

علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع بعض الخصائص الميكانيكية لتربة طينية معاملة بالنورة

فؤاد عبدالله محمد علي
/مدرس مساعد
قسم الهندسة المدنية
جامعة كركوك

موفق ابو عواد
/مدرس مساعد
قسم الهندسة المدنية
جامعة الموصل

زهير اسماعيل موسى
مدرس مساعد
قسم هندسة الموارد المائية
جامعة الموصل

المستخلص

يهدف هذا البحث الى إيجاد علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية وبين الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للتربة . تم في هذا البحث إيجاد علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال نماذج التربة وقوة الانضغاط غير المحصور والكثافة الجافة ووقت الإنضاج لنماذج تربة طينية عالية اللدونة . هذه النماذج رصت في حالتها الطبيعية بطاقة رص قياسية ومعدلة , وكذلك في حالة معاملة هذه النماذج بنسب مختلفة من النورة (2, 4, 6, 8,)% المرصومة بطاقة رص معدلة وثلاث نسب من المحتوى الرطوبي (O.M.C , O.M.C ±4) . هذه النماذج عرضت لفترات مختلفة من الإنضاج (0 , 2, 10 , 20 , 42) يوم وبدرجة حرارة إنضاج (25°) , بعد انتهاء فترات الإنضاج فحصت هذه النماذج بالطريقة غير الاتلافية باستخدام جهاز قياس سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية ثم فحصت باستخدام جهاز قوة الانضغاط غير المحصور, بعد تحليل النتائج وجدت علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية وقوة الانضغاط غير المحصور والكثافة الجافة وكذلك وقت الانضاج وبمعاملات ارتباط عالية ولكل الخصائص.

Relation Between Ultrasonic Pulse Velocity and Some Mechanical Properties of Clayey Soil Treated with Lime

Z. I. M. Abdullah
Assist Lecturer
Water Resources Engg. Dept.
Mosul University

M. A. A. Al-Atalla
Assist Lecturer
Civil Engg. Dept.
Mosul University

F. A. M. A. Abdullah
Assist Lecturer
Civil Engg. Dept.
Kirkuk University

Abstract

The present study aims to obtain a relationship between the ultrasonic pulse velocity which is one of nondestructive method of material testing and some of soil mechanical and physical properties. In this study a relationship between the ultrasonic pulse velocity through the soil samples and the unconfined compressive strength, dry density and curing time was obtained in high plasticity clayey soil. The soil was compacted in the cases of natural condition in standard and modified compaction effort, and in the treated condition with (2,4,6,8) percent of lime, compacted with modified compaction effort for three percent of water content(O.M.C, O.M.C ±4) these samples cured in (25°)temperature in different curing time (0,2,10,20,42) day . After curing time end, all samples tested in ultrasonic device and unconfined compressive strength device. The results obtain from these tests, analyze and get a good relationship between the ultrasonic pulse velocity and the unconfined compressive strength, dry density and curing time with high correlation coefficient in all properties.

1 - المقدمة :

من الخواص الميكانيكية المهمة للتربة هي قوة تحملها التي يتم الحصول عليها من فحوصات عدة، ومن هذه الفحوصات، فحص قوة الانضغاط غير المحصور باستخدام جهاز فحص الانضغاط الحر (Unconfined compression machine) اذ يجرى وفقا للمواصفات الأمريكية [2].

ومع تطور التقنية في صناعة الأجهزة فقد صنعت أجهزة حديثة لقياس قوة النماذج بالطرق غير الإتلافية وسميت بذلك لان النموذج يبقى محافظاً على بنيته بعد الفحص. يعتمد مبدأ العمل على إرسال موجات فوق صوتية من جهة من النموذج عن طريق المجس المرسل للموجة ومن ثم مرورها بالنموذج إلى الجهة الثانية حيث المجس المستقبل. يتم تسجيل قراءة الوقت اللازم لانتقال الموجة بين طرفي النموذج [13].

ومن الجدير بالذكر أن هذه الأجهزة استخدمت في البداية لقياس سرعة انتقال الموجات في المعادن للتعرف على وجود الشقوق في هذه المعادن [12]. بعد ذلك طورت هذه الأجهزة لاستخدامها في فحص نماذج من الخرسانة والصخور ، حيث انتشرت في الأونة الأخيرة بنحو واسع وذلك لسهولة العمل بها وسرعة الحصول على النتائج فضلاً عن الدقة في إعطاء النتائج [12].

