Study of the Consolidation and Creep Behavior of Marl Soil in the Rastain Area

Dr. Safwan Abdullah*

(Received 8 / 12 / 2023. Accepted 19 / 2 / 2024)

□ ABSTRACT □

The marly soil in the Rastin-Latakia region is a sedimentary soil with a consistency between hard and semi-hard. It is spread in large thicknesses and in different colors in the sloping land of Rastin adjacent to the 6th Tishreen Dam.

The settlement behavior of this soil is affected by the values of pre-stress, and its creep behavior on slopes is affected by the amount of its viscosity. index.

The settlement values are related to the value of the Oedometric deformation modulus, taken in terms of stresses. In order to characterize the behavior of deformation, stress experiments were conducted on 19 samples taken from the boreholes in the studied area.

The triaxial experiment was computer-modeled using the PLAXIS2020 program, and the values of ν , ω the constants of the Oedometer deformation modulus equation and the relationship between them and the moisture content and porosity were determined. Also, the values of the viscosity index $\mathbf{I_v}$ for the tested soil and its relationship to the liquid limit were determined to conclude the extent to which the results influence the assessment of the behavior of deformation and creep and the possibility of moving slopes in the area.

Keywords: Marl - Settlement - Creep – Oedometer modulus of elasticity - Viscosity index

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Safwanabdullah@gmail.com**

دراسة السلوكية التشديدية والزحفية لتربة المارل في منطقة الرستين

د. صفوان عبدالله*

(تاريخ الإيداع 8 / 12 / 2023. قُبِل للنشر في 19/ 2 / 2024)

□ ملخّص □

التربة المارلية في منطقة الرستين–اللاذقية هي تربة رسوبية ناعمة قوامها بين القاسي ونصف الصلب تنتشر بسماكات كبيرة وبألوان مختلفة في أرض الرستين المنحدرة المجاورة لسد 6 تشرين . تتأثر سلوكية الهبوط في هذه التربة بقيم الاجهاد المسبق كما تتأثر سلوكيتها الزحفية في المنحدرات بمقدار قرينة لزوجتها ، وتتعلق قيم الهبوط بقيمة معامل التشوه الأدومتريالمأخوذ بدلالة الاجهادات ، ومن أجل توصيف سلوكية التشوه أجريت تجارب التشديد على 19 عينة مأخوذة من السبور المجراة في المنطقة المدروسة ، وتمت نمذجة تجربة الثلاثي المحاور حاسوبيا ببرنامج PLAXIS2020وحددت قيم ν , ω – ثوابت معادلة معامل التشوه الادومتري والعلاقة بينها وبين نسبة الرطوبة والمسامية . حددت أيضا قيم قرينة اللزوجة $\mathbf{I_v}$ للتربة المختبرة وعلاقتها بحد السيولة واستنتاج مدى تأثير النتائج في تقييم سلوكية التشوه والزحف وإمكانية تحرك المنحدرات في المنطقة .

الكلمات المفتاحية :مارل–هبوط – زحف – معامل المرونة الادومتري– قرينة اللزوجة

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **مدرس، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. Safwanabdullah@gmail.com**

مقدمة:

تنتشر التربة المارلية القاسية على مساحات واسعة من منطقة الرستين المنحدرة المجاورة لسد 6 تشرين وتمتد في العمق بسماكات كبيرة متغيرة اللون ومشبعة في غالب الأحيان لوجودها تحت منسوب الماء الجوفي .

يتالفالمارل عموما من الغضار والكلس بنسب متفاوتة ويختلف قوامه من اللين حتى المتصلب ،ويرجع ذلك الى التاريخ الجيولوجي للمنطقة التي يوجد فيها المارل والى قيم الاجهاد المسبق .

ونظرا إلى أن منطقة الرستين المنحدرة فيها سماكات كبيرة من المارل ويتأثر هبوط المنشآت المقامة فوقها أو توازن المنحدرات فيها بسلوكية التربة المارلية تحت الأحمال لاسيما تشديدها وعلاقة تشوهها بقيم الاجهاد المطبق عليها وقرينة لزوجتها ، وتشير المراقبات المستمرة في المنطقة إلى أن التحركات والانزياحاتتحدث بين فترة وأخرى في المنطقة كذلك الانزلاقات في بعض المناطق المنحدرة .

أُجري البحث على عينات مأخوذة على أعماق مختلفة بواسطة السبور التي حفرت في منطقة الرستين اثناء دراسة توازن المنطقة المنحدرة المشرفة على محطة الرستينالكهربائية .**[1]** .

يعبر معامل التشوه الأدومتري$\mathbf{E_{oed}}$ عن السلوكية التشديدية للتربة ويفسرها، كما تعبر قرينة اللزوجة$\mathbf{I_v}$ عن السلوكية الزحفية للتربة خاصة في المناطق المنحدرة وعلى هذين البارامترين ركز هذا البحث .

أهمية البحث وأهدافه:

تتطلب الدراسة الصحيحة لمسألة توازن المنحدرات وتشوهات التربة فيها معرفة نوعية التربة التي يتألف منها المنحدر وسلوكيتها التشديديةوالزحفية مع الزمن ، وقد أجري البحث الحالي على تربة المارل المنتشرة في منطقة الرستين المنحدرة لمعرفة سلوكية هذه التربة واستخراج خصائصها اللازمة لدراسة الاستقرار .

طرائق البحث ومواده:

ركز البحث على اجراء تجارب تشديد نظامية وعلاقة معامل التشوه الادومتري بالرطوبة الأولية ومسامية التربة ، وأجريت أيضا تجارب قص ثلاثي المحاور حاسوبية ببرنامج Plaxis-2020 مع قفزات في السرعة لتحديد قرينة اللزوجة الخاصة بتقييم زحف التربة ، ومقارنة النتائج مع نتائج الأبحاث المرجعية .

