

تأثير الروابط البنيوية على تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية

الدكتورة: نجلا جميل الحسن

قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة: البعث

ملخص البحث

تتصف تربة اللوس بمقاومة عالية في حالتها الجافة ، وتتهار بنيتها بشكل مفاجئ عند تعرضها للرطوبة مما يسبب أضراراً في المنشآت المقامة عليها. أظهرت التجارب التي أجريت أنه بارتفاع قيمة الوزن الحجمي الجاف تتخفص قيمة تشوهات الزحف وبلغ انخفاض تشوهات الزحف %65 للعينات المشكلة بوزن حجمي جاف مقداره 1.65 gr/cm^3 مقارنة مع تشوهات الزحف في العينات المشكلة بوزن حجمي جاف مقداره 1.25 gr/cm^3 . بينت التجارب التي أجريت على عينات سليمة البنية من التربة وعينات مشكلة بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف ومحتوى الرطوبة أن العينات السليمة أبدت تشوهات زحف أقل مقارنة مع العينات المعاد تشكيلها وكانت أقل بـ %27 وهذه النسبة تتخفص كلما زادت الرطوبة الأولية للتربة بحيث تصبح تشوهات الزحف متقاربة لكلا العينتين عند رطوبة قريبة من رطوبة الإشباع بسبب انحلال الروابط البنيوية للتربة الإنخفاسية. أظهرت التجارب التي أجريت على عينات مشكلة بوزن حجمي جاف ثابت ومحتوى رطوبة أولي متغير أنه بزيادة الرطوبة الأولية للتربة تزداد تشوهات الزحف وبلغت الزيادة %160 عندما تغيرت الرطوبة من %5 إلى %16. بينت تجارب القص انخفاض مقاومة القص الأعظمية للعينات المشكلة مقارنة مع مقاومة القص الأعظمية للعينات السليمة التي لها نفس محتوى الرطوبة والوزن الحجمي الجاف.

الكلمات المفتاحية: الروابط البنيوية ، تشوهات الزحف ، عينات سليمة ، عينات مشكلة ، مقاومة القص الأعظمية.

Effect of structural bonds on creep deformations of Loose soils

Abstract

Loose soil has high resistance in its dry state of the soil, and its structure collapses suddenly when exposed to moisture, which causes damage to the structures. Experiments showed that by increasing the dry unit weight, the creep deformations decrease, this decrease was 65% for remolded samples with a dry unit weight of 1.65 gr/cm^3 compared with 1.25 gr/cm^3 . Experiments carried out on undisturbed and remolded samples with the same value of dry unit weight and moisture content showed that the deformations of undisturbed samples are 27% less than those of remolded ones. This percentage decreases as the initial moisture increases and the creep deformations become close for both soils when moisture closes to the saturation due to loss of the structural bonds of the loose soil. Experiments conducted on remolded samples with constant dry unit weight and variable initial moisture content showed that the increase of the initial moisture, increases the creep deformations, this increase was 160% when the moisture changed 5% to 16%. Experiments conducted showed The shear strength of the disturbed samples decrease compared with the undisturbed.

Key words :structural bonds , creep deformations, undisturbed samples, remodeled samples , maximum shear strength.

1-المقدمة

تعتبر تربة اللوس من أخطر أنواع الترب على المنشآت الهندسية نظراً للهبوط الكبير الذي يرافق التأسيس عليها ، وتنتشر هذه الترب في مختلف أنحاء العالم وتصادف في سورية على امتداد نهر العاصي من منطقة القصير مروراً بالرسن وصولاً إلى سهل الغاب ، وهناك الكثير من المنشآت خرجت من الخدمة بسبب التصدعات التي حصلت بها لدى تأسيسها على هذا النوع من الترب.

تتميز هذه الترب بمقاومتها الميكانيكية العالية عندما تكون في حالتها الجافة بينما تنهار بنيتها عند ترطيبها بشكل سريع يؤدي إلى حدوث هبوطات كبيرة فيها تصل لعشرات السنتيمترات مما يسبب تصدعات وتشققات وميول كبيرة في المنشآت المشادة عليها [11].

قد تكون تربة اللوس المنخفضة رملية غضارية أو غضارية رملية أو غضارية ، وقد تكون على الأغلب من اختلاط البقايا الترابية التي حملتها الرياح من المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية إلى المناطق المجاورة (الغابات) مع مخلفات بقايا الكائنات الحية التي تعيش على الطبقة العلوية من التربة ، أي أن منشأ هذه الترب هو الترسيب الجاف للجزيئات الصلبة المحملة مع الرياح و القادمة من مناطق مختلفة من العالم و التي تترسب على مناطق تغطيها نباتات عشبية كثيفة و مع الزمن تنفتت هذه النباتات لتخلف مكانها في التربة مسامات كبيرة و أفنية عمودية وهذا ما يفسر المسامية الكبيرة لهذه الترب (النسبة الكبيرة لجزيئات تربة اللوس هي من نوع السيلت كما و تحتوي جزيئات رملية) .

إن السماكات الأعظمية التي تصل إليها تربة اللوس المنخفضة تتراوح بين (15 - 20m) ويصعب بناء المنشآت على مثل هذا النوع من التربة بسبب الهبوط الكبير و غير المنتظم لأساساتها و الذي يحدث انهيار بهيكلها .

تتميز تشوهات الزحف في تربة اللوس بتشوه لحظي (أو ما يسمى بتشوه آني) كبير لحظة تطبيق الحمولة ثم تبدأ التشوهات مع الزمن ويزداد مقدار تشوهات الزحف بزيادة نسبة الغضار داخل التربة.

استعرض [4] أماكن تواجد طبقات اللوس في الصين والمخاطر الجيولوجية من وجود هذه التربة ودرس تأثير طريقة تشكل هذه الطبقات وظروف تشكلها في خصائص هذه التربة.

أظهر [3] تأثير وجود الأملاح على خصائص تربة اللوس من خلال التجارب التي أجريت على تربة يعود تشكلها إلى العصر الجليدي وتبين أن وجود الأملاح يسبب تدني مقاومة القص لتربة اللوس.

