

تأثير تغير المحتوى الرطوبي في بعض خصائص القوة لصخور الحجر الرملي في مدينة الموصل

مهند غانم عبد الرحمن
مدرس مساعد

ثامر محمد نوري
استاذ مساعد

قسم الهندسة المدنية / كلية الهندسة - جامعة الموصل

الخلاصة

يتضمن البحث دراسة تأثير تغير المحتوى الرطوبي في خصائص القوة لصخور الحجر الرملي المأخوذ من شرق مدينة الموصل، حيث تم إيجاد المقاومة الانضغاطية الاحادية والثلاثية المحاور ومقاومة الشد غير المباشر للصخور وذلك باستخدام نسب محتوى رطوبة تتراوح بين (0% - 16%). أظهرت نتائج الدراسة أن الماء يعمل على تقليل المقاومة الانضغاطية والشدية بشكل كبير عند تغير المحتوى الرطوبي بين (0% - 4%) ، (0% - 8%) على التوالي، كما لوحظ أن تأثير الماء على المقاومة الشدية يكون أكبر من تأثيره على المقاومة الانضغاطية.

Effect of Moisture Content on Some of the Strength Characteristics of Sandstone Rock in Mosul City

Thamer Mohammad Noori
Assis. Prof.
Civil Engineering department / College of Engineering - Mosul University

Mohannad Ghanem
Assis. Lecturer
Civil Engineering department / College of Engineering - Mosul University

Abstract

An attempt has been made to study the effect of moisture content variation on the strength characteristics of sandstone rock selected from east of Mosul city center. Both compressive and indirect tensile strengths of the rock were determined. The obtained results indicated that the water has a considerable effects on both the compressive and tensile strengths. Higher reduction in the compressive and tensile strength were observed when the moisture content percent was between (0%-4%) and (0%-8%) respectively. The results also indicated that the effect of moisture content on tensile strength is greater than it's effect on compressive strength.

1. المقدمة

تعتبر صخور الحجر الرملي من الصخور الشائعة الانتشار في المنطقة الشمالية من العراق وتتواجد أحياناً بشكل قريب من سطح الأرض حيث يمكن أن تستخدم كأسس للأبنية أو تكون متعرضة لجزء من حمل المنشأ المقام عليها في حالة كونها بعيدة عن السطح . تصنف الصخور الرملية كصخور رسوبية ميكانيكية حيث تتكون من حبيبات الرمل المتماسكة مع بعضها بمواد لاصقة قد تكون سيليكية أو جيرية أو مكونة من أكاسيد الحديد أو من حبيبات المعادن الطينية، ومن العوامل الخارجية التي تعد الأكثر تأثيراً على خصائص القوة للصخور المستخدمة في هذه البحوث هو وجود الماء والذي تتعدد مصادره بين مياه الأمطار والمياه الجوفية والمياه الجارية. إن وجود الماء داخل فراغات الصخور وبنسب مختلفة يؤثر بشكل سلبي على خصائصها الهندسية ويعمل على تقليل قوة تحملها للانتقال الخارجية ومن الضروري التعرف على مقدار النقصان الحاصل في القوة لضرورة ذلك في أعداد التصميم الهندسية للمهندس المدني . أخذت نماذج صخور الحجر الرملي من منطقة حي الانتصار التي تبعد (8 كم شرق مدينة الموصل)، وتمتاز هذه الصخور بكثافتها الواطئة نسبياً مقارنة بباقي الصخور الرسوبية. إن مسامية هذا النوع من الصخور الرملية عالية نسبياً بسبب تعرض المادة الرابط بين حبيباته (المكونة من المواد الطينية) للتحلل بوجود الماء وزيادة نسبة الفراغات بين الجزيئات.

تضمن البحث دراسة تأثير تغير المحتوى الرطوبي في بعض خصائص القوة والتشوه في صخور الحجر الرملي والمتمثلة بالمقاومة الانضغاطية الاحادية والثلاثية المحاور ومقاومة الشد غير المباشر بالإضافة إلى إيجاد أسباب حدوث النقصان في قوة التحمل بنسب متفاوتة والتي تعتبر معلومات مهمة ومفيدة في حالة استخدام الموقع في إنشاء مشاريع هندسية قد تكون مستقرة على طبقات من الصخور الرملية ذات الرطوبة المتغيرة حسب ارتفاع وانخفاض مستوى الماء الجوفي فيها.

قام عدة باحثين بدراسة تأثير تغير المحتوى الرطوبي للصخور على خصائص المقاومة وذلك لعدة أنواع من الصخور مثل الحجر الرملي والحجر الجيري والكرانيت وغيرها، وقد أجمعت هذه الدراسات على أن وجود الماء داخل مسامات الصخور يؤثر في خصائصها الميكانيكية اعتماداً على نوعية الصخور ويعمل على تقليل مقاومتها الانضغاطية والشدية.

وجد الباحثان (Dube and Singh, 1972) [1] أن تغير المحتوى الرطوبي من الحالة الجافة إلى الحالة الرطبة لخمسة أنواع من الصخور الرملية يعمل على تقليل مقاومة الشد بنسبة تتراوح بين (11% - 48%) وأن العلاقة التي تربط بين مقاومة الشد والمحتوى الرطوبي هي علاقة غير خطية. كما لاحظ الباحث (Masuda, 2001) [2] خلال دراسته تأثير تغير المحتوى الرطوبي على عدة أنواع من صخور الحجر الرملي أن (90%) من مقاومة الانضغاط غير المحصور تفقد عند زيادة نسبة التشبع من (33% - 0%) ويكون النقصان طفيفاً بعد هذه النسبة.

وتوصل الباحثان (Hawkins and Connell, 1992) [3] إلى أن درجة تأثر الصخور الرملية بتغير المحتوى الرطوبي يعتمد على التركيب المعدني للصخرة والمادة الرابطة وأن التركيب المعدني له تأثير أقل في خصائص المقاومة عند الإشباع من تأثير المادة الرابطة التي تعتمد عليها قوة الصخرة.

2. المواد المستخدمة في البحث

1.2 الحجر الرملي:

أختيرت هذه الصخور من منطقة حي الانتصار الواقع على بعد (8) كم شرق مركز مدينة الموصل، إذ أخذت النماذج على عمق (1.5) متر من سطح الأرض بواسطة الحفر اليدوي ولم يظهر في موقع الحفر الماء الجوفي حيث أنه على عمق (2.0) متر وان تأثيره على الصخور كان واضحاً. تعود صخور الحجر الرملي في هذا المنطقة إلى تكوين الفتحة (العصر المايوسيني الأوسط) (Middle Miocene)، ويتركب تكوين الفتحة من تتابعات طبقية لصخور الحجر الرملي والحجر الجيري والجبس والمارل بسمك مختلف [4].