1 – دراسة السلوكية الانضغاطية لتربة المارل

تعتمد التطبيقات الجيوتكنيكية العملية كما هو معروف على الانضغاطية أو التشديد وحيد الاتجاه في تحديد الهبوط تحت المنشآت ويتم استبعاد الانزياح الجانبي للتربة خاصة إذا كانت طبقة التربة المتشددة ممتدة افقيا بشكل واسع (كما في منطقة الرستين) ،ويكون دور معامل التشوه الأدومتري$\mathbf{E_{oed}}$محوريا في هذا المجال ، ويحدد إما بتجربة التشديد وحيد الاتجاه أو بتجربة ثلاثي المحاور ، أو بالحساب التراجعي للهبوط المقاس فعليا تحت المنشأة .

يحدد معامل التشوه الأدومتري$\mathbf{E_{oed}}$ من أجل طور إجهادي معين كعلاقة بين زيادة الاجهاد الشاقولي أو فرق الإجهاد $\Delta\sigma$ وبين فرق التشوه المتولد عنه $\Delta\varepsilon$ بحيث يكون :

$$E_{oed} = \Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon (1)$$

وقد تم في هذا البحث اعتماد طريقة الكود الألماني DIN-18135 في تحديد معامل التشوه الأدومتري$\mathbf{E_{oed}}$وفق تجربة التشديد وحيد الاتجاه ،وطبقت الحمولة بشكل تدريجي من $50kN/m^2$ إلى $800kN/m^2$، كما أجريت معها تجارب تشديد إضافية مرافقة مع مضاعفة الحمولة في كل طور تحميل ، وتجارب تشديد إضافية مع قفزات تحميل تصل الى $100kN/m^2$كحد أقصى. كل طور تحميل استغرق بين ساعتين الى 16 ساعة بحيث يتم الوصول الى الهبوط الثانوي .

أجريت التجارب مع اشباع العينات ولم يكن ثمة حاجة للغمر بالمياه لأن التربة قاسية وكتيمة ، وتم الحفاظ على رطوبة اشباعها بمنع تعرضها للهواء الخارجي ، لكن غمرت العينات في المياه في التجارب التي كان فيها نزع وإعادة تحميل لأن المارل عند نزع التحميل دون غمر لايبدي تشوها تراجعيا ، وقد حددت أيضا للعينات قيم معامل التشوه مع نزع التحميل $\mathbf{E_{ur}}$.

يسلك المارل كما هو معروف سلوكا تشوهيا لدنا حتى دون إدخال الماء إليه واستكمالا لتجارب التشديد فقد أجريت كذلك تجارب لعينات محضرة مسبقا رطوبتها عند حد السيولة ، وبما أن معامل التشوه الأدومتري هو قيمة متغيرة تتعلق بالطور الجهادي فقد استخدمت في البحث علاقة (جانبو Janbu) التالية من أجل تشكيل علاقة تقريبية أكثر دقة مع بارامترات التربة الأخرى **[2]**:

$$E_s = \upsilon \cdot \sigma_{at} \cdot \left(\frac{\sigma_z + 0{,}5 \cdot \Delta\sigma}{\sigma_{at}}\right)^{\omega} \qquad (2)$$

حيث – ω , ν – ثابتانللمعادلة متغيرانلكل نوع تربة ومستقلان عن الاجهاد .

σ_{at} – الضغط الجوي الوسطي ويساوي **1** بار أو $100kN/m^2$.

σ_z – الإجهاد الأولي : وزن الطبقات .

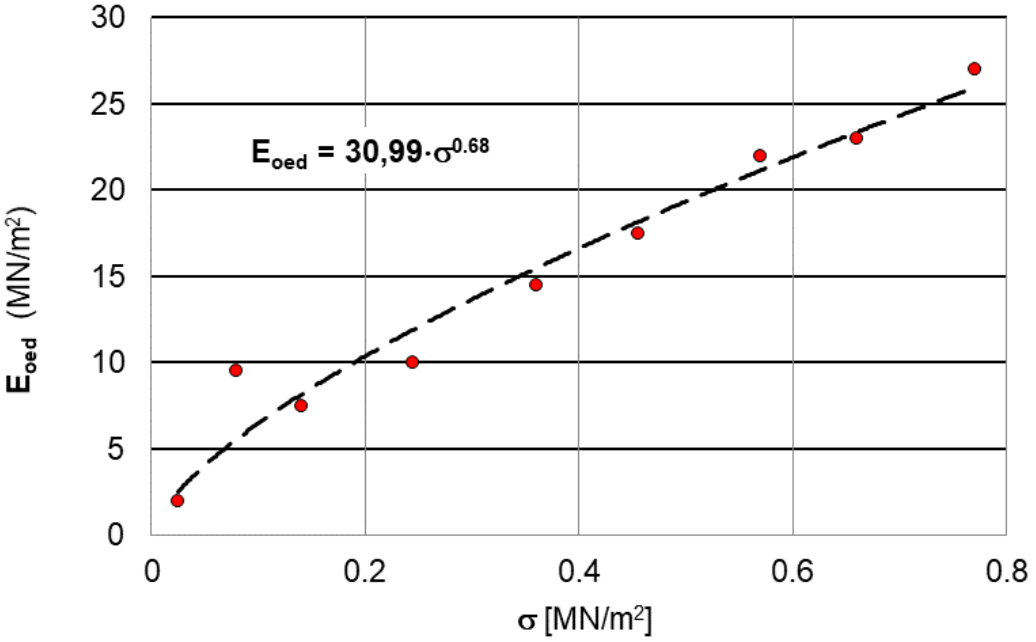
$\Delta\sigma$ – فرق الاجهاد أو تغير الاجهاد .

الثابتان في المعادلة (2) يوصِّفان عملية التشديد ، وقد تم الحصول علي قيمتيهما لكل عينة بتحميل معامل التشوه الأدومتريبيانيا بدلالة الإجهاد الوسطي ($\sigma z + 0{,}5 .\Delta\sigma z$) وفق المعادلة (2).انظر الشكل (1) .