تتميز هذه التربة بالإضافة إلى مساماتها الطبيعية بوجود مسامات أخرى كبيرة تدعى بالمسامات الكبيرة و التي ترى بوضوح بالعين المجردة مع محتوى قليل لجزئيات الغضار مما يكسبها إمكانية كبيرة لتمرير الماء ، وعامل نفوذيتها يتغير أثناء الترطيب إلى أن يصبح ذو قيمة ثابتة وذلك بعد انتهاء عملية الإنخفاس.

بحث [6] في مخاطر التأسيس على تربة اللوس والأخطار الكبيرة التي يمكن أن تتعرض لها المباني المقامة على هذه التربة و أشكال الانهيارات التي تصيبها وطرق الحد من أضرارها ، ومخاطر مياه الصرف الصحي في التأثير على هذه التربة.

ذكر [7] أن التشوهات التي تحصل في هذه التربة تُعزى إلى زحف هيكل التربة ، فمن الناحية العملية إن تأثير الزمن على استقرار المنحدرات واستقرار ركائز الجسور هو دليل واضح على زحف هيكل التربة ، ومن المعروف أن التربة الإنخفاسية تُظهر تأثيرات زحف مثل الانزلاق على المدى الطويل للمنحدرات وهبوط الأعمال الهندسية مع مرور الزمن، لذلك من الضروري معرفة تأثير الزمن على التربة الإنخفاسية .

درس [9] ظاهرة الزحف في التربة الإنخفاسية و أظهر تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على هذه التشوهات ، و أوضح أن نظرية الزحف المتوارث الخطية توصف تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية .

بحث [1] في تأثير متانة الروابط وتأثير الرطوبة على هذه الروابط ، وأظهر تأثير الروابط على متانة التربة عندما تكون رطوبة التربة منخفضة وكلما ارتفعت رطوبة التربة قل تأثير الروابط على المتانة بحيث يتلاشى هذا التأثير من أجل الرطوبات المرتفعة.

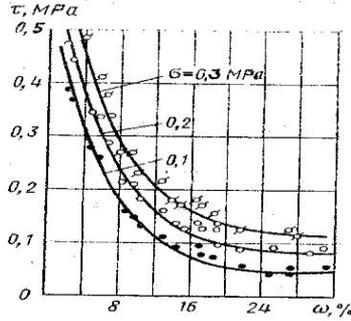
درس [11] خصائص الزحف لتربة اللوس الإنخفاسية باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور بمحتوى رطوبة منخفض وإجهاد خلية متغير، وأوضح أن ضغط الخلية ومحتوى الرطوبة لهما تأثير كبير على خصائص الزحف ، فعند ثبات ضغط الخلية وزيادة محتوى الرطوبة تزداد تشوهات الزحف ، وبالعكس تماماً فعند زيادة ضغط الخلية وثبات الرطوبة تتناقص قيمة تشوهات الزحف.

درس [12] خصائص الزحف لتربة اللوس الإنخفاسية ضمن جهاز الضغط ثلاثي المحاور مستخدماً ثلاثة أنواع من التربة ، تربة سليمة البنية وتربة معاد تشكيلها وتربة سليمة البنية في حالة الإشباع وذلك تحت ضغوط خلية مختلفة. وتوصل على أن جميع أنواع تربة اللوس تبدي خصائص تشوهات غير خطية ويكون التشوه في التربة المشبعة هو الأعلى ثم يليه العينات المعاد تشكيلها، ثم العينات سليمة البنية. مؤكداً أن الرطوبة والإجهاد والوزن الحجمي الجاف جميعها لها تأثير كبير على خصائص الزحف لتربة اللوس.

درس [11] خصائص الزحف لتربة اللوس باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور ومن أجل رطوبات مختلفة و قيم متنوعة لإجهاد التطويق ، ووضح أن إجهاد الخلية ومحتوى الماء لهما تأثير كبير إلى حد ما على خصائص الزحف ، كما أنه عمل على اقتراح علاقة رياضية مكونه من سبعة بارامترات قادرة على وصف العلاقة غير الخطية ضمن مرحلة الزحف المتسارع.

بحث [8] تأثير درجة الإشباع على مقاومة القص لتربة اللوس و تبين انخفاض مقاومة القص للتربة الإنخفاسية بزيادة الرطوبة الأولية.

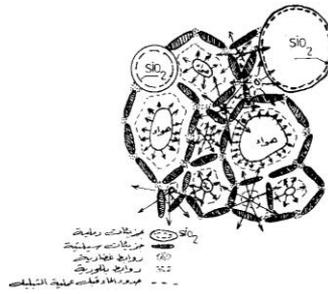
أظهر [9] أن مقاومة القص لتربة اللوس المنخفضة قبل ترطيبها تكون كباقي أنواع التربة الأخرى ، لكن زيادة الترطيب للتربة يعمل على تخفيض هذه المقاومة ويمكن وصف هذا السلوك كما في الشكل (1).



الشكل (1) انخفاض مقاومة القص مع زيادة الرطوبة [9]

لاحظ [5] تدني مقاومة تربة اللوس عندما تتهار الروابط البنيوية و تم بحث تأثير ظروف تشكل تربة اللوس على أهمية ومثانة الروابط وتبين انخفاض مقاومة القص لتربة اللوس بعد أن تُخرب روابطها من أجل الرطوبة ذاتها .

إن قوى الترابط بين جزيئات اللوس تتألف من روابط غضارية و روابط إسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة و كذلك الروابط عبر طبقة السيليكون (SiO_2) المتواجدة على محيط الجزيئات الرملية كما يبين الشكل (2). لذلك وعند ترطيب تربة اللوس فإن قوى الترابط هذه تضعف أو تتلاشى نهائياً فتتحطم قوى بنية هذه التربة ذات المسامات الكبيرة و تتشوه بشكل كبير (هبوطات كبيرة و خطيرة) ، حيث تضعف الروابط الغضارية و روابط السيليكون ، و يذوب قسم من الروابط الملحية ، كما تنعدم قوى الامتصاص في فراغات التربة.



