engineer22.com

HIGHWAY ENGINEERING

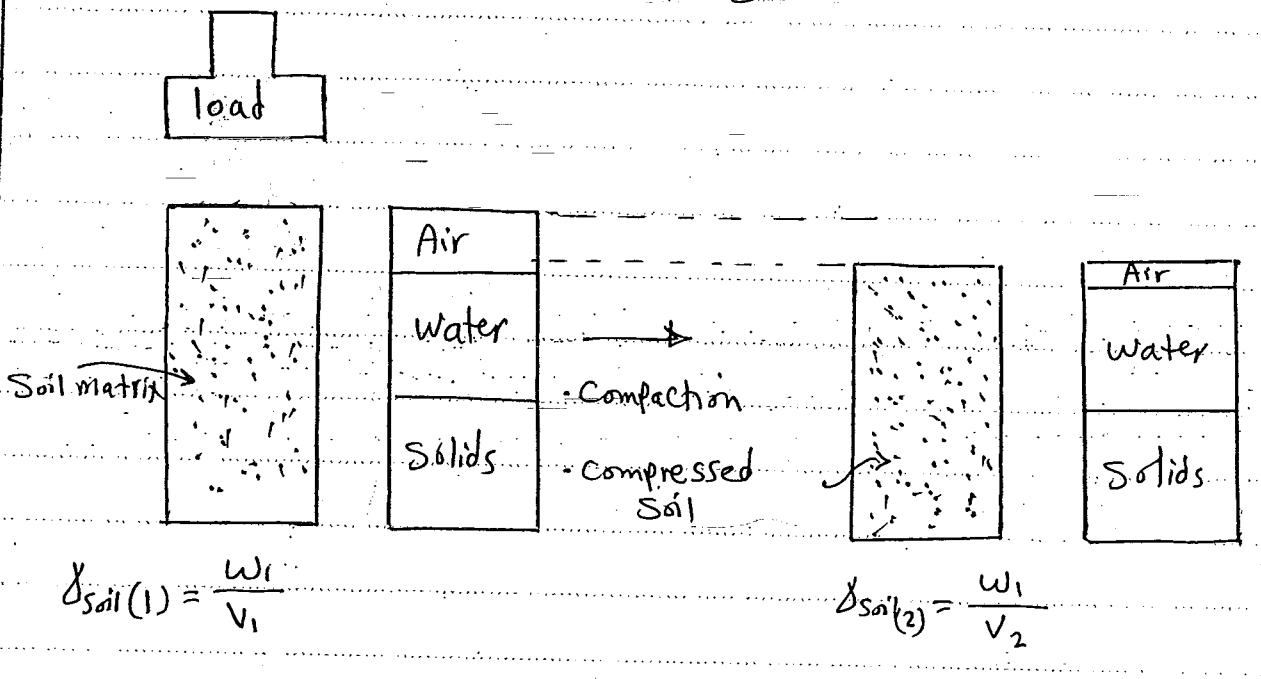
STRUCTURAL DESIGN

3

* Compaction *

Soil Compaction is defined as the method of mechanically increasing the density of soil by reducing volume of air.

• تقليل نسبة الفراغات الموجودة في التربة ميكانيكياً نتيجة خروج الهواء وإعادة ترتيب الحبيبات بشكل أكثر كثافة.
(زيادة كثافة التربة بطريقة ميكانيكية عن طريق تقليل الفراغات)



$$\gamma_{soil(1)} = \frac{W_1}{V_1}$$

$$\gamma_{soil(2)} = \frac{W_1}{V_2}$$

ونتيجة الدمك نجد ان حجم التربة قل وبالتالي الكثافة زادت

$$\gamma_{soil(2)} > \gamma_{soil(1)}$$

Why do we compact the soil ?
أغراض الدمك

* Increase Strength & Stability
* Reduce Settlement
* Reduce Permeability by reducing the voids
* Increase resistance to Volumetric changes due to frost and upheaval.

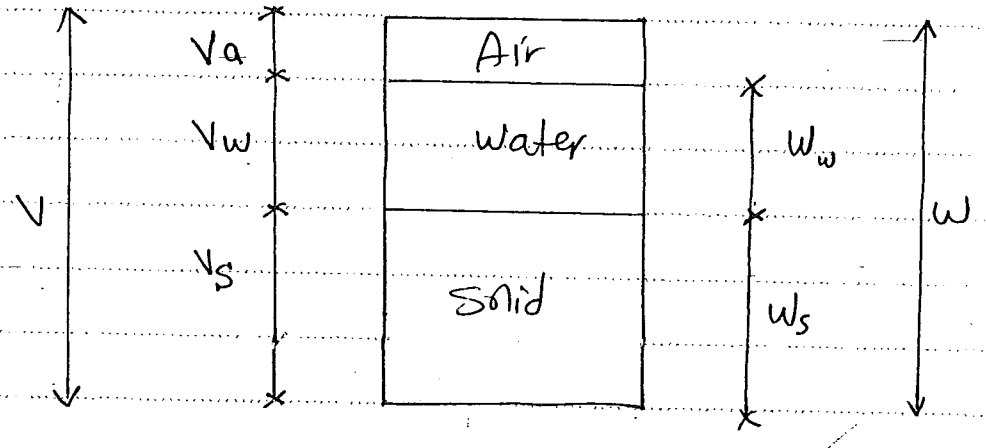
As density increase --- Stability increase

← زيادة مقاومة القص للتربة
← تقليل النفاذية
← تقليل الهبوطات الناتجة عن أحمال العجلات
← تقليل التغيرات الحجمية (نتيجة دخول الماء والتجمد)

Factors Affecting laboratory Compaction :-
العوامل المؤثرة على الدمك

→ Water Content (w_c) درجة الرطوبة
→ Compaction Effort طاقة الدمك
→ Soil type نوع التربة

(1) Water Content محتوى المياه (w_c)



① $\gamma_{wet} = \frac{W}{V}$

• هو وزن وحدة الحجوم المبللة أو الكثافة المبللة (الوزن داخل معايا ماء) [الوزن الكلي على الحجم الكلي]

