6

Soil Compaction
دمك التربة

ملزمة 4

- مقدمة .	ص 2
- تعريف الـ Compaction .	ص 2
- مظهرات عملية الدمك .	ص 2
- طرق الدمك Methods of compaction .	ص 3
- تحديد قيمة $\gamma_{d\,max.}$ في المعمل :	
Standard Proctor test (1)	ص 3 : ص 4
Modified Proctor test (2)	ص 5
- نسبة المحتوى الرطوبي [A] أثناء الدمك .	ص 6 : ص 7
- طرق تحديد $\gamma_{d\,field}$ في الموقع :	
. Sand Replacement test (1)	ص 8 ; ص 10
. Core Cutter test (2)	ص 10 ; ص 11
- درجة الدمك Degree of Compaction .	ص 11
- أمثلة محلولة :	
Example (1)	ص 12 : ص 13
" (2)	ص 14
" (3)	ص 15 : ص 16

Soil Compaction
دمك التربة

* مقدمة :-

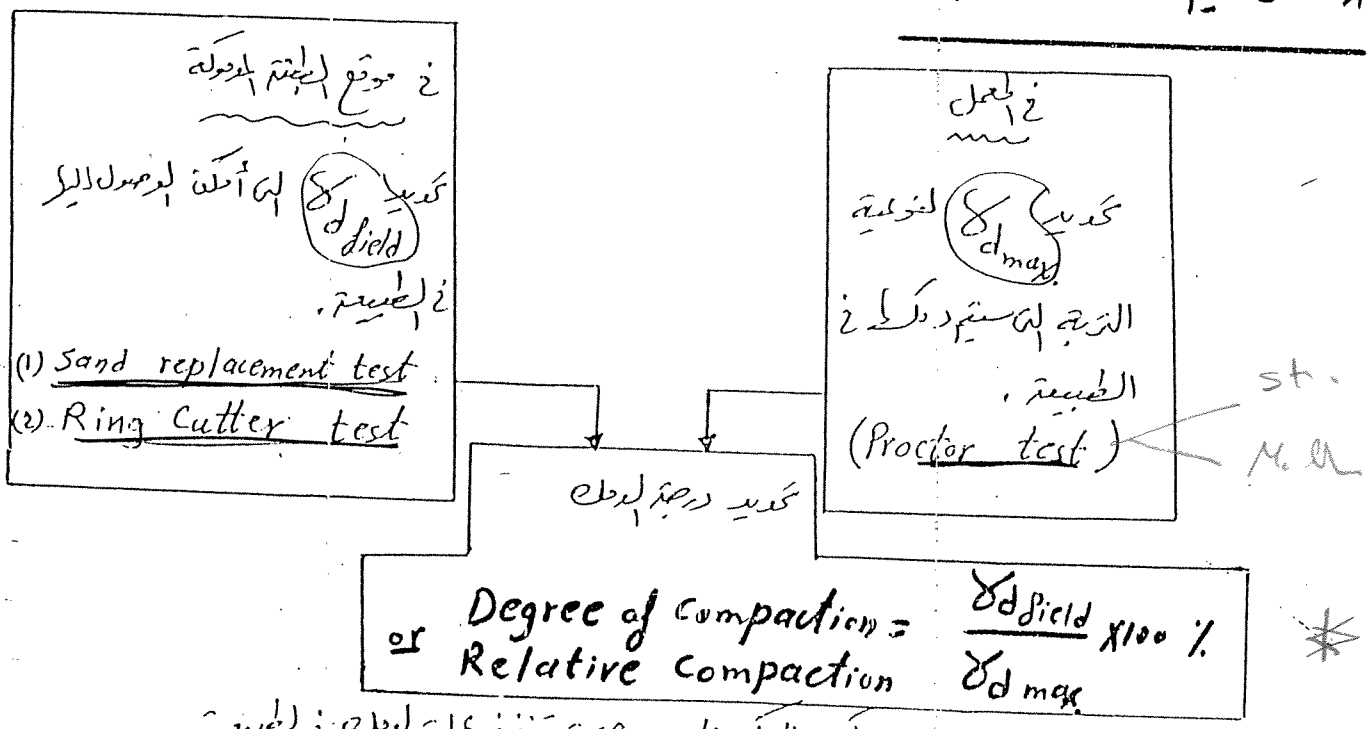
- المقصود بـ " Compaction " هو زيادة وزنه وحدة الحجوم لـ للتربة أي تقليل نسبة الفراغات ع وهذا يؤدي الى **تحسين الخواص الهندسية للتربة** [مثل: عدة التربة على التحمل ، تقليل النفاذية ، تقليل الهبوط] .

* تعريف [Compaction] :-

هو زيادة وزنه وحدة الحجوم للتربة (γ) لله طريق تقليل نسبة الهواء في الفراغات (A) . بإستخدام قوة ضغط لمعدة معينة (مثل ضربات مطرقة) وفي وجود الماء أثناء الدمك .

- وعملية الدمك هامة جداً لبعض الأعمال مثل :
  1- طبقات الطرق .
  2- ممرات هبوط الطائرات
  3- طبقات الاحلال تحت أساسات المنشآت الثقيلة .
  4- جسور الطرق .
  5- السدود الترابية .

