

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية

ونظرية Singh-Mitchell

*أ.د. علي سليمان العبدالله. *م. محمد بسام عيد

الملخص

يهدف البحث إلى إجراء دراسة تشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية واقتراح صيغة رياضية تعبر عن سلوك التشوه مع الزمن للتراب الانخفاسية مع تقييم النتائج التي حصلنا عليها وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية ونظرية Singh-Michelle. بينت النتائج أن المعادلة المقترحة تعبر بشكل جيد عن سلوك (تشوه-زمن) للتراب الانخفاسية بفارق لا يتعدى 2%. وعند مقارنة النتائج المخبرية مع نظرية الزحف المتوارث الخطية ونظرية الزحف Singh-Mitchell تبين أن كلا النظريتين يتمتعان بدقة جيدة في وصف سلوك الزحف للتراب الانخفاسية من أجل قيم مختلفة من محتوى الرطوبة وإجهادات مختلفة، ولم يتعدى الفارق بين القيم المخبرية والقيم الحسابية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية 2% اما في نظرية Singh-Mitchell لم يتعدى الفارق 3%. إن نظرية الزحف المتوارث الخطية توصف وبدقة جيدة تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية بتغير محتوى الرطوبة والإجهاد المطبق أكثر من نظرية Singh-Mitchell، كما تم إجراء مقارنة بين المعادلة المقترحة ونظرية الزحف المتوارث الخطية وأظهرت النتائج تقارب واضح بين قيم المعادلة المقترحة وقيم نظرية الزحف المتوارث الخطية مع القيم المخبرية.

كلمات مفتاحية: التراب الانخفاسية، التشوهات مع الزمن، نظرية Singh-Mitchell، نظرية الزحف المتوارث الخطية.

*أستاذ دكتور-قسم الهندسة الجيوتكنيكية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث.

*طالب دراسات عليا(دكتوراه) قسم الهندسة الجيوتكنيكية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث.

Evaluation of the creep behavior of Loose soil according to the linear hereditary creep theory and Singh-Mitchell theory

Ali Alladbulla * , Mohammad Eid **

Abstract

The research aims to conduct a study of the creep behavior of Loose soils, and propose a mathematical formula that expresses the deformation behavior with time for Loose soils and evaluation of the results according to the theory of linear hereditary creep and the Singh-Michelle theory.

The results showed that the proposed equation well expresses the behavior (strain-time) of the Loose soils with a difference of less than 2%.

When comparing the laboratory results with the linear hereditary creep theory and Singh-Mitchell creep theory. It was found that both theories have good accuracy in describing the creep behavior of the Loose soils for different values of moisture content and different stresses, and the difference between the laboratory values and the arithmetic values according to the linear hereditary theory did not exceed 2%, but in the Singh-Mitchell theory the difference did not exceed 3%.

A comparison was also made between the proposed equation and the linear hereditary creep theory, and the results showed a clear convergence between the values of the proposed equation and the values of linear hereditary creep theory with laboratory values.

Keywords: Loose soils, (time dependent deformation), Singh-Mitchell theory, linear hereditary creep theory.

*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:

تعتبر تربة اللوس الانخفاسية من أخطر أنواع الترب على المنشآت الهندسية نظراً للتصدعات الكبيرة التي تسببها عند التأسيس عليها، فهذه الترب تتميز بمقاومة ميكانيكية جيدة عندما تكون جافة وعند ترطيبها تنهار بنيتها بشكل سريع مسبباً هبوطاً كبيراً قد يصل إلى لعشرات السنتيمترات [1].

اللوس -كلمة ألمانية مشتقة من كلمة Loose أي فضفاض-وهي تطلق على تجمع الرواسب دقيقة الذرات التي قامت بنقلها الرياح، وتنتقل تلك الترسبات عبر مسافات طويلة بواسطة الرياح القوية والثابتة من مناطق صحراوية أو شبه صحراوية نحو أقاليم أكثر رطوبة فتقوم الأمطار بإنزالها من الغلاف الجوي ثم تتراكم وتستقر في تلك الأقاليم، فتشكل الرواسب اللوسية يحتاج إلى شروط معينة [3]:

- i. مصدر خليط كاف من السيلت والغضار.
- ii. فترة رياح قوية تسود من جهة واحدة.
- iii. مكان الترسيب.

iv. الظروف القاحلة إلى شبه القاحلة على الأقل بعد نشوء السيلت من الأنهار الجليدية.

تعتبر خصائص الترب الانخفاسية بالعموم متشابهة تماماً، وفي الغالب تتميز بخصائص سيلتيه. ومع ذلك، فإن بعض الترب الانخفاسية تحتوي على نسبة عالية من الغضار والبعض الآخر رملي إلى حد ما.

تتكون التربة الانخفاسية من السيلت وأحجام مختلفة من الرمل مع كمية صغيرة من الغضار وقد تتراوح محتوى السيلت من 30% وفي بعض الأحيان أكثر من 90%. فهي ذات هيكل مسامي يظهر نسبياً قوة وتماسك عالية في حالتها الجافة وباعتبارها ذات كثافة منخفضة فهي معرضة لتغير كبير في خصائصها عند ترطيبها.

دُرست هذه الترب 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.

[4] درس خصائص الزحف لتربة اللوس الانخفاسية بقيم مختلفة من الرطوبة بواسطة جهاز الضغط ثلاثي المحاور مستخدماً ضغوط حصر مختلف، وأوضح أن ضغط الحصر ومحتوى الرطوبة لهما تأثير كبير على خصائص الزحف ، فعند ثبات ضغط الحصر وزيادة محتوى الرطوبة تزداد تشوهات الزحف ، وبالعكس تماماً فعند زيادة ضغط الحصر وثبات الرطوبة تتناقص قيمة تشوهات الزحف.

[3] قام بدراسة تشوهات مع الزمن على تربة اللوس الانخفاسية باستخدام جهاز الانضغاط أحادي المحور، وجهاز الضغط ثلاثي المحاور مستخدماً إجهاد حصر ثابت وقيم مختلفة من الرطوبة. فمن خلال تحليل المنحنيات تبين أنه، في حال كانت قيمة الإجهاد المطبق أقل من قيمة إجهاد الخضوع للعينة 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.

[5] درس خصائص الزحف لتربة اللوس الانخفاسية ضمن جهاز الضغط ثلاثي المحاور
مستخدماً ثلاثة أنواع من التربة ترب سليمة البنية وترب معاد تشكيلها وترب سليمة البنية
في حالة الإشباع وذلك تحت ضغوط حصر مختلفة. وتوصل على أن جميع أنواع تربة
اللوس تبدي خصائص غير خطية ويكون التشوه في التربة المشبعة هو الأعلى ثم يليه
العينات المعاد تشكيلها، ثم العينات الأصلية مؤكداً أن الرطوبة والإجهاد الديفاتورى والوزن
الحجمي الجاف جميعها لها تأثير كبير على خصائص الزحف لتربة اللوس. كما أنه
عمل على تقييم سلوك الزحف لتربة اللوس مستخدماً نموذج Singh-Mitchell ونموذج
Mesri وأكد أن نموذج Mesri أفضل من نموذج Singh-Michelle في وصف
تشوهات الزحف لتربة اللوس الانخفاسية.

نظراً لتعقيد ظاهرة الزحف والعدد الكبير من العوامل المؤثرة عليها فقد تم تطوير العديد من
النظريات لوصف سلوك الزحف لطيف واسع من المواد الحقيقية، وتعد المسألة الأساسية
في نظريات الزحف هي تحديد العلاقة [إجهاد - تشوه - زمن] ، تختلف هذه النظريات
بالمعادلات التي تربط بين الإجهاد والتشوه والزمن :

$$\varepsilon(t) = f(\sigma_t, t) \text{ or } \sigma_t = f(\varepsilon_t, t) \dots \dots \dots (1)$$

بعبارة أخرى تختلف في طريقة الوصول لتلك المعادلات وفي كيفية وصف ظاهرة الزحف
وسوف نستعرض فيما يأتي بعضاً من هذه النظريات:

A. نظرية التقادم (Theory of aging):

تعد نظرية التقادم من أكثر نظريات الزحف المعروفة سهولة وقد وضعها العالم Robotnov[2]

يُحدد التشوه الكلي كمجموع للتشوه المرن (اللحظي) ε_e وتشوه الزحف ε_c ويمكن تمثيل التشوه الكلي على الشكل الآتي:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_e + \varepsilon_c = \frac{P}{E_0} + F(P) * \phi(t) \dots \dots \dots (2)$$

حيث $F(p)$ تابع الإجهاد و $\phi(t)$ تابع الزمن و E_0 معامل المرونة.

طبقاً لهذه النظرية فإن علاقة التشوه مع الإجهاد والزمن يمكن تمثيلها على شكل جداء تابعين أحدهما تابع الإجهاد والثاني تابع الزمن:

$$\varepsilon(P, t) = F(P). \phi(t) \dots \dots \dots (3)$$

يمكن الحصول على معادلة الارتداء (انخفاض الإجهادات) من حل المعادلة (2) بالنسبة لـ P عندما:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{P_0}{E_0} = const$$

$$P(t) = P_0 - E * F(p) * \phi(t) \dots \dots \dots (4)$$

حيث يمكننا التابع $\phi(t)$ عندما يصف التباطؤ في زيادة التشوهات مع الزمن فإنه في الحقيقة يعكس تغير خصائص المادة وتقدمها مع الزمن. إن اسم النظرية "التقادم" يعكس هذه الخاصية في سلوك المادة.

B. نظرية السيالان (Theory of flow):

تم تطويرها من قبل العالم [8] Kachavov وفقاً لهذه النظرية فإن العلاقات بين الإجهادات P وسرعة الزحف والزمن ثابتة أي:

$$\phi_2 \left(P, \frac{d\varepsilon_c}{dt}, t \right) = 0 \dots \dots \dots (5)$$

أما السرعة الكلية للتشوه المكونة من سرعة التشوه المرن وسرعة تشوه الزحف هي:

$$d\varepsilon(t)/dt = \frac{d\varepsilon_e}{dt} + \frac{d\varepsilon_c}{dt} \dots \dots \dots (6)$$

إذا أخذنا:

$$\frac{d\varepsilon_c}{dt} = f(P)\alpha(t) \quad ; \quad \frac{d\varepsilon_e}{dt} = \frac{1}{E} \cdot \frac{dP}{dt}$$

سنحصل على:

$$d\varepsilon(t)/dt = \frac{1}{E} \cdot \frac{dP}{dt} + f(P)\alpha(t) \dots \dots \dots (7)$$

طبقاً للعلاقة (6) فإنه عندما $t \rightarrow \infty$ فإنه يكون $d\varepsilon(t)/dt \rightarrow 0$ للزحف المتخامد. ويكون $d\varepsilon(t)/dt \rightarrow \infty$ للزحف غير المتخامد.

اسم "نظرية السيالان" مأخوذ من تشابه معادلة هذه النظرية مع معادلة السيالان اللزج علماً أنها تختلف عن السيالان اللزج بأنها تأخذ بعين الاعتبار سرعة تشوه متغيرة مع الزمن.

وفقاً لـ Vyalov [12] إذا اعتبرنا: $f(p) = (p/A_0)^{\frac{1}{m}}$ فإن المعادلة (7) ستأخذ على الشكل الآتي:

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = [p/A_0]^{\frac{1}{m}} \cdot \alpha(t) + \frac{1}{E} \cdot \frac{dp}{dt} \dots \dots \dots (8)$$

C. نظرية الزحف حسب Singh-Mitchell:

عند تقييم تجارب الزحف توصل (Singh – Mitchell) [9] إلى أن العلاقة بين معدل التشوه ($\dot{\varepsilon}$) والزمن (t) هي علاقة خطية لو أنها رُسمت بمقياس لوغاريتمي مضاعف أي بين $(\log \dot{\varepsilon} - \log t)$ ، وقد تأكد ميتشل من ذلك من خلال تقييم نتائج تجاربه الخاصة وعبر عن هذه العلاقة بالصيغة:

$$\varepsilon_c = \frac{A}{1-n} \cdot e^{\alpha t} \cdot t^{1-n} \dots \dots \dots (9)$$

فتعطي التشوهات الكلية عند أي لحظة زمنية بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_c$$

$$\varepsilon(t) = \frac{P}{E_0} + \frac{A}{1-n} \cdot e^{\alpha t} \cdot t^{1-n}$$

حيث:

$\dot{\varepsilon}$: معدل التشوه $\frac{d\varepsilon}{dt}$.

ε_c : التشوهات الزحفية (التشوهات مع الزمن)

τ : إجهاد القص أو ديفياتور الإجهاد **D** وهو نفسه إجهاد الضغط وحيد المحور المطبق في تجارب البحث **P**.

A, n, α : هي ثوابت زحف يتم تحديدها من التجربة وسنرد في المقرة (3-5) طريقة تحديد الثوابت.

P: الإجهاد المطبق.

E₀: معامل المرونة.

مشيراً إلى أن شرط حصول التشوه الزحفي المستقر هو تناقص سرعة التشوه مع تقدم زمن التحميل ويمكن استناداً إلى هذا الشرط فقط الانطلاق من فكرة التناسب الخطي بين لوغاريتم سرعة التشوه ولوغاريتم الزمن، وتنطبق هذه الترتيبة في تجارب الزحف غالباً على المجال الوسطي للإجهادات ففي هذا المجال برهن Singh-Mitchell أيضاً أن العلاقة بين لوغاريتم التشوه وديفياتور الإجهاد D هي علاقة خطية ضمن مجال معين.

