

دليل المختبر لمشاريع الطرق

١ - مقدمة

يهدف هذا الدليل إلى التركيز على خطوات اختبارات مواد الطرق الأساسية للحصول على النتائج الدقيقة المطلوبة التي تمكن من الحكم السليم على جودة المواد و الأعمال المنفذة ومن ثم قبولها أو رفضها . ويشمل هذا الدليل أنواع الاختبارات التي تجرى على مواد طبقات الرصف وطرق أجزائها ومعدلات الاختبارات المطلوبة في الموقع . ويبدأ الدليل بتعريف أنواع العينات المختلفة وأماكن أخذ تلك العينات وحجمها . وتأتي المرحلة التالية لشرح التجارب المعملية التي تجرى على التربة مثل تجارب (حساب المحتوى المائي ، حد السيولة وحد اللدونة ، التدرج الحبيبي للتربة - تعيين الكثافة بطريقة المخروط الرملي - اختبار الدمك - نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR)) وتجارب مواد الأساس (التحليل المنخلي- الوزن النوعي والامتصاص ، مقاومة الركام للبري ، تأكل الركام ، المواد المارة من منخل # ٢٠٠ ، تحديد الكتل الطينية والحبيبات سهلة التفتت في الركام ، تقدير المواد اللدنة الناعمة في الركام) ، وتجارب الأزفلت السائل مثل تجارب (درجة الوميض ودرجة الاشتعال ، تحديد درجة الغرز للمواد البيتومينية ، واللزوجة الحركية واللزوجة المطلقة) واختبارات الخلطة الأزفلتية مثل تجارب (استخلاص الأزفلت ، الوزن النوعي لعينات الخلطة الأزفلتية ، الوزن النوعي الأقصى ، وزن وحدة الحجم ، اختبار مارشال لتصميم الخلطة الأزفلتية ، واختبارات تصميم الخلطة الأزفلتية بالطريقة الحديثة) . وأخيراً الاختبارات القياسية التي تجرى على البلاط والطوب .

٢- الخواص الهندسية للمواد

تعتبر جودة الخواص الهندسية لمواد إنشاء الطرق من أهم العوامل التي تؤثر على جودة الطرق ، وللاحتفاظ بطرق ذات جودة عالية ، وذلك بالإضافة للتنفيذ الجيد حسب المواصفات القياسية لطرق الإنشاء . وتقاس الخصائص الهندسية للمواد بواسطة أخذ عينات وعمل التجارب المعملية اللازمة ، وذلك للتحقق من جودتها ومواصفاتها الهندسية الفعلية ثم مقارنة نتائج الاختبارات بالمواصفات المطلوبة للتنفيذ ، وذلك لقبول أو رفض تلك المواد . ومن أولويات المهندس التحقق من أن العينات والاختبارات تتوافق مع الطرق المعطاة في المواصفات ، وأن المواد المستخدمة في العمل والموردة إلى الموقع تتوافق مع مواصفات العقد . وللتحكم في جودة المواد المستخدمة تتبع إحدى الخطوات التالية .

- ١ . يتم مراجعة المواد أو أخذ عينات وإجراء التجارب عليها في الموقع .
 - ٢ . أخذ عينات في الموقع وإرسالها إلى معامل متخصصة .
 - ٣ . أخذ العينات واختبارها في الموقع ولكن جزء من العينات يتم إرساله إلى معامل مركزية متخصصة ، وذلك للتأكد من أداء المعدات وخطوات الاختبارات في الموقع .
 - ٤ . تقبل المواد على أساس ضمان أو شهادة من المورد . وعلى المهندس والمراقب في المشروع أن يكونا على دراية كافية بالطرق التي تستخدم للحكم على المواد والعينات الموردة للموقع ، وذلك لضمان توافرها مع المتطلبات والمواصفات .
- و أيضاً على المقاول والمراقب معرفة أين ومتى وكيف تؤخذ العينة ، وما هي الاختبارات الواجب إجراؤها . كما أن المسؤولية الخاصة بالتأكد من كون المواد المستخدمة في عمليات الرصف تتوافق مع المواصفات القياسية تقع على عاتق المهندس ، وفي حالة كون نتائج الاختبارات غير متوافقة مع المواصفات يجب اتخاذ القرار باستبعاد أو إزالة الجزء المنفذ من هذه المواد واستبعاد المواد الموردة .

