصول على هذه العلاقات الرياضية من خلال دراسة عدة نماذج للحجر الرملي مع تباين المواصفات من ناحية القساوة ...

كلمات مفتاحية : رؤوس الحفر ثلاثية التروس المخروطية ، نموذج رياضي ، حد انهيار الصخر ، ريجيم الحفر .

* : أستاذ ، قسم الهندسة البترولية ، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية ، جامعة البعث ، حمص ، سوريا

** : طالب دكتوراه، قسم الهندسة البترولية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة البعث، حمص ، سوريا

مقدمة :

تعتبر رؤوس الحفر في هندسة حفر آبار النفط والغاز أداة لاختراق الصخور وصولاً للطبقات الخازنة لتلك الثروات ، وهي الأداة الرئيسية التي توضع في رأس تشكيلة الحفر النازلة في البئر المحفورة ، لذا فإن تحليل ودراسة تصميم وأداء هذه الأداة بشكل مفصل ودقيق ينعكس على عملية الحفر بمجملها ، عند تطبيق مؤشرات عمل مناسبة لرؤوس الحفر ثلاثية التروس المخروطية ، فإن الأسنان المغروسة أو المخروطة على التروس الدوارة تؤثر على الصخور على القاع مباشرة ، و لأن هذه اللحظة هي الأهم في عمل رأس الحفر ، توجهت الدراسات العلمية الحديثة لدراسة هذه الظاهرة ميكانيكياً من خلال النماذج الحديثة لدراسة ميكانيك الصخور لحظة تماس واختراق الأسنان للصخر [1].

وتعتبر رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية من أكثر رؤوس الحفر انتشاراً مع رؤوس الحفر الألماسية نظراً لملاءمتها لشروط الحفر الصعبة مع الطبقات الصخرية القاسية ، والقاسية جداً ، إذ تتحمل هذه الرؤوس أوزاناً تطبق عليها لإعطاء الفعالية اللازمة لحفر تلك الصخور ، بالإضافة لفعالية التدوير لتشكيلة الحفر والتي تؤثر على سرعة عملية الحفر بشرط إعطاء السن الوقت الكافي للانغراس ضمن الصخر وتفتيته بتكرار العملية ، بالإضافة للدور الهام والفعال للمنظومة الهيدروليكية (غزارة ضخ سائل الحفر ، مساحة مقاطع الفالات) في إزالة الفتات المحفور للوصول إلى قاع بئر جديد نظيف ليجري عليه عملية الحفر وفق دورة الحفر ذاتها [8].

هدف البحث :

دراسة أحد أهم النماذج التي تعبر عن القوة المطبقة على السن لدخوله في الصخر ، إذ تم استنتاجها من عدة دراسات عالمية لجامعات دول متقدمة في مجال صناعة النفط والغاز ، اعتماداً على تغيير مؤشرات الحفر من حيث الحمولة المطبقة على رأس الحفر وسرعة دوران تشكيلة الحفر ، تباعد التروس المخروطية عن محور رأس الحفر ، شكل الأسنان وبنيتها ، ونوع التشكيلات الصخرية ومدى مقاومتها للحفر .

كما أظهرت هذه النماذج صعوبة دراسة الحالة الديناميكية عند احتكاك رأس الحفر مع الصخر ، مع التأكيد على أن النماذج التجريبية هي الأكثر انتشاراً وقبولاً في العديد من مجالات الهندسة البترولية

وتكمن الصعوبة في دراسة الحالة إما بسبب دخول سن واحد في الصخر دون بقية الأسنان بسبب بروفائل قاع البئر ، أو ميلان بسيط في مسار البئر في لحظة معينة من عمل التروس مؤدياً لعدم تجانس الفعل التحطيمي على القاع ، بالإضافة لتآكل بعض الأسنان أو تكسرها أو تغير شكلها نتيجة عملها المتواصل على القاع ، جميع هذه العوامل المذكورة آنفاً تزيد من صعوبة الدراسة الدقيقة وتعطي قبولاً للنماذج التجريبية المستخدمة.

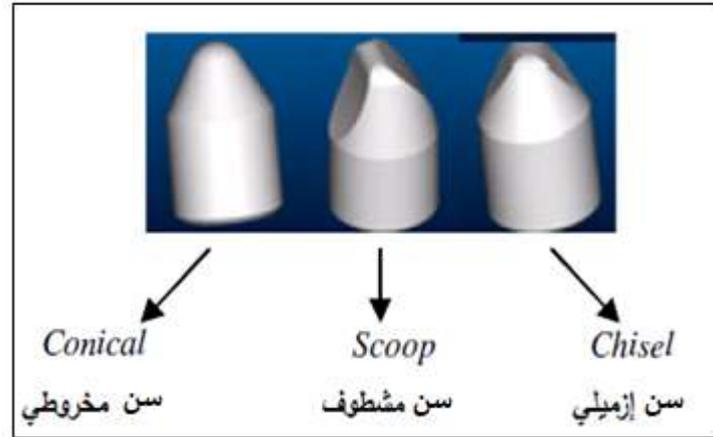
من أهم ميزات هذه الدراسة ليس فقط دراسة التأثير المتبادل بين الصخور على قاع البئر ورأس الحفر بل أيضاً تحديد قابلية الحفر للطبقة المدروسة برأس الحفر المُعطى حسب التصنيف العالمي لهذه الرؤوس (IADC) مع الإشارة الى مُجمل العوامل المؤثرة وصولاً لسرعة الحفر الأمثلية . [3] ، حيث تم تطبيق هذا النموذج على تشكيلة الرطبة في أحد الحقول السورية .