② $\gamma_{dry} = \frac{W_s}{V}$

• وزن وحدة الحجوم الجافة وزن الصلب فقط على الحجم كله

③ $w_c = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W - W_s}{W_s}$

• هو وزن المياه مقسوماً على وزن الصلب

فقط وأحياناً يكون الـ w_c أكبر من 100٪ متل 120٪ عادي وخصوصاً للتربة الطينية

④ $\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \frac{w_c \%}{100}}$

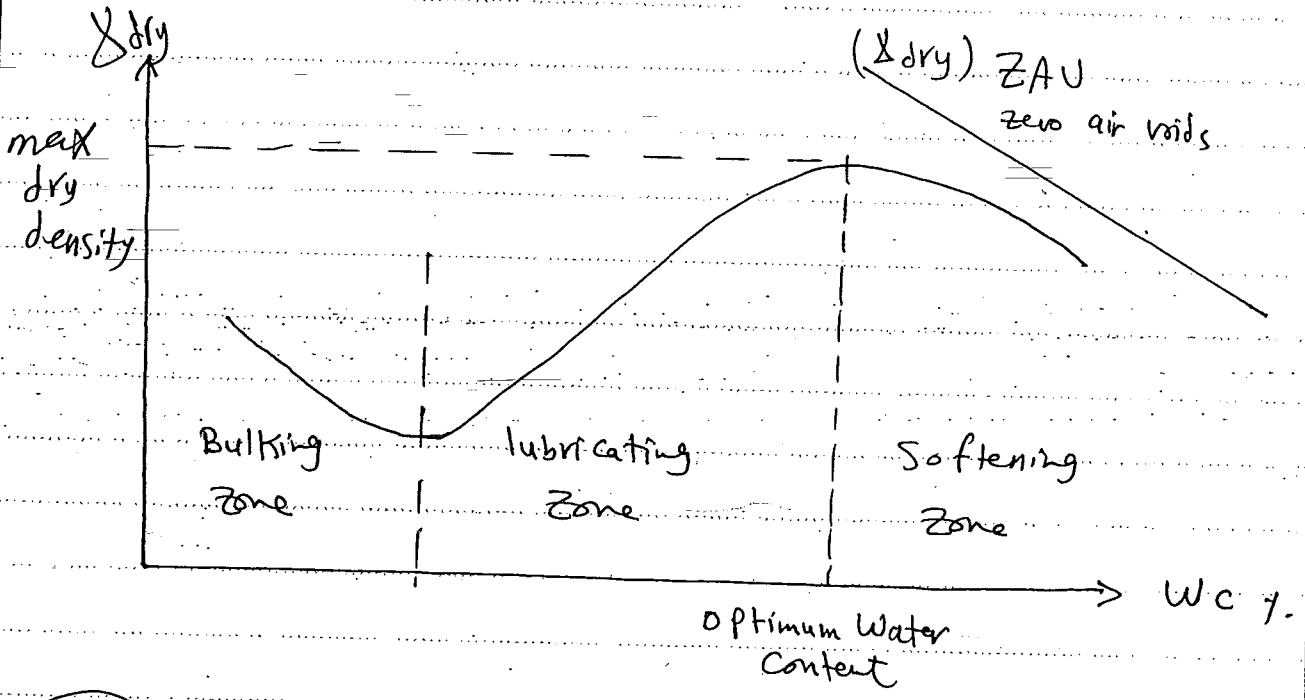
لاحظ ان الـ γ_{dry} مش معناه ان العينة جافة وانما هو وزن الـ Solids على الحجم الكلي اي بشوف وزن الـ Solids الموجودة في حجم قدايته حتى لو كان فيه مياه حتى لو فيه هواء ايضاً.

$$\gamma_{dry\,(ZAV)} = \frac{G_s * \gamma_{water}}{1 + G_s * \frac{w_c\,\%}{100}}$$

$$G_s = \frac{\text{كثافة الـ Solids}}{\text{كثافة المياه}} = \frac{\gamma_{solids}}{\gamma_{water}} = \frac{W_s/V_s}{\gamma_{water}}$$

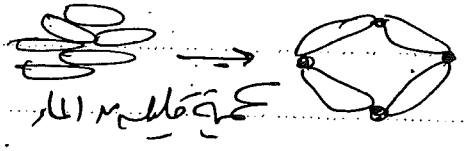
- (G_s) الوزن النوعي
- في حالة وانا بعمل التربة خليت حجم الهواء = (0) وهذا الوضع المثالي ← Zero air voids وهو الحد الأقصى لـ γ_{dry}

ولإيجاد تأثير محتوى المياه على الـ
Effect of Water Content



Bulking Zone منطقة الانتفاش

عند اضافة كمية قليلة من المياه فإن حبيبات المياه تتركز عند حواف حبيبات التربة مما يبعدها عن بعضها وبالتالي يزداد الحجم فتقل الكثافة



Lubricating Zone منطقة التشحيم

- عند زيادة كمية الماء نسبياً فإنها تغلف الحبيبات بطبقة من المياه وعند الضغط عليها بقوة الدمل فإن الحبيبات تنزلق فوق بعضها بسهولة لوجود المياه.. وتدخل في أماكن الفراغات بالتربة مما يقلل من حجم الفراغات وبالتالي الحجم الكلي فتزيد الكثافة

Softening Zone منطقة التطرية

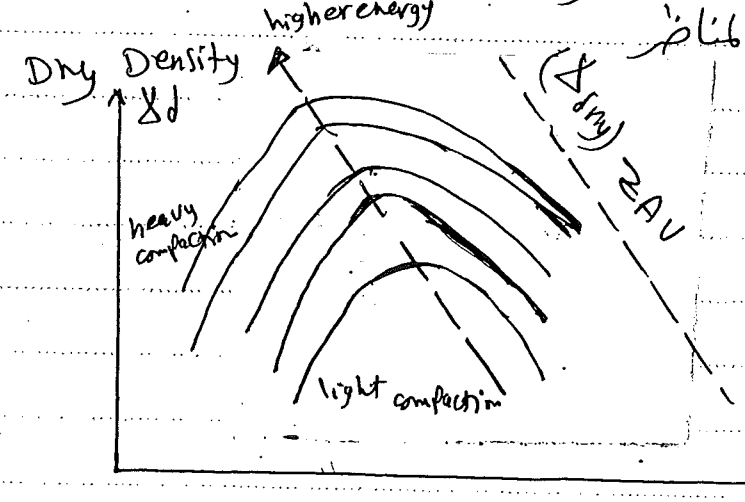
- عند زيادة كمية المياه أكثر من اللازم يحدث تطرية للتربة بحيث تصبح مثل معلّق أو عجين وبالتالي يزيد الحجم فتقل الكثافة حبيبات التربة تبتعد عن بعضها.

