

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 21

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
 3. أهداف البحث و أسئلته.
 4. فرضيات البحث و حدوده.
 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
 7. منهج البحث و إجراءاته.
 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
 9. نتائج البحث.
 10. مقترحات البحث إن وجدت.
 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
- ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
- ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
- ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننأ دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
48-11	هيا ديب د. م. شعبان حديد	مقارنة بين دراسة التسرب في السدود الترابية والركامية باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وبرنامج <i>seep/w</i>
78- 49	جلال عمران د. أكرم صقور	خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوثيرتان <i>/PUR/</i>
120-79	م. محمد عيد أ.د. علي العبدالله	تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على خصائص الزحف للترب الاتخفاسية

مقارنة بين دراسة التسرب في السدود الترابية والركامية باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وبرنامج seep/w

طالبة الماجستير: هيا ديب كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث

إشراف: د. م. شعبان حديد

ملخص :

يُعد التحكم بالتسرب ومنع ارتشاح المياه في المنشآت المائية مهماً للغاية، حيث بينت الدراسات الحديثة أن 30% من حوادث انهيار السدود تحدث بسبب التسرب عبر جسم السد أو عبر الأساس [8].

تم في هذا البحث التحقق من التسرب عبر جسم السد الترابي باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية، حيث تم بناء نموذج شبكة عصبية اصطناعية ذات تغذية أمامية تستخدم تابع sigmoid كتابع تنشيط لحساب تدفق التسرب عبر جسم السد، بالإضافة لحساب مناسيب خط الإشباع phreatic line، حيث تم تحقيق هذا الهدف من خلال استخدام صندوق الشبكات العصبية في برنامج MATLAB 6. تمت دراسة التسرب أيضاً باستخدام برنامج seep/w، وتم إجراء مقارنة بين نتائج الطريقتين.

أثبتت نتائج الدراسة أن الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) تعطي نتائج جيدة في تقدير التسرب في السدود الترابية والركامية.

الكلمات المفتاحية: الشبكات العصبية الاصطناعية، خط الإشباع، طريقة العناصر المحدودة، السدود الترابية.

Comparison Between the Study of seepage in Earth-fill and Rock-fill Dams Using Artificial Neural Networks and Seep/w

ABSTRACT

Preventing water penetration and seepage control is of prime importance in hydraulic structures projects. Recent studies show that 30% of dam failures are due to the seepage from dam's body or foundation[8].

This paper concerns to investigate the amount of seepage through the earth dam with core using an artificial neural network model. For this purpose, MATLAB 6.0 Neural Network Toolbox is used. The ANN model was a feedforward neural network employing a sigmoid function as activator to estimation the seepage discharge in earthfill dam's body and the level of phreatic line.

Also ,In this study, seepage through an earthfill dam's body is investigated by finite elements software SEEP/W.

The results of the research verify that Artificial Neural Networks (ANN) gives a good result in estimating seepage in earthfill and rockfill dams.

Keywords: Artificial Neural Network(ANN), line phreatic , finite element method, earthfill dam's .

1. المقدمة Introduction :

يمكن أن يؤدي تدفق المياه عبر التربة إلى حركة حبيبات التربة، واستمرار هذه الحركة يسبب التآكل. هناك كثير من العوامل التي يمكن أن تؤثر في حركة حبيبات التربة بما في ذلك التدرج الهيدروليكي، لدونة التربة، حجم الحبيبات، التوتر الشعري، وأسباب أخرى [14]. يؤدي حدوث التسرب في السدود الترابية إلى حدوث بعض المشاكل والتي قد تصبح خطرة على استقرار وتوازن السد [7]. حيث يعتبر التسرب المتدفق عبر السدود الترابية هو السبب الرئيسي الذي يؤدي إلى الانهيار [1]. من هنا تأتي أهمية التحكم بالتسرب حيث تبين الدراسات الحديثة أن (25-30%) من حوادث انهيار السدود تحدث بسبب التسرب عبر جسم السد أو عبر الأساس [6,12].

دفعت إخفاقات السدود المسجلة في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر إلى البحث عن طرق علمية أكثر لتصميم وبناء السدود، و اعتمدت الدراسات على علاقة Henri Darcy في عام 1856. في بدايات القرن التاسع عشر تم تطوير طريقة تخطيطية بواسطة Forchhiemer للحصول على حلول تقريبية لمعادلة لابلاس، وجرى استخدام هذه الطريقة على نطاق واسع للسدود الترابية. منذ ذلك الحين أصبح حل معادلة لابلاس عن طريق الحل التخطيطي أو باستخدام نماذج التشابه الكهربائية إجراءً قياسياً لتحليل التسرب [3].

قام (Rezk&Senoon,2011) بدراسة مشكلة التسرب في سد ترابي مع نواة مستند على أساس كتيم بشكل تجريبي، حيث تم تعيين موضع نقطة خروج خط التسرب في كل مقطع (بشكل خاص في النواة). أكدت النتائج على وجود توافق وثيق بين الحل المقترح و الحلول الأخرى [13].

تتلخص مسألة حساب التسرب في السدود الترابية في تحديد موضع خط الإشباع وتحديد تصريف الماء المتسرب وسرعة تدرج الضغط في أي نقطة من نقاط منطقة التسرب وللحصول على منحنى خط الإشباع يتم رسم شبكة الجريان [8]. قدم كاساغراندي (casagrande) مناقشة كاملة لهذه الطريقة كما قدم بافلوفسكي مقارنة للحل بالطريقة

التخطيطية مع الحل التحليلي من خلال مناقشته للتسرب في السدود الترابية [11]. ولكن الطريقة التخطيطية تستغرق وقتاً طويلاً ، وتعتمد على المهارات الشخصية [3].

تم إجراء العديد من دراسات التسرب باستخدام النماذج الفيزيائية والتي تعطي صورة عامة لسلوك التسرب من خلالها السدود الترابية، ومع ذلك بما أن النمذجة الفيزيائية لها العديد من القيود ، فإن النمذجة العددية التي تعتمد على الحل الرياضي هي الطريقة الأخرى المستخدمة في العديد من دراسات التسرب ذات الحل الأكثر تعقيداً [2,3].

و في دراسة أخرى تمت دراسة التسرب عبر جسم سد ترابي (مع / بدون نواة داخلية) عددياً باستخدام برنامج (2012) GEOSTUDIO ، وجرى التحقق من التحليل العددي باستخدام نموذج تجريبي ، و قد لوحظ أن الفرق الأقصى بين النتائج لا يتجاوز (18%) ، [14].

وأجريت دراسة لحساب التسرب عبر السدود الترابية باستخدام النماذج الفيزيائية والرياضية والعددية ، وقد أظهرت نتائج الحسابات الرياضية باستخدام حلول كاساغراندي ونموذج seep/w العددي خط تسرب متوافق مع خط التسرب الملحوظ في النموذج الفيزيائي [3].

في إحدى الدراسات تم إجراء ما يقارب 600 نموذج هندسي لسد مع نواة تم حله عددياً، ثم استخدمت نتائج التحليل لتطوير معادلات تقريبية جديدة لحساب تدفق التسرب عبر جسم السد، وجرى مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من المعادلات التقريبية مع نتائج المحاكاة العددية والمعادلات المقترحة من قبل باحثين آخرين، وبينت المقارنة أن المعادلات المقترحة قادرة على التنبؤ بحجم التسرب عبر جسم السد و بدقة عالية. كما أنها أفضل نسبة إلى النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج [7] .

تناولت دراسة أخرى التسرب باستخدام برنامج seep/w و برنامج FLAC2D وقد تبين أن النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج FLAC 2D أكثر دقة من برنامج seep [15] 2D.

تم في الآونة الأخيرة استخدام الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) كنموذج الصندوق الأسود طريقة بديلة جيدة و يمكن أن توفر تنبؤات مفيدة بدون وقت المعايرة المكلف وتستخدم على نطاق واسع للتنبؤ في العديد من دراسات الموارد المائية والهيدرولوجيا [12]. جرى استخدام نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية للتحقق من التسرب عبر جسم سد ترابي، وفي هذه الدراسة مستويات المياه أمام و خلف السد هي المدخلات ومستويات المياه في أجهزة قياس الضغط (البيرومتري) هي المخرجات المستهدفة في نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية. وكانت النتائج التي تم الحصول من الشبكات جيدة مقارنة بالبيانات المقاسة [6].

تطرت دراسة أخرى إلى إيجاد معادلة جديدة لحساب كمية التسرب خلال السدود الترابية المتجانسة التي لها منظومة تصريف أفقية و تم استخدام البرنامج الحاسوبي $seep/w$ وجرى تحليل النتائج المستحصلة باستخدام نظرية الشبكات العصبية . كانت متغيرات الإدخال هي الأبعاد الهندسية مثل : ميل المنحدر الأمامي ، ميل المنحدر الخلفي ، ارتفاع السد ، الارتفاع الحر ، طول المصرف الأفقي و عرض قمة السد و نفاذية تربة السد. أما متغير الإخراج فهو معدل كمية التسرب. وقد أظهرت المقارنة وجود تطابق جيد جداً بين نتائج البرنامج والمعادلة، [9].

تم في دراسة مماثلة استخدام برنامج $seep/w$ للتحقق من كمية التسرب خلال سد ترابي متجانس مع نواة. و قدم معادلة أولية من أجل تقدير كمية التسرب خلال سد ترابي مع نواة يستند على أساس كتيمة، كذلك استخدم الشبكة العصبية بينت النتائج توافقاً كبيراً بين النتائج [10].

2. هدف البحث Aim of the search :

يؤدي التسرب في السدود الترابية إلى حدوث بعض المشاكل والتي قد تصبح خطرة في حال حدوث التعرية للحوز السفلي، أو بسبب التسرب وتشكل أنابيب عبر جسم السد مما قد يؤثر على استقرار وتوازن السد [10]. يهدف البحث إلى دراسة التسرب في السدود

الترابية والركامية باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية وبطريقة العناصر المحدودة ومقارنة نتائج الطريقتين .

3. طرائق البحث ومواده **Materials and methods**:

تم في هذا البحث تحليل تأثير كل من نفاذية تربة موشور جسم السد و نفاذية تربة النواة وميول النواة وميول جسم السد على التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط الإشباع . كما تم بناء شبكة عصبية اصطناعية ذات تغذية أمامية باستخدام برنامج 6 MATLAB لحساب قيم تدفق التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط التسرب . تعرف الشبكات العصبية بأنها شبكات ذات ترابط (تواصل) كثيف فيما بينها تضم عناصر بسيطة ومتوازية (وعادة ما تكون قابلة للتكيف) وذات تنظيم هرمي ، و تتفاعل مع كائنات العالم الحقيقي بنفس الطريقة التي يتفاعل بها النظام العصبي الطبيعي (البيولوجي) مع العالم الحقيقي [4] . تتكون الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية من نظام خلايا عصبية يتم ترتيبها في طبقات ، حيث تتكون هذه الشبكات من طبقة خفية واحدة على الأقل Hidden Layer ، فضلاً عن طبقة الإدخال وطبقة الإخراج ، إذ يرتبط كل عصبون في كل طبقة مع كل عصبون في الطبقة التالية بوزن معين w الذي يتم ضبطه أثناء التدريب [5].

إن الشبكة العصبية الأكثر انتشاراً في مجال الموارد المائية هي الشبكة العصبية الصناعية ذات التغذية الأمامية و يقصد بالتغذية الأمامية أنها تنقل العمليات الحسابية في اتجاه واحد للأمام من طبقة المدخلات إلى طبقة المخرجات عبر الطبقة الخفية . ومن الأمثلة على هذا النوع من الشبكات نذكر الشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي للخطأ Feed Forward Back Propagation Artificial Neural Network ، وسميت بالشبكات ذات الانتشار العكسي للخطأ لأن المخرجات الحسابية للشبكة تقارن مع المخرجات الفعلية ، والفرق في قيمهما يدعى بالخطأ ، حيث تقوم هذه الشبكة بنشر الخطأ من طبقة المخرجات مروراً بالطبقات الخفية إلى طبقة المدخلات أي بآلية معكوسة لعملية حساب المخرجات [1].

أيضا جرى دراسة التسرب باستخدام برنامج seep/w إحدى الحزم البرمجية من برنامج (2012) GEO_STUDIO وهو منتج برمجيات العناصر المحدودة لتحليل تسرب المياه الجوفية ومشاكل تبدد ضغط المياه داخل المواد المسامية مثل التربة والصخور. تسمح صياغته الشاملة بالتحليلات التي تتراوح من مشاكل الحالة المستقرة البسيطة والمشعبة إلى المشكلات المعقدة (حالة مشعبة وغير مشعبة) والتي تعتمد على الوقت. يمكن تطبيق Seep/w على تحليل وتصميم مشاريع الهندسة الجيوتكنية والمدنية و الهيدروجيولوجية والتعدين و صيغته البرمجية المطورة تجعل من الممكن تحليل صيغة تسرب المياه المعقدة للغاية [3,9,14,15].

4- النتائج والمناقشة :

4-1- دراسة تأثير العوامل المختلفة:

قبل البدء ببناء الشبكة العصبية سنقوم بدراسة تأثير كل من (نفاذية تربة موشور جسم السد ،نفاذية تربة النواة ،ميول السد ،ميول النواة) على قيم تدفق التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط التسرب، ومن أجل ذلك تم تثبيت كل العوامل واعتبار المتغير التي تتم دراسة تأثيره هو المتغير الوحيد .

سيتم تحديد قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد باستخدام علاقة بافلوفسكي لحساب التسرب في سد ترابي مع نواة مركزية وموشور صرف يستند على أساس كتيم، و تعطى العلاقة بالشكل الآتي [8] :

$$qt = K_T \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(L_p + L_d)} \quad (1)$$

باعتبار $L_d = 0$ ، تصبح العلاقة كما يلي :

$$qt = K_T \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(L_p)} \quad (2)$$

سنقوم باعتبار قيم ارتفاع الماء أمام السد وخلف السد ثوابت.

$$L_p = \Delta L + m_1 \cdot d + B_1 + m_2(H_1 + d - h_d) - m_3 \cdot h_d \quad (3)$$

$$\Delta L = \beta \cdot H_1 \quad (4)$$

حيث: qt : قيمة التسرب عبر جسم السد (m^3/day)، K_T : نفاذية تربة جسم السد (m/day)، H_1, H_2 : ارتفاع الماء أمام وخلف السد (m)، m_1, m_2 : الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، m_3 : ميل موشور الصرف، d : الارتفاع الإضافي

$$\beta: \text{معامل يحدد بالعلاقة التالية: } \beta = \frac{m_1}{2m_1+1}$$

عندما $m_1 \geq 2$ فإن $\beta = 0.4$

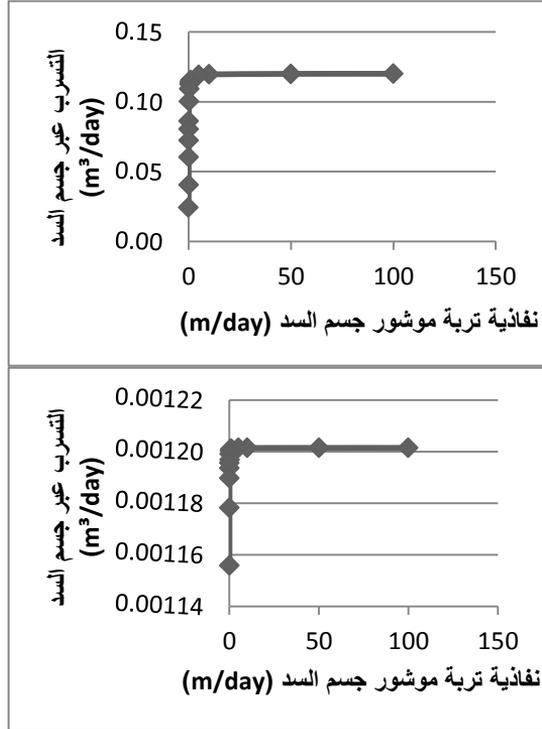
و تستخدم علاقة ديبيويه لحساب قيم مناسب خط الإشباع والتي تعطى بالشكل:

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{2 \cdot qt \cdot x}{K_t}} \quad (5)$$

أولاً: تأثير نفاذية تربة موشور جسم السد:

تم تغيير نفاذية تربة موشور جسم السد و جرى دراسة 15 حالة تتراوح بين - 0.01 (ميل 100 m/day)، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثوابت وهي: (ميل المنحدر الأمامي لجسم السد $m_1=2.5$ ، ميل المنحدر الخلفي لجسم السد $m_2=2.5$ ، ميول النواة $m_3=0.2$ ، نفاذية تربة النواة $k_c = 0.00008 \text{ m/day}$ ، ارتفاع الماء أمام السد $H_1=14.5 \text{ m}$ ، ارتفاع الماء خلف السد $H_2=0\text{m}$ ، عرض قمة السد $B=5\text{m}$ ، الارتفاع الإضافي للسد $d=2.5 \text{ m}$ ، ارتفاع موشور الصرف $(h_d = 4 \text{ m})$.

تم حساب قيمة تدفق التسرب وفق علاقة بافلوفسكي لحساب التسرب في جسم سد ترابي مع نواة مركزية وموشور صرف لسد يستند على أساس كتيمة (العلاقة: 1)، كما تم حساب مناسيب التسرب باستخدام علاقة ديبويه (العلاقة: 5). يوضح الشكل (1) العلاقة بين نفاذية تربة موشور جسم السد والتسرب عبر جسم السد المحسوبة وفق (العلاقة: 1).



ب- حالة سد ترابي

أ- حالة سد ركامي

الشكل (1): علاقة نفاذية جسم السد مع قيمة التسرب عبر جسم السد

تؤدي زيادة نفاذية جسم السد إلى زيادة التسرب عبر جسم السد حتى قيمة معينة يصبح بعدها تأثير الزيادة ضئيلاً كما يتضح من الشكل (1). يوضح الشكل (2) تأثير نفاذية تربة موشور جسم السد مع مناسيب المياه في خط الإشباع، حيث تم حساب مناسيب خط الإشباع في خمس نقاط وهي :

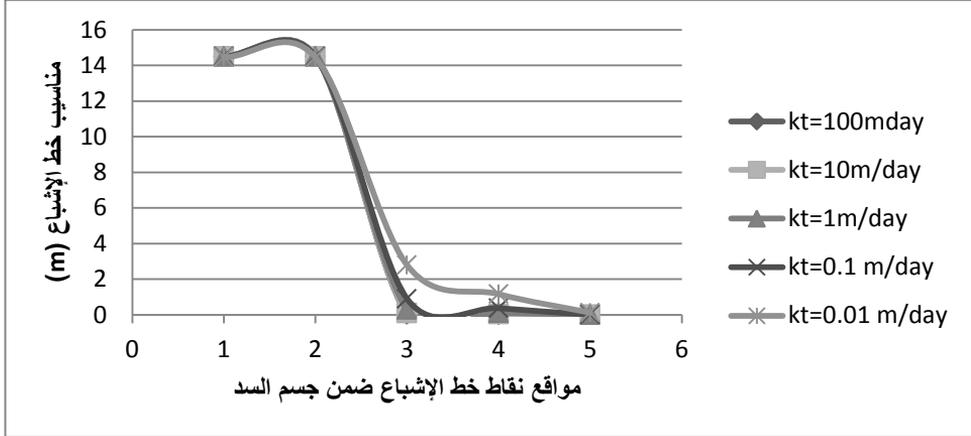
النقطة الأولى: نقطة دخول خط الإشباع لجسم السد (بداية خط الإشباع).

النقطة الثانية وهي نقطة دخول خط الإشباع للنواة .

النقطة الثالثة : نقطة خروج خط الإشباع من النواة .

النقطة الخامسة وهي نقطة التقاء خط الإشباع مع منحدر موشور الصرف.

النقطة الرابعة: تم اختيار نقطة إضافية بين النقطة الثالثة (نقطة خروج خط الإشباع من النواة) وبين النقطة الخامسة (نقطة التقاء خط الإشباع مع منحدر موشور الصرف). وقد تم اعتبار هذه النقطة بداية المصطبة الثانية .



الشكل (2): تأثير نفاذية جسم السد على مناسيب خط الإشباع

يبين الشكل (2) أن زيادة نفاذية تربة موشور جسم السد K_T تؤدي إلى انخفاض مناسيب خط الإشباع، نلاحظ أن تأثير نفاذية تربة موشور جسم السد يكون واضحاً عندما تكون نفاذية جسم السد أصغر من القيمة (0.1 m/day)، بينما يكون تأثير تغير نفاذية جسم السد ضئيلاً على تغير قيم مناسيب خط الإشباع عندما تكون قيمة النفاذية أكبر من 0.1 (m/day).

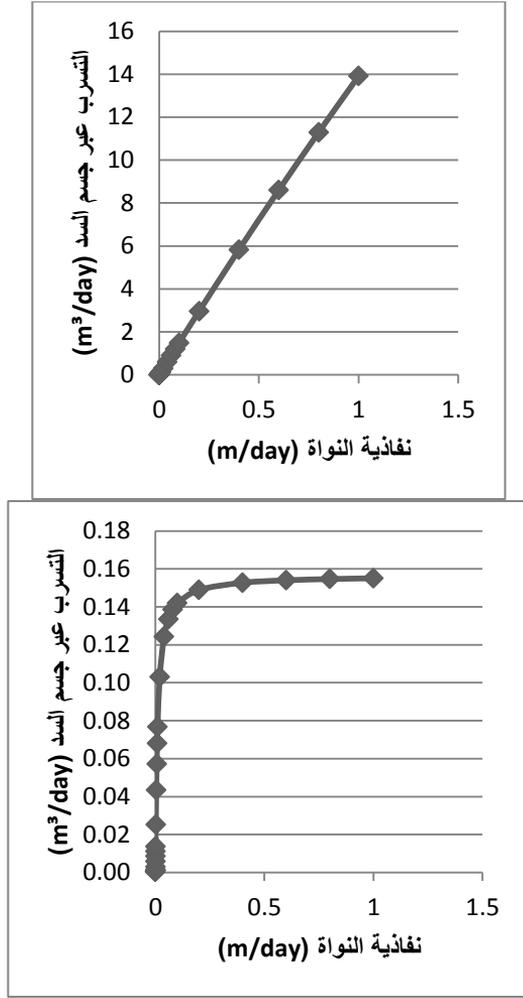
نلاحظ من الشكل (2) أنه كلما انخفضت نفاذية تربة موشور جسم السد ارتفعت مناسيب خط الإشباع، ولكن عندما تكون نفاذية تربة موشور جسم السد أكبر من 0.1 (m/day) يمكننا إهمال تأثير نفاذية جسم السد على قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد وكذلك على مناسيب خط الإشباع، كما أن تأثير نفاذية جسم السد على تدفق التسرب ومناسيب خط الإشباع يتعلق بقيمة نفاذية النواة .

تم التمييز بين حالتين الحالة الأولى هي حالة سد ركامي حيث تتراوح معامل نفاذية تربة موشور جسم السد بين القيم (0.1-100 m/day) ، والحالة الثانية عندما تكون قيمة نفاذية تربة موشور جسم السد أصغر من القيمة 0.1 m/day فإن السد يكون ترابي.

ثانياً: تأثير نفاذية تربة النواة:

بنفس الطريقة تم تغيير نفاذية تربة النواة وجرى دراسة 25 حالة تتراوح بين $(\div 2.10^{-5})$ (1 m/day) ، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثوابت . أما نفاذية تربة موشور جسم السد فتم التمييز بين حالتين: الأولى عندما تكون نفاذية تربة موشور جسم السد (60 m/day) و الثانية عندما تكون نفاذية تربة موشور جسم السد (0.05 m/day) .

تم حساب قيمة تدفق التسرب وفق المعادلة (1) ، وجرى تحديد مناسب خط الإشباع باستخدام المعادلة (5) . يوضح الشكل (3) دراسة تأثير تغير نفاذية تربة النواة على قيم تدفق التسرب بينما يوضح الشكل (4) تأثير تغير نفاذية تربة موشور جسم السد على مناسب خط الإشباع .



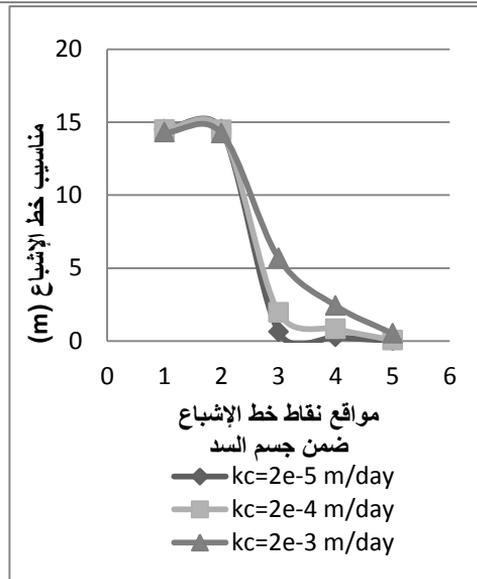
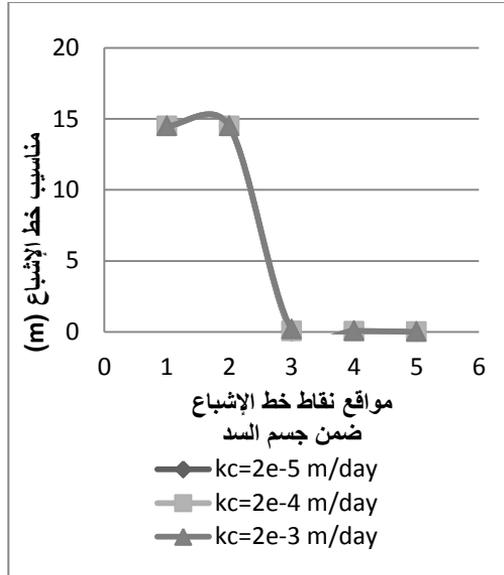
ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

الشكل (3): تأثير نفاذية النواة على قيم التسرب عبر جسم السد: (أ- حالة سد ترابي. ب- حالة سد ركامي)

يبين الشكل (3) أن زيادة نفاذية النواة تؤدي إلى زيادة التسرب عبر جسم السد و تكون العلاقة طردية بين نفاذية النواة وتدفق التسرب في حالة سد ركامي، حيث نلاحظ أنه كلما ازدادت نفاذية النواة تستمر قيم تدفق التسرب في الزيادة، بينما تأخذ العلاقة شكلاً لوغاريتمياً في حالة سد ترابي، حيث يزداد التسرب مع زيادة نفاذية تربة النواة حتى قيمة

معينة لنفاذية النواة (في الحالة المدروسة هي القيمة 0.5 m/day) يصبح بعدها تأثير الزيادة على قيمة التسرب ضئيل للغاية و يصبح المنحني مستقيم .ويوضح الشكل (4) تأثير تغير نفاذية تربة النواة على مناسيب خط الإشباع .



ب- حالة سد ركامي

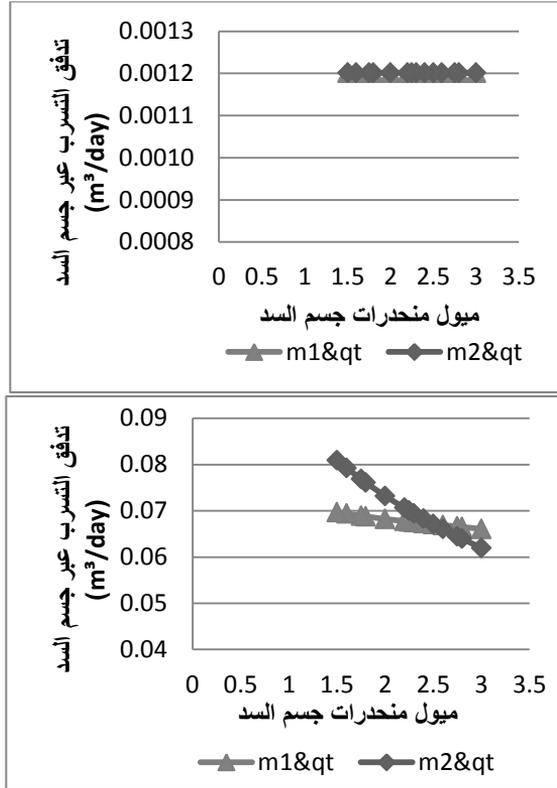
أ- حالة سد ترابي

الشكل (4): تأثير نفاذية تربة النواة على مناسيب خط الإشباع (أ- حالة سد ترابي، ب- حالة سد ركامي)

نلاحظ من الشكل (4) أن انخفاض نفاذية تربة النواة يؤدي إلى ارتفاع مناسيب خط الإشباع في النقاط بعد النواة، إلا أن منسوب خط التسرب (الإشباع) ينخفض عند نقطة الدخول للنواة بانخفاض نفاذية النواة (حالة سد ترابي). بينما يكون تأثير تغيير قيمة نفاذية النواة ضئيل على مناسيب خط الإشباع (حالة سد ركامي) حيث تكاد تكون الخطوط منطبقة على بعضها البعض .

ثالثاً: تأثير الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد m_1 :

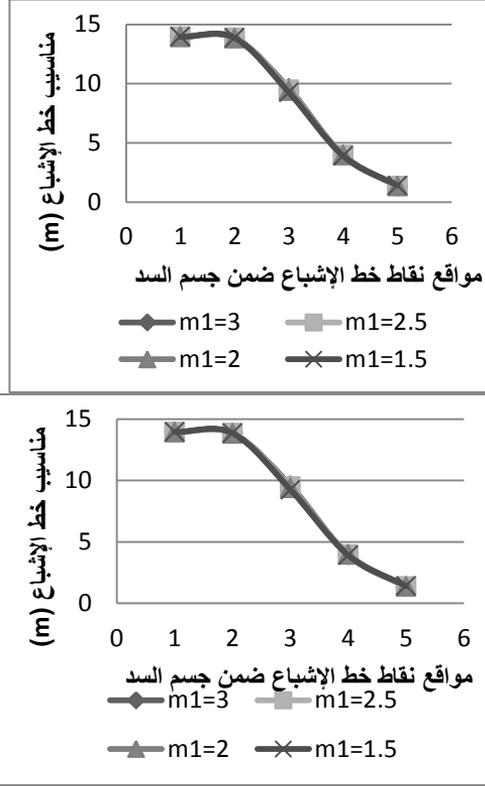
تم تغيير قيمة الميل الأمامي لجسم السد وتم دراسة 14 حالة لكل من ميل المنحدر الأمامي والخلفي لجسم السد وتراوحت قيم الميول المدروسة بين (1.5 ÷ 3)، باعتبار بقية المتغيرات في علاقة بافلوفسكي ثوابت . جرى حساب قيمة تدفق التسرب ومناسيب خط الإشباع بالعلاقات (1)، (5) على الترتيب . يوضح الشكل (5) تأثير الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد على قيم تدفق التسرب عبر جسم السد .



ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

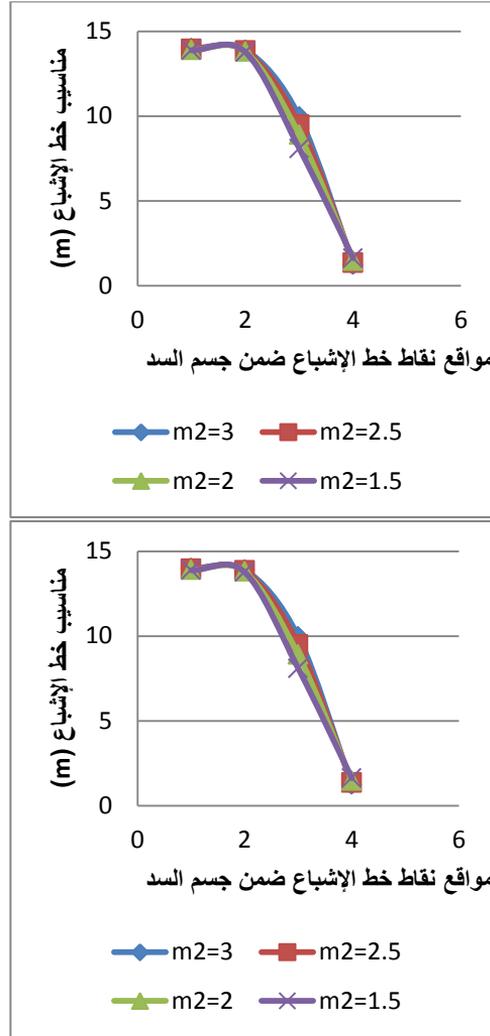
الشكل (5): تأثير ميوول السد على التسرب عبر جسم السد (أ-سد ترابي، ب- سد ركامي) نلاحظ من الشكل (5) أن زيادة ميوول منحدرات جسم السد تؤدي إلى انخفاض قيم تدفق التسرب عبر جسم السد، ويكون هذا التغيير واضحاً في حالة سد ترابي، بينما يكون تأثير تغير الميوول على قيمة التسرب ضئيلاً في حالة سد ركامي بحيث يكاد يكون المنحني مستقيماً، ولذلك فإنه بإمكاننا إهمال تأثير ميوول السد عند دراسة التسرب عبر السدود الركامية . يبين الشكل (6) تأثير تغير الميل الأمامي لجسم السد على مناسيب خط الإشباع



ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

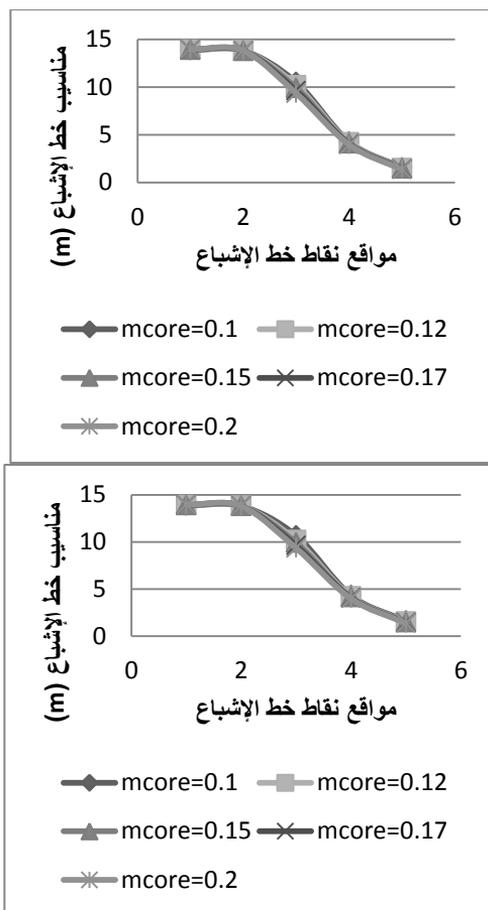
الشكل (6): تأثير الميل الأمامي السد على مناسيب خط التسرب (أ-ترابي، ب-ركامي)
 نلاحظ من الشكل (6) أن تأثير ميل جسم السد على منسوب خط التسرب ضئيل للغاية بحيث تكاد تكون الخطوط منطبقة على بعضها البعض وذلك في كلا الحالتين (سد ترابي ،سد ركامي) ،حيث رغم وجود تأثير للميل الأمامي للسد في حالة السدود الترابية إلا أن هذا التأثير ضئيل للغاية.
 أما تأثير تغير الميل الخلفي لجسم السد على مناسيب خط الإشباع فهو موضح في **الشكل (7).**



أ- حالة سد ترابي ب- حالة سد ركامي

الشكل (7): تأثير ميل الوجه الخلفي للسد على مناسيب خط التسرب (أ-ترابي ، ب- ركامي)

يوضح الشكل (7) أن زيادة ميل المنحدر الخلفي لجسم السد يؤدي إلى ارتفاع منسوب خط الإشباع عند نقطة الخروج من النواة وأن هذا التأثير يكون قليلاً ، ويكون تأثير تغير ميل الوجه الخلفي في حالة سد ركامي أقل منه في حالة سد ترابي .



ب- حالة سد ركامي

أ- حالة سد ترابي

الشكل (9): تأثير ميول النواة على مناسيب خط التسرب (أ-ترابي ،ب-ركامي)

يبين الشكل (9) أن زيادة ميول النواة في كل من حالة سد ترابي أو ركامي تأثيرها ضعيف جداً على مناسيب خط الإشباع، إلا أن هذه الزيادة تؤدي إلى انخفاض منسوب خط الإشباع عند نقطة الخروج من النواة . وتملك ميول النواة تأثيراً أكبر من تأثير ميول السد على مناسيب خط الإشباع في كلا الحالتين .

2-4- تحليل العوامل :

إذا كانت النسبة (نفاذية جسم السد/ نفاذية النواة) أو (kt/kc) صغيرة فإن تأثير كل من ميول النواة وميل جسم السد يكون أوضح . وهذا ما يفسر تأثير ميول السد في حالة السد

ترابي، وانعدام تأثيرها عندما يكون السد ركامياً كون النسبة (kt/kc) تكون كبيرة في السدود الركامية. وبالتالي يمكننا أن نميز بين حالتين :

- أ- الحالة الأولى :حالة سد ترابي عندما تكون نفاذية جسم السد أصغر من 0.1 m/day عندها نلاحظ أن ميول جسم السد يكون لها تأثير على قيمة التسرب .
- ب- الحالة الثانية: حالة سد ركامي في هذه الحالة يمكن إهمال تأثير تغير كل من ميول جسم السد ونفاذية جسم السد وتكون العوامل المؤثرة على قيمة التسرب هي نفاذية النواة وميولها فقط.

3-4- بيانات الشبكة العصبونية :

نستنتج من التحليل السابق للبيانات أن العوامل المؤثرة في حال السد الترابي تختلف عما هي عليه في حالة سد ركامي ، حيث تدخل جميع العوامل في حالة السد الترابي ،بينما العاملان المؤثران في حالة سد ركامي هما نفاذية تربة النواة وميول النواة .وفي دراستنا سيتم بناء شبكة عصبية لحالة سد ترابي وأخرى لحالة سد ركامي .

آ- الحالة الأولى (سد ترابي):

سنقوم عند دراسة هذه الحالة بإدخال العوامل الآتية :نفاذية تربة موشور جسم السد (k_t) مقدره ب (m/day)، نفاذية تربة النواة (k_c) مقدره ب (m/day)، ميل المنحدر الأمامي لجسم السد (m_1)، ميل المنحدر الخلفي لجسم السد (m_2)، ميول النواة (m_3) .وسندرس حالة نواة مركزية فقط لحساب تدفق التسرب عبر جسم السد ومناسيب خط الإشباع.

تم دراسة مجموعة مختلفة من الحالات ،ومن أجل الوصول إلى أفضل أداء للشبكة العصبية ،جرى اختيار العوامل بحيث تتراوح ضمن مجال يغطي أغلب الحالات التي يمكن أن نصادفها في تصميم السد ،وقد تراوحت قيم الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد بين القيمتين (1.5-3.5) ، أما قيم ميول النواة (دراسة حالة النواة المركزية فقط) وقمنا باختيار قيم ميول النواة وفق معايير التصميم [12]، و تحصر سماكة النواة المركزية من الأسفل بالقيمة $(0.3-0.5)H_D$ ،حيث H_D : ارتفاع جسم السد .

وبالتالي كانت سماكة النواة المركزية بين (7.5-12.25 m). وتم اختيار مجموعة من القيم بحيث تتراوح السماكة السفلية ضمن هذا المجال، بينما كانت سماكة النواة من الأعلى (2m). وعليه حددت قيم الميول الموافقة والتي تتراوح بين (0.1-2). وتم اختيار نفاذية تربة موشور جسم السد والنواة اعتماداً على الجدول (1).

الجدول (1): قيم معامل النفاذية تبعاً لنوع التربة مقدرة (cm/sec)

نوع التربة	النفاذية (cm/s)	نوع التربة	النفاذية (cm/s)
غضار عادي	$10^{-9} - 10^{-7}$	رمل ناعم	$10^{-5} - 10^{-2}$
غضار رملي	$10^{-9} - 10^{-7}$	رمل خشن	$10^{-2} - 10^{-1}$
سيلت رملي	$10^{-7} - 10^{-4}$	تربة حصوية	$10^{-1} - 1$
		فتات صخري	1-10

اختيرت قيم النفاذية وفقاً لمعطيات الجدول (1)، و تم فرض القيم ميول جسم السد (1.5- 3.5) ، و ميول النواة (0.1-0.15-0.2) ، نفاذية تربة موشور جسم السد (0.8- 0.008 m/day) ، نفاذية تربة النواة (0.08-0.008-0.0008) لبناء الشبكة العصبونية لسد ترابي.

ولكن من غير المنطقي أن تكون قيم نفاذية تربة موشور جسم السد أكبر من نفاذية تربة النواة لذلك قمنا بحذف الحالات التي تكون فيها نفاذية تربة النواة أصغر من نفاذية تربة موشور جسم السد ، وكان عدد الحالات الكلية: 567 حالة.

تم بناء الشبكة العصبية ، وتغيير عدد العصبونات في كل مرة بالإضافة إلى عدد الطبقات الخفية وبالتدريب تم الوصول إلى أفضل نتائج. في النهاية تم بناء شبكة عصبية لحساب قيمة تدفق التسرب وأخرى لحساب قيمة المناسيب خط الإشباع

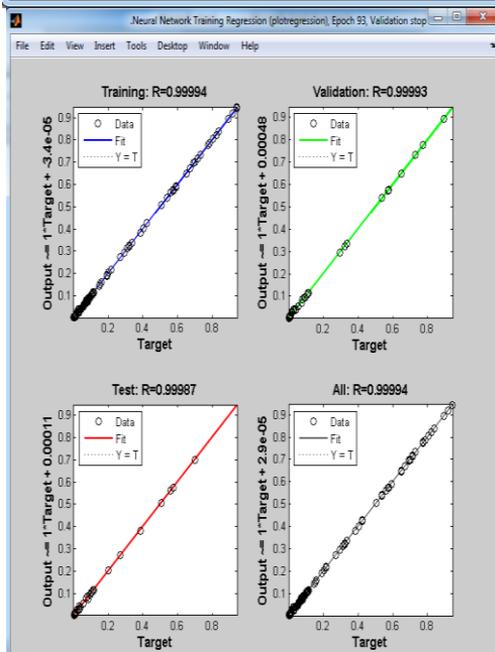
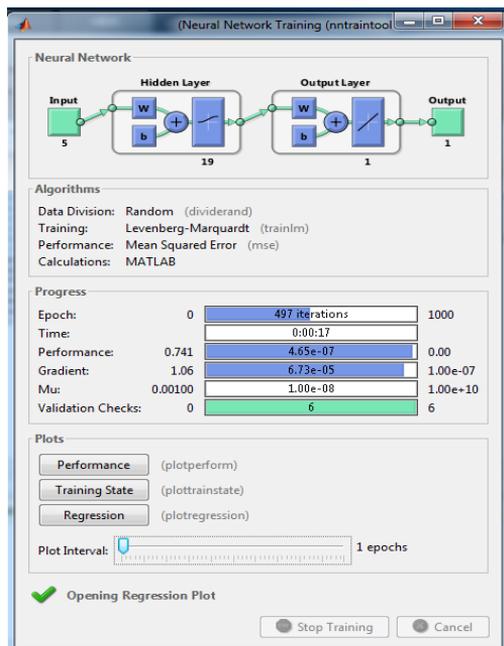
1- بنية الشبكة العصبية لدراسة (التسرب فقط):

عناصر طبقة الدخل في هذه الشبكة هي: الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، ميول النواة، نفاذية تربة النواة، نفاذية تربة موشور جسم السد. عناصر طبقة الخرج: قيمة التسرب. بنية الشبكة: تتألف الشبكة من 19 عصبوناً، تابع التدريب trainlm، تابع التفعيل logsig.

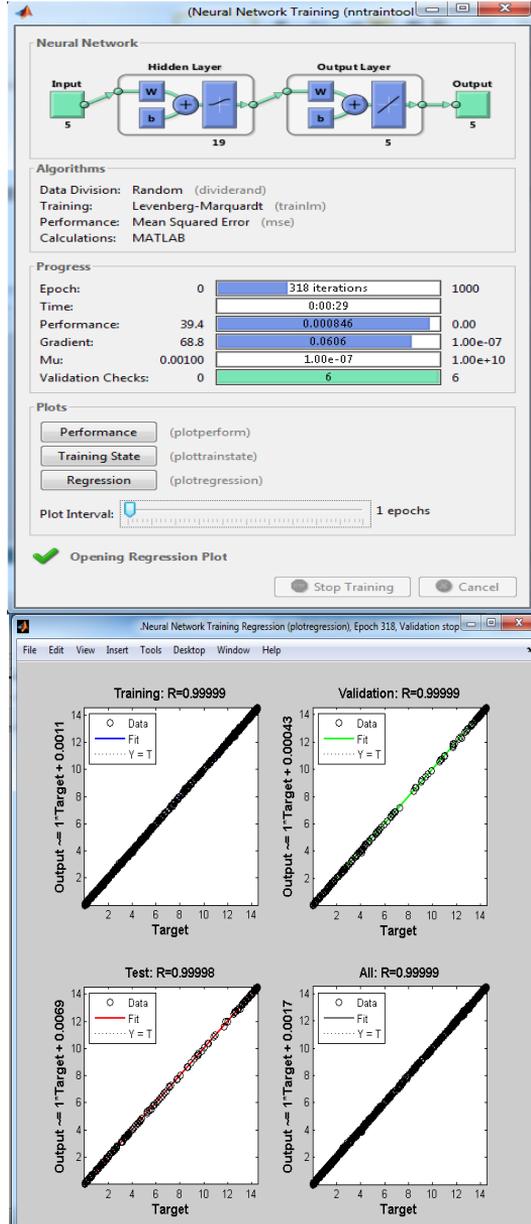
```
net=newff(p,t,19,{'logsig'},'trainlm');
net.trainparam.epochs=1000;
net.trainparam.goal=0;
net.trainparam.lr=0.01;
net.divideparam.trainratio=0.8;
net.divideparam.testratio=0.1;
net.divideparam.valratio=0.1;
net=train(net,p,t);
```

تم تدريب الشبكة وكانت نتائج التدريب جيدة وقيمة الخطأ في عملية التحقق () 0.99993، وفي عملية الاختبار (0.99997)، وكانت قيمة متوسط الخطأ التربيعي (4.65e-7)، ويوضح الشكل (10) عملية التدريب ضمن برنامج MATLAB 6.

تم أيضاً بناء نفس بنية الشبكة، وكانت عناصر طبقة الدخل ذاتها (الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، ميول النواة، نفاذية تربة النواة، نفاذية تربة موشور جسم السد). بينما عصبونات طبقة الخرج فهي مناسبة لخط التسرب (الإشباع). تم تدريب الشبكة وكانت نتائج التدريب جيدة حيث كان الخطأ في عملية التحقق (0.99999) وفي عملية الاختبار (0.99998)، وكانت قيمة متوسط الخطأ التربيعي (0.000146)، ويوضح الشكل (11) عملية التدريب.



الشكل (10): تدريب الشبكة العصبونية لحساب التسرب عبر سد ترابي

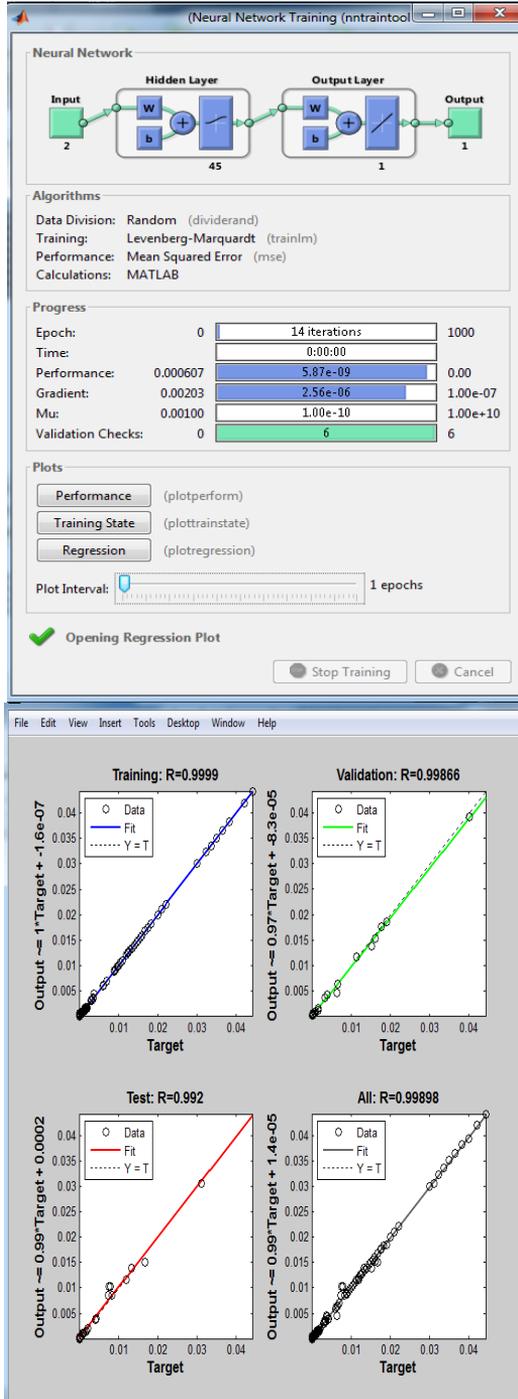


الشكل (11): تدريب الشبكة العصبونية لحساب مناسيب خط التسرب عبر سد ترابي

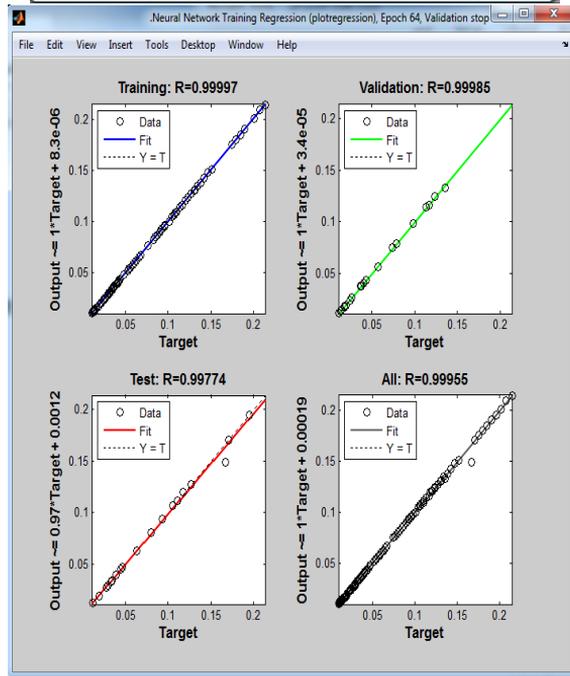
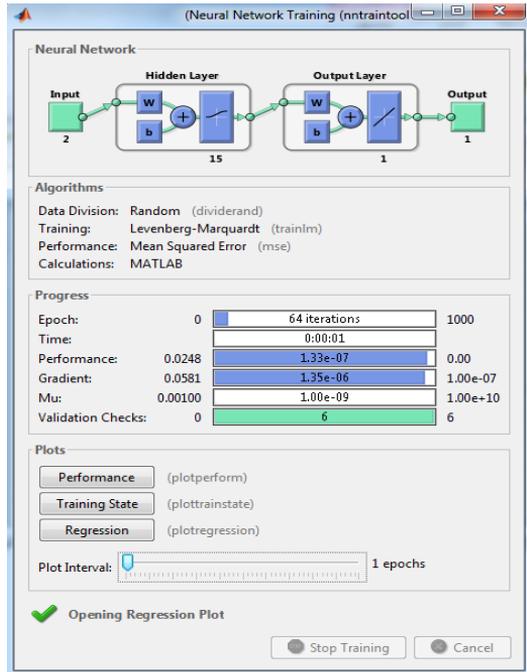
ب- الحالة الثانية (حالة سد ركامي) :

كما ذكرنا سابقاً فإن العوامل المؤثرة في قيم التسرب في حالة السد الركامي هي نفاذية تربة النواة وميول النواة ، لذلك فعند القيام ببناء شبكة لحساب قيمة التسرب عبر جسم السد سندخل هذه العوامل فقط وستكون الشبكة كما يلي :

عصبونات طبقة الدخل : نفاذية تربة النواة وميول النواة ، أما عصبونات طبقة الخرج كما في الحالة السابقة فالشبكة الأولى ستكون لحساب التسرب والثانية لحساب مناسب خط التسرب ، وفي هذه الحالة نلاحظ أن خط التسرب أمام النواة يكون أفقي وكذلك في الجزء خلف النواة يكون أفقياً أيضاً وبالتالي فإن القيم الرئيسية لمنسوب خط التسرب هي نقطة الدخول والخرج من النواة .بالنظر إلى قيم منسوب خط الإشباع عند نقطة الدخول للنواة نلاحظ أن هذه القيمة تتغير بشكل ضئيل جداً وهي تساوي تقريباً منسوب الماء أمام السد ، لذلك ففي هذه الحالة تكون عصبونات طبقة الخرج هي قيمة منسوب خط التسرب عند نقطة الخروج من النواة فقط . وكان ترتيب الشبكة لحساب التسرب كما يبين الشكل (12)، أما ترتيب الشبكة من أجل قيمة h_c موضح في الشكل (13).



الشكل (12): تدريب الشبكة العصبونية لحساب قيم التسرب عبر سد ركامي

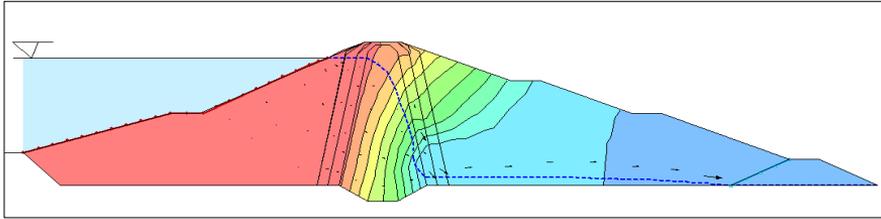


الشكل (13): تدريب الشبكة العصبونية لحساب منسوب خط الإشباع عند نقطة الخروج

من النواة

4-4- دراسة التسرب باستخدام برنامج Geo-studio2012:

تم دراسة التسرب باستخدام برنامج seep/w إحدى الحزم البرمجية في برنامج Geo-studio2012، حيث فرضت أبعاد شبكة ال mesh هي 2، بينما تم تكثيف الشبكة في النواة و كانت أبعاد الشبكة ضمن النواة 1، وهي عبارة عن شبكة من المستطيلات والمثلثات. تم حساب التسرب عبر جسم السد لكل حالة من الحالات في حالة سد ركامي، وجرى مقارنة مجموعة من القيم في حالة سد ترابي .



الشكل (14): منحنى خط التسرب عبر جسم سدة مريمين محسوب من برنامج seep/w

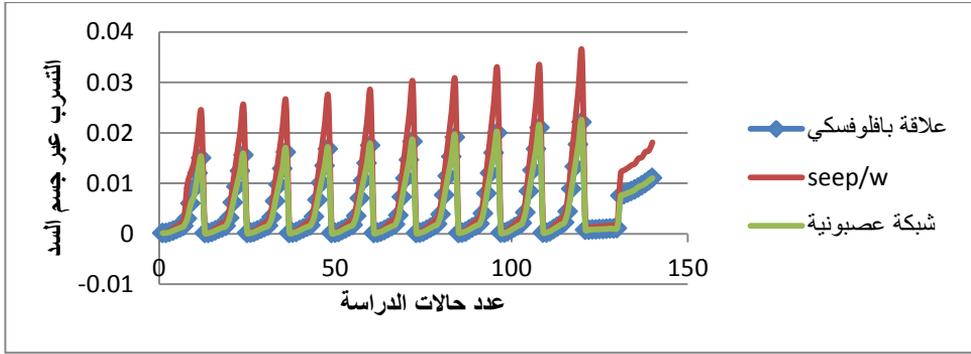
4-5- مقارنة النتائج بين الطريقتين :

بعد أن تم القيام بدراسة التسرب باستخدام برنامج seep/w أحد الحزم البرمجية من برنامج Geo-studio 2012، وحساب التسرب ومناسيب خط الإشباع (التسرب) باستخدام الشبكات العصبونية، سنقوم بإجراء مقارنة بين البرنامجين ، وذلك من خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من كلا البرنامجين مع القيم المحسوبة من علاقات (بافلوفسكي ،ديبويه) الأولى لحساب قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد والثانية لمناسيب خط الإشباع .

آ- حالة سد ركامي :

(1) مقارنة قيم التسرب بين الطريقتين:

تم إجراء المقارنة من خلال رسم منحنى بياني يوضح الفرق بين نتائج كل من الطرق (علاقة بافلوفسكي، برنامج seep/w، الشبكة العصبية) ويوضح الشكل (15) قيم التدفق لكل حالة وفق بالطرق الثلاث المستخدمة .



الشكل (15): مقارنة قيم التسرب عبر جسم سد ركامي المحسوبة من علاقة بافلوفسكي والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w مع تغير قيم العوامل

يوضح الشكل (15) أن نتائج الحساب قريبة من نتائج حساب قيمة التسرب عبر جسم سد ترابي مع نواة مركزية وموشور صرف لسد يستند على أساس كتيم، إلا أن طريقة الشبكات العصبونية أكثر دقة من برنامج seep/w حيث نلاحظ تطابق بين نتائج طريقة الشبكات العصبونية وقيم التسرب المحسوبة من علاقة بافلوفسكي. ويوضح الجدول (2) القيم الصغرى والأعظمية والمتوسطة للخطأ في كل طريقة .

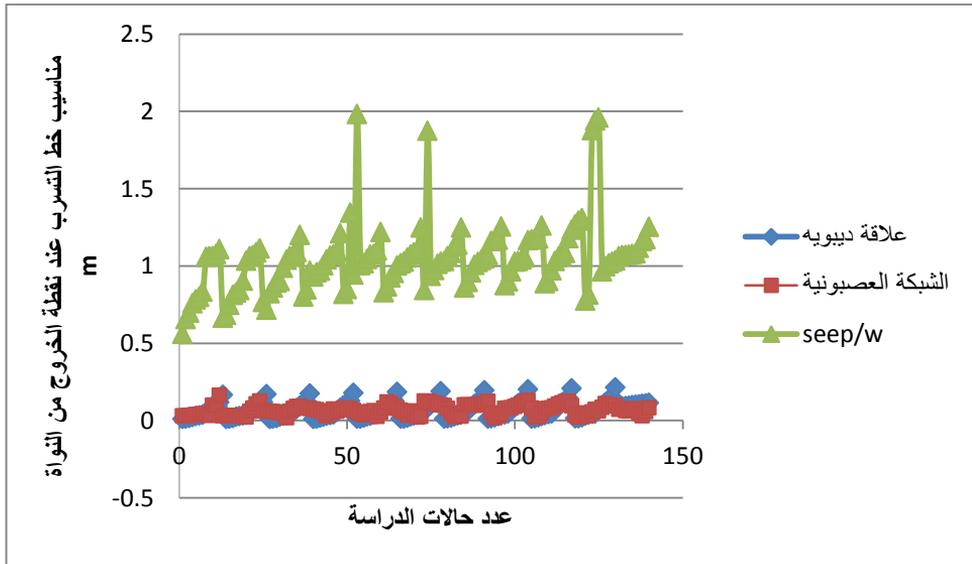
الجدول (2): الخطأ في كل من طريقة الشبكة العصبونية وبرنامج seep/w لحساب قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد

	قيمة تدفق التسرب (m ³ /day) محسوبة من			خطأ الشبكة	أ مج
	علاقة بافلوفسكي	الشبكة العصبونية	برنامج seep/w		
الخطأ المطلق الأعظمي للشبكة	0.00901	0.00764	0.01446	0.00136	0.0
الخطأ المطلق الأصغري للشبكة	0.015017	0.01501	0.02400	1E-06	0.0

المتوسط الحسابي للخطأ المطلق للشبكة	0.009344	0.00938	0.01509	4E-05	0.0
الخطأ المطلق الأعظمي لبرنامج seep/w	0.022129	0.02208	0.03578	4.9E-05	0.0
الخطأ المطلق الأصغري لبرنامج seep/w	0.00012	0.00012	0.00020	8E-06	0.0
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق لبرنامج seep/w	0.006229	0.00620	0.01010	2E-05	0.0

(2) مقارنة قيم خط الإشباع (التسرب) عند نقطة الخروج من النواة :

تم إجراء المقارنة من خلال رسم منحنى بياني يوضح الفرق بين نتائج كل من الطرق (علاقة ديبويه، برنامج seep/w، الشبكة العصبية) ويوضح الشكل (16) قيم التدفق لكل حالة وذلك بالطرق الثلاث المذكورة.



الشكل (16): مقارنة قيمة ارتفاع خط الإشباع عند نقطة الخروج من النواة (سد ركامي) مع تغير قيم العوامل

نلاحظ من الشكل (16) أن النتائج المحسوبة باستخدام الشبكات العصبونية كانت قريبة جداً وتكاد تكون متطابقة مع نتائج علاقة ديبويه، إلا أنه هناك فرق بين القيم الناتجة عن العلاقة والقيم المحسوبة من برنامج seep/w. ويوضح الجدول (3) القيم الصغرى والأعظمية والمتوسطة للخطأ في كل طريقة.

