

دراسة التدفق غير المستقر تحت مستوى السائل للنفط السوري الثقيل

بهدف تحديد الإجهادات الأولية للجريان

د.م ماهر سعادة

جامعة البعث - كلية الهندسة الكيميائية والبترولية

مقدمة :

يعتبر النفط إحدى الدعائم الأساسية لبناء الإقتصاد الوطني ، وعلى هذا الأساس تتوالى الدراسات الإستكشافية للمكامن النفطية يوماً بعد يوم في كثير من دول العالم ، والجدير بالذكر أن المكامن التي تتميز بنفطها الثقيل قد حازت على إهتمام الدارسين في الفترة الأخيرة بسبب كثرة إنتشارها من جهة وصعوبة التعامل معها من جهة أخرى حتى أطلق على القرن الحالي بسبب ذلك " قرن النفوط الثقيلة " وأمثال هذه المكامن النفطية تتواجد في الشمال الشرقي من سورية نذكر أهمها حقلي نفط تشرين ووادي عبيد وغيرها تعترض إنتاج ونقل النفط الثقيل ، وهو النفط الحاوي على كميات غير قليلة من البارافين والأسفلتين و الراتنج ، مجموعة من الصعوبات التكنولوجية التي ترتبط بظهور الخواص المرنة للنفط [16, 1,8] من أهمها اللزوجات العالية و ظاهرة الإضطراب المبكر الذي يقود بدوره إلى ضياعات إضافية في الطاقة اللازمة لنقل تلك السوائل . إن الكشف عن الخواص المرنة للنفط الثقيل وتحديد قيمها وبالتالي إيجاد الطريقة المناسبة لتنظيمها [10,11,15] يقود بالضرورة إلى رفع فعالية العمليات التكنولوجية في أثناء نقل تلك النفوط من أماكن إنتاجها إلى أماكن معالجتها أو تصديرها وهذا ما يحدد أهمية موضوع هذا البحث .

نتيجة للأبحاث المتعددة فقد تم التوصل إلى أن نفط عدداً كبيراً من الآبار يعتبر وسطاً معقداً ويمتاز بخواص سلوكية - مرنة ويبيدي خاصية التخثر في كثير من الأحيان كما أن الصفات المذكورة أعلاه تؤثر بشكل فعال على عملية نقل النفط عبر الأنابيب [5,7,8] وهذا ما يملئ ضرورة دراسة هذه الخواص وأخذها بعين الإعتبار عند وضع الموديلات الرياضية للعمليات التكنولوجية وبالتالي محاولة تنظيمها وتقادي تأثيرها ونتائج السلبية . وهكذا فإن مسألة التنبؤ عن الخواص المرنة لمنظومة المنتجات النفطية الحقلية تعتبر إحدى الشروط الأساسية عند دراسة مثل هذه المنظومات .

هدف البحث :

يهدف البحث إلى دراسة حركة النفط غير النيوتوني تحت مستوى السائل بهدف تحديد الخواص المرنة والتنبؤ عنها والمتمثلة في تحديد هوية السائل نيوتوني أم غير نيوتوني ، لزوجة السائل ، زمن التأخر ، الإجهاد الأولي للجريان .
من الضروري بداية إستعراض بعض المفاهيم الأساسية التي ستخدم موضوع البحث :

1- تصنيف السوائل : Classification of fluids

تقسم السوائل إلى مجموعتين طبقاً لسلوك تدفقها (Flow behavior) [1,13]:

- سوائل نيوتونية Newtonian fluids : تكون لزوجتها تابعة فقط لدرجة

الحرارة ولكنها غير تابعة لمعدل القص (shear rate) أو للزمن وهي تحقق

قانون نيوتون للزوجة Newton's Viscosity Law

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dn} = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

حيث أن:

$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dn} \text{ : معدل القص (shear rate) } (1/s).$$

$$\tau \text{ : إجهاد القص shear stress, } (N/m^2).$$

μ : معامل اللزوجة التحريكية (Dynamic Viscosity) Pa.s

كأمثلة عن هذه السوائل يذكر الماء ، المنتجات النفطية البيضاء ، زيوت التزليق الخفيفة والنفط الخفيف

- سوائل غير نيوتونية Non-Newtonian fluids : تكون لزوجتها ليست

تابعة لدرجة الحرارة فقط وإنما لمعدل القص و للزمن أيضاً بالنسبة لبعض

السوائل . وطبقاً لكيفية تغير اللزوجة بالعلاقة مع الزمن فإن سلوكية تدفق هذه

السوائل تصنف إلى سوائل غير نيوتونية متعلقة بالزمن (Non-

Newtonian fluids, time dependent) و سوائل غير نيوتونية

مستقلة عن الزمن (Non-Newtonian fluids, time independent)

وهي تحقق قانون بنغهام (Bingham's Law) :

$$\tau = \tau_o + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

حيث أن:

τ : إجهاد القص، (pa or $\frac{Dyne}{cm^2}$).

τ_o : الإجهاد القص الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع (yield stress value) ،
(pa).

$\dot{\gamma}$: معدل القص (shear rate) ($1/s$)

أولاً : سوائل غيرنيوتونية متعلقة بالزمن : تكون لزوجة السائل تابعة لدرجة الحرارة
ولمعدل القص والزمن

إعتماداً على تغير اللزوجة مع الزمن تصنف هذه السوائل الى :

A - تكسوتروبية (Thixotropic time thinning) : تترقق مثل هذه

السوائل مع الزمن عند سرعة ثابتة بسبب تحطم بنيتها الداخلية وبمعنى
آخر تتناقص لزوجتها مع الزمن مع ثبات السرعة وينطوي تحت هذا
التصنيف السوائل التالية : سوائل الحفر ، الدم ، الطلاء وبيض النفوط .

