الفصل التاسع

دمك (إنضغاطية) التربة

Soil Compaction

- مقدمة :

- عرفة دمك (إنضغاطية) التربة منذ القدم حينما بدأ الإنسان في بناء السدود القديمة حيث كانت تتم عملية دمك التربة بتمرير أعداد كبيرة من العمال والحيوانات على التربة المفككة مرات متعددة . وكانت جسور السكك الحديد في البداية تدمك بترك تربتها عدة سنين لتدمك تحت تأثير وزنها قبل وضع طبقة الزلط فوقها . وكانت الأساليب المستخدمة قديما في دمك التربة وسائل تقريبية إلى أن قدم بركتور Proctor أبحاثة عام ١٩٣٣ فأدخل الأسلوب العلمي في هذا المجال .

- **تعريف الدمك :**

- **الدمك هو أعادة ترتيب حبيبات التربة بطرد الهواء فقط من فراغات التربة ويتم ذلك باستخدام وسائل ميكانيكية وينتج عن ذلك نقص في حجم فراغات الهواء وزيادة فى كثافة التربة.**
ويختلف الدمك عن التصلب consolidation بأن الأخير هو طرد تدريجي للمياه من التربة المشبعة باستخدام أجهاد مستمر ويصاحب ذلك نقص فى الحجم .

- أهمية الدمك كتطبيق هندسي :

- ١- فى مجال السدود الترابية فإن دمك تربة الردم فى السد تزيد مناعته لنفاذ الماء مما يقلل كمية الماء المتسربة منه . كما أن قوة القص لردم مدموك جيدا تساعد على ثبات هذا الردم ومقاومتة للانزلاق.

- ٢- وفى مجال الطرق والمطارات فإن هذه الأعمال الهندسية تزيد سعتها الحملية إذا أنشئت على أساس مدكوك جيدا.

- ٣- الدمك من أهم العمليات اللازمة لتثبيت التربة سواء أضيفت مادة تثبيت أو لم تضاف

- ٤- دمك التربة Soil compaction هدم بناء التربة الزراعية أي ضغط حبيباتها بأحمال كالمشي فوق تربة مشبعة أو شبه مشبعة سواء الآدميين أو الحيوانات (الجمل – البغال – الحصان - الثور) أو السيارات أو الجرارات أو المعدات ..الخ تؤثر تأثيرا قويا ومباشرا على هدم البناء التربة أو الترتيب لحبيبات التربة وهناك مثل قان إصلاح أرض هدم بناؤها أصعب من استصلاح أرض جديدة

وهنا سؤال ما تأثير هدم بناء التربة على مسامية التربة أو تهويتها وقدرتها على الاحتفاظ بالماء .. وكذا تأثيره على إنتاجية وحدة المساحة لمحصول معين.

- الإجابة على السؤال السابق ليس من السهل أو البساطة من الناحية العلمية بآلاف من الصفحات والأبحاث بل المدارس العلمية المتخصصة فى هذا المجال، ولكن من الناحية التطبيقية يمكن ملاحظة نقص إنتاجية المحصول عند زراعته فى أراضى يكثر مرور المعدات والبشر والحيوانات خصوصا بعد إعدادها للزراعة ،

ويكون تأثير إنضغاطية التربة واضحا خصوصا بعد المرور للمعدات على أرض مستحدثة أو بها نسبة عالية من الرطوبة أو فوق السعة الحقلية المائية. والدم للتربة يقلل الحجم المشغول بالماء والهواء وكلما قل يقترب حجم التربة إلى حجمها الجاف مما يقلل من مسامية التربة اللازم شغلها بالماء والهواء مما يصعب نمو النبات طبيعيا أو إعطاء محصول حدي أو متوسط بدرجة ما.

- **تجارب الدمك المعملية :**

Laboratory Compaction test :

- **تهدف تجارب الدمك المعملية إلى إيجاد وضع قياسي يكون أساسا واسترشادا لإجراء عملية الدمك فى الموقع. ويوجد العديد من التجارب المعملية التي تعتمد على طريقة ونوع الدمك ، وينقسم الدمك إلى الأنواع الآتية : -**

- ـ الدمك الديناميكي Dynamic compaction

حيث ينم الدمك بواسطة الدق بمطرقة تسقط من ارتفاع معين .

- ـ الدمك بالعجن Knee-ding compaction

حيث يتم الدمك بواسطة اختراق حوافر للتربة ثم يحدث بعض العجن للتربة أثناء الدمك .

- ـ الدمك بحمل استاتيكى Static compaction

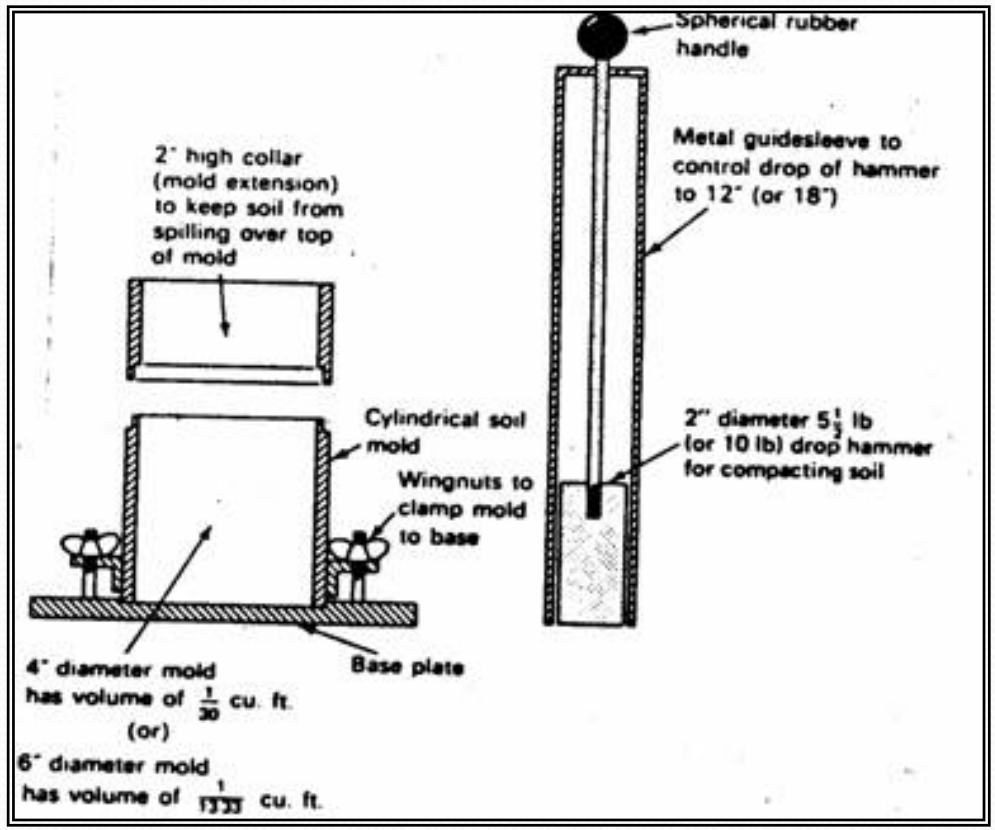
حيث تدمك التربة فى قالب تحت حمل استاتيكى .

- ـ الدمك بالهز Vibratory method

حيث يتم دمك التربة بتعريضها للاهتزاز . وسوف نقصر الاختبارات هنا على اختبارين فقط من نوع الدمك الديناميكي (وهما أشهر الاختبارات).

- اختبار بروكتور القياس Standard Proctor test :

- تجفف عينة من التربة بعد أن تستحق بحيث يكون التجفيف هوائيا (فى حدود ٥ كجم مادة من منحل فتحته ٢٠مم) . ثم تضاف كمية من الماء حسب نوع التجربة بحيث تعطى محتوى رطوبة ما بين ٤% الى ٦% للتربة الرملية والزلطية وبقيمة تتراوح بين ٨% إلى ١٠% للتربة الطيبة والطمييية ثم توضع العينة على ثلاث طبقات فى القالب المكون من اسطوانة مفرغة قطر ١٠,٢سم وارتفاعة الداخلي ١١,٦سم (يعطى حجما حوالي ٩٤٤ سم^{٣}) كما أن هذا الاسطوانة لها امتداد علوي ارتفاعه ٦ سم شكل (٩-١)

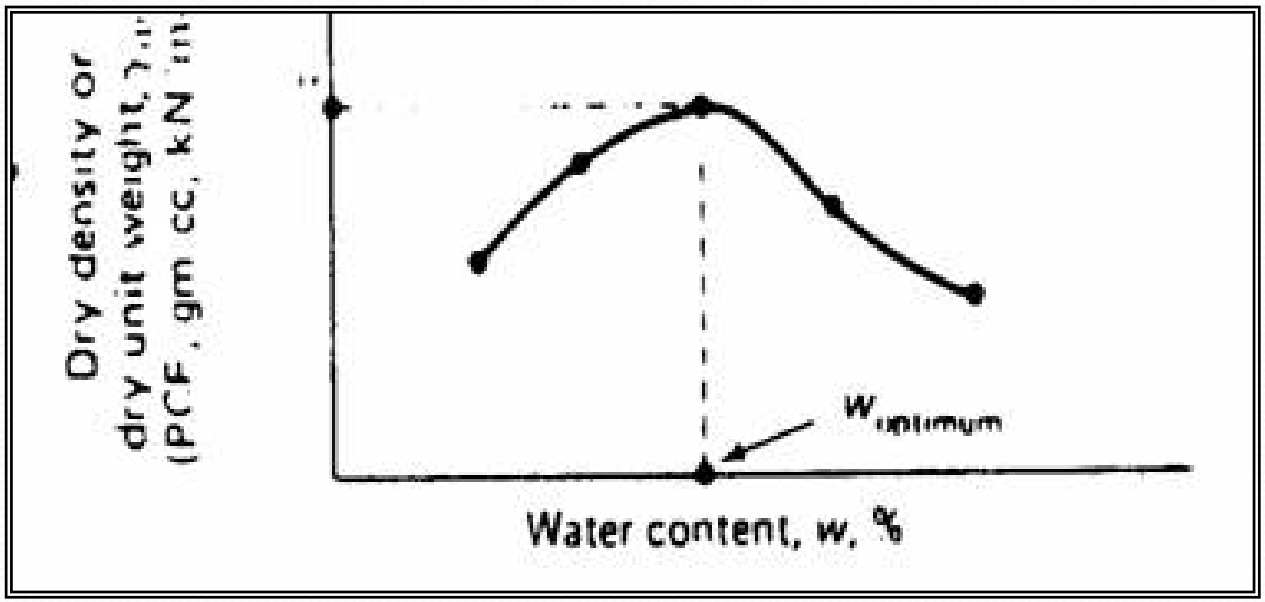


(١-٩) اختبار الدمك

- وتدمك كل طبقة من الطبقات الثلاث بواسطة الدق ٢٥ دقة بمطرقة hammer تزن ٢,٥ كجم وقطرها ٥,١ سم وتسقط من ارتفاع ٣٠,٥ سم ثم يزال الامتداد العلوي للاسطوانة وتسوى التربة بداخلها ثم يوزن القالب الاسطواني بما يحتوي من تربة لحساب الكثافة الربطة للعينة والمحتوى المائي لها .