أجريت الفحوصات الفيزيائية على الحجر الرملي اعتماداً على المواصفات العالمية للصخور (ISMR) [5] وجميع النتائج موضحة في الجدول رقم (1).

الجدول (1) معدل نتائج الخصائص الفيزيائية للحجر الرملي.

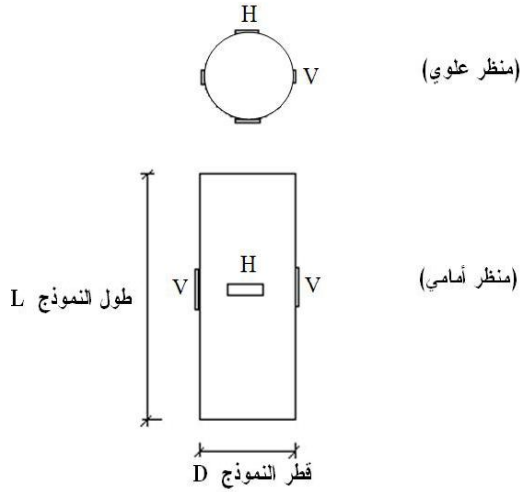
معدل النتائج	نوع الفحص
18.5	الكثافة الجافة (kN/m ³)
2.72	الوزن النوعي (Gs)
31	المسامية المطلقة (n%)
16	نسبة المواد الطينية (%)
44	نسبة المواد الغرينية (%)
40	نسبة المواد الرملية (%)
96.8	درجة التشبع (S%) عند محتوى رطوبي (16%)
64.6	درجة التشبع (S%) عند محتوى رطوبي (12%)
48.4	درجة التشبع (S%) عند محتوى رطوبي (8%)
24.2	درجة التشبع (S%) عند محتوى رطوبي (4%)

أستخدم في هذا البحث الماء المقطر لدراسة تأثير تغير المحتوى الرطوبي على الخواص الهندسية لصخور الحجر الرملي و لضمان الحصول على تأثيرات متساوية لجميع الفحوصات نظراً للحساسية العالية لهذه الصخور تجاه بعض المكونات الأخرى المتواجدة في مياه الإسالة مثل أملاح الكبريتات أو المواد العضوية والتي لها القابلية على تغيير خصائص الصخور لتفاعلها مع المعادن الموجودة ضمن تركيبه.

2. العمل المختبري وإعداد النماذج

3. 1. نماذج فحص الانضغاط أحادي وثلاثي المحاور

4. استخرجت النماذج الاسطوانية من الكتل الصخرية بواسطة جهاز اخذ اللباب مع مراعاة كون اتجاه محور اسطوانة اللباب عمودياً 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 طبقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM) [6] التي حددت هذه النسبة بين (2-2.5).



لغرض قياس الانفعال المحوري (Axial Strain) والجانبية (Lateral Strain) وحساب التغير الحجمي (Volumetric Strain) الحاصل نتيجة لتسليط الأتقال على النموذج، فقد استعملت مقاييس الانفعال الكهربائية (gauges) ، إذ تُثبت مقاييسان متقابلان بشكل عمودي في منتصف الارتفاع للنموذج ومقياسان آخران أفقيان متقابلان في منتصف الارتفاع أيضا بموجب المواصفات العالمية الأمريكية (ASTM, 89) [6] وكما موضح في الشكل (1).

2.3 نماذج فحص الانحناء:

V: مقياس الانفعال المحوري

H: مقياس الانفعال الجانبي

الشكل (1) مخطط توضيحي يبين أماكن لصق مقاييس الإنفعال على النماذج الإسطوانية

تم إعداد النماذج باستخدام المنشار الكهربائي إذ تمت عملية القص بشكل مواز لمستويات تطبيق الصخرة وذلك لضمان تسليط الأتقال بشكل عمودي على هذه المستويات أثناء الفحص.

النماذج التي أعدت لهذا النوع من الفحص هي بأبعاد (24*4*2.5 cm)

السُمك*العرض*الطول) والتي استخدمت من قبل الباحث (Elizzi) [7] ، وقد تم استخدام مقاييسين للانفعال احدهما في مركز الوجه العلوي والآخر في مركز الوجه السفلي للنموذج وذلك لقياس الانفعال في حالتين الانضغاط والشد. جففت جميع النماذج التي تم إعدادها بدرجة حرارة (105°) درجة مئوية لمدة (24) ساعة لتكون مهيأة للفحوصات المطلوبة.

3.3 عملية تشبييع النماذج:

لغرض الحصول على نماذج ذات محتوى رطوبي متغير (0% , 4% , 8% , 12% , 16%) تم تجفيف النماذج بدرجة حرارة (105°) درجة مئوية لمدة (24) ساعة وحساب أوزانها بعد التجفيف، أجريت بعدها عملية حساب عكسية لحساب أوزان هذه النماذج اعتمادا على المحتوى الرطوبي المطلوب، تم بعدها غمر هذه النماذج في الماء لفترات قصيرة مع إجراء عملية وزن دورية لحين الوصول إلى الوزن المطلوب. غلفت النماذج جيدا باستخدام رقائق الألمنيوم وختمت بمادة الشمع لضمان عدم تغير المحتوى الرطوبي أثناء فترة التجانس، تركت هذه النماذج لمدة أسبوع للتأكد من حصول حالة التجانس التام في المحتوى الرطوبي قبل إجراء الفحص.

4.3 عملية قياس الانفعال

أستخدم في عملية قياس الانفعال جهاز مقياس الانفعال (Strain Meter) والذي يعمل بعد إدخال البيانات والأوامر خلال لوحة المفاتيح حيث تظهر 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.

4. الفحوصات الميكانيكية

تم إجراء الفحوصات الميكانيكية التالية على صخور الحجر الرملي وباستخدام نسب رطوبة مختلفة لكل فحص.