B - ريوبكتيكية (Rheopectic time thickening) : تتخن مثل هذه

السوائل مع الزمن عند سرعة ثابتة وبمعنى آخر تتزايد لزوجتها مع الزمن
مع ثبات السرعة وينطوي تحت هذا التصنيف محلول الجبس المركز .

ثانياً : سوائل غيرنيوتونية مستقلة عن الزمن : تكون لزوجة السائل مستقلة عن
الزمن و تابعة لدرجة الحرارة ولمعدل القص و إعتماداً على تغير اللزوجة مع تغير معدل
القص ($shear rate$) تصنف هذه السوائل الى :

a - سوائل تترقق بالعلاقة مع معدل القص ($shear or pseudoplastic$)

(thinning) حيث تتناقص لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالشامبو
و الصلصة وبعض النفوط و مركز عصير الفاكهة وغيرها.

b - سوائل تتخن بالعلاقة مع معدل القص ($shear thickening fluids or$

(dilatant) حيث تزداد لزوجة هذه السوائل بزيادة معدل القص كالرمل
الرطب و المحاليل النشوية المركزة .

c- سوائل بلاستيكية plastic fluids حيث تتصف بما يسمى الإجهاد الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع (τ_0) yield value وبمعنى آخر فإنه يجب تطبيق إجهاد أولي معين قبل أن يبدأ السائل بالحركة أمثال هذه السوائل معجون الطماطم ، معجون الأسنان ، كريمات الأيدي ، الشحوم وبعض النفوط الخام .

2- سلوكية السوائل : Fluids Rheology

هو علم يهتم بتدفق وتشوه المادة ويصف العلاقة المتبادلة بين القوة والتشوه مع الزمن وقد جاء هذا المصطلح من التعبير اليوناني Rheos ويعني تدفق [4,8] ويقدر عمر هذا العلم فقط بحوالي 70 سنة وقد أسس من قبل عالمن كانا بحاجة لتوصيف خصائص تدفق السائل وهما رينر و بنغهام Prof. و Prof. Marcus Reiner و Prof. Eugene Bingham وقد وصف الفيلسوف اليوناني هيركليطوس Heraclitus علم الريولوجيا بـ - Panta rei - أي كل شيء يتدفق ترجمت بعدها إلى مصطلح الريولوجيا من قبل ماركوس رينر ويعني أن كل شيء سيتدفق إذا أنت فقط أنتظرت لمدة كافية .

يصف سلوك السائل عادة إضافة إلى اللزوجة الخواص المرنة properties Elastic التي تعنى بانسكاب المادة وتركيبها البنيوي .

3- الخواص المرنة للسوائل غير النيوتونية:

لقد أثبتت الدراسات والبحوث الحديثة [2,3,5,7,8,14] أهمية الدور الذي تلعبه الخواص المرنة للسائل عند الجريان وخاصة السوائل غير النيوتونية Non-Newtonian Fluid) التي تظهر خواصها المرنة بشكل واضح ويؤدي في بعض الأحيان إلى شذوذ واضح في سلوكية السائل. وسوف يتم تناول أهم هذه الخواص التي تتمثل في اللزوجة البلاستيكية μ_{pl} إجهاد القص الأولي للجريان أو إجهاد الخضوع yield stress value (τ_0) ، وزمن التأخر أو زمن الاستجابة θ Relaxation time () ومعامل المرونة G [5].

عندما يتعرض سائل لمؤثر ما فإنه وبعد فترة زمنية معينة، تختلف من سائل إلى آخر، يستجيب السائل لهذا المؤثر ويظهر عليه نتيجة لذلك الأثر المناسب بحسب المؤثر

المذكور. يدعى الزمن اللازم حتى يبدأ الأثر بالظهور بعد تطبيق المؤثر بزمن إستجابة أو زمن تأخر السائل θ . وقد اتضح مؤخراً أن زمن تأخر السائل يعبر عن مدى إستقرار وتوازن الجملة المدروسة وكلما كان زمن تأخر الجملة كبيراً كانت الجملة أقل استقراراً من الناحية الهيدروليكية وتسلك بالتالي سلوكاً غير عادياً كأن تنخفض المقاومة الهيدروليكية للجريان أو ترتفع لدرجة يحدث عندها إنتقال مبكر من الجريان الخطي إلى الجريان المضطرب أي قبل أن تصل السرعة إلى السرعة الحدية (Critical velocity) التي ينتقل عندها الجريان من نظام الجريان الخطي أو الصفحي (Laminar) إلى نظام الجريان المضطرب (Turbulent) وعلى العكس فكلما انخفض زمن تأخر الجملة كانت أكثر استقراراً وتوازناً وبالتالي فإنه من الممكن أن يتأخر الإضطراب أو بمعنى آخر يحدث عند سرعات أكبر من السرعة الحدية العادية فيما لو عوملت الجملة بشكل ينخفض فيه زمن تأخر السائل.

والجدير بالذكر أن جميع السوائل أكانت نيوتونية أم غير نيوتونية تتمتع بهذه الخاصة غير أن قيمتها قد تكون صغيرة جداً في السوائل النيوتونية بالنسبة لبعض المؤثرات الفيزيائية كالضغط مثلاً، لدرجة يمكن إهمالها واعتبارها غير موجودة. فزمن الاستجابة بالنسبة للماء مثلاً عندما يكون المؤثر هو الضغط يبلغ قيمة صغيرة جداً ويقدر بأجزاء الثانية، أما بالنسبة للسوائل غير النيوتونية فإن زمن الاستجابة قد يبلغ قيمة كبيرة ويتراوح من عدة دقائق إلى عدة ساعات وقد يدوم لعدة أيام.