فيه Compaction معين (Wc) بيعطي أعلى والمفروض إن خط الـ ZAV يمشي الناس ولكن كل ما أقرب منه كل ما كان أفضل.

(2) Compaction Effort

تأثير طاقة الدمل

- كلما زادت طاقة الدمل.. كلما تزيد أقصى كثافة جافة وتقل محتوى المياه المثالي المناظر



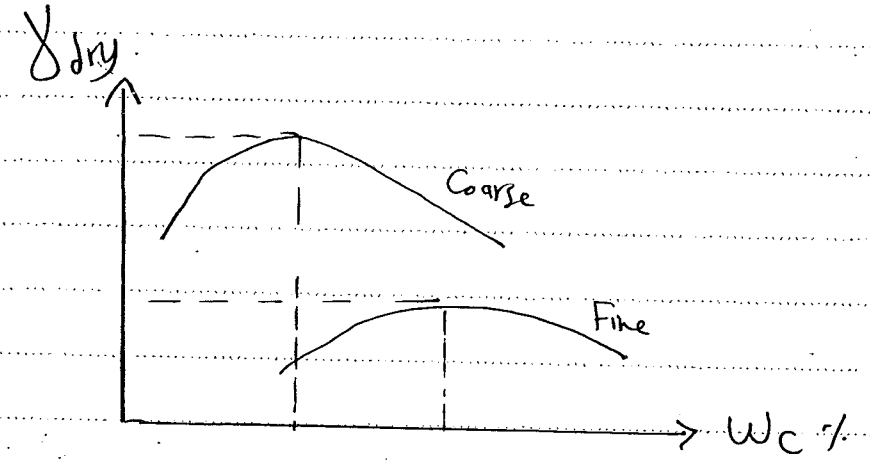
Increasing Compaction energy

↓

lower Wopt and higher dry density

(3) Effect of Soil type

تأثير نوع التربة على الدمك



التربة الخشنة هو هل لـ γ_{dry} أعلى من الناحية + هو هل (W_c) أقل

تحويلات هامة

1" = 25.4 mm

1 ft = 12 inch = 30.48 cm

1 mile = 1.609 km

1 pound = 0.454 kg

γ_{water} = 62.4 Lb/ft^3

$\left[\frac{1000 * (0.3048)^3}{0.454}\right]$

Laboratory Compaction

Proctor test is the Standard laboratory compaction test

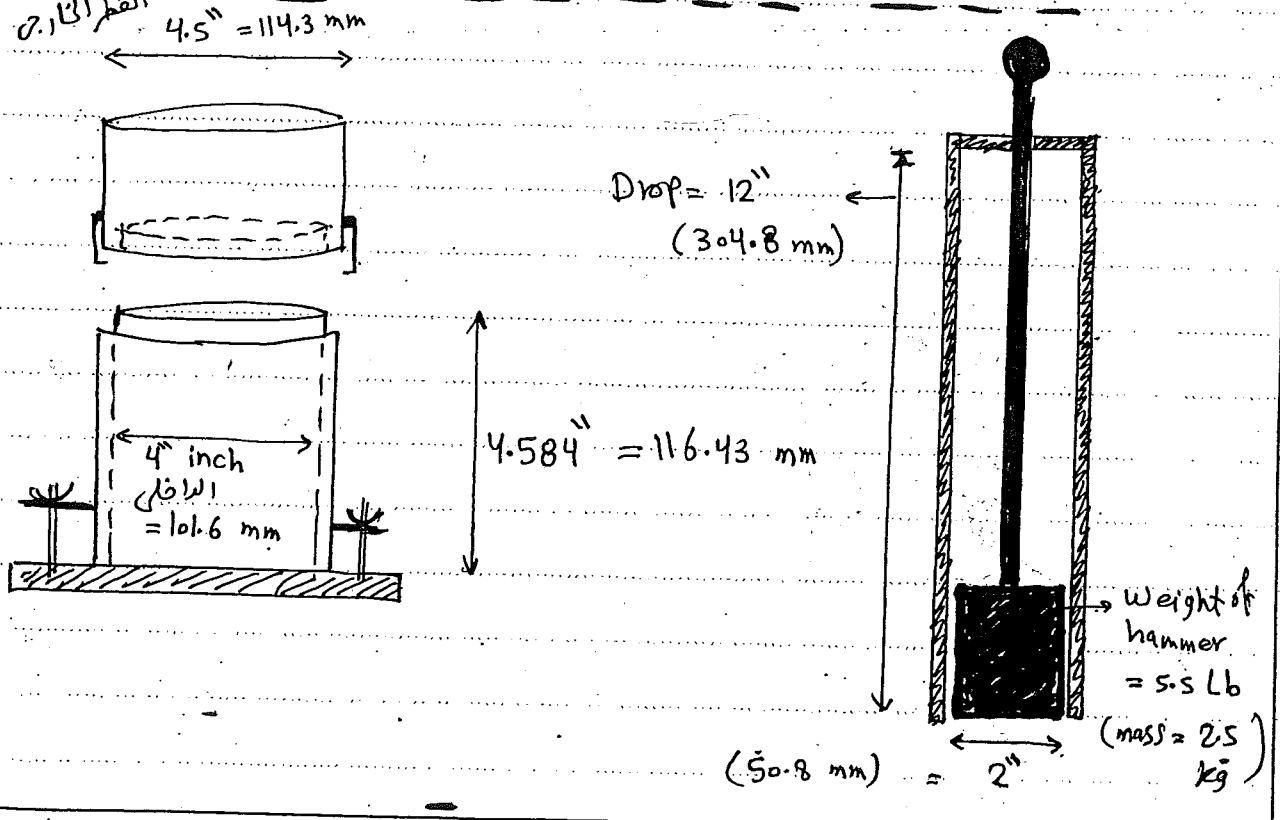
Purpose → determine → optimum water content ,
max dry density .

