

6 الفصل السادس: رص التربة

الكثير من المنشآت الهندسية كما في بناء أساسات الطرق، السدود الترابية، وغيرها من المنشآت، لا بد من رص الترب المخلطة لزيادة وزنها الحجمي لتكون قادرة على تحمل الحمولات المطبقة عليها هذا من جهة، ومن جهة ثانية لتكون قيم الهبوط تحت أساسات المنشآت الهندسية بمختلف أنواعها في حدها الأدنى. إن عملية الرص للتربة تزيد من خواص مقاومتها، ومن قدرة تحمل الأساسات التي تستند عليها، كما أن عملية رص التربة تقلل من هبوط المنشآت ويزيد من استقرار المنحدرات الترابية.

تستخدم عادة في مجال رص التربة مجموعة من المداخل وهي : المداخل ذات الدواليب الملساء، مداخل ذات ارجل الغنم، مداخل بدواليب مطاطية ومداحل راججة. المداخل الرجاججة تستخدم بكثرة في أعمال رص الترب الحبيبية. أما بالنسبة للترب الحبيبية الرخوة، لا بد من استخدام آلات رص رجاججة وتسمى عملية رص التربة بهذه الحالة الرص بالاهتزاز (vibroflotation). يناقش هذا الفصل بشيء من التفصيل مبادئ رص التربة في المخبر والحقل.

1.6 الرص - مبادئ عامة

الرص بشكل عام هو عبارة عن تكثيف لتراكب الأجزاء الصلبة للتربة عن طريق إزالة الهواء من الفراغات المتواجدة ضمن جسم التربة، هذه العملية تتطلب طاقة ميكانيكية. إن درجة الرص للتربة تقاس من خلال مصطلح **الوزن الحجمي الجاف**. عندما يتم إضافة الماء للتربة خلال عملية الرص، فإنه يتصرف كعامل تطرية لحبيبات التربة. أثناء عملية الرص، تنزلق حبيبات التربة على بعضها

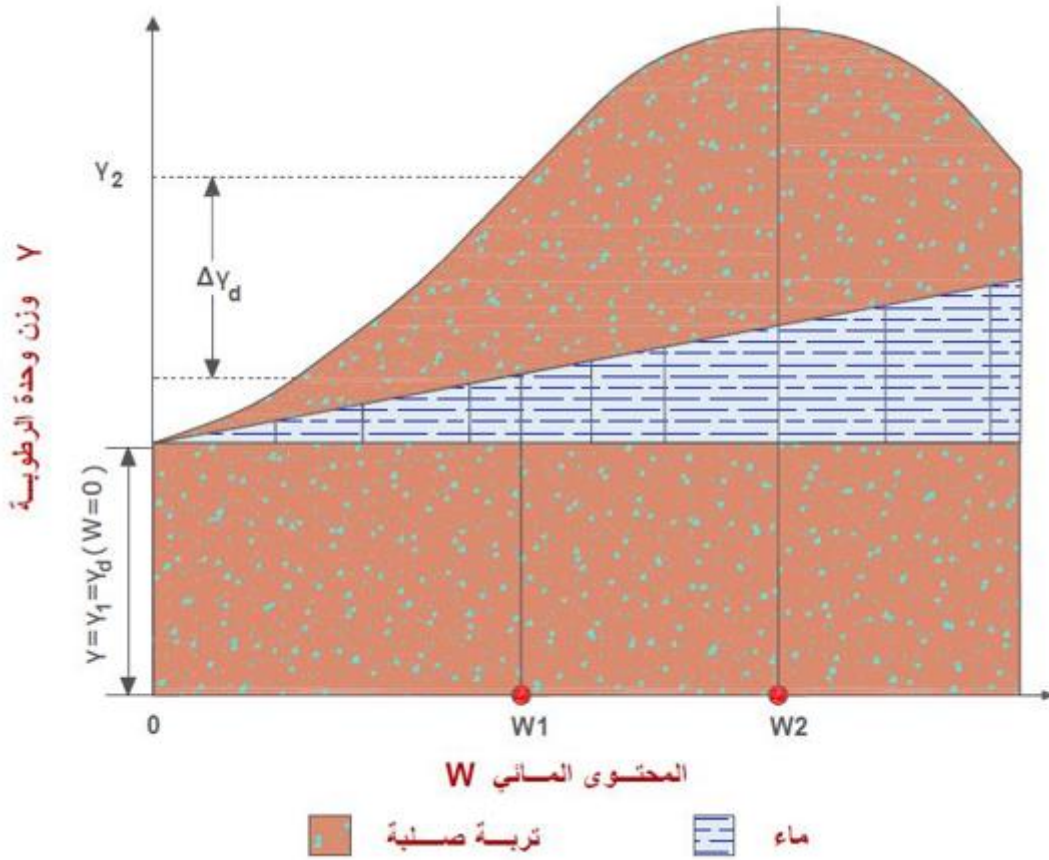
وتتحرك لموضع تصبح فيه أكثر استقراراً وبالتالي تزداد كثافتها. إن قيم الوزن الحجمي للتربة بعد عملية الرص تزداد كلما زادت قيم محتوى الرطوبة وهذا ما يوضحه الشكل (1.6).

في هذا الشكل، لاحظ أنه عند محتوى الرطوبة مساوي للصفر $w = 0$ فإن قيم الوزن الحجمي الرطب (γ) يكون مساوي للوزن الحجمي الجاف (γ_d) :

$$\gamma = \gamma_d(w=0) = \gamma_1$$

عندما يزداد محتوى الرطوبة تدريجياً ومن أجل نفس طاقة الرص المستخدمة لرص التربة، فإن وزن واحدة الحجم للأجزاء الصلبة يزداد تدريجياً. فمثلاً عند رطوبة التربة : $w = w_1$ ، فإن :

$$\gamma = \gamma_2$$



الشكل (1.6) : مبادئ الرص

وبالتالي فإن قيمة الوزن الحجمي الجاف عند محتوى رطوبة محدد ($w = w_1$) يعطى بالعلاقة :

$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta\gamma_d$$

لكن وبعد محتوى رطوبة معين $w = w_2$ (الشكل 1.6)، نلاحظ أن أي زيادة في قيم محتوى الرطوبة تؤدي إلى نقصان في قيم الوزن الحجمي الجاف. هذه الظاهرة تنشأ بسبب أن الماء أصبح يملأ الفراغات التي يمكن أن تملأ بواسطة الحبيبات الصلبة. إن محتوى الرطوبة الموافق للوزن الحجمي الجاف الأعظمي المطلوب عادة يشار له بمحتوى الرطوبة الأمثلي w_{opt} .

التجارب المخبرية التي تستخدم لحساب قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للرص وقيم محتوى الرطوبة الأمثلي تسمى بتجربة بروكتور (Proctor 1933). والعملية اللازمة للقيام بهذه التجربة مشروحة بالفقرة التالية.

2.6 تجربة بروكتور القياسية (النظامية)

في تجربة بروكتور القياسية (النظامية)، يتم رص التربة ضمن قالب حجمه 944 سم³ ، أما قطره فهو 101.6 mm. خلال التجربة، يتم تركيب القالب على صفيحة معدنية تسمى القاعدة كما هو مبين في الشكل (2.6 a). في البداية، يتم إحضار التربة ونبدأ بترطيبها مع كميات مختلفة من الماء وبعد ذلك يتم رصها ضمن القالب من خلال ثلاث طبقات متساوية السماكة، الرص يتم بواسطة مطرقة (الشكل 2.6 b) بعدد ضربات 25 ضربة لكل طبقة، وزن المطرقة المستخدم بهذه التجربة حوالي 2.5 Kg وهذه المطرقة تسقط سقوط حر من مسافة 30.5 mm. الشكل رقم 2.6 c هو عبارة عن صورة للمعدات المستخدمة في المخبر للقيام بتجربة الرص القياسية.

من أجل كل تجربة ، يمكن حساب الوزن الحجمي الرطب γ من خلال العلاقة:

$$\gamma = \frac{W}{V_{(m)}} \quad (1.6)$$

حيث:

W = وزن التربة المرصوفة في القالب .

$V_{(m)}$ = حجم القالب.

ومن أجل كل تجربة فإن محتوى الرطوبة في التربة المرصودة يحدد في المخبر. ومع معرفة قيم محتوى الرطوبة يمكن حساب قيم الوزن الحجمي الجاف من خلال العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}} \quad (2.6)$$

حيث $w (\%) =$ النسبة المئوية لمحتوى الرطوبة .

إن قيم الوزن الحجمي الجاف γ_d والتي تم حسابها من خلال المعادلة (2.6)، يتم رسمها مع تغير قيم محتوى الرطوبة. هذا الرسم يعطينا منحنى يسمى بمنحني الرص لتجربة بركتور النظامية. من خلال هذا المنحنى، يمكننا الحصول على قيمة الوزن الحجمي الجاف الأعظمي وقيمة محتوى الرطوبة الأمثلي للتربة. الشكل (3.6) يظهر مخطط تجربة بركتور القياسية لتربة سلتية - غضارية.

إن خطوات تجربة بركتور القياسية (النظامية) موجودة في المواصفات الأمريكية والتي تشرح هذه التجربة سواء من خلال المواصفة : (2007) ASTM - D-698 أو من خلال مواصفة الأشتو (1982) AASHTO - T-99 .

فمن أجل محتوى الرطوبة المعطى w ودرجة الإشباع S ، يمكن حساب الوزن الحجمي الجاف كالتالي: بالعودة إلى الفصل الثالث (المعادلة 16.3) ومن أجل أي تربة لدينا العلاقة التالية :

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

حيث :

$\gamma_d =$ الوزن الحجمي الجاف للأجزاء الصلبة.

$G_s =$ الوزن النوعي النسبي للتربة.

$\gamma_w =$ الوزن الحجمي الرطب.

$e =$ معامل المسامية.

أيضاً ومن الفصل الثالث ومن خلال المعادلة (18.3) لدينا :

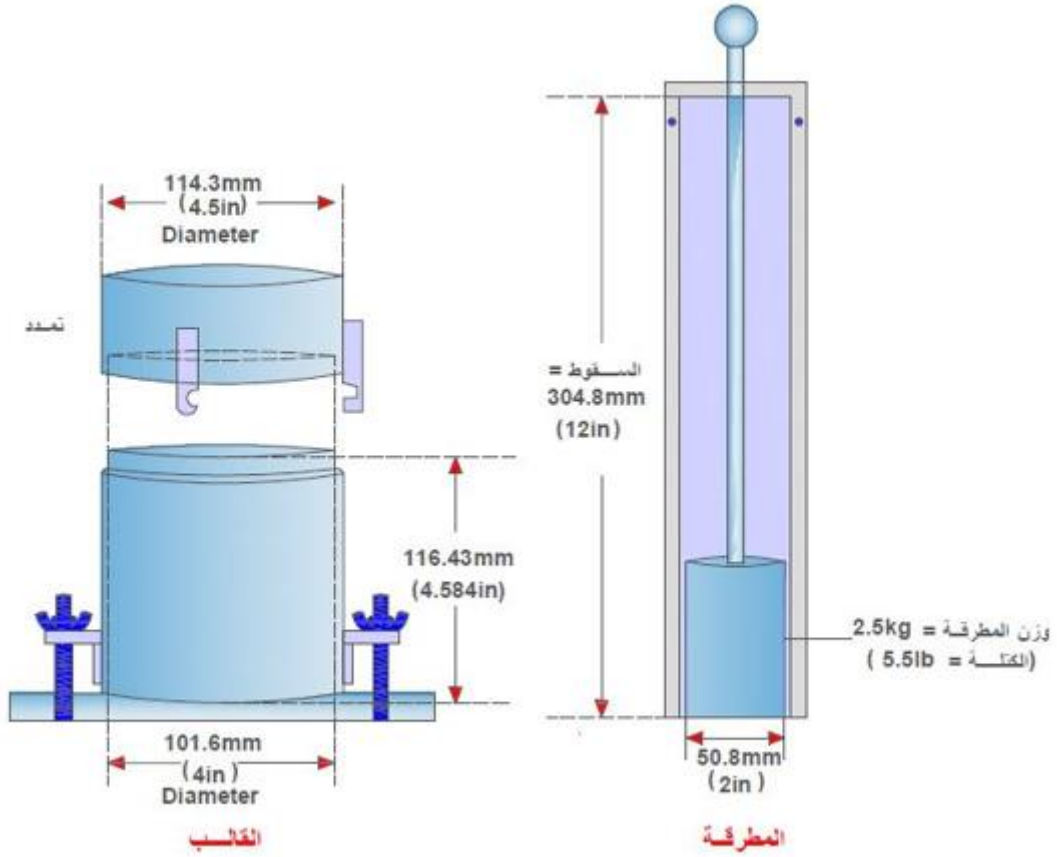
$$S \cdot e = G_s \cdot w$$

أو :

$$e = \frac{G_s \cdot w}{S}$$

نجد أن قيم الوزن الحجمي الجاف يعطى بالعلاقة التالية:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \frac{G_s \cdot w}{s}} \quad (3.6)$$



الشكل (2.6) : أبعاد القالب لتجربة بركتور القياسية (النظامية) المطرقة والقالب مع أبعاده



الشكل (2.6) (c) : صورة للمعدات المستخدمة بالتجربة

(Courtesy of Braja M. Das, Henderson, Nevada)

من جهة أخرى، ومن أجل محتوى رطوبة معلوم لتربة معينة، فإن قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي النظري لهذه التربة يتحقق عندما تكون درجة الإشباع مساوية للقيمة $S = 100\%$ ، أي عندما لا يوجد هواء ضمن فراغات التربة. لذلك فإن قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي من أجل محتوى رطوبة مع فراغات هواء معدومة ضمن جسم التربة يمكن حسابه من خلال تعويض درجة الإشباع في المعادلة 3.6 بالقيمة: $(S = 1)$ ، فنجد العلاقة التالية :

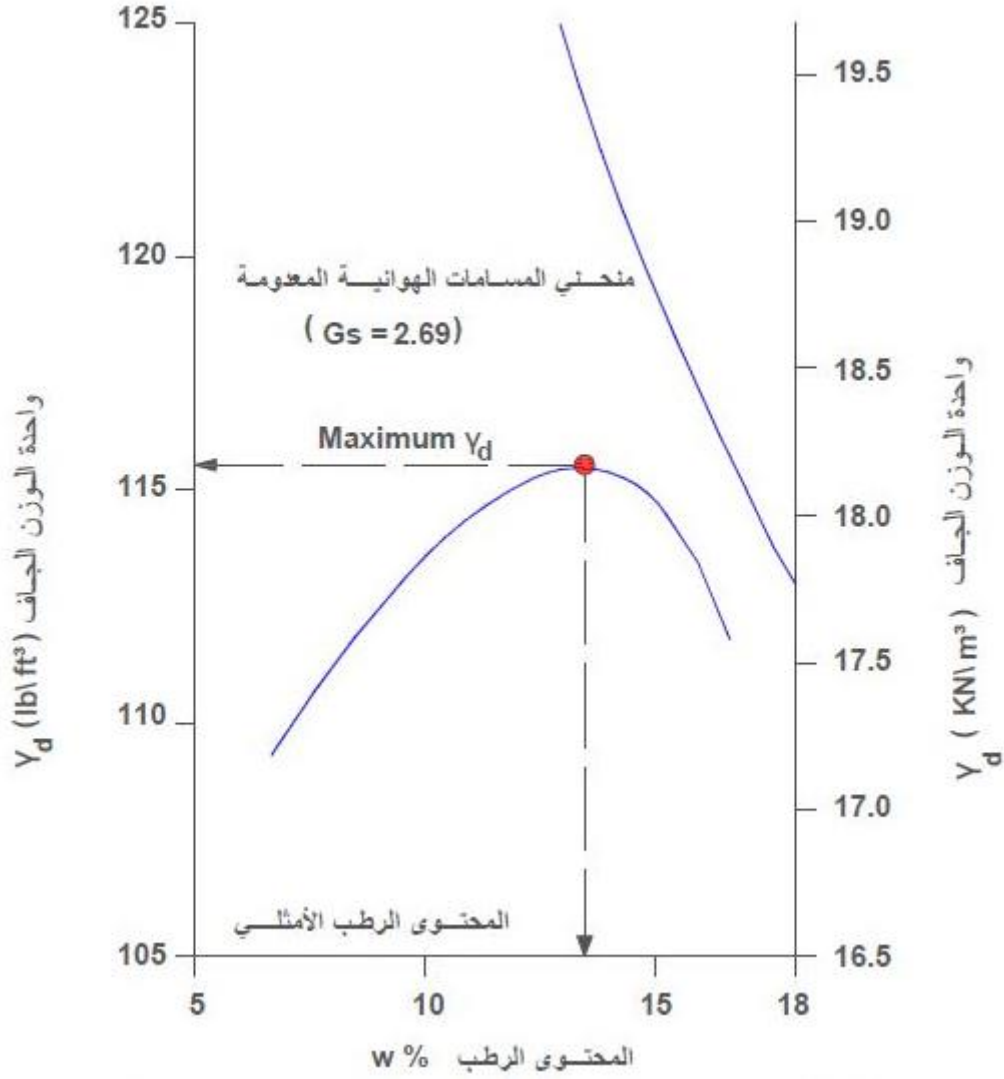
$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + w \cdot G_s} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}} \quad (4.6)$$

حيث : γ_{zav} = الوزن الحجمي لفراغات هواء مساوية للصفر (المسامات الهوائية معدومة).
وللحصول على قيم مختلفة لقيم γ_{zav} مع تغير محتوى الرطوبة، يتم استخدام الخطوات التالية :

1. يتم تحديد الوزن الحجمي للأجزاء الصلبة.
2. معرفة الوزن الحجمي للماء (γ_w) .
3. نفترض قيم مختلفة للرطوبة (w) مثل 5%، 10%، 15% وهكذا ...
4. نستخدم المعادلة (4.6) لحساب γ_{zav} من أجل قيم مختلفة للرطوبة.

الشكل (3.6) المبين أظهر أيضاً تغيير γ_{zav} مع محتوى الرطوبة وموقعها النسبي بالنسبة لمنحني الرص.

يجب أن نعلم أنه وتحت أي ظرف يجب أن لا يقع أي جزء من منحني الرص على يمين منحني المسامات الهوائية المعدومة.



الشكل (3.6) : نتائج تجربة الرص القياسية (النظامية) لترب سلتية

3.6 العوامل المؤثرة على الرص

في الفقرة السابقة، وجدنا أن محتوى الرطوبة له تأثير كبير على درجة الرص اللازم تحقيقها لتربة معينة. لكن بالإضافة لمحتوى الرطوبة هناك عوامل أخرى هامة تؤثر على نتائج الرص وهي : نوع التربة وطاقة الرص (الطاقة لوحد الحجم). وأهمية هذين العاملين مشروحة بشكل مفصل في الفقرتين التاليتين.