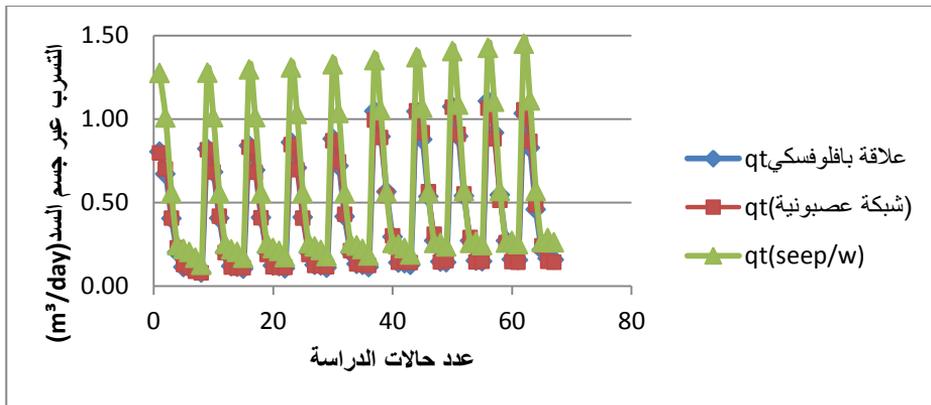
الجدول (3): الخطأ في كل من برنامج seep/w وطريقة الشبكات العصبية لحساب قيمة منسوب نقطة الخروج من النواة

	قيمة منسوب نقطة الخروج من النواة (m) محسوبة من			خطأ الشبكة	خطأ البرنامج
	علاقة ديبويه	الشبكة العصبونية	برنامج seep/w		
الخطأ المطلق الأعظمي للشبكة	0.166669	0.031078	0.66563	0.13559	0.49896
الخطأ المطلق الأصغري للشبكة	0.090051	0.090665	1.02748	0.00061	0.93742
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق للشبكة	0.114307	0.083674	1.25265	0.03063	1.13834
الخطأ المطلق الأعظمي لبرنامج seep/w	0.01169	0.056303	1.9839	0.04461	1.97221
الخطأ المطلق الأصغري لبرنامج seep/w	0.166669	0.031078	0.66563	0.13559	0.49896
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق لبرنامج seep/w	0.089564	0.072129	1.06285	0.01743	0.97328

ثانياً: مقارنة نتائج حالة سد ترابي :

1) مقارنة قيمة تدفق التسرب:

تم دراسة 66 حالة فقط من الحالات المدروسة باستخدام برنامج seep/w وجرى مقارنة نتائج الطرق الثلاث وكانت نتائج قيم تدفق التسرب كما يبين الشكل (17).



الشكل (17): مقارنة قيم التسرب عبر جسم سد ترابي المحسوبة من علاقة بافلوفسكي والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w مع تغير قيم العوامل

نلاحظ من الشكل (17) أن النتائج المحسوبة باستخدام الطريقتين قريبة جداً وتكاد تكون متطابقة مع نتائج علاقة بافلوفسكي . ويوضح الجدول (4) القيم الصغرى والأعظمية والمتوسطة للخطأ في كل طريقة.

الجدول (4): أخطاء كل من برنامج seep/w و الشبكات العصبية لحساب قيم تدفق التسرب (حالة سد ركامي)

	قيمة تدفق التسرب (m ³ /day) محسوبة من			خطأ الشبكات	خطأ البرنامج
	علاقة بافلوف سكي	الشبكات العصبية نية	برنامج seep /w		
الخطأ المطلق الأعظمي للشبكة	1.04 73	0.99 29	1.35 16	0.05 45	0.304 3
الخطأ المطلق الأصغري للشبكة	0.68 27	0.68 30	1.00 97	0.00 02	0.327 0
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق للشبكة	0.20 24	0.18 91	0.25 55	0.01 33	0.053 1
الخطأ المطلق الأعظمي لبرنامج seep/w	0.80 44	0.79 68	1.27 49	0.00 76	0.470 5
الخطأ المطلق الأصغري لبرنامج seep/w	0.56 56	0.54 21	0.56 01	0.02 35	0.005 4
المتوسط الحسابي للخطأ المطلق لبرنامج seep/w	0.40 39	0.40 67	0.55 55	0.00 28	0.151 6

نستنتج من الجدول (4) نجد أن طريقة الشبكات العصبونية أكثر دقة في دراسة التسرب من استخدام برنامج seep/w.

2) مقارنة مناسب خط الإشباع :

تم مقارنة نتائج الطريقتين في أربع نقاط (بداية خط التسرب ،نقطة الدخول للنواة والخروج منها ،نقطة خروج خط الإشباع) وكانت النتائج الأتية
- نلاحظ من الشكل أن النتائج المحسوبة باستخدام الشبكات العصبونية كانت قريبة جداً وتكاد تكون متطابقة مع نتائج علاقة ديبيوه ،وتكون قيم برنامج seep/w قريبة من نتائج علاقة ديبيوه ،إلا أن نتائج الشبكة العصبية كانت أدق من نتائج برنامج seep/w .

و لتوضيح الاختلاف في خط التسرب بين الطريقتين قمنا برسم منحنى يوضح مقارنة خط التسرب لحالة سد ترابي وقد تم اختيار حالة عشوائية (الحالة رقم 40) حيث نفاذية جسم السد=نفاذية النواة =0.08 m/day، ميل النواة=0.13) كما يبين الشكل (18).



الشكل (18): مقارنة منسوب خط الإشباع عند نقطة الدخول للنواة المحسوبة من علاقة

ديبويه والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w (سد ترابي-حالة رقم 40)

نلاحظ من الشكل (18) أن هناك تطابقاً بين طريقة الشبكات العصبونية وبين القيم المحسوبة من علاقة ديبويه ، بينما هناك اختلاف في المناسيب المحسوبة من برنامج seep/w والقيم المحسوبة من العلاقة .أما في حالة السد الركامي (حالة سدة مريمين) ،كما يبين الشكل (19)، فإننا نلاحظ أن هناك تطابقاً بين النتائج في الطرق الثلاث المستخدمة.



الشكل (19): مقارنة منسوب خط الإشباع المحسوبة من علاقة دبيويه والشبكات العصبونية وبرنامج seep/w (سد ركامي - سدة مريمين)

5- الاستنتاجات والتوصيات :

5-1- الاستنتاجات :

1. تتبع زيادة التسرب عبر جسم السد الترابي عوامل عدة (زيادة نفاذية تربة جسم السد، زيادة نفاذية تربة النواة ، انخفاض قيم الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد، انخفاض ميول النواة) .
2. يخضع ارتفاع منسوب خط الإشباع لعدة عوامل (انخفاض نفاذية تربة جسم السد، انخفاض تربة نفاذية النواة ، زيادة الميل الأمامي لجسم السد ،زيادة الميل الخلفي لجسم السد، نقصان ميول النواة) .
3. تؤثر ميول منحدرات جسم السد و نفاذية تربته على التسرب عبر جسم السد تبعاً للنسبة Kt/Kc ، وكلما زادت هذه النسبة انخفض تأثير هذه العوامل على قيم التسرب.
4. يهمل تأثير كل من (نفاذية تربة موشور جسم السد ، الميل الأمامي والخلفي لمنحدرات جسم السد) على قيمة تدفق التسرب عبر جسم السد وعلى مناسيب خط الإشباع، في حال السدود الركامية.
5. يُعد نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية نموذجاً بسيطاً ودقيقاً في دراسة التسرب عبر جسم، و مناسيب خط الإشباع في السدود الترابية والركامية.
6. لا تعطي الشبكة العصبية الاصطناعية أي علاقة صريحة بين متغيرات الدخل والخرج، نظراً لكونها إحدى نماذج الصندوق الأسود.

7. تعد طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية لحساب التسرب و مناسب خط الإشباع في السدود الترابية والركامية أكثر دقة من برنامج seep/w في حال كانت ترب جسم السد متماثلة الخواص، إلا أنها تفقد القدرة على الاستقراء في الحالات التي لم يتم تدريبها عليها، وفي هذه الحالة يبقى أداء برنامج seep/w أفضل.

2-5- التوصيات:

1. ينصح باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في دراسة استقرار وتوازن السدود .
2. ينصح باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي الأخرى مثل الخوارزمية الجينية ،وقد يكون المنطق الضبابي مفيد أيضاً.

المراجع :

- 1) ABAAS.M,2017– Forecasting Of Monthly Evaporation In Hama Using Artificial Neural Network. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies –Engineering Sciences Series, Vol. (39) No. (3),93–107.
- 2) ALABAAN.S,2018–Seepage and Stability Analysis of the Earth Dams under Drawdown Conditions by using the Finite Element Method Drawdown Conditions by using the Finite Element Method .PHD Thesis, University of Central Florida, Florida.
- 3) ALJANABI.A,GHAZALI.A,GHAZAW.Y,AFAN.H,ALANSARI.N,YASSEN.Z, Experimental and Numerical Analysis for Earth–Fill Dam Seepage. . Multidisciplinary digital publishing institute.
- 4) ALMOHSEEN.K,TOWFEEQ.A, Artificial Neural Network for Single Reservoir Operation. Al–Rafidain Engineering, Vol.22 ,No. 2,P.29–37.(28–30)
- 5) AMMAR.GH,HAIDAR.B, 2013– Estimation of Monthly Reference Evapotranspiration in Safita Area by using Artificial Neural Network. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies –Engineering Sciences Series, Vol. (35) No. (4),P.28–43.
- 6) ERSAYIN.D, 2006 – STUDYING SEEPAGE IN A BODY OF EARTH–FILL DAM BY (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS) ANNs. Master thesis, Izmir Institute of Technology,Turky.
- 7) FAKHARI.A,GHANBARI.A, 2013– A SIMPLE METHOD FOR CALCULATING

- THE SEEPAGE FROM EARTH DAMS WITH CLAY CORE. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 8, No. 1, p. 27–32.
- 8) HADID .SH,IBRAHIM.B, 2007– Haydraulic Structures –2– DAMS. Al baath university ,Syria.
- 9) IRZOOKI.R, 2016 – Computation of Seepage through Homogenous Earth Dam with Horizontal Toe Drain. Eng. &Tech.Journal, Vol.34, No.3.P 430–440
- 10)JAMEL.A, 2018 – Investigation and Estimation of Seepage Discharge Through Homogenous Earth Dam with Core by Using SEEP/W Model and Artificial Neural Network. Diyala Journal of Engineering Sciences, Vol. 11, No. 3, p. 54–60
- 11)JOHNSON.HP,1950–Seepage through loessal earth dams. Master Thesis, Iowa State University, USA.
- 12)MARTIN.J,GALINDO.R,AREVALO.C,PIDAL.I,KAZANSKAYA.L,SMIRNOV.V, 2020–Optimized Design of Earth Dams: Analysis of Zoning and Heterogeneous Material in Its Core. Multidisciplinary digital publishing institute.
- 13)REZK.M,SENOON.A, 2011– Analytical solution of seepage through earth dam with an internal core .Alexandria Engineering Journal,50,P.111–115.
- 14)SALEM. M, ELDEEB.H, NOFAL. S,2019– Analysis of Seepage through Earth Dam with Internal Core. International Journal of Engineering Research & Technology .Vol 8 (8).
- 15)SORBAGHI.L,BEHESHTI.A,KARBALA.M,KAMANBEDAST.A, 2014 – Evaluation of Seepage and Seepage Analysis of Rock–Fill Dam Subjected to Water Level with Seepage Flac in Gotvand–Olya Dam. Iranica Journal of Energy & Environment, 5 (3) 387–392.

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

المهندس جلال عمران
الأستاذ الدكتور المهندس أكرم صفور

□ الملخص □

يتزايد توظيف العناصر السندويشية الخفيفة في المنشآت الهندسية يوماً بعد يوم نظراً لإمكانية تميزها بالعازلية العالية صوتياً وحرارياً. لا تتوفر لدينا حتى الآن مرجعيات علمية رسمية تتبنى تجهيزات معينة بألية اختبار مادة النواة لهذه الألواح بالدرجة الأولى، وإدراج مواصفاتها الميكانيكية والفيزيائية ضمن نظام حساب إنشائي محدد لضبط معايير التصميم الإنشائي لها من خلال التعريف بمعاملات مرونتها على الشد، والضغط، والقص، والالتصاق المتعلقة بالدرجة الأولى بجودة ومواصفات المنتج، سواء بالتحميل المباشر، أو الطويل الأمد لتحديد الحمل الأقصى التصميمي لهذه الألواح. تسعى هذه الورقة البحثية إلى الاشتقاق تجريبياً لمعامل مرونة النواة المعياري على الضغط ومخطط الإجهاد التشوه المرافق من خلال اعتماد تجهيزات ووسائل اختبار مناسبة لنماذج من الألواح السندويشية المنتجة محلياً بنواة من البوليوريثان، وتعميم طريقة التجريب الأمثل للاشتقاق دوماً لقيمة هذا المعامل مخبرياً.

كلمات مفتاحية: ألواح العناصر السندويشية، طبقة التغطية المستوية، نواة البوليوريثان، معامل مرونة النواة.

Properties of normative behavior with compressive of the light locally produced sandwich panels with two steel faces and a core of polyurethane (PUR)

Eng. Jalal Omran
Prof. Dr. Eng. Akram Sakkour

□ Abstract □

Light sandwich panels are increasingly employed in engineering facilities because of their high acoustic and thermal insulation.

We do not have yet official scientific references that adopt certain equipment by the mechanism of testing the core material of these panels in the first place, and include their physical and mechanical properties within a specific structural calculation system to adjust the structural design criteria by defining its modulus of elasticity on tension, compression, shear and adhesion related primarily to the quality and specifications of the product, either direct or long term load to determine the maximum designed load of these panels.

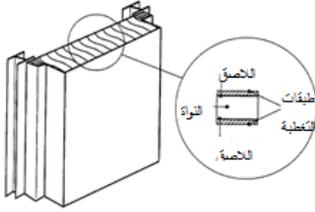
This paper seeks to derive empirically the standard core modulus of elasticity on compression and associated diagonal of strain-stress by adopting suitable test instruments and equipment for three models of locally produced sandwich panels with core of polyurethane, and generalization of the optimal experimentation method to always derive the value of this modulus in vitro.

Keywords: Sandwich Panels, Flat Cover, Polyurethane Core, Critical Wrinkling Stress.

Graduate Student (PhD student) in Structural Engineering Department -
Civil Engineering Faculty – Lattakia University-Syria
Prof. in Structural Engineering Department - Civil Engineering Faculty-
Lattakia University-Syria

1- مقدمة:

لقد تسارع محلياً وعالمياً في العقود الأخيرة إنتاج واستخدام الألواح السندويشية المكونة من مواد مختلفة تحاكي في خصائصها الميكانيكية والفيزيائية المستلزمات الوظيفية لها كعناصر إنشائية حاملة، أو عازلة حرارياً، وصوتياً في المنشآت الهندسية المطلوبة.



الشكل (1): اللوح السندويشي [1]

من هذه العناصر السندويشية المنتجة بالأطوال المطلوبة كعناصر جاهزة، والمستخدمه بشكلٍ واسع في مجال الهندسة المدنية تلك المؤلفه من طبقتي تغطية معدنيتين لنواة من مادة البوليوريثان polyurethane، كما هو مبين

في الشكل (1)، يتزايد استخدام مثل هذه الألواح الخفيفة الوزن كجدران وأسقف حاملة إضافة لدورها العازل صوتياً وحرارياً.



الشكل (2): Woolworth State Office south Australia [2]

يبين الشكل (2) أحد نماذج المنشآت الهندسية المشيد بسقفه وجدرانه الداخلية والخارجية من ألواح الصفائح السندويشية، والذي يمثل مبنى المكتب الدولي Woolworth

بجنوب استراليا [2]، حيث يطلب من هذه العناصر السندويشية مقاومة كل من الحملات الشاقولية وقوى دفع وسحب الرياح، إضافة لتلك الناتجة عن الفروقات الحرارية داخلياً وخارجياً.



الشكل (3): سقف بألواح سندويشية لمعمل محلي

أما الشكل (3) فيبين استخدام الألواح

السندويشية في المنشآت الهندسية المحلية

كسقف لأحد المعامل لتحمل الحملات الشاقولية والتلجبية أو حملات الرياح، ونقلها إلى مدادات الجيزان الثانوية المعدنية.

يتفاوت نمط الانهيار لهذه العناصر السندويشية المنعطفة بين الانهيار بالتجعيد الموجي لطبقة التغطية المضغوطة نتيجة تأثير الحملات عمودياً على مستوي اللوح، كما يبينه الشكل (4a,b).

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/



a: صورة لعينة توضح انفصال طبقة
b: صورة لعينة توضح تمزق النواة
التغطية بين نقطتي تطبيق الحمولة وانفصال طبقة التغطية بين نقطتي
تطبيق الحمولة

الشكل (4): نمط انهيار التجعيد الموجي لطبقة التغطية [4]



الشكل (5): نمط الانهيار القصي للنواة بزواوية 45 درجة [4]

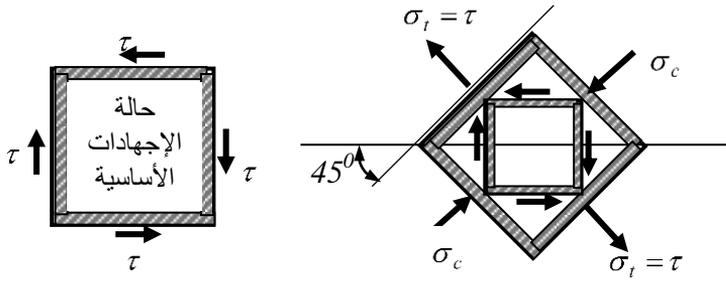


الشكل (6): نمط التشوه الموضعي الحاصل عند حدوث الانهيار مع

انفصال لمادة النواة [4]

والنمط الثاني هو الانهيار
القصي لنواة اللوح حسب
طبيعة الحملات المؤثرة
(الشكل 5)، دون أن
نستثني من هذه الأنماط
إمكانية التشوه الموضعي
لنقاط ومواضع تأثيرات
الحملات على اللوح
السندويشي (الشكل 6) [4].

لقد أجمعت أغلب مراكز الأبحاث العالمية والمراجع العلمية المتوفرة في هذا
المجال أن تقويم طاقة تحمل العنصر الإنشائي المكون من مثل هذه الألواح
السندويشية نتيجة شد النواة قطرياً، كما يبينه الشكل (7) بتأثير إجهادات القص



الشكل (7): الحالة الإجهادية لنقاط مقطع النواة الخالية من الإجهادات الناعمية الطولية

الأعظمية في أماكن انخفاض تأثير عزوم الانعطاف على مقطع اللوح، وتزايد تأثير القص على مقطع النواة نتيجة إهمال دور طبقة التغطية في تحمل قوى القص المؤثرة تقريباً، حسب ما أجمعت عليه تحليلاً غالبية المراجع العلمية، والمؤيدة نتائجها إلى درجة كافية تجريبياً [3,5,6]، إنما يتم من خلال الخصائص الميكانيكية الفيزيائية على الشد لمادة النواة، والتصاقها بطبقة التغطية، إذ كلما ازدادت مقاومة الالتصاق للشد ازدادت مقاومة اللوح للانهايار بالتجعيد الموجي، وتقدمت سيطرة ظاهرة الانهيار القصي.

يمكن أن تحدث أنماط الانهيار هذه بتأثير كلٍ من التحميل المباشر بالشدات الكافية لإحداثها، أو بالتحميل طويل الأمد للوح بشدات أقل نتيجة الزحف الذي تتعرض له مكونات اللوح بتغير أبعاد مقاطعه العرضية، وخصوصاً نواته بالدرجة الأهم التي تخضع لانتقالات قصية مستمرة تتقدم من خلالها إمكانية تشكل ظواهر التحنيب من موضعي، وتجعيد على حالة الانهيار القصي له.

ترتبط هذه الانتقالات القصية المستمرة وسرعتها بأبعاد العنصر، وشدة التحميل المؤثرة عليه، وطبيعة تأثيرها من جهة، وبالخصائص الميكانيكية الفيزيائية لبنية مادة نواة اللوح، وكثافتها، وتقنية إنتاجها من جهة ثانية.

2- أهمية البحث وأهدافه:

يقوم التحليل التوازني والمستقر لوصف سلوك العناصر، والجمل الإنشائية، ومكوناتها، كما هو معروف، على أسس ونظريات عامة مبنية على توفر الخصائص الهندسية لمقاطعها والمواصفات الميكانيكية الفيزيائية لموادها.

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

لذلك تشكل نتائج التجريب للمواد العمود الفقري الذي تبنى على أساسه النظريات التحليلية في التصميم الإنشائي المرن وغير المرن. نتيجة اتساع مساحة الانتاج والاستثمار الهندسي عالمياً، ومحلياً للعناصر السندويشية المكونة من ألواح بطبقتي تغطية، ونظراً لندرة المرجعيات والأبحاث العلمية المحلية حتى الآن التي تعرف بالسلوك الإنشائي لمنتجاتنا المحلية منها على الأقل، وانطلاقاً من الحاجة لتوطيد التوطين لوسائل الاختبار محلياً لهذه المنتجات، وسبل معالجة نتائجها للحصول على قاعدة البيانات المعيارية الأساسية بالخصائص الميكانيكية والفيزيائية اللازمة لضبط معايير التصميم الإنشائي للعناصر الإنشائية المكونة منها، الذي يمكن استثمار نتائجه في عملية التحليل الإنشائي حيث يورد هذا المنتج، تأتي أهمية هذا البحث ليسهم في تبني آلية التعريف بالسلوك الميكانيكي المعياري لحشوة اللوح السندويشي من البوليوريثان على الضغط من خلال اختبار عينات عشوائية لأحد نماذج المنتجات المحلية بوسائل اختبار وآليات تحميل مختلفة.

3- طرائق البحث ومواده:

بنيت طرائق إجراء البحث على وقائع الدراسات المرجعية التحليلية والتجريبية للألواح والعناصر السندويشية المكونة من طبقتي تغطية معدنيتين لحشوة من البوليوريثان، وشكلت الألواح المماثلة المنتجة محلياً مادة البحث التجريبي لإجراء اختبارات الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمادة النواة، وتحديد مخطط الإجهاد التشوه التجريبي، والمعيار، استحضرت لهذا الغرض إلى مخبر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين عينات عشوائية مغلقة من هذه الألواح المنتجة محلياً بسطحها المستوي أو المقلم قليلاً (شبه مستوي)، وبسماكة كلية مقدارها 81 ملم، ومؤلفة من نواة من البوليوريثان بسماكة 80 ملم، وكثافة $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ مع طبقتي تغطية بسماكة 0.5 ملم لكلٍ منهما، ومصنوعة من الفولاذ ST52 المحدد تجريبياً في مخبر البحث.

نتيجة عدم توفر جهاز اختبار مستقل في المخبر لإجراء التجارب المطلوبة بالتحميل المباشر لهذه المادة الحساسة، وإدراكنا أثناء مراحل العمل بعدم كفاية إعداد أحد أجهزة المخبر الآلية المتوفرة (الجهاز الأول المبين في الشكل 8) لتلبية الدقة الكافية للنتائج المطلوبة لتوصيف السلوك الحقيقي للعينة المختبرة خلال مراحل التحميل والقياس من جهة، واقتصار التجارب التي يمكن إجراؤها بوساطته



على الضغط فقط من جهة ثانية، حيث أن أجهزة ضغط المكعبات البيتونية المتوفرة في مخبرنا لا تمكننا من دراسة سلوك عينات الألواح السندويشية وذلك بسبب القفزات الكبيرة للتحميل من مرتبة مئات الكيلوغرامات بينما نحن بحاجة إلى قفزات تحميل أقل.

الشكل(8):الجهاز الأول للتحميل المباشر بالضغط

قمنا بإعداد جهازين يدويين آخرين باليمني عمل مختلفتين عليهما يؤديان الغرض المطلوب بتقنية يمكن رفع سويتها لاحقاً ليصبح العمل بهما أكثر يسراً كجهازين من أجهزة المخبر الأساسية المخصصة لاختبار أمثال هذه المواد.

صمم أحد هذين الجهازين لإجراء اختبارات الضغط على العينات، والتي يمكن أن تكون بحمولات متدرجة، أو صادمة، مباشرة، أو طويلة الأمد أيضاً، والثاني متعدد الأغراض لإجراء اختبارات الشد، والضغط، والقص لهذه المادة الحساسة وسواها.

يبين الشكل (9) الجهاز اليدوي الأول (الجهاز الثاني)، وهو يتألف من قاعدة توضع عينة التجريب بالضغط، تعلوها صينية معدنية تشوهات صغيرة جداً، ويمكن إهمالها مقابل تشوهات العينة تحت تأثير حمولات التجريب المنخفضة نسبياً، يتوسط الصينية صفيحة سفلية بقياس العينة أبعادها 10x10 cm لنقل حمولات الضغط الموزعة من الصينية إلى عينة الاختبار، بينما يتم نقل الحمولات إلى الصينية عبر حوض تحميل يستند عليها ضمن جهاز حاضن من المقاطع المعدنية لجهاته الأربع ليقال إلى حد كبير إمكانية تشكيل الحوض لمزدوجات قوى

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

على العينة لتبقى العينة خاضعة لإجهادات الضغط المركزي ما أمكن. يمكن أن يزود الجهاز بساعة قياس مركزية واحدة لقياس انضغاط العينة أثناء التحميل. إلا أننا عمدنا لاستيعاب إمكانية تأثير أي مزدوجة قوى منخفضة على نتائج الاختبار إلى تزويد الجهاز بوسائل قياس الانضغاط من الجهات الأربع للعينة لإرجاع القياسات المسجلة إلى المركزي وتخفيض أخطاء التجريب إلى الحد الأدنى. أما وسائل قياس الانتقالات من الجهات الأربع فقد شملت ساعة قياس في إحدى الجهات، وثلاثة مساطر قياس مع مشعرات معدنية دقيقة لقراءة الانتقالات على المساطر من الجهات الثلاث الأخرى، لعدم توفر ساعات قياس مخبرية أخرى كافية.



صورة توضح الصينية المعدنية الحاملة للحوض
مع حاضن الحوض

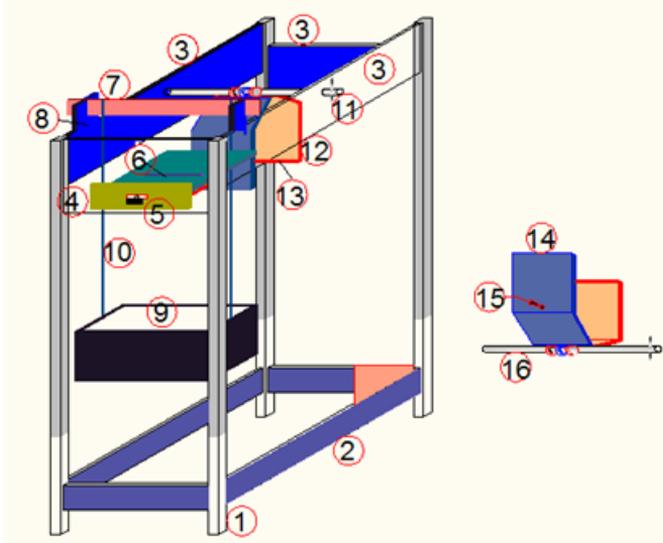


صورة توضح آلية قراءة الانتقالات



صورة توضح التجربة مع مساطر قياس الانتقالات من الجهات الأربعة
الشكل (9): جهاز التجريب اليدوي الأول (الجهاز الثاني)

الجهاز اليدوي الثاني (الجهاز الثالث) يبينه الشكل (10)، وهو يتألف من:



الشكل (10): جهاز التجريب متعدد الأغراض

- 1- أربعة قوائم حاملة 2- صفائح تثبيت وربط القوائم 3- صفائح تقوية وربط علوية للقوائم
- 4- صفيحة تثبيت حاملة للدرج وسكتيه 5- درج معدني متحرك ضمن سكتيه 6- شق إمرار طبقة التغطية 7- ذراع تطبيق الحملات على العينات 8- سكة تحرك الذراع 9- حوض أو صفيحة وضع الحملات 10- قضيب معدني لنقل التحميل 11- قضيب من الفولاذ المقسى حامل لملقط العينة
- 12- ملقط أو مقبض العينة 13- سكة إمساك طبقة تغطية العينة 14- ملقط أو مقبض ثانٍ للعينة 15- برغي شد الملقط على العينة 16- قضيب من الفولاذ المقسى للملقط

يلحق بالجهاز صفائح معدنية صلبة لتوضع العينة على الدرج مع مجموعة

أوزان التحميل، وساعات القياس التي توضع على حواملها في الأماكن المناسبة

حسب التجربة المطلوبة.

نظراً لسعي هذا البحث بالإضاءة على سلوك نواة اللوح بالضغط نبين فيما يلي،

فقط، مراحل إجراء تجارب الضغط للعينات على هذا الجهاز اليدوي الثاني من

خلال ما يبينه الشكل (11) لإحدى تجارب الضغط المنفذة التي تتم وفق الآتي:

1- تحضير العينة بالأبعاد المطلوبة للتجريب ووضعها على صفيحة معدنية

صلبة مستتدة على مقاطع سكة درج الجهاز (لاحظ أعلى العينة).

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

2- توضع فوق العينة صفيحة معدنية صلبة بأبعاد 10X10 cm، ثم يسند إليها ذراع تحميل العينة (لاحظ العينة والصفيحة والذراع أعلى الجهاز).



الشكل (11): نظام تجريب ضغط العينة

3- يوضع جهازا قياس انتقالات على أسفل ذراع التحميل يميناً ويساراً لرصد انضغاط العينة وضبط مركزية تأثير أوزان التحميل بشكلٍ دقيق.

4- تبدأ التجربة بتحميل الأوزان تدريجياً على صفيحة التحميل ليتم نقل تأثيرها عبر قضبان العلاقات المعدنية إلى ذراع التحميل على العينة (لاحظ الأوزان المحملة على الصفيحة حتى نهاية التجربة).

سوف تجرى تجارب الضغط بالأجهزة الثلاثة على عينات أبعادها 100X100x d mm، حيث $d=81\text{mm}$ سماكة اللوح السندويشي المستخدم في البحث، علماً أنه ممكن إجراء الاختبارات بدقة كافية على الجهازين اليدويين بأية أبعاد أصغر مرغوبة، وبسماكة مختلفة.

تتم دراسة سلوك المادة المجربة، واشتقاق الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لها من خلال إيجاد مخطط الإجهاد التشوه للعينات المجربة على الضغط بالمقطع الثابت حتى حصول الانهيار لها.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2) \quad \text{يحسب الإجهاد في العينات بالعلاقة الآتية:}$$

حيث تمثل A مساحة المقطع، و $N = F$ القوة المطبقة على العينة. أما التشوه الحاصل لكل مرحلة من مراحل التحميل فيحسب للعينة بالمقطع الثابت

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3) \quad \text{بموجب العلاقة:}$$

حيث تمثل Δl مقدار الاستطالة التي تسجلها أجهزة القياس التجريبية، و $l = t_c$ سماكة النواة.

يتم حساب معامل الميول لمخطط الإجهاد التشوه لكل مرحلة من مراحل التحميل

$$E_i = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \varepsilon_i} = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}} \quad (4) \quad [7,8].$$

نتيجة اقتصار المضمون الجوهري لهذه الورقة العلمية على دراسة السلوك بالضغط للمادة المختبرة، نبين أن عدد العينات المجرية على الضغط لتحقيق هذا الغرض قد بلغ من نماذج الألواح الثلاث، وأجهزة التجريب الثلاثة 50 تجربة.

لقد دأبنا لدراسة سلوك حشوة العينة على المعالجة المستقلة للنتائج التجريبية الخاصة بكل جهاز من أجهزة التجريب الثلاثة المذكورة أعلاه، بغية إظهار التباين بين نتائجها، والتعرف أكثر على الأسباب التي يمكن أن تؤدي إلى هذا التباين.

لقد ميزنا أجهزة الاختبار الثلاثة المستخدمة بالتسميات الآتية:

1- الجهاز الآلي الميكانيكي المخبري بالشكل (8) كجهاز أول.

2- جهاز الضغط اليدوي الحوضي بالشكل (9) كجهاز ثانٍ.

3- جهاز الضغط اليدوي بالشكل (10) كجهاز ثالث.