1.4 فحص الانضغاط أحادي وثلاثي المحاور:

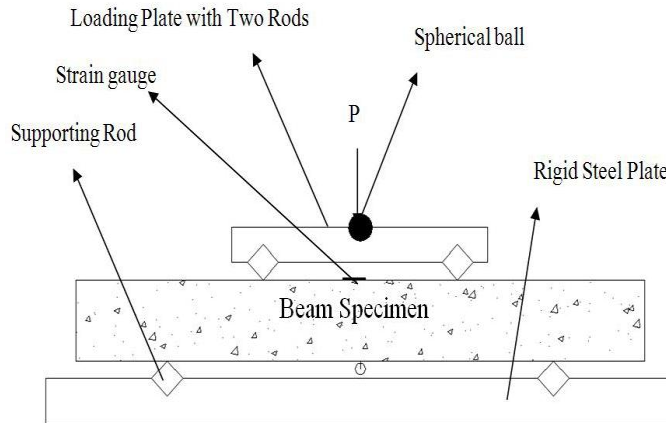
يتكون الجهاز المستخدم في فحص الانضغاط ثلاثي المحاور من جهاز فحص الانضغاط أحادي المحور وجهاز تسليط الضغط الجانبي فضلاً عن استخدام خلية الفحص الأسطوانية الشكل والمصنوعة من الحديد الصلب جداً والمقاوم للضغوط العالية، إذ يوضع النموذج داخل خلية تكون مملوءة بالسائل الهيدروليكي ويفصله عنه عازل بلاستيكي مقاوم للضغط (Jacket) يمنع تسربه الى داخل النموذج ويعمل السائل على تسليط ضغط الحصر الجانبي المطلوب على النموذج ان الجهاز ذو سعة مقدارها (1500 kN) وحساسية (0.1 kN) ويسلط الضغط العمودي على النموذج بمعدل (0.75 N/ mm²/ sec) بحيث يكون وقت الفشل ما بين (5-10) دقيقة (ISRM) [9] ، تسجل خلالها قراءات الحمل المسلط وقراءات الانفعال المحورية والجانبية أثناء عملية الفحص. تحسب مقاومة الانضغاط أحادي المحور للنموذج باستخدام المعادلة الآتية:

$$\sigma_c = \frac{P}{A_f} = \frac{P(1 - \epsilon_L)}{A_o} \quad (1)$$

إذ أن:

- σ_c : مقاومة الانضغاط (N/ mm²).
- A_f : مساحة مقطع النموذج بعد الفشل (mm²).
- ϵ_L : الانفعال الجانبي عند الفشل (mm/mm).
- P: الحمل المؤدي إلى فشل النموذج (N).
- A_o : مساحة مقطع النموذج قبل الفحص (mm²).

2.4 فحص الانحناء:



شكل (2) المخطط التوضيحي للجهاز المستخدم في فحص الانحناء

تم اختيار هذا الفحص لأنه يمثل فحص الانحناء احد الطرائق غير المباشرة في إيجاد مقاومة الشد للصخور، ويوضح الشكل (2) الجهاز المستخدم في فحص الانحناء ذات المساند الأربعة، وقد تم استخدامه من قبل عدة باحثين منهم (Ali) [10] ، (Noori) [11]، (al-Mahdawi) [12]، يوضع النموذج في الجهاز بحيث يكون اتجاه المساند الأربعة عمودياً على مستوى النطبق، وتكون سرعة التحميل (0.254 mm/min) بموجب المواصفات (ASTM) [6] ، وقد أخذت قراءات الانفعال في حالتي الشد والضغط بشكل متزامن مع قراءة الحمل المسلط وذلك

باستخدام جهاز قياس الانفعال (Strain Meter) ولحين الوصول إلى فشل النموذج.

تم تطبيق المعادلة التالية في إيجاد المقاومة الشدية للنماذج المشتقة من قبل الباحث (Duckworth) [13]، والتي استخدمت من قبل عدة باحثين (7, 11):

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

إذ أن:

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.

b : عرض النموذج (mm). d : سمك النموذج (mm).

5. النتائج والمناقشة

1.5 تأثير الترطيب على المقاومة في فحص الانضغاط ثلاثي المحاور:

تم إيجاد مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور لصخور الحجر الرملي وذلك للتعرف على تأثير تغير المحتوى الرطوبي للصخور وتغير ضغط الحصر الجانبي لها على قيم كل من إجهاد الانحراف ($\sigma_1 - \sigma_3$) وقيم زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) وقيم التماسك (c).

تم اختيار ثلاث قيم لضغط الحصر الجانبي (σ_3) وهي ($3, 6, 9 N/mm^2$) ويوضح الجدول (2) معدل نتائج الفحص لكل نسبة مستخدمة من المحتوى الرطوبي ($0\%, 4\%, 8\%, 12\%, 16\%$).
الجدول (2) معدل نتائج فحص الانضغاط ثلاثي المحاور.

S.D*	إجهاد الانحراف ($\sigma_1 - \sigma_3$) (N/mm^2)	الإجهاد المحوري (σ_1) (N/mm^2)	ضغط الحصر الجانبي (σ_3) (N/mm^2)	المحتوى الرطوبي
0.98	17.39	20.39	3	0%
0.87	20.97	26.97	6	
1.13	25.44	34.44	9	
0.54	11.49	14.49	3	4%
0.41	13.06	19.06	6	
0.37	14.46	23.46	9	
0.41	7.31	10.31	3	8%
0.30	7.98	13.98	6	
0.21	8.89	17.89	9	
0.27	6.31	9.31	3	12%
0.20	6.78	12.78	6	
0.31	7.21	16.21	9	
0.11	5.11	8.11	3	16%
0.17	5.52	11.52	6	
0.23	6.35	15.35	9	

* Standard Deviation.

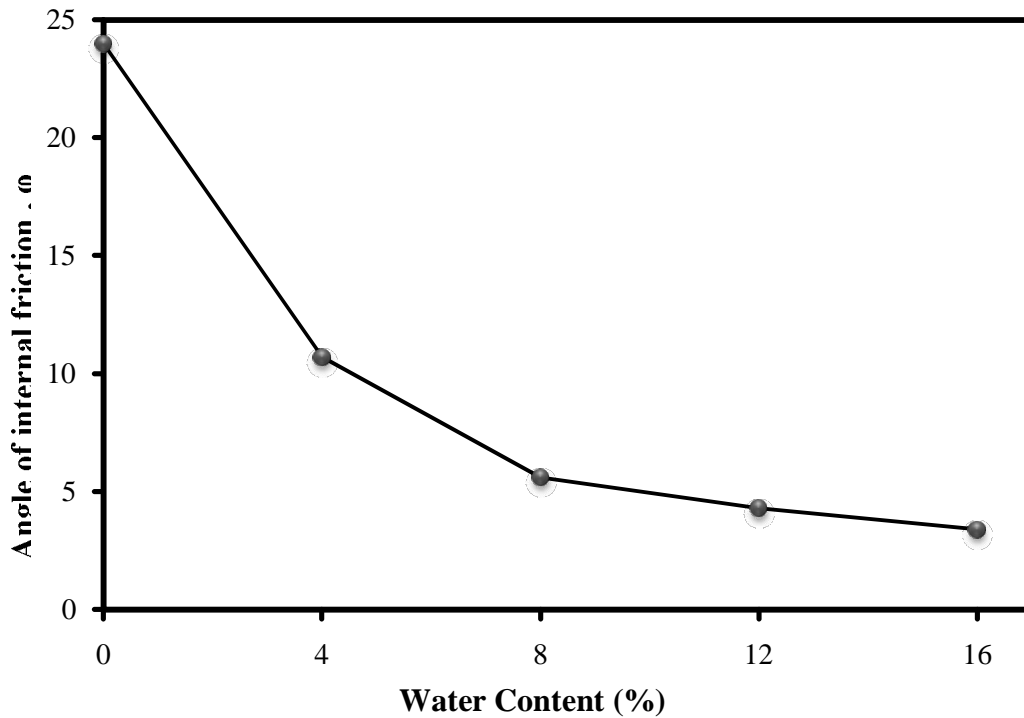
نوري: تأثير تغير المحتوى الرطوبي في بعض خصائص القوة لصخور الحجر الرملي في مدينة الموصل