هو اختبار معملي الغرض منه تحديد أقصى كثافه جافة
في المعمل ومحتوى المياه المثالي

(A) Standard proctor test

(B) Modified Proctor test

(A) Standard proctor test



الخطوات :-

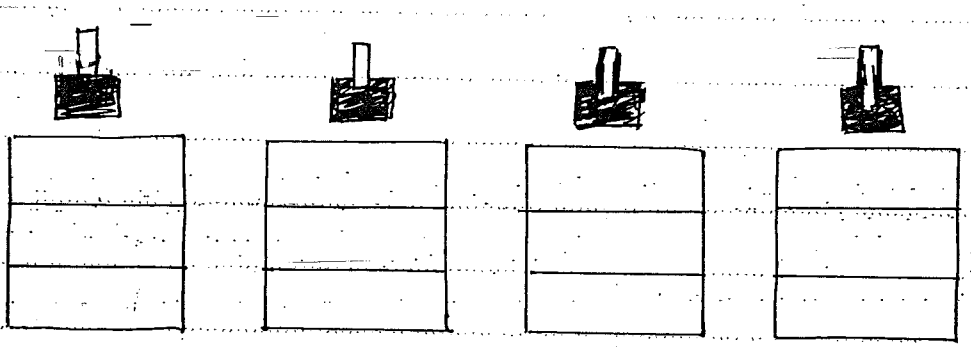
تم تجفيف العينة وزيادة نسبة محتواها من الـ Wc مثلاً 4 %

تم رص العينة في القالب على (3) طبقات

وتترك الطرقة لتسقط من ارتفاع 12"

وذلك 25 مرة لكل طبقة.

→ Mold Diameter = 4 inch
→ Mold volume = 1/30 $feet^3$
→ 25 blows / layer
→ 3 layers
→ hammer = 5.5 Lb
→ Drop height = 12 inch



Wc_1 Wc_2 Wc_3 Wc_4

γ_{d1} γ_{d2} γ_{d3} γ_{d4}

→ increasing water content

ملاحظة: الأبعاد القياسية للقالب :-

$h = 4.6"$, $D = 4"$

$$Volume = \frac{\pi D^2}{4} * h = \frac{\pi * (4"/12)^2}{4} * (4.6"/12)$$

$$= \left(\frac{1}{30}\right) ft^3$$

ثم يتم وزن العينة بعد الرمك W_{wet}

نحسب المعادلات الآتية

- $\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V} = 30 * W_{wet} \ (Lb/ft^3)$

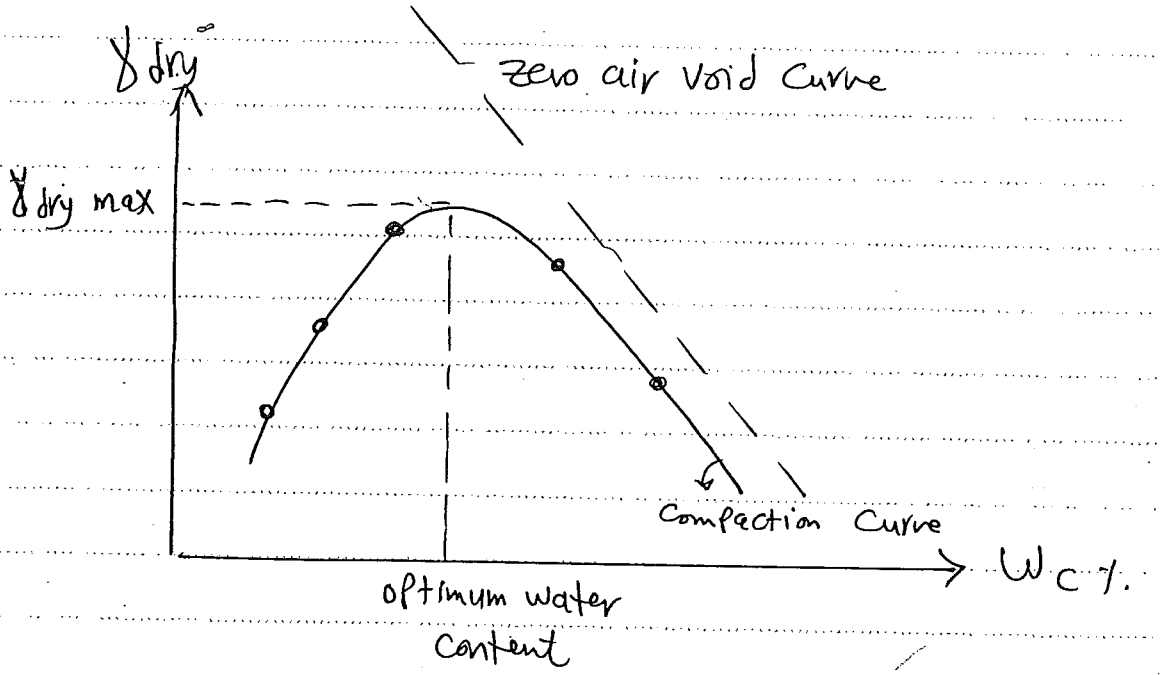
حيث $V = \frac{1}{30} ft^3$

- $w_c = \frac{W_{wet} - W_d}{W_d}$
- $\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \frac{w_c\%}{100}}$

- ثم تعيد التجربة كذا مرة مع تغيير كمية المياه المضافة على التربة

w_c	4%	5%	6%	7%	---
W_{wet}					
$\gamma_{wet} = 30 * W_{wet}$					
$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \frac{w_c\%}{100}}$					

يتم تكرار التجربة حتى نلاحظ ان قيمة γ_{dry} بدأت تزايد حتى قيمة معينة ثم بدأت تتناقص



لاحظ

- اختبار (Proctor) يتم عمله لتحديد أقصى كثافة معملية جافة وتحديد محتوى الماء اللازم للوصول إلى هذه الكثافة حتى تتم مقارنة فيما كثافة الموقع بكثافة المعمل لمعرفة درجة الدمك (Rc) Relative Compaction