1-1- تحليل التجارب المخبرية وتسجيل البيانات :

عند عمل رأس الحفر بشكل منتظم على قاع البئر تتشكل مجموعة شقوق صغيرة في القاع نتيجة ضربات الأسنان المتكررة ، بعد التنظيف الفعال للفتات الناتج يظهر لدينا سطح جديد للتأثير المتبادل بين الصخر والأسنان وهكذا يحصل التقدم بقفل الحمل المطبق مع دوران رأس الحفر لتوسيع مساحة الشقوق الحاصلة ، محاكاة هذه العملية مخبرياً تتم من خلال جهاز محاكاة عملية الحفر الشكل (1) الذي يحوي على صف مفرد من الأسنان المغروسة التي يمكن وضعها بأشكال مختلفة (مخروطية ، إزميلية ، أو مشطوفة بميل معين..) كما هو موضح في الشكل (2) الذي يبين الأشكال الهندسية لها: [5]



الشكل (1) جهاز محاكاة حفر الصخور مخبرياً



الشكل (2) الأشكال الهندسية للأسنان في تجربة محاكاة عملية الحفر

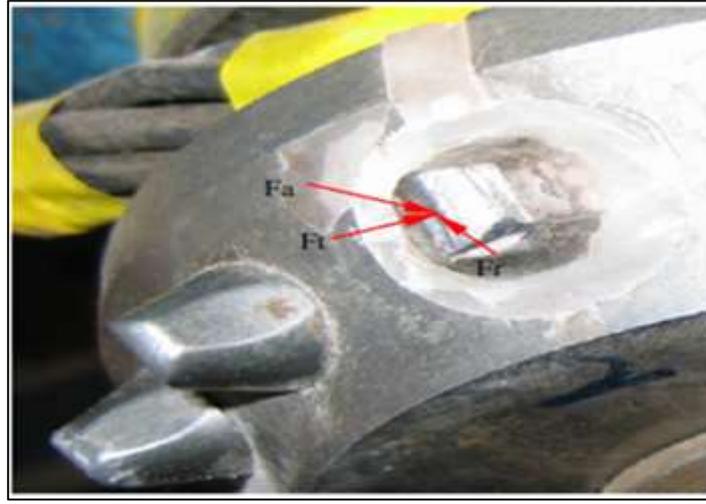
حيث تمت تجربة كل نوع منها، مع تطبيق أحمال مختلفة وسرعات دوران متعددة و تباعد مختلف لتموضع التروس عن محور البئر ، وذلك على عدّة أنواع من الصخور المدروسة كما في الجدول التالي (1) :

الجدول (1) بيانات التجربة المخبرية (شكل الأسنان، نوع الطبقات وخواصها الميكانيكية، الحمل، عدد الدورات)

شكل الأسنان	نوع الصخر	مقاومة الصخر للانهييار	الحمل المطبق	عدد الدورات
Insert Type	Formation Type	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Applied Load (KN)	RPM
Chisel إزميلي	Soft Sandstone	~ 40	5	40
Scoop مشطوف	Medium-Hard Sandstone	~ 65	8	80
Conical مخروطي	Limestone	~ 120	11	120

بعد تطبيق القيم الواردة على العينات الصخرية المبينة في الجدول السابق ، تم تسجيل القوى الناتجة على كل سن من أسنان الرأس العامل وهي ثلاث قوى : (القوة المحورية F_a ، والقوة المماسية F_t ، والقوة القطرية

(F_r) ، حيث تم مراقبتها وقياسها وتسجيلها مع قياس كمية الفتات الناتج باستخدام آلة تصوير رقمية دقيقة ثلاثية الأبعاد تقوم برصد القوى المطبقة على الصخر بفعل الأثر المتبادل بين الأسنان والعينة الصخرية ، حيث تُكافئ القوة المحورية قيمة مقاومة الصخر لانغراس الأسنان وهي بالمعنى الفيزيائي الحمولة الشاقولية اللازم تطبيقها على الاسنان لتأمين انغراسها في الصخر ، ويبين الشكل (3) منحى وتوضع القوى المذكورة والمتولدة نتيجة انغراس الأسنان ودوران التروس عند عمل رأس الحفر على قاع البئر :



الشكل (3) يبين موضع ومنحى القوة المتولدة على سن رأس الحفر

1-2- استنتاج نموذج القوة اللازمة لتحطيم الصخر ، مع حجم الفتات الناتج : [6]