تتأثر سرعة انتقال الموجة في النموذج المراد فحصه بعدة عوامل من أهمها (الكثافة والمسامية والمحتوى الرطوبي والتركيب المعدني والتدرج الحبيبي ومستوى الأجهاد وتأثير الظروف الجوية ودرجة الحرارة) [13]. تم إيجاد علاقات بين العوامل المذكورة أعلاه مع سرعة انتقال الموجة لنماذج من أنواع عدة من الصخور منها (الحجر الجيري والحجر الرملي والكرانيت والبازلت والكوارتز والمارل). فوجد إن هناك علاقة طردية بين سرعة انتقال الموجة مع كثافة النماذج أي تزداد سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع زيادة كثافة الصخور وقد يكون سبب ذلك هو أن زيادة الكثافة تؤدي إلى تقارب الجزيئات من بعضها وبذلك تكون الفراغات اقل وسرعة انتقال الموجة أعلى، كما وجد علاقة بين سرعة انتقال الموجة مع المسامية (n) أيضا فكانت العلاقة عكسية أي تقل سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال الصخور مع زيادة مساميتها. تم إيجاد علاقة بين سرعة انتقال الموجة مع قوة الانضغاط غير المحصور أيضا. أن زيادة قوة الانضغاط غير المحصور يرافقه زيادة في سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية [13].

أجريت معظم الدراسات في هذا المجال على الصخور، أما في مجال التربة فقد كان استخدامها محدود جدا. أجريت دراسة على تربة رملية لإيجاد علاقة بين الكثافة النسبية للتربة مع سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية، إذ أن الكثافة النسبية تعتمد على الكثافة الجافة العظمى والصغرى للتربة الرملية كما تعتمد على حجم الحبيبات المكونة للتربة. إن لخاصية الكثافة النسبية علاقة مع قوة وانضغاطية ونفاذية الترب الرملية ففي هذه الدراسة تم التوصل إلى وجود علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع الكثافة العظمى والصغرى للترب الرملية مع نسبة المواد الطينية والغرينية التي تضاف الى التربة بنسب مختلفة . إذ بمعرفة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال النموذج يمكن إيجاد الكثافة العظمى والصغرى لذلك النموذج بالاعتماد على العلاقات التي تم الحصول عليها دون الحاجة الى تجارب معقدة وكميات كبيرة من التربة لإيجاد تلك الخواص [8].

كما استخدم [1] طريقة الموجات فوق الصوتية كطريقة غير إتلافية لفحص النماذج لإيجاد علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية ومعامل (Resilient Modulus) لنماذج أعدت لفحص نسبة التحمل الكليفورني (

(C.B.R)، رصت بثلاث نسب من المحتوى الرطوبي و عدة فترات من الغمر ، وبين بان سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية تقل مع زيادة نسبة الرطوبة ، كما وان سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية تقل أيضاً مع زيادة مدة الغمر بالماء .

ووجد [11] علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع نسبة بوسون (Poisson's Ratio) لنماذج أعدت لفحص نسبة التحمل الكليفورني لفترات غمر مختلفة وبين أن سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية تقل مع فترات الغمر بالماء.

وفي هذه الدراسة استعملت مادة النورة التي هي ناتج حرق صخور الحجر الجيري في درجات حرارة عالية، في تثبيت التربة المختارة للدراسة والتي هي تربة طينية من منطقة الجامعة في مدينة الموصل وذلك لتحسين خواصها الميكانيكية والحصول على نماذج ذات كثافات وقوة انضغاط غير محصور مختلفة [4]. يتم فحص النماذج بالطرائق غير الأتلافية وذلك باستخدام تقنية الموجات فوق الصوتية بإرسال موجات فوق صوتية خلال النموذج واستقبالها من الجهة الثانية ثم بعد ذلك يفحص النموذج بالطرق الأتلافية لمعرفة قوته. هدف الدراسة الحالية تتضمن إيجاد علاقة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع خاصية مهمة من الخواص الفيزيائية للتربة وهي الكثافة وكذلك خاصية مهمة من الخواص الميكانيكية للتربة وهي قوة الانضغاط غير المحصور، كما تمت دراسة العلاقة بين سرعة انتقال الموجة مع وقت الإنضاج للنماذج المعاملة بالنورة ولفترات إنضاج مختلفة.

2- المواد المستخدمة وطرائق العمل:

1.2 المواد المستخدمة :

1.1.2 . التربة : استخدمت نماذج من التربة المشوشة (Disturbed soil) من تربة طينية من عمق(1.5) متر تحت مستوى الأرض الطبيعية من منطقة الجامعة في مدينة الموصل، وبين الجدول رقم (1)الخصائص الدليلية والكيميائية لهذه التربة. صنفت التربة على أنها تربة طينية عالية اللدونة (CH) وفقا لنظام التصنيف الموحد، كما تم إيجاد الكثافة الجافة العظمى بالطاقة القياسية والمعدلة فكانت $(18.4, 16.5)$ kN/m³ على التوالي، والمحتوى الرطوبي الأمثل عند الرص بالطاقة القياسية والمعدلة (17.5، 21.0) % على التوالي.

2.1.2 . الماء : استخدم ماء الإسالة الاعتيادي في هذه الدراسة لكافة التجارب، عدا تجارب الخصائص الدليلية والكيميائية للتربة، فقد استخدم الماء القطر .

3.1.2 . النورة : كانت النورة المستعملة بصيغة هيدروكسيد الكالسيوم (Ca(OH)₂) (النورة المطفأة) و التي تم جلبها من معمل كبريت المشراق الكائن في محافظة نينوى.

