

استنتاج قيم (Bulk modulus) عملياً بمؤثري الضغط ودرجة الحرارة للزيت المعدني SAE 46 المستخدم في المنظومات الهيدروليكية*

م. عبد الكريم سوادى صالح**

د. جعفر مهدي حسن****

د. فريد أبو حامد***

الملخص

صُمِّمَتْ وَرُكِّبَتْ منظومة بغرض استنتاج قيم لمعامل تلك (Bulk modulus) ضمن حدود للضغط من 20 bar إلى 230 bar وبدرجات حرارة تراوح بين 5°C إلى 90°C، وهذه الحدود هي المدى الأوسع الذي تعمل عليه المنظومات الهيدروليكية. سُخِّنَ في هذا البحث الزيت المعدني SAE 46 (بطريقة غير مباشرة) ثم ضُغِّطَ إلى أنبوب ذي سمك كبير مقارنةً بالقطر الداخلي؛ وذلك لضمان عدم تأثر القراءات بمرونة الأنبوب، سُجِّلَتْ قراءات الخصائص، الضغط ودرجة الحرارة بواسطة مقاييس مثبتة على خط الجهاز في حين أُخِذَتْ قراءات الانضغاطية بواسطة أنبوب مدرج. استنتج أن درجة حرارة الزيت المعدني لها تأثير فعال في قيم معامل (Bulk) حتى عند درجات الحرارة الأقل من 50°C، وأن ارتفاع الميل (لمنحنيات العلاقة بين معامل تلك مع الضغط) انخفض مع زيادة درجة الحرارة. كذلك استنتج تذبذب قيم معامل تلك عند الضغوط أقل من 100 bar مع ارتفاع درجات الحرارة لهذا الزيت المعدني.

الكلمات المفتاحية: معامل تلك - الانضغاطية - زيت معدني - حرارة - منظومات هيدروليكية

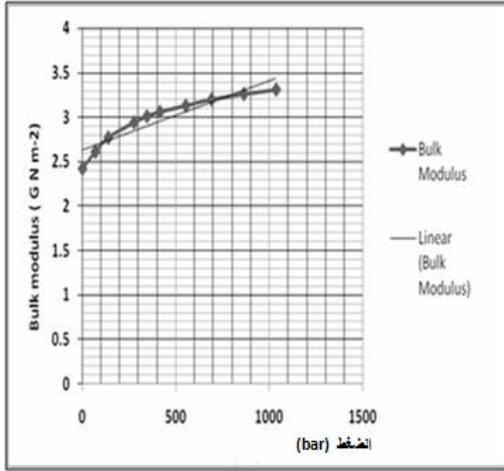
* أُعِدَّ هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس عبد الكريم سوادى صالح بإشراف الدكتور فريد أبو حامد ومشاركة الدكتور جعفر مهدي

حسن

** قسم الميكانيك العام - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

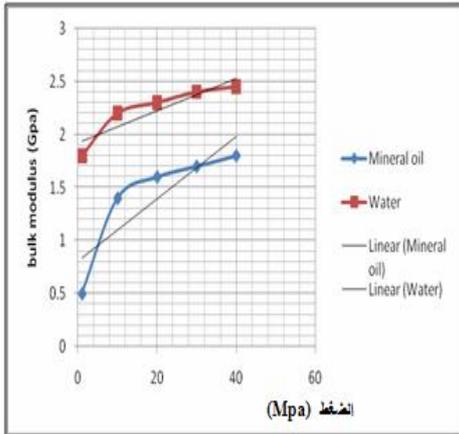
*** أستاذ مساعد - قسم الميكانيك العام - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

**** أستاذ - قسم هندسة المكنان والمعدات - الجامعة التكنولوجية - بغداد - العراق



الشكل (2) تغير بلك موديول مع الضغط للزيت (20020227)

درس الباحث (Karl E. R.) [3] علاقة مقارنة في حالة استخدام الماء بدلاً من الزيت المعدني في المنظومات الهيدروليكية، وكمحصلة نهائية توصل الباحث إلى أن استخدام الماء يعطي نتائج جيدة وخاصة من ناحية سرعة الاستجابة للأوامر المعطاة للمستخدمات وأداء أفضل للمنظومة الهيدروليكية، وأيضاً انخفاضاً لدرجة الحرارة الطبيعية المتولدة، واعتمد الباحث على معامل بلك كخاصية أساسية للمقارنة، ومن السلبيات التي ناقشها الباحث هي مشكلة الصدأ ودرجة تبخر الماء المنخفضة مقارنة بالزيت المعدني.

