

تأثير نوعية السوائل على الخواص الهندسية لصخور الحجر الجيري من منطقة أسكي موصل

أحمد محمد نجم الدين

مدرس مساعد
الكلية التقنية في الموصل

ثامر محمد نوري

أستاذ مساعد
قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة/ جامعة الموصل

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة تأثير السوائل (نפט خام عين زالة، نفط خام كركوك و المياه الجوفية) على الخواص الهندسية لصخور الحجر الجيري المأخوذة من منطقة أسكي موصل الواقعة شمال غرب مدينة الموصل، حيث تم إيجاد المقاومة الانضغاطية الأحادية والثلاثية المحاور ومقاومة الشد غير المباشر لنماذج الصخور وذلك للحالة الجافة والمشبعة بالسوائل. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن السوائل المستخدمة تقلل كلاً من المقاومة الانضغاطية والشدية، وإن أكبر نقصان في المقاومة يحصل في حالة تشبع الصخور بالمياه الجوفية، كما لوحظ أن تأثير السوائل على المقاومة الانضغاطية أكبر من تأثيرها على المقاومة الشدية، كما بينت الدراسة أن هذه السوائل تقلل من قيمة التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي للنماذج في فحص الانضغاط ثلاثي المحاور. كما لوحظ أن نوعية السوائل المستخدمة في عملية تشبع النماذج ليس لها تأثير واضح على شكل الفشل.

Effect of Liquids type on some Engineering Properties of Limestone Rock from Eski-Mosul

Thamer M. Nuri

Assis.Prof.
Civil Dept. Engg.College-Mosul University

Ahmed M. Nejm Al-Deen

Assis. Lecturer
Technical College-Mosul

Abstract

This research studied the effect of liquids on the Engineering properties of the Limestone rocks. The liquids used were: crude oil from Ain Zala, crude oil from Kirkuk, natural ground Water.

The Limestone used was brought from Eski Mosul situated at 45 Km north west of Mosul. Both the compressive and tensile tests were conducted on the Limestone rock specimens in the dry and saturated case using; Uniaxial, Triaxial Compression and Bending tests.

The tests showed that saturation with any one of the liquids lead to a decrease of both compressive and tensile strength. The greatest decrease occurred when ground water was used to saturate the specimens, and it was also noted that the effect of saturation gave greater percentage of decrease on the compressive than the tensile strength.

The study also showed that liquids lead to decrease in cohesion (c) and the Friction angle (Φ) obtained from triaxial test. The liquids used for saturation didn't have clear effect on the type and mode of failure on all specimens tested.

Keyword: σ_c : Compressive strength σ_t : Tensile strength

1. المقدمة

يعد تسرب النفط وكثير من السوائل الأخرى إلى باطن الأرض من المشاكل المهمة في عملية تلوث التربة والصخور، ويحصل تسرب النفط نتيجة لعوامل عديدة منها تحطم الخزانات النفطية أو نتيجة وجود كسر في الأنابيب الناقلة لسبب ما، ونتيجة لهذا التسرب قد يصل النفط إلى صخور أسس المنشآت ويؤثر على خواصها الهندسية مما يؤدي إلى إضعاف قابلية تحملها وبذلك قد يحصل ضرر أو تظهر مشاكل في أجزاء المنشأ قد تتسبب في توقف العمل في هذه المنشآت مما يشكل هدراً في الاقتصاد.

وقد تكون الصخور في حالة تماس مباشر مع سوائل مختلفة ومن ضمنها المياه الجوفية. ويختلف مقدار تأثير هذه السوائل على قابلية التحمل والتشوه للصخور، حيث يعتمد على نوع السائل ونوع الصخرة. ولضرورة أن تكون التصميم الهندسية أكثر اقتصاداً وأماناً، يتوجب دراسة تأثير التشبع بسوائل مختلفة على الخواص الهندسية للصخور.

تضمن هذا البحث دراسة تأثير بعض السوائل المتوفرة ضمن حدود محافظة نينوى وهي (نفت خام عین زالة، نبت خام كركوك، المياه الجوفية) على المقاومة الانضغاطية الأحادية والثلاثية المحور ومقاومة الشد غير المباشر فضلاً عن دراسة مقدار التشوه الحاصل في صخور الحجر الجيري الجافة والمشبعة بالسوائل المشار إليها أنفاً تحت تأثير عدة قيم من ضغط الحصر الجانبي وذلك لملاحظة تأثير حالة التشبع على كل من قوة التماسك (Cohesion Force) وزاوية الاحتكاك الداخلي (Angle of Internal Friction) وإيجاد نسبة النقصان في قوة التحمل مقارنة بالحالة الجافة وتحديد نوع السائل الذي يؤثر بشكل أكبر في نسبة النقصان.

قام عدة باحثين بدراسة مقدار التغيير الحاصل في المقاومة الانضغاطية والشدية لعدة أنواع من الصخور الرسوبية نتيجة لتغيير محتواها الرطوبي، وقد أجمعت هذه الدراسات على أن وجود السوائل داخل مسامات الصخور يساهم في نقصان المقاومة الانضغاطية والشدية والقسية وكذلك زيادة الانفعال ونقصان في معامل المرونة (Modulus of Elasticity) للصخرة. ومن هؤلاء الباحثين (1) Parate، (2) Al-Mahdawi، و (3) Noori، كما درس الباحثان (4) Por، & Galamrth تأثير التشبع بالماء على الخواص الميكانيكية لثلاثة أنواع من الصخور الرسوبية، وقد أظهرت الدراسة نقصاناً في مقاومة الانضغاط أحادي المحور بمقدار (90%) للنماذج المشبعة مقارنة بالنماذج الجافة.