D. نظرية الزحف المتوارث Theory of hereditary creep:

تعتمد هذه النظرية والتي أسسها العالمان Boltzmann،Volterra [11] على مبدأ أن تشوهات عند زمن معطى لا يعتمد فقط على كمية الإجهاد المطبق في ذلك الزمن بل أيضاً بتاريخ التشوهات السابقة، كما لو أنه ورث تأثير الإجهاد السابق، وبذلك فإن التشوهات مع الزمن هي قيمة تراكمية للتشوهات السابقة وبحسب هذه النظرية فإن التشوهات مع الزمن يمكن أن نعبر عنها بالصيغة التالية:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E_0} \cdot \left[P(t) + \int_0^t K(t-\tau)P(\tau)d(\tau) \right] \dots \dots \dots (10)$$

$\varepsilon(t)$: التشوه عند زمن t .

$P(t), P(\tau)$: الإجهادات عند ازمنة t, τ .

$K(t-\tau)$: نواة الزحف.

t : زمن المراقبة.

τ : الزمن الذي يسبق زمن المراقبة.

الحد $K(t-\tau)$ يعبر عن سرعة تشوهات الزحف والموافقة لقيمة واحدة للإجهاد يُحدد كما يلي:

$$\frac{1}{E_0} K(t) = \frac{1}{P} \frac{d\varepsilon}{dt}$$

حيث E_0 قيمة عامل التشوه اللحظي والذي يتم تحديده من مخطط (إجهاد - تشوه) والموافق للزمن ($t=0$) وبفرض كانت قيمة التشوهات ثابتة فإننا نعبر عن تغير الإجهاد مع الزمن بالصيغة التالية:

$$P(t) = E_0 \left[\varepsilon(t) - \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon(\tau) d(\tau) \right] \dots \dots \dots (11)$$

وإذا بدلنا عن $\varepsilon(\tau) = \varepsilon(t) = const$ نحصل على:

$$E_0 \cdot R(t) = -\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{dP}{dt}$$

$R(t)$ تعبر عن سرعة تغير الإجهادات مع الزمن من أجل قيمة تشوهات واحدية. إن سرعة التشوهات والموافقة للزمن ($t=0$) هي قيمة لانهاية ومع الزمن تصبح المنحنيات مقاربة لمحور الزمن.

يمكن أن نعبر عن الحد $K(t-\tau)$ بالصيغة الرياضية التالية:

$$K(t-\tau) = \delta e^{-\delta(t-\tau)}$$

حيث (δ) ثابت الزحف.

وبالتعويض عن $P(\tau) = P(t) = const$ تصبح المعادلة (10)

$$\varepsilon(t) = \frac{P}{E_0} \cdot \left[1 + \frac{p}{\delta_1} (1 - e^{-\delta_1 t}) \right] \dots \dots \dots (12)$$

وبنفس الطريقة إذا بدلنا بالمعادلة (12) عن $R(t-\tau)$ بالصيغة التالية:

$$R(t-\tau) = \delta e^{-(\delta+\delta_1)(t-\tau)}$$

تصبح المعادلة (11) كما يلي:

$$P(t) = E_0 \cdot \varepsilon \left[1 - \frac{\delta}{\delta + \delta_1} (1 - e^{-(\delta+\delta_1)t}) \right] \dots \dots \dots (13)$$

حيث δ, δ_1 ثوابت زحف.

يتم تحديدهما وفق الخطوات التالية، نحسب سرعة تشوهات الزحف من الصيغة:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{P}{E_0} \delta e^{-\delta_1 t}$$

ويمكن كتابتها بالشكل:

$$\frac{E_0}{P} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} = \delta e^{-\delta_1 t}$$

ومن أجل (t=0) نجد:

$$\frac{E_0}{P} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \Big|_{t=0} = \delta$$

أي أن الثابت δ يمكن تحديده من مخطط سرعة تشوهات الزحف الموافق (t=0) مضروباً بالحد $\frac{E_0}{P}$ بمعرفة δ يمكن تحديد δ_1 أي :

$$\delta_1 = \delta \frac{P}{E_0 \cdot \varepsilon(\infty) - P}$$

وعندما نعبر عن الحد $K(t - \tau)$ يصبح كما يلي

$$K(t - \tau) = \alpha \cdot (t - \tau)^{-\beta} \dots \dots \dots (14)$$

حيث α و β ثوابت زحف علماً أن قيمة β ضمن المجال $0 < \beta < 1$ و $\alpha > 0$ وبالتعويض بقيمة K وباعتبار أن $P(\tau) = P(t) = const$ تصبح المعادلة كما يلي:

$$\varepsilon(t) = \frac{P}{E_0} \left(1 + \frac{\alpha}{1 - \beta} \cdot t^{1-\beta} \right) \dots \dots \dots (15)$$

α, β : هي ثوابت زحف يتم تحديدها من التجربة وسنرد في الفقرة (3-4) طريقة تحديد الثوابت.

2. هدف البحث

دراسة تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية واقتراح صيغة رياضية تعبر عن تغير تشوه مع الزمن للتراب الانخفاسية وتقييم النتائج وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية ونظرية Singh-Mitchell.

3. مواد وطرق البحث

تم إحضار التربة التي أُجريت عليها التجارب من منطقة جوسيه في ريف القصير جنوب غرب مدينة حمص-. حيث جُفِّت 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

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 الأمثلية
0.7419	e_0	دليل الفراغات الابتدائي
28.38	$sr \%$	درجة الإشباع
27.8	$LL \%$	حد السيولة

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

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 $\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$ وبقيم مختلفة من الرطوبة ($\omega = 5, 8, 12, 16 \%$).

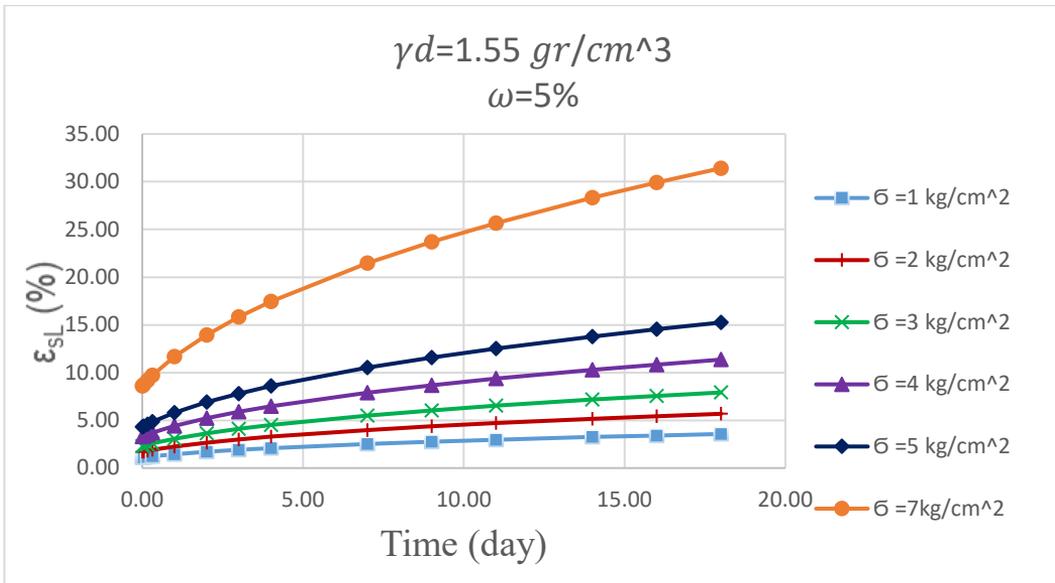
تم ترطيب كتلة ترابية حتى وصولها إلى رطوبة الإشباع تقريباً، ومن ثم تم لف وتغطية الكتلة وحفظها في حاوية رطبة في قعرها كمية من الماء لمدة سبعة أيام لتعيد العينة توزيع رطوبتها بشكل متجانس. قسمت هذه الكتلة إلى أربع مجموعات حيث كل مجموعة سيكون لها رطوبة محددة. تم تجفيف المجموعات حتى وصولها إلى محتوى الرطوبة 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. [13]

3-2 دراسة تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن

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

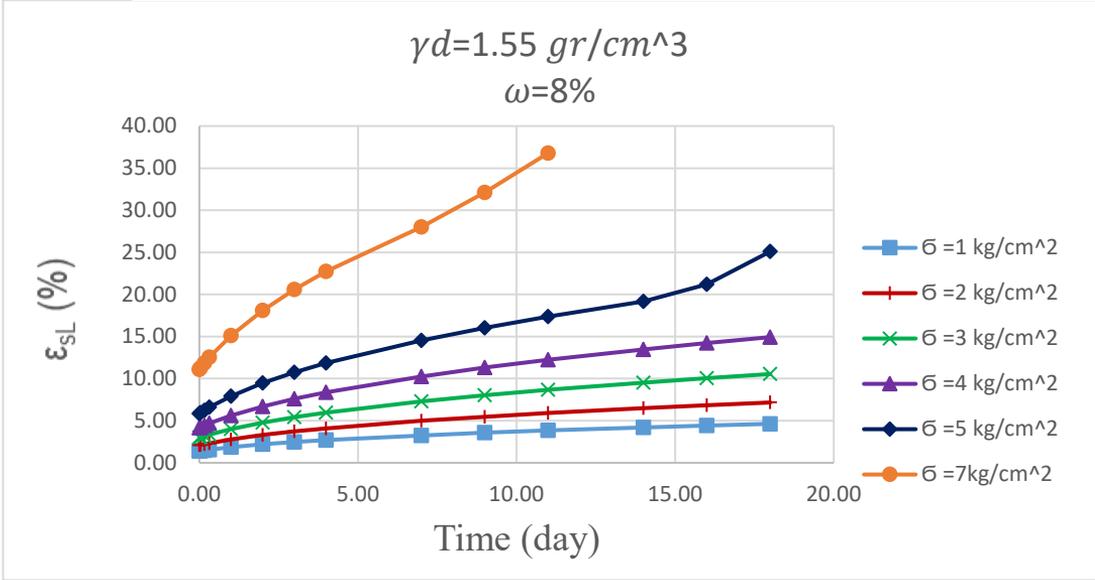
أُجريت التجربة على عينات سليمة وزنها الحجمي الجاف $\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$ ثم طُبِق عليها إجهاد ثابت $(\sigma = 1,2,3,4,5,7 \text{ kg/cm}^2)$ وبعد ذلك تم قياس التشوهات مع الزمن.

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

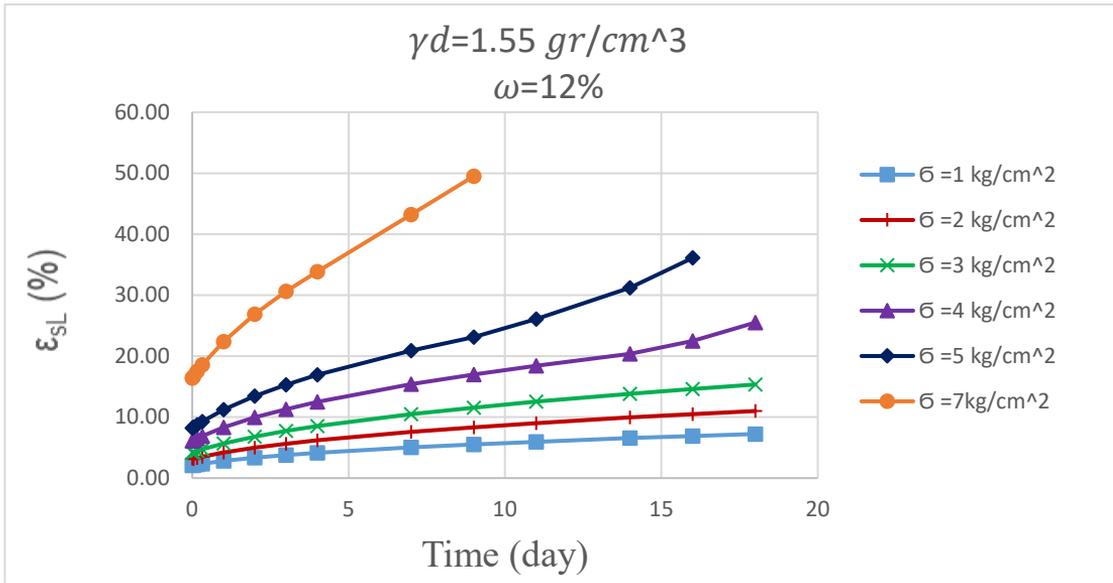


الشكل (1) تغير تشوهات التربة الانخفاسية مع الزمن من أجل $(\omega = 5\%)$

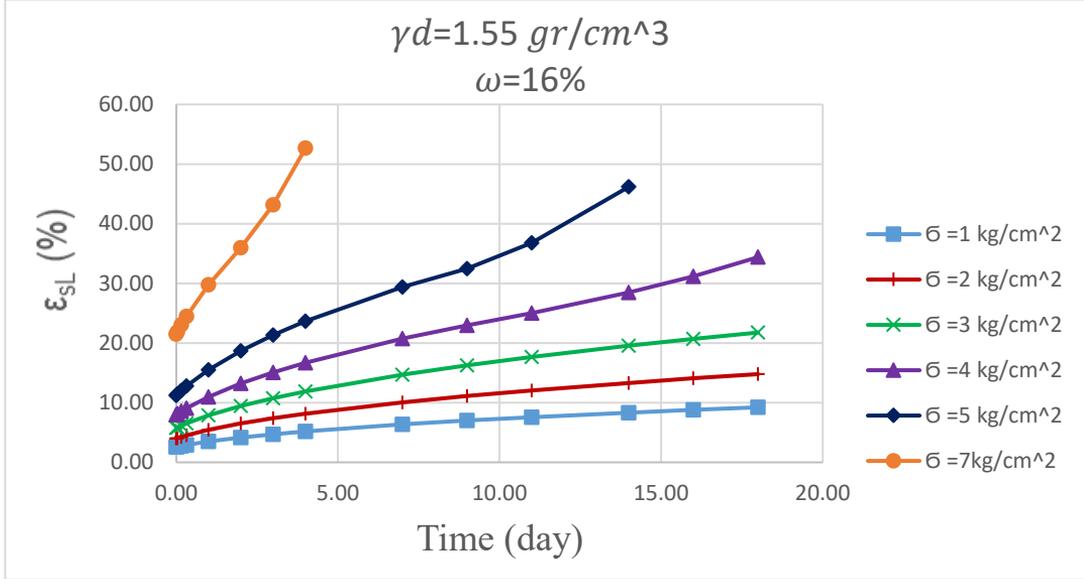
تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
ونظرية Singh-Mitchell



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



الشكل (3) تغيير 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 الأخر من التشوهات يتم مع الزمن ويرمز له $\varepsilon^-(t)$ ، وعليه فإن التشوهات مع الزمن للتربة الانخفاسية يمكن أن نعبر عنها بالصيغة التالية :

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \varepsilon^-(t) \dots \dots \dots (16)$$

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 (16) بالشكل التالي:

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \varepsilon_I^-(t) + \varepsilon_{II}^-(t) + \varepsilon_{III}^-(t) \dots \dots \dots (17)$$

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.