4- النتائج والمناقشة:

نكتفي بعرض نتائج الدراسة تخطيطياً للعلاقة بين الإجهاد والتشوه للعينات المختبرة، ونبين جدولياً تغير قيم معامل مرونة النواة نتيجة المعالجة التحليلية بالعلاقات (2)، و (3)، و (4) لمراحل التحميل المتتالي لكل عينة من العينات المجرية مع قيمة الإجهاد المطبق على العينة.

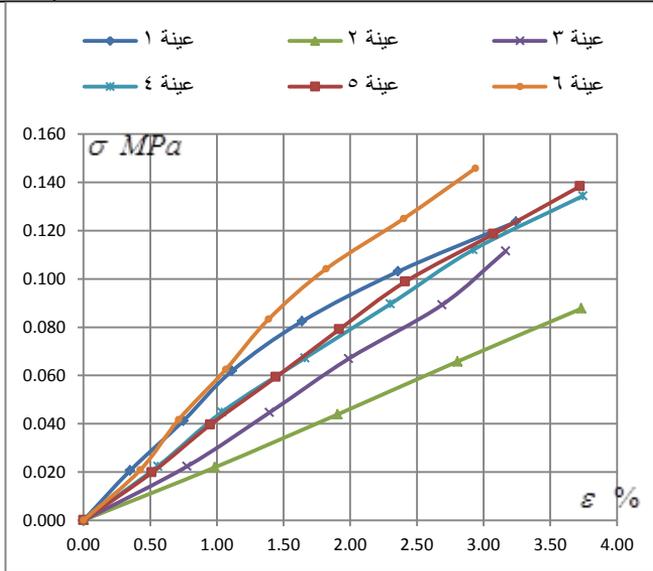
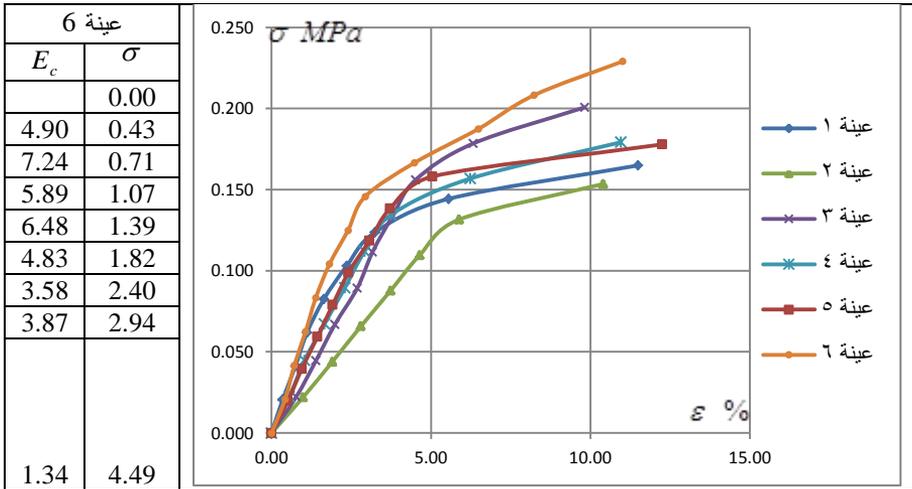
أولاً: نتائج تجريب عينات الضغط بالجهاز الأول الميكانيكي المخبري

عينة 5		عينة 4		عينة 3		عينة 2		عينة 1	
E_c	σ								
	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
3.86	0.020	4.02	0.022	2.88	0.022	2.23	0.022	5.89	0.021
4.52	0.040	4.67	0.045	3.60	0.045	2.38	0.044	5.17	0.041
4.01	0.059	3.60	0.067	3.76	0.067	2.44	0.066	5.67	0.062
4.16	0.079	3.49	0.090	3.19	0.089	2.36	0.088	3.91	0.082
3.99	0.099	3.62	0.112	4.66	0.112	2.40	0.110	2.86	0.103
2.98	0.119	2.72	0.134	3.52	0.134	1.77	0.132	2.33	0.124

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

3.05	0.138	0.90	0.157	3.08	0.156	0.49	0.154	0.89	0.144
1.49	0.158	0.47	0.179	1.24	0.178	0.35	0.175	0.35	0.165

σ : الاجهاد N/mm^2 ، E_c : معامل مرونة النواة N/mm^2 % ε



شكل (12): المخططات البيانية لسلوك عينات النموذج على الجهاز الأول الميكانيكي
الصورة الأعلى السلوك التجريبي للعينات والأدنى نشر مكبر لسلوك العينات خلال مراحل التحميل الأولى

ثانياً: نتائج تجريب عينات الضغط بالجهاز الثاني:

عينة 5		عينة 4		عينة 3		عينة 2		عينة 1	
E_c	σ								
	0.000		0.00		0.000		0.000		0.000
6.88	0.027	4.74	0.03	6.00	0.025	2.67	0.028	2.89	0.025

5.13	0.037	4.61	0.04	5.23	0.035	2.22	0.092	2.32	0.083
4.73	0.058	5.23	0.05	4.90	0.045	1.63	0.124	1.81	0.127
4.33	0.068	3.56	0.06	3.97	0.055	0.98	0.174	0.85	0.157
3.51	0.079	3.56	0.07	3.53	0.065	0.28	0.190	0.30	0.174
3.33	0.089	3.73	0.09	5.41	0.075	0	0.190	0.00	0.174
3.20	0.100	3.09	0.11	5.32	0.094			0.00	0.174
3.06	0.120	1.83	0.13	5.60	0.114			0.00	0.174
2.45	0.131	0.86	0.15	4.39	0.133			0.00	0.174
2.15	0.141	0.34	0.16	6.21	0.153				
1.66	0.152			6.47	0.173				

عينة 10		عينة 9		عينة 8		عينة 7		عينة 6	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.00		0.00		0.00		0.000		0.000
8.15	0.03	7.33	0.03	7.91	0.03	5.75	0.027	6.02	0.027
6.15	0.05	5.89	0.05	5.61	0.05	3.49	0.055	3.85	0.049
4.52	0.07	4.08	0.07	3.54	0.07	2.49	0.071	4.25	0.070
3.30	0.09	3.51	0.09	3.60	0.09	1.68	0.086	4.15	0.091
1.43	0.11	3.61	0.11	2.59	0.11	1.65	0.107	2.82	0.113
		2.33	0.13	0.86	0.12				
		2.33	0.14						

عينة 15		عينة 14		عينة 13		عينة 12		عينة 11	
E_c	σ								
	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
7.89	0.03	4.56	0.03	1.81	0.03	2.76	0.03	1.21	0.03
5.11	0.05	4.83	0.05	2.31	0.05	4.82	0.05	5.47	0.05
5.72	0.07	2.95	0.07	2.62	0.07	4.58	0.08	3.72	0.08
3.40	0.08	3.45	0.09	1.50	0.09	4.85	0.10	3.38	0.10
2.86	0.09	2.86	0.10			3.27	0.11	2.50	0.11
2.67	0.10								

عينة 20		عينة 19		عينة 18		عينة 17		عينة 16	
E_c	σ								
	0.000		0.00		0.00		0.00		0.00
4.72	0.034	3.16	0.02	8.24	0.03	4.03	0.01	8.22	0.03
5.21	0.052	1.37	0.05	7.91	0.04	4.78	0.02	3.92	0.05
5.03	0.070	1.64	0.07	5.86	0.06	4.83	0.03	5.34	0.08
5.05	0.088	2.27	0.08	6.87	0.07	4.70	0.04	3.29	0.10
4.67	0.106	3.83	0.10	4.68	0.08	4.31	0.05	5.76	0.11
6.16	0.124	3.10	0.12	4.55	0.09	3.25	0.07	6.60	0.12
6.85	0.142	6.00	0.13	5.61	0.10	3.64	0.08	5.86	0.13
6.47	0.158	2.60	0.15	4.11	0.12	3.89	0.09	3.06	0.14
3.33	0.174	2.41	0.17	7.48	0.14	2.99	0.10	2.91	0.16
3.75	0.212	2.00	0.18	7.59	0.17	2.64	0.11	2.89	0.17

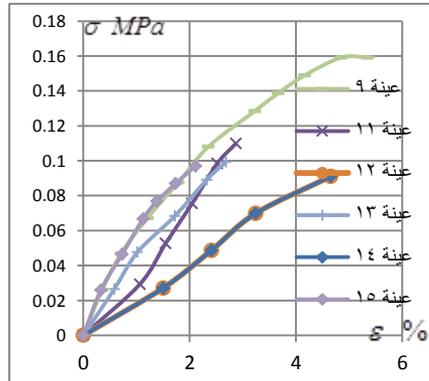
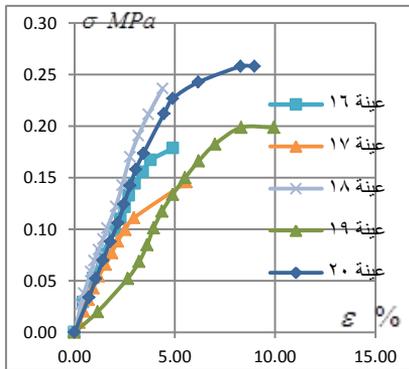
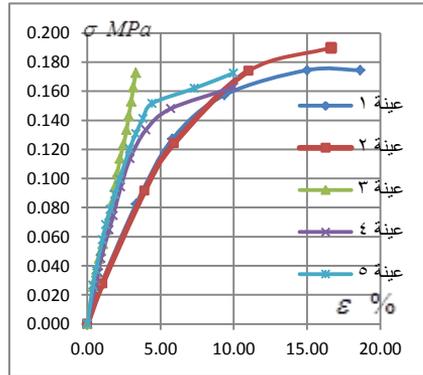
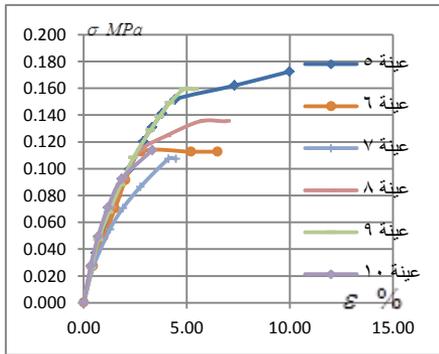
خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

4.25	0.227			4.98	0.19	1.33	0.15	8.22	0.18
------	-------	--	--	------	------	------	------	------	------

σ : الاجهاد N/mm^2 ، E_c : معامل مرونة النواة N/mm^2

عينة 22		عينة 21	
E_c	σ	E_c	σ
	0.00		0.000
5.61	0.01	7.58	0.017
5.38	0.02	6.72	0.033
6.66	0.04	6.89	0.050
8.09	0.05	7.48	0.066
9.43	0.07	6.21	0.083
2.58	0.08	7.83	0.116
		4.62	0.133
		4.40	0.151
		5.02	0.180
		5.48	0.236
		4.84	0.264

أما التمثيل البياني لنتائج اختبار العينات بالجهاز الثاني فهو مبين في الشكل (13).



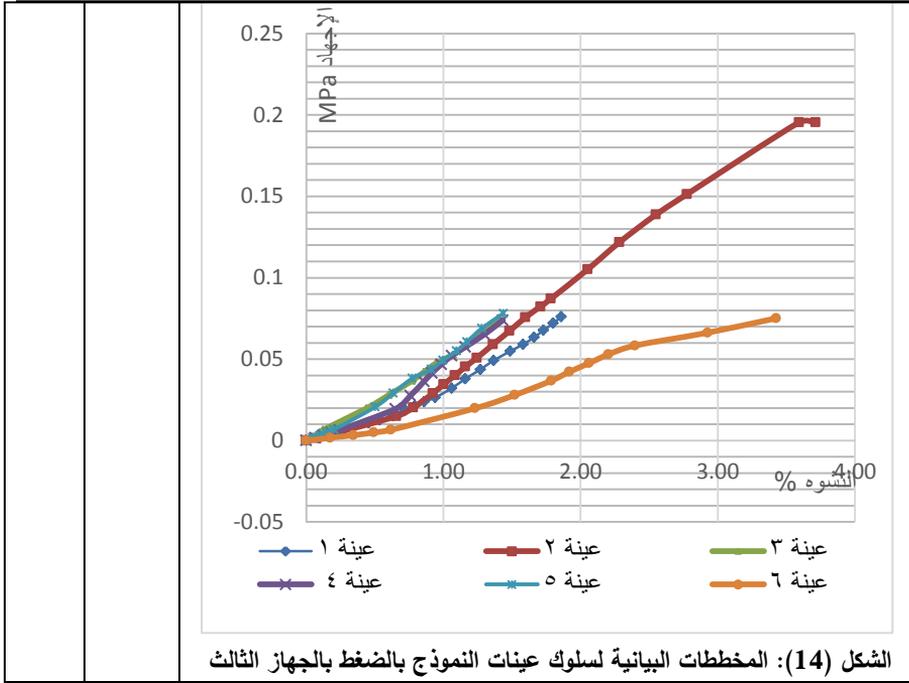
الشكل (13): المخططات البيانية لسلوك عينات النموذج بالضغط بالجهاز الثاني

ثالثاً: نتائج تجريب عينات الضغط بالجهاز الثالث:

عينة 5		عينة 4		عينة 3		عينة 2		عينة 1	
E_c	σ								
	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
3.70	0.002	2.53	0.002	3.75	0.002	0.9	0.002	1.80	0.002
3.01	0.003	2.66	0.003	5.78	0.003	1.95	0.010	2.52	0.011
3.81	0.005	2.72	0.005	6.20	0.005	2.46	0.012	2.19	0.013
3.05	0.007	2.73	0.006	6.91	0.007	1.12	0.014	2.69	0.015
4.61	0.021	3.19	0.019	4.17	0.020	3.07	0.019	3.76	0.019
6.39	0.029	7.43	0.028	4.99	0.028	2.38	0.033	3.80	0.021
6.58	0.038	8.85	0.036	5.23	0.037	3.66	0.036	3.80	0.024
4.05	0.044	8.95	0.042	6.07	0.042	2.81	0.046	3.21	0.026
6.49	0.049	7.73	0.047	6.13	0.047	3.52	0.052	4.76	0.032
5.78	0.055	6.92	0.052	4.33	0.053	2.32	0.057	5.86	0.038
7.37	0.061	5.45	0.057	5.83	0.058	3.51	0.063	5.19	0.044

عينة 6		يبين الشكل (14) المخططات البيانية لسلوك عينات النموذج بالضغط على هذا الجهاز الثالث.
E_c	σ	
	0.000	
0.96	0.002	
0.95	0.003	
1.09	0.005	
1.33	0.007	
2.15	0.020	
2.82	0.028	
3.30	0.037	
4.14	0.042	
3.69	0.047	
3.85	0.053	
2.80	0.058	

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/



σ : الاجهاد N/mm^2 ، E_c : معامل مرونة النواة N/mm^2

• مناقشة نتائج التجريب على الجهاز الأول:

يستنتج من المخططات البيانية في الشكل (12) أن سلوك العينات يمكن وصفه رغم بعض التمايزات بشبه الخطي ضمن مجال إجهاد لم يتجاوز لأي من العينات $0.18 N/mm^2$ ، علماً أن هذا المجال قد انخفض لبعض العينات حتى $0.09 N/mm^2$. وهذا ربما يدل من ناحية على انخفاض التجانس الظاهري لبنية النواة، ومن ناحية أخرى أن تحميلها بسرعة القفزات الكبيرة غير المضبوطة بيسر لهذا الجهاز لم يتيح للعينات أن تكيف نفسها بشكل كافٍ لتسلك سلوكاً متقارباً خلال مراحل التحميل.

• مناقشة نتائج التجريب على الجهاز الثاني:

يلاحظ من النتائج والمخططات البيانية لسلوك العينات المختبرة بالجهاز الثاني، والمبينة في الشكل (13)، أن العديد منها يتوافق في السلوك تقريباً وبمعدل متقاربة لمخططاتها البيانية حتى مراحل متقدمة من التحميل وصولاً إلى إجهاد الانهيار لكل منها، وهذا يلاحظ على العينات 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9، 15، وكذلك 16،

و 20 إذا استثنينا منهما ذاك التقعر الطفيف الحاصل لتسارع التشوهات ضمن المراحل المتوسطة للتحميل نتيجة إعادة تكييف نواة العينة لنفسها بزيادة كثافتها أثناء التحميل الذي يتم ربما بإعادة الإملء المتدرج للفراغات غير منتظمة التوزع في تصنيعها داخل العينة ونواتها، إذ أبدت بعد هذا التكييف، كما يلاحظ، ميلاً أكبر لمخططها البياني، وتحملاً أكثر للإجهادات.

كما أبدت العينتان 1، و 2 سلوكاً متطابقاً تماماً فيما بينها حتى مراحل ما قبل بدء الانهيار لكلٍ منهما، وهو شبيه شكلياً بسلوك العينات الأخرى المذكورة أعلاه مع قابلية أكبر للتشوه، الأمر نفسه ينطبق على العينة 17 رغم أن تشوهها السريع قد جاء تحت تأثير إجهادات أبكر قليلاً من مثيلاتها الأخرى في السلوك.

أضعف العينات المجربة هي العينات 12، 14، و 19، التي أظهرت أيضاً توافقاً كبيراً في سلوكها خلال مراحل التحميل الأولى للعينتان المتطابقتان تماماً في سلوكهما 12، و 14، بينما أعادت العينة 19 تكييف نفسها فتراجعت سرعة تشوهها عن مراحل التحميل الأولى حتى بدء مراحل الانهيار فيها. (اقتصار تحميل العينتين 12، و 14 حتى الحدود المبينة على المخططات موظف لأغراض بحثية أخرى غير معنية بها هذه الورقة العلمية).

نقبل القول أن سلوك العينتان 11، و 13 يظهر أنه يتوسط تقريباً سلوك مجموع العينات المجربة رغم أنهما لم تحملا إلا بمقدار يسمح لنا بتوظيف هذا التحميل المحدود لأغراض أخرى غير معنية بها هذه الورقة العلمية، أما العينتان اللتان أبدأنا ميلاً أقل للتشوه من غيرها كانتا العينتين 18، و 21، إذا استثنينا مرحلة التقعر للأولى نتيجة التكييف الذاتي للعينة، وبعض مراحل التحدب للثانية.

• مناقشة نتائج التجريب على الجهاز الثالث:

لقد أجريت تجارب على الجهاز الثالث لسبع عينات من النموذج المدروس، التي يبين الشكل (14) المخططات البيانية لسلوكها خلال مراحل التحميل، إذ يستنتج من هذه المخططات أن بعضها قد حملت حتى بدء حصول الانهيار كما الحال هو للعينة 2 التي سلكت سلوكاً خطياً تقريباً ما بعد مراحل التحميل الأولى وإعادة هيكلية فراغاتها الداخلية إلى أن وصل إجهاد بدء الانهيار فيها إلى ما يقارب 0,2 MPa تقريباً، أما باقي العينات فقد حملت بالمقدار الكافي للاستدلال بألية سلوكها

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

ما بعد هذه المراحل المبينة، إذ يسهل الاستقراء من خلال الاستدلال بسلوك العينة (2) بعد مرحلة هيكله ذاتها للتحميل المتزايد أن سلوك غالبية هذه العينات يتجه



لأن يصبح كالعينة 2 خطأً بعد مراحل التحميل الأولى التي تسعى خلالها العينات لإعادة هيكله فراغات البنيوية وغير البنيوية إن وجدت داخل النواة كعيوب تصنيع مثلاً، كما يظهره الشكل (15).

شكل (15): عيوب تقنية تصنيع الألواح

لتبيان درجة قابلية النماذج المجربة بالأجهزة الثلاثة للتشوهات أدرجنا في الجدول (1) الآتي متوسط التشوه لعينات النماذج المختبرة بهذه الأجهزة عند مرحلة إجهاد خضعت لها جميع العينات المجربة، ومقدارها 0.08 MPa.

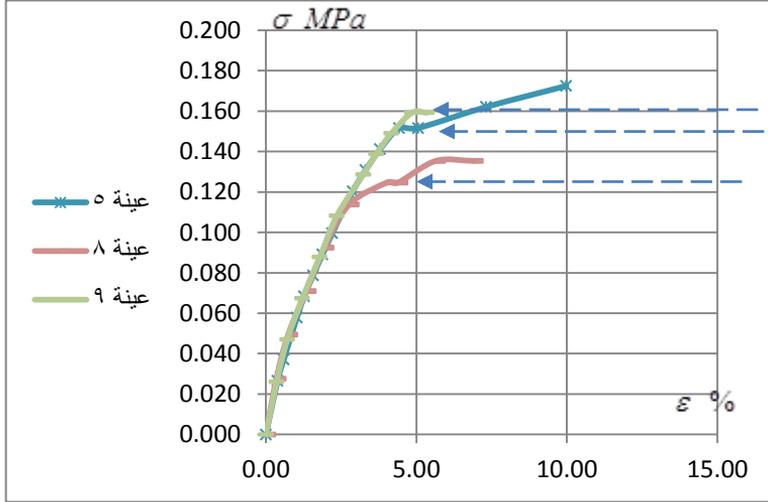
الجدول (1): متوسط تشوه العينات بالأجهزة الثلاثة لإجهاد 0.08MPa

الجهاز الثالث	الجهاز الثاني	الجهاز الأول	الجهاز
2.43	2.34	2.25	متوسط تشوه العينات % عند إجهاد 0.08MPa

يمكن الاستقراء من خلال هذه القيم الجدولية بمقارنة نتائج الاختبار بالأجهزة الثلاثة لعينات النموذج أن الاختبار بالجهاز الثالث يتيح لنواة العينة أن تكيف فراغاتها الداخلية أكثر أثناء التحميل من خلال توفر إمكانية أكبر لتدرج تطبيق الإجهادات عليها مقارنة بالجهازين الآخرين، وكذا الأمر للجهاز الثاني نسبة للأول، وهذا يتوافق أكثر مع طبيعة بطء وتدرج تطبيق التحميل على الألواح السندويشية كعناصر إنشائية.

الأمر المهم الذي نود تبيانه أن تفاوت قيم إجهادات الانهيار لعينات النموذج نفسه المجربة بالأجهزة الثلاثة، التي حددت استناداً إلى القيمة المقابلة لبدء تشكل التشوه الذاتي الذي يلي حالة التحميل القائمة لنواة العينة المجربة مباشرة دون فاصل زمني ملموس، كما تشير الأسهم المبينة على الشكل (16) لبعض العينات المختبرة، كان كبيراً. إذ بدأ عند 0,12 MPa لبعض العينات، ووصل إلى 0,3 MPa لبعضها الآخر، بينما يصل التشوه المرافق إلى 5% تقريباً. هذا التباين في

قيم إجهادات الانهيار ناجم بالدرجة الأولى عن قلة التجانس في بنية النواة للنموذج نفسه العائد لانخفاض تقنية التصنيع، وتشكل عيوب داخلية فيها كل حسب مصدره، كما يبدو ذلك من خلال الشكل (15)، ويتأثر حسابه بالدرجة الثانية بدرجة دقة الأبعاد المقاسة لعينات النموذج نفسه، وإجراءات تحضيرها للتجريب.



الشكل (16): تحديد إجهاد انهيار العينات

نمذجة السلوك المعياري لعينات النموذج الواحد المجرية:

لا يعتد بنتائج التجريب المبعثرة قليلاً أو كثيراً للسلوك الميكانيكي للمادة في عملية التحليل الإنشائي لتصميم العناصر الإنشائية بل يتم ذلك استناداً للخصائص الميكانيكية الفيزيائية المشتقة للمادة المكون منها العنصر بإرجاع السلوك المتبعثر للعينات المجرية إلى سلوك ميكانيكي معياري، غالباً خطي، ضمن مجال محدد للتحميل ليلبي شروط التحليل والتصميم بنظرية المرونة بمقدار كافٍ، وآخذاً في الحسبان تقنية إنتاج المادة، وظروف تحميلها، واختبارها. تتمثل عوامل الإرجاع المعيارية لتجارب الضغط بثلاثة عوامل جوهرية، الإجهاد، والتشوه، ومعامل المرونة.

هذا الأمر ينطبق أيضاً على المادة المختبرة في هذه الورقة العلمية، إذ لاحظنا من خلال المخططات البيانية لسلوك العينات المختبرة أن غالبيتها يتجه للسلوك

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

الخطي المتقارب فيما بينها ضمن مراحل تحميل معينة كلما كانت بنية نواتها أكثر تجانساً، كما بدأ تأثير ذلك بعد مراحل التحميل الأولى.

فطالما يقتصر تصميم العناصر الإنشائية المكونة من مثل هذه الألواح السندويشية على قيم معاملات المرونة لمادة النواة وإجهاد انهيارها لسلوكها الخطي، سوف نسعى بدورنا إلى إرجاع سلوك العينات هذه المجربة بالضغط من النموذج نفسه وعلى الجهاز نفسه إلى سلوك خطي حتى بدء تشكل إجهاد الانهيار فيها.

لأجل هذا الغرض وللاخذ في الحسبان أن يشمل معامل المرونة المرجعي التغير المتدرج في قيمه خلال تزايد التحميل الذي يتوافق عملياً مع تدرج تحميل العناصر الإنشائية، لجأنا إلى تحديد قيمة هذا المعامل المرجعي استناداً إلى عملية رياضية تتبنى إيجاد نهاية التوسيط المتتالي لعدد كافٍ من قيم معاملات المرونة للعيينة المجربة لتخطي، على الأقل، مجالات مراحل التحميل الأولى لإعادة هيكلة النواة لبنيتها الداخلية وصولاً إلى قيمة بدء انخفاض هذا المعامل في مراحل التحميل الأخيرة للعيينة، ولتأخذ في الحسبان التأثير الأكبر لقيم معاملات المرونة الداخلية لنتائج التجربة، على ألا تقل مراحل تحميل العينة الواحدة عن مرحلتين. ثم تحدد القيمة المرجعية النهائية للعينات المجربة بإيجاد المتوسط الحسابي لنتائج المعاملات الإفرادية.

لتوضيح عملية الحساب الرياضياتي هذه ندرج المثال الآتي:

نفترض أن عدد مراحل التحميل التي تدخل في التقييم لإحدى العينات المجربة هي أربع، سوف تكون معاملات المرونة لهذه المراحل هي E_1 ، E_2 ، E_3 ، E_4 ، التي ستجري عملية التوسيط المتتالي لها حسب ما تبينه المصفوفة الآتية:

معاملات التجريب	التوسيط الأول المتتالي	التوسيط الثاني	التوسيط الثالث والأخير
E_1	-	-	-
E_2	$(E_1 + E_2)/2$	-	-
E_3	$(E_2 + E_3)/2$	$(E_1 + E_2 + E_2 + E_3)/(2 \cdot 2)$ $= (E_1 + 2E_2 + E_3)/2^2$	-
E_4	$(E_3 + E_4)/2$	$(E_2 + E_3 + E_3 + E_4)/(2 \cdot 2)$ $= (E_2 + 2E_3 + E_4)/2^2$	$(E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4)/(2 \cdot 2 \cdot 2)$ $= (E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4)/2^3$

بذلك يكون معامل المرونة المرجعي للسلوك المعياري للعينة مساوياً حسب

$$E = (E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4) / 2^3 \quad \text{التوسيط الثالث والأخير:}$$

يلاحظ من هذه العلاقة أن القيم المتوسطة لمعاملات المرونة قد دخلت بثلاثة أمثالها في هذه العلاقة، بينما دخلت القيم الطرفية بمثل واحد. أما مقام هذه العلاقة فهو يمثل 2^{n-1} ، حيث n عدد القيم الداخلة في التقييم.

نفترض أن عينة أخرى ممثلة بمرحلتين بمعاملين مرونة E_1, E_2 ، سوف

$$(E_1 + E_2) / 2 \quad \text{يساوي معامل المرونة المعياري:}$$

أما لو افترضنا أن عينة أخرى ممثلة بمراحل تحميل ثلاث وبمعاملات مرونة E_1, E_2, E_3 ، سوف يساوي معامل المرونة المعياري:

$$E = (E_1 + 2E_2 + E_3) / 2^2$$

يلاحظ من هذه العلاقة أن القيمة المتوسطة لمعاملات المرونة E_2 قد دخلت بمثلين في هذه العلاقة، فهكذا تبرز هذه العملية التوسيطية المتتالية دور القيم المتوسطة أكثر في التأثير على قيم معامل المرونة المعياري للعينة.

يلاحظ من خلال هذه المصفوفة أن عناصرها القطرية تمثل دوماً النتائج المطلوبة لمعامل المرونة المرجعي للسلوك المعياري.

كومبيوترياً لا توجد صعوبات تذكر في الحساب المتتالي لهذه المتوسطات وصولاً إلى القيمة النهائية المطلوبة. أما يدوياً فإن ذلك سيستغرق وقتاً ليس بقليل إذا لم يتم اتباع السبل المبسطة لهذا الحساب، خصوصاً عندما يكون عدد القيم الداخلة في التوسيط كبيراً.

طالما أن المهم من بين عناصر المصفوفة هي عناصر نهاية التوسيط التي تمثلها العناصر القطرية للمصفوفة، لذلك بتحليل حدود هذه العناصر نجد أن ترتيب أمثالها يشكل مصفوفة، عناصر سطرها الأول وقطرها تساوي 1، وهي من الشكل:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & \blacktriangledown & \blacktriangledown & 3 \\ 0 & 0 & \blacktriangledown & 3 \\ 0 & 0 & 0 & \blacktriangleright \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E_1 & E_2 \end{bmatrix} \times [1 \ 1]^{-1} = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad \text{بالتالي، نهاية التوسيط لمعامل مرونة يساوي:}$$

ونهاية التوسيط لثلاثة عوامل مرونة يساوي:

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
طبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

$$\frac{[E_1 \ E_2 \ E_3]}{2^{3-1}} \times [1 \ 2 \ 1]^{-1} = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3}{2^2}$$

ونهاية التوسيط لأربعة عوامل مرونة يساوي:

$$\frac{[E_1 \ E_2 \ E_3 \ E_4]}{2^{4-1}} \times [1 \ 3 \ 3 \ 1]^{-1} = \frac{E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4}{2^3}$$

ونهاية التوسيط لعدد n من عوامل المرونة يساوي:

$$\frac{[E_1 \ E_2 \ \dots \ E_{n-1} \ E_n]}{2^{n-1}} \times [1 \ (n-1) \ \dots \ (n-1) \ 1]^{-1}$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	3	6	10	15	21	28	36
0	0	0	1	4	10	20	35	56	84
0	0	0	0	1	5	15	35	70	126
0	0	0	0	0	1	6	21	56	126
0	0	0	0	0	0	1	7	28	84
0	0	0	0	0	0	0	1	8	36
0	0	0	0	0	0	0	0	1	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

أي أن نهاية التوسيط لعدد n من عوامل المرونة يساوي جداء المصفوفة السطرية لقيم المعاملات بقيم عناصر العمود رقم n من مصفوفة الأمثال مقسوماً على 2^{n-1} . أما عناصر مصفوفة الأمثال فهي تنتج عن الجمع الدرجي لعناصر الأعمدة والأسطر التي تسبق العنصر المطلوب، كما يتبين على المصفوفة المعطاة أعلاه.

عندما لا يتجاوز عدد قيم معاملات المرونة المعتمدة في التجربة الواحدة عشر قيم نعطي تسهياً للعمل مصفوفة الأمثال الآتية. إذ يمثل السطر العلوي المسطر فيها أرقام أعمدة المصفوفة.