- ويتم قبول الدمك في الموقع إذا كانت أكبر من أو تساوي 95% من الدمك الذي تم الوصول إليه في المعمل

$$\text{Relative Compaction} = (R_C) = \frac{(\gamma_{dmax})_{field}}{(\gamma_{dmax})_{lab}}$$

ولكن لزيادة احمال السيارات والطائرات
تم عمل اختبار بروكتور المعدل والفروق
كالتالى :-

وجه المقارنة	Standard Proctor test (AASHTO)	Modified Proctor test
قطر المطرقة hammer diameter	2"	2"
ارتفاع القالب mold height	4.6"	4.6"
قطر القالب mold diameter	4"	4"
عدد الضربات No. of blows	25 blows / layer	25 blows / layer
عدد الطبقات No. of layers	3 layers	5 layers
ارتفاع السقوط Drop height	12"	18"
وزن المطرقة hammer weight	5.5 lb	10 Lb
الاستخدام Usage	highways	Airports & Important Roads
طاقة الدمك Compaction energy	12375 ft.lb/ft^3	56250 ft.lb/ft^3

ولحساب طاقة الدمك:

وزن المطرقة — ارتفاع السقوط — عدد الضربات — عدد الطبقات

$$\text{Energy} = \frac{W * H * n * N}{\text{Volume}} = \checkmark \ ft \cdot Lb / ft^3$$

Ex

Calculate the compaction effort (energy) For both Standard & Modified compaction test

Sol.

For standard proctor test [$W = 5.5\ Lb$, $H = 12" = 1\ ft$, $N = 3$, $n = 25$

$$E = \frac{W * H * n * N}{\text{Volume}} = \frac{5.5 * 1 * 25 * 3}{(1/30)}$$

$$= 12375 \quad ft \cdot Lb / ft^3$$

For Modified proctor test [$W = 10\ Lb$, $H = 18" = 1.5\ ft$, $N = 5$, $n = 25$

$$E = \frac{W * H * n * N}{\text{Volume}} = \frac{10 * 1.5 * 25 * 5}{(1/30)}$$

$$= 56250 \quad ft \cdot Lb / ft^3$$

Ex

Specimens of two soils were compacted in the laboratory using the AASHTO (standard) method. Unit weights for varing moisture contents were as follows:-

Soil No ①

W_c %	γ_{wet} (lb/ft^3)
4.42	134
6.75	144
7.35	145
8.36	145
8.93	144

Soil No ②

W_c %	γ_{wet} (lb/ft^3)
12.5	122.5
14.2	125
16.2	128.5
17	128.5
19.7	127.5

- Plot the wet weight and dry weight curves of these soils and determine the optimum moisture content for each.
- Which of these soils is sand and which is clay? Explain
- Develop the equation for zero air voids and plot the zero air voids curve for each soil assuming that the specific gravities of the soils are 2.68 and 2.56 respectively.

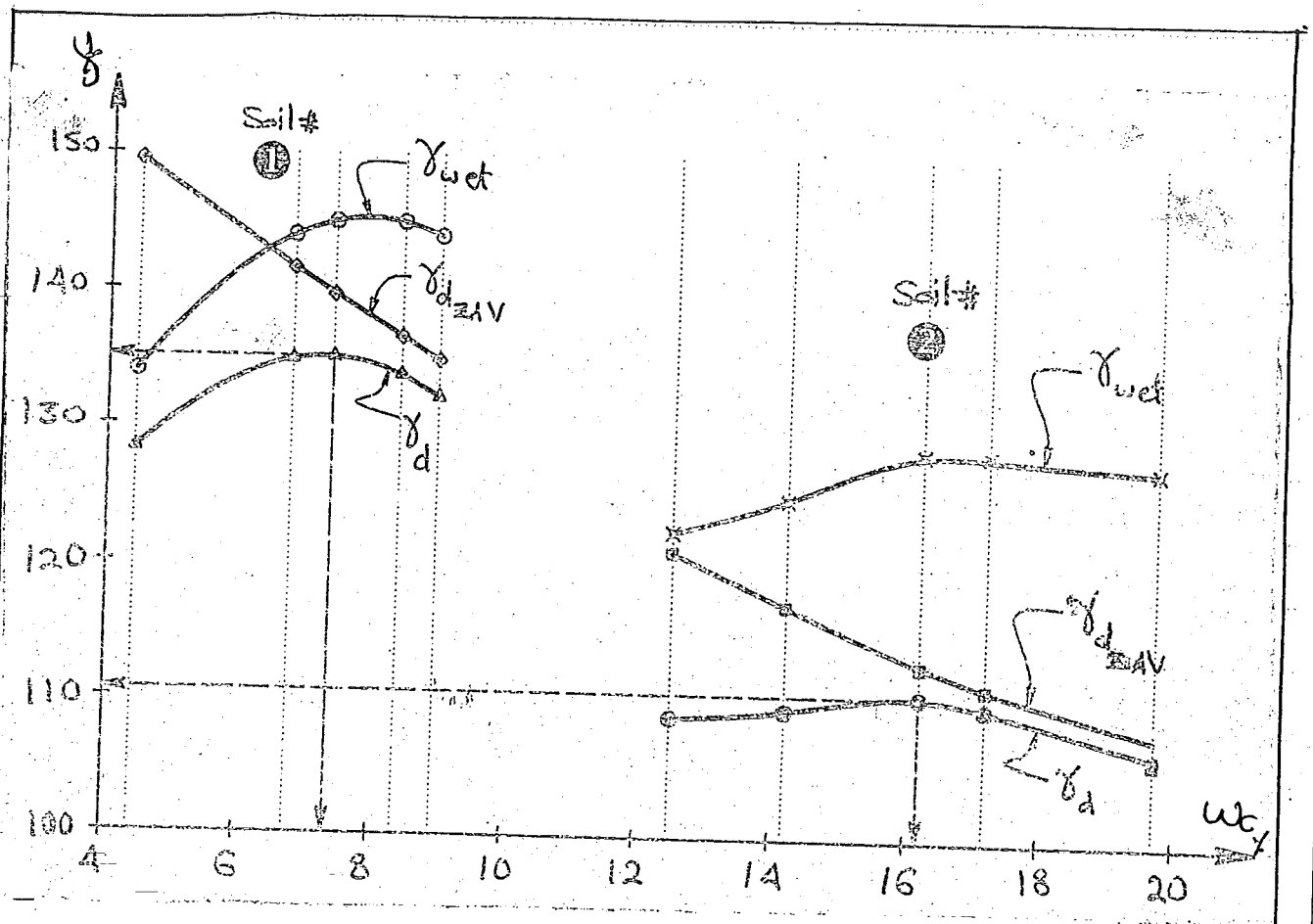
Soil

Soil (1)