2. المواد المستخدمة في البحث

1.2 الحجر الجيري :

تم اختيار مقلع الصخور من منطقة أسكي موصل الواقعة شمال غرب مدينة الموصل وعلى بعد 45 كيلومتر تقريباً، وأخذت النماذج على عمق 1.2 متر من سطح الأرض. وتعود صخور الحجر الجيري في هذا المقلع إلى تكوين الفتحة (العصر المايوسيني الأوسط).

تم إجراء الفحوصات الفيزيائية على الحجر الجيري اعتماداً على المواصفات العالمية للصخور ISRM (5)، وهذه النتائج موضحة في الجدول (1).

جدول (1) قيم بعض الخواص الفيزيائية للحجر الجيري.

نوع الفحص	معدل النتائج *	الانحراف المعياري
الكثافة الجافة (gm/cm^3)	2.06	0.11
الوزن النوعي (Gs)	2.66	0.08
المسامية المطلقة (n%)	23.42	1.88

تم فحص ستة نماذج من الصخور لكل حالة.

كما أجريت فحوصات التحليل المعدني للصخرة حيث أظهرت نتائج فحص الأشعة السينية الحادثة (X-Ray diffraction) أن الصخرة متكونة بصورة رئيسة من معدن الكالسيت (CaCO_3)، Calcite، الدولومايت Dolomite (MgCO_3)، والكوارتز Quartz (SiO_2). واستناداً إلى نتائج التحليل، يمكن تصنيف هذه الصخرة بأنها من نوع (Calcite Limestone)، ASTM (6).

2.2 السوائل المستخدمة :

أستخدم في هذا البحث ثلاثة أنواع من السوائل لدراسة تأثير لزوجة كل واحد منها على الخواص الهندسية لصخور الحجر الجيري، وهذه السوائل هي (نفت خام عین زالة، نبت خام كركوك و المياه الجوفية). ويبين الجدول (2) مقدار لزوجة هذه السوائل.

نوري : تأثير نوعية السوائل على الخواص الهندسية لصخور الحجر الجيري من منطقة أسكي موصل

الجدول (2) لزوجة السوائل المستخدمة في درجة حرارة $22^{\circ}C$.

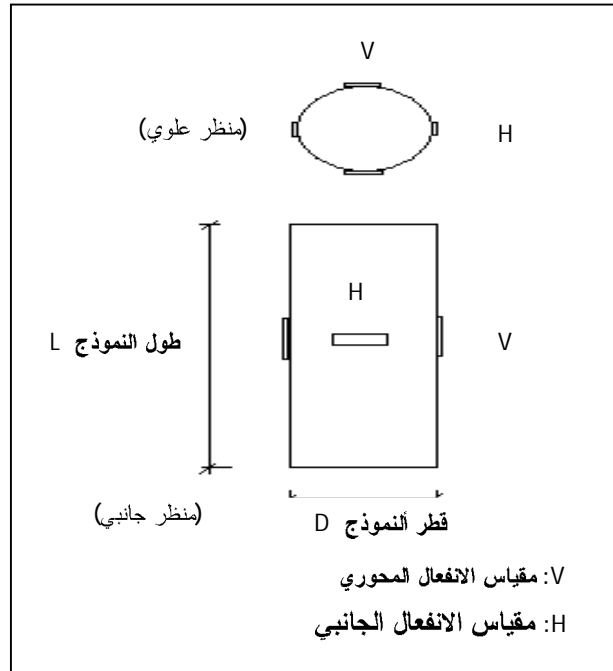
نوع السائل	اللزوجة (Millipoises)
نפט خام عين زالة	220
نפט خام كركوك	142
المياه الجوفية	8.85

3. تحضير النماذج

1.3 نماذج فحص الانضغاط احادي وثلاثي المحاور :

استخرجت النماذج الاسطوانية من الكتل الصخرية بوساطة جهاز اخذ اللباب مع مراعاة كون اتجاه محور اسطوانة اللباب عموديا على اتجاه مستويات التطبيق للكتل الصخرية، وقد تم الحصول على نماذج اسطوانية بقطر قياسي (5.47 cm) وارتفاع (11 cm) لتحقيق نسبة الطول إلى القطر ($L/D=2$) وذلك طبقا للمواصفات الأمريكية ASTM (6) التي حددت هذه النسبة بين (2-2.5).

ولغرض قياس الانفعال المحوري (Axial strain) و الجانبي (Lateral strain) وحساب التغير الحجمي (Volumetric Strain) الحاصل في النموذج نتيجة لتسليط الأتقال على النموذج، فقد استعملت مقاييس الانفعال الكهربائية (strain gauges) حيث ثبتت مقياسان متقابلان بشكل عمودي في منتصف الارتفاع للنموذج، ومقياسان آخران أفقيان متقابلان في منتصف الارتفاع أيضا وبموجب المواصفات العالمية الأمريكية ASTM (6) وكما موضح في الشكل (1)



الشكل (1) مخطط توضيحي يبين أماكن لصق مقاييس الانفعال على النماذج الاسطوانية

2.3 نماذج فحص الانحناء:

تم إعداد النماذج باستخدام المنشار الكهربائي والتي تمت بشكل مواز لمستويات تطبيق الصخرة وذلك لضمان تسليط الأتقال بشكل عمودي على هذه المستويات. حيث أعدت النماذج بأبعاد (24x4x2 cm) (السُمك x العرض x الطول) والتي استخدمت من قبل الباحث Elizzi (7). وقد تم استخدام مقاييس الانفعال في مركز السطح العلوي و السطح السفلي للنموذج وذلك لقياس الانفعال في حالتي الضغط والشد. جففت جميع النماذج بدرجة حرارة (105° C) لمدة 24 ساعة لتكون معدة للفحوصات المطلوبة.