3-3 المعادلة العامة لتشوه التراب الانخفاسية مع الزمن:

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

$$\varepsilon = f(\sigma, t, \omega,) \dots \dots \dots (18)$$

وبحسب التجارب التي أجريت فإن جميع التوابع سبق وتم تحديدها في مقالة سابقة، ولاستنتاج العلاقة العامة للتشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية نطلق من العلاقة المقترحة سابقاً:

$$\varepsilon_{sl} = c * (t + 1)^\alpha \dots \dots \dots (19)$$

تم تحديد الثوابت (α, c) في مقالة سابقة على العلم إن هذه الثوابت تتعلق بقيمة الإجهاد المطبق ومحتوى الرطوبة.

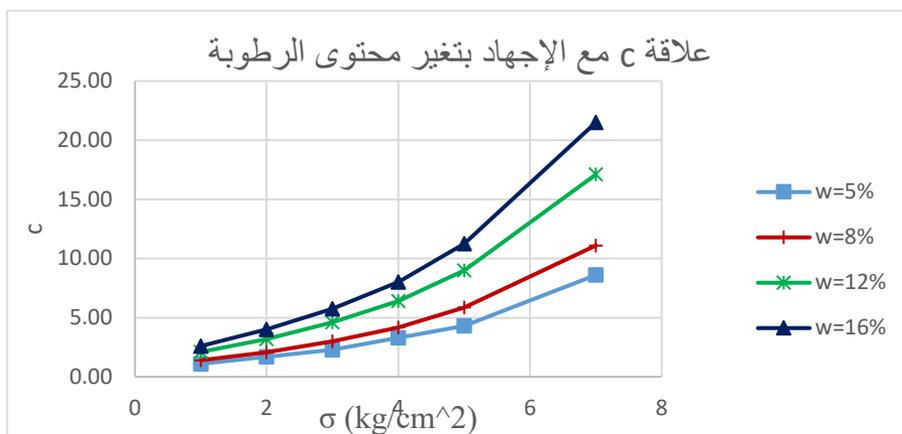
الجدول (2) قيم الثوابت (α, c)

$\omega = 5\%$		$\omega = 8\%$		$\omega = 12\%$		$\omega = 16\%$	
c	α	c	α	c	α	c	α
1	0.4	1.44	0.41	2.3	0.42	2.5	0.43
1.7	0.41	2.15	0.42	3.3	0.43	4.2	0.444
2.25	0.42	3.05	0.43	4.55	0.44	5.84	0.452

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

فلو رسمنا العلاقة بين قيمة الثابت c والإجهاد المطبق، نحصل على المنحنيات التالية المبينة في الشكل (5):

1. العلاقة بين الثابت c والإجهاد المطبق:



الشكل (5) العلاقة بين الثابت c والإجهاد المطبق من أجل محتوى رطوبة مختلف

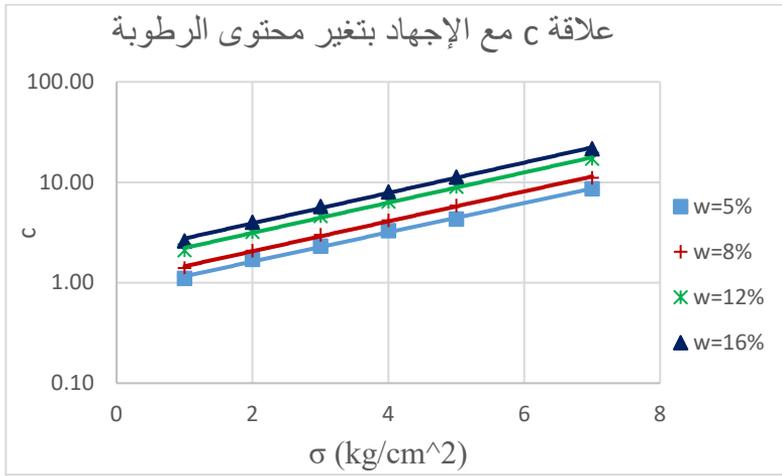
تم اقتراح علاقة رياضية تعبر عن تغير الثابت c بتغير الإجهاد المطبق:

$$c = \xi e^{k\sigma} \dots \dots \dots (20)$$

نأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$\ln c = \ln(\xi) + \kappa * \sigma$$

نرسم العلاقة بين الإجهاد والثابت c بجملة إحداثيات نصف لوغاريتمية يكون فيا محور الفواصل ممثل بالإجهاد σ ومحور الترتيب c بالمقياس اللوغاريتمي، حيث يمثل ميل المستقيمات الثابت κ أما تقاطعهما مع محور الترتيب ξ .



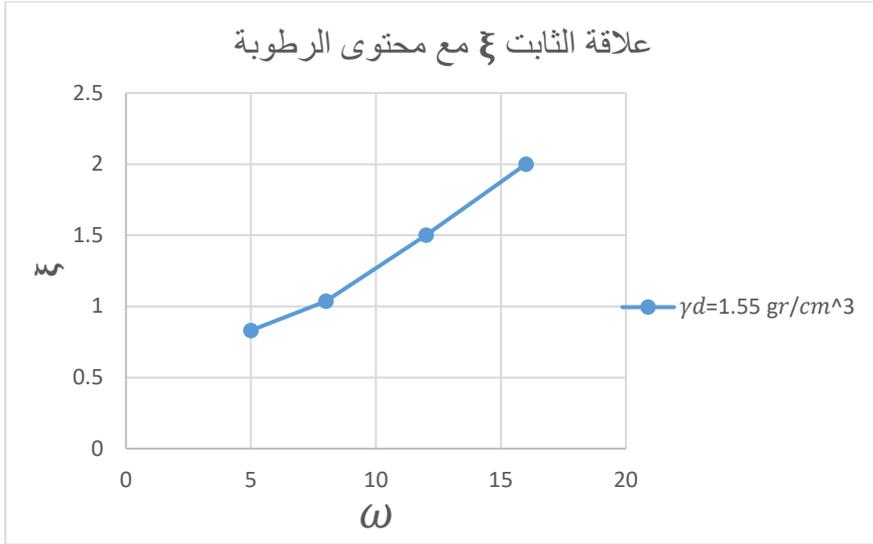
الشكل (6) العلاقة بين الثابت c الإجهاد المطبق من أجل محتوى رطوبة مختلف

الجدول (3) قيم الثوابت ξ, κ

قيم الثوابت	$\omega = 5\%$	$\omega = 8\%$	$\omega = 12\%$	$\omega = 16\%$
ξ	0.831	1.0365	1.57	1.95
κ	0.335	0.343	0.346	0.348

نلاحظ أن قيمة الثابت κ تتراوح بين (0.335-0.348) سنأخذ قيمة الوسطية للثابت
 $\kappa = 0.343$ أما قيمة الثابت ξ فهي تزداد بزيادة محتوى الرطوبة للعينة.

لذلك نقوم برسم العلاقة بين الثابت ξ ومحتوى الرطوبة:



الشكل (7) العلاقة بين الثابت ξ ومحتوى الرطوبة عند وزن حجمي $\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$

تم اقتراح علاقة رياضية تعبر عن تغير الثابت ξ بتغير محتوى الرطوبة

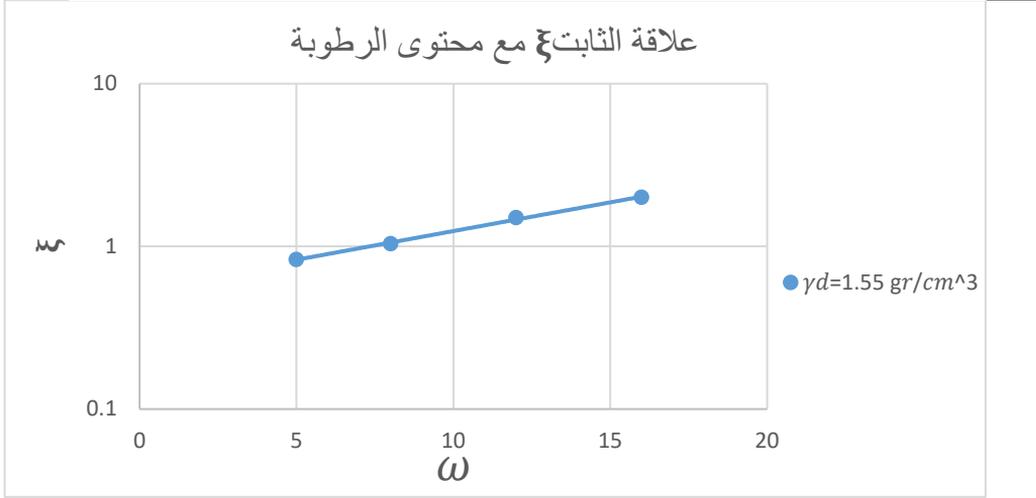
$$\xi = \mu e^{\chi * \omega} \dots \dots \dots (21)$$

بأخذ لوغاريتم الطرفين تصبح المعادلة بالشكل:

$$\ln \xi = \ln \mu + \chi * \omega \dots \dots \dots (22)$$

نرسم العلاقة بين قيمة الثابت ξ ومحتوى الرطوبة بمقياس نصف لوغاريتمي بحيث يكون محور الفواصل ω ومحور الترتيب ξ بالمقياس اللوغاريتمي.

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية



الشكل (8) العلاقة بين الثابت ρ ومحتوى الرطوبة عند وزن حجمي $\gamma_d = 1.55$

إن تقاطع المستقيم مع محور الترتيب يمثل قيمة الثابت μ أما ميل المستقيم فهو يمثل الثابت χ

فتكون قيمة الثابت $\chi = 0.0813$ أما قيمة الثابت $\mu = 0.551$

فتأخذ المعادلة (19) الشكل التالي:

$$\varepsilon_{sl} = \mu * e^{\chi * \omega} * e^{\kappa * \sigma} * (1 + t)^\alpha \dots \dots \dots (23)$$

وهي المعادلة العامة المقترحة لوصف تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية حيث:

κ : ثابت = 0.343 تم تحديده سابقاً

χ : ثابت = 0.0813 تم تحديده سابقاً

μ : ثابت = 0.551 تم تحديده سابقاً

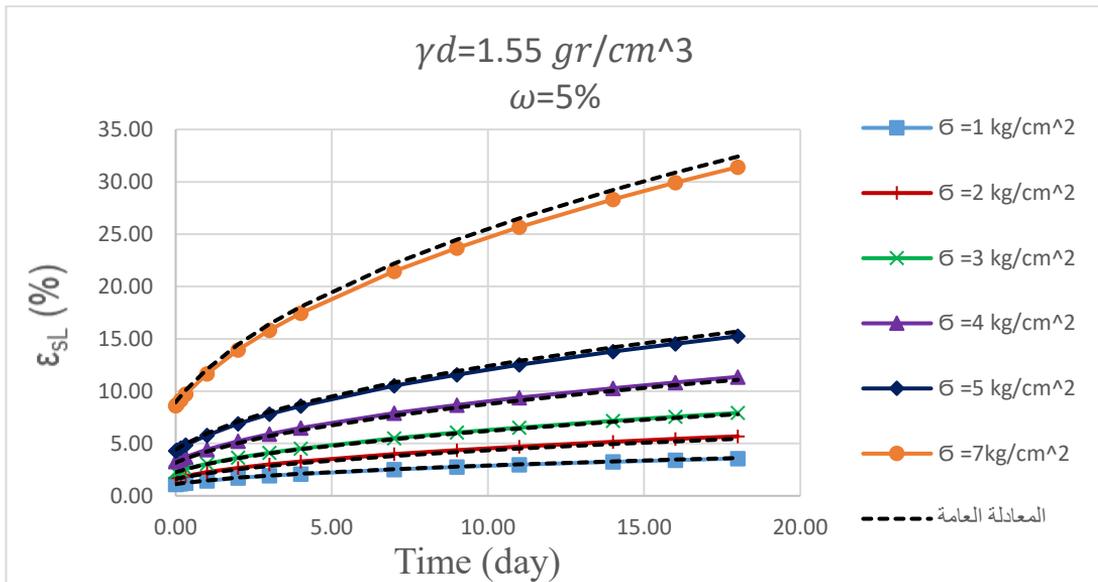
α : ثابت يمكن الحصول عليه برسم العلاقة بين $(t + 1)$ وقيم التشوهات ϵ_{sl} بجملة إحداثيات لوغاريتمية يكون فيها محور الفواصل $(t + 1)$ ومحور الترتيب ϵ_{sl} حيث يعبر عن ميل المستقيمات أما تقاطع المستقيمات مع محور الترتيب يعبر عن الثابت c .

