Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad



Gradability

الأنحدارية

Movement of automotive equipment on a road with grade depends on the following:

1- Traction force/power (tractive effort)

2- Rolling resistance

3- Total weight of the equipment and its drawn loads

4- The grade of the road on which the equipment is moving upward (+) or downward (-).

Ex/ A crawler tractor is drawing a wheeled scraper. Find its maximum gradability (the maximum grade the tractor could move on going upward). Use the following information:

Tractor weight = 20.25 ton, Scraper weight = 39.48 ton, engine power for the tractor = 15300 Kg, rolling resistance to the tractor = 73 Kg/ton, and to the scraper = 95 Kg/ton.

Solution:

Using only 85% of the tractor engine power to be in the safe side, so 15,300 × 0.85 = 13,005 Kg

Power to resist rolling for the tractor = (73-50) × 20.25 = 466 Kg

Power to resist rolling for the scraper = 95 × 39.48 = 3,751 Kg

Then, traction force = 13,005 – (466 + 3,751) = 8788 Kg

Total weight of the tractor with the scraper = 20.25 + 39.48 = 59.73 ton

So, with 1% grade, power to counter grade = 10 × 59.73 = 597 Kg

Then, Maximum grade = 8788/597 = 14.7% (approx.)

the tractor only, power to counter grade = 203 (approx.), so the max. grade = 13,005-466/203= 62%

Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

Soil Stabilization & Compaction

ترسيخ و حدل التربة

❖ *Classification of soil layers* *تصنيف طبقات التربة*

1. **Subgrade: the surface produced by grading native earth, or cheap imported materials which serve as a base for more expensive paving.**

الأرض الطبيعية: سطح التربة التي تنتجها تدريجات سطح الأرض ، أو المواد رخيصة المستوردة والتي تكون بمثابة قاعدة لمواد التبليط

2. **Subbase: the layer of selected material placed to furnish strength to the base of a road.**

القاعدة الدنيا: طبقة من مواد مختارة وضعت لتقديم قوة لقاعدة الطريق.

3. **Base: the layer of material in a roadway or airport runway section on which the pavement is placed**

القاعدة: طبقة من المواد في الطريق أو مدرج المطار الذي يتم وض مواد الرصف عليها

❖ *Physical Properties of soils* *خواص التربة الفيزيائية*

1. Swell: **the increase in the volume of earth because of loosening, it is expressed as a percent of the original undisturbed volume; the values of swell vary considerably for different classes of earth. It can be determined from eq. 1:**

$$Sw = (B/L - 1) * 100\% \quad \text{.....(1)}$$

الأنتفاخ: الزيادة في حجم الأرض بسبب الرخاوة، ويعبر عنه كنسبة مئوية من الحجم الأصلي للتربة؛ قيم التضخم تختلف إلى حد كبير لفئات مختلفة من الأرض و كما هو موضح في المعادلة رقم 1

Where:

Sw: % of swell النسبة المئوية للأنتفاخ الحاصل في التربة

B: weight of undisturbed earth (bank), Kg/m3 مقدار حجم الضفة: وهو قياس حجم التربه في حفرة الإمداد

L: weight of loose earth, (loose), Kg/m3 مقدار الحجم الرخو: مقياس حجم التربة بعد رفعها و وضعها المكان المطلوب

2. Shrinkage (Sh): **the reduction in the volume of earth from the bank-measure volume when it is placed in a fill and compacted under modern construction methods .this reduction in volume is the result of an increase in the density ,it is expressed as a per cent of the original undisturbed volume. The percent of shrinkage will vary with the extent and degree of compaction and the amount of moisture percentage during compaction for any class of earth.**

Shrinkage percentage can be determined from eq. 2

$$Sh = (1 - B/C) * 100\% \quad \text{.....(2)}$$

الانكماش: هو الانخفاض الحاصل في حجم الأرض من حجم الضفة عندما يتم وضعها في المكان المطلوب و القيام بحدلها بأحد أساليب البناء الحديثة. هذا النقصان في الحجم هو نتيجة لزيادة في الكثافة، ويتم التعبير عن ذلك كنسبة مئوية من الحجم الأصلي. هذه النسبة المئوية من الانكماش تختلف مع مدى ودرجة الحدل ومقدار نسبة الرطوبة خلال الضغط على الأرض.

Where:

Sh: % shrinkage

C: weight of compacted earth, Kg/m3 مقدار الحجم المحدول من الأرض

Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

The swell factor: is the ratio of the loose dry weight per unit volume to the bank dry weight per unit volume: عامل الأنتفاخ: هو نسبة الوزن الجاف الرخو لكل وحدة حجم إلى الوزن الجاف للضفة لكل وحدة حجم

SF= L/B ……(3)

By substituting (1) & (2) in (3) , then:

SF = 1/(1+Sw)

Loose: loose volume, m3 الحجم الرخو للتربة

Bank: bank volume, m3 حجم تربة الضفة

EX/ determine the swell and shrinkage percentage for the soil explained below:

Loose weight =1217 kg/ m3

Compacted weight= 1730 kg/ m3

Swell factor =0.83

Solution:

B = 1217/0.83 = 1466 kg/ m3

Sw = (1466/1217 – 1) *100% = 20.6%

Sh = (1 – 1466/1730) * 100% = 15.26%

The bank- measure volume: is the volume of the earth as it lies in the natural state .This is the volume on which payment usually is based

مقياس حجم الضفة: هو قياس حجم التربة و هي في تربة الإمداد أو الأرض الطبيعية قبل حفرها و يستعمل هذا الحجم عادة في حساب الكلفة

The loose- measure volume : is the volume of the earth after it has been disturbed by a loading process.

مقياس الحجم الرخو: هو قياس حجم التربة بعد حفرها و تحميلها

The compacted volume: is the volume of the earth after it has been placed in a fill and compacted.

مقياس الحجم المحدول: هو قياس حجم التربة بعد وضعها المكان المطلوب و حدلها

❖ *Soil Stabilization Methods* طرق ترسيخ التربة

In the broadest sense stabilization refers to any treatment of the soil that increases its natural strength. ترسيخ التربة هي عملية معالجة التربة لزيادة قوتها الطبيعية

Methods of stabilizing soils include, but are not limited to, the following operations:

Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

1. Blending and mixing heterogeneous soils to produce more homogeneous soils
   مزج و خلط تربة غير متجانسة للحصول على تربة متجانسة
2. Incorporating hydrated lime into soils that are high in clay content
   مزج الجيرالمطفىء مع التربة ذات نسبة الطين العالية
3. Blending asphalt with the soil مزج التربة بمادة الأسفلت
4. Mixing Portland cement with the soil مزج التربة بالأسمنت البورتلندي
5. Incorporating various types of salts into the soils دمج أملاح مختلفة في التربة
6. Incorporating certain chemicals into the soils دمج مركبات كيميائية معينة في التربة
7. Compacting the soils thoroughly after they are processed حدل التربة بشكل جيد بعد معاملتها

Some of Those methods are explained in details as follows:

1. *Blending and mixing soils* خلط و مزج التربة للترسيخ

If the soils that are to be used in a fill are heterogeneous in their original state, such as in a borrow pit, they may be mixed during excavation by using equipment such as a power shovel or a deep-cutting belt loader to excavate layers in one operation. When such material is placed on a fill, it may be subjected to further blending by several passes with a disk harrow.

إذا كانت التربة التي سيتم استخدامها غير متجانسة في حالتها الأصلية، كما هو الحال في حفرة الامداد، فإنها قد يتم خلطها أثناء الحفر باستخدام بعض المعدات مثل المجرفة الآلية أو محمل حزام القطع و التحميل لحفر طبقات مختلفة في عملية واحدة. أيضا عند التعبئة، فإن التربة قد تتعرض لمزيد من المزج من خلال إستعمال المسلفة القرصية

2. *Stabilizing soils with hydrated lime* ترسيخ التربة بإستخدام الجير المطفىء

The plasticity index of soils with high clay content can be reduced substantially by incorporating hydrated lime into the soil using a disk harrow. The explanation for this soil improvement lies in a Base Exchange reaction occurring between the lime and clay particles, which cause the clay to agglomerate and become more granular and porous. After compaction a cementing reaction occurs between the lime and free silica and alumina in the clay, resulting in a substantial improvement in the strength and stability of the soil.

مؤشر اللدونة للتربة مع محتوى الطين العالية يمكن أن تخفض بشكل كبير من خلال دمج الجير المطفىء إلى التربة باستخدام المسلفة القرصية. تفسير هذا التحسن في خواص التربة يكمن في تبادل قاعدة رد الفعل التي تحدث بين الجير وجسيمات الطين ، التي تتسبب في تكتل الطين وتصبح أكثر حبيبية يسهل اختراقها. بعد الضغط يحدث رد فعل ترسيخ بين الجير والسيليكا الحرة والألومينا في الطين، مما يؤدي إلى تحسن كبير في قوة وثبات التربة



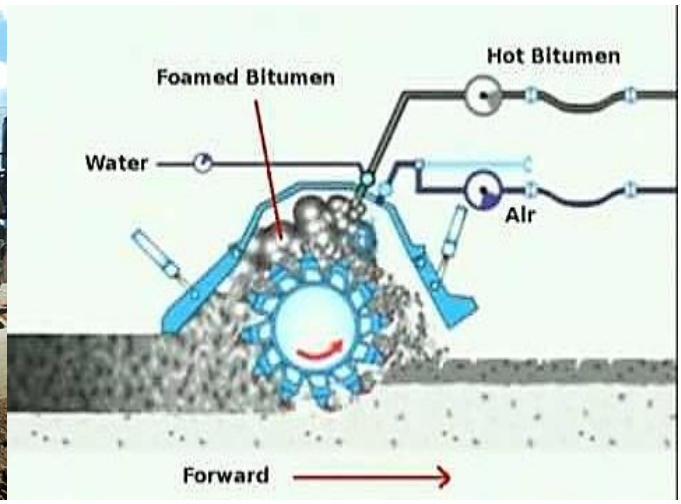
Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

3. Asphalt-soil stabilization ترسيخ التربة بإستخدام الأسفلت

When asphalt is mixed with granular soils, usually in amounts of (5% - 7%) of the soil volume, this treatment will produce a much more stable soil. The moisture content of the soil must be low at the time asphalt is added. Also it is necessary to allow the volatile oils to evaporate from the bitumen before finishing and rolling the material. Soils treated in this manner may be used as finished surfaces for low traffic density secondary roads, or they may serve as base courses for high- type pavements.

عندما يتم خلط الأسفلت مع التربة الحبيبية، وعادة في كميات من (5٪ - 7٪) من حجم التربة، حيث أن هذه المعالجة تنتج تربة أكثر استقرارا. حيث يجب أن يكون محتوى الرطوبة في التربة منخفضاً عند وقت إضافة الأسفلت. كما أنه من الضروري السماح للزيوت الطيارة بالتبخر من القار قبل الانتهاء من مزج المواد. التربة المعالجة بهذه الطريقة يمكن أن تستخدم في أسطح الانتهاء من الطرق الثانوية منخفضة الكثافة المرورية، أو أنها قد تكون بمثابة قاعدة لمواد التبليط الأخرى.





4. Cement –soil stabilization ترسيخ التربة بإستخدام الأسمنت

Cement-soil is one of the most generally used types of mixed-in place paving. It is particularly economical and convenient in areas where the soil is clay or silt and native deposits of gravel or rock are scare. The ratio of cement to soil is usually from (5-7 %) by weight.

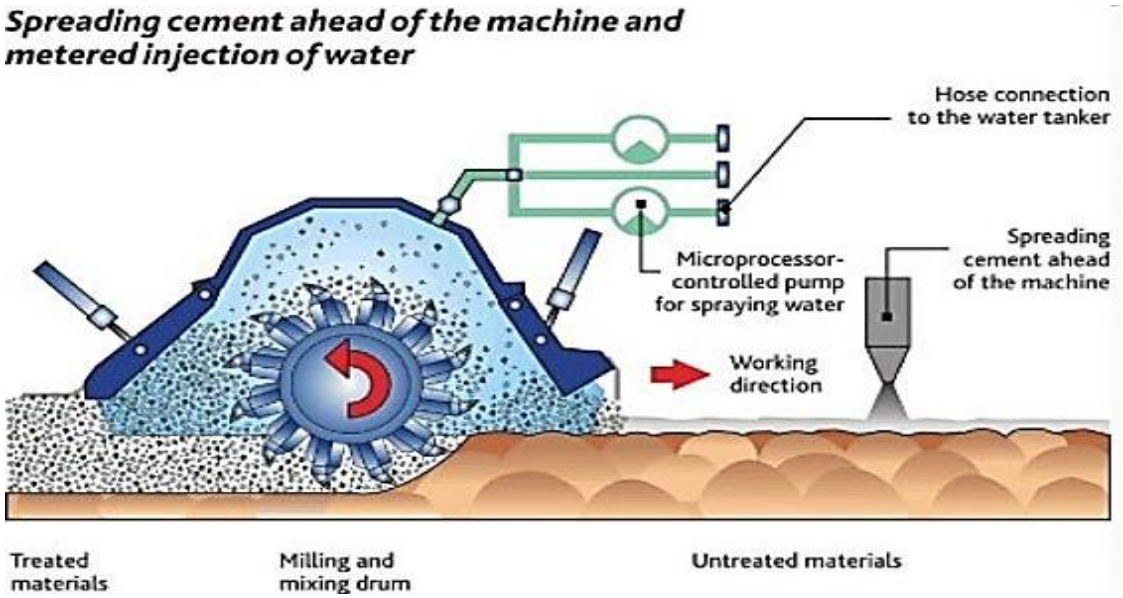
إن إستعمال السمنت في ترسيخ التربة من الطرق الشائعة و الإقتصادية خاصة إذا كانت التربة تحتوي على نسبة عالية من الطين أو الغرين و بعض الحصى و الصخور الطبيعية. و يضاف السمنت عادة بنسبة تقدر ب (5-7)% من وزن التربة.



Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

This stabilization method involves spreading the Portland cement uniformly over the surface of the soil, then mixing it into the soil preferably with pulveriser-type machine to the specified depth, followed by fine grading and compaction. If the moisture content of the soil is low, it will be necessary to sprinkle the surface with water during the processing operation. The soil should be compacted within 30 min after it is mixed.

تتم عملية الترسيخ بإستعمال السمنت بنشر السمنت على التربة و ثم خلطها بإحدى مكائن الخلط الى العمق المطلوب ثم يعدل السطح و يحدل، وفي حالة أن محتوى الرطوبة في التربة واطيء فيفرش على التربة كمية مناسبة من الماء، هذا و يجب حدل التربة خلال 30 بعد خلط السمنت.



❖ *Soil Compaction* *حدل التربة*

Compaction is attained by applying energy to a soil by one or more of the following methods:

يتم الحدل بتسليط مقدار من الطاقة على التربة بإحدى الطرق التالية:

1. **Kneading action** **تأثير العجن**
2. **Static weight** **الوزن الساكن**
3. **Vibration** **الأهتزاز**
4. **Impact** **الصدم**

Many types of compacting equipment are available, including the following:

يتوفر عدد من آليات الحدل، و منها التالي:

1. **Tamping rollers** **حادلات مدقية**
2. **Smooth- wheel rollers** **حادلات ملساء الدواليب**
3. **Pneumatic-tired rollers** **الحادلات ذات الأطارات الرئوية**
4. **Vibrating rollers (tamping, smooth-wheel, or pneumatic)** حادلات هزازة (مدقية، ملساء الدواليب، رئوية الأطارات)
5. **Self –propelled vibrating** **حادلات ذاتية الحركة ذات صفائح أو أقدام هزازة**
6. **Manually propelled vibrating** **حادلات يدوية ذات صفائح هزازة**
7. **Manually propelled compactors.** **حادلات الرص اليدوي**

Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

Tamping rollers حادلات مدقية

Tamping rollers are the sheep's-foot type or modifications thereof. This roller which may be towed by a tractor or self-propelled consists of a hallow steel drum on whose outer surface there are sections. A unit may consist of one or several drums mounted on one or more horizontal axes. The weight of drum may be varied by adding water or sand to produce unit pressures under the feet up to (5 N/mm^2) or more. Sheep's-foot rollers are quite effective in compacting clays and mixtures of sand and clay.

من هذا النوع من الحادلات ما يسمى بإضلاف الغنم و هي إما ذاتية الحركة أو تسحب بواسطة جرارات و تتكون من إسطوانة حديدية فاغة مثبت على سطحها الخارجي بروزات حديدية أو أقدام مختلفة الأطوال و المقطع و تتألف الحادلة الواحدة من أسطوانة واحدة أو أكثر مثبتة على محور أفقي و من الممكن زيادة وزن الأسطوانة الواحدة بملئها بالماء أو الرمل لكي يزداد الضغط تحت القدم الواحدة ليصل إلى 5 نيوتن/ملم^2 أو أكثر. هذه الحادلات فعالة في حدل التربة الطينية و المزيجية.



Self-propelled sheep's-foot type



Sheep's-foot roller towed by a tractor

Smooth –wheel rollers الحادلات ملساء الدواليب

Smooth – wheel rollers may be classified by weight which is usually stated in tons. The rolls are steel drums which may be ballasted with water or sand to increase the weights. If a roller is designed as (14-20) tons it means that the minimum weight of the machine only is (14 tons) and that it can be ballasted to give a maximum weight of (20 tons).

تصنف هذه الحادلات بواسطة الوزن و عادة يستعمل الطن في ذلك. إن الدواليب في هذه الحادلات هي إسطوانات حديدية فارغة يمكن ملئها بالرمل أو الماء لزيادة وزنها فعندما يقال أن حادلة ذات 14-20 طن فهذا يعني أن اقل وزن للحادلة عندما تكون دواليبها فارغة هو 14 طن و ممكن زيادته إلى 20 طن بملىء الدواليب بالرمل أو الماء

These rollers are effective in compacting granular soils such as sand, gravel, and crushed stone and they are also effective in smoothing surface of soils that have been compacted by tamping rollers.

هذه الحادلات فعالة الأستعمال في أنواع التربة المحببة كالرمل و الحصى و الصخور المكسرة و هي جيدة و فعالة أيضاً في جعل سطوح الطرق ملساء بعد حدلها بحادلات مدقية

Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad



Vibrating Smooth-wheel roller



Static Smooth-wheel roller

Pneumatic – tired rollers *الحادلات ذات الأطارات الرئوية*

These are surface rollers which apply the principle of kneading action to effect compaction below the surface. They may be self-propelled or towed. The air pressure in the tires may vary from (0.6 – 1 N/mm^2). Because of the heavy loads and high tire pressures they are capable of compacting all types of soils to greater depths. Pneumatic-tired rollers can be divided into two types:

a. **Pneumatic-tired rollers with fixed inflation pressures**
b. **Pneumatic-tired rollers with variable inflation pressures.**

As the soil is compacted the tire pressure is increased to suit the particular conditions of the soil, so that, the use of type (b) of roller usually permits adequate compaction with fewer passes than were required by type (a) pressure rollers.

الحدل بواسطة هذه المكائن يتبع أسلوب العجن للتربة المحدولة و تكون هذه الحادلات إما ذاتية الحركة أو تسحب بجرارات. ضغط الهواء في إطارات هذه الحادلات يتراوح ما بين 0.6 إلى 1 نيوتن/ملم^2 ، و بسبب أوزانها العالية و ضغط الإطارات الرئوية، تكون هذه الحادلات ذات إمكانية عالية في حدل مختلف أنواع التربة و لإعماق مختلفة. يوجد نوعان من هذه الحادلات:

أ- حادلات رئوية ذات ضغط نفخ ثابت
ب- حادلات رئوية ذات ضغط نفخ متغير
يتم تغيير ضغط الإطارات لتلائم حالة التربة المراد حدلها، حيث أن حادلات النوع (ب) تكون ملائمة أكثر للتربة التي تحتاج مرات تكرار أقل لمرور الحادلة لإتمام عملية الحدل مقارنة بالحادلات من النوع (أ)



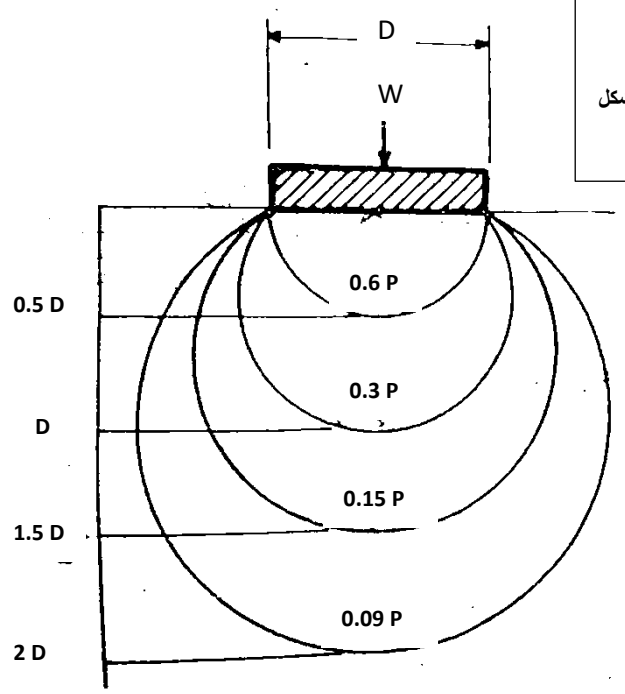
Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

❖ *Pressure bulb theory of load distribution*

This theory is related to the distribution of a load and thus to the unit soil pressure when the load is applied to the soil through a circular object. Because the contact area between a tire and the ground approximates a circle the theory can be applied to pressures in the soil under tires with slight modifications as illustrated in the figure below:

نظرية بصلة الضغط لتوزيع الأحمال:

تتعلق هذه النظرية بتوزيع الأحمال و بالتالي توزيع الضغط على التربة عندما تسلط عليها الأحمال من جسم دائري. تطبق هذه النظرية على مساحة التماس بين التربة و الأطار الرنوي لإنها المساحة التي تكون بشكل دائري تقريبا و كما هو موضح في الشكل التالي و على أعماق مختلفة من سطح الأرض:



D = Diameter of contact circle	قطر دائرة التماس
W = Weight of the load applied	الوزن المسلط
A = Area of contact	مساحة دائرة التماس
P = Pressure under Area	الضغط تحت المساحة

Example:

If the load that applied by pneumatic-tired roller to the soil is (2970 kg), and the contact area between the tire and the ground approximates a circle with 300mm diameter, illustrate the load distribution at varying depth below the ground surface.

Solution:

$$P = \frac{\text{Load applied}}{\text{Contact Area}}$$

$$P = \frac{2970 \times 10}{(150)^2 \times \pi} = 0.42\ N/mm^2$$ **(Pressure at the surface level)**

Load distribution at varying depth below the ground surface:

Distance underground (mm)	Coefficient Factor	Pressure (N/mm^2)
0 (surface level)	1	0.42
150	0.6	0.25
300	0.3	0.13
450	0.15	0.06
600	0.09	0.04

Dr. Hassan Issa
Dr. Aliaa Hamadi
Lect. Mustafa Ayad

Vibrating compactors حادلات الرص اليدوي

Certain types of soils such as sand gravel and relatively large stones respond quite well to compaction produced by a combination of pressure and vibration. When these materials are vibrated the particles shift their positions and nestle more closely with adjacent particles to increase the density of the mass.

أنواع معينة من التربة مثل الحصى الرمل والحجارة الكبيرة نسبيا تستجيب بشكل جيد للغاية إلى الضغط الناتج عن مزيج من الضغط والاهتزاز. عندما تتعرض هذه المواد للإهتزاز فإن الجسيمات تتقارب بشكل وثيق مع الجزيئات المجاورة لزيادة كثافة الكتلة

Some compactors have demonstrated their abilities to produce excellent densification of these soils. Vibrations may vary from (1000 to 5000 per min) with the actual number corresponding to the natural resonant frequency of the soil for maximum effectiveness.

وقد أظهرت بعض حادلات الضغط قداراتها على زيادة ممتازة لكثافة التربة. قد تختلف الاهتزازات من (1000-5000 لكل دقيقة) مع العدد الفعلي المقابلة لتردد الرنين الطبيعي للتربة لأقصى قدر من الفعالية

There is manually operated vibrating compactors which are operated gasoline-engine-driven compactors. They are effective for use in consolidating soils and asphalt in locations where larger units are not practical. These units are rated by the pounds of force delivered per impact and the number of impacts per minute.

هذه الحادلات يتم تشغيلها يدويا مولدة قدر من الإهتزاو من خلال محرك يعمل على البنزين. فهي فعالة لاستخدامها في تدعيم التربة والإسفلت في المواقع التي تكون فيها المعدات الكبيرة ليست عملية. ويتم تصنيف هذه المعدات اليدوية حسب أرطال قوة الضغط المسلطة في الدقيقة الواحدة



Vibrating plate compactor



Compaction hammer