مثال: إذا أدخلنا في حساب معامل المرونة المعياري للعينة 3 من النموذج

المجربة بالجهاز الثاني القيم التسع الأولى نجد أن نهاية التوسيط لهذه القيم هي:

$$E_{c3} = \frac{E_1 + 8E_2 + 28E_3 + 56E_4 + 70E_5 + 56E_6 + 28E_7 + 8E_8 + E_9}{2^{9-1}} =$$

$$\frac{6 + 8 \cdot 5.23 + 28 \cdot 4.9 + 56 \cdot 3.97 + 70 \cdot 3.53 + 56 \cdot 5.41 + 28 \cdot 5.32 + 8 \cdot 5.6 + 4.39}{2^8} = 4.51 \text{MPa}$$

هكذا نجد أن هذا المعامل المعياري لنتائج العينات بالجهاز الأول الميكانيكي هو

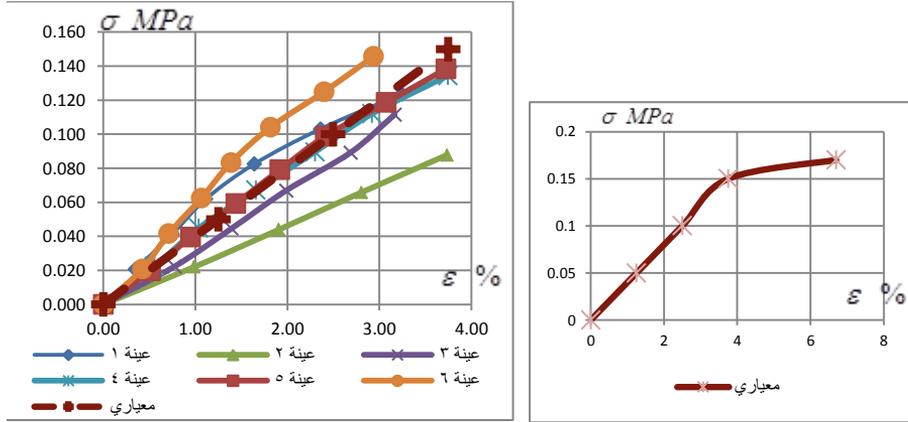
المعطى في الجدول (2).

الجدول (2): المعاملات المعيارية للنموذج بالجهاز الأول

6	5	4	3	2	1	رقم العينة
7	7	6	7	5	6	عدد المعاملات المشمولة
5.69	3.99	3.72	3.73	2.39	4.5	المعامل المعياري Eci

24.02	المجموع
$E_c = 24.02 / 6 = 4.00MPa$	E_c المعياري النهائي

أما إجهاد الانهيار σ_c فيصل إلى $0.15MPa$. بالتالي يصبح مخطط السلوك المعياري كما في الشكل (17)، ليأخذ موقعه للمقارنة بين عينات الاختبار كما في الشكل (17).



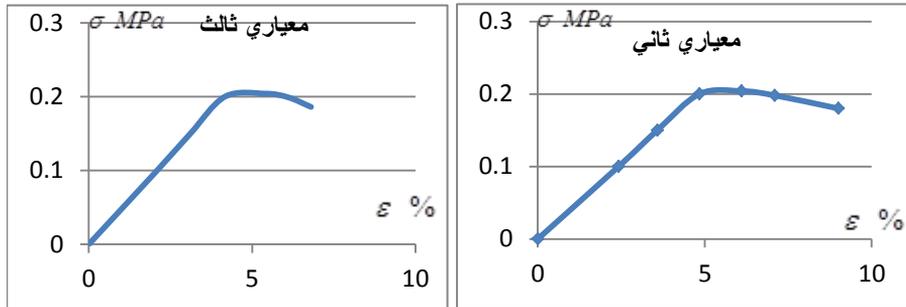
شكل (17): مخطط السلوك المعياري بالضغط لنموذج الألواح بالجهاز الآلي الميكانيكي الأول بالطريقة نفسها نجد أن هذا المعامل المعياري لنتائج اختبار عينات نموذج الألواح بالجهاز الثاني يأخذ قيمة الإفرادية للعينة والنهائية للنموذج كما هي مدرجة في الجدول (3).

الجدول (3): المعاملات المعيارية لعينات النموذج بالجهاز الثاني

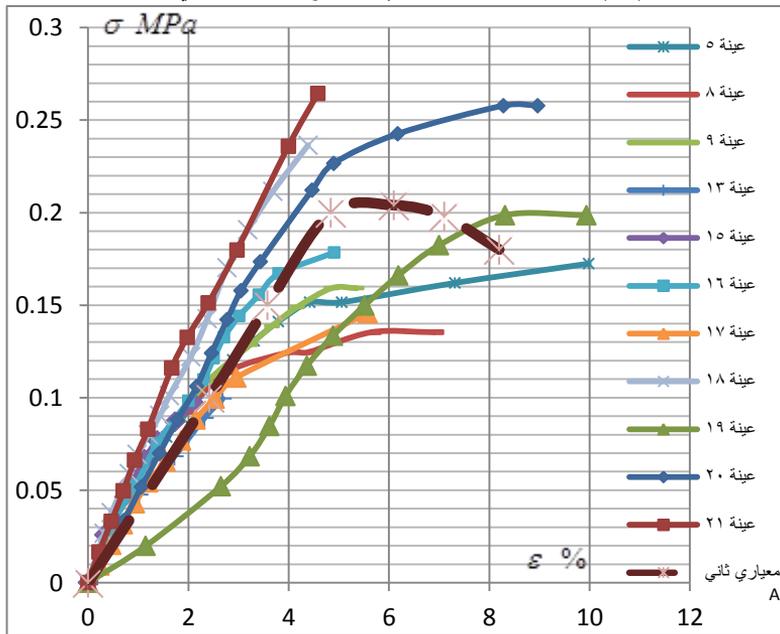
رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
عدد المعاملات المشمولة	4	3	9	8	8	5	4	5	6	4	5
المعامل المعياري Eci	2.0	2.2	4.5	3.9	4.0	4.2	3.2	4.3	4.6	5.43	3.8
رقم العينة	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
عدد المعاملات المشمولة	5	4	5	6	7	10	9	7	8	8	
المعامل المعياري Eci	4.5	2.3	3.6	4.43	4.9	4.0	5.5	3.5	5.2	6.9	
المجموع	86.77										
E_c المعياري النهائي	$E_c = 86.77 / 21 = 4.13MPa$										

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

أما إجهاد الانهيار σ_c فيصل إلى $0.20MPa$. بالتالي يصبح مخطط السلوك المعياري كما في الشكل (18)، ويأخذ موقعه للمقارنة بين عينات الاختبار كما في الشكل (19).



شكل (18): مخطط السلوك المعياري للنموذج بالجهاز الثاني والثالث



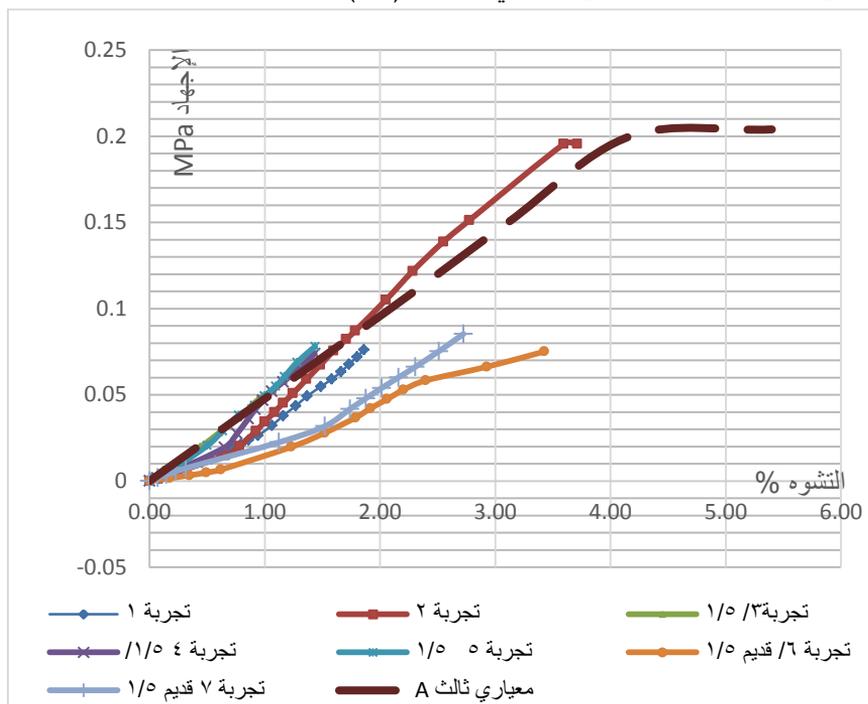
شكل (19): المخطط البياني للسلوك المعياري بين المخططات البيانية لعينات النموذج المختبرة على الجهاز الثاني كذلك نجد أن هذا المعامل المعياري لنتائج اختبار العينات بالجهاز الثالث يأخذ قيمه الإفرادية للعينة، والنهائية للنموذج كما هي مبينة في الجدول (4).

الجدول (4): المعاملات المعيارية لعينات النموذج بالجهاز الثالث

رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7
عدد المعاملات المشمولة	16	16	13	13	13	11	12

2.40	2.71	5.53	6.34	5.40	2.30	4.39	Eci المعامل المعياري
33.58							المجموع
$E_c = 33.58 / 7 = 4.15MPa$							E_c المعياري النهائي

أما إجهاد الانهيار σ_c فيصل إلى $0.20MPa$.
 بالتالي يصبح مخطط السلوك المعياري كما في الشكل (18)، ليأخذ موقعه للمقارنة بين عينات الاختبار كما في الشكل (20).



شكل (20): المخطط البياني للسلوك المعياري بين المخططات البيانية لعينات النموذج على الجهاز الثالث

إن اقتصار إجراء عدد كبير من التجارب بالجهاز الثاني على النموذج المختبر، إنما جاء فقط لتكوين مرجعية كافية لاستقراء عدد التجارب التي ينبغي إجراؤها كحدٍ أدنى للحصول على السلوك المعياري التصميمي لنموذج الألواح السندويشية المستخدمة في العناصر الإنشائية المطلوبة، إذ لم يعد هناك حاجة لإجراء العدد نفسه على الأجهزة الأخرى لاستقراء المطلوب، بل تم الاكتفاء بإجراء الاختبارات على عدد محدود من عينات النموذج، وبالأجهزة الأخرى لإبراز إمكانية وتقنية إجراء الاختبارات عليها.

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوإيثان /PUR/

هكذا نجد أنه يمكن الحصول على قيمة معامل المرونة المعياري، وبالتالي إجهاد الانهيار المعياري التصميمي لعينات النموذج وفقاً لما هو مبين في الجدول (3) بدقة كافية، أيضاً، من خلال إيجاده لكل 12 عينة مجربة متتالية من هذا الجدول. إذ تزداد هذه الدقة كلما ازداد أكثر عدد نتائج العينات الداخلة في التقييم، ويزداد التباين كلما قل أكثر عدد العينات الداخلة في التقييم عن 12 عينة. إن اختبار طبقة التغطية وتحديد خصائصها الميكانيكية، وتعيين مخطط السلوك المعياري لنواة الألواح السندويشية، يسمحان بتحديد الخصائص الميكانيكية الفيزيائية اللازمة على الضغط لتصميم العناصر الإنشائية المكونة منها. لذلك، ويقبول أن $E_f = 210000MPa$ لطبقة تغطية اللوح، وأن $\nu = 0.06$ كمعامل للتمدد العرضي لمادة النواة [3]، نجد حسب العلاقة (1) أن الإجهاد الحرج لانهيار اللوح السندويشي هو المبين في الجدول (4) لأجل معاملات المرونة المعيارية للنواة المستقاة بموجب استخدام أجهزة الاختبار الثلاثة.

الجدول (4): الإجهاد الحرج لمعامل المرونة المعياري لكل جهاز

جهاز الاختبار	جهاز أول	جهاز ثانٍ	جهاز ثالث
معامل المرونة المعياري	4.0MPa	4.13MPa	4.15MPa
الإجهاد الحرج MPa	106	108	109

يشير هذا التقارب في قيم معاملات المرونة للنموذج نفسه من الألواح والإجهاد الحرج المرافق إلى جدوى الاختبار بأحد الأجهزة الثلاثة، علماً أن اختبار لوحين من هذا النموذج بالتحميل حتى الانهيار أظهر أن الإجهاد الحرج لهذا الانهيار قد تجاوز $111MPa$ ، وهو يوضح أن النتائج التي تم الحصول عليها بالجهاز الثالث كان أكثر دقة من غيره، عدا سهولة العمل به، وتعدد وظائفه نسبة للجهازين الآخرين.

لهذا الغرض أدرجنا في الجدول (5) مقارنة تفصيلية بين الأجهزة الثلاثة مستخدمة في اشتقاق السلوك المعياري على الضغط لعناصر الألواح السندويشية بحشوة مادة الفوم الصلبة.

الجدول (5): مقارنة تقنيات الأجهزة الثلاثة المستخدمة في تجارب الضغط لنوى الألواح السندويشية

الجهاز الثالث	الجهاز الثاني	الجهاز الأول
يدوي	يدوي	آلي
مصنع للبحث خصيصاً لاختبار مثل هذه المواد الحساسة على الضغط وسواه	مصنع للبحث خصيصاً لاختبار مثل هذه المواد الحساسة على الضغط	متوفر في المخبر، وغير مخصص لاختبار مثل هذه المواد الحساسة على الضغط دون إجراءات معايرة دقيقة خاصة دوماً
حساسية عالية لفقرات التحميل حتى الصغيرة منها	حساسية منخفضة لفقرات التحميل الصغيرة جداً	خطوات تحميل كبيرة نسبياً
يمكن التحكم بعدد الفقرات (الخطوات) أكثر	يمكن التحكم بعدد الفقرات (الخطوات)	عدد فقرات قليل لتوصيف السلوك
سرعة أبطأ من الآلي ويمكن التحكم بها دوماً	سرعة أبطأ (ربع ساعة وأكثر) ويمكن التحكم بها	سرعة التحميل كبيرة (نصف دقيقة)
قفزة التحميل دقيقة جداً (أوزان)	قفزة التحميل دقيقة جداً (أوزان)	ارتياب دقة قيمة قفزة التحميل
يسمح للنواة بهيكلتها نفسها أثناء التجربة	يسمح للنواة بإعادة هيكلتها نفسها أثناء التجربة	لا يسمح للنواة بإعادة هيكلتها بشكل كاف أثناء التجربة
يمكن إطالة زمن تأثير التحميل حسب الطلب	يمكن إطالة زمن تأثير التحميل حسب الطلب	زمن ثبات تأثير التحميل على العينة قليل جداً (يتراجع ضغط الزيت)
يسمح بمراقبة تشوهات لحظية ومستمرة	يسمح بمراقبة تشوهات لحظية ومستمرة	يسمح بمراقبة تشوهات لحظية فقط
متعدد إمكانيات الاختبار	صالح لاختبار الضغط فقط	صالح لاختبار الضغط فقط
يحتاج لمقاييس تشوه	يحتاج لأربعة مقاييس تشوهات	يحتاج لمقياس تشوهات واحد
يمكن التحكم بدرجة التأثير الديناميكي للتحميل	يمكن التحكم بدرجة التأثير الديناميكي للتحميل	ليس لنظام التحميل تأثير ديناميكي على العينات
يخضع لاحتمالات عدم التوزع المنتظم للتحميل المضبوط أثناء التجريب	يخضع لاحتمالات عدم التوزع المنتظم للتحميل المضبوط أثناء التجريب	توزع منتظم للتحميل
تصلح نتائجه لكل حالات التحميل المباشر وسواه	تصلح نتائجه لكل حالات التحميل المباشر وغيره	تصلح نتائجه للتحميل المباشر أكثر

توضح المقارنة الواردة في هذا الجدول أهمية التوجه لتطوير العمل بالجهاز الثالث كجهاز مخبري متعدد الوظائف مخصص لدراسة بارامترات السلوك المعياري التصميمي لمثل هذه المواد الحساسة المستخدمة في الجمل والعناصر الإنشائية.

5: الاستنتاجات والتوصيات

5-1: النتائج:

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
طبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

- 1- يتم تصميم العناصر الإنشائية بالألواح السندويشية المكونة من طبقتي تغطية معدنيتين وحشوة بينهما من مادة البوليوريثان باشتراط خصائص السلوك المرن التي تتمتع بها هذه المكونات.
- 2- يشترط التحليل الإنشائي تحقيق مكونات اللوح المستخدم للخصائص الميكانيكية والفيزيائية الداخلة في قوانين التصميم، والتي من أهمها إجهاد ضغط النواة، وإجهاد التجعيد الحرج لطبقة التغطية σ_{cr} المرتبط بخصائص طبقة التغطية ونواة اللوح.
- 3- برهن البحث جدوى توطين وسائل التجريب المعتمدة وأسسها لاشتقاق القيم المعيارية التصميمية لمكونات مثل هذه الألواح.
- 4- تباين تقنية إنتاج الألواح السندويشية يتطلب إيجاد مخطط سلوك معياري تصميمي مبني على نتائج اختبار عينات عشوائية من الألواح المستخدمة في المنشأة الهندسية لا يقل عددها عن اثنتي عشر عينة.
- 5- يحدد معامل المرونة المعياري للعينات المجربة بإيجاد متوسط نهايات التوسيط لمعاملات المرونة للعينات المجربة بالطريقة الرياضية المعروضة في متن هذا البحث.
- 6- يحدد إجهاد انهيار ضغط النواة بالقيمة المقابلة لبدء تشكل التشوه الذاتي الذي يلي حالة التحميل القائمة لنواة العينة المجربة مباشرة دون فاصل زمني ملموس.
- 7- يفضل إجراء اختبارات النواة أكثر على الجهاز الثالث المذكور في متن هذه الورقة العلمية ليلبي أكثر مستلزمات تحديد إجهاد الانهيار بدقة، ويقدم ظروفاً أفضل لمراقبة متغيرات التجربة أثناء التحميل لتوفر إمكانية تحميل العينة بخطوات صغيرة جداً.
- 8- مخطط السلوك للتحميل المستمر بالجهاز الثالث يتم الحصول عليه بحذف نتائج التشوه الذاتي الذي يمكن تشكله خلال مراحل التحميل الأخيرة للعينة نتيجة الفواصل الزمنية لإضافة التحميل.

5-2: التوصيات

- 1- الاهتمام مستقبلاً باستمرار إجراء أبحاث علمية تجريبية تحليلية على مثل هذه الألواح السنويشية لترسيخ توطين استثمار منتجاتها المحلية علمياً.
- 2- تزويد مخبر الكلية مستقبلاً بجهاز خاص لاختبار مثل هذه المواد الحساسة جداً لتعميم نتائجها العلمية على الأوساط الهندسية الأخرى.
- 3- يعد الجهاز الثاني المعروف في متن هذه الورقة العلمية أساساً يبنى عليه حالياً لإجراء اختبارات الضغط لهذه المواد، مع إمكانية إدخال تقنيات أخرى عليه للحصول على ظروف اختبار أيسر ونتائج أدق.
- 4- يعد الجهاز الثالث المعروف في متن هذه الورقة العلمية أساساً يبنى عليه حالياً، وبديلاً عن الجهاز الثاني نظراً للميزات التي يتمتع بها من اختبار للضغط، والشد، والقص لهذه المواد، مع إمكانية تطويره أكثر بإدخال تقنيات أخرى عليه للحصول على ظروف اختبار أيسر ونتائج أكثر دقة.

6: المراجع:

- [1] Davies, J.M.: *Sandwich panels, Thin-Walled Structure*, Vol.16, pp. 179-198, 1993.
- [2] Pokharel, Nayrayan: Doctorate Thesis, *Behavior and design of sandwich panel subject to local buckling and flexural wrinkling effects*, Queensland university, PP. 1-305, 2003, Australia.
- [3] CIB2000, International Council for Building Research, Studies and Documentation " European Recommendations for Sandwich Panels, Part 1, Design", CIB Publication, pp.1-900.
- [4] Omran, J & Sakkour, A: *A Contribution in studying the stability of the flat and lightly profiled faces of polyurethane cored sandwich panel*, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (2), pp. 353-368, 2014
- [5] Fagerberg, L: *Wrinkling of sandwich panel for marine application*. PhD thesis, ISSN 1651-7660, KTH Aeronautical and Vehicle Engineering, Stockholm, Sweden, pp.1-180, 2003.
- [6] Zenkert, D.: *An introduction to sandwich construction*, Engineering Materials Advisory Services Ltd, Solihull, UK, pp.1-60, 1995.
- [7] Sakkour, Akram: *Mechanics of Materials*, Bd. 1, Tishreen University, pp. 1-700, 2016.
- [8] Sakkour, Akram: *Mechanics of Materials*, Bd. 2, Tishreen University, pp. 1-710, 2012.

تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على خصائص الزحف للتراب الانخفاسية

*أ.د علي سليمان العبدالله.

**م. محمد بسام عيد

الملخص

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة مخبرية لتوضيح سلوك الزحف في التراب الانخفاسية بتغير محتوى الرطوبة والإجهاد المطبق.

أحضرت التربة من منطقة جوسيه (جنوب غرب مدينة حمص)، و حددت الخواص الرئيسية لها ، بعد ذلك تم إجراء سلسلة من اختبارات التشوه مع الزمن للتراب الانخفاسية ضمن جهاز الضغط الحر ،وأظهرت النتائج أن تغير محتوى الرطوبة والإجهاد المطبق على العينة لهما تأثير كبير على خصائص الزحف للتراب الانخفاسية، فعند محتوى رطوبة منخفض تكون قيمة التشوه مع الزمن في العينات صغير وتدخل العينة مرحلة الزحف الابتدائي ومرحلة الزحف المستقر، وعند تعرض التربة لنفس الإجهادات وبتغير محتوى الرطوبة تزداد قيمة التشوهات وتدخل العينات المعرضة لإجهاد أكبر مرحلة الزحف المتسارع وتكون مدته قصيرة مقارنةً مع الزحف المستقر، تم التوصل إلى نموذج رياضي يوصف سلوك الزحف للتراب الانخفاسية بتغير محتوى الرطوبة والإجهاد المطبق.

كلمات مفتاحية: التراب الانخفاسية، الخصائص الريولوجية، تشوه الزحف، الزحف المتسارع.

Effect of moisture content and stress applied on creep properties of Loose soils

Ali Alladbulba *

Mohammad Eid **

Abstract

This research aims to conduct a laboratory study to investigate the creep behavior of Loose soils with the change of moisture content and applied stress.

The soil was brought from the Joseh area (located southwest of Homs city), and its main properties were determined, after that a series of test (time dependent deformation) were carried out for the Loose soils within an unconfined compression test.

The results showed that the moisture content and the applied stress have a significant effect on the creep properties of Loose soils, at low moisture content the value of strain in the samples is small, and the sample enters the stage of primary creep and secondary creep.

The value of strain increases with increasing moisture content when samples are subjected to the same stresses, and the samples subjected to greater stress enter the stage of accelerated creep and its duration is short compared to the secondary creep.

A mathematical model has been created to describe the creep behavior of Loose soils with the change of moisture content and applied stress.

Key words: Loose soils, Rheological properties, creep deformation, accelerated creep

*Professor, Department of Geotechnical Engineering, College of Civil Engineering, Al-Baath University.

** Postgraduate Student (PhD) Department of Geotechnical Engineering - College of Civil Engineering - Al-Baath University.

1. مقدمة

الترب الانخفاسية أو ما تسمى بتربة اللوس عبارة عن رواسب ريحيه - Aeolian deposit ذات اللون الأصفر الرمادي أو الأصفر المائل للبنى، وهي رواسب ذات مسامية عالية تتكون بشكل أساسي من جزيئات السيلت وكميات صغيرة من جزيئات الرمل والغضار، وأهم ما يميز هذه الترب بأنها تتمتع بمقاومة ميكانيكية عالية عندما تكون جافة وعند ترطيبها تنهار بنيتها بشكل سريع مسبباً هبوطات كبيرة.

تشغل هذه التربة حوالي 10% من مساحة العالم وتنتشر في سوريا في منطقة الفرات وعلى امتداد نهر العاصي من منطقة القصير مروراً بالرستن وصولاً إلى سهل الغالب. شكّلت هذه التربة مشاكل عديدة للمنشآت الهندسية المشيدة عليها حيث أصبح البعض من هذه المنشآت خارج عن الاستثمار ويمكن اعتبارها أيضاً إحدى الأسباب ممكن أن تسبب الانهيارات الأرضية، ويعود السبب في ذلك إلى خصائص الزحف الفريدة التي تتمتع بها التربة اللوسية، فقد يعمل تغير محتوى الرطوبة كعامل رئيسي يتحكم في المقاومة الميكانيكية لتربة اللوس ويؤثر على تقدم آلية الانهيار ويعزى ذلك في المرتبة الأولى إلى بنية اللوس المسامية.

[6] أجرى تجارب كيميائية على تربة اللوس وأكد أن تغير محتوى الرطوبة كان بالفعل عاملاً رئيسياً يتحكم في قوة القص ، وأن ترطيب تربة اللوس على المدى الطويل يؤدي إلى إذابة أيونات الملح ، مما يضعف من مقاومتها.

[11] درس تأثير التغيير في الرطوبة على البنية المجهرية لتربة اللوس ووجد أنه في ظل ظروف الغمر أو الترطيب ، سيكون لهيكل التربة تغير واضح مع زيادة محتوى الرطوبة ، مما يؤدي إلى تقليل السمنتة بين جزيئات التربة و تقليل مقاومتها.

دُرست هذه التربة من حيث تكوينها وتشكيلها وسلوكها وعلاقتها بالعديد من العوامل وكيفية التعامل معها، ووضعت العديد من النظريات والآليات التي تفسر سلوكها إلا أن سلوك الزحف لتربة اللوس بقي محط انظار العديد من الباحثين حتى الآن.

إن الخاصية الريولوجية للتراب الانخفاسية ترتبط ببعض المشكلات مثل قابلية الانهيار وقوة وقابلية الانضغاط لذلك فإن إجراء بحث حول الخصائص الريولوجية لتربة الانخفاسية ليس له أهمية تعليمية لحل المشكلات الجيولوجية فقط، بل له أيضاً بعض الأهمية الإرشادية والمبتكرة في البحث المتعلق بميكانيكا المواد الصلبة.

تعتبر الخصائص الريولوجية للجسم عن نفسها في شكل زحف، ارتخاء، تراجع في القوة بسبب تطبيق حمولة على المدى الطويل، ويُفهم زحف التربة بأنه عملية التشوه المستمر مع الزمن تحت حمل ثابت.

على الرغم من أن جميع الأجسام الحقيقية تكون - من حيث المبدأ - عرضةً للزحف فإن هذه الخاصية يمكن ملاحظتها فقط إذا توفر الوقت الكافي بالإضافة لتوفر درجة حرارة معينة، فالترربة والمعادن يمكن أن تزحف تحت درجة حرارة عالية والتشوه المرتبط بها يمكن أن يصبح ملموساً في غضون ساعات أو أشهر، ويمكننا القول إن الريولوجية هي العلم الذي يدرس زحف أو سيلان المواد ، وتأتي أهمية الريولوجيا انطلاقاً من نظريات المرونة واللدونة الكلاسيكية فإن حالة (إجهاد - تشوه) للجسم يمكن أن تعرف بشكل واضح بمقدار الحمل المطبق وطريقة تطبيقه، إذا بقي الحمل دون تغيير فإن الإجهاد الناتج والتشوه يبقى أيضاً دون تغيير.

في الأجسام الحقيقية يتغير سلوك (الإجهاد - التشوه) مع الزمن ويعتمد على تاريخ التحميل السابق وكنتيجة، يمكن اعتبار علاقة (الإجهاد - التشوه) علاقة متغيرة القيم أكثر منها علاقة ذات قيمة ثابتة حتى لو كان أحدهما (الإجهاد - التشوه) ثابتاً فإن الأخر سيكون متغيراً مع الزمن [8].

عند اختبار الأجسام المثالية، فإن نظرية المرونة واللدونة الكلاسيكية تفترض أن أشكال التشوه الناتجة عن إجهاد مجّع والناتجة عن إجهاد بسيط تكون متماثلة، بينما في الأجسام الحقيقية تكون العلاقة بين الإجهاد والتشوه لا خطية علاوةً على أنها تتعلق بتراتبية الإجهادات وشروط التحميل، فدراسة هذه المسائل يقع خارج مجال نظرية المرونة واللدونة ضمن اختصاص الريولوجيا ونستطيع القول إن الغاية من الريولوجيا هو التحري حول ميكانيكية حالة التشوه والإجهاد والطريقة التي تتغير فيها هذه الحالة مع الزمن.

[2] درس تشوهات الزحف لترية اللوس بقيم مختلفة رطوبة مختلف ضمن جهاز الضغط ثلاثي المحاور مستخدماً ضغط حصر ثابت وأكد عند تطبيق إجهاد على تربة اللوس الانخفاسية تبدي العينة تشوهاً لحظياً ومع مرور الزمن يزداد التشوه ، وبتزايد قيمة الإجهاد الديفياتوري تزداد قيمة التشوه اللحظي، وفي حال زيادة محتوى الرطوبة للعينة فإن عملية الزحف تنتقل إلى مرحلة الزحف المتسارع بشكل أسرع. وكلما زادت محتوى الرطوبة يحدث الانهيار عند إجهاد ديافياتوري منخفض ويوقت أقصر، وفي حال كان الإجهاد الديفياتوري أقل من قيمة إجهاد الخضوع فإن منحنى الإجهاد-التشوه يقترب من خط مستقيم ويظهر خصائص ريولوجية خطية، وبتزايد الإجهاد ليصبح أكبر من قيمة إجهاد الخضوع يظهر المنحنى منعطفاً واضحاً نحو محور التشوه مما يظهر سلسلة من الخصائص الريولوجية غير الخطية. وفي حال كان محتوى الرطوبة منخفض فمن المحتل حدوث انهيار قص وبتزايد محتوى الرطوبة يحدث انهيار لدن بدلاً من انهيار قص.

[4] درس خصائص الزحف لترية اللوس باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور بمحتوى رطوبة منخفض تحت تأثير قيم مختلفة لإجهاد الحصر مختلف، وأوضح أن ضغط الحصر ومحتوى الرطوبة لهما تأثير كبير على خصائص الزحف حيث أن تشوهات الزحف تزداد بزيادة محتوى الرطوبة تحت إجهاد حصر ثابت ، بينما تتناقص قيمة تشوهات الزحف بزيادة ضغط الحصر تحت محتوى رطوبة ثابت.

[5] درس خصائص الزحف لترية اللوس باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور لثلاثة أنواع من الترب اللوسية (تربة سليمة ذات محتوى رطوبة طبيعي وتربة معاد تشكيلها بأوزان حجمية مختلفة ومحتوى رطوبة مختلف وعينات سليمة مشبعة) تحت ضغوط حصر مختلفة. توصل إلى أن جميع الترب تبدي خصائص غير خطية ويكون التشوه في الترب المشبعة هو الأعلى ثم يليه العينات المعاد تشكيلها ثم العينات الأصلية، مؤكداً على أن الرطوبة والإجهاد المطبق والكثافة الجافة جميعها لها تأثير كبير على خصائص الزحف لترية اللوس.