٣ - أنواع العينات .

تم تقسيم العينات المأخوذة اعتماداً على المعلومة المطلوبة عن المواد إلى ما يلي :

- عينات تأهيلية Qualifying Samples .

- عينات ضبط الإنتاج Job Control Samples .
- عينات فصل Split Samples .
- عينات استبائية Information Samples .
- عينات التأكد المعملية Laboratory Check Samples .
- عينات القبول Acceptance Samples .

٣ - ١ - عينات تأهيلية Qualifying Samples .

العينات التأهيلية يتم أخذها واختبارها لتحديد جودة منتج معين أو مصدر عام ، وذلك لتحديد قبول أو رفض الأرفلت أو أي مواد متعلقة بأعمال الزفلة مثل مقارنة التفتت والتحليل المنخلي للركام .

٣ - ٢ - عينات ضبط الإنتاج Job Control Samples .

يتم اختبار ضبط الإنتاج في الموقع أو في مكان الإنتاج لغرض ضبط الجودة لكل المواد المستخدمة في الإنشاء . ويتم أخذ العينات في الأماكن التي تتطلب فيها المواد تحقيق مواصفات معينة .

٣ - ٣ - عينات فصل Split Samples .

هي عينات تؤخذ للفصل في نتائج الاختبارات ، حيث تؤخذ العينات وترقم وتجرى على بعضها الاختبارات في المعامل المركزية الرئيسية والبعض الآخر في معمل المشروع ، ثم تقارن النتائج مع بعضها .

٣ - ٤ - عينات التأكد المعملية Laboratory Check Samples .

يتم أخذ عينات بأقصى مراجعة للمواد المستخدمة في الإنشاء ، وهي تشابه عينات ضبط الإنتاج فيما عدا أنها تؤخذ وتختبر بواسطة المهندس أو في وجود المهندس أو من يمثله ، والغرض من هذه الاختبارات المراجعة على المعدات والخطوات التي تجرى في أخذ العينات واختبارات المواد وللتحقق من جودة التنفيذ .

٣ - ٥ - عينات استبائية Information Samples .

العينات الاستبائية عبارة عن عينات غير المذكورة أعلاه ، وهذه العينات تؤخذ أثناء إنتاج المواد وقبل عملية قبولها ، مثل تدرج المواد لإيضاح صلاحية استخدامها ، وكذلك والعينات المأخوذة أثناء معايرة خلطة الزفت الساخن .

٣ - ٦ - عينات القبول Acceptance Samples .

تؤخذ هذه العينات من أماكن عشوائية لغرض التحقق من موافقة مواد التنفيذ للمواصفات قبل الاستلام النهائي .

٤ - أماكن أخذ العينات .

تختلف أماكن أخذ العينات حسب نوع المواد والمعلومة المطلوبة ، وتؤخذ عينات من المواد كل فترة لعمل ضبط سليم للعمل ولضمان جودة المواد لتحديد قبولها وتوافقها مع المواصفات الخاصة بتنفيذها .
وتؤخذ العينات عادة أثناء عمليات خلط الركام من الخلطة أو سيارات النقل أو من الحاويات المستخدمة للتخزين ومن أي أماكن أخرى حسب متطلبات ومواصفات التنفيذ .
ويعتبر المهندس مسؤولاً عن التأكد من أن جميع المواد المستخدمة في المشروع تتوافق مع المواصفات تماماً حيث تؤخذ عينات ضبط الإنتاج ، وإذا لم تحقق النتائج المطلوبة يتم إزالة الأعمال التي تمت بهذه المواد أو يعاد معالجتها واختبارها مرة أخرى حتى تتوافق مع المواصفات الفنية المطلوبة .