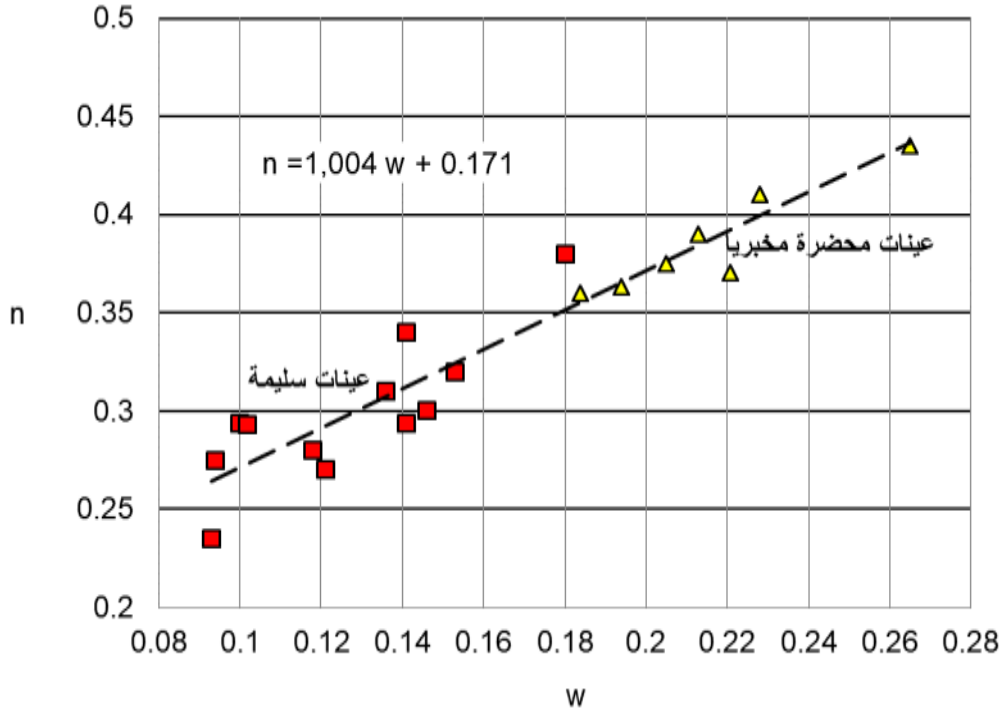
يوصف ν كمية الانضغاطية ويسمى **معامل القساوة** ، بينما ω الذي يسمى **أسّ القساوة** هو معيار للمسامية ولنسبة الرطوبة في العينة المجربة .

من أجل تسهيل العمل وتوضيح مواصفات العينات المختبرة وهي (سليمة ومخربة) رسمت قيم المسامية n ونسبة الرطوبة الأولية w في بداية التجربة لجميع العينات . انظر الشكل (2) ، وقد تراوحت قيمة الوزن النوعي المستخدمة في حساب n لأغلب العينات بين **2,75** ، و**2,78** ، وبذلك تمثل كل عينة من العينات مزدوجة قيم (n , w) ، ويبدو خط الاتجاه بين مزدوجات قيم العينات مستقيما .

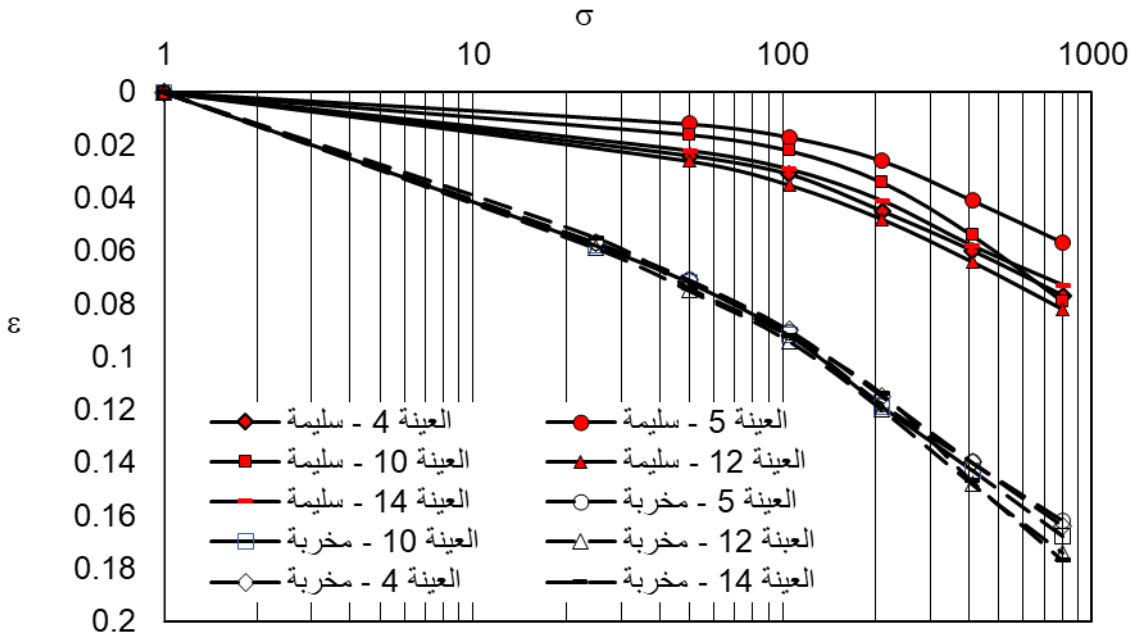
يبين الشكل (3) على مقياس نصف لوغاريتمي منحنيات العلاقة بين الاجهاد والتشوه لثلاث عينات سليمة مارلية وثلاث عينات من نفس الترب مخربة (محضرة مخبريا عند حد السيولة) تبدو منحنيات العينات السليمة متفرقة عن بعضها بينما تتقارب منحنيات العينات المخربة المحضرة مخبريا ويدل ذلك على ان الفروقات في الانضغاطية بين العينات المارلية تتعلق بالحالة التشديديةلها .