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)};\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+\frac{w_c G_s}{S_r}}$$

- تكرر التجربة ٦مرات بزيادة المحتوى بحولي ٢% وترسم العلاقة بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي شكل (٢-٩)



شكل (٢-٩) منحنى تعين منحنى الرطوبة ـ الكثافة فى اختبار الدمك

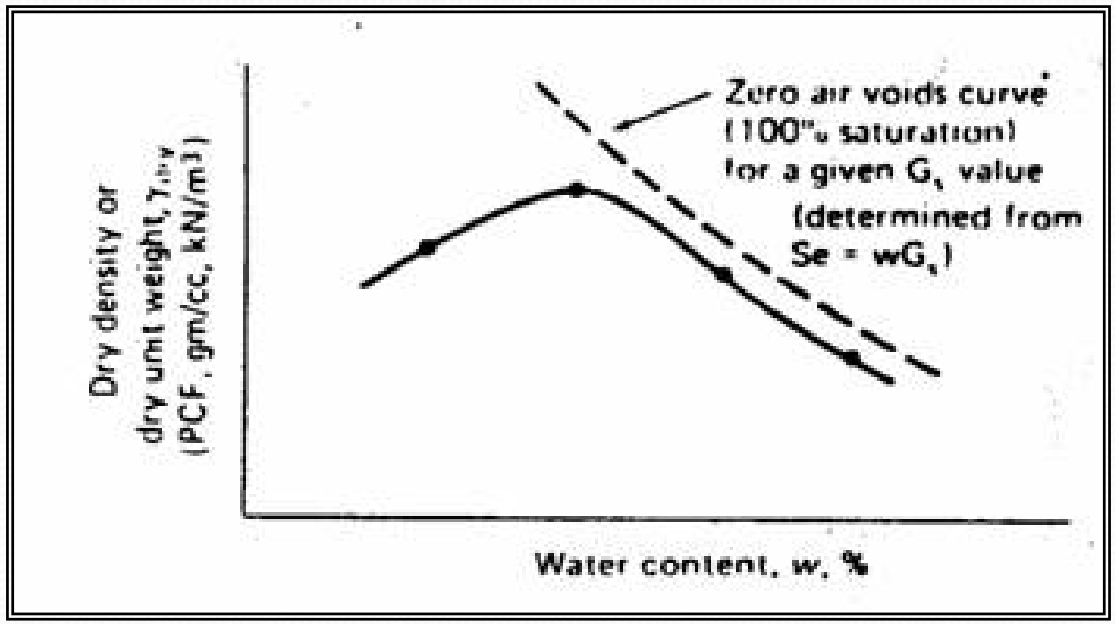
- و من العلاقة في شكل (٩-٢)

- تعين الكثافة الجافة القصوى Max. dry density

- والمحتوى المائي الأمثل للتربة

Optimum moisture content

- و يمكن أيضا رسم منحنيات الفراغات الهوائية zero, 5%, 10% air voids curves شكل (٩-٣)



شكل (٩-٣) منحنى الفراغ الهوائي الصفري وعلاقته بمنحنى الرطوبة-الدمك

$$\gamma_d = \frac{(1-\eta_a)\,Gs\,\gamma_w}{1+wc\,Gs} \quad \gamma_d = \frac{(1-aa)\,Gs\,\gamma_w}{1+wc\,Gs-aa}$$

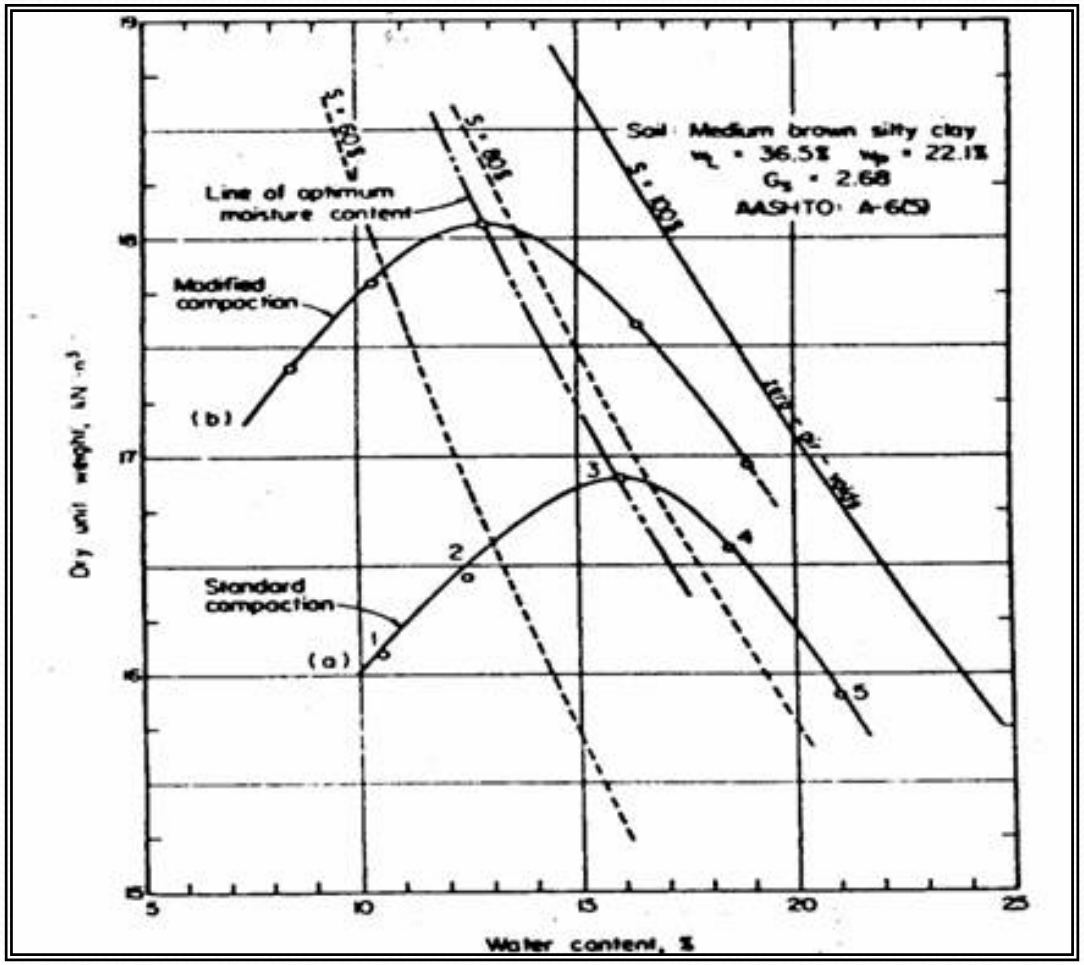
$$\eta_a = \%...air..voids = \frac{Vair}{Vtotal} \quad ac = .air..content = \frac{Vair}{Vvoids}$$

$$ac = 1-S, \quad ac = 0 \quad at \quad S = 100\%$$

- اختبار بروكتور المعدل Modified Proctor test :

- أحدث الاتحاد الأمريكي لموظفي الطرق الحكومية AASHO تطويرا في تجربة بروكتور القياسية مل وضع العينة على ٥ طبقات والمطرقة بوزن ٤,٥ كجم تسقط من ارتفاع ٤٥ سم.

- ويتضح من شكل (٩-٤) أنه كلما زاد جهد الدمك فإن أكبر كثافة جافة لنفس التربة تزيد وأقصى رطوبة محتوية تقل.
- كما يبين الجدول (٩-١) مقارنة بين الاختبارين القياسي والمعدل.



شكل (٩-٤) شكل منحنيات اختبار الدمك القياسي والمعدل

جدول (٩-١) بيانات اختبار الدمك

Element of the standard compaction tests

	Standard (ASTM D98)	Modified (ASTND557)
Hammer Height of hammer fall Number of layers Number of blows/ layer	24.5 N (5.5 lb) 305 mm (12in) 3 25	44.5 N (10 lb) 457 mm (18 in) 5 25
Mold volume Soil	0.000942 2m (1/30'/ft^3) (-) No 4 sieve	
Compaction energy (CE)	595 kJ/m^3 (12400)	2698 kJ/m^3 (56 250 lb.ft/ft^3)

* Using the 102-mm (4-in) diameter mold.

- ويستخدم اختبار بروكتور المعدل فى الدمك العالي المستخدم فى طرق النقل الثقيل والمطارات بينما اختبار الدمك القياسي فى اختبارات التربة الزراعية

- **نظرية الدمك Compaction theory :**

- **تبين من نتائج اختبارات الدمك أن الكثافة الجافة تزداد عند دمك تربة ما مع زيادة نسبة الرطوبة تحت أي جهد دمك إلى أن تبلغ العينة الرطوبة القصوى ثم تنخفض الكثافة الجافة بعد الزيادة في الرطوبة عند الحد الأقصى .**

وهناك نظريات كثيرة لتفسير ذلك منها أنه إذا كانت الرطوبة فى تربة ما منخفضة فإن حبيباتها تتغلف بطبقة رقيقة من الماء والهواء الذى يفصل هذه حبيبات يكتسب ضغطا جويا حيث يكون الهواء الموجود فى الفراغات بالجو فإن ضغط الهواء المحبوس فى الفراغات يزيد عن الضغط الجوى بمقدار يتوقف على درجة تقارب الحبيبات من بعضها وحجم الهواء المحبوس فى الجيوب الناتجة من تقارب الحبيبات .

- وكلما كان حجم الهواء المحبوس كبيرا كلما كان ضغطه صغيرا والعكس صحيح. ويزيادة نسبة محتوي الماء فى التربة المعرضة للدمك يزيد سمك طبقة الماء المغلفة للحبيبات وذلك يسبب :

- ١ـ تقليل الشد السطحي لطبقة الماء المغلقة للحبيبات، مما يقلل من مقاومة الاحتكاك بين الحبيبات .
- ٢ـ زيادة عدد الجيوب الهوائية كلما دمكت الحبيبات الدقيقة فى الفراغات بين الحبيبات الخشنة نتجة ضعف مقاومة الاحتكاك بين الحبيبات .
- ٣ـ نقص الهواء المحبوس فى الجيب الواحد (نقص فى الحجم) .

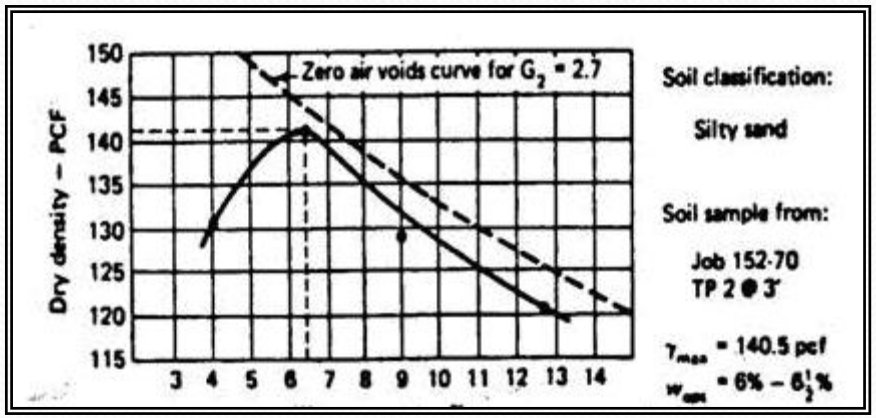
- وعند إجراء الدمك يستعمل جزء من جهد الدمك فى دفع الحبيبات الدقيقة ـ والتى تكون أقل مقاومة سمك طبقة الماء المغلف ـ فى الفراغات بين الحبيبات الكبيرة . أما الجزء اللأخر من جهد الدمك فإن يستنفذ فى مقاومة الضغط الذي يتولد فى الجيوب الهوائية كلما دمت الحبيبات مع بعضها على أن ضغط الهواء فى المرحلة لا يكون كبيرا فتنتج تربة مدموكة كثيفة ذات فراغات لكلية أقل وذات نسبة هواء أقل من التربة المدموكة عند نسبة رطوبة محتوي أقل .