$W_c\%$	γ_{wet} (Lb/ft^3)	$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+\frac{W_c\%}{100}}$	$\gamma_{d\ ZAV} = \frac{G_s * \gamma_{water}}{1+G_s*\frac{W_c}{100}}$
4.42	134	128.3	149.5
6.75	144	134.9	141.6
7.35	145	135.1	139.7
8.36	145	133.8	136.6
8.93	144	132.2	134.9

Soil (2)

$W_c\%$	γ_{wet} (Lb/ft^3)	$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+\frac{W_c}{100}}$	$\gamma_d = \frac{G_s * \gamma_{water}}{1+G_s*\frac{W_c}{100}}$
12.5	122.5	108.9	121.0
14.2	125	109.5	117.16
16.2	128.5	110.6	112.9
17	128.5	109.8	111.3
19.7	127.5	106.5	106.2



ومن الرسم نجد ان (Soil ①) هي التربة الخشنة (Sand) و (Soil ②) هي التربة الناعمة Clay

حيث $\gamma_{d_{max_1}} > \gamma_{d_{max_2}}$

For Soil ① $W_{c.optimum} = 7.35\%$

$\gamma_{d\,max} = 135.1 \ lb/ft^3$

For Soil ② $W_{c.optimum} = 16.2\%$

$\gamma_{d\,max} = 110.6 \ lb/ft^3$

Field Compaction الدمك في الموقع

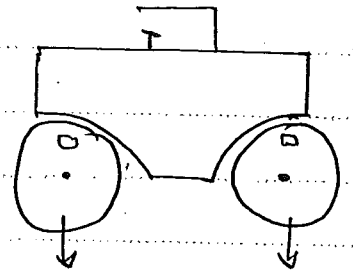
① Smooth Steel Roller

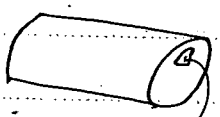
هراس حديدي املس

- Compactive effort (Static Weight)
  تعتمد في فكرتها على الضغط او استاتيكي
- اسطوانة حديد كبيرة تتم ملئ الاسطوانة بالرمال مع الماء وأحيانا اسطوانتين
- from 1 ⟶ 18 ton = 100% coverage
  وزنها من 1 ← 18 طن وتغطي المساحة بالكامل
- Can be used on all soil types except for Rocky Soils.

- Better Results on Coarse Soils
  يفضل مع التربة الخشنة

$$\text{Pressure} = \frac{\text{وزن الهراس}}{\text{مساحة التماس}}$$

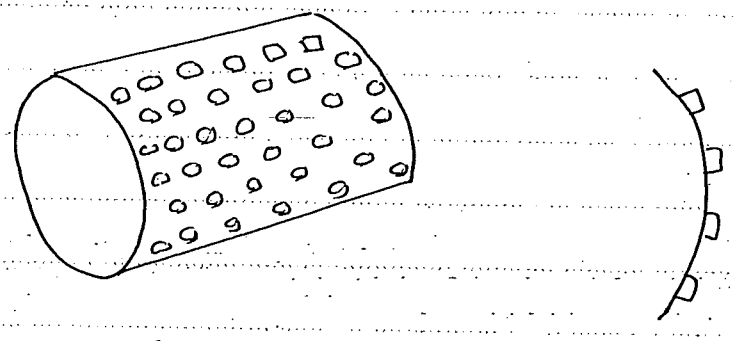




تتم ملئ الاسطوانة بالماء او الرمال

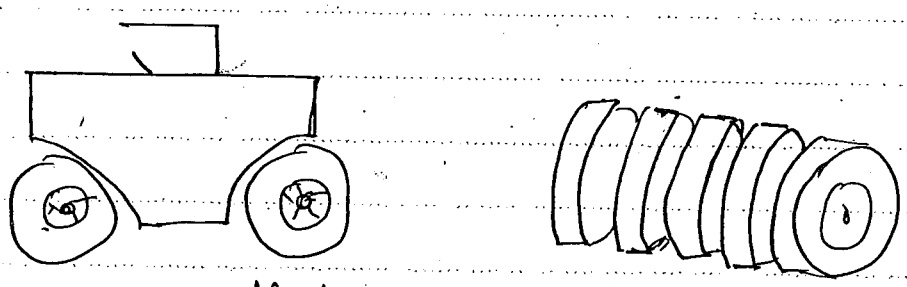
② Sheep foot Roller مراس حوافر الأغنام

- Compactive effort (Static & Kneading)
  يعتمد في طاقة الدمك على الضغط الاستاتيكي والعجن
- 8 to 12 % coverage
- Contact pressure is from 1400 to 7000 KPa.
- Used for fine grained soil
  يصلح مع التربة الناعمة
- High voids - Use lower water content



③ Pneumatic (or rubber-tired) Roller

مراس عجل كاوتش



- Compactive effort - Static - Kneading
  يعتمد في طاقة الدمك على الضغط الاستاتيكي والعجن

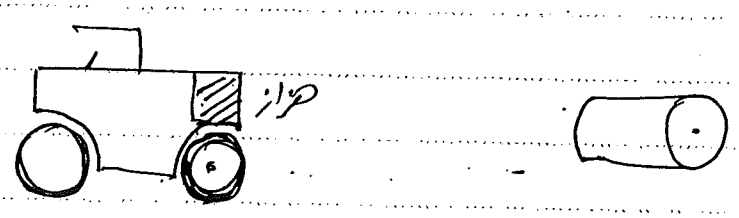
- 80% Coverage under the Wheal
  يغطي ٨٠٪ من مساحة الكفر
- Contact Pressure Up to 700 kPa – Increasing it is not very effective.
- Can be used for both granular and fine-grained soils
  يصلح في جميع انواع التربة - الخشنة والناعمة
  ضغط عالي وطرق على السطح
  يستعمل في تكفيل الرصيف ايضاً والملعب الخاص بكرة القدم

---

(4) Vibrating drum on Steel Roller

اسطوانة حديد بهزاز

- Compactive effort – Static and Vibration
  يعتمد طاقة الدمك على الحمل الساكن والاهتزاز
- Suitable for granular soils.
- Very Suitable for uniform Sand.
  مناسب جداً مع الرمل منتظم التدرج

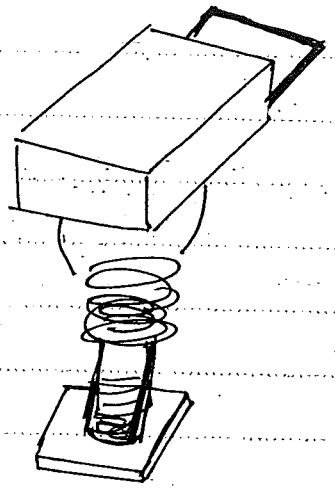


زي اول اسطوانة فيه هزاز

(5) Vibrating Plate الهزازات اللوحية

- Suitable for most soils
- Small areas
- Not Suitable for large areas and wet clayey soils.

- يصلح مع معظم انواع التربة
- يصلح في رمل رمال الردم في الأرصفة وردم الخنادق الصغيرة والأساسات
- لا يفضل في الطبقات الكبيرة والتربة الطينية المبللة
- يعتمد فكرته على الهز في الرمل



لاحظ انه يمكن رمل الرمال النظيفة Clean Sand باستخدام الهزازات وبدون هزاز عن طريق إضافة كمية من الاسمنت أو التربة الناعمة وبذلك يمكن دمكها باستخدام الهراس الحديدي الأملس أو هراس عجل الكاوتش.

Selection of Compactor

هام

اختيار الهزازات طبقاً لنوع التربة

- **Clayey Soils**
  - Sheep foot Roller هراس حوافر الغنم
- **Silty Soils**
  - Pneumatic Rollers هراس عجل كاوتش
  - Steel Roller (Smooth) هراس حديد املس
  - good control on wc % ولكنها تحتاج لـ
  - Sheep foot roller هراس حوافر الغنم
- **Sand & Gravel**
  - Smoth Steel Roller
  - Pneumatic Roller
  - Vibratory Rollers هراس بجرار

How to measure field Density

Need to measure

- Weight
- Volume
- Water content

* Sand Cone test
* Core Cutter
* Nuclear Densometer or Nuclear Density Meter

Check of field compaction

تعتمد فكرة التحقق من العمل في الموقع على العمل النسبي

$$\text{Relative compaction} = R_c = \frac{(\gamma_d)\,field}{(\gamma_{d_{max}})\,lab} * 100\% \geq 95\%$$

$(\gamma_d)_{max}$ Lab ← يتم حسابها في المعمل من اختبار Proctor العتيادي أو المعدل

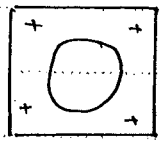
$(\gamma_d)_{field}$ ← • يتم حسابها في الموقع من اختبار الـ Sand cone لجميع أنواع التربة

• أو باختبار الـ Core Cutter القائم للتربة المتماسكة

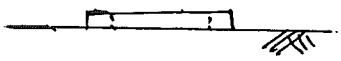
• " " معايرة الكثافة الذرية Nuclear Densometer لكل أنواع التربة

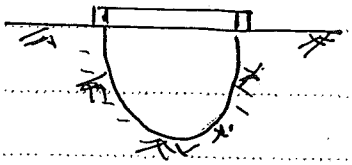
طريقة المخروط الرملي Sand Cone

① في الموقع يتم تثبيت لوحة الجهاز



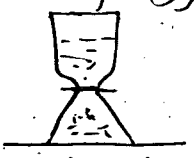
② الحفر داخل اللوحة وأخذ العينة والاحتفاظ بها في كيس ووزنها W_{wet}





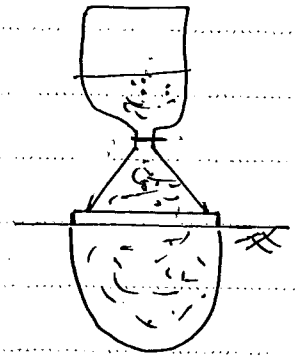
③ وزن مخروط الرمل (W_1)

④ قلب مخروط الرمال على سطح مستوى



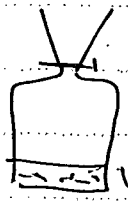
⑤ غلق المخروط ووزنه مرة أخرى

∴ وزن الرمل الذي ملأ المخروط $W_{cone} = W_1 - W_2$



⑤ وضع المخروط على الحفرة

⑥ وزن المخروط مرة أخرى



وبالتالي بدينا وزن الرمل في الحفرة

$$W_{hole} = W_1 - (W_3 + W_{core})$$

$$V_{hole} = \frac{W_{hole}}{\gamma_{sand}}$$

كم حجم الحفرة

وكما نعلم وزن الحفرة (التربة الأصلية)

① $$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V_{hole}}$$

② W_{wet} $\xrightarrow[\text{الفرن}]{\text{في}}$ W_{dry}

$$W_c = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_d} * 100$$

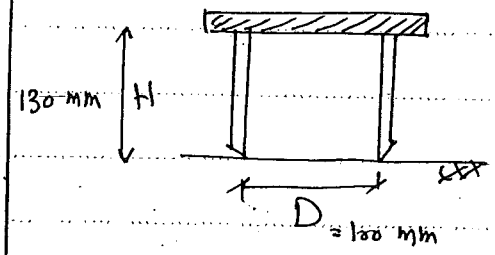
③ $$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \frac{W_c\%}{100}}$$

طريقة الكور القاطع Core Cutter

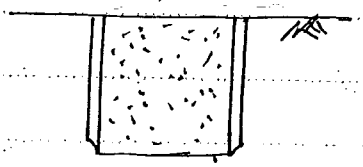
لتصليح الأوح التربة المتماسكة Silt & Clay

