

دراسة تأثير المواصفات الهندسيّة للقواطع الألماسية على فعاليّة رؤوس الحفر الألماسية

مصطفى المصري*

مهند عبدالله المشعل**

المُلخَص

تم في هذا البحث تسليط الضوء على جانب من العوامل المؤثرة على رؤوس الحفر ذات القواطع الألماسية نظراً للأهمية البالغة ومجال الاستخدام الواسع الذي حظيت به خلال الفترات الأخيرة في الصناعة النفطية ، حيث تُعتبر المواصفات الهندسية التي سندرسها فيما يخص هذا النوع من رؤوس الحفر من العوامل الأساسية المؤثرة على سرعة الحفر المناسبة لاختراق الصخر ، مع توضيح القوى الناتجة عن احتكاك القاطع الألماسي مع الصخور المدروسة التي جرت عليها التجارب المخبرية وهي (حجر كلسي - مارل - غضار) .

كلمات مفتاحية : رؤوس الحفر ذات القواطع الألماسية ، قوى مماسية ، زاوية الميلان العمودية ، الطاقة النوعية .

* : 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

المقدمة :

يعتبر استخدام رؤوس الحفر ذات القواطع الألماسية المزروعة حديث العهد ، ولاتزال الأبحاث العالمية جارية لتطوير أداء هذا النوع من الرؤوس نظراً للفعالية الكبيرة التي تقدمها عند إنزالها في البئر لاختراق الطبقات الصخرية المتوسطة القساوة والطرية (متوسطة وقليلة الاحتكاكية) ، فضلاً عن ملاءمتها للاستخدام مع توربينات الحفر التي تؤمن بدورها الشروط المثلى للعمل من خلال سرعة الدوران العالية (500-1500 rpm) ، والحمولة القليلة والغزارة العالية الكافية لتشغيل توربينات الحفر وتأمين التبريد الكافي للقواطع المغروسة على جسم رأس الحفر ، تتميز هذه الأنواع من الرؤوس بشكل رئيسي عن باقي الأنواع بوجود عدّة قواطع تتوضع عليها القواطع الألماسية ، وتكون هذه القواطع ذات مقاومة عالية للكسر ليس فقط بفعل بنيتها المتينة ، إنّما طريقة توضعها وعرسها على جسم رأس الحفر. [1]

بدأت الدراسة على رؤوس الحفر ذات القواطع الألماسية انطلاقاً من تغيير الأقطار ومقاييس الأجزاء الفعالة فيها مُتمثلةً بالقواطع الألماسية ، مع تطبيق شروط قاسية من حرارة وضغط مُرتفعة ليحاكي الشُّروط الطبّيقية حيث أظهرت التجارب الأولية المُنجزة ، بأن تغيير مواصفات هذه القواطع ليس بذو أهمية بالغة عند احتكاك رأس الحفر مع الصّخر ، لكن في واقع الأمر إن زاوية القطع وميلان القواطع وشكل بنيتها الهندسيّة هو من يؤثر على فعالية الحفر ويحدّد مقدار الاحتكاك المتولّد أثناء عمل رؤوس الحفر الألماسية على القاع .

يُقصد بالشكل الهندسي للقواطع الألماسية : مقاييس وأبعاد القواطع الألماسيّة من خلال زاوية الميلان العمودية ، زاوية الميلان الجانبية ، شكل القواطع الهندسيّة من ناحية البروز والقطع الزاوي الذي يؤثر بدوره على سطح النّماس مع الصّخر .

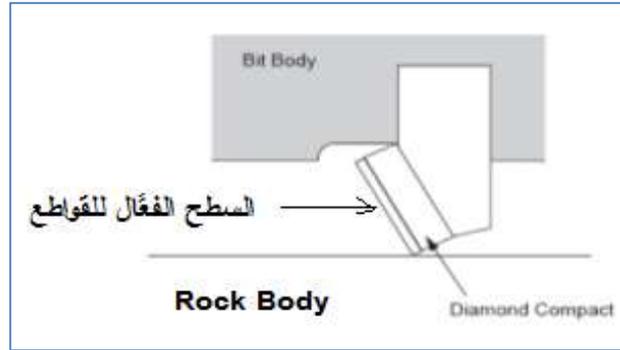
إن تصميم رأس الحفر الألماسي يكون اعتماداً على إمكانية احتوائه على القواطع الألماسيّة بشكلها وعددها وتوضعها مثال : يجب أن تكون القواطع مائلة وتحوي سطوحاً مُتقاطعة مع المحيط لتزيد قدرتها وفعاليتها على تحطيم الصّخر بانسيابية وبأعلى مردود للطاقة النوعيّة ، وتقلّل من تكسيرها أو انهيارها بسبب العمل المُتكرّر تحت ظروف قاسية ، كما تعمل على توليد أقلّ عزم مُمكن على تشكيلة الحفر النّازلة في البئر .

تتأثّر قيمة الاحتكاك الذي تتعرّض له القواطع الألماسيّة بشكل رئيسي بنوع الصخر المُخترق ومواصفاته الجيوميكانيكية ، بالإضافة لنظام الغسيل المُستخدم في تنظيف القواطع بشكل آني ، مع ضرورة إزاحة

الفتات لحظياً عن القاع ، جميع هذه العوامل المذكورة تؤثر على القوى المتولدة على القواطع الألماسية والتي تتحكم بدورها في مدى فعالية الحفر .[2],[3]

هدف البحث :

يهدف هذا البحث إلى توضيح دور القوى المؤثرة على القواطع الألماسية (قوى مماسية و ناظمية) بالإضافة لدراسة العلاقة بينها انطلاقاً من الدراسات الهندسية السابقة ، مع دراسة العلاقة بين زاوية الميلان العمودية والقوة الناظمية المؤثرة على القواطع ، وتوضيح مقدار الاحتكاك المتولد وارتباطه الوثيق مع القوة الناظمية التي تُحدّد مقدار انغراس القواطع في جسم الصخر ، إضافةً لتوضيح دور القوة المماسية المرتبطة بعمق دخول الأسنان ومدى مقاومة الصخر للانهيـار والقطع ، إذ أنه كلما انخفضت زاوية الميلان العمودية كلما قلّ احتكاك القواطع مع الصخر من جهة السطح الفعّال الملامس للصخر، الشكل(1) ، مع التأكيد على أهمية رصد ومراقبة تغيّر مقدار قوى الاحتكاك المتولدة بتغيّر المؤشرات المذكورة .