عندما تفقد قوى المرونة توازنها يظهر الاضطراب المبكر الذي شاهده فايسنبرغ ويدعى بالاضطراب المرن ويحققه قانون فايسنبرغ التالي:

$$we = \frac{\theta \cdot v}{D} \quad (3)$$

حيث أن:

we : عدد فايسنبرغ

v : السرعة المتوسطة .

D : القطر .

θ : زمن تأخر السائل.

لقد أثبتت التجارب العديدة التي أجريت على البوليميرات المذابة وسوائلها اللزجة أن الإضطراب المرن يحدث عند أعداد رينولدز الصغيرة جداً وظهوره يحدد عن طريق معرفة عدد فايسنبرغ الحرج الذي تتراوح قيمته بين $(10 \div 1)$ أما معامل مرونة السائل الذي يلعب أيضاً دوراً مهماً فهو مقلوب معامل الانضغاطية ويقاس بالباسكال وهو يعبر عن مدى استعداد السائل لأن يبدي خواصاً مرنة بدرجة ملحوظة عند تغير الضغط .

تدرس السوائل غير النيوتونية عادة على جهاز اللزوجة الدوار الذي يعتمد على تخريب بنية السائل وقياس مدى مقاومته عبر تعريضه لسرعة زاوية بين إسطوانتين الخارجية ثابتة والداخلية تدور بسرعة متغيرة حيث يوضع السائل عادة في الفراغ الحلقي، وبالتالي يمكن قياس الإجهاد (τ) واللزوجة الفعالة (η_E) في كل لحظة. من أجل تحديد معامل المرونة وزمن التأخر [6,13] تستخدم علاقة كروس (Cross) التالية:

$$\frac{1}{\eta_E^2} = \frac{1}{\eta_t^2} + \frac{\tau}{4G^2 \cdot \eta_t^2} \quad (4)$$

حيث

$$\theta = \frac{\eta_t}{G} \quad (5)$$

حيث أن:

G : معامل مرونة السائل المدروس. (pa)

η_t : اللزوجة اللحظية عند الزمن (t) . (pa.s)

θ : زمن تأخر السائل (s)

η_E : اللزوجة الفعالة المقاسة (pa.s)

فبعد إنشاء المنحني ذو الإحداثيات $(1/\eta_E^2, \tau^2)$ يمكن من خلال تقاطع المنحني الناتج (أومماسه في أي نقطة أخرى) مع المحور $(1/\eta_E^2)$ يمكن تحديد قيمة اللزوجة اللحظية

(η_i) وأما قيمة معامل المرونة (G) فتحدد من ميل المنحني الذي يكافئ القيمة

$$\cdot \left(\frac{1}{4G^2 \cdot \eta_i^2} \right)$$

للربط بين كلاً من الإجهاد الأولي للجريان yield value (τ_o) وفرق الضغط (الطاقة) (Δp_o) اللازمة للتغلب على الإجهاد الأولي ومع الأخذ بعين الاعتبار أن الإجهادات تؤثر على السطح الداخلي للأنبوبة وعلى كامل الطول وتتجه بعكس جهة الجريان وأن (Δp_o) يؤثر على مقطع الأنبوبة، فإنه يمكن كتابة الصيغة التالية التي تصف شرط بدء الجريان (بدء الحركة) للسوائل غير النيوتونية:

$$\Delta p_o \cdot \pi \cdot r^2 = \tau_o \cdot 2\pi \cdot r \cdot L \quad (6)$$

حيث :

r : نصف قطر الأنبوبة.

L : طول الأنبوبة.

وينتج بالتالي:

$$\Delta p_o = \tau_o \cdot \frac{2L}{r} \quad (7)$$

اعتماداً على ما ذكر أعلاه، يشار هنا أن السوائل غير النيوتونية لا تحقق قوانين الأواني المستطرقة بشكل فوري بسبب وجود الإجهاد الأولي للجريان (τ_o) أخيراً ونظراً للأهمية الكبيرة للخواص المرنة كان لابد من اختيار سريع يعطي إمكانية التنبؤ عن الخواص المرنة للسوائل المدروس ويعطي تحديداً لنوعية السائل نيوتونياً أم غير نيوتوني

يقترح في هذا البحث طريقة حقلية - مخبرية للتنبؤ وقياس الخواص المرنة للنفط الثقيل وقد اعتمد نفط وادي عبيد كمثال عن النفوط الثقيلة غير النيوتونية خواص النفط المذكور مبينة في الجدول التالي :

المفهوم الرياضي للطريقة المقترحة :

تعطى العلاقة بين الغرارة Q لسائل نيوتوني لزوجته μ و ضياع الضغط ΔP في أنبوبة أفقية نصف قطرها r والبعد بين نقطتي القياس فيها L بعلاقة بوازيل Poiseuille التالية :

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \mu \cdot L} \quad (8)$$

بالأخذ بعين الإعتبار الصفات المرنة للسائل يمكن كتابة المعادلة السابقة بالمحاكاة الرياضية مع معادلة بنغهام (*Bingham's Law*) معادلة رقم (2) لجريان النفط الثقيل بعد التعويض عن ضياع الضغط Δp بإرتفاع عمود السائل $\Delta h = \Delta p / \gamma$ حيث تأخذ معادلة بوازيل الشكل التالي:

$$\theta \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = \frac{8\eta \cdot L}{\pi R^4 \gamma} \cdot Q \quad (9)$$

حيث :

θ : زمن تأخر السائل (s)