الخطوات

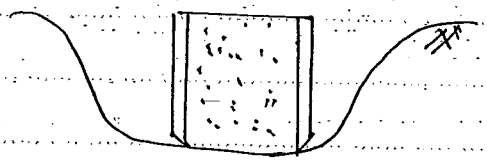
① توضع الحلقة على انطح التربة بعد تسويتة جيداً:



② يتم الدق عليها للوصول للوضع التالي ←



③ يتم الحفر حولها ثم يتم استخراج الحلقة بما فيها من عينة



- $\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V}$ وزن العينة الموجودة في الحلقة / حجم العينة $\frac{\pi}{4} D^2 * H$

- $W_{wet} \xrightarrow{\text{فرن}} W_{dry} \longrightarrow w_c = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} * 100$

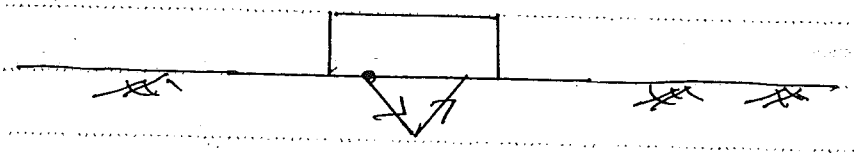
- $\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \frac{w_c \%}{100}}$ = ✓

Nuclear Densometer

مقياس الكثافة النووي

- هو جهاز يستعمل اشعة جاما وسرعة الذبذبات تعتمد على كثافة المادة عن طريق زمن خروج الذبذبات وعن طريقها السماك يعرف الكثافة

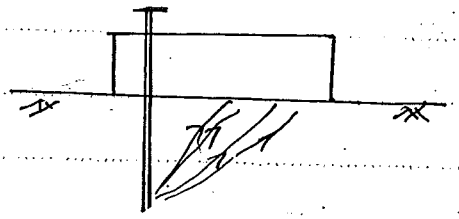
- (لاحظ) فيه مشكلة في الـ Safety للشخص اللي بيقيس حيث لازم يبعد مسافة عن الجهاز اثناء القياس



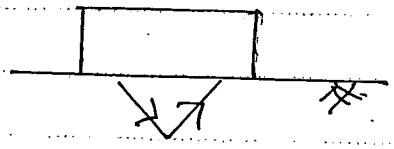
- Dense soil absorbs more radiation than loose soils

فيه نوعين منه

① direct transmission
بدراع ويحتاج احتكاك مباشر للاشعه
وهو ادق



② Indirect transmission
بيعمل ارسال واستقبال
بدون ذراع



Ex

The Soil no. 1 in last (ex) . was compacted in the field and the following data was obtained :.

- Wt of Sand / ft^3 = 105 Lbs
- Wt of Soil from hole = 5.8 Lbs
- Wt of Sand to fill hole = 4.5 Lbs
- moisture Content = 15.5 %

- Determine the Relative Compaction. Comment on your answer.
- the Saturation moisture content of the compacted fill

For Soil ①

$\rightarrow (\gamma_{d\,max})_{lab}$ = 135.1 Lb/ft^3

- W_{wet} = 5.8 Lbs
- $W_{sand\ fill\ hole}$ = 4.5 lbs
- γ_{Sand} = 105 lbs/ft^3

$\therefore V_{hole} = \frac{W_{hole(Sand)}}{\gamma_{Sand}} = \frac{4.5}{105}$ = 0.0428 ft^3

- $(\gamma_{wet})_{Soil} = \frac{5.8}{0.0428}$ = 135.33 Lb/ft^3

$$\gamma_{dry\ field} = \frac{\gamma_{wet}}{1 + \frac{w_c\%}{100}} = \frac{135.33}{1 + \frac{15.5}{100}} = 117.17 \ lb/ft^3$$

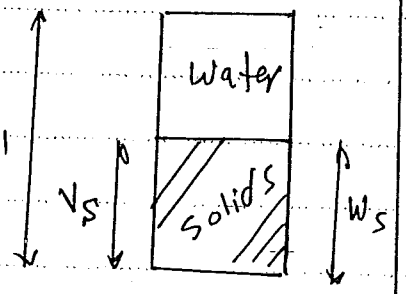
$$R.C = \frac{(\gamma_{dry\ max})_{field}}{(\gamma_{dry\ max})_{lab}} = \frac{117.17}{135.0} * 100$$

$= 86.7\ \% < 95\ \%$ not ok

يعيد اداره الموقع مره اخرى

Req ②

assume $V_t = 1$, $\because \gamma_d = \frac{W_s}{V_t}$



$W_s = W_d = \gamma_d * V_t$

$= 117.17 * 1 = 117.17$ lbs

$$G_s = \frac{\gamma_{solids}}{\gamma_{water}} = \frac{W_s / V_s}{\gamma_{water}}$$

$$2.68 = \frac{\frac{117.17}{V_s}}{62.4} \longrightarrow V_s = 0.7\ ft^3$$

$$V_w = 1 - 0.7 = 0.3\ ft^3$$

$$W_w = \gamma_w * V_w = 62.4 * 0.3 = 43.72 \text{ Lbs.}$$

$$w_c = \frac{W_w}{W_s} = \frac{43.72}{117.17} * 100 = 37.31\ \%$$

A specimen of a given soil is being compacted in the laboratory using the Standard Proctor Test. Unit weights and moisture contents were as follows:

% Moisture Content	12	14	16	17.5	18.5
Wet Density (lb/ft3)	119.5	126.0	129.6	129.7	129.3

1. Plot the relationship between the dry density and the moisture content, and determine the maximum dry density and the optimum moisture content
2. If the soil was compacted in an embankment, what is the relative compaction of the above soil if the following data was recorded from a sand cone field test
   a. Weight of cubic foot of sand = 100 lb
   b. Weight of soil removed from embankment = 5.3 lb
   c. Moisture content of soil on embankment = 17.5
   d. Weight of sand to fill the hole = 4.4 lb
3. Determine the saturation moisture content of the compacted fill. $G_s = 2.67$

A test hole 6 inch diameter and 8 inches depth was made in a compacted soil. The soil taken weighted 15.5 lbs., its moisture content is 16 % .Compute the relative compaction if the max. dry density in the lab. was 110 lbs./ft. Calculate the saturated moisture content of the sample if $G_s = 2.67$