بعد تسجيل بيانات الدراسة وترتيبها ، ومقارنة النتائج ، وإدخالها في برنامج نمذجة العلاقات الرياضية ليعطينا العلاقة الرياضية المحددة للقوة اللازمة لدخول الأسنان في جسم الصخر وحجم الفتات الناتج بتأثير هذه القوة المطبقة ، حيث تتبع هذه القوة لمجموعة متغيرات فعّالة وهي عمق الانغراس ، مقاومة الصخر للإنهيار ، عدد الدورات ، تباعد الأسنان عن بعضها البعض ... ويمكن تلخيص ماسبق كما يلي :

$$F, V = f(\text{offset, rock strength, Depth, shape of cutter, RPM})$$

وبربط هذه المعايير مع بعضها من حيث مؤشرات عمل رأس الحفر ومواصفات الصخر المخترق مع جدائها مع بعضها البعض ورفع قوة أسية تحدّد تجريبياً لكل عامل مؤثر على حدى ، مع وجود نسبة خطأ لكل نوع من الأشكال المدروسة للأسنان :

$$F = k \times \text{offset}^a \times h^b \times \text{RPM}^c \times \sigma^d + e \quad (1)$$

$$V = e^{a_1 \times \text{offset} + b_1 \times h + c_1 \times \text{RPM} + d_1 \times \sigma + e_1} \quad (2)$$

حيث أن **F** : القوة الناتجة عند عمل الأسنان (KN) ، **V** : حجم الفتات الصخري الناتج (m³).

Offset : تباعد أسنان رأس الحفر (mm) ، **h** : عمق الانغراس (m).

RPM : عدد الدورات (rev/min) ، **σ** : مقاومة الصخر للانهياب (MPa).

k, a, b, c, d, e, a₁, b₁, c₁, d₁, e₁ : ثوابت تتحدد تجريبياً وفق جداول معينة حسب شكل الأسنان .

ويبين الجدول (2) قيم الثوابت للقوة الناظمية التي يتعرض لها السن جزاء دخوله في الصخر، وهي كما ذكرنا تكافئ الحمولة اللازمة لانغراس الأسنان في الصخر، أما بالنسبة لقيم الثوابت المتعلقة بحساب حجم الفتات الناتج بتأثير القوة الناظمية المطبقة ودوران الرأس العامل، فإنها تختلف أيضاً حسب شكل الأسنان الموجودة على جسم الرأس وهي موضحة بالجدول (3) :

الجدول (2) ثوابت القوة الناظمية الناتجة عن دخول السن في جسم الصخر حسب شكل الأسنان

Constants	Axial Force		
	Chisel (R ² : 0.78)	Scoop (R ² : 0.77)	Conical (R ² : 89)
k	1.4 E-8	0.01127	0.0054
a	-0.69	-0.03675	-0.1709
b	1.4	0.82838	1.0577
c	3.51	-0.06186	0.1008
d	0.59	1.2297	1.293
e	3.77	4.4395	1.9074

الجدول (3) قيم الثوابت المتعلقة بحجم الفتات الصخري الناتج.

Constants	Chisel (R ² : 0.82)	Scoop (R ² : 0.92)	Conical (R ² :95)
a ₁	0.02	0.002	0.14
b ₁	0.71	1.01	0.56
c ₁	0.0003	-0.002	-0.002
d ₁	0.009	0.001	-0.01
e ₁	2.9	2.63	3.76

كما أن هناك ثوابت خاصة متعلقة بحساب القوة القطرية و المماسية التي تتعرض لها الأسنان نتيجة لبدء دوران الترس الحامل لهذه الأسنان وهي موضحة بالجدول (4) المُتضمن ثوابت الحساب للحصول على القوى المماسية ، والجدول (5) المتعلق بالثوابت للحصول على القوة القطرية :

الجدول(4) يبين ثوابت العلاقة التجريبية لحساب القوة المماسية

Constants	<i>Tangential Force</i>		
	Chisel (R ² : 0.82)	Scoop (R ² : 0.94)	Conical (R ² : 75)
k	100	3122.47	15.248
a	0.04388	-0.00424	0.8261
b	-0.07685	-0.22536	0.6993
c	0.04223	0.013667	0.0643
d	-0.30655	-1.79455	-1.3537
e	-33.688	-0.957	0.2731

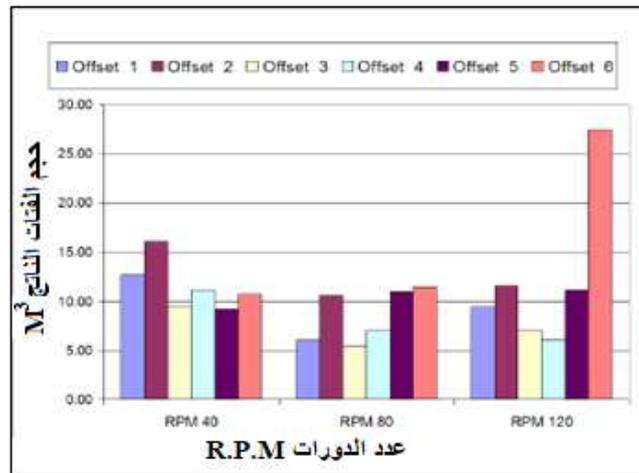
الجدول(5) يبين ثوابت العلاقة التجريبية لحساب القوة القطرية .