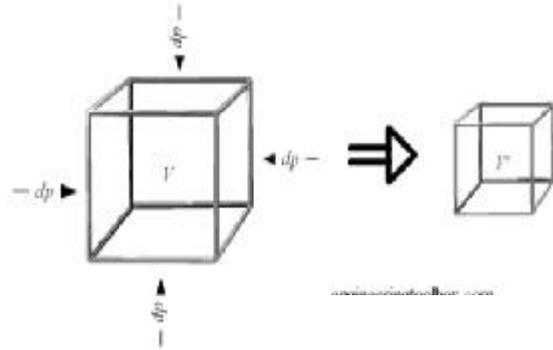


الشكل (3) منحنيات المقارنة لعلاقة بلك موديول مع الضغط لسوائل الماء والزيت المعدني

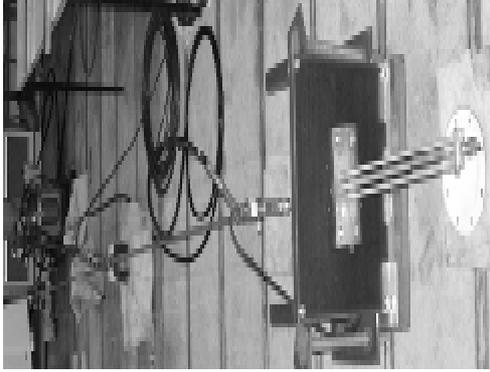
أوجد الباحثان (Darko K., Vladimir S.) [4] العلاقات الرياضية لتغير اللزوجة الديناميكية كدالة للضغط ودرجة الحرارة $\mu=f(P,T)$ لأربعة أنواع من الزيوت المعدنية المستخدمة في المنظومات الهيدروليكية وهي HM 32

1- المقدمة (Introduction):

يُعدُّ معامل بلك من الخصائص المهمة عند إجراء التحليلات النظرية أو العملية لأي منظومة هيدروليكية لأنها تعمل دوماً عند ضغوط عالية لذلك فإنَّ الانضغاطية للزيت لا يمكن إهمالها أبداً أو تقريبها لقيم معينة أو تثبيتها على قيم محددة (إلا إذا كانت حدود الضغوط التي تعمل عليها المنظومة الهيدروليكية تقريباً $(\Delta p = 10 \text{ bar})$ كفروق بين أقصى ضغط تشغيلي وأقل ضغط تشغيلي، أي إنَّ المنظومة الهيدروليكية مصممة للعمل على ضغوط منخفضة وبشرط ثبوت درجة حرارة الزيت المعدني). هناك العديد من الدراسات والبحوث لماهية معامل بلك ومدى تأثيره بالمحيط الذي يحوي السائل، وأيضاً تغيره بحسب نوع الزيت ودراسات مقارنة بين الزيوت المعدنية والماء. يعطي المصدر [1] توضيحاً وافياً لتعريف معامل بلك؛ وكيف يتغير بتغير الضغط. يوضح الشكل (1) الانضغاطية للزيت وكيف تتأثر بالضغط.



الشكل (1) الزيت يتغير حجمه بواسطة الضغط المسلط عليه أُجريت الفحوصات والاختبارات في Core (laboratories) في المملكة المتحدة [2] على نموذج من الزيت المستخدم في معدات السيطرة (RFLA 20020227)؛ وذلك بقياس كثافته كمتغير مع الضغط واللزوجة كمتغير مع الضغط ومعامل بلك كمتغير مع الضغط.



الشكل (4) جهاز قياس سرعة موجة الضغط [5]

2- التحليلات النظرية (Theoretical analyses):

معامل بلق هو تعبير عن مقدار قابلية المادة للانضغاط، وبشكل عام يعرف في العديد من المصادر بالعلاقة الآتية:

$$B = - dp / (dV / V) \quad (2)$$

أي النسبة بين تغيّر الضغط إلى تغيّر الحجم وهو تعريف عام، إذ إنّ المادة يقل حجمها تبعاً للضغط المسلط عليها، ولكن في حقيقة الأمر إنّ المادة وخصوصاً السائلة أو الغازية لا يمكن أن تضغط إذا لم يكن هناك وعاء يحويها، لذلك فإنّ معامل بلق للمادة سيكون ذا صلة وثيقة بالحيز المحيط بالمائع ويتغيّر معامل بلق للمادة أيضاً إذا كان هناك خليط منها مع مادة أخرى.

الزيت الذي سيختبر في القسم العملي يجب أن يكون خالياً من الفقاعات الهوائية، أمّا الحيز المحيط بالمائع فهو يدخل ضمناً مع معادلة حساب معامل بلق الآتية: [6]

$$B = \frac{1}{\frac{\Delta V}{V \times \Delta p} - \frac{d}{E \times t}} \quad (3)$$

الحد الثاني في المقام هو المؤثر في القيمة الحقيقية لمعامل بلق للزيت المعدني، وكما هو واضح فإن سمك الأنبوب إذا كان قليلاً فسيؤدي إلى توسع في القطر تحت تأثير الضغط، وإلى زيادة في حجم المائع ونقصان في مقدار الانضغاطية للمائع، لذلك طرِحَ (العلاقة 3)، وبناء عليه بالإمكان حذف هذا الحد من المعادلة إذا كان سمك الأنبوب كبيراً مقارنة بالقطر.

HM 46 , HM 68 , HLV 46 وتوصل إلى العلاقة الأساسية الآتية:

$$(p,T)\mu = \mu_0 e^{\left(\frac{P}{a_1 + a_2 T + (b_1 + b_2 T)p} \right)}$$

المعاملات a_1, a_2, b_1, b_2 تبيّن سلوك الزيت ويمكن حسابها من معلومات تجريبية وهي معطاة في جداول مرفقة مع البحث.