4. عملية تشبيح النماذج

لغرض الحصول على نسبة تشبيح تقارب 100%، أتبعنا الطريقة المقترحة من قبل الباحثين Hawkes & Mellor (8) والمستخدم من قبل عدة باحثين منهم (9) Vutukuri، (10) Ali، (3) Ali، والتي تتلخص بوضع النماذج الجافة داخل حاوية رطوبة (Dessicator) مرتبطة بصمامات تعمل أداها على سحب الهواء داخل الحاوية بواسطة جهاز تفرغ الهواء ثم السماح بعدها بالسائل بالدخول عن طريق الصمام الثاني الى الحاوية وغمر النماذج. ولغرض التأكد من تحقيق هذه النسبة فقد تم إبقاء النماذج مغمورة بالسائل لمدة إضافية حيث لوحظ عدم حصول زيادة في وزن النماذج ولمدة (72) ساعة. وقد غُلفت النماذج بطبقة رقيقة من مادة صمغية نوع (Epoxy) لغرض المحافظة على رطوبتها.

5. عملية قياس الانفعال

استخدم في عملية قياس الانفعال جهاز (strain-meter) والذي يعمل بعد إدخال البيانات والأوامر من خلال لوحة المفاتيح المثبتة في مقدمة الجهاز وتظهر بعدها نتائج قراءات الانفعال كل (0.2) من الثانية وتحت تأثير أحمال مستمرة أو ثابتة. ويمكن ربط عدد من مقاييس الانفعال مع بعضها ليعطي الجهاز معدل نتائجها.

6. الفحوصات الميكانيكية

تم إجراء الفحوصات الميكانيكية التالية على صخور الحجر الجيري:

1.6 فحص الانضغاط ثلاثي المحاور:

وهو من أهم الفحوصات التي تمثل تعرض الصخور للاجهادات من الجهات المختلفة تحت الأرض، ويمكن من خلاله إيجاد مقاومة تحمل الصخور للأحمال المسلطة عليها وللحصول أيضا على المقاومة القصية (τ) عند مختلف قيم ضغط الحصر الجانبي وكذلك زاوية الاحتكاك الداخلي (Φ) فضلا عن قوة التماسك (C). ويتكون الجهاز المستخدم في هذا الفحص من جهاز فحص الانضغاط أحادي المحور وجهاز تسليط الضغط الجانبي فضلا عن خلية الفحص المطورة من قبل Franklin and Hoeck (11) المصنوعة من الحديد الصلب جدا والمقاوم للضغط العالية حيث يتم وضع النموذج داخل الخلية المملوءة بالسائل الهيدروليكي الذي يعمل على تسليط ضغط الحصر الجانبي المطلوب على النموذج. يسلب الضغط العمودي تدريجيا بمعدل ($0.75 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$) على أن يكون فشل النموذج خلال (10-5) دقيقة ASTM (6)

2.6 فحص الانضغاط أحادي المحور:

وهو أحد أنواع فحص الانضغاط ثلاثي المحاور إلا أن الضغط الجانبي يكون مساويا للصفر، والجهاز المستخدم في هذا الفحص ذات سعة مقدارها (1500 kN) وحساسية (0.1 kN) ويتم تسليط الضغط العمودي بمعدل ($0.75 \text{ N/mm}^2/\text{sec}$) ISRM (5)، تسجل خلالها قراءات الحمل المسلط وقراءات الانفعال المحورية والجانبية أثناء عملية الفحص لغرض إيجاد علاقة الإجهاد مع الانفعال العمودي والأفقي للنموذج ولحساب التغير الحجمي للنموذج أثناء الفحص. و تحسب مقاومة الانضغاط أحادي المحور للنموذج باستخدام المعادلة الآتية:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

نوري : تأثير نوعية السوائل على الخواص الهندسية لصخور الحجر الجيري من منطقة أسكي موصل

إذ أن:

σ_c : مقاومة الانضغاط (N/mm^2).

P: الحمل المؤدي إلى فشل النموذج (N).

A: مساحة مقطع النموذج (mm^2).

3.6 فحص الانحناء :

تم اختيار هذا الفحص لأنه يمثل احد الطرق غير المباشرة في إيجاد مقاومة الشد للصخور، ويوضح الشكل (2) الجهاز المستخدم في فحص الانحناء ذات المساند الأربعة الذي استعمل من قبل عدة باحثين منهم Ali (10)، Noori (12) و Al-Mahdawi (2). سلط الحمل بشكل عمودي على اتجاه التطبق وبمعدل فحص مقداره (0.75 $N/mm^2/sec$) والذي يعطي معدل إزاحة (0.6 mm/min). أخذت قراءة الانفعال في حالتي الشد والضغط بشكل متزامن مع قراءة الحمل المسلط وذلك باستخدام جهاز قياس الانفعال (Strain-meter) ولحين الوصول إلى فشل النموذج، واستخدمت المعادلة التالية في إيجاد المقاومة الشدية للنماذج والتي استخدمت من قبل عدة باحثين منهم Elizzi (7)، Ali (10) و Noori (12):

إذ أن:

$$\sigma_t = \frac{3M(\varepsilon_t + \varepsilon_c)}{bd^2\varepsilon_t}$$

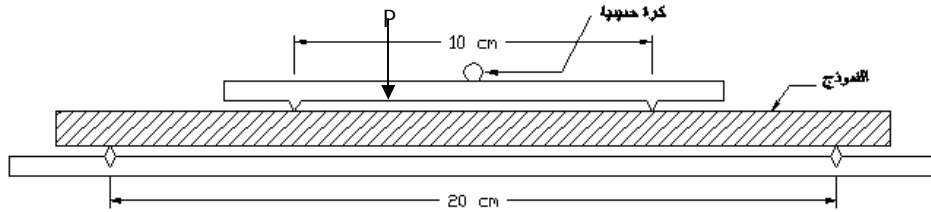
σ_t : المقاومة الشدية (N/mm^2).