t : الزمن باليوم

σ : الإجهاد المطبق kg/cm^2

ω : محتوى الرطوبة للعينات

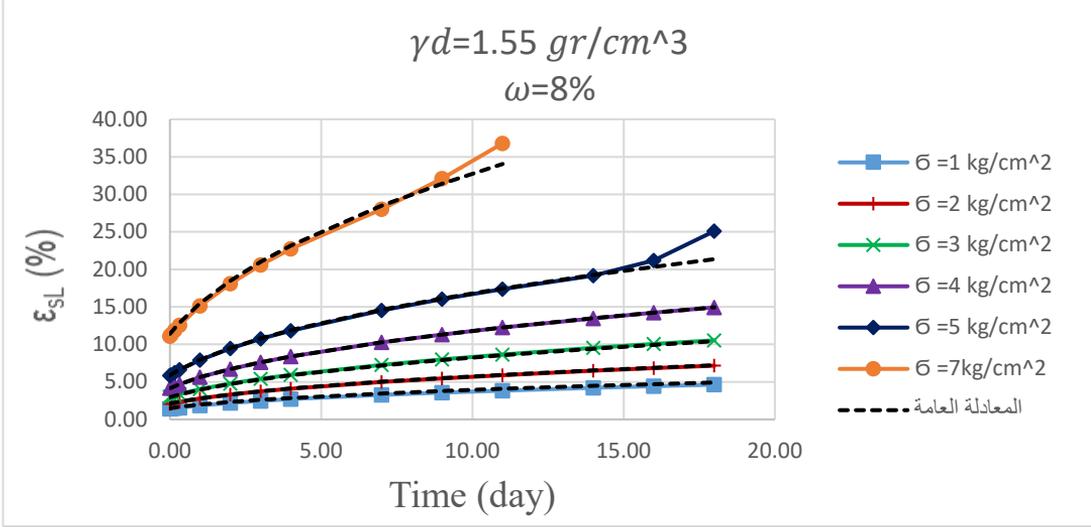
توضح الأشكال التالية (9,10,11,12) قيم النتائج المحسوبة من المعادلة (23) حيث يعبر عنها بالخط المنقط اما الخط المستقيم فهو يعبر عن النتائج المخبرية إن تقارب المنحنيات يعطي موثوقية جيدة للعلاقة المقترحة حيث لم يتعدى الفرق بين القيم التشوه التجريبية وقيم التشوه المحسوبة من العلاقة (23) كحد أقصى (2%).



تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

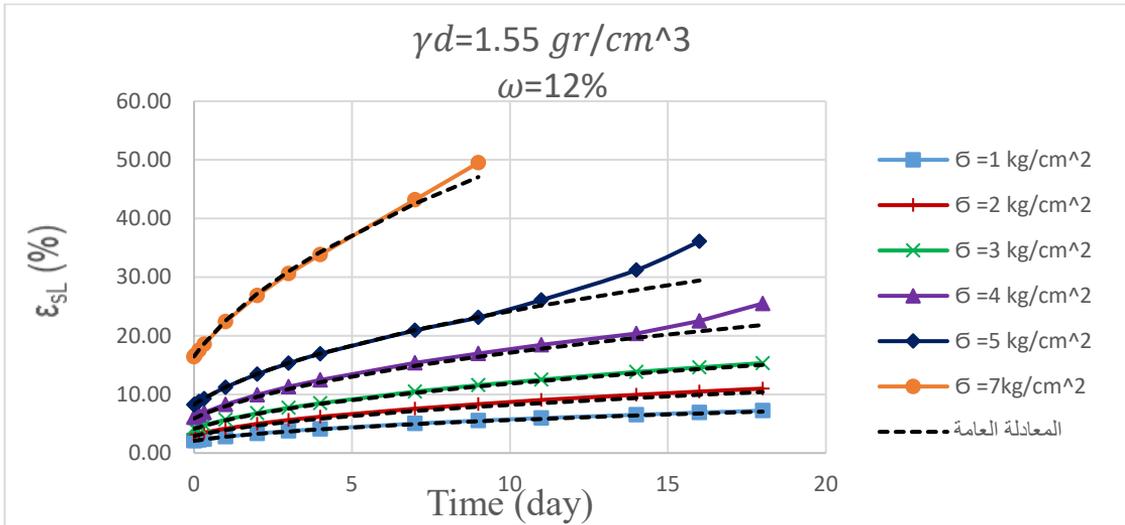
الشكل (9) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة المعادلة

$$\omega = 5\% \text{ (23) العامة}$$



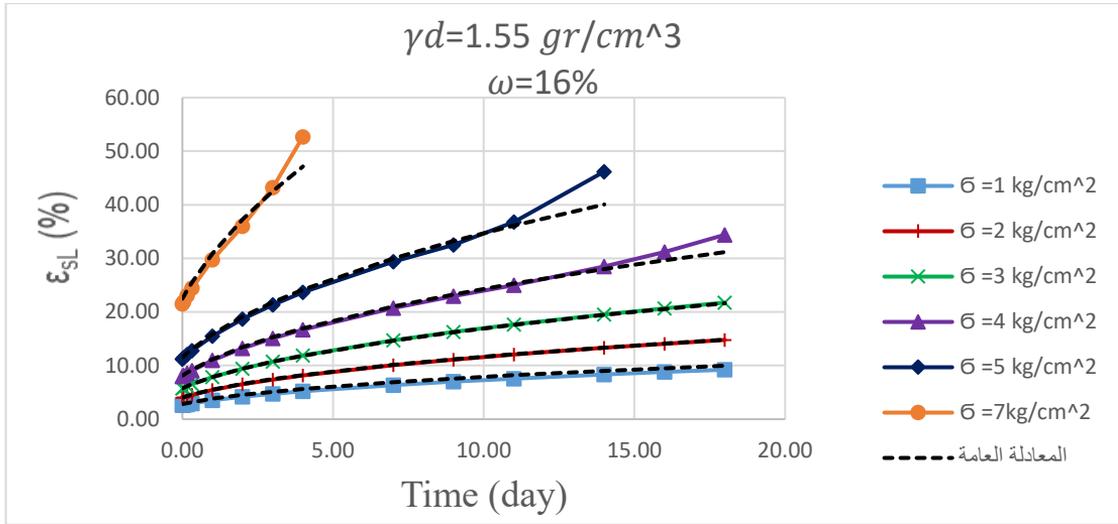
الشكل (10) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة المعادلة

$$\omega = 8\% \text{ (23) العامة}$$



الشكل (11) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة المعادلة

$$\omega = 12\% \text{ (23) العامة}$$



الشكل (12) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة المعادلة العامة (23) $\omega = 16\%$

3-4 تقييم تجارب التشوه مع الزمن للترب الانخفاسية وفق نظرية الزحف المتوارث الخطية:

تحديد عوامل الزحف وفق نظرية الزحف المتوارث الخطية حسب Vyalov [12]:

انطلاقاً من المعادلة (14) يمكن أن نحسب سرعة تشوهات الزحف كما يلي:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma}{E} * at^{-\beta} \dots \dots \dots (24)$$

طبقاً للمعادلة (24) ومن أجل $t = 0$ يكون $\frac{d\varepsilon}{dt} = \infty$ وكذلك من أجل $t \rightarrow \infty$ فإن $\frac{d\varepsilon}{dt} \rightarrow 0$ وهذا ما توضحه المعطيات التجريبية.

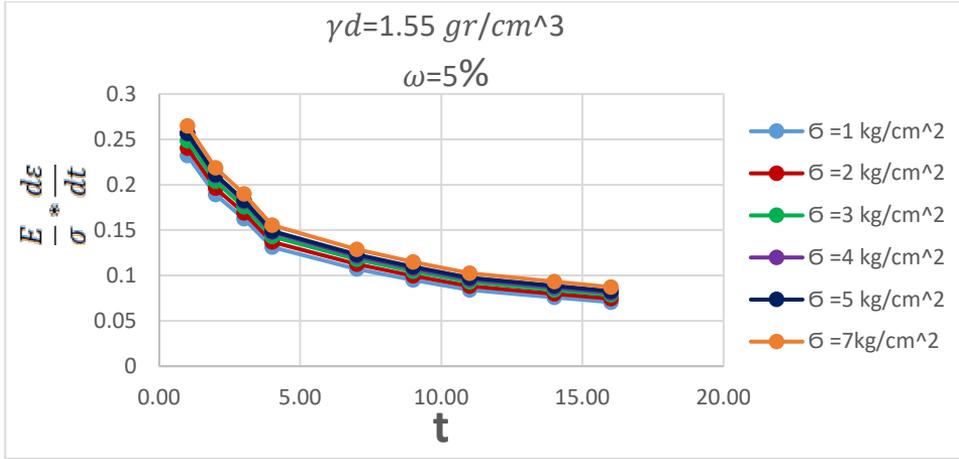
ونحدد ثوابت الزحف α, β من الصيغة (24):

$$\frac{E}{\sigma} * \frac{d\varepsilon}{dt} = \alpha * t^{-\beta} \dots \dots \dots (25)$$

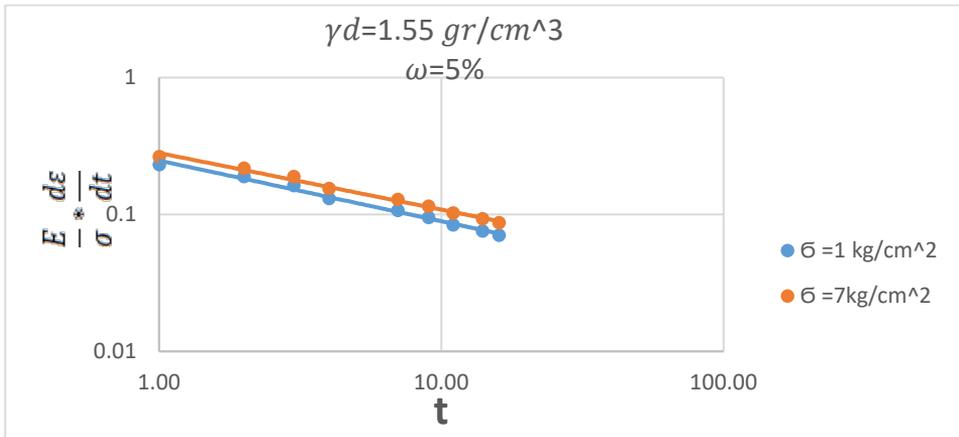
بأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$\ln\left(\frac{E}{\sigma} * \frac{d\varepsilon}{dt}\right) = \ln(\alpha) - \beta \ln(t)$$

وبرسم النقاط التي حصلنا عليها من التجربة في جملة إحداثيات لوغاريتمه نجد أن النقاط تقع على خط مستقيم، ميل المستقيمات يعطي العامل β وتقاطع المستقيم مع محور الترتيب يسمح لنا بحساب قيمة العامل α . سنكتفي فقط بذكر مخطط واحد يدل على تغير سرعة التشوه مع الزمن الشكل (13) علماً من أجل قيم مختلفة للرطوبة تعطي نتائج متشابهة. أما الأشكال (14,15,16,17) فهي لتحديد الثوابت β, α للعلاقة (25) عند محتوى رطوبة مختلف [نظراً للتقارب الشديد بين المنحنيات سنحدد قيم الثوابت β, α لمنحنيين فقط من أجل كل رطوبة]. توضح الأشكال (14,15,16,17) قيم الثوابت β, α .