1.3.6 تأثير نوع التربة

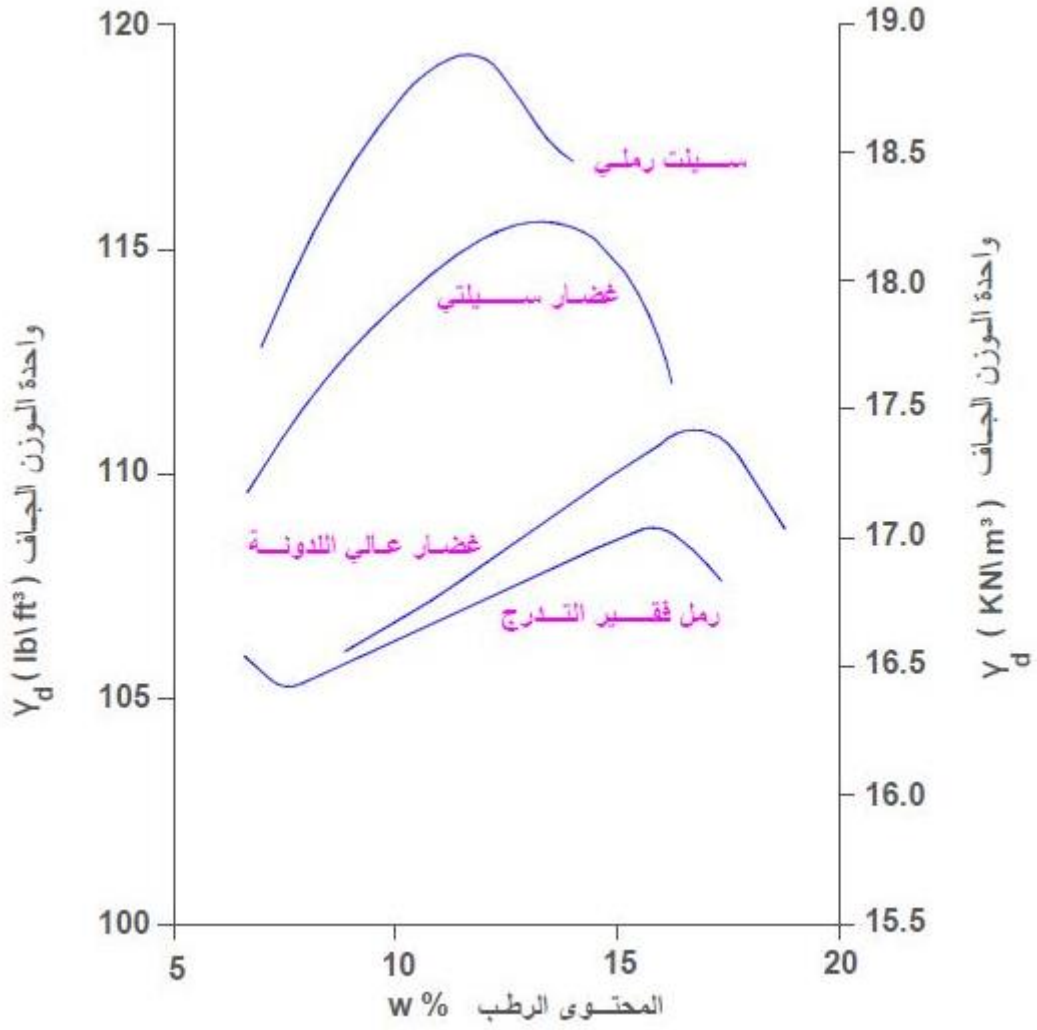
نوع التربة - والذي نعبر عنه من خلال : توزع التدرج الحبي، شكل حبيبات التربة، الوزن النوعي للأجزاء الصلبة وكمية الفلزات الغضارية الموجودة في التربة - لها تأثير كبير على قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي ومحتوى الرطوبة الأمثلي الناتجين من خلال تجربة الرص.

الشكل (4.6) يظهر منحنيات رص نموذجية لأربع أنواع مختلفة من الترب. إن نتائج التجارب المخبرية على هذه الترب تمت حسب المواصفة ASTM- D-698.

رأينا في الشكل (3.6) أن منحنى الرص للترب الغضارية يكون بشكل الجرس. أما في الشكل (4.6) يظهر منحنى الرص من أجل الترب الرملية، هذا المنحنى يبين أن الوزن الحجمي الجاف يميل بالنسبة للرمل بالبداية إلى النقصان مع زيادة محتوى الرطوبة ومن ثم يزداد إلى قيمة عظمى مع ازدياد الرطوبة.

النقصان الأولي للوزن الحجمي الجاف مع زيادة محتوى الرطوبة يعود إلى تأثير قوى الشد الناتجة من الخاصية الشعرية. وعند محتوى رطوبة منخفض فإن خاصية الشد الشعري في الماء المسامي تقلل من إمكانية حركة حبيبات التربة وبالتالي ترتص بشكل أكبر.

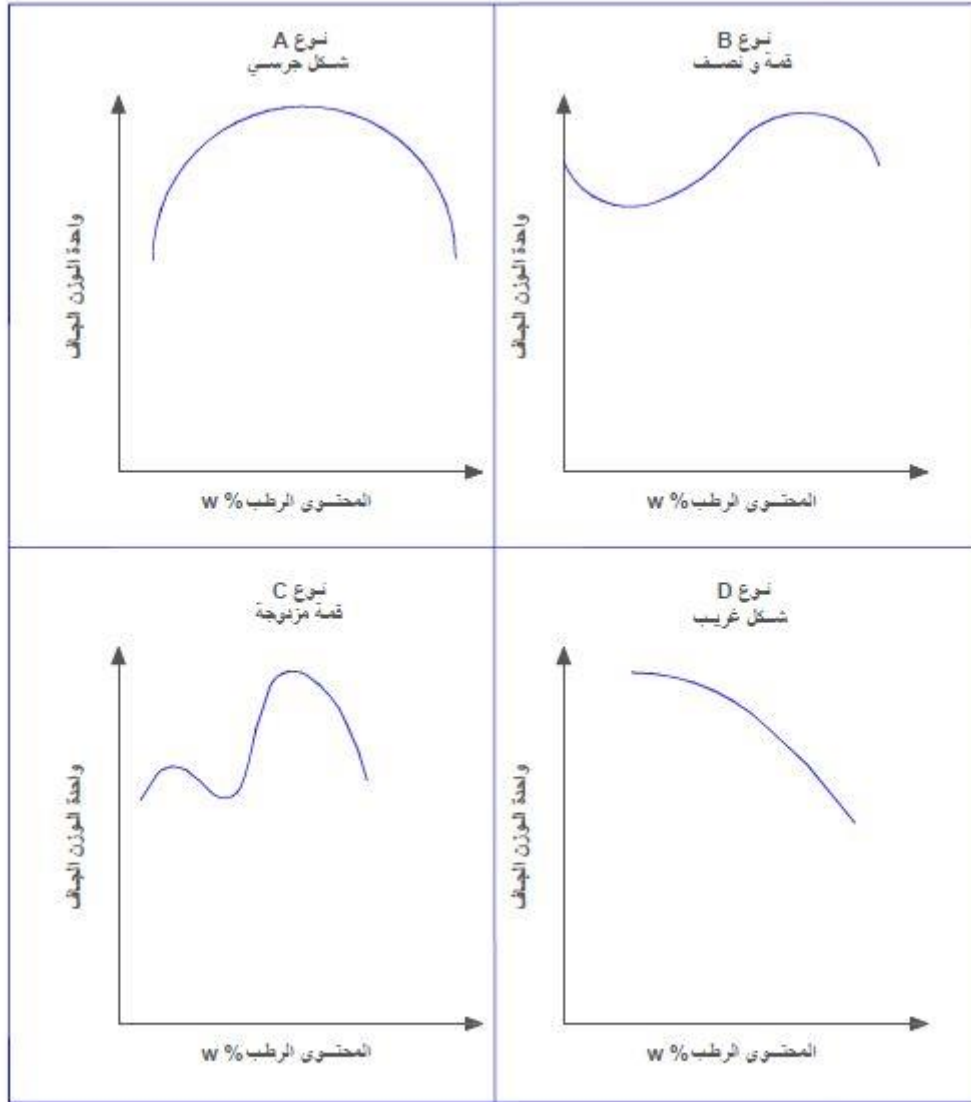
درس السيدان Lee and Suedkamp في العام (1972) منحنيات الرص لأكثر من 35 عينة من عينات التربة. وقاما باستنتاج أربع أنواع مختلفة من منحنيات الرص. هذه المنحنيات مبينة في الشكل (5.6). الجدول المبين قبل الشكل (5.6) يلخص أنواع منحنيات الرص التي يمكن أن نواجهها في مختلف أنواع الترب بالاعتماد على الشكل (5.6).



الشكل (4.6) : منحنيات نموذجية لتجربة بركتور القياسية

وفق المواصفة القياسية (ASTM - D698)

حد السيولة (%)	تسمية المنحني	نموذج منحني الرص بحسب الشكل (5.6)
ما بين 30 و70	قمة المنحني واضحة (جرسي)	A
أقل من 30	قمتين للمنحني (اصغرية) و (أعظمية)	B
أقل من 30 وأكثر من 70	قمتين أعظمتين (مزوجة)	C
أكثر من 70	منحني متناقص (غريب)	D



الشكل 5-6 : أشكال مختلفة لمنحنيات انضغاطية لترب مختلفة

الشكل (5.6) : منحنيات الرص الممكنة التي يمكن أن تظهر لنا أثناء التجارب

(a) قمة واحدة، (b) قمتين أصغرية وقمة أعظمية، (c) قمتين أعظمتين، (d) منحني متناقص

2.3.6 تأثير طاقة الرص

إن طاقة الرص لوأحدة الحجم من التربة المستخدمة في تجربة بروكتور القياسية والمشروحة في الفقرة 2.6 يمكن أن تعطى بالمعادلة :

$$E = \frac{(\text{مسافة سقوط المطرقة}) \times (\text{وزن المطرقة}) \times (\text{عدد الطبقات}) \times (\text{عدد الضربات})}{\text{حجم القالب}} \quad (5.6)$$

وهي بالوحدات الدولية :

$$E = \frac{(25) \times (3) \times \left(\frac{2.5 \times 9.81}{1000} \text{ kN}\right) \times (0.305 \text{ m})}{9.44 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 594 \text{ kN} - \frac{\text{m}}{\text{m}^3}$$

$$= 600 \text{ kN} - \text{m/m}^3$$

أو بالوحدات الانكليزية :

$$E = \frac{(25) \times (3) \times (5.5) \times (1)}{\left(\frac{1}{30}\right)} = 12.375 \text{ ft} - \text{lb/ft}^3$$

$$= 12.4 \text{ ft} - \text{lb/ft}^3$$

في حال تغير طاقة الرص لوأحدة الحجم من التربة، فإن منحنى الرطوبة - الوزن الحجمي سوف يتغير أيضاً. ويمكننا أن نشرح هذه الحقيقة بمساعدة الشكل (6.6).

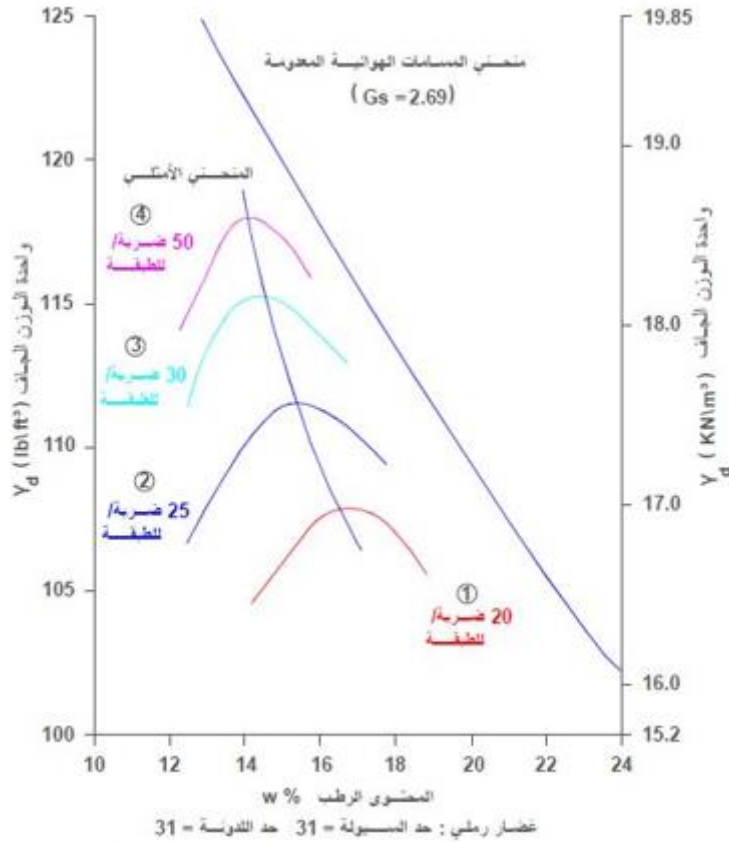
هذا الشكل يظهر أربع منحنيات رص لتربة رملية غضارية. إن قالب ومطرقة بروكتور القياسية (النظامية) تم استخدامهما للحصول على منحنيات الرص هذه. إن عدد طبقات التربة المستخدمة للرص هي ثلاثة طبقات لكل الحالات وعدد ضربات المطرقة لكل طبقة يتراوح بين 20 إلى 50 ضربة، والتي تتغير حسب طاقة الرص لوأحدة الحجم.

من خلال الشرح السابق والشكل (6.6) نجد أنه :

1. عندما تزداد طاقة الرص فإن الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للرص يزداد أيضاً.

2. عندما تزداد طاقة الرص فإن محتوى الرطوبة الأمثلي يتناقص بعض الشيء.

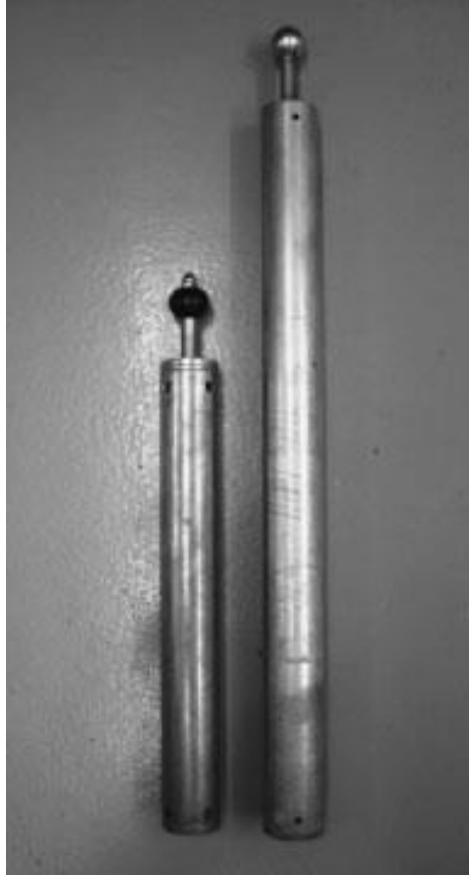
هذين الأمرين صحيحين لكل أنواع الترب، وعلى كلٍ فإن درجة الرص ليست تابعة فقط لطاقة الرص.



الشكل (6.6) : أثر طاقة الرص على رص التربة الرملية الغضارية

4.6 تجربة بروكتور المعدلة

مع تطور المداخل الثقيلة واستخدامها في مجال رص التربة، فإن تجربة بروكتور القياسية تم تعديلها لتعطي تمثيل أفضل للحالة الحقيقية. تسمى هذه النسخة المحدثة من التجربة بتجربة بروكتور المعدلة (ASTM Test Designation D-1557) و (AASHTO Test Designation T-180). من أجل إجراء تجربة بروكتور المعدلة يتم استخدام نفس القالب بحجم (1/30 ft³) (944 cm³)، كما في تجربة بروكتور القياسية، ولكن يتم رص التربة على خمس طبقات متساوية السماكة بواسطة مطرقة وزنها لهذه التجربة هو : 4.54 Kg وارتفاع سقوطها الحر 457 mm، وعدد ضربات المطرقة لكل طبقة هو 25 ضربة كما في تجربة بروكتور القياسية. الشكل (7.6) يظهر مقارنة بين المطارق المستخدمة في تجارب بروكتور القياسية والمعدلة .



الشكل (7.6) : مقارنة بين مطارق تجارب بروكتور القياسية (النظامية) وتجارب بروكتور المعدل

إن طاقة الرص لهذا النوع من تجارب الرص يمكن اعتمادها من خلال :

$$2700 \text{ kN} - \text{m/m}^3 \text{ (} 56,000 \text{ ft-lb/lb}^3 \text{)}$$

إن تجربة بروكتور المعدلة تزيد من طاقة الرص، وبالتالي فإن تجربة بروكتور المعدل تعطي زيادة في قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي. هذه الزيادة في قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي يرافقها نقصان في محتوى الرطوبة الأمثلي.

في النقاشات السابقة، وجدنا أن المواصفات المعطاة من أجل تجارب بروكتور والمعتمدة من قبل ASTM و AASHTO والخاصة بحجم القالب وعدد الضربات، هي التي يتم اعتمادها للترب الحبيبية الناعمة المارة من المنخل الأمريكي رقم 4.

هناك ثلاث نظريات مقترحة من أجل حجم القالب وعدد الضربات لكل طبقة وقطر الحبيبات الأعظمي للتربة المستخدمة في التجربة وذلك بحسب المواصفة المستخدمة. ملخص لهذه النظريات معطى في الجدول (1.6).

الجدول (1.6) : ملخص نظريات الرص لتجارب بركتور القياسية (النظامية) وبركتور المعدلة

Description		Method A	Method B	Method C
Physical data for the tests	Material	Passing No. 4 sieve	Passing 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve	Passing 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) sieve
	Use	Used if 20% or less by weight of material is retained on No. 4 (4.75 mm) sieve	Used if more than 20% by weight of material is retained on No. 4 (4.75 mm) sieve and 20% or less by weight of material is retained on 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve	Used if more than 20% by weight of material is retained on 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) sieve and less than 30% by weight of material is retained on 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) sieve
	Mold volume	944 cm ³ ($\frac{1}{30}$ ft ³)	944 cm ³ ($\frac{1}{30}$ ft ³)	2124 cm ³ ($\frac{1}{13.33}$ ft ³)
	Mold diameter	101.6 mm (4 in.)	101.6 mm (4 in.)	152.4 mm (6 in.)
	Mold height	116.4 mm (4.584 in.)	116.4 mm (4.584 in.)	116.4 mm (4.584 in.)
Standard Proctor test	Weight of hammer	24.4 N (5.5 lb)	24.4 N (5.5 lb)	24.4 N (5.5 lb)
	Height of drop	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)
	Number of soil layers	3	3	3
	Number of blows/layer	25	25	56
Modified Proctor test	Weight of hammer	44.5 N (10 lb)	44.5 N (10 lb)	44.5 N (10 lb)
	Height of drop	457 mm (18 in.)	457 mm (18 in.)	457 mm (18 in.)
	Number of soil layers	5	5	5
	Number of blows/layer	25	25	56

وفيما يلي نعرض نتائج بعض الأبحاث التجريبية التي أجريت على عدة أنواع من التربة والتي قدمت علاقات تجريبية تربط ما بين الرطوبة أو الكثافة الجافة مع تغير الخواص الفيزيائية للتربة مثل حد السيولة أو حد اللدونة هذه النتائج للإطلاع فقط.

من هذه الأبحاث :

- الباحث **Omar** ورفاقه في العام (2003)، قدموا حديثاً نتائج لتجارب رص بروكتور المعدلة لمجموعة من عينات التربة وعددها 311 عينة.

وكانت هذه العينات كتالي :

○ 45 عينة منها ترب بحصية GP ، GP-GM ، GW ، GW -GM ، GM ،

○ 264 عينة كانوا لترب رملية :

SP-SM، (and SM، SC، SC-SM، SW، SP SW-SM)

○ اثنان منها كانت لتربة غضارية مع لدونة منخفضة (CL) .

كل تجارب الرص تم إجراؤها باستخدام المواصفة ASTM - 1557 (النظرية C) لتجنب معامل تصحيح كبير للقطر. وبناءً على هذه التجارب، تم تطوير العلاقات التالية :

$$\rho_d(kg/m^3) (kg/m^2) = [4.804.574G_s - 195.55(LL)^2 + 156.971(R \neq 4)^{0.5} - 9.527.830]^{0.5} \quad (6.6)$$

$$\ln(w_{opt}) = 1.195 \times 10^{-4}(LL)^2 - 1.964G_s - 6.617 \times 10^{-5}(R \neq 4) + 7.651 \quad (7.6)$$

حيث :

$$\rho_{d(max)} = \text{الكثافة الجافة العظمى (Kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{opt} = \text{محتوى الرطوبة الأمثلي (\%)}$$

$$G_s = \text{الوزن النوعي للأجزاء الصلبة}$$

$$LL = \text{حد السيولة بالنسبة المئوية}$$

$$R\#4 = \text{نسبة المحجوز على المنخل رقم 4}$$

- الباحث **Gurtug and Sridharan (2004)** عرض علاقات لتغير قيم محتوى الرطوبة الأمثلي وقيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي مع تغير قيم حد اللدونة (PL) للترب المتماسكة. وهذه العلاقات يمكن التعبير عنها بالتالي :

$$w_{opt}(\%) = [1.95 - 0.38(\log CE)](PL) \quad (8.6)$$

$$\gamma_{d(max)} \left(\frac{kN}{m^3} \right) = 22.68e^{-0.0183w_{opt}(\%)} \quad (9.6)$$

حيث : PL = حد اللدونة (%) ، CE = طاقة الرص (KN-m/m³) .