جدول رقم (١)

معدلات الاختبارات وأماكنها وأحجام العينات

البند	الاختبار	معدلات الاختبارات			حجم العينة ومكانها
		مراجعة	ضبط العمل	جودة / مصدر	
1-الردم المستخدم كقاعدة ترابية (لصرف)	1-نسبة تحمل كاليفورنيا CBR	كل ٥٠٠٠ متر من الردم	-	-	50كجم عينة من الطريق
2-التصنيف (Subgrade)	2-التصنيف	كل ٥٠٠٠٠ م ٢ من الردم	اختبار كل ٥٠٠٠ م ٢	-	استخدام نفس العينة

-	استخدام نفس العينة	-	-	اختبار كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	3-الكثافة الرطبة	
-	في المكان قبل وضع الطبقة التالية مباشرة	-	اختبار كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	اختبار كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	4-الكثافة في الموقع	
-	-	-	اختبار كل ٢م ٥ر٠٠٠	-	1-التصنيف	2-الردم حول المنشآت
-	-	-	-	-	2-الكثافة الرطبة	
-	في المكان قبل وضع الطبقة مباشرة	-	اختبار كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	اختبار كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	3-الكثافة بالموقع	
عينة ٧٥ كجم من الكسارة أو من الحفرة	35كجم من الخلاطة المركزية	اختبار واحد للمصدر	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	1-تحليل منخلي	3-طبقة الأساس الحصوي وطبقة تحت الأساس
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	اختبار واحد للمصدر	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	2-معامل اللدونة	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	اختبار واحد للمصدر	-	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	3-الفاقد بالبري	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	اختبار واحد للمصدر	-	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	4-الكثافة الرطبة	
استخدام نفس العينة	-	اختبار واحد للمصدر	-	اختبار كل ٣م ١٠ر٠٠٠	5-نسبة تحمل كاليفورنيا CBR	
في الموقع قبل وضع الطبقة التالية مباشرة	-	-	واحد كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	واحد كل طبقة كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	6-كثافة الموقع	
في نفس المكان	-	-	واحد كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	-	7-السمك	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	اختبار واحد للمصدر	واحد كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	واحد كل ٣م ١٠ر٠٠٠	8-أوجه مكسرة	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	اختبار واحد للمصدر	واحد كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	واحد كل ٣م ١٠ر٠٠٠	9-حبيبات رقيقة وطويلة	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	اختبار واحد للمصدر	واحد كل ٢م ٢٠ر٠٠٠	واحد كل ٣م ١٠ر٠٠٠	10-مقاومة التآكل	
-	عينة ١٠ كجم من كل وعاء تخزين	-	اختبار للخلاطة لكل يوم إنتاج	اختبار أسبوعي من المخازن الباردة أثناء الخلط	1-تحليل منخلي	5-الركام لطبقة تحت الأساس البيتوميني وطبقة تحت الأساس ذات التدرج المفتوح (أوعية