أجرى الباحثان [5] Lari K.V. and Pekka

حساب سرعة الموجة في النظام الهيدروليكي باستخدام متحسس ضغط (بايزو). أُجريت القياسات عند ضغوط منخفضة تراوح بين (0.2 - 6 bar) وقورنت النتائج بدراسات أخرى. هذه القياسات لم تُجرَ بصورة معزولة عن الماكينة بل أُجريت على ماكينة حقيقية والسائل دائم الجريان في كل الوقت، وكذلك أُخذ بالحسبان وجود الهواء في المنظومة.

أوجدت كمية الهواء بالحسابات وقورنت بدراسات أخرى، يمكن تركيب جهاز القياس هذا على ماكينة، وبالإمكان برمجته؛ لذلك ستكون قياساته في الوقت الفعلي، وبذلك يمكن استخدامه للسيطرة على المخمدات. استُخدم في هذا البحث معامل بلق موديول الصوتي الذي له القيمة نفسها لمعامل بلق موديول الأديباتي، يستنتج معامل بلق موديول الصوتي من سرعة الصوت في المائع وكثافة المائع:

$$B = \rho a^2 \quad (1)$$

وبذلك بمعلومة الكثافة وسرعة الموجة التي تُقاسُ بواسطة الجهاز شكل (4) يمكن حساب معامل بلق موديول.

هناك عوامل تؤثر في سرعة موجة هذه العوامل هي درجة الحرارة والضغط، وهناك عوامل تؤثر في معامل بلق، وهي وجود الفقاعات الهوائية في المائع، وكذلك متانة الأنبوب، وحالة التداخل بين المائع والهواء.

وبذلك فإنَّ المعادلة (3) ستختصر إلى:

$$B = \frac{1}{V \times \Delta p} \quad (6)$$

3- الجانب العملي (Experimental work)

3-1 تصميم منصة الاختبار:

صُمِّمَت منصة الاختبار لتحقيق ثلاثة أهداف أساسية لإجراء هذا البحث، وهي: الضغط المطلوب ومقداره (250 bar) مع الأخذ بالحسبان الخسائر في الضغط، والهدف الثاني هو درجة حرارة مقدارها (90°C) مع الأخذ بالحسبان الفواقد، والهدف الثالث الأقل أهمية هو تدفق مقداره (18L/min) تقريباً. يتكون الجهاز من الأجزاء الأساسية، وهي المضخة والخزان مع صمامات تحكم بالتدفق والضغط وصمامات غلق وفتح on - off وحاوية تسخين الزيت قبل دخوله إلى أنبوب الانضغاط ذي السمك الكبير مقارنة بالقطر وكذلك أنبوبة زجاجة بيانية مدرجة. يبيِّن الشكل (7) المخطط الهيدروليكي للمنظومة ويبين الشكل (8) صورة عامة لجهاز قياس معامل بلك. حُسِبَت من المعادلة (7) قيمة القدرة المطلوبة للمحرك الكهربائي [8].

$$P_{ms} = \frac{p \times Q}{600} \quad (7)$$

وبذلك تكون قدرة المحرك الكهربائي (7.5 kw).

سيُضَغَطُ الزيت بالأنبوب ذي الأبعاد الآتية:

$$(\varnothing 15 \times \varnothing 33.7 \times 1430) \text{ mm}$$

نلاحظ هنا أنَّ سمك الأنبوب كبير مقارنة بالقطر الداخلي، هذا السمك يعطي الأنبوب مقاومة ضد التمدد الناتج عن ضغط الزيت.

يُسَخَّنُ الزيت بصورة غير مباشرة في حاوية قبل ضغطه إلى داخل الأنبوب.

تؤثر درجة الحرارة في معامل المرونة للمعدن وهذا التأثير يكون واضحاً بعد درجة الحرارة (100 °C) [7] كما في الشكل (5) والمعادلة (4) توضِّح هذا التغيُّر:

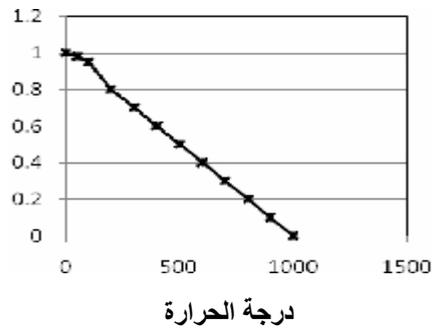
$$\frac{ET}{E20} = 1 + \frac{T}{21 \ln(8/1.1)} \quad (4)$$

إذ:

ET: معامل يونغ عند درجة حرارة (T)

E(20): معامل يونغ عند درجة حرارة 20°C

ETE(20)



الشكل (5) علاقة درجة الحرارة مع معامل المرونة

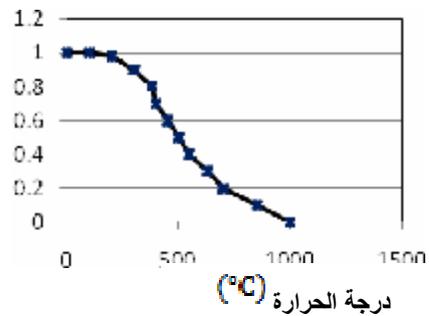
أُثْبِتَ أنَّ حد المرونة لا يتغيَّر إلا بعد درجة حرارة أكثر من (200 °C) كما في الشكل (6) والمعادلة (5) تفسر هذا التغيُّر:

$$\frac{\sigma_s T}{\sigma_s 20} = 1 + \frac{T}{900 \ln\left(\frac{T}{173}\right)} \quad (5)$$