ومن أجل تجربة البروكتور المعدلة، CE = 2700 KN/m³ .

لذلك يمكننا كتابة :

$$\gamma_{d(max)} \left(\frac{kN}{m^3} \right) = 22.68e^{-0.012(PL)}$$

و

$$\gamma_{d(max)} \left(\frac{kN}{m^3} \right) = 22.68e^{-0.012(PL)}$$

المثال 1.6 :

نتائج تجربة بركتور القياسية معطاه في الجدول التالي :

رطوبة التربة (w %)	وزن التربة بالقالب (ليبرة)	حجم القالب (بالقدم المكعب)
10	3.78	1/30
12	4.01	1/30
14	4.14	1/30
16	4.12	1/30
18	4.01	1/30
20	3.90	1/30

والمطلوب :

(a) تحديد الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للرص ومحتوى الرطوبة الأمثلي .

(b) احسب وارسم γ_d مقابل محتوى الرطوبة من أجل درجة إشباع :

$S = 80, 90, 100 \%$ (مثل، γ_{zav}) . ومعطى $G_s = 2.7$.

الحل :

الطلب الأول :

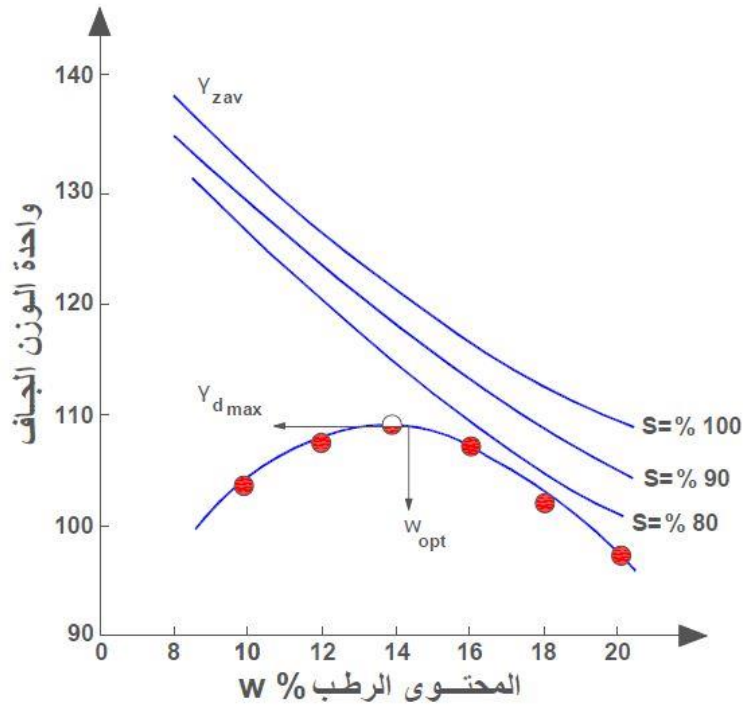
يتم تنظيم الجدول التالي :

حجم القالب V (ft ³)	وزن التربة (W (lb))	الوزن الحجمي للتربة (γ (lb/ft ³))	الرطوبة (w %)	الوزن الحجمي الجاف γ_d (lb/ft ³)
1/30	3.78	113.4	10	103.1
1/30	4.01	120.3	12	107.4
1/30	4.14	124.3	14	108.9
1/30	4.12	123.6	16	106.6
1/30	4.01	120.3	18	101.9
1/30	3.90	117	20	97.5

$${}^a\gamma = \frac{W}{V}$$

$${}^b\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w\%}{100}}$$

المخطط الذي يربط تغيرات قيم γ_d مقابل تغيرات قيم الرطوبة w يظهر في أسفل الشكل (8.6). من المخطط نستطيع أن نرى أن قيمة الوزن الحجمي الجاف الأعظمي $\gamma_{d(max)} = 109 \text{ lb/ft}^3$ ومحتوى الرطوبة الأمثلي هو 14.4% .



الشكل 8-6 : منحنيات توضح العلاقة بين المحتوى المائي - واحدة الوزن

الطلب الثاني :

من المعادلة (3.6) :

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{G_s w}{s}}$$

يمكن أن ننظم الجدول التالي :

γ_d (lb/ft ³)				
Gs	w (%)	S = 80 %	S = 90 %	S = 100 %
2.7	8	132.7	135.9	138.6
2.7	10	126.0	129.6	132.7
2.7	12	119.9	123.9	127.3
2.7	14	114.4	118.6	122.3
2.7	16	109.4	113.8	117.7
2.7	18	104.8	109.4	113.4
2.7	20	100.6	105.3	109.4

إن مخطط تغيرات قيم γ_d مقابل تغيرات قيم الرطوبة W من أجل درجات إشباع مختلفة موضحة أيضاً من الشكل (8.6).

المثال 6.2 :

من أجل تربة حبيبية، معطى التالي :

- Gs = 2.6
- حد السيولة من أجل الجزيئات المارة من المنخل رقم 40 = 20
- نسبة المحجوز على المنخل رقم 4 = 20 .

وباستخدام المعادلات (6.6) و (7.6). قدر الكثافة الجافة الأعظمية للرص ومحتوى الرطوبة الأمثلي بناءً على تجربة بروكتور المعدلة .

الحل :

من المعادلة (6.6) :

$$\rho_d(max) \left(\frac{kg}{m^3} \right) = [4804.574G_s - 195.55(LL)^2 + 156.971(R \# 4)^{0.5} - 9527.830]^{0.5}$$

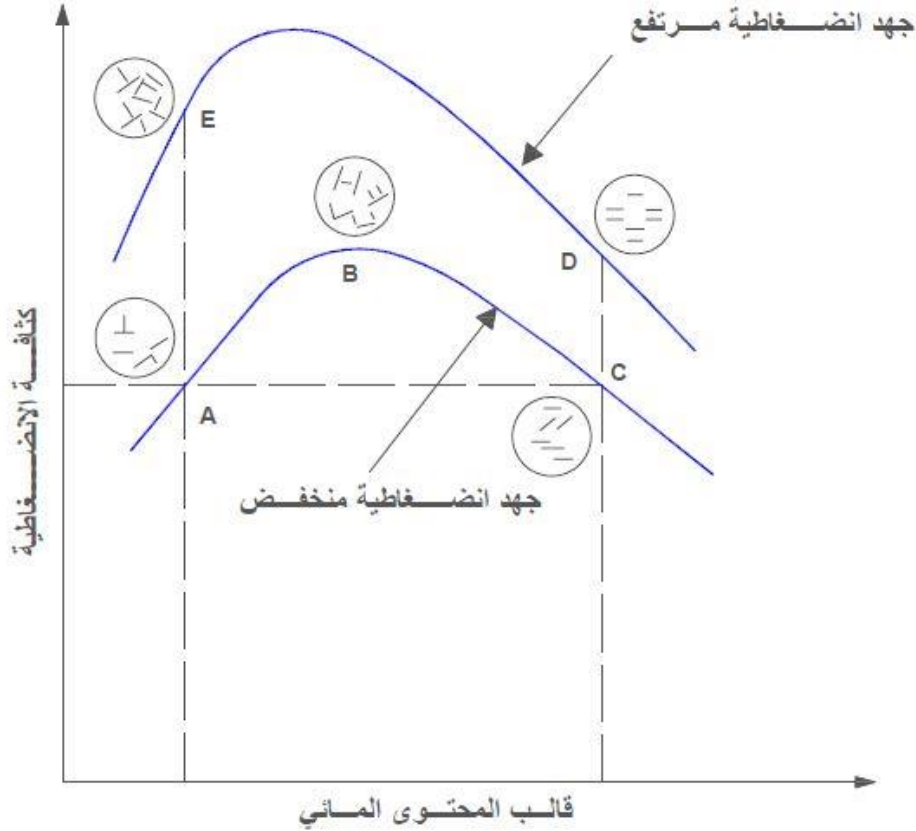
$$= [4804.574(2.6) - 195.55(20)^2 + 156.971(20)^{0.5} - 9527.830]^{0.5} \\ = 1894 \text{ kg/m}^3$$

ومن المعادلة (7.6) :

$$\ln(w_{opt}) = 1.195 \times 10^{-4}(LL)^2 - 1.964G_s - 6.617 \times 10^{-5}(R \# 4) + 7.651 \\ = 1.195 \times 10^{-4}(20)^2 - 1.964(2.6) - 6.617 \times 10^{-5}(20) + 7.651 \\ = 2.591 \\ w_{opt} = 13.35 \%$$

5.6 بنية الترب الغضارية المرصوفة

عند رص التربة، تتغير بنيتها وخاصة التربة الغضارية. أجرت العديد من الأبحاث من أجل فهم تأثير عملية الرص على بنية الترب الغضارية. ومن هذه الأبحاث، الدراسة التي قدمها المهندس Lambe في العام (1958) وكانت نتائج دراسته كما هي مبينة ومشروحة في الشكل (9.6).



الشكل 9-6 : تأثير الانضغاطية على منشأ مقام على ترب غضارية
Redrawn after Lambe 1958,a .With permission from
ASCE

الشكل (9.6) : أثر عملية الرص على بناء وهيكل الترب الغضارية

الدراسة أثبتت، أنه في حال تم رص التربة الغضارية مع محتوى رطوبة في الجانب الجاف من الرطوبة الأمثلية، والذي تمثله النقطة A، سوف تعطي تربة ذات بنية صوفية flocculent وسبب هذه البنية هو أنه عند قيم محتوى رطوبة منخفض، فإن الطبقات المزدوجة المنتشرة من الأيونات المحيطة بحبيبات الغضار لا يمكن أن تتطور بشكل كامل، لذلك فإن التناثر الداخلي للحبيبات سوف

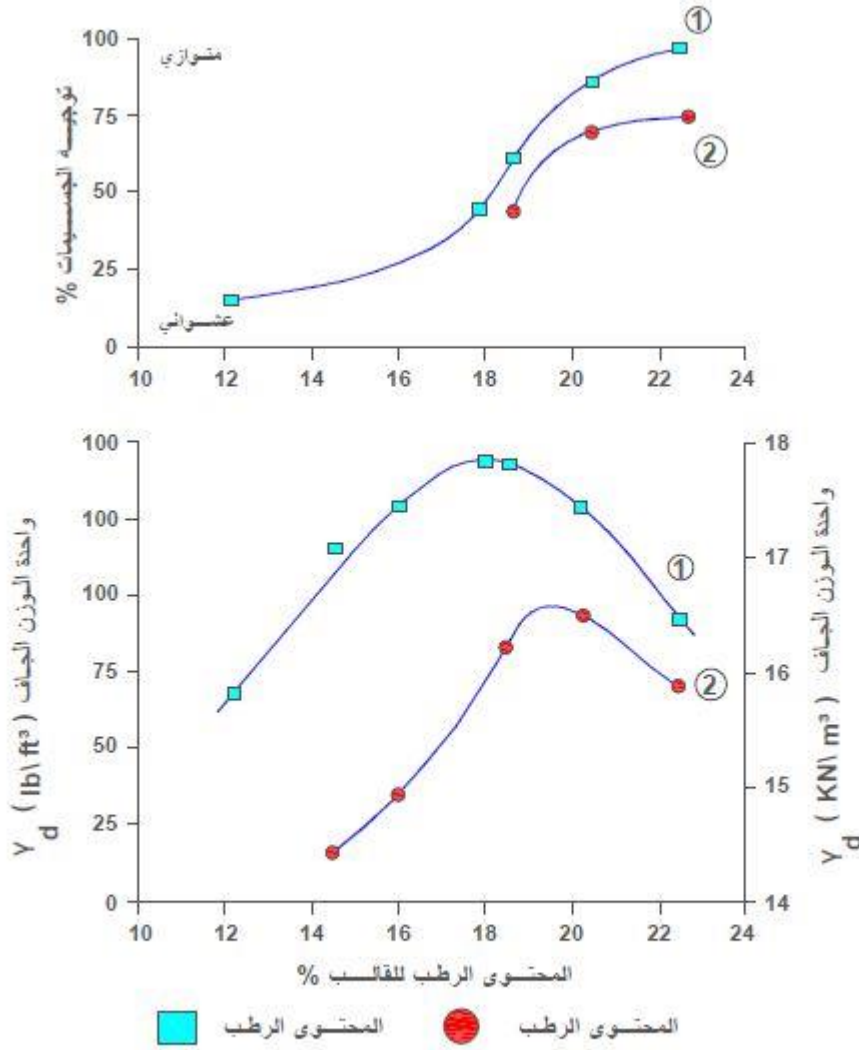
يقول. إن تناقص التنافر سيؤدي إلى ميلان عشوائي إضافي لحبيبات الغضار وبالتالي سوف نحصل على وزن حجمي جاف أقل.

عندما يزداد محتوى الرطوبة للرص، كما تمثله النقطة B فإن الطبقات المزدوجة المنتشرة والمحيطة بحبيبات الغضار تتوسع، هذا الأمر يزيد من التنافر بين حبيبات الغضار وبالتالي يعطي درجة تلبد flocculation ووزن حجمي جاف أعلى.

الزيادة المستمرة في محتوى الرطوبة من النقطة B إلى C يعطي توسع أكثر في الطبقات المزدوجة. التوسع هذا يؤمن زيادة مستمرة في التنافر بين الحبيبات وبالتالي تبقى درجة إمالة كبيرة للحبيبات والتي تسبب بنية مشتتة بشكل أكبر أو أقل. في هذه الحالة فإن الوزن الحجمي الجاف يتناقص لأن إضافة الماء يقلل من تركيز الجزيئات الصلبة للتربة بالنسبة لوحد الحجم.

عند محتوى رطوبة معطى، فإن طاقة رص كبيرة يمكن أن تعطي إمالة متوازية لحبيبات الغضار وهذا الأمر يساعد على تشكل بيئة مشتتة أكثر. ضمن هذا الوضع نجد أن الحبيبات تقترب من بعضها بشكل أكبر ويكون لها وزن حجمي أعلى عند الرص. هذه الظاهرة يمكن أن ترى من خلال المقارنة بين النقطة A والنقطة E في الشكل (9.6).

أما في الشكل (10.6) نبين أثر تغير درجة إمالة الحبيبات مع محتوى الماء اللازم لرص غضار بوسطن الأزرق. ونفس النتائج أكدتها أعمال الباحث (Seed and Chan 1959) من أجل غضار الكاؤولين المرصوص.



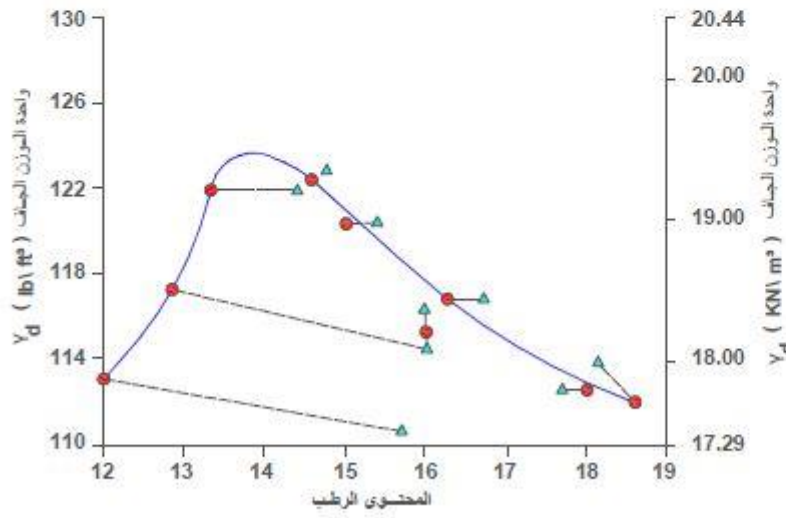
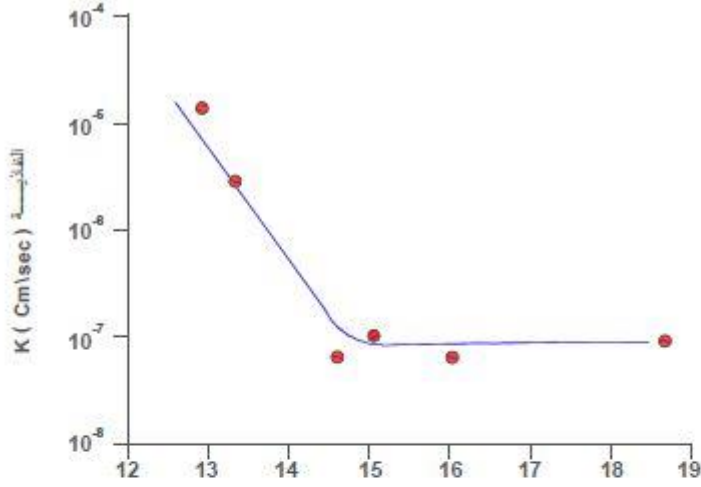
الشكل 10-6 : التوجيه مقابل المحتوى الرطب لغضار بوسطن الأزرق
After Lambe 1958,a.With permission from ASCE

الشكل (10.6) : أثر تغير درجة إمالة الحبيبات مع محتوى الماء اللازم لرص غضار بوسطن الأزرق

6.6 تأثير الرص على خواص التربة المتماسكة

إن عملية الرص تعطي تغير في بنية التربة المتماسكة. ونتيجة لهذا التغير في البنية، نجد تغير في الكثير من خواص التربة مثل : خواص الناقلية الهيدروليكية (النفاذية)، خواص الانضغاطية والمقاومة. الشكل (11.6) يظهر نتائج تجارب نفاذية (الفصل 7) على عينات رملية غضارية من جامايكا. العينات المستخدمة في التجربة تم رصها عند محتويات رطوبة مختلفة ولكن لنفس طاقة الرص.

الناقلية الهيدروليكية، والتي تقيس سهولة جريان الماء خلال التربة، نلاحظ أنها تتناقص مع ازدياد محتوى الرطوبة.



الشكل 11-6 : تأثير الاضغاطية على النفاذية في الترب الغضارية
Redrawn after Lambe 1958b.with permission from ASCE

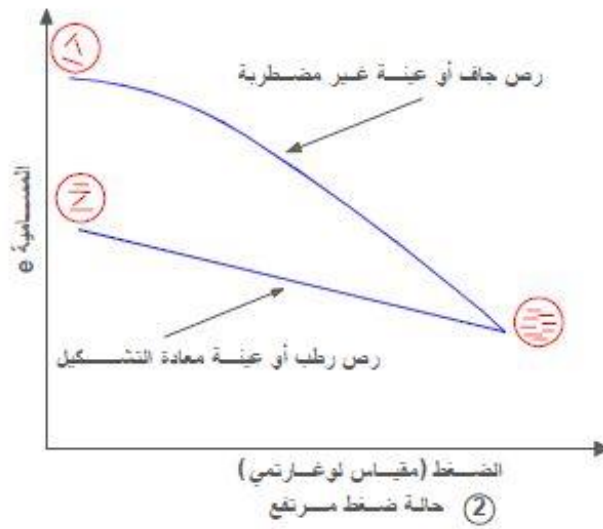
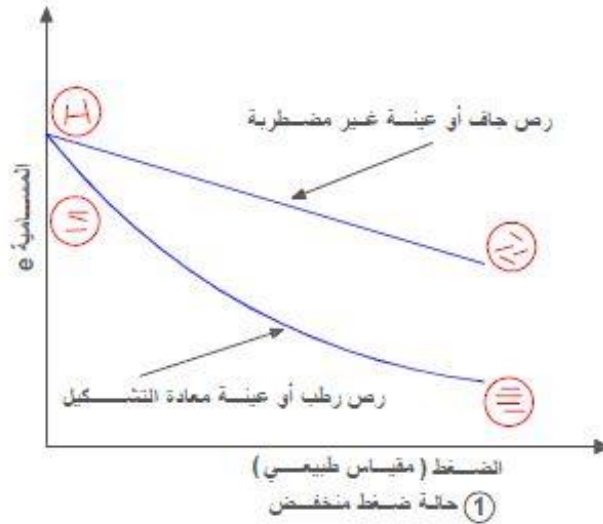
الشكل (11.6) : يظهر نتائج تجارب نفاذية (الفصل 7) على عينات رملية غضارية من جامايكا ويظهر أثر قوة الرص

ونلاحظ أننا نصل إلى قيمة دنيا تقريباً عند محتوى الرطوبة الأمثلي. وبعد محتوى الرطوبة الأمثلي، تزداد الناقلية الكهربائية قليلاً. إن قيمة الناقلية الكهربائية العالية على الجانب الجاف من محتوى الرطوبة الأمثلي هو بسبب الميلان العشوائي لحبيبات الغضار والتي تعطي فراغات أكبر.