الشكل (2) قوى الترابط بين جزيئات التربة اللوسية [5]

درس [10] تأثير الروابط البنيوية للتربة الإنخفاسية على مقاومة القص ، وتم وضع صيغ تربط بين مواصفات القص للتربة وقوة الترابط بين الذرات وتبين أن زاوية الاحتكاك الداخلي لا ترتبط بهذه القوى.

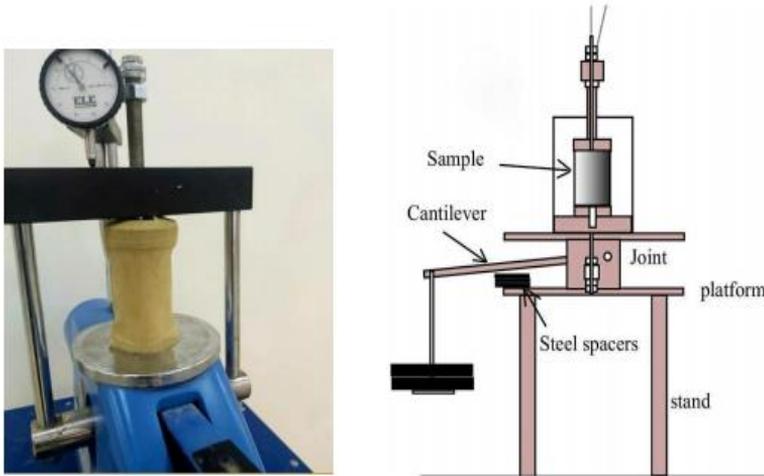
نظراً لتعقيد ظاهرة الزحف والعدد الكبير من العوامل المؤثرة عليها فقد تم تطوير العديد من النظريات لوصف سلوك الزحف لطيف واسع من المواد ، وتعد المسألة الأساسية في نظريات الزحف هي تحديد العلاقة [إجهاد ، تشوه ، زمن] ، تختلف هذه النظريات بالمعادلات التي تربط بين الإجهاد والتشوه والزمن ، بعبارة أخرى تختلف في طريقة الوصول لتلك المعادلات وفي كيفية وصف ظاهرة الزحف.

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

2-هدف البحث

يهدف البحث إلى :

- إبراز تأثير الوزن الحجمي الجاف لعينات الضغط الحر والخاضعة لإجهاد شاقولي ثابت على سلوك الزحف في التربة الإنخفاسية.
 - إظهار تأثير الروابط البنيوية على سلوك الزحف للتربة الإنخفاسية .
 - إبراز تأثير الرطوبة والروابط البنيوية على مقاومة القص لتربة اللوس ، وتأثير الروابط البنيوية بين الذرات على الإزاحة الأعظمية الموافقة لمقاومة القص الأعظمية لحالتي العينات سليمة البنية والعيّنات المشكّلة في المختبر .
- أجريت الدراسة المخبرية على الجهاز الموضح في الشكل (3) حيث وضعت العينة على جهاز التشديد لكي نضمن بقاء الإجهاد الشاقولي ثابت طيلة فترة إجراء التجربة.



الشكل (3) الجهاز المستخدم لإجراء التجارب

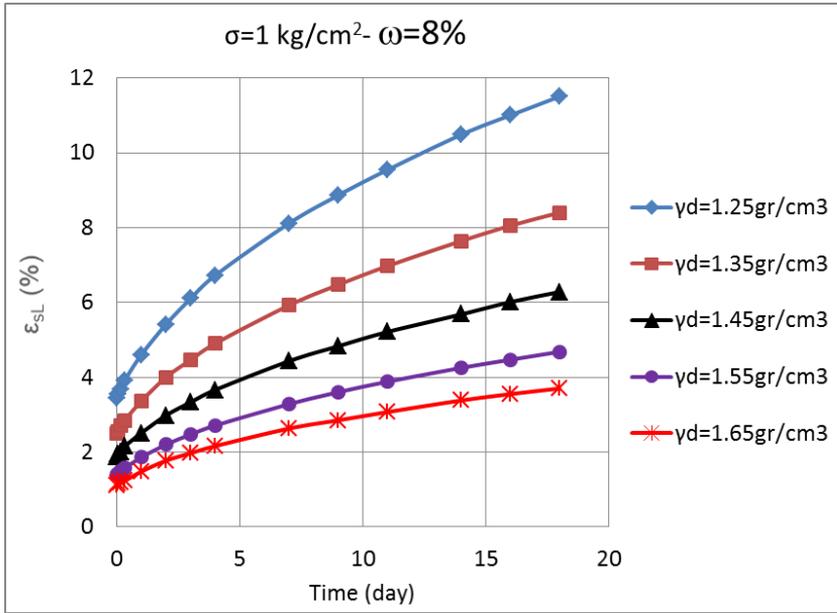
3- مواد وطرائق البحث

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

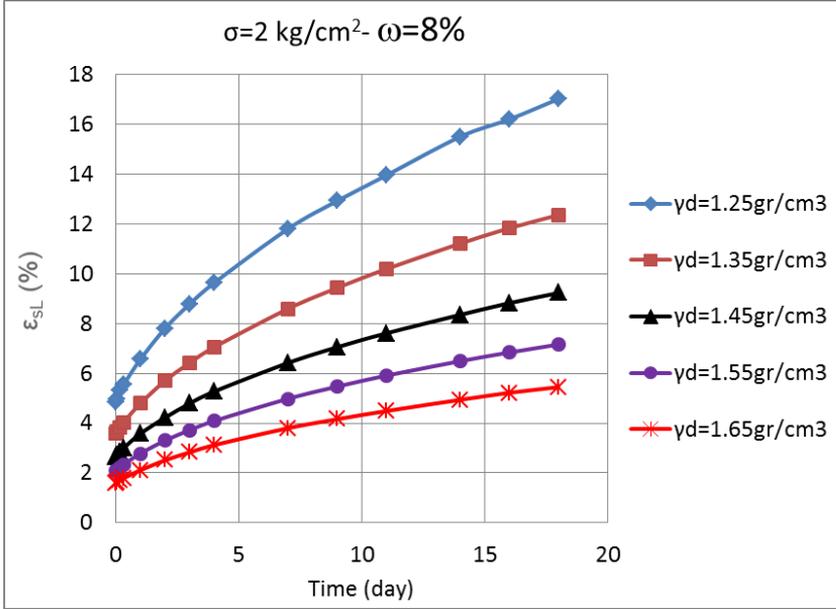
الجدول (1) الخواص الأساسية الفيزيائية والميكانيكية للتربة