M: عزم الانحناء (N-mm).

ε_t : الانفعال في حالة الشد للوجه السفلي للنموذج. ε_c : الانفعال في حالة الضغط للوجه العلوي للنموذج.

d: سمك النموذج (mm).

b: عرض النموذج (mm).



الشكل (2) المخطط التوضيحي للجهاز المستخدم في فحص الانحناء.

7 . النتائج والمناقشة

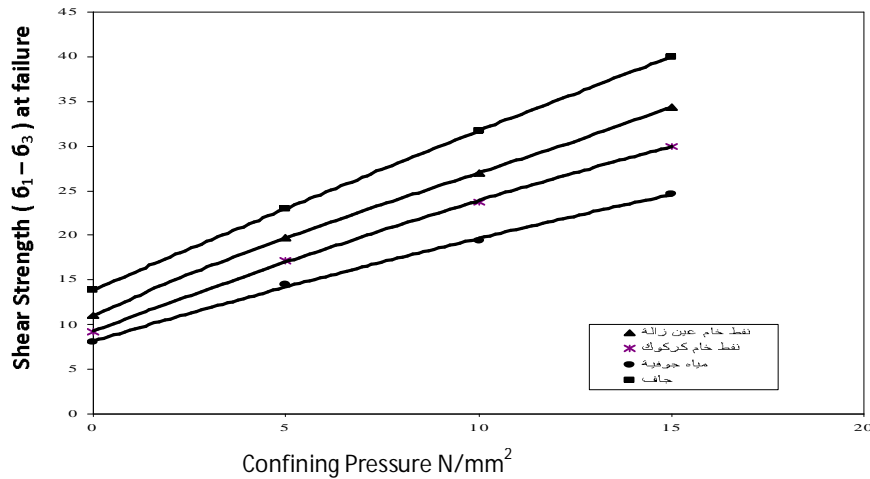
1.7 فحص الانضغاط ثلاثي المحاور:

تم إيجاد المقاومة في هذا الفحص لصخور الحجر الجيري الجافة والمشبعة بالسوائل المستخدمة في هذا البحث وتحت ثلاث قيم من الضغط الجانبي (σ_3) وهي (5, 10, 15 N/mm^2) للتعرف على تأثير نوعية السوائل على قيم زاوية الاحتكاك الداخلي (Φ : Angle of internal friction)، ومقدار التماسك (c: cohesion). تم فحص ستة نماذج للحالة الجافة ولكل حالة من حالات التشبع بالسوائل المستخدمة، ويوضح الجدول (3) معدل النتائج لكل حالة من الحالات المذكورة أنفاً.

جدول (3) معدل نتائج فحص الانضغاط ثلاثي المحاور.

إجهاد الانحراف عند الفشل ($\sigma_1 - \sigma_3$) N/mm ²	ضغط الحصر الجانبي (σ_3) N/mm ²	الإجهاد المحوري (σ_1) N/mm ²	حالة التشبع
23	5	28	جاف
31.7	10	41.7	
40	15	55	
19.75	5	24.75	نפט خام عين زالة
27	10	37	
34.35	15	49.35	
17.15	5	22.15	نפט خام كركوك
23.75	10	33.75	
30	15	45	
14.15	5	19.15	المياه الجوفية
19.39	10	29.39	
24.65	15	39.65	

يلاحظ من الجدول أن قيم إجهاد الانحراف ($\sigma_1 - \sigma_3$) تزداد بزيادة ضغط الحصر الجانبي (σ_3) للحالة الجافة وكذلك عند استخدام أي نوع من هذه السوائل في التشبع، وعند أية قيمة من ضغط الحصر الجانبي فإن قيمة إجهاد الانحراف تقل بالشكل التالي (جاف < نפט خام عين زالة < نפט خام كركوك < مياه جوفية)، كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل (3) تغير إجهاد الانحراف مع ضغط الحصر الجانبي.

وقد لاحظ الباحثون (13) Hart, & wang، (14) Noori، وكذلك Lockner, & Stanchists (15)، حصول زيادة في مقاومة الصخور التي درست وذلك نتيجة لتأثير زيادة ضغط الحصر الجانبي والذي يؤدي إلى غلق الشقوق الشعرية وزيادة صلابة هيكل الصخرة. كما وجد الباحث (16) Ballivy, et al. أن مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور تقل نتيجة لتشبع النماذج.

ويعزى سبب نقصان المقاومة نتيجة للتشبع إلى العوامل الآتية :
إن وجود السوائل على السطوح الداخلية يعمل على تقليل الطاقة السطحية الحرة لهذه الصخور (9).