خواص الانضغاطية أحادية البعد (سندرها في مقرر ميكانيك التربة 2) للترب الغضارية المرصوفة على الجانب الجاف من محتوى الرطوبة الأمثلي المبين في الشكل (12.6). وتحت ضغط منخفض، نجد أن التربة المرصوفة على الجانب الرطب من محتوى الرطوبة الأمثلي هو أكثر قابلية للانضغاط من التربة المرصوفة على الجانب الجاف من محتوى الرطوبة الأمثلي، وهذا ما يظهر في الشكل (12.6 a). وتحت ضغط مرتفع، الاتجاه يكون بالعكس تماماً، وهذا ما يظهر في الشكل (12.6 b). من أجل عينات مرصوفة على الجانب الجاف من محتوى الرطوبة الأمثلي، يميل الضغط إلى إمالة الحبيبات بشكل عمودي على اتجاه تطبيقها. الفراغات بين حبيبات الغضار تتناقص أيضاً بنفس الوقت. وبكل الأحوال، ومن أجل عينات مرصوفة على الجانب الرطب من الرطوبة الأمثلية، يمكننا الحصول على تشكيل للتربة متطابقة من أجل عينات مرصوفة على الجانب الجاف من الأمثلية. إن مقاومة الترب الغضارية المرصوفة (سندرها في مقرر ميكانيك التربة 2) تتناقص مع زيادة محتوى الرطوبة اللازمة. وهذا ما يظهر في الشكل (13.6) ، ومبرر هذه النتيجة ظهرت بإجراء العديد من تجارب مقاومة الضغط غير المحصور على عينات مرصوفة لتربة سلتية غضارية. تم تحضير عينات التربة عن طريق الرص بالعجن. الشكل (13.6) يظهر العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف ومحتوى الرطوبة للتربة. لاحظ أن العينات A،B،C تم رصها على التوالي على الجانب الجاف من محتوى الرطوبة الأمثلي بجانب محتوى الرطوبة الأمثلي، وعلى الجانب الرطب بالقرب من محتوى الرطوبة الأمثلي. نجد من الشكل أن مقاومة الضغط غير المحصور للعينة المرصوفة q_u تتناقص بشكل كبير على الجانب الرطب من محتوى الرطوبة الأمثلي .

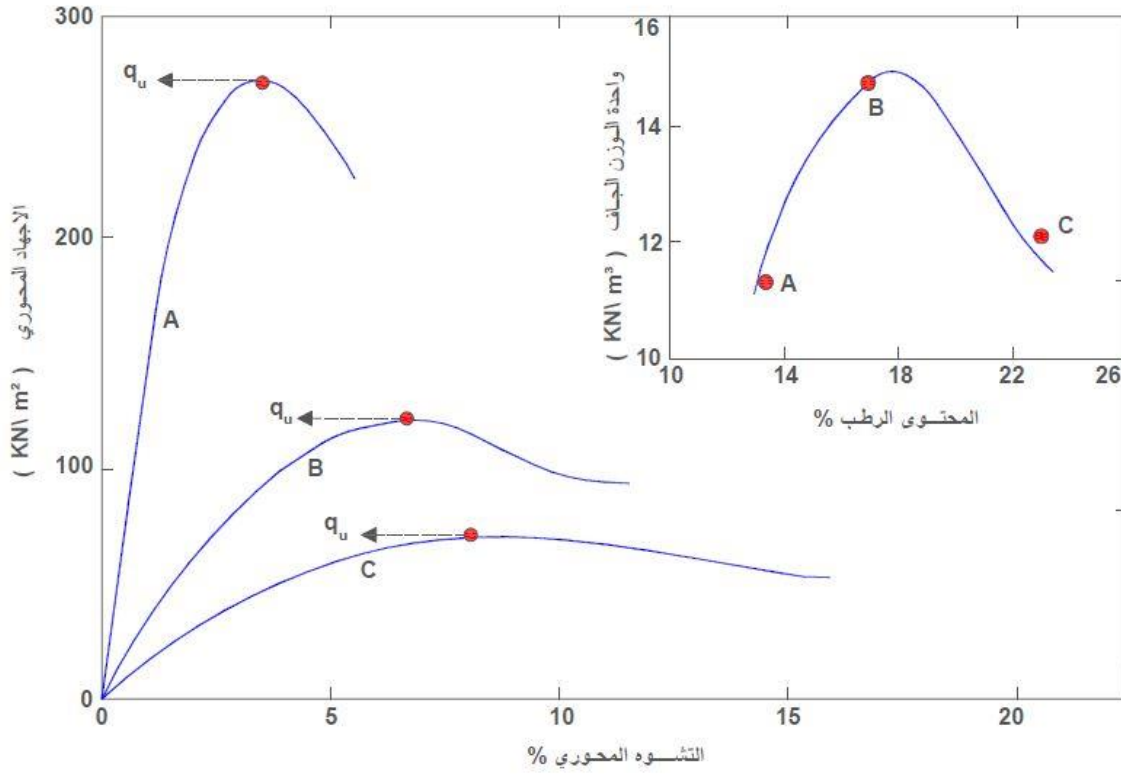
بعض الترب الانتفاخية الغضارية في الحقل لا تبقى مرصوفة ولكن تتوسع ويكبر حجمها عند دخول الماء وتتقلص وينقص حجمها عند فقدان الرطوبة. هذا التقلص والانتفاخ للتربة يمكن أن يسبب أجهادات خطيرة على أساسات المنشآت.

طبيعة التغير بين الانتفاخ والتقلص للترب الانتفاخية يظهر في الشكل (14.6). إن نتائج مخبرية كهذه ممكن أن تساعد مهندسي التربة على اختيار محتوى الرطوبة الأمثلي للرص لتقليل أثر الانتفاخ والتقلص للتربة.



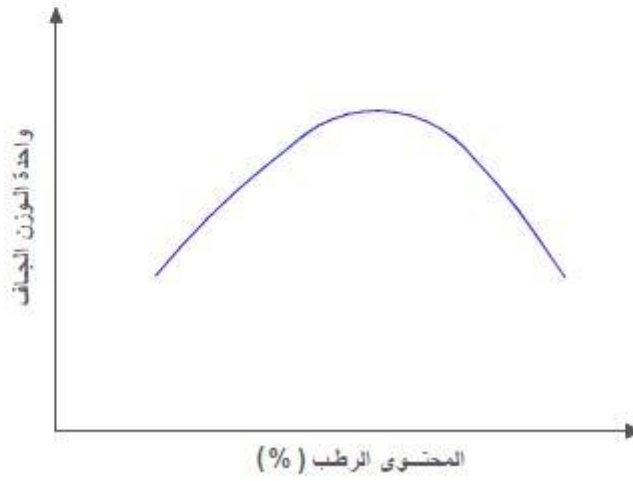
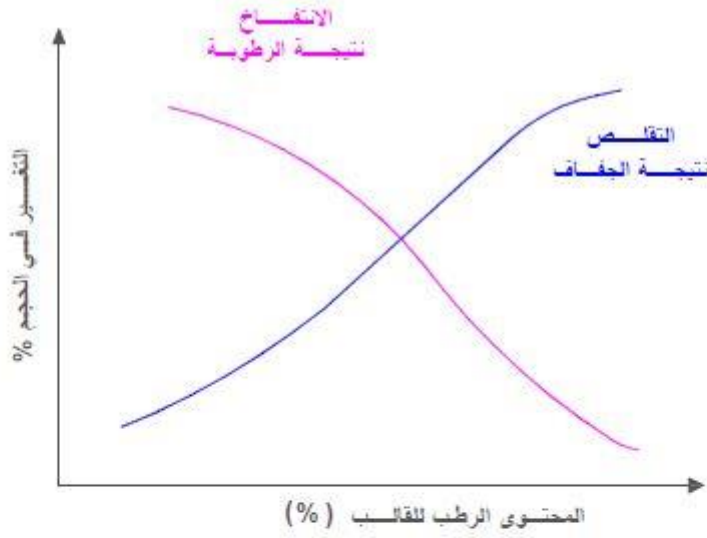
الشكل 6-12 : تأثير الرص على الانضغاطية باتجاه واحد في التربة الغضارية
Redrawn after Lambe 1958,a .With permission from
ASCE

الشكل (12.6) : خواص الانضغاطية أحادية البعد للتربة الغضارية المرصوة على الجانب الجاف من محتوى الرطوبة الأمثلي تحت تأثير ضغط تشديد منخفض وضغط تشديد مرتفع



الشكل 13-6 : تجربة الانضغاطية غير المحصورة على عينات مرصوصة من الغضار السلتي

الشكل (13.6) : تجربة الضغط الحر وإظهار تناقص مقاومة الترب الغضارية المرصوصة مع زيادة محتوى الرطوبة اللازمة



الشكل 14-6 : أنواع طبيعية للتمدد و تقلص التربة الغضارية

الشكل (14.6) : طبيعة التغير بين الانتفاخ والتقلص للتربة الانتفاخية

7.6 الرص الحقلي

معظم عمليات رص التربة بالحقل تتم بواسطة المداحل. الأنواع الأربعة من المداحل والأكثر شيوعاً والمستخدمه في الحقل هي :

1. مداحل ذات الدواليب الملساء (أو مداحل الاسطوانة الملساء).
2. مداحل دواليب المطاط الهوائية.
3. مداحل أرجل الغنم.
4. المداحل الرجاجة .

• **المداحل ذات الدواليب الملساء (الشكل 15.6)** هي مداحل ملائمة لأعمال دحل طبقات التأسيس وأعمال التشطيب للردم بالتراب الرملية والتراب الغضارية. هذه المداحل تؤمن تلامس %100 ما بين التربة والدواليب، وخاصة مع تطبيق ضغط على الأرض بقيمة أعلى من 310 إلى 380 KN/m^2 . ولكنها غير ملائمة لإنتاج وزن حتمي عالي للرص عندما تستخدم لطبقات سميكة.



الشكل (15.6) : المداحل ذات الدواليب الملساء

- **مداخل دواليب المطاط الهوائية (الشكل 16.6)** تكون أفضل في العديد من الحالات من المداخل ذات الدواليب الملساء. هذه المداخل لها أحمال ثقيلة مع عدة صفوف من الدواليب. هذه الدواليب تكون قريبة من بعضها - أربع إلى ست دواليب في الصف الواحد. الضغط المطبق على الأرض تحت الدواليب يمكن أن يتراوح من 600 إلى 700 kN/m^2 ، وهي تعطي نسبة تغطية من 70 إلى 80%. إن مداخل دواليب المطاط الهوائية يمكن استخدامها من أجل رص التربة الرملية والتربة الغضارية. ويتم تحقيق الرص عن طريق تراكم الضغط والعجن.

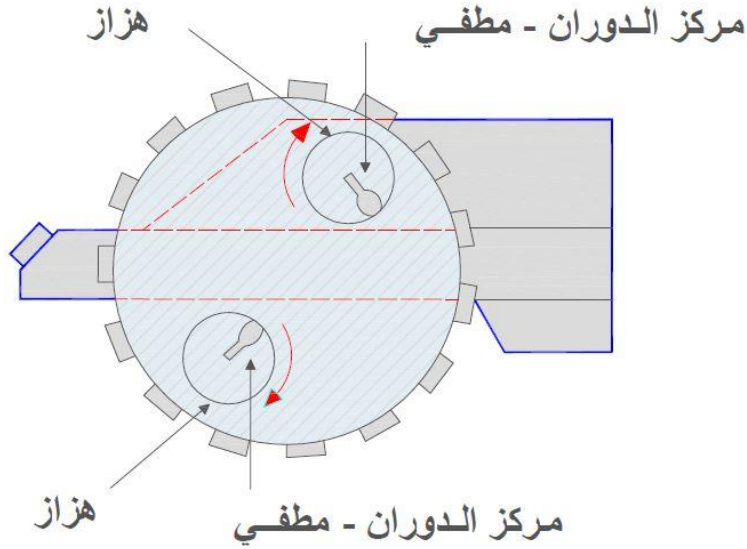


الشكل (16.6) : مداخل دواليب المطاط الهوائية



الشكل (17.6) : مداخل أرجل الغنم

- **مداخل أرجل الغنم (الشكل 17.6)** هي عبارة عن اسطوانة مع عدد كبير من النتوءات. مساحة كل نتوء تتراوح بين 25 إلى 85 cm^2 . هذه المداخل هي الأكثر كفاءة في رص التربة الغضارية. الضغط الواصل للأرض تحت النتوءات يمكن أن يتراوح بين 1400 إلى 7000 Kn/m^2 . خلال عملية الرص في الحقل، الأشواط الأولية ترص الجزء الأسفل من الطبقات، أما رص الطبقات العلوية والوسطى يتم بالمرحلة اللاحقة.
- **المداخل الرجاجة** تكون فعالة بشكل ممتاز في رص التربة الحبيبية. الهزاز ممكن أن يتصل مع اسطوانة ملساء ذات دواليب هواء مطاطية أو ذات أرجل غنم بحيث يعطي الهزاز فعالية رص أكبر للتربة. الشكل (18.6) يشرح مبادئ المداخل الرجاجة. تتم عملية الرج عن طريق دوران أنقال حول المركز.



الشكل 18-6 : مبدأ البكرة الاهتزازية

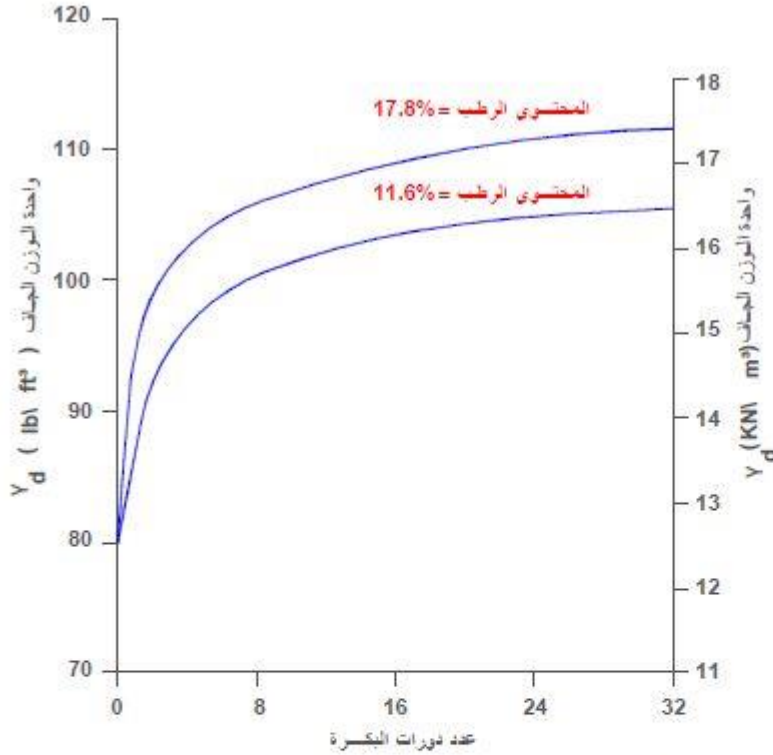
الشكل (18.6) : المداخل الرجاجة

- يمكن استخدام المداخل ذات الصفائح الرجاجة اليدوية لرص فعال للترب الحبيبية في حالة المساحات الضيقة ويمكن أن نصل مجموعة الصفائح الرجاجة المركبة على آليات. حيث يمكن استخدام الصفائح في حالة المناطق الأكثر حرية بالعمل .

ما هي العوامل التي تؤثر على الرص الحقلي

بالإضافة لنوع التربة ومحتوى الرطوبة، هناك عوامل أخرى يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار لتحقيق الوزن الحجمي للرص المطلوب بالحقل. هذه العوامل تتضمن : سماكة الطبقة، كثافة الضغط المطبق من آلة الرص، والمساحة المطبق عليها الضغط. هذه العوامل هامة لأن الضغط المطبق عند السطح يتناقص مع العمق، وهذا الأمر يسبب نقصان في درجة الرص.

خلال الرص، الوزن الحجمي الجاف للتربة يتأثر أيضاً بعدد الأشواط التي تقوم بها المدحلة. الشكل (19.6) يظهر مراحل تطور منحنى الرص لتربة سلتية غضارية. في هذا الشكل نلاحظ أن قيم الوزن الحجمي الجاف لتربة عند محتوى رطوبة محدد يزداد بشكل لا خطي حتى قيمة معينة مع زيادة عدد الأشواط. بعد هذه القيمة، نجد أن قيم الوزن الحجمي الجاف لتربة عند محتوى رطوبة محدد يبقى ثابت تقريباً. في معظم الحالات، حوالي 10 وحتى 15 شوطاً يمكن أن تعطي الوزن الحجمي الجاف الأعظمي الممكن الوصول له اقتصادياً.



غضار سلتي : حد السيولة = 43 قريضة الدونة = 19

شكل 19-6 : منحنيات النمو للغضار السلتي - علاقة بين واحدة الوزن الجاف و عدد الدورات - وزنها 84.5 كيلو نيوتن لثلاثة دواليب . عندما ترص التربة تكون بمقدار 229 ملم و ذلك للطبقات المفككة لحالة درجات مختلفة الترطيب

**From Full-Scale Field Tests on - 3Wheel Power Rollers In
high way Research Bulletin ,272high way Research Board
,National Research Council
,Washington,D.C,1960.Figure,15p 23reproduced with
permission of the Transportation Reseach Board**

الشكل (19.6) : مراحل تطور منحنى الرص لتربة سلتيه غضارية

الشكل (20.6 a) يظهر تغير قيم الوزن الحجمي للرص مع العمق من أجل تربة رملية فقيرة التدرج الحبي حيث تم الرص بواسطة مدحلة رجاية اسطوانية. تتم عملية الرج بواسطة تحرك وزن لا مركزي على مسنن وحيد الدوار مع الاسطوانة الرجاية. وزن المدحلة المستخدمة في الرص هو 55.6 kN وقطر الاسطوانة بحدود 1.19 mm . الطبقات Lifts بقيت عند 2.44 m .

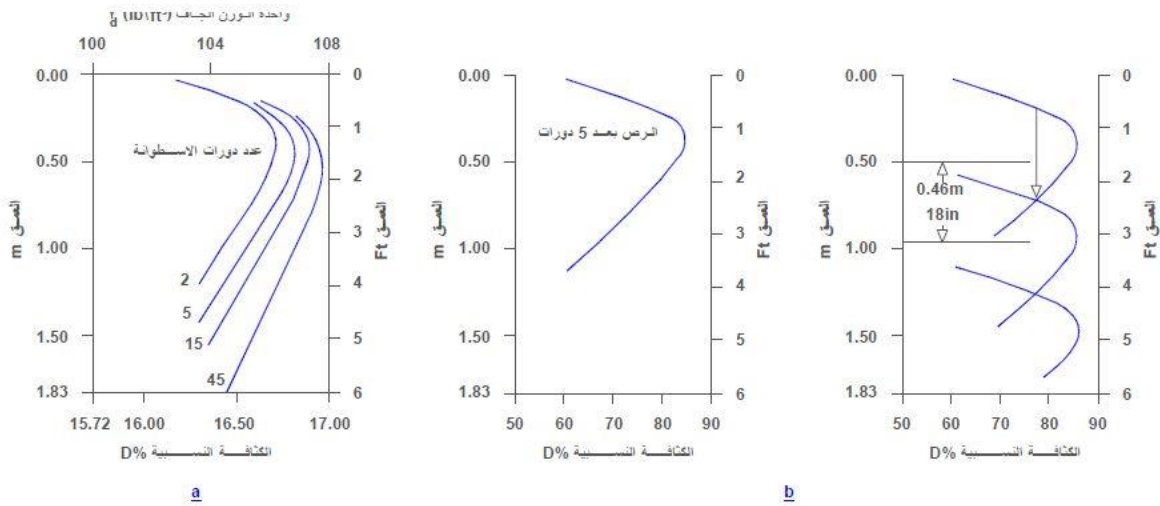
لاحظ أنه عند عمق معطى، الوزن الحجمي الجاف للرص يزداد مع ازدياد عدد أشواط المدحلة. ولكن وبعد عمق معين نلاحظ أن نسبة زيادة الوزن الحجمي تتناقص تدريجياً بعد 15 شوط وهذا ما

يظهره الشكل (a 6.20) الذي يوضح تغير الوزن الحجمي الجاف مع العمق من أجل عدد اشواط مدحلة معطى.