الشكل 1 :مثال للعلاقة بين معامل التشوه الأدومتري والإجهاد المطبق (العينة المارلية 7)



الشكل 2 :مزدوجات قيم العينات المختبرة (n , w)



الشكل 3 :منحنيات الاجهاد–التشوه لثلاث عينات مارلية في حالتيها السليمة والمخربة

تميل منحنيات بعض العينات في الشكل (3) ميلا واضحا بدءا من الطور الاجهادي ($100\text{-}200\ kN/m^2$) للحالتين السليمة والمخربة وتأخذ الشكل المستقيم لذلك تم أخذ اجهاد التشديد المسبق في هذا المجال ، أما بالنسبة لأغلب العينات المارلية الأخرى التي يستمر فيها الانحناء حتى الاجهاد $800kN/m^2$ مع بعض التسطح فتؤخذ اجهادات التشديد المسبقة أكبر من ذلك ، ولم يكن ممكنا بالنسبة لعينات الرستينالمارلية استخدام طريقة (كاساغراند) في تحديد اجهاد التشديد المسبق بسبب عدم وجود منطقة انتقالية واضحة بين الجزء الاولي من التحميل والجزء النهائي.

تبين وفق نتائج التجارب إن القيم الوسطية لمعامل التشوه الأدومتري$\mathbf{E_{oed}}$لاغلب العينات المارلية غير المخربة (وهي متشابهة) كما في الجدول (1) التالي :

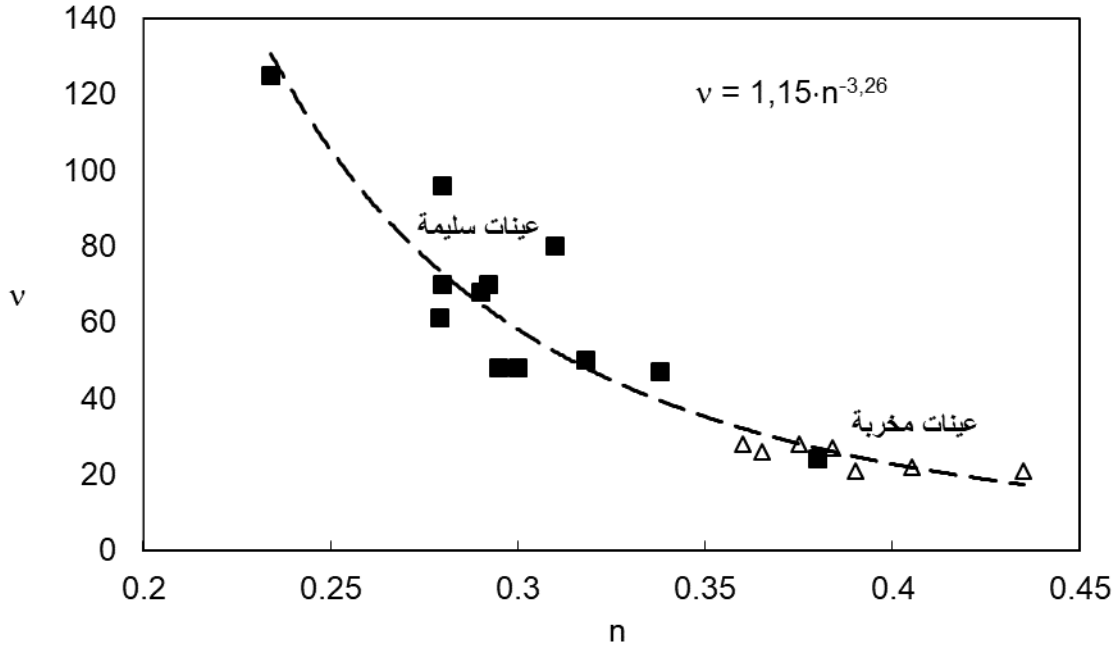
الجدول (1) – القيم الوسطية لمعامل التشوه الأدومتري	
مجال الإجهاد $[kN/m^2]$	$E_{oed}[MN/m^2]$
100-200	9 ± 3
200-400	13 ± 4
400-800	20 ± 5

وهي قيم يمكن مقارنتها بالقيم المرجعية . ارجع إلى الشكل (1) .

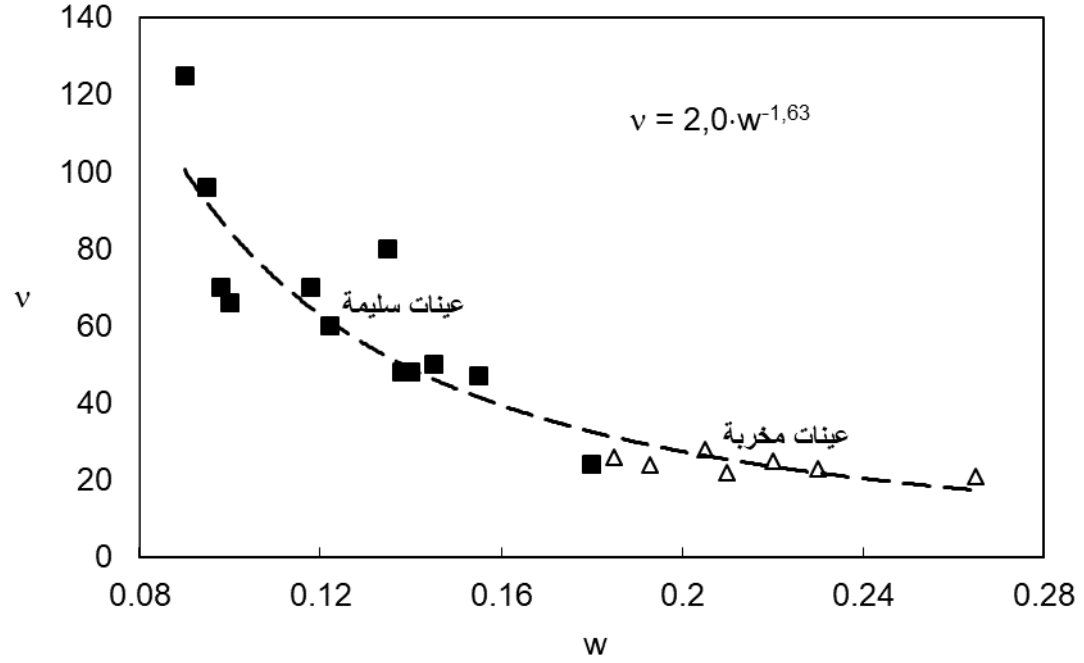
كما تبين ان نسبة معامل التشوه عند إعادة التحميل الى معامل التشوه في طور التحميل الأولي يساوي **3–5** لجميع العينات المارلية المجربة ، وهي تتباين قليلا مع النسبة 3 المعتمدة في المراجع من قبل Richter–**[3]**, والمعتمدة في برنامج بلاكسيس .(Plaxis2D-cennect Edition 2020)) .

تبين لدى حساب معامل القساوة ν في العينات المارلية المختبرة لجميع العينات (سليمة ومخربة) ان قيمتهتتراح بين **21 و 125** ، وتعبر القيم الكبيرة لمعامل القساوة عن العينات ذات المسامية الأقل أو نسبة الرطوبة الأقل وبالتالي تعبر عن العينات الأقل انضغاطية أما العينات المخربة التي حضرت بنسبة رطوبة عند حد السيولة فقد كان معامل القساوة لها متقاربا بين **21 و 28** .

الشكلان (4) ، و(5) يبينان بوضوح العلاقة بين معامل القساوة ν وبين المسامية **n** ونسبة الرطوبة **w** .

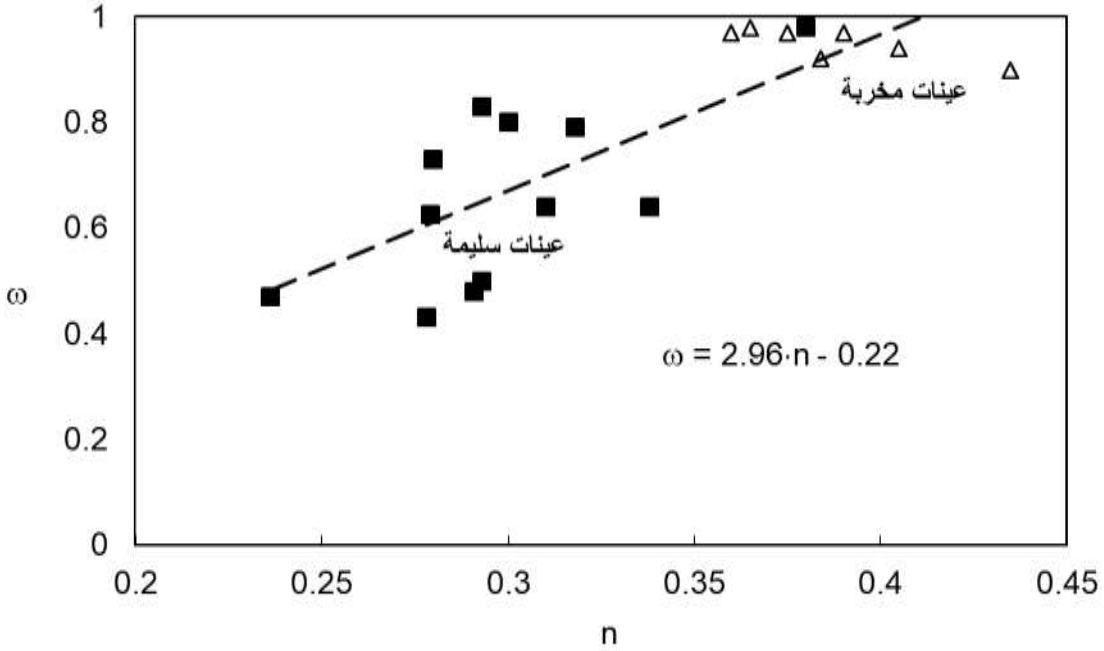


الشكل 4 : العلاقة بين معامل القساوة ν وبين مسامية العينات المارلية المجربة n

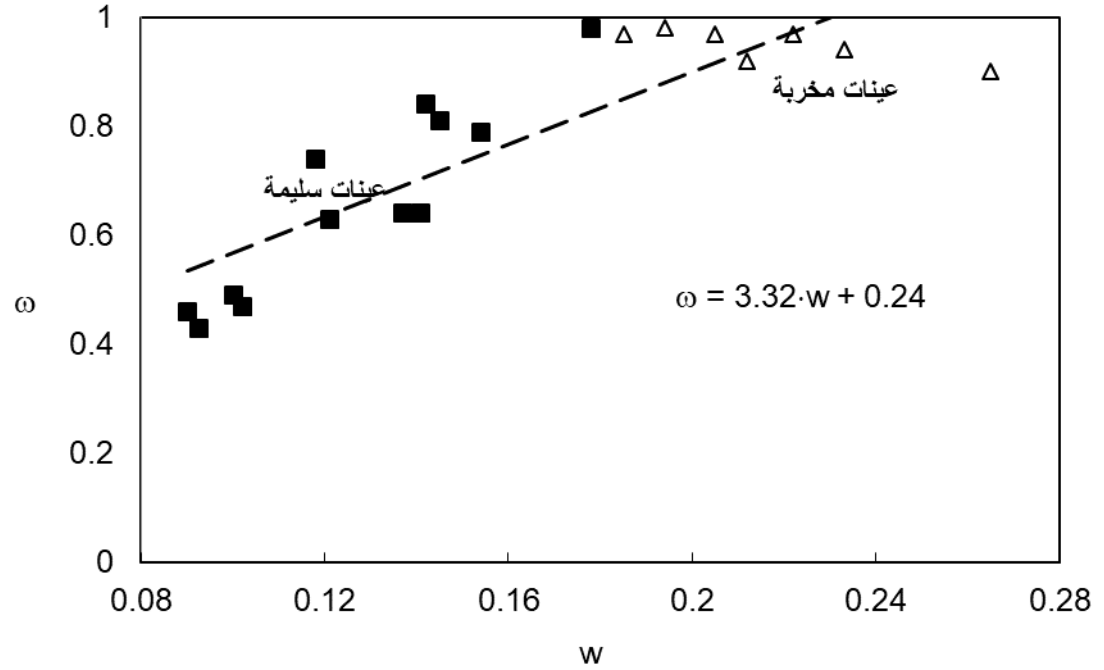


الشكل 5 : العلاقة بين معامل القساوة ν وبين نسبة الرطوبة الاولية للعينات المارلية المجربة

تراوحت قيم أس القساوة للعينات السليمة بين **0,43** ، و**0,98** وتبين أن العينات ذات أس القساوة الأقل لها قيم مسامية وقيم رطوبة أقل وبالتالي انحناء أكبر (تحدب) في شكل المنحني بين معامل التشوه الأدومتري والاجهاد المطبق ، أما العينات المخربة فقد تراوحت قيم أس القساوة بين **0,9** ، و **0,97** ، ويبين الشكلان (6) ، و(7) العلاقة بين أس القساوة وبين قيم الرطوبة والمسامية للعينات المارلية المختبرة .



الشكل 6 : العلاقة بين أس القساوة ω وبين مسامية العينات المارلية المجربة n



الشكل 7 : العلاقة بين أس القساوة ω وبين الرطوبة الأولية للعينات المارلية المجربة w

2 – دراسة السلوكية اللزجة لتربة المارل

تمثل اللزوجة مقدار ميل التربة إلى التشوه الزحفيأي التشوهات التي تستمر بالتزايد فترة زمنية طويلة عند إجهاد ثابت والتي لاتعزى الى خروج الماء المسامي مع الزمن وهي حركات زحفية تحدث عادة في المنحدرات الترابية ،ويعبر عن اللزوجة بالعلاقة البيانية بين مقاومة التشوه وسرعة التشوه .

يعبر عن علاقة مقاومة التشوه الزحفيτ (وهي مقاومة قص) بسرعة التشوه بمعادلة (Kolymbas) **[4]**:

$$\Delta\tau = \tau \cdot I_v \cdot \ln\frac{\dot{\varepsilon}_1}{\dot{\varepsilon}_0} \qquad (3)$$

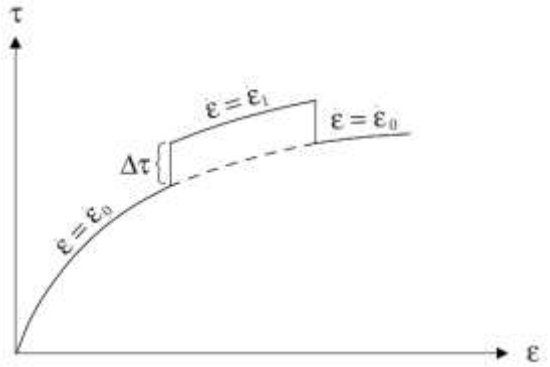
حيث – I_v–**قرينة اللزوجة** .

$\dot{\varepsilon}_1$–سرعة التشوه بعدتغيرها .

$\dot{\varepsilon}_0$–سرعة التشوه قبلتغيرها .

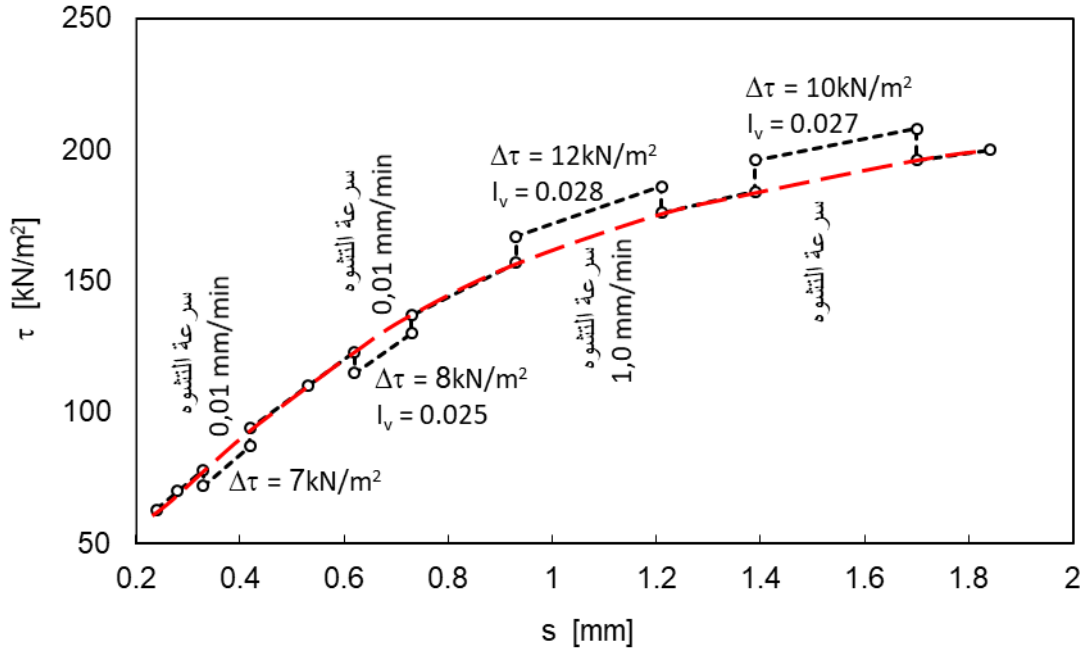
وبذلك تكون قرينة اللزوجة مقياسا للسلوك التشوهي المرتبط بسرعة التشوه وفق تعريف (Leinenkugel) **[5]**.