إذ $\sigma_s T$: حد المرونة عند درجة حرارة (T)

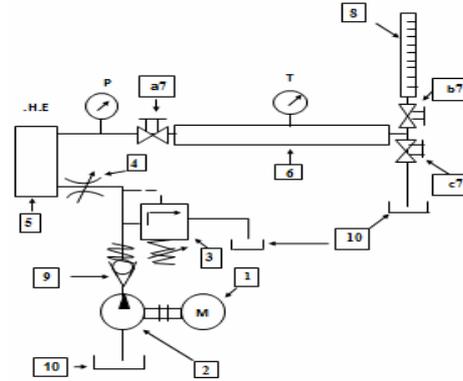
$\sigma_s 20$: حد المرونة عند درجة حرارة 20 °C

$\frac{\sigma_s T}{\sigma_s 20}$



الشكل (6) علاقة درجة الحرارة مع حد المرونة

- 4- تنظيم الضغط من صمام التحكم بالضغط (3) إلى ما يقارب الصفر ضغطاً مقياساً.
- 5- الانتظار إلى ما يقارب الخمس دقائق.
- 6- تشغيل المبادل الحراري.
- 7- تنظيم الصمام (4) على فتحة بتدرج واحد (دورة واحدة للمقبض المغلق).
- 8- بعد ارتفاع درجة الحرارة إلى 10°C عن الدرجة الابتدائية المسجلة، تقلل فتحة الصمام (4) إلى نصف دورة.
- 9- بواسطة الترموستات الموجود ضمن سخان كهربائي تنظم درجة الحرارة على حد معين.
- تنظم درجة الحرارة بواسطة التحكم به بالتوازن مع الترموستات، فقد يتطلب رفع درجة الحرارة أكثر من المطلوب للوصول إلى درجة مطلوبة على المقياس الحراري المثبت في الأنبوب المعزول؛ وذلك بسبب الفوائد، وأيضاً يجب ملاحظة غلق الصمام (7c) وفتحه بين مدة وأخرى لتجنب رفع درجة حرارة الزيت الراجع إلى الخزان بصورة مؤثرة.
- وبهذا التوضيح يجري الاستمرار بالخطوات الآتية:
- 10- بعد الوصول الحرارة إلى درجة معينة مطلوبة واستقرارها، تسجل.
- 11- يغلق الصمام (c7)
- 12- من الصمام (3) ينظم على ضغط معين. ويسجل.
- 13- يغلق الصمام (a7)
- 14- يفتح الصمام (b7)
- 15- تسجل الزيادة في الحجم بواسطة الأنبوبة المدرجة، هذه الزيادة تنتج بسبب تحرر الزيت من الضغط وانفتاحه إلى الضغط الجوي (أي تمدده)، إذ إنَّ الأنبوبة المدرجة مفتوحة من الأعلى إلى الضغط الجوي، وبذلك من التدرجات نعرف الزيادة عن الوضع الأولي، هذه الزيادة هي التي تمثل (Δv) .
- من الحجم الداخلي للأنبوب يمكن معرفة الحجم الابتدائي، ونظراً إلى أن الأنبوب الذي رُكِّبَ بسمك كبير قياساً إلى القطر الداخلي لذلك بالإمكان إهمال الزيادة في حجم المائع نتيجة للتوسع الدائري للأنبوب بتأثير الضغط الداخلي.



شكل (7) مخطط الدارة الهيدروليكية

- 1- محرك كهربائي (Electric motor)
- 2- مضخة هيدروليكية (Hydraulic pump)
- 3- صمام تحكم ضغط (Pressure reducing valve)
- 4- صمام خائق (Throttle valve)
- 5- مبادل حراري (Heat exchanger)
- 6- أنبوب معزول حرارياً (Isolating pipe)
- 7- صمامات فتح وغلق (ON - OFF valves)
- 8- أنبوبة قياس مدرجة (Degreased tube)
- 9- صمام عدم رجوع (Non return valve)
- 10- الخزان (Tank)
- P- مقياس ضغط
- T- مقياس درجة الحرارة



الشكل (8) يبين صورة عامة لمنصة قياس معامل بلك بمؤثري الضغط ودرجة الحرارة

3-2 طريقة العمل:

- 1- غلق الصمام b7
- 2- فتح الصمامات a7, c7
- 3- تشغيل المضخة

الجدول (2) قراءات التغير الحجمي للزيت بتأثير الضغط ودرجة

الحرارة من 90°C - 50

Δv (ml.) at T 90 °C	Δv (ml.) at T 80 °C	Δv (ml.) at T 70 °C	Δv (ml.) at T 60 °C	Δv (ml.) at T 50 °C	P (bar)
0	0	0	0	0	0
0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	20
1	0.9	0.8	0.7	0.5	30
1	0.9	0.9	0.8	0.8	40
1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	50
1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	60
1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	70
1.9	1.8	1.7	1.5	1.5	80
2.2	2.1	1.9	1.7	1.7	90
2.3	2.2	2	1.8	1.8	100
2.4	2.3	2.1	2	1.9	110
2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	120
2.8	2.8	2.7	2.5	2.3	130
3	2.9	2.8	2.7	2.5	140
3.3	3.1	3	2.9	2.7	150
3.5	3.3	3.2	3	2.8	160
3.7	3.5	3.4	3.2	2.9	170
3.9	3.7	3.6	3.4	3	180
4	3.7	3.7	3.5	3.2	190
4.2	3.9	3.8	3.6	3.5	200
4.3	4.1	4	3.8	3.6	210
4.5	4.3	4.1	3.9	3.8	220
4.6	4.4	4.2	4.1	3.8	230

الحجم الابتدائي هو 252.7 ml. وبتطبيق المعادلة

(6) يُحسب معامل بلك (لأن الضغط الابتدائي دوماً

يساوي الصفر).

يؤثر ارتفاع درجة الحرارة في الطول الحقيقي للأنبوب،

وجد أن أقصى تمدد للأنبوب وعند فرق درجة حرارة °C

65 (لأن معدل درجة الحرارة في مدينة دمشق هي °C

25 بحسب بيانات دائرة الأنواء الجوية) هو (0.148cm)،

وبحساب معامل بلك وجد أنه بقيمة يمكن إهمالها، وبذلك

جُدولت الحسابات كالاتي:

3-3 الفقاعات الهوائية:

المعادلة (3) لاشتمل تغير الخط للزيت مع مادة أخرى، وهنا الهواء؛ لذلك يجب التخلص نهائياً من أي فقاعات هوائية ويجري ذلك بتدوير الزيت مدة دقيقتين بفتح الصمامات (a7) و(c7) وغلقت الصمام (b7)، وللتأكد يجب عدم خروج أي فقاعات هوائية من الأنبوبة المدرجة عند إجراء الفقرات من 11 إلى 14، كما هو مبين في القسم 2-3.

4- النتائج (Results):

أُخذت القراءات المسجلة على المقاييس لخواص المائع، وهي: الضغط ودرجة الحرارة وتغير الحجم وفروقات قليلة بالضغط، وأيضاً لفروقات قليلة بدرجات الحرارة بين قراءة وأخرى؛ وذلك لوضع أكبر عدد من القراءات لإعطاء صورة حقيقية لتصرف الزيت المعدني (SAE 46) وأيضاً لتوضيح جودة الزيت، لذلك سنلاحظ من القراءات أن بعضها شدت عن السلوك العام للزيت. وجُدولت النتائج كالاتي:

الجدول (1) قراءات التغير الحجمي للزيت بتأثير الضغط ودرجة

الحرارة من 40°C - 5

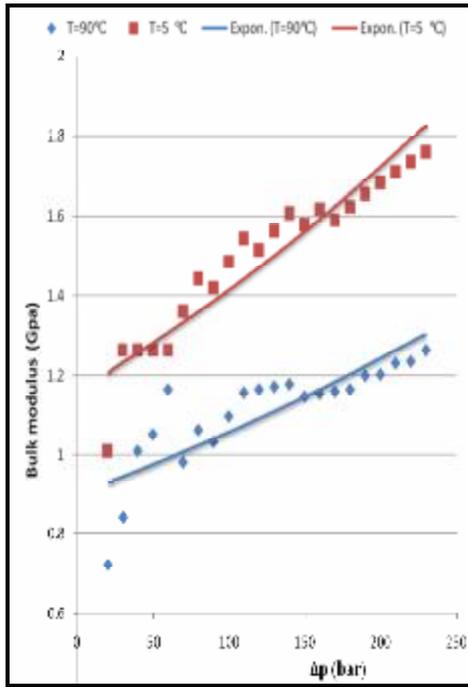
Δv (ml.) at T 40 °C	Δv (ml.) at T 25 °C	Δv (ml.) at T 20 °C	Δv (ml.) at T 10 °C	Δv (ml.) at T 5 °C	P (bar)
0	0	0	0	0	0
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	20
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	30
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	40
1.2	1.1	1.1	1	1	50
1.3	1.1	1.2	1.2	1.2	60
1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	70
1.5	1.5	1.6	1.5	1.4	80
1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	90
1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	100
2	1.9	1.9	1.8	1.8	110
2.3	2	2	1.9	2	120
2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	130
2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	140
2.7	2.6	2.6	2.4	2.4	150
2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	160
3	2.9	2.9	2.7	2.7	170
3.1	3	3	2.9	2.8	180
3.3	3.2	3.1	3	2.9	190
3.4	3.3	3.2	3.1	3	200
3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	210
3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	220
3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	230