التجارب أثبتت أن تغير قيم الوزن الحجمي الجاف والكثافة النسبية D_r ، تصل إلى قيمة عظمى عند عمق حوالي 0.5m ويتناقص تدريجياً عند أعماق أكبر. هذا التناقص يظهر بسبب نقصان الضغط المحصور بالنسبة للسطح.

عندما يتم تحديد العلاقة بين العمق والكثافة النسبية (أو الوزن الحجمي الجاف) من أجل تربة معطاة مع عدد أشواط مدحلة معلوم، فإن تقدير السماكة التقريبية لكل طبقة هو تقريباً سهل. هذه النتائج مبينة في الشكل (b 20.6) وذلك حسب :

D'Appolonia، Whitman، and D'Appolonia، 1969.



الشكل 6-20 (a) رص الرمل بالاهتزاز - التفسير في واحدة الوزن الجاف مع عدد دورات ، ارتفاع السقوط 2.44 متر .

(b) تقدير سمك رفع المضغوط للحد الأدنى المطلوب لكثافة نسبية تساوي 75% مع خمس عدد دورات

After D'Appolonia, Whitman, and D'Appolonia. 1969, With permission from ASCE

الشكل (20.6) : (a) تغير قيم الوزن الحجمي للرص مع العمق من أجل رمل فقير التدرج الحبي حيث تم الرص بواسطة

مدحلة رجاجة اسطوانية

(b) : استنتاج سماكة الرص مع تغير الكثافة النسبية

8. 6 مواصفات الرص الحقلي

من أجل الأعمال الترابية وفي معظم المواصفات التنفيذية، يطلب من المنفذ تحقيق درجة رص حقلي محددة بوزن حجمي جاف نسبته محصورة من 90% إلى 95% من قيمة الوزن الحجمي الجاف الأعظمي المحدد في المخبر وفق تجربة بروكتور القياسية أو المعدلة. هذه العملية تعتبر توصيف للرص النسبي الذي يمكن التعبير عنه بالعلاقة التالية :

$$R\% = \frac{\gamma_{d(\text{حقلي})}}{\gamma_{d(\text{مخبر} - \text{max})}} \quad (10.6)$$

حيث R : الرص النسبي .

ومن أجل رص الترب الحبيبية، يمكن التعبير عن المواصفات من خلال الكثافة النسبية D_r أو الرص النسبي المطلوب. حيث لا يجب الخلط بين الرص النسبي والكثافة النسبية. وبالعودة إلى الفصل الثالث وبحسب مفهوم الكثافة النسبية، نستطيع أن نكتب :

$$D_r = \left[\frac{\gamma_{d(\text{حقلي})} - \gamma_{d(\text{min})}}{\gamma_{d(\text{max})} - \gamma_{d(\text{min})}} \right] \left[\frac{\gamma_{d(\text{max})}}{\gamma_{d(\text{حقلي})}} \right] \quad (11.6)$$

وبالمقارنة مع المعادلة (10.6) و (11.6) نستطيع القول أن :

$$R = \frac{R_0}{1 - D_r(1 - R_0)} \quad (12.6)$$

حيث :

$$R_0 = \frac{\gamma_{d(\text{min})}}{\gamma_{d(\text{max})}} \quad (13.6)$$

وبناءً على الاستنتاجات المقدمة من الباحثين Lee and Singh (1971) المتعلقة بدراسة 47 عينة تربة، وجدوا أن هناك علاقة تربط ما بين القيمة R والقيمة D_r للترب الحبيبية مبينة بالعلاقة:

$$R = 80 + 0.2D_r \quad (14.6)$$

إن مواصفات الرص الحقلي والمحددة بناءً على الكثافة النسبية أو الرص النسبي تعتبر مواصفة مهمة ومطلوبة عند نهاية الأعمال الترابية. حيث على المنفذ أن يحقق وزن حجمي جاف مطلوب بغض النظر عن العملية الحقلية المتبعة لذلك.

أكثر ظروف الرص اقتصادية يمكن التعبير عنها بمساعدة الشكل (21.6)، الذي يبين ثلاث منحنيات رص وهي المنحنيات : C,B,A هذه المنحنيات هي لنفس التربة ولكن مع تغيير طاقة الرص.

من خلال تحليل النتائج نلاحظ أن المنحني A والذي يمثل حالة أكبر طاقة رص يمكن أن نحصل عليها من خلال الآلة الموجودة في الموقع. ولكي نحقق المواصفات، يجب أن نلزم المنفذ أثناء عمليات الرص للتربة في الحقل أن يحقق وزن حجمي جاف أصغري بقيمة :

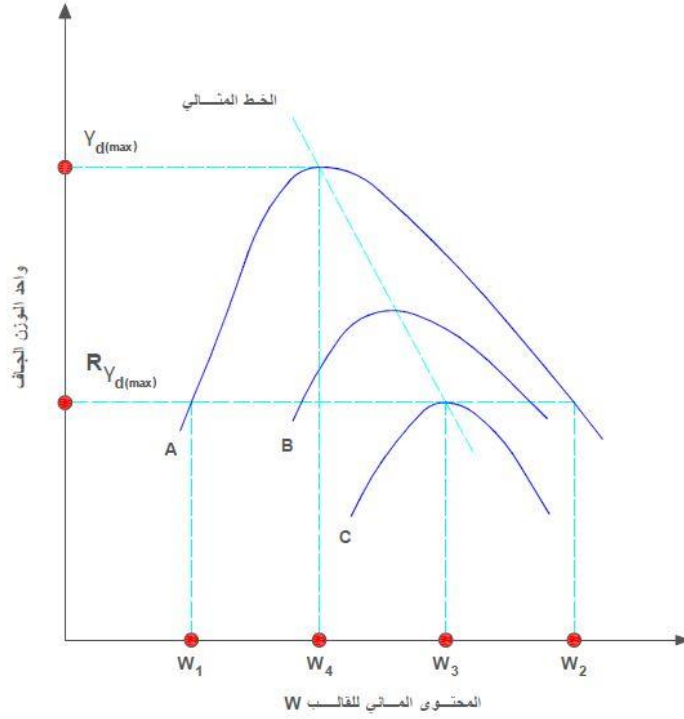
$$\gamma_{d(\text{حقلي})} = R \cdot \gamma_{d(\text{max})}$$

في هذه الحالة ، يجب على المنفذ أن يتأكد من أن محتوى الرطوبة W يقع بين W_1 و W_2 .

أما بالنسبة لمنحني الرص في الحالة C، نجد أن القيمة المطلوبة للوزن الحجمي الجاف $\gamma_{d(\text{حقلي})}$ يمكن أن تتحقق بطاقة رص أقل عند محتوى رطوبة $W = W_3$. على كل حال، ومن أجل أكثر الحالات نجد أن قيمة الوزن الحجمي الجاف لتربة مرصوصة حقلياً $\gamma_{d(\text{حقلي})} = R \cdot \gamma_{d(\text{max})}$ لا يمكن أن تتحقق بقيمة دنيا لطاقة الرص. هذا الأمر يمكننا أن نلاحظه من أجل منحني الرص B الذي يمثل هذه الحالة.

من الشكل 21.6 نستطيع أن نرى أن أكثر محتوى رطوبة اقتصادي هو بين W_3 و W_4 . مع ملاحظة أن محتوى الرطوبة $W = W_4$ هي محتوى الرطوبة الأمثلي من أجل المنحني A، والذي هو من أجل طاقة رص عظمى.

إن هذا المبدأ والذي تم شرحه في الفقرة السابقة، والموضح في الشكل (21.6) يعود تاريخياً إلى Seed (1964) وتم تفصيله بشكل أكبر من قبل Holtz and Kovacs (1981) .



الشكل 21-6 : أغلب حالات الرص الاقتصادية

الشكل (21.6) : شروط الرص الاقتصادية

في الجدول (2.6) نبين بعض المتطلبات اللازمة لتحقيق نسبة رص % 100 - 95 انطلاقاً من نتائج تجربة بروكتور القياسية للوزن الحجمي الجاف الأعظمي عن طريق مختلف معدات الرص المتوفرة في الحقل U.S. Department of Navy، (1971).

الجدول (6.2) يبين بعض المتطلبات اللازمة لتحقيق نسبة رص % 100 - 95 انطلاقاً من نتائج تجربة بروكتور القياسية للوزن الحجمي الجاف الأعظمي عن طريق مختلف معدات الرص المتوفرة في الحقل.

(U.S. Department of Navy, 1971)..

Requirements for compaction of 95 to 100% standard Proctor maximum dry unit weight						
Equipment type	Applicability	Compacted lift thickness	Passes or coverages	Dimensions and weight of equipment		Possible variations in equipment
Sheepsfoot rollers	For fine-grained soils or dirty coarse-grained soils with more than 20% passing the No. 200 sieve. Not suitable for clean, coarse-grained soils. Particularly appropriate for compaction of impervious zone for earth dam or linings where bonding of lifts is important.	150 mm (6 in.)	4 to 6 passes for fine-grained soil	Soil type Fine-grained soil, $PI > 30$	Foot contact area 30 to 80 cm ² (5 to 12 in ²)	Foot contact pressures 1700 to 3400 kN/m ² (250 to 500 psi)
			6 to 8 passes for coarse-grained soil	Fine-grained soil, $PI < 30$ Coarse-grained soil	45 to 90 cm ² (7 to 14 in ²) 65 to 90 cm ² (10 to 14 in ²)	1400 to 2800 kN/m ² (200 to 400 psi) 1000 to 1800 kN/m ² (150 to 250 psi)
Rubber-tired rollers	For clean, coarse-grained soils with 4 to 8% passing the No. 200 sieve.	250 mm (10 in.)	3 to 5 coverages	Tire inflation pressures of 400 to 550 kN/m ² (60 to 80 psi) for clean granular material or base course and subgrade compaction. Wheel load, 80 to 110 kN (18,000 to 25,000 lb.)		A wide variety of rubber-tired compaction equipment is available. For cohesive soils, light-wheel loads, such as provided by wobble-wheel equipment, may be substituted for heavy-wheel loads if lift thickness is decreased. For cohesionless soils, large-size tires are desirable to avoid shear and rutting.
	For fine-grained soils or well-graded, dirty, coarse-grained soils with more than 8% passing the No. 200 sieve.	150 to 200 mm (6 to 8 in.)	4 to 6 coverages	Tire inflation pressures in excess of 450 kN/m ² (65 psi) for fine-grained soils of high plasticity. For uniform clean sands or silty fine sands, use larger-size tires with pressures of 280 to 350 kN/m ² (40 to 50 psi.)		
Smooth-wheel rollers	Appropriate for subgrade or base course compaction of well-graded sand-gravel mixtures.	200 to 300 mm (8 to 12 in.)	4 coverages	Tandem-type rollers for base-course or sub-grade compaction, 90 to 135 kN (10 to 15 ton) weight, 53 to 88 kN per linear meter (300 to 500 lb per linear in.) of width of rear roller.		Three-wheel rollers are obtainable in a wide range of sizes. Two-wheel tandem rollers are available in the 9 to 180 kN (1- to 20-ton) weight range. Three-axle tandem rollers are generally used in the 90 to 180 kN (10- to 20-ton) weight range. Very heavy rollers are used for proof rolling of subgrade or base course.
	May be used for fine-grained soils other than in earth dams. Not suitable for clean, well-graded sands or silty, uniform sands.	150 to 200 mm (6 to 8 in.)	6 coverages	Three-wheel roller for compaction of fine-grained soil; weights from 45 to 55 kN (5 to 6 tons) for materials of low plasticity to 90 kN (10 tons) for materials of high plasticity.		
Vibrating baseplate compactors	For coarse-grained soils with less than about 12% passing the No. 200 sieve. Best suited for materials with 4 to 8% passing the No. 200 sieve, placed thoroughly wet.	200 to 250 mm (8 to 10 in.)	3 coverages	Single pads or plates should weigh no less than 0.9 kN (200 lb). May be used in tandem where working space is available. For clean, coarse-grained soil, vibration frequency should be no less than 1600 cycles per minute.		Vibrating pads or plates are available, hand-propelled or self-propelled, single or in gangs, with width of coverage from 0.45 to 4.5 m (1½ to 15 ft). Various types of vibrating-drum equipment should be considered for compaction in large areas.
Crawler tractor	Best suited for coarse-grained soils with less than 4 to 8% passing the No. 200 sieve, placed thoroughly wet.	250 to 300 mm (10 to 12 in.)	3 to 4 coverages	No smaller than D8 tractor with blade, 153 kN (34,500 lb) weight, for high compaction.		Tractor weights up to 265 kN (60,000 lb.)
Power tamper or rammer	For difficult access, trench backfill. Suitable for all inorganic soils.	100 to 150 mm (4 to 6 in.) for silt or clay; 150 mm (6 in.) for coarse-grained soils	2 coverages	130 N (30 lb) minimum weight. Considerable range is tolerable, depending on materials and conditions.		Weights up to 1.1 kN (250 lb); foot diameter, 100 to 250 mm (4 to 10 in.)

* After U.S. Navy (1971). Published by U.S. Government Printing Office

9.6 تحديد الوزن الحجمي للتربة المرصوصة حقلياً

خلال تقدم أعمال الرص في الحقل، فإن معرفة إذا ما تم تحقيق المواصفات اللازمة والمطلوبة للوزن الحجمي هو أمر مفيد جداً للمهندس المنفذ. ولتحقيق ذلك لا بد من إجراء تجارب قياسية تحدد لنا الوزن الحجمي للرص حقلياً. هذه التجارب يمكن أن تتم بعدة طرق منها :

1. طريقة مخروط الرمل .
2. طريقة بالون المطاط.
3. طريقة الكثافة النووية.

وفي الفقرات التالية سنقدم شرح مختصر لكل من هذه الطرق.

1.9.6 طريقة مخروط الرمل (ASTM Designation D-1556)

في هذه الطريقة نستخدم جهاز يسمى مخروط الرمل. هذا الجهاز يتكون من وعاء زجاجي أو بلاستيكي مع مخروط معدني موصول في الأعلى (الشكل 22.6).



الشكل (22.6) : جهاز مخروط الرمل

لاجراء العمل لا بد من خطوات وهي :

1. نقوم بملء الوعاء برمل جاف ومنتظم. ويتم تحديد وزن الوعاء مع المخروط والرمل المملوء

معاً وهذه القيمة هي : (W_1) .

2. في الحقل، نقوم بحفر حفرة صغيرة في المساحة التي تم رصها ويتم أخذ كل التربة التي تمّ

حفرها كاملة (بدون ترك أي نواعم) ويتم قياس وزن التربة الرطبة المحفورة من الحفرة وهذه

القيمة هي : (W_2) .

3. يتم قياس محتوى الرطوبة للتربة التي تمّ أخذها من الحفرة في الموقع وهي القيمة w .

4. نقوم بحساب وزن التربة الجاف للتربة التي تمّ أخذها من الحفرة في الموقع من خلال العلاقة

التالية :

$$W_3 = \frac{W_2}{1 + \frac{w(\%)}{100}} \quad (15.6)$$

حيث w = محتوى الرطوبة المقاس في الخطوة (3) .

5. بعد حفر الحفرة، نقوم بقلب الوعاء المملوء بالرمل مع المخروط ووضعها فوق الحفرة التي

تمّ حفرها بالخطوة (2) (الشكل 23.6). ونسمح للرمل بالتدفق من الوعاء وذلك حتى يتم

ملء الحفرة بشكل كامل.

6. نقوم الآن بوزن كمية الرمل المتبقي وهي ضمن الوعاء مع المخروط وهذه القيمة هي (W_4) :

$$W_5 = W_1 - W_4 \quad (16.6)$$

حيث W_5 = وزن الرمل اللازم لملئ الحفرة والمخروط.

7. نقوم بحساب حجم الحفرة التي تم حفرها في الموقع وذلك من خلال المعادلة :

$$V = \frac{W_5 - W_c}{\gamma_d(\text{للرمل المستخدم})} \quad (17.6)$$

حيث:

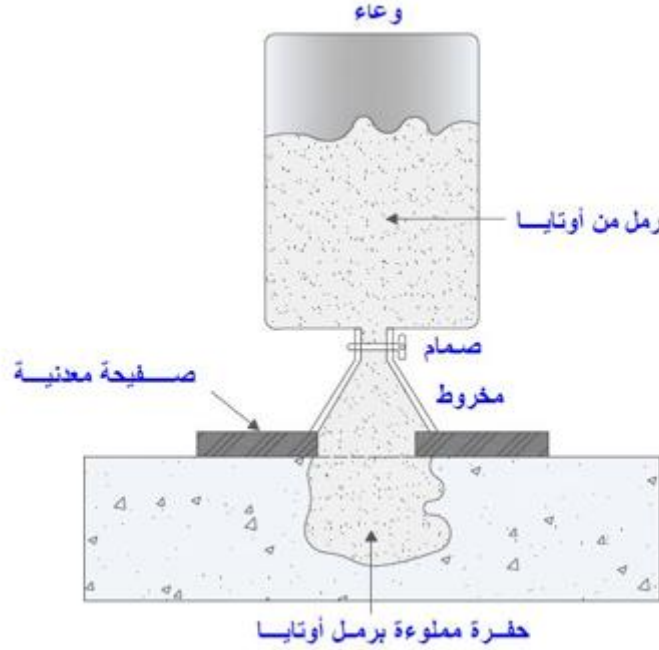
W_c = وزن الرمل اللازم لملء المخروط فقط.

$\gamma_d(\text{sand})$ = الوزن الحجمي الجاف لرمل Ottawa المستخدم.

إن القيم W_c و $\gamma_{d(sand)}$ يتم تحديدها بشكل دقيق في المخبر.

8. نقوم الآن بتحديد قيمة الوزن الحجمي الجاف للرص الحقلي من خلال العلاقة التالية :

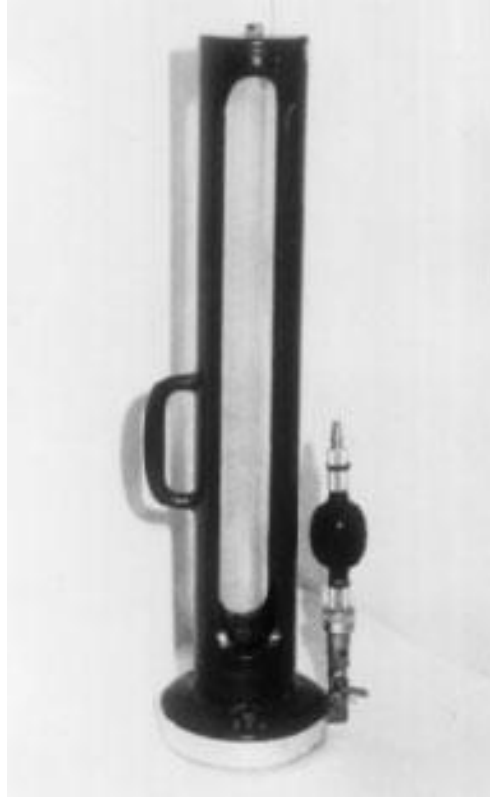
$$\gamma_{d(\text{حقلي})} = \frac{W_3}{V} \quad (18.6)$$



الشكل (22.6) : جهاز مخروط الرمل عند ملئ الحفرة بالرمل

2.9.6 طريقة بالون المطاط (ASTM Designation D-2167)

العملية المتبعة في هذه الطريقة هي مشابهة لطريقة مخروط الرمل؛ حيث يتم عمل حفرة وإزالة التربة الرطبة من الحفرة ويتم تحديد رطوبتها. أما حجم الحفرة يتم تحديده عن طريق ملأها بالون المطاط المملوء بالماء من وعاء معاير يمكننا من قراءة الحجم مباشرة. الوزن الحجمي الجاف للتربة المرصوة يمكن أن يحدد من خلال المعادلة (18.6). الشكل (24.6) يظهر وعاء معاير والذي ممكن أن يستخدم مع بالون المطاط.