تتعلق سلوكية التشوه في التربة بسرعة التشوه (معدل التشوه) ، وعند زيادة سرعة التشوه من الوضع الثابت الأولي $\dot{\varepsilon}_0$ الى القيمة $\dot{\varepsilon}_1$فإن ذلك **سيؤدي إلى قفزة في اجهاد القص مقدارها $\Delta\tau$**يمكن بعد قياسها حساب قرينة اللزوجة من المعادلة (3) . تم تحديد قرينة اللزوجة لخمس عينات ممثلة للتربة المارلية في منطقة الرستين المنحدرة بإجراء تجربة القص الثلاثي المحاور حاسوبيا ونمذجتهافي برنامج ((Plaxis2D-cennect Edition 2020) طبقا لدليل البرنامج العلمي **[6]** . طبقنا فيها **قفزات**في سرعة التشوه مع المحافظة على ضغط خلية (تطويق) ثابت .الشكل (8) .



الشكل 8 :مبدأ القفزات الاجهادية في ثلاثي المحاور لحساب اللزوجة (Sprungversuch)

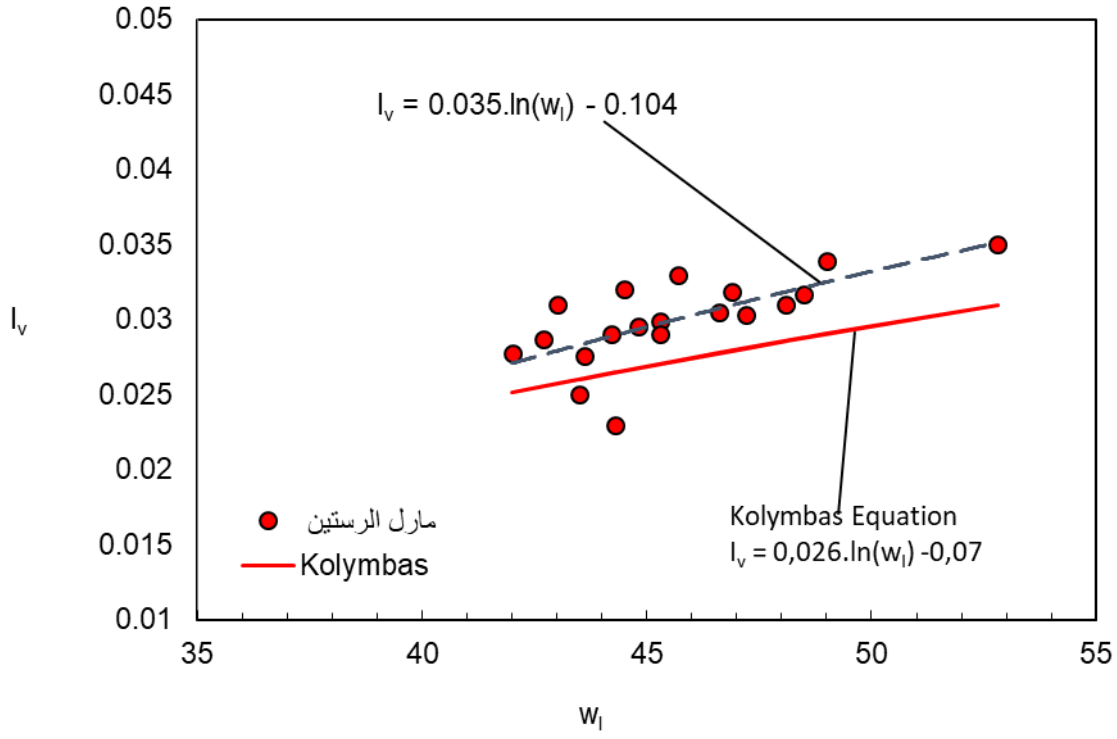
تمت نمذجةتجربة ثلاثي المحاور حاسوبيا على عينات اسطوانية اعتبارية بارتفاع 90–120مم ، وسرعة قص مرجعية تساوي 0,1mm/min مع تطبيق أربع قفزات اجهاديةبإحدى طريقتين إما بتخفيض سرعة القص المرجعية الى 0,01mm/minأو برفعها الى المقدار 1,0 mm/minأو بتعبير آخر إما بتخفيضها فجأة الى مقدار العشر أو بزيادتها فجأة إلى عشرة أضعافها، ويبين الشكل (9) المنحني بين اجهاد القص$\tau=1/2\cdot(\sigma_1-\sigma_3)$والانزياح sفي تجربة ثلاثي المحاور الحاسوبية للعينة 3 مع أربع قفزات لسرعة التشوه (قفزتان للأسفل وقفزتان للأعلى) ، وتنتج بذلك قرينة اللزوجة الوسطية فيها $I_v = 0,0273$.



الشكل 9 :مخططτ-sللعينة 3 مع قفزات سرعة التشوه . قرينة اللزوجة الوسطية I_v = 0,0273

من خلال تقييم وتحليل نتائج البحث تبين ان العلاقة بين قرينة اللزوجة وبين حد السيولة للعينات المارلية المجربة (مارل منطقة الرستين) هي علاقة لوغاريمية (العلاقة (4)) –وفق خط الاتجاه المبين في الشكل (10) :