[1] درس خصائص الزحف لتربة اللوس ضمن جهاز القص المباشر وجهاز الضغط ثلاثي المحاور من أجل نفس العينات ونفس محتوى الرطوبة وتوصل إلى أن قيمة التشوهات في جهاز الضغط ثلاثي المحاور لم تتجاوز 10% بينما في جهاز القص المباشر لم تبلغ قيمة التشوهات 4%.

[3] أجرى اختبارات زحف على تربة اللوس مستخدماً جهاز الانضغاط أحادي المحور، وجهاز الضغط ثلاثي المحاور بضغوط حصر مختلفة ومحتوى رطوبة مختلف. فمن خلال تحليل المنحنيات تبين أنه، في حال كانت قيمة الإجهاد المطبق أقل من قيمة إجهاد الخضوع للعيونة تكون تشوهات الزحف منخفضة وتأخذ شكل مستقيم تقريباً وفي حال تجاوز قيمة الإجهاد لإجهاد الخضوع تبدأ مرحلة الزحف المتسارع ويميل الخط إلى منحنى مما يعكس سلسلة من الخصائص الريولوجية اللاخطية لتربة اللوس.

2. هدف البحث

دراسة تشوهات الترب الانخفاسية مع الزمن وبيان تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على تشوهات الترب الانخفاسية مع الزمن.

3. مواد وطرائق البحث

تم إحضار التربة التي أُجريت عليها التجارب من منطقة جوسيه في ريف القصير جنوب غرب مدينة حمص-. حيث جُففت التربة ونخلت على المنخل 2mm وتم تحديد الخواص الأساسية الفيزيائية والميكانيكية للتربة وفق نظام (ASTM) [7] وكانت النتائج كما هي مبينة في الجدول (1).

الجدول (1) الخواص الأساسية الفيزيائية والميكانيكية للتربة

تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على خصائص الزحف للتربة الانخفاسية

جوسيه (ريف القصير)		موقع التربة
7.8	$\omega\%$	محتوى الرطوبة
1.67	$\gamma_b \text{ gr/cm}^3$	الوزن الحجمي الرطب
1.55	$\gamma_d \text{ gr/cm}^3$	الوزن الحجمي الجاف
2.7	G_s	الوزن النوعي
1.79	$\gamma_{d \max} \text{ gr/cm}^3$	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي
16.8	$\omega_{opt}\%$	الرطوبة الأمولية
0.7419	e_0	دليل الفراغات الابتدائي
28.38	$sr\%$	درجة الإثباع
27.8	$LL\%$	حد السيولة
17.4	$LP\%$	حدا اللدونة
10.4	$PI\%$	دليل اللدونة
24.6	$s\%$	رمل
52.6	$M\%$	سيلت
22.8	$C\%$	غضار
24.2	ϕ	زاوية الاحتكاك الداخلي
0.46	$c \text{ kg/cm}^2$	التماسك
CL	USCS	نظام تصنيف التربة

3-1 تجهيز العينات

لدراسة السلوك الريولوجي للتربة الانخفاسية أجريت تجارب التشوه مع الزمن باستخدام

جهاز الضغط الحر على عينات سليمة من التربة وزنها الجمي الجاف = γ_d

1.55 gr/cm^3 . تم اختيار قيم مختلفة لرطوبة العينات المستخدمة ($\omega =$) (5,8,12,16 %).

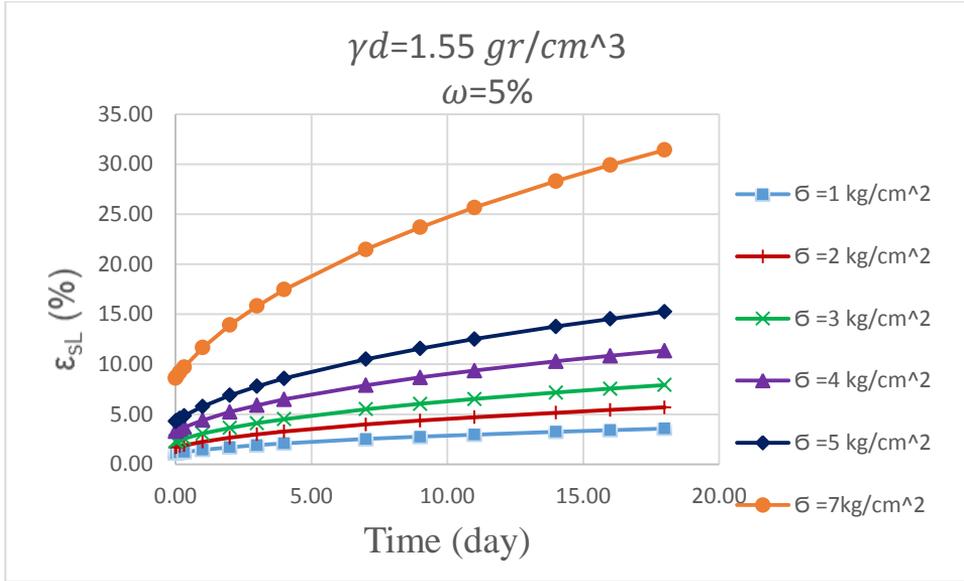
تم ترطيب كتلة ترابية حتى وصولها إلى رطوبة الإشباع تقريباً، ومن ثم تم لف وتغطية الكتلة وحفظها في حاوية رطبة في قعرها كمية من الماء لمدة سبعة أيام لتعيد العينة توزيع رطوبتها بشكل متجانس. قُسمت هذه الكتلة إلى أربع مجموعات حيث كل مجموعة سيكون لها رطوبة محددة. تم تجفيف المجموعات حتى وصولها إلى محتوى الرطوبة المطلوب بتعريض العينات لتيار هوائي ضعيف وجاف لعدة ساعات، وعلى مراحل ثم تم وزنها لحساب كمية الماء المتبخرة وبعد ذلك لُفت العينات بشرائح من النايلون ووضعت في حاوية رطبة لمدة سبعة أيام أيضاً لتتوزع الرطوبة بشكل متجانس، كررت العملية حتى الوصول إلى الرطوبة المطلوبة. [12]

3-2 دراسة تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن

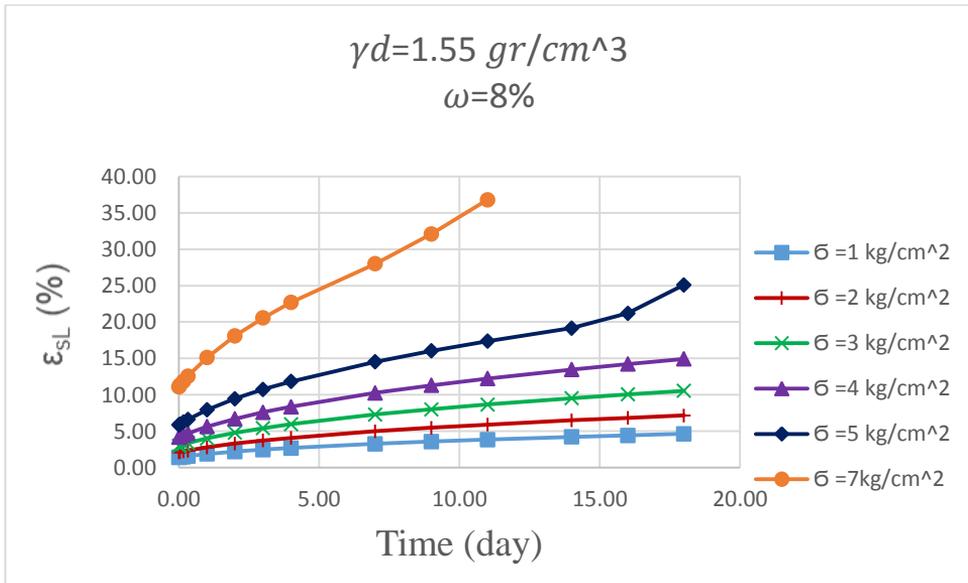
أُجريت تجارب التشوه مع الزمن باستخدام جهاز الضغط الحر على عينات سليمة البنية من التربة الانخفاسية أُخذت من كتله واحدة، قُسمت العينات إلى أربع مجموعات حيث كل مجموعة توافق رطوبة ابتدائية محددة وهي على التوالي (5, 8, 12, 16) % ، تم التحكم بالرطوبة الابتدائية للعينات من ناحية الترطيب أو التجفيف بالطريقة المشار لها في الفقرة السابقة.

أُجريت التجربة على عينات سليمة وزنها الحجمي الجاف $\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$ ثم طُبّق عليها إجهاد ثابت ($\sigma = 1,2,3,4,5,7 \text{ kg/cm}^2$) وبعد ذلك تم قياس التشوهات مع الزمن.

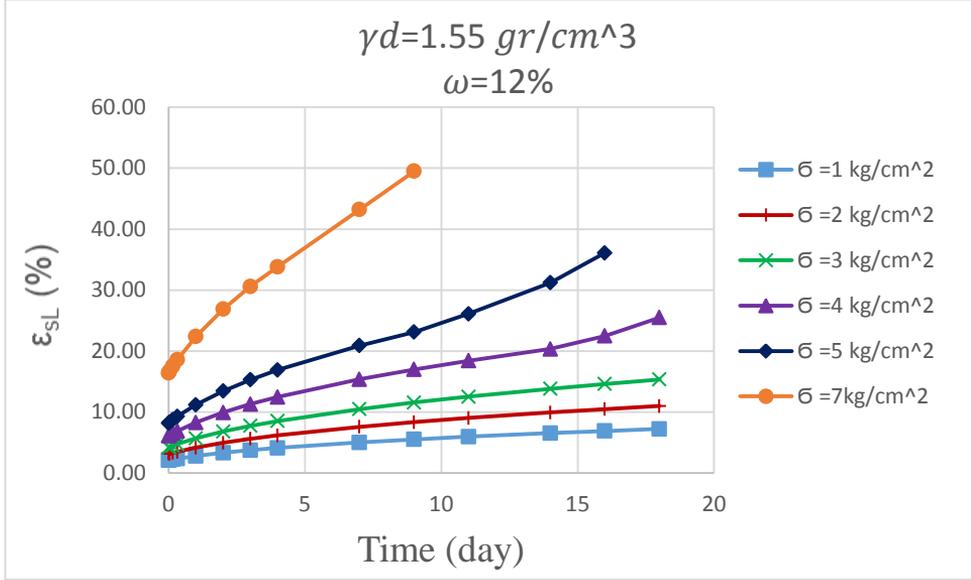
توضح الأشكال التالية (1,2,3,4) تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن عند محتوى رطوبة (5, 8, 12, 16) % ، علماً أن كل منحنى يوافق قيمة إجهاد ثابت وكل مجموعة توافق قيمة محددة من الرطوبة.



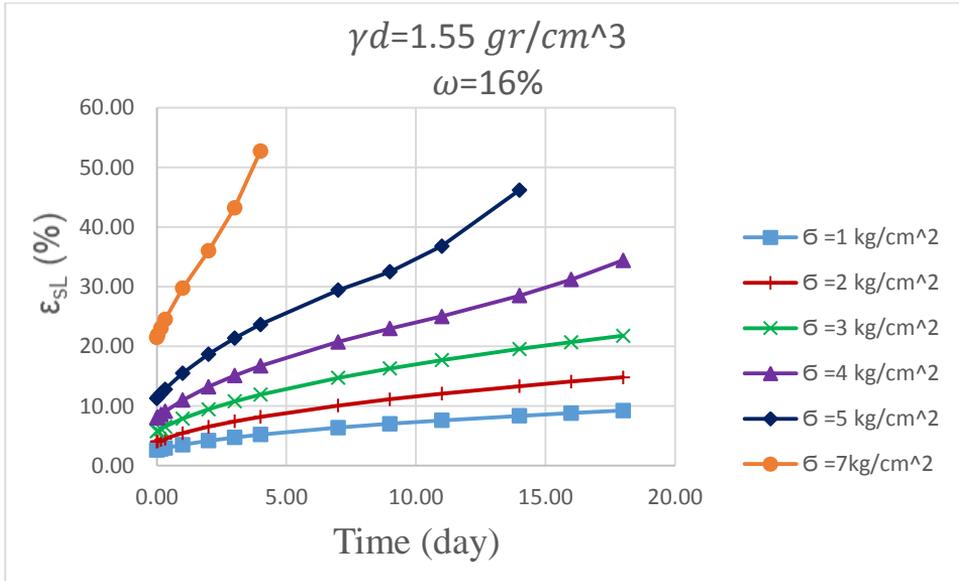
الشكل (1) تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن من أجل ($\omega = 5\%$)



الشكل (2) تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن من أجل ($\omega = 8\%$)



الشكل (3) تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن من أجل ($\omega = 12\%$)



الشكل (4) تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن من أجل ($\omega = 16\%$)

يمكننا تقسيم كل مخطط من المخططات السابقة إلى تشوهات لحظية يرمز لها $\varepsilon(0)$ تحدث مباشرة بعد تطبيق الحمولة (الحمولة تبقى ثابتة طيلة فترة إجراء التجربة) وتوافق

التشوه عند اللحظة ($t=0$) وتسمى أيضاً التشوه الفوري أو البدائي، والجزء الآخر من التشوهات يتم مع الزمن ويرمز له $\varepsilon^-(t)$ ، وعليه فإن التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية يمكن أن نعبر عنها بالصيغة التالية :

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \varepsilon^-(t) \dots \dots \dots (1)$$

كذلك وكما هو مبين من المخططات فإن تشوهات الزحف $\varepsilon^-(t)$ في أغلب العينات تتكون من جزأين في الجزء الأول تتناقص سرعة التشوهات مع الزمن (مرحلة الزحف الابتدائي) حتى تصل إلى قيمة ثابتة (مرحلة الزحف المستقر) حيث نطلق على تشوهات الزحف بتشوهات الزحف المتخامدة وتكون مدته طويلة نسبياً، ولكن عند زيادة محتوى الرطوبة وبزيادة الإجهاد المطبق تزداد سرعة التشوهات ويطلق عليها اسم التشوهات اللزجة - اللدنة (مرحلة الزحف المتسارع) ويمكن كتابة الصيغة (1) بالشكل التالي:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \varepsilon_I^-(t) + \varepsilon_{II}^-(t) + \varepsilon_{III}^-(t) \dots \dots \dots (2)$$

وكل مرحلة من هذه المراحل تستمر (تطول أو تقصر) تبعاً لنوع التربة وقيمة الإجهادات المطبقة ورطوبة التربة.

يتمتع كل منحنى ضمن مرحلة الزحف المستقر بميل مستقيم ($\frac{d\varepsilon}{dt}$ = سرعة التشوه) يتعلق بقيمة الإجهاد المطبق وبمحتوى رطوبة العينة، وعند تطبيق إجهاد منخفض ومحتوى رطوبة منخفض تكون قيمة الميل منخفضة وأقرب إلى الصفر وتزداد قيمة الميل بزيادة قيمة الإجهاد ومحتوى الرطوبة.

إن تشوهات الزحف التي نحصل عليها هي تشوهات لدنة غير قابلة للاسترجاع والعلاقة بين تشوهات الزحف والإجهادات هي علاقة غير خطية وبناءً عليه تم اقتراح صيغة رياضية للتعبير عن تشوهات الزحف التي تتم مع الزمن بالشكل الآتي:

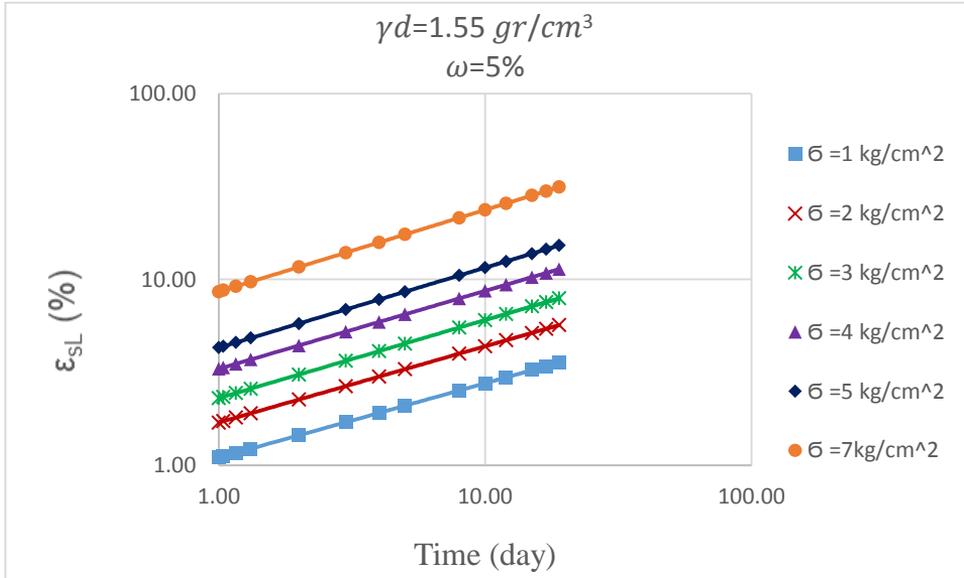
$$\varepsilon_{sl} = c * (t + 1)^{\alpha} \dots \dots \dots (3)$$

نأخذ لوغاريتم الطرفين :

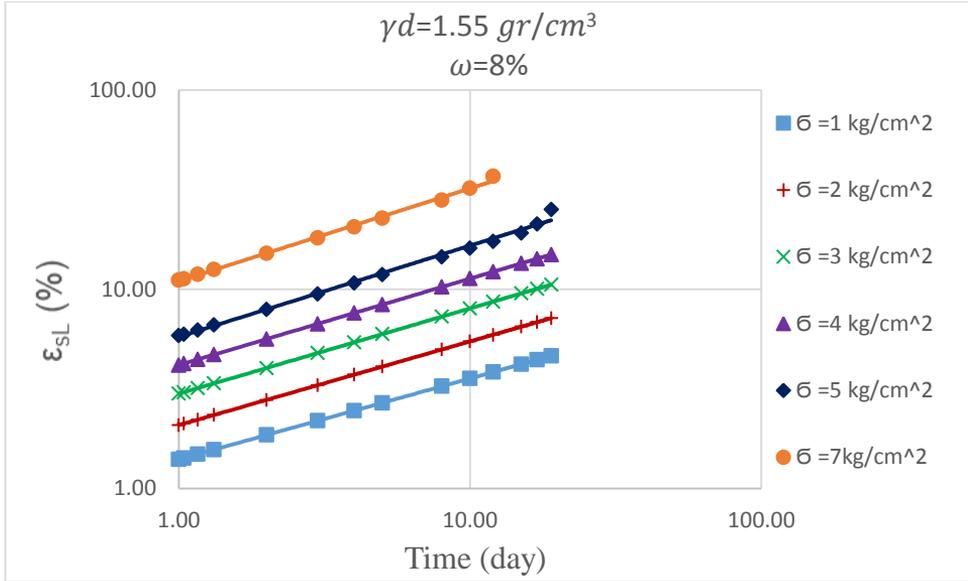
$$\ln \varepsilon_{sl}(t) = \alpha \ln(t + 1) + \ln c \dots \dots \dots (4)$$

الثوابت α, c تدعى ثوابت زحف ونحصل على قيمتها برسم النتائج المخبرية لتشوهات الزحف مع الزمن بجملة احداثيات لوغاريتمية يكون فيها محور الترتيب (ε_{sl}) ومحور الفواصل ($t + 1$).

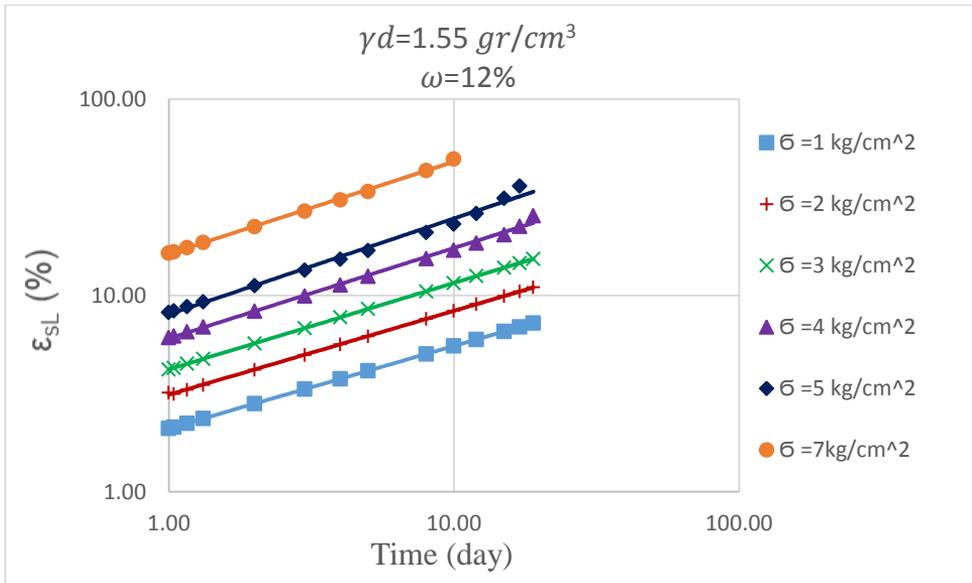
تبين الأشكال (5,6,7,8) تشوهات الزحف مع الزمن عند محتوى رطوبة $\omega = 5\%$ (5, 8, 12, 16) % إن وقوع النقاط على استقامة واحدة يشير إلى إن الصيغة (3) تعبر بشكل جيد عن تطور تشوهات الزحف مع الزمن للترب الانخفاسية.



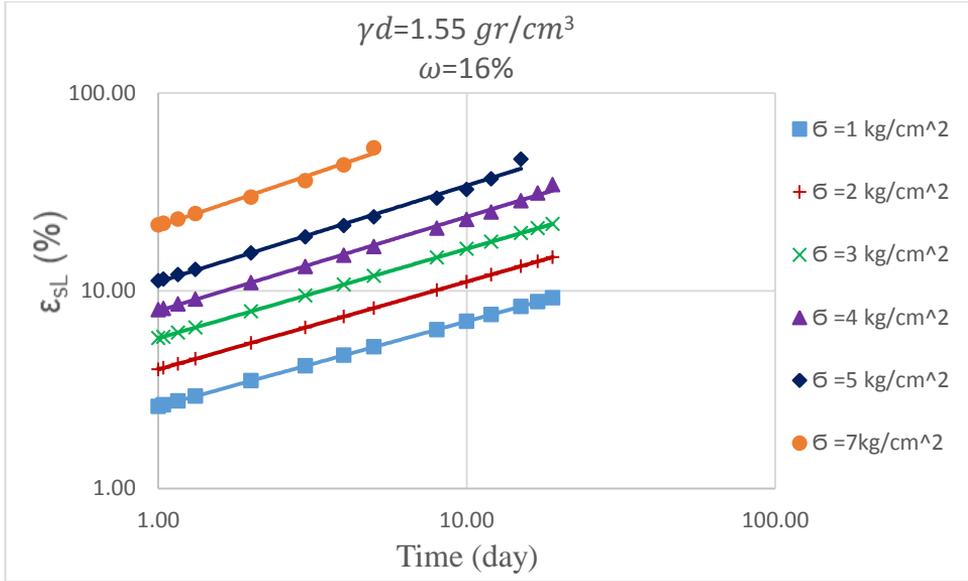
الشكل (5) تحديد الثوابت α, c من أجل رطوبة $\omega = 5\%$



الشكل (6) تحديد الثوابت α, c من أجل رطوبة $\omega = 8\%$



الشكل (7) تحديد الثوابت α, c من أجل رطوبة $\omega = 12\%$



الشكل (8) تحديد الثوابت α, c من أجل رطوبة $\omega = 16\%$

إن ميل المستقيمات يمثل قيمة الثابت α ، وتقاطع المستقيمات مع محور الترتيب يمثل قيمة الثابت c ، نرد في الجدول (2) قيم ثوابت الزحف الواردة في العلاقة (3) ومن هذا الجدول يمكن ملاحظة أن قيمة الثابت α ثابتة تقريباً وتتراوح بين (0.4-0.469) . أما الثابت c فقد تبين من الجدول أن قيمته ترتبط بالإجهاد المطبق على العينة وكذلك بالرطوبة المعتمدة حيث تتزايد قيمته مع زيادة الإجهاد المطبق على العينة وبزيادة الرطوبة.

الجدول (2) قيم ثوابت الزحف α, c الواردة في العلاقة (3)

$\sigma \text{ kg/cm}^2$	$\omega = 5\%$		$\omega = 8\%$		$\omega = 12\%$		$\omega = 16\%$	
	c	α	c	α	c	α	c	α
1	1	0.4	1.44	0.41	2.3	0.42	2.5	0.43
2	1.7	0.41	2.15	0.42	3.3	0.43	4.2	0.444
3	2.25	0.42	3.05	0.43	4.55	0.44	5.84	0.452

تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على خصائص الزحف للتراب الانخفاسية

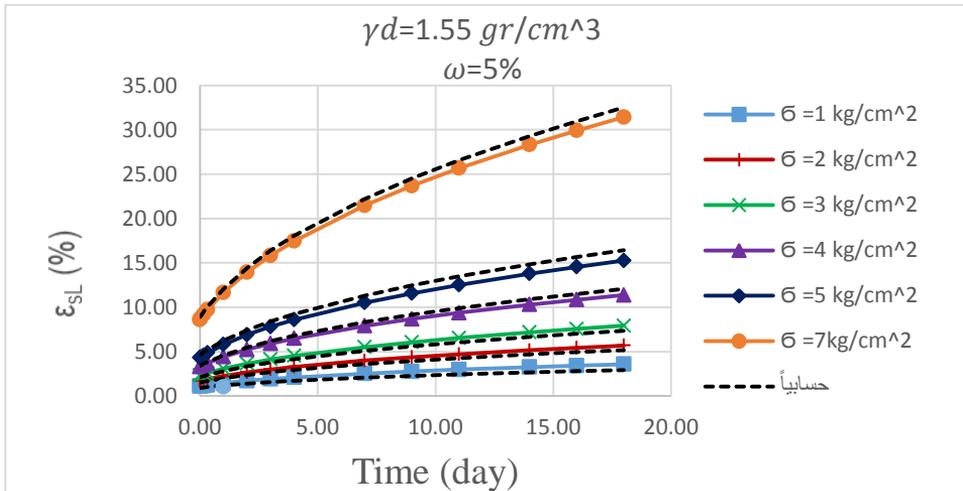
4	3.26	0.425	4.2	0.44	6.5	0.445	8.2	0.458
5	4.63	0.43	5.9	0.44	9.1	0.45	11.4	0.462
7	8.55	0.44	10.8	0.45	17.3	0.46	21.3	0.469

حيث C : يمثل تقاطع المستقيمات مع محور الترتيب.

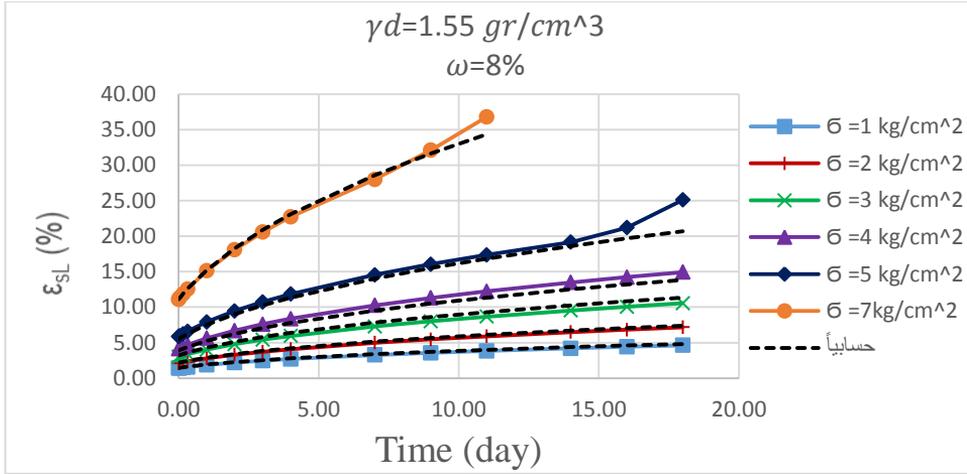
α : ميل المستقيمات

نورد في الأشكال التالية (9,10,11,12) قيم التشوهات مع الزمن المأخوذة من التجربة ويرمز لها بالخط المستمر والمنحني المنقط الآخر قيم التشوهات مع الزمن المحسوبة من الصيغة (3) .

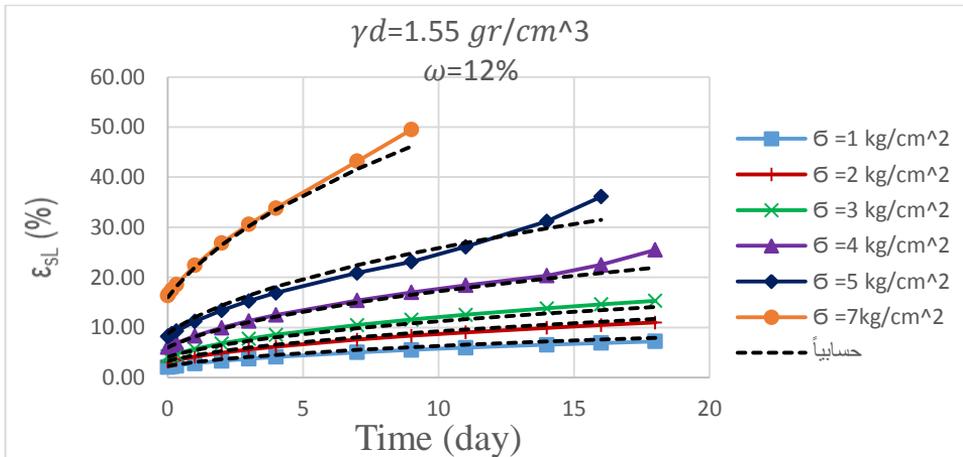
نلاحظ من الأشكال أن العلاقة المقترحة تتمتع بدقة جيدة في وصف تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية ضمن مرحلتي (الزحف الابتدائي والزحف المستقر) وإن تقارب المنحنيين يعطي موثوقية للصيغة المقترحة ضمن مرحلة الزحف الابتدائي ومرحلة الزحف المستقر، ولكن عند دخول العينة مرحلة الزحف المتسارع تزداد سرعة التشوهات ويميل المنحني نحو محور التشوه فتصبح القيم المحسوبة من العلاقة (3) بعيدة نسبياً عن القيم المخبرية.



