

## إختبار الكثافة الحقلية للتربة بطريقة إحلال الرمل

## Field Density Test Using Sand cone Method

تعتبر طريقة مخروط الرمل Sand cone method من أفضل الطرق المستخدمة لتحديد كثافة التربة الطبيعية أو تحديد كثافة التربة بعد دمكها للتأكد من جودة الدمك كما تم شرحه بالفصل العاشر.

## دمك التربة Soil Compaction

دمك التربة: هو عملية الهدف منها طرد الهواء الموجود بين حبيباتها باستخدام الطاقة الميكانيكية لزيادة كثافة التربة لتحسين خواصها الهندسية كمقاومة القص shear strength والنفذية permeability

## الهدف من عمليه دمك التربة The objects of soil compaction

- زيادة كثافة التربة وتقليل نسبة فراغاتها
- زيادة قدرة تحمل التربة.
- الحد من هبوط التربة.
- التحكم في التغيرات الحجمية للتربة من حيث الانكماش والانتفاخ.
- خفض نفذية التربة للمياه.
- زيادة معامل الأمان ضد الانزلاق لتربة الميول.

## نظرية الدمك Compaction theory

عند دمك التربة بطاقة دمك معينة فان الكثافة الجافة للتربة تتغير لأن دمك التربة يعمل على طرد الهواء الموجود في فراغات التربة حيث يترك ذلك امكانيه لحبيبات التربة ان تنزلق الى تلك الفراغات وتأخذ الوضع الذي يؤدي إلى زيادة كثافة التربة بالإضافة الى وجود الماء بين الحبيبات وطالما ان هناك امكانيه لطرد الهواء فان الكثافة الجافة تزيد بزياده المحتوى المائي للتربة حتى تصل الى اعلى قيمه لها بعد ذلك تبدأ الكثافة الجافة بالانخفاض تدريجيا نتيجة ان الماء يبدأ في الاحلال بدلا من الحبيبات الصلبة للتربة

## نسبه المياه المثالية Optimum water content

تعتبر نسبة المياه بالتربة حدا فاصلا كالاتي:

- محتوى الرطوبة للتربة الذي تحدث عنده أقصى كثافة يسمى بمحتوى الرطوبة المثالي Optimum moisture content - OMC
- إذا كان المحتوى المائي للتربة اقل من هذا الحد فإن التربة تكون خشنة وصعبه الدمك وذات فراغات كثيرة تؤدي إلى انخفاض كثافتها الجافة.
- إذا كان المحتوى المائي أعلى من هذا الحد يبدأ الماء في الاحلال بدلا من الحبيبات الصلبة للتربة مما يؤدي إلى انخفاض كثافتها الجافة.

### اختبارات دمك التربة في المعمل

هناك عدة اختبارات لتعيين قيمة أقصى كثافة جافة للتربة في المعمل وهي:

(١) اختيار بروكتور القياسي Standard Proctor Test

(٢) اختيار بروكتور المعدل Modified Proctor Test

وتهدف هذه الاختبارات إلى معرفة درجة الدمك القصوى الممكنة لها عن طريق:

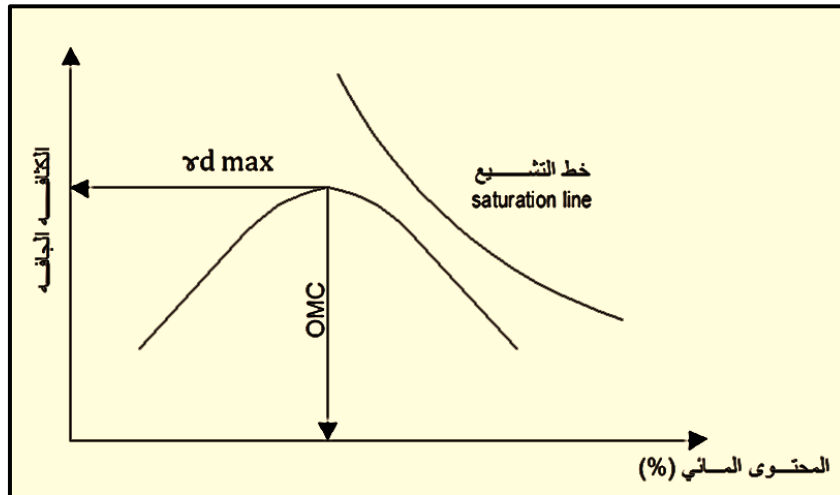
• إيجاد محتوى الرطوبة المثالي للتربة Optimum moisture content – OMC

• تحديد الكثافة الجافة القصوى المناظرة Maximum dry density – MDD

وتكون نتيجة الاختبار الحصول على منحنى العلاقة بين محتوى الرطوبة للتربة وكثافتها الجافة (شكل ٢).

ويمكن تحديد الكثافة الجافة للتربة بمعرفة كثافتها الرطبة ونسبه المحتوى المائي لها باستخدام العلاقة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w_c} \dots \dots \dots (1)$$



شكل (٢) منحنى العلاقة بين رطوبة التربة وكثافتها الجافة

### اختبار بروكتور القياسي Standard proctor test

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد أقصى كثافة جافة  $\gamma_{dmax}$  ونسبه المياه الحرجة  $w_{opt}$  المناظرة لها ويتم هذا الاختبار بتحضير أربع أو خمس عينات من التربة بدمكها على ثلاثة طبقات متساوية عند نسب مختلفة من محتوى الرطوبة باستخدام مطرقة خاصة تزن ٢.٥ كجم داخل قوالب معدنية أسطوانية mold وتدمك كل طبقه بمقدار ٢٥ ضربه بواسطة المطرقة بارتفاع سقوط حر ٣٠.٥ سم.

أبعاد القالب الاسطواني وخصائص المطرقة وهي:

Diameter of mold = 105 mm	قطر القالب
Height of mold = 115.5 mm	ارتفاع القالب
Volume of mold = 1000 cm <sup>3</sup>	حجم القالب
Rammer weight = 2.5 kgm	وزن المطرقة
Number of layers = 3	عدد الطبقات

الشكل (٣) يبين نوع القالب المستخدم في دمك التربة والمطرقة التابعه.

بعد دمك التربة يتم إيجاد وزن التربة ومن ثم كثافتها عند كل محتوى رطوبة من:

$$\gamma = \frac{w}{V} \dots \dots \dots (2)$$

حيث: (W) هي وزن عينة التربة المستخدمة و (V) هي حجم القالب

وفي كل اختبار يؤخذ عينة من التربة المستخدمة لتحديد نسبه المحتوى المائي

وباستخدام المعادلة (١) يمكن تحديد الكثافة الجافة لكل اختبار ثم ترسم العلاقة بينها

وبين نسبه المحتوى المائي لتحديد  $\gamma_{dmax}$  وقيمة  $w_{opt}$



شكل (٣) القالب المستخدم في دمك التربة والمطرقة

## اختبار بروكتور المعدل Modified proctor test

يعتبر هذا الاختبار طريقة معدلة ومطورة لاختبار بروكتور القياسي باستخدام نفس مواصفات القالب بهدف الحصول على نتائج تؤدي الى زياده اقصى كثافه جافه للتربه ويختلف اختبار بروكتور المعدل عن الاختبار القياسي فى الآتى:

- عدد طبقات الدمك = ٥ طبقات
- وزن المطرقة = ٤.٥ كجم
- ارتفاع سقوط المطرقة = ٤٥.٧٢ سم

وغالبا ما تتراوح اقصى كثافه جافه لمختلف أنواع التربة بين ١.٣ إلى ٢.٣ طن/م<sup>٣</sup> بينما تتراوح قيم نسبة المياه الحرجه من ١٠% الى ٢٠%.

يوضح الجدول (١) مقارنة بين وزن المطرقة وعدد الطبقات والضربات فى اختباري الدمك. حيث يمكن ملاحظة الآتى:

- استعمال نفس القالب فى الاختبارين.
- استعمال نفس عدد الضربات على كل طبقة من التربة أثناء دمكها فى القالب.
- الفرق فى وزن المطرقة وعدد طبقات التربة فى القالب أثناء الدمك.

جدول (١) مقارنة بين الأدوات المستعملة فى اختبارات الدمك

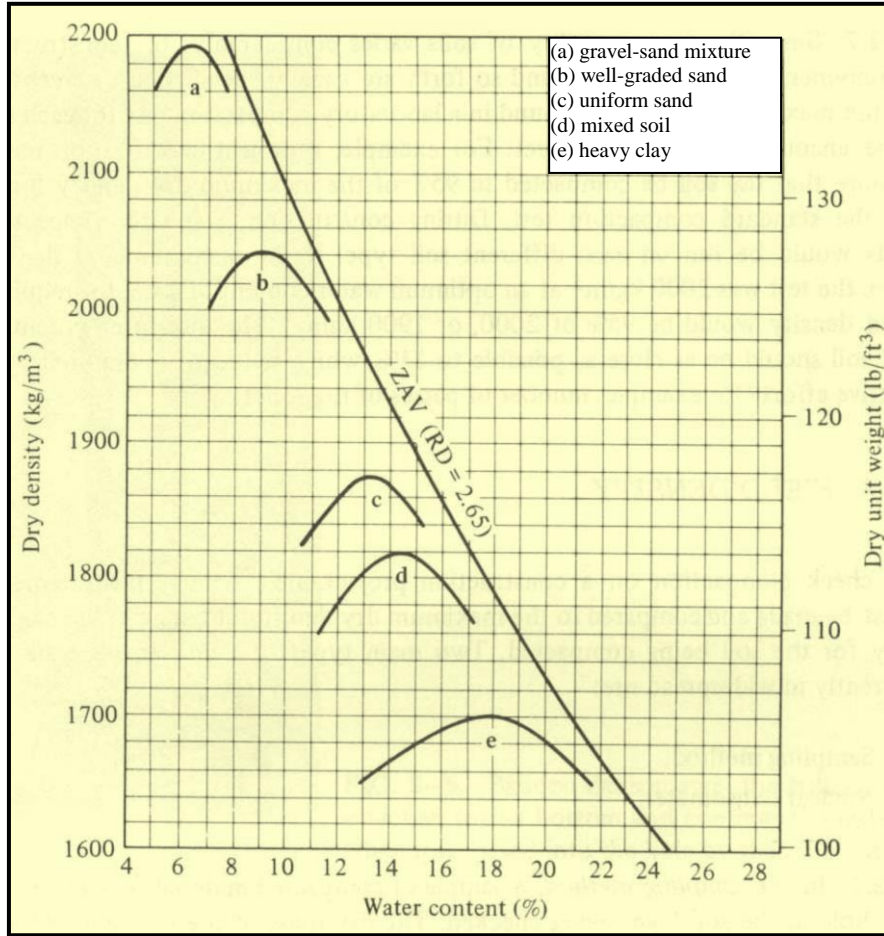
الاختبار	أبعاد القالب (سم)	حجم القالب (سم <sup>٣</sup> )	وزن المطرقة (كجم)	عدد الطبقات	عدد الضربات
الدمك القياسي (بروكتور)	القطر الداخلي = ١٠.٥ مم الارتفاع = ١١٥.٥ مم	١٠٠٠	٢.٥	٣	٢٥
الدمك المعدل	القطر الداخلي = ١٠.٥ مم الارتفاع = ١١٥.٥ مم	١٠٠٠	٤.٥	٥	٢٥

## العوامل المؤثرة على الدمك Factors affecting compaction

أهم العوامل التي تؤثر على عملية الدمك هي:

### (١) نوع التربة

تتأثر عملية دمك التربة بحسب نوعها وخواص حبيباتها مثل شكل الحبيبات وتوزيعها والوزن النوعي لها ونسبة المواد الطينية بها والشكل (٤) يوضح المنحنيات التي تربط بين الكثافة الجافة والمحتوى المائي لخمسة أنواع من التربة. الشكل يوضح أن التربة ذات الخليط من الزلط والرمل لها اعلى كثافه جافه واقل محتوى مائى مقارنة بالتربة الطينية الثقيلة التي لها اقل كثافه جافه واعلى محتوى مائى.



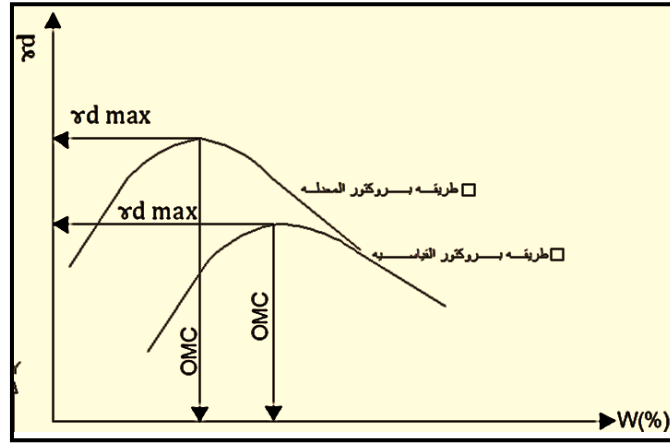
شكل (٤) منحنيات الدمك لأنواع مختلفة من التربة

## (٢) طاقة الدمك

الزيادة في طاقة الدمك تؤدي الى زياده في الكثافة الجافة ونقص في نسبة المحتوى المائي لجميع انواع التربه كما هو واضح في الشكل (٥)  
حسابيا فان طاقة الدمك لكل وحده حجم يمكن تحديدها من:

$$E = \frac{N_b * N_L * h * W_h}{V_m} \dots \dots \dots (3)$$

E	طاقة الدمك	$N_b$	عدد الضربات في كل طبقه
$N_L$	عدد الطبقات	$W_h$	وزن المطرقة
h	ارتفاع سقوط المطرقة	$V_m$	حجم القالب

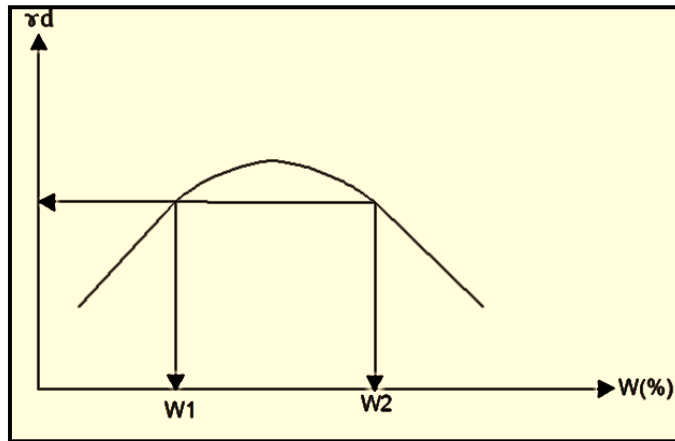


شكل (٥) تأثير طاقة الدمك على أقصى كثافته ونسبه المياه

### (٣) المحتوى المائي

المحتوى المائي للتربة هو العامل الرئيسي للحصول على أقصى كثافته جافه للتربة تحت تأثير درجة دمك معينه ويزيد المحتوى المائي لعينات التربة المستخدمه بهدف الحصول على نسبة المياه الحرجه والمثاليه للدمك ومن خلال المنحنى الذى يربط الكثافه الجافه مع نسبة المحتوى المائي للتربة فانه عند اى قيمه للكثافه الجافه قيمتان للمحتوى المائي كما يوضح الشكل (٦).

ما عدا أقصى كثافة جافه فإنها تعطى قيمه واحده وهى نسبة المياه الحرجة  $w_{opt}$



شكل (٦) تأثير المحتوى المائي على دمك التربة

### دمك التربة في الموقع Field compaction

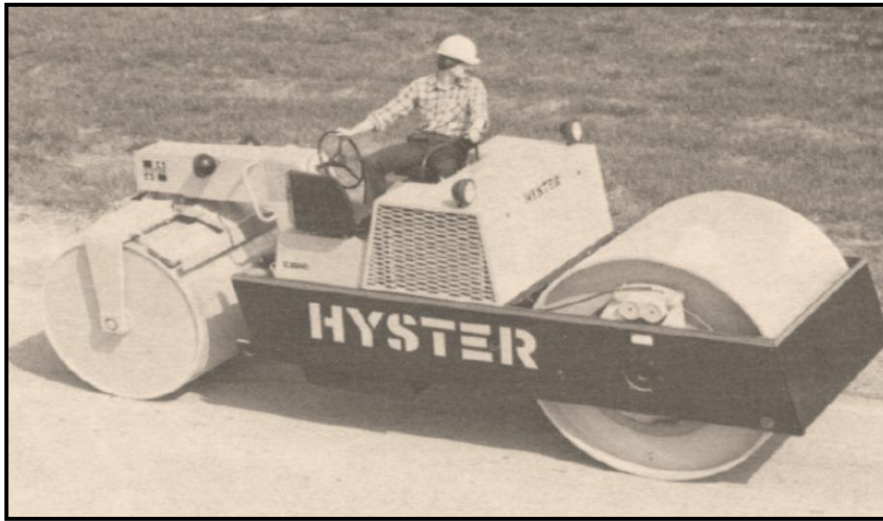
#### معدات الدمك في الموقع Equipment of compaction in the field

يتم دمك التربة فى الموقع بواسطة معدات مخصصه لهذا الغرض يرتبط استخدام كل منها بنوع التربة ومدى توفر تلك المعده. وتختلف هذه المعدات من حيث طريقه

الاستخدام فمنها ما يعتمد على الضغط ومنها ما يعتمد على الاهتزاز واهم معدات دمك التربة في الموقع ما يلي:

### عجلات اسطوانية ملساء Smooth-wheel roller

هذا النوع الاكثر استخداما لدمك التربة في الموقع لانه مناسب لمعظم انواع التربة عدا تلك التي تحتوى على احجار كبيره والعجله الاسطوانيه لهذه المعده تغطى التربة التي تحتها بالكامل كما يوضحها الشكل (٧) ويضغط يصل إلى ٤٠٠ كيلو نيوتن/م<sup>٢</sup> وقد يكون من المناسب ان تكون طبقات الدمك غير سميكة عند استخدام هذه المعده للحصول على دمك التربة بكثافة عاليه.



شكل (٧) عجلات اسطوانية ملساء

### اسطوانات بعجلات مطاطية Pneumatic or Rubber-tired rollers

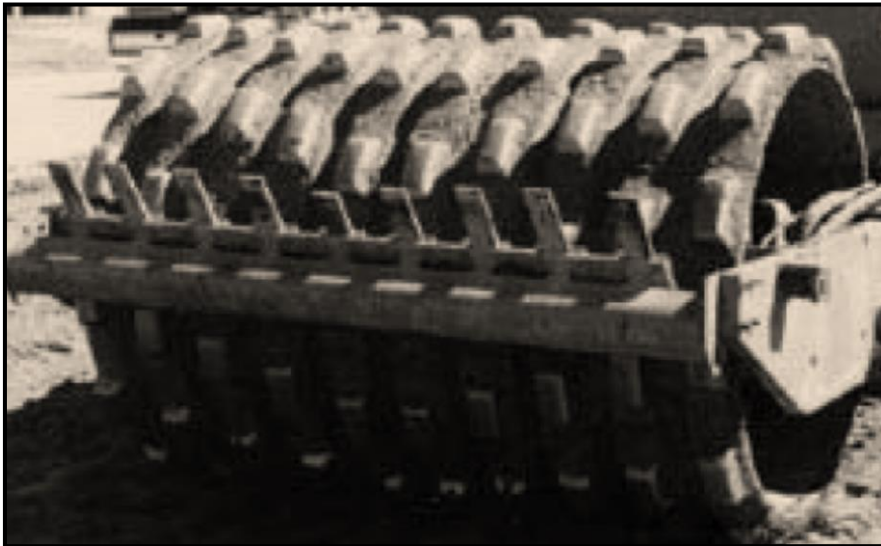
الشكل (٨) يبين معده ثقيلة محمولة بأربع عجلات حتى تغطي ما نسبته ٨٠% من التربة. هذه العجلات تولد ضغط على التربة يصل إلى ٤٠٠ كيلو نيوتن/م<sup>٢</sup>. ويمكن استخدام هذا النوع من المعدات للتربة المتماسكة وغير المتماسكة. يعيب علي هذه الطريقة انها تحتاج إلى مسارات متقاربه لانهاء عمليه الدمك



شكل (٨) اسطوانات بعجلات مطاطية

### اسطوانات أرجل الغنم Sheep foot rollers

تحتوي اسطوانات هذا النوع على بروز في عجلاتها تشبه أرجل الغنم كما هو واضح بالشكل (٩). تغطي هذه البروز نسبة ١٢% من التربة التي تحتها وتولد ضغط على التربة يتراوح من ١٤٠٠ إلى ٧٠٠٠ كيلو نيوتن/م<sup>٢</sup> يستخدم هذا النوع للتربة المتماسكة مثل الطمي والطين ويتطلب استخدام هذه المعده ان يكون هناك مسارات متكرره حتى يمكن تغطيه الفراغات على طبقه التربه نتيجه البروز الموجود على هذه العجلات.



شكل (٩) اسطوانات أرجل الغنم

### اسطوانات اهتزازية Vibratory rollers

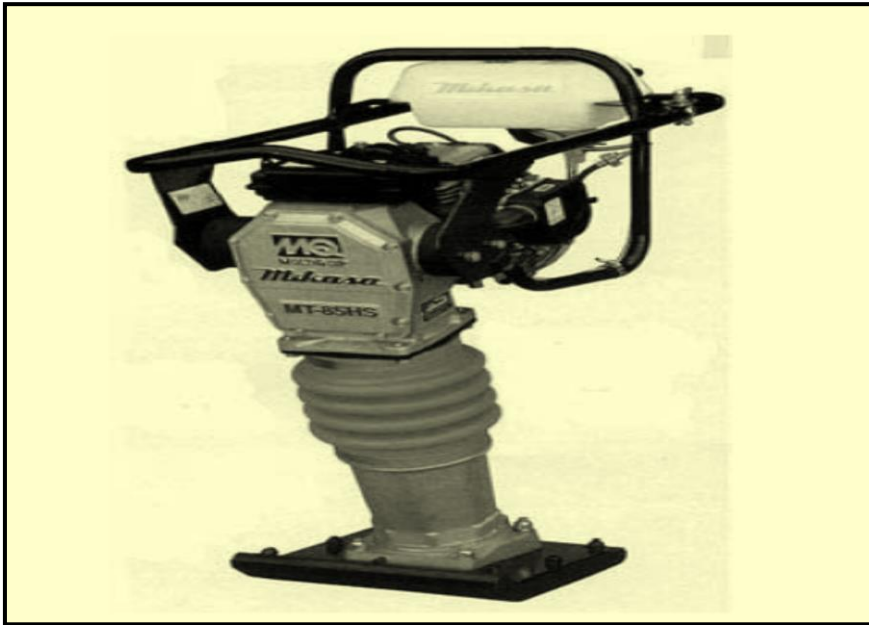


يستخدم هذا النوع من المعدات لدمك التربة غير المتماسكة مثل الزلط والرمل وقد تكون اسطوانة ذات سطح أملس مركب عليها هزاز افقى كما فى الشكل (١٠)



شكل (١٠) اسطوانات اهتزازية

فى حالة ان المساحات المراد دمكها صغيرة اوضيقة او محدودة يتم استخدام مكينه هزاز يدوي لإجراء عمليات الدمك كما فى الشكل (١١)



شكل (١١) هزاز يدوى

تحديد كثافة التربة فى الموقع

يلزم تحديد كثافة التربة في الموقع لمقارنتها بقيمة أقصى كثافة جافه تم الحصول عليها من الاختبارات المعملية ويمكن **تحديد كثافة التربة في الموقع** باستخدام الطرق التالية:

١- طريقه مخروط الرمل Sand cone method

٢- طريقه البالون المطاطي Rubber balloon method

### طريقه مخروط الرمل Sand cone method

يبين الشكل (١٢) الأجهزة المستخدمة لهذه الطريقة والمتمثلة في اسطوانة الرمل ومخروط زجاجي أو بلاستيكي وقمع وأدوات حفر ويبدأ العمل بهذه التجربة بتحديد موقع التجربة على التربة المدموكة مع عمل الخطوات الآتية:

- يتم عمل حفرة على أن يكون قطرها في حدود ١٥سم وعمقها بين ١٢-١٥ سم
- يتم جمع ناتج الحفر من داخل الحفرة مع مراعاة عدم فقد أي جزء من العينة ثم يتم وزنها جيداً وليكن  $W_{soil}$

- يتم تحديد محتوى الرطوبة للتربة الناتجة من الحفرة لها  $W_c$
- يتم ملء اسطوانة الرمل برمل ناعم معلوم الكثافة وتحديد وزنه.
- يتم تثبيت الاسطوانة والمخروط فوق الحفرة مقلوباً ويفتح صمام الرمل للسماح بانسياب الرمل إلى داخل الحفرة حتى تمتلئ الحفرة وكذلك المخروط ثم يتم غلق الصمام.
- يتم وزن الرمل المتبقي داخل الاسطوانة لمعرفة وزن الرمل الذي ملأ الحفرة والمخروط.

- يتم تحديد حجم الحفرة بمعلومية وزن الرمل المستخدم لملء الحفرة وكذلك كثافته فانه يمكن تحديد حجم الرمل الذي يمثل حجم الحفرة من العلاقة:

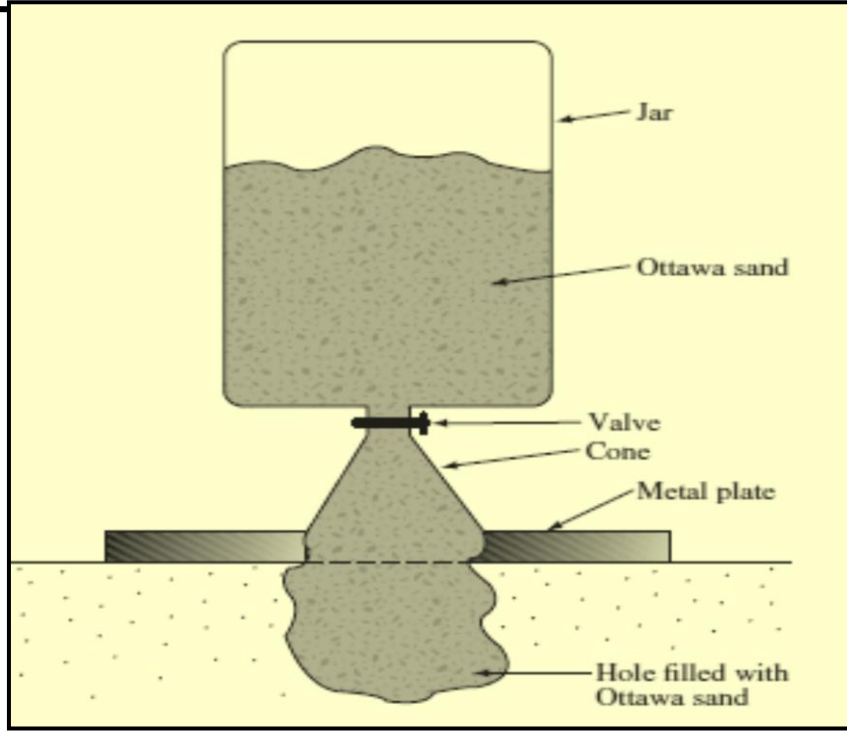
$$V_{hold} = \frac{W_{sand}}{\gamma_{sand}} \dots \dots \dots (4)$$

- بمعرفه وزن التربة المزالة من الحفرة وحجم الحفرة يتم إيجاد كثافة التربة الحقلية عن طريق العلاقة:

$$\gamma_b = \frac{W_{soil}}{V_{hold}} \dots \dots \dots (5)$$

- بمعرفة رطوبة التربة  $W_c$  والكثافة الرطبة  $\gamma_b$  يمكن إيجاد الكثافة الحقلية الجافة  $\gamma_d$  من المعادلة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+W_c} \dots \dots \dots (6)$$



شكل (١٢) تجربة مخروط الرمل

### تحديد كفاءة الدمك بالموقع

يتم معرفه كفاءة ودرجة الدمك بعد تحديد نتائج دمك التربة في كل من المعمل والحقل ويتم مقارنته بالمواصفات الهندسية للمشروع وتعد درجة الدمك هي المعيار الاساسى الذى يمكن من خلاله الحكم على جوده الدمك وتتراوح بين ٩٠ % و ١٠٠ % حسب المكان الذي يتم دمكه ويتم تحديدها من المعادلة:

$$R_c = \frac{\gamma_{d(field)}}{\gamma_{d max(Lab)}} \dots\dots\dots (7)$$

$R_c$                       الدمك النسبي أو كفاءة الدمك أو درجة الدمك

$\gamma_{d(field)}$                 هي الكثافة الجافة للتربة في الحقل

$\gamma_{d max(Lab)}$             هي أقصى كثافة جافة للتربة في المعمل