الشكل(1) يبين السطح الفعّال للقواطع الألماسية

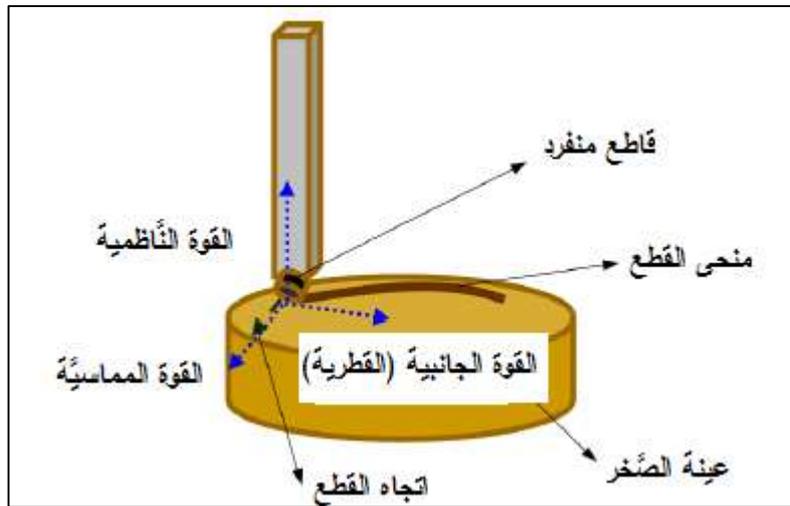
اعتمدت هذه الدراسة على تحليل البيانات وقياس بعض المؤشرات بين زاوية ميلان القواطع والقوى المؤثرة أثناء الحفر مُتمثلة بقوى القص المتولدة ، بالعلاقة مع زاوية الانهيار وزاوية الاحتكاك الداخلي للصخر ، وكانت النتائج في نهاية الأمر قيمة جداً خصوصاً في تحديد نوع رأس الحفر الألماسي الملائم لكل نوع من الصخور اعتماداً على زاوية انهيار الصخر وزاوية القص بالعلاقة مع زاوية ميلان القواطع ، لاسيما في الطبقات الغضارية و المارلية مروراً بالطبقات الكلسية كما أكدت هذه الدراسة بأن قوى الاحتكاك المتولدة والمؤثرة على فعالية الحفر تتغير بشكل ملحوظ بتغيّر بعض المؤشرات دون الأخرى ، كتغيّر القوة

الناظمية ، وتغيّر نوع الصّخر ، زاوية الميلان العمودية وما يرافقه من تغيّر حجم الفتات المحفور ، حيثُ تتعلّق

فعالية الحفر بزواوية الميلان العموديّة ، مع انخفاض مقدار الاحتكاك بشكل ملحوظ نتيجة زيادة ميلان السّطح الفعّال [6].

- تحليل التجارب المخبرية وتسجيل البيانات: [5]

أجريت الدراسة العلمية لبحث تطوير أداء رؤوس الحفر ذات القواطع الألماسيّة في عدة مختبرات علمية مختصّة بأبحاث حفر الآبار النفطية والغازية والمشاريع المتعلّقة بالصناعة النفطية ، حيث تتوفر البيئة المناسبة لدراسة كافّة الشّروط المؤثرة على فعالية الحفر بمجملها أو بشكل مُستقل وذلك وفقاً للشّروط الحقلية كعمق الحفر ، مقاومة الصّخور للانهيّار ، سرعة الدّوران ، وصولاً إلى نتائج هذه الدراسات وهي القوة المماسية ، والقوة النّاطمية ، اللتان تؤثران بشكل وثيق على القواطع الألماسية وبالتالي على فعالية الحفر كما هو موضّح بالشّكل (2):



الشكل (2) عملية القطع والقوى المتولدة بواسطة قاطع منفرد

تم إجراء التجربة وفق سلسلتين على عينات اسطوانية مأخوذة من طبقة كارتاج ماربل (حجر كلسي +مارل) وذلك باستخدام قطرين مختلفين من القواطع (13) ملم ، (16) ملم ، وذلك لدراسة مدى تأثير الشّكل الهندسي والأبعاد على فعالية الحفر مع تطبيق ضغط على حجرة العينة المدروسة يصل إلى 3.1 MPa (450 psi) وكانت أعماق الانغراس 0.08 ملم إلى 1.22 ملم مع قياس حجم الفتات الناتج ، حيثُ نتجت لدينا أربع قراءات ، في كل قطر للقواطع هناك حالتين على حدا ، وفي كل حالة