						التخزين (الساخنة)
عينة ٥٠ كجم لكل مقاس و ١٠ لتر من الأزفلت لكل نوع (مصدر)	-	واحد للمصدر	-	-	1- اختبار مارشال لتصميم الخلطة	6- طبقة أساس بيتومينية
-	عينة ١٥ كجم من الطريق خلف الفرادة	-	اختبار كل يوم إنتاج للخلطة	-	2- ثبات مارشال	
-	استخدام نفس العينة	واحد للمصدر	-	اختبار إنتاج خلطة لكل أسبوع	3- تأثير المياه	
-	عينة ١٠ كجم على الطريق خلف الفرادة	-	اختبار كل ٣٥٠٠ وليس أقل من اختبار / يوم إنتاج	اختبار واحد كل ٣٥٠٠٠	4- استخلاص الأزفلت (المحتوى الأزفتي)	
-	استخدم نفس العينة	-	اختبار كل ٣٥٠٠ وليس أقل من اختبار / يوم إنتاج	اختبار واحد كل ٣٥٠٠٠	5- تدرج الركام المستخلص	
-	من الطريق	-	قالب عينة لكل ٢١٠٠٠ من الطبقة المرصوفة	-	6- السمك	
-	استخدام عينة من الطريق	-	قالب عينة لكل ٢١٠٠٠ من الطبقة المرصوفة	-	7- كثافة الموقع	
عينة من الكسارة أو من الحفرة	عينة من الكسارة أو من الحفرة ٢٥ كجم	واحد للمصدر ٢٥ كجم	-	اختبار كل أسبوع إنتاج	1- تحليل منخلي	7- الركام للأساس البيتوميني (المخازن الباردة)
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	واحد للمصدر	-	اختبار كل أسبوع إنتاج	2- أوجه مكسرة	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	واحد للمصدر	واحد كل أسبوع إنتاج	اختبار كل أسبوع إنتاج من التغذية الباردة أثناء الخلط	3- المكافء الرمي	
استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	واحد للمصدر	واحد كل أسبوع إنتاج أثناء الإنتاج والتخزين	اختبار كل أسبوع إنتاج من التغذية الباردة أثناء الخلط	4- معامل اللدونة	

استخدام نفس العينة	استخدام نفس العينة	واحد للمصدر	-	-	5-مقاومة التآكل	
عينة ٥٠ كجم لكل مقاس و١٠ لتر من الأزفلت لكل مصدر	-	واحد للمصدر	-	-	1-اختبار مارشال	
-	عينة ١٥ كجم من الطريق خلف الفرادة	-	اختبار إنتاج كل إنتاج خلاطة يومي	-	2-ثبات مارشال	
-	استخدام نفس العينة	واحد للمصدر	-	واحد كل خلاطة لكل أسبوع إنتاج	3-تأثير المياه	8-طبقة الأساس والطبقة السطحية البيتومينية
-	عينة 10 كجم من الطريق خلف الفرادة	-	واحد كل ٣٥٠٠ وليس أقل من واحد كل إنتاج يومي	واحد كل ٣٥٠٠	4-محتوى الأزفلت المستخلص	
-	استخدام نفس العينة	-	واحد كل ٣٥٠٠ وليس أقل من واحد كل إنتاج يومي	واحد كل ٣٥٠٠	5-تدرج الركام المستخلص	

٥- اختبارات التربة

١-٥ حساب المحتوى المائي Water Content

يعتبر حساب المحتوى المائي من التجارب الروتينية التي تقوم بحساب كمية الماء الموجودة في التربة والمحسوبة على أساس الوزن الجاف لتلك التربة .
طريقة العمل :

- ١ . قم بوزن علبه الصفيح أو الألمونيوم مع غطائها وتأكد من وضع علامة فارقة على العلبه والغطاء . تتوفر علب الرطوبة بأحجام مختلفة إلا أن النوع ذو قطر ٥سم وارتفاع ٤,٤سم هو أكثر الأنواع شيوعاً .
- ٢ . ضع عينة التربة الرطبة في العلبه ، وأوجد وزن العلبه والتربة الرطبة معاً ، وإذا تمت عملية الوزن في الحال فلا داعي لوضع الغطاء على العلبه أما إذا حصل تأخير في الوزن يتراوح ما بين ٣ – ٥ دقائق أو أكثر ضع الغطاء على العلبه للمحافظة على رطوبة التربة وضع العلبه تحت قطعة قماش مبلولة للمحافظة على الرطوبة المحيطة بالعلبة .
- ٣ . بعد وزن العلبه و العينة الرطبة ارفع الغطاء (في العادة يوضع الغطاء أسفل العلبه) وضع العينة في الفرن .
- ٤ . بعد أن تجف العينة ، أي بعد أن يصبح وزنها ثابتاً قم بوزن العينة الجافة والعلبة ، مع التأكد من استعمال نفس الميزان لكل عمليات الوزن .
- ٥ . احسب المحتوى المائي وهو الفرق بين وزن العلبه مع العينة الرطبة ووزن العلبه مع العينة الجافة . ويمثل وزن الماء الموجود في العينة (WW) ، والفرق بين وزن العلبه مع العينة الجافة ووزن العلبه الفارغة يمثل وزن العينة (WS) :