2.2. طرائق العمل:

1- الوزن النوعي (Specific gravity (Gs): تم إجراء هذا الفحص على التربة الطبيعية وحسب طريقة الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد الإنشائية [2].

2- حدود إتبريك Atterberg limits: اعتمدت طريقة الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد الإنشائية [1] لحساب حدي السيولة واللدونة على التوالي . أما فحص الانكماش الخطي فقد اعتمدت الطريقة المدونة في المواصفات البريطانية [3].

3- التدرج الحبيبي Grain size Analysis: اعتمدت طريقة الجمعية الأمريكية للفحوصات والمواد [2].

4- الأملاح الذائبة الكلية Total soluble salts: اعتمدت الطريقة المذكورة في [9] لحساب نسبة الأملاح الذائبة الكلية مع مراعاة نسبة التخفيف أن تكون (1:1000) لضمان إذابة جميع الأملاح.

5- المواد العضوية Organic Matter: تم حساب نسبة المواد العضوية بالاعتماد على طريقة المدونة البريطانية [3].

6- الرقم الهيدروجيني pH Value: تم الاعتماد على الطريقة المقترحة من قبل [6] لحساب قيمة الرقم الهيدروجيني pH.

1.2.2. تهيئة النماذج (sample Preparation): تم إعداد برنامج عمل لإجراء الفحوصات المختبرية الخاصة بالبحث ، إذ تم تهيئة نماذج التربة الجافة بوزن (500) غرام لكل نموذج. عوملت نماذج التربة بنسب مختلفة من النورة هي (2، 4، 6، 8) % من وزن التربة الجافة. تمت إضافة نسب من الماء ثم مزج الخليط ووضع المزيج في كيس من النايلون وترك في المختبر لمدة ساعة لغرض التجانس [10] ، بعد ذلك رصت النماذج باستخدام قالب رص بإبعاد (D=5cm,H=10cm) بطاقة رص معدلة وعرضت النماذج للإنضاج بدرجة حرارة (25°) ولقترات إنضاج مختلفة هي (0، 2، 10، 20، 42) يوم وعند ثلاث نسب من المحتوى الرطوبي هي (O,M,C، O,M,C±4) ثم غلقت النماذج بورق الألمنيوم وشمع البارافين بطبقات عدة ووضعت في الفرن لغرض الإنضاج.

2.2.2. الفحوصات المختبرية (Lab tests): بعد إكمال مدة الإنضاج للنماذج المعاملة بالنورة أخرجت النماذج من الفرن وتركت في جو المختبر لمدة ساعة ثم فحصت بطريقتين :

1- الطرق غير الاتلافية (Non-destructive test method): تم استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية (Tester Ultrasonic pulse velocity) في هذه الطريقة والتي تعتمد على إيجاد سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال نموذج التربة الأسطوانية ذو الأبعاد (D=5cm,H=10cm) نوع الجهاز المستخدم في الفحص هو (ALPHA 2008) وبتردد (55kHz) والموضح في الصورة، شكل رقم (1) والذي يتكون من مجسات (Transducers) عدد (2) تثبت على جانبي النموذج أثناء الفحص احدهما مرسل للموجة والأخر مستقبل لها، فضلا عن هيكل الجهاز الإلكتروني، وفيه شاشة تظهر فيها أرقام تمثل الوقت الذي تستغرقه الموجة خلال النموذج أثناء الفحص ووحدة الوقت فيه بالميكرو ثانية.

إن طريقة الفحص تتم بأخذ النموذج ثم طلائه بطلاء شحمي المعروف محليا بمادة الكريز (grease) من الجوانب (من جهتي التلامس مع المجسات) لغرض القضاء على الفقاعات الهوائية أثناء الفحص وانتقال الموجة بشكل صحيح دون تشتتها. يتم الضغط على جانبي النموذج بواسطة المجسات حيث تبعث الموجة من احد المجسات (المرسل) مارّة خلال النموذج باتجاه المجس الآخر (المستقبل) وهذه الموجة تستغرق زمنا معينا خلال مرورها بالنموذج، يظهر هذا الوقت على شاشة الجهاز الموضح في الشكل رقم (1) .

ومن الجدير بالذكر إن لطول النموذج تأثير على سرعة انتقال الموجة خلال النموذج [8] وتم في هذه الدراسة تثبيت طول النموذج بـ(10cm) لكافة النماذج. هذا يعني أن طول مسار الموجة هو (10 cm) أثناء انتقالها بين طرفي النموذج، وعند معرفة زمن انتقال الموجة وطول مسار الموجة المثبت مسبقا يتم إيجاد سرعة انتقال الموجة (m/sec) وكما يأتي:

$$Pulse\ velocity = \frac{Path\ Length}{Transmission\ Time}$$

موسى: علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع بعض الخصائص الميكانيكية لتربة طينية معاملة بالنورة



شكل رقم (1): صورة لجهاز فحص سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع نموذج تربة.

جدول رقم (1) خصائص التربة الطبيعية المستخدمة في الدراسة.