تستمر هذا العملية لميكانيكية مع زيادة نسبة الرطوبة إلى أن تبلغ الرطوبة أقصي رطوبة محتوى للتربة . عند هذا الحد ينخفض الشد السطحي لطبقة الماء المغلف للحبيبات إلى أقل درجة ممكنة له وبالتالي تكون مقاومة الاحتكاك بين الحبيبات أقل ما يمكن . ولذا فإن الحبيبات الدقيقة تندمك داخل الفراغات بين الحبيبات الخشنة تحت تأثير جزء صغير من مجهود الدمك . ومن ناحية أخرى يزيد الضغط الناشىء في الفراغات الهوائية زيادة كبيرة إلى درجة أن جزءا كبيرا من جهد الدمك يستفيد للتغلب على هذا الضغط فينتج أكبر كثافة جافة وأقل نسبة مسام.

- وعند تزيد الرطوبة عند أقصي محتوي فإن الجزء الأكبر من جهد الدمك يستنفد للغلب على الزيادة فى ضغط الهواء المحبوس والذي يبدو أنه أكبر من الضغط في حالة نسبة الرطوبة القصوى مما ينتج انخفاض في نسبة الهواء المحبوس أما الجزء المتبقي من جهد الدمك فإن يفشل حتى فى التغلب على مقاومة الاحتكاك الصغيرة بين الحبيبات مما ينتج عنه زيادة في نسبة المسام وبالتالي انخفاض فى الكثافة الجافة وتستمر هذه العملية مع زيادة الرطوبة إلي أن يصل إلي رطوبة تكون عندها نسبة الفراغات الهوائية أقل ما يمكن .

- وإذا زادت الرطوبة عن هذا الحد فإن الهواء المحبوس يكون أكبر من جهد الدمك الذي يفشل فى ضغط الهواء المحبوس أو التغلب على الاحتكاك بين الحبيبات . وعلى هذا تكون النتيجة انخفاض في كثافة التربة الجافة وزيادة فى المسام ونسبة الفراغات الهوائية . ومما سبق يمكن استنتاج أن الضغط المتولد فى الفراغات الهوائية خلال عملية الدمك هو الذي يلعب دورا كبيرا فى تشكيل منحني الدمك على شكة المعروف .

- ويبين شكل (٩-٦) نتائج اختبار الدمك وكيفية إجراء الحسابات وتوقيع النتائج .



Compaction Test Data Sheet

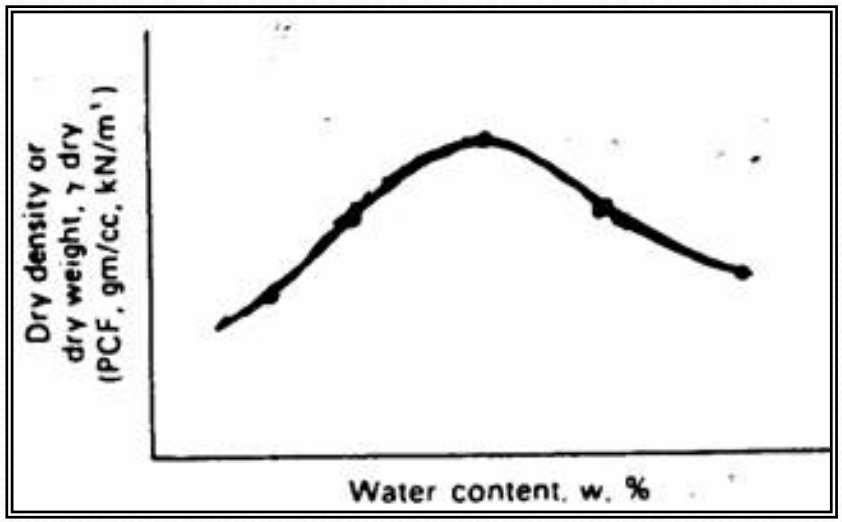
Compaction method

1. – 1/30 cu.ft. mold, 5–1/2 lb hammer, 12" drops, 3 layers @ 25 blows/layer
2. – .075 cu.ft. mold, 5–1/2 lb hammer, 12" drop, 3 layers @ 56 blows/layer
3. – 1/30 cu.ft. mold, 10 lb hammer, 18" drop, 5 layers @ 25 blows/layer
4. – .075 cu.ft. mold, 10 lb hammer, 18" drop, 5 layers @ 56 blows/layer

Trial	1	2	3	4	5	6	7
Wet density determinations							
Weight of mold and wet soil	13.84	14.30	14.00	13.89			
Weight of mold	9.32	9.32	9.32	9.32			
Weight of wet soil (W_T)	4.52	4.98	4.68	4.57			
Wet density	135.6	149.4	140.4	137.1			
Moisture determinations							
Cup identification	B-1	B-2	B-3	B-4			
Weight of cup plus wet soil	39.10	55.30	66.60	75.48			
Weight of cup plus dry soil	38.15	52.81	62.28	68.53			
Weight of cup	15.10	14.21	14.43	14.33			
Weight of dry soil	23.05	38.60	47.85	54.20			
Weight of water	0.95	2.49	4.32	6.95			
Water content – %	4.0	6.5	9.0	12.8			
Dry density – PCF	130.3	140.3	129.0	121.5			

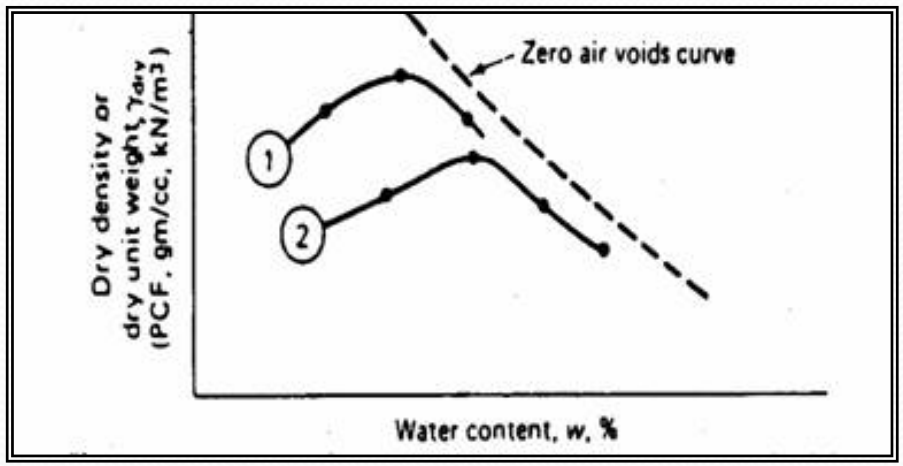
شكل (٦-٩) نتائج وحسابات اختبار الدمك

- العوامل المؤثرة على الدمك :
- ١ـ المحتوي المائي : تزيد الكثافة الجافة بزيادة المحتوي المائي إلي القيمة القصوى OMC الجافة بزيدة المحتوي المائي.



شكل (٩-٧) تأثير المحتوى المائي على الكثافة

- **٢ـ كمية الدمك : لكل تربة نوع معين مناسب لها من الدمك ، وزيادة طاقة الدمك تزيد الكثافة الجافة القصوى ويخفض لمحتوي المائي الأمثل OMC. وعامة فإن زيادة جهد الدمك أو طاقة الدمك تجعل منحني القلاقة يتحرك شمالا لأعلي .**



- Effect of compaction procedure on dry density. Curve l represents results form method using heavier compaction hammer and greater compaction energy than used to obtain curve2.

شكل (٩ـ٨) تأثير كمية الدمك

- ٣ـ نوع التربة : الكثافة الجافة القصوى تتعتمد على نوع التربة . والتربة ذات الخشبة المتدرجة يكون لها كثافة جافة قصوى أكثر من تلك التربة ذات الحبيات الناعمة . والطين له أقل كثافة قصوى كما يلي :

Type of soil	$\gamma_{d\,max}$	OMC
Heavy clay	15.2 kN/m^2	28
Silty clay	16.3 kN/m^2	21
sandy	18.0 kN/m^2	14
sand	19.0 kN/m^2	11
Gravel, sand & day	20.3 kN/m^2	9

- ٤ـ طريقة الدمك : طريقة الدمك تؤثر على قيم (ϒdmax, OMC) وتشمل طريقة الدمك سواء المعملية أو الحقلية على وزن المطارق وكيفية الدمك (ديناميكي أو ستاتيكي، عجن أو هرس) وزمن الدمك والمساحة المعرضة للدمك .

- ٥ـ الإضافات : توجد بعض الإضافات يمكن باستخدامها تحسين صفات الدمك

- تأثير الدمك على خواص التربة :

- ١ـ يزيد الدمك من مقاومة القص للتربة .
- ٢ـ يزيد قدرة تحمل التربة .
- ٣ـ يخفض من قدرة التربة علي الانضغاط والهبوط
- ٤ـ يقلل الدمك من نفاذية التربة وبالتالي تنخفض قدرتها على تسرب المياه .

- طرق الدمك في الموقع Field compaction Method :

دمك التربة ينفذ فى الموقع بإحدى الطرق الثلاث الآتية :

- (أ) الدمك بالهراسات Compaction by rollers

- يوجد من آلات الهرس عدة أنوع :

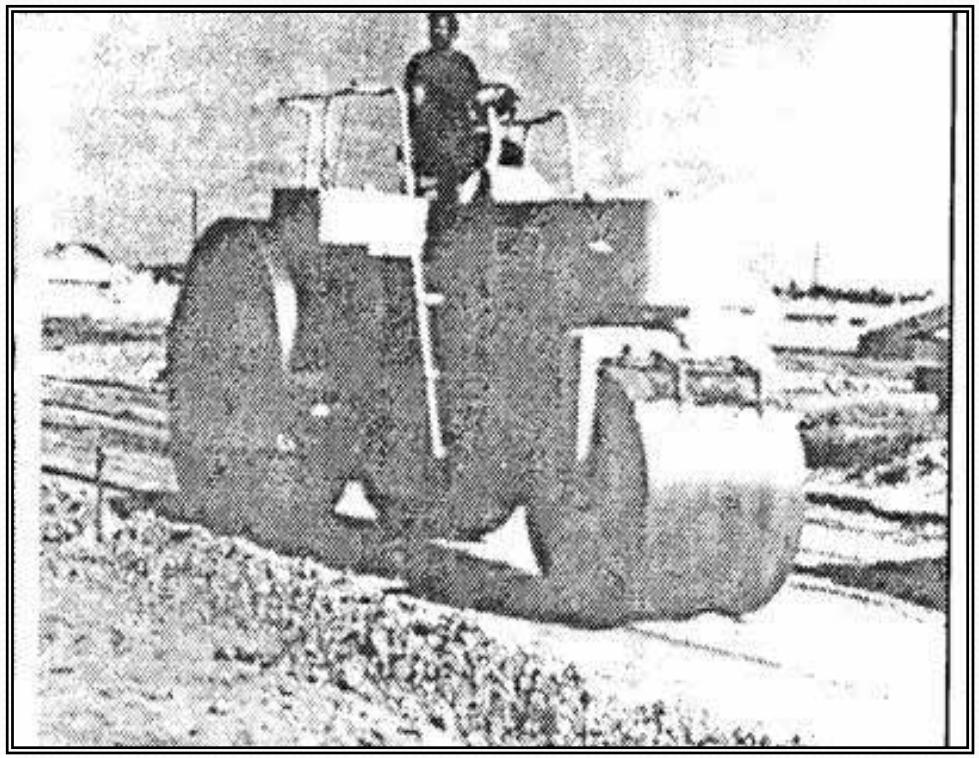
ـ هراسات العجل الناعم Smooth – wheel rollers :

وهى المعروفة بهراسات العجلات الثلاث ويوجد منها أوزان مختلفة شكل (٩ـ٨)

- الهراسات ذات الإطارات المنفوخة تحت ضغط

Pneumatic Tyred Rollers

وهى هراسات تتركب من عدد من العجلات الصغير ذات الإطارات المنفوحة ويزيد الثقيل منها حوالي ٢٠٠طن . ويتوقف عدد مرور هذه الهراسات والضغط الذي تحدثه على التربة على درجة الدمك المطلوبة وسمك التربة شكل (٩-٩) وشكل (٩-١٠) .