Constants	<i>Radial Force</i>		
	Chisel (R ² : 0.75)	Scoop (R ² : 0.86)	Conical (R ² :78)
k	0.089404	0.0114	0.0422
a	0.11598	0.1996	2.722
b	0.035997	0.61859	22.01
c	0.11448	0.0846	-6.651
d	0.3159	0.87233	0.6
e	-4.4056	0.8501	0.4653

3-1 - دراسة العوامل المؤثرة وفق النموذج المدروس لحجم الفتات الناتج (فعالية عمل رأس الحفر):

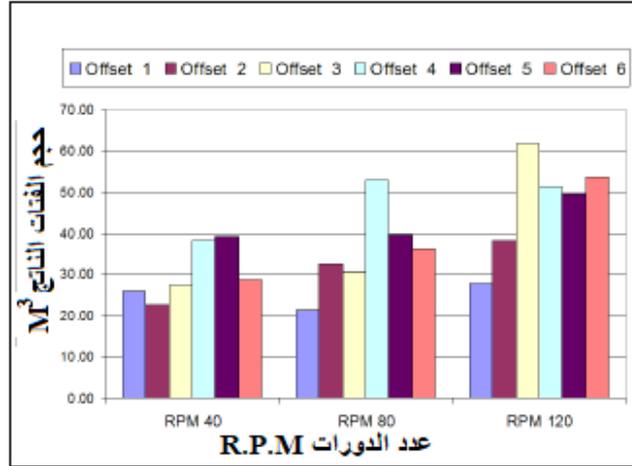
تم إجراء التجربة المخبرية بناءً على تغيير تباعد التروس المخروطية والحمل المطبق وعدد الدورات لأنواع مختلفة من الصخور ، حيث نقوم بتغيير مؤشر واحد فقط ونثبت باقي المؤشرات لكي نحدد فعالية كل مؤشر بشكل مستقل عن باقي المؤشرات المؤثرة على عمل رأس الحفر، وخصوصاً لأشكال الأسنان (السن الإزميلي ، والمخروطي المشطوف) وذلك بسبب أنها حديثة الدراسة وبحاجة إلى إحاطة علمية حثيثة ، وبرسم العلاقات البيانية والإحصائية تبين لنا مايلي [5]:

1- أكبر تباعد للأسنان المزروعة فيما بينها يعطي أفضل النتائج ، مع ملاحظة نفس النتيجة نسبياً عند تغيير سرعة الدوران لذا يمكننا القول أن سرعة الدوران المتوسطة تعطي نتائج جيدة في حالة شكل السن الإزميلي كما في الشكل (4):



الشكل (4) علاقة حجم الفتات (م³) مع سرعة الدوران والتباعد المطبق للحجر الرملي الطري للسن الإزميلي

2- عند ازدياد قساوة الحجر الرملي المدروس، يصبح معدل الحفر أفضل مع تخفيض قيم التباعد بشكل وسطي مع ثبات عدد الدورات ، ومع تخفيض عدد الدورات يقترب المردود نفسه ما بين سرعة الدوران المتوسطة والعالية ، عندئذٍ لتخفيض التكاليف الاقتصادية نستعين بسرعات الدوران المتوسطة لأنها ذات التأثير نفسه على معدل الاختراق، كما في الشكل (5):

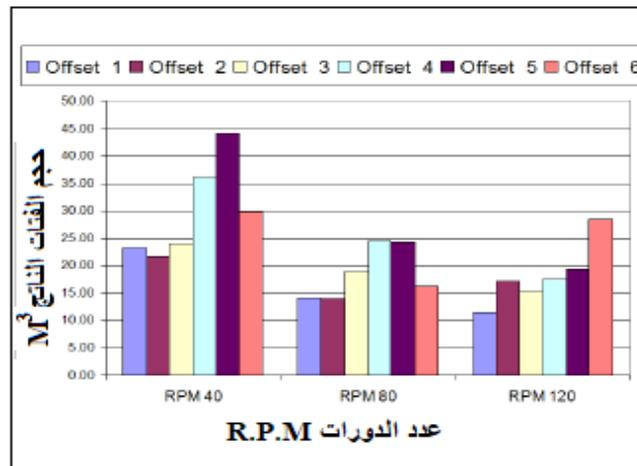


الشكل (5) علاقة حجم الفتات (M^3) مع سرعة الدوران والتباعد المطبق للحجر الرملي القاسي للسن ذو الشكل الإزميلي

3- تزداد سرعة الحفر في حالة السن المشطوف أحادي الاتجاه مع ثبات عدد الدورات عند قيم التباعد

الوسطية ، وبزيادة عدد الدورات تنخفض سرعة الحفر بشكل واضح مع بقاء قيم التباعد الوسطي ذات

تأثير واضح عند رفع سرعة الدوران ، وذلك في حالة الحجر الرملي الطري ، كما في الشكل (6):