الجدول (3) نتائج معامل بلك عند حدود درجة الحرارة 40°C - 5

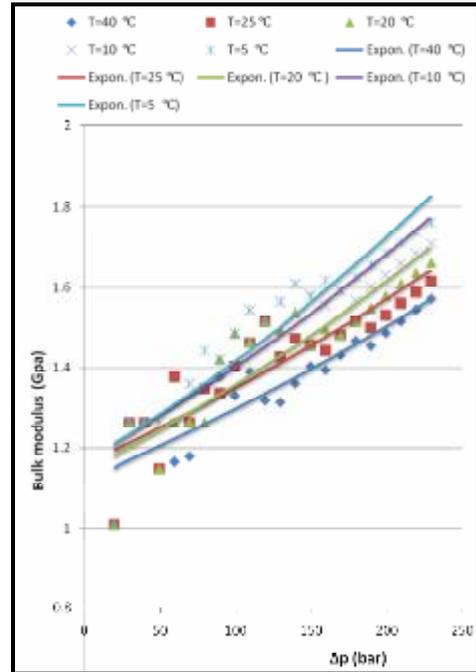
T=40 °C	T=25 °C	T=20 °C	T=10 °C	T=5 °C		
1.0108	1.0108	1.0108	1.0108	1.0108	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 20 (bar)
1.2635	1.2635	1.2635	1.2635	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 30 (bar)
1.2635	1.2635	1.2635	1.2635	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 40 (bar)
1.1486	1.1486	1.1486	1.2635	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 50 (bar)
1.1663	1.3783	1.2635	1.2635	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 60 (bar)
1.1792	1.2635	1.2635	1.3606	1.3608	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 70 (bar)
1.3477	1.3477	1.2635	1.3477	1.444	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 80 (bar)
1.3778	1.3378	1.4214	1.4214	1.4214	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 90 (bar)
1.33	1.4038	1.4864	1.4864	1.4864	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 100 (bar)
1.3898	1.463	1.463	1.5442	1.5442	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 110 (bar)
1.3184	1.5162	1.5162	1.5162	1.5162	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 120 (bar)
1.314	1.4283	1.4932	1.5643	1.5643	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 130 (bar)
1.3606	1.474	1.5381	1.608	1.608	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 140 (bar)
1.4038	1.4578	1.4578	1.5793	1.5793	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 150 (bar)
1.3942	1.444	1.4974	1.555	1.6172	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 160 (bar)
1.4319	1.4813	1.4813	1.5913	1.591	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 170 (bar)
1.4672	1.5162	1.5162	1.5684	1.6245	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 180 (bar)
1.4549	1.5004	1.5488	1.6004	1.6556	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 190 (bar)
1.4864	1.5315	1.5793	1.6303	1.6846	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 200 (bar)
1.5162	1.5607	1.608	1.6583	1.7118	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 210 (bar)
1.5442	1.5884	1.6351	1.6846	1.7373	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 220 (bar)
1.5708	1.6144	1.6606	1.7094	1.7612	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 30 (bar)

الجدول (4) نتائج معامل بلك عند حدود درجة الحرارة 90°C - 50

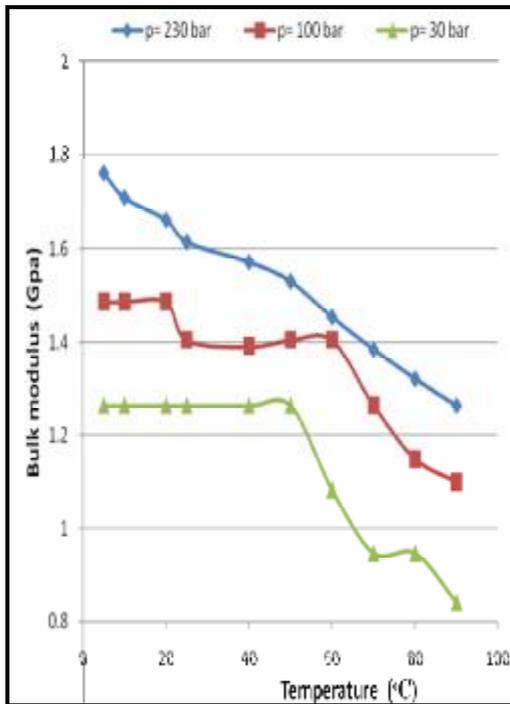
$^{\circ}\text{CT}=90$	$^{\circ}\text{CT}=80$	$^{\circ}\text{CT}=70$	$^{\circ}\text{CT}=60$	$^{\circ}\text{CT}=50$		
0.722	0.8423	0.8423	0.8423	1.0108	معامل بلك $B \times 10^9$	عند الضغط 20 (bar)
0.8423	0.9476	0.9476	1.083	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 30 (bar)
1.011	1.1231	1.1231	1.2635	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 40 (bar)
1.0529	1.0529	1.0529	1.0529	1.1486	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 50 (bar)
1.1663	1.1663	1.1663	1.1663	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 60 (bar)
0.9827	1.0405	1.1055	1.1792	1.2635	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 70 (bar)
1.064	1.1231	1.1891	1.3477	1.3477	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 80 (bar)
1.0337	1.083	1.197	1.3778	1.3778	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 90 (bar)
1.0986	1.1486	1.2635	1.4038	1.4038	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 100 (bar)
1.1582	1.2085	1.3236	1.3898	1.463	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 110 (bar)
1.1663	1.2129	1.2635	1.3184	1.3783	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 120 (bar)
1.1732	1.1732	1.2167	1.314	1.4283	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 31 (bar)
1.1792	1.2199	1.2635	1.3102	1.4151	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 140 (bar)
1.1486	1.2227	1.2635	1.307	1.4038	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 150 (bar)
1.1552	1.2252	1.2635	1.3477	1.444	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 160 (bar)
1.161	1.2274	1.2635	1.3424	1.4813	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 170 (bar)
1.1663	1.2293	1.2635	1.3378	1.5162	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 180 (bar)
1.2003	1.2976	1.2976	1.3718	1.5004	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 190 (bar)
1.2033	1.296	1.33	1.4038	1.444	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 200 (bar)
1.2314	1.2943	1.3266	1.3965	1.474	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 210 (bar)
1.2354	1.2928	1.3559	1.4254	1.5025	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 220 (bar)
1.2635	1.3209	1.3835	1.453	1.5295	معامل بلك $10^9 \times B$	عند الضغط 32 (bar)



