

## " Evaluation of consolidation tests and study of the parameters affecting the odometer modulus "

Dr. Mounzer Omran Alzawi\*  
Hassan Ali Tryfa\*\*

(Received 31 / 8 / 2017. Accepted 26 / 12 / 2017)

### □ ABSTRACT □

Mixed soils have the properties of the components in their composition, so the odometer modulus and other consolidation parameters will be clearly affected when the soil is transformed from pure into mixed. So, we conducted the necessary tests on the soil of net clay which added to it varying percentages of pure sand to monitor the behavior of mixed clay soils by proportion of sand in the composition ,and the odometer tests were examined and the properties of the consolidation parameters were studied in relation to the  $E_{oed}$  odometer modulus as such comparisons were also made between undisturbed samples and disturbed samples which remoulding in experiments. The results showed some differentiation of the characteristics of the undisturbed samples from the disturbed samples because they are pre-stressed ,as the results showed an **increase** in the odometer modulus  $E_{oed}$  when increasing the sand ratio in the sample and a clear **decrease** in the values of the consolidation parameters such as ( $C_c$ ,  $C_r$ ,  $C_s$  ,  $E$ ,  $M_v$ ) when mixing ratio exceeds 20%, which is consistent with research conducted in this field.

**Key words:** sand, clay, odometer modulus, consolidation, consolidation settlment.

---

\* Prof - Geotecnic Department -Civil engineering Faculty- Tishreen University –Lattakia-Syria.

\*\* Eng- Geotecnic Department -Civil engineering Faculty- Tishreen University –Lattakia-Syria.

## تقييم تجارب التشديد ودراسة البارامترات المؤثرة على عامل التشوه الأدمومري

د. منذر عمران الزاوي\*

حسان علي طريفة\*\*

(تاريخ الإيداع 31 / 8 / 2017. قُبِلَ للنشر في 26 / 12 / 2017)

### □ ملخص □

إن الترب المختلطة لديها خصائص المكونات التي تدخل في تركيبها، وبالتالي فإن عامل التشوه الأدمومري وبارامترات التشديد الأخرى سوف تتأثر بشكل واضح عندما تتحول التربة من صافية إلى مختلطة. لذلك قمنا بإجراء الاختبارات اللازمة على ترب ناعمة صافية أضيفت إليها نسب متفاوتة من الرمل الصافي بهدف رصد سلوكية الترب المختلطة، وذلك فيما يتعلق - على وجه الخصوص - بمعامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$ ، وقد أجريت تجارب الأدمومتر ودرست خصائص بارامترات التشديد في علاقتها مع عامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$  كما أجريت مقارنات ما بين العينات السليمة والعيّنات المخربة المشكّلة مخبرياً. وبينت النتائج بعض التمايز لخواص العينات السليمة عن العينات المخربة بسبب كونها مسبقاً تشدّد، كما بينت النتائج تزايداً في معامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$  عند زيادة نسبة الرمل في العينة، وتناقضاً واضحاً كذلك في قيم بارامترات التشديد مثل  $(M_v, e, C_s, C_r, C_c)$  عندما تزيد نسبة الخلط عن 20% وهذا ما يتوافق مع الأبحاث المجراة في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية: رمل، غضار، عامل التشوه الأدمومري، التشديد، هبوط التشديد.

\*أستاذ - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\*مهندس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## مقدمة

لا توجد التربة في الطبيعة بشكل صافٍ تماماً وإنما توجد مختلطة، وإن نسب المكونات التي تدخل في تركيبها تؤدي دوراً مهماً في تقييم خصائصها الفيزيائية والميكانيكية وسلوكها، وبالتالي التقدير الصحيح لقيم معامل تشوهها الأدمومري وتقدير قيم هبوط التشديد فيها.

ويحسب (V. Karlovich 1869)، فإن تشوهات التربة الغضارية شكلت واحدة من أهم المعضلات والمسائل العالقة في ميكانيك التربة، ولازالت من المسائل التي لم تحل بشكل كامل رغم مئات الأبحاث والمنشورات العلمية المنشورة في هذا الإتجاه. لذلك فإن التقدير الصحيح لخصائص التربة المختلطة (غضار + رمل) أو (سيلت + رمل) وسمايتها يبقى معقداً، وينسحب ذلك على تقدير قيمة هبوط التشديد المتأثر بشكل مباشر بعامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$  الذي يساعد بشكل كبير في فهم السلوك الميكانيكي للتربة وتشوهها مع الزمن تحت تأثير الحمولة إذ إن وجود المكون الرملي في التربة يقلل بالتأكد من انضغاطيتها وبغير حدود أتريرغ بسبب تغير طبيعة الروابط بين الجزيئات نتيجة وجود الرمل أو التربة المفككة فيها، وغالباً ما تتأثر قيم المقاومة، ومعامل التشديد، والناقلية الهيدروليكية ومعامل مسامية التربة ... الخ بزيادة نسبة المكون الخشن فيها، لذلك تسعى أغلب التوصيات العلمية في المشاريع الجيوتكنيكية العملية إلى تحديد النسبة المقبولة للمواد المضافة التي لا ينبغي أن يتم تجاوزها في التربة. [17] [20]

درست البارامترات المؤثرة على السلوك الميكانيكي للتربة الغضارية مثل عامل التشوه الأدمومري والتماسك والنفاذية من قبل ( Professor Olli Ravaska (2004) ، Augustesen et. al.,(2010) ، Soltani (2012) ، Ghembaza et. al (2013) Jigheh and Chia Zare

وقد وجد (Bowels , 1988) أن إجهاد التشديد المسبق يصعب تحديده من خلال اختبارات الأدمومتر المجرية على العينات السليمة لكن يسهل الحصول عليه من مخطط (عامل التشوه الأدمومري - الإجهاد)، حيث إن الإنكسار في المخطط يحدث عند نقطة إجهاد التشديد المسبق ، وهذا ما يتوافق مع نتائج (Janbu (1998).

أجرى (Janbu, N.(1998) العديد من اختبارات التشديد المخبرية، وتوصل إلى علاقات تجريبية رياضية بين معامل التشوه الأدمومري والتشوه لكل من تربة : 1- الغضار المشدد طبيعياً 2- الغضار المسبق التشديد 3- الرمل 4- الغضار السريع ، واعتمد ضغطاً مرجعياً مقداره 100 كيلوباسكال. [21] [22]

أعطى Janbu من خلال علاقته:  $E_{oed}=m \cdot \sigma^n$  ثوابت الإجهاد من أجل أنواع تربة مختلفة علاقة تربط الثابت اللابعدى (دليل الإجهاد)  $m$  بالمسامية  $n$  % وأعطى منحنيات بين  $(\sigma - \epsilon)$  ، وبين  $(E_{oed} - \sigma)$  حيث تساهم هذه المنحنيات في التمييز بين التشديد الطبيعي والتشديد المسبق، إذ يحدث تغير واضح في المنحني عند الإجهاد المسبق، وهذا ناتج عن انفصال نقاط الإتصال بين الحبيبات وخاصة في الغضار السريع. [16]

أجرى Schanz, T. & Vermeer, P. A عام 1998 دراسة حول ما يسمى بعامل القساوة التشديدية للرمل من خلال نتائج الاختبارات التي أجريت على عدة رمال مختلفة لكن مع وجود تحميل بدائي لكل من اختبارات التشديد والثلاثي المحاور، لأن معامل التشوه الأدمومري يعتمد على الكثافة وعلى بنية الحبيبات فقط، دون الإعتماد على حالة التحميل. [23]

وتمت المقارنة بين عدد كبير من التجارب المخبرية التي يعتمد فيها معامل التشوه الأدمومري على الإجهاد الشاقولي ووجد أنه من الصعب حساب هبوط البناء والانتقالات بدقة، رغم تراكم المعلومات في السنوات السابقة، إذ تكون الإنتقالات المقاسة عادةً أصغر وأحياناً أكبر من القيم المحسوبة، وذلك نتيجة اختلاف معامل التشوه الأدمومري المستخدم في ضبط سلوك التشوه ضمن طبقة التربة، وتكتفي معظم الأبحاث بتحديد هبوطات الأساسات السطحية والسدود أو الأعمال الركامية دون إدخال العوامل الأخرى لذلك تنشأ بعض الإشكاليات في تحديد معامل التشوه الأدمومري من تجربة الانضغاطية نتيجة تطبيق مجالات تحميل محددة سلفاً.

حدد جانبو 1963 في تطويره لعلاقته عام (1951)[18] العلاقة بين المسامية والثابت  $m$  (دليل الاجهاد) إذ تراوح الثابت ضمن المجال  $m=0.4-0.75$ .

اعتمد (1999) Monika , Valerie & Belgian Building على معامل التشوه في اختبارات الأدمتر والذي يحدد من تجربة التشديد بالعلاقة المعروفة (  $E_{oed} = 1/m_v$  ) ووضعت معادلة تربط دليل الانضغاط  $C_c$  بمعامل التشوه الأدمتري  $E_{oed}$  الذي يتناقص مع زيادة دليل الانضغاط وفق العلاقة: [1]

$$E_{oed} = \frac{2.3(1+e)}{c_c} * \sigma_{oed} \quad (1)$$

وهذا ما برهنه (2011) Rafal Obrzud في أبحاثه عبر المنحنيات بين  $(\log \sigma'_v - e)$  ،  $(\sigma'_1 - \varepsilon_1)$  ، [1] [10] فاعتبر أن التربة متجانسة الخواص، ووضع علاقات تقريبية لمعامل يونغ الذي تبين أنه يساوي  $2/3$  معامل التشوه الأدمتري، كما أعطيت علاقات لمعامل التشوه الأدمتري  $E_{oed}$  بدلالة حد اللدونة:

$$E_{oed} \approx 500 \cdot \sigma_1 / (Ip[\%]) \quad (2)$$

لقد تبين أن معظم علاقات القساوة التشديدية أو بارامترات الإنضغاط تعتمد على لدونة وسيولة التربة من أجل إجهاد مرجعي 100kpa، كما وضع الباحثون في كثير من الاختبارات علاقات تخص الغضار المشدد طبيعياً، وتبين لهم أن معامل التشوه الأدمتري المرجعي يساوي تقريباً نصف معامل التشوه المرجعي القاطع عند 50% ( $E_{50}$ ). وقد أثبت (1998) Vermeer/Meier أن [18] :

$$\begin{aligned} E_{50} < E_{oed} & \text{ (للغضار القاسي المسبق التشديد)} \\ E_{50} > E_{oed} & \text{ (للتراب الناعمة)} \\ E_{50} > E_{oed} & \text{ (للرمل عموماً)} \end{aligned}$$

تم إيجاد علاقة بين معامل التشوه القاطع المرجعي  $E_{50}^{ref}$  مع معامل التشوه المرجعي  $E_{oed}^{ref}$  للتراب الرملية، وافترض تقريبياً أن معامل التشوه القاطع المرجعي يساوي معامل التشوه الأدمتري المرجعي.

وقد وجد (1998) Vermeer و (2002) Brinkgreve أن التربة إذا كانت لدنة يكون دليل الإجهاد  $m=1$  في علاقة (1939) Ohde وهذا ما يمكن استنتاجه من منحنى  $(\sigma - E_{oed})$ ، كما تم ربط معامل التشوه الأدمتري المرجعي في حالتي التفريغ/إعادة التحميل  $E_{ur,oed}^{ref}$  بمعامل الدفع الساكن للتشديد الطبيعي وفق المعادلة التالية: [8]

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{c \cos \varphi - \frac{\sigma'_3}{k_0^{nc}} \sin \varphi}{c \cos \varphi + p^{ref} \sin \varphi} \right)^m \quad (3)$$

أجرى (2003) O.T. Ravaska, A. Aalto and M.Lojaner مقارنة بين سلوكية التشديد للغضار السليم الهيكل والغضار المخرب من خلال تجارب في جهاز التشديد (الأدمتر) على عينات غضارية كثيفة مع مكونات سيلتية وتم إيجاد العلاقة بين اجهاد التشديد والتشوه لثلاث عينات : الأولى- عينة سليمة طبيعية ، والثانية- عينة مشكلة مخرباً أي مخربة ، والثالثة- غضار رقيق القوام (Slurry) أضيف إليه 5% من حجمه ماء ، واستنتج أن تشوه العينة المخربة أكبر من تشوه العينة السليمة الطبيعية، لأن اجهاد التشديد المسبق للعينة السليمة كبير، بينما لا يمكن تحديده بدقة في العينة المخربة وفي العينة الممددة بالمياه ويكون تشوه العينة المخربة في بداية الأمر أسرع من السليمة، وبعد أن يصل اجهاد التشديد إلى قيمة الإجهاد المسبق يصبح المنحني موازياً ومسائراً لمنحني العينة السليمة غير المخربة.

كما تبين أن  $C_v$  (معامل التشديد) عند درجة تشديد معينة يزداد بشكل واضح في منحنى العينة السليمة بعد أن يتجاوز اجهاد التشديد قيمة الإجهاد المسبق، وكانت زيادة  $C_v$  في العينة السليمة بمقدار 3-2 أضعاف زيادتها في العينة المخربة، ويزداد هذا الاختلاف عند أطوار التحميل العالية، كما تبين أن  $C_v$  يتناسب عكسياً مع زمن الهبوط، وهذا يعني أن زمن الهبوط في التربة المخربة أطول من زمن الهبوط في التربة السليمة، وفيما يلي علاقات  $C_v$  بحسب بعض الباحثين: [15]

$$C_v = \frac{0.197d^2}{t_{50}} \quad (4) \quad \text{كاساغراندا} \quad \checkmark$$

$$C_v = \frac{0.848d^2}{t_{90}} \quad (5) \quad \text{تايلور} \quad \checkmark$$

$$C_v = \frac{k.E_{oed}}{\gamma_w} = \frac{k_0(1-\varepsilon)^\alpha}{\gamma_w} = m.\sigma_v.\left(\frac{\sigma}{\sigma_v}\right)^{1-\beta} \quad (6) \quad \text{هوت HUT} \quad \checkmark$$

وتبين أيضا بالمقارنة أن :  $\checkmark$

$$C_v (Casagrand) < C_v (Taylor) < C_v = \frac{k \cdot E_{oed}}{\gamma_w}$$

ومن خلال المقارنة تم استنتاج أن  $E_{oed}$  للعينة المخربة أكبر منها للعينة السليمة. وفقاً لنظرية ترزاكي 1948 التي افترض فيها أن كلاً من  $M (E_{oed})$  ، و  $k$  ثابتان على مجالات الاجهاد الصغيرة وفق العلاقة:

$$C_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} = \frac{k \cdot E_{oed}}{\gamma_w} = \frac{k \cdot M}{\gamma_w} \quad (7)$$

تقل النفاذية  $k$  مع زيادة اجهاد التشديد، حيث يقل حجم المسامات في العينة، ويزداد  $E_{oed}$  مع زيادة الاجهاد في التربة المتجانسة.

### عرض المسألة المدروسة

إن إشكالية البحث تتلخص في أن كثيراً من طرق التصميم الجيوتكنيكية لاتزال تهمل تأثير نسب المكونات التي تدخل في تركيب التربة على تغير قيم مواصفاتها التصميمية، مما يؤدي إلى أخطاء وعدم دقة في النتائج، لاسيما الطرق المعتمدة على معامل التشوه الأدمتري وفقدان الدقة في حساب قيم الهبوط (على سبيل المثال). [5] رغم أن الدراسات التي تمت في مجال التشديد كثيرة ومتنوعة إلا أن الدراسات والبحوث التي تدرس خواص التشديد في التربة المختلطة غير الصافية لاتزال قليلة وغير مكتملة إذ لاتزال نحتاج إلى إجراء المزيد من البحث في هذا المجال كي يؤخذ بالحسبان المؤثرات التي تتأثر بها قيمة معامل التشوه الأدمتري ونذكر منها على سبيل المثال:

➤ نسبة المواد الخشنة التي تدخل في تركيب التربة

➤ درجة التشديد

➤ درجة إشباع العينة

➤ حدود اتريرغ

➤ إجهاد التشديد المسبق

بحيث لا يستغنى عن اجراء مزيد من التجارب المخبرية، فلا يمكن الإعتماد دوماً على المعادلات الجاهزة التي تخص تريباً بعينها أو موقِعاً بعينه بل يجب دوماً الاستمرار في إجراء الاختبارات على أنواع متنوعة من الترب المتماسكة المحلية وعلى خلطات وتركيبات من هذه الترب بعد إضافة المكونات الخشنة (الرمل) إليها بنسب متفاوتة بهدف تشكيل قاعدة معطيات غنية في نهاية المطاف. [2] [4]

## أهمية البحث وأهدافه

لا تزال ظاهرة التشديد من الظواهر البالغة التعقيد وغير مفهومة بالكامل رغم وفرة الأبحاث والنظريات في هذا المجال وهذا ناتج عن اختلاف نسب المكونات التي تدخل في تركيب التربة وبالتالي اختلاف المواصفات والسلوكية من تربة إلى أخرى.

يهتم البحث الحالي بدراسة سلوكيات التشديد لخلائط مختلفة من التربة الناعمة الصافية المضاف إليها نسب متفاوتة من الرمل الصافي، وذلك من أجل معرفة تأثير نسب الخلط المختلفة على قيم معامل التشوه الأدمومري على الخصوص، وتأثر عوامل التشديد الأخرى كذلك بهدف الحصول على قيم صحيحة يمكن الاعتماد عليها في حسابات أكثر واقعية لهبوط التربة، وذلك بربط قيم معامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$  بمواصفات التربة الأخرى بما فيها بارامترات التشديد للحصول على قيم أكثر منطقية لهذا المعامل بالعلاقة مع نسبة الرمل التي تدخل في تكوين التربة المختلطة.

تساعد المعرفة الدقيقة لمعامل التشوه الأدمومري في الحساب الدقيق للتشوهات مع الزمن وبالتالي إعطاء قيم منطقية لهبوط التشديد، ويسعى هذا البحث إضافة إلى هذه الغاية، نحو صياغة علاقات مبسطة تقريبية تساعد في ذلك، وتعتمد على نتائج التجارب المجراة ثم محاولة ربط النتائج بمعادلات مبسطة لهبوط تأخذ بالحسبان تأثير قيم هبوط التشديد بالبارامترات المستحصل عليها مخبرياً، وإجراء المقارنة بين نتائج العمل الحالي مع نتائج أبحاث مشابهة في هذا الإتجاه لتبيان مدى موثوقية نتائج العمل وقيم البارامترات المحصول عليها، وسوف يتم التركيز بشكل خاص على تأثير نسبة الرمل المضافة إلى الخلطة الغضارية وتأثير ذلك على شكل المعادلات المقترحة والعلاقات بين البارامترات المختلفة، ويمكن تلخيص أهداف البحث الرئيسية في النقاط التالية:

- ✘ إجراء سلسلة من تجارب التشديد على عينات التربة الغضارية المخلوطة بنسب مختلفة من الرمل، والإستفادة من نتائجها في تحديد قيم معامل التشوه الأدمومري بدلالة نسبة الرمل، وخواص التربة الأخرى مثل معامل النفاذية، ومعامل التشوه الحجمي، ومعامل الانضغاط، ومعامل التشديد، وعلاقة ذلك كله بقيمة اجهدالتشديد المطبق.
- ✘ معرفة نسبة الخلط (نسبة الرمل المضافة) الدرجة التي تبدأ عندها مواصفات التربة بالتغير.
- ✘ محاولة إجراء مقارنة منطقية تقريبية مقبولة لتجارب التشديد (مقارنة رياضية جديدة لمنحني التشديد) اعتماداً على نتائج التجارب المجراة.
- ✘ الاستفادة مما سبق كمدخل للحصول على قيم هبوط منطقية للتربة الغضارية بدلالة نسبة الرمل المضافة بدلالة خواصها الأخرى.

## طرائق البحث ومواده

### البرنامج التجريبي:

إن المنهج المتبع في البحث هو منهج تجريبي مقارن فقد شكلت عينات متجانسة مشبعة بنسب مختلفة من المواد الخشنة المخلوطة بالتربة الغضارية وأجريت عليها تجارب التشديد، وكان يصعب في الحقيقة الحصول على عينات طبيعية مختلطة غير مخربة بالنسب المرغوبة التي تهمننا في هذا البحث من أجل فحصها في المختبر لذلك تم تركيب عينات مخبرية مختلطة [تربة متماسكة + تربة مفككة خشنة (رمل)] بشكل تكون فيه قريبة من الواقع قدر الامكان:

✓ **التربة الرملية** - أخذت من موقع صنوبر جبلة وهي عبارة عن رمل بحري ناعم تم غسله للاستحصال على الرمل الصافي تماماً واستبعاد المكونات الناعمة.

✓ **التربة الناعمة** - أحضرت عينات ترابية من موقع السكن الشبابي في اللاذقية ثم غسلت على المنخل N200 بعناية للاستحصال التربة الناعمة الصافية المطلوبة بعد استبعاد المكونات الخشنة فيها وتم التحقق من أنها غير منتقخة من خلال تجربة تحديد ضغط الانتفاخ بطريقة التحميل التدريجي مع المحافظة على حجم ثابت للعينة وانخفاض قيم قرينة اللدونة.

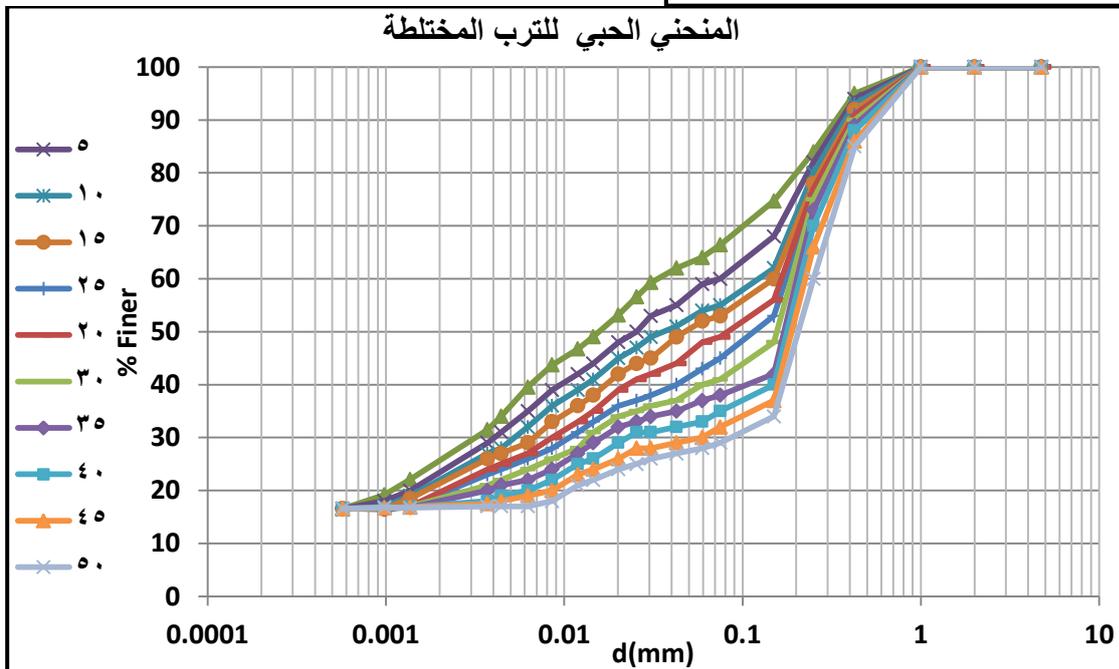
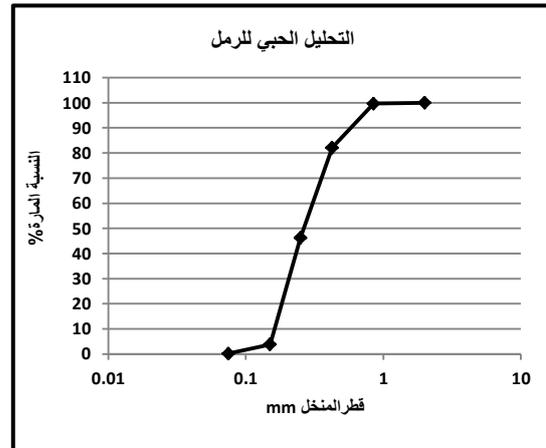
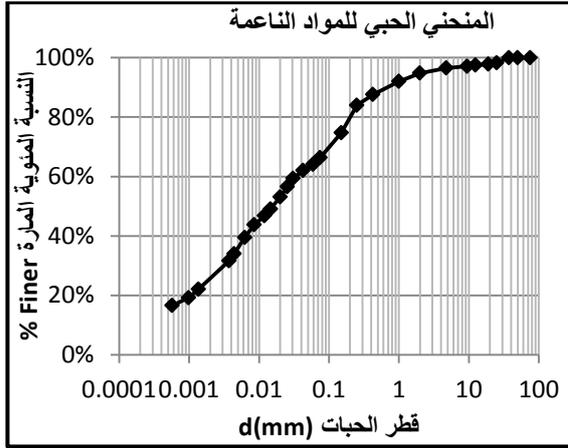
**أولاً -** تم في بداية البرنامج التجريبي كمرحلة أولى دراسة الفروقات في النتائج بين العينات الحقيقية السليمة المأخوذة من الموقع وبين عينات مركبة مخبرياً مشابهة لها بنفس نسبة الرمل التي تدخل في تركيبها وشكلت بهدف المقارنة عينتان A,B بنفس مواصفات التربة السليمة ثم حددت المواصفات الفيزيائية والكيميائية لهما كما في الجدول (1) بناء على تجارب التصنيف المختلفة والتحليل بالمكثاف وتجارب التشديد و القص.

الجدول (1) المواصفات الفيزيائية والكيميائية للعينات السليمة

	التربة السليمة	A	B
الخواص الفيزيائية (physical characteristics)	الرطوبة الطبيعية (%)	16.5	21.05
	الوزن النوعي Gs	2.67	2.68
	حد السيولة LL(%)	60.13	56.60
	حد اللدونة PL(%)	28.79	30.73
	قرينة اللدونة PI(%)	31.34	25.86
	المر من المنخل 200 (%)	66.4	
الخواص الميكانيكية (Mechanical characteristics)	Classification (USCS)	Sandy Elastic Silt	
	الوزن الحجمي الجاف (KN /m <sup>3</sup> )	17.7	16.35
	الوزن الحجمي المشبع (KN /m <sup>3</sup> )	21.3	20.3
	التماسك C(kN/m <sup>2</sup> )	84	95
	زاوية الاحتكاك الداخلي Φ(°)	11.38	17
	عامل المسامية	0.5	0.63

**ثانياً -** حضرت خلطات من التربة (مواد ناعمة + رمل) على أساس الوزن الجاف، وقد خلطت التربة بنسب مختلفة من المواد الخشنة [5% - 10% - 15% - 20% - 25% - 30% - 35% - 40% - 45% - 50%] من أجل اجراء التجارب المخبرية التالية عليها:

**(a) التحليل الحبي -** أجريت التجارب (وفقاً للمواصفة ASTM D422-63)، وفق أسلوب النخل الجاف للرمل الناعم، أما المواد الناعمة فقد استخدم من أجلها اختبار الترسيب بالهايدرومتر، ومنحنيات التدرج الحبي المركبة للترب المختلفة المركبة مبينة بالشكل (1).



الشكل 1 - نتائج تجارب التحليل الحبي المنخلي والمكثاف

(b) حدود أتربغ - أجريت التجارب على التربة المتماسكة الصافية (وفقاً للمواصفة ASTM D4318-98 ، وتبين أن دليل لدونتها 28.95% وحد سيولته 65.4%، وعند تحميل هذه القيم في مخطط أتربغ لوحظ أن نقطة التقاطع أعلى بقليل من A-line (خط حد السيولة)، وتصنيفها هو تربة غضارية عالية اللدونة.

**(c) اختبارات القص -** أجريت اختبارات القص أولاً على العينات الحقيقية والعينتين A,B المخريتين (بهدف المقارنة)، وبعد ذلك أجريت على العينات المركبة الأخرى المشكلة مخبرياً بمختلف النسب الرملية التي تدخل في تركيبها لربط نتائج القص بباقي نتائج البحث.

**(d) اختبارات الأدمتر -** أجريت اختبارات التشديد على العينات المركبة مع بعض التشحيم لجوانب الحلقة من أجل تقليل الاحتكاك بين جوانب الحلقة وعينة التربة فيها كما في الشكل (2) وقد اختبرت عينات الخلائط المختبرة بكثافة نسبية 50% و برطوبة أولية 24% قريبة من رطوبة الاشباع (لكي تماثل العينة السليمة بإعادة تشكيلها الطبيعي) وقبل بدء التحميل تركت العينات لمدة 24 ساعة ضمن الجهاز المملوء بالماء المقطر لضمان اشباعها قدر الإمكان، وطبقت الاجهادات الشاقولية وفق التسلسل التالي:

$$0,25 - 0,50 - 1,0 - 2,0 - 4,0 - 6,0 - 8,0 - 16,0 \text{ kg/cm}^2$$

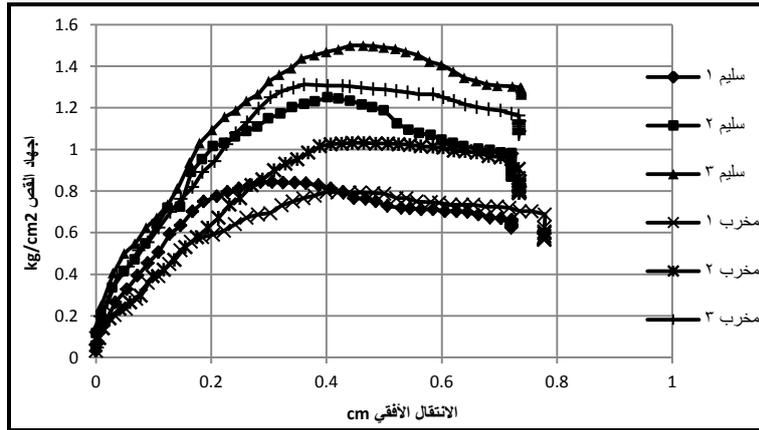


الشكل 2 - تشكيل التربة المختلطة مخبرياً

## النتائج والمناقشة

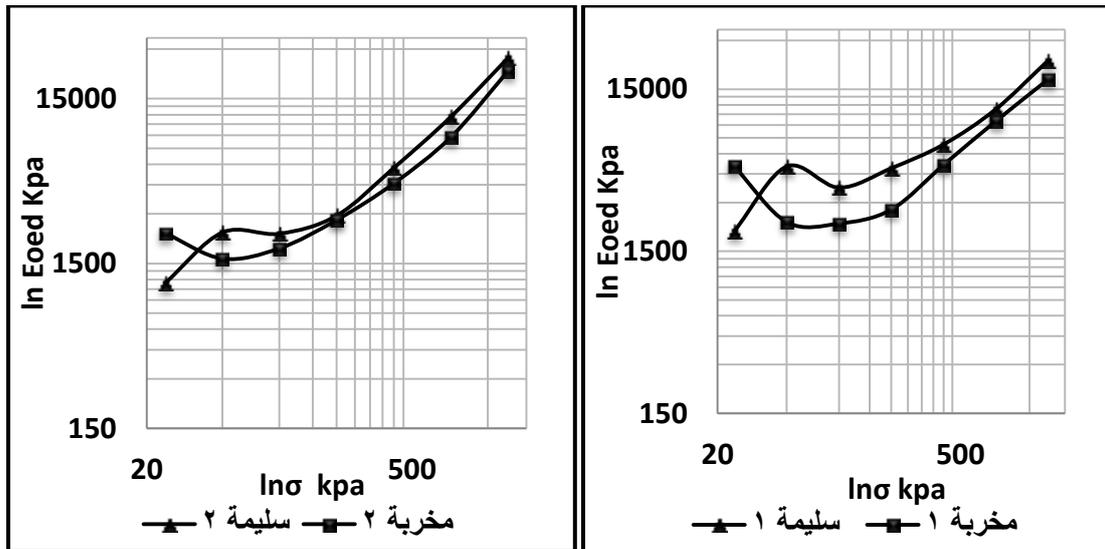
### أولاً - الفرق بين العينات السليمة والمخرية المشكلة مخبرياً

1 - نتائج القص للعينة السليمة والمخرية - يبين الشكل(3) العلاقة بين إجهاد القص وبين الانتقال الأفقي للعينات السليمة والمخرية ويلاحظ أن للعينات السليمة ذروة في إجهاد القص قبل الوصول إلى الانهيار بينما لم يلاحظ ذلك في العينات المخرية وتعليلنا هو فقدان التشديد المسبق وكونها غير سليمة وهذا يوافق [18-24].



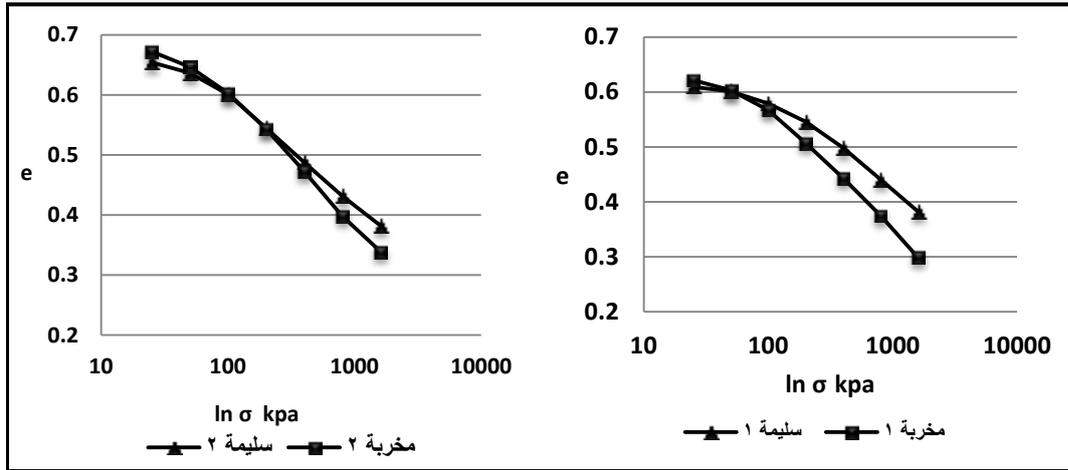
الشكل 3 - نتائج تجارب القص للعينة السليمة والعينة المخربة A

II - العلاقة بين إجهاد التشديد وعامل التشوه الأدمومري - يبين الشكل (4) العلاقة بين إجهاد التشديد وبين عامل التشوه الأدمومري للعينات السليمة والمخربة، نلاحظ أن عامل التشوه الأدمومري للعينة المخربة ينخفض في بداية التحميل ثم يعود فيرتفع ويتمشى مع خط العينة السليمة وذلك لأن العينة السليمة هذه ذات تشديد مسبق وتاريخ جيولوجي خضعت لتاريخ إجهادي سابق وكون بنيتها أكثر انتظاماً، وهذا يتوافق مع نتائج O.T. Ravaska, A. [18]Aalto and M.Lolander, 2003.



الشكل 4- منحنيات العلاقة بين إجهاد التشديد وعامل التشوه الأدمومري للعينات السليمة والمخربة

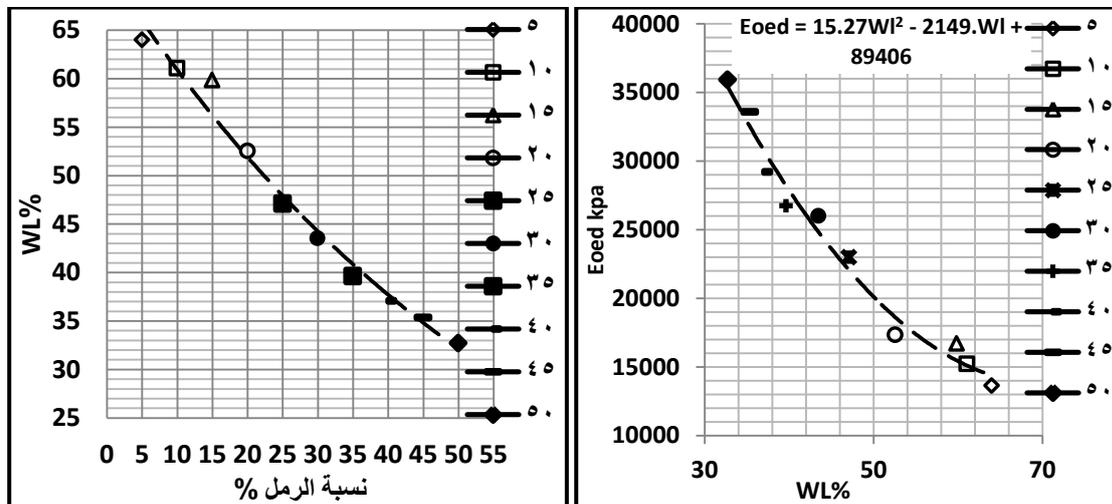
III - العلاقة بين عامل المسامية وإجهاد التشديد - يبين الشكل (5) العلاقة بين إجهاد التشديد ونسبة الفراغ ويبدو أن نسبة الفراغ للعينات تتناقص مع زيادة التحميل لكن تبقى نسبة الفراغ للعينات المخربة أعلى منها في العينات السليمة في بداية التحميل بسبب نقصان حجم فراغات الهواء والماء بشكل كبير ثم تعود للإنخفاض بعد إجهاد (1,0 kg/cm<sup>2</sup>) بسبب استقرار العينة المخضلة.



الشكل 5- منحنيات العلاقة بين إجهاد التشديد وعامل المسامية للعينات السليمة والمخرية

## ثانياً - تأثير نسبة الخلط المضافة إلى التربة على النتائج:

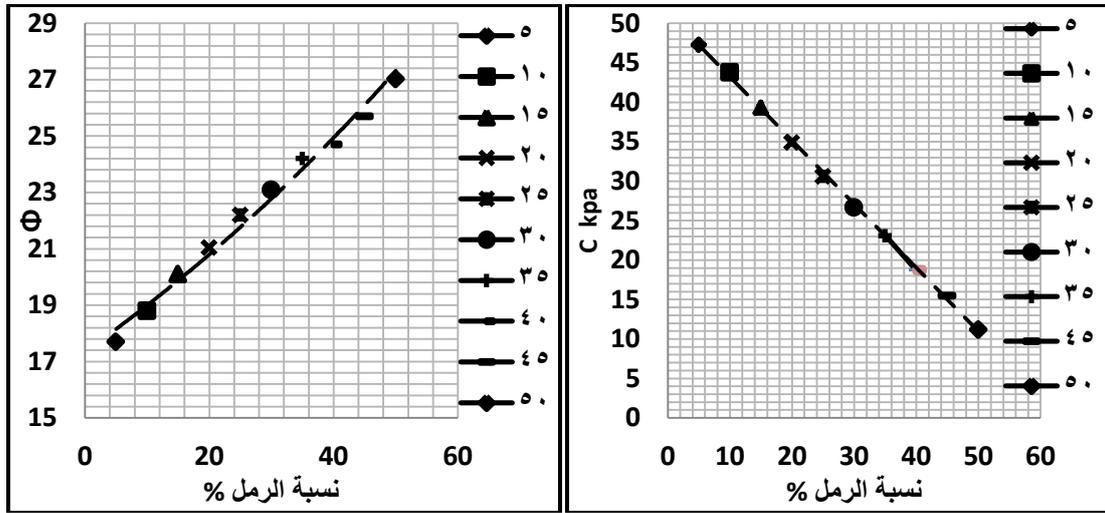
1 - العلاقة بين عامل التشوه الأودومتري وحد السيولة - إن تغير معامل التشوه الأودومتري مع تغير حد السيولة مبين على الشكل (6) فتنخفض قيمته مع زيادة حد السيولة ويمكن ربط ذلك أيضاً بانخفاض قيمة معامل التشوه الأودومتري بانخفاض نسبة الرمل التي تدخل في تركيب العينة المختلطة وعلاقة ذلك بحد السيولة لأن تناقص حد السيولة مع زيادة نسبة الرمل في العينة يمكن تفسيره بنقصان سماكة الطبقة المائية الرقيقة المحيطة بجزيئات الغضار فنقل سيولة التربة وهذا ما يؤكد (Rafal Obrzud (2011).



الشكل 6 - العلاقة بين عامل التشوه الأودومتري وحد السيولة

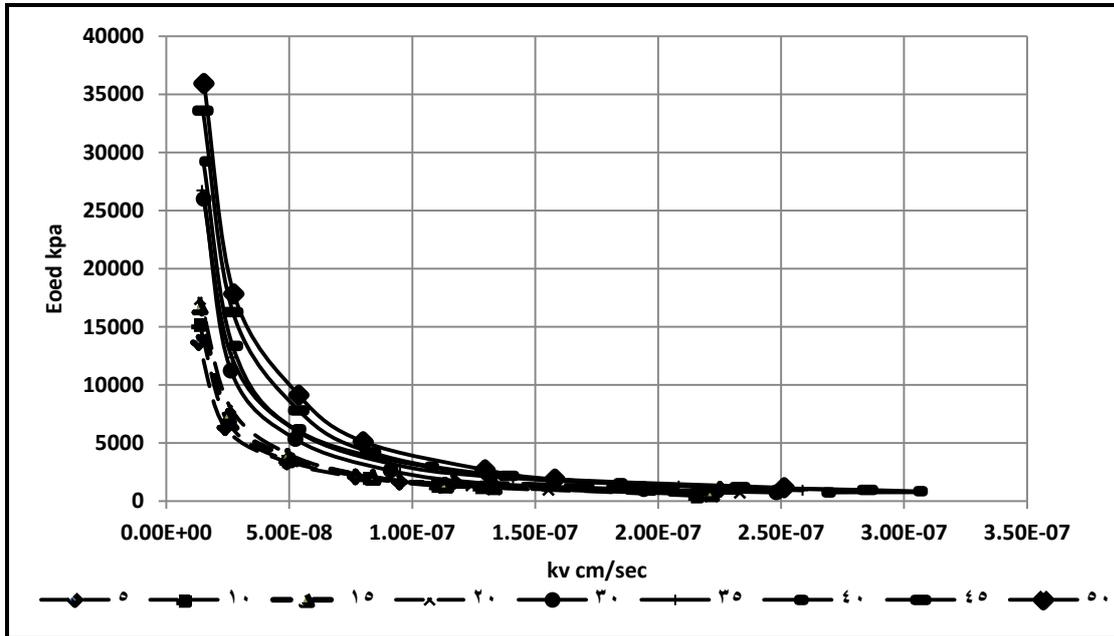
II - دراسة تأثير نسبة الرمل على بارامترات القص - يبين الشكل (7) منحنيات تغير تماسك التربة مع تغير نسبة الرمل ويبدو من هذه المنحنيات تناقص التماسك بشكل ملموس مع زيادة نسبة الرمل ويفسر ذلك بتناقص الروابط بين جزيئات التربة الغضارية نتيجة دخول الرمل بينها وإن إضافة الرمل كما هو معروف سوف تغير أيضاً في شكل التدرج الحبيبي للتربة المختلطة. تتوافق النتيجة مع نتائج دراسة (Chao, et al, 2006) [3-7] كما يبين الشكل (7) تزايد زاوية الاحتكاك الداخلي  $\rho$  مع تزايد نسبة الرمل ويفسر ذلك بأن نقصان سماكة الطبقة المائية الرقيقة المحيطة بالجزيئات الغضارية سوف تحل محلها الحبيبات الرملية التي سوف تفصل جزيئات الغضار عن بعضها وتجعل انزلاقها

على بعضها أكثر صعوبة، وتفسر [19] بزيادة خشونة التربة عموماً بسبب ارتباط الجزيئات الغضارية مع بعضها بالروابط الرملية.



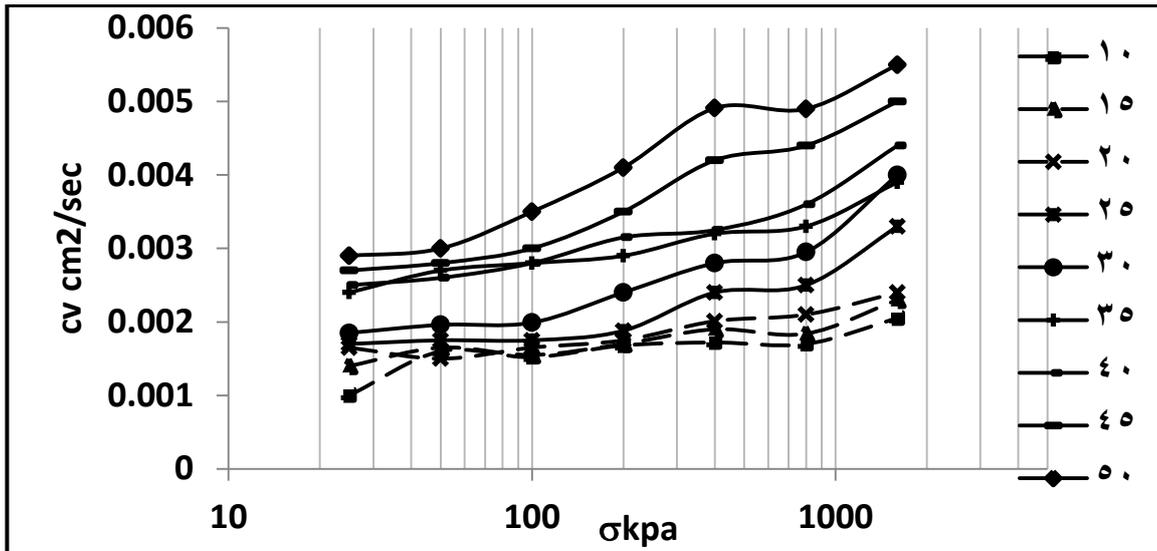
الشكل 7 - العلاقة بين الخواص الميكانيكية ونسبة الرمل

III - تأثير نسبة الرمل على معامل النفاذية - يبين الشكل (8) العلاقة بين معامل النفاذية ونسبة الرمل المضافة إلى التربة ومن الطبيعي أن يزيد معامل النفاذية بزيادة نسبة الرمل لكن يربط ذلك بقيم معامل التشوه الأدمتري يمكن رؤية التزايد الطردي لمعامل النفاذية مع تزايد معامل التشوه الأدمتري خاصة بعد النسبة 20% من الرمل المضاف. انظر [12] وذلك بسبب زيادة نسبة الفراغات الناتجة عن زيادة الرمل.



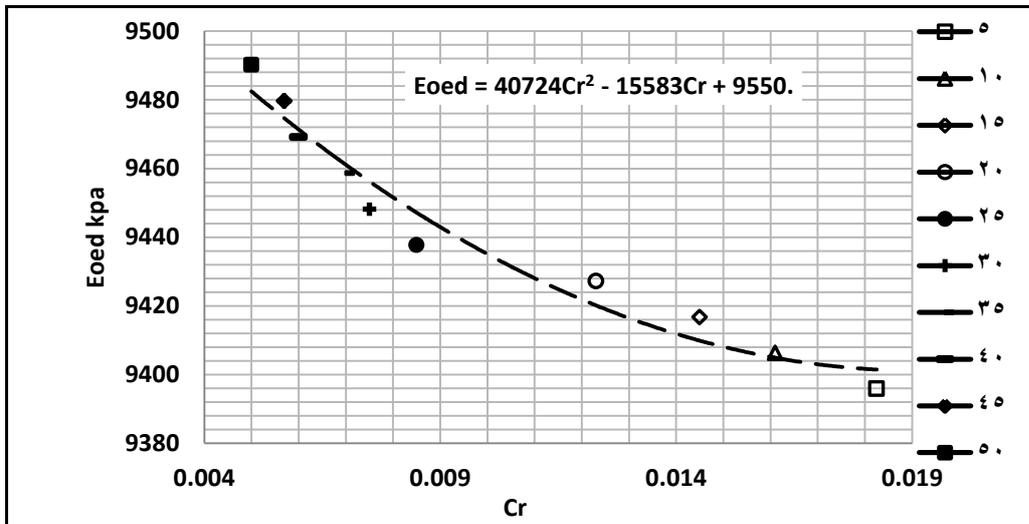
الشكل 8 - العلاقة بين عامل التشوه الأدمتري وعامل النفاذية بدلالة نسبة الخلط

IV - تأثير نسبة الرمل على معامل التشديد ( $C_v$ ) - يبين الشكل (9) العلاقة بين معامل التشديد  $C_v$  وبين الإجهاد ويتبين أن معامل التشديد وفق طريقة تايلور (طريقة جذر الزمن) يزداد مع زيادة نسبة الرمل ويرافقه تزايد في معامل التشوه الأدمتري حيث يزداد بشكل واضح بعد نسبة خلط 20%. انظر أيضاً [18]



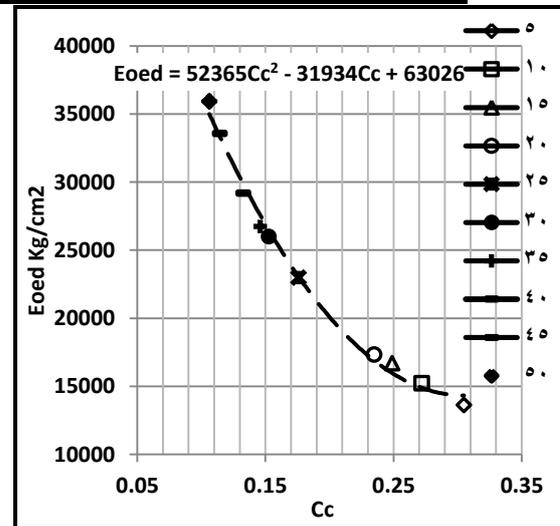
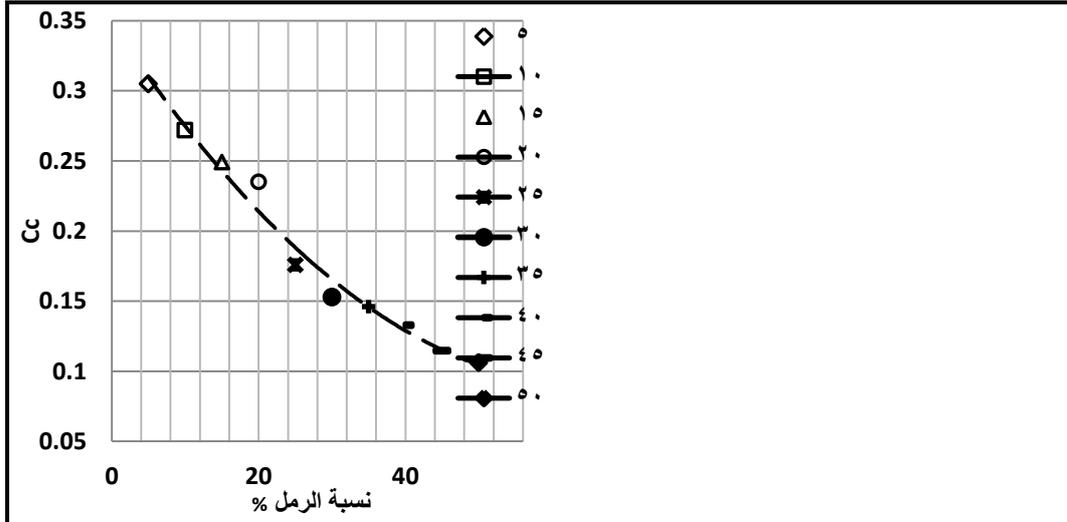
الشكل 9 - العلاقة بين الاجهاد ومعامل التشديد بدلالة نسبة الخلط

**V - تأثير نسبة الرمل على قرينة الانضغاطية (Cr)** - يبين الشكل (10) العلاقة بين قرينة إعادة الانضغاطية Cr وعامل التشوه الأدمومري ويبدو أن معامل تقريغ الحمولة يتناقص مع زيادة معامل التشوه الأدمومري المقترنة بزيادة نسبة الرمل ويمكن تفسير ذلك بأن الرمل الذي يربط بين الجزيئات الغضارية يزيد من متانة التربة وهذا بدوره يعمل على تقليل إمكانية الانتفاخ.

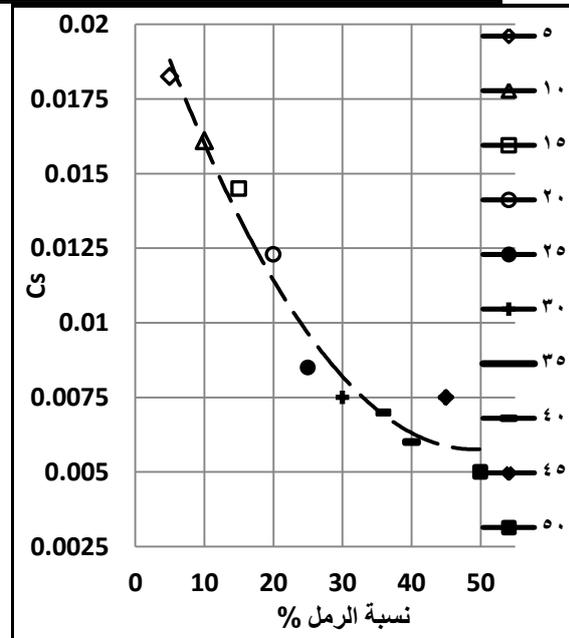
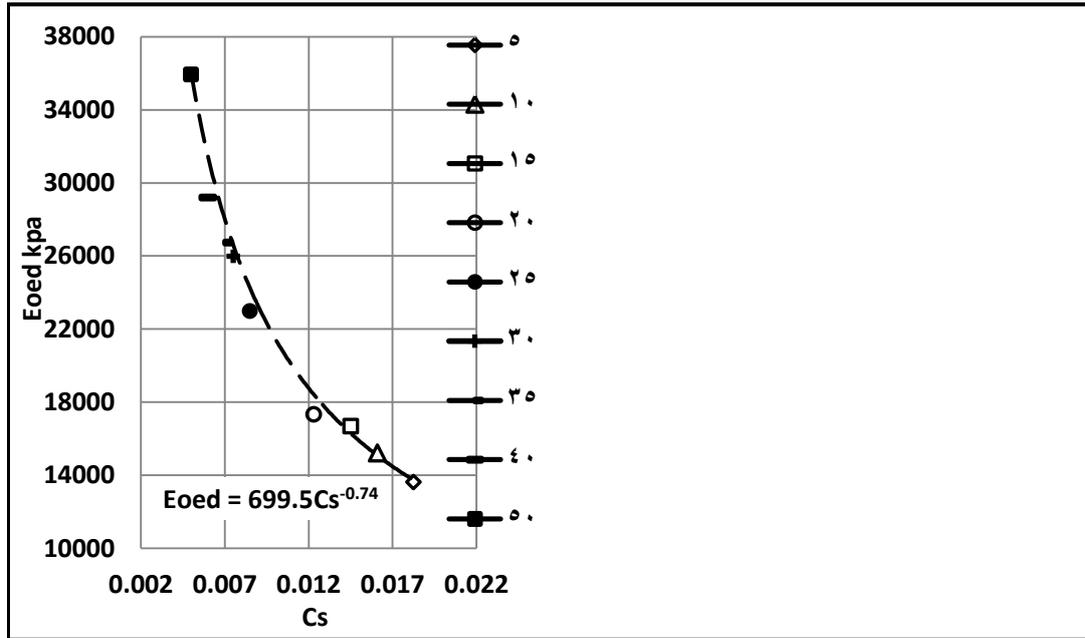


الشكل 10 - العلاقة بين Cr ومعامل التشوه الأدمومري Eoed

**VI - تأثير نسبة الرمل على قرينة الانضغاطية (Cc)** - يبين الشكل (11) العلاقة بين عامل التشوه الأدمومري وعامل الانضغاط ونلاحظ أن عامل الانضغاط للتربة يتناقص مع زيادة عامل التشوه الأدمومري المقترن بزيادة نسبة الرمل بسبب زيادة الروابط الرملية بين الجزيئات بسبب زيادة نسبة الرمل وهذا يتوافق مع Monika, Valerie (1999) & Belgian Building [1] ومع Rafal Obrzud (2011) [10].

الشكل 11 - العلاقة بين معامل الانضغاط  $C_c$  وبين عامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$ 

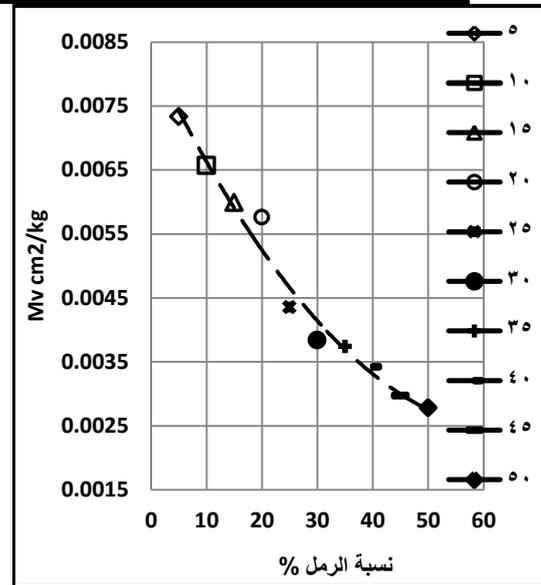
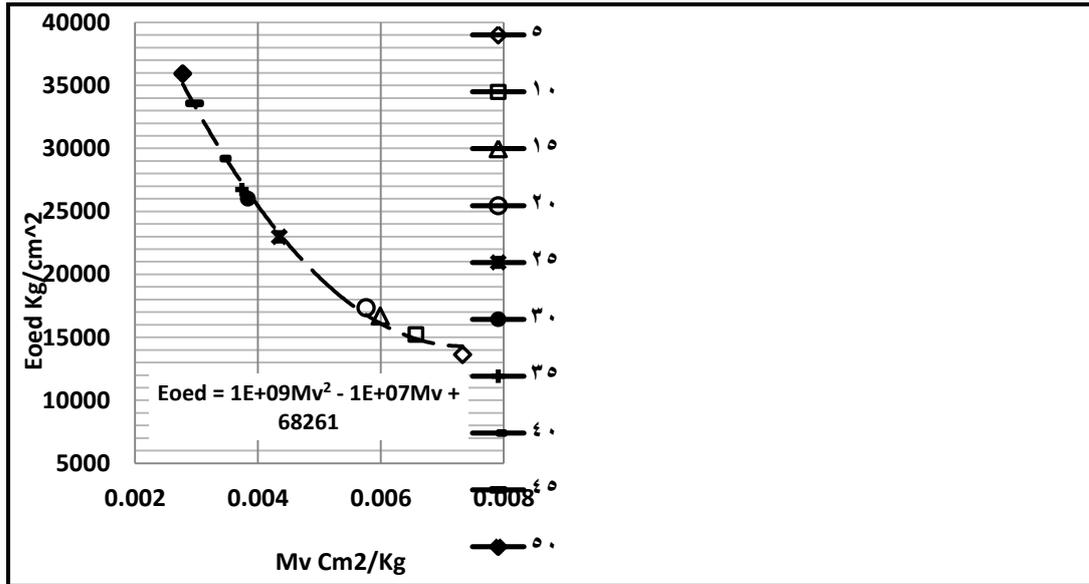
**VII - تأثير نسبة الرمل على معامل الانضغاط الثانوي ( $C_s$ ) -** يلاحظ في الشكل (12) العلاقة بين معامل التشوه الأدمومري ومعامل الانضغاط الثانوي ويلاحظ أن معامل الانضغاط الثانوي يتناقص مع زيادة نسبة الرمل وزيادة عامل التشوه الأدمومري حيث إن قيم  $C_s / C_c$  لعينات التربة المختبرة هي في حدود 0,06 - 0,045 ، وهذا يتوافق مع أبحاث [9](Mesri and Castro, 1987) التي أثبتت أن  $C_s / C_c$  لمعظم أنواع التربة تقع ضمن المجال 0,01 - 0,07، وهذا ما يدعم النتيجة التي توصلنا إليها.



الشكل 12 - العلاقة بين معامل الانضغاط الثانوي Cs وبين عامل التشوه الأدمتري Eoed

**VIII - تأثير نسبة الرمل على معامل الانضغاط الحجمي (Mv) -** يبين الشكل (13) العلاقة بين معامل

التشوه الأدمتري ومعامل الانضغاط الحجمي ويلاحظ الانخفاض الواضح لمعامل الانضغاط الحجمي مع زيادة معامل التشوه الأدمتري المقترنة بزيادة نسبة الرمل وذلك لأن إضافة الرمل يؤدي إلى تقليل قابلية الانتفاخ والانكماش ويبدو واضحاً بعد نسبة خلط 20%.



الشكل 13 - العلاقة بين معامل الانضغاط الحجمي  $Mv$  وبين عامل التشوه الأدمتري  $E_{oed}$

#### IX - تأثير نسبة الرمل على قيمة اجهاد التشديد ( $\sigma$ ) - يبين الشكل (14) العلاقة بين معامل التشوه

الأدمتري والاجهاد حيث إن معامل التشوه الأدمتري يزداد مع زيادة اجهاد التحميل، وقد تم في هذا البحث استخراج الثوابت  $v$  و  $\omega$  الناظمة للمعادلة المعروفة بين اجهاد التشديد  $\sigma$  وبين معامل التشوه الأدمتري:

$$E_{oed} = v \cdot \sigma^\omega \quad (8)$$

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها يمكن كتابة العلاقات التقريبية التالية لحساب قيم الثوابت المذكورة أعلاه بدلالة نسبة الرمل في العينة:

$\omega$	$v$	النسبة %
0.76	44.15	10

0.742	52.58	15
0.769	45.77	20
0.893	24.47	25
0.862	34.66	30
0.809	54	35
0.887	33.04	40
0.886	42.03	45
0.824	70.99	50

$$\nu = -0,406 \cdot \eta + 56,19 \quad (9)$$

$$\omega = 0,004 \cdot \eta + 0,069$$

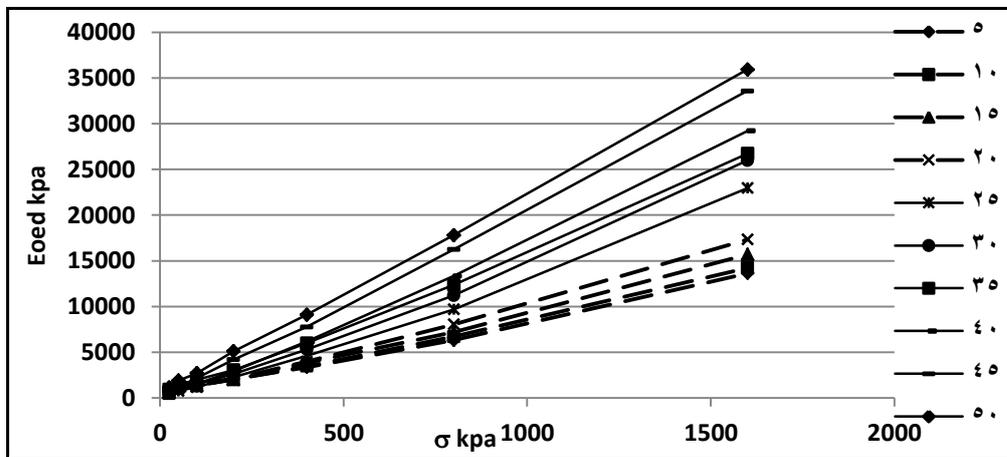
حيث  $\eta\%$  - هي نسبة الرمل في التربة.

كما تم - بناءً على النتائج - اقتراح العلاقة التقريبية التالية التي يمكن بواسطتها حساب معامل التشوه

الأدومتري بدلالة اجهاد التشديد:

$$E_{oed} = (40 - 60) \cdot \sigma^{(0,7-0,9)} \quad (10)$$

بحيث تتغير القيم في المجالات بحسب نسبة الرمل المضافة.

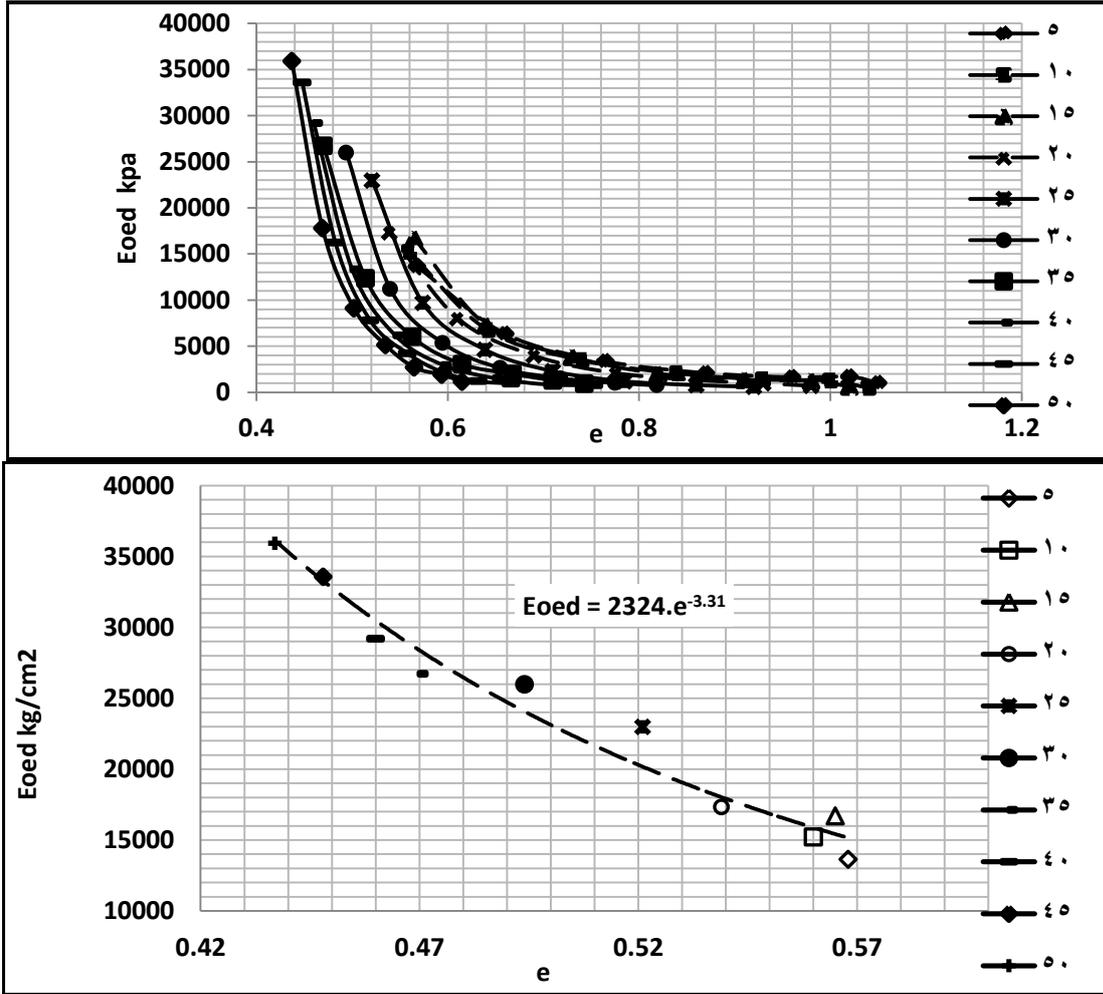


الشكل 14 - العلاقة بين عامل التشوه الأدومتري واجهاد التشديد وفق نسب الخلط المختلفة

IX - تأثير نسبة الرمل على قيمة نسبة الفراغ (e) - عند رسم العلاقة بين نسبة الفراغ e ومعامل التشوه

الأدومتري في الشكل (15) يلاحظ تناقص في نسبة الفراغ وتزايد في معامل التشوه الأدومتري مع تزايد نسبة الرمل

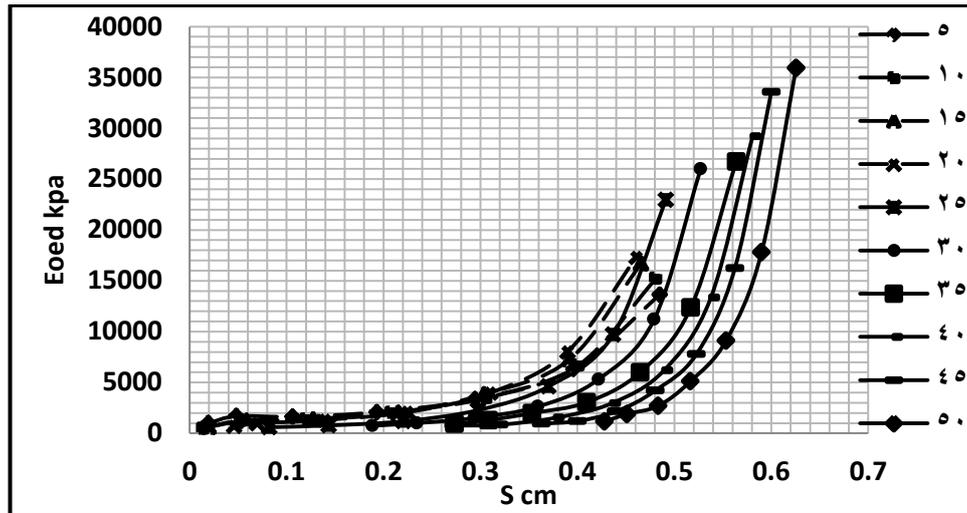
المضافة من أجل كل طور تحميل وكذلك تناقص نسبة الفراغ تحت اجهاد ثابت بزيادة نسبة الرمل.



الشكل 15 - العلاقة بين عامل المسامية e وبين عامل التشوه الأدمتري Eoed

## X - تأثير نسبة الرمل على قيمة هبوط التشديد

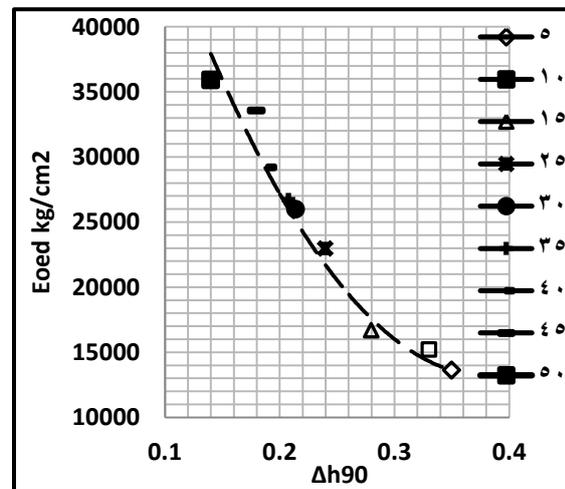
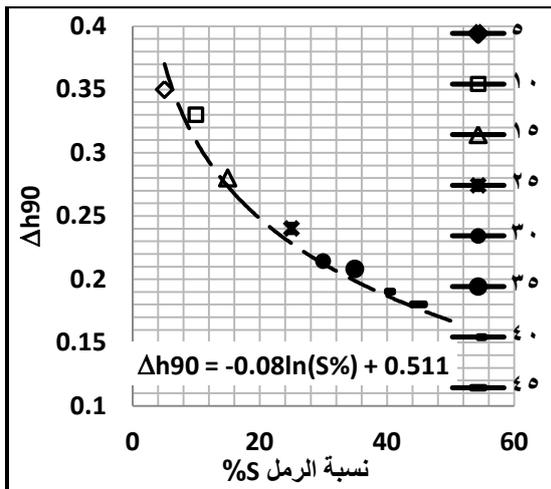
يحدث الهبوط نتيجة إجبار الماء على الخروج من العينة وتبدد الزيادة في ضغط الماء المسامي نتيجة للضاغط الناتج عن التحميل حيث نلاحظ أن هبوط التشديد يزداد بزيادة نسبة الرمل مع زيادة لعامل التشوه الأدمتري وخاصة بعد نسبة خلط 20% كما في الشكل (6).