$\gamma = \rho \cdot g$: الوزن النوعي للسائل

$d\Delta h/dt$: معدل تغير إرتفاع عمود السائل مع الزمن

إن الحد الأول من الطرف الأيمن للمعادلة السابقة يمثل مقداراً ثابتاً أثناء جريان سائل ذو وزن نوعي ولزوجة ثابتين وعليه يمكن كتابة المعادلة السابقة على النحو التالي :

$$\theta \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = B \cdot Q \quad (10)$$

$$B = \frac{8\eta \cdot L}{\pi R^4 \gamma} \quad \text{حيث : (10-1)}$$

وبإجراء التكامل ضمن المجال ($0 \rightarrow t$) ينتج :

$$\int_0^t \theta \frac{d\Delta h}{dt} + \int_0^t \Delta h(t) \cdot dt = B \int_0^t Q(t) dt \quad (11)$$

$$\theta(\Delta h_{(t)} - \Delta h_{(0)}) + \int_0^t \Delta h \cdot dt = B \int_0^t Q(t) dt \quad \text{أو :}$$

بتقسيم حدي المعادلة على المقدار $\Delta h_{(0)} - \Delta h_{(t)}$ يكون :

$$-\theta + \frac{\int_0^t \Delta h(t).dt}{\Delta h(0) - \Delta h(t)} = B \frac{\int_0^t Q(t).dt}{\Delta h(0) - \Delta h(t)} \quad (12)$$

$$\frac{\int_0^t \Delta h(t).dt}{\Delta h(0) - \Delta h(t)} = B \frac{\int_0^t Q(t).dt}{\Delta h(0) - \Delta h(t)} + \theta \quad (13) \quad \text{أو}$$

إن تحليل العلاقة السابقة يبين أنه بالإعتماد على علاقة الضغط بالغازة هناك إمكانية تعيين كلاً من زمن تأخر السائل ولزوجته كما يلاحظ أن المعادلة السابقة تمثل جرياناً تابعاً للزمن وهي معادلة مستقيم يمكن كتابتها بشكل مبسط بالشكل التالي :

$$Y = BX + \theta \quad (14)$$

$$X = \frac{\int_0^t Q(t).dt}{\Delta h(0) - \Delta h(t)} (\text{Cm}^2) , \quad Y = \frac{\int_0^t \Delta h(t).dt}{\Delta h(0) - \Delta h(t)} (\text{Sec})$$

$$B = \frac{8\eta \cdot L}{\pi R^4 \gamma} \quad \text{حيث :}$$

هذه النتيجة تسمح مباشرة بحساب زمن التأخر ولزوجة النفط من خلال رسم الدليل الباني (X, Y) حيث أنه من ميل المستقيم الناتج يمكن حساب اللزوجة μ ومن تقاطع المستقيم

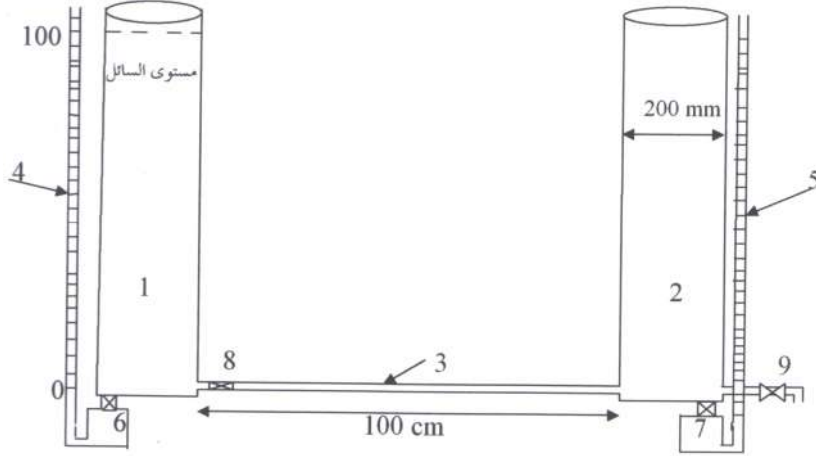
الناتج مع المحور Y أي عندما $X=0$ يمكن تحديد زمن التأخر θ

الطريقة التجريبية المقترحة :

لتجسيد المعادلة السابقة تجريبياً تم إختيار تدفق النفط تحت مستوى السائل بين خزانين عبر أنبوية محددة القطر و الطول بحيث يكون الجريان غير مستقر وبالتالي تكون كلاً من الغازة Q في الأنبوية وفرق مسنوى السائل Δh بين الخزانين تابعاً للزمن .

أجريت التجارب المخبرية على محطة مخبرية تؤمن جرياناً غير مسقر بما يلائم معادلة بوازيل السابقة . تتألف المحطة من خزانين شاقوليين (1) و(2) مفتوحين من الأعلى

إرتفاع كل منهما 1 متر وقطره 20 سم يصل بينهما أنبوب أفقي (3) طوله 100 سم ونصف قطره الداخلي 2.24 سم بحيث تبعد نقطة وصل الأنبوب مع كل من الخزائين عن قاعدة كل خزان بمقدار 3 سم .



الشكل رقم (1) : محطة القياس

يوجد على الأنبوب عند مخرج الخزان الأول صمام (8) بهدف التحكم بتدفق السائل بين الخزائين . يوصل كل من الخزائين مع مقياس مستوى بهدف قياس إرتفاع أو إنخفاض مستوى السائل في الخزائين يتألف من مستودع للماء (6,7) تبلغ سعة المستودع 1 ليتر يتصل بزجاجة بيان شاقولية (4,5) ممتلئة بالماء بهدف تفادي صعود النفط في زجاجتي البيان . يتفرع عن الخزان (2) صمام (9) من أجل تفريغ الخزانات من السائل .

يستخدم الماء في مقياس المستوى لأن زمن تأخره وانضغاطيته صغيرين جداً لدرجة تسمح بإهمالهما وهو ينقل الإشارة بسرعة ودقة عاليتين . تجهز المحطة للقياس على النحو التالي : بداية يتم ضبط أفقية المحطة ثم يملء الخزان (1) بالماء حتى إرتفاع معين ثم يفتح الصمام (8) ويبقى الصمام (9) مغلقاً عندئذ سيمنتلئ نظام قياس المستوى بالماء ويطرد الهواء منها وعند استقرار مستوى الماء في الخزائين يفتح الصمام (9) ويفرغ الماء الزائد عندها سيشير مستوى الماء في زجاجة البيان إلى الصفر وعلى أساس ذلك يتم تدرجها نحو الأعلى وتصبح المحطة جاهزة للعمل .

طريقة القياس : يشار هنا أ الطريقة واحدة بالنسبة لكافة أنواع السوائل وتتم كما يلي :

1- تغلق الصمامات (9,8) ويملىء الخزان (1) بالسائل المراد دراسته لإرتفاع معين .

2- يفتح الصمامات (9,8) حتى يمتلىء الأنبوب بالسائل ثم تغلق .

3- يرصد مستوى السائل في الخزان (1) المذكور بدقة .

4- يفتح الصمام (8) فيبدأ السائل بالتدفق إلى الخزان (2) حيث يتم قياس المستوى في الخزانين بشكل متزامن وعند فترات زمنية معينة تتبع لزوجة السائل المدروس .

5- بعد الإنتهاء من أخذ القياسات أي عند إقتراب تساوي مستوى السائل في الخزانين يترك الجهاز في وضعية الإستقرار لفترة من الزمن ثم يسجل مقدار الفرق بين مستوى السائل في الخزانين.

6- بعد الإنتهاء من القياسات تجرى الحسابات الرياضية

الحسابات الرياضية :

يتم حساب إحداثيات النقاط (X,Y) من خلال العلاقات التالية :

$$X_n = X_{n-1} + \left(\frac{Q_{n-1} + Q_n}{2}\right)\Delta t \quad (15)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + \left(\frac{h_{n-1} + h_n}{2}\right)\Delta t$$

حيث:

Q_n, Q_{n-1} قيم تدفق السائل عند القياس (n-1 , n) على التوالي (cm³/ sec)

h_n, h_{n-1} قيم مستوى السائل في الخزان الأول عند القياس (n-1 , n) على التوالي

(cm)

Δt : الفترة الزمنية الفاصلة بين قياس وآخر (sec)

Q : الغزارة تحسب من العلاقة التالية:

$$Q_n = \frac{\pi R^2 \cdot \Delta h_n}{\Delta t}$$

حيث : R نصف قطر الخزان

Q_n تدفق السائل في اللحظة n

Δh_n فرق مستوى السائل في الخزان الأول بين الفترتين (t_{n-1} , t_n)

بعد حساب قيم X,Y عند فترات زمنية مختلفة يرسم الدليل البياني بينهما ومن ميل المسقيم الناتج تحسب قيمة لزوجة السائل μ ومن تقاطع المستقيم المذكور مع المحور Y يتم الحصول على قيمة زمن التأخر θ

نتائج القياسات :

قبل إجراء التجارب على زيت تزليق مستهلك كمثال عن السائل النيوتوني و على وادي عبيد الثقيل كمثال عن السائل غير النيوتوني كان لابد من معايرة المحطة للتأكد من صلاحيتها ، وقد تم إختيار الماء كسائل معايرة بسبب لزوجته الثابتة وكونه سائلاً نيوتونياً وقد أثبتت التجربة جاهزية المحطة للعمل وأن خطأ القياس فيها لا يتجاوز 4% .

أولاً : نتائج قياسات زيت التزليق

تم قياس مواصفات الزيت بالطرق المخبرية العادية (ASTM D-445) عند

الدرجة C 14 وكانت على النحو التالي :

- الكثافة : $\rho_{t=14c} = 878 \text{ kg/m}^3$

- اللزوجة التحريكية : $\mu_{t=14c} = 67.5 \text{ C.P}$

أجريت التجربة عند الدرجة C 14 وقيم X,Y المحسوبة من نتائج القياسات مبينة في الجدول (1) .

الشكل (2) يبين العلاقة بين العوامل X,Y بالنسبة للزيت المدروس حيث يلاحظ أن الخط ينطلق من مبدأ الإحداثيات وهذا ما يشير إلى أن السائل نيوتوني وزمن التأخر له صغير جداً وقريباً من الصفر لدرجة يمكن إهماله . من جهة أخرى فقد لوحظ بعد فترة وجيزة إستقرار مستوى السائل على سوية واحدة في الخزائين الأمر الذي يشير إلى أن الأجهادات الأولية مساوية للصفر .

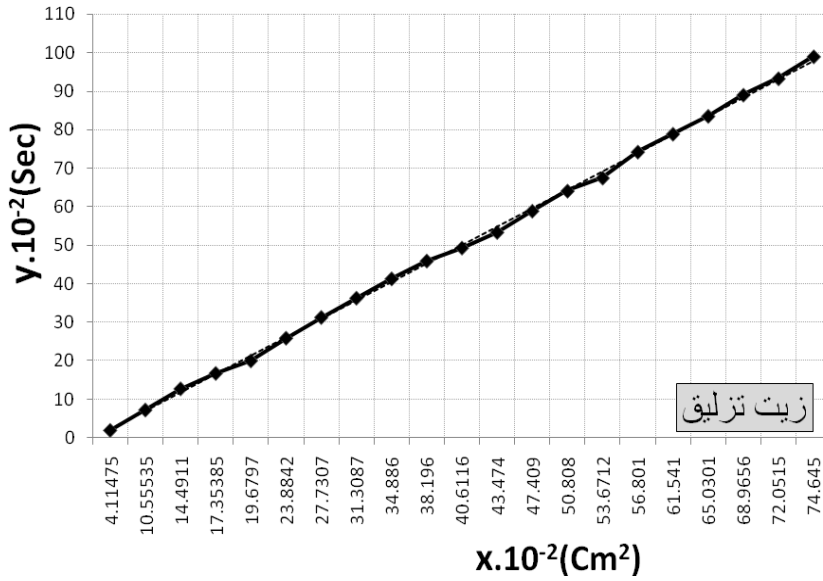
من ميل المستقيم الناتج وبحسب العلاقة (1-10) تم حساب لزوجة السائل التي بلغت 65.3 CP .

إرتياب القياس بهذه الطريقة عن الطرق الشائعة يبلغ $\Phi = \frac{67.5 - 65.3}{67.5} = 0.03$ وهي

نسبة مقبولة جداً وتشير إلى دقة جيدة بالنسبة للطريقة المقترحة .

جدول رقم (1) : نتائج قياسات زيت التزليق

رقم القياس	t(Sec) Δ	h1(cm)	X (cm ²)	Y(Sec)
1	0	44	-	-
2	10	41.7	411.475	200
3	10	40.3	1055.535	727.749
4	10	39.5	1449.110	1278.754
5	10	38.8	1735.385	1679.539
6	10	38.2	1967.970	2005.158
7	20	37.05	2388.42	2593.788
8	20	36	2773.07	3132.298
9	20	35	3130.87	3633.218
10	20	34	3488.6	4134.04
11	20	33.15	3819.6	4597.44
12	20	32.5	4061.16	4935.62
13	30	31.65	4347.4	5340.38
14	30	30.36	4740.9	5892.26
15	30	29.75	5080.8	6412.15
16	30	29	5367.12	6750.87
17	30	28	5680.1	7425.14
18	60	26.75	6154.1	7890.74
19	60	25.9	6503.01	8354.21
20	60	24.9	6896.56	8905.18
21	120	23.85	7205.15	9331.51
22	120	23.2	7464.5	9900.42
23	120	22.85	7616.6	10102.15



الشكل (2) العلاقة بين العوامل X,Y ، بالنسبة لزيت التزليق

- خط متصل بين النقاط ، - - - - أفضل خط بين النقاط

تجربة النفط :

أجريت الدراسة على النفط الثقيل المنتج في حقول الجبسة السورية والذي يصنف ضمن الخامات غير النيوتونية ، وقد اختير من هذه الحقول النفط الثقيل المنتج من حقل وادي عبيد الذي يصل المحتوى البرافيني فيه إلى أكثر من 7% ويتميز بالمواصفات التالية :

$$\rho_{20} = 9619 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$\rho_{14} = 0.978 \text{Kg} / \text{m}^3$$

$$API = 13.1808$$

اللزوجة التحريكية : $\mu_{t=14c} = 4201 \text{ C.P}$ ($\dot{\gamma} = 35 \text{ sec}^{-1}$: shear rate ، بحسب

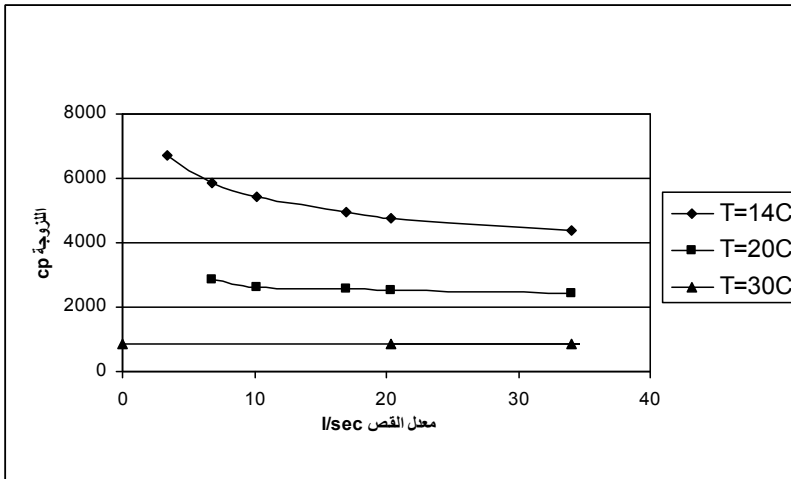
(Brookfield DV-II

أجريت أجريت السلسلة الأولى من التجارب على جهاز اللزوجة الدوار

Brookfield DV-II ونتائج القياس موضحة على الشكلين (3 ، 4)



الشكل (3) يبين علاقة إجهاد القص مع معدل القص لنفط خام وادي عبيد عند درجات حرارة مختلفة



شكل رقم (4) علاقة اللزوجة مع معدل القص لنفط خام وادي عبيد الثقيل عند درجات حرارة مختلفة

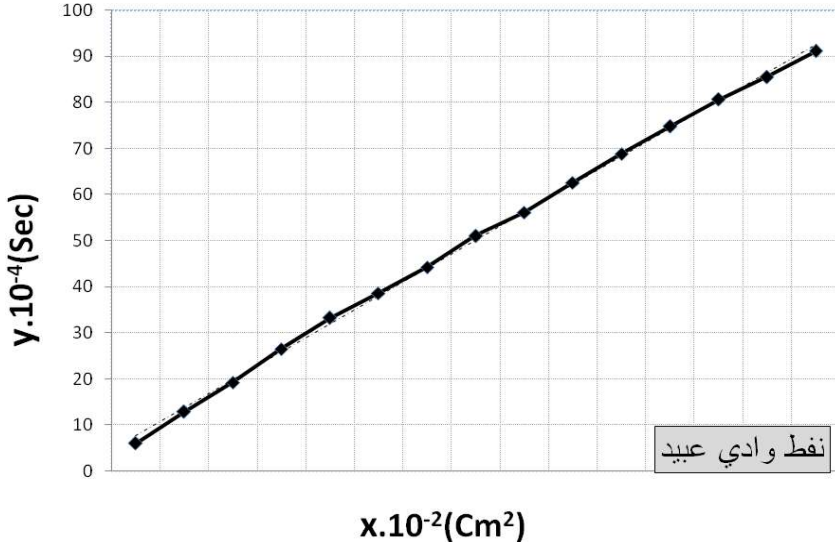
يلاحظ من الأشكال السابقة أن النفط المدروس غير نيوتوني - بلاستيكي حيث بلغت لزوجته 4201 CP عند $\dot{\gamma}=35 \text{ sec}^{-1}$ ، $t=14\text{C}$

جدول (2): علاقة اللزوجة مع معدل القص لـنفط وادي عبيد عند سرعات مختلفة ودرجة حرارة 14C

إجهاد القص (SS) DYN/cm ² °T=14C	اللزوجة (CP) °T=14C	معدل القص (SR) 1/sec
227.8	6700	3.4
397.8	5850	6.8
555.9	5450	10.2
844.9	4970	17
970.6	4758	20.4
1485.8	4201	35

جدول رقم (3) : نتائج قياسات نبط وادي عبيد

رقم القياس	Δt (Sec)	h1(cm)	X (cm ²)	Y(Sec)
1	0	41.80	-	-
2	200	40.45	223.15	60001.21
3	200	39.75	570.17	128967.3
4	200	39.05	801.47	192499.8
5	200	38.40	1016.36	265562.4
6	200	37.8	1214.70	332998.5
7	200	37.25	1404.70	385798.1
8	200	36.65	1594.75	442215.1
9	200	36.05	1793.10	510624.1
10	200	35.50	1983.15	561254.2
11	200	34.90	2173.20	626290.1
12	200	34.30	2371.50	688737.5
13	200	33.80	2553.30	748122.3
14	200	33.15	2726.85	806226.3
15	200	23.70	2908.60	855295.4
16	200	32.20	3082.15	911102.5
17	200	31.7	3247.45	959912.1
18	200	31.30	3396.25	1003967.3



الشكل (5) العلاقة بين العوامل X,Y ، بالنسبة لنفط وادي عبيد
 - خط متصل بين النقاط ، ---- أفضل خط بين النقاط

المناقشة :

من ميل المستقيم الناتج في الشكل (5) وبحسب العلاقة (1-10) تم حساب لزوجة السائل التي بلغت 4000 CP

حيث : X=1983.15 , Y=561254.2

من الشكل يستنتج قيمة اللزوجة المقاسة بجهاز Brookfield DV-II حيث تبلغ قيمتها 4201 CP

وبالتالي فإن إرتياب قياس اللزوجة بهذه الطريقة عن الطرق الشائعة يبلغ

$$\Phi = \frac{4201 - 4000}{4201} = 0.036$$

وهي نسبة مقبولة أيضاً وتقع ضمن خطأ التجربة

المسموح به وتشير إلى دقة جيدة بالنسبة للطريقة المقترحة للسوائل غير النيوتونية .

يلاحظ من الشكل أن الخط البياني التجريبي الناتج لا يمر من مبدأ الإحداثيات كما هو الحال بالنسبة للسوائل النيوتونية (ماء ، زيت) وإنما يتقاطع مع المحور Y في نقطة

تبعد عن المبدأ بمقدار 2560 S وهذا يعبر أن النفط غير نيوتوني ويعني وجود زمن تاخر مقداره : $\theta = 2560 \text{ sec} = 42.66 \text{ min.}$

من جهة أخرى فقد لوحظ بعد مرور فترة من الزمن تجاوزت ساعة كاملة عدم إستقرار مستوى السائل على سوية واحدة في الخزانين فقد بقي فرق في إرتفاع السائل بين الخزانين مقداره $h_0 = 10 \text{ cm}$ الأمر الذي يشير إلى وجود قيمة معينة للإجهادات الأولية (τ_o) تحدد من العلاقة (7) مع الأخذ بعين الإعتبار أن $\Delta p_o = h_o \cdot \gamma$.

$$\tau_o = 11 \text{ pa} = 110 \text{ dyn/cm}^2 \quad : \text{ بالحساب ينتج :}$$

من الشكل يستنتج قيمة τ_o المقاسة بجهاز Brookfield DV-II والناجمة من تقاطع الممستقيم الناتج عند الدرجة 14 C مع محور إجهاد القص حيث تبلغ قيمتها 107 dyn/cm^2 .

وبالتالي فإن إرتياب قياس الإجهادات الأولية للجريان (τ_o) بهذه الطريقة عن الطرق الشائعة يبلغ $\Phi = \frac{110 - 107}{110} = 0.027$ وهي نسبة مقبولة أيضاً وتقع ضمن خطأ التجربة المسموح به وتشير إلى دقة عالية بالنسبة للطريقة المقترحة للسوائل غير النيوتونية .

النتائج والمقترحات :

1- يقدم البحث طريقة مخبرية - حقلية مبسطة لقياس الصفات المرنة للسوائل النيوتونية وغير النيوتونية .

2- أثبتت النتائج التجريبية للقياس توافقاً جيداً من حيث دقة القياس مقارنة بالطرق القياسية الأخرى فلم تتعدى قيمة إرتياب القياس % 3,6 والتي تقع ضمن خطأ التجربة المسموح به.