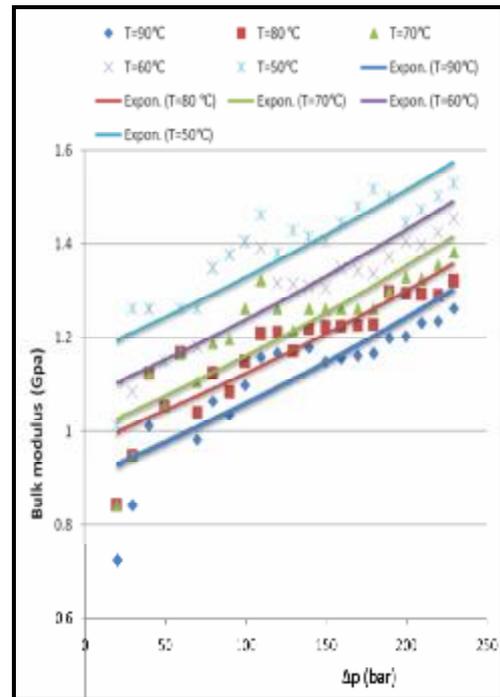
الشكل (11) منحنيات العلاقة بين الضغط ومعامل بلك عند أعلى درجة حرارة اختبارية وأقلها



الشكل (9) تغير معامل بلك مع الضغط عند تغير درجات الحرارة من 5- 40 C°



الشكل (12) تغير معامل بلك بتأثير الحرارة عند الضغوط المختارة المبينة



الشكل (10) تغير معامل بلك مع الضغط عند تغير درجات الحرارة من 50- 90 C°

5- المناقشة (Discussion):

يمكن مناقشة النتائج والمنحنيات المستتبطة منها كما يأتي:

1- يبين الشكل (9) أن التأثير يكون قليلاً نسبياً عند الحدود من (5- 40 C°) وعند الضغوط من (90bar - 20)، ولكن التأثير يصبح أكثر فعالية بعد الضغط (90 bar)، وهذا واضح من زيادة انفراج المنحنيات.

2- يبين الشكل (10) التأثير لدرجات الحرارة عند (50 C°) فما فوق يكون لها بادئ تأثير حتى عند الضغوط المنخفضة.

3- يوضح الشكل (11) الفرق في معامل بلك بين أقل درجة حرارة اختبارية حُققت وأعلى درجة حرارة اختبارية حُققت.

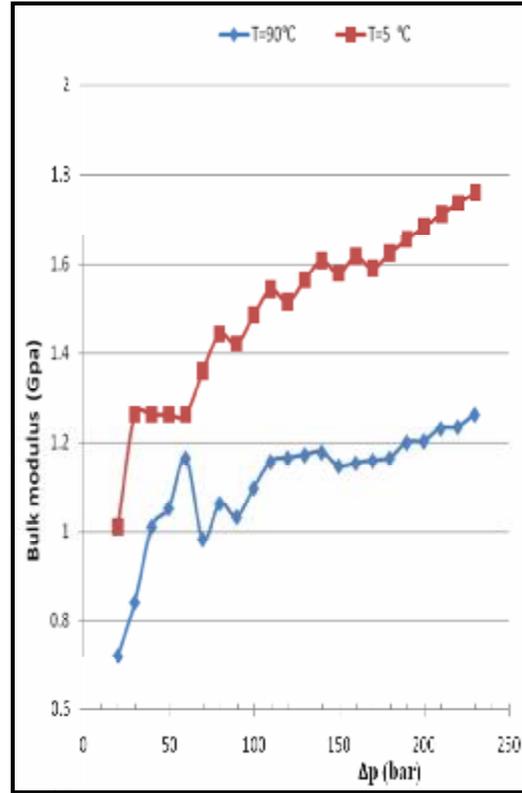
4- اختيرت في الشكل (12) ثلاثة ضغوط، الأعلى والوسط (تقريباً) والأقل لتوضيح مدى تأثير خاصية معامل بلك في الدارات الهيدروليكية التي تعمل على ضغوط ثابتة يتخللها ارتفاع بدرجات الحرارة.