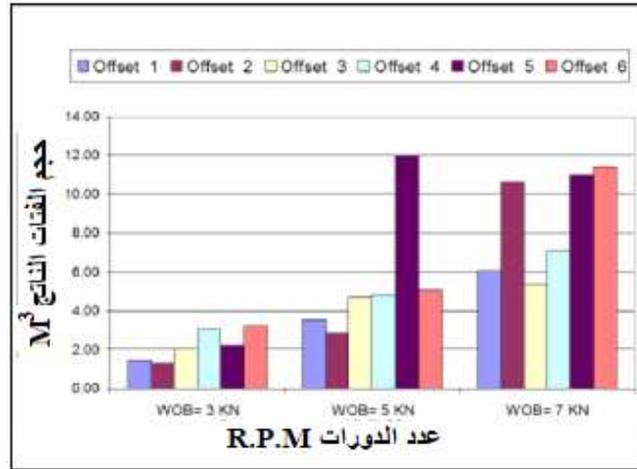


الشكل (6) حجم الفتات (M^3) مع سرعة الدوران والتباعد المطبق للحجر الرملي الطري مع السن الإزميلي المشطوف

4- في حالة زيادة الحمل المطبق تزداد عندها سرعة التقدم في حالة السن الإزميلي عند اختراق الحجر

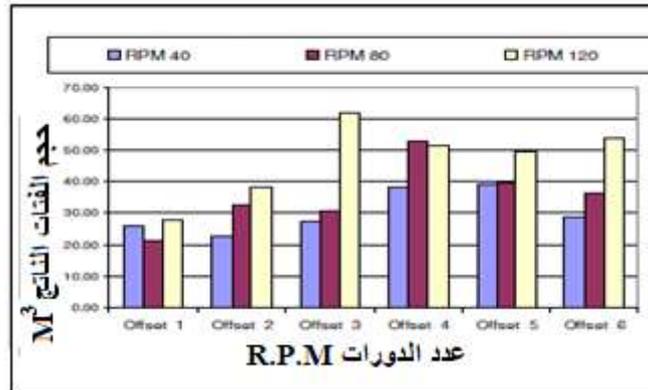
الرملي الطري وفقاً لقيم تباعد متوسط للأسنان المزروعة ، مع ثبات سرعة الدوران عند 80 د/د ، كما في

الشكل (7) :



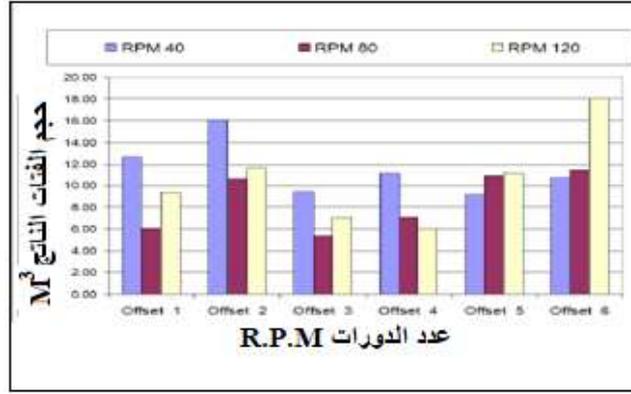
الشكل (7) حجم الفتات (م³) مع الحمولة المطبقة والتباعد المُطبق للحجر الرملي الطري مع السن الإزميلي

5- في حالة السن الإزميلي عند اختراق الحجر الرملي القاسي مع تطبيق حمولة مرتفعة ، فإن ثبات التباعد مع زيادة عدد الدورات حتى حدود معينة يعطي نتائج إيجابية لسرعة الاختراق وفقاً للشروط المُطبقة والمذكورة آنفاً ، وتزداد بدورها سرعة التقدم عند ازدياد التباعد كما في الشكل (8).



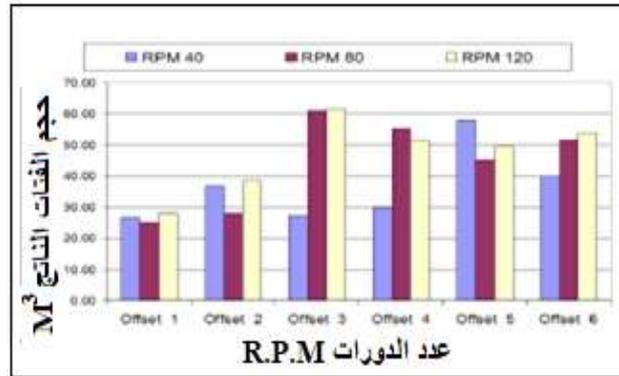
الشكل (8) حجم الفتات (م³) مع سرعة الدوران والتباعد المُطبق للحجر الرملي القاسي مع السن الإزميلي

6- أما في حالة الحجر الرملي الطري فإن أفضل سرعة تقدم في حالة السن الإزميلي تتحقق بوجود أكبر تباعد مع أكبر سرعة دوران ممكنة ، كما في الشكل (9) :



الشكل (9) حجم الفتات (م³) مع سرعة الدوران والتباعد المُطبق للحجر الرملي الطري مع السن الإزميلي

7- أما في حالة اختراق الحجر الرملي المتوسط القساوة والقاسي وبوجود شكل مخروطي مشطوف أحادي الاتجاه فإن أفضل النتائج كانت كما يلي ، الشكل (10) :



الشكل (10) حجم الفتات (م³) مع سرعة الدوران والتباعد المُطبق للحجر الرملي القاسي مع السن الإزميلي المشطوف

حيث أظهرت الأشكال البيانية أن سرعة الدوران المتوسطة مع قيم تباعد متوسطة سجلت أفضل النتائج .