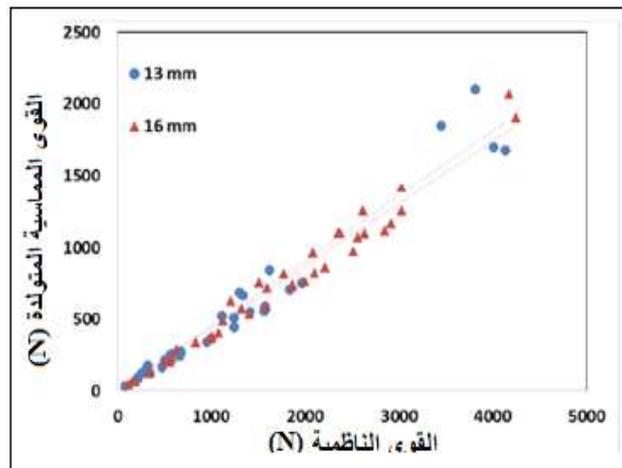
يختلف عمق الانغراس وأبعاد القواطع ، حيث كانت زاوية ميلان القواطع العمودية 20° ، مع وجود شطف في السطح الفعّال بمقدار 45° ، وبدوران جانبي معدوم لهذه القواطع ، مع تطبيق سرعة دوران 80 r.p.m ، مع انغراسات متتالية فيما بعد وصلت إلى انغراس قليل العمق ثم انغراس كامل السطح الفعّال ، وبعدها وصل الانغراس الى السطح المُجسّم الاسطواناني الملامس لجسم رأس الحفر الحاوي على القواطع وذلك لرصد سلوك رأس الحفر وفق منظور أوسع عند أعماق انغراس مُختلفة ، وكانت بيانات التّجربة موضّحة بالجدول التالي(1):

الجدول(1) تجرب عمق الانغراس .

قياس القواطع(مم)	طول الجزء المشطوف(مم)	عمق الانغراس(مم)
13	0.25mm(0.010)inch	0.13-1.21
13	0.41mm(0.016)inch	0.08-1.22
16	0.25mm(0.010)inch	0.15-1.07
16	0.41mm(0.016)inch	0.15-1.04

فُيِّمَت نتائج التجربة إلى مقدارين فيزيائيين وهما الطاقة النوعية المُحققة ، والاحتكاك الناتج . حيثُ تغيّرت الطاقة النوعية الناتجة بتغيّر مقاييس القواطع وأبعاد الانغراس .

أ- تأثير مقاييس القواطع : يُظهر الشّكل(3) تغيّر قوى القطع بتغيّر القوى النّائظية وفقاً لأقطار مُختلفة

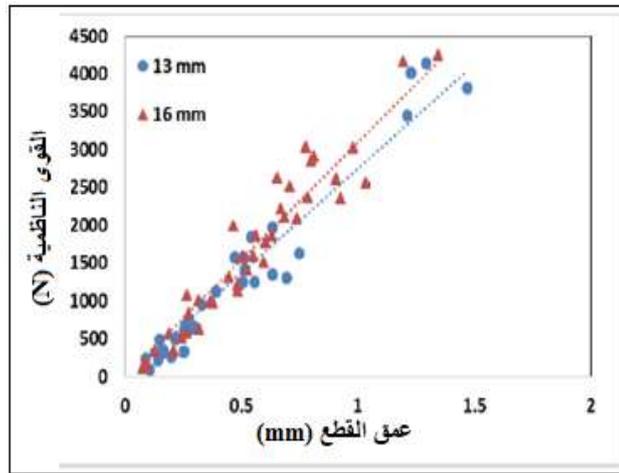


الشكل(3) العلاقة بين القوة المماسية والناظمية المُسجلتين وفق قطرين مُختلفين للقواطع .

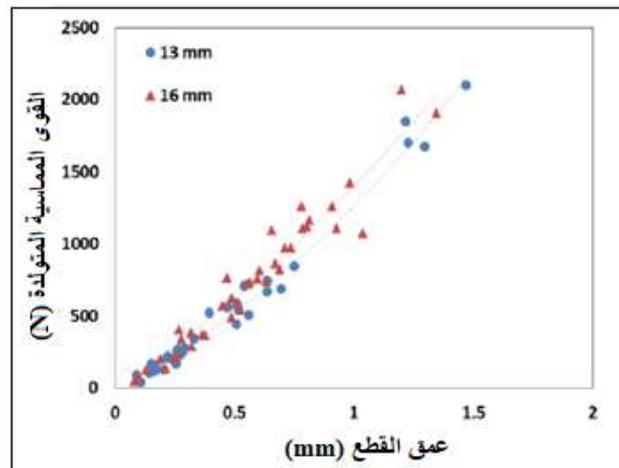
حيث نلاحظ من كلا المُحنين تقارباً واضحاً للقطرين المُستخدمين (13) ملم ، (16) ملم ، ولهما نفس السلوك تقريباً ، وفي رؤوس الحفر الحقيقية ، إنّ مقاومة القواطع وفعالية الحفر تُعرف دوماً بميول المنحني العائد للحمل المُطبَّق بالعلاقة مع العزم الناتج ، أمّا مخبرياً فإن ميول المنحني العائد للقوة النظامية والقوة

القَصِيّة الناتجة يُعبّر عن نفس المفهوم المتعلق بفعالية الحفر ، حيث تزداد فعالية الحفر بازدياد الانغراس وبالتالي زيادة السطح الفَعَال المُنغرس في الصّخر وبالتالي زيادة العزم المتولّد وما يُرافقه من ازدياد مُعدّل التآكل .

ومن منظور آخر ، عند دراسة العلاقة بين القوة النظامية وعمق الانغراس كما في الشكل (4) ، والقوة المماسيّة مع عمق الانغراس ، الشكل (5) نلاحظ ازدياد القوة المتولّدة بازدياد عمق الانغراس في الصّخر .



الشكل (4) العلاقة بين القوة النظامية وعمق الانغراس عند أقطار قواطع مُختلفة.