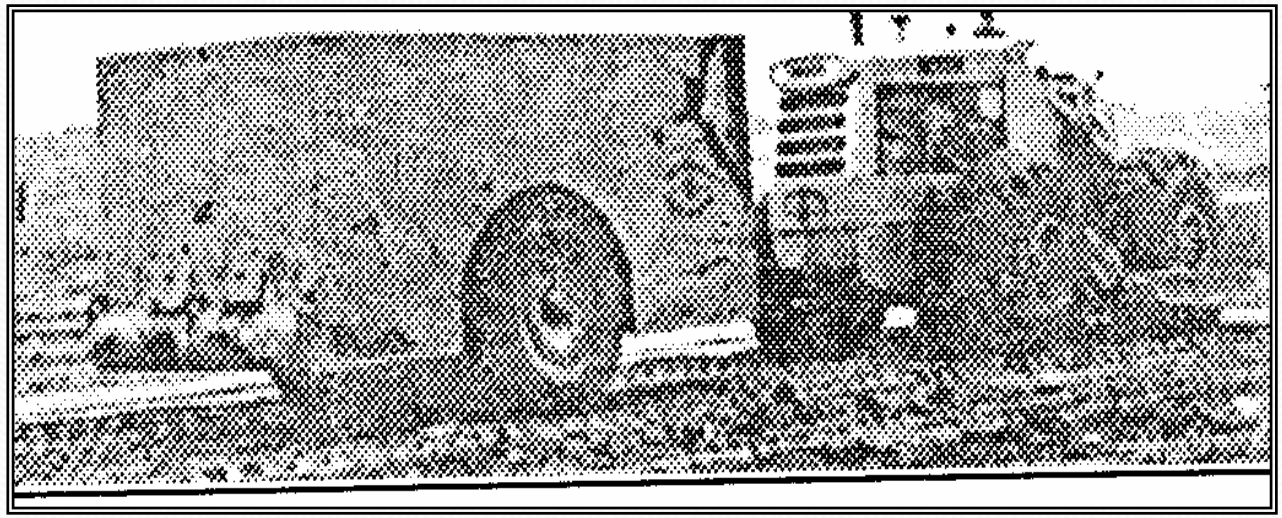


Smooth-drum roller compacting a base course for a rotary.
(Courtesy of Galion Division Dresser Industries, Inc.)

شكل (٩-٨) هراسات العجل الناعم

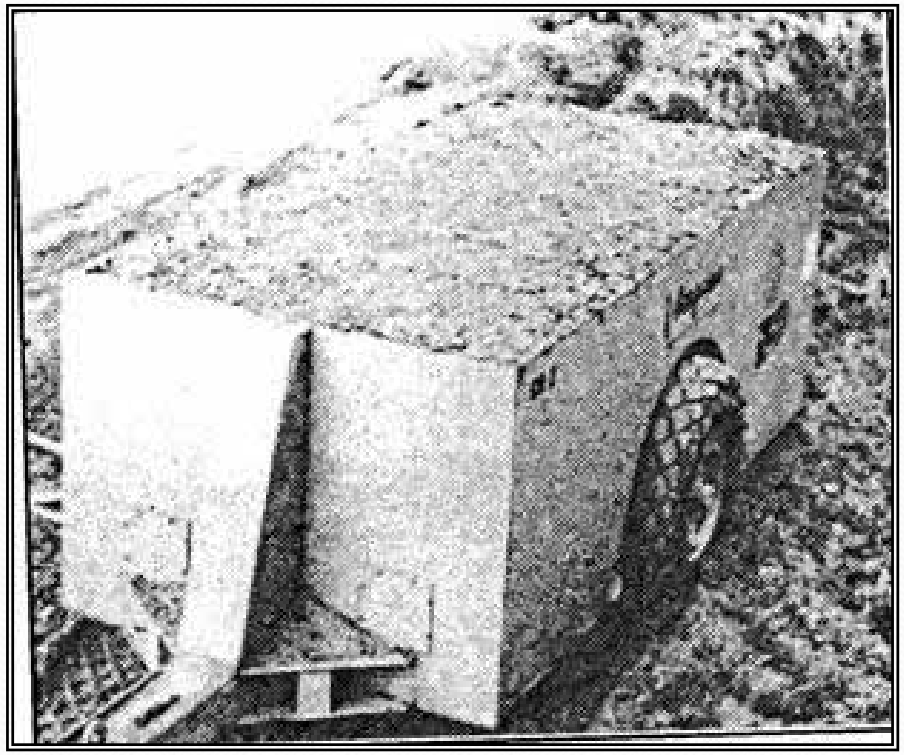
Pneumatic roller being used to compact sand base for a highway, (courtesy of Galion Division of Dresser Industries, Inc)

شكل (٨-٩) الهراسات ذات الإطارات المنفوخة

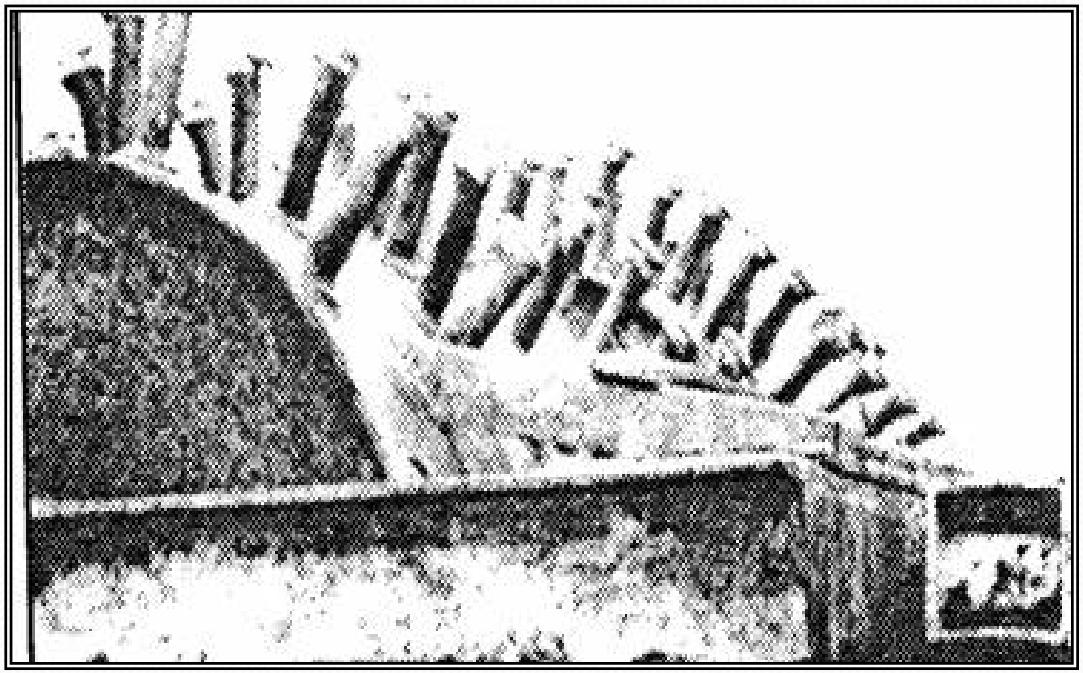


Fifty-ton pneumatic tire compactor showing soil-fill-weight box

شكل (٩-١٠) الهراسات الإطارات وصندوق الردم



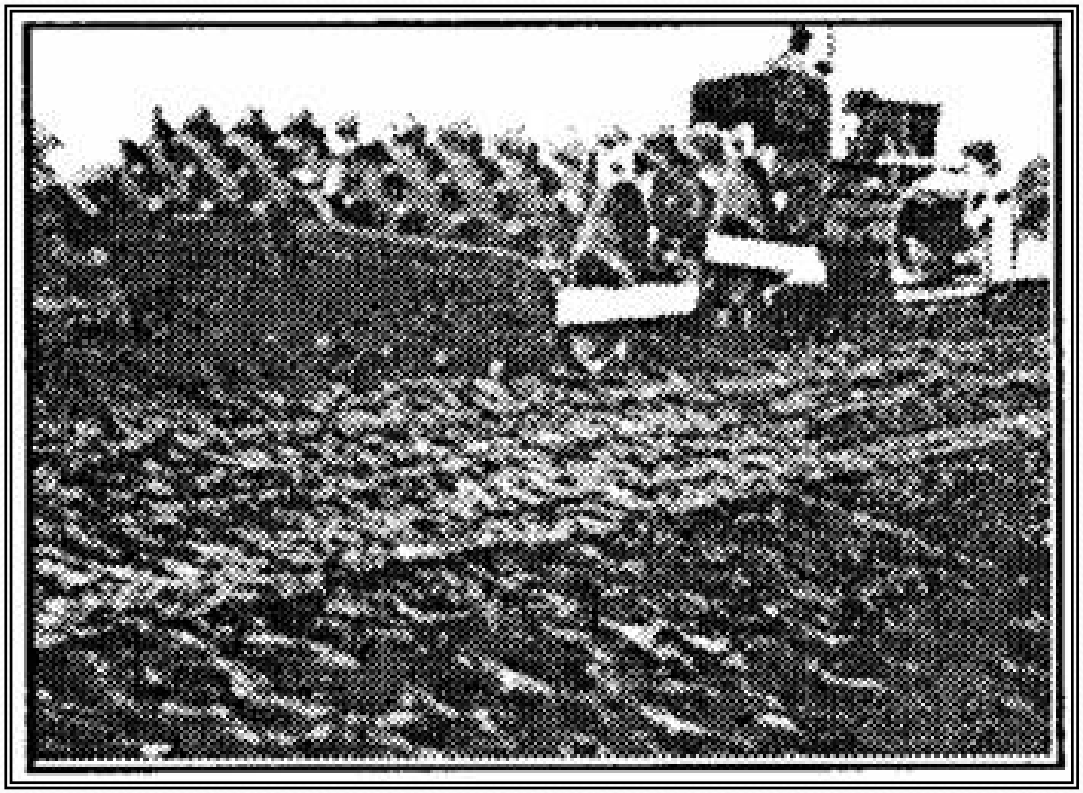
تابع شكل (٩-١٠) الهراسات ذات الإطارات وصندوق الردم



شكل (٩-١١) هراسات

- هرسات قدم الغنم Sheeps foot Roller :

وهى تتركب من اسطوانات صلب مفرغة ذات أقدام منشورية موزعة على سطح الاسطوانات . ويمكن تغيير وزن الاسطوانات عن طريق ملئها بالمياه . (٩-١١) .