نوري : تأثير نوعية السوائل على الخواص الهندسية لصخور الحجر الجيري من منطقة أسكي موصل

إن وجود السوائل في فراغات الصخرة يعمل على إذابة وتحلل لمعادن معينة في تركيبية الصخرة أو إذابة المادة الرابطة بين الجزيئات وهذا يعمل على تقليل المقاومة (3).

نقصان معامل الاحتكاك (μ) نتيجة للتشبع بالسوائل.

إن سبب كون مقاومة النماذج المشبعة بالنفط أكبر من مقاومة النماذج المشبعة بالماء يعود الى قابلية الماء العالية على الترطيب وتقليل التجاذب الشعري وربما يؤدي ذلك الى ذوبان وتحطم بعض المواد الرابطة بين حبيبات الصخرة بالإضافة الى ان لزوجة الماء أقل من لزوجة النفط حيث يؤدي ذلك بالتالي الى نقصان أكبر في المقاومة (17).

ومن نتائج فحوصات الانضغاط ثلاثي المحاور تم رسم العلاقة بين الإجهادات العمودية (σ_1) وضغط الحصر الجانبي (σ_3) متمثلة بدوائر موهر لغرض ايجاد قيم (Φ, c) للنماذج. وتوضح الأشكال (4-7) دوائر موهر (Mohr Circles) لقيم الإجهاد العمودي المقابلة لقيم ضغط الحصر الجانبي، حيث ان كل شكل يمثل نوعا من السوائل المستخدمة في البحث، وهذه النتائج مبينة في الجدول (4) ، كما تم تمثيل هذه القيم مع مماس دوائر موهر لحالات التشبع بالسوائل المستخدمة وذلك بالشكل (8).

جدول رقم (4) قيم التماسك (c) وزاوية الاحتكاك الداخلي (Φ) لحالات التشبع المختلفة.

حالة التشبع	التماسك (C) N/mm ²	زاوية الاحتكاك الداخلي (Φ°)
جاف	4.7	27
نفط خام عين زالة	4.11	25
نفط خام كركوك	3.44	23
المياه الجوفية	3.33	19.6

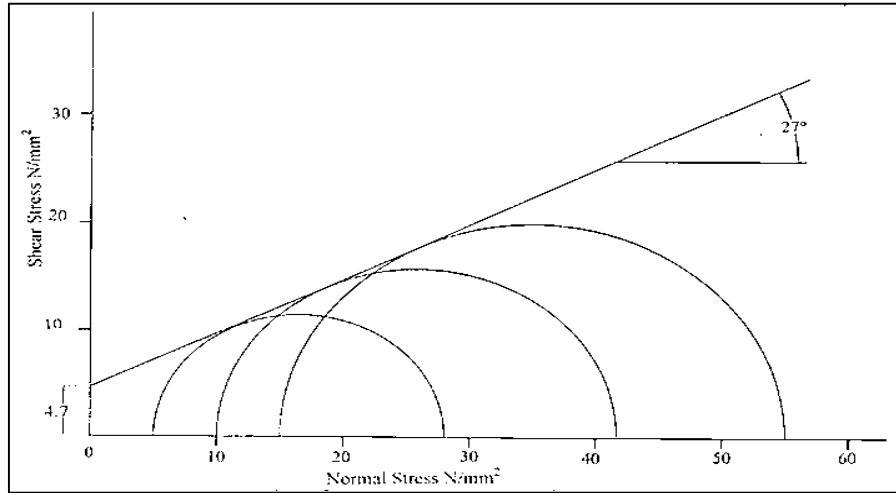
وبين الجدول (4) أن قيم التماسك (c) وزاوية الاحتكاك الداخلي (Φ) تقل عن الحالة الجافة في حالة استخدام الأنواع الثلاثة من السوائل في عملية التشبع، وذلك لتأثير السوائل على التركيب الداخلي للصخرة إذ إن قلة الاحتكاك بين الجزيئات يعمل على تقليل القيم (Φ, c)، وهذا مطابق لما وجدته الباحث Han, G (18)، الذي لاحظ أيضا نقصانا واضحا في مقدار التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلي مع التشبع.

2.7 فحص الانضغاط أحادي المحور:

يبين الجدول (5) معدل نتائج فحص الانضغاط أحادي المحور للنماذج الجافة والمشبعة بأنواع السوائل المستخدمة في هذا البحث، إذ فحصت ستة نماذج لكل حالة من حالات التشبع، ويبين الجدول أن نسبة النقصان في مقاومة الانضغاط تتناسب عكسيا مع لزوجة السوائل المستخدمة في عملية تشبع النماذج، وقد بلغت نسبة النقصان (20.86%) للنماذج المشبعة بنفط خام عين زالة يليه نقصان مقداره (33.45%) للنماذج المشبعة بنفط خام كركوك، أما أكبر قيمة لنقصان المقاومة فقد ظهرت في النماذج المشبعة بالمياه الجوفية إذ كانت نسبة النقصان (41.7%)

جدول (5) معدل نتائج فحص الانضغاط أحادي المحور للنماذج الجافة والمشبعة.

حالة التشبع	مقاومة الانضغاط أحادي المحور N/mm ²	نسبة النقصان في المقاومة مقارنة بالحالة الجافة (%)
جاف	13.9	—
نفط خام عين زالة	11	20.86
نفط خام كركوك	9.25	33.45
مياه جوفية	8.1	41.7



الشكل (4) نموذج لدوائر موهر للصخور الجيرية في الحالة الجافة

وقد لاحظ عدة باحثين نقصاناً في المقاومة نتيجة للتشبع بالسوائل، فقد وجد الباحثان Ali, & Noori (3) أن نسبة النقصان في مقاومة الحجر الجيري تصل إلى (17 % , 30 %) نتيجة للتشبع بسائلي دهن الوقود والكبروسين على التوالي. كما وجد الباحثان Hadizadah & Law (19) من خلال دراسة تأثير الماء على المقاومة الانضغاطية لصخور الحجر الرملي، إن نسبة النقصان تصل إلى (45 %) نتيجة لعملية التشبع بالماء.