موقع التربة	جوسيه (ريف القصير)	
محتوى الرطوبة	$\omega\%$	7.8
الوزن الحجمي الرطب	$\gamma_b \text{ g/cm}^3$	1.67
الوزن الحجمي الجاف	$\gamma_d \text{ g/cm}^3$	1.55
الوزن النوعي	G_s	2.7
الوزن الحجمي الجاف الأعظمي	$\gamma_{dmax} \text{ g/cm}^3$	1.79
الرطوبة الأصولية	ω_{opt}	16.8
رطوبة الإشباع	ω_{sat}	27.41
دليل الفراغات الابتدائي	e_0	0.74
درجة الإشباع	$Sr \%$	28.38
حد السيولة	$LL \%$	27.8
حدا اللدونة	$LP\%$	17.4
دليل اللدونة	$IP\%$	10.4
رمل	$S \%$	24.6
سيلت	$M \%$	52.6
غضار	$C \%$	22.8
زاوية الاحتكاك الداخلي	ϕ°	24.2
التماسك	$C \text{ kg/cm}^2$	0.46
نظام تصنيف التربة	USCS	ML

3-1 دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف على تشوهات الترب الإنخفاضية مع الزمن
 بهدف دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف على تشوهات الترب الإنخفاضية مع الزمن قمنا بتجهيز خمس مجموعات من التربة.
 باعتبار قيمة للرطوبة الأولية مقدارها $\omega=8\%$ و تطبيق إجهاد ناظمي ثابت قيمته $\sigma=1\text{kg/cm}^2$ ، تم تكرار التجارب خمس مرات بتغيير قيمة الوزن الحجمي الجاف في كل مرة وفق القيم ($\gamma_d=1.25 , 1.35 , 1.45 , 1.55 , 1.65 \text{ gr/cm}^3$) حيث استخدمت عينتين في كل تجربة.
 توضح الأشكال التالية (4,5) تغير تشوهات الترب الإنخفاضية مع الزمن علماً أن كل منحنى يوافق قيمة وزن حجمي جاف وكل مجموعة توافق قيمة محددة للإجهاد الناظمي المطبق على العينة.



الشكل (4) تغير تشوهات التربة الإنخفاضية مع الزمن



الشكل (5) تغير تشوهات التربة الإنخفاسية مع الزمن

يمكننا تقسيم كل مخطط من المخططات السابقة إلى تشوهات لحظية يرمز لها $\varepsilon(0)$ تحدث مباشرة بعد تطبيق الحمولة (الحمولة تبقى ثابتة طيلة فترة إجراء التجربة) ، وتوافق التشوه عند اللحظة ($t=0$) وتسمى أيضاً التشوه الفوري أو البدائي، والجزء الآخر من التشوهات يتم مع الزمن ويرمز له $\bar{\varepsilon}(t)$ ، وبالتالي يمكن أن نعبر عن التشوهات مع الزمن للتربة الإنخفاسية بتغير الوزن الحجمي الجاف بالصيغة التالية :

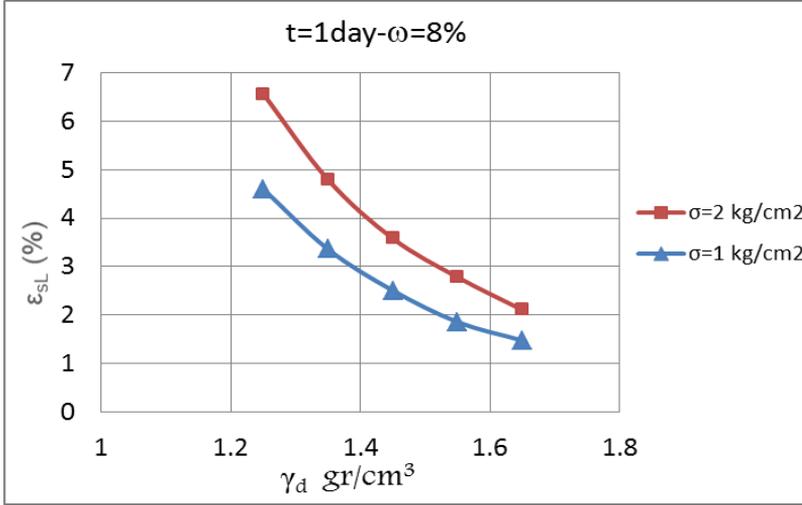
$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \bar{\varepsilon}(t) \dots \dots \dots (2)$$

كذلك وكما هو مبين من المخططات فإن تشوهات الزحف $\bar{\varepsilon}(t)$ في 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.