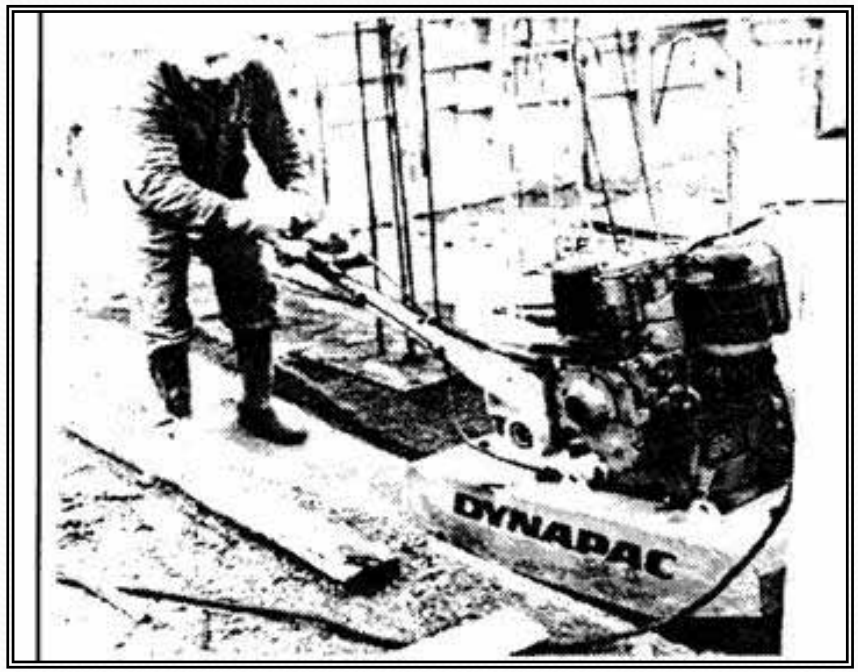
Close up of projecting feet on a sheep's –roller .

تابع شكل (٩-١١) هراسات أقدام الغنم

- **(ب) الدمك بالمطارق Compaction by rammers:**
- **يتم الدمك عن طريق الدق . ويتراوح وزن المطرقة من ٣٠إلي ١٥٠ كجم ومنها ما يصل وزنه إلي ١طن.**

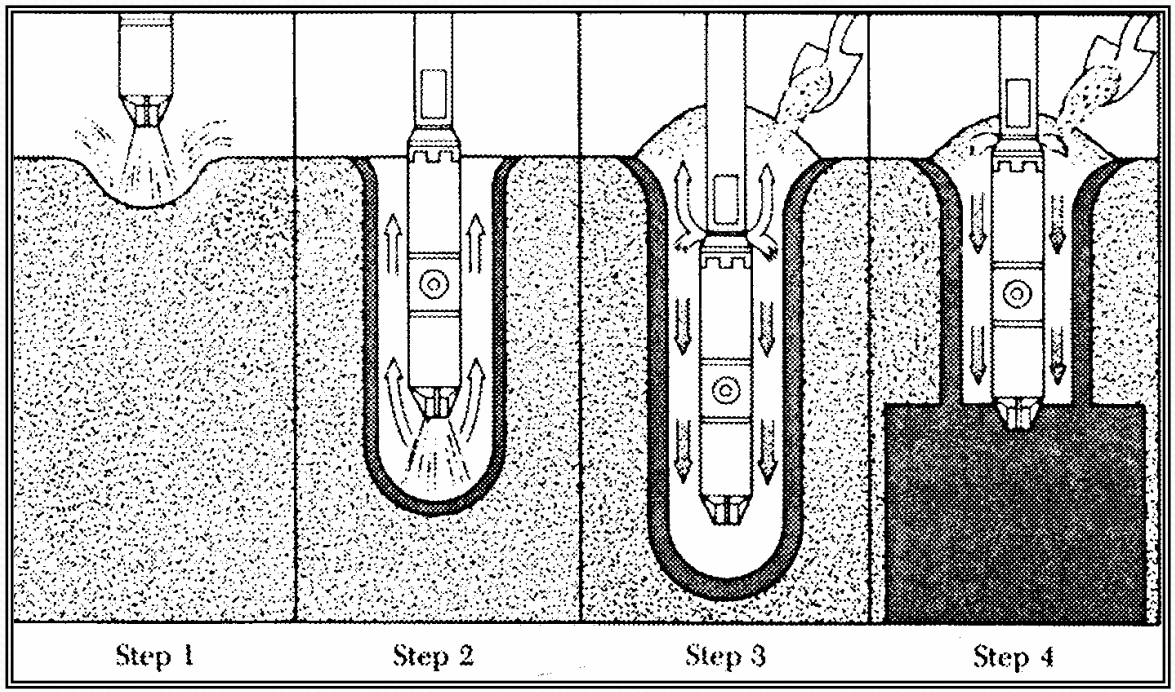
- **(جـ) الدمك بالهز Compaction by vibration :**
- **يتم دمك التربة باستخدام أجهزة محدثة للاهتزازات . ومنها ما يدوى للأعمال الصغيرة ومنها ما هو ضخم ، شكل (٩-١٢) ومن هذه الأجهزة ما يسمى بالتعويم الاهتزازي Vibroflo-tation والذي يحتوي على اسطوانة اهتزازية طولها ٢ مترا وقطرها الخارجي ٤٣ سم**

وتنزل الاسطوانة الاهتزازية Vibroflot في التربة عن طريق دفع المياه من أسفلها ثم تعرض الاسطوانة للاهتزاز فتدمك التربة حولها وعندما يتم الدمك تضاف تربة أخرى حول الاسطوانة ثم ترفع الاسطوانة مقدار ٣٠ سم ثم تكرر العملية مرة أخرى . وبهذه الطريقة يتم دمك اسطوانة من التربة بقطر من٥و٢ إلى ٣مترا ويستخدم هذا النوع لدمك أعماق تصل إلى ٩ مترا . شكل (٩-١٣) . كما يبين شكل (٩٨-١٤) تفاصيل إنجاز عملية الدمك بهذا النوع٠



Hand-maneuvered vibratory compactor for working close to structures, (Courtesy of Vibroflotation Foundation Co. Pittsburg, Pennsylvania).

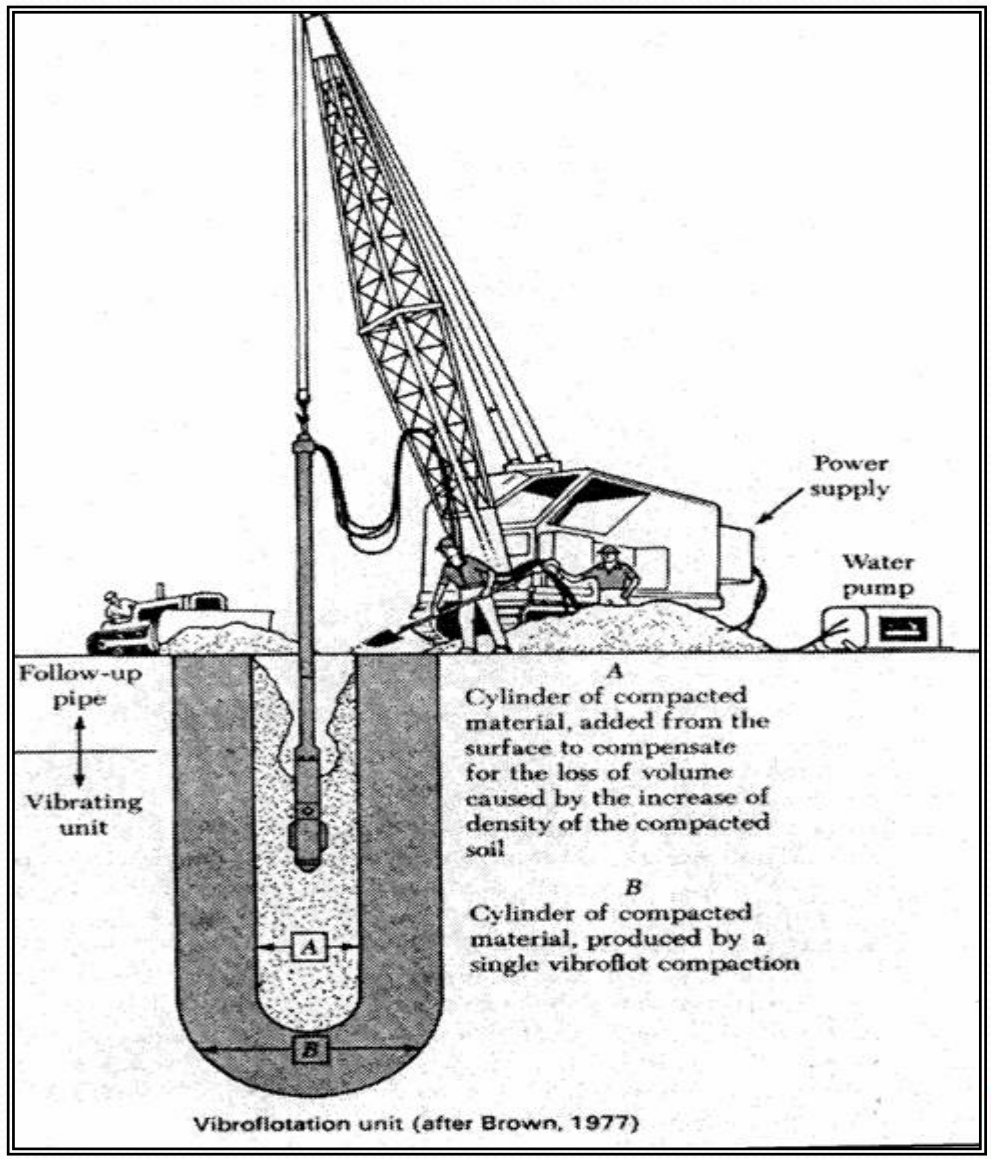
شكل (٩-١٢) الدمك بالهز



Vibroflotation equipment and process, (Courtesy of Vibroflotation Foundation Co. Pittsburg, Pennsylvania).

شكل (٩-١٣) الدمك التعويم الإهتزازى

Details of Vibroflotation at the location to be compacted the vibroflot is jetted into the soil. The compaction sequence has four basic steps, as shown (Courtesy of Vibroflotation Foundation Co. Pittsburg, Pennsylvania).



شكل (٩-١٤) الدمك بالتعويم الإهتزازى

- اختبار الأسلوب المناسب للدمك الموقعى :

- اختبار الأسلوب المناسب للدمك الموقعى يتوقف على :
- ١ـ نوع التربة
- ٢ـ التوزيع الحجمي للحبيبات .
- ٣ـ المحتوي المائي .

- ويبين جدول (٩ـ٢) الاستخدامات المناسبة لأنواع آلات الدمك .

جدول (٩-٢) معدات الدمك Compacting equipment

Method	Type	Suitable For;
Rollers	smooth - wheel Pneumatic - Tyred Sheepsfoot Track - laying tractors	- All soil types except wet clay and uni-formly graded sand. - Most soil types, particularly wet cohesive soil. - Cohesive soil types, not too wet. - Most soil types, when no normal compac-tion plant is available.
Rammers	Dropping weight	- small gobs, e. g. trenches.
Vibrators	Vibrating rollers Vibrating plants	Granular soils Most soil types.

- كما تبين الجداول (٩-٣) ، (٨-٤) آلات الدمك التي ينصح بها لكل نوع من أنواع التربة .