يلاحظ من الجدول أن مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور تقل بصورة كبيرة مع زيادة المحتوى الرطوبي للصخرة وأن الجزء الأعظم من النقصان في مقاومة الانضغاط يحدث عند زيادة المحتوى الرطوبي بين (0%-4%). كما يلاحظ أن قيم أجهاد الانحراف ($\sigma_1 - \sigma_3$) عند أي محتوى رطوبي تزداد بزيادة ضغط الحصر الجانبي (σ_3) وأن إجهاد الانحراف عند أية قيمة حصر جانبي تقل مع زيادة المحتوى الرطوبي.

يبين الجدول (3) نسب النقصان في قيم قوة التماسك (c) وزاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) للصخور مع تغير قيم المحتوى الرطوبي لها، إذ يلاحظ أن نسبة النقصان الذي تعاني منه زاوية الاحتكاك الداخلي يتعدى نسبة النقصان الذي تعاني منه قوة التماسك (c) لذلك يمكن القول أن العامل المسيطر على انخفاض مقاومة الانضغاط العمودي في حالة ضغط الحصر الجانبي القليل هو انخفاض قوة الاحتكاك أما قوة التماسك فيكون تأثيرها قليل نسبياً، بينما يشارك كلا العاملين (انخفاض قوة التماسك وانخفاض زاوية الاحتكاك الداخلي) في حالة ضغط الحصر الجانبي العالي لان مقاومة النموذج في هذه الحالة تتجم عن اشتراك كلا العاملين.

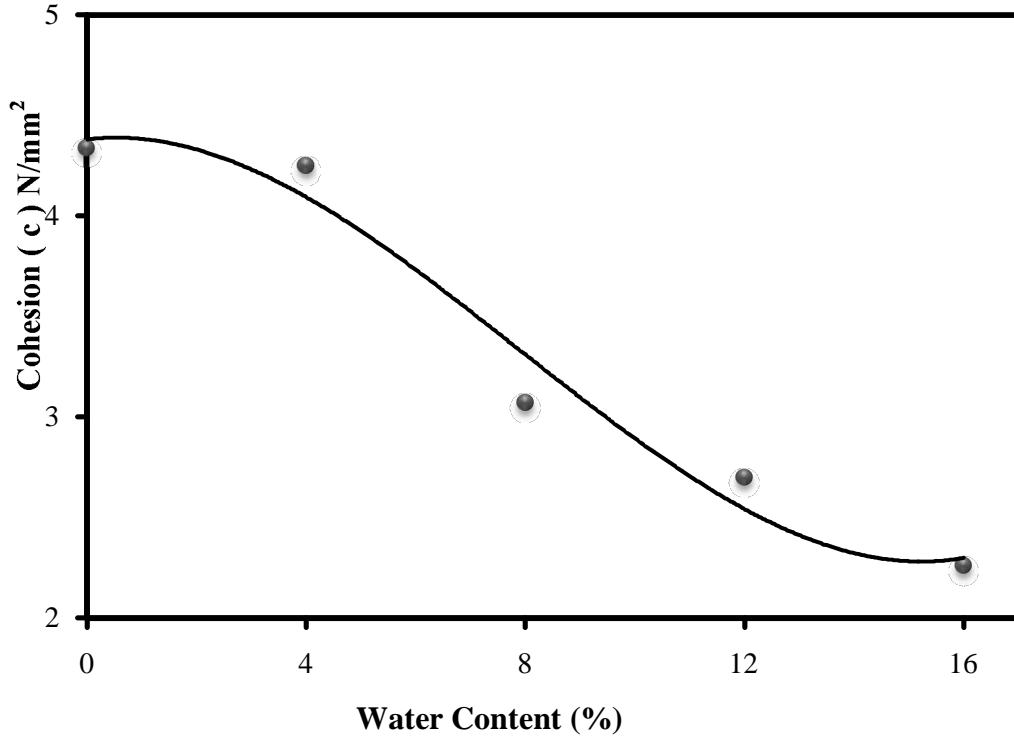
الجدول (3) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على قوة التماسك (c) وزاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) في فحص الانضغاط ثلاثي المحاور.

المحتوى الرطوبي	زاوية الاحتكاك (ϕ) (deg)	نسبة النقصان (%)	قوة التماسك (c) (N/mm ²)	نسبة النقصان (%)
0%	24	---	4.34	----
4%	10.7	55	4.25	2
8%	5.6	76	3.07	29
12%	4.3	82	2.7	37
16%	3.4	85	2.26	48



الشكل (3) تأثير زاوية الاحتكاك الداخلي بتغير المحتوى الرطوبي

يبين الشكلان (4,3) العلاقة بين قيم كل من زاوية الاحتكاك الداخلي (ϕ) وقوة التماسك (c) مع المحتوى الرطوبي على التوالي، ويلاحظ حدوث تغير واضح مع تغير المحتوى الرطوبي بين (0%-8%) ليصبح التغير اقل بعد هذا المدى.