$$W \quad \underline{WW} \quad *$$

$$= \% 100$$

$$WS$$

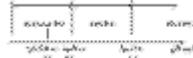
و يجب أن تجفف عينة التربة في فرن درجة حرارته ١٠٥-١٠ درجات مئوية إلى أن يثبت وزن العينة ، وذلك لأن وزن العينة يتناقص مع تبخر الماء منها . ليس من الضروري وزن العينة عدة مرات أثناء تبخر الماء للتأكد من ثبوت الوزن ، ولكن توضع العينة في الفرن لمدة ١٢ إلى ١٨ ساعة (عادة خلال الليل) . هذا ولقد ثبت بالتجربة بأن طريقة التجفيف هذه كافية للعينات الصغيرة وفي أعمال المعامل الروتينية .
ومن المعتاد أن توزن العينات المستعملة في حساب المحتوى المائي حالاً بعد أخذها من الفرن (باستعمال الملقط) ولو تأخر الوزن لأي سبب من الأسباب فيجب وضع الغطاء على العلبة أثناء تبريدها لمنع امتصاص العينة للماء من هواء الغرفة .
ولضمان حساب المحتوى المائي بشكل دقيق تستعمل عينات تربة بالأوزان التالية :

أكبر حجم لحبيبات التربة (100 - 95) مرور بالمخل رقم)	الأوزان المطلوبة (جم)
رقم ٤	100
رقم ٤٠	10 - 50
نصف بوصة	300
2 بوصة	1000

٢-٥ حد السيولة وحد اللدونة للتربة (Liquid Limit (LL) And Plastic Limit (PL))

يعتبر حدا السيولة و اللدونة اثنين من مجموع خمسة حدود افترضها العالم السويدي أ. أتربرج (A.Atterberg) وأهم هذه الحدود هي :

١. حد الانكماش (Shrinkage Limit (SL)) : وهو أقل نسبة مئوية للمحتوى المائي والتي لا يحدث بعدها أي نقص في حجم التربة نتيجة لفقدان الرطوبة منها .
٢. حد اللدونة (Plastic Limit (PL)) : وهو المحتوى المائي للتربة والذي إذا قل عنه تصبح التربة غير لدنة .
٣. حد السيولة (Liquid limit (LL)) : وهو أقل نسبة للمحتوى المائي للتربة والذي إذا قل عنه أصبحت التربة لدنة ، وعند هذا المحتوى توشك التربة أن تصبح سائلاً لزجاً .



* يمكن أن يقع حد الانكماش (SL) يمين حد اللدونة (PL) لبعض أنواع التربة
شكل رقم (١) حدود أتربرج على مقياس المحتوى المائي

ويستعمل حدا السيولة و اللدونة بشكل كبير في تصنيف التربة وتعريفها ، ويستعمل حد الانكماش في المناطق التي يتغير فيها حجم التربة نتيجة تعاقب الرطوبة والجفاف. ويمكن استعمال حدي السيولة و اللدونة في تحديد التغيرات الحجمية في التربة . ويستعمل حد السيولة في حسابات اندماجية التربة .

* حد السيولة (LL) (Liquid limit) :

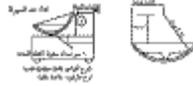
اقترح أتربرج تعريف حد السيولة بأنه المحتوى المائي للتربة التي عندها يلتحم ولمسافة نصف بوصة جانبي شق في العينة من تأثير ٢٥ ضربة في جهاز تعيين السيولة بحيث تسقط كل ضربة مسافة ١ سم . وهناك عدة عوامل في هذا الاختبار تؤثر على المحتوى المائي هي :

١. سرعة الضربات .
٢. الوقت اللازم لتحضير العينة في جهاز السيولة .
٣. الرطوبة النسبية .
٤. نوع جهاز السيولة .
٥. مسافة السقوط والمحددة هنا بواحد