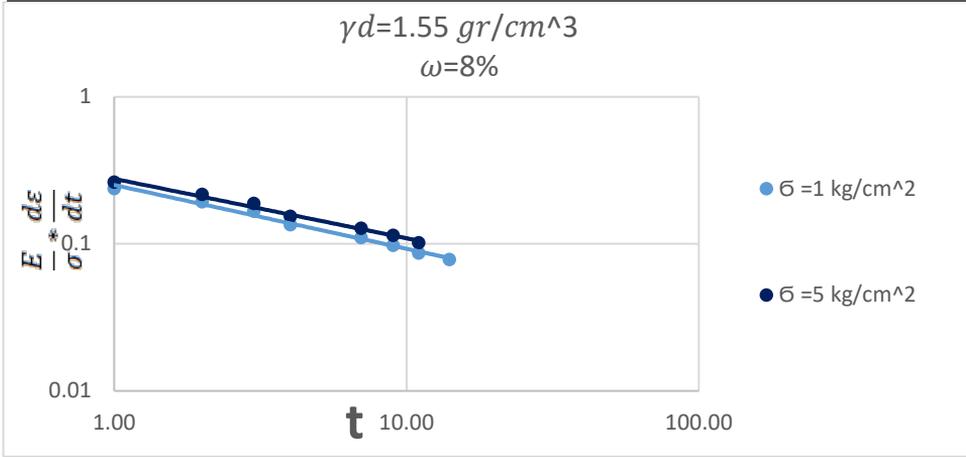


الشكل (13) تغير سرعة التشوه مع الزمن من أجل محتوى رطوبة $\omega = 5\%$

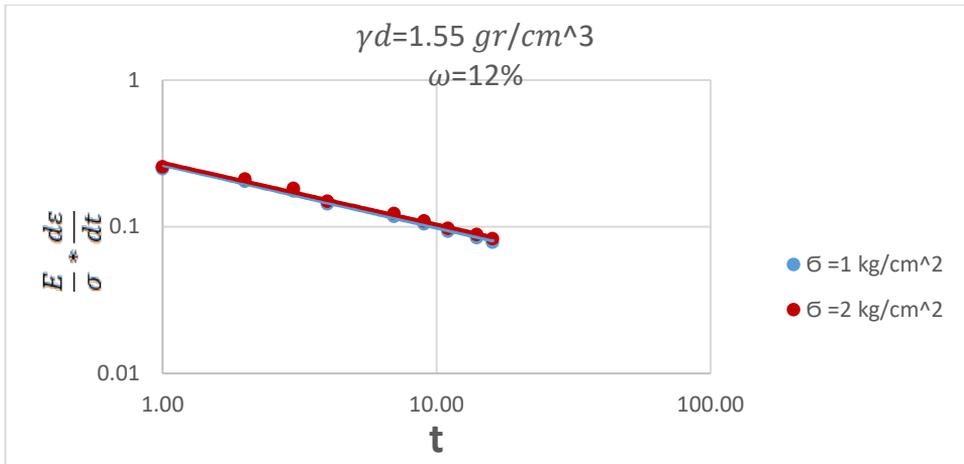


الشكل (14) تحديد الثوابت β, α للعلاقة (25) عند محتوى رطوبة $\omega = 5\%$

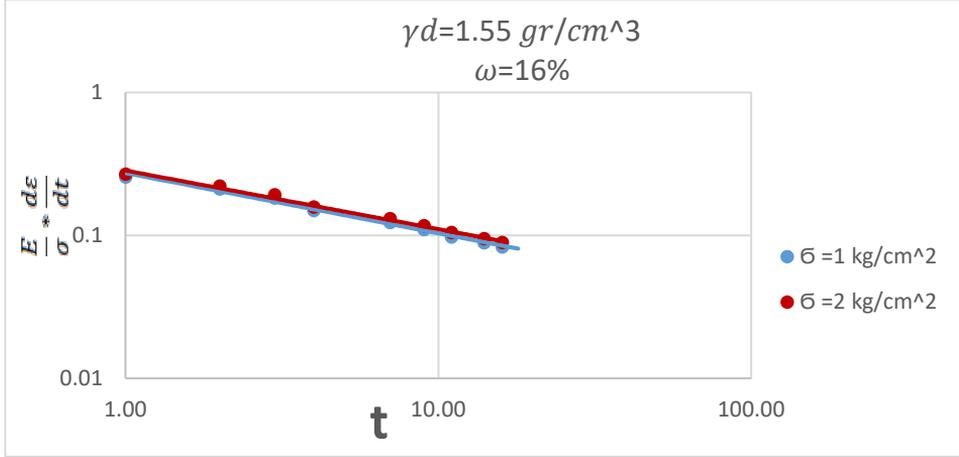
تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
 ونظرية Singh-Mitchell



الشكل (15) تحديد الثوابت β, α للعلاقة (25) عند محتوى رطوبة $\omega = 8\%$



الشكل (16) تحديد الثوابت β, α للعلاقة (25) عند محتوى رطوبة $\omega = 12\%$



الشكل (17) تحديد الثوابت β, α للعلاقة (25) عند محتوى رطوبة $\omega = 16\%$

نرد في الجدول (4) قيم كل من الثوابت β, α وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية والمحسوبة حسب Vyalov:

الجدول (4) قيم الثوابت β, α وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية

$\omega\%$	$\sigma = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$		$\sigma = 2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$		$\sigma = 3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$		$\sigma = 4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$		$\sigma = 5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$		$\sigma = 7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	
	α	β										

تقييم سلوك الزحف للترب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

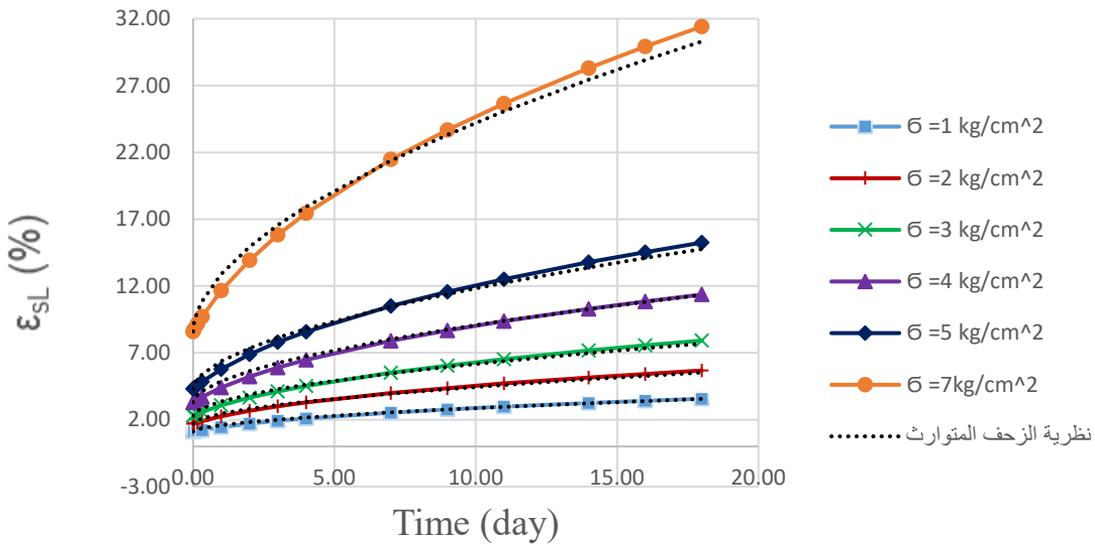
5	0.248	0.44	0.25	0.44	0.26	0.44	0.27	0.44	0.27	0.44	0.28	0.44
8	0.25	0.43	0.26	0.43	0.27	0.42	0.27	0.42	0.28	0.41	0.28	0.41
12	0.26	0.43	0.27	0.42	0.27	0.41	0.27	0.4	0.28	0.4	0.28	0.4
16	0.27	0.41	0.285	0.41	0.29	0.41	0.29	0.4	0.29	0.4	0.29	0.4

نلاحظ من الجدول (4) أن قيم العامل β متقاربة جداً والذي يمثل ميل المستقيمات الناتجة كانت ضمن المجال (0.4-0.44) وقيم العامل α أيضاً متقاربة بشكل كبير لذلك سنعمد القيم الوسطية للثوابت: $\beta = 0.42$, $\alpha = 0.285$

وللتحقق من صلاحية العلاقة (15) في توصيف التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية التي حصلنا عليها من التجربة، توضح الأشكال التالية (18,19,20,21) قيم التشوهات مع الزمن للتربة الانخفاسية حيث يمثل الجزء المستمر القيم الواردة من التجربة والجزء المنقط القيم المحسوبة الواردة من العلاقة (15). إن تقارب القيم يجعلنا نستنتج أن نظرية الزحف المتوارث الخطية تناسب توصيف التشوهات الحاصلة بالتربة الانخفاسية مع الزمن ضمن مرحلتي الزحف الابتدائي والزحف المستقر فقط حيث لم يتعدى الفارق بين القيم التجريبية والنظرية للتشوه كحد أقصى (2%).

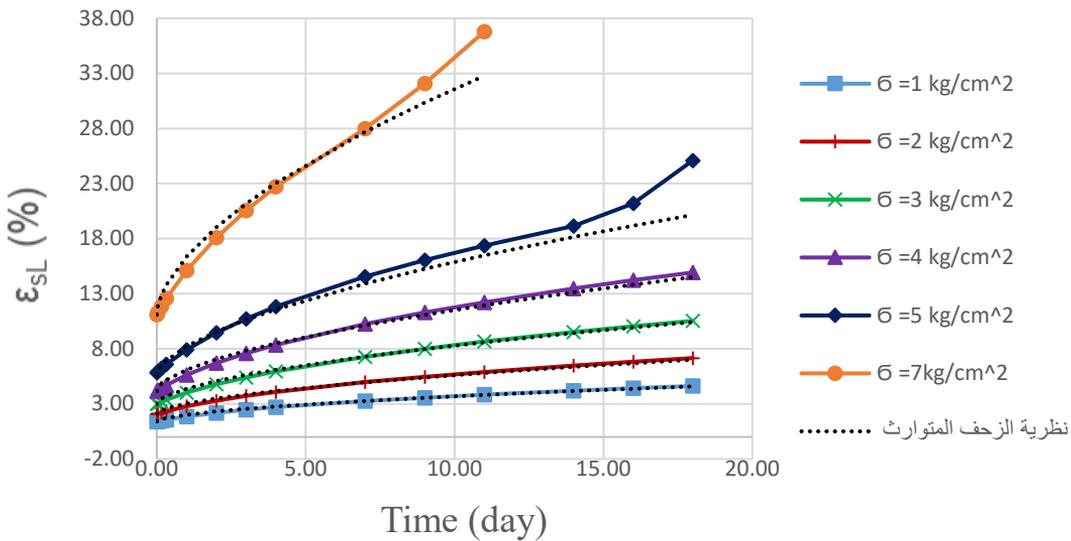
مما يعني أن تشوهات الزحف في التربة الانخفاسية لا ترتبط بالتشوهات الحالية الحاصلة فقط وإنما ترتبط بالتشوهات الحاصلة سابقاً، ومن هنا جاء تسمية النظرية بنظرية الزحف المتوارث الخطية.

$\gamma_d=1.55 \text{ gr/cm}^3$
 $\omega=5\%$



الشكل (18) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (15) من أجل $\omega = 5\%$

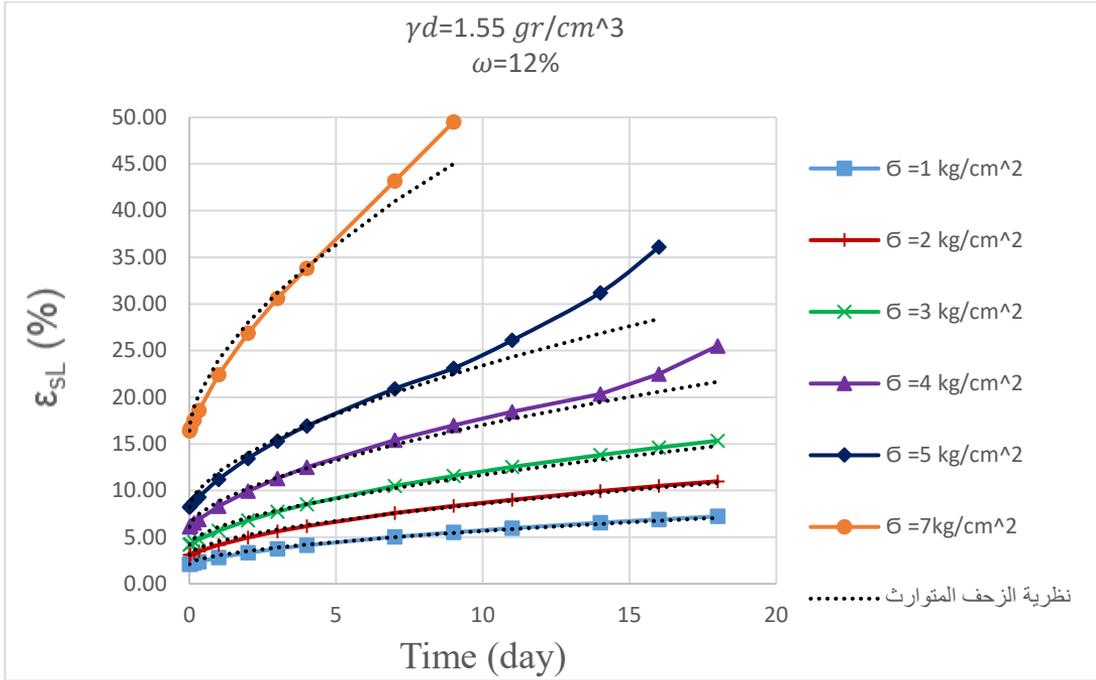
$\gamma_d=1.55 \text{ gr/cm}^3$
 $\omega=8\%$



تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
 ونظرية Singh-Mitchell

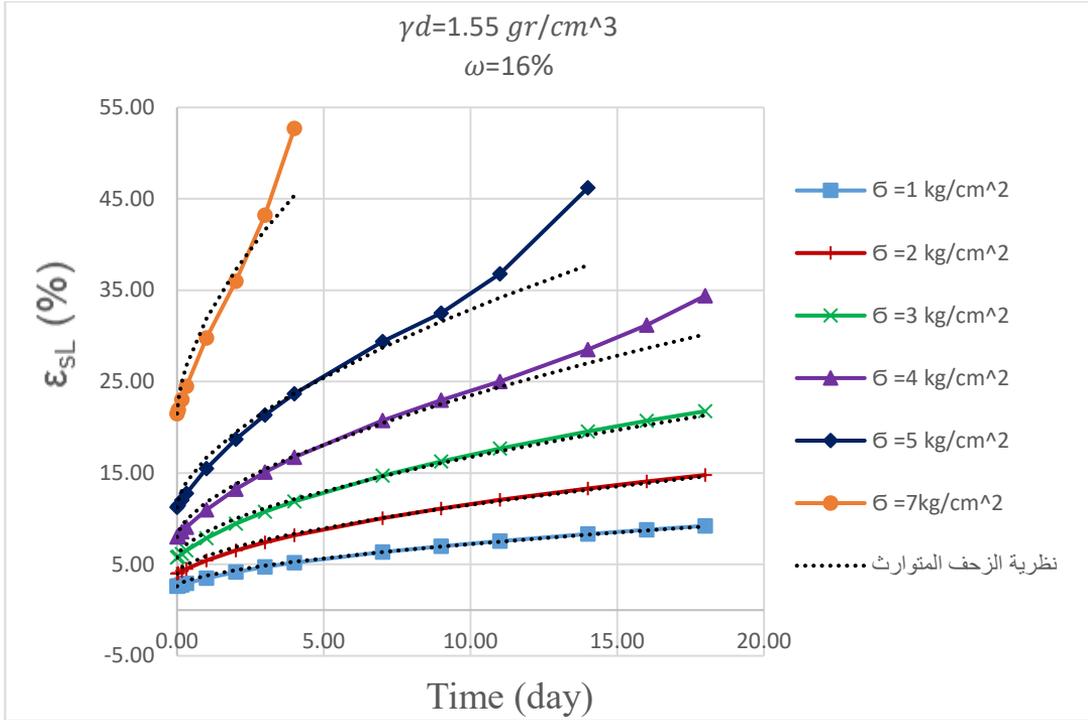
الشكل (19) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (15)

من أجل $\omega = 8\%$



الشكل (20) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (15)

من أجل $\omega = 12\%$



الشكل (21) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (15) من أجل $\omega = 12\%$

3-5 تقييم تجارب التشوه مع الزمن للترب الانخفاسية وفق نظرية Singh-Mitchell

انطلاقاً من العلاقة العامة للتشوهات مع الزمن:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_c$$

حيث $\varepsilon(t)$: التشوهات الكلية عند لحظة زمنية t .

ε_0 : هي التشوهات اللحظية.

ε_c : هي التشوهات مع الزمن.

فقد اقترح Singh-Mitchell تابع متعلقاً بالزمن لوصف تشوهات الزحف للترب:

$$\varepsilon_c = \frac{A}{1-n} \cdot e^{\alpha\sigma} \cdot t^{1-n}$$

لتأخذ المعادلة الشكل النهائي التالي:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \frac{A}{1-n} \cdot e^{\alpha\sigma} \cdot t^{1-n} \dots \dots \dots (26)$$

نحدد ثوابت الزحف الواردة في العلاقة (26) وفقاً للخطوات التالية:

$$\varepsilon_c = \frac{A}{1-n} \cdot e^{\alpha\sigma} \cdot t^{1-n} \dots \dots \dots (27)$$

عند لحظة زمنية $t=1$ تأخذ المعادلة (27) الشكل التالي:

$$\varepsilon_{c_{t=1}} = \frac{A}{1-n} \cdot e^{\alpha\sigma} \dots \dots \dots (28)$$

نأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$\ln \varepsilon_{c_{(t=1)}} = \ln\left(\frac{A}{1-n}\right) + \alpha * \sigma \dots \dots \dots (29)$$

حيث σ : قيمة الإجهاد المطبق.

لو رسمنا العلاقة بين $\ln \varepsilon_{c_{(t=1)}}$ والإجهاد المطبق عند زمن $t=1$ نحصل على مستقيم ميله يمثل α .

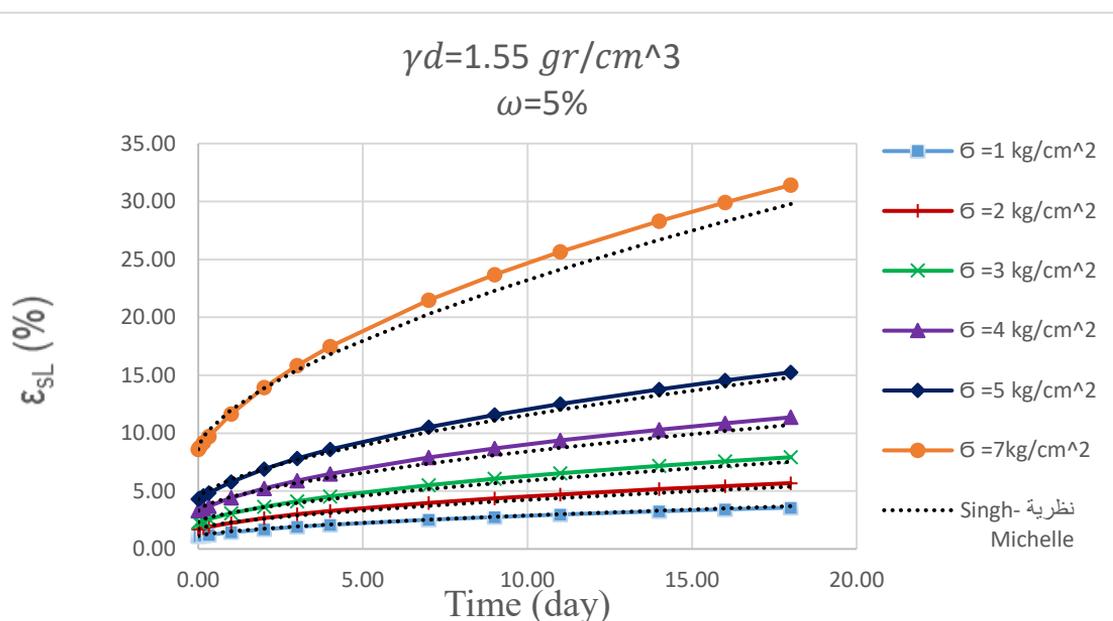
لو رسمنا العلاقة ما بين $\log \varepsilon_c$ و $\log t_k$ حيث يمثل t_k زمن الزحف) عند كل نسبة رطوبة للتربة المدروسة فنحصل من أجل كل نسبة على مستقيم ميله يمثل الثابت n وتقاطعة مع محور الترتيب يحدد منه الثابت A .

نرد في الجدول (5) قيم ثوابت الزحف الواردة في علاقة Singh-Mitchell.

الجدول (5) قيم الثوابت n, α, A حسب نظرية Singh-Mitchell.

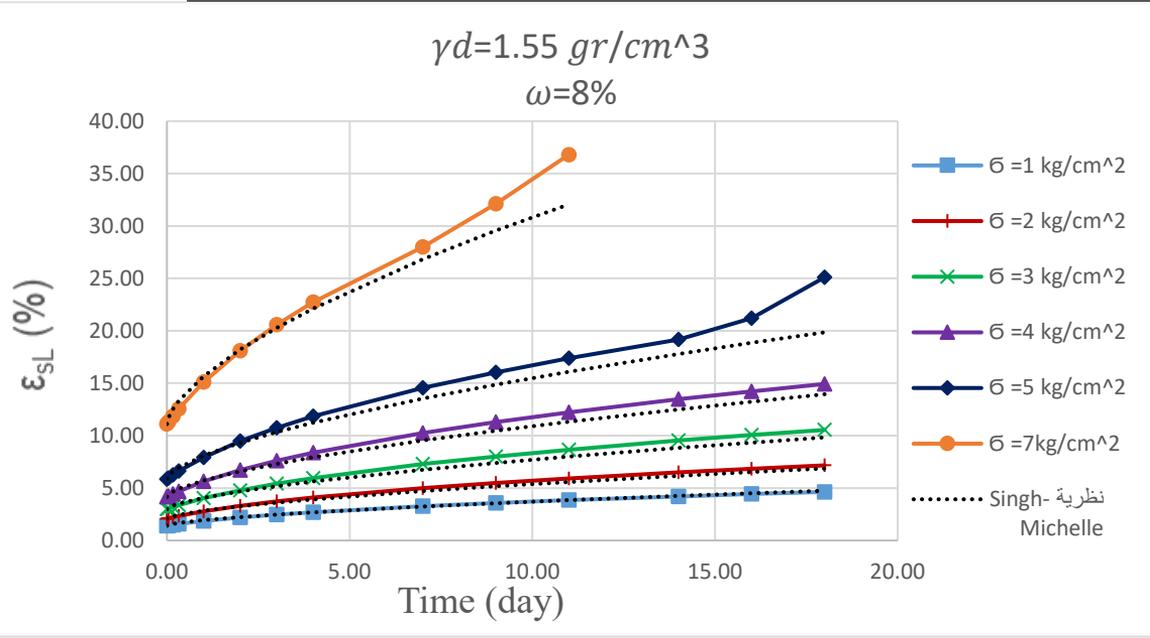
قيم الثوابت	$\omega = 5\%$	$\omega = 8\%$	$\omega = 12\%$	$\omega = 16\%$
A	0.1861	0.2368	0.3588	0.4657
n	0.369	0.365	0.361	0.359
α	0.35	0.358	0.361	0.38

توضح الأشكال التالية (22,23,24,25) قيم التشوهات مع الزمن للتربة الانخفاسية حيث يمثل الجزء المستمر القيم الواردة من التجربة والجزء المنقط القيم المحسوبة الواردة من العلاقة (26).



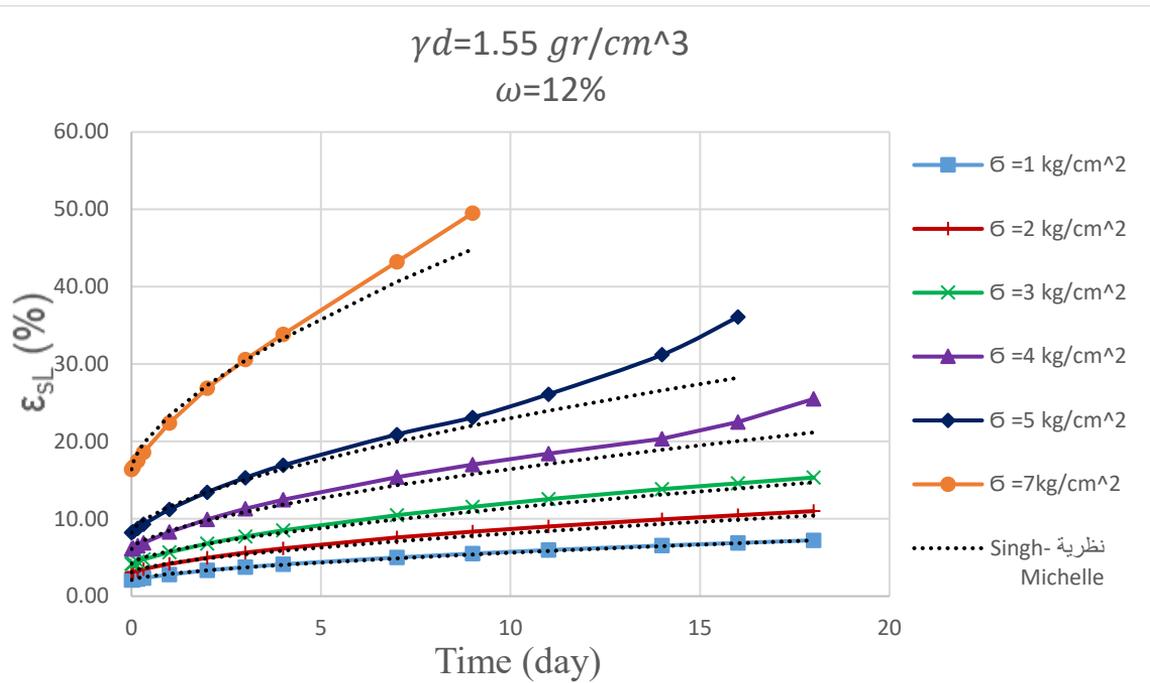
الشكل (22) مقارنة التشوهات مع الزمن للتربة الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (26) من أجل $\omega = 5\%$

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

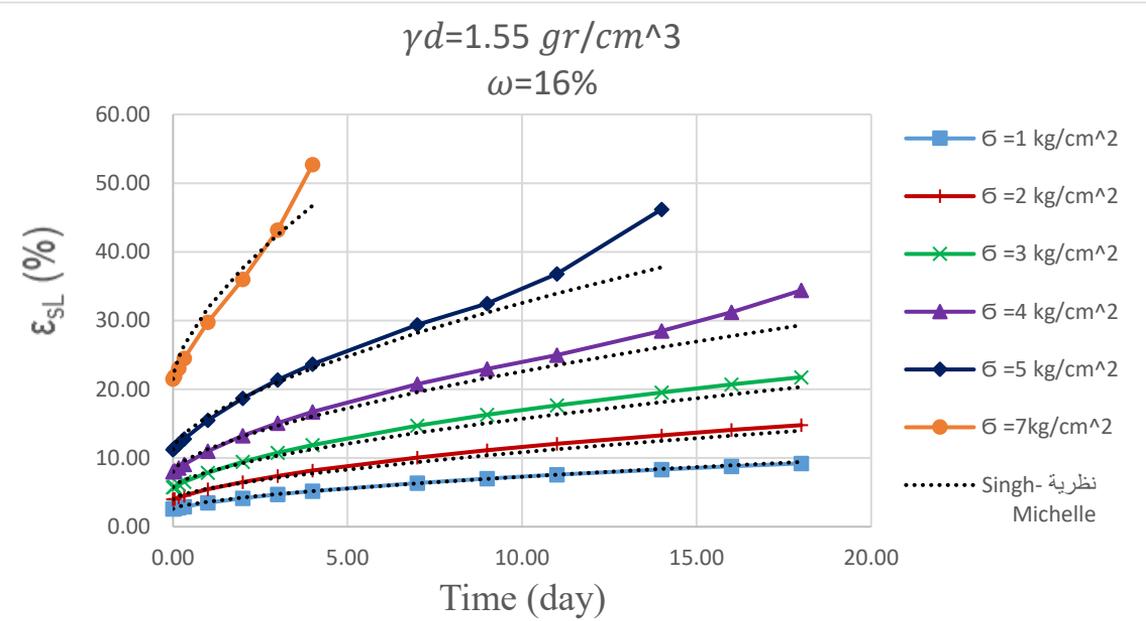


الشكل (23) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (26)