$$I_v = 0{,}035 \cdot \ln(w_l) - 0{,}104 \qquad (4)$$

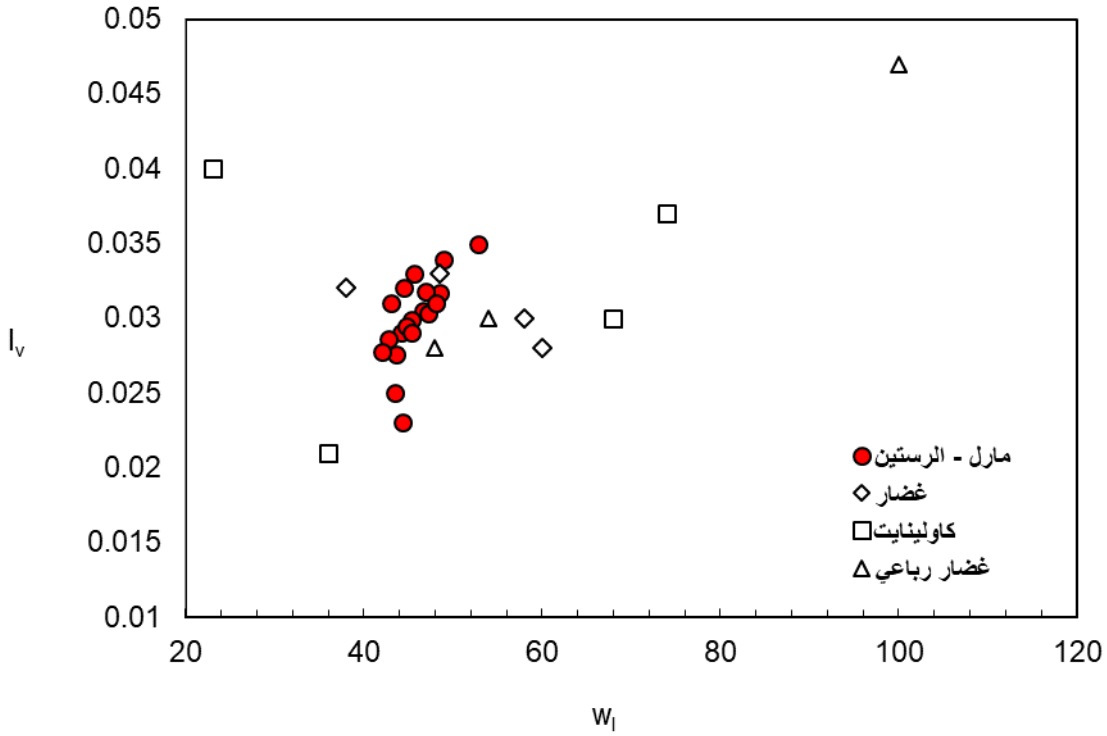


الشكل 10 :العلاقة التقريبية بين قرينة اللزوجة وبين حد السيولة للعينات المارلية

ومن أجل المقارنة فقد تم رسم معادلة (Kolymbas) الخاصة بالترب الغضارية غير المارلية . شكل (10) :

$$I_v = 0{,}026 \cdot \ln(w_l) - 0{,}07 \qquad (5)$$

وتدل المقارنة أن المارل لديه عموما لزوجة أكبر من الترب الغضارية مع بعض الاستثناءات ، كما قورنت النتائج ببعض الترب الغضارية التقليدية غير المارليةالتي أوردها براندلBrandle**[7]**. الشكل (11) .



الشكل 11– مقارنة نتائج البحث للتربة المارلية مع نتائج بعض الترب الغضارية غير المارلية من المراجع

النتائج والمناقشة:

تدل النتائج التي حصلنا عليها أن قيم **ثوابت** معامل التشوه الادومتري: ν – **معامل القساوة** ، ω – **أسّ القساوة**في المعادلة (2) يتعلقان بنسبة الرطوبة الأولية والمسامية في التربة وتختلف هذه الثوابت في المارل عنها في الغضار ، وقد تراوحت قيم νلمارل منطقة الرستين بين (22–125)بينما تراوحت قيم ω بين (0,43–0,98) وأعطت العينات السليمة قيما أقل لثوابت القساوة ، بينما أظهرت النتائج أن ثوابت القساوة في المارل أكبر من قيمها في التربة الغضارية العادية حتى في حالتها القاسية .

كان من المفيد استنباط معادلة مبسطة بين قرينة اللزوجة وحد السيولة للاستفادة منها لاحقا في الحكم على توازن المنحدر من التربة المارلية .

الاستنتاجات والتوصيات:

وفقا لما حصلنا عليه من النتائج وتقييمها فان البحث يستلزم تطويره وربط نتائجه ببارامترات أخرى قد تكون مفيدة في فهم السلوكية الزحفية للتربة المارلية لان هذا البحث اهتم (بمقدار ماسمح به المجال) بالحصول على قرينة اللزوجة لتقييم ميل التربة او قابليتها الزحفية المستفاد منه لتصميم الحل المقترح لتأمين منحدر منطقة الرستين لأن الحركة الزحفية لكتلة كبيرة من التربة وقوى القص الناتجة عنها سيتم وفق الحل المقترح مقاومتها بشبكة من الاوتاد المزروعة المحفورة ، وإن قوى القص الناتجة عن حركة المنحدر زحفا تتعلق الى حد كبير ببارامتر قرينة اللدونة .

References:

1. Safwan Abdullah, and a work team from the Geotechnics Department at the Faculty of Civil Engineering at Tishreen University - Latakia - Documents of the geotechnical report on the study of slope soil stability overlookin the power station in the Rastin-Latakia region, and submitted to the Directorate of Water Resources in Latakia -. Year 2023.
2. Janbu, N. (1963): soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests. In: Problems of settlements and compressibility of soils, 1, 19-25 .
3. Richter, T. (1994): Zur rechnerischen Abschätzung des Lastsetzungsverhaltens von Bauwerken, Heft 40 des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (IGBE) Universität Hannover, 204-216.
4. Kolymbas, D (2016): Geotechnik - Bodenmechanik und Grundbau. 2. Ausgabe, Springer-V .
5. Leinenkugel, H. J. (1976): Deformations-und Festigkeitsverhalten bindiger Erdstoffe. Veröffentlichungen des Instituts für Boden- und Felsmechanik der Universität Karlsruhe, Heft 66.
6. PLAXIS 2D , Connect Edition V22-02 – Manual ,2022.
7. Brandl, H. (2009): Stützbauwerke und konstruktive Hangsicherungen. In: Witt, K. J. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch, Teil 3 .