ويلاحظ أن الأسباب التي أدت إلى نقصان مقاومة الانضغاط أحادي المحور مشابهة للأسباب المذكورة في الفقرة السابقة والتي أدت إلى نقصان مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور نتيجة للتشبع بأنواع السوائل المستخدمة.

إن العلاقة بين الإجهاد والانفعال المحوري والجانبية موضحة في الشكل (A-9)، إذ أن كل منحنى يمثل العلاقة بين الإجهاد والانفعال لنوع من أنواع السوائل المستخدمة في تشبيع النماذج فضلاً عن الحالة الجافة، كما نلاحظ أن الانفعال في الحالة الجافة يكون أقل من الانفعال في حالة نطف خام عين زالة وبدوره يكون أقل من حالة نطف خام كركوك الذي يكون أيضاً أقل من حالة استخدام المياه الجوفية في عملية التشبيع بسبب نقصان ميل منحنيات الإجهاد والانفعال، وهذا موافق لما أستنتجه عدة باحثين حول زيادة قيمة الانفعال الجانبي في حالة تشبيع النماذج بالسوائل، (2)، (3).

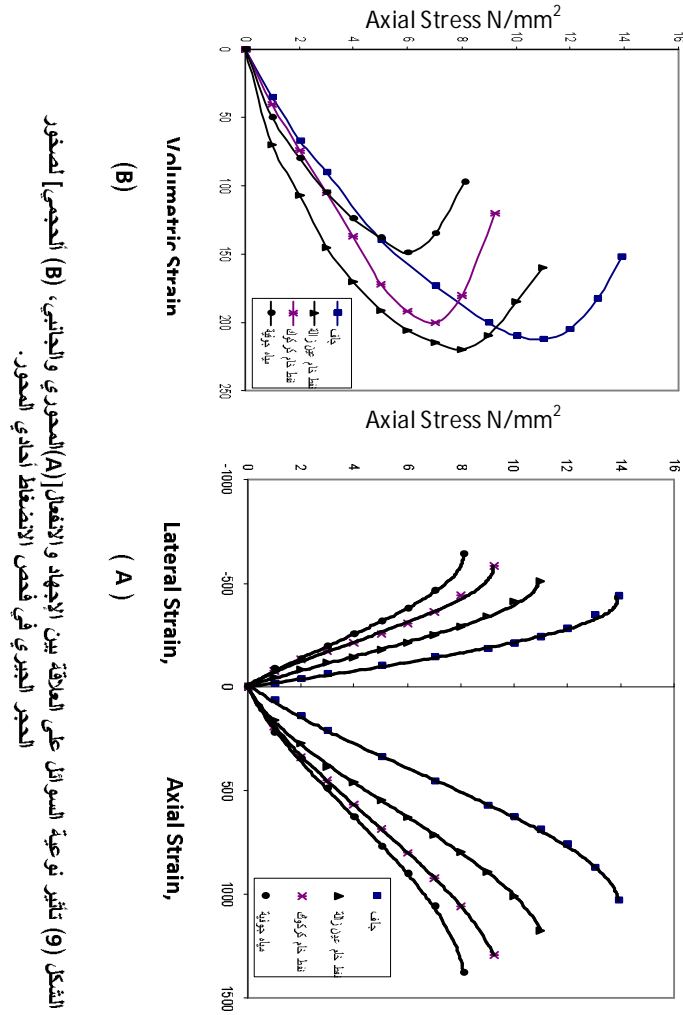
إن تأثير نوعية السوائل على العلاقة بين الإجهاد والانفعال الحجمي موضحة في الشكل (B-9)، إذ نلاحظ زيادة الانفعال الحجمي مع بداية تسليط الأحمال إلى أن يصل إلى قيمة معينة، ثم يبدأ بالنقصان تدريجياً، ويعزى سبب ذلك إلى زيادة الانفعال الجانبي مع استمرار تسليط الحمل على النموذج مقارنة بالانفعال المحوري وقبل الوصول إلى مرحلة الفشل. ويحسب الانفعال الحجمي من المعادلة الآتية ISRM (5):

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_l$$

إذ إن:

ε_v : الانفعال الحجمي. ε_a : الانفعال المحوري. ε_l : الانفعال الجانبي.

وقد لوحظ من نتائج فحص الانضغاط أحادي المحور وثلاثي المحاور لجميع النماذج أن نوعية السوائل ليس لها تأثير على شكل الفشل حيث فشلت جميع النماذج الجافة والمشبعة بالسوائل المستخدمة في البحث بشكل انشطار محوري