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \bar{\varepsilon}_I(t) + \bar{\varepsilon}_{II}(t) \dots \dots \dots (3)$$

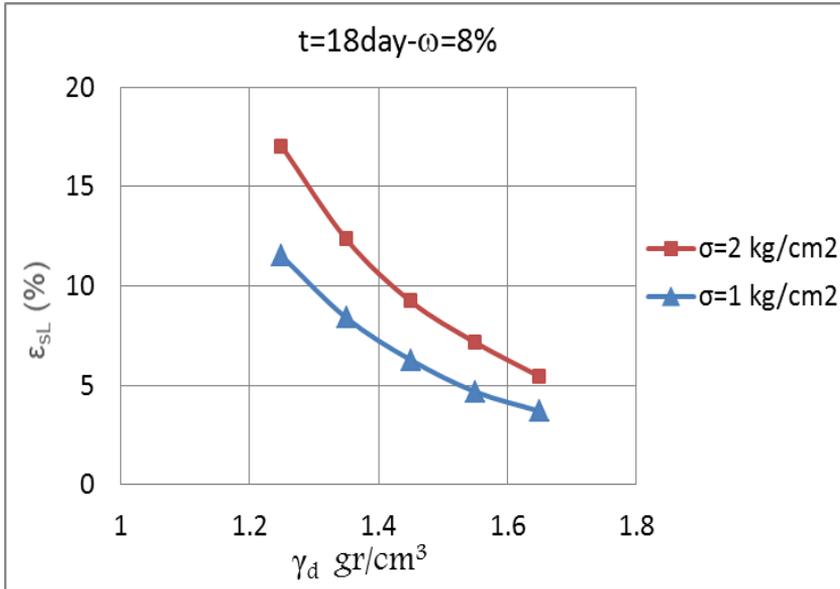
وكل مرحلة من هذه المراحل تستمر (تطول أو تقصر) تبعاً لنوع التربة وقيمة الإجهادات المطبقة ورطوبة التربة. يتمتع كل منحنى ضمن مرحلة الزحف المستقر بميل مستقيم ($d_e/d_t =$ سرعة التشوه) يتعلق بقيمة الإجهاد المطبق وقيمة الوزن الحجمي الجاف

للعيينة. لإظهار تأثير الوزن الحجمي على تشوهات الزحف تم رسم العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف وقيم التشوهات مع الزمن عند فواصل زمنية مختلفة (t=1-18 day) كما هو وارد في الأشكال التالية (6,7).



الشكل (6) تغيير تشوهات التربة الإنخفاسية مع الزمن تبعاً لتغير الوزن الحجمي الجاف

t=1 day



الشكل (7) تغيير تشوهات التربة الإنخفاسية مع الزمن تبعاً لتغير الوزن الحجمي الجاف عند

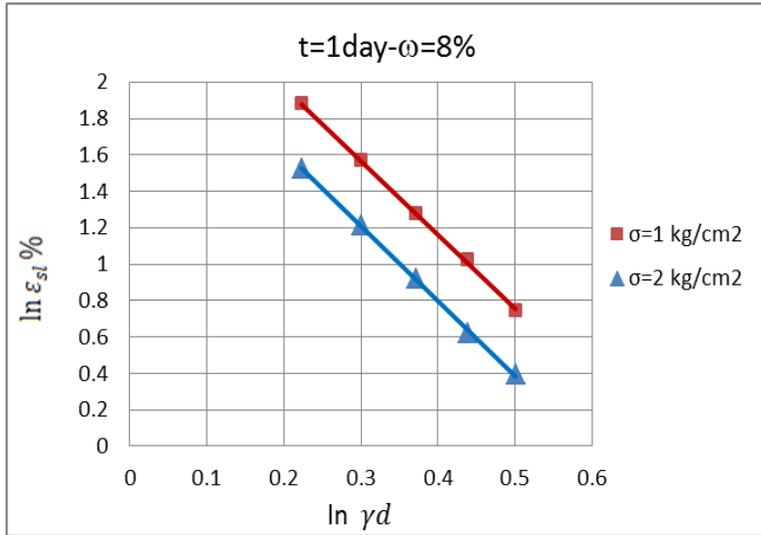
t=18day

نلاحظ من المنحنيات الواردة في الأشكال (6,7) كلما ازدادت قيمة الوزن الحجمي الجاف تتخفف قيمة التشوهات مع الزمن. من المنحنيات تم استنتاج صيغة رياضية يمكن من خلالها حساب قيمة التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية بدلالة الوزن الحجمي الجاف للتربة :

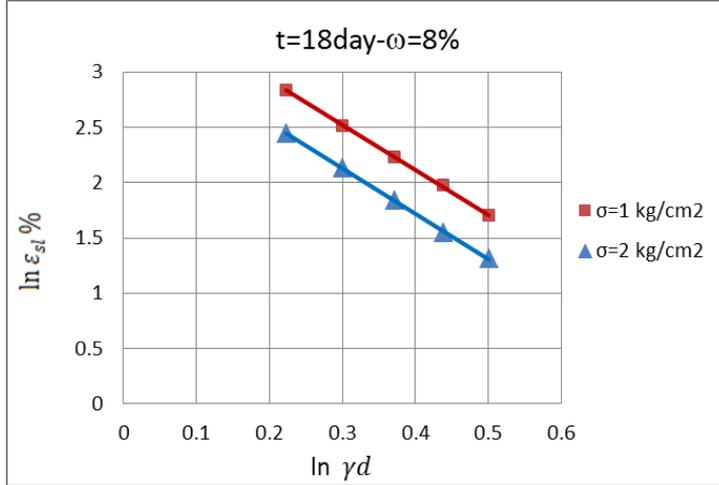
$$\varepsilon_{sl}(t) = \lambda * \gamma_d^{-m} \dots\dots\dots(4)$$

حيث λ, m ثوابت زحف يمكننا تحديدها لو رسمنا النتائج المخبرية في جملة احداثيات يكون فيها محور الترتيب $\ln \varepsilon_{sl}(t)$ ، ومحور الفواصل $\ln \gamma_d$. تبين الأشكال (8,9) تغير تشوهات الزحف مع الزمن بتغير قيمة الوزن الحجمي الجاف.