3- تمكّن الطريقة المقترحة من قياس عدة صفات مرنة في تجربة واحدة (تحديد هوية السائل نيوتوني أم غير نيوتوني ، لزوجة السائل ، زمن التأخر، الإجهاد الأولي للجريان)

4- المحطة المستخدمة زهيدة الثمن قياساً بثمان الأجهزة الأخرى المستخدمة في قياس نفس الصفات .

References:

- 1- Chhabra R.P, Richardson J.F. , 2008:Rheometry for non-Newtonian fluids
Non-Newtonian, Flow and Applied Rheology (Second Edition), Pages 56-109.
- 2- Emin Erdoğan, Erdem İmrak 2007 : On some unsteady flows of a non-Newtonian fluid
Applied Mathematical Modelling, Volume 31, Issue 2, Pages 170-180
- 3- Howard A. Barnes, 2000: Advances in the Flow and Rheology of Non-Newtonian Fluids, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 91, Issues 2-3, .Pages 298-299
Hansgeorg Philipp, 1969: Determination of the relaxation time of nonnewtonian fluids: a squeeze film application, Thesis Georgia Institute of Technology, Pages 105-120
- 4- Howard A. Barnes ,1999 : The yield stress- a review or ‘παντα ρει’—everything flows? , Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Volume 81, Issues 1-2, Pages 133-178
- 5- Cross. M.1968 : Rheology of plastic fluids , Newyork, p.752
- 6- Lorenzo Fusi , 2003,On the stationary flow of a waxy crude oil with deposition mechanisms ,Nonlinear Analysis, Volume 53, Issues 3-4, Pages 507-526
- 7- Marsden S. S., Kiyoshi Ishimoto,1988: Slurries and emulsions of waxy and heavy crude oils for pipeline transportation of crude oil , Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 29, Issue 1, Pages 133-146
- 8- Matveenkov V.N., Kirsanov E.A. 1995, Rheology of highly paraffinaceous crude oil ,Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 101, Issue 1, Pages 1-7
- 9- Malcolm M. Cross , 1965: Rheology of non-Newtonian fluids: A new flow equation for pseudoplastic systems , Journal of Colloid Science, Vol. 20, Issue 5, Pages 417-437

- 10-Mehrdad Massoudi, Tran X. Phuoc 2006: Unsteady shear flow of fluids with pressure-dependent viscosity ,
International Journal of Engineering Science, Volume 44, Issues 13, Pages 915-926
- 11-Pascal H. 1992 : Similarity solutions to some unsteady flows of non-Newtonian fluids of power law behavior
International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 27, Issue 5, Pages 759-771
- 12-Sócrates Acevedo, Gastón Escobar ,1993: Interfacial rheological studies of extra-heavy crude oils and asphaltenes: Role of the dispersion effect of resins in the adsorption of asphaltenes at the interface of water-in-crude oil emulsions
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 71, Issue 1, Pages 65-71
- 13- Thomas Mezger , 2002 : The Rheology Handbook , Vincentz Verlag, Hannover, Germany p.580.
- 14-Ruben F.G. , 2008 :Structure of waxy crude oil emulsion gels, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics , Vol. 149, Pages 34-39
- 15-Yousef Al-Roomi, Reena George, 2004: Use of a novel surfactant for improving the transportability/transportation of heavy/viscous crude oils
Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 42, Issues 2-4, Pages 235-243
- 16- Yofen B.A. 1986: Petroleum Transportation , Moscow , p350.

Study of unsteady (under level) flow of Syrian heavy crude oil for determination of yield stress

Abstract

Dr.Maher Saadeh

Al-Baath University – Faculty of chemical and petroleum

The transportation of heavy crude oil can be significantly affected by its flow behavior due to elastic properties.

This paper presents an experimental study of unsteady flow behavior for non-Newtonian crude oil wadi-obid - Aljbesei field for determination of its yield stress. The rheological behavior of heavy crude oil has been investigated using a programmable viscometer. The effects of shear rate and temperature on the viscosity and yield stress have been determined.

A model was developed to characterize the unsteady plastic flow of the heavy crude oil. The unsteady streaming flow induced between two cylinders, where the liquid levels of the oil simultaneously were measured.

Using developed model elastic properties (yield stress, viscosity and relaxation times) were determined. The system under investigation was found to be plastic and the experimental model showed good accuracy with measuring the same elastic properties by viscometer

دراسة التدفق غير المستقر تحت مستوى السائل للنفط السوري الثقيل

بهدف تحديد الإجهادات الأولية للجريان

د.م ماهر سعادة

جامعة البعث - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية

ملخص :

تتأثر عملية نقل النفط الثقيل بشكل كبير بسلوكيته وذلك بسبب صفاته المرنة يتضمن البحث دراسة تجريبية للجريان غيرالمسقر لنفط وادي عبيد الثقيل بهدف تحديد خواصه المرنة . بداية تم دراسة سلوكية النفط المدروس على جهاز اللزوجة الدوار حيث تم تحديد كافة الخواص المرنة بعد ذلك تم إستثمار معادلة بنغهام لوضع موديل يحاكي الجريان غيرالمسقر للسوائل غير النيوتونية (البلاستيكية) ثم طبقت المعادلة على محطة تجريبية بهدف تحديد الخواص المرنة للنفط المدروس. أثبتت النتائج التجريبية للطريقة المقترحة عند قياس كلاً من اللزوجة ، الإجهاد الأولي للجريان و زمن التأخر توافقاً جيداً من حيث دقة القياس مقارنة بالطرق القياسية الأخرى .