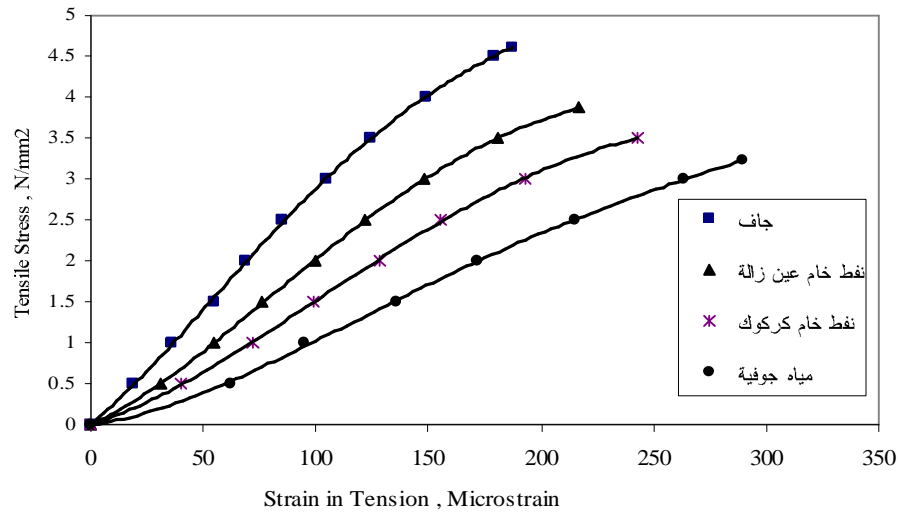
3.7 فحص الانحناء

لغرض دراسة تأثير نوعية السوائل على المقاومة الشدية في فحص الانحناء فقد فسخت ستة نماذج لكل حالة جافة ولكل من حالات التشبع بأحد أنواع السوائل المستخدمة، وقد لوحظ أن موقع الفشل للنماذج جميعها كان بين نقطتي التحميل العلوية حيث يتعرض النموذج في هذه المسافة إلى عزم انحناء منتظم (Uniform Bending Moment)، وإن فشل الشد الحاصل يؤدي إلى انشطار النموذج إلى جزأين. إن معدل النتائج لفحوصات الانحناء جميعها موضحة في الجدول (6).

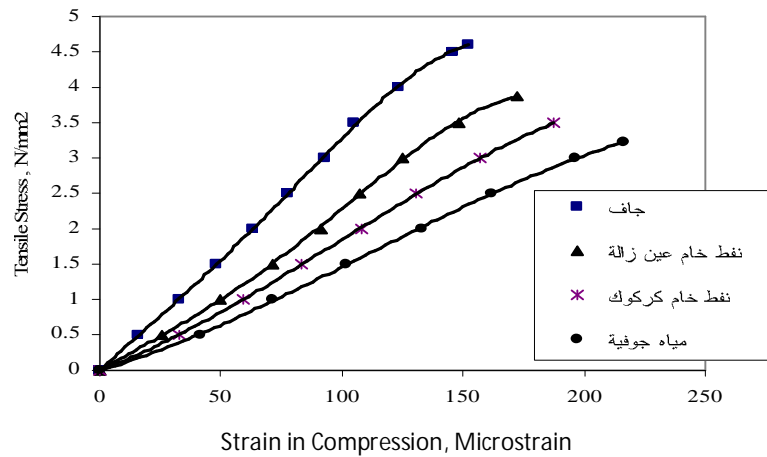
الجدول (6) معدل نتائج فحص الانحناء للنماذج الجافة والمشبعة

حالة التشبع	المقاومة الشدية (N/mm ²)	نسبة النقصان في المقاومة مقارنة بالحالة الجافة (%)
جاف	4.61	----
نפט خام عين زالة	3.87	16.05
نפט خام كركوك	3.5	24.08
المياه الحرفية	3.22	30.15

ويلاحظ من الجدول أن السوائل المستخدمة تعمل على تقليل المقاومة الشديدة لصخور الحجر الجيري، وإن أعلى نقصان ظهر في حالة تشبع النماذج بالمياه الجوفية إذ بلغت نسبة النقصان (30.15%). إن النقصان في المقاومة الشديدة مطابقة لما وجدته عدة باحثين نتيجة لتشبع النماذج بالسوائل، منهم Al-Mahdawi (2)، Thabet, et al. (20)، حيث لاحظوا نسبة نقصان حوالي (30%) في المقاومة الشديدة بفحص الانحناء لصخور الحجر الجيري نتيجة للتشبع بالماء، كما وجد الباحث Ali (10) أن نسبة النقصان في المقاومة الشديدة بفحص الانحناء لصخور الجبس تتراوح بين (30-32%) نتيجة لتشبع النماذج بالماء. أما الباحثان Ali, & Noori (3) فقد استنتجوا أن نسبة نقصان المقاومة الشديدة لصخور الحجر الجيري في فحص الانحناء هي 7%، 15% عند تشبع النماذج بسائلتي دهن الوقود والكيروسين على التوالي.



الشكل (10) تأثير نوعية السوائل على العلاقة بين الإجهاد والانفعال في حالة الشد بفحص الانحناء لنماذج صخور الحجر الجيري.



الشكل (11) تأثير نوعية السوائل على العلاقة بين الإجهاد والانفعال في حالة الضغط بفحص

تمثل الأشكال (10-11)، العلاقة بين الإجهاد والانفعال في حالتَي الشد والضغط على التوالي في فحص الانحناء لنماذج صخور الحجر الجيري.

الانحناء ، حيث نلاحظ أن ميل المنحنيات يقل مقارنة بالحالة الجافة وذلك عند استخدام السوائل في عملية تشبع النماذج، وإن أعلى قيمة للانفعال في حالتَي الشد والضغط تحصل في حالة التشبع بالماء الجوفي مقارنة ببقية أنواع السوائل. ولقيمة معينة من الإجهاد نجد أن قيم الانفعال في حالة الشد لكل حالة من حالات التشبع بالسوائل تكون أكبر من قيم الانفعال في حالة الضغط، وهذا يدل على أن موقع المحور المتعادل (Neutral Axis) في النماذج المشبعة يكون أقرب إلى جهة الانضغاط كما في الحالة الجافة. إن سبب نقصان المقاومة الشدية وزيادة الانفعال في حالتَي الشد والضغط نتيجة للتشبع بهذه السوائل يعود إلى الأسباب المذكورة نفسها في نقصان المقاومة الانضغاطية ثلاثية المحاور.