الشكل (24.6) : جهاز بالون المطاط

3.9.6 طريقة الكثافة النووية

مقياس الكثافة النووي يتم استخدامه غالباً لتحديد الوزن الحجمي الجاف للتربة المرصوفة. يعمل مقياس الكثافة النووي إما من خلال ثقب محفورة ضمن الطبقة المرصوفة أو من على سطح الأرض التي تم رصها. نستخدم في هذه الطريقة مصدر لنظائر مشعة. تعطي هذه النظائر أشعة غاما والتي تنعكس بدورها إلى كاشف المقياس. ونحن نعلم أن التربة الكثيفة والمرصوفة جيداً تمتص أشعة بشكل أكبر من التربة المخلخلة. تقوم الآلة بقياس وزن التربة الرطبة نسبة لواحدة الحجم وأيضاً تقوم بقياس وزن الماء الموجود في واحدة الحجم. يمكن أن يحدد الوزن الحجمي الجاف للتربة المرصوفة من خلال طرح وزن الماء من الوزن الحجمي الرطب للتربة. الشكل (25.6) يظهر صورة لمقياس الكثافة النووي.



الشكل (25.6) : صورة لمقياس الكثافة النووي

مثال 3.6 :

أجريت تجربة الرص في المخبر على عينة تربة غضارية سلتية ونتائج هذه التجربة معطاة في الجدول التالي :

الوزن الحجمي الجاف (kN/m^3)	رطوبة التربة (%)
14.8	6
17.45	8
18.52	9
18.9	11
18.5	12
16.9	14

وفيما يلي نقدم نتائج لقيم الوزن الحجمي التي قيست حقلياً والتي تم تحديدها من خلال طريقة مخروط الرمل على نفس عينة التربة :

- الكثافة الجافة المعاييرة للرمل الجاف المستخدم = 1570 kg/m^3
- الكتلة المعاييرة لرمل للرمل المستخدم اللازمة لماء المخروط = 0.545 kg .
- كتلة الوعاء + المخروط + الرمل (قبل الاستخدام) = 7.59 kg .
- كتلة الوعاء + المخروط + الرمل (بعد الاستخدام) = 4.78 kg .
- كتلة التربة الرطبة من الحفرة التي نفذت في المنطقة المرصوفة = 3.007 kg .
- محتوى الرطوبة للتربة الرطبة = 10.2%

والمطلوب : تحديد :

- a. الوزن الحجمي الجاف للرص حقلياً .
- b. الرص النسبي حقلياً .

الحل :

الطلب الأول :

في الحقل لدينا :

$$7.59 \text{ kg} - 4.8 \text{ kg} = 2.81 \text{ kg} = \text{كتلة الرمل المستخدم لملء الحفرة والمخروط}$$

$$2.81 \text{ kg} - 0.545 \text{ kg} = 2.265 \text{ kg} = \text{كتلة الرمل المستخدم لملء الحفرة}$$

$$V = \frac{2.265}{\gamma_{d(\text{للمرمل المستخدم})}}$$

$$V = \frac{2.265}{1750} = 0.0014426 \text{ m}^3$$

$$\text{الوزن الحجمي للتربة المرصوصة} = \frac{3.007}{0.0014426} \times \frac{9.81}{1000} = 20.45 \text{ kN/m}^3$$

وبالتالي :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}} = \frac{20.45}{1 + \frac{10.2}{100}} = 18.65 \text{ kN/m}^3$$

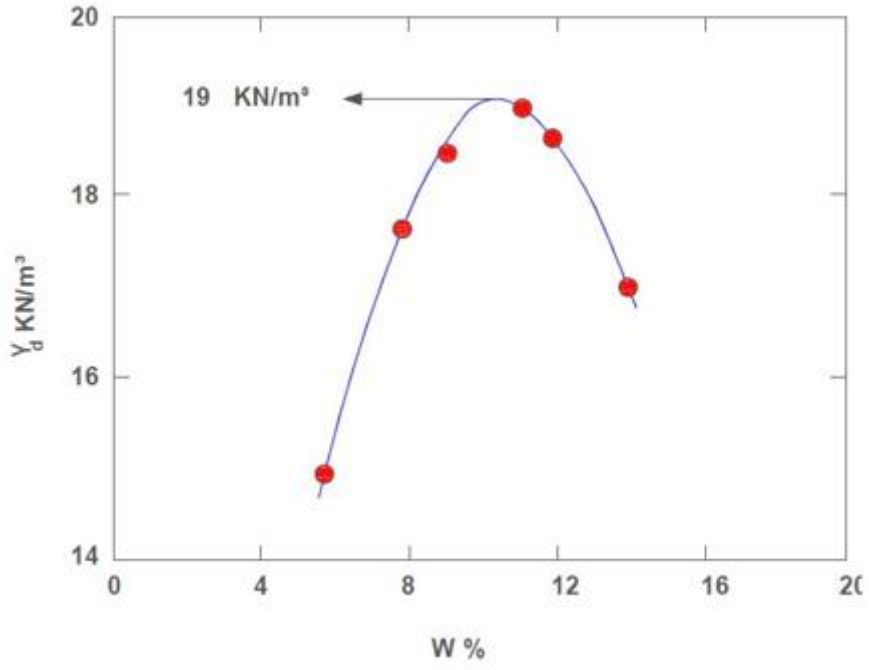
الطلب الثاني :

إن نتائج التجارب المخبرية التي أجريت لرص التربة مبينة على الشكل (26.6)، ومن هذا

$$\gamma_{d(\text{sand})} = 19 \text{ KN/m}^3 \text{ نجد}$$

لذلك ومن خلال استخدام المعادلة (6.10) نجد :

$$R \% = \frac{\gamma_{d(\text{حقلي})}}{\gamma_{d(\text{مخبر - max})}} = \frac{18.56}{19.00} = 97.7 \%$$



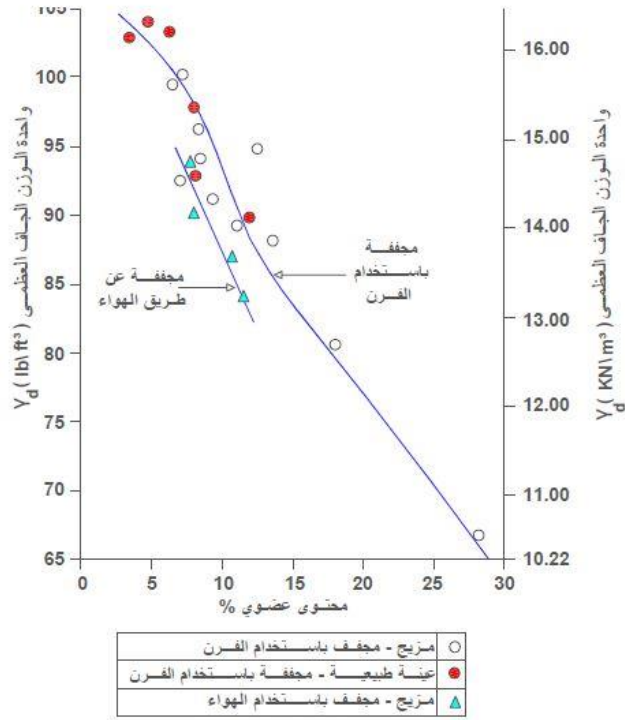
الشكل (26.6) : مخطط مخبري لنتائج تجربة الرص

10.6 رص الترب العضوية ومواد المخلفات

إن وجود المواد العضوية في التربة تقلل من مقاومتها. وفي العديد من الحالات، نجد أن الترب الحاوية على نسبة عالية من محتوى الرطوبة هي عادة ترفض كموايد ردم. لكن وفي بعض الظروف الاقتصادية يمكن قبول رص الترب الحاوية على نسب قليلة من المواد العضوية. في الحقيقة، الترب العضوية مفضلة في العديد من الحالات (مثل : الزراعة، الزحف الصحراوي، mitigation ، والتخطيط العمراني)، وبسبب أن كلفة التخلص من هذه المخلفات عالية، فإن هذا الأمر شكل اهتماماً للمهندسين في كيفية الاستفادة من مواد المخلفات (مثل : الرماد الناتج عملية حرق الفحم، بقايا النحاس، بقايا طواحن الورق، بقايا الدوايب الممزقة الممزوجة مع الترب اللاعضوية وهكذا...) للإستخدام في العديد من من عمليات الردم. إن استخدام مثل هذه البقايا هو حالياً الاهتمام الأكبر لمهندسي الجيوتكنيك. إن الفقرات التالية هي لمناقشة خواص الرص لبعض هذه المواد.

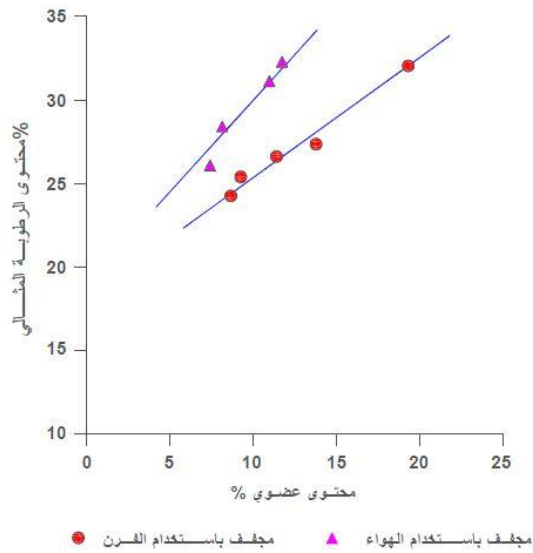
1.10.6 الترب العضوية

قام كلاً من السيد فرانكلين ومساعديه Franklin, Orozco and Semrau في العام (1973) بإجراء العديد من التجارب المخبرية لاستنتاج تأثير محتوى الرطوبة على خواص الرص للتربة. من خلال المنهج التجريبي، تم إجراء عدة تجارب على العديد من الترب الطبيعية وخلائط التربة. الشكل (27.6) يظهر تأثير المواد العضوية على الوزن الحجمي الجاف الأعظمي. من الشكل نجد أنه عندما تتخطى نسبة المواد العضوية المجال من 8 % إلى 10 % فإن الوزن الحجمي الجاف الأعظمي يتناقص بشكل كبير. وبالعكس فإن محتوى الرطوبة الأمثلي من أجل طاقة رص معطاة يزداد مع ازدياد محتوى المواد العضوية، وهذه ما يظهره الشكل (28.6). وبشكل مشابه نجد أن مقاومة الضغط غير المحصور الأعظمية (مقرر ميكانيك التربة 2) المأخوذة لعينة تربة مرصوطة (مع طاقة رص معطاة) تتناقص مع ازدياد محتوى المواد العضوية في التربة. ومن خلال هذه الحقائق، نستطيع أن نرى أن الترب مع محتوى رطوبة أعلى من 10 % غير مفضلة لأعمال الرص.



شكل 27-6 : تغيير وزن واحد الحجم الجاف العظمي مع محتوى عضوي
After Franklin,Orozco ,and Semrau.1973,With permission from ASCE

الشكل (27.6) : تأثير المواد العضوية على الوزن الحجمي الجاف الأعظمي



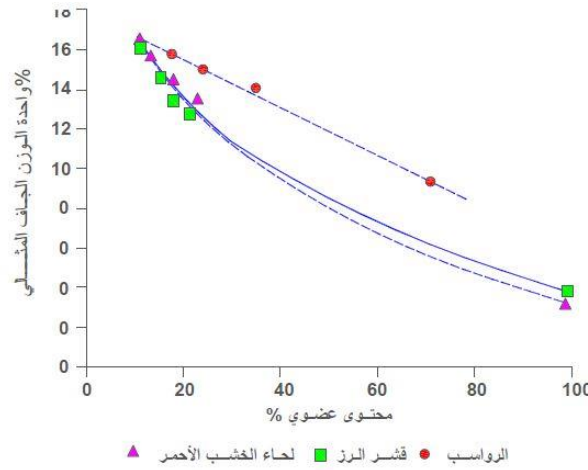
الشكل 28-6 : تغيير محتوى الرطوبة المثالي مع المحتوى العضوي
After Franklin,Orozco ,and Semrau.1973,With permission from ASCE

الشكل (28.6) : تغيير محتوى الرطوبة المثالي مع ازدياد محتوى المواد العضوية

2.10.6 التربة وخليط المواد العضوية

قام السادة Lancaster et al (1996) بإجراء تجارب بروكتور معدلة عديدة من أجل تحديد تأثير محتوى المواد العضوية على الوزن الحجمي الجاف الأعظمي ومحتوى الرطوبة الأمثلي للتربة وخليط المواد العضوية. التربة المستخدمة للتجربة تتألف من رمل فقير التدرج الحبي (SP- SM) ممزوج مع بقايا لحاء الخشب الأحمر، بقايا قشور الأرز، حمأة مياه الصرف الصحي. الشكلين (29.6) و (30.6) يظهران تغير الوزن الحجمي الجاف الأعظمي ومحتوى الرطوبة الأمثلي على التوالي مع تغير محتوى الرطوبة. وكما في الشكل (27.3)، نجد أن الوزن الحجمي الجاف الأعظمي يتناقص مع تغير محتوى المواد العضوية في العديد من الحالات (انظر الشكل (29.6).

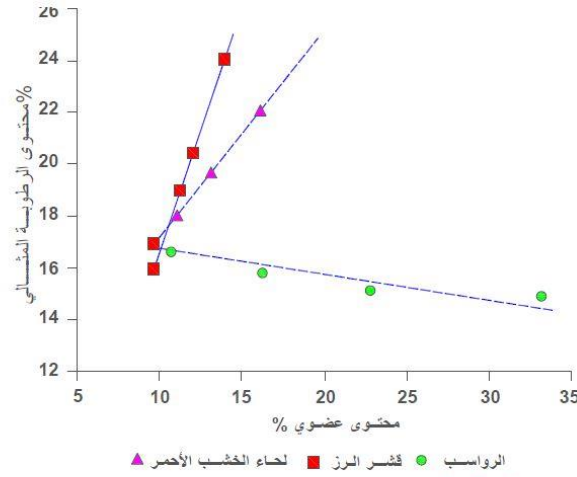
وبالعكس فإن محتوى الرطوبة الأمثلي يزداد مع ازداد محتوى الرطوبة من أجل التربة المخلوطة مع بقايا لحاء الخشب الأحمر أو قشور الأرز (انظر الشكل 30.6). وبشكل مشابه للنمط الظاهر في الشكل (28.6)، نجد أنه من أجل خليط لتربة مع حمأة مياه الصرف الصحي، فإن محتوى الرطوبة يبقى ثابت عملياً (انظر الشكل 30.6).



الشكل 29-6 : تغير وحدة الوزن الجاف العظمي للانضغاطية مع المحتوى العضوي و مزيج من المواد العضوية

After "the effect of Organic Content on Soil Compaction
by J.Lancaster, R.Waco, J.Towle, and R.Chaney. 1996, In Proceedings, Third
International Symposium on Environmental Geotechnology, p.159. Used
with permission of the author

الشكل (29.6) : تغير الوزن الحجمي الجاف الأعظمي مع تغير المحتوى العضوي



الشكل 30-6 : تفسير محتوى الرطوبة المثالي مع المحتوى العضوي و مزيج من المواد العضوية
 After "the effect of Organic Content on Soil Compaction
 by J.Lancaster, RWaco, J.Towle, and R.Chaney. 1996, In Proceedings, Third
 International Symposium on Environmental Geotechnolgy ,p.159. Used
 with permission of the author

الشكل (30.6) : تغير محتوى الرطوبة الأمثلي على التوالي مع تغير المحتوى العضوي

3.10.6 الرماد الناتج من عملية حرق الفحم وبقايا النحاس

نتائج تجارب بروكتور القياسية للرماد الناتج من حرق الفحم power plants وبقايا النحاس أيضاً يمكن استخدامها لتحسين عمليات الرص. أظهرت هذه البقايا أنها صديقة للبيئة عندما تستخدم كرميات. إن ملخص لبعض نتائج تجارب هذه المواد مشروحة في الجدول (3.6).

الجدول (3.6) : نتائج تجارب بروكتور القياسية للرماد الناتج من حرق الفحم power plants وبقايا النحاس

Type	Location	Maximum dry unit weight		Optimum moisture content	Source
		kN/m ³	lb/ft ³	(%)	
Bottom ash— bituminous coal (West Virginia)	Fort Martin	13.4	85	24.8	Seals, Moulton, and Ruth (1972)
	Kammer	16.0	102	13.8	
	Kanawha River	11.4	72.6	26.2	
	Mitchell	18.3	116.6	14.6	
	Muskingham	14.3	91.1	22.0	
Bottom ash— lignite coal	Willow Island	14.5	92.4	21.2	Das, Selim, and Pfeifle (1978)
	Big Stone Power Plant, South Dakota	16.4	104.4	20.5	
Copper slag	American Smelter and Refinery Company, El Paso, Texas	19.8	126	18.8	Das, Tarquin, and Jones (1983)

11.6 تقنيات رص خاصة

تم تطوير العديد من تقنيات الرص المختلفة من أجل رص الترب العميقة في المكان. هذه التقنيات تستخدم في الحقل في أعمال الرص بشكل واسع. ومن الطرق الأكثر شيوعاً في الاستخدام هي:

- الرص بالاهتزاز vibroflotation،
- الرص الديناميكي Dynamic compaction،
- التفجير Blasting.

تفاصيل هذه الطرق مشروحة في الفقرات التالية.

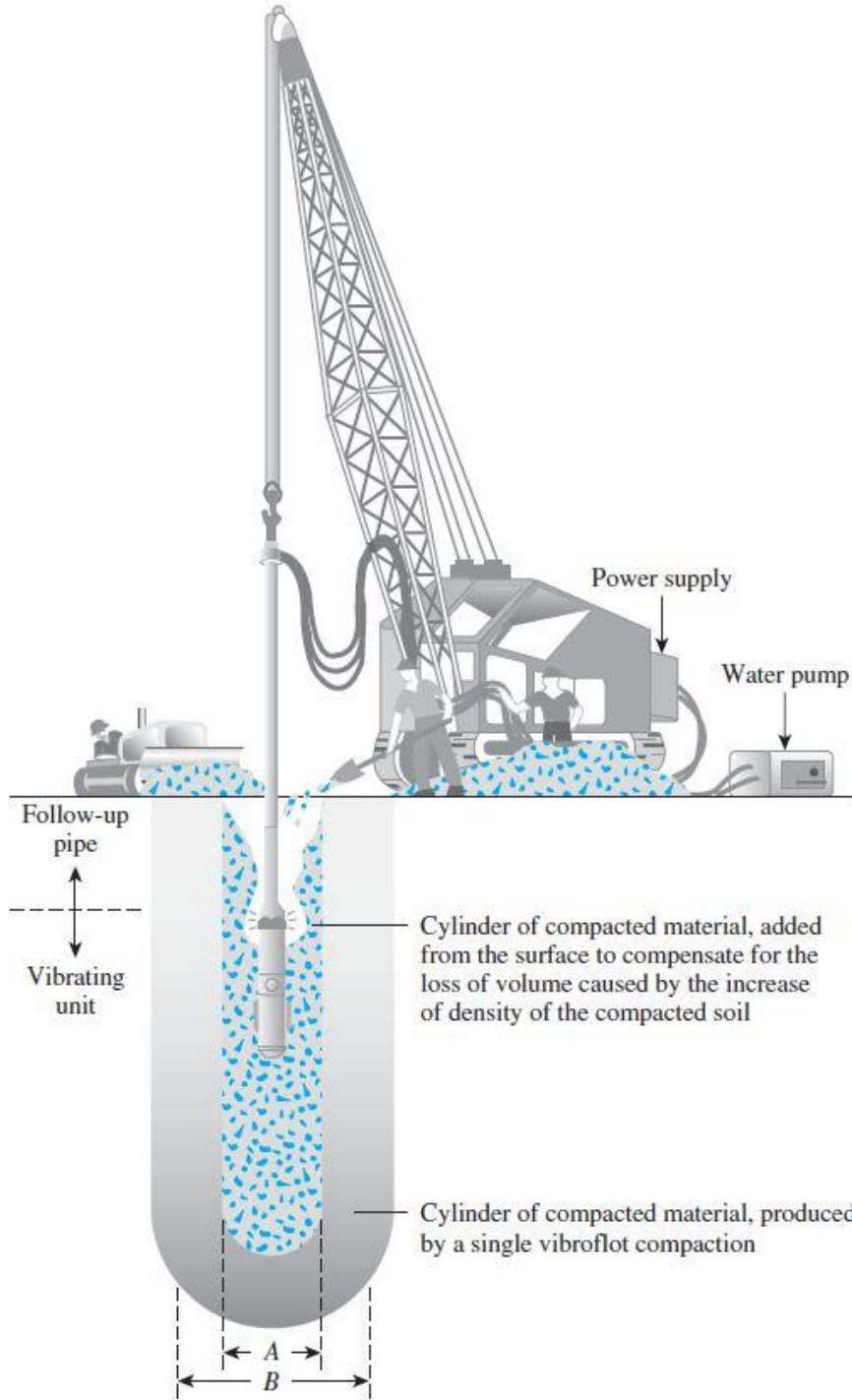
1.11.6 الرص بالاهتزاز Vibroflotation

الرص بالاهتزاز هي عبارة عن تقنية رص بالمكان تستخدم بحال وجود طبقات سميكة من ترب مخلخة حبيبية مترسبة. هذه الطريقة تم وضع أسسها في ألمانيا بثلاثينات القرن الماضي، وتم استخدام أول جهاز للرص بالاهتزاز في الولايات المتحدة بعد عشر سنوات. العملية تتضمن استخدام وحدة *Vibroflot* (تسمى أيضاً وحدة اهتزاز)، والتي طولها حوالي 2.1 m (كما يظهره الشكل 31.6). إن وحدة الاهتزاز تحتوي بداخلها على وزن موضوع بشكل لامركزي لكي يؤمن تطبيق قوة طرد مركزية. هذا الأمر يعطي لوحدة الاهتزاز إمكانية تطبيق اهتزاز افقي. كما أن وحدة الاهتزاز هذه تمتلك فتحات بأسفلها وأعلاها من أجل ضخ الماء (تسمى النفثات). توصل وحدة الاهتزاز مع أنبوب علوي. الشكل (31.6) يظهر التجميع الكامل للمعدة اللازمة للقيام بالرص الحقلي.