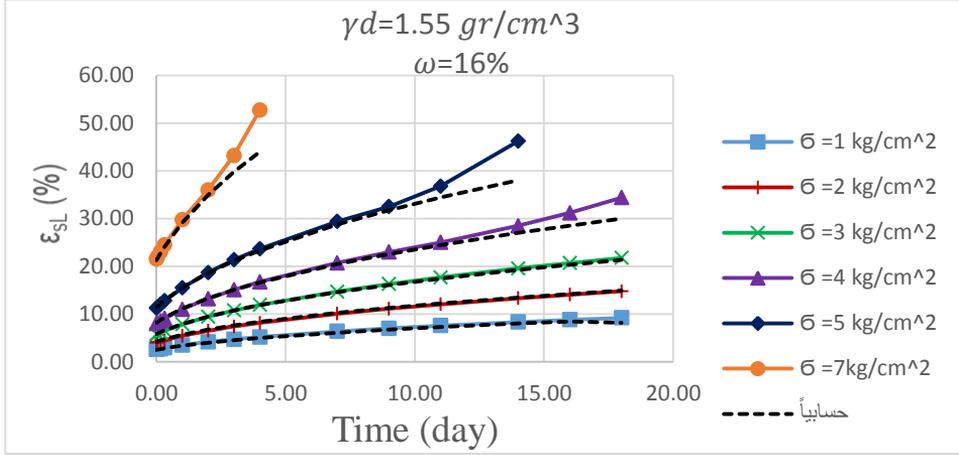
الشكل (9) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 5\%$



الشكل (10) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 8\%$



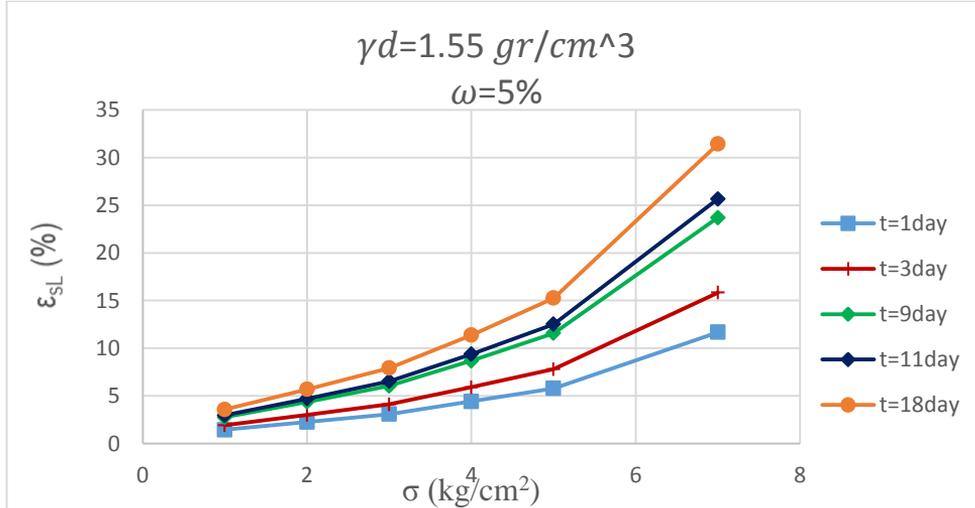
الشكل (11) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 12\%$



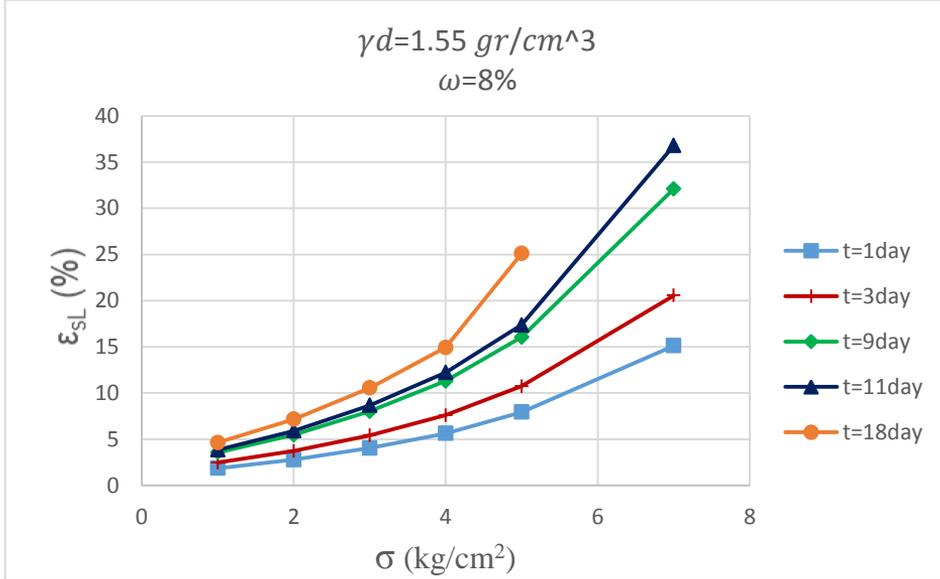
الشكل (12) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 16\%$

3-3 تأثير الإجهادات المطبقة على تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن

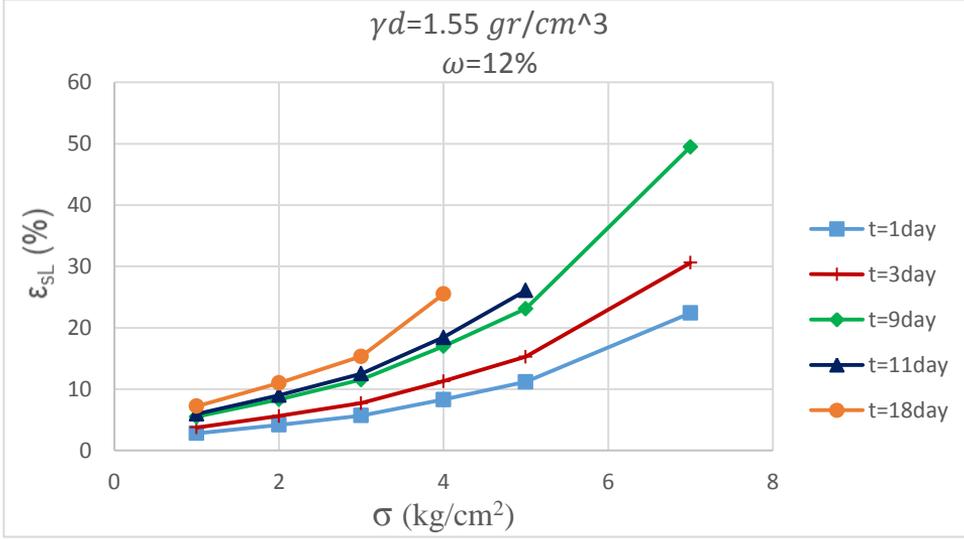
ليبيان تأثير الإجهادات المطبقة على التشوهات الحاصلة مع الزمن في التربة الانخفاسية قمنا برسم العلاقة بين التشوهات وقيم الإجهادات المطبقة من أجل أزمنة مختلفة (t=1,3,9,11,18 day) وكانت النتائج كما هو مبين في الأشكال (13,14,15,16).



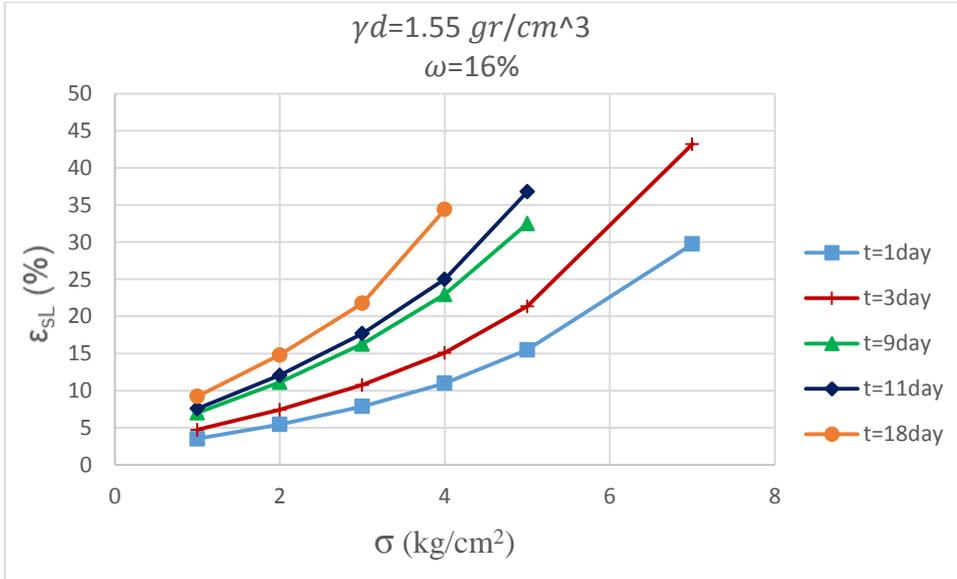
الشكل (13) العلاقة بين تشوهات الترب الانخفاسية مع الزمن والإجهادات المطبقة من أجل ($\omega = 5\%$)



الشكل (14) العلاقة بين تشوهات الترب الانخفاسية مع الزمن والإجهادات المطبقة من أجل ($\omega = 8\%$)



الشكل (15) العلاقة بين تشوهات الترب الانخفاسية مع الزمن والإجهادات المطبقة من أجل ($\omega = 12\%$)



الشكل (16) العلاقة بين تشوهات الترب الانخفاسية مع الزمن والإجهادات المطبقة من أجل ($\omega = 16\%$)

تبين نتائج منحنيات (الإجهاد والتشوه) بأن المنحني يأخذ شكل متزايد أي تزداد تشوهات الزحف بزيادة الإجهاد المطبق، ومع زيادة الزمن تزداد قيمة التشوهات وهذا يدل على وجود تابع متغير يزداد بزيادة الزمن. عند زيادة محتوى الرطوبة تصبح العلاقة بين (الإجهاد - التشوه) مع الزمن أكثر وضوحاً، في حال كانت الإجهادات المطبقة صغيرة فإن منحنى الإجهاد والتشوه يكون خطي ويزيادة قيم الإجهادات يتحول الشكل إلى منحنى وتصبح العلاقة غير خطية وهناك نقطة انعطاف للمنحنى نحو محور التشوه وهذا يدل على دخول العينة مرحلة الزحف المتسارع (تشوه لزج - لدن غير خطي).

تبقى العلاقة بين الإجهاد والتشوه علاقة خطية عند زمن منخفضة ومن أجل قيم مختلفة من الرطوبة ويزيادة الزمن تصبح العلاقة غير الخطية أكثر وضوحاً.

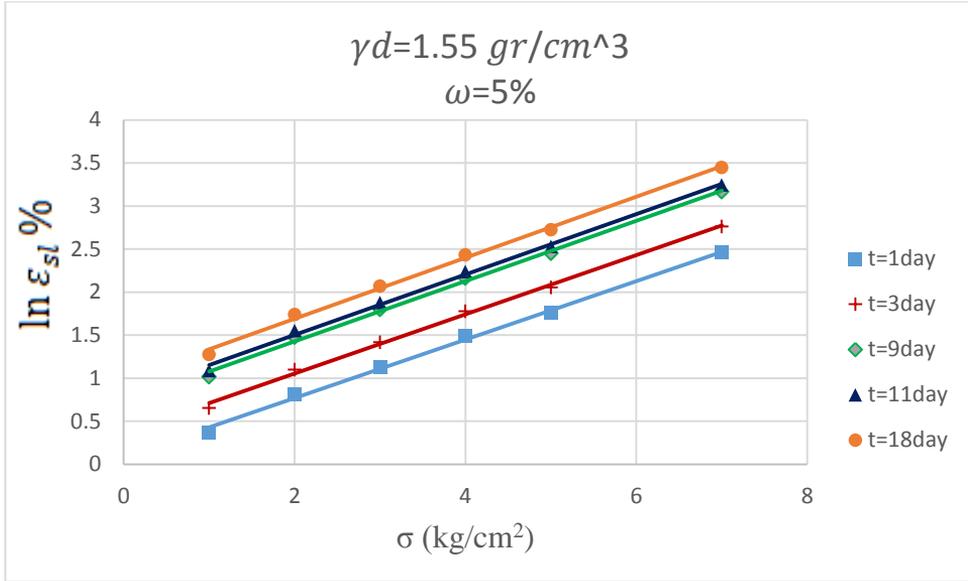
تم اقتراح علاقة رياضية للتعبير عن تأثير الإجهاد المطبق على تشوهات الزحف للتربة الانخفاضية:

$$\varepsilon_{sl}(t) = \xi e^{\kappa\sigma} \dots \dots \dots (5)$$

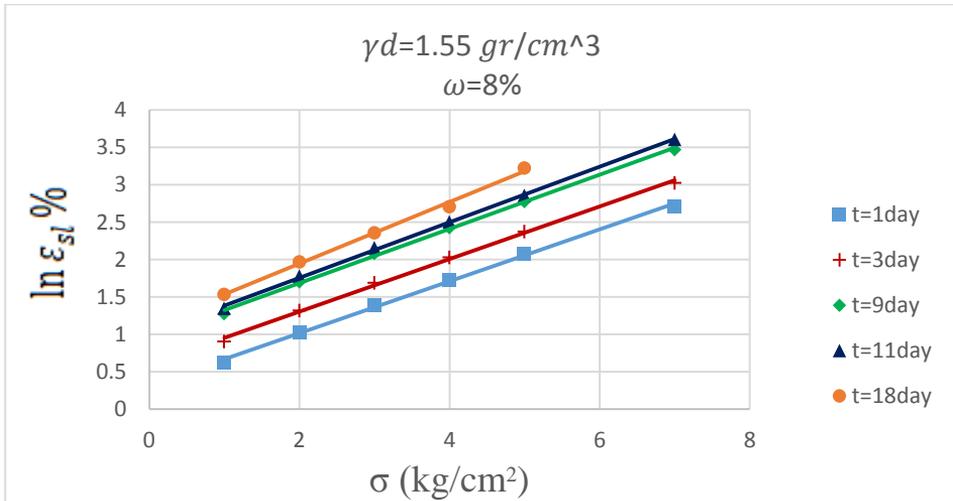
بأخذ لوغاريتم الطرفين يمكن أن نكتب العلاقة (5) بالشكل:

$$\ln \varepsilon_{sl}(t) = \ln(\xi) + \kappa * \sigma$$

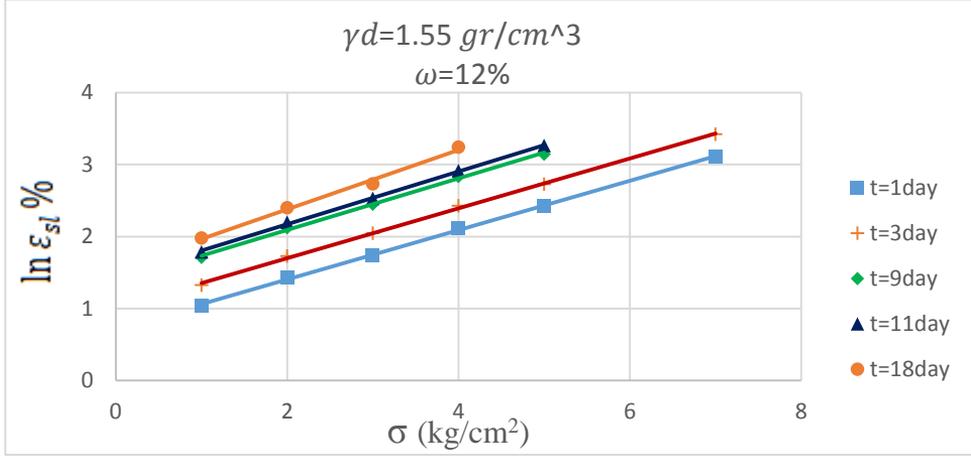
لتحديد قيم الثوابت ξ , κ نرسم العلاقة بين لوغاريتم التشوه $\ln \varepsilon_{sl}(t)$ والإجهاد المطبق حيث يمثل الثابت κ ميل المستقيم الواصل بين النقاط ، أما الثابت $\ln(\xi)$ هو تقاطع المستقيم مع محور الترتيب الممثل $\ln \varepsilon_{sl}(t)$ ، إن وقوع النقاط على استقامة واحدة يشير إلى أن العلاقة (5) تعبر تعبيراً جيداً عن تطور تشوهات الزحف بتغير الإجهادات المطبقة تبين الأشكال التالية (17,18,19,20) قيم الثوابت (κ, ξ)



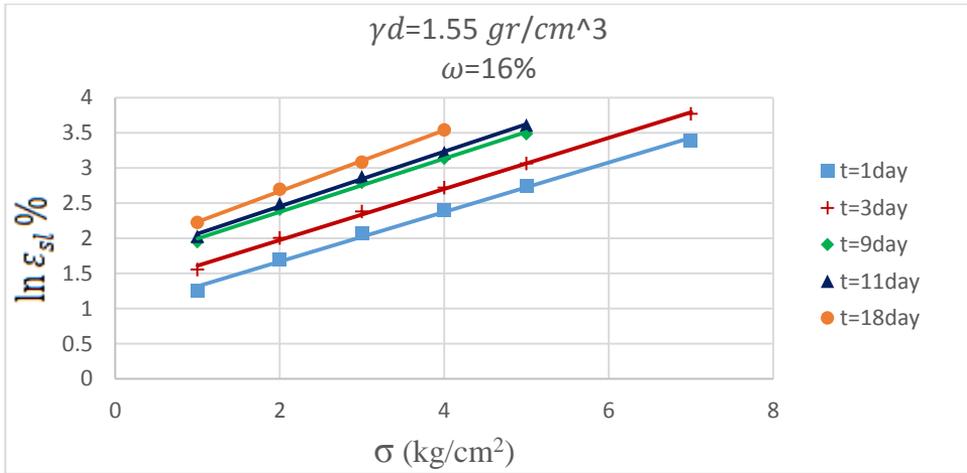
الشكل (17) تحديد ثوابت الزحف ξ , κ من أجل رطوبة ($\omega = 5\%$)



الشكل (18) تحديد ثوابت الزحف ξ , κ من أجل رطوبة ($\omega = 8\%$)



الشكل (19) تحديد ثوابت الزحف ξ , κ من أجل رطوبة ($\omega = 12\%$)



الشكل (20) تحديد ثوابت الزحف ξ , κ من أجل رطوبة ($\omega = 16\%$)

نرد في الجدول (3) قيم الثوابت الواردة في العلاقة (5) ومن هذا الجدول يمكن ملاحظة أن القيمة الثابت κ تتغير ضمن المجال (0.34-0.39) أما الثابت ξ فقيمته تزداد مع زيادة الزمن وزيادة محتوى الرطوبة .

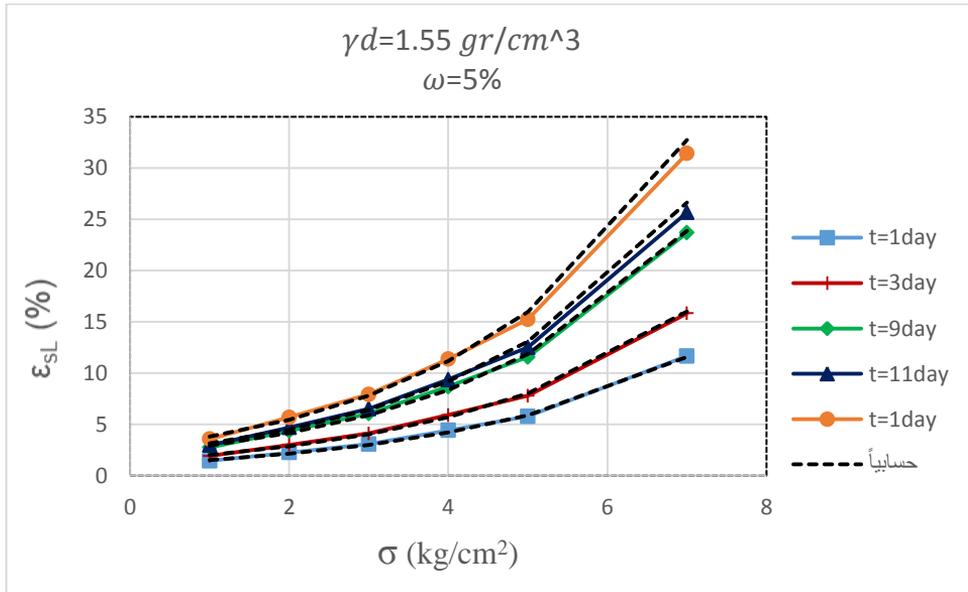
الجدول (3) قيم ثوابت الزحف ξ , κ الواردة في العلاقة (5)

Time	$\omega = 5\%$		$\omega = 8\%$		$\omega = 12\%$		$\omega = 16\%$	
	ξ	κ	ξ	κ	ξ	κ	ξ	κ
1day	1.09	0.34	1.37	0.347	2.086	0.35	2.61	0.352
3day	1.44	0.344	1.8	0.351	2.693	0.355	3.47	0.364
9day	2.02	0.35	2.65	0.362	3.91	0.365	4.8	0.375
11day	2.17	0.351	2.78	0.37	4.217	0.375	5.42	0.384
18day	2.6	0.354	3.5	0.375	5.5	0.38	6.8	0.39

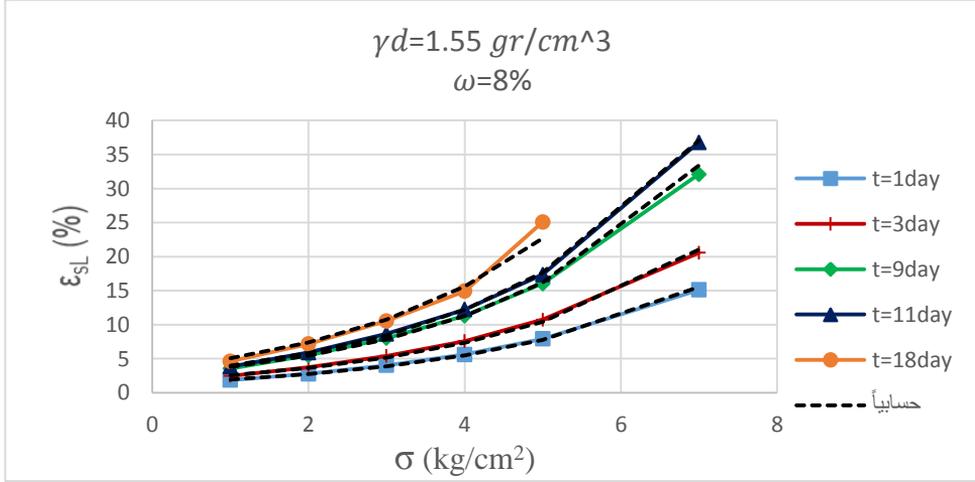
حيث $\ln \xi$: يمثل تقاطع المستقيمات مع محور الترتيب.

κ : ميل المستقيمات.

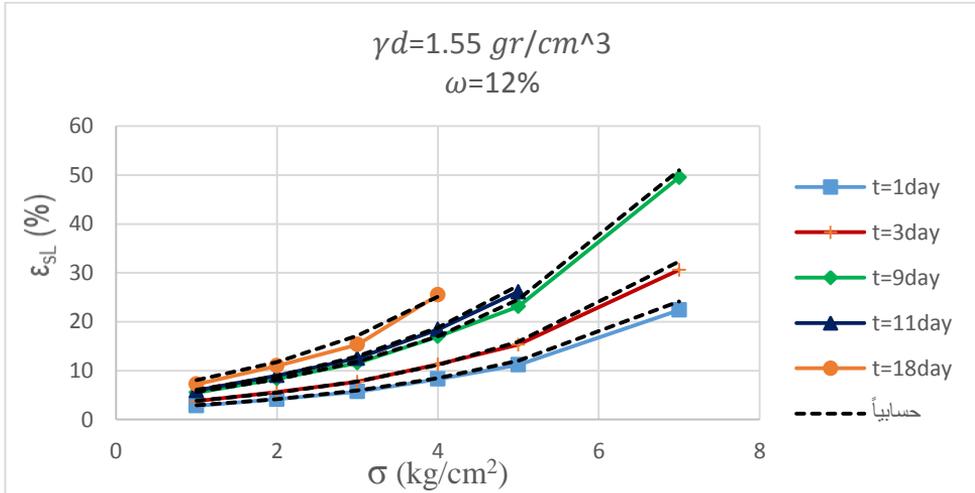
نرد في الأشكال التالية (21,22,23,24) قيم التشوهات مع الزمن المأخوذة من التجربة ويرمز لها بالخط المستمر والمنحني المنقط الآخر قيم التشوهات مع الزمن المحسوبة من الصيغة (5)، إن العلاقة المقترحة تتمتع بدقة جيدة في وصف العلاقة غير الخطية بين الإجهاد والتشوه مع الزمن.



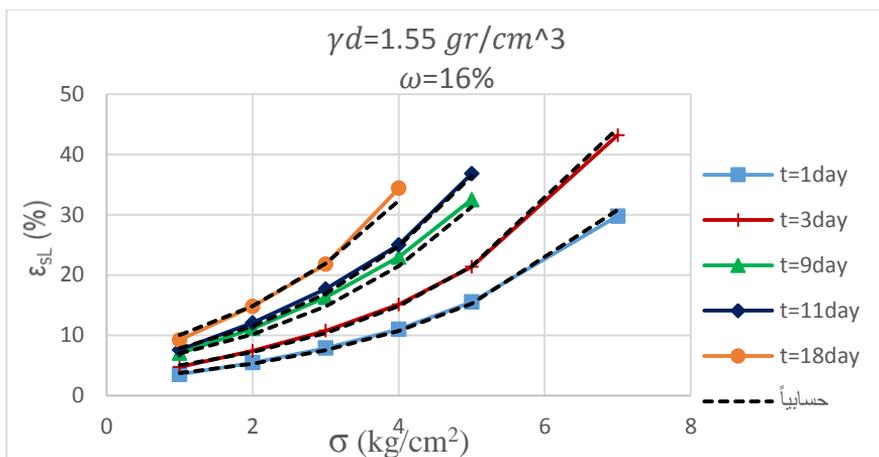
الشكل (21) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 5\%$



الشكل (22) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 8\%$



الشكل (23) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 12\%$



الشكل (24) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 16\%$

3-4 تأثير محتوى الرطوبة على تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن

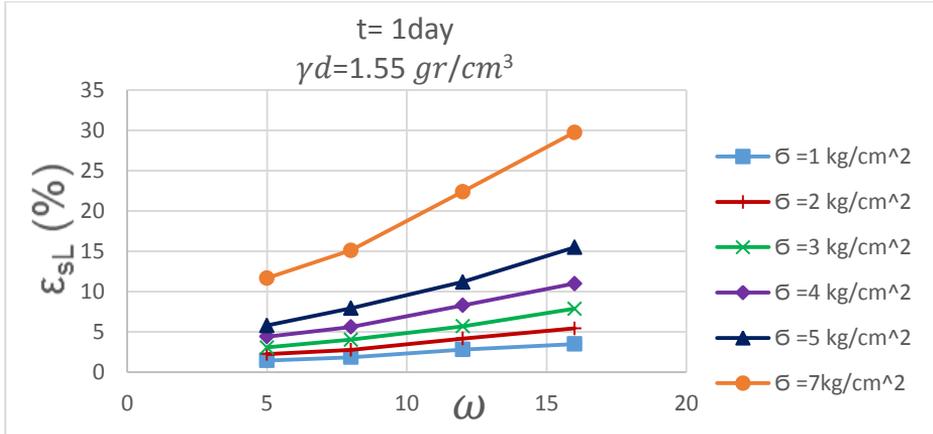
يهدف دراسة تأثير رطوبة التربة على التشوهات الحاصلة مع الزمن في التربة الانخفاسية قمنا برسم العلاقة بين التشوهات ومحتوى الرطوبة ($\omega = 5, 8, 12, 16\%$) من أجل كل إجهاد وعند فواصل زمنية محددة ($t=1,3,9,11,18$ day) وكانت النتائج كما هو مبين في الأشكال (25,26,27,28,29).