الشكل (5) العلاقة بين القوة المماسيّة وعمق الانغراس عند أقطار قواطع مُختلفة.

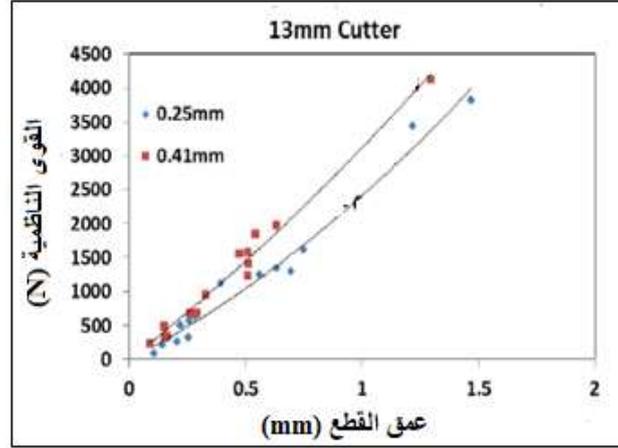
تُظهر هذه الأشكال سلوك القوى المتولّدة بالعلاقة مع عمق الانغراس ، حيثُ تزداد قيمة القوّة المماسيّة مع ازدياد عمق الانغراس بعلاقة طرديّة من الدّرجة الثانية ، أما القوّة النّاطميّة تزداد بازدياد عمق الانغراس بعلاقة خطيّة ، وهذا ما يُسبّب ارتفاع العزم المتولّد عند الحفر بازدياد الحمل المُطبّق (زيادة القوّة الناطميّة)، أمّا بالنسبة لمعيار الاحتكاك المتولّد فإنّه يأخذ نفس القيمة عند قطرين مختلفين للقواطع الألماسية لكن لهما نفس عمق الانغراس ونفس النوع. [8]

ب- دراسة تأثير البروز وأبعاده على فعالية الحفر :

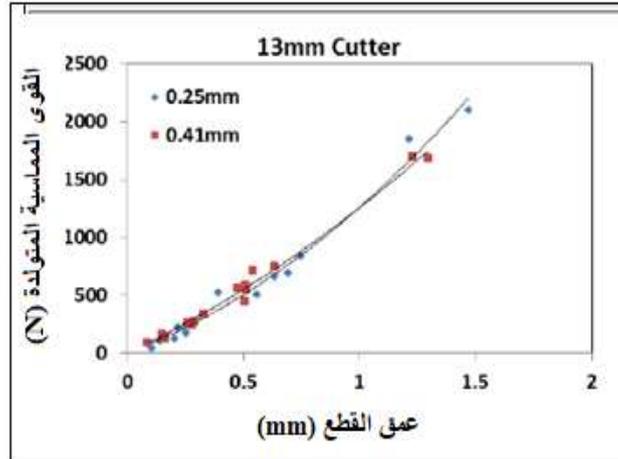
عند رسم العلاقة البيانيّة بين القوّة المماسيّة والقوّة النّاطميّة لكلا القطرين للقواطع الألماسيّة (13) ملم ، (16) ملم ، وبشطف السّطح الفعّال بنفس الزاوية 45° لكن طول الشطف يختلف بمقدارين 0.010 إنش ، 0.016 إنش ، حيثُ كان العزم المتولّد وفعاليّة الحفر بتغيّر طول الجزء المشطوف ، فإن العلاقة البيانيّة تأخذ شكلاً طرديّاً من الدرجة الثانية ، حيث يأخذ العزم الناتج أقل قيمة عند طول الشّطف الكبير 0.016 إنش مع قطر صغير للقواطع 13 ملم ، وبزيادة حجم القواطع إلى 16 ملم يكون العزم المتولّد ومقاومة الحفر ذو قيمة أكبر .

وعند تقليل طول الجزء المشطوف إلى 0.01 إنش تتخفض مقاومة الحفر وينخفض العزم المتولّد عند نفس قطري القواطع (13) ملم ، (16) ملم ، وبالنتيجة نحصل على أفضل قابليّة للحفر وأقل عزم متولّد باستخدام أصغر قطر ممكن من القواطع وبأكبر جزء مشطوف ممكن .

عند دراسة العلاقة ما بين القوّة الناطميّة والقوّة المماسيّة بالعلاقة مع عمق الانغراس باستخدام قواطع بقطر 13 ملم كانت القوّة المماسيّة غير مرتبطة بشكل وثيق بطول الجزء المشطوف عند نفس عمق الانغراس لكنها بحاجة الى 20% زيادة في القوّة الناطميّة لتحقيق نفس عمق الانغراس في حال استخدام جزء مشطوف أطول كما يظهر في الشّكلين (6)،(7) اللذين يوضّحان علاقة القوّة الناطميّة مع عمق الانغراس ، والقوّة المماسيّة بالعلاقة مع عمق الانغراس ، وذلك باستخدام قواطع بقطر 13 ملم.



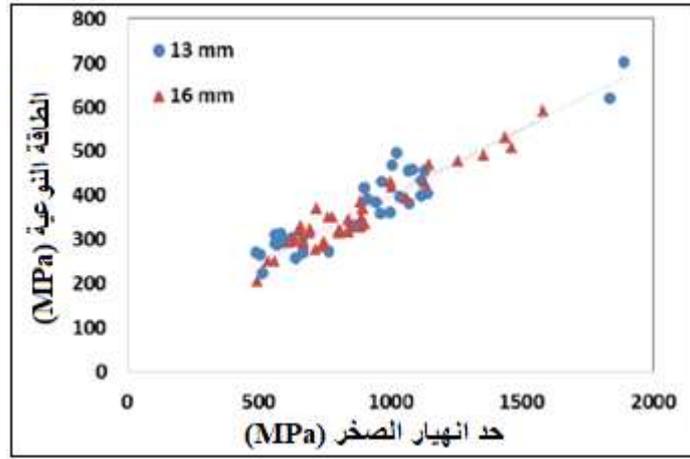
الشكل (6) يبيّن علاقة القوة الناطميّة مع عمق الانغراس عند طولين مُختلفين للجزء المشطوف.