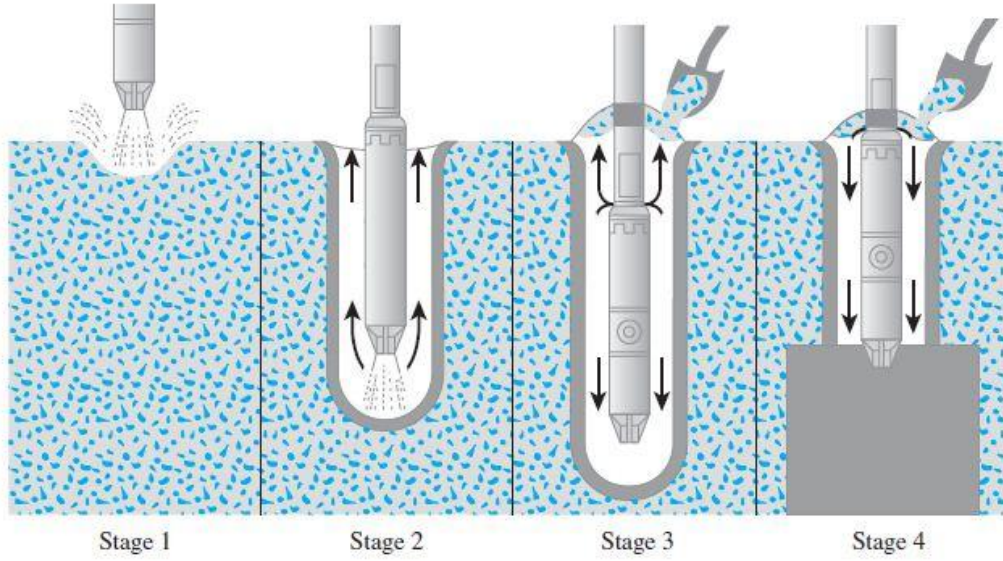
يمكن أن تقسم عملية الرص بالاهتزاز في الحقل إلى أربع مراحل (الشكل 32.6) وهي:

- **المرحلة 1 :** تتضمن تنزيل النفثات أسفل وحدة الاهتزاز إلى الأرض والبدء بضخ الماء.
- **المرحلة 2 :** يشكل ضخ الماء ظروف جيدة للتربة التي تسمح لوحدة الاهتزاز بالدخول بالأرض.
- **المرحلة 3 :** يتم إلقاء المواد الحبيبية من أعلى الحفرة. الماء الخارج من النفثات السفلي يتم تحويله إلى النفثات العلوي أعلى وحدة الاهتزاز. حيث أن هذا الماء يحمل المواد الحبيبية إلى أسفل الحفرة.

- المرحلة 4 : يتم رفع وحدة الاهتزاز تدريجياً حوالي 0.3 m مع بقاء وحدة الاهتزاز لحوالي 30 ثانية لكل رفعة. ترص هذه العملية التربة للوزن الحجمي المطلوب.



الشكل (31.6) : أول جهاز للرص بالاهتزاز تم استخدامه في الولايات المتحدة في عام 1940.



الشكل (32.6) : مراحل عملية الرص بالاهتزاز في الحقل

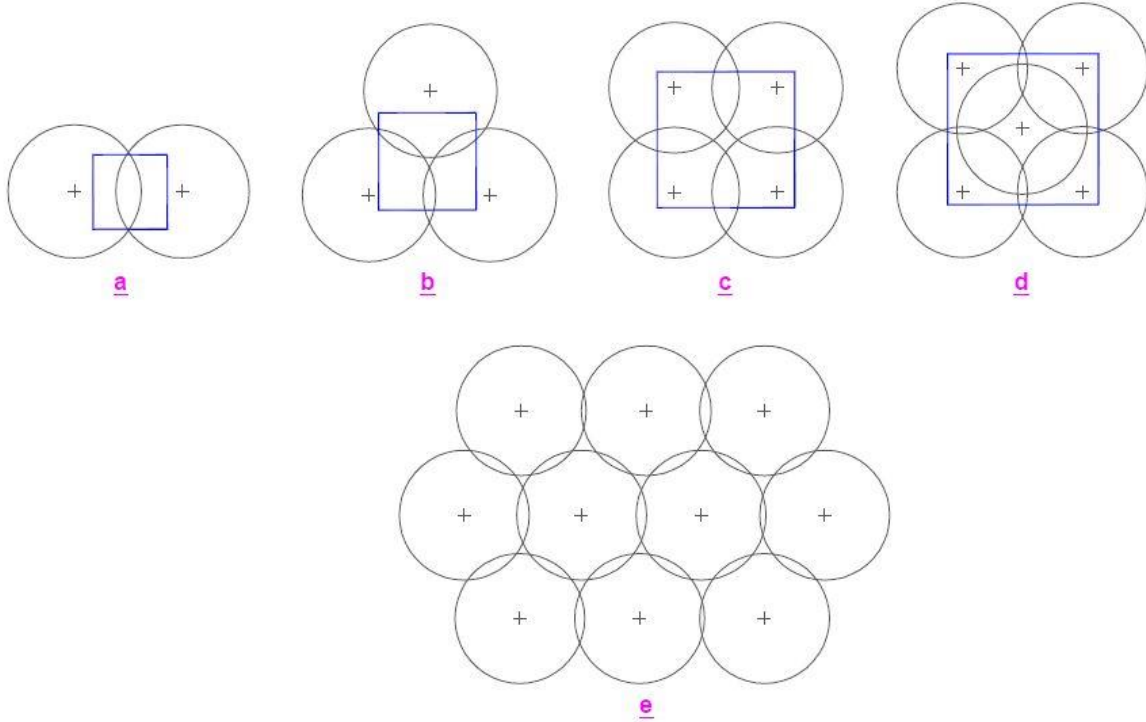
إن تفاصيل وحدات الاهتزاز المختلفة المستخدمة في الولايات المتحدة معطاة في الجدول 4.6. لاحظ أن 23 kW (100-hp) تم إنتاجها في أوائل العام 1970. إن منطقة الرص حول وحدة مجس اهتزاز واحد تتغير مع تغير نوع وحدة الاهتزاز المستخدم. المنطقة المرصوفة من التربة بهذه الوحدة لها شكل اسطواني قطر حوالي 2 m من أجل 23 kW(30-hp). ويمكن أن يتوسع القطر إلى 3 m من أجل الوحدة 75 kW(100-hp).

الجدول (4.6) : تفاصيل وحدات الاهتزاز المختلفة المستخدمة في الولايات المتحدة

Motor type	75 kW electric and hydraulic	23 kW electric
<i>a. Vibrating tip</i>		
Length	2.1 m (7.0 ft)	1.86 m (6.11 ft)
Diameter	406 mm (16 in.)	381 mm (15 in.)
Weight	17.8 kN (4000 lb)	17.8 kN (4000 lb)
Maximum movement when full	12.5 mm (0.49 in.)	7.6 mm (0.3 in.)
Centrifugal force	160 kN (18 ton)	89 kN (10 ton)
<i>b. Eccentric</i>		
Weight	1.2 kN (260 lb)	0.76 kN (170 lb)
Offset	38 mm (1.5 in.)	32 mm (1.25 in.)
Length	610 mm (24 in.)	390 mm (15.25 in.)
Speed	1800 rpm	1800 rpm
<i>c. Pump</i>		
Operating flow rate	0–1.6 m ³ /min (0–400 gal/min)	0–0.6 m ³ /min (0–150 gal/min)
Pressure	700–1050 kN/m ² (100–150 lb/in ²)	700–1050 kN/m ² (100–150 lb/in ²)
<i>d. Lower follow-up pipe and extensions</i>		
Diameter	305 mm (12 in.)	305 mm (12 in.)
Weight	3.65 kN/m (250 lb/ft)	3.65 kN/m (250 lb/ft)

*After Brown 1977. With permission from ASCE.

يظهر الشكل (33.6) الأنماط الشائعة لفراغات وحدة الاهتزاز. ويمكننا القول أن الأنماط المربعة والمستطيلة عادة تستخدم لرص التربة تحت الأساسات المفردة السطحية. أما أنماط المثلث متساوي الأضلاع تستخدم عادة لرص مساحات واسعة.

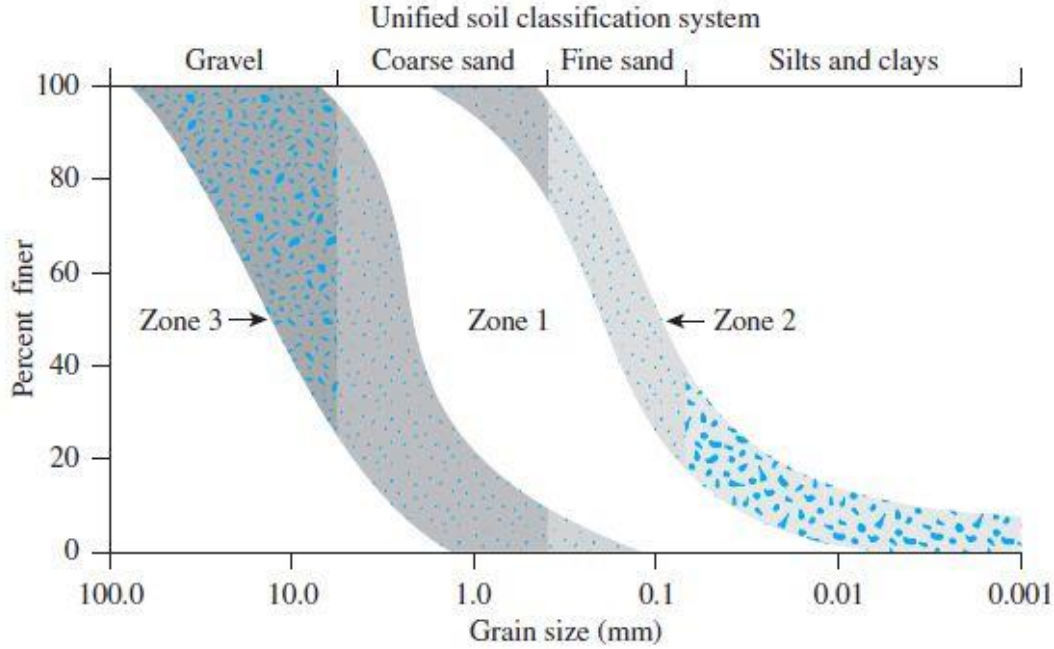


الشكل 33-6 : أنماط نموذجية من تباعدات المسبار للأساسات الأعمدة a,b,c and ,d و الضغط على مساحة واسعة e

الشكل (33.6) : الأنماط الشائعة للفراغات وحدة الاهتزاز

ويجب أن نعلم أن قدرة الرص الناجح في المكان تعتمد على عدة عوامل، وأهم العوامل هي: توزيع التدرج الحبي للتربة ونوع الردميات المستخدمة لملء الحفر أثناء عملية الاهتزاز. إن توزيع التدرج الحبي لتربة حقلية والمحددة بالمنطقة 1 في الشكل (34.6) تعتبر أكثر ملائمة من أجل الرص بالاهتزاز. أما التربة التي تحتوي على كميات كبيرة من الرمل الناعم والسلت الناعم تكون صعبة الرص ونحتاج إلى طاقة رص كبيرة للوصول إلى الكثافة النسبية المطلوبة للرص. إن المنطقة 2 في الشكل (34.6) تعتبر الحد الأدنى لتوزيع التدرج الحبي والتي تكون طريقة الرص بالاهتزاز فعالة عنده.

أما رواسب التربة والتي يقع تدرجها الحبي في المنطقة 3 والتي تحوي كمية صغيرة من البحص، فمن أجل هذه التربة، فإن سرعة اختراق المجس سوف تكون أقل ويمكن أن تصبح غير اقتصادية في حالة التشغيل الطويل.



الشكل (34.6) : توزيع التدرج الحبي لتربة حقلية محددة بالمنطقة 1 والذي يعتبر أكثر ملائمة من أجل الرص بالاهتزاز

إن توزيع التدرج الحبي للمواد المستخدمة بالردم يعتبر عامل هام وذلك لأنه يتحكم بسرعة الرص. عرف (Brown 1977) عدداً يسمى بعدد الملائمة من أجل مواد الردم وهو :

$$S_N = 1.7 \times \left(\sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}} \right) \quad (19.6)$$

حيث D_{10}, D_{20}, D_{50} هي الأقطار مقدره بالميلتر والتي تعطي على التوالي ما نسبته 50%، 20%، 10% من المواد المارة.

وبحسب هذه العلاقة فإنه كلما صغرت قيمة S_N كلما كانت مواد الردم ملائمة أكثر.

وقام السيد Brown بوضع تصنيف لملائمة التربة المستخدمة في أعمال الردم حسب العدد S_N كما هو مبين بالجدول التالي:

تصنيف المواد المستخدمة بالردم	مجال تغير قيم S_N
ممتازة للردم	0 - 10
جيدة للردم	10 - 20
مقبولة للردم	20 - 30
سيئة للردم	30 - 50
مرفوضة للإستخدام في الردم	> 50

2.11.6 الرص الديناميكي

الرص الديناميكي هي تقنية اكتسبت شعبية كبيرة في الولايات المتحدة وذلك من أجل رص رواسب الترب الحبيبية. تتألف عملية الرص هذه بشكل أساسي من إسقاط حمل ثقيل بشكل متكرر على الأرض بأشواط منتظمة. وزن المطرقة المستخدمة يتراوح ما بين 80 إلى 360 kN، وارتفاع سقوط المطرقة يتراوح بين 7.5 و 30.5 m. إن أمواج الإجهادات المتولدة من إسقاطات المطرقة على الأرض تساعد في عملية الرص. إن درجة الرص تحقق من أجل موقع معطى ومحددة بالعوامل الثلاث التالية:

1. وزن المطرقة.

2. ارتفاع سقوط المطرقة.

3. الفراغات بين أماكن إسقاط المطرقة.

اقترح كل من Cutter، Leonards and Holtz ، في العام (1980) أن عمق تأثير الرص الفعال يمكن أن يقدر باستخدام المعادلة التالية :

$$D = \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{W_H \times h} \quad (20.6)$$

حيث :

D = عمق الرص الفعال.

W_H = الوزن الساقط (مقدر بالطن).

$$h = \text{ارتفاع السقوط (m)}.$$

وفي الواحدات الانكليزية ، يمكن أن تأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي :

$$D = 0.61\sqrt{W_H \times h} \quad (21.6)$$

حيث D ، h بالوحدة ft و W_H بالوحدة Kip .

اقترح Poran and Rodriguez في العام 1992 نظرية منطقية من أجل الرص الديناميكي في الحقل تستخدم للترب الحبيبية. ووفقاً لهذه النظرية ومن أجل مطرقة بقطر D ووزن W_H وإرتفاع سقوط h ، فإن الشكل التقريبي لمساحة الرص سوف تكون كما في الشكل 35.6 (مثال : نصف قطع ناقص كروي). لاحظ أنه في هذا الشكل $b = DI$ (حيث DI العمق الفعال للرص).

هذه النظرية تستخدم من خلال الخطوات التالية :

الخطوة 1 : نحدد العمق الفعال المطلوب للرص ($b = DI$).

الخطوة 2 : نحدد وزن المطرقة (W_H)، ارتفاع السقوط (h)، أبعاد المقطع العرضي، وأيضاً المساحة A والعرض D .

الخطوة 3 : نحدد $DI/D = b/D$.

الخطوة 4 : نقوم باستخدام الشكل (36.6) ونحدد قيمة NW_Hh/Ab من أجل قيمة b/D الناتجة من الخطوة 3 .

الخطوة 5 : بما أن قيمة W_H ، h ، A ، b معلومة (أو مفروضة) من الخطوة 2، فإن عدد مرات سقوط المطرقة يمكن أن يقدر من القيمة NW_Hh/Ab المقدرة من الخطوة 4 .

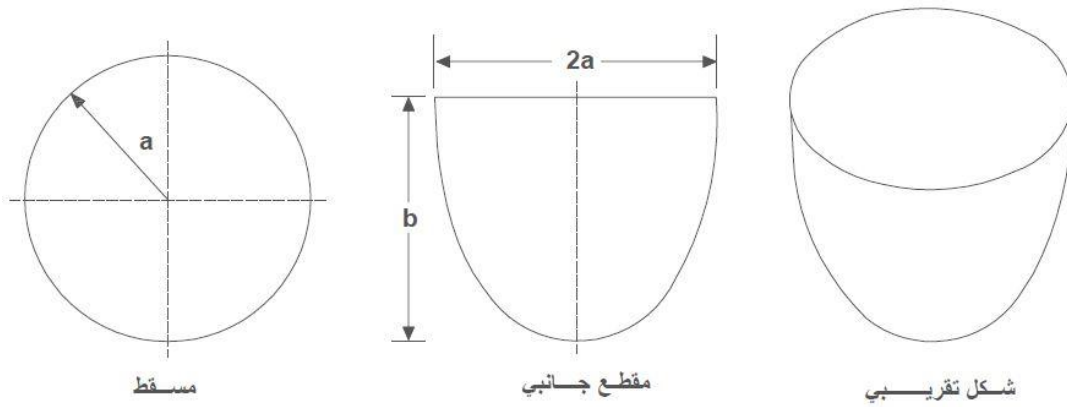
الخطوة 6 : مع القيم المعلومة للمتغير NW_Hh/Ab ، نحدد من خلالها القيم a/D و a من الشكل (6.36).

الخطوة 7 : التباعد بين الفراغات Sg ، من أجل الرص الديناميكي يمكن أن نفرضه مساوي أو تقريباً لقيمة أقل من a (انظر الشكل 37.6).

أما الشكل (36.6) فيعطي المخططات التصميمية للقيم a/D و b/D مقابل NW_Hh/Ab .