جدول (٩-٣) آلات الدمك المناسبة للتربة

Characteristics and Ratings of Unified soil system classes.

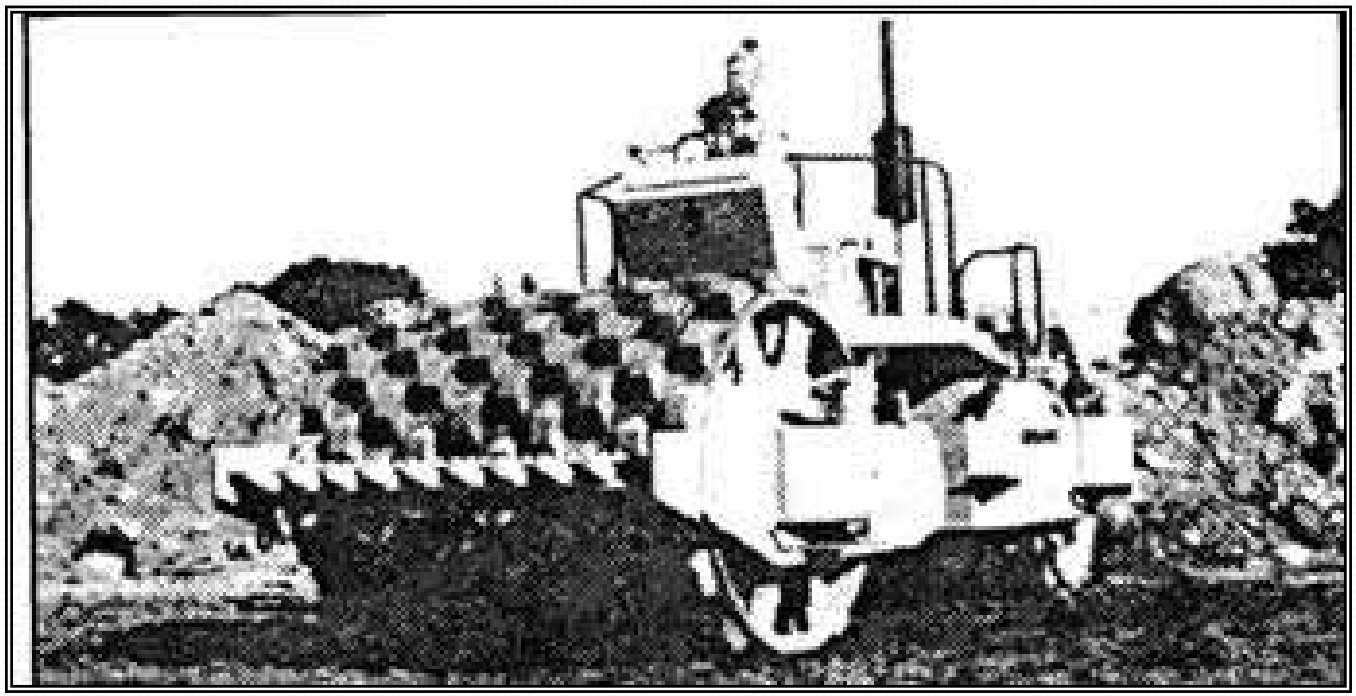
SOIL COMPACTION CHARACTERISTICS AND RECOMMENDED COMPACTION EQUIPMENT

General Soil Description	Unified Soil Classification	Compaction Characteristics	Recommended Compaction Equipment
Sand and sand-gravel mixtures (no silt or clay)	SW, SP, GW GP	Good	Vibratory drum roller, vibratory rubber-tire, pneumatic-tire equipment
Sand or sand-gravel with silt	SM, GM	Good	Vibratory drum roller, vibratory rubber-tire, pneumatic-tire equipment
Sand or sand-gravel with clay	SC, GC	Good to fair	Pneumatic-tire, vibratory rubber-tire, vibratory sheep's-foot
Silt	ML	Good to poor	Pneumatic-tire, vibratory rubber-tire, vibratory sheep's-foot
	MH	Fair to poor	Pneumatic-tire, vibratory rubber-tire, vibratory sheep's-foot, sheep's-foot-type
Clay	CL	Good to fair	Pneumatic-tire, sheep's-foot, vibratory sheep's-foot and rubber-tire
	CH	Fair to poor	
Organic soil	OL, OH, PT	Not recommended for structural earth fill	

جدول (٩-٤) آلات الدمك المناسبة للتربة

Soil compaction characteristics and Recommended Compaction Equipments

Class	Compaction Characteristics	Maximum-Standard Proctor Dry Density (tons/m³)	Maximum-Standard Proctor Unit Weight (lb/ft³)	Compressibility and Expansion	Drainage and Permeability
GW	Good: tractor, rubber-tired, steel wheel, or vibratory roller	2.00–2.16	125–135	Almost none	Good drainage, pervious
GP	Good: tractor, rubber-tired, steel wheel, or vibratory roller	1.84–2.00	115–125	Almost none	Good drainage, pervious
GM	Good: rubber-tired or light sheepsfoot roller	1.92–2.16	120–135	Slight	Poor drainage, semipervious
GC	Good to fair: rubber-tired or sheepsfoot roller	1.84–2.08	115–130	Slight	Poor drainage, impervious
SW	Good: tractor, rubber-tired or vibratory roller	1.76–2.08	110–130	Almost none	Good drainage, pervious
SP	Good: tractor, rubber-tired or vibratory roller	1.60–1.92	100–120	Almost none	Good drainage, pervious
SM	Good: rubber-tired or sheepsfoot roller	1.76–2.00	110–125	Slight	Poor drainage, impervious
SC	Good to fair: rubber-tired or sheepsfoot roller	1.68–2.00	105–125	Slight to medium	Poor drainage, impervious
ML	Good to poor: rubber-tired or sheepsfoot roller	1.52–1.92	95–120	Slight to medium	Poor drainage, impervious
CL	Good to fair: sheepsfoot or rubber-tired roller	1.52–1.92	95–120	Medium	No drainage, impervious
OL	Fair to poor: sheepsfoot or rubber-tired roller	1.28–1.60	80–100	Medium to high	Poor drainage, impervious
MH	Fair to poor: sheepsfoot or rubber-tired roller	1.20–1.60	75–100	High	Poor drainage, impervious
CH	Fair to poor: sheepsfoot roller	1.28–1.68	80–105	Very high	No drainage, impervious
OH	Fair to poor: sheepsfoot roller	1.12–1.60	70–100	High	No drainage, impervious
Pt	Not suitable			Very high	Fair to poor



شكل (٩-١٥) دمك التربة المتماسكة

- تنظيم عملية الدمك والحكم عليها Control of Compaction :

- تنظيم عملية الدمك والحكم عليها يتطلب تحديد نوع تربة الدمك (إذا كانت ردما مثلا) وسمك طبقة الردم وطريقة الدمك وكميته ونتائج اختبارات الدمك المعملية لنفس تربة الدمك . وتنظيم عملية الدمك يتمثل في :
- (أ) اختبار نوع مادة الردم وزيادة أو انقاص المحتوى المائي للحصول على أفضل
- (ب) اختبار طريقة الدمك الاقتصادية .

- وينفذ الحكم على الدمك بإحدى الطرق الآتية :

- ١ـ اختبارات الكثافة :
- يجب التعرف على التربة المراد دمكها وذلك بإجراء الاختبارات المعملية عليها لتعيين المحتوي المائي ، الكثافة ، درجة التشبع ، المحتوى المائي الأمثل ، الكثافة الجافة القصوى . وللحكم على عملية الدمك فإن وبعد تنفيذ الدمك تعين الكثافة الموقعية لتربة الدمك بإحدى الطرق المعروفة

- وبمقارنة قيمة الكثافة الموقعية بأقصى كثافة جافة معملية يتم التعرق على درجة الدمك ودرجة الدمك أو معامل I_{comp} يعرف مما يلي :

$$I_{comp} = \frac{\gamma_d (in - situ)}{\gamma_d (max)}$$

$I_{comp} = Indexofcompaction$ معامل الدمك

$\gamma_d ..... = Maximumdrydensity$ أقصي كثافة جافة

- الكثافة الجافة الموقعية : $\gamma_{d\ (in\text{-}situ)}$ = ln-situ dry density

- أى أن معامل الدمك (درجة الدمك) هو نسبة بين الكثافة الجافة الموقعية إلى أقصى كثافة جافة معملية ، وتؤخذ قيمة هذا المعامل فى أعمال الدمك للطرق بين ٩٠ إلى ١٠٠%.

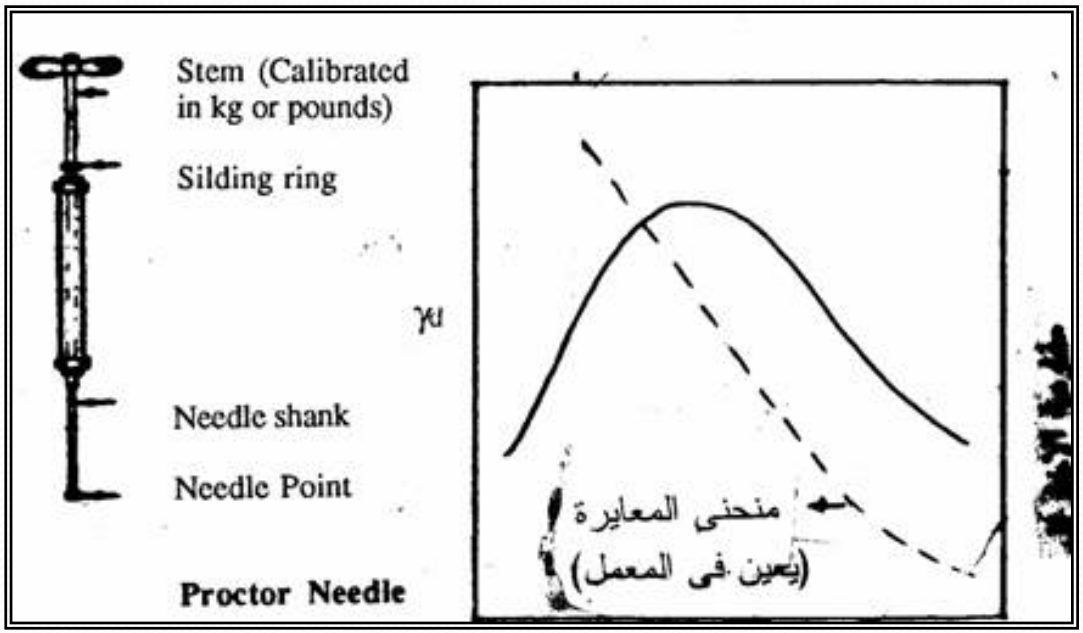
- وفى أعمال السدود الترابية بين ٨٥ إلى ١٠٠% وفى أعمال المباني من ٩٠ إلى ١٠٠%.

- ٢ـ اختبارات الاحتراق :

- وتتم بغرز قضيب فى التربة المدموكة ويعبر مقدار مقاومة التربة الاحتراق القضيب عن درجة دمكها . ثم تقارن مقاومة الاحتراق فى الموقع بنظيرتها فى المعمل عند محتويات مائية مختلفة ومنها يمكن تعيين المحتوى المائى المطلوب للموقع .

- ويتم تنفيذ هذه الاختبارات كما يلي :

- (أ) إبرة بركتور Proctor needle :

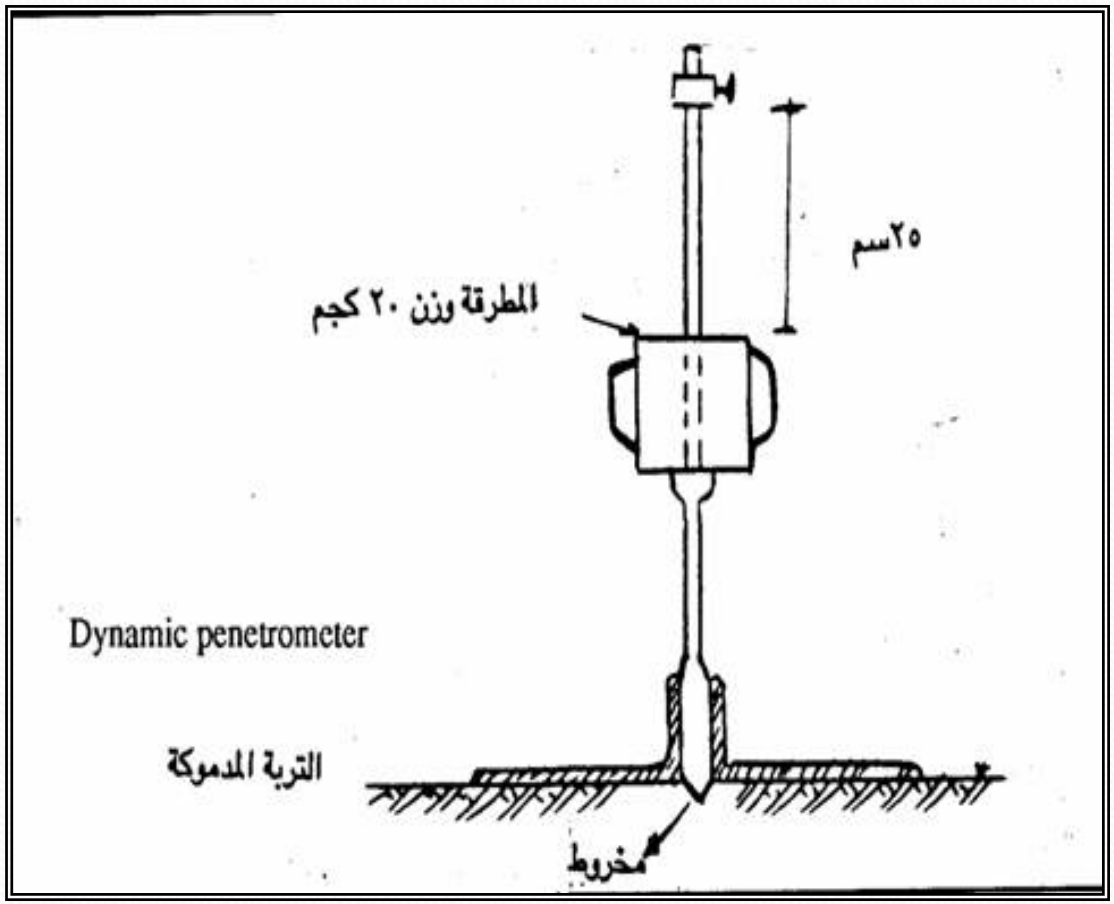


شكل (٩-١٦) أبرة بروكتور

- يتكون هذا الجهاز من إبرة طويلة ذات نهاية مبططة تدفع فى التربة بمقدار ٧,٥ سم بمعدل ١,٥٢سم/ ثانية بواسطة لولب spring والجهاز مدرج بحيث يعطى تدريجه القوة المؤثرة على الإبرة . ويجب رسم منحنى معابرة للعلاقة بين مقاومة الاحتراق (قراءات الإبرة) والمحتوى المائي ويتم ذلك بغرز الإبرة فى قالب الدمك أثناء تجربة الدمك المعملية ، ولتعيين نسبة الرطوبة (المحتوى المائي) فى الموقع يدفع الجهاز فى التربة عقب انتهاء عملية الدمك مباشرة قراءة الجهاز . ومن منحنى المعابرة يمكن تعيين المحتوى المائي فى الموقع وبالنالى الكثافة لجافة (شكل ٨ـ ١٦)

- (ب) جهاز الاحتراق الديناميكي Dynamic Penetrometer :
- الجهاز مبين فى شكل (٨-١٧) وبه يتم حساب عدد الدقات اللازمة لغرز مخروط قطره ٥سم بمقدار ١٠ سم بواسطة كتلة وزنها ٢٠ كجم تسقط من ارتفاع ٢٥سم وعدد الدقات القياسية يجب أن يعين لكل نوع من أنواع التربة المعروفة لتستخدم فى المقارنة عند تنفيذ هذا الاختبار فى الموقع لتعين I_{comp}

- (جـ) اختبارات التحكم النووية Nuclear control test :
- لتعيين القياسات الموقعية للمحتوى المائي والكثافة . وتستخدم هذا الاختبارات بتوسع في التحكم في دمك جميع أنواع التربة.



شكل (٩-١٧) جهاز الاختراق الديناميكى

- **Example 1:** The following observations were noted during Proctor's compaction test with a soil

Moisture content, %	9.6	11.0	12.5	14.0	16.0	18.0	19.5
Wet density grm/cc	1.8	1.90	1.96	2.045	2.1	2.5	2.01

Specific gravity of soil grains is 2.6. Find out the maximum dry den-sity and optimum moisture content for the soil. Plot the zero air void curve and 85% saturation curve also .

- **Solution :**

First γ_d for each moisture content will be calculated by the equation

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

Then γ_d for S = 100% and S = 85% will be calculate by the equation.

$$\gamma_d = \frac{G\,\gamma_\gamma\,n}{1 + \frac{wG}{S}}$$

- keeping values of S = 1 and 0.85, respectively.

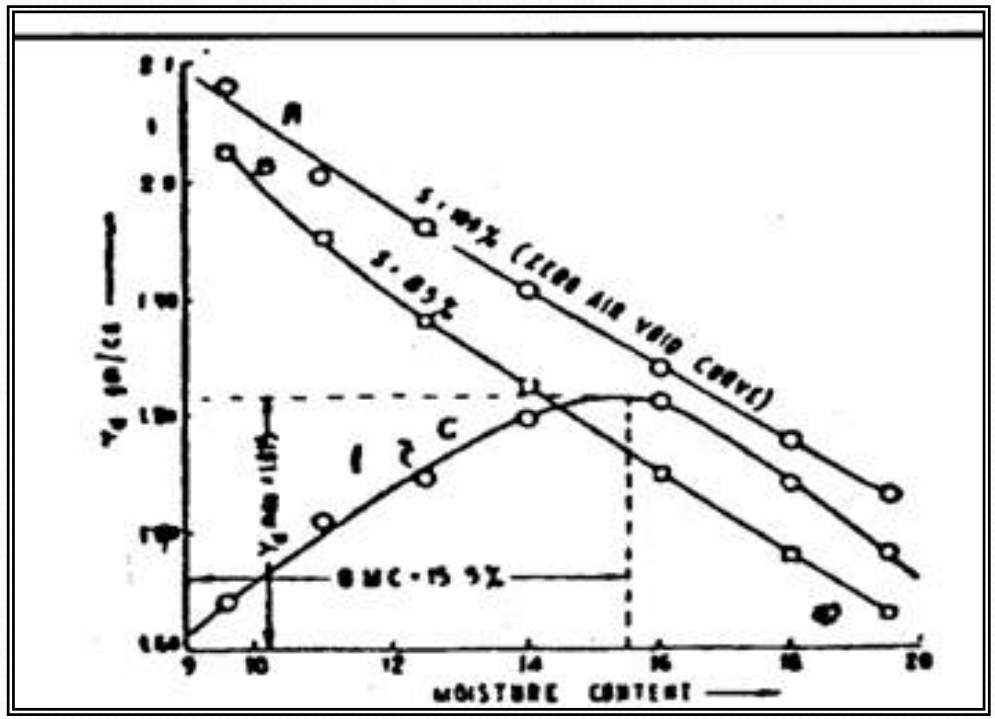
- Now three curves A, B and C between γ_d and 42 have been drawn for

  (i) S = 100%. (ii) S = 85% and

  for (Hi) finding out γ_d max and O.M.C as shown in Fig. (9-18).

- Values of max. dry density = 1.815 gm/c.c. and Optimum moisture Content = 15.5% as obtained from Fig. (9-18).

Moisture content in %	9.6	11.0	12.5	14.0	16.0	18.0	19.5
Dry density γ_d (gm/c.c.)	1.64	1.71	1.745	1.795	1.81	1.74	1.68
γ_d for S = 100%.	2.08	2.02	1.96	1.905	1.838	1.775	1.73
γ_d for S= 85%.	2.025	1.95	1.88	1.825	1.750	1.68	1.63



شكل (٩-١٨)

- **Example 2 :** Soil for a road embankment has Atterberg's limits ., as 16%, 24% and 45%. The shrinkage ratio was found to be 1.85. The *sen* was sieved through No. 4 (opening 4.76 mm) and No. 40 (opening 0.41 mm) sieves and it was observed that 90% pass through No. 4 and 789. through No. 40 sieve. Calculate the optimum moisture content and Standard Proctr's density of the soil. (use empirical formuli).

- **Solution :**

Atterberg's limits have given as 16, 24 and 45.

∴ Shrinkage limit = 16%,

Plastic limit = 24% and

liquid limit = 45%. .

•• Plasticity index = 45 - 24 = 21.

$$k_1 = \frac{104.0 - 0.67PI}{100}$$

$$\ldots = \frac{104.0 - 0.96x21}{100} = 0.8993$$

$$k_2 = 0.33.PI = 0.40$$

$$\ldots\ldots = 0.33x21 - 0.40 = 2.93$$

$$O.M.C = Slx\frac{B}{A}k_2 = 16x\frac{78}{90} + 2.93$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots = 13.88 + 2.93 = 16.81\%.$$

- **A = % Finner than No. 4 sieve**
- **B = % Finner than No Sieve**

- Standard Proctor's density = $\dfrac{100.125_{k1}}{SL(\frac{B}{A}-1)+\frac{100}{SR}}$

$$= \frac{100.125x0.8993}{16+(\frac{78}{90}-1)+\frac{100}{1.85}}$$

$$= \frac{900.00}{-2.145+54.00} = \frac{90.00}{51.855} = 174.\text{grm/cc}.....\text{Ans.}$$

- **Example 3 :** In a Proctor's compaction test the maximum dry density was found to be 1.8 gm/c.c. and O.M.C. 15.2%. If the specific grarity of the soil grains is 2.65, calculate degree of saturation and void ratio and the maximum dry density.

- **Solution :**

$$e = \frac{G\,\gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

- Putting numerical values in the above equation.

$$e = \frac{65x1}{1.8} - 1 = 1.47 - 1 = 0.47$$

$$Se = w.G.$$

$$S = \frac{w.G}{e} = \frac{0.125x2.65}{0.47}$$

$$..... = 0.857 = 85.7\% ..... < Ans. >$$

- **Example 4 :** From Proctor's compaction test the dry maximum density of a soil was found to be 1.75 and O.M.C. 14.5%. The specific gravity of the soil grains was 2.6.

- (a) Find out the degree of saturation and percentage air voids at the optimum state.

- (b) A specimen 10 cm. in dia 20 cm in height is to be prepared for triaxial test with the same soil by static compaction to correspond to the optimum state. Find out the weights of oven dried soil and water required for the specimen.

- **Solution, (a) :**

$$\gamma_d = \frac{G\gamma_d}{1+\frac{WG}{S}}$$

$$\therefore \ldots 1+\frac{WG}{S} = \frac{G\gamma_\omega}{\gamma_d}$$

$$\text{or}\ldots\ldots \frac{WG}{S} = \left(\frac{G\gamma_\omega}{\gamma_d} - 1\right)$$

$$\therefore \ldots\ldots S = \frac{WG}{\frac{G\gamma_\omega}{\gamma_d} - 1} = \frac{0.145 \times 2.6}{\frac{2.6}{1.75} - 1}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots = \frac{0.377}{0.485} = 0.777 = 77.7\%$$

- Percentage of air void

$$= 1 - \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_\omega}\left(\frac{1+G}{G}\right)\right]$$

$$= 1 - \left[\frac{1.75}{1}\left(\frac{1+0.144 \times 26}{2.6}\right)\right]$$

$$= 1 - \frac{1.75 \times 1.377}{2.6}$$

$$= 1 - 0.926 = 0.074 = 7.4\ \%$$

(b) Volume of the specimen.

$$= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 20 = 1570 \text{ c.c.}$$

$\therefore \quad \gamma_d = 1.75$ gm/c.c.

$\therefore$ wt. of dry soil required

$$= 1570 \times 1.75 = 2770 \text{ gm.}$$

Since O.M.C. = 14.%.

$\therefore$ Wt. of water required

$$= \frac{2770 \times 14.5}{100}$$

$$= 400 \text{ gm. Ans.}$$

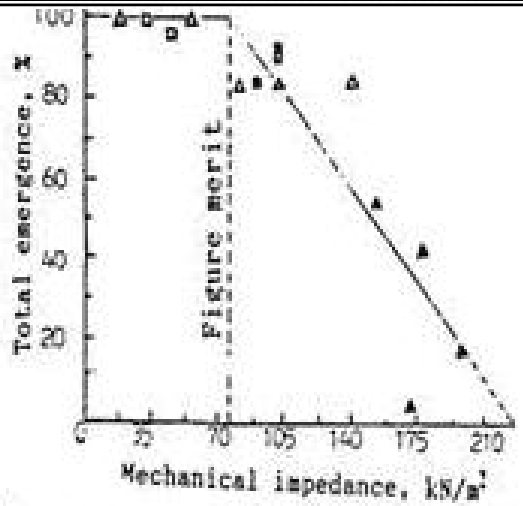


Fig. 1a Relationship between soil resistance to expansion (by tiny balloons) and emergence of cotton seedlings (emergence only affected by impedance levels over 75 kN/m² (Bown, 1966).

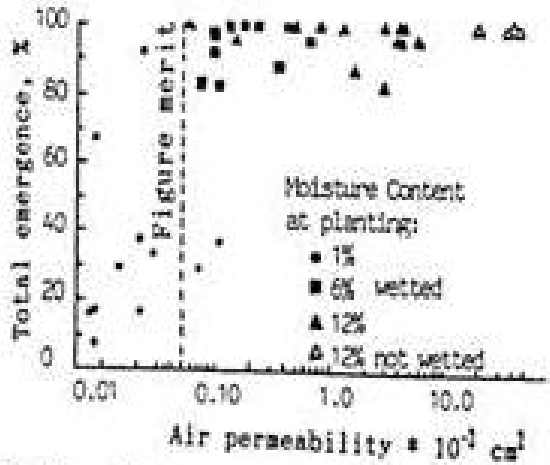


Fig.1b Effect of air permeability of soil on cotton seedlings emergence "only when air permeability falls below $0.05*1-^{-4}$ cm^2 is emergence adversely affected" (Bown, 1966).

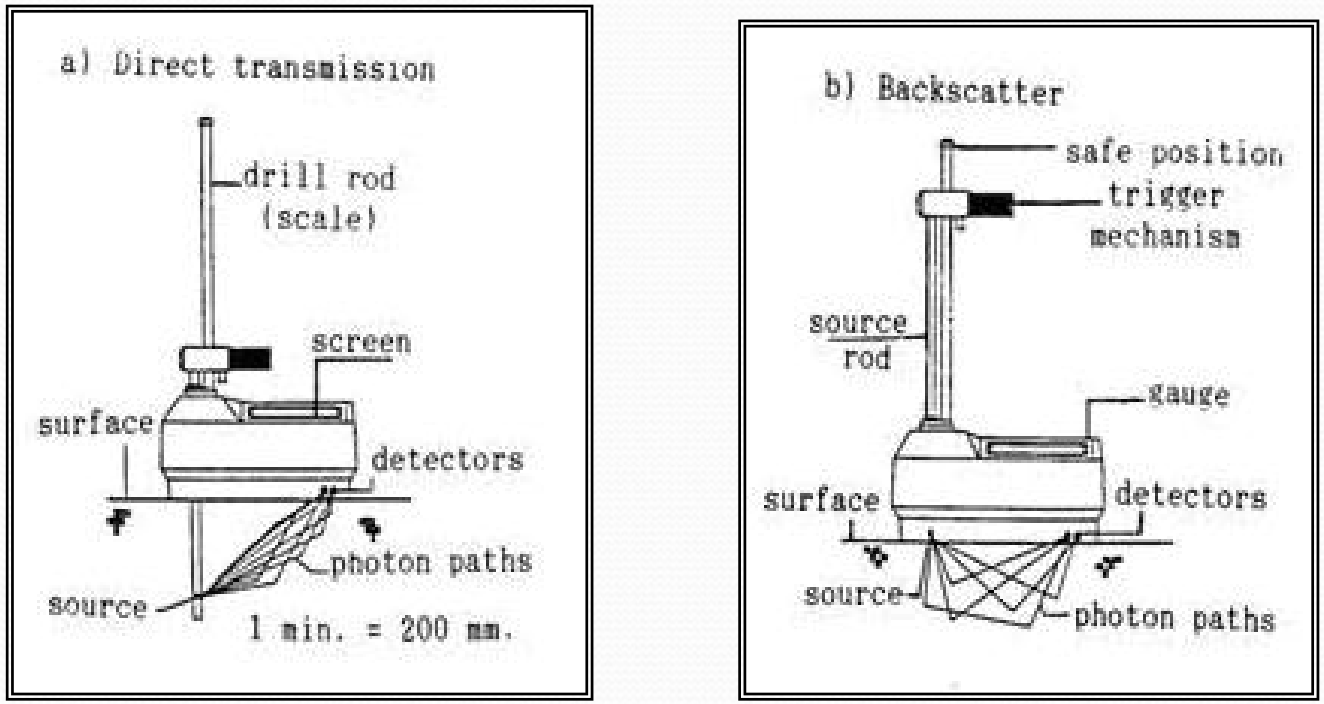


Fig.2 Radiation exposures in direct and indirect modes.

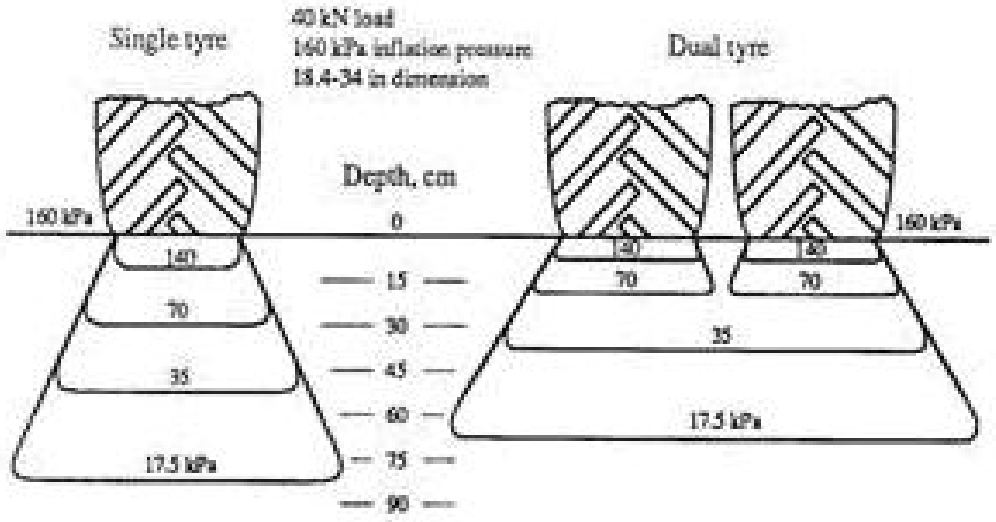


Fig. 3 Pressure distribution exerted under single and dual tyres.

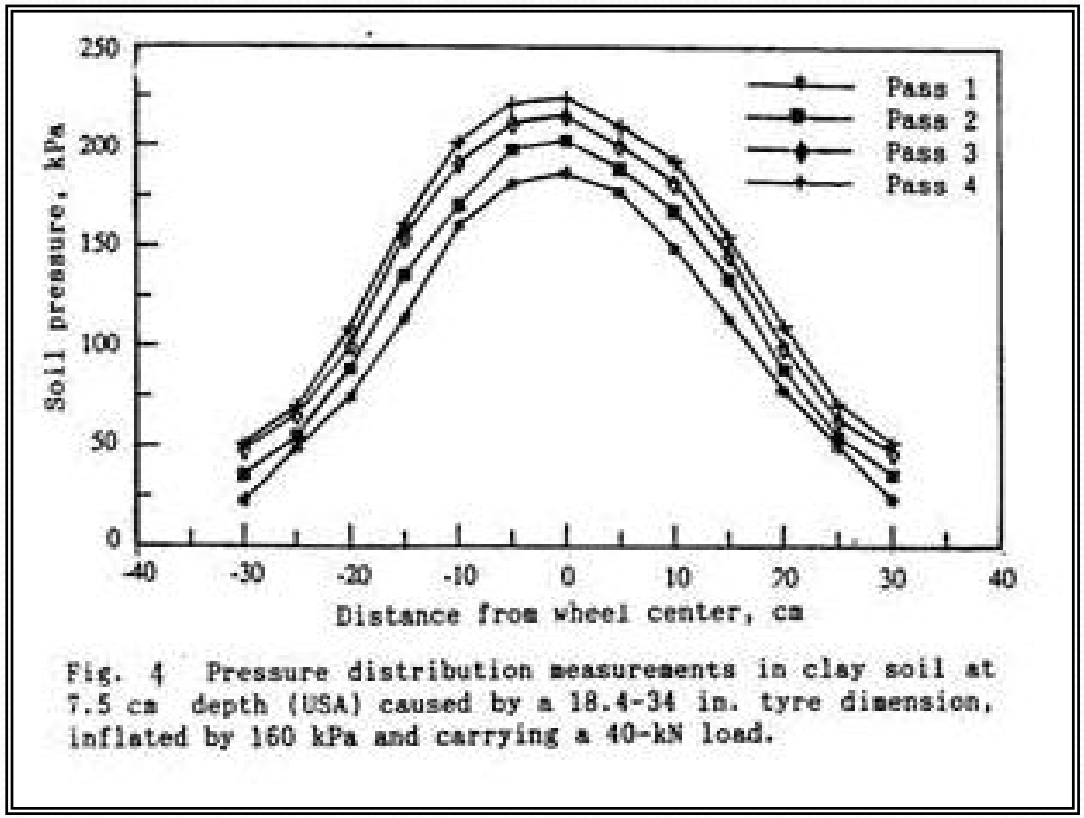


Fig. 4 Pressure distribution measurements in clay soil at 7.5 cm depth (USA) caused by a 18.4-34 in. tyre dimension, inflated by 160 kPa and carrying a 40-kN load.