4-1 - دراسة تطبيقية للنموذج المدروس على الحجر الرملي في تشكيلة الرطبة في حقل صد

ضمن تراكيب حوض الدو :

تم اختيار تشكيلة الرطبة كمثل عن النموذج المدروس لاحتوائها على الحجر الرملي متوسط القساوة و القاسي ، مع وجود مجالات حاوية على الحجر الرملي أحياناً من أجل مقارنة النتائج المخبرية من حيث اختلاف العينات الصخرية ، حيث تم تسجيل القيمة 90 Mpa للحجر الرملي القاسي ، أما بالنسبة للحجر الرملي الطري فقد تم تسجيل القيمة 33Mpa وذلك بالنسبة لمقاومة الحجر الرملي للانهيان ، مع تطبيق

المُدخلات التالية على الجهاز مخبرياً ، الجدول (6): [2],[4]

الجدول (6) يبين البارامترات المعيارية (التباعد ، عمق الانغراس ، سرعة الدوران) للجهاز العامل مخبرياً

عدد الدورات (RPM)	عمق انغراس السن (h)m	تباعد الأسنان (Offset)mm
85	0.015	20

تم استخدام العلاقة (1) لحساب القوة الناظمية الناتجة عن عمل الأسنان على العينة الصخرية والتي تعني الحمولة اللازم تطبيقها لاختراق الصخر ، مع استخدام المُدخلات اللازمة لحساب القوة الناظمية باختلاف أشكال الأسنان (سن أزميلي ، سن مشطوف ، سن مخروطي) وفقاً للجدول (2) المُتضمن الثوابت الحسابية للقوة الناظمية عند الاشكال المُختلفة للأسنان المزروعة ، وقد تم تلخيص النتائج في الجدول(7) المُتضمن حساب القوة الناظمية التي تخضع لها الأسنان وفقاً للبارامترات السابقة عند القيمة 90 Mpa ، وفي الجدول (8) المُتضمن نتائج الحسابات وفق القيمة 33Mpa :

الجدول(7) القوة الناظمية الناتجة عن دخول الأسنان بأشكالها المختلفة في الحجر الرملي القاسي(90 Mpa)

الثوابت	غرس إزميلي	القوة الناظمية (KN)	غرس مشطوف	القوة الناظمية (KN)	غرس+رس مخروطي	القوة الناظمية (KN)
K	$1.4 \cdot E^{-8}$	5919183	0.0112	259.144	0.0054	340.473
a	-0.69		-0.0367			
B	1.4		0.8283			
c	3.51		-0.0618			
d	0.59		1.2297			
e	3.77		4.4395			

نلاحظ بأن قيمة القوة الناظمية الناتجة عن شكل إزميلي للسن ذات قيمة شاذة يمكن استبعادها، لنقول بأن السن ذو الشكل الإزميلي ليس ذو جدوى من استخدامه في حالة الحجر الرملي القاسي .

الجدول(8) القوة الناظمية الناتجة عن دخول الأسنان بأشكالها المختلفة في الحجر الرملي الطري(33 Mpa)

الثوابت	شكل إزميلي	القوة الناظمية (KN)	شكل مشطوف	القوة الناظمية (KN)	شكل مخروطي	القوة الناظمية (KN)
K	$1.4 \cdot E^{-8}$	5919177	0.0112	88.132	0.0054	106.96
a	-0.69		-0.0367			
B	1.4		0.8283			
c	3.51		-0.0618			
d	0.59		1.2297			

	1.9074		4.4395		3.77	e
--	--------	--	--------	--	------	---

بنفس الملاحظة السابقة نجد أن قيمة القوة الناظمية الناتجة عن شكل إزميلي للسن ذات قيمة شاذة يمكن استبعادها ، والشكل الإزميلي للسن غير مجدي في العمل حتى في الحجر الرملي الطري .
 عند إسقاط النتائج على الواقع الحقلي وبالرجوع إلى تقارير الحفر لآبار صدد مثال (صدد10-،صدد-12)
 عند اختراقها برؤوس حفر 12 1/4" وفق الجداول الموضحة ، الجدول(9)، الجدول(10) :

الجدول(9) سجل رأس الحفر 12 1/4" في بئر صدد-10 عند اختراق الرطبة

BIT RECORD مبرية حقل المنطقة الوسطى																						
run no	bit size	bit mfg	bit type	ser nu	jet size	depth	meter	hrs	rop	weit	rpm	L/S	atm	mud			dulling			rig	site	
														wt	vis	Te	Bg	Ga				
11	12 1/4	VBM537	537	1090684	4*26	2152	64	56	1.14	14	80	40	105	1.07	65	2	2	2	2	2	أورال مثنى 3	صدد 10
12	12 1/4	VBM517	ستحل	1040357	4*26	2207	55	48.5	1.13	12	80	40	110	1.14	75	1	1				أورال مثنى 3	صدد 10
13	12 1/4	VBM517	517	1040355	4*26	2297	90	78.5	1.15	14	80	40	125	1.17	120	1	2				أورال مثنى 3	صدد 10
14	12 1/4	VBM537	537	1090706	4*26	2439	142	120.5	1.18	14	80	40	130	1.18	120	2	1				أورال مثنى 3	صدد 10
15	12 1/4	VBM517	517	1074157	4*26	2474	35	30	1.17	14	80	40	130	1.18	130	1	1				أورال مثنى 3	صدد 10