الشكل (7) يبيّن علاقة القوة المماسيّة مع عمق الانغراس عند طولين مُختلفين للجزء المشطوف .

بالتالي لكي نحافظ على معدّل الحفر نفسه باستخدام قواطع بطول مشطوف كبير نحتاج لحمل أكبر على رأس الحفر، مع عدم حصول تغيّر كبير في العزم المتولّد .

وعند رسم الشّكل البياني ما بين الطّاقة النّوعيّة وحد الانهيار للصخر ، وفق طولين مُختلفين للجزء المشطوف (0.016- 0.01) إنش ، كما يظهر أيضاً في الشّكل (8).



الشكل (8) يبيّن العلاقة بين الطاقة النوعية وحد انهيار الصخر عند قطرين مختلفين من القواطع .

نلاحظ وجود فرق واضح بين المنحنيين البيانيين مما يؤكّد العلاقة ما بين مقاومة الصخر للانهيار والأبعاد الهندسيّة للقواطع وأبعاد الشّطف الممكنة ، بالإضافة إلى زاوية الاحتكاك الناتجة عن ميلان القواطع .

ج - دراسة تحليليّة للعلاقة بين زاوية الاحتكاك الداخلي وزاوية الميلان العموديّة للقواطع: [4]، [5]

تتغير فعالية الحفر بشكل ملحوظ بالعلاقة مع مواصفات الصخر المُخترق من جهة ، وبالمواصفات الهندسيّة لرأس الحفر من جهة أخرى ، وكمثال على ذلك زاوية الاحتكاك التماسي بين القاطع والصخر ψ (وهي الزاوية الناتجة بين محصلة قوى الاحتكاك واتجاه القطع) كتابع لمواصفات الصخر الميكانيكية ، وزاوية ميلان القواطع θ التي تُعبّر عن إحدى المواصفات الهندسيّة لرأس الحفر المُستخدّم ، واللّتان ترتبطان مع القوى المتولّدة الناظميّة و المماسيّة المتولّدة في القواطع الأمامية نتيجة دخولها في جسم الصخر وفق العلاقة التالية (1) :

$$\frac{F_n}{F_t} = \tan(\psi + \theta) \quad (1)$$

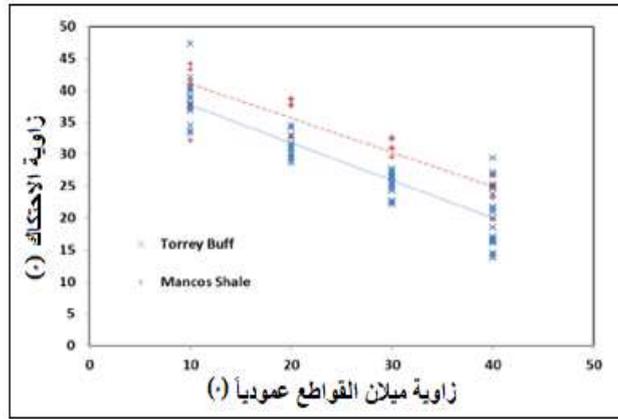
حيث أنّ : F_n : القوة الناظميّة . ، F_t : القوة المماسيّة .

ψ : زاوية الاحتكاك التماسي بين القاطع والصخر . ، θ : زاوية الميلان العموديّة للقواطع .

يمكننا حل هذه المعادلة والحصول على قيمة القوة المماسيّة الناتجة بمعرفة الحمل المُطبّق المرتبط بالقوة الناظميّة ، إضافة إلى قيمة زاوية الميلان العموديّة للقواطع ، وزاوية الاحتكاك التماسي المتعلّقة بالتركيب الليتولوجي للصخر المُخترق ، وقد أُجريت هذه التجربة على عيّنتين صخريتين ، مأخوذة من تشكيلتين مختلفتين واحدة تُدعى مانكوس شيل (اللون الأحمر للمنحني) وهي طبقة تتكون بشكل رئيسي من الشّيل

ونسبة قليلة من الغضاريات اللدنة ، والطبقة الأخرى هي طبقة توري باف (اللون الأزرق للمنحني) وتتكوّن من الحجر الكلسي وبعض الغضاريات .

إذ توضح نتائج التجربة بأنه كلما زادت زاوية الميلان العموديّة للقواطع كُلاً ما انخفضت زاوية الاحتكاك التماسي ، حيثُ تتجنّب بدورها الاحتكاك المتزايد الناتج عن تماس رأس الحفر مع الصخر وفق الشّكل (9) وهذا ما يظهر لدينا في العلاقة التالية (2):