* ملخص ما يتم عند دمك أي عينة :-



ويتم مقارنتها بقيم محددة من الكود للحكم على مدى جودة تنفيذ عملية الدمك في الطبيعة

* Methods of Compaction (طريقة الدمك) :-

(1) impact Compaction

حيث يتم الدمك بواسطة الدك بطرقة تسقط لارتفاع معين

(2) Kneeding Compaction (عجن)

حيث يتم الدمك بواسطة إخضاع جوانب التربة ثم يحدث بعض العجن للتربة أثناء الدمك.

3) static Compaction

حيث تدمك التربة تحت عمل استاتيكي.

(4) Vibratory Compaction

حيث يتم الدمك بتعريضها للاهتزاز.

* Methods of determination Max. Dry Density ($\gamma_{d_{max}}$):-

طرق تحديد ($\gamma_{d_{max}}$) في المعمل

ندرس هنا اختباريين من نوع الدمك الديناميكي (impact compaction) وهما أشهر الاختبارات.

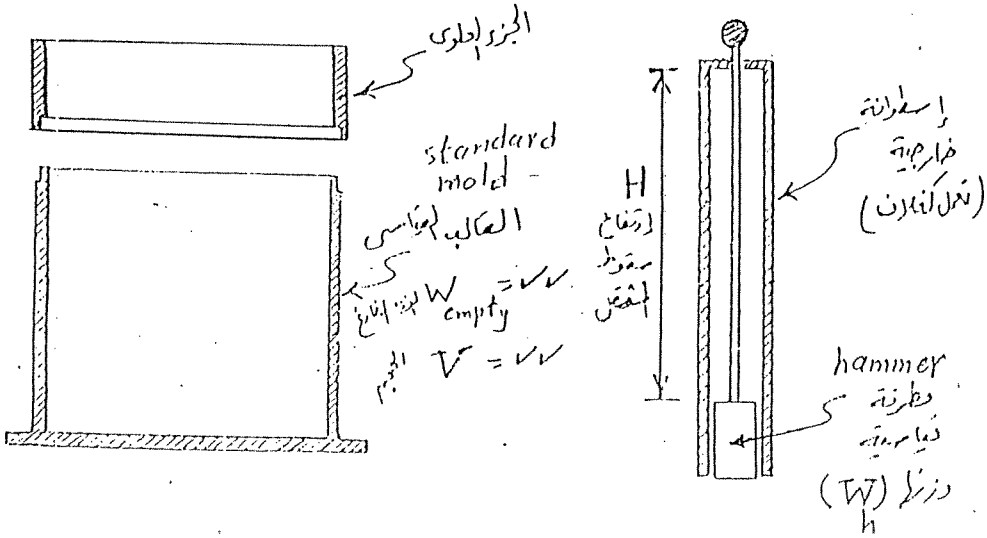
(1) • Standard Proctor Test: اختبار بروكتور القياسي

- مقدمة:

يستخدم هذا الاختبار في المعمل لإيجاد $\gamma_{d_{max}}$ لتربة معينة من التربة سيتم استخلاصها في الطبيعة، وكذلك إيجاد قيمة المحتوى المائي المثالي ($w_{opt.}$) الذي يلزم إضافته أثناء عملية الدمك لإنتاج $\gamma_{d_{max}}$ بعد الجفاف.

- المعدات المستخدمة:

وعاء لخلط التربة بالماء



- خطوات الاختبار :

1- يتم خلط كمية من التربة الجافة [حوالى 5 كجم] مع وزن [حجمها من الماء [وليكن $1m^3$ 100 لتكوين تربة مبللة و ($w_c = 2\%$ = $\frac{100}{5000} \times 100$) حتى تصبح مبللة .

2- يتم وضع التربة داخل القالب على 3 طبقات مع دك كل طبقة عدد 25 مرة بالطريقة القياسية [وفى كل طبقة يكون دكها قبل البدء أعلى قليلاً من الطبقة السابقة] .

3- يتم تسوية السطح العلوى للعينة مع الحافة العلوية للقالب بالمسطرة [بدون الجزء العلوى] حتى تكون حجم العينة = حجم القالب ($1m^3$) .

4- يتم تحديد وزن العينة بالطريقة الآتية :

$$W_{wet\,soil} = Wt.(mold + soil) - Wt.(mold)$$

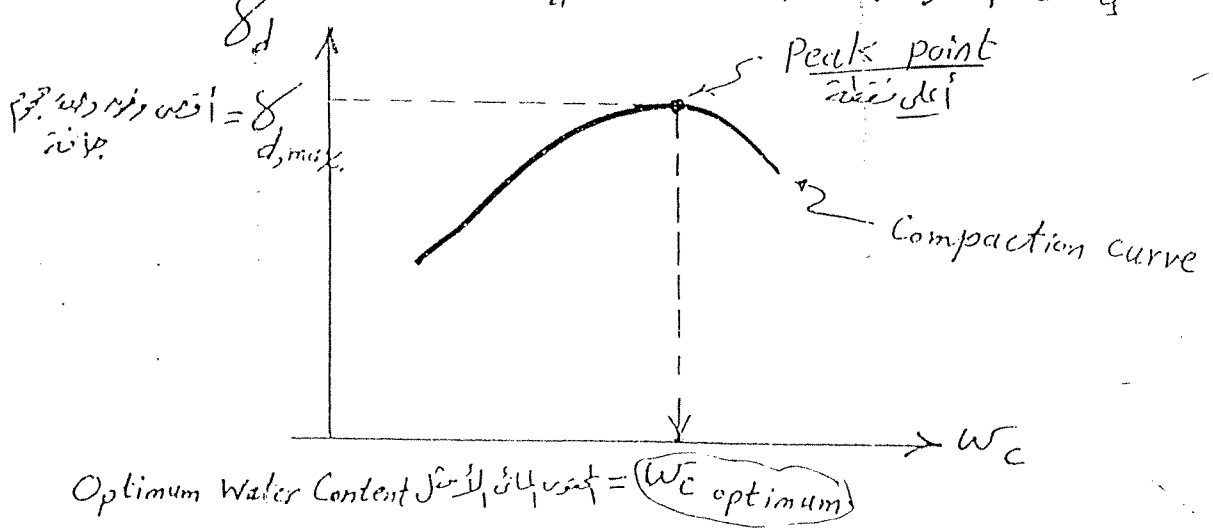
5- يتم تحديد $\gamma_{wet} = \left(\frac{W_{wet}}{V}\right)$