من أجل $\omega = 8\%$



الشكل (24) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (26) من أجل $\omega = 12\%$

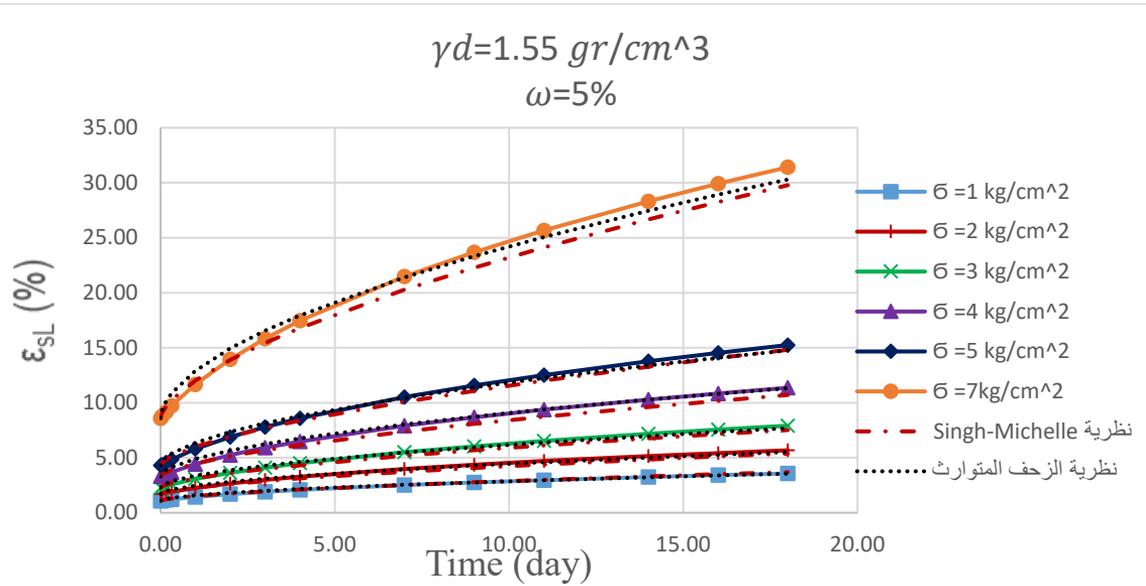


الشكل (25) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم المحسوبة من العلاقة (26) من أجل $\omega = 16\%$

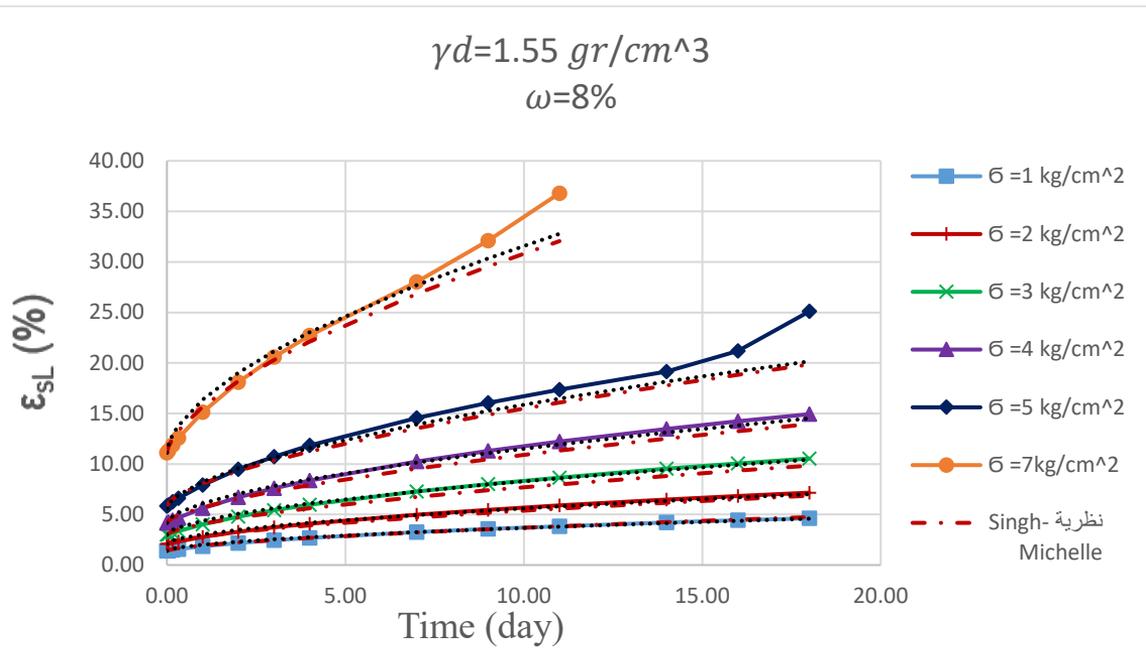
تبين الأشكال السابقة أن هنالك تقارب بين المنحنيات النظرية المحسوبة من نظرية Singh-Mitchell والمنحنيات المخبرية ضمن مرحلتي الزحف الابتدائي والزحف المستقر فقط حيث لم يتعدى الفارق بين القيم التجريبية والنظرية للتشوه كحد أقصى (3%) وعند دخول العينة مرحلة الزحف المتسارع تصبح القيم المحسوبة من نظرية Singh-Mitchell بعيدة عن القيم المخبرية.

3-6 مقارنة النتائج المخبرية مع نظرية الزحف المتوارث الخطية ونظرية Singh-Mitchell

نبين في الأشكال التالية (26,27,28,29) مقارنة بين القيم التجريبية للتشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية والقيم النظرية لهذه التشوهات والمحسوبة وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية ونظرية Singh-Mitchell.

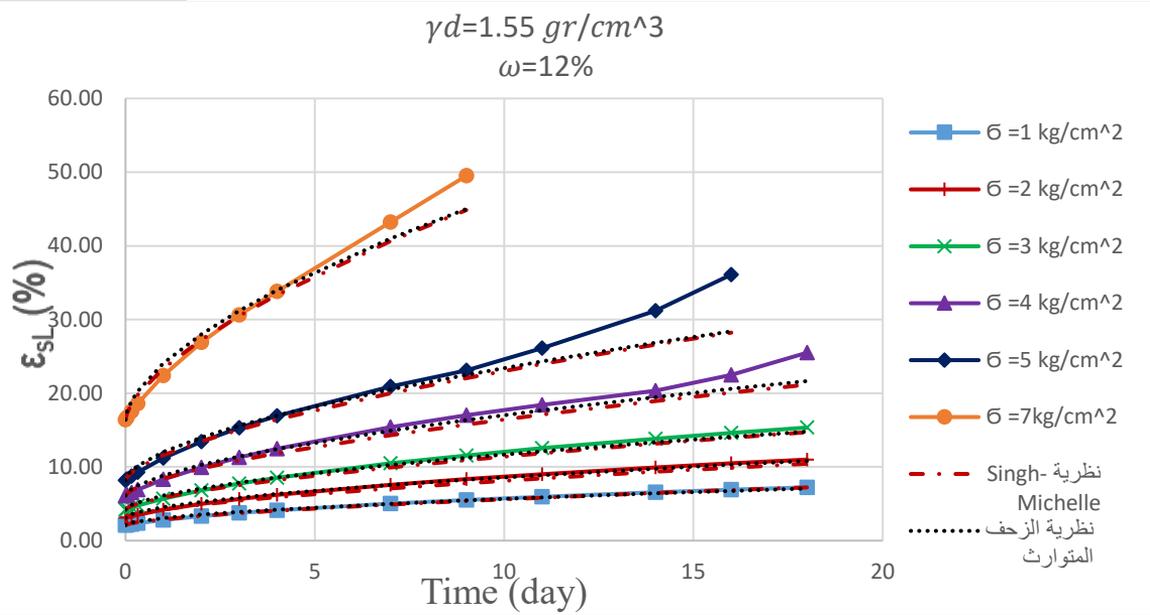


الشكل (26) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم النظرية $\omega = 5\%$

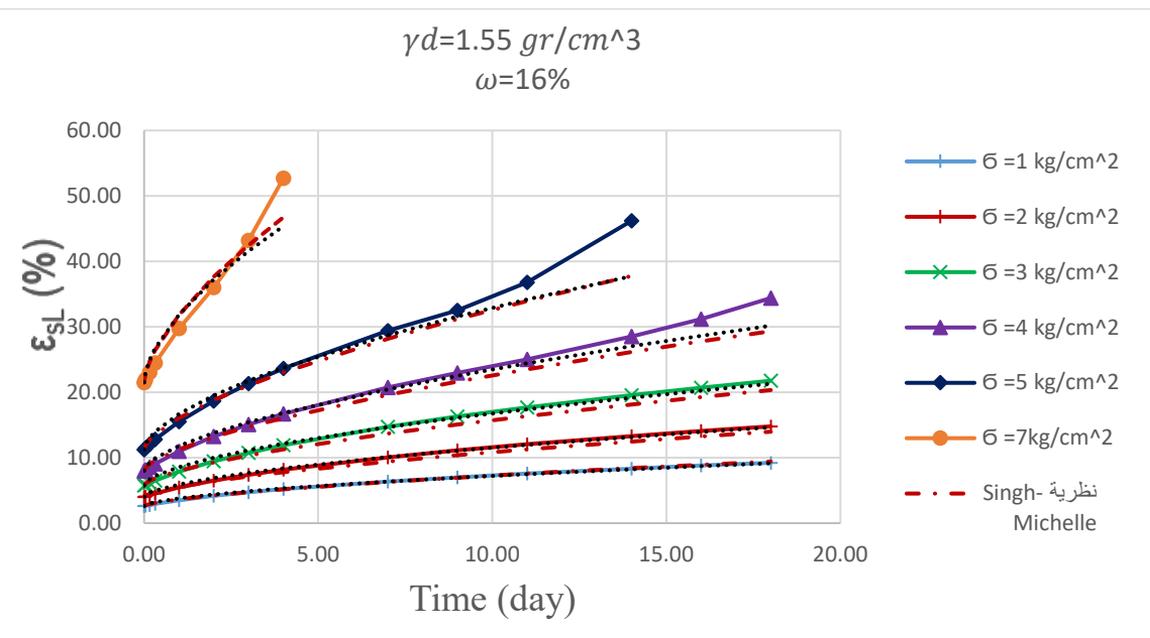


الشكل (27) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم النظرية $\omega = 8\%$

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية



الشكل (28) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم النظرية $\omega = 12\%$



الشكل (29) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم النظرية $\omega = 16\%$

نلاحظ من المنحنيات السابقة أن كلا النظريتين يتمتعان بدقة جيدة في وصف تشوهات الزحف للترب الانخفاسية مع الزمن ضمن قيم منخفضة من الرطوبة وإجهادات مختلفة .

تبقى نظرية الزحف المتوارث الخطية أفضل من نظرية Singh-Mitchell في وصف تشوهات الزحف للترب الانخفاسية حيث لم يتعدى الفارق بين القيم المخبرية والقيم الحسابية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية 2% أما في نظرية Singh-Mitchell لم يتعدى الفارق 3% . ومنه نستنتج أن نظرية الزحف المتوارث الخطية توصف وبشكل جيد تشوهات الزحف للترب الانخفاسية بتغير محتوى الرطوبة والإجهاد المطبق .