5- يزداد التذبذب غير المستقر في سلوك الزيت عند درجات الحرارة العالية شكل (13) و(14) وخصوصاً عند الضغوط الأقل من (100 bar) (علماً أن نوع الزيت تأثيراً فعالاً في هذا التذبذب) في حين يستقرُ وبعصود طبيعي عند درجة الحرارة المنخفضة.

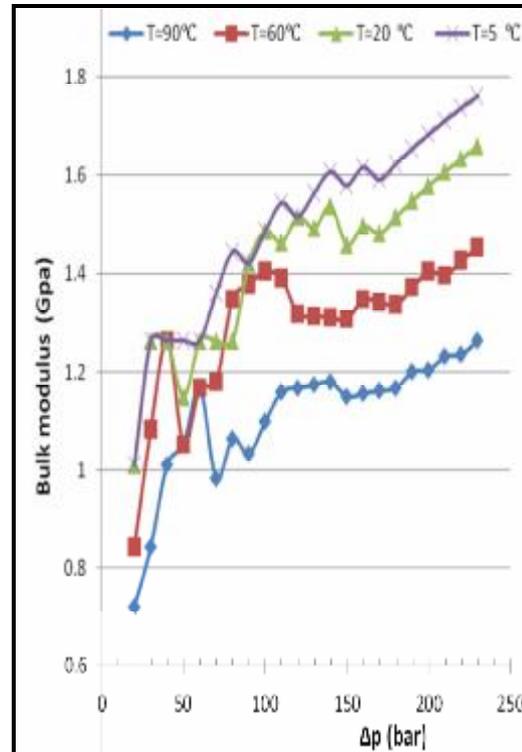
6- ميل المنحنيات أكبر عند درجات الحرارة المنخفضة مقارنة بالمنحنيات عند درجات الحرارة العالية.

6- الاستنتاجات (Conclusions):

- 1- عند ارتفاع درجة حرارة الزيت ينخفض معدل زيادة قيمة معامل بلك مع زيادة الضغط .
- 2- التذبذب بقيمة معامل بلك عند الضغوط الأقل من 100 bar ومع ارتفاع درجة الحرارة هو مؤشر على انخفاض جودة الزيت.



الشكل (13) تغير معامل بلك مع أقل درجة حرارة اختبارية وأعلىها كما تبدو من دون خط المعدل



الشكل (14) منحنيات تأثر معامل بلك لأربع درجات حرارة مختارة من دون خط المعدل للنقاط

3- التبريد يحسن أداء الزيت؛ وذلك بزيادة معامل تلك الذي بدوره سيخفض من قيمة الانضغاطية للزيت.

4- يكون التغير في معامل تلك لهذا الزيت المعدني (SAE 46) عند درجة حرارة 40°C فما دون أكبر بعد الضغط 90 bar.

5- يفضل استخدام هذا الزيت في المنظومات الهيدروليكية التي تعمل بدرجات حرارة أقل من 50°C .

الرموز والمصطلحات:

$$\mu = \text{اللزوجة الديناميكية} \text{ N} / \text{m}^2 \cdot \text{sec}$$

$$P = \text{الضغط} \text{ N/m}^2$$

$$Q = \text{التدفق} \text{ liter/min}$$

$$T = \text{درجة الحرارة} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = \text{الكثافة} \text{ kg/m}^3$$

$$a = \text{سرعة موجة الضغط (سرعة الصوت)} \text{ m/sec}$$

$$B = \text{معامل تلك} \text{ N/m}^2$$

$$\Delta p, dp = \text{فرق الضغط} \text{ N/m}^2$$

$$\Delta v, v = \text{فرق الحجم} \text{ ml}$$

$$v = \text{الحجم الابتدائي} \text{ ml}$$

$$E = \text{معامل يونغ (معامل المرونة)} \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_E = \text{حد المرونة} \text{ N/m}^2$$

$$d = \text{قطر الأنبوب} \text{ m}$$

$$t = \text{سمك الأنبوب} \text{ SAE 46 m} = \text{زيت معدني من}$$

$$\text{المجموعة 46 (VG 46) (Society of Automotive Engineers)}$$

Engineers)

المراجع*

- 1- The Engineering Toolbox www. Engineering ToolBox.com
- 2- Core Laboratories (U.K.) “Hydraulic Fluid Study for Niche Product Limited Pelagic 100 Production Control Fluid” RFLA 20020227 6th September 2002.
- 3- Karl E. R. “Energy efficient water hydraulic systems” Linkoping University , Sweden 2000.
- 4- Darko K. , Vladimir S. “Mathematical modules of changing of dynamic viscosity , as a function of temperature and pressure , of mineral oils for hydraulic systems”Received April 10 2006.
- 5- Lari Kela and PekkaVahaoj“Measuring pressure wave velocity in ahydraulic system” Word academy of science, Engineering and Technology 2009.
- 6- HRUŽÍK, L., VAŠINA, M.: Experimentální stanovení modulu pružnosti hadic. Jemná mechanika a optika. 2008, vol. 53, no. 5, pp. 133-135
- 7- Ana Diana Ancas and D. Gorbanescu Theoretical models in the study of temperature effect on steel mechanical properties 2006
- 8- Norbert A. “Planning and Design of Hydraulic Power Systems” Volume 3, Mannesmann Rexroth, 1987