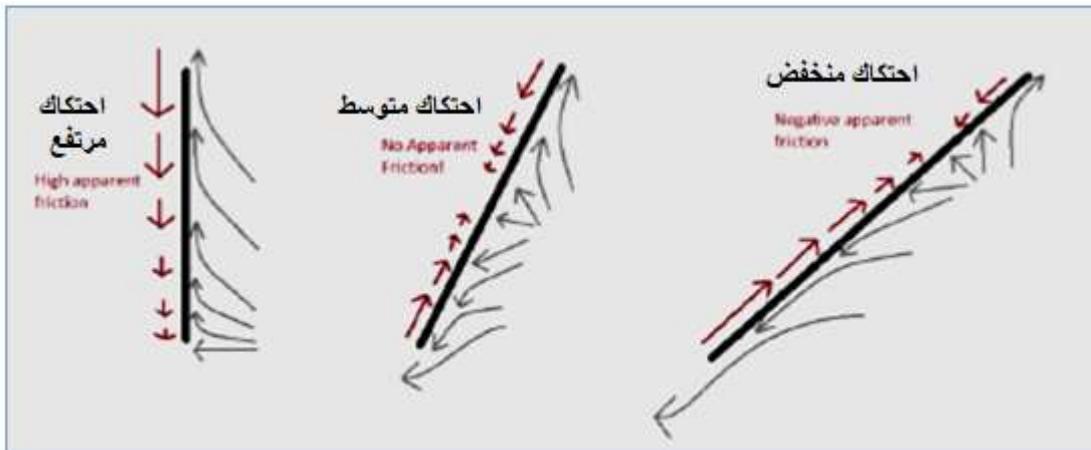


الشكل (9) يبيّن العلاقة العكسيّة بين زاوية الاحتكاك وزاوية ميلان القواطع للحصول على فعالية الحفر

$$\psi = \beta(\theta_0 - \theta) \quad (2)$$

حيثُ أنّ : β ، θ_0 ، هي مؤشّرات مُستقلّة مُتعلقة بالصّخر .

والجدير بالذّكر بأن زيادة زاوية ميلان القواطع لا يقلل قيمة الاحتكاك المتولّد لقيمة كبيرة أو إلى اللانهاية ، حيث هناك قيمة حدّيّة لزيادة زاوية الميلان العمودية وبعدها يبدأ الاحتكاك بالتزايد وذلك بسبب تراكم الفتات المحفور ومنعه من الانزياح أو الاقتلاع من جسم الصّخر فضلاً عن زيادة سطح التلامس مع جسم الصّخر والفتات المحفور كما يتوضّح ذلك وفق الشّكل (9) مما يقلل من فعاليّة الحفر .



الشكل (9) يوضّح تأثير ميلان القواطع على فعالية الحفر وإزاحة الفتات

د - زاوية الميلان العموديّة المُكافئة: [5]

يُستخدم مُصطلح زاوية الميلان العموديّة المُكافئة θ_{eq} عند استخدام القواطع الألماسية المُسطّحة ذات الشّطف المائل مع تبديل القوتين المماسيّة والنّاطميّة بمتغيّراتهما الجزئية المُعبّرة عن الاحتكاك والمقاومة وذلك في العلاقة (1) لتُصبح كما يلي (3) :

$$\frac{df_n}{df_t} = \tan(\theta_{eq} + \psi) \quad (3)$$

$$\arctan\left(\frac{df_n}{df_t}\right) = (\theta_{eq} + \psi)$$

بتعويض العلاقة (2) في العلاقة (3) نحصل على العلاقة (4):

$$\arctan\left(\frac{df_n}{df_t}\right) = (\theta_{eq} + \psi) = (\theta_{eq} + \beta(\theta_0 - \theta_{eq})) = (\theta_{eq} + \beta\theta_0 - \beta\theta_{eq})$$

$$\arctan\left(\frac{df_n}{df_t}\right) = (\theta_{eq} + \beta(\theta_0 - \theta_{eq})) = (1 - \beta)\theta_{eq} + \beta\theta_0$$

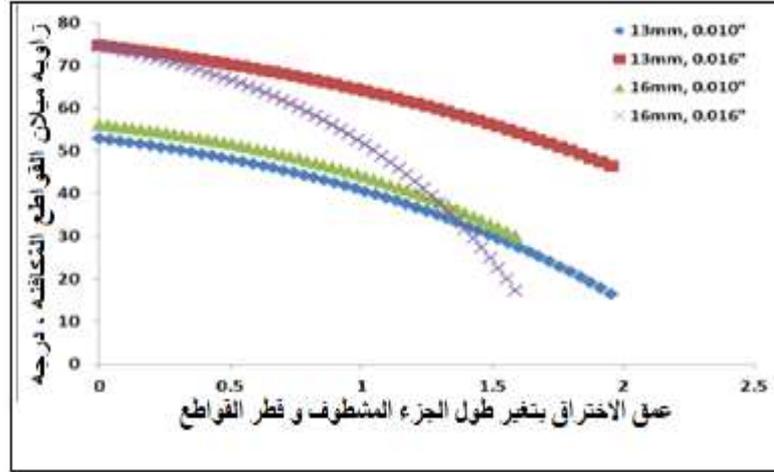
$$\theta_{eq} = \frac{\arctan\left(\frac{df_n}{df_t}\right) - \beta\theta_0}{(1 - \beta)} \quad (4)$$

تُستخدم العلاقة (4) للحصول على زاوية الميلان المُكافئة بالعلاقة مع تغيّر القوى الناطميّة والمماسيّة بوجود ثابتين من ثوابت الطّبقة (β, θ_0) .

عندما $\beta = 0$ ، فإنّ θ_{eq} هي الميول للخط المرسوم بين القوتين F_t , F_n في أي عمق انغراس .

- تحليل ومناقشة تأثير المواصفات الهندسية للقواطع على فعالية الحفر : [4],[7]

يمكن تلخيص الدراسة السّابقة بمُجمّلها من خلال أقطار القواطع المُستخدمة وأطوال الشطف المرافق لها ، مع رسم العلاقة البيانيّة بين زاوية الميلان العموديّة المُكافئة بالعلاقة مع أعماق انغراس مُختلفة نحصل على الشكل البياني التالي (10):



الشكل (10) العلاقة بين زاوية الميلان العموديّة المكافئة وعمق الانغراس مع تغيير قطر القواطع و طول الشّطف .