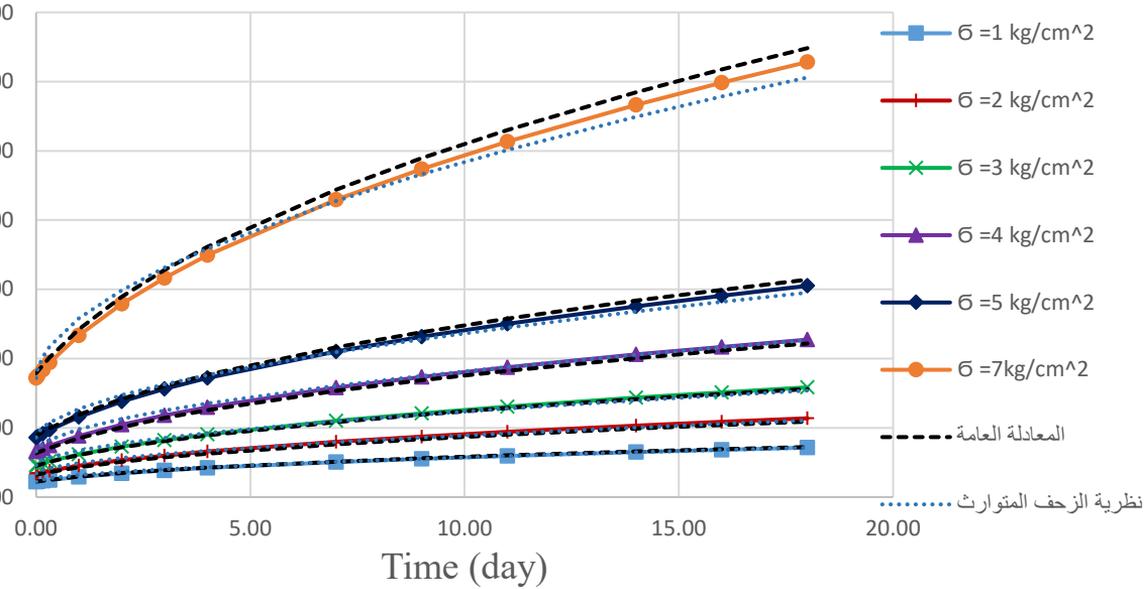
3-7 مقارنة بين المعادلة العامة المقترحة ونظرية الزحف المتوارث الخطية مع النتائج المخبرية

نبين في الأشكال التالية (30,31,32,33) مقارنة بين القيم التجريبية للتشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية والقيم النظرية المحسوبة من المعادلة العامة للتشوهات (العلاقة (23)) وقيم التشوهات المحسوبة وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية (العلاقة (15))

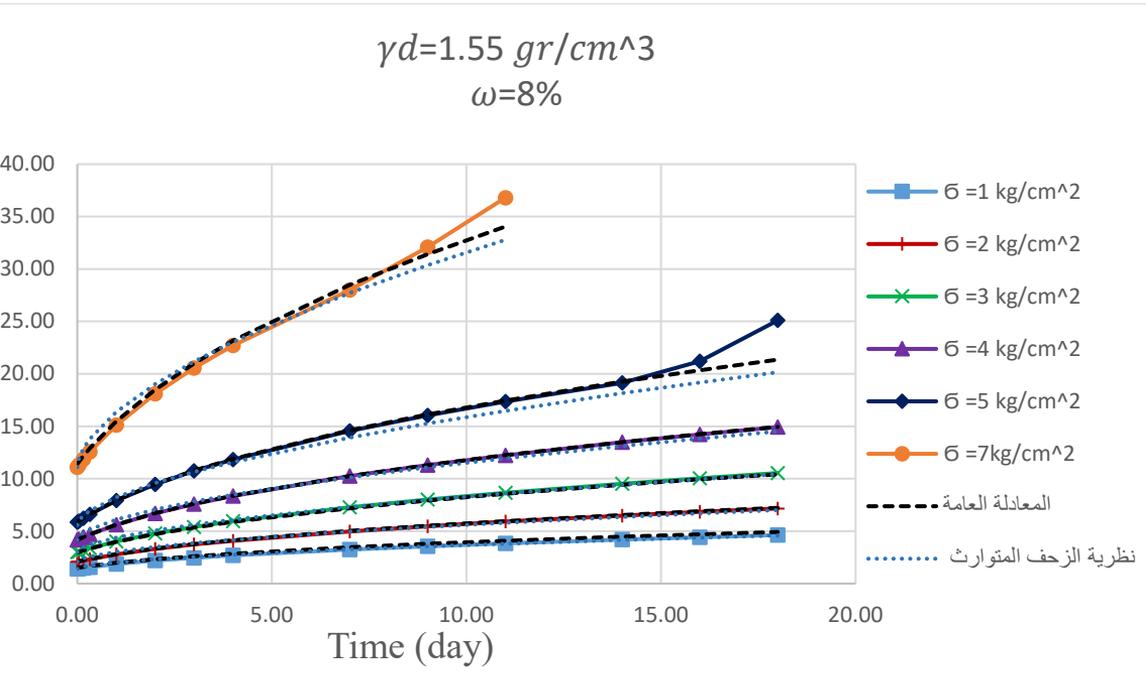
تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

$$\gamma d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$$

$$\omega = 5\%$$



الشكل (30) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة بالمعادلة العامة (23) ونظرية الزحف المتوارث الخطية (15) $\omega = 5\%$

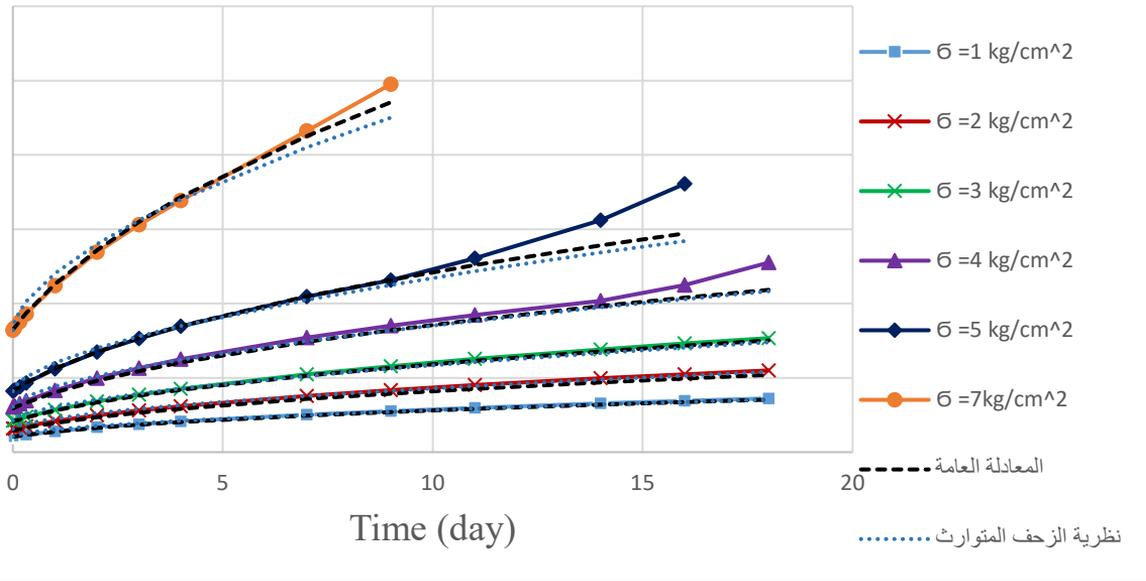


الشكل (31) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع ا القيم النظرية المحسوبة المعادلة العامة (23) ونظرية الزحف المتوارث الخطية (15) $\omega = 8\%$

تقييم سلوك الزحف للتراب الانخفاسية وفقاً لنظرية الزحف المتوارث الخطية
Singh-Mitchell ونظرية

$$\gamma d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$$

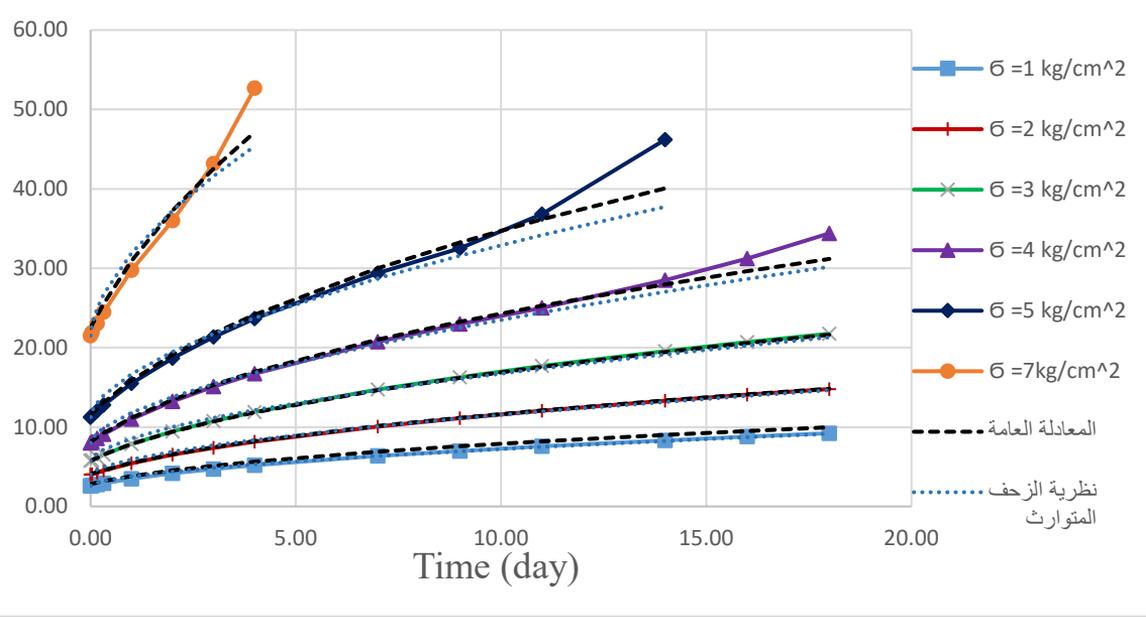
$$\omega = 12\%$$



الشكل (32) مقارنة التشوهات مع الزمن للتراب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة المعادلة العامة (23) ونظرية الزحف المتوارث الخطية (15) $\omega = 12\%$

$$\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$$

$$\omega = 16\%$$



الشكل (33) مقارنة التشوهات مع الزمن للترب الانخفاسية مع القيم النظرية المحسوبة بالمعادلة العامة (23) ونظرية الزحف المتوارث الخطية (15) $\omega = 16\%$

من خلال إجراء المقارنة بين المعادلة العامة المقترحة (23) ونظرية الزحف المتوارث الخطية (15) مع النتائج المخبرية تبين أن هناك تقارب شديد بين النتائج وإن كلا النظريتين يتمتعان بدقة جيدة في وصف تشوهات الزحف للترب الانخفاسية حيث لم يتعدى الفارق في كلا النظريتين بين أكبر قيمة وأصغر قيمة 2% . وهذا يؤكد على أن المعادلة المقترحة (23) تتمتع بمصادقية عالية في وصف تشوهات الزحف للترب الانخفاسية .

4. النتائج والتوصيات:

1. تم استنتاج صيغة رياضية تعبر عن تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية يتغير الرطوبة والإجهاد المطبق عُبِّرَ عنها بالعلاقة (23).
2. الصيغة الرياضية تعبر بشكل جيد عن تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية ضمن مرحلتي الزحف الابتدائي والزحف المستقر حيث لم يتعدى الفارق بين أكبر قيمة وأصغر 2%.
3. عند مقارنة النتائج التجريبية مع نظرية الزحف المتوارث الخطية ونظرية الزحف Singh-Mitchell كانت قيم التشوهات متقاربة جداً ضمن مرحلتي الزحف الأولي والمستقر وبزيادة محتوى الرطوبة والإجهاد والمطبق لتدخل العينة مرحلة الزحف المتسارع تصبح القيم النظرية المحسوبة بعيدة نسبياً عن القيم المخبرية في كلا النظريتين.
4. عند مقارنة النتائج التجريبية مع نظرية الزحف Singh-Mitchell ونظرية الزحف المتوارث الخطية كلا النظريتين يتمتعان بدقة جيدة في وصف تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية ضمن مرحلتي الزحف الأولي والمستقر، في نظرية الزحف المتوارث الخطية لم يتعدى الفارق 2% بين أكبر قيمة وأصغر قيمة، أما في نظرية Singh-Mitchell لم يتعدى الفارق 3%.
5. إن نظرية الزحف المتوارث الخطية أكثر دقة في وصف تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية حيث لم يتجاوز الفارق بين أكبر قيمة وأصغر قيمة 2%.

6. عند مقارنة بين القيم المحسوبة من المعادلة العامة (23) ونظرية الزحف المتوارث أن كلا العلاقتين تعبران بشكل جيد عن تشوهات الزحف للتراب الانخفاسية.
7. نوصي بإجراء دراسة حول تغير تشوهات الزحف للتربة الانخفاسية بتغير الوزن الحجمي الجاف.
8. نوصي بدراسة تأثير الروابط البنيوية بين الذرات على تشوهات الزحف من خلال اجراء تجارب على عينات سليمة وعينات مخربة البنية.

References

1. **Smalley, I.J., Vita-Finzi, C., 1968.** The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of “desert” loess. *J. Sed. Petrol.* 38, 766–774.
2. **Rabotnov, U.N., (1966)** Constituent elements of the creep..(in Russian), Nayka , Moscow
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. **Zhao Duan and Jianbing Peng 2016** " An Experimental Study on Creep Characteristics of Q2 Loess in the Guanzhong Area of China "
7. **ASTM.D. 4318-93**, Standard Tests Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
8. **Kachanov, L.M., 1960.** Theory of Creep. Fizmatizdat, Moscow (in Russian).
9. **Singh, A., Mitchell, J.K., 1969.** Creep potential and creep rupture of soils, Proc. 7. Int. Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng., Vol. 1, Mexico, PP. 379-384.

10. **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.
11. **Volterra V.,1931.**theazy of functionals and of integral and integro differential equation .London. Glasgow.
12. **Vyalov, S.S. 1986.** Rheological fundamentals of soil mechanics. ElseYork.vier, Amsterdam, the Netherlands.
13. **Xingang Wang, Jiading Wang 2019** "Moisture content effect on the creep behavior of loess for the catastrophic Baqiao landslid