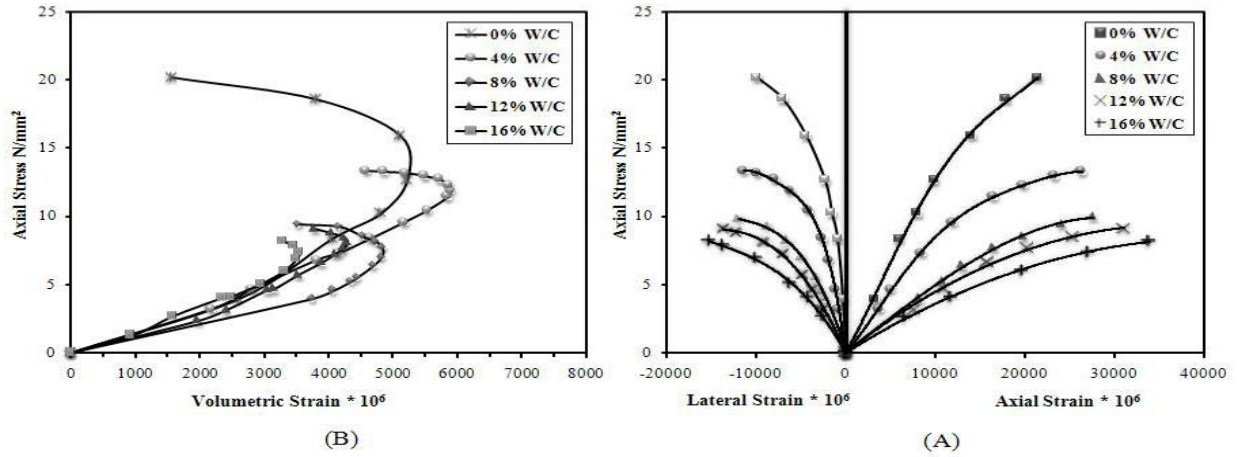


الشكل (4) تأثير قيم التماسك بتغير المحتوى الرطوبي

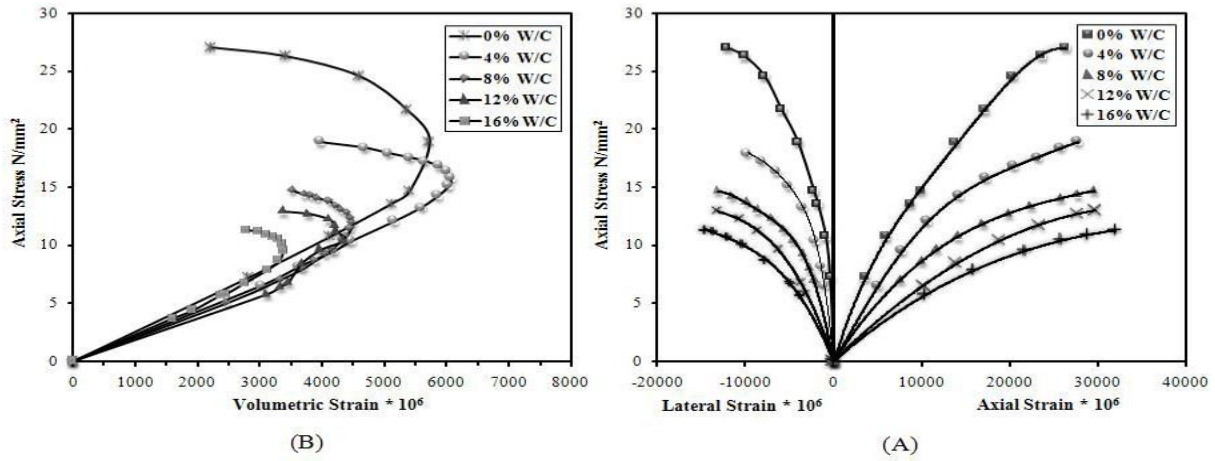
توضح الأشكال (5)A و (6)A و (7)A العلاقة بين الانفعال المحوري والجانبى مع الإجهاد العمودي لحالات الحصر الجانبى (3 , 6 , 9 N/mm²) على التوالي إذ يمثل كل منحنى من المنحنيات نسبة محتوى رطوبي معين. يلاحظ ان ميل منحنى الإجهاد والانفعال لكلا الحالتين المحوري والجانبى يقل مع زيادة المحتوى الرطوبي، مما يدل على زيادة الانفعال الحاصل في النموذج عند قيمة إجهاد معينة مع زيادة المحتوى الرطوبي له، ويعزى السبب في ذلك إلى عوامل منها أن الماء يعمل على زيادة الانزلاق بين الجزيئات وتأثيره في إذابة وإحلال المادة الرابطة بين الحبيبات وبالتالي زيادة قابلية هذه الحبيبات على الحركة فوق بعضها البعض وهذا موافق لما وجدته الباحثان [14](Kwasnieski) [15](Hawkins and Connell).

إن التغير في الانفعال الحجمي مع الإجهاد المحوري موضح في الأشكال (5)B , (6)B , (7)B لحالات ضغط الحصر الجانبى (3 , 6 , 9 N/mm²) على التوالي، ويمثل كل منحنى من هذه المنحنيات محتوى رطوبي معين. يلاحظ من هذه الأشكال أن الانفعال الحجمي يزداد تدريجياً مع زيادة الإجهاد المحوري إلى حد معين ثم يبدأ بالنقصان إلى حد يعتمد على حالة الصخرة إذ يعود النموذج إلى حالة انفعال حجمي مقارب للصفر في الحالة الجافة، بينما لا تعود النماذج الرطبة إلى هذه النقطة وإنما تبقى محتفظة بجزء من الانفعال الحجمي عند حدوث الفشل. وقد لوحظ أيضاً في أثناء الفحص أن شكل فشل النموذج يتغير من حالة الفشل الصلب (Brittle Failure) إلى حالة الفشل اللدن (Ductile Failure) مع زيادة المحتوى الرطوبي.

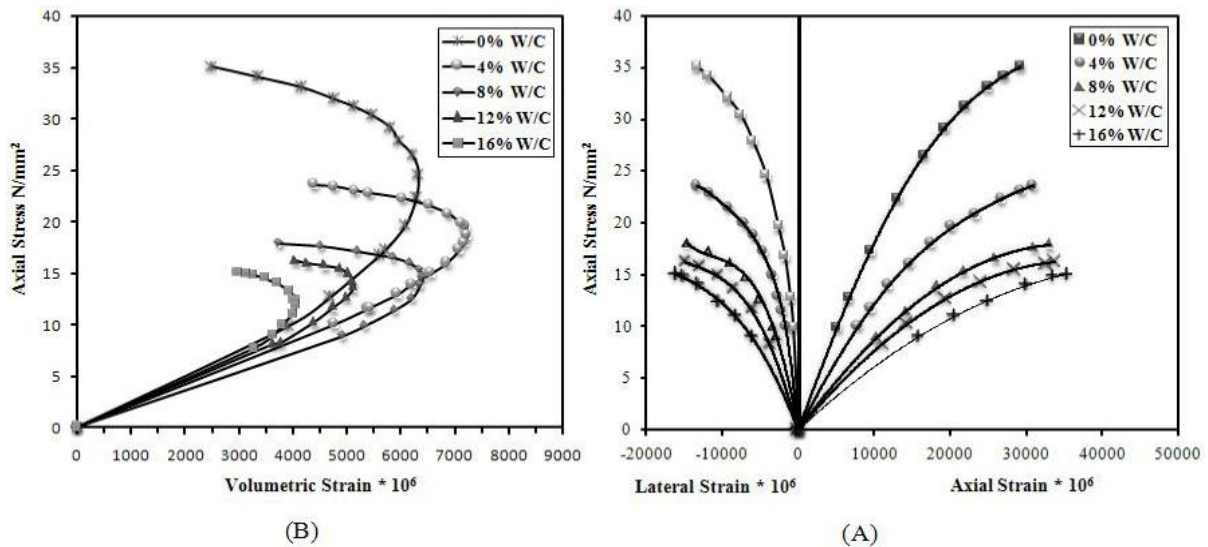
نوري: تأثير تغير المحتوى الرطوبي في بعض خصائص القوة لصخور الحجر الرملي في مدينة الموصل



الشكل (5) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على العلاقة بين الإجهاد والانفعال [(A) المحوري والجانبى، (B) الحجمي] لصخور الحجر الرملي في فحص الانضغاط الثلاثي المحاور بضغط الحصر ($\sigma_3 = 3 \text{ N/mm}^2$).