6- يتم تحديد γ_{dry} المفاضلة $\leftarrow$ $\left(\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + w_c}\right)$

7- تكرار الخطوات من (1 $\leftarrow$ 6) عدة مرات مع تغيير w_c [2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 %] وفى كل مرة نوجد γ_d المناظر .

w_c	✓	✓	✓	✓
γ_d	✓	✓	✓	✓

8- نرسم علاقة بيانية بين γ_d ، w_c



Optimum Water Content المحتوى المائى الأمثل = ($w_{c\ optimum}$)

ويعرف ($w_{c,opt}$) بأنه المحتوى المائي الذي يواجه في التربة أثناء عملية الدمك (2)
فإننا نحصل بعد الدمك على أقصى وزن وحدة حجم جافة [$\gamma_{d\,max}$].

---

(2) * Modified Proctor Test: [اختبار بروكتور المعدل]

هو نفس اختبار بروكتور القياسي ولكن مع زيادة (الطاقة الدمك) أثناء اختبار [المطرقة (1) وزن المطرقة (W_h) ، ارتفاع السقوط (2) ، عدد الضربات لكل طبقة (3) ، عدد طبقات العينة في القالب] وذلك بهدف إيجاد أكبر قيمة لـ $\gamma_{d\,max}$ يمكن أن تتواجد في التربة نتيجة الأعمال الهندسية التي تسبب إضافة دمك [مثل: عمل ممرات المطارات].

سؤال

* Compare between Standard and Modified Proctor test
قارن بين اختبار بروكتور القياسي والمعدل؟

وجه المقارنة	Standard test	Modified test
عدد الضربات (N)	25	25
وزن المطرقة (W_h)	5.5 lb. ≃ 2.5 kg	10 lb. ≃ 4.5 kg
ارتفاع السقوط (H)	12" بوصة ≃ 30 cm	18" بوصة ≃ 45 cm
عدد طبقات العينة عند وضعها بالقالب	3	5

نسبة محتوى الهواء (A) أثناء عملية الدمك

● % ge of air content during Compaction:

- هنالك معادلة رياضية تربط بين γ_d = الوزن المتحصل عليه بعد تمام الدمك.
  w_c = محتوى الماء أثناء عملية الدمك.
  A = محتوى الهواء أثناء عملية الدمك.

وإذا عرفنا تعريف هذه الأعداد المذكورة عكن إيجاد العلاقة

$$\gamma_d = \gamma_w \frac{G_s (1 - A)}{1 + w_c \cdot G_s}$$

وعندما يكون $A = zero$ يكون

$$\gamma_{ZAV} = \gamma_w \frac{G_s}{1 + w_c \cdot G_s}$$

حيث:

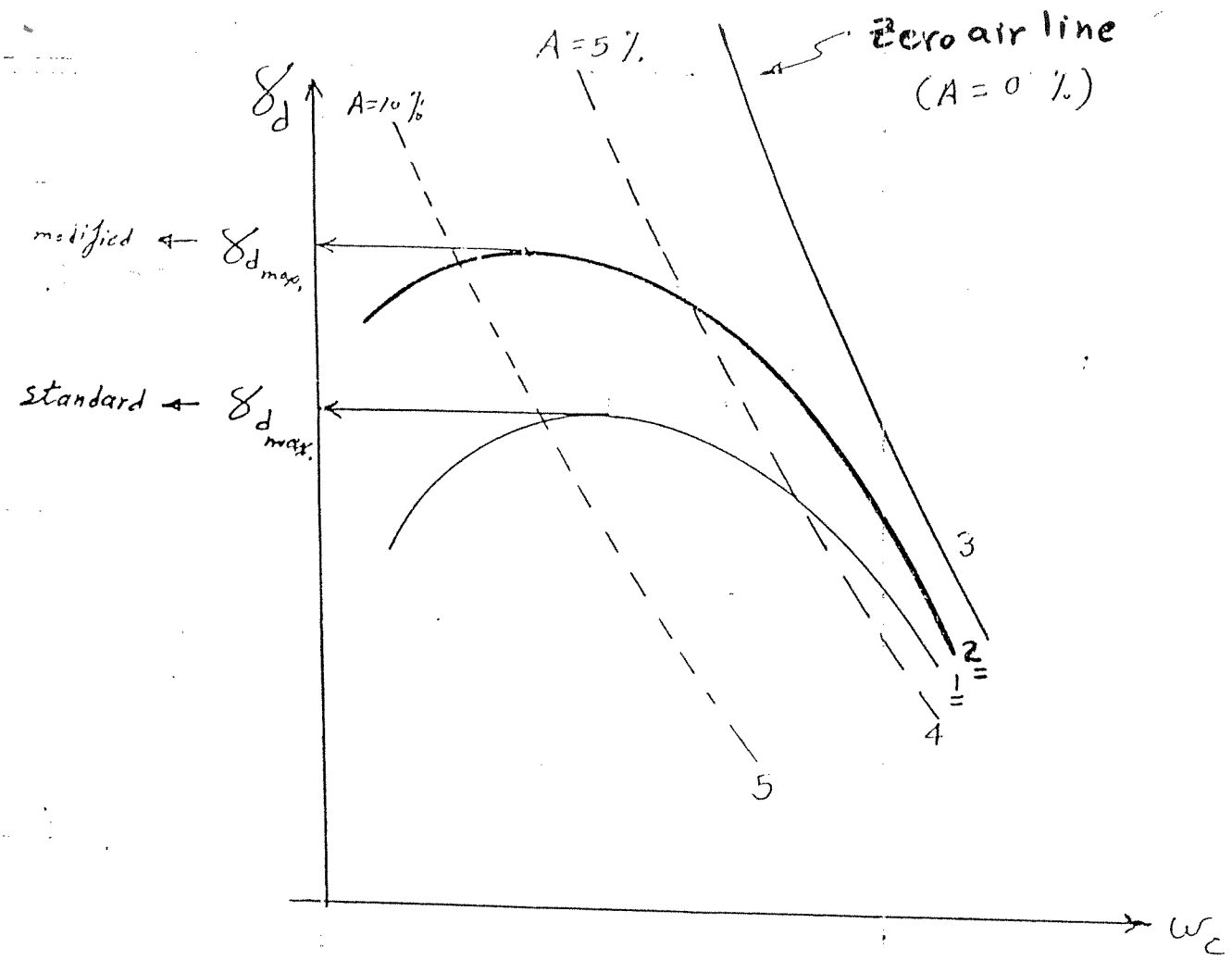
γ_d = وزن وحدة الحجوم الجافة (بعد الدمك).
γ_w = (1.0 gm/cm³ or 1.0 t/m³ or 9.81 kN/m³).
G_s = الوزن النوعي لحبيبات التربة.
A = محتوى الهواء (air content) أثناء الدمك.
w_c = محتوى الماء (water content) أثناء الدمك.

أطلاق

γ_{ZAV} = هي γ_d المتحصل عليه بعد الدمك إذا تم الدمك في حالة أن $A = zero$ أثناء الدمك.
وهي نتيجة نظرية لا يمكن الوصول إليها عملياً ولكنها تفيد في عمل check على النتائج المتحصلة عليها. وهي تعتبر **أقصى قيمة لـ γ_d النهائية** عند الدمك عند w_c معينة.

- وعليه يمكن علاقة بيانية بين (γ_d النهائية بعد الدمك) مع (القيم المختلفة لـ w_c أثناء الدمك) عند محتوى هواء (A) معين مثلاً: 0 %
  5 %
  10 %

ويتم عمل على نفس الجهاز الذي تم عليه رسم العلاقة بين γ_d و w_c أثناء تجربة الدمك.



1- Compaction curve إسم إلى standard Proctor test.

2- ~ ~ ~ ~ ~ ~ Modified.

3- هو إلمنحنى إلذى يمثل إلعلاقة بين w_c أثناء إلدك و γ_d إلناتجة بعد إلدك إذا تم إلحفاظ على محتوى إلهواء (A) بإستمرار أثناء إلدك = Zero %.

4- مثل رقم 3 ولكن بإعتبار A أثناء إلدك = 5 % بإستمرار.

5- مثل رقم 3 ~ ~ A ~ ~ = 10 %.

8/16

*Methods of determination Field Unit wt. ($\gamma_{d\,field}$):-

- وهذه هي المرحلة النهائية من تنفيذ دراسة عملية الدك وهو اختبار الطبقة التي تم دكها في العينة باستخدام وسيلة الدك المناسبة لمعرفة $\gamma_{d\,field}$ للطبقة التي تم دكها فعلاً في الموقع.

- ويتم ذلك بأحد طريقتين هما: (1) Sand Replacement test
(granular soil) يصلح لأي نوع من التربة مثل التربة الحبيبية

أو (2) Ring cutter test

يصلح للتربة الطينية تحديداً

(1) Sand Replacement test:

- فكرة التجربة:-

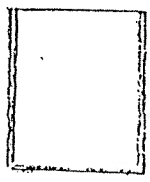
✓ (أ) أخذ عينة من الطبقة التي تم دكها من الطبيعة فاقدة وزن العينة = (وزن الحاوية والعينة) - (وزن الحاوية) (وزن الجاف)

ثم إيجاد حجم العينة = حجم الحفرة التي نتجت عن أخذ العينة نستخدم رمل قياسي

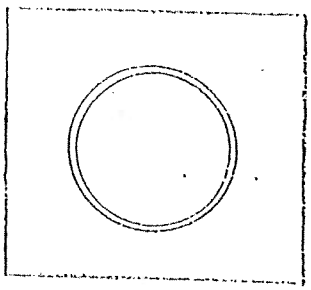
لمل الحفرة، ومعرفة وزن الرمل الذي ملأ الحفرة ثم نجد حجم الرمل الذي ملأ الحفرة = حجم الحفرة = حجم العينة.

ومعرفة الوزن الجاف ← نقسمه على الحجم ← ومعرفة $\gamma_{d\,field}$.

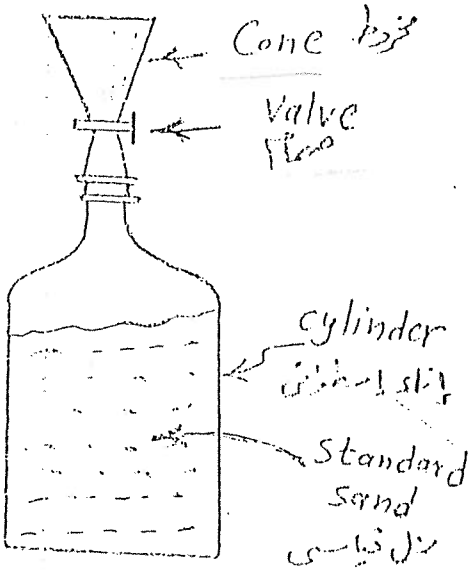
- الأدوات المستخدمة:-



Mold
قالب
(معلوم الحجم)



Base plate
لوح معدني مربع



- خطوات التجربة :

1- يتم تحديد γ_{ss} الخاصة بالرمل القياسي باستخدام طريقة معلوم الوزن والحجم [كما سبق شرحه في تجربة الكثافة بالحل]

2- يتم أخذ 3 وزنات للرمل كالتالي :

(a) وزن الجلاز وبه كل الرمل القياسي

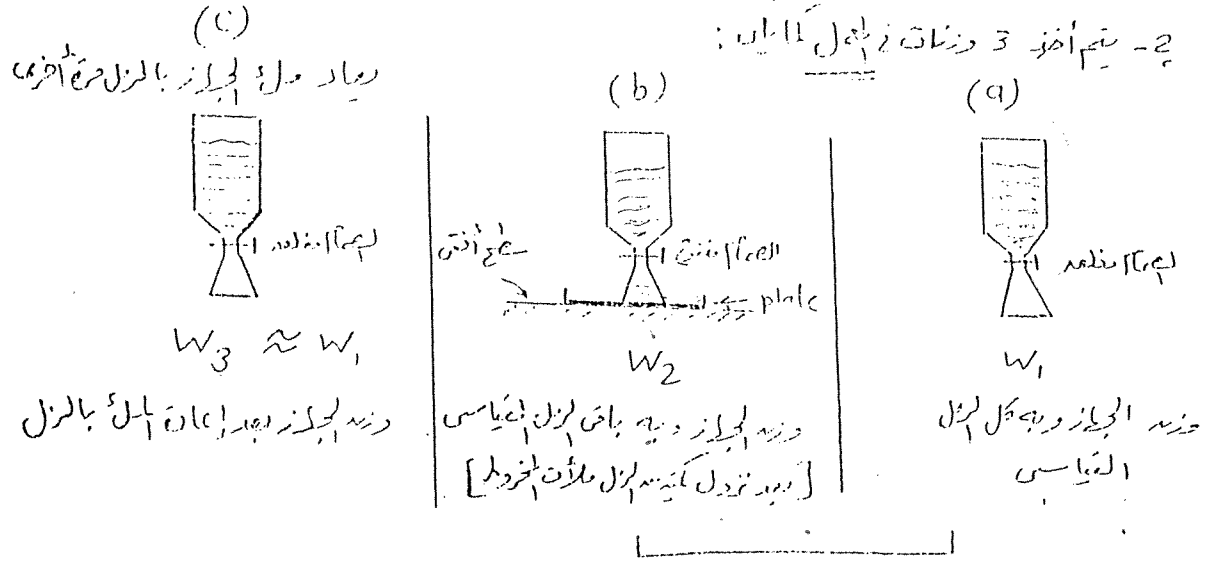
W_1

(b) وزن الجلاز وبه باقي الرمل القياسي [بعد نزول كمية من الرمل ملأت الخروط]

W_2

(c) وزن الجلاز بعد إعادة ملأ الرمل مرة أخرى

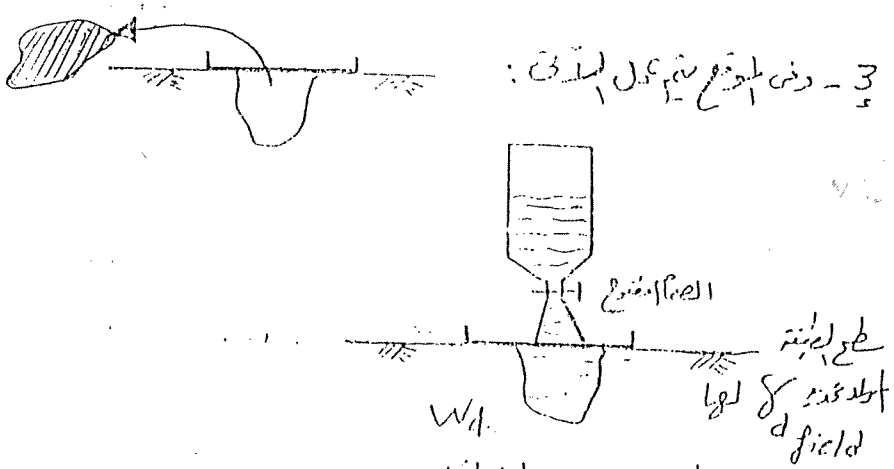
$W_3 \approx W_1$



W_{cone} = وزن الرمل الذي يملأ الخروط $= W_1 - W_2$ ---> (1)

3- وزن الجلاز مع باقي الرمل الذي :

W_{soil} = سيتم تحديدها



وزن الجلاز وبه باقي الرمل القياسي

[بعد نزول كمية الرمل داخل (الحفرة + الخروط)]

$W_{c/4}$ = وزن الرمل الذي يملأ (الحفرة + الخروط) $= W_1 - W_4$ ---> (2)

W_4 = وزن الرمل الذي يملأ الحفرة فقط $= W_{c/4} - W_c$

↓ من رقم (2) ↓ من رقم (1)

V_{soil} = حجم العينة المزيحة = حجم الحفرة = حجم الرمل الذي يملأ الحفرة

$$V_{soil} = \frac{W_h}{\gamma_{ss}} = \text{ـــ} \quad -4$$

$$(\gamma_{wet})_{field} = \frac{W_{soil}}{V_{soil}} = \text{ـــ} \quad -5$$

-6 نحدد قيمة w_c للعينة الموجودة في الموقع [بأخذ عينة من التربة وإجراء اختبار w_c للمعمل].

-7 نحدد قيمة $\gamma_{d\,field}$ الناتجة كالتالي:

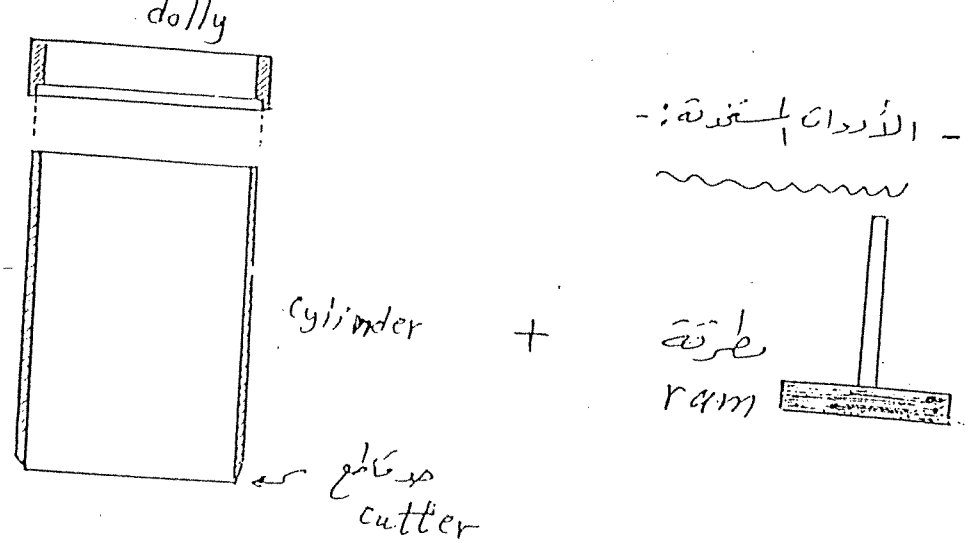
$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + w_c}$$

② Ring Cutter test: "Core"

(Cohesive soils) . وهو يستعمل لقطع التربة التي قد تتماسك في عملية تنفيذ التجربة

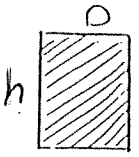
- فكرة التجربة :- هي قطع عينة من التربة الموجودة بحيث تكون لها شكل هندسي منتظم يسهل حساب حجمها ، ومعلومية الحجم والوزن يمكننا تحديد $\gamma_{wet\,field}$ ومعلومية w_c يمكننا تحديد $\gamma_{d\,field}$.

- الأدوات المستخدمة :-



- خطوات التجربة :-

1- يتم وضع الـ cutter فوق سطح التربة المراد اختبارها ويتم الطرق عليه بالمطرقة حتى تغوص بالكامل داخل التربة.



2- يتم إستخراج الاسطوانة وبها حجم معلوم من التربة

$$V_{cylinder} = V_{soil} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h = \text{---}$$

3- يتم تحديد وزن التربة

$$W_{soil} = W_{(cutter+soil)} - W_{(cutter)} = \text{---}$$

4- $$(\gamma_{wet})_{field} = \frac{W_{soil}}{V_{soil}} = \text{---}$$

5- يتم تحديد قيمة w_c [بأخذ عينة من التربة وتجرى عليها اختبار w_c] وبذلك يمكن تحديد قيمة $\gamma_{d\,field}$ كالتالي :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+w_c} = \text{---}$$

* Degree of compaction or Relative compaction :- درجة الدمك (R_c)

- وهى الخطوة التالية من تسلسل عملية الدمك بعد تحديد $\gamma_{d\,max}$ في المعمل ثم تحديد $\gamma_{d\,field}$ في الموقع يتم مقارنة $\gamma_{d\,field}$ بالقيمة المحددة $\gamma_{d\,max}$ في المعمل للحصول على درجة الدمك وبذلك تحدد درجة الدمك.

$$R_c = \frac{\gamma_{d\,field}}{\gamma_{d\,max}} \times 100\ \%$$

- ويتم تحديدها بمعرفة الحكم على مدى جودة عملية الدمك في التربة، وعادة لا تقل R_c عن 95% وربما تزيد النسبة على ذلك في حالة الأعمال الهامة (مثل: محاور هبوط المطارات).

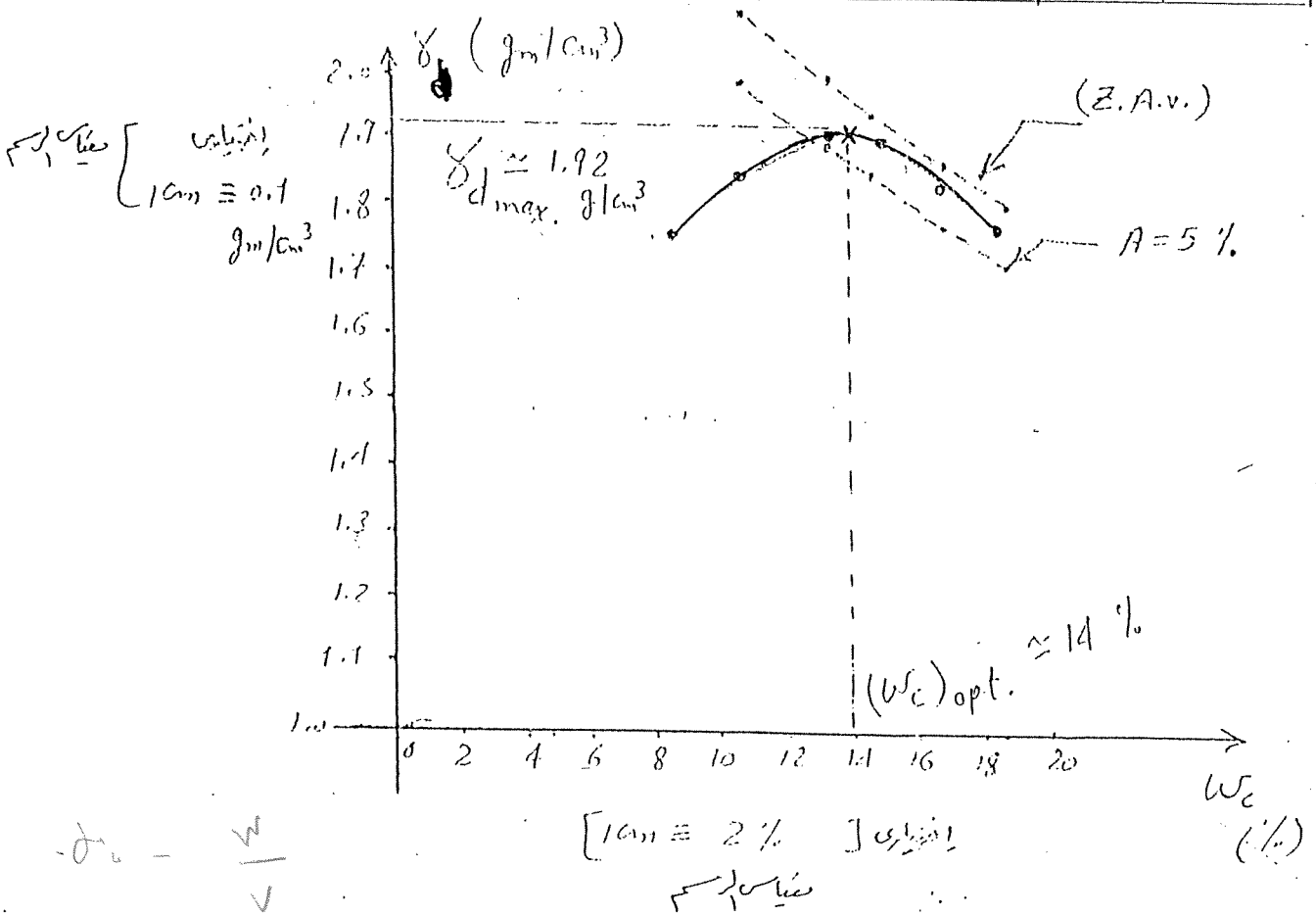
Solved Examples

* Example (1):

$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V}$, $\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+w_c}$

$G_s = 2.7$, $V_{mould} = 0.000945\ m^3$

given →	Wt. of wet soil (gm)	1791	1937	2038	2054	2022	1985
	Volume (V) (cm^3)	945	945	945	945	945	945
	γ_{wet} (gm/cm^3)	1.895	2.049	2.156	2.171	2.139	2.10
given →	w_c	0.084	0.106	0.129	0.144	0.166	0.186
	γ_d (gm/cm^3)	1.75	1.85	1.91	1.90	1.83	1.77



* ولرسم منحنى γ_d مع w_c عند قيمة معينة لـ A نستخدم العلاقة

$$\gamma_d = \gamma_w \frac{G_s(1-A)}{1+w_c \cdot G_s} \qquad \gamma_w = 1.0 \text{ gm/cm}^3$$

w_c	0.084	0.106	0.129	0.144	0.166	0.186
$\gamma_{d\,(Z.A.V.)}$	2.20	2.10	2.0	1.94	1.86	1.80
$\gamma_{d\,(A=5\%)}$	2.09	1.99	1.90	1.85	1.77	1.71

for $A = 0.0 \rightarrow \therefore \gamma_d = (1.0)\ \frac{2.7}{1+2.7(w_c)}$ --- gm/cm^3

for $A = 0.05 \rightarrow \therefore \gamma_d = (1.0)\ \frac{2.565}{1+2.7(w_c)}$ .... gm/cm^3

* للحصول على (A) الخاصة بالتربة التي نستخدم $(w_c)_{opt.}$ نستخدم نفس العلاقة مع قيمة w_c opt. في $\gamma_{d_{max}}$

$$1.92 = 1.0\ \frac{2.7(1-A)}{1+(0.14 \times 2.7)}$$

$$\therefore (1-A) \simeq 0.98$$

$$\therefore A \simeq 0.02 = 2\ \%$$

- Example (2):

Sand Replacement test = Sand Cone test

$W_{soil} = 1.725$ kg	$W_{wet} = 1.925$ kg	$W_1 = 3.426$ kg
$W_4 = 1.594$ kg	$W_{dry} = 1.648$ kg	$W_{Cone} = 0.245$ kg
	$\therefore W_w = 0.277$ kg	$\gamma_{ss} = 1.62$ g/cm³

$W_{c_1} = W_1 - W_4 = 3.426 - 1.594 = 1.832$ g.

$W_{h_1} = W_{c_1} - W_c = 1832 - 245 = 1587$ g.

$$V_{h_1} = V_{soil} = \frac{W_{h_1}}{\gamma_{ss}} = \frac{1587}{1.62} \simeq 979.6 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{bulk} = (\gamma_{wet})_{field} = \frac{W_{soil}}{V_{soil}} = \frac{1925}{979.6}$$

$$\simeq 1.965 \text{ gm/cm}^3$$

* ولإيجاد γ_d لابد من إيجاد $(w_c)_{field}$ من المعطيات.

$$w_c = \frac{W_w}{W_s} = \frac{277}{1648} \times 100 = 16.8 \%$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + w_c} = \frac{1.965}{1 + 0.168} = 1.68 \text{ gm/cm}^3$$

bulk unit weight = γ_{wet}

- Example (3):

Soil has been compacted in an embankment at a bulk unit weight of 2.15 t/m³ and a water content of 12%. The specific gravity of solids is 2.65. Calculate the dry unit weight, degree of saturation and air content. Would it be possible to compact the above soil at a water content of 13.5% to a dry unit wt. of 2.0 t/m³.

---

given: $\gamma = 2.15$ t/m³ , $w_c = 12\%$, $G_s = 2.65$

req.: (1) S , A , γ_d

(2) at $w_c = 13.5\%$ → $\gamma_d = 2.0$ t/m³ ؟؟ ممكن

($\gamma_w = 1.0$ t/m³ ← t, m الوحدات)

- $\gamma_d = \dfrac{\gamma_{wet}}{1+w_c} = \dfrac{2.15}{1+0.12} = \boxed{1.92 \text{ t/m}^3}$

- لإيجاد A نستخدم العلاقة (A) من الجدول

$$\gamma_d = \gamma_w \frac{G_s(1-A)}{1+w_c G_s}$$

$$1.92 = 1.0 \frac{2.65(1-A)}{1+(0.12)(2.65)}$$

$$\therefore (1.318)(1.92) = 2.65 - 2.65A \quad \therefore A \simeq 0.045$$

$$\underbrace{(1.318)(1.92)}_{2.53}$$

$$\simeq 4.5\%$$

- لإيجاد S نوجد أولاً e

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

$$1.92 = (1) \frac{2.65}{1+e} \longrightarrow \therefore e \simeq 0.38$$

$$S.e = w_c . G_s$$

$$\therefore S = \frac{w_c . G_s}{e} = \frac{(0.12)(2.65)}{0.38} \simeq 0.8368$$

$$\simeq 83.7\%$$

• فكرة المطلوب الثاني

المطلوب هل يمكن الوصول الى γ_d بعد الدمك الى الرقم $(2.0\ t/m^3)$ عند محتوى رطوبة $w_c = 13.5\%$ أثناء الدمك.

لابد أن نوجد $(\gamma_d)_{max}$ التي يمكن الوصول اليها بعد الدمك في هذه الطريقة

وهي قيمة γ_{ZAV} عند مقارنة الرقم المعطى به فإذا كان

إذا: $(\gamma_d)_{ZAV} > 2.0\ t/m^3$ ← يمكن الوصول اليها عملياً

لا: $(\gamma_d)_{ZAV} \leq 2.0\ t/m^3$ ← يمكن الوصول اليها عملياً

$$\therefore \gamma_{ZAV} = \gamma_w \frac{G_s}{1 + w_c \cdot G_s}$$

$$= (1.0) \frac{2.65}{1 + (0.135)(2.65)} = 1.95\ t/m^3$$

وهي أقصى قيمة يمكن الوصول اليها [لو أمكن جعل $A = Zero$ أثناء الدمك] عند محتوى الدمك $(w_c = 13.5\%)$

وبذلك تكون الإجابة: لا يمكن الوصول لقيمة γ_d الى $(2.0\ t/m^3)$.