النتيجة	الخاصية	
60	حد السيولة (LL) %	حدود أتبريك
36	حد اللدونة (PL) %	
24	دليل اللدونة (PI) %	
14	الانكماش الخطي (L.S) %	
2.7	الوزن النوعي (G_s)	
CH	حسب نظام التصنيف الموحد (U.S.C.S)	
0 %	الحصى % < 4.76 ملم	
9%	0.074 ملم > الرمل % \geq 4.76 ملم	
38%	0.002 ملم > الغرين % \geq 0.074 ملم	
53%	الطين % \geq 0.002 ملم	
0.55	نسبة المواد العضوية %	
0.20	أملاح الكبريتات (SO_3) %	
0.40	الأملاح الذائبة الكلية (T.S.S) %	
7.3	الرقم الهيدروجيني (pH- value)	

2 - الطرق الأتلافية (Destructive test method): بعد أن يتم فحص النموذج بالفحص غير الإتلافي يتم فحصه بالفحص الأتلافي لإيجاد قوة الانضغاط غير المحصور (Unconfined compressive strength) وحسب المواصفات الأمريكية [2] وذلك لعمل علاقة بين نتائج الفحص الأتلافي وغير الأتلافي. ولا يفوتنا أن نذكر أن هناك نماذج لتربة طبيعية مرصوفة بالطاقة القياسية والمعدلة ونماذج معاملة بالنورة بدون إنضاج وباستخدام قالب الرص نفسه في حالة التربة المثبتة بالنورة، هذه النماذج تفحص مباشرة بعد رصها، بالطرق غير الأتلافية لإيجاد سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية ثم بالطرق الأتلافية لإيجاد قوة الانضغاط غير المحصور.

النتائج والمناقشة:

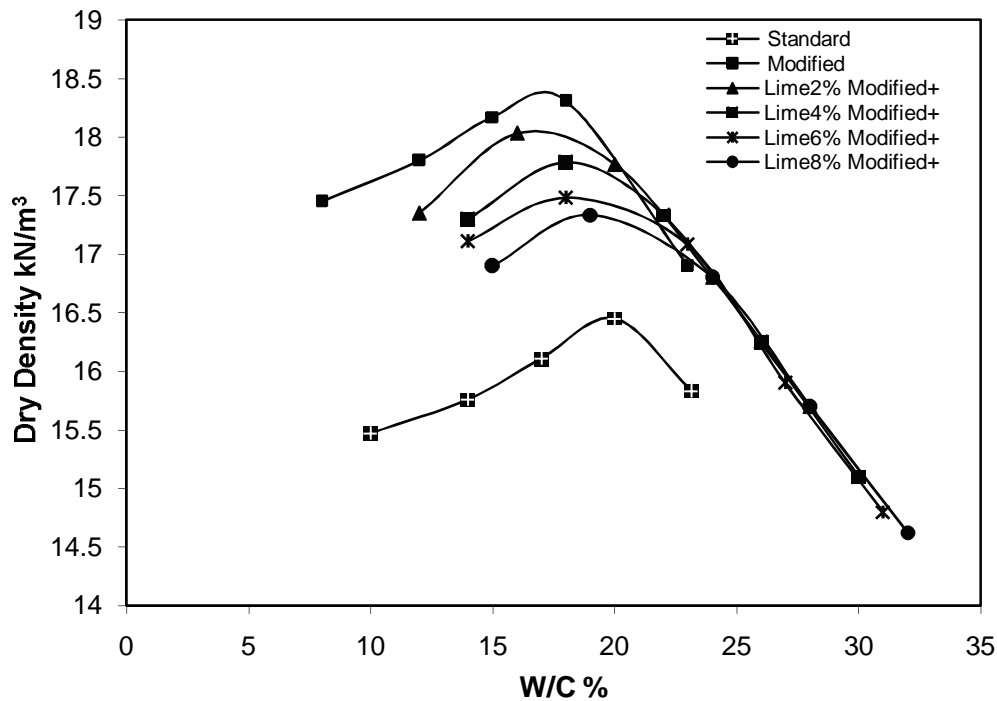
يوضح الشكل رقم (2) منحنيات الرص للتربة الطبيعية بطاقة رص قياسية ومطورة وكذلك منحنيات الرص للتربة المثبتة بالنورة بنسب (2 ، 4 ، 6 ، 8)% من الوزن الجاف للتربة والمرصوفة بطاقة رص مطورة. اذ يلاحظ من هذه المنحنيات إن إضافة النورة تخفض الكثافة الجافة العظمى وتزيد المحتوى الرطوبي الأمثل ويعود سبب ذلك إلى أن إضافة النورة تحدث ظاهرة التلبد والتزغب الذي يصاحب التفاعلات الأتلافية التي تحدث حال مزج النورة مع التربة مع تكسر الأواصر التي تشكلت في الفترة الممتدة بين مزج ورص التربة مما يؤدي إلى خلق فراغات إضافية تقلل من كثافة التربة المعاملة. وتعود الزيادة في المحتوى الرطوبي الأمثل في التربة المعاملة إلى استهلاك جزء من الرطوبة لحاجة النورة للتميو فضلا عن التفاعلات التي تحدث بين التربة والنورة [1]. ويوضح الشكل رقم (3) العلاقة بين المحتوى الرطوبي ومقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة المرصوفة بطاقة رص قياسية ومعدلة للتربة المعاملة بالنورة والمرصوفة بطاقة رص معدلة، إذ يلاحظ ان زيادة نسبة النورة تزيد مقاومة الانضغاط غير المحصور الى حد نسبة نورة (6%) ثم تقل مقاومة الانضغاط بسبب تكون مواد رابطة بين حبيبات التربة تزيد من قوة التربة إذ تزداد هذه القوة مع زيادة نسبة النورة تم تقل بزيادة نسبة النورة عن حاجة التفاعل وتكون هذه النسبة الزائدة كمادة خاملة غير متماسكة (Filler) تملأ الفراغات [7]. تسمى نسبة النورة التي تعطي أعلى قوة انضغاط غير محصور نسبة التثبيت وذلك حسب طريقة اليوز (Illinois procedure) [9].