ويتم تفسير المنحنيات وفق مايلي :

- 1- عند بداية الانغراس كانت θ_{eq} مرتفعة في جميع الحالات المدروسة .
- 2- يبرز دور زاوية الميلان العمودية المكافئة بأهميتها في عملية انغراس السن في الصخر ، وباستمرار عملية الحفر يتلاشى دورها .
- 3- عند الحاجة لميول شديد للقواطع الألماسيّة ، نقسم الزاوية المطلوبة إلى قسمين ، أحدهما بتميل السّطح القاطع قليلاً ، والآخر المُكمل للزاوية المطلوبة يكون بالشّطف بالمقدار المطلوب مثال : إذا أردنا الحصول على زاوية ميلان عمودية 65° ، يمكن أن نُميل السّطح الفعّال بزاوية 20° ، ونقوم بشطف السطح العامل بزاوية 45° ، وهكذا .
- 4- بالنسبة لزاوية الميلان العموديّة المكافئة الأصغرّيّة ، يجب ألا تقل عن 20° للحصول على فعالية حفر جيّدة ، مهما كان نوع الصّخر المحفور بشرط مُلائمة رأس الحفر ذو القواطع الألماسية PDC له .
- 5- نلاحظ بأن القواطع ذات الحجم الصّغير و المشطوفة بأكبر طول مُمكن تُحافظ بدورها على أفضل مردود وتبقى بأقل مستوى تآكل وتشوّه مُمكن، وهذا ما أثبتته التجربة .

دراسة أبعاد القواطع الألماسية على سرعة الاختراق لرؤوس الحفر ذات القواطع الألماسية PDC : [4]

تم استخدام رأس حفر ذو قواطع الألماسية بقطر " 5 1/2 ، حيث يحتوي هذا الرأس على 200 قاطع ألماسي مغروس قياس 1 قيراط ، تتوافر لدينا حبيبات بقطرين " 0.0848 ، " 0.0650 وذلك عند اختراق فعال بعمق " 0.01 ، سرعة دوران لرأس الحفر هي 100 rpm .

لحساب سرعة التقدم لرؤوس الحفر الألماسية نستخدم العلاقة التالية :

$$ROP = L_{pe} \times n_{be} \times N \quad (5)$$

ROP : سرعة التقدم لرأس الحفر المدروس (ft/hr) ، N : عدد دورات رأس الحفر rpm .

L_{pe} : طول الاختراق الفعال (إنش) ويُعطى بالعلاقة :

$$L_{pe} = 0.67 \times L_p \quad (6)$$

L_p : طول الاختراق المُطبق على رأس الحفر (إنش).

$$L_{pe} = 0.67 \times L_p = 0.67 \times 0.01 = 0.0067 \text{ in}$$

n_{be} : فعالية الشفرات ويُعطى بالعلاقة :

$$n_{be} = 1.92 \times \left(\frac{C_c}{S_d} \right) d_b \sqrt{d_c \times L_p - L_p^2} \quad (7)$$

C_c : عدد القواطع الألماسية ، S_d : مساحة رأس الحفر (inch)² ،

d_b : قطر رأس الحفر (inch) ، d_b : قطر القواطع الألماسية المُستخدمة (inch)

وهنا نميز القطرين المُستخدمين " 0.0848 ، " 0.0650 :

$$n_{be} \text{ للقطر } (0.0848) = 1.92 \times \left(\frac{C_c}{S_d} \right) d_b \sqrt{d_c \times L_p - L_p^2}$$

$$= 1.92 \times \left(\frac{200}{\frac{\pi \times (5.5)^2}{4}} \right) \times 5.5 \sqrt{0.0848 \times 0.01 - (0.01)^2} = 2.589$$

$$n_{be} \text{ للقطر } (0.065) = 1.92 \times \left(\frac{200}{\frac{\pi \times (5.5)^2}{4}} \right) \times 5.5 \sqrt{0.065 \times 0.01 - (0.01)^2} = 2.267$$

بتعويض النتائج في العلاقة (5) نحصل على :

$$ROP = L_{pe} \times n_{be} \times N = \frac{0.0067}{12} \times 2.589 \times \frac{100}{1} \times 60 = 8.01 ft/hr$$

$$ROP = L_{pe} \times n_{be} \times N = \frac{0.0067}{12} \times 2.267 \times \frac{100}{1} \times 60 = 7.594 ft/hr$$

من خلال النتائج نلاحظ صحة العلاقة البيانية ما بين أقطار القواطع الألماسية وعمق انغراس القواطع (معدل الحفر والاختراق) حيث أنه عند نفس زاوية الميلان العمودية للقطين المُستخدمين وبغض النظر عن الطول المشطوف فإنه بازياد قطر القاطع الألماسي فإن معدل الانغراس والقطع يكون أكبر وبالتالي سرعة التقدم ستكون أكبر بسبب الحجم الأكبر المُزاح من الصخر .