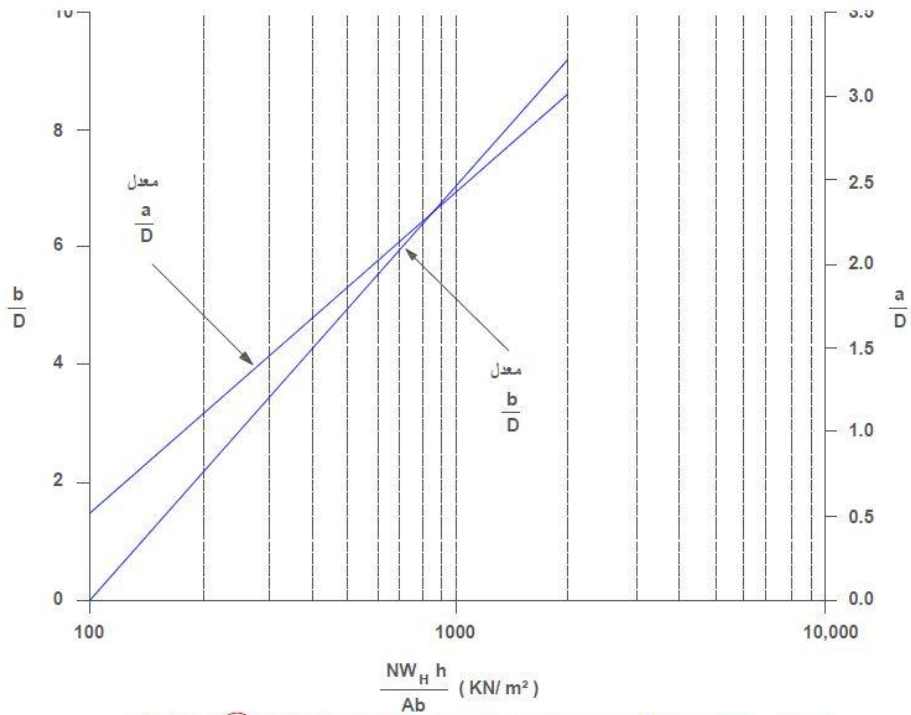
$D =$ عرض المطرقة إذا لم تكن دائرية المقطع العرضي ،

$A =$ مساحة المقطع العرضي للمطرقة، $N =$ عدد مرات سقوط المطرقة المطلوب).



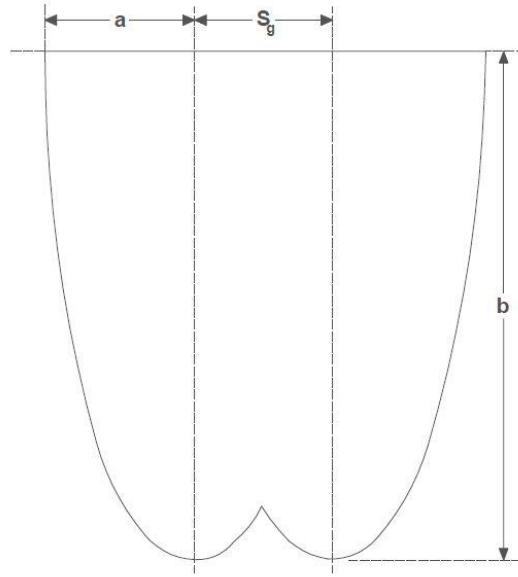
الشكل 6-35 : شكل تقريبي للمنطقة المرتصة نتيجة الرص الديناميكي

الشكل (35.6) : المخططات التصميمية : a/D و b/D مقابل $NW_H h / Ab$



الشكل 6-36 : مخططات بوران و رودرايجيز من أجل $NW_H h / Ab$ VS $a/D, b/D$

الشكل (36.6) : تغير القيم $NW_H h / Ab$ ، مع القيم b/D و a/D



الشكل 37-6 : تباعدات شبكة تقريبية لحالة الرص الديناميكي

الشكل (37.6) : التباعد بين الفراغات S_g ، من أجل الرص الديناميكي يمكن أن نفرضه مساوي أو تقريباً لقيمة أقل من a

3.11.6 التفجير

التفجير هو عبارة عن تقنية تم استخدامها بنجاح في العديد من المشاريع (Mitchell، 1970) من أجل رص التربة الحبيبية. التدرج الحبي العام الملائم لهذا النوع من الرص هو نفسه الذي يستخدم بحالة الرص بالاهتزاز vibroflotation.

العملية تتضمن تفجير شحنات متفجرة، حيث نضع 60 % ديناميت عند عمق معين أسفل سطح الأرض في التربة المشبعة بحيث تكون المسافة بين الشحنات تتراوح بين 3 إلى 9 m. إن تنفيذ ثلاثة من أصل خمس تفجيرات تكون عادة ضرورية من أجل نجاح عملية الرص المطلوبة. إن كثافة نسبية تصل لحوالي 80% وعلى عمق حوالي 18 m من مساحة واسعة ممكن أن تتحقق بسهولة باستخدام هذه الطريقة. عادة الشحنات المتفجرة يتم وضعها عند عمق يساوي ثلثي سماكة طبقة التربة المراد رصها. التأثير الكروي للرص بواسطة 60 % ديناميت يمكن أن يعطى كالتالي وذلك حسب (Mitchell 1970) :

$$r = \sqrt{\frac{W_{EX}}{C}} \quad (22.6)$$

حيث :

$r =$ دائرة التأثير.

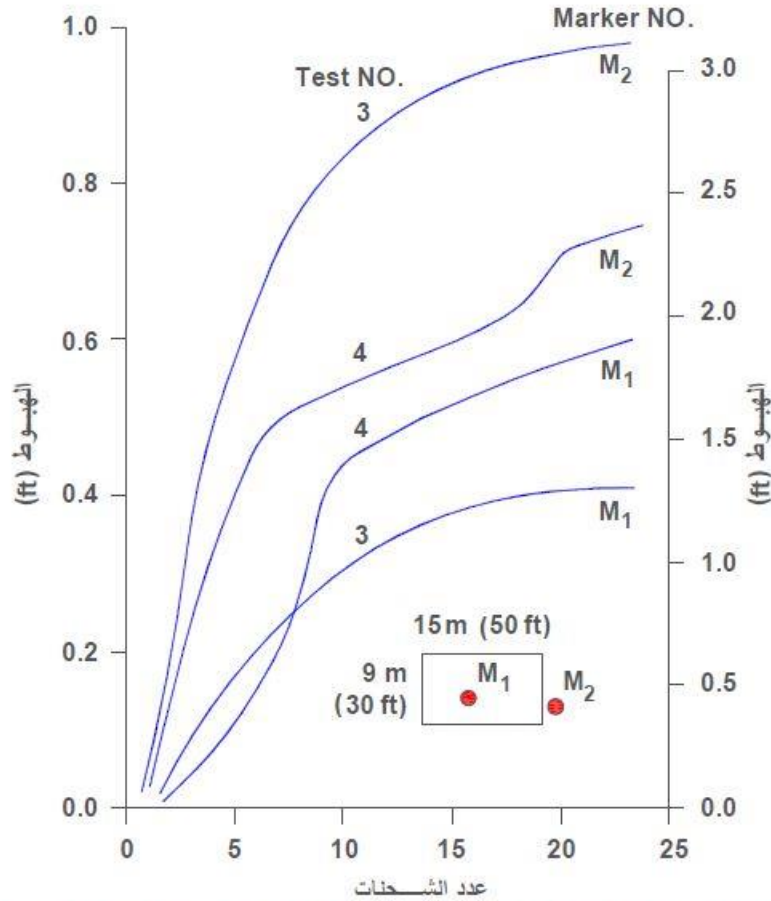
$W_{EX} =$ وزن المتفجرات - 60 % ديناميت.

$C = 0.0122$ عندما تكون W_{EX} محددة بالكيلوغرام و r بالمتر.

$C = 0.0025$ عندما تكون W_{EX} محددة بالليبرة lb و r بالقدم ft .

الشكل 38.6 يظهر نتائج تجارب لرص التربة عن طريق التفجير بمساحة 15 m و 9 m (Mitchell،1970). ولهذه التجارب، تم استخدام 2.09 Kg من شحنات :

(Gelamite No.1Hercules) Powder Company،Wilmington، Delaware.



الشكل 38-6 : هبوط الأرض كتابع لعدد الشحنات المتفجرة

الشكل (38.6) : نتائج تجارب لرص التربة عن طريق التفجير

مثال 4.6:

التالي هو تفاصيل لمواد ردمية مستخدمة في مشروع vibroflotation :

• $0.36 \text{ mm} = D_{10}$

• $0.52 \text{ mm} = D_{20}$

• $1.42 \text{ mm} = D_{500}$

والمطلوب : تحديد عدد الملائمة S_N . وماذا ممكن أن تكون رتبة مواد الردم .

الحل :

من المعادلة 6.19 :

$$S_N = 1.7 \sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}}$$

$$= 1.7 \sqrt{\frac{3}{(1.42)^2} + \frac{1}{(0.52)^2} + \frac{1}{(0.36)^2}} = 6.1$$

الرتبة : ممتازة .

12.6 ملخص وملاحظات عامة

إن نتائج تجارب بروكتور القياسية والمعدلة المخبرية المشروحة في هذا الفصل هي ضرورية من أجل تنفيذ الرص الديناميكي للتربة. من المهم معرفة أن رص الترب الغضارية يمكن تحقيقه باستخدام مداحل في الحقل وهو عبارة عن عملية من عمليات العجن.

إن علاقات الوزن الحجمي الجاف (γ_d) ومحتوى الرطوبة (w) الناتجة من الرص الديناميكي والعجن ليست نفسها المستخدمة بحال الرص الستاتيكي.

يجب العلم أن نتائج تجارب الرص للتربة والمستنتجة من التجارب المخبرية (بركتور القياسي والمعدل) تستخدم بشكل أساسي لتحديد فيما إذا كانت عملية الرص باستخدام المدحلة فعّالاً أم لا.

عملية الرص تؤثر على الخواص الفيزيائية، مثل الناقلية الهيدروليكية، الانضغاطية والمقاومة.

من أجل معظم عمليات الردم، الاختيار النهائي في الموقع يعتمد على عدة عوامل مثل نوع التربة و كلفة الحفر والترحيل.

13.6 مسائل غير محلولة

1. بفرض لدينا تربة قيمة الوزن النوعي النسبي لها $G_s = 2.75$ ، احسب الوزن الحجمي لفراغات هواء معدومة من أجل قيم الرطوبة التالية : عند $w = 5\%$ ، 8% ، 10% ، 12% ، 15% . الحساب بالوحدة (lb/ft^3) .
2. أعد المسألة 1 مع استخدام $G_s = 2.65$.
3. احسب تغير الكثافة الجافة (Kg/m^3) لتربة $(G_s = 2.67)$ عند قيم الرطوبة : 20% ، $w = 10\%$ من أجل عدة درجة إشباع $(S) = 80\%$ ، 90% ، 100% .
4. نتائج تجربة بروكتور القياسية معطاة في الجدول التالي . المطلوب تحديد الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للرص ومحتوى الرطوبة الأمثلي.

حجم قالب بروكتور (ft ³)	الوزن الصافي للتربة في القالب (lb)	الرطوبة المستخدمة (%)
1/30	3.26	8.4
1/30	4.15	10.2
1/30	4.67	12.3
1/30	4.02	14.6
1/30	3.63	16.8

5. من أجل التربة المشروحة في المسألة 4 ، في حال كان $G_s = 2.72$ ، المطلوب تحديد معامل المسامية ودرجة الإشباع عند محتوى الرطوبة الأمثلي.
6. نتائج تجربة بروكتور القياسية معطاة في الجدول التالي . المطلوب تحديد الوزن الحجمي الجاف الأعظمي (Kg/m^3) للرص ومحتوى الرطوبة الأمثلي .
7. نتائج الوزن الحجمي المحدد حقياً للتربة المشروحة في المسألة 6 أعطت التالي :
محتوى الرطوبة = 10.5% والكثافة الرطبة = $1705 Kg/m^3$. المطلوب تحديد الكثافة النسبية.

حجم قالب بركتور (cm ³)	الوزن الصافي للتربة في القالب (kg)	الرطوبة المستخدمة (%)
943.3	1.68	9.9
943.3	1.71	10.6
943.3	1.77	12.1
943.3	1.83	13.8
943.3	1.86	15.1
943.3	1.88	17.4
943.3	1.87	19.4
943.3	1.85	21.2

8. محتوى الرطوبة الحقلي لتربة كان 18% والوزن الحجمي الرطب لها 105 lb/ft³ . أما الوزن النوعي النسبي للأجزاء الصلبة لهذه التربة فكان 2.75 . يجب أن يتم حفر هذه التربة ونقلها إلى موقع البناء الجديد للاستخدام كمواد ردم ورصها. في حال كانت المواصفات تتطلب ان يتم الرص للوصول إلى وزن حجمي جاف بحد أدنى 103.5 lb/ft³ عند نفس محتوى الرطوبة 18%، ما هو عدد الأمتار المكعبة التي يجب حفرها من موقع الحفر لتأمين 10.000 m³ من الردم المرصوص في الموقع؟ كم شاحنة محملة بوزن 20 - ton نحتاج لنقل التربة المحفورة.

9. إن كمية الردم الواجب نقلها والمطلوبة لتأمين تربة مرصوصة في موقع البناء الجديد هي 8000 m³. فإذا كانت قيمة معامل المسامية للتربة المرصوصة محدد بالقيمة 0.7 ، ويتوفر لمهندس التنفيذ أربع مواقع إستعارة للتربة المطلوبة كما هو موضح في الجدول التالي، والذي يحدد معامل المسامية للتربة الطبيعية وكلفة المتر المكعب لنقل التربة إلى موقع البناء المحدد. قم بالحسابات اللازمة لتحديد الحفرة والتي يمكن أن يتم شراء التربة منها بأقل تكلفة . افرض G_s نفسها لكل الحفر.

الحفر الأربعة	معامل المسامية	الكلفة لكل متر مكعب
A	0.82	8
B	1.1	5
C	0.9	9
D	0.78	12

10. الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والأصغري لتربة رملية تمّ تحديدهما في المخبر بالقيم التالية: 104 lb/ft^3 و 93 lb/ft^3 على التوالي. ما هي كثافة الرص في الحقل في حال كانت الكثافة النسبية %78 .

11. الكثافات الجافة الأعظمية والأصغرية لتربة رملية محدد من المخبر بالقيم التالية : 1682 Kg/m^3 و 1510 Kg/m^3 على التوالي. ما هي كثافة الرص في الحقل (%) وما هي الكثافة الجافة (%) في حال كانت الكثافة النسبية للرص ولنفس التربة الرملية هي %70 .

12. الرص النسبي لتربة رملية في الحقل كان %90 . الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والأصغري لهذه التربة كان: 810 lb/ft^3 و 93 lb/ft^3 على التوالي. من أجل الشروط الحقلية، المطلوب تحديد:

- الوزن الحجمي الجاف .
 - الكثافة النسبية للرص .
 - الوزن الحجمي الرطب عند محتوى رطوبة %12 .
13. التالي هي نتائج تجربة تحديد الوزن الحجمي الحقلية لتربة باستخدام نظرية مخروط الرمل:

- الكثافة الجافة المعاييرة لرمل Ottawa = 1667 kg/m^3
- الكتلة المعاييرة لرمل Ottawa اللازمة لملء المخروط = 0.117 kg .
- كتلة الوعاء + المخروط + الرمل (قبل الاستخدام) = 5.99 kg .
- كتلة الوعاء + المخروط + الرمل (بعد الاستخدام) = 2.81 kg .

- كتلة التربة الرطبة من الحفرة = 3.331 kg .
 - محتوى الرطوبة للتربة الرطبة = 11.6%
- المطلوب تحديد الوزن الحجمي الجاف للرص الحقلي.

14. من أجل مواد ردم لمشروع vibroflotation لها قطر حبيبات :

- $D_{10} = 0.11 \text{ mm}$
- $D_{20} = 0.19 \text{ mm}$
- $D_{50} = 1.3 \text{ mm}$

المطلوب تحديد عدد الملائمة S_N لكل السابق.

15. أعد المسألة 14 باستخدام القيم التالية :

- $D_{10} = 0.09 \text{ mm}$
- $D_{20} = 0.25 \text{ mm}$
- $D_{50} = 0.61 \text{ mm}$

14.6 المراجع

1. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1982). AASHTO Materials, Part II, Washington, D.C.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2007). Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08, West Conshohocken, Pa.
3. D'APPOLONIA, E. (1953). "Loose Sands—Their Compaction by Vibroflotation," Special Technical Publication No. 156, ASTM, 138–154.
4. BROWN, E. (1977). "Vibroflotation Compaction of Cohesionless Soils," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, No. GT12, 1437–1451.
5. D'APPOLONIA, D. J., WHITMAN, R. V., and D'APPOLONIA, E. D. (1969). "Sand Compaction with Vibratory Rollers," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 95, No. SM1, 263–284.
6. DAS, B. M., SELIM, A. A., and PFEIFLE, T. W. (1978). "Effective Use of Bottom Ash as a Geotechnical Material," Proceedings, 5th Annual UMR-DNR Conference and Exposition on Energy, University of Missouri, Rolla, 342–348.
7. DAS, B. M., TARQUIN, A. J., and JONES, A. D. (1983). "Geotechnical Properties of a Copper Slag," Transportation Research Record No. 941, National Research Council, Washington, D.C., 1–4.
8. FRANKLIN, A. F., OROZCO, L. F., and SEMRAU, R. (1973). "Compaction of Slightly Organic Soils," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 99, No. SM7, 541–557.
9. GURTUG, Y., and SRIDHARAN, A. (2004). "Compaction Behaviour and Prediction of Its Characteristics of Fine Grained Soils with Particular Reference to Compaction Energy," Soils and Foundations, Vol. 44, No. 5, 27–36.
10. HOLTZ, R. D., and KOVACS, W. D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

11. JOHNSON, A. W., and SALLBERG, J. R. (1960). "Factors That Influence Field Compaction of Soil," Highway Research Board, Bulletin No. 272.
12. LAMBE, T. W. (1958a). "The Structure of Compacted Clay," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, 1654-1 to 1654-35.
13. LAMBE, T. W. (1958b). "The Engineering Behavior of Compacted Clay," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 84, No. SM2, 1655-1 to 1655-35.
14. LANCASTER, J., WACO, R., TOWLE, J., and CHANEY, R. (1996). "The Effect of Organic Content on Soil Compaction," Proceedings, 3rd International Symposium on Environmental Geotechnology, San Diego, 152-161.
15. LEE, K. W., and SINGH, A. (1971). "Relative Density and Relative Compaction," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM7, 1049-1052.
16. LEE, P. Y., and SUEDKAMP, R. J. (1972). "Characteristics of Irregularly Shaped Compaction Curves of Soils," Highway Research Record No. 381, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1-9.
17. LEONARDS, G. A., CUTTER, W. A., and HOLTZ, R. D. (1980). "Dynamic Compaction of Granular Soils," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT1, 35-44.
18. MITCHELL, J. K. (1970). "In-Place Treatment of Foundation Soils," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, No. SM1, 73-110.
19. OMAR, M., ABDALLAH, S., BASMA, A., and BARAKAT, S. (2003). "Compaction Characteristics of Granular Soils in United Arab Emirates," Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 21, No. 3, 283-295.
20. PORAN, C. J., and RODRIGUEZ, J. A. (1992). "Design of Dynamic Compaction," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 2, No. 5, 796-802.

21. PROCTOR, R. R. (1933). "Design and Construction of Rolled Earth Dams," Engineering News Record, Vol. 3, 245–248, 286–289, 348–351, 372–376.
22. SEALS, R. K. MOULTON, L. K., and RUTH, E. (1972). "Bottom Ash: An Engineering Material," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM4, 311–325.
23. SEED, H. B. (1964). Lecture Notes, CE 271, Seepage and Earth Dam Design, University of California, Berkeley.
24. SEED, H. B., and CHAN, C. K. (1959). "Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 85, No. SM5, 87–128.
25. U.S. DEPARTMENT OF NAVY (1971). "Design Manual—Soil Mechanics, Foundations, and Structures," NAVFAC DM-7, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.