بعد أن تم إجراء الفحص غير الأتلافي (إيجاد سرعة الموجات فوق الصوتية خلال النموذج) وكذلك الفحص الأتلافي (قوة الانضغاط غير المحصور بجهاز فحص الانضغاط الحر) على نماذج التربة الطبيعية المرصوفة بالطاقة القياسية والمعدلة وعند ثلاث نسب من الرطوبة عند الرص وهي (O.M.C ، O.M.C+4) ، وكذلك على نماذج التربة المعاملة بنسب مختلفة من النورة وبطاقة الرص المعدلة والتي عُرِضت للإنضاج وبدرجة حرارة (25°) ولفترات إنضاج مختلفة وعند ثلاث نسب من الرطوبة هي (O.M.C ، O.M.C+4) . أظهرت النتائج بعد التحليل العلاقات الآتية:

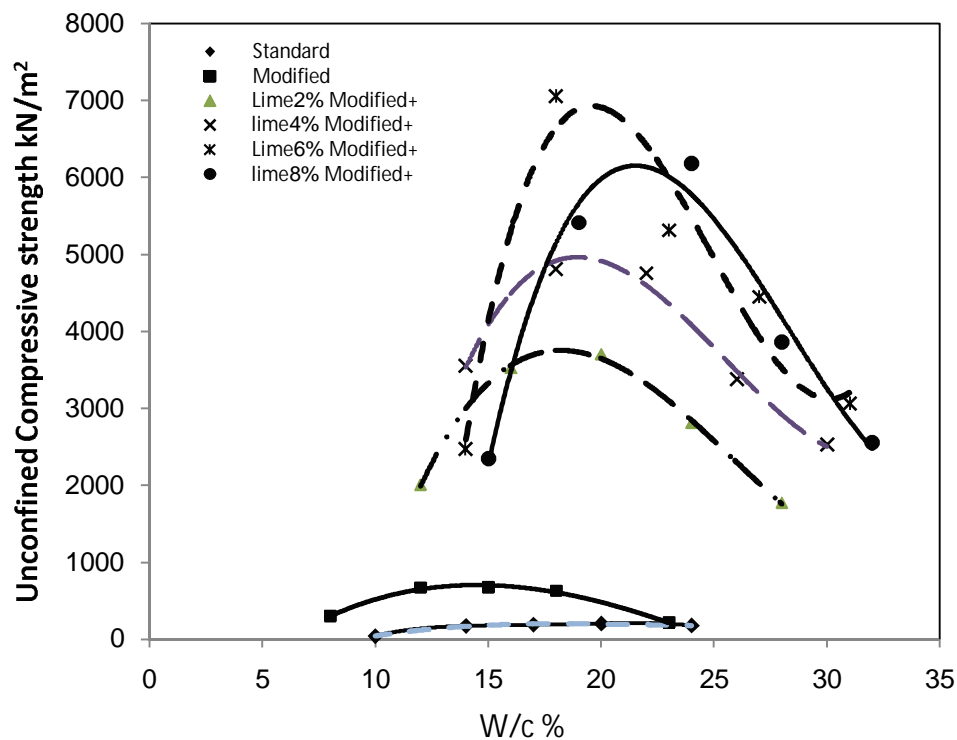
1- علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع قوة الانضغاط غير المحصور:

بعد الحصول على النتائج من الفحص غير الأتلافي (سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية) وكذلك نتائج الفحص الأتلافي (قوة الانضغاط غير المحصور)، تم إدخال جميع النتائج في التحليل (للتربة الطبيعية المرصوفة بطاقة الرص القياسية والمعدلة وللتربة المعاملة بالنورة عند جميع فترات الإنضاج المختلفة ولكل نسب الرطوبة

موسى: علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع بعض الخصائص الميكانيكية لتربة طينية معاملة بالنورة



شكل رقم (2) : منحنيات الرص للتربة الطبيعية والمعاملة بالنورة بطاقة رص قياسية ومعدلة .