النتائج:

- 1- زيادة قطر القواطع الألماسية من شأنه أن يرفع معدل التقدُّم عند استخدام رؤوس الحفر PDC .
- 2- عند استخدام القواطع الألماسية المشطوفة فإنه بزيادة الطول المشطوف من القاطع الألماسي تزداد لدينا سرعة التقدُّم بشكل ملحوظ ، حيث أن زيادة طول الجزء المشطوف من 0.01 إنش إلى 0.016 إنش ،زادت فعالية الحفر بمقدار 23% للقواطع ذات القطر 13 ملم ، كما ازدادت الفعاليَّة بمقدار 14% للقواطع ذات القطر 16 ملم.
- 3- يزداد معامل الاحتكاك ما بين الصخر والقواطع الألماسية كلما انخفضت زاوية الميلان العمودية .
- 4- تؤثر زاوية الميل العمودية للقواطع الألماسية بشكلٍ فعَّالٍ على سرعة التقدُّم لرؤوس الحفر PDC ، فهي ذات قيم تتراوح ما بين [10,90] ، فكلما كانت زاوية الميلان العمودية أقل ، كلما ازداد عمق انغراس القواطع الألماسية مع ارتفاع قيمة العزم المتولد عند بدأ عمل رأس الحفر على القاع ، وبزيادة

هذه الزاوية ينخفض العزم المتولد مع انخفاض عمق انغراس القواطع وانخفاض معدل الاحتراق معه ، لذلك تأخذ قيمة زاوية الميلان العمودية قيمة أمثلية تُحدد تجريبياً من خلال جمع البيانات الإحصائية لأسباب الاستهلاك السريع لهذا النوع من الرؤوس بالإضافة لتحليل القوى الإجهادية على سطوح تعامل القواطع مع الصخر واختيار الوضع الأنسب لها فضلاً عن العوامل التصميمية والهندسية المرافقة لرأس الحفر المدروس.

5- إن طول الجزء المشطوف لا يؤثر على القوة المماسية الناتجة بل يؤثر على القوة النازمية المتمثلة بالحمل المطلوب تطبيقه على رأس الحفر ، فكلما زاد الطول المشطوف من القاطع الألماسي نحتاج حمولة أكبر لتحقيق انغراس للقواطع الألماسية في الصخر، لكن بالمقابل نحصل على تقنيات أكثر فعالية للصخر في القاع وذلك بسبب التشويه الزائد الذي يحصل للصخر عند انغراس القواطع الألماسية فيه .

المقترحات:

- 1- دراسة النسبة ما بين القوة المماسية والقوة النازمية المتولدة في جسم الصخر عند نقطة تماسه مع القواطع الألماسية تُعتبر ذات أهمية بالغة في تحديد زاوية الميلان العمودية المكافئة.
- 2- يمكن الحصول على نتائج إيجابية لسرعة الاحتراق من خلال العلاقة (5) وذلك بزيادة عدد القواطع الألماسية ، تقليل مقطع البئر باختيار رأس الحفر الأقل قطراً ، زيادة الطول المُخترق من الصخر في قاع البئر ، زيادة قطر القواطع الألماسية ، زيادة عدد الدورات .
- 3- يمكن أن نعطي عمق الانغراس فعالية أكبر من خلال التميل الإضافي لسطح القاطع الألماسي بزاوية معينة (الشطف) والتي أعطت مفعولاً إيجابياً إضافياً لسرعة التقدّم .
- 4- يجب إعطاء زاوية التدوير الفراغي للقواطع الألماسية أهمية بالغة من الناحية العلمية لما لتوضع القواطع وشكلها الهندسي أهمية كبيرة في التأثير على فعالية وأداء رؤوس لحفر ذات القواطع الألماسية
- 5- عند استخدام زوايا ميل عمودية للقواطع الألماسية ذات قيم متوسطة أو أكثر قليلاً نحصل على عمق انغراس وسرعة حفر أكبر وفقاً للدراسة التحليلية .
- 6- يمكن تلخيص الفعالية الأمثلية للقواطع الألماسية من خلال زيادة قطرها المُستخدم مع وجود زاوية ميل وسطية أو أكثر قليلاً مع شطف إضافي لسطح القواطع الملامس مع الصخور ، مع زيادة عددها بما يتلاءم مع التكاليف المُصممة لرأس الحفر الألماسي المُصنّع .

المراجع

• المراجع العربية:

- [1] الدكتور طاهر منصور، مقرر هندسة الحفر. جامعة البعث - قسم الهندسة البترولية 1993.
- [2] الدكتور المهندس هيسم عازار ، مقرر ميكانيك تفطيت الصخور -جامعة البعث - قسم الهندسة البترولية 1993 .
- [3] شعبة الدراسات، مديرية حقول المنطقة الوسطى ، الشركة السورية للنفط ، حمص ، سوريا ، 2021

المراجع الأجنبية:

[4]-Advanced Oil Well Engineering Handbook .Mitchell Engineering West New Mexico place .

[5]- Akbari, B., S.Z. Miska, M. Yu, and M. E. Ozbayoglu. 2014. Relation Between the Mechanical Specific Energy, Cuttings Morphology, and PDC Cutter Geometry. In Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore, and Arctic Engineering, San Francisco, CA, June 2014

[6]- Ghoshouni, M., and T. Richard. 2008. Effect Of The Back Rake Angle And Groove Geometry In Rock Cutting. In ISRM International Symposium-5th Asian Rock Mechanics Symposium. International Society for Rock Mechanics

[7]- Coudyzer, C., and R. Thomas. 2005. Influence of the back and side rake angles in rock cutting. In AADE 2005 National Technical Conference and Exhibition, Wyndam Greenspoint, Houston, TX, April, pp. 5-7.

[8]- Smith, J. R., J. B. Lund, and R. K. Galloway. (2002). Friction on PDC cutters at high normal stress. Journal of energy resources technology, 124(3), 146-153.

Studying the effect of geometrical properties of cutters on the efficiency of PDC bits

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 inducted study on an important one of the most factors affect on performance (PDC) drilling bits because of very ordinary using through times ago in oil and gas industry , one of the most once that geometrical shape and orientation of cutters which gives a true impact on penetration towards target , with inducting forces were produced between cutter and rocks as limestone , shale , and marl .

Key words : Polycrystalline Diamond compact drilling bits , Tangent forces , Back rake angle , Specific energy .