8. الاستنتاجات:

اعتمادا على نتائج الفحوصات التي أجريت في هذا البحث على صخور الحجر الجيري في حالة تشبعها بالسوائل (نقط خام عين زالة، نقط خام كركوك والمياه الجوفية) يمكن إدراج الاستنتاجات التالية

نقصان في المقاومة الانضغاطية (σ_c) وزيادة قيم الانفعال المحوري (ϵ_a) والانفعال الجانبي (ϵ_l)، وذلك في فحص الانضغاط ثلاثي وأحادي المحور، ونقصان في المقاومة الشدية في فحوصات الشد غير المباشر. نقصان في قيم التماسك (c) وزاوية الاحتكاك الداخلي (Φ) وذلك في فحص الانضغاط ثلاثي المحاور. إن تأثير المياه الجوفية على خواص المقاومة من حيث نسبة النقصان وزيادة التشوه كان أكبر من تأثير نقط خام كركوك وبدوره كان أكبر من تأثير نقط خام عين زالة. أظهرت الدراسة أن تأثير تشبع الصخور بالسوائل المختلفة على المقاومة الانضغاطية كان أكبر من تأثيره على المقاومة الشدية غير المباشرة. إن شكل الفشل لنماذج الصخور في الفحوصات جميعها لم يتأثر بنوع السائل المستخدم في عملية التشبع.

9. المصادر:

Parate, N. S., " Influence of Water on The Strength of Limestone.", Transactions of AIME, Vol. 254 , PP 127-131,(1973).

AL-Mahdawi, S.K., " Effect of Specimen Sizes and Water Saturation on Strength Properties of Jeribe Limestone", M.Sc. Thesis, civil Engg. Dept., College of Engineering, University of Mosul,(1985)..

Ali, S.A. & Noori, T.M"Effect of Oils on The Strength and Deformation Properties of Limestone ", Proce. Of The Sixth Sci. Conference for Foundation Tech. Institutes. Baghdad – Iraq, pp. 226-232, (1998)..

Por, L. & Galamrth, " Effect of Water Content on The Mechanical Behavior of Fine – Grained Sedimentary Rock ", Pizhishy Danishka, No.48,(2003).

ISRM., "Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties.", ISRM. Committee on Standardization of Laboratory Tests, Int. J. Rock Mech. Min. Min. Sci., Vol. 16 pp.143-156,(1979).

ASTM, Standards, " Soil and Rock " American Society for Testing and Material, Vol.04-08,(1989).

Elizzi, M.A, " time – Dependent Behavior of Some Evaporite Rocks ", Ph.D. Thesis, University of Sheffield, (1976).

Hawkes, I. & Mellor, M, "Uniaxial Testing in Rock Mechanics Laboratory ", Eng. Geol., Vol. 4, No. 3, pp.177-285, (1970).

Vutukuri, V.S., " The effect of the Liquids on the Tensile Strength of Limestone." Int. J. Rock Mech. Min. Sci. ,Vol. 11 pp. 27-29,(1974).

Ali, S.A., " Creep Properties of Evaporite Rocks with Particular Reference to Gypsum ", Ph.D. Thesis, University of Sheffield,(1979)..

Franklin, J.A. &Hoeck, E., "Developments in Triaxial Testing Technique" Rock Mechanics 2 , pp. 223-228,(1970).

Noori, T.m., " Study of The Long – Term Strength of Gypsum ", M.Sc. Thesis, civil Engg. Dept., College of Engineering, University of Mosul,(1989),

Hart, D.J., & Wang, H.F., " Laboratory measurements of a complete set of poroelastic moduli for Berea sandstone and Indiana limestone ", J. Geophys. Res., No. 100, pp.741 – 751,(1995).

Noori, T.M., " Effect of Anisotropy on The Shear Strength Of Sandstone Rock in Triaxial Compression Test ", Raffidain Engineering Maga., No. 1 (1996),.

Lockner, D.A., & Stanchits, S.A., " Undrained poroelastic response of sandstones to deviatoric stress change ", J. Geophys. Res., No. 107,(2002).

Ballivy, G., Ladanyi, B., & Gill, D.E., " Effect of Water Saturation History on The Strength of Low – Porosity Rocks ", ASTM. STP 599, pp. 4 – 20,(1976).

Hellmann, R., Renders, P.J., Gratier, J., &Guiguet, R"Experimental Pressure Solution Compaction of Chalk in Aqueous Solutions, Part 1. Deformation Behavior and Chemistry ", The Geochemical Society, Special Publication, No. 7, (2002) .

Han, G., " Rock Stability under Different Fluid Flow Conditions ", Ph.D., Thesis, chemical Engg. Dept., College of Engineering, University of Waterloo , Ontario, Canada,(2003).

Hadzadeh, J., & Law. R.D., " Water-weakening of sandstone and quartzite deformed at various stress and strain rates ", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Vol. 5, pp. 431 – 439,(1991).

Thabet, K.M., Khattab, S.I., & Al – Azzo, S.I., , "Geotechnical Characteristics of Some Limestone in Nineveh, Iraq ", Confidential Report No. SM/SRC 10/1995,University of Mosul,(1995).