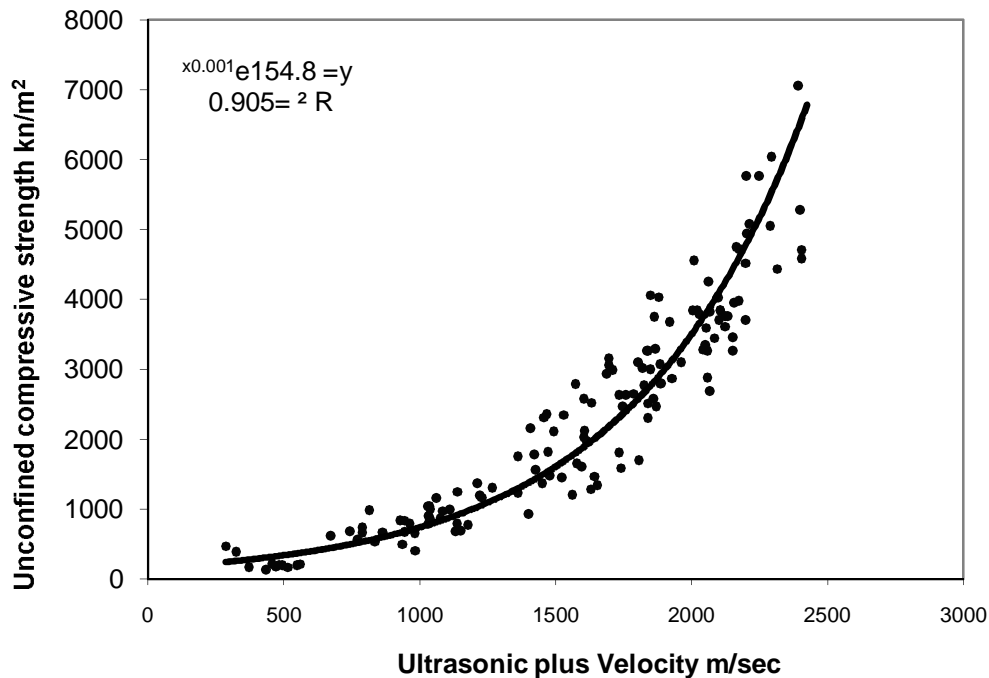
شكل رقم (3) : علاقة قوة الانضغاط غير المحصور مع نسبة الرطوبة للتربة الطبيعية والمعاملة بالنورة

المتغيرة عند الرص). وجد أن هناك معامل ارتباط قوي جدا لقوة الانضغاط غير المحصور مع سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية بين طرفي النموذج والنتائج مبينة في الشكل رقم (4) إذ كان معامل الارتباط يصل إلى $(R^2 = 0.905)$ ، أي ان هناك علاقة اسية طردية بين سرعة انتقال الموجة خلال النموذج مع قوة الانضغاط غير المحصور. يتضح من شكل المنحني أن قيمة قوة الانضغاط غير المحصور تزداد بشكل كبير جدا عندما تكون سرعة انتقال الموجة أكثر من (1500 م/ثا) أما عندما تصبح سرعة انتقال الموجة اقل من (1500 م/ثا) يكون الفرق في مقاومة الانضغاط غير المحصور للنماذج قليل. إن سبب زيادة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع زيادة قوة الانضغاط غير المحصور يعود الى العلاقة العكسية بين قوة الانضغاط غير المحصور مع نسبة الفراغات الموجودة في النموذج حيث إن زيادة انخفاض نسبة الفراغات من جهة تؤدي إلى زيادة الكثافة الجافة ومن ثم زيادة قوة الانضغاط غير المحصور ومن جهة أخرى فان انخفاض نسبة الفراغات تؤدي إلى زيادة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية ، والعلاقة التي تربط ما بين سرعة انتقال الموجة مع قوة الانضغاط غير المحصور هي:

$$Y = 1548e^{0.001X}$$

Y : unconfined compressive strength (kN/m^2)

X : pulse velocity (m/sec)