تم اقتراح صيغة رياضية يمكن من خلالها حساب تشوهات مع الزمن للتربة الانخفاسية بدلالة محتوى الرطوبة:

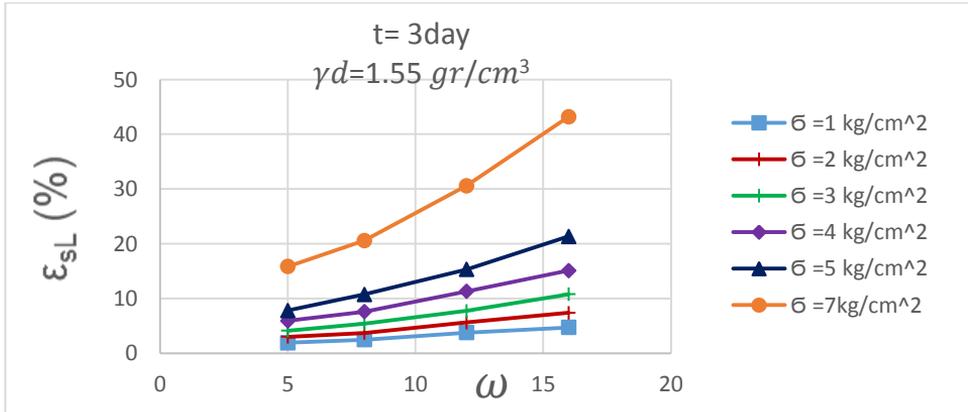
$$\varepsilon_{sl}(t) = \mu e^{\chi * \omega} \dots \dots \dots (6)$$

بأخذ لوغاريتم الطرفين تصبح المعادلة بالشكل:

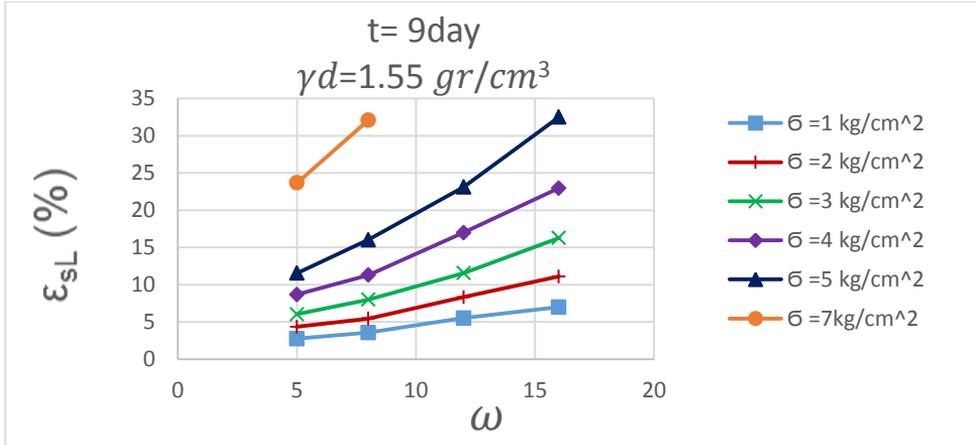
$$\ln \varepsilon_{sl}(t) = \ln \mu + \chi * \omega \dots \dots \dots (7)$$



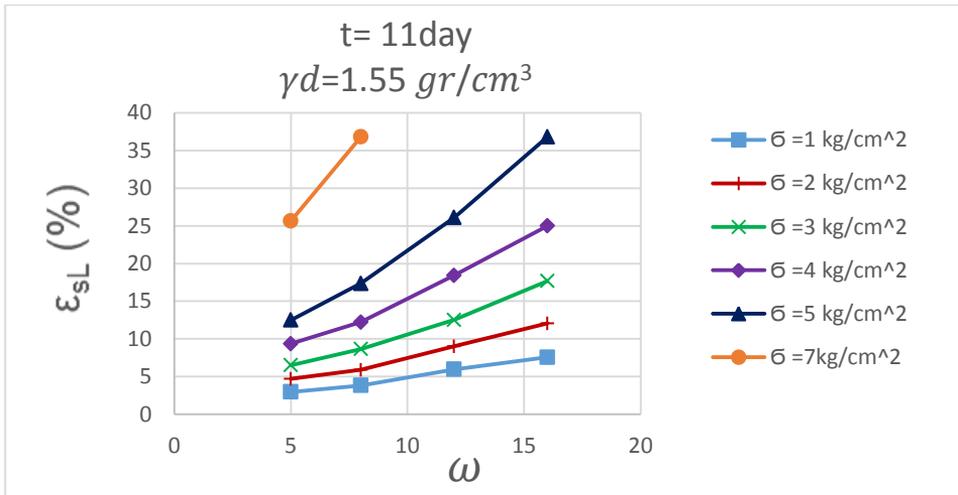
الشكل (25) تغير تشوهات الزحف تبعاً لمحتوى الرطوبة عند زمن (t=1day)



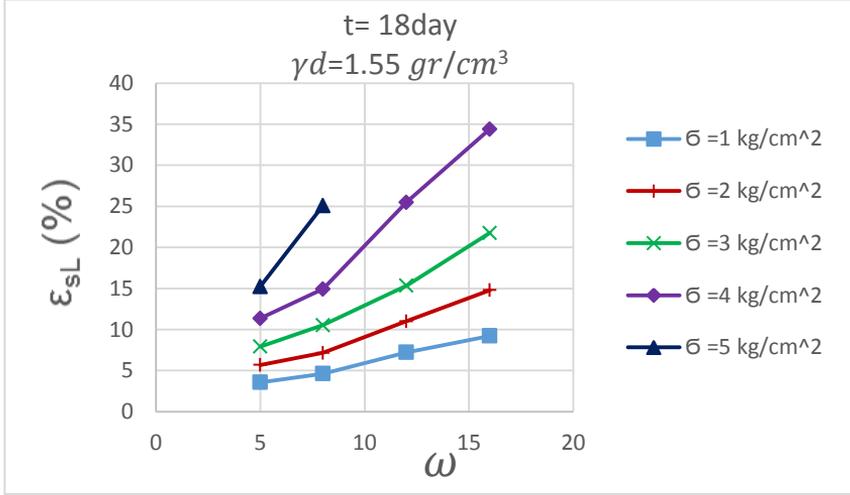
الشكل (26) تغير تشوهات الزحف تبعاً لمحتوى الرطوبة عند زمن (t=3day)



الشكل (27) تغيير تشوهات الزحف تبعاً لمحتوى الرطوبة عند زمن (t=9day)



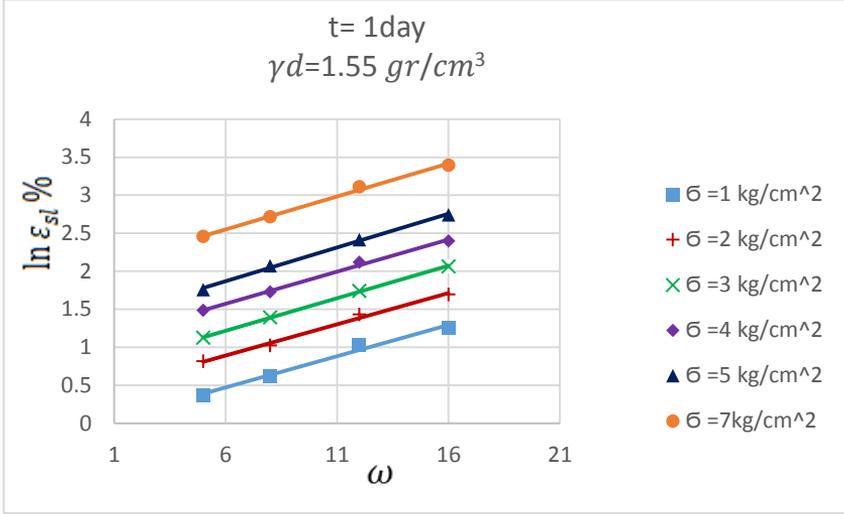
الشكل (28) تغيير تشوهات الزحف تبعاً لمحتوى الرطوبة عند زمن (t=11day)



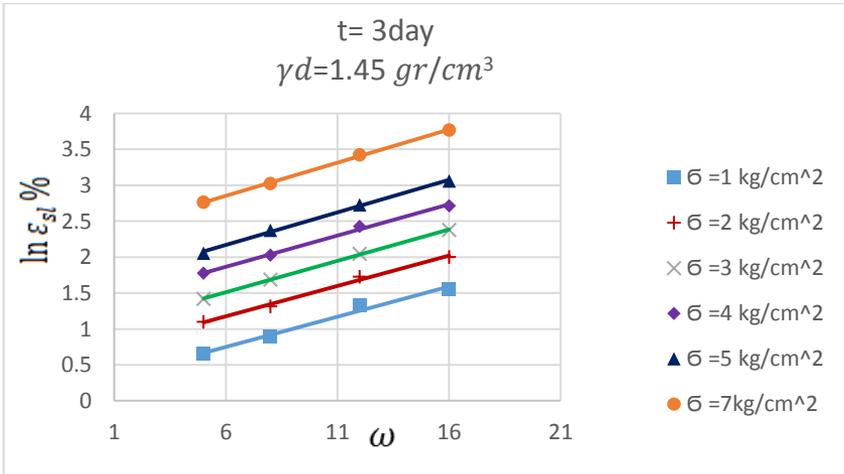
الشكل (29) تغير تشوهات الزحف تبعاً لمحتوى الرطوبة عند زمن (t=18day)

توضح المنحنيات السابقة أن تشوهات الزحف للتربة الانخفاسية تزداد بزيادة محتوى الرطوبة ويمكن أن نفسر ذلك بأن الروابط بين ذرات التربة الانخفاسية عبارة عن روابط غضارية وروابط إسمنتية حاصلة من الاملاح المتبلورة وكذلك الروابط عبر طبقة السيلكون المتواجدة على محيط الجزيئات الرملية فعند زيادة محتوى الرطوبة تضعف هذه القوى أو تتلاشى نهائياً نتيجة لارتخاء الروابط الغضارية و إذابة قسم من الروابط الملحية، أي أنه بزيادة محتوى الرطوبة للعينة يعمل الماء على إضعاف قوى الاحتكاك الداخلي ويقلل من التماسك مما يسبب تليين كبير للتربة ويجعل التربة أكثر عرضة للتشوه .

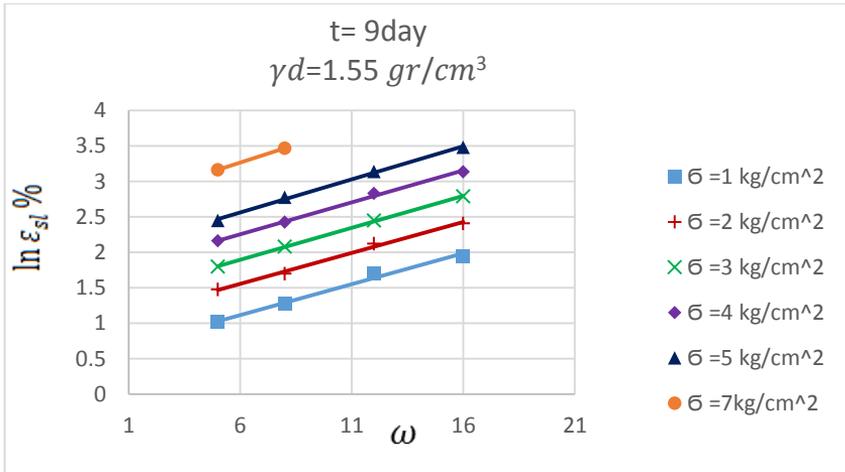
ولتحديد قيم الثوابت نرسم العلاقة بين لوغاريتم التشوه و محتوى الرطوبة حيث يمثل محور الفواصل ω أما محور الترتيب يمثل $\ln \varepsilon_{sl}(t)$ فيكون ميل المستقيم يمثل الثابت χ أما تقاطع المستقيمات مع محور الترتيب يمثل $\ln \mu$. إن وقوع النقاط على استقامة واحدة يعطي موثوقية جيدة للعلاقة المقترحة (6) كما هو وارد في الأشكال (30,31,32,33,34) والجدول (4) يبين قيم الثوابت μ, χ .



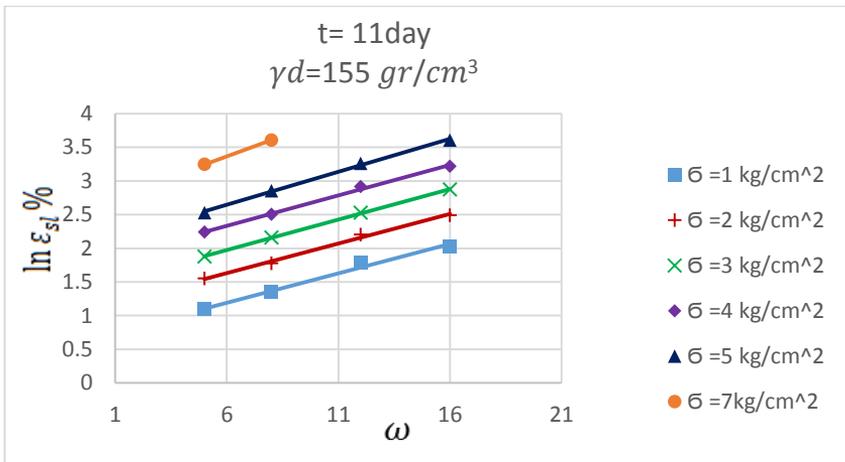
الشكل (30) تحديد ثوابت الزحف μ, χ عند زمن (t=1day)



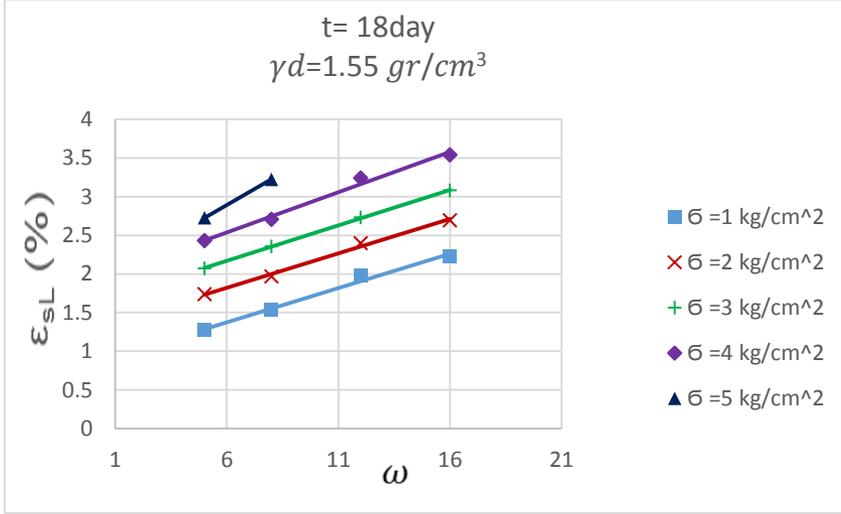
الشكل (31) تحديد ثوابت الزحف μ, χ عند زمن (t=3day)



الشكل (32) تحديد ثوابت الزحف μ, χ عند زمن (t=9day)



الشكل (33) تحديد ثوابت الزحف μ, χ عند زمن (t=11day)



الشكل (34) تحديد ثوابت الزحف μ, χ عند زمن (t=18day)

الجدول (4) قيم ثوابت الزحف μ, χ الواردة في العلاقة (6)

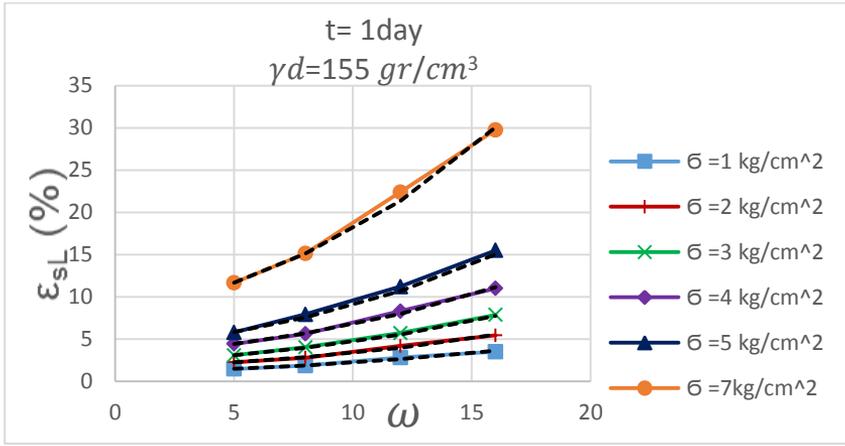
t = 1day		t = 3day		t = 9day		t = 11day		t = 18day	
μ	χ	μ	χ	μ	χ	μ	χ	μ	χ
0.975	0.082	1.27	0.082	1.81	0.086	1.95	0.087	2.33	0.088
1.486	0.082	1.95	0.084	2.807	0.087	3.01	0.087	3.6	0.088
2.02	0.084	2.67	0.086	3.88	0.087	4.177	0.088	5.5	0.089
2.9	0.084	3.84	0.086	5.56	0.088	5.9	0.088	7.5	0.095
3.8	0.086	5.06	0.087	7.5	0.089	7.95	0.095	8.1	0.14
7.6	0.086	10.1	0.088	15.2	0.089	16.5	0.095	-	-

حيث $\ln \mu$: يمثل نقاط المستقيمات مع محور الترتيب.

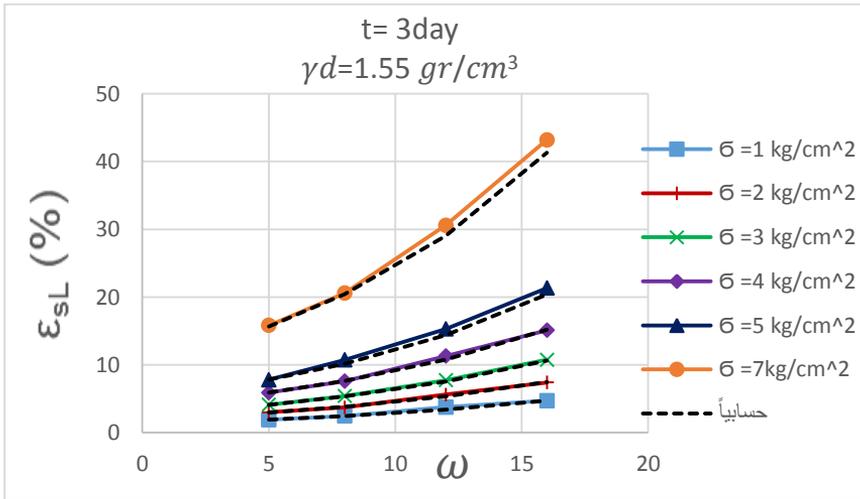
χ : ميل المستقيمات.

نلاحظ من الجدول (4) أن قيمة العامل (χ) تتراوح ضمن المجال (0.1-0.082) أما قيمة العامل (μ) تتزايد بزيادة قيمة الإجهاد المطبقة وبزيادة الزمن.

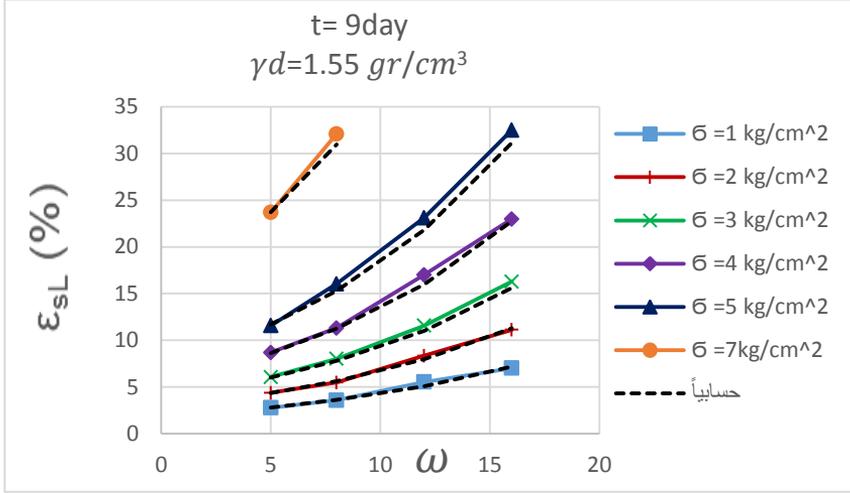
تمت المقارنة بين القيم التجريبية لتشوّهات مع الزمن للتربة الانخفاسية والقيم النظرية لهذه التشوّهات والمحسوبة من العلاقة (6). إن تقارب المنحنيات التجريبية والحسابية يعطي موثوقية جيدة للعلاقة المقترحة، تبين الأشكال التالية (35,36,37,38,39) المقارنة بين القيم التجريبية والقيم النظرية الحسابية.



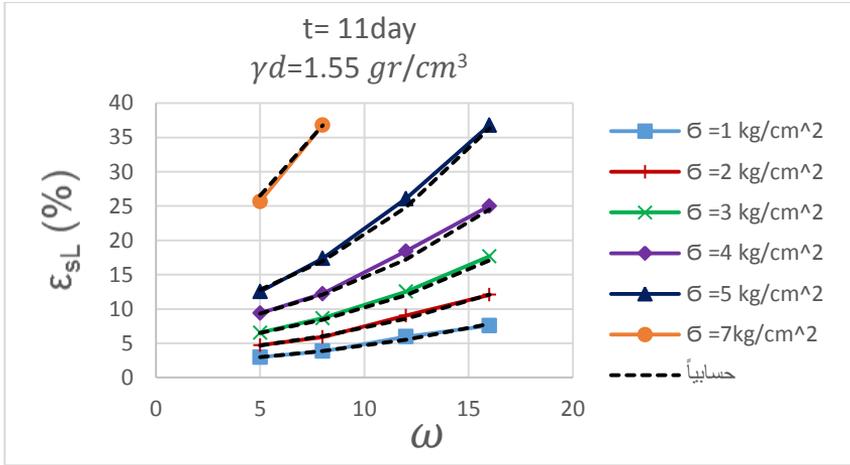
الشكل (35) القيم المخبرية والحسابية للتشوّهات عند زمن (t=1day)



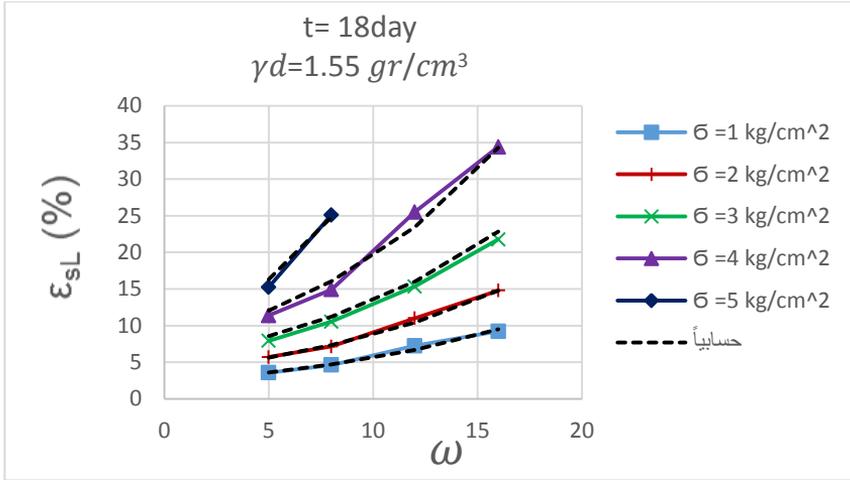
الشكل (36) القيم المخبرية والحسابية للتشوّهات عند زمن (t=3day)



الشكل (37) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن (t=9day)



الشكل (38) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن (t=11day)



الشكل (39) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن (t=18day)

3-4 المعادلة العامة لتشوه الترب الانخفاسية مع الزمن

لقد وجدنا من دراستنا السابقة أن تشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية تتعلق بعدة عوامل منها الإجهاد المطبق على العينة ومحتوى الرطوبة البدائي للعينة، تم دراسة هذه العوامل واستنتاج صيغة رياضية يُعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = f(\sigma, t, \omega,) \dots \dots \dots (8)$$

وبحسب التجارب التي أجريت فإن جميع توابع العلاقة سبق وتم تحديدها وبناءً عليه فإن المعادلة (8) تأخذ الشكل:

$$\varepsilon_{sl} = v * e^{\mu * \omega} * e^{\kappa * \sigma} * (1 + t)^{\alpha} \dots \dots \dots (9)$$

تم أخذ أفضل القيم للمعاملات μ, κ, α من الجداول السابقة والتي تناسب جميع المنحنيات:

$$\mu = 0.082, \kappa = 0.345, \alpha = 0.445$$

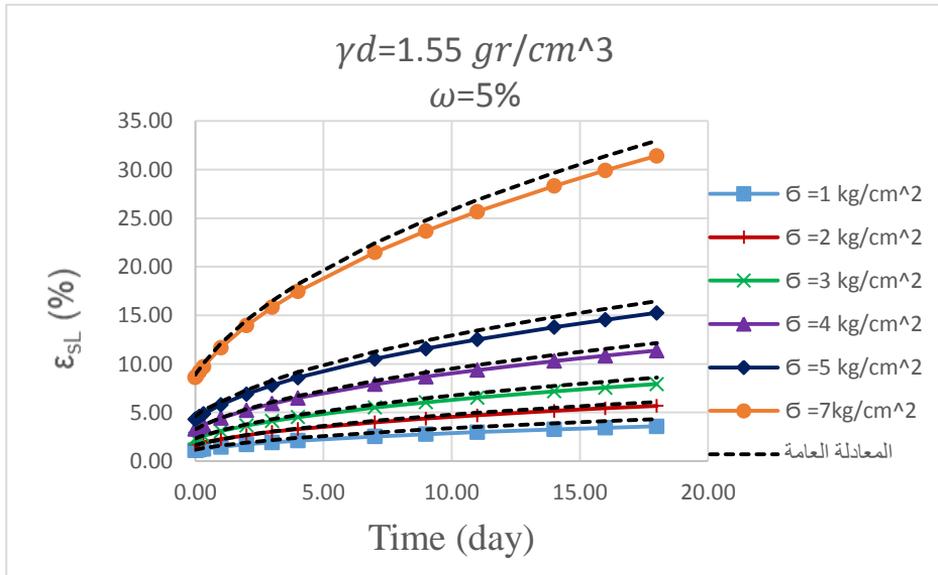
أما الثابت v هو ثابت تجريبي يتعلق بالوزن الحجمي الجاف للعينة = 0.546

t : الزمن باليوم.

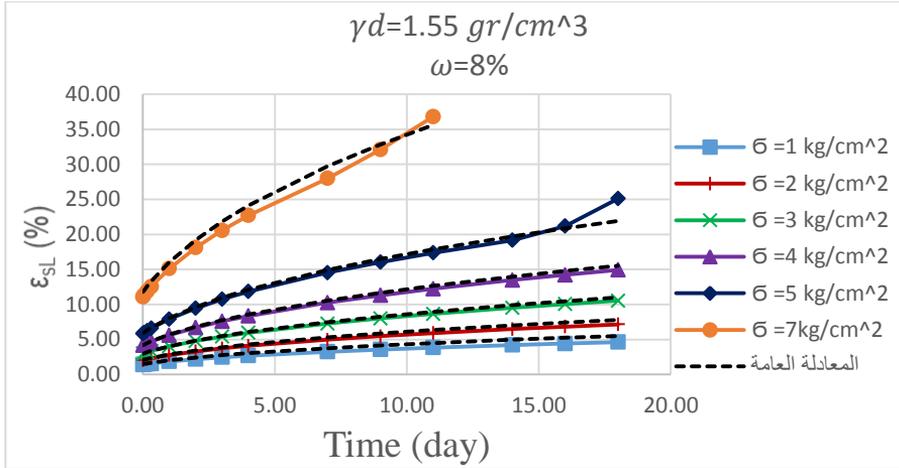
σ : الإجهاد المطبق kg/cm^2

ω : محتوى الرطوبة للعينة.

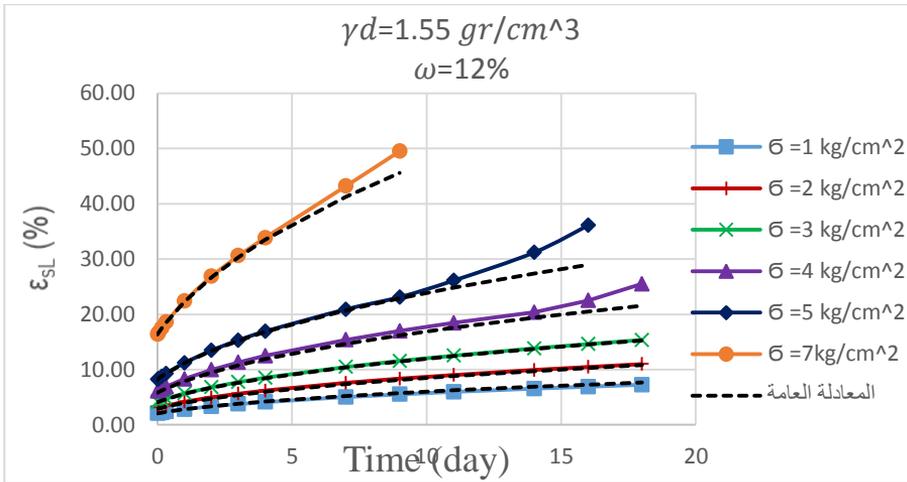
يرسم قيم التشوه مع الزمن والنتيجة عن المعادلة (9) ومقارنتها مع القيم التجريبية للتشوه، يمكن ملاحظة التقارب الكبير بين المنحنيات والتي تبينه الأشكال (40,41,42,43) حيث لم يتعدى الفارق بين القيم التجريبية والنظرية للتشوه كحد أقصى (2%) مما يعطي درجة عالية من الموثوقية للعلاقة المقترحة ويمكن أن نعتبر أن المعادلة (9) توصف بدقة جيدة سلوك الزحف للتربة الانخفاسية ضمن مرحلتي الزحف الابتدائي ومرحلة الزحف المستقر فقط.



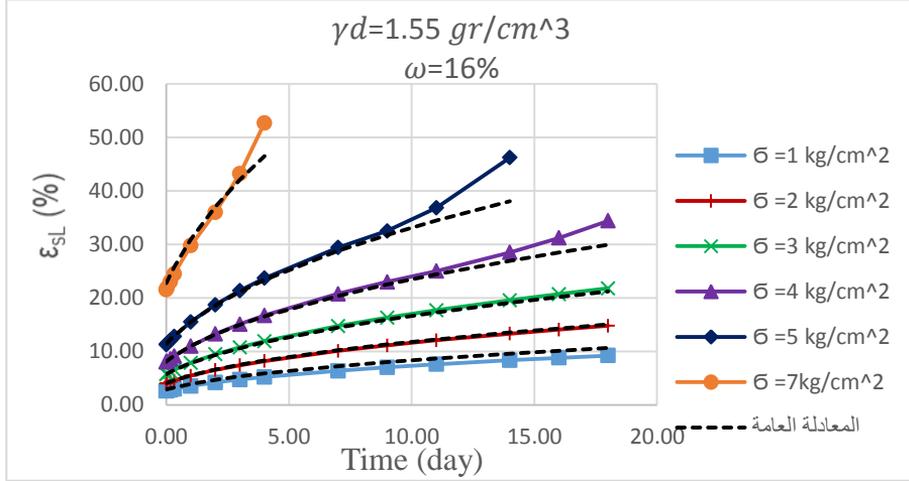
الشكل (40) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 5\%$



الشكل (41) مقارنة بين القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 8\%$



الشكل (42) مقارنة بين القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 12\%$



الشكل (43) مقارنة بين القيم المخبرية والحسابية للتشوهات مع الزمن من أجل رطوبة $\omega = 16\%$

4. النتائج والتوصيات:

1. تحت تأثير إجهاد ثابت تزداد قيمة التشوهات بزيادة الزمن وقد تم استنتاج صيغة رياضية تعبر عن هذه العلاقة، المعادلة (3).
2. استنتاج صيغة رياضية توضح تأثير الإجهاد المطبق على تشوهات الزحف في التربة الانخفاسية وتم التعبير عنها بالعلاقة (5).
3. تؤثر رطوبة التربة الانخفاسية على تشوهات الزحف الحاصلة في التربة وقد تم التعبير عن هذا التأثير بالعلاقة (6).
4. استنتاج صيغة رياضية توصف تشوهات الزحف في التربة الانخفاسية تأخذ بعين الاعتبار جميع العوامل المؤثرة على هذه التشوهات (الزمن، الإجهاد المطبق،

الرطوبة) كما هو موضح في العلاقة (9) وقد أعطت هذه العلاقة تقارباً بين قيم التشوهات المحسوبة من هذه الصيغة وبين القيم المخبرية مما يعطي موثوقية لهذه الصيغة.

5. نوصي بإجراء دراسة حول تغير تشوهات الزحف للتربة الانخفاسية بتغير الوزن الحجمي الجاف.

6. نوصي بدراسة تأثير الروابط بين الذرات على تشوهات الزحف من خلال إجراء تجارب على عينات سليمة من التربة وعينات مخربة البنية.

7. نوصي بتقييم نتائج تشوهات الزحف في التربة الانخفاسية التي حصلنا عليها باعتماد نماذج رياضية موضوعة (نموذج سنيغ - ميتشل، ونظرية الزحف المتوارث الخطية) ومقارنتها مع النموذج الرياضي الذي قمنا باستنتاجه.

References:

1. **LONG Jian-hui 2010** " Creep property of soil in sliding zone of loess landslide.
2. **Furong Yan and Xiaodan Yue 2019** " Analysis on Creep Characteristics and Microscopic Mechanism of Loess Q2 "
3. **Xie X., Zhao F. S. & Wang D. H. 2009.** Nonlinear rheological model for Q2 loess in Xi'an region. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*. 29(5): 41-46
4. **Zhao Duan and Jianbing Peng 2016** " An Experimental Study on Creep Characteristics of Q2 Loess in the Guanzhong Area of China "
5. **WANG Song-he, LUO Ya-sheng 2009**" Experimental study on creep characteristics of loess under complex stress"
6. **Fan, X., Xu, Q., Scaringi, G., Li, S., Peng, D., 2017.** A chemo-mechanical insight into the failure mechanism of frequently occurred landslides in the Loess Plateau, Gansu Province, China. *Eng. Geol.* 228, 337-345.
7. **ASTM.D. 4318-93**, Standard Tests Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
8. **Barnes, H.A., Hutton, J.F., Walters, K.1989.** An introduction to rheology,Rheology series, Amsterdam, Elsevier, Netherlands,199 p
9. **Zhao X. M., Duan Z. & He Q. F. 2012.** Triaxial test on the creep characteristics of Q2 loess in Yan'an. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*. 29(11): 77-81.
10. **Zhu C. H., Li N. & Liu J. P. 2011.** Research on the creep behavior of compacted Q3 MaLan loess. *Journal of Xi'an University of Technology*.
11. **Luo, H., Wu, F., Chang, J., Xu, J., 2018.** Microstructural constraints on geotechnical properties of Malan Loess: A case study from Zhaojiaan landslide in Shaanxi province,China. *Eng. Geol.* 236, 60–69.

12. **Xingang Wang, Jiading Wang 2019** "Moisture content effect on the creep behavior of loess for the catastrophic Baqiao landslid