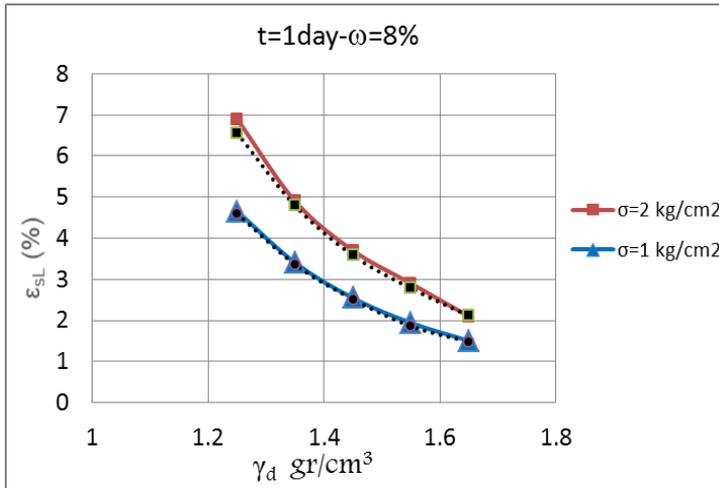
الثابت m يعبر عن ميل المستقيمات، أما تقاطع المستقيمات مع محور الترتيب فيعبر عن قيمة $\ln \lambda$.

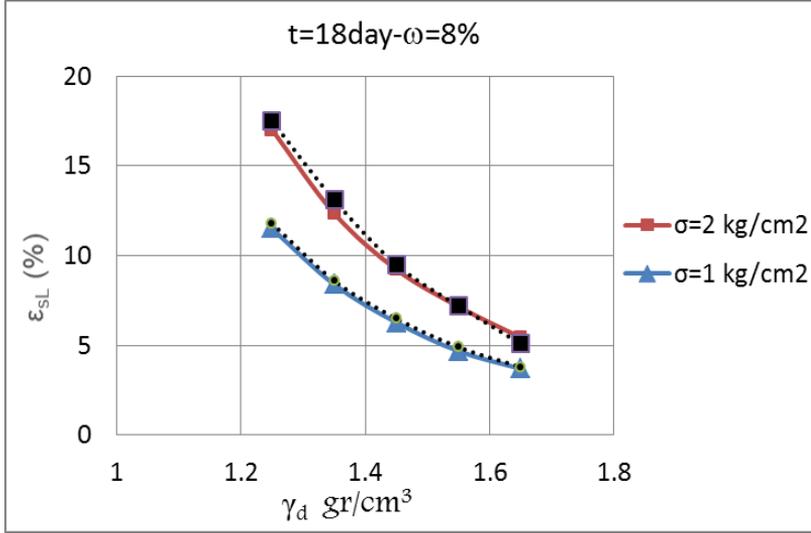


الشكل (8) تحديد الثوابت λ, m من أجل $t=1\text{day}$

الشكل (9) تحديد الثوابت λ, m من أجل $t=18\text{day}$

إن وقوع النقاط على استقامة واحدة يعطي موثوقية للعلاقة المقترحة (4) ونلاحظ أن قيمة الثابت $m=4.07$ أما قيمة الثابت λ تتعلق بقيمة الإجهاد المطبق على العينة عند حصول تشوهات الزحف. للتأكد من موثوقية العلاقة (4) فقد أجرينا مقارنة بين قيم تشوهات الزحف مع الزمن المأخوذة من التجربة ورمزنا لها بخط مستمر والمنحني الآخر المنقط يمثل قيم التشوهات مع الزمن المحسوبة من الصيغة (4)، إن العلاقة المقترحة تتمتع بدقة جيدة في وصف تشوهات الزحف للترب الإنخفاسية بتغير الوزن الحجمي الجاف. الأشكال (10,11) توضح هذه النتائج.

الشكل (10) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن $(t=1\text{day})$



الشكل (11) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن (t=18day)

2-3 تأثير قوى الترابط على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن

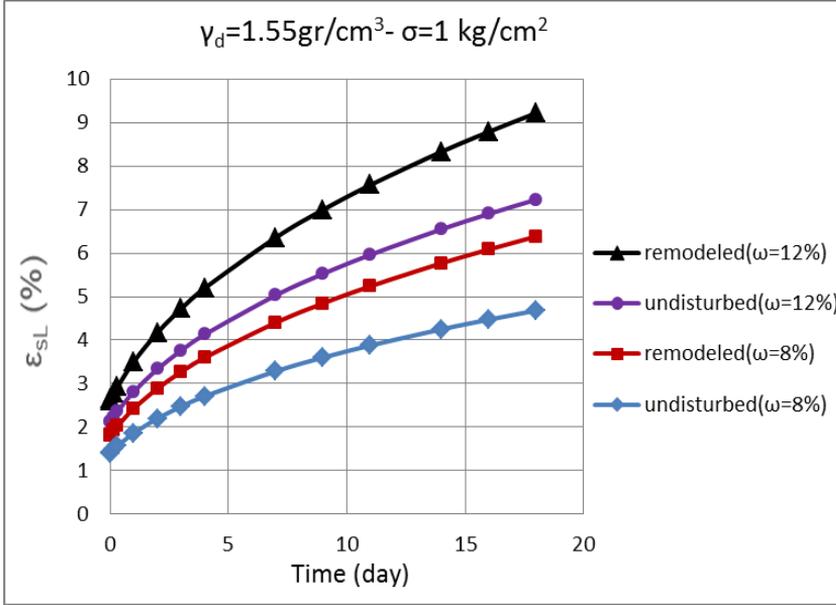
لتوضيح تأثير قوى الترابط البنيوية بين ذرات التربة على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن قمنا بتجهيز مجموعتين من العينات.

المجموعة الأولى تتكون من عینتين سليمتي البنية ، كل عينة لها محتوى رطوبة وهو $\omega=8,12\%$ على التوالي.

المجموعة الثانية تتكون من عینتين شكلتا بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف للعينة السليمة والبالغ $\gamma_d=1.55 \text{ gr/cm}^3$.

عينات المجموعة الثانية هي عينات مخربة البنية تم تشكيلها في المختبر بقيمة الوزن الحجمي الجاف المشار إليه وبمحتوى رطوبة $\omega=8,12\%$ ، وتم تحميل جميع العينات السليمة و المخربة (المعاد تشكيلها) بإجهاد قيمته $\sigma=1 \text{ kg/cm}^2$.