الشكل 16 - العلاقة بين هبوط التشديد وبين عامل التشوه الأودومتري  $E_{oed}$

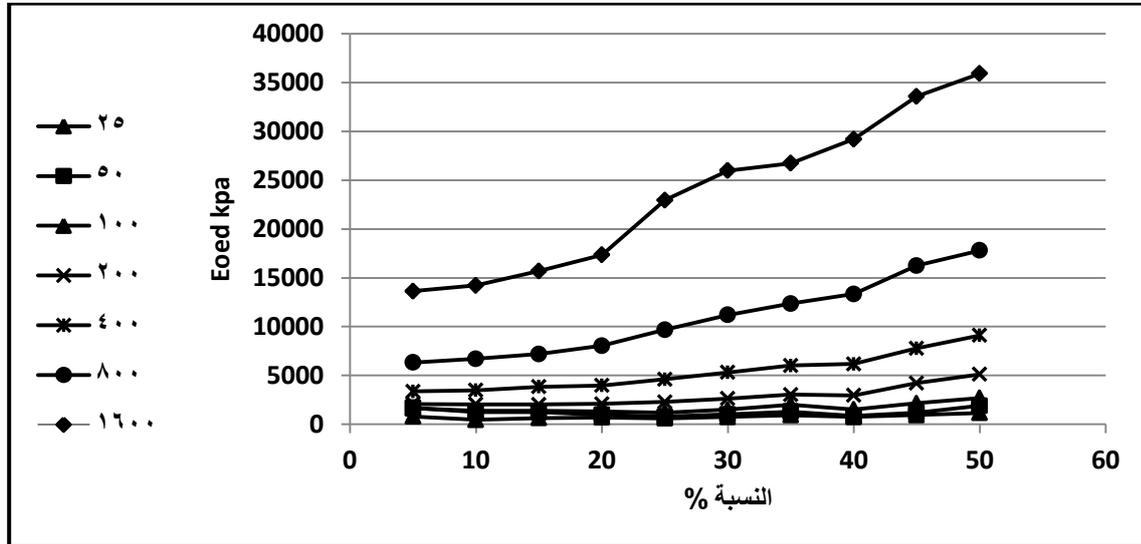
### XI - تأثير نسبة الرمل على قيمة $\Delta h_{90}$

تمثل  $\Delta h_{90}$  مقدار الفرق بين الهبوط النهائي للتجربة والهبوط عند درجة تشديد 90 حيث إن العلاقة بين  $\Delta h_{90}$  ونسبة الرمل المضافة -الشكل (17)- تُظهر أن  $\Delta h_{90}$  تتناقص كلما كانت نسبة الرمل في العينة أكبر كذلك تتناقص مع زيادة معامل التشوه الأودومتري حيث يقل تقعر منحنى الهبوط كلما زادت نسبة الرمل.



الشكل (17) العلاقة بين  $\Delta h_{90}$  وبين عامل التشوه الأودومتري  $E_{oed}$

**X - تأثير نسبة الرمل على قيمة معامل التشوه الأدمومري -** يبين الشكل (18) تأثير تغير نسبة الرمل المضافة على معامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$  حيث يزداد معامل التشوه الأدمومري بزيادة نسبة الرمل وهذا التزايد يكون واضحاً تماماً في اجهادات التشديد الكبيرة بعد نسبة إضافة 20% حيث يبدأ الرمل بتطبيق تأثيره الواضح على التربة الناعمة بسبب زيادة الاحتكاك بين حبات التربة.



الشكل 18 - العلاقة بين نسبة الرمل وعامل التشوه الأدمومري  $E_{oed}$

### الاستنتاجات والتوصيات

اعتماداً على ماتم التوصل إليه من نتائج خالص البحث إلى الاستنتاجات التالية :

- 1- يكون للعينات السليمة ذروة في اجهاد القص قبل الانهيار ولايلاحظ ذلك في العينات المخربة.
- 2- إن انضغاطية الترب المختلطة (رمل + مواد ناعمة) تعتمد على نسبة وجود الرمل في الخليط حيث تأخذ مكان ذرات الماء المحيط بالغضار كما تعتمد على مجال اجهاد التشديد المطبق حيث تقل الانضغاطية بزيادة الرمل وخاصة بعد نسبة إضافة 20%.
- 3- يتزايد معامل التشديد  $C_v$  مع زيادة نسبة الرمل مع تزايد الإجهاد وخاصة عندما تكون نسبة المواد الخشنة المضافة 20% وما فوق.
- 4- قيم النسبة  $C_s/C_c$  للخلات المستخدمة هي في حدود 0.06 - 0.045 هي تتوافق مع نتائج كثير من الأبحاث العلمية المجرأة في هذا المجال.
- 5- يزداد معامل النفاذية ومعامل التشوه الأدمومري بشكل واضح خاصة بعد نسبة رمل 20% فما فوق حيث يبدأ تأثير سلوك الرمل.
- 6- تم اقتراح العلاقة التقريبية التالية التي يمكن بواسطتها حساب معامل التشوه الأدمومري بدلالة اجهاد التشديد
 
$$E_{oed} = (40 - 60) \cdot \sigma^{(0.7-0.9)}$$
- 7- تتناقص الفرق بين الهبوط النهائي والهبوط النظري عند درجة تشديد (90) مع زيادة الرمل. كما خالصنا إلى التوصيات النهائية التالية المتعلقة بالبحث:

- ⊗ لا بد من أجل التوسع في البحث من إجراء مزيد من الأبحاث لدراسة تأثير بنية التربة وخشونتها واختلاف أبعاد الحبيبات على الانضغاطية وعلى قيمة معامل التشوه الأدمتري .
- ⊗ يجب إجراء المزيد من التجارب على العينات السليمة والمخرية لمعرفة قيمة التصحيح الواجب اضافتها للعينات المشكلة في المخبر لتصحيح أكثر واقعية.
- ⊗ إن ثمة ضرورة لتحسين تقنية تحضير العينات في تجربة الأدمتر بحيث يمكن قياس ارتفاع العينة بدقة والحصول على عينة مشبعة تماماً وإجراء القياسات بشكل أدق ، والتحكم بالكثافة النسبية للعينة وضرورة إيجاد أسلوب أفضل للتأكد من عدم وجود فقاعات في العينة بعد تشكيلها كذلك تجريب طرائق أخرى أكثر تطوراً من أجل تشكيل العينات مخبرياً.
- ⊗ ضرورة تعميم البحث ليشمل أنواعاً أخرى من التربة الخشنة لخلطها بالتراب الناعمة المستخدمة ومقارنة النتائج المستحصل عليها مع نتائج هذا البحث.

## المراجع

- 1- RAFAL OBRZUD “*Constitutive models for practice*”, August 2015., Lausanne, Switzerland.
- 2-HAMZA M,SHAHIEN M, “*Compressibility Parameters of Cohesive Soils From Piezocone*”,Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.,2013 Paris.
- 3- Dr. CFA AKAYULI, BERNARD OFOSU, SETH O. NYAKO, KWABENA O. OPUNI . “*The Influence of Observed Clay Content on Shear Strength and Compressibility of Residual Sandy Soils*”,. Vol. 3, Issue 4, Jul-Aug 2013, pp.2538-2542.
- 4- ALESSIO FERRARI and LYESSE LALO, “*Advances in the Testing of the Hydro-mechanical Behaviour of Shales*”, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, EPFL, Switzerland,2013.
- 5-P. MARSCHALL, B. LANYON, I. GAUS, J. RUEDI. “*Gas transport processes at Mont Terri Test Site (EDZ and host rock)- Field results and conceptual understanding of selfsealing processes*”, 2013, Forge Reports D4.16. 61pp Wettingen.
- 6-M. S. GHEMBAZA, M. DADOUCH, M. HAMHAMI and A. M. IBRAHIM, “*Study the geomechanical properties of material from the waste disposal center Urgup*”,2013 Turkey.
- 7- TAKEDA, MOTOHIRO SUGIYAMA, MASARU AKAISHI, and HUEI-WEN “*Secondary Compression Behavior In One-Dimensional Consolidation Tests* ” , Journal of GeoEngineering, 2012, Vol. 7, No. 2, pp. 053-058, August 2012.
- 8- O. HEDEDAL, N. FOGED, A. KROGSBOLL, “*Deformation properties of highly plastic fissured Palaeogene clay*” ,2012Technical University of Denmark, akr@byg.dtu.dk.
- 9- HOSSEIN SOLTANI-JIGHE and CHIA ZARE, “*Mechanical Behavior of Over consolidated Caly-Sand Mixtures*”Azerbaijan Shahid Madani University,2011.
- 10- RAFAL OBRZUD,2011, “*The Hardening Soil model with small strain stiffness in Zsoil* ”, GeoMod Ing. SA, Lausanne.
- 11-ARAZ ISMAIL & FITSUM TESHOME,2011, “*Analysis of deformations in soft clay due to unloading*”Chalmers University Of Technology Goteborg, Sweden.
- 12-K. L. KAUFMANN, B. N. NIELSEN A. H. september . “*Strength and Deformation Properties of Tertiary Clay at Moesgaard Museum* ” , Aalborg University, ISSN 1901-726X ,2010, Report No. 103.
- 13- PETER LENK, “*Material and geometrical nonlinear FEA, Settlement of saturated clays, Foundations of High-Rise Buildings*”, Slovak University Of Technology.Bratislava., 2009/2 PAGES 26 - 37 Slovak journal of civil engineering.

- 14 - SOROUS H, A. and SOLTANI-JIGHEH H. "*Pre- and Post-cyclic Behavior of Mixed Clayey Soils*" , Canadian Geotechnical Journal, 46,2009, No. 2, 115-1128.
- 15- ALAIN HOLEYMAN KARLSRUHE, "*Tubular Piles – Buckling Design in a Complex Situation*" Zur Erlangung des akademischen Grades eines,2007.
- 16 - LONG, M. & MENKITI, C. O. "*Geotechnical properties of Dublin Boulder Clay*" ,2007 ,No. 7, 595–611 [doi: 10.1680/geot.2007.57.7.595].
- 17- CREU OBRER, " *Permeability of stabilized clay November*" ,Number of pages: 97, "*Soil Mechanics and Foundation Engineering Code*".,Helsinki University of technology department of civil and environmental engineering,2006.
- 18- FRANYISEK HAVEL. "*Creep in soft soils*" Norwegian University of Science and Technology Trondheim, May 2004 URN:NBN:no-3497.
- 19- JAFARI, M.K. and SHAFIEE, A. "*Mechanical behavior of compacted composite clays*" , Canadian Geotechnical Journal, 41 (6) ,2004, 1152-1167.
- 20- Prof. PIETER VERMEER Dr. RONALD BRINKGREVE, "*Plaxis 2002*," , Stuttgart University.
- 21 -H NAGASE , K SHIMIZU, A HIRO-OKA, S MOCHINAGA And M OHTA., "*Effects Of Overconsolidation On Liquefaction Strength Of Sandy Soil Samples*" ,2000, 12WCEE.
- 22-JANBU, N. "*Sediment deformations – A classical approach to stress – strain – time behaviour of granular media as developed at NTH over 50 year period*", 1998, bulletin 35, NTNU, Department of Geotechnical Engineering, Trondheim, 86 p.
- 23 - TOM SCHANZ RUHR-Universität Bochum, "*On the stiffness of sands* " Article in Geotechnique " , January 1998 190 Publications 634 Citations.
- 24- C.R. SCOTT, "*Soil mechanics and foundations*", London Applied science publishers.1998, 1-10, 63-69, 119-124, 128-134.