الجدول(10) سجل رأس الحفر 12 1/4" في بئر صدد-12 عند اختراق الرطبة

bit size	bit mfg	bit type	ser nu	jet size	depth	meter	hrs	rop	weit	rpm	L/S	atm	mud			dulling			rig	site	pull date		
													wt	vis	Te	Bg	Ga						
12 1/4	VBM215	215	1034071	4*20	1655	16	19.5	0.82	12	90	40	70	1.11	60	2	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-08-14	
12 1/4	TG322	537	7-1-0307	3*20+1*22	1744	89	50.5	1.76	15	110	40	95	1.13	80	3	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-08-17	
12 1/4	VBM 537	537	1090688	3*20+1*24	1952	213	119	1.79	12	90	40	95	1.13	80	2	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-08-24	
12 1/4	VBM 537	537	1090693	3*20+1*22	2141	184	129	1.43	12	90	40	100	1.15	100	2	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-08-31	
12 1/4	VBM 537	537	1090686	1*22+2*20	2291	150	132	1.14	12	90	40	100	1.15	100	2	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-09-07	
12 1/4	VBM 437	437	1073888	2*20+2*22	2382	101	72	1.40	12	100	40	108	1.19	130	2	3				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-09-12	
12 1/4	HJ537	537	1099042	2*20+2*24	2541	149	127	1.17	12	80	40	130	1.19	120	3	2	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-09-20
12 1/4	VBM 537	537	1090691	4*22	2670	129	116	1.11	12	90	29	100	1.19	120	2	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-09-27	
12 1/4	VBM 537	537	1063336	4*22	2775	105	95	1.11	12	100	40	135	1.19	120	3	2				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-10-03	
12 1/4	VBM 537	537	1073885	4*20	2905	130	121.5	1.07	12	90	40	145	1.19	110	2	3				أورال مثنى 3	صدد 12	2019-10-08	

يمكن تلخيص القيم المُستنتجة من الجداول (9) و(10) ومقارنتها مع القيم الناتجة مع حساب نسبة الخطأ تكون النتائج موضحة بالجدول (11):

الجدول (11) مقارنة نتائج البحث مع القيم الحقلية وفقاً لاختلاف الغرس وقساوة الحجر الرملي المدروس

نسبة الخطأ %	القيمة المُستنتجة من سجلات الحفر tonf	القيمة الناتجة من التجارب tonf		
42.10729448	15	25.91	غرس مشطوف	90 Mpa
55.93419506	15	34.04	غرس مخروطي	
36.20885358	12	8.81	غرس مشطوف	33 Mpa
12.14953271	12	10.7	غرس مخروطي	

نلاحظ بأن نسبة الخطأ تكون أقل ما يمكن في حال الإجهاد الأعظمي عند الغرس المشطوف ، وفي حال اختراق الحجر الرملي القليل القساوة ، فإن الحمولة تكون حوالي (9Tonf) بنسبة خطأ 36% .

5-1 - النتائج:

لتأكيد وتوثيق نتائج هذا النموذج الرياضي الجديد ، فقد أجريت عليه تعديلات متلاحقة عديدة وصولاً للنموذج الرسمي والمسمى بالنموذج المُعدّد لسرعة الحفر الميكانيكية ، فمن خلال معرفة القوة اللازمة لاختراق الصخر نحدد سرعة التقدم تجريبياً باستخدام الجهاز المذكور مخبرياً، أو تحديدها حقلياً بشكل مباشر من خلال مؤشرات المراقبة لسرعة الحفر ، وذلك بالعلاقة مع مؤشرات عمل رأس الحفر المُطبقة وحدود عمله .

- 1- من خلال مقارنة النتائج المخبرية، والتي وصلت لقيم متقاربة فيما بينها خصوصاً في حالات سرعة الدوران المرتفعة ، تم التأكد من موثوقية هذا النموذج وصحته مما أعطى قاعدة أساسية لدراسة وتحليل عمل رؤوس الحفر ثلاثية التروس المخروطية .
- 2- أفضل فعالية للسن ذو الشكل الإزميلي والمشطوف معاً يكون عند استخدام الحملات العالية ، وأقل تباعد ممكن وهذا في حالة الصخور القاسية .
- 3- حجم الفتات الصخري الناتج عن استخدام السن المشطوف أحادي الاتجاه أكبر ما يكون في حالة التباعد المرتفع وسرعة الدوران المتوسطة .
- 4- عند تطبيق العلاقة (1) على عينات من الحجر الرملي من تشكيلة الرطبة لتركيب صدد لاحظنا اختلاف قيمة القوة الناظمية المتولدة باختلاف شكل السن المغروس في العينة ، حيث تكون القوة الناظمية (المكافئة للحمولة) اللازمة لانغراس السن المشطوف أقل منها في حالة انغراس السن المخروطي بنفس المعايير المستخدمة (إجهاد حد الانهيار ، عمق الانغراس ، تباعد الأسنان فيما بينها ، سرعة الدوران وناتج الاختراق) .
- 5- نلاحظ من خلال تطبيق العلاقة (1) على الحجر الرملي في تركيب صدد بأنه كلما ازدادت قيمة إجهاد حد الانهيار لنفس شكل السن تزداد قيمة القوة الناظمية المتولدة أي القوة اللازمة لانغراس السن في الصخر ، وهذا أمر طبيعي من الناحية الجيوميكانيكية .