يبين الشكل (12) تشوهات الترب الإنخفاسية للعينات سليمة البنية والعينات المخربة.



الشكل (12) تأثير الروابط البنيوية على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن من أجل $\omega=8,12\%$ ، $\sigma=1\text{kg/cm}^2$

النتائج الموضحة في الشكل (12) تظهر أن التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية للعينات سليمة البنية هو أقل من التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية للعينات المعاد تشكيلها ومن أجل قيم مختلفة للرطوبة .

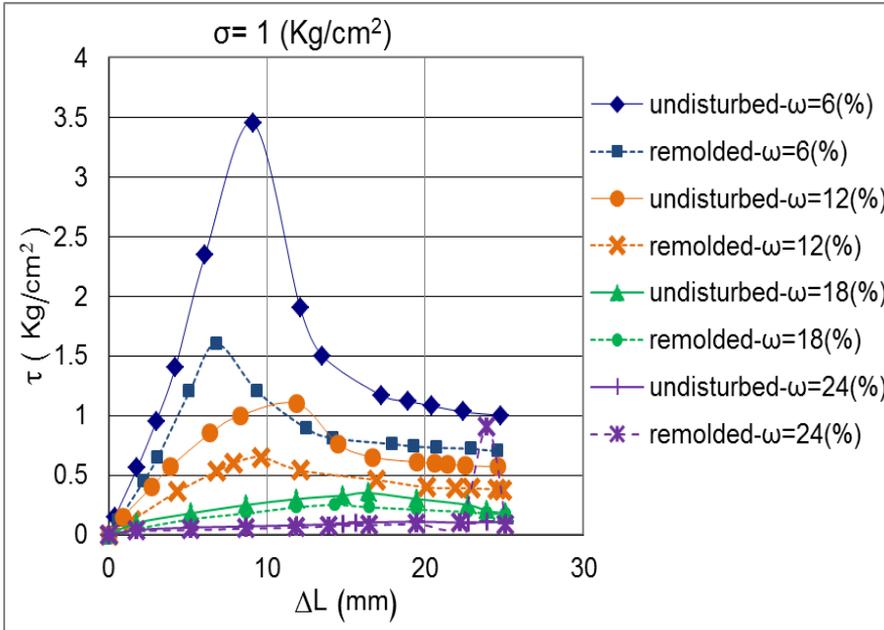
يتم تفسير ذلك بأن الروابط بين الذرات للعينات السليمة تزيد من مقاومة التربة فالروابط بين الذرات عبارة عن روابط غضارية وروابط اسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة وكذلك عبر طبقة السليكون المتواجدة على محيط الجزيئات الرملية فعند تحطيم بنية التربة وإعادة تشكيلها من جديد يؤدي ذلك إلى تحطيم هذه الروابط وتصبح التربة أكثر عرضة للتشوهات ، كما أن هذه الروابط تضعف وتتلاشي بزيادة محتوى الرطوبة للعينة لأنه عند زيادة محتوى الرطوبة يعمل الماء على إذابة الروابط الملحية والإضعاف من قوى التماسك بين الذرات وتصبح التربة أكثر عرضة للتشوه.

3-3 - تأثير قوى الترابط والرطوبة الابتدائية على مقاومة القص لتربة اللوس

لإبراز تأثير قوى الترابط البنيوية بين ذرات التربة والرطوبة الابتدائية على مقاومة القص أجريت تجارب القص المباشر على مجموعتين من العينات .

المجموعة الأولى تتكون من أربع عينات سليمة البنية، كل عينة توافق رطوبة ابتدائية محددة وهي على التوالي ($\omega = 6,12,18,24\%$).

أما المجموعة الثانية من العينات فتتكون من أربع عينات شكلت بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف للعينات السليمة البنية والبالغ ($\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$) ، و نفس قيم الرطوبة الابتدائية ($\omega = 6,12,18,24\%$) ، بحيث أجريت تجربة القص المباشر على عينتين لهما نفس الرطوبة الابتدائية ونفس قيمة الوزن الحجمي الجاف، العينة الأولى سليمة البنية أخذت من كتلة التربة و العينة الثانية تم تشكيلها في المختبر، وقصت العينات بسرعة قص ثابتة قيمتها (0.5 mm/min) بعد أن طبق عليها إجهاد ناظمي ثابت قيمته $\sigma = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$. الشكل (13) يبين نتائج تجارب مقاومة القص للتربة.



الشكل (13) تغير مقاومة القص مع الإزاحة تبعاً للرطوبة الابتدائية وروابط التربة

ويبدو من الشكل (13) أن مقاومة القص الأعظمية للتربة تزداد كلما كانت الرطوبة الابتدائية منخفضة، كذلك فإن مقاومة القص الأعظمية تكون قيمتها أكبر للعينات سليمة البنية مقارنةً مع مقاومة القص الأعظمية لعينات التربة المشكلة في المختبر من أجل نفس الرطوبة الابتدائية و نفس قيمة الوزن الحجمي الجاف ، مما يشير إلى أهمية قوى الترابط بين الذرات في زيادة مقاومة القص الأعظمية للتربة عند محتوى رطوبة منخفض، ويقل الفارق بين مقاومتي القص للعينتين كلما ازدادت الرطوبة الابتدائية للتربة بحيث يتلاشى تأثير الروابط عند الرطوبة القريبة من رطوبة الإشباع.

يبين الجدول رقم (2) نتائج مقاومة القص الأعظمية للعينات سليمة البنية والعيّنات المخربة البنية التي شكلت في المختبر بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف للعينات السليمة ومن أجل قيم مختلفة للرطوبة الأولية ، كما يظهر الجدول النسبة بين مقاومتي القص لكلا الحالتين ومن أجل القيم المختلفة للرطوبة.