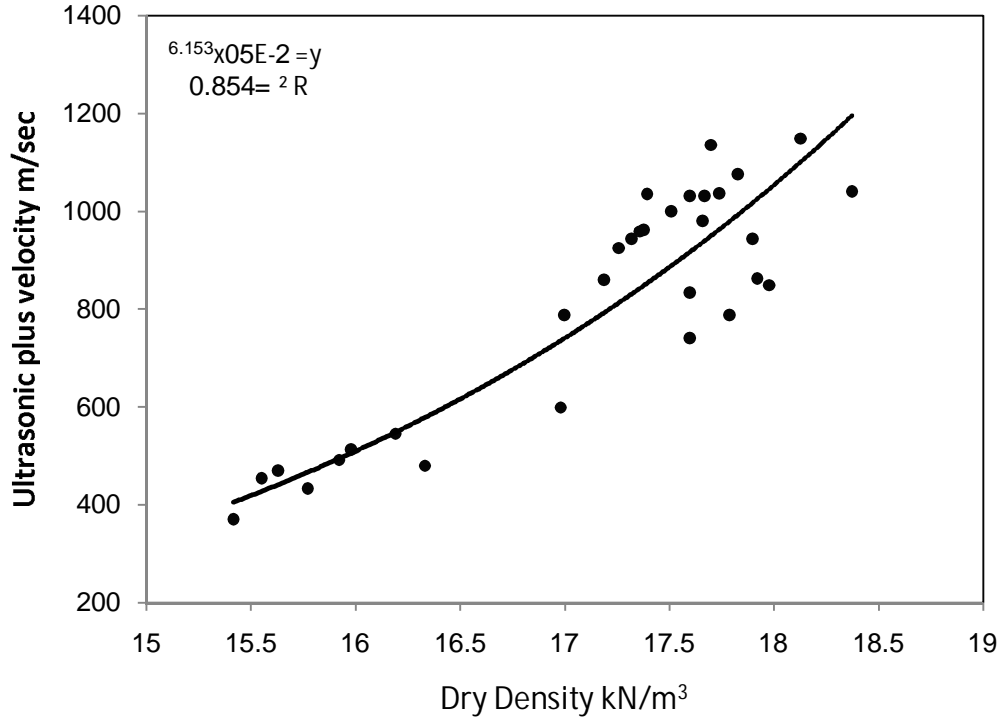


شكل رقم (4): علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع قوة الانضغاط غير المحصور.

2- علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع الكثافة الجافة :

يوضح الشكل رقم (5) العلاقة بين الكثافة الجافة العظمى وسرعة انتقال الموجات فوق الصوتية في النموذج. يلاحظ أن هناك علاقة جيدة بين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية والكثافة الجافة للتربة وهذه العلاقة من نوع (

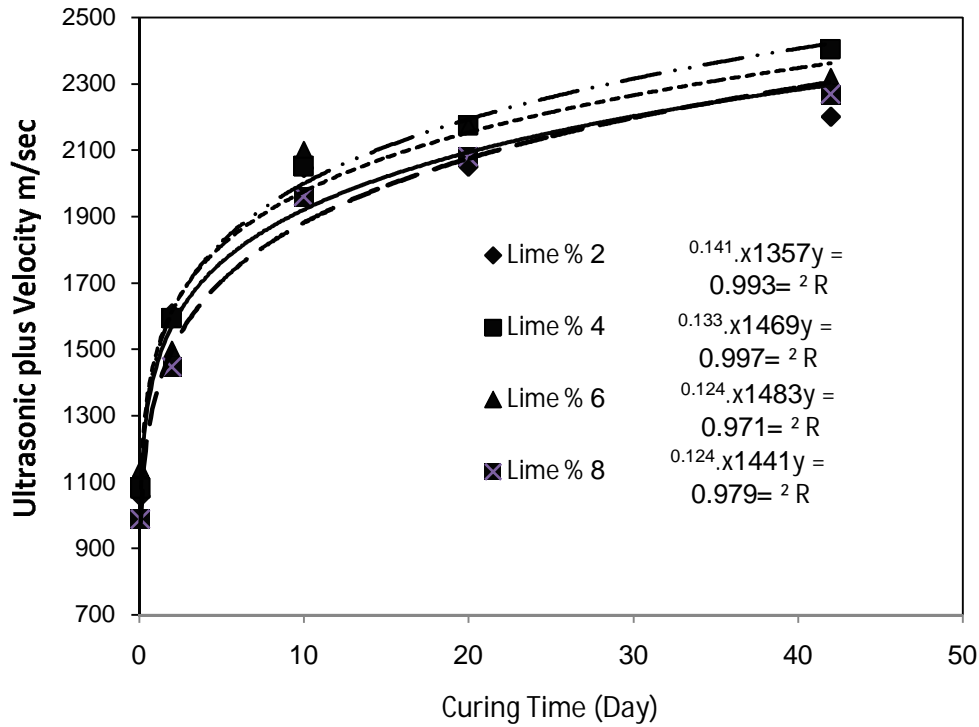
أسي) وبمعامل ارتباط $(R^2 = 0.854)$. أن هذه العلاقة بين الكثافة الجافة وسرعة انتقال الموجة هي علاقة طردية إذ أن بزيادة الكثافة الجافة للتربة تزداد سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال النموذج وذلك قد يعود إلى أن زيادة الكثافة تؤدي إلى تقارب حبيبات التربة من بعضها مما يقلل نسبة الفراغات وهذا يزيد من سرعة انتقال الموجة وبذلك يكون الوقت الذي تستغرقه الموجة لتخترق النموذج أقل.



شكل رقم (5): علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع الكثافة الجافة .

3- علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع وقت الإنضاج

تمت دراسة العلاقة بين سرعة انتقال الموجة مع وقت الإنضاج للتربة المعاملة فقط. وجد إن العلاقة بين سرعة انتقال الموجة فوق الصوتية في النموذج مع وقت الإنضاج واضحة، إذ كانت العلاقة طردية وبمعامل ارتباط عال ولنسب النورة كلها. عند النظر في النتائج المبينة في الشكل رقم (6) يتضح أن سرعة انتقال الموجة في المنحنيات ذات نسب النورة المختلفة متقاربة من بعضها البعض وتسلك السلوك نفسه مع وقت الإنضاج، كما يلاحظ إن مقدار زيادة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية في المنحنيات عال جداً، أي يكون التأثير للفترة (0-2) يوم كبير جداً ثم يقل التأثير بعد فترة الإنضاج هذه حيث تأخذ المنحنيات بالانحراف بشكل أفقي تقريباً بعد مدة إنضاج (10) أيام وانحراف متوسط بين مدة إنضاج (2-10) أيام وربما يرجع سبب ذلك إلى أن معظم التفاعل البوزولوني الذي يؤدي إلى تكوين مواد جلاتينية رابطة بين حبيبات التربة يحدث عند بدء عملية الإنضاج وهذا التفاعل يقل مع مرور الزمن لذلك يلاحظ هذا الفرق في سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية في الفترات الإنضاج القريبة [14] ، ويقل نسبة الفراغات بين حبيبات التربة مع حدوث التفاعل البوزولوني إذ أن المواد الرابطة الجلاتينية الناتجة من هذا التفاعل تملأ بعض الفراغات الموجودة بين حبيبات التربة لذلك تزداد سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية وهذه الزيادة في مقدار السرعة تقل مع تقدم فترة الإنضاج بسبب بطء التفاعلات إذ تكون شبه متوقفة.



شكل رقم (6) : علاقة سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية مع وقت الإنضاج.

4 - الاستنتاجات :

- 1- تم إيجاد علاقة بمعامل ارتباط عالي مقداره ($R^2=0.854$) بين كثافة التربة الجافة وسرعة انتقال الموجات فوق الصوتية.
- 2- تم إيجاد علاقة بين سرعة انتقال الموجة في النموذج مع وقت الإنضاج ووجد أن العلاقة طردية ، أذ وجد أن وقت الإنضاج بين (0-2) يوم يعطي مقداراً عالياً من الميل الموجب في مقياس السرعة انتقال الموجة ثم يبدأ المنحني بالاستقرار والسلاسة بعد مدة إنضاج (10) أيام.
- 3- من أهم العلاقات التي تم إيجادها في هذا البحث هي علاقة بين نتيجة الفحص الأتلافي (Unconfined Compressive strength) وغير الأتلافي (Ultrasonic pulse Velocity) إذ وجد أن هناك معامل ارتباط قوي يصل إلى ($R^2=0.905$) بين نتيجة الفحصين وكانت العلاقة بينهما هي

$$Y = 154.8e^{0.001 X}$$

6 - المصادر :

- 1- AL-Qaissy, M.H.H. (2004): "Effect of Molding Water Content on The CBR and Dissolution of Gypsum of a Granular Gypsiferous Highway Subgrade soil" M.Sc. thesis ,Civil Engineering Department , College of Engineering , Al-Nahrain University
- 2- ASTM (2003), "American Society for Testing and Material", Vol.04-08.
- 3- British Standard (1975), "Methods of Testing Soils For Civil Engineering Purpose", 1377.

- 4- Burroughs, V.S.(2001) : "Quantitative Criteria For The Selection and Stabilization of Soils For Rammed Earth Wall Construction ",Ph.D. Thesis, Faculty of Built Environment, University of New South Wales.
- 5- Department of The Interior Bureau of Reclamation (1968), "Earth Manual", Denver Fedral Center, Colorado,1st ed. Revised 2nd Printing.
- 6- Eades, J. B. and Grim R.E.(1966):"A Quick Test to Determine Lime Requirement for lime Stabilization ",Highway Research Board,No.139, pp. 61-72.
- 7- Ingles, O. G., & Metcalf, J. G. (1972), "Soil Stabilization Principles and Practice", Butterworths Pty, Limited, Australia.
- 8- Kumar , k. (2008):" Relative Density and Ultrasonic Pulse Velocity Intr-Relation of pilani Soil", The 12th International Conference of International Association For Cmputer Method and advances in geomechanics (IACMAG) 1-6 October,2008.
- 9- Little, D. N. (1995): " Hand Book For Soil Stabilization of Pavement Subgrade and base Courses With Lime", Kendall Hunt Publishing Company, Iowa, USA, by National Lime Association.
- 10- Mallela, J. , H, Horold Von Quintus, p. E. and Smith, K. L. (2004):"Consideration of Lime –Stabilized Layer in Mechanistic – Empirical Pavement Design", The National Lime Association , pp. 36.
- 11- Nasir, A. N. T. (2002):" Effort of Compactive Effort on CBR and Dissolution of Gypsum of Granular Gypsiferous Soil", M.SC. Thesis , Civil Engineering Department , College of Engineering, Saddam University.
- 12- Neville.A.M.(2000), (Properties of concrete).
- 13- Soroush, H. and Fahimifar,A.(2003):" Evaluation of Some Physical and Mechanical Properties of Rocks Using Ultrasonic Pulse technique and Presenting Equation Between Dynamic and Static Elastic Constants" , ISRM 2003- Technology road map for rock mechanics .South African Institute of Mining and metallurgy.

14- الزبيدي , عبدالرحمن هاني طه (2007): "دراسة مقاومة الشد للتربة الجبسية المثبتة بالنورة" , رسالة ماجستير ,كلية الهندسة , جامعة الموصل.