المقترحات:

- 1- عند اختراق الصخور الطرية ، يُفضّل استخدام رؤوس الحفر ذات الأسنان بشكلٍ إزميلي مع أكبر تباعد ممكن ، مع سرعة دوران متوسطة إلى عالية .
- 2- عند ازدياد قساوة الصخور ، واستخدام رؤوس الحفر ذات الأسنان ذات الشكل الأزميلي يُنصح باختيار الرؤوس ذات التباعد الواسع وتعمل بسرعات دوران متوسطة .

- 3- عند استخدام رؤوس الحفر ذات الأسنان بشكل مشطوف ، فإن التي تؤمن تباعداً متوسطاً وتعمل ضمن سرعات دوران مرتفعة ومتوسطة قد أثبتت فعالية كبيرة في معدلات الاختراق خصوصاً عند الحاجة لتخفيض التكاليف مع استخدام سرعات دوران منخفضة ، أو تخفيض الاهتزازات المرافقة لدوران تشكيلة الحفر بسرعات عالية .
- 4- عند استخدام رؤوس الحفر ذات أسنان بشكل مشطوف في اختراق الصخور القاسية نستخدم الحمولات المرتفعة بالتزامن مع وجود تباعد منخفض إلى متوسط بالإضافة لاستخدام سرعات دوران متوسطة كحدود عظمى لعمل هذه الرؤوس .
- 5- عند اختراق تشكيلة الرطبة في تركيب صدد يُنصح باستخدام رؤوس حفر بأسنان مشطوفة لأنها تحتاج لحمولة أقل لانغراسها في الصخر من الأسنان ذات الشكل المخروطي .
- 6- عند تغير قساوة الصخر في تشكيلة الرطبة وهذا ما يتم ملاحظته من قبل الحفارين أو العينات الفئاتية الناتجة أو القياسات أثناء الحفر يُمكن زيادة عدد الدورات لتأمين سرعة اختراق أكبر ، مع إمكانية زيادة الحمولة بشكل نسبي للتلاؤم مع تتابع الحفر السريع عند زيادة عدد الدورات ، يمكن تحليل ذلك بأنه عند زيادة عدد الدورات وثبات باقي المؤشرات وفقاً للعلاقة (1) تزداد القوة الناظمية المتولدة عن انغراس السن في الصخر ، بالتالي يجب زيادة الحمولة المطلوبة للوصول إلى قيمة القوة المحورية الناتجة .

المراجع

• المراجع العربية:

- [1] الدكتور طاهر منصور، مقرر هندسة الحفر. جامعة البعث - قسم الهندسة البترولية 1993.
- [2] أرشيف قسم الجيولوجيا والاستكشاف، المؤسسة العامة للنفط ، الإدارة العامة ، دمشق ، سوريا 2011

- [3] شعبة الحفارات، مديرية حقول المنطقة الوسطى ، الشركة السورية للنفط ، حمص ، سوريا ، 2021
- [4] شعبة الدراسات، مديرية حقول المنطقة الوسطى ، الشركة السورية للنفط ، حمص ، سوريا ، 2021

المراجع الأجنبية:

- [5]- Hill, R., Lee E. H. and Tupper, S. J., “The Theory of Wedge Indentation on Ductile Materials”, proc. R. Soc.A188, 273-289 (1947).
- [6]- Outamans, H. D., “The Effect of Some Drilling Variables on the Instantaneous Rate of Penetration”, Trans. Am. Inst. Mech. Engrs 232, 372-383 (1960).

[7]- Drilling Engineering Workbook. Baker Hughes INTEQ. December 2000.

[8]- Drilling Engineering Learning Course. Heriot Watt University. 2010.

Determining The Required Weight On Tricone Drilling Bits By Using Mathematical Model

Al Masri Mustafa : professor at petroleum Engineering section –faculty of chemical and petroleum Engineering – Al Baath University – Homs - Syria

Al Mashal Mohanad : Phelosophy Degree student at petroleum Engineering section – faculty of chemical and petroleum Engineering – Al Baath University – Homs - Syria

Abstract

In this research we studied the fitting weight on tricone drilling bits according to a mathematical model which gives an analysis the effecting factors on its performance and efficiency as (teeth shape and its diagram orientation , rocks property, revolving speed ,.....etc) , so we can change these factors in valid allowable rang of operating once , which gives a positive impact on its performance, and cut scraping and quick damage , resulting save time and cost of drilling run , we have got these results by studying many models of sandstone with different hardness .

Key words : Tricone drill bits , Mathematical Model , Rocks failure, Drilling regime .