الجدول رقم (2) نتائج مقاومة القص الأعظمية للعينات سليمة البنية والعيّنات المخربة البنية

24	18	12	6	$\omega\%$
0.1	0.35	1.1	3.45	$\tau_{\max}(\text{undisturbed}) (\text{kg/cm}^2)$
0.1	0.25	0.65	1.6	$\tau_{\max} (\text{remolded}) (\text{kg/cm}^2)$
1	1.4	1.7	2.2	$\frac{\tau_{\max} (\text{undisturbed})}{\tau_{\max} (\text{remolded})}$

يظهر من الجدول أن النسبة بين المقاومتين تتخفّض مع زيادة رطوبة التربة لتصل إلى قيمة تصبح المقاومتين متقاربتين.

تفسر الزيادة في مقاومة القص الأعظمية للعينات سليمة البنية بأن قوى الترابط بين جزيئات تربة اللوس تتألف من روابط غضارية وروابط إسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة وكذلك الروابط عبر طبقة السيليكون (SiO_2) المتواجدة على محيط الجزيئات

الرمليّة. لذلك وعند ترطيب تربة اللوس فإن قوى الترابط هذه تضعف أو تتلاشى نهائياً والروابط الملحية تذوب عندما تكون رطوبة التربة قريبة من رطوبة الإشباع مما يؤدي لانخفاض المقاومة وتصبح مقاومة القص متقاربة في حالتي العينات سليمة البنية والمخرية عند ارتفاع رطوبة التربة البدائية وقربها من رطوبة الإشباع.

أما لمعرفة تأثير الرطوبة الابتدائية على مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية لكلا العينتين السليمة والمخرية فيبدو من الجدول (3) أن مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية تزداد بزيادة الرطوبة الابتدائية للتربة، ومن أجل رطوبة ابتدائية ثابتة تكون قيمة الإزاحة أكبر للعينات السليمة البنية مقارنة مع العينات المخرية والمشكلة في المختبر.

الجدول (3) تغيير مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية مع الرطوبة الابتدائية

24	18	12	6	$\omega\%$
1.0	1.1	1.2	1.3	$\Delta L(\text{undisturbed}) / \Delta L(\text{remolded})$

ويوضح الجدول الفارق بين الإزاحتين للعينتين المجربتين وتصبح الإزاحتين متقاربتين من أجل رطوبة قريبة من رطوبة الإشباع مما يشير إلى انحلال الروابط بين ذرات التربة بوجود الماء.

4- النتائج والتوصيات:

- 1- الوزن الحجمي الجاف له تأثير كبير على سلوك الزحف للترب الإنخفاسية حيث تتخضع قيمة تشوهات الزحف للتربة الإنخفاسية بزيادة قيمة الوزن الحجمي الجاف ومنه فإن رص التربة بهدف رفع قيمة الوزن الحجمي الجاف لها يساعد في التقليل من تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية .
- 2- استنتاج صيغة رياضية تعبر عن تغير التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية بتغير قيمة الوزن الحجمي الجاف للتربة العلاقة (4).
- 3- الروابط البنيوية بين ذرات التربة الإنخفاسية عبارة عن روابط غضارية و روابط اسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة وكذلك عبر طبقة السليكون فعند تحطيم هذه الروابط وتشكيل عينات جديدة (عينات مخربة البنية) تبدي العينات تشوهات زحف أكبر مما تبديه العينات السليمة المحافظة على هذه الروابط ، وتصبح تشوهات الزحف متقاربة عندما تزداد رطوبة التربة وتصبح قريبة من رطوبة الإشباع .
- 4- مقاومة القص الأعظمية للتربة سليمة البنية أكبر من مقاومة القص للتربة المخربة البنية عند الرطوبات المنخفضة ، ويقل الفارق بين المقاومتين كلما زادت رطوبة التربة بحيث تصبح القيمتين متقاربتين عندما تصبح رطوبة التربة قريبة من رطوبة الإشباع.
- 5- الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية للعينات السليمة هي أكبر من الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية للعينات مخربة البنية وتتقارب قيمتي الإزاحة عندما تصبح رطوبة التربة قريبة من رطوبة الإشباع .
- 6- نوصي بإجراء نمذجة عددية لوصف سلوك الزحف للترب الإنخفاسية عددياً آخذين بعين الاعتبار جميع البارامترات المؤثرة على هذه التشوهات.

References:

- 1- Assallay, A.M., Rogers, C.D.F., Smalley, I.J., 1997. Formation and collapse of metastable particle packings and open structures in loess deposits. Eng. Geol. 48 (1-2), 101-115.
- 2- ASTM.D. 4318-93, Standard Tests Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- 3- Derbyshire, E., Mellors, T.W., 1988. Geological and geotechnical characteristics of some loess and loessic soils from China and Britain: a comparison. Eng. Geol. 25, 135-175.
- 4- Derbyshire, E., 2001. Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China. Earth Sci. Rev. 54, 231-260.
- 5- Dijkstra, T.A., Smalley, I.J., Rogers, C.D.F., 1995. Particle packing in loess deposits and the problem of structure collapse and hydro consolidation. Eng. Geol. 40, 49-64.
- 6- Ding, Z.Q., Li, Z.H., 2009. Geological Hazards and their Prevention in Lanzhou City. Gansu Publishing House of Science and Technology, Lanzhou (472 pp).
- 7- Furong Yan and Xiaodan Yue 2019 " Analysis on Creep Characteristics and Microscopic Mechanism of Loess "
- 8- Mitchell JK. Fundamentals of soil behavior [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1976: 40-56.

- 9- Mustafaev.A.A. (1989) Foundations in collapsing and Expansive Soils Higher School Moscow.
- 10- Shao,S.J.,and Deng,G. H. 2008. The strength characteristics of loess with different structures and its application in analyzing the earth pressure on loess tunnel. China Civil Engineering Journal, 41(11),93-98
- 11- Smalley,I.J., Vita-Finzi, C., 1968. The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of "desert" loess. 38, 766-774.
- 12- WANG Song-he, LUO Ya-sheng 2009" Experimental study on creep characteristics of loess under complex stress"