الشكل (6) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على العلاقة بين الإجهاد والانفعال [(A) المحوري والجانبى، (B) الحجمي] لصخور الحجر الرملي في فحص الانضغاط الثلاثي المحاور بضغط الحصر ($\sigma_3 = 6 \text{ N/mm}^2$).



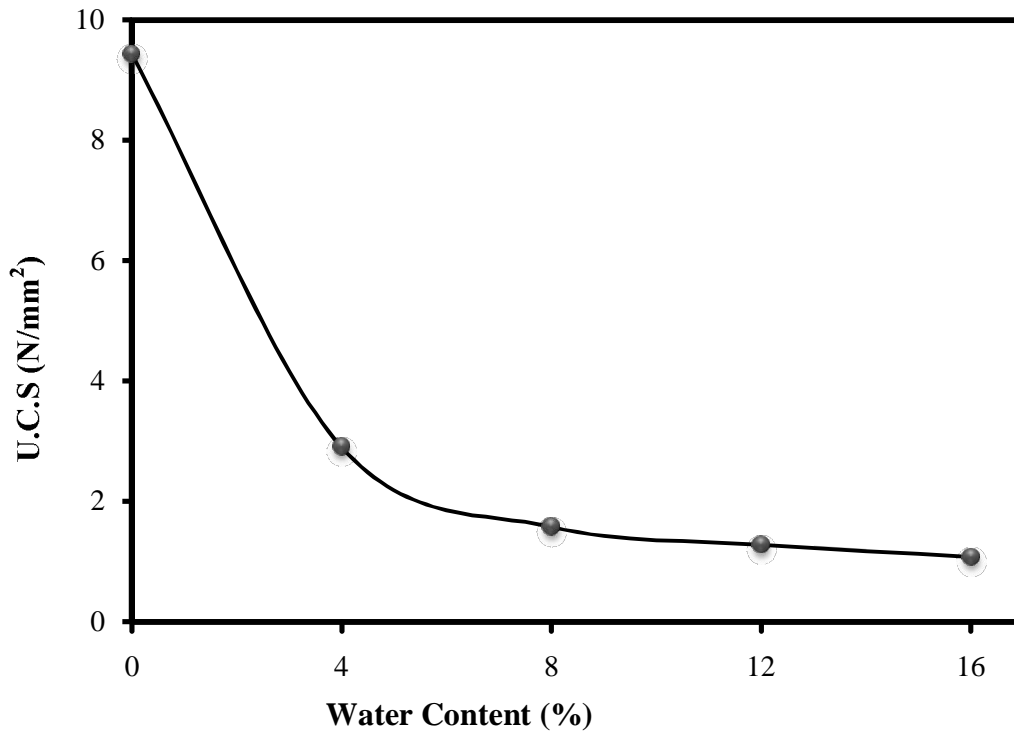
الشكل (7) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على العلاقة بين الإجهاد والانفعال [(A) المحوري والجانبى، (B) الحجمي] لصخور الحجر الرملي في فحص الانضغاط الثلاثي المحاور بضغط الحصر ($\sigma_3 = 9 \text{ N/mm}^2$).

2.5 تأثير الترطيب على مقاومة الانضغاط في فحص الانضغاط أحادي المحور:

يبين الجدول (4) معدل نتائج الفحص لأربعة نماذج لكل نسبة من نسب المحتوى الرطوبي المختلفة، كما يوضح الشكل (8) العلاقة بين مقاومة الانضغاط والمحتوى الرطوبي، إذ يلاحظ أن نقصان المقاومة قلت بنسبة (88.5%) بتغير المحتوى الرطوبي من (0%-16%)، كما أن (69%) من النقصان الحاصل في مقاومة الانضغاط أحادي المحور حدث في أثناء تغير المحتوى الرطوبي من (0%-4%)، ويعود سبب هذا النقصان الكبير في القوة هو احتواء هذا النوع من الصخور على نسبة (60%) من المواد الطينية والغرينية (جدول رقم 1) والتي تعمل كمادة رابطة بين حبيبات الرمل وهي تفقد بشدة قوة تماسكها في حالة ارتفاع المحتوى الرطوبي للصخرة وعليه يمكن تصنيف هذه الصخور بأنها صخور ضعيف [16] .

الجدول (4) معدل نتائج فحص الانضغاط أحادي المحور في حالات الترطيب المختلفة

S.D	نسبة النقصان في المقاومة مقارنة بالحالة الجافة (%)	مقاومة الانضغاط أحادي المحور (N/mm ²)	المحتوى الرطوبي
0.879	---	9.43	0%
0.440	69	2.91	4%
0.084	83	1.57	8%
0.101	87	1.2	12%
0.136	88.5	1.08	16%

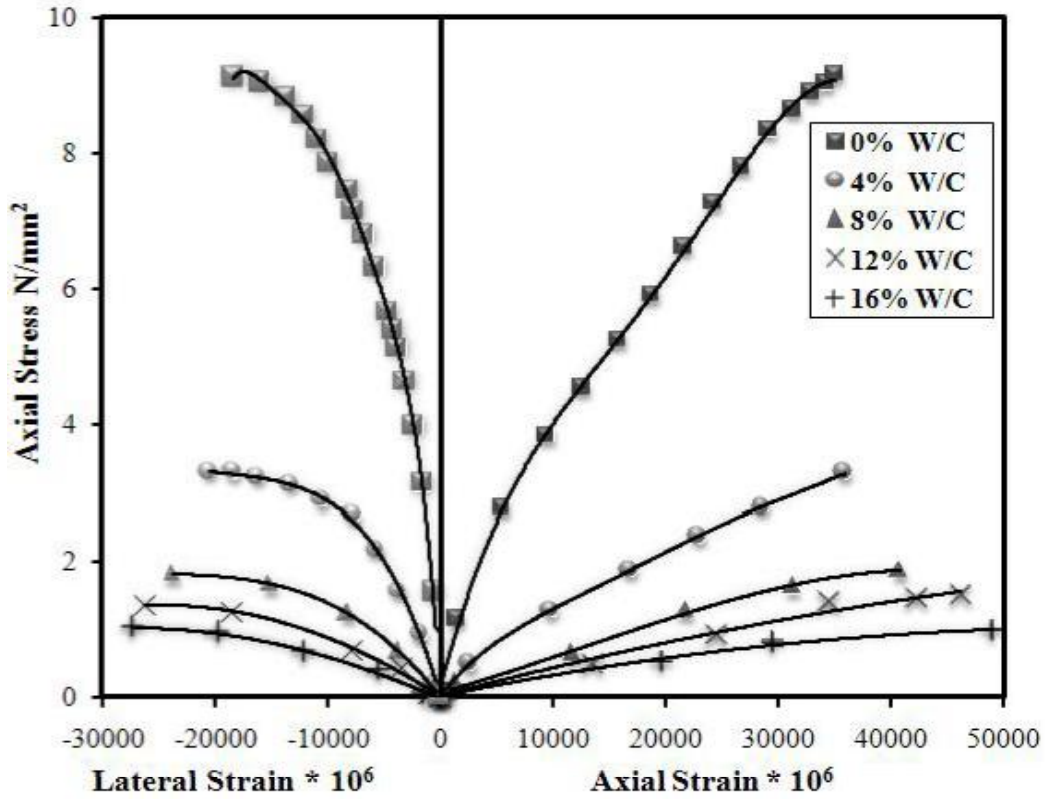


الشكل (8) العلاقة بين مقاومة الانضغاط (U.C.S) والمحتوى الرطوبي لصخور الحجر الرملي

ويمكن توضيح عدة أسباب لحدوث النقصان في مقاومة الانضغاط الاحادية والثلاثية المحاور لصخور الحجر الرملي نتيجة التشبع بالماء اضافة الى الاسباب التي ذكرت في الفقرة (2.6):

- 1- إن وجود الماء على السطوح الداخلية لهذا النوع من الصخور والنتيجة عن وجود التشققات و الفراغات يعمل على تقليل الطاقة السطحية لهذه الصخور وبالتالي إلى نقصان المقاومة [17].
- 2- إن وجود الماء يعمل على تحلل المادة الرابطة بين الحبيبات والتي تؤدي إلى تكوين مناطق ضعف في الصخرة تعمل على تقليل المقاومة.
- 3- يعمل الماء على تقليل معامل الاحتكاك (μ) بين حبيبات الحجر الرملي إذ أن وجود الماء يساعد الحبيبات على الانزلاق والحركة ويسبب نقصاناً في زاوية الاحتكاك الداخلي (Φ)، ومن ثم نقصاناً واضحاً في مقاومة الانضغاط . إن العلاقة بين الإجهاد والانفعال للصخرة موضحة في الشكل (8)، إذ يمثل كل منحنى العلاقة بين الإجهاد والانفعال لنسبة معينة من المحتوى الرطوبي والتي تباينت بين (0%-16%) واللذان يمثلان حالة الجفاف وحالة التشبع على التوالي.

ويبين الشكل أيضاً أن ميل منحنى الانفعال المحوري والجانبى يقل بصورة واضحة مع زيادة المحتوى الرطوبي للصخرة ويعتقد أن السبب في ذلك يعود إلى حدوث عمليات متتالية داخل الصخرة وهي انغلاق الفراغات وتكسر الروابط بين الجزيئات وانزلاق وحركة الجزيئات فوق بعضها ثم ازدياد حجم التشققات وتلاحمها ببعض وأخيراً حدوث انهيار وتحطم لبنية وهيكـل الصخرة، وجميع هذه الظواهر تتسارع بالحدوث مع زيادة المحتوى الرطوبي للصخرة.



أشكل (9) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على العلاقة بين الإجهاد والانفعال [المحوري والجانبى] لصخور الحجر الرملي في فحص الانضغاط أحادي المحور.

3.5 تأثير الترطيب على مقاومة الشد في فحص الانحناء:

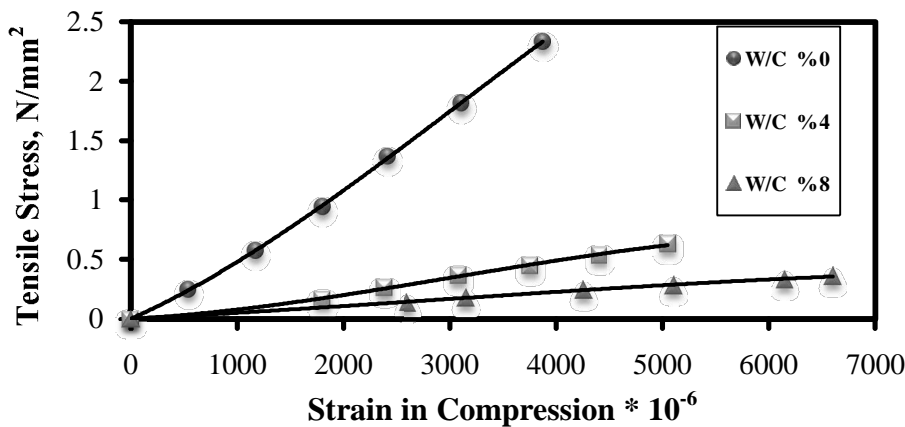
إن أبعاد النماذج المستخدمة في هذا الفحص هي (2.5*4*24 cm) (طول*عرض*سمك) على التوالي، ويبين الجدول (5) معدل النتائج لستة نماذج تم الحصول عليها لكل نسبة من نسب المحتوى الرطوبي (0% , 4% , 8% , 12% , 16%)، وقد لوحظ أن الفشل الحاصل كان ضمن الثلث الوسطي لطول النموذج والواقعة بين المسندين العلويين.

الجدول (5) معدل نتائج فحص الانحناء للنماذج بمحتوى رطوبي متغير

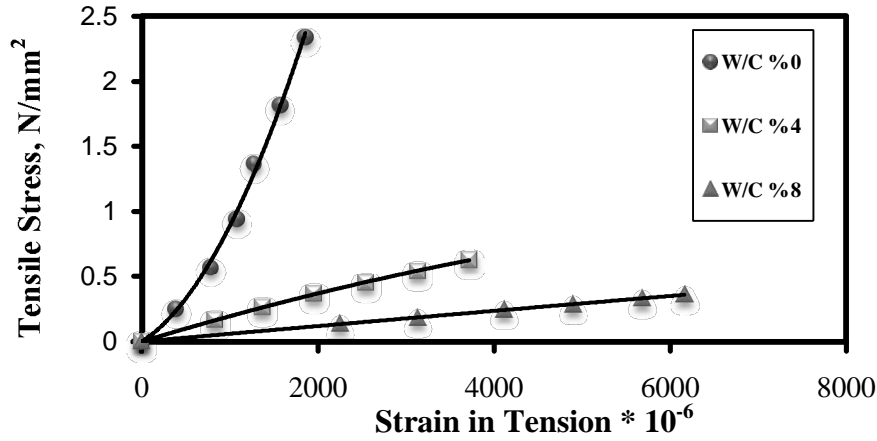
S.D	نسبة النقصان في المقاومة مقارنة بالحالة الجافة (%)	المقاومة الشدية (N/mm ²)	المحتوى الرطوبي
0.479	----	2.335	0%
0.181	73	0.627	4%
0.148	86	0.331	8%
0.098	92	0.178	12%
0.079	94	0.135	16%

من خلال الجدول السابق يمكن ملاحظة تأثير تغير المحتوى الرطوبي على مقاومة الشد، إذ يعمل الماء على تقليل المقاومة بصورة كبيرة بسبب تقليل قوة التماسك والتلاصق بين حبيبات الصخرة والمادة الرابطة، ويظهر تأثير الماء أيضا في أضعاف وتحلل المادة الرابطة بين الحبيبات وبالتالي تقليل عدد نقاط التلاصق التي تتحمل قوة الشد مما يزيد الأجهادات المتولدة في هذه النقاط وبالتالي تقليل مقاومة الشد (1).

تمثل الأشكال (10) ، (11) العلاقة بين الإجهاد والانفعال في حالتها الشد والضغط على التوالي في فحص الانحناء، ونلاحظ من هذه الأشكال أن ميل منحنى الإجهاد والانفعال يقل بزيادة المحتوى الرطوبي، كما نلاحظ أن ميل منحنى الإجهاد والانفعال في حالة الشد يكون أكبر من حالة الانضغاط وان هذا الاختلاف في الميل يكون أكبر ما يمكن في الحالة الجافة ويقل أو يتلاشى مع زيادة المحتوى الرطوبي، وقد يعزى السبب في ذلك إلى أن الماء يعمل على تقليل الاختلاف في خصائص الإجهاد والانفعال بين حالتها الشد والضغط وبالتالي اقتراب المحور المتعادل (Neutral Axis) من المحور المركزي للجسم والذي يمر في منتصف ارتفاع النموذج.



شكل (10) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على العلاقة بين الإجهاد والانفعال في حالة الضغط بفحص الانحناء لنماذج صخور الحجر الرملي



الشكل (11) تأثير تغير المحتوى الرطوبي على العلاقة بين الإجهاد والانفعال في حالة الشد في فحص الانحناء لنماذج الحجر الرملي.

7. الاستنتاجات

1. تقل مقاومة الانضغاط الاحادي المحور (σ_c) و مقاومة الشد غير المباشر في فحص الانحناء (σ_t) بمقدار (89% - 94%) على التوالي وذلك عند زيادة المحتوى الرطوبي للصخرة الى (16%).
2. تقارب مدى المحتوى الرطوبي المسبب للنقصان الكبير في المقاومة من خلال الفحوصات المختلفة، ويتراوح هذا المدى بين (0% - 8%).
3. زيادة قيم الانفعال المحوري (ϵ_a) والانفعال الجانبي (ϵ_l) مع زيادة المحتوى الرطوبي للصخرة في فحوصات الانضغاط أحادي المحور وثلاثي المحاور.
4. مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور تقل بصورة كبيرة مع زيادة المحتوى الرطوبي للصخرة وان الجزء الكبير من النقصان يحدث عند زيادة المحتوى الرطوبي بين (0-4%).

References

- 1- Dube, A. K., and Singh, B., (1972), " Effect of Humidity on Tensile Strength of Sandstone " J. Mines, Metals and Fuels", Vol. 20, No. 1, pp. 8-10.
- 2- Masuda, K., (2001), " Effects of Water on Rock Strength in a Brittle Regime ", Journal of Structural Geology, Vol. 23, pp. 1653-1657.
- 3- Hawkins, A. B., and McConnell, B. J., (1992), " Sensitivity of Sandstone Strength and Deformability to Changes in Moisture Content ", Quart. J. Eng. Geol., Vol. 25, pp. 115-130.
- 4- Thabet, K. M., Khattab, S. I., and Noori, T. M., (1994), " Geotechnical Characteristics of Mosul Marble ", Dirasat (Pure and Applied Sciences), Vol. 21B, No. 6, pp. 25 – 40.
- 5- ISRM., (1979), " Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties ", ISRM. Committee on Standardization of

- Laboratory Tests, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 16, pp. 143-156.
- 6- ASTM (D 854-58) (D 422-63), (1989)," American Society for Testing and Materials ", Vol. 04-08.
 - 7- Elizzi, M. A., (1976), " Time – Dependent Behaviour of Some Evaporate Rocks ", Ph.D. Thesis, University of Sheffield. U.K
 - 8- Franklin, J. A. and Hoeck, E., (1970), " Developments in Triaxial Testing Technique " Rock Mechanics, Vol. 2, pp. 223-228.
 - 9- ISRM., (1979), " Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials ", ISRM. Committee on Standardization of Laboratory Tests, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 16, pp. 137-140.
 - 10- Ali, S.A.and Noori, Th.M.,(1998) ." Effect of oils on the strength and deformation Properties of Limestone " , Proc. Of the sixth Sci,Conference for Foundation Tech. Institutes,Baghdad-Iraq , pp.226-232
 - 11- Noori, T. M., (1989), " Study of the Long – Term Strength of Gypsum ", M.Sc. Thesis, Civil Engg. Dept., College of Engineering, University of Mosul.
 - 12- AL-Mahdawi, S. K., (1985). " 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.
 - 13- Duckworth, W. H., (1951), " Precise Tensile Properties of Ceramic Body ", J. Amer. Cer. Soc., Vol. 34, No. 1, pp. 1 – 9.
 - 14- Kwasniewski, M., (1990), " Effect of Moisture of the Mode of Deformation and Failure of Coal Measure Mudstone Under Triaxial Compression ", Strata Control in Deep Mines, Rotterdam, pp. 169 - 186.
 - 15- Hawkins, A. B., and McConnell, B. J., (1992), " Sensitivity of Sandstone Strength and Deformability to Changes in Moisture Content ", Quart. J. Eng. Geol., Vol. 25, pp. 115-130.
 - 16- Bieniawski , Z.T., (1974)," Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling" , Proceedings of the 3rd International Congress on Rock Mechanics , Denver,pp.27-32.
 - 17- Vutukuri, V. S., (1974), " The Effect of The Liquids on the Tensile Strength of Limestone ", Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 11, pp 27-29.
 - 18- Hellmann, R., Renders, P. J., Gratier, J., and Guiguet, R., (2002), " Experimental Pressure Solution Compaction of Chalk in Aqueous Solutions, Part 1. Deformation Behavior and Chemistry ", The Geochemical Society, Special Publication, No. 7.

تم إجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل