الفصل التاسع عشر – فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا

California Bearing Ratio Test (CBR)

1.19 مُقدّمة:–

ان فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا أو فحص (CBR) هو فحص إحصائي طوّر اولاً في كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية لتقدير قيمة تحمّل الاملائيات الترابية في أعمال الطرق للأثقال.

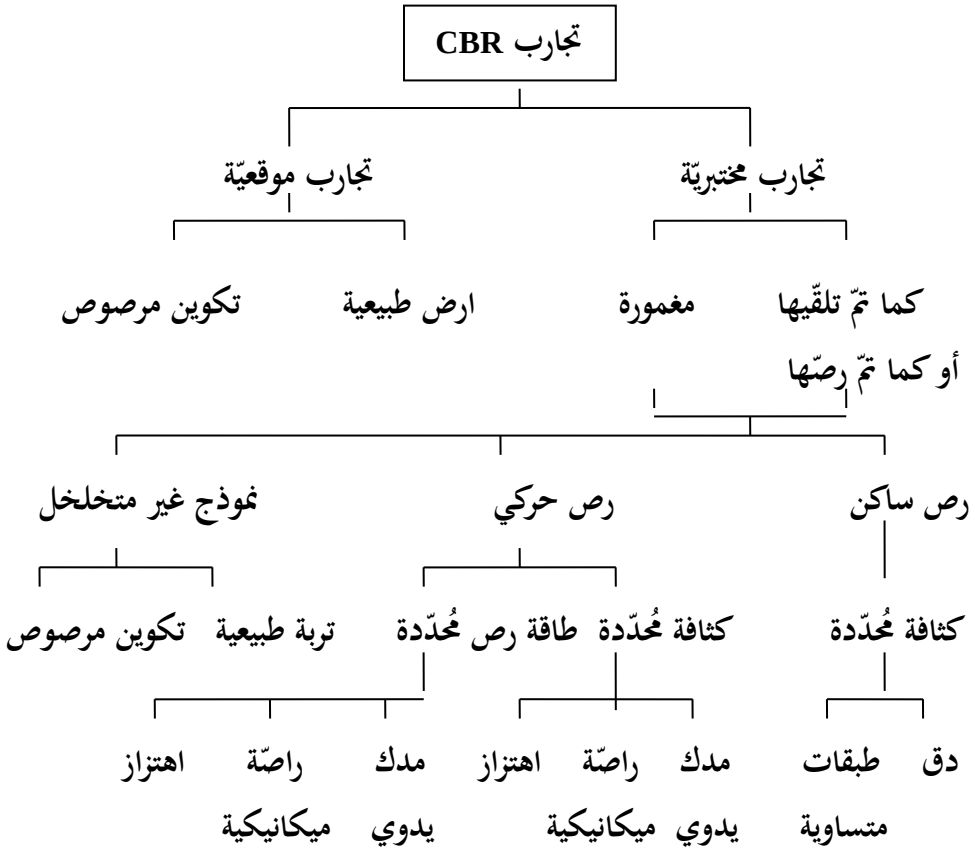
ان مبدأ عمل التجربة هو بدفع غاطس قياسي في التربة بمعدّل ثابت للاختراق و قياس القوّة المطلوبة للحفاظ على هذا المعدّل من نتائج علاقة الثقل بالاختراق. يُمكن اشتقاق نسبة تحمّل كاليفورنيا (قيمة (CBR)) عند حالة الفحص التي تمّت بها.

ان من المهم تقدير انطباق هذه التجربة (بسبب كونها ذات طبيعة إحصائية) فقط على الغاية التي تمّ تطويرها من اجلها و هي لتصميم اسماك املائيات طرق ترابية.

انّ التجربة الموصوفة في أدناه هي التجربة المختبريّة القياسيّة التي تجري على نموذج من التربة لحاوية خاصة تُعرف باسم قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) (شكل رقم (1.1.3.2.8)). يكون النموذج أما غير متخلخلاً أو مسبوكاً و يُحضّر بإحدى الطرق من وسائل عديدة. بالإمكان كبس النماذج المسبوكة في القالب تحت ثقل ساكن أو قرص متحرك بها و بمحتوى رطوبة مطلوب إمّا للحصول على كثافة مُحدّدة أو باستخدام جهد رص قياسي. بالإمكان اخذ نماذج غير مُتخلخلة من الموقع مباشرة في قالب نسبة تحمّ ل كاليفورنيا (CBR) إمّا من الأرض الطبيعية أو من تربة مُعاد رصّها مثل املائيات السدود أو الطرق. بالإمكان فحص النماذج في القالب إمّا كما تمّ تحضيرها (أو كما تمّ تلقيها) أو بعد الانتقاع (Soaking) في الماء لعدّة أيام.

بالإمكان إجراء التجربة نفسها على تربة في الموقع باستخدام صواري تجربة مُركّبة على شاحنة. انّ مبدأ عمل هذه التجربة هو نفسه للتجربة المختبريّة. يُعرف الفحص المختبري في قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بالتجربة القياسيّة.

يُبيّن الشكل رقم (1.1.19) الأنواع المختلفة من النموذج التي تجري عليها تحارب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR). تُعرّف نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) أو نسبة التحمّل على انّها نسبة القوّة اللازمة على قيام مكبس دائري ذي مساحة مقطع تساوي الى $1935\ mm^2$ مليمتر مربّع ($3\ in^2$ انج مربّع) في اختراق التربة لحاوية خاصّة بمُعدّل $1\ mm/min$. مليمتر/دقيقة (0.05 in / min. انج/دقيقة) لتلك اللازمة لاختراق مُشابه لنموذج قياسي من حجر مُهشّم . تُحسب هذه النسبة في الاختراقين اللذين قدرهما 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر (0.1 in انج و 0.2 in انج على التتالي) و تُستخدمْ القيمة الأعظم.

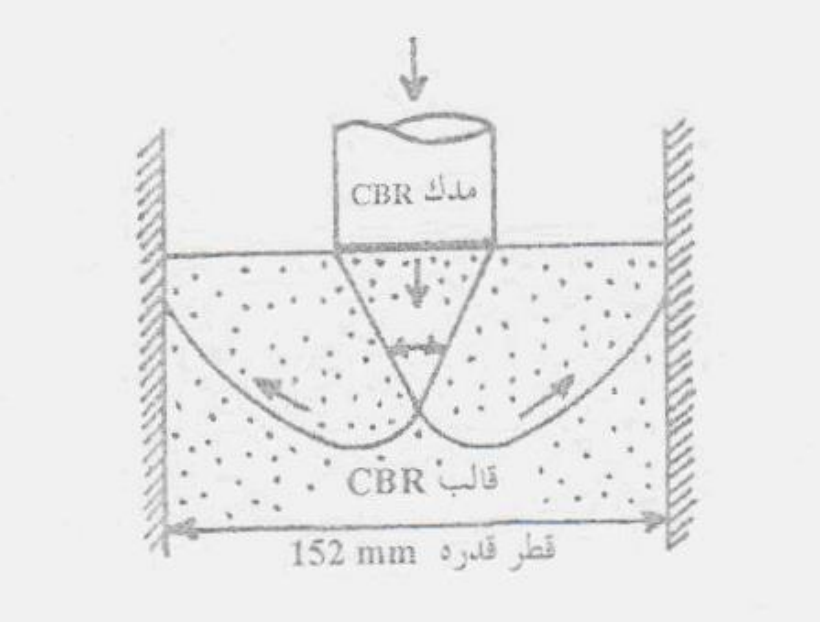


شكل رقم (1.1.19) – انواع تجارب نسبة تحمّل كاليفورنيا

$$\text{نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)} = \frac{\text{القوّة المُقاسة}}{\text{القوّة القياسيّة}} \times 100\ \% \quad \ldots (1.1.19)$$

2.19 مبدأ عمل التجربة و النظرية المُستندة عليها:–

ان فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) هو تجربة قص اختراق تحت مُعدّل ثابت اذ يُدفع غاطس في التربة بمُعدّل ثابت و تُقاس القوّة المطلوبة اللازمة للحفاظ على هذا المُعدّل بمُددٍ مناسبةٍ. تُرسم علاقة الثقل – الاختراق على ورق بياني بحيث يُمكن قراءة الأثقال المُقابلة لاختراقات قياسية و يُعبّر عنها بنسب مئويّة من أثقال قياسيّة. تُعرّف النسبة المقبولة *بنسبة تحمل كاليفورنيا* أو *قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا* (*CBR*) للتربة في الحالة التي تمّ الفحص عندها. بالإمكان اعتبار قيمة (CBR) مقياس غير مباشر لمقاومة القص في التربة لكن لا يُمكن ربطها مباشرة بمعاملات مقاومة القص. انّ شكل الفشل الحاصل في التربة تحت الغاطس مُبيّنٌ في شكل رقم (1.2.19).



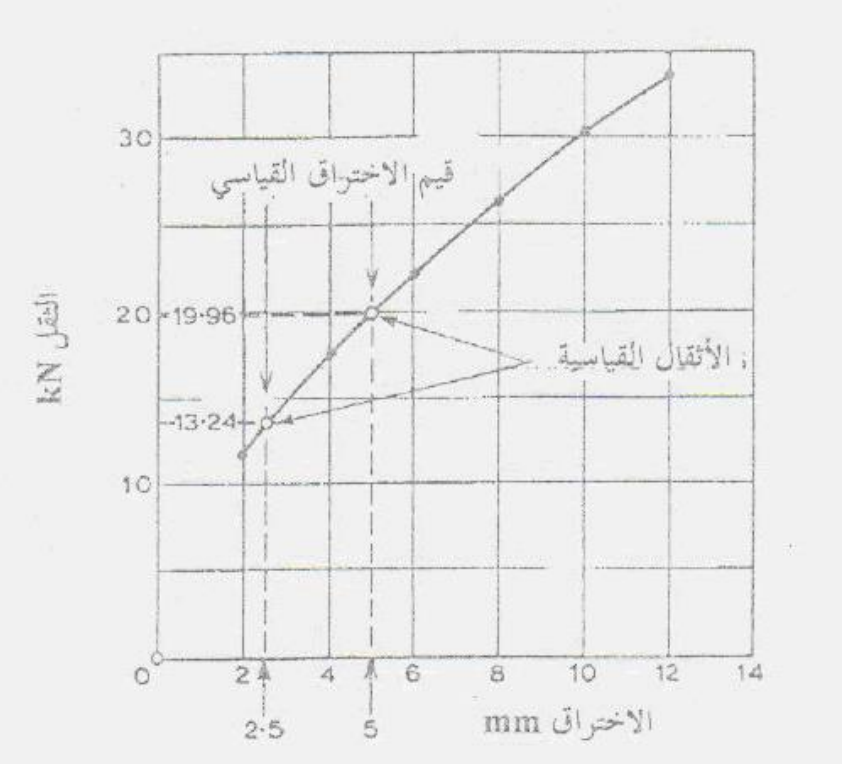
شكل رقم (1.2.19) – تقنية الفشل المُفترضة في التربة تحت مدك جهاز نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) (بعد بلاك Black – 1961)

تمّ اشتقاق تجربة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من تجارب لا تعتمد على مفاهيم نظرية. انّ الحساب الوحيد الضروري للتعبير عن القوّة المُقاسة لاختراق مُعيّن كنسبة مئوية من القوّة القياسية للاختراق نفسه هي المعادلة رقم (1.1.19).

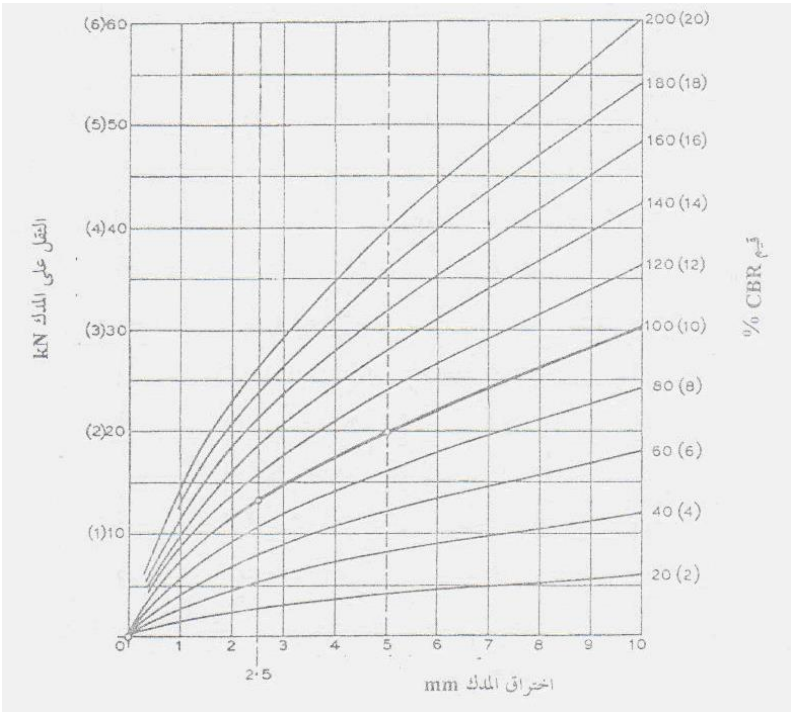
تعطي المواصفات البريطانيّة القوى القياسيّة المُقابلة لاختراقات ذات مدى من 2 الى 12 mm مليمتر و كما مُبيّن في جدول رقم (1.2.19). تُمثّل القيم المُقابلة الكاملة في الجدول قوى تحت اختراقين قدرهما 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر و هما المستخدمان في الحسابات القياسيّة لقيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR). يكافئ هذان المبدأ الأصلي لضغطي تماس تحت غاطس ذي مساحة مقطع 3 in^2 انج مربّع قدرهما 1000 Ib / in^2 باوند / انج مربّع عند اختراق 0.1 in انج و 1500 Ib / in^2 باوند / انج مربّع لاختراق 0.2 in انج على التتالي. اعتمدت هذه القوى القياسيّة على تجارب ذات نماذج حجر مُهشّم مرصوص و بالتعريف ترتبط بقيمة من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) قدرها 100 %. يُبيّن شكل رقم (2.2.19) علاقة الثقل – الاختراق المُقابل لها بوساطة المُنحني السميك في شكل رقم (3.2.19). يُظهر شكل (3.2.19) كذلك مُنحنيات تقابل قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) أُخرى عديدة من 20 الى 200%. بالإمكان الحصول على مُنحنيات القيم الوسطيّة من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بوساطة الاستدلال. بالإمكان ظهور قيم من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) اكبر من 100 % مثلاً على ترب مُثبّتة. انّ قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) هي بالتحديد مقدار يُعبّر عن المعلومات المُستحصلة من

جدول رقم (1.2.19) – معلومات الفحص من المواصفات البريطانيّة

فحص 2			فحص 1			القوة القياسية	الاختراق
نسبة تحمل كاليفورنيا CBR	القوة المصححة	قراءة القوة	نسبة تحمل كاليفورنيا CBR	القوة المصححة	قراءة القوة		
kN	kN	kN	%	kN	kN	kN	mm
		0.19			1.0		0.25
		0.28			2.42		0.50
		0.51			3.45		0.75
		0.68			4.35		1.00
		0.91			4.75		1.25
		1.10			5.41		1.50
		1.32			6.20		1.75
		1.59			6.51	11.50	2.00
		2.00			6.57		2.25
43	5.7	2.75	54	7.15	7.33	13.24	2.50
		3.18			7.40		2.75
		3.72			7.61		3.00
		4.20			7.83		3.25
		4.61			8.36		3.50
		5.41			8.42		3.75
		5.61			8.65	17.60	4.00
		5.80			8.82		4.25
		6.33			8.85		4.50
		6.51			9.21		4.75
42	8.4	6.87	47	9.30	9.34	19.96	5.00
		7.00			9.47		5.25
		7.45			9.73		5.50
		7.51			9.77		5.75
		7.72			9.91		6.00
		8.01			10.03		6.25
		8.30			10.07		6.50
		8.31			10.31		6.75
		8.71			10.38		7.00
		8.81			10.42		7.25
		9.05			10.59		7.50



شكل رقم (2.2.19) – منحني ثقل / اختراق قياسي لنسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) قدرها 100%



شكل رقم (3.2.19) – منحنيات لقيمة ثابتة من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و بالامكان استحصال القيم المتوسطة بوساطة الاستكمال (تشير الارقام بين الاقواس الى قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) اوطأ من 20%)

مُنحني الثقل – الاختراق كقيمة عددية مُنفردة.

تجري تجربة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) عادةً على نموذج يُمثّل الظروف المُتوقّع حدوثها في الحقل لأقرب ما مُمكن. اذا كانت الكثافة الحقلية و محتوى الرطوبة معلومة, بالإمكان تحضير نموذج تجربة يُحقّق هذه الظروف. تُعطى أعمال املائيات الطرق الترابية في اغلب الأحيان بدلالة مدى محتوى الرطوبة المسموح و مُحتوى المسام (الفراغات) الهوائيّة العُظمى. يُحدّد مدى محتوى الرطوبة المسموح العلاقة مع محتوى الرطوبة الأمثل بوساطة احدى طرق الرص المختبريّة القياسيّة. قد تكون نسبة المسام (الفراغات) الهوائيّة العُظمى المسموحة 5 % من الحجم الكُلّي عادةً.

تُعطى كثافة التربة الجافّة ذات محتوى من الرطوبة قدرها (w %) مع محتوى هوائي قدره (Va %) (يُعبّر عنه كنسبة مئوية من الحجم الكُلّي) بالمعادلة التالية:–

$$\rho_D = \frac{1 - \frac{Va}{100}}{\frac{1}{Gs} + \frac{w}{100}} \cdot \rho_w \qquad \dots (1.2.19)$$

انّ اشتقاق المعادلة أعلاه موجود في قسم رقم (2.1.8) و هي معادلة (6.8) نفسها كذلك.

انّ الكثافة الرطبة المُستحصلة من هذه المعادلة هي:–

$$\rho = \frac{100 + w}{100} \cdot \rho_D \qquad \dots (2.2.19)$$

التي هي إعادة ترتيب لمعادلة رقم (12.2.1.7). يُمكن حساب الكثافة الجافّة بوساطة جمع المعادلتين (1.2.19) و (2.2.19) من حيث كتلة التربة المطلوبة لملأ قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بعد الرص أو الانضغاط باستخدام المعادلة التالية:–

$$\rho = \frac{(1 - \frac{Va}{100})(1 + \frac{w}{100})}{\frac{1}{Gs} + \frac{w}{100}} \qquad \dots (3.2.19)$$

3.19 تحضير نموذج التجربة:–

1.3.19 الطرق المُتبّعة:-

بالإمكان تحضير نماذج مسبوكة لتجارب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من نموذج غير مُتخلخل أمّا بوساطة الانضغاط الساكن أو بالرص الحركي أو الاهتزاز. كبديل عن هذا, بالإمكان إجراء تجربة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) على نموذج غير متخلخل (أما نموذج طبيعي أو من مادّة مرصوصة في الموقع) مأخوذ من قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR).

انّ تحضير المادّة لعمل كافّة أنواع النماذج المسبوكة مشروح في قسم رقم (2.3.19).

في سبيل تحديد مواصفة لكثافة جافّة أو نسبة مسام (فراغات) عُظمى, بالإمكان حساب الكتلة الدقيقة المطلوبة للتربة. انّ طرق تحضير نماذج التجربة مُعدّدة في أدناه و انّ شرحها موجود في الأقسام رقم (3.3.19) إلى (8.3.19). انظر الى شكل رقم (1.1.3.19) كذلك.

الإنضغاط الساكن:-

1. الوضع بطبقة واحدة مع الدق اليدوي يتبعه تحميل ساكن للحصول على كثافة جافّة مطلوبة (قسم رقم (3.3.19)).
2. الوضع و الانضغاط الساكن بثلاث طبقات للحصول على كثافة جافّة مُعطاة (قسم رقم (4.3.19)).

الرص الحركي (الديناميكي):-

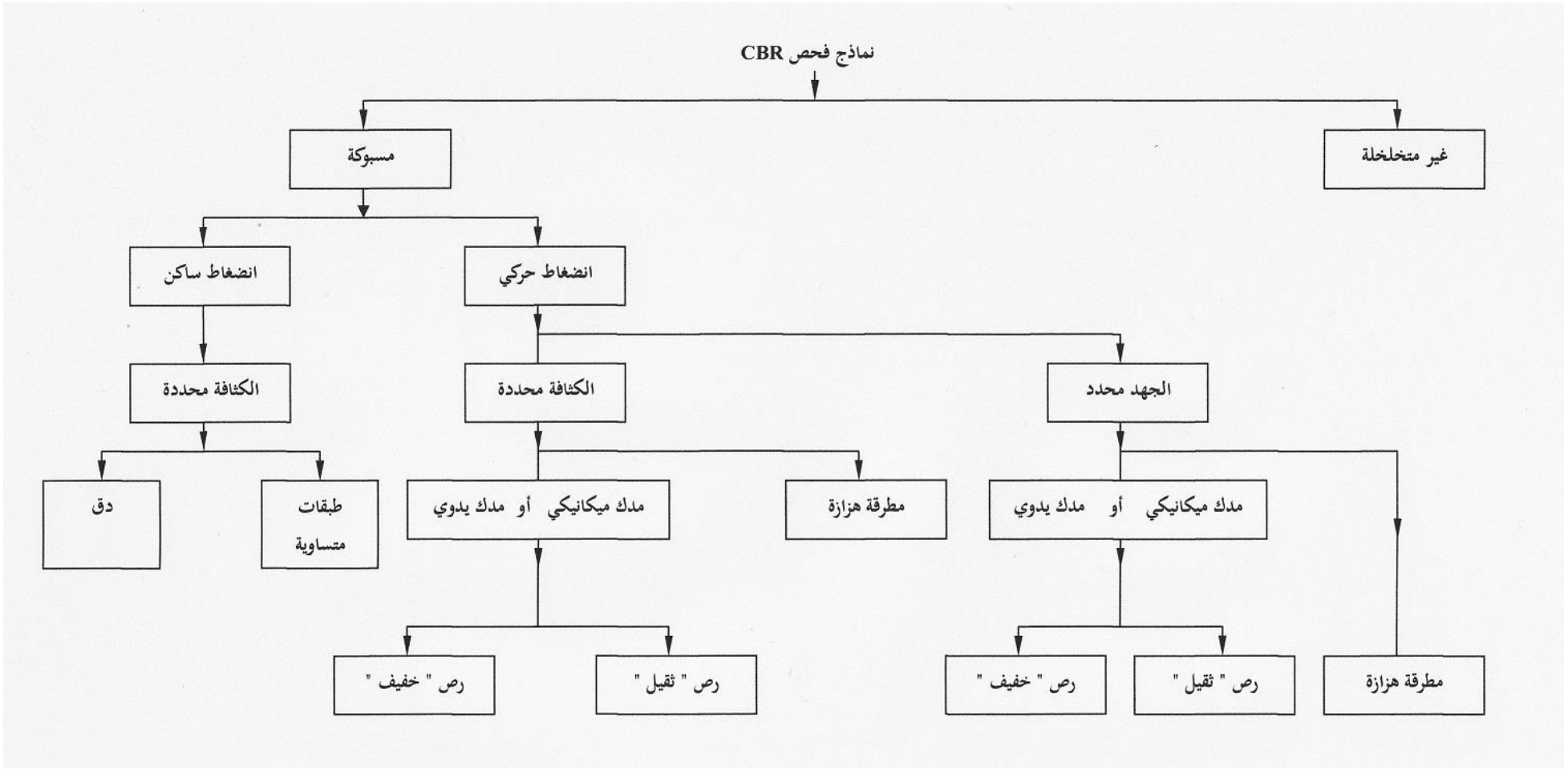
3. الرص بالمدك اليدوي الى كثافة جافّة مُعطاة (قسم رقم (5.3.19)).
4. الرص بالمدك اليدوي باستخدام طاقة رص مُحدّدة (قسم رقم (7.3.19)).

الرص بالإهتزاز:-

5. الرص بمطرقة هزّازة للحصول على كثافة جافّة مُعطاة (قسم رقم (6.3.19)).
6. الرص بالمطرقة الهزّازة باستخدام طاقة رص مُحدّدة (قسم رقم (7.3.19)).

غير متخلخل:-

7. اخذ نموذج غير مُتخلخل من الموقع و كما مشروح في (قسم رقم (8.3.19)).



شكل رقم (1.1.3.19) – طرق تحضير نماذج الفحص (من المواصفات البريطانيّة – BS)

فيما يخص الطرق (1) و (2) و (3) و (5), يجب ان تكون كثافة التربة الجافّة التي تجري عليها التجربة معروفة. تُستخدم الكثافة الجافّة (ρ_D) بدلاً عن الكثافة (المُتضخّمة) الرطبة (ρ) لأن توثّر الكثافة الجافّة بشكلٍ مباشرٍ عل المقاومة كما يُمكن ربط حالة التربة الى منحني الرص.

انّ طريقة تنقيع نماذج تجربة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) مُعطاة في القسم رقم (9.3.19) و لكن التنقيع غير موصوف في ممارسة المواصفات البريطانية (BS 1377 : 1975 Test 16) في حين ان المواصفة الأمريكية تتطرق لذلك (ASTM D 1883 – 73).

2.3.19 تحضير المادة:-

يجب تحضير مادّة مسبوكة لعمل نماذج تجربة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بشكلٍ صحيح حتى تتحقّق ظروف التجربة القياسيّة.

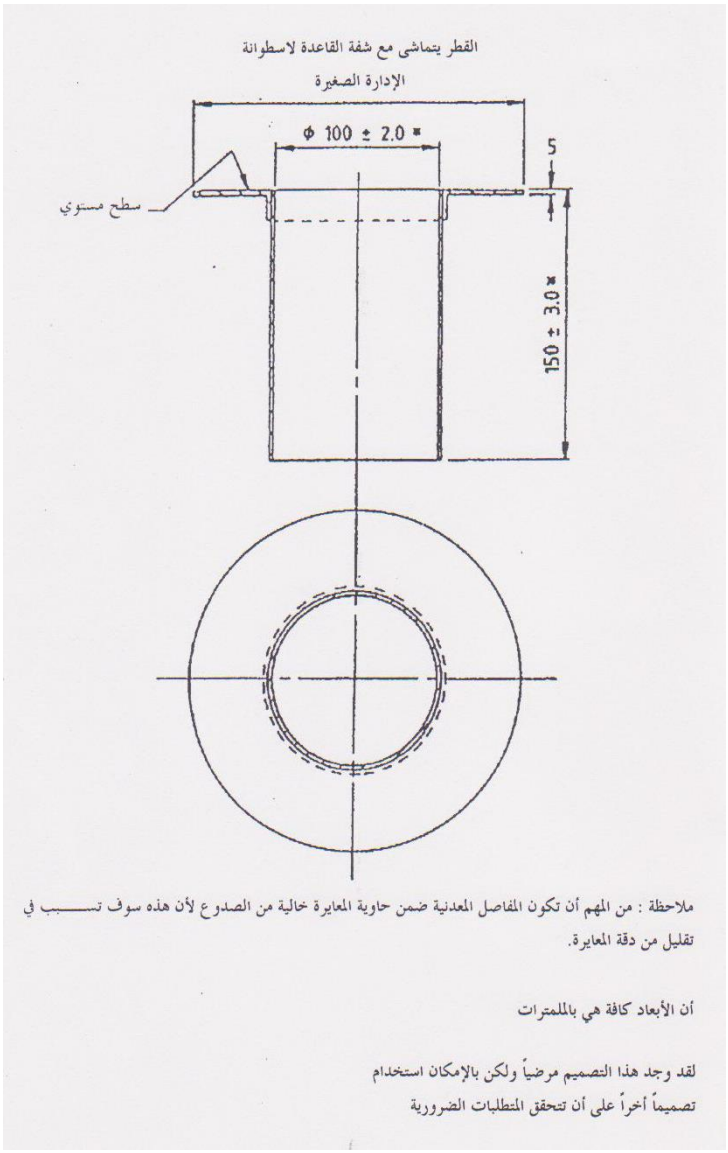
تجري التجربة على تربة تحتوي على دقائق لا تكبر عن 20 mm مليمتر. يجب ان يكون محتوى رطوبة التجربة معلوماً و يُوصف عادةً لكونِهِ مُمثّلاً لحالة المادّة التي تنطبق على الموقع. كبديل عن ذلك, قد يكون مرغوباً عمل مجموعة من التجارب على مدى مُعطى من محتويات الرطوبة و بهذه تُحضّر عدّة وجبات من التربة.

تعتمد طرق التحضير الموصوفة في أدناه على المواصفة البريطانية (BS 1377 : 1975 Test 16).

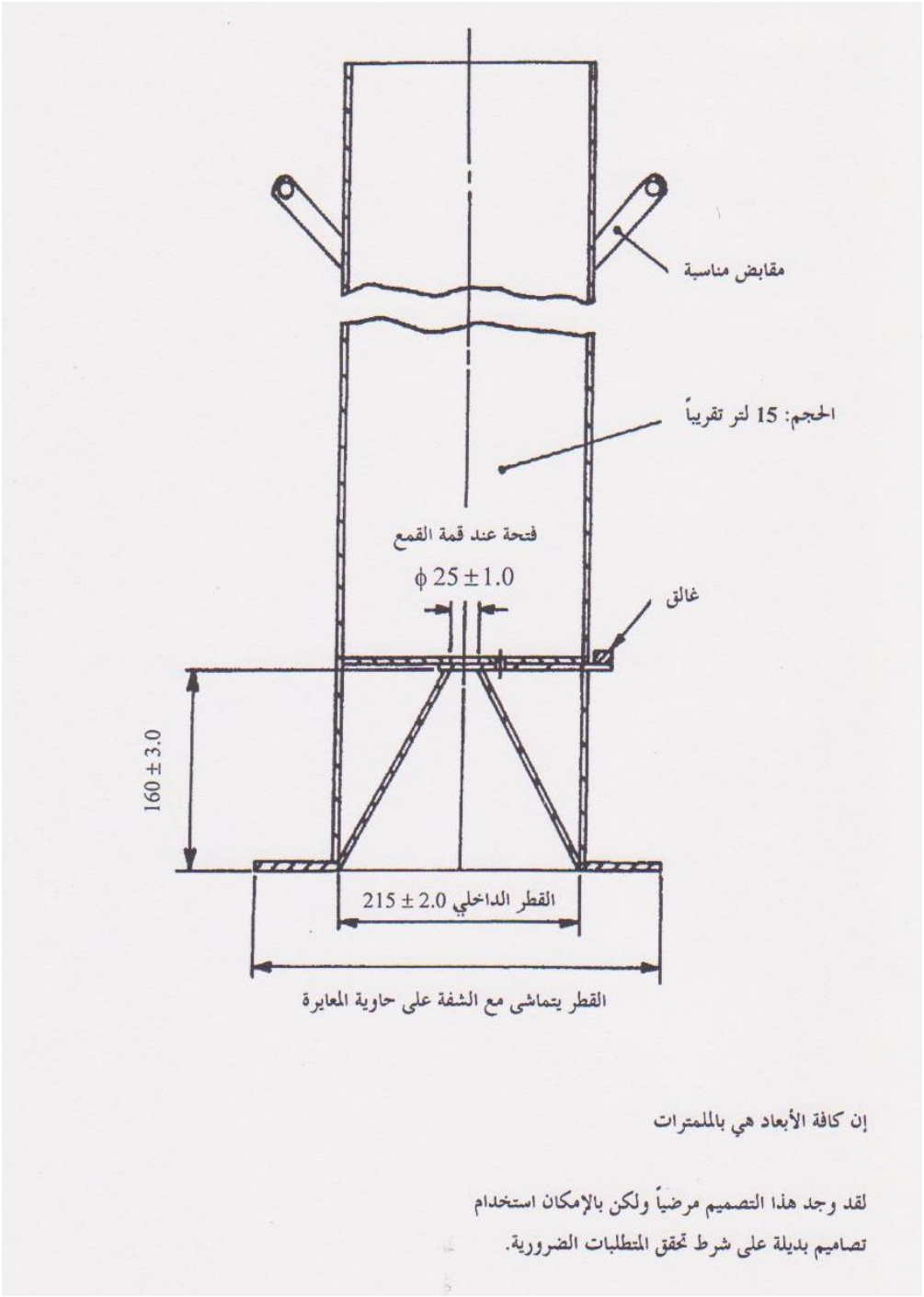
1.2.3.19 المُعدّات المُستخدمة:-

1. صندوق خلط كبير بكفاية لتقسيم النموذج الاصلي كما مُبيّن في شكل رقم (1.1.1.5.1).
2. ميزان رصين بطاقة 20 kg كيلوغرام يقرأ لأقرب 1 gm غرام أو 5 gm غرام كما مُبيّن في شكل رقم (1.1.2.3.19).
3. مناخل بريطانيّة (BS) ذات أقطار فتحات 300 mm مليمتر و 20 mm مليمتر و 5 mm مليمتر و مُتلقّية.
4. صينيّة معدنية كبيرة (بأبعاد مثلاً 760 x 760 mm مليمتر و بعمق 63 mm مليمتر.
5. مطرقة مطّاطية مع سندان.
6. فرن تجفيف بدرجة حرارة قصوى من (110) الى (105) °C درجة مئويّة و مُعدّات حساب مُحتوى الرطوبة.
7. اسطوانات قياس بحجم 500 ml مليلتر و 250 ml مليلتر او البريطانية المُبيّنة في الاشكال رقم (2.1.2.3.19) و (3.1.2.3.19) و (4.1.2.3.19).

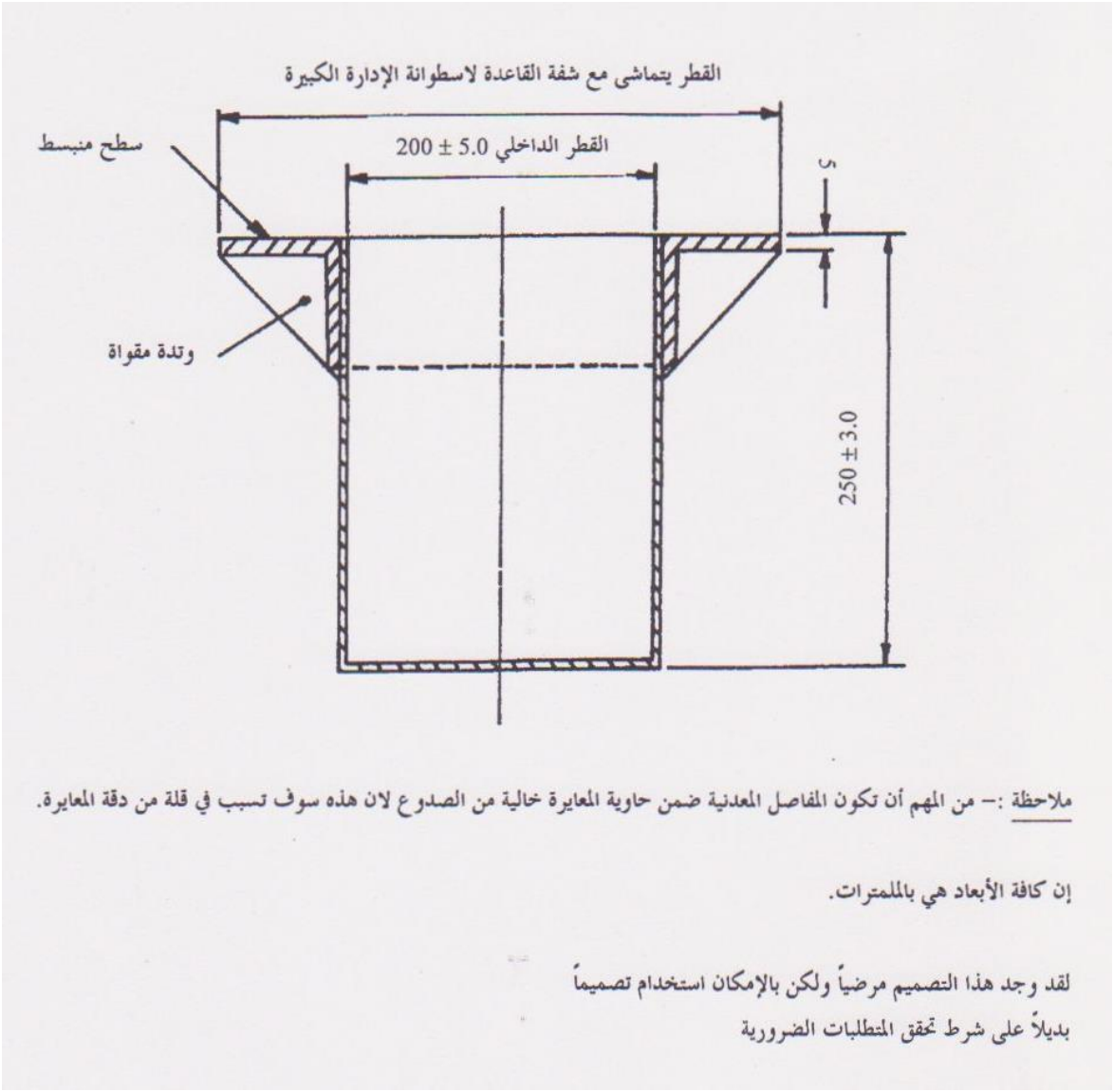
شكل رقم (1.1.2.3.19) – ميزان بطاقة 20 كيلوغرام منتج من قبل شركة ELE البريطانيّة



شكل رقم (2.1.2.3.19) – حاوية المُعايرة للاستخدام مع اسطوانة الادارة الصغيرة



شكل رقم (3.1.2.3.19) – اسطوانة الادارة الكبيرة لحساب كثافة التُرب الناعمة و المتوسطة و خشنة الحبّات

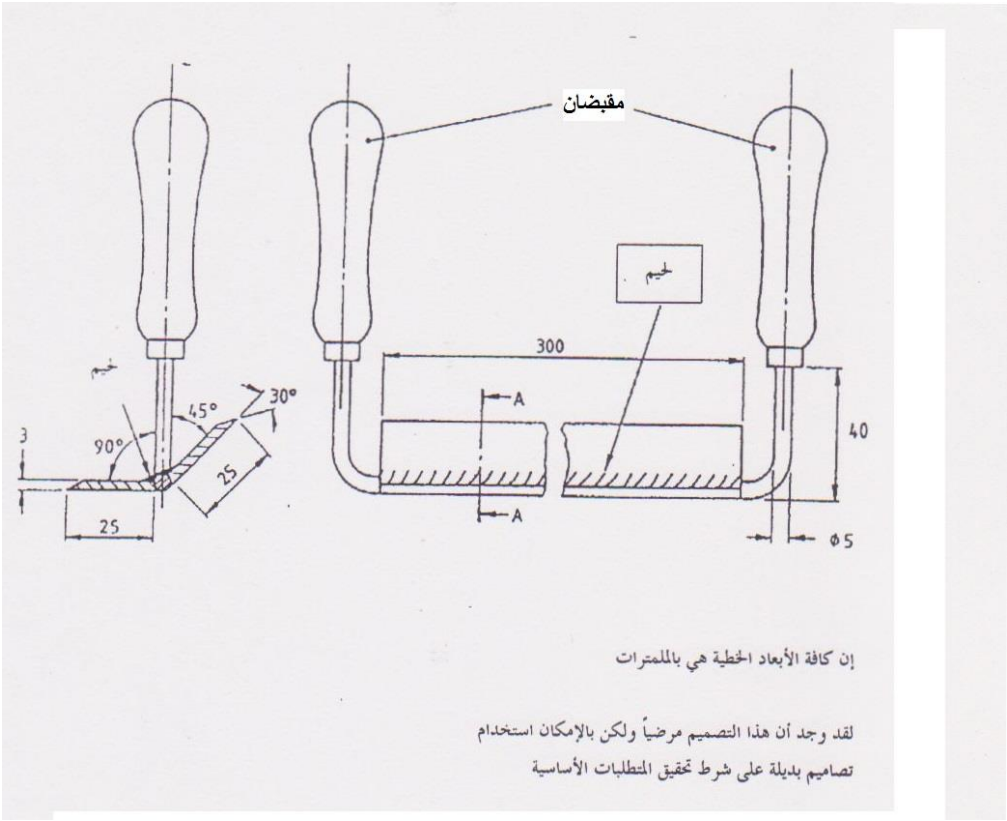


شكل رقم (4.1.2.3.19) – حاوية مُعايرة للاستخدام مع اسطوانة ادارة كبيرة

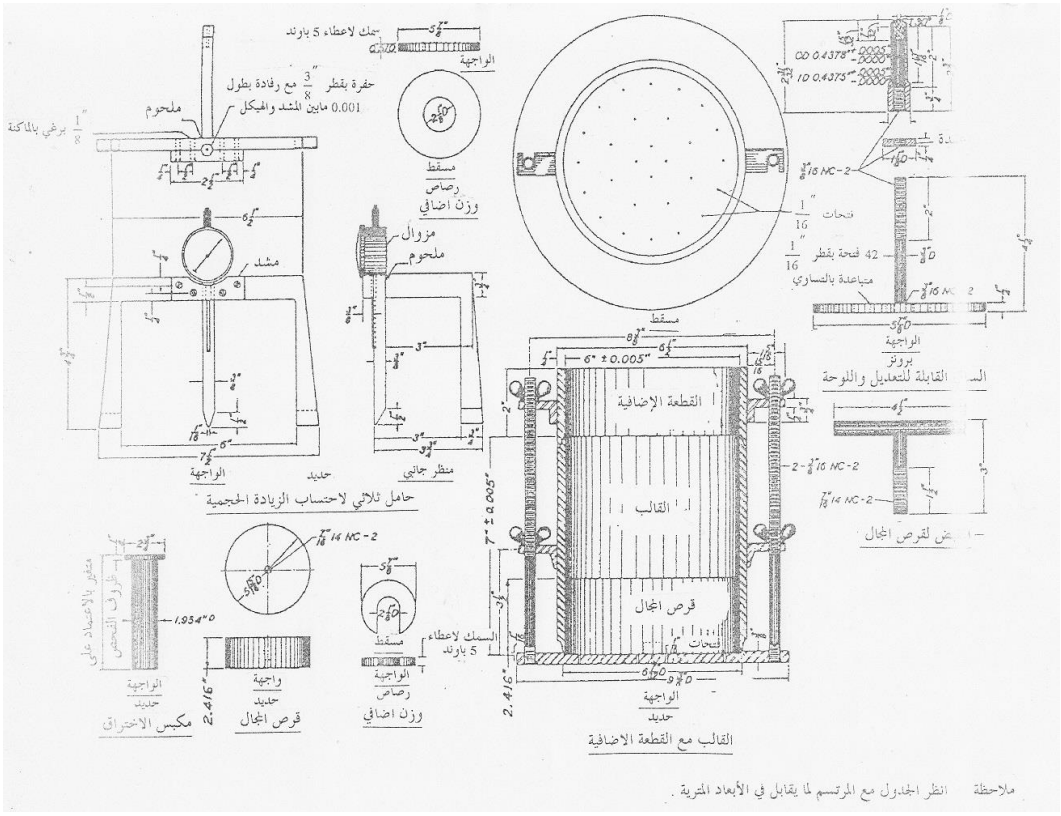
8. مُعدّات صغيرة مثل قاشطة و جارفة و سكينة (شكل رقم (5.1.2.3.19).
يُظهر الشكلان المرقّمان (6.1.2.3.19) و (7.1.2.3.19) المُعدّات القياسيّة المُدرجة في المواصفة الامريكية (ASTM D 1883 – 73).

2.2.3.19 طريقة العمل:-

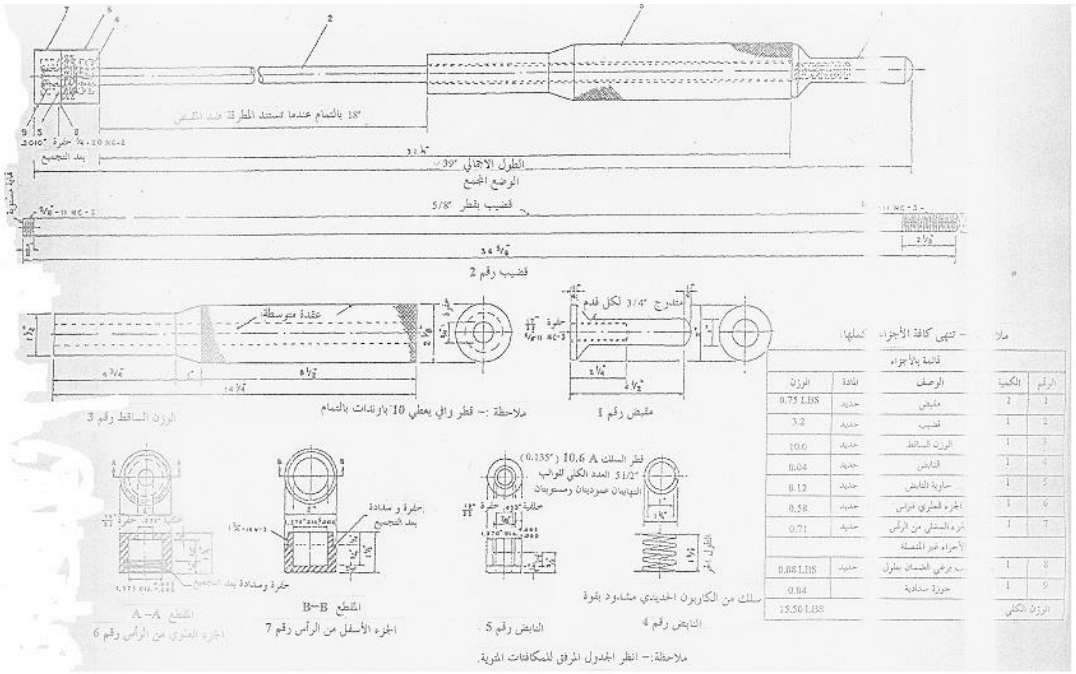
1. تحديدات حجم الدقيقة:-



شكل رقم (5.1.2.3.19) – قاشطة لتسوية سطح التربة



شكل رقم (6.1.2.3.19) – جهاز فحص نسبة تحمل كاليفورنيا



شكل رقم (7.1.2.3.19) – تفاصيل مدك الوزن المُنزلق – المُجمّع و التفاصيل

يوزن النموذج الكُلّي الذي تحضّر نماذج التجربة منه لأقرب gm 5 غرام. اذا حوت المادة على دقائق اكبر من mm 20 مليمتر, تُزال هذه اوّلاً بوساطة عبور التربة من خلال منخل mm 20 مليمتر. اذا كانت التربة مُتماسكة و تلتصق بشكل كبير أثناء العمل, قد يكون من المُفيد تجفيفها بالهواء جزئيّاً اوّلاً.

تُغسلْ و تُجفّفْ التربة المُتبقّية على منخل mm 20 مليمتر اذا كان ذلك ضرورياً و توزن كذلك. اذا لم تزد كتلتها عن 25 % من كتلة النموذج الأصليّة, لا يُعمل تصحيح لهذه الإزالة. اذا كانت الكُتلة المُتبقّية اكبر من هذه, يجب عندها تعويضها بكتلة شبيهة من الدقائق ذات أحجام تتراوح بين 5 mm مليمتر و mm 20 مليمتر مُستحصلة من وجبة منفصلة لتربة شبيهة.

2. تعديل محتوى الرطوبة:–

تأكّد اوّلاً من محتوى رطوبة النموذج كما تمّ تلقيه بوساطة أخذ أجزاء مُمثّلة بالطريقة القياسيّة في عمل التجفيف بالفرن (الفصل الثاني). اذا كان محتوى الرطوبة اكبر من المطلوب للتجربة, يُمكن تقليله بحذر بوساطة التجفيف الهوائي تحت التحكّم و من ثم تبليل النموذج ثانية اذا كان ذلك ضرورياً. يجب ان لا تُجفّف التربة بالفرن و من ثم يُعاد تبليلها. بالإمكان الحصول على تدقيق عام على مدى حاجة تربة رطبة للتجفيف بالشكل التالي:–

افرض انّ:– كتلة التربة الرطبة = W gm غرام.

محتوى الرطوبة الُمقاسة = $w_\circ$ %.

محتوى الرطوبة المطلوبة = w_1 % (اقل من $w_\circ$).

يُسمح للتربة بالجفاف في الهواء و توزن عند مدد مُختلفة. يصبح محتوى الرطوبة w_1 % عندما تُقلَّلْ كتلة التربة الرطبة الى W_1 gm غرام كما موصوف بالمعادلة التالية:–

$$W_1 = W \cdot \frac{(100 + w_1)}{(100 + w_\circ)} \quad \text{غرام gm} \quad \ldots (1.2.2.3.19)$$

اذا كانت التربة جافّة جداً, يجب تكسيرها بحيث لا يبقى ركام في الدقائق الأكبر من 5 mm مليمتر و من ثم يُضاف ماء مقطّر. يتم تقدير كميّة الماء المُضاف بالطريقة التالية:–

كتلة التربة = W (gm) غرام.

محتوى الرطوبة = $w_\circ$ %.

محتوى الرطوبة المطلوبة = w_2 % (اكبر من $w_\circ$ %).

يعطى مقدار الماء (m_w) الذي يجب ان يُضاف في سبيل زيادة مُحتوى الرطوبة من $w_\circ$ % الى w_2 % بالمعادلة التالية:–

$$m_w = W \cdot \frac{(w_2 - w_\circ)}{(100 + w_\circ)} \quad \text{غرام gm أو مليلتر ml} \quad \ldots (2.2.2.3.19)$$

أضفْ كميّة قليلة من الماء (مثل 0.5 % الى 1 % من W) للسماح بفقدان التبخّر. من الضروري مزج الماء بشكل جيّد مع التربة و من ثمّ يجب غلقها و خزنها لمدة 24 ساعة قبل الرص.

بعد تقليل أو زيادة مقدار الرطوبة في التربة, يجب ان يُدقّق محتوى الرطوبة الحقيقي بالقياس و تُعمل تعديلات إضافيّة اذا كان ذلك ضرورياً.

عند الحاجة لوجبات مُنفصلة مُتعدّدة, يجب الحصول عليها من النموذج الأصلي بوساطة صندوق الخلط أو طريقة التربيع الموصوفة في قسم رقم (2.5.1). تعتمد كميّة التربة المطلوبة لتحضير كل

نموذج تجربة على الكثافة الُمعطاة التي يجب ان نحصل عليها أو على جهد الرص المعلوم الذي يجب ان يُسلّط.

3. تحضير كتلة التربة المطلوبة:-

استخدم أية طريقة مناسبة من التالية:-

أ. المواصفة بوساطة الكثافة الجافّة (الاقسام من رقم (3.3.19) الى (6.3.19)):-

تُمثّل الكثافة الرطبة المطلوبة لملأ قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من النوع البريطاني (BS) (ذو حجم إجمالي بحدود 2305 cm^3 سنتيمتر مكعّب) لاعطاء كثافة جافّة قدرها (ρ_D) (Mg / m^3 – ميغاغرام/المتر المكعّب) تحت محتوى رطوبة (w %) بوساطة m_1 (gm – غرام) و تُحسب من المعادلة التالية:-

$$m_1 = 2305 \, (100 + w) \, . \, \rho_D \qquad \text{غرام gm} \qquad \ldots (3.2.2.3.19)$$

توزن الكتلة بالتجربة بعد وضع النموذج الأصلي في صندوق الخلط أوّلاً (اذا كان ذلك ضرورياً) الى مقدار قريب منها. يجب توخّي الحذر للتأكّد من جزء أيّة مادة خشنة حاضرة موجودة نفسها في النموذج الأصلي.

ان الحجم الإجمالي لقالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من النوع الامريكي (ASTM) الموضوع على لوحة المجال (انظر قسم رقم (3.3.19)) هو 2124 cm^3 سنتيمتر مكعّب (0.075 ft^3 قدم مكعّب).

اذا اختلف الحجم المُقاس عن الحجم الأصلي و المُمَثَّل بالرمز (V_m) (cm^3 سنتيمتر مكعّب), تُستبدل المعادلة رقم (3.2.2.3.19) بالمعادلة التالية:-

$$m_1 = \frac{V_m}{100} \, . \, (100 + w) \, . \, \rho_D \qquad \ldots (4.2.2.3.19)$$

ب. المواصفة بوساطة مُحتوى مسام (فراغات) الهواء:-

يُمثّل محتوى مسام (فراغات) الهواء المسموح الاعظم بالرمز (Va %) تحت محتوى رطوبة قدره w % و يُمثّل وزن دقائق التربة النوعي بالرمز (Gs). تُحسب كثافة التضخّم المُقابلة ρ (Mg / m³ ميغاغرام/متر مكعّب) من المعادلة رقم (3.2.19).

تُساوي كتلة التربة الرطبة المطلوبة لملأ قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بحجمِهِ الإجمالي الى ρ (gm) 2305 غرام. تُحسب الكثافة الجافّة المُقابلة لها من المعادلة رقم (1.2.19).

ج. المواصفة بوساطة جهد الرص (قسم رقم (7.3.19)):-

لن تكون كتلة التربة الدقيقة المطلوبة لملأ القالب معلومة. لذلك يجب تحضير 6 kg كيلوغرام من التربة لكل نموذج و كما موصوف في أعلاه. يعتمد عدد النماذج التي تُفحص على عدد محتويات الرطوبة التي يجب ان تُعطى.

3.3.19 الإنضغاط الساكن مع الدق:-

1.3.3.19 المُعدّات المُستخدمة:-

1. قالب معدني اسطواني (قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من نوع (BS)) ذو أبعاد داخليّة قدرها 152 mm مليمتر قطر و 127 mm مليمتر ارتفاع مع لوح قاعدي قابل لفك الارتباط و لوح علوي و قطعة الإضافة بعمق 15 mm مليمتر. لقد أُعطيت تفاصيل نوع من هذا القالب في شكل رقم (1.1.3.2.8).

   يحتوي النوع الأول على ساحبتين مُثبّتتين بوساطة براغي ذات أجنحة في حين ان النوع الثاني مُثبتة بوساطة غضاريف تدور عليها قطعة إضافة القالب.

   يكون قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من النوع الأمريكي (ASTM D – 1883) ذو قطر 6 in (152 mm مليمتر) و بارتفاع 7 in (177.8 mm مليمتر) مع قطعة إضافة مُنفصلة (شكل رقم (1.1.3.3.19)). يوضع قرص فاصل بقطر 5.94 in انج (150 mm مليمتر) و بارتفاع 8.416 in انج (61.4 mm مليمتر) في الأسفل بحيث يتم الحصول على نموذج بارتفاع 4.4584 in انج (116.4 mm مليمتر) عند التقطيع النهائي مع أعلى القالب و كما في القالب الامريكي (ASTM) (قالب بروكتور المعدّل).
2. سدّادة مجال حديديّة بقطر 150 mm مليمتر و سمك 50 mm مليمتر اذ يُمكن تثبيت مقبض رفع قابل للتفكيك و كما مُبيّن في شكل رقم (2.1.3.3.19.أ) .
3. قضيب دق حديدي بقطر حوالي 20 mm مليمتر و بطول 400 mm مليمتر.

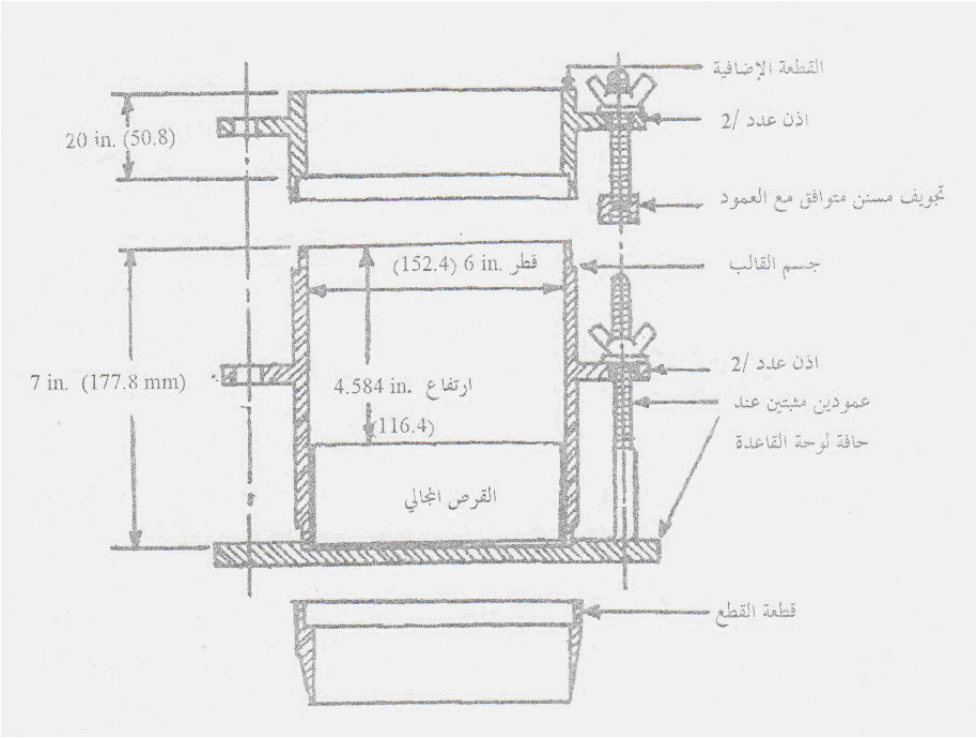
4. أوراق ترشيح بقطر 150 mm مليمتر.

5. ماكنة ضغط لتسليط ضغط ساكن و كبس التربة في القالب. انّ قوة الانضغاط القُصوى المطلوبة هي 300 kN كيلونيوتن. يجب ان لا تكون ألواح الماكنة بأبعاد اقل من 200 mm^2 مليمتر مربّع و قابلة لانفصال لا يقل عن 300 mm مليمتر كما مُبيّن في الشكلين رقم (3.1.3.3.19) و (4.1.3.3.19).

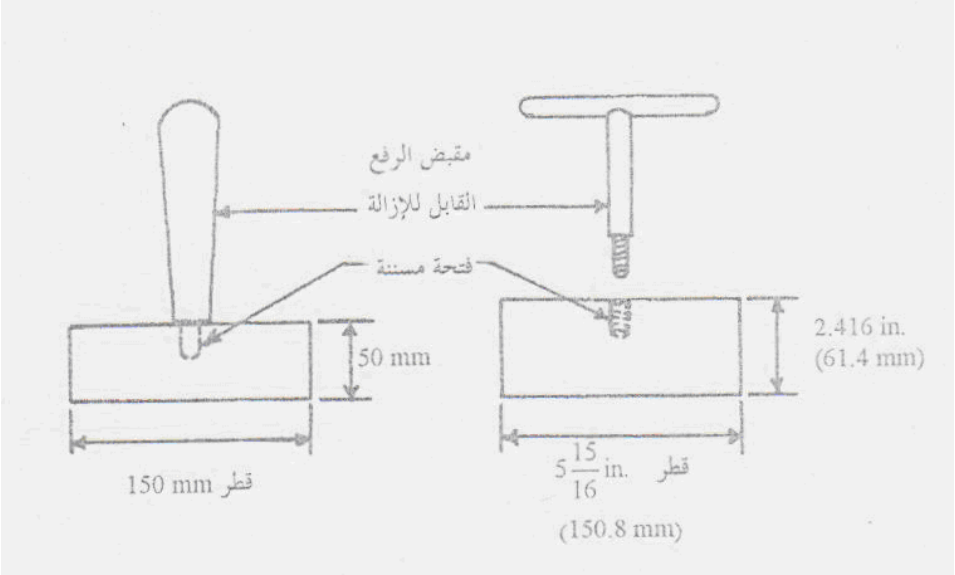
6. حافّة حديديّة مُستقيمة بطول 300 mm مليمتر.

7. ميزان (من المُفضّل ان يحوي على كفّة) بطاقة 25 kg كيلوغرام و بدقّة تصل الى حد 5 gm غرام.

8. مفتاح رابط على شكل حرف (C) و بعدد اثنين ليتوافق طول الجسم و قطعة الإضافة لقالب من نوع مُحزّز الدوران و مُعدّة استرجاع لوحة القاعدة كما مُبيّن في شكل رقم (5.1.3.3.19).



شكل رقم (1.1.3.3.19) – ترتيب قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و ارتباطاته (من النوع الامريكي (ASTM)) (انّ الابعاد بين الاقواس هي بالمليمترات)



شكل رقم (2.1.3.3.19) – اقراص المجال و رافعات قوالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR). في اليمين نوع المواصفة الامريكية (ASTM) و في اليسار نوع المواصفة البريطانية (BS)

شكل رقم (3.1.3.3.19) – هيكل تحميل قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

شكل رقم (4.1.3.3.19) – قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا CBR في داخل هيكل التحميل

شكل رقم (5.1.3.3.19) – مفاتيح الربط الى جنب قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

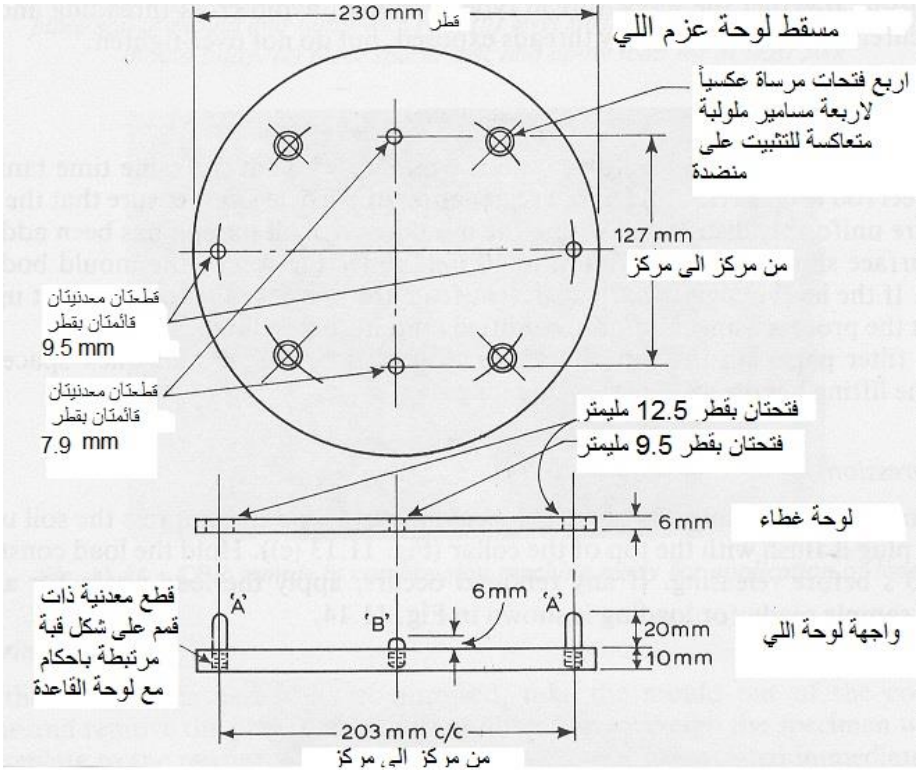
9. اذا أُجريت تجارب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بشكلٍ دائمٍ في قالب دوران, تُربط لوحة معدنيّة دائريّة مثبت عليها أوتاد ناتئة مُناسبة بمنضدة الإحكام و يكون فك القوالب و الأغطية و القواعد اكثر سهولة و اماناً. انّ تفاصيل إحداها مُبيّنة في شكل رقم (6.1.3.3.19) اذ تمّ تصميمها في مختبر النقل و بحوث الطرق في بريطانيا (TRRL).

2.3.3.19 طريقة العمل:-

1. تحضير المُعدّات:-

يجب ان تكون أجزاء مُركّبات القالب نظيفة و جافّة. يجب ان تكون مُحزّزات الدوران و أسطح المزاوجة نظيفة و غير تالفة و يجب ان تُدهن بطبقة خفيفة جداً.

رَكّبْ القالب و لوح القاعدة بإحكام كما مُبيّن في الشكلين رقم (1.2.3.3.19) و ضَعْ دورق ترشيح لتغطية القاعدة. زِنْ لأقرب 1 gm غرام (m_2). خُذْ قياس الحجم الداخلي (V_m). قد تتغيّر الأبعاد المُثبّتة في المُعدّات المُستخدمة في الفقرة رقم (1) قليلاً بسبب التلف من الاستعمال المُتكرّر.



شكل رقم (6.1.3.3.19) – لوحة لي مُرتبطة بمنضدة لتمسك بقاعدة قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) المُسنّن. تُضبّط قاعدة الغطاء عند الامساك بقبعة القمّة (تصميم موضوع من قبل مختبر بحوث النقل و الطرق (TRRL) في المملكة المتحدة)

خُذْ قياس عمق قطعة الإضافة و سمك سدّادة المجال لأقرب 0.1 mm مليمتر. ثبّتْ قطعة الإضافة بإحكام على أعلى القالب.

عند التثبيت سوية في قالب من نوع مُحزّز الدوران, تحاشى التحزيز العابر و ثبّتْ يدوياً بإحكام بدون ترك أية حزوز مكشوفة و لكن لا تحكم الإغلاق اكثر من المطلوب.

شكل رقم (1.2.3.3.19) – اخذ قياسات قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) نظيف من التربة

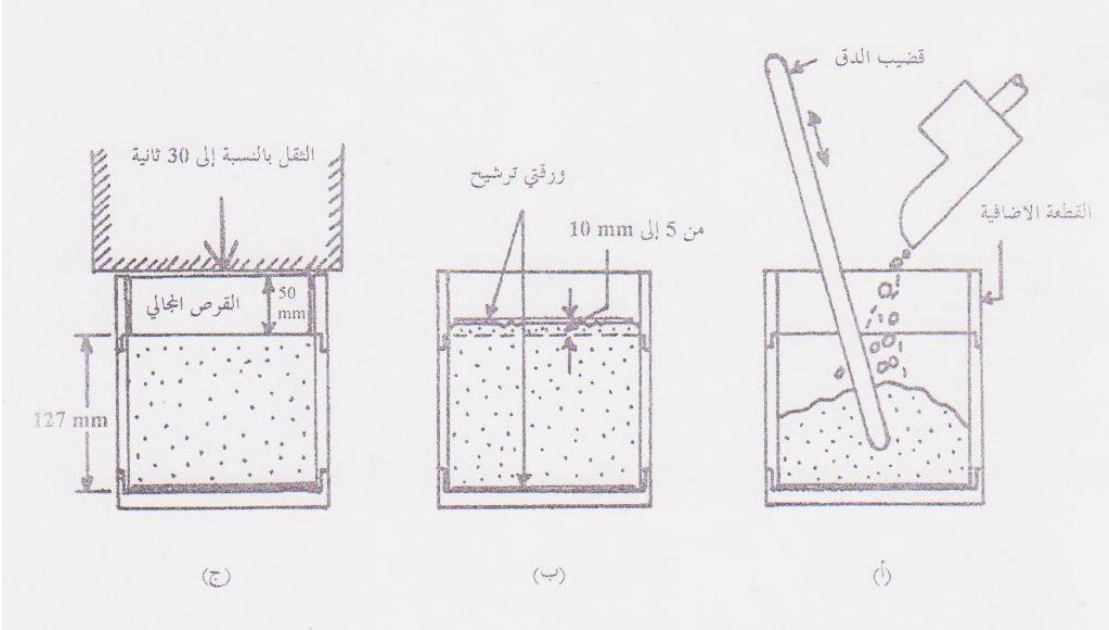
2. ملأ القالب:–

أضفْ الوجبة المُحضّرة من التربة الى القالب ببطء بينما يتم الدَقْ بوساطة قضيب حديدي في الوقت نفسه (شكل رقم (2.2.3.3.19.أ)). تجنّبْ انعزال أحجام الدقائق و تأكّدْ أنَّ اكبر الدقائق موزّعة بانتظام ضمن القالب. عند إكمال إضافة كل التربة, يجب ان يكون السطح المُعدّل حوالي 5 mm مليمتر الى 10 mm مليمتر الى الأعلى من قمّة جسم القالب (شكل رقم (2.2.3.3.19.ب)). اذا كان المستوي مختلف بشكل كبير عن هذا, أزلْ التربة و كسّرها ثانية و اعدْ الطريقة باستخدام طَرِقْ مُعدّل مناسب.

ضَعْ ورقة ترشيح في أعلى التربة و من ثم سدادة المجال ذات سمك 50 mm مليمتر. أَزلْ مقبض الرفع بعد وضع السدادة. لاحظ الاشكال المرقمة (3.2.3.3.19) و (4.2.3.3.19) و (5.2.3.3.19).

3. الإنضغاط:–

ضَعْ القالب في ماكنة الانضغاط و سلّطْ ثقلاً لكبس التربة لحين خروج أعلى السّدادة مع أعلى قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (2.2.3.3.19.ج). ابقِ الثقل ثابتاً لمدّة لا تقل عن sec. 30 ثانية قبل الإزالة. اذا حصل أي استرجاع, سلّطْ الثقل ثانية لمدّة أطول.



شكل رقم (2.2.3.3.19) – وضع و كبس التربة الساكن في قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) (الفحص البريطاني (BS)):- (أ) ضَعْ التربة في القالب و دُقْ باستخدام القضيب و (ب) عدّل السطح من 5 الى 10 mm مليمتر الى الاعلى من جسم القالب و (ج) ضَعْ القرص المجالي و سلّط الثقل لمدة 30 ثانية على الاقل

4. المراعاة:-

عند انضغاط النموذج بشكل كامل, أَزلْ القالب من ماكنة الانضغاط و أَزلْ السدّادة و قطعة الإضافة و ورقة الترشيح العُليا. زِنْ النموذج مع القالب و لوح القاعدة لأقرب 5 gm غرام (m_3). اذا لم يُفحص النموذج مباشرة, ثبّتْ اللوح العلوي على القالب و أَخزنْهُ في مكان بارد لمنع فقدان الرطوبة.

اذا كانت التربة طينية أو ترب قريبة من الإشباع الكُلّي (مسام (فراغات) الهواء اقل من 5 %), يجب السماح للنموذج في البقاء لمدّة 24 ساعة قبل التجربة للسماح بالاتزان و التبدّد لأيّة زيادة في ضغوط المسام (الفراغ) التي حدثت بسبب عملية الانضغاط.

شكل رقم (3.2.3.3.19) – قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بعد وضع التربة فيه

شكل رقم (4.2.3.3.19) – القرص المجالي فوق قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

شكل رقم (5.2.3.3.19) – وضع قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) في موقعِهِ على قاعدة هيكل التحميل

4.3.19 الإنضغاط الساكن بطبقات:–

1.4.3.19 المُعدّات المُستخدمة:–

تُستخدم مُعدّات القسم السابق رقم (1.3.3.19) نفسها مع استعمال ساحبتي مجال إضافيتين (الفقرة رقم (2)) اذ يصبح مجموعها ثلاث.

2.4.3.19 طريقة العمل:–

1. تحضير المُعدّات:–

كما في المرحلة الاولى من القسم رقم (3.3.19).

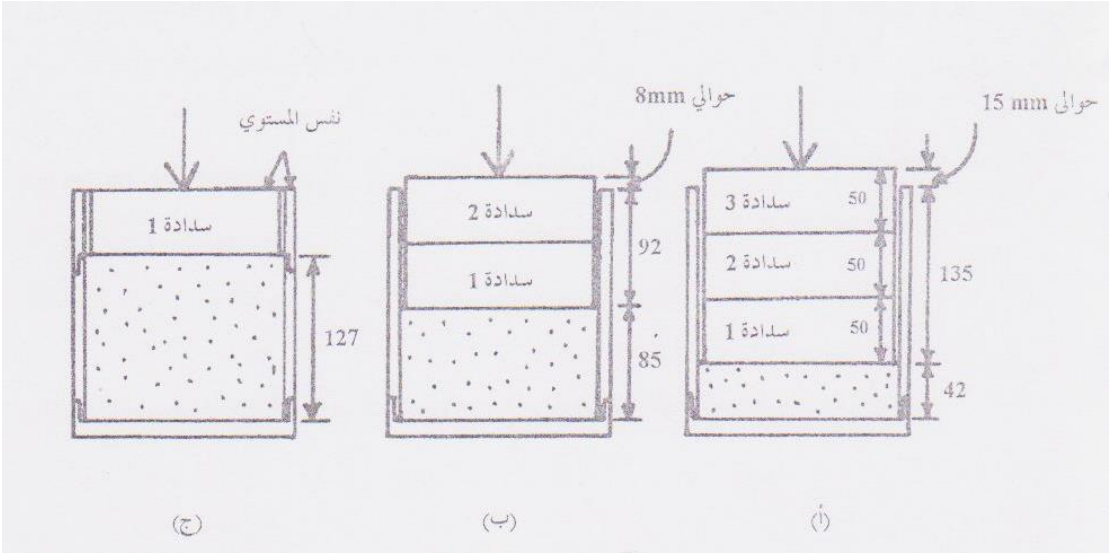
2. تقسيم النموذج:–

قسّم الوجبة المُحضّرة من التربة الى ثلاث أجزاء متساوية. ضَعْ كل واحدة منها في علّاقة أو حاوية مُحكمة الإغلاق لحين الحاجة اليها لمنع فقدان الرطوبة.

3. ملأ القالب:-

ضَعْ جزء واحد من الوجبة في قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و عدّل السطح و ضَعْ سدّادات المجال الثلاث في الأعلى. اكبسْ التربة في ماكنة الانضغاط لحينما يصبح سمك التربة بعد رفع الثقل حوالي ثلث عمق القالب (42 mm مليمتر). يكون السطح العلوي للسدّادة حوالي 15 mm مليمتراً الى الأعلى من قمّة قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.4.3.19.أ).

أَزِلْ سدّادات المجال و أَضِفْ وجبة أُخرى من التربة لتشكيل طبقة ثانية و أَعِدْ الطريقة أعلاه باستخدام سدّادتين. يجب ان يكون عندها سمك التربة 85 mm مليمتراً كما يكون سطح أعلى السدادة أعلى بحوالي 8 mm مليمتر من قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.4.3.19.ب).



شكل رقم (1.2.4.3.19) – انضغاط التربة الساكن بطبقات ثلاث في قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بموجب المواصفة البريطانيّة (BS): (أ) بعد انضغاط الطبقة الاولى و (ب) بعد انضغاط الطبقة الثانية و (ج) بعد الانضغاط النهائي

أَعدْ فيما يخص الطبقة الثالثة باستخدام سدّادة واحدة التي يجب ان تُدفعْ الى الأسفل لحين بقاء السطح العلوي بالمستوي نفسه مع قمّة قطعة الإضافة كما في المرحلة الثالثة في القسم رقم (3.3.19) (شكل رقم (1.2.4.3.19.ج)).

4. المراعاة:-

و كما في المرحلة (4) في قسم رقم (2.3.3.19).

5.3.19 الرص الحركي (الديناميكي) بالمدك:-

انّ الرص الى كثافة مطلوبة باستخدام مدك يدوي أو راصّة ميكانيكية هو بديل واحد فقط للانضغاط الساكن بسبب عدم توفّر ماكنة انضغاط. سوف تُشرح طريقة المواصفة البريطانية اوّلاً. انّ الطريقة الأمريكية (ASTM) مُختلفة قليلاً و سوف تُقدّم بعدها.

1.5.3.19 المُعدّات المُستخدمة:-

الفقرات (1) و (4) و (6) و (7) و (8) الموصوفة في قسم رقم (1.3.3.19) فضلاً عن المُعدّات التالية:-

10. مدك الرص بوزن 2.5 kg كيلوغرام و من ارتفاع سقوط قدره 300 mm مليمتر و كما مستخدم في تجربة الرص العاديّة (شكل رقم (2.1.1.2.8)).

11. مطرقة رص بوزن قدره 4.5 kg كيلوغرام و بارتفاع سقوط قدره 450 mm مليمتر و كما مستخدم في تجربة فحص الرص الثقيل (انظر شكل رقم (1.1.2.2.8)).

12. كبديل عنهما, يُمكن استخدام راصّة ميكانيكية من نوع المطرقة الهزّازة (شكل رقم (3.1.3.2.8)).

2.5.3.19 طريقة العمل:-

1. تحضير المُعدّات:-

كما في المرحلة الاولى من القسم رقم (1.3.3.19).

2. تقسيم النموذج:-

قسّمْ وجبة التربة المُحضّرة الى خمس أجزاء متساوية الكتلة. ضَعْ كل جزء في علّاقة أو حاوية مُحكمة الإغلاق لحين الحاجة إليها في الاستخدام لمنع فقدان الرطوبة.

3. المحاولات الابتدائية:-

قد تكون هناك ضرورة لحساب درجة الرص لملأ القالب بوساطة طريقة المحاولة. تعتمد هذه على نوع المطرقة المُستخدمة فضلاً عن عدد الضربات المُسلّطة لكل طبقة.

يجب استخدام وجبات مُنفصلة للكتل المطلوبة من التربة لتجارب المحاولات. لكل محاولة, اتّبعْ الطريقة المُعطاة في المرحلة رابعاً أدناه و سجّل نوع المطرقة و عدد الطبقات و عدد الضربات لكل طبقة و سمك التربة المرصوصة النهائي. بالإمكان تقدير درجة الرص عندها بالاستكمال.

4. الرص في القالب:-

ضَعْ القسم الأول من التربة في القالب و رصّه باستخدام مطرقة يدويّة مُناسبة مُسلّطاً ضربات مُتجانسة على كل السطح لحينما تشغل الطبقة خمس (1/5) ارتفاع القالب (حوالي 25 mm مليمتر). أَعدْ هذه باستخدام الأقسام الأربع الأُخرى بحيث يصبح مستوي رص الطبقة الخامسة من التربة في مستوي أو أعلى قليلاً من قمّة القالب. خدّشْ بخفّة سطح القمّة لكل طبقة مرصوصة قبل وضع الأخرى .

5. تقطيع النموذج:-

ارفعْ القطعة الإضافية بحذر و اقطعْ التربة لتكون بمستوي حافّة قمّة القالب نفسه كما مُبيّن في شكل رقم (7.2.1.2.8) مُتأكّداً من عدالة حافّة مستقيمة. زِنْ النموذج مع القالب و لوح القاعدة لأقرب 5 gm غرام (m_3).

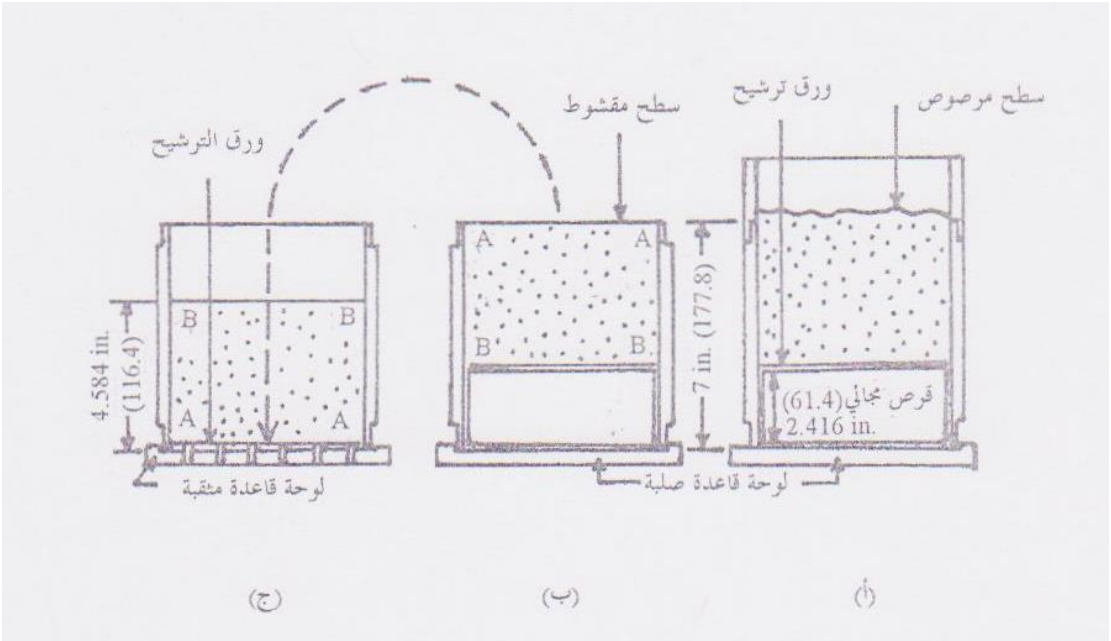
6. المراعاة:-

كما في المرحلة الرابعة من قسم رقم (2.3.3.19) .

3.5.3.19 إستخدام القالب الامريكي (ASTM):-

قبل رص التربة في قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من النوع الامريكي (ASTM) (شكل رقم (1.3.5.3.19)), يجب وضع قرص المجال ذا سمك 2.416 in انج (61.4 mm مليمتر) داخل القالب. بعد الرص و قطع السطح العلوي, يُزال لوح القاعدة و قرص المجال و يُدار القالب. يُثبّت لوح القاعدة على وجه النموذج المقطوع بعد وضع ورقة ترشيح بينهما. انّ طريقة العمل مُبيّنة في شكل رقم (2.3.5.3.19).

شكل رقم (1.3.5.3.19) – اجزاء قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) باتباع المواصفات الامريكيّة (ASTM)



شكل رقم (2.3.5.3.19) – الرص في قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بموجب المواصفة الامريكية (ASTM): (أ) رص التربة في القالب على قرص مجالي و (ب) ازالة القطعة الاضافيّة و قشط السطح و فك لوحة القاعدة و (ج) قلب القالب على لوحة قاعديّة مُثقبّة و الربط المشترك

يجري بعد ذلك التنقيع الذي يكون مطلوباً بالطريقة الامريكيّة (ASTM) كما موصوف في القسم رقم (9.3.19). يكون فحص الاختراق شبيهاً من ذلك المُعطى في قسم رقم (4.19).

6.3.19 الرص بالإهتزاز:-

يكون الرص بكثافة مطلوبة تحت الاهتزاز مُناسباً للترب الحبيبيّة و هو بديل آخر عن الانضغاط الساكن حينما لا تتوفّر ماكنة انضغاط.

1.6.3.19 المُعدّات المُستخدمة:-

تُستخدم المُعدّات المُبيّنة في الفقرات المُرقّمة (1) و (4) و (6) و (7) و (8) من القسم رقم (3.3.19) نفسها مع إضافة التالي:-

13. مطرقة هزّازة كهربائيّة كما تلك في فحص رص المطرقة الهزّازة (قسم رقم (3.2.8) المُبيّنة في شكل رقم (2.1.3.2.8)).

14. مدك حديدي مع ساق دائريّة بقطر 145 mm مليمتر (شكل رقم (4.1.3.2.8)).

13. هيكل ساند للمطرقة الهزّازة اذا كان ذلك ضرورياً كما مُبيّن في شكل رقم (3.1.3.2.8).

يسمح هذا بتسليط ضغط متجانس بشكل اكبر على النموذج و هو اسهل للمُشغّل عن العمل بطرق الاهتزاز اليدوي.

2.6.3.19 طريقة العمل:-

1. تحضير المُعدّات:-

كما في المرحلة الاولى من القسم رقم (2.3.3.19).

تأكّد من عمل المطرقة الهزّازة بشكل جيّد و من كونها منصوبة بموجب تعليمات المُصنّع. يجب ان يرتبط الجهاز بشكلٍ مناسبٍ بوساطة سلك الى مجهّز الكهرباء الرئيس بطريقة صحيحة. اذا تمّ استخدام الهيكل الساند, يجب تكون أجزاءه المنزلقة حرّة في الحركة بدون ارتجاج أو التصاق.

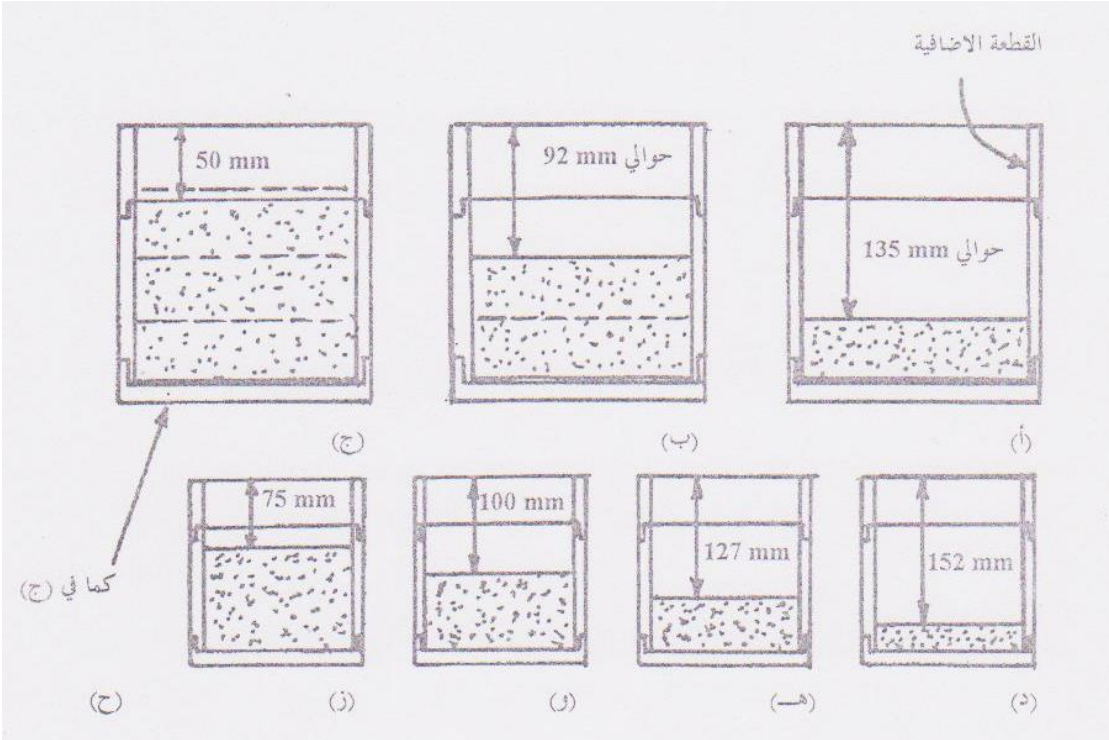
يجب ان يُثبّت المدك في موضعِهِ المُناسب في مكيّف المطرقة كما يجب ان تجلس القدم في داخل قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) مع مجال ضروري حوله قدره 3.5 mm مليمتر.

2. تقسيم النموذج:-

قسّمْ الوجبة المُحضّرة من التربة الى ثلاث نسب متساوية. ضَعْ كل واحدة منها في علّاقة أو حاوية مُحكمة الإغلاق لحين الحاجة اليها.

3. الرص في القالب:-

ضَعْ النسبة الأولى من التربة في القالب و رُصَّها بوساطة المطرقة الهزّازة لحين اشغال التربة ثلث ارتفاع القالب. توخّى الحذر في ابقاء المطرقة عمودية. يصبح سطح التربة عندئذٍ حوالي 135 mm مليمتراً الى الأسفل من قمّة قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.6.3.19.أ). ضَعْ النسبة الثانية من التربة في القالب و رص كالسابق حتى يصبح السطح حوالي 92 mm مليمتراً الى الأسفل من قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.6.3.19.ب). ضَعْ النسبة الثالثة و رُصْ مرّة اخرى لحينما يصبح السطح النهائي الى الأعلى قليلاً فقط من قمّة جسم القالب أي بحوالي 45 mm مليمتراً الى الأسفل من قمّة قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.6.3.19.ج) .



شكل رقم (1.2.6.3.19) – الرص في قالب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بموجب المواصفة البريطانية (BS) باستخدام مدك يدوي او اهتزازي: (أ) الى (ج) بثلاث طبقات متساوية و (د) الى (ح) بخمس طبقات متساوية

4. قطع النموذج:-

أزلْ قطعة الإضافة و اقطعْ مستوي التربة بحيث يصبح في مستوي قمّة القالب نفسه. زنْ النموذج مع القالب و لوح القاعدة لأقرب 5 gm غرام (m_3).

5. المراعاة:-

كما في المرحلة الرابعة من القسم رقم (2.3.3.19).

7.3.19 الرص بإستخدام جهد مُحدّد:-

1.7.3.19 مُقدّمة:-

تُستخدم هذه الطريقة اذا سُلِّطَ جهد رص ذا مقدار مُحدّد مُسبقاً الى التربة مُكافئاً الى احد تجارب الرص القياسيّة. ان هذه الطريقة هي المُتّبعة عادةً عند إيجاد العلاقات بين الكثافة الجافّة و قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) أو عند دراسة تأثير محتوى الرطوبة على قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) عند جهد رص مُعطى.

تُكافئ درجة الرص المُسلّطة إمّا الرص العادي باستخدام مطرقة ذات وزن 2.5 kg كيلوغرام (قسم رقم (1.2.8)) أو الرص الثقيل باستخدام مطرقة ذات وزن 4.5 kg كيلوغرام (قسم رقم (2.2.8)). بالإمكان استخدام درجة رص متوسطة كتلك المُقترحة في جدول رقم (1.1.7.3.19) كذلك.

بالإمكان استخدام مطرقة هزّازة لرص الترب الحبيبية. ان الطريقة القياسيّة للاهتزاز مُعطاة في قسم رقم (23.2.8) (راجع جدول رقم (1.1.7.3.19)). بالإمكان استخدام درجتين أخريتين من الاهتزاز مثلاً الرص بثلاث طبقات بمعدل 30 ثانية لكل طبقة و بخمس طبقات بمعدل 2 دقيقة لكل طبقة. يجب عدم خلط الطرق الحركيّة و الرص بالاهتزاز في مجموعة تجربة واحدة.

2.7.3.19 المُعدّات المُستخدمة:-

كما في طرق الرص المُبيّنة في القسمين رقم (5.3.19) أو (6.3.19), استخدمْ راصّة ميكانيكية اذ انّها مفضلة على الطرق اليدوية.

جدول رقم (1.1.7.3.19) – الرص في قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) المُكافئ لقالب رص بريطاني (BS)

نوع الرص	المدك		عدد الضربات في الطبقة الواحدة	عدد الطبقات
	الكتلة (كيلوغرام) (kg)	ارتفاع السقوط (مليمتر) (mm)		
BS البريطاني 'الاعتيادي' (BS 1377 : 1975 Test 12)	2.5	300	3	62
BS البريطاني 'الثقيل' (BS 1377 : 1975 Test 13)	4.5	450	5	62
BS البريطاني 'المتوسط' (Note 4 of BS 1377 : 1975 Test 16)	4.5	450	5	30
المطرقة الهزّازة (BS 1377 : 1975 Test 14)	30 – 40*	(اهتزاز)	3	(60 ثانية)
ASTM الامريكي القياسي	5.5 lb	12 in	3	56
ASTM الامريكي المُعدّل	10.0 lb	18 in	5	56

* القوة إلى الأسفل (kgf) التي يجب أن تُسلّط.

3.7.3.19 طريقة العمل:-

1. تحضير الجهاز:-

كما في المرحلة الاولى من قسم رقم (2.3.3.19) أو المرحلة الاولى من القسم رقم (2.6.3.19).

2. الرص في القالب (بالرص العادي):-

ضَعْ كميّة من التربة في القالب بحيث بعد تسليط 62 ضربة بمطرقة 2.5 kg كيلوغرام, يصبح السطح على ارتفاع ثلث القالب أو أعلى قليلاً بحدود من 135 الى 130 mm مليمتر الى الأسفل من قمّة قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.6.3.19.أ). يجب ان تكون الضربات المُسلّطة مُنتظمة على المساحة. خدّشْ بخفّة سطح التربة المرصوصة. أضفْ كميّة التربة للطبقة الاولى نفسها ثم رص الطبقة الثانية بالطريقة نفسها بحيث يصبح سطح التربة حوالي 92 mm مليمتر الى الأسفل من قطعة الإضافة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.6.3.19.ب). اعدْ الطريقة مرّة أُخرى للطبقة الثالثة. يجب ان يكون مستوي سطح التربة النهائي الى الأعلى قليلاً من قمّة القالب و لكن لا يزيد عن 6 mm مليمتر (شكل رقم (1.2.6.3.19.ج)). قد يكون من الضروري اوّلاً عمل تجارب رص تجريبيّة على وجبة مُنفصلة من التربة في سبيل تقدير الكميّة الصحيحة لكل طبقة في القالب الامريكي (ASTM). تُسلّطْ 56 ضربة لكل طبقة.

3. الرص في القالب (بالرص الثقيل):-

تُستخدم طريقة شبيهة بالمرحلة الثانية ما عدا وضع التربة في خمس طبقات متساوية بدلاً عن ثلاث و تُستخدمْ مطرقة 4.5 kg كيلوغرام و تُسلّط 62 ضربة لكل طبقة كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.6.3.19.د) الى (1.2.6.6.3.19.ي). اذا تمّ استخدام القالب الامريكي (ASTM), يجب عندها تسليط 56 ضربة لكل طبقة.

4. الرص في القالب (بالاهتزاز):-

انّ الطريقة شبيهة بالمرحلة الثانية ان هُزّتْ التربة بثلاث طبقات أو بالمرحلة الثالثة ان هُزّت بخمس طبقات ما عدا ان يتم استخدام المطرقة الهزازّة. في الطريقة العاديّة, تُسلَّطْ الهزّازة لمُدّة 60 ثانية على كل طبقة (و كما تمّ شرحه في المرحلة الرابعة من قسم رقم (2.3.2.8)). بالإمكان تسليط مُدد اقصر أو أطول للحصول على درجات رص مُختلفة و كما مقترح في أعلاه.

5. قطع النموذج:-

أزلْ قطعة الإضافة و اقطع مستوي التربة بحيث يصبح عند مستوي قمّة القالب مُتأكّداً من العدالة بوساطة حافّة مستقيمة. بالإمكان ملأ الفراغات السطحية بمادة ناعمة مضغوطة برفق أو مدقوقة في محلَّها باستخدام سكينة. زنْ النموذج مع القالب و لوح القاعدة لأقرب 5 gm غرام (m_3).

6. المُراعاة:-

كما في المرحلة الرابعة من قسم رقم (2.3.3.19).

8.3.19 نموذج غير متخلخل:-

بالإمكان الحصول على نموذج غير متخلخل موقعياً من تربة غير مُتماسكة لا تحوي على أحجار بوساطة تثبيت قطع حديديّة بحافّة واحدة من جسم قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و إجباره على الاختراق بمعدّل ثابت في التربة. تجنّبْ الدق إلا اذا تحقّق الاختراق الكُلّي بوساطة ضربة سريعة مُنفردة. في هذه الحالة, تحمي قطعة خشب موضوعة على القالب المعدن من الضرر. قد يكون من الضروري قطع النموذج بخشونة في الموقع اوّلاً تاركاً بحدود من 2 الى 3 mm مليمتر الأخيرة على ان تُقشط بوساطة قطع الحافّة بينما يُدفعْ القالب الى الأسفل. تُزالْ القطعة القاطعة بعد اخذ النموذج

من الأرض و تُقطّع نهايات النموذج و تُسوّى مع القالب ثم يُدقّق السطح بحافّة مستقيمة. يجب ان تُملأ الفراغات بين النموذج و القالب بتربة ناعمة مرصوصة بشكل جيّد أو بوساطة شمع البارافين المُذاب قبل إجراء التجربة اذ يكون النموذج مسنوداً في كافّة المواقع بشكلٍ كاملٍ.

يوزنْ النموذج في القالب لأقرب 5 gm غرام قبل تثبيت لوح القاعدة على ان يوزن جسم القالب بمفردِهِ. بالإمكان استخدام الزيادة في التربة التي تمّ تقطيعها من النهايات على ان يُحافظ عليها من فقدان الرطوبة عند النقل لحساب محتوى الرطوبة الموقعي.

اذا لم يُفحص النموذج مباشرة, يوضع اللوح العلوي على القالب أو يُغلقْ سطح القمّة بقطعة بلاستيك بوليثين (Polythene) لمنع فقدان الرطوبة.

9.3.19 التنقيع:- Soaking

1.9.3.19 مُقدّمة:-

لا يُستخدم تنقيع نماذج الفحص في التطبيق البريطاني عادةً و لكنّه قد يكون مُناسباً في تطبيقات أُخرى. تكون طريقة التنقيع المُعطاة في المواصفات البريطانية شبيهة من تلك الموجودة في المواصفات الأمريكية (ASTM D 1883) و يجري عملها كما موصوف في أدناه.

2.9.3.19 المُعدّات المستخدمة:-

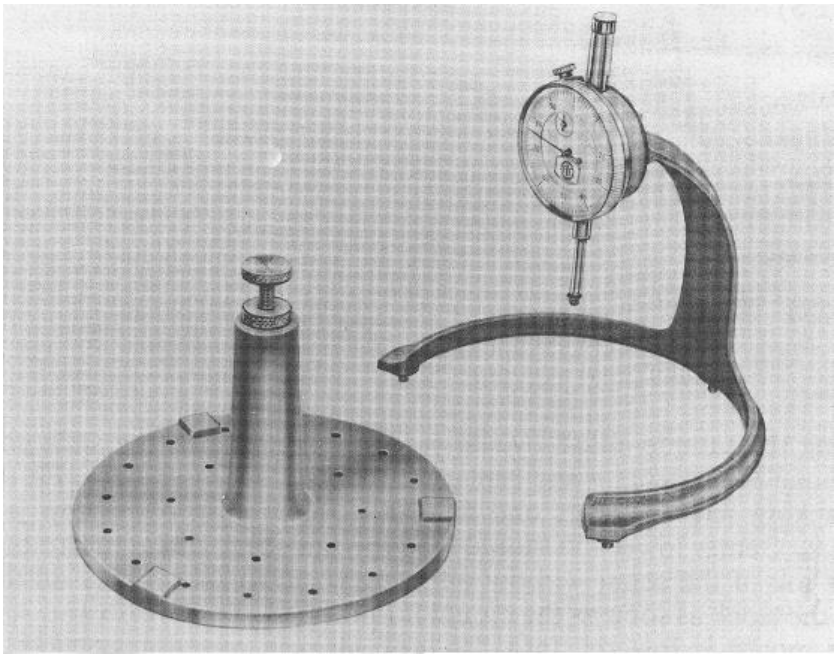
تتم الحاجة الى الفقرات التالية فضلاً عن قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و الارتباطات الأُخرى (المرحلة الاولى من قسم رقم (1.3.3.19)):-

16. لوح قاعدة مُثقّب بقالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR).

17. لوح قمّة مُثقّب مع ساق قابلة للتعديل كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.9.3.19).

18. تركيب حامل ثلاثي القوائم (Tripod) لمؤشّر مقياس التزويل كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.9.3.19).

19. مقياس تزويل ذي إزاحة 25 mm مليمتر و دقّة قراءة تصل الى 0.01 mm مليمتر كما مُبيّن في شكل رقم (1.2.9.3.19).



شكل رقم (1.2.9.3.19) – المُلحقات لقياس الانتفاخ في فحص التنقيع

20. خزّان تنقيع من حديد مغلون كبير بكفاية لحمل قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بداخلِهِ مع لوح القاعدة. يكون حجم مناسب منه بحجم حوالي (610 mm × 610 × 380 مليمتر عمق) و من المُفضّل ان يحتوي على منصّة مُقسّمة كما مُبيّن في شكل رقم (2.2.9.3.19).

21. ألواح تحميل حلقية ذات قطر خارجي قدره من 145 mm الى 150 mm مليمتر و ذات قطر داخلي يتراوح من حوالي 52 الى 54 mm مليمتر و بكتلة قدرها 2 kg كيلوغرام. قد تكون هناك حاجة الى ثلاث منها. كبديل عن ذلك, بالإمكان استخدام قطع مُنشطرة (نصف دائريّة).

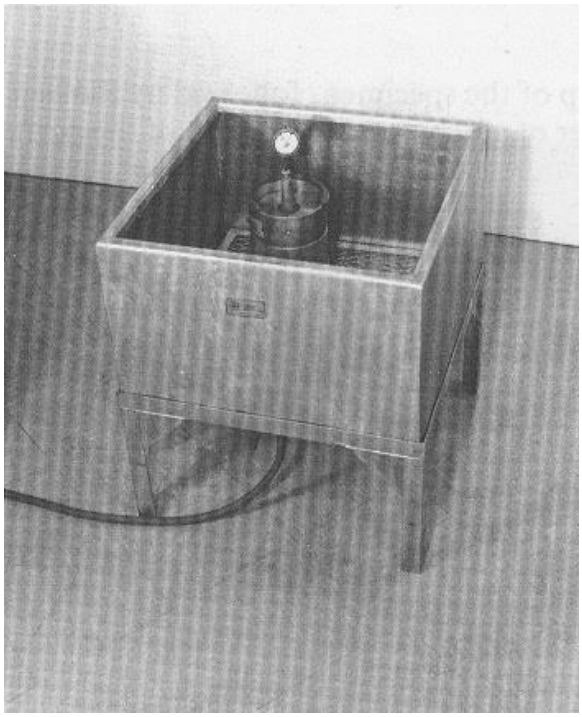
22. دهن نفطي (Vaseline).

23. ساعة توقيت.

3.9.3.19 طريقة العمل:–

1. التنقيع:–

بعد تحضير النموذج أما بالانضغاط الساكن أو بالرص الحركي (الديناميكي) و من ثم اخذ الوزن، أزلْ لوح القاعدة و أبدلْهُ بالقاعدة المُثقّبة. ثبّتْ قطع الإضافة على النهاية الأُخرى و احكمْ اغلاق الحزوز الدورانية و أسطح التزاوج بالدهن النفطي للحصول على مفاصل غير قابلة لنضوح الماء منها. اخفضْ القالب في الخزّان بحذر و أضفْ ماء لجلب المستوي الى اسفل قمّة قطعة الإضافة من دون السماح للماء بالانسكاب من فوق قمّة النموذج. ابدأ التوقيت في لحظة تنقيع القالب.

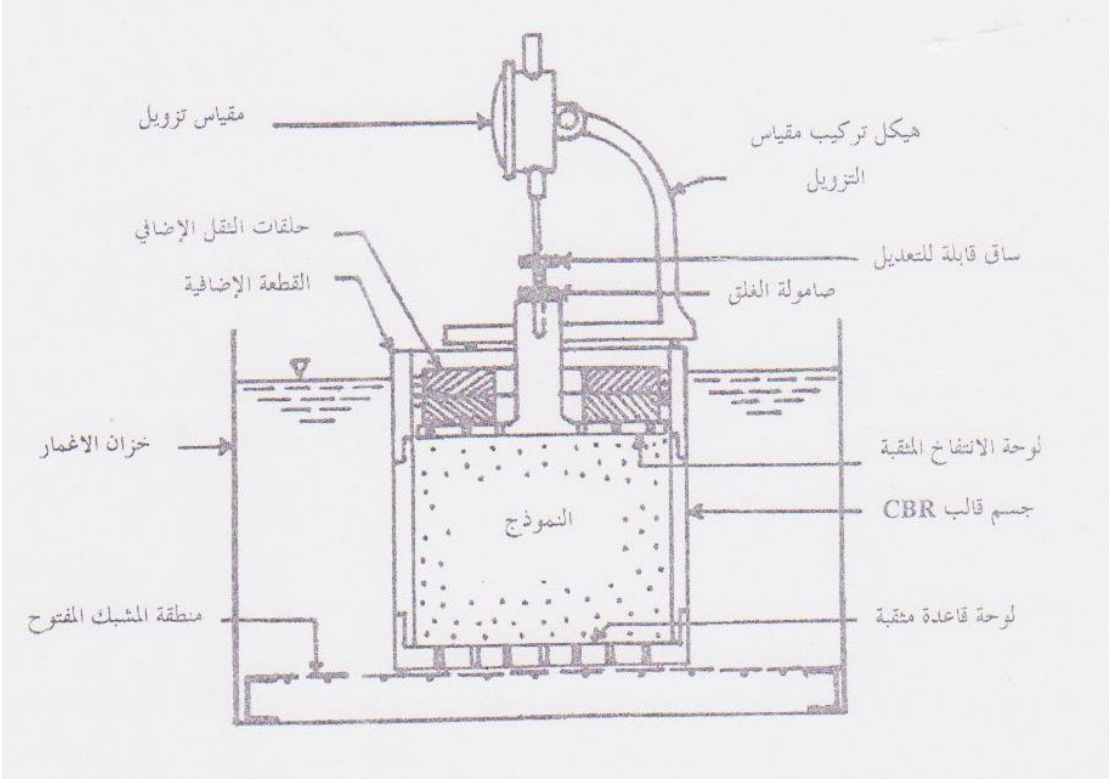


شكل رقم (2.2.9.3.19) – خزّان التنقيع

تُحدّد المواصفات البريطانية و الأمريكية حدوث إنزال القالب في خزّان مملوء بالماء مُسبقاً و لكن تكون الطريقة أعلاه مُناسبة اكثر للسماح بنصب مقياس التزويل (المرحلة الثانية) قبل التنقيع.
يقبل مختبر النقل و بحوث الطرق البريطاني (TRRL) بغمر النموذج الكُلّي اذ يُنقّع من الأعلى و الأسفل و تُزال عملية التدهين النفطي بالحزوز الدورانية.

2. نصب مقياس التزويل:–

ضَعْ ورقة ترشيح على قمّة النموذج و من ثم لوح القمّة المُثقّب مع الساق. ضَعْ بعد ذلك العدد المطلوب من حلقات التحميل على قمّة اللوح المُثقّب.
ركّبْ مسند مقياس التزويل على قمّة قطعة الإضافة و ضَعْ مقياس التزويل و عدّلْ مستوي الساق على اللوح المُثقّب بحيث يقرأ المقياس صفراً أو قيمة مُناسبة معيّنة. يُظهر شكل رقم (1.3.9.3.19) المجموعة الكاملة كما يُبيّن الشكل رقم (2.3.9.3.19) اجزاء المُعدّات المُستخدمة.



شكل رقم (1.3.9.3.19) – ترتيب فحص الغمر و الانتفاخ

شكل رقم (2.3.9.3.19) – اجزاء مُعدّات التنقيع الكاملة

3. اخذ القراءآت:-

سجّلْ القراءآت بمقياس التزويل بِمُدَدٍ مُناسبة بعد الغمر بالاعتماد على المُعدّل الذي تحدث به الحركة. سجّل كذلك الزمن الذي يصل فيه الماء الى سطح قمّة النموذج و لكن هذا لا يعني بالضرورة نهاية مرحلة الانتفاخ.

اذا لم يظهر الماء على سطح القمة بعد ثلاثة أيام من الغمر, أضفْ ماء على السطح العلوي بحيث يبقى مُغطّى و اتركْهُ لينتفخ. انّ مُدّة التنقيع هي أربعة أيام عادةً و لكن قد تكون مُدّة أطول ضروريّة للسماح بوصول الانتفاخ الى نهايتِهِ.

4. رسم القراءآت:-

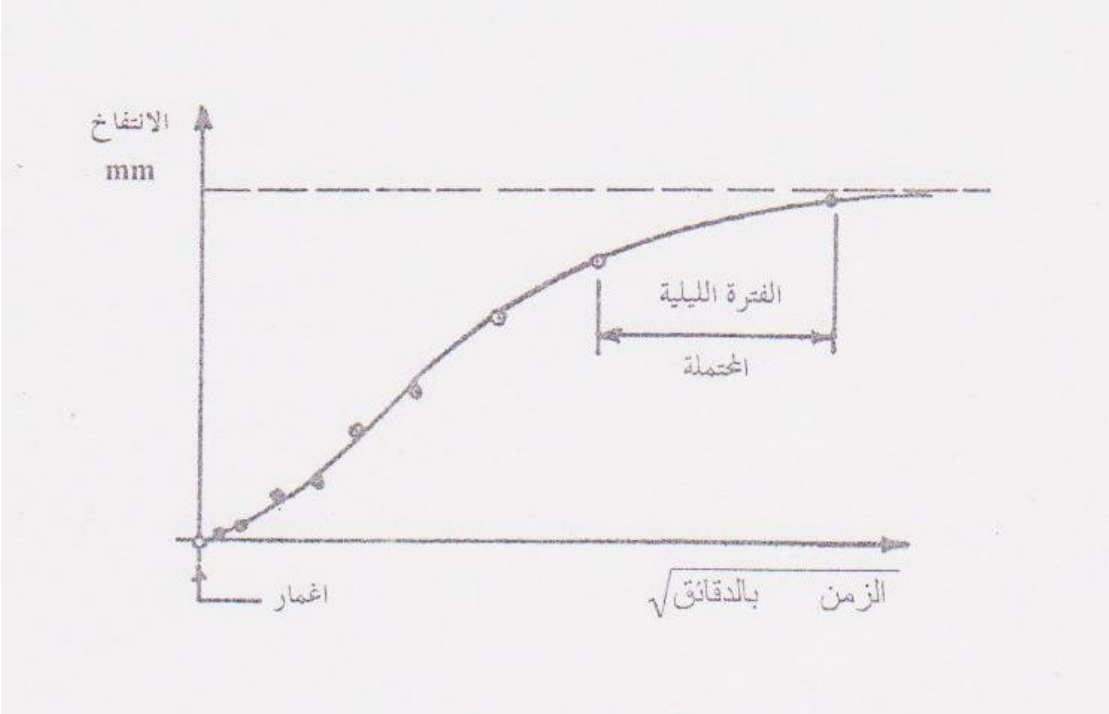
اعمل مُرتسماً للانتفاخ (حركة مقياس التزويل) ضد المُدّة الزمنيّة المُستغرقة من بدء الغمر. ينتهي الانتفاخ عند تسطّح المُنحني و كما مُبيّن في شكل رقم (3.3.9.3.19).

5. إزالة النموذج:-

عند انتهاء التنقيع, ارفعْ حامل مقياس التزويل و ارفعْ القالب و النموذج من الخزّان. ضَعْ القالب على السطح حيث يُسمح له بالبزل لحوالي 15 دقيقة. كبديل عن ذلك, اذا احتوى خزّان التنقيع على صينيّة مُثقّبة, بالإمكان ترك القالب في الخزّان بعد نضوح الماء الى الخارج منه.

6. تحضير التجربة:-

بعد بزل الماء الزائد الى الخارج, أزلْ اللوح المُثقّب و القطعة الإضافية. أزلْ لوح القاعدة المُثقّب و أعدْ تثبيت لوح القاعدة الصلب. خُذْ وزن النموذج مع القالب و لوح القاعدة لأقرب 5 gm غرام (m_4).



شكل رقم (3.3.9.3.19) – مُنحني انتفاخ نمطي من فحص تنقيع نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

4.19 فحص الإختراق:– Penetration Test

1.4.19 مُقدّمة:–

تعتمد الطريقة الموصوفة في ادناه على التجربة رقم (16) في (BS 1377 : 1975) كما انها مُغطّاة في المواصفات الأمريكية (ASTM D 1883) لحساب نسبة التحمّل لترب مرصوصة بالمختبر.

2.4.19 طريقة فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) (الطريقة البريطانية BS 1377 : 1975 Test 16):–

انّ فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) هو نفسه مهما تكن الطريقة التي يُحضّر بها النموذج و لكن تعتمد الطريقة البريطانيّة على اختياريّة تجربة الإعادة. قد يكون مُناسباً احياناً فحص النهاية العليا بدون تنقيع و من ثم عكس النموذج و فحص الطرف الآخر بعد التنقيع.

1.2.4.19 المُعدّات المُستخدمة:–

1. هيكل تحميل (ماكنة فحص انضغاط بوساطة تسليط قوّة التجربة بمعدّل اختراق قياسي ومُتحكَّم به). بالإمكان عمل ذلك يدوياً و لكن يكون اكثر ملائماً استخدام ماكنة مدفوعة بآلة توفّر إزاحة بمعدل ثابت قدرها .1 mm / min مليمتر/الدقيقة.

2. جهاز قياس الثقل مثل حلقة ثقل مُعايرة. تحتاج التجربة الى نوعين من الحلقات لتغطية مدى القيم المُستحصلة اعتيادياً و كما مُبيّن في جدول رقم (1.1.2.4.19).

جدول رقم (1.1.2.4.19) – حلقات الثقل المناسبة لفحوص نسبة تحمل كاليفورنيا – CBR

قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا	مدى حلقة الثقل كيلونيوتن (kN)	دقة حلقة الثقل كيلونيوتن (N)	ثقل التجليس نيوتن (N)
لحد 30%	10–0	50	50
اعلى من 30%	50–0	100	250

3. غاطس (Plunger) معدني اسطواني بطول حوالي 250 mm مليمتر ذي نهاية سُفلى مُتكوّنة من حديد صلب و بمساحة مقطع قدرها $1935\ mm^2$ مليمتر مربّع ($3\ in^2$ انج مربّع) . يُقابل هذا قطر قدره 49.64 mm مليمتر و مُقرّباً في المواصفات البريطانية الى 49.6 mm مليمتر كما مُبيّن في الشكلين رقم (1.1.2.4.19) و (2.1.2.4.19).

4. مقياس تزويل بمدى 25 mm مليمتر يقرأ لأقرب 0.01 mm مليمتر.

5. مقياس اختراق الغاطس في النموذج. تُثبّتْ مع المقياس ساق مُمتدّة و سندان ذات حافّة ازميلية.

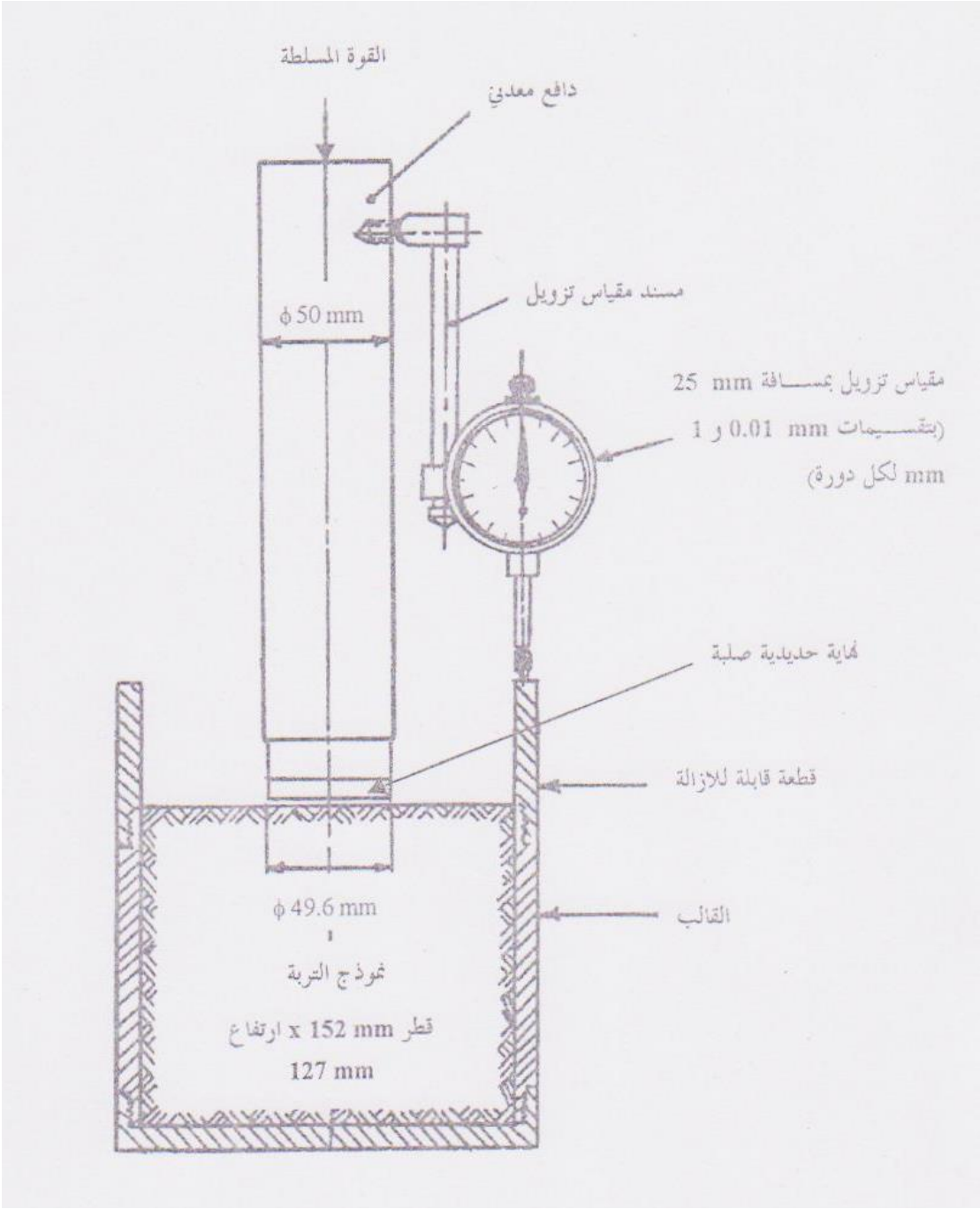
6. هيكل تركيب لتثبيت مقياس التزويل الى الغاطس.

يُبيّن الشكل رقم (3.1.2.4.19) تركيب الجهاز و المجموعة الكاملة.

2.2.4.19 طريقة الفحص:–

1. نصب هيكل التحميل:–

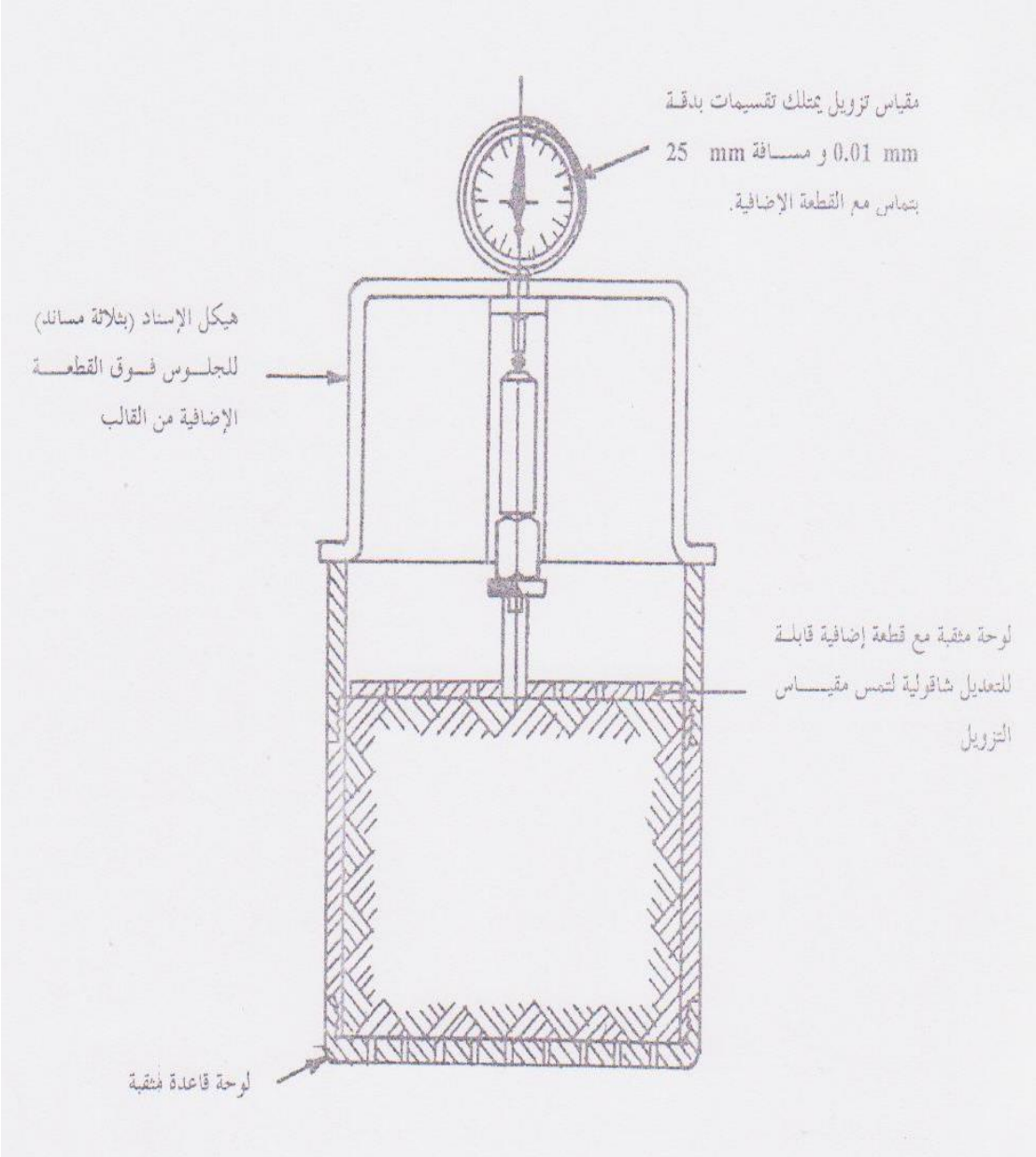
يتعلّق الوصف التالي استخدام هيكل التحميل من النوع المُبيّن في شكل رقم (3.1.3.3.19). قد تختلف التفاصيل الاجرائية للأنواع الأُخرى من هياكل التحميل و لكن تظل المبادئ الاساسية نفسها .



شكل رقم (1.1.2.4.19) - ترتيب فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

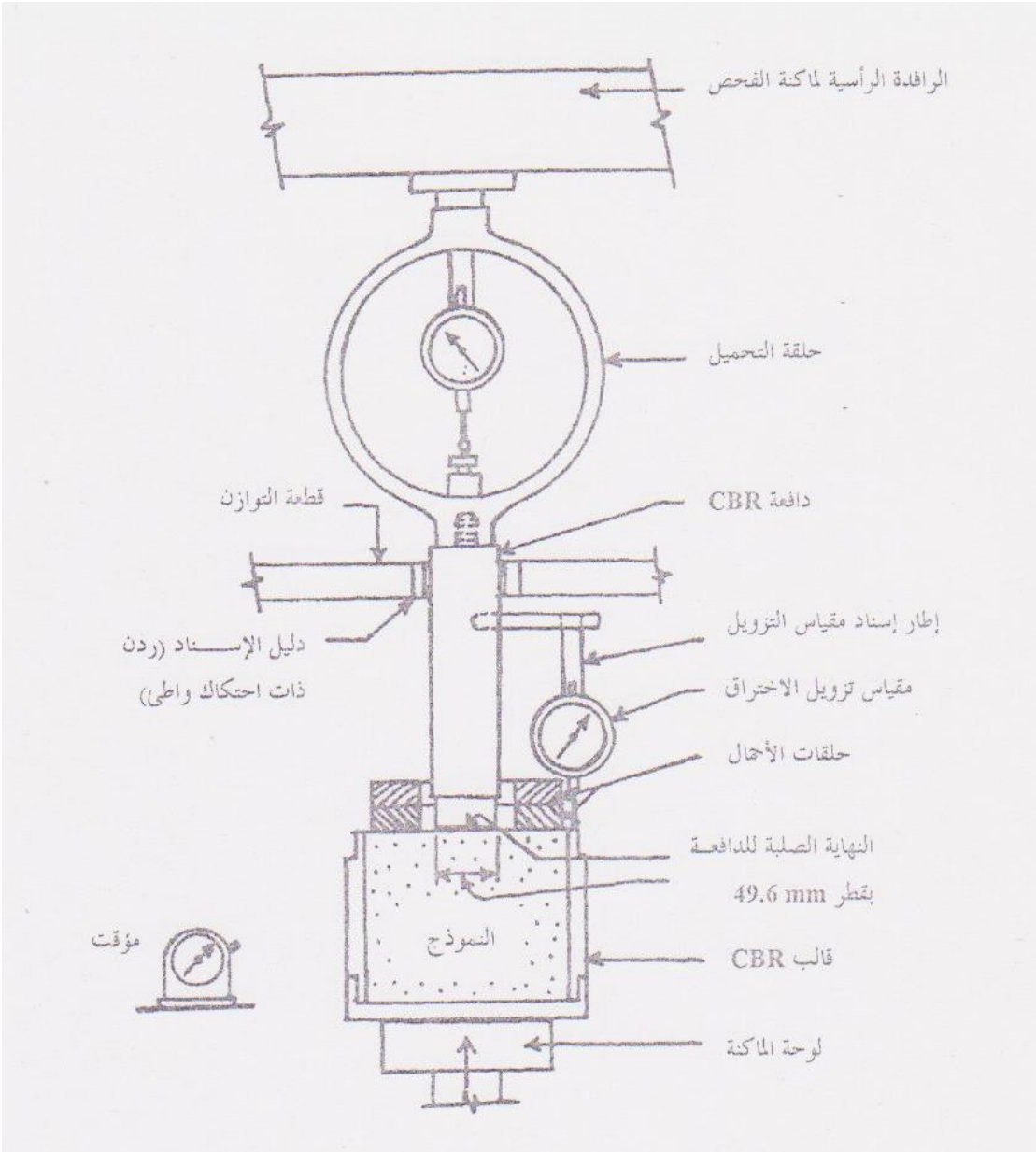
ضَعْ القالب مع لوح القاعدة الحاوي على النموذج بشكلٍ مركزيٍّ على لوح ماكنة التحميل و ضَعْ اللوح قريباً من موقعِهِ الأسفل. اذا أُستخدمت حلقات الحمل الحلقيّة, يجب وضعها في محلِّها على

وجه النموذج المكشوف قبل تركيب الغاطس و لكن يُمكن إضافة حلقات نصف دائريّة فيما بعد كذلك.



شكل رقم (2.1.2.4.19) – جهاز قياس حركة قمة النموذج اثناء التنقيع فيما يخص فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

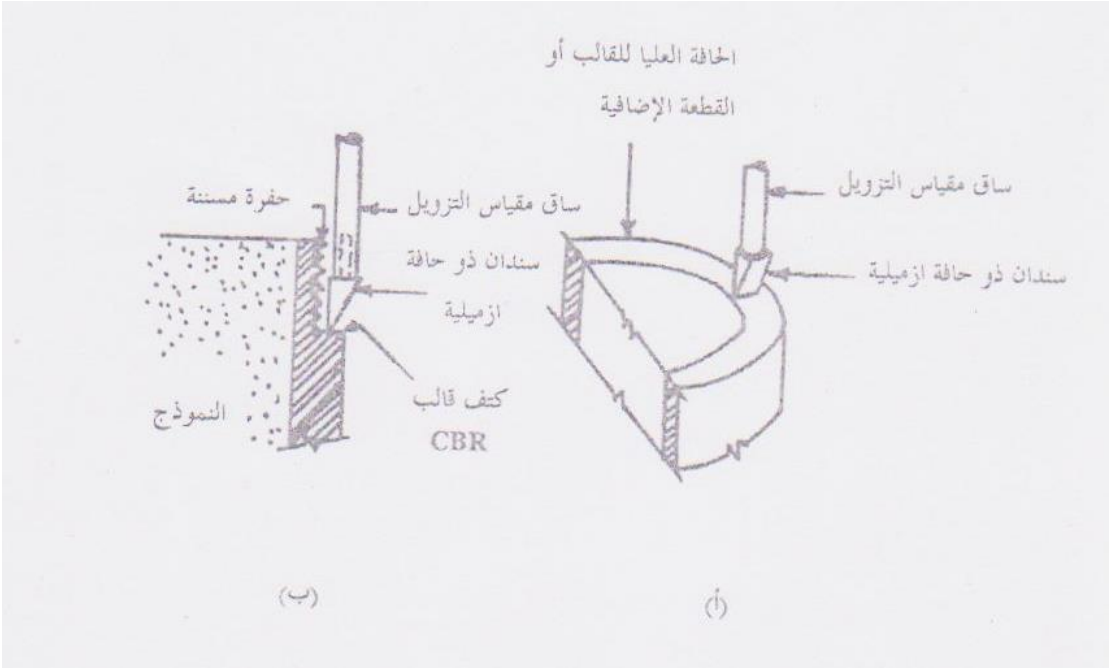
ثبّتْ حلقة التحميل على الجزء الرأسي من هيكل التحميل و اربطْ الغاطس على حلقة الثقل. لابقاء عدالة الغاطس, يجب إسنادها على حامل الدلالة لرافدة تثبيت مربوطة على قضائب شد تابعة للماكنة و كما مُبيّن في شكل رقم (3.1.2.4.19).



شكل رقم (3.1.2.4.19) - الترتيب العام لفحص اختراق نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

دوّر لوحة الماكنة حتى تصبح نهاية الغاطس على تماس مع أعلى النموذج تقريباً. قد يكون من الضروري إنزال رأس الماكنة اذا وضعت عدّة حلقات تحميل حلقية فوق النموذج لأنّه قد لا تكون هناك مسافة كافية لاللوح في الحركة في سبيل إجراء التجربة. تأكّد من عدالة الغاطس العمودية و بأنّ هناك مسافة مُتجانسة بينها و بين حلقات التحميل. تأكّد من ان الارتباطات بين الغاطس وحلقة التحميل و رأس الماكنة مُحكمة الشد. ركّب مقياس تزويل الاختراق على الهيكل المربوط بالغاطس. تجلس ساق المقياس على الحافّة العُليا لقطعة الإضافة أو للقالب مع سندان حافّة الأزميل

عبر سمك الجدار (شكل رقم (2.2.2.4.19.أ)). كبديل عن ذلك, تستند نهاية الأزميل على كتف القالب (شكل رقم (2.2.2.4.19.ب)). تأكّد من إحكام الارتباطات و من حرية حركة مقياس التزويل بمسافة لا تقل عن 10 mm مليمتر.



شكل رقم (2.2.2.4.19) – استخدام سندان الحافّة الازميلية (المتفرّعة) على مقياس تزويل الاختراق: (أ) الاسناد على الحافة العليا للقالب او القطعة الاضافية و (ب) الاسناد على كتف القالب

2. جلوس الغاطس:–

يجب جلوس الغاطس على قمّة النموذج تحت *ثقل تجليس* اذ انّ قيمة هذا مُعطاة في العمود الأيمن من جدول رقم (1.1.2.4.19). تُحسب من مُعايرة الحلقة عدد تدرّجات المقياس المُقابلة لهذا الثقل.

دوّر قاعدة الماكنة ببطء يدوياً لحين اظهار حلقة الثقل هذه القراءة ثم اعدْ نصب مقياس تزويل الثقل الى الصفر لأن لا يؤخذ ثقل التجليس بنظر الاعتبار في التجربة. عدّلْ مقياس تزويل الاختراق الى قراءة الصفر أو الى قراءة دلالة مُناسبة.

3. نصب الماكنة:–

اخترْ سرعة الماكنة بوساطة تحكّم المُسنّنات لاعطاء سرعة لوح قدرها .1 mm / min مليمتر/ دقيقة أو اقرب سرعة مُتوفّرة. بدّلْ من التحكّم اليدوي الى الدفع الآلي. اعملْ تعديلات لمقياسّي التزويل لإرجاعِهما الى قراءتيهما الصفرية أو قراءتي الدلالة اذا تحرّكا.

4. إجراء التجربة:-

شغّل الآلة و مع بدء الاختراق سجّلْ قراءات تزويل حلقة الثقل لكل مدّة قدرها 0.25 mm مليمتر من اختراق مقياس التزويل. اذا عمل المقياس دورة واحدة لكل مليمتر, تؤخذ قراءة ثقل كل ربع دورة (25 تقسيم). يكون هذا النوع من المقاييس مُناسباً اذا كان الثقل المُسلّط يدوياً لأن يتحقّق مُعدّل الختراق الصحيح اذا يجاري مؤشّر الاختراق مؤشّر الثواني في الساعة. عندما تصل قراءة الاختراق الى 7.5 mm مليمتر, أوقفْ الماكنة.

5. الإزالة من الماكنة:-

اخفضْ لوح الماكنة أما يدوياً أو بوضع الماكنة بالاتجاه المُعاكس و ارفعْ قطعة الرأس الى الأعلى اذا كان ذلك ضرورياً لإزالة أوزان التحميل و يُرفع القالب من الماكنة.

اذا لن تجري تجربة اخرى على قاعدة النماذج, استمرْ بالانتقال الى المرحلة السابعة. اذا أُجريتْ تجربة إعادة على قاعدة النموذج, اتبعْ المرحلة السادسة اوّلاً.

6. تجربة الإعادة على القاعدة:-

املأ المُنخفض الحاصل بوساطة الغاطس بتربة مُشابهة و ارفعْ أيّة مادّة خارجة. عدّلْ السطح و تأكّد بوساطة حافّة مُستقيمة. ارفعْ لوح القاعدة من نهاية القالب السُفلى و ثبّتْها بإحكام على النهاية العُليا. اعكسْ القالب و اقطعْ السطح الظاهر اذا كان ذلك ضرورياً.

اذا كان لزاماً التنقيع قبل تجربة الإعادة, اجرِ الطريقة المُعطاة في قسم رقم (9.3.19) و من ثم المراحل من رقم (1) الى (5) في أعلاه. اذا لم يكن كذلك, استمرْ من المرحلة رقم (1) أعلاه.

7. الإزالة من القالب:-

انّ اسهل طريقة لإزالة النموذج المفحوص من القالب هو باستخدام جهاز إخراج من النوع المُبيّن في شكل رقم (8.2.1.2.8) أو في الشكلين رقم (1.2.3.2.8) و (2.2.3.2.8). بعد إزالة النموذج, يُنظّف القالب و يُحضّر للاستخدام اللاحق.

8. ان الطريقة في المواصفات البريطانية هي بأخذ نموذج بوزن حوالي 350 gm غرام مباشرة الى الأسفل من السطح المُخترق لحساب الرطوبة قبل إزالة النموذج من القالب. اذا أُجريت تجارب على النهايتين, يؤخذْ نموذج لمحتوى الرطوبة من النهاية المفحوصة اوّلاً كما يجب ان لا تشتمل هذه على مادة أُستعملتْ لملأ المُنخفض.

يستخدم مختبر النقل و بحوث الطرق طريقة افضل باستخراج النموذج بأكملِهِ اوّلاً و تكسيره و وزنه و من ثم تجفيفه و وزنه كاملاً. اذا نُقِّعَ النموذج بين التجربتين الاولى و الثانية, لن يرتبط محتوى الرطوبة المُقاس بهذه الطريقة بقيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) غير المُنقّعة المُستحصل عليها من النهاية الاولى المفحوصة. في هذه الحالة, يكون اكثر مناسباً ان يُحتسب محتوى الرطوبة عند وضع التربة في القالب. اذا قيس التغيّر في الكتلة بسبب التنقيع, يوفّر هذا تدقيقاً اضافيّاً على محتوى الرطوبة الابتدائي.

3.4.19 الرسومات و الحسابات و تقديم التقارير:-

9. مُنحني الثقل – الاختراق:-

تُحوَّلْ قراءآت مقياس تزويل حلقة الثقل الى وحدات قوّة بوساطة الضرب بمعامل حلقة الثقل. اذا كان:-

R = قراءة تزويل الثقل (بالتدرّجات).

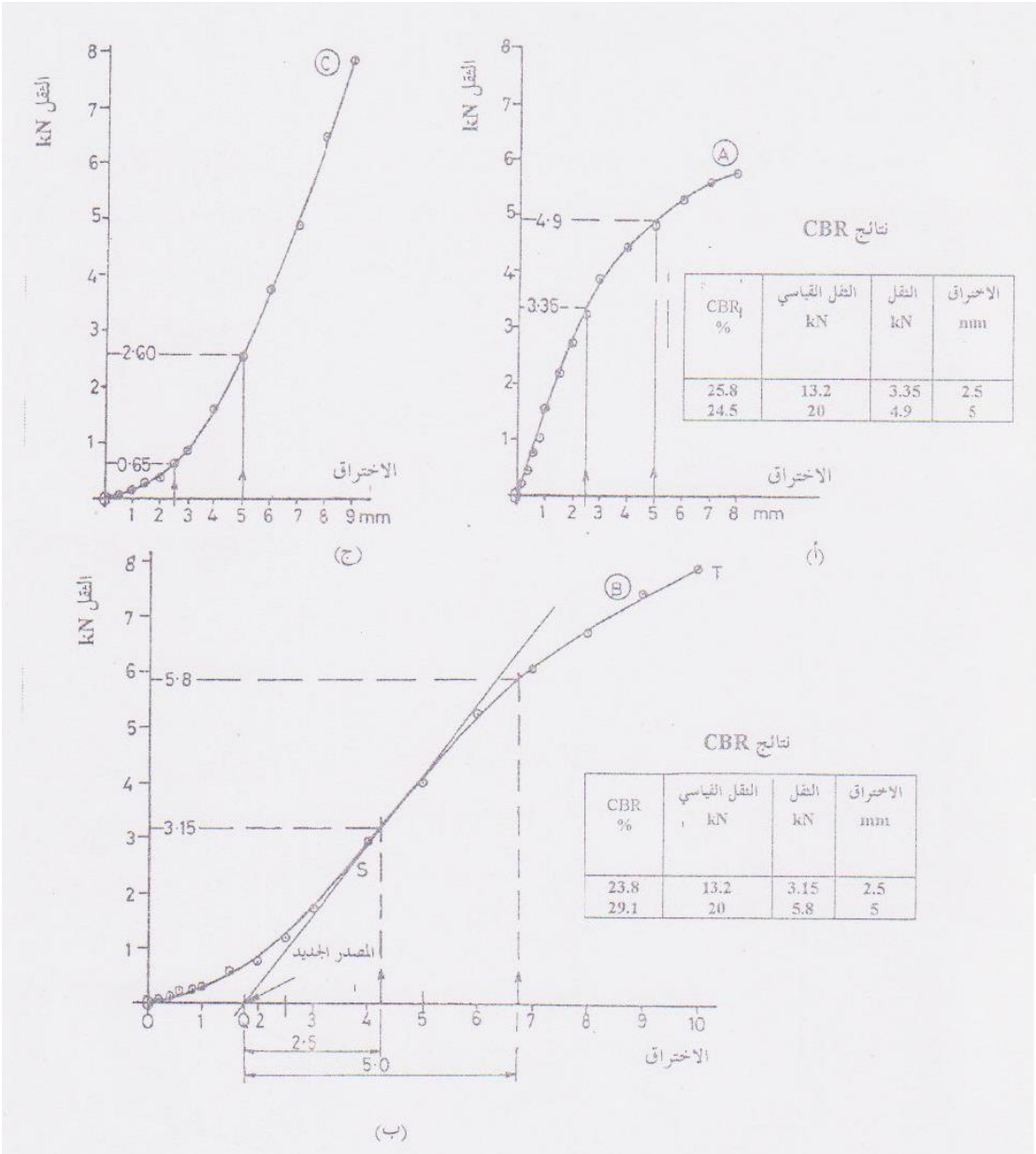
F = معامل حلقة الثقل (N / dev. – نيوتن/تدرّج) .

P = القوّة المُسلّطة على النموذج (kN – كيلونيوتن).

فأنّه:-

$$P = \frac{F \cdot R}{1000} \text{ كيلونيوتن kN} \quad \ldots (1.3.4.19)$$

تُرسمْ قيم P (kN كيلونيوتن) ضد اختراق الغاطس المُقابل (mm مليمتر) و يُرسمْ مُنحني انسيابي من خلال النقاط. يعطي شكل رقم (1.3.4.19) مثالين لمنحنيين (A) و (B) و انّ المُنحني (A) مُشتق من المعلومات المُعطاة في شكل رقم (2.3.4.19).



شكل رقم (1.3.4.19) – ثلاث انواع من مُنحني الثقل – الاختراق من فحوص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR): (أ) بدون الحاجة الى تصحيح و (ب) بحاجة الى تصحيح كما مُبيّن و (ج) قد لا يكون التصحيح كما في (ب) صحيحاً

معلومات فحص CBR

فحص (16) BS 1377 : 1975 ~~ASTM D 1883~~	الموقع	رقم النموذج .....
	المشغل	التاريخ 4 / 30

وصف التربة طين غريني رمادي غامق

تحضير النموذج: ~~غير مخلخل~~ / معاد رصه ~~ساكن~~ / حركي

~~فحص كما استحصل~~

أخر ـــ

إعادة الرص .....

عدد الطبقات 5	المدك 4.5 kg	القطر 152.6 mm	الحجم 2323 cm^3
عدد الضربات لكل طبقة 62	السقوط 450 mm	الارتفاع 450 mm	

الفحص على السطح العلوي / ~~القاعدة~~: كما رص / منقوع ..... أيام

حلقات إضافة الثقل عدد 2 — الثقل 4 kg

كتلة التربة الرطبة + القالب	10.075 kg
القالب	5.307 kg
التربة الرطبة	4.718 kg
كثافة التضخم	2.05 Mg/m^3
محتوى الرطوبة	21.4 %
الكثافة الجافة	1.69 Mg/m^3

الاختراق mm	تقسيمات مزول الثقل	معامل الحلقة N/تقسيم	الثقل kN
0	6	8.56	0.05
0.25	30		0.26
0.5	66		0.56
0.75	115		0.98
1.0	181		1.55
1.25	219		1.87
1.5	259		2.20
1.75	292		2.48
2.0	324		2.75
2.25	354	8.50	3.01
2.5	380		3.23
...	...	...	...
6.25	634	8.43	5.34
6.5	646		5.45
6.57	655		5.52
7.0	663		5.59
7.25	670		5.65
7.5	676		5.70

شكل رقم (2.3.4.19) معلومات نمطية من فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

ليس من الضروري حساب القوّة المُسلّطة لكل قراءة. بالإمكان عمل مُرتسم بقراءآت مقياس حلقة الثقل ضد الاختراق و تُحسب القوّة في الاختراقين 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر فقط (مُصحّحة اذا كان ذلك ضرورياً و كما مُبيّن في أدناه).

10. تصحيح المنحني:-

أ. لا يحتاج مُنحني الثقل – الاختراق الشبيه بمنحني (A) في الشكل رقم (1.3.4.19) أي المُحدّب الى الأعلى أي تصحيح و بالإمكان استخدامه للحسابات المُعطاة في المرحلة رقم (11) اللاحقة.

ب. انّ منحني شبيه بمنحني (B) في شكل رقم (1.3.4.19) الذي يبدو الجزء الابتدائي مُقعّر الى الأعلى و يتبعه انحناءاً في الاتجاه الآخر يدل على كون الطبقة السطحيّة مُتخلخلة أو اقل رصّاً من المادّةِ في أسفلِها. يُصحّح هذا النوع من المُنحنيات بالشكل التالي:-

ارسم مماساً للمنحني في اكبر ميل (في نقطة الانقلاب (S)) من المماس ليقطع محور الاختراق في نقطة (Q). تؤخذ هذه النقطة كأصل المنحني المُصحّح المُمثّل بالأحرف (T) و (S) و (Q) و يُضاف مقياس اختراق جديد يبتدئ بالصفر من نقطة (Q).

ج. اذا استمر المُنحني بالانحناء الى الأعلى كما في المنحني (ج) في شكل رقم (1.3.4.19), يجب ان يُحال تصرّف التربة المُعتمد تحت الغاطس على مهندس. يُستحصل هذا النوع من المُنحنيات مع ترب حُبيبيّة مرصوصة بكثافة واطئة أو متوسطة و يدُلْ على انّ هناك رص إضافي و بالنتيجة تحدث زيادة في المقاومة تحت الغاطس عند اختراقه التربة. اذا اعتبر المهندس أنّ المنحدر المائل بشدّة هو نتيجة للرص المستمر, يجب قراءة قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) في الاختراقين 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر بدون تصحيح. بخلاف ذلك, قد يؤدّي التصحيح الموصوف في (ب) الى قيمة من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) مُضخّمة جداً.

11. حساب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR):-

تحسب قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من الأثقال المُقابلة لاختراقي غاطس قدرهما 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر و كما مُبيّن في المثال التالي. فيما يخص منحني (A) في شكل رقم (1.3.4.19), تُرسم الاحداثيات الصاديّة عند تلك الاختراقات من مقياس الاختراق الأصلي على المحور الأفقي و مُبيّنة بخطوط سميكة كاملة. يسمح تقاطعهم مع المُرتسم قراءة الأثقال المُقابلة (3.35 kN كيلونيوتن و 4.9 kN كيلونيوتن في هذا المثال). من جدول رقم (1.2.19), أنّ الثُقلين

القياسيّين المقابلان للاختراقين 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر هما 13.24 kN كيلو نيوتن و 19.96 kN كيلو نيوتن و يُستخدمان هذان لحساب قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بالشكل التالي:-

في اختراق قدره 2.5 mm مليمتر:-

$$CBR = \frac{3.35}{13.24} \times 100\ \% = 25.3\ \%$$

في اختراق قدره 5 mm مليمتر:-

$$CBR = \frac{4.9}{19.96} \times 100\ \% = 24.5\ \%$$

انّ اكبر القيمتين هي النتيجة المقبولة التي تُدوّن و تُقدم كنسبة 25 %.

فيما يخص منحني (B), تُرسم الاحداثيات الصاديّة في الاختراقين 2.5 mm مليمتر و 5 mm مليمتر من مقياس الاختراق المُصحّح مع المصدر عند النقطة (Q) و المُبيّنة كخطوط مُتقطّعة سميكة. يعطي التقاطع مع المنحني الثقلين 3.15 kN كيلو نيوتن و 5.8 kN كيلو نيوتن و اللذين يُقابلان قيمتين محتسبتين لمقدار نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) كالتالي:-

في اختراق قدره 2.5 mm مليمتر:-

$$CBR = \frac{3.15}{13.24} \times 100\ \% = 23.8\ \%$$

في اختراق قدره 5 mm مليمتر:-

$$CBR = \frac{5.8}{19.96} \times 100\ \% = 29.1\ \%$$

تُعطى القيمة المقبولة من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) كنسبة 29 %.

بالإمكان تقدير قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من دون الحاجة الى الحسابات اذا رُسِمَ مُنحني الثقل – الاختراق على مُرتسم شبيه بالشكل رقم (3.2.19). يُستحصل المُنحني المُؤشّر (CBR = 100%) من المعلومات المُعطاة في المواصفات البريطانيّة (BS) من المُنحني القياسي المُبيّن في جدول رقم (1.2.19) و شكل رقم (2.2.19). تُستحصل المُنحنيات الاخرى من قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بوساطة ضرب هذه الأثقال من قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) (20% و 40% و ... و الخ). تُقدّرْ قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) من مُنحني تجربة بوساطة الاستكمال بين المُنحنيات القياسيّة كما مُبيّن في مُنحني (A) من شكل رقم (3.3.4.19). من الصعب تقدير قيمة واطئة من نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) مباشرة إلا اذا رُسِمَتْ مجموعة مُشابهة على قياس اكبر لتغطية المدى الواطئ.

اذا كان تصحيح منحني التجربة ضرورياً (كما مُبيّن في منحني (B) من شكل رقم (3.3.4.19))، تُستحصل النقاط المستكمل فيها قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بوساطة إتّباع الطريقة كما بُيّنتْ التي اعتمدت على تلك التي تظهر في شكل رقم (1.3.4.19.ب).

12. حسابات الكثافة:–

تُحسبْ كثافة التضخّم (Bulk Density) (ρ) لنموذج التجربة من أبعاد قالب نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و توزن الكتل. توصف الأبعاد المُعطاة في المواصفات البريطانيّة (BS) لقالب ذي حجم قدره 2305 cm^3 سنتيمتر مكعّب و في المواصفات الامريكيّة (ASTM) 2214 cm^3 سنتيمتر مكعّب و لكن اذا كانت الأبعاد المُقاسة مختلفة, يجب حساب الحجم الحقيقي. ان الرموز المُعطاة هي كالتالي:–

ρ = كثافة تضخّم نموذج الفحص (Mg / m^3 - ميغاغرام/متر مكعّب).

ρ_D = الكثافة نموذج الفحص الجافّة (Mg / m^3 - ميغاغرام/متر مكعّب).

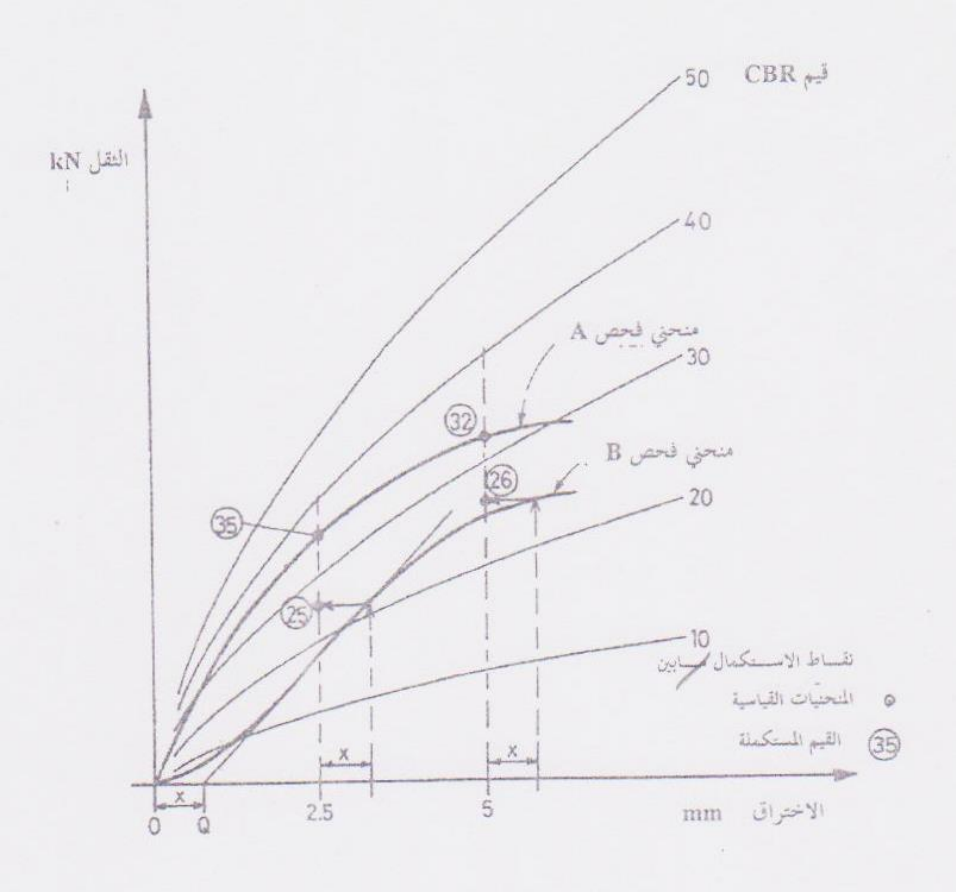
w = محتوى رطوبة النموذج الفحص (%).

m_1 = كتلة التربة في القالب (gm – غرام).

m_2 = كتلة القالب و لوح القاعدة (gm – غرام).

m_3 = كتلة النموذج و القالب و لوح القاعدة بعد الرص أو الانضغاط (gm – غرام).

m_4 = الكتلة نفسها بعد التنقيع (gm – غرام).



شكل رقم (3.3.4.19) – تقدير قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بوساطة التسقيط على مُرتسم مُنحنيات قياسيّة مطبوعة. منحني فحص نوع (A): استكمل بين قيم نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) المُقابلة الى اختراق قدره 2.5 مليمتر و 5 مليمتر. منحني فحص من نوع (B): حصّل على قيمة (Q) كما في الشكل (1.3.4.19.ب). زحّف بقدر x = OQ و حصّل على نقاط الاستكمال من منحني الفحص و كما مُبيّن

فيما يخص كتلة معروفة في التربة (m_1) (gm – غرام):–

$$\rho = \frac{m_1}{2305}\ \text{Mg / m}^3 \text{ ميغاغرام /متر مُكعّب} \quad \text{أو} \quad \frac{m_1}{2214}\ \text{Mg / m}^3 \text{ ميغاغرام/ متر مُكعّب}$$

فيما يخص قيمة مُعطاة من درجة الرص:–

$$\rho = \frac{m_3 - m_2}{2305} \text{ ميغاغرام/ متر مكعّب } Mg / m^3 \quad \text{أو} \quad \frac{m_3 - m_2}{2214} \text{ ميغاغرام/ متر مكعّب } Mg / m^3$$

تُحسب الكثافة الجافّة (ρ_D) من (ρ) و محتوى الرطوبة (w %) من المُعادلة التالية:–

$$\rho_D = \frac{100}{100 + w} \times \rho \quad \text{ميغاغرام/ متر مكعّب } Mg / m^3$$

13. تقديم النتائج:–

تُقدّم نسبة تحمّل كاليفورنيا بالطريقة التالية:–

- الى حد 30 % : لأقرب 1 %.
- من 30 % الى 100 % : لأقرب 5 %.
- اكبر من 100 % : لأقرب 10 %.

تُقدّم نتائج التجارب على كل نهاية من النموذج بشكل مُنفصل لكن اذا كانت القيم ضمن 10 % من القيمة الوسطية, بالإمكان تقديم نتيجة المُعدّل.

يجب تقديم منحني الثقل – الاختراق مُبيّناً التصحيحات اذا كان ذلك مُناسباً كجزءٍ من نتائج التجربة. بالإمكان إظهار المُنحنيات بالتجارب على نهايتي النموذج على ورقة الرسم نفسها. اذا أوقفت التجربة, يجب إعطاء السبب لها.

تؤخذ حدود الاختراق بالشكل التالي:–

يجب عدم اخذ تجربة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) بعد اختراق قدره 7.5 mm مليمتر (0.3 in انج). اذا كان التصحيح لمنحني من النوع المُقعّر الى الأعلى ابتدائياً (المرحلة رقم (10) (ب) من قسم رقم (3.4.19))), يحتاج الى اختراق اكبر من 7.5 mm مليمتر (3 in انج). للحصول على اختراق مُصحّح قدره 5 mm مليمتر (0.2 in انج)، يجب استخدام الثقل المُقابل لاختراق قدره 7.5 mm مليمتر (0.3 in انج) بدلاً عنه. يجب تفسير مُنحني مُقعّر الى الأعلى و مُستمر (أي يزداد انحداراً اثناء التجربة) بحذر (المرحلة رقم (10) (ج) من قسم رقم (3.4.19)).

عند فحص نهايتا النموذج, يجب ان لا يكون الاختراق المُسلّط على النهاية الأولى اكبر من المطلوب لعدم فسح المجال لنتائج غير مفهومة. من المُفضّل استخدام مرتسم القوّة – الاختراق مع تقدّم

التجربة في هذه الحالة و استخدام ورق بياني مؤشّر بمنحنيات قياسيّة كما مُبيّن في شكل رقم (3.2.19). عندما يكون واضحاً أنّ نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) قد تجاوزت قيمتها العظمى, بالإمكان عندئذٍ إيقاف التجربة. مثلاً اذا وجد ان قيمة نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) عند اختراق 2.5 mm مليمتر (0.1 in انج) قد اصبح % 6 و انّ قيمتَهُ في 3.5 mm مليمتر (0.14 in انج) هي اقل بوضوح, بالإمكان إيقاف التجربة في هذه الحالة و تُعطى النتائج كالتالي:-

- نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) في 2.5 mm مليمتر (0.1 in انج) اختراق : % 6.
- نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) في 5 mm مليمتر (0.2 in انج) اختراق : اقل من % 6.

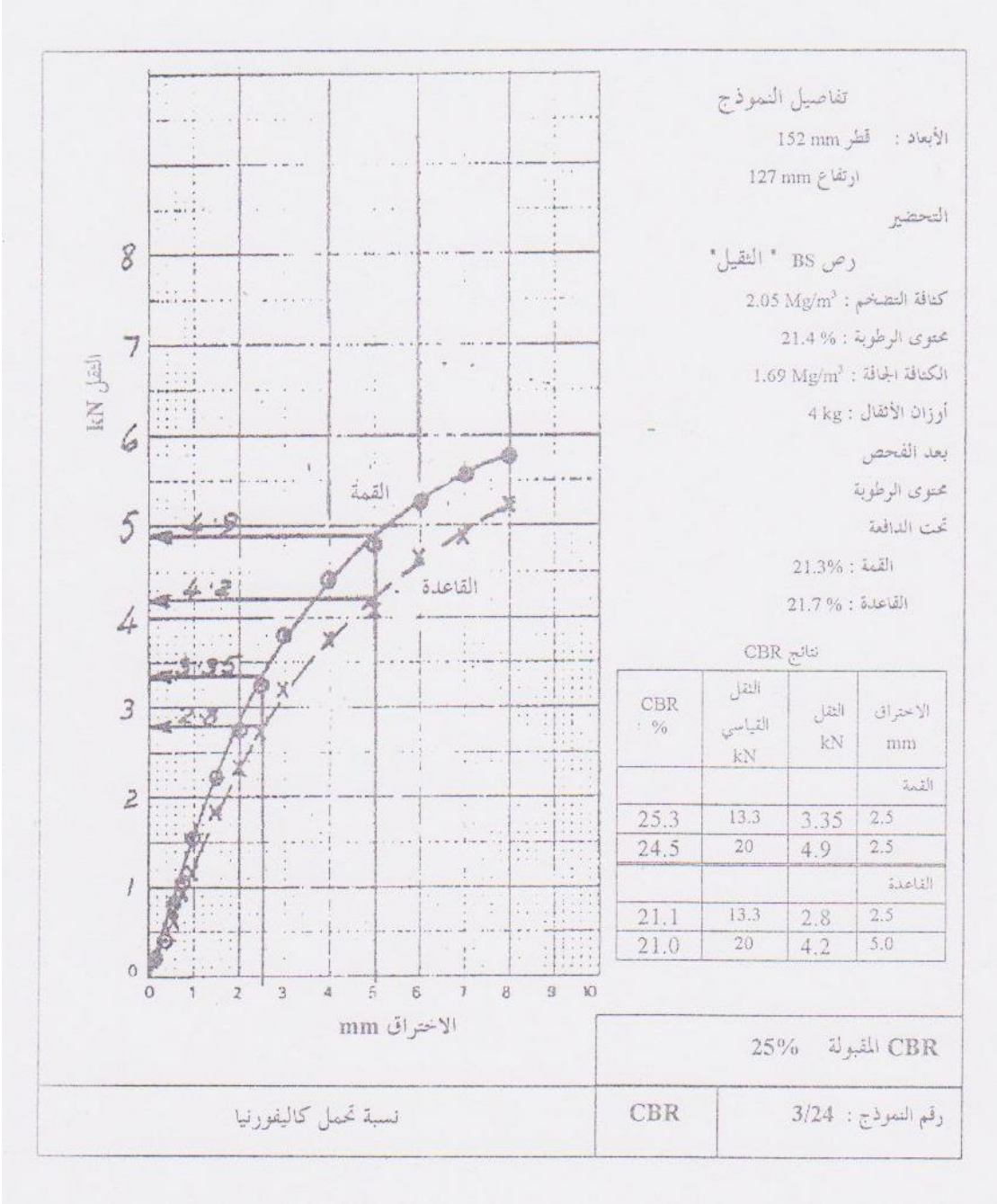
يجب تقديم الكثافة و محتوى الرطوبة و الكثافة الجافّة لكل تجربة على حدة مع الطريقة التي أُخِذَتْ بها نماذج محتوى الرطوبة. يجب وضع تفاصيل طريقة تحضير النموذج و الرص في التقرير مع عبارة توضّح فيما لو كان النموذج مُنقّعاً بالماء أم لا و اذا كان كذلك فمدّة التنقيع مع مُنحني الانتفاخ. انّ طريقة مُناسبة لتقديم النتائج مُبيّنة في شكل رقم (4.3.4.19).

تُبيّن الاشكال من (5.3.4.19) الى (10.3.4.19) اوراق تدوين نموذجيّة لفحص نسبة تحمّل كاليفورنيا كما يعطي الجدول رقم (1.3.4.19) المكافئات المتريّة للوحدات البريطانيّة المُستخدمة في فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR).

5.19 المصادر:-

1. **ASTM D1883 - 07e2 -** ***Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils*****.**
2. **BS 892:1967,** ***Glossary of Highway Engineering Terms*****, British Standards Institution, London.**
3. **Black, W.P.M. (1961),** ***Calculation of Laboratory and In-Situ Values of California Bearing Ratio from Bearing Capacity Data*****, Geotechnique, Vol. 11, No. 1, pp. 14-21.**
4. **Black, W.P.M. (1962),** ***A Method of Estimating the California Bearing Ratio of Cohesive Soils from Plasticity Data*****, Geotechnique, Vol. 12, No. 4.**
5. **Croney, D. (1977),** ***The Design and Performance of Road Pavements*****, HMSO, London.**
6. **Daniel, M.N. (1961),** ***An Investigation of the Effects of Soaking and Compacting Procedure on the Results of California Bearing Ratio Tests on Two Tropical Soils and Stabilised Soils*****, Transport and Road Research Laboratory, Research Note No. RN/4088/MND, November, 1961.**

7. **Davis, E.H. (1949),** ***The California Bearing Ratio Method for the Design of Flexible Roads and Runways,*** **Geotechnique, Vol. 1, No. 4, pp. 249-263.**
8. **Head, K.H., (1988),** ***Manual of Soil Laboratory Testing,*** **Volume 2, Permeability Shear Strength and Compressibility Tests, Pentech Press.**



شكل رقم (4.3.4.19) – نتائج فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) و ورقة الرسم (من المعلومات في الشكل رقم (2.3.4.19))

فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا

المشغل : **العمل :** **الموقع :**

التاريخ : **رقم النموذج :**

وصف التربة : **عمق النموذج :**

رقم نموذج التربة					
طريقة التحضير					
*الكتلة المحتسبة للتربة المطلوبة (m_1)	g				
*كتلة القالب + لوحة القاعدة + التربة (m_3)	g				
*كتلة القالب + لوحة القاعدة (m_2)	g				
*كتلة التربة $(m_2 - m_3)$	g				
مدّة التنقيع	أيام				
*كتلة القالب + لوحة القاعدة + التربة بعد التنقيع (m_4)	g				
كتلة التربة بعد التنقيع $(m_4 - m_2)$	g				
نسبة الإسناد القصوى من المرتسم	%				
كثافة التضخم (غير المنقوعة) $*\rho = \frac{m_1}{2305}$ $*\rho = \frac{m_3 - m_2}{2305}$	Mg/m^3 Mg/m^3				
محتوى الرطوبة (w)	%				
*الكثافة الجافة (غير المنقوعة) $\rho_d = \frac{100\rho}{100 - w}$	Mg/m^3				

* احذف الكلمات أو الرموز التي لا تنطبق.

شكل رقم (5.3.4.19) – ورقة نموذجيّة لتدوين الكثافات

فحص نسبة تحمل كاليفورنيا (المعلومات فيما يخص الكثافة)

الموقع	دلالة العمل	
	رقم بئر الحفرة/ الحفرة	
وصف التربة		
طريقة تحضير النموذج	*BS 1377:Part 4: 1990:7.2.3/7.2.4/7.2.5	
طريقة التحضير	الساكنة، ———— طبقة /طبقات، مع/بدون دق* مدك 2.5 kg / مطرقة هزازة 4.5 kg *	
	الكثافة المحددة * ———— Mg/m³ حجم القالب V ———— cm³ الجهد المحدد * ———— طبقات ———— ضربات لكل طبقة	
* الكتلة المحتسبة للتربة المطلوبة (m_1)	g	
*كتلة القالب + لوحة القاعدة + التربة (m_3)	g	
* كتلة القالب + لوحة القاعدة (m_2)	g	
* كتلة التربة $(m_3 - m_2)$	g	
* مدة التنقيع	أيام	
* الزمن لظهور الماء في أعلى النموذج		
* الانتفاخ النهائي	mm	
*كتلة القالب + لوحة القاعدة + التربة بعد التنقيع (m_4)	g	
*كتلة التربة بعد التنقيع $(m_4 - m_2)$	g	
نسبة التحمل القصوى من المرتسم	%	
كثافة التضخم (غير المنقعة)	$*\rho = \frac{m_1}{V}$ Mg/m³	
	$*\rho = \frac{m_3 - m_2}{V}$ Mg/m³	
محتوى الرطوبة	%	
*الكثافة الجافة (غير المنقعة)	$\rho_d = \frac{100}{100 + w}$ Mg/m³	
* احذف وبما يناسب الحالة		

	مصادقة	تدقيق	المشغل

شكل رقم (6.3.4.19) – ورقة تدوين ما يخص الكثافات

فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

الموقع		دلالة العمل	
		رقم بئر الحفر / الحفرة	
وصف التربة		رقم النموذج	
		العمق	m
طريقة الفحص BS 1377 : Part 4 : 1990 : 7.4			

رقم معدّة قياس القوة	غير منقوع / منقوع*
	معدل المعايرة N/div.

اختراق الدافع mm	قراءة مقياس القوة div		القوة على الدافع kN	
	العلوي	السفلي	العلوي	السفلي
0				
0.25				
0.50				
0.75				
1.00				
1.25				
1.50				
1.75				
2.00				
2.25				
2.50				
2.75				
3.00				
3.25				
3.50				
3.75				

اختراق الدافع mm	قراءة مقياس القوة div		القوة على الدافع kN	
	العلوي	السفلي	العلوي	السفلي
4.00				
4.25				
4.50				
4.75				
5.00				
5.25				
5.50				
5.75				
6.00				
6.25				
6.50				
6.75				
7.00				
7.25				
7.50				

* احذف و بما يناسب الحالة

محتوى الرطوبة بعد الفحص

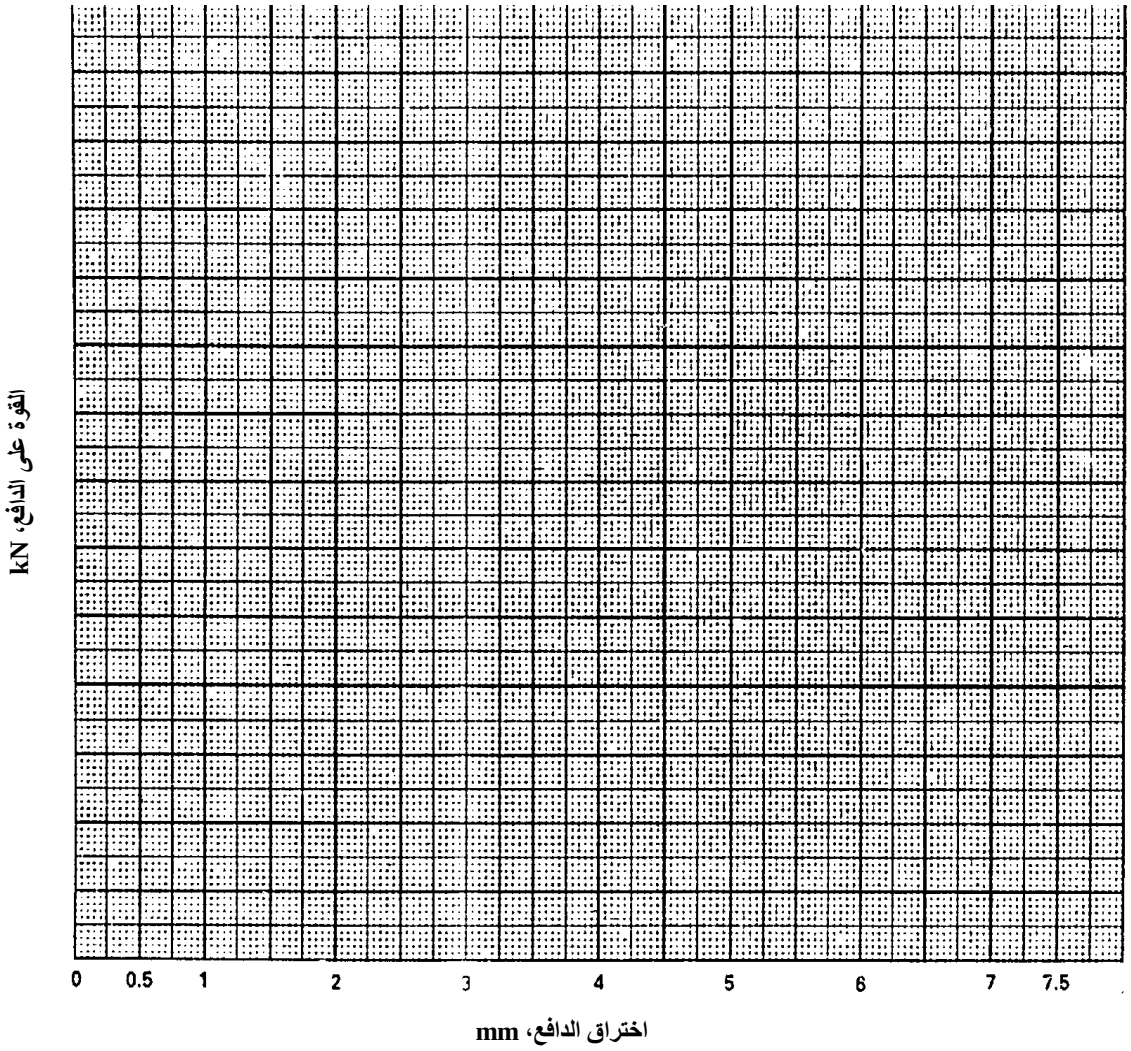
رقم الحاوية						قيمة CBR عند اختراق قدره : 2.5 mm 5.0 mm
كتلة التربة الرطبة + الحاوية (m_2)	g					
كتلة التربة الجافة + الحاوية (m_3)	g				العلوي	% %
كتلة الحاوية (m_1)	g					
كتلة الرطوبة ($m_2 - m_3$)	g				السفلي	
كتلة التربة الجافة ($m_3 - m_1$)	g					
محتوى الرطوبة $w = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1}\right) 100$	%				CBR المقبولة	%
معدل محتوى الرطوبة	%					

	مصادقة	تدقيق	المشغل

شكل رقم (7.3.4.19) – ادراج نتائج فحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR) في ورقة تدوين نموذجيّة

الموقع	دلالة العمل	
	رقم بئر الحفر/الحفرة	
وصف التربة	رقم النموذج	
	العمق	
طريقة الفحص BS 1377:Part4:1990:7.4		

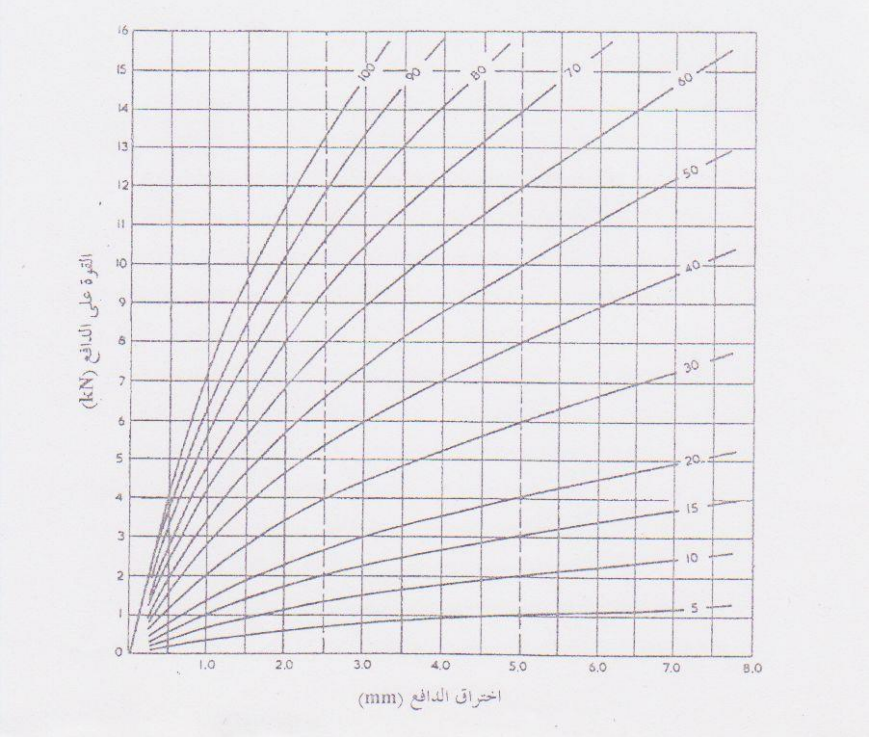
* احذف وبما يناسب الحالة		
	الفحص على الوجه العلوي	غير منقوع/منقوع*
	الفحص على الوجه السفلي	غير منقوع /منقوع*



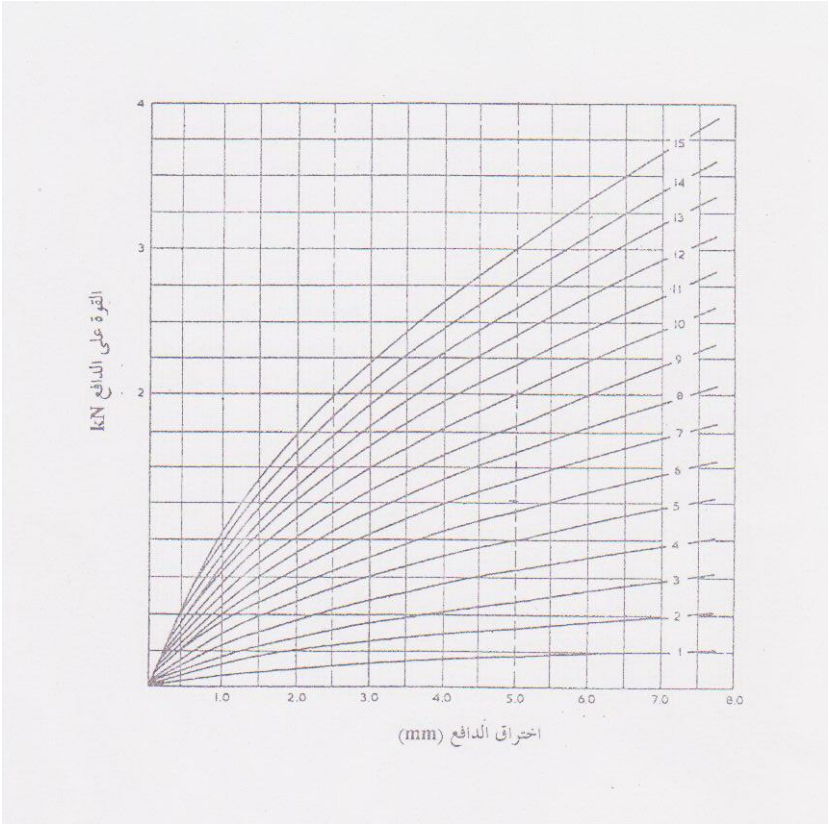
	الوجه العلوي	الوجه السفلي
النسبة المئوية CBR% عند اختراق قدره 2.6 mm		
5.0 mm		

المشغل	تدقيق	مصادقة

شكل رقم (8.3.4.19) – مُرتسم علاقة قوّة الدافع مع اختراقه



شكل رقم (9.3.4.19) – علاقة القوّة على الدافع لمدى من 0 الى 16 kN/m² كيلونيوتن/مترمربّع مع اختراقه بموجب المواصفة البريطانيّة (راجع شكل رقم (3.2.19))



شكل رقم (10.3.4.19) – علاقة القوّة على الدافع لمدى من 0 الى 4 kN/m² كيلونيوتن/مترمربّع مع اختراقه بموجب المواصفة البريطانيّة (راجع شكل رقم (3.2.19))

جدول رقم (1.3.4.19) المكافئات المتريّة ذات العلاقة بفحص نسبة تحمّل كاليفورنيا (CBR)

الوحدات الأمريكية الاعتيادية (in)	المكافئات بالوحدات المترية (mm)	الوحدات الأمريكية الاعتيادية (in)	المكافئات بالوحدات المترية (mm)	الوحدات الأمريكية الاعتيادية (in)	المكافئات بالوحدات المترية (mm)
0.003	0.076	$\frac{19}{32}$	15.08	$3\frac{1}{2}$	88.90
0.005	0.127	$\frac{5}{8}$	15.88	$3\frac{3}{4}$	95.25
1.135	3.43	$\frac{3}{4}$	19.10	$4\frac{1}{4}$	108.0
0.201	5.11	$\frac{15}{16}$	23.81	$4\frac{1}{2}$	114.3
0.4375	11.11	1	25.40	$4\frac{3}{4}$	120.7
0.4378	11.12	$1\frac{1}{8}$	28.58	$5\frac{7}{8}$	149.2
0.510	12.95	$1\frac{1}{4}$	31.8	$5\frac{15}{16}$	150.8
0.633	16.08	$1\frac{3}{8}$	34.9	6	152.0
1.370	34.60	$1\frac{1}{2}$	38.10	$6\frac{7}{32}$	158.0
1.375	34.93	$1\frac{3}{4}$	44.5	$6\frac{1}{2}$	165.1
1.954	49.63	$1\frac{13}{16}$	46.04	7	177.8
2.416	61.37	$1\frac{15}{16}$	49.21	$7\frac{1}{2}$	190.1
$\frac{1}{16}$	1.59	2	50.80	$8\frac{3}{8}$	212.7
$\frac{7}{32}$	5.56	$2\frac{1}{8}$	53.98	$8\frac{1}{2}$	215.9
$\frac{1}{4}$	6.35	$2\frac{1}{5}$	55.9	$9\frac{3}{8}$	238.1
$\frac{3}{8}$	9.53	$2\frac{1}{4}$	57.2	$14\frac{1}{4}$	362.0
$\frac{7}{16}$	11.11	$2\frac{1}{2}$	63.50	18	457.2
$\frac{15}{32}$	11.91	$2\frac{3}{4}$	69.85	$32\frac{1}{4}$	719.2
$\frac{1}{2}$	12.70	$2\frac{31}{32}$	75.41	$36\frac{5}{8}$	930.0
$\frac{17}{32}$	13.49	3	76.20	39	990.6

الوحدات الأمريكية الاعتيادية (lb)	المكافئات بالوحدات المترية (kg)	الوحدات الأمريكية الاعتيادية (Psi)	المكافئات بالوحدات المترية (MPa)
0.04	0.02	200	1.4
0.05	0.02	400	2.8
0.12	0.05	600	4.1
0.59	0.27	800	5.5
0.71	0.32	1000	6.9
0.75	0.34	1200	8.3
3.20	1.45	1400	9.7
5.00	2.27		
10.00	4.54		

9. Porter, O.J. (1938), *The Preparation of Subgrades*, Proceedings of the Highway Research Board, Washington, 18 (2), pp. 324-331.
10. Porter, O.J. (1949), *Development of CBR Flexible Pavement Design for Airfields. Development of the Original Method for Highway Design*, Proceedings ASCE, 75, pp. 11-17.

11. **Stanton, T.E. (1944),** ***Suggested Method of Test for the California Bearing Ratio Procedures for Testing Soils,*** **ASTM, Philadelphia.**
12. **Transport and Road Research Laboratory (1952),** ***Soil Mechanics for Road Engineers,*** **Chapters 19 and 20, HMSO, London.**
13. **Transport and Road Research Laboratory (1968), Laboratory Report LR 192,** ***Design Recommendations for Unreinforced Concrete Pavements,*** **TRRL, Crowthorne, Berks.**
14. **Transport and Road Research Laboratory (1970), Road Note 29,** ***A Guide to the Structural Design of Pavements for New Roads,*** **HMSO, London.**
15. **Transport and Road Research Laboratory (1977), Road Note 31,** ***A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surfaced Roads in Tropical and Sub-Tropical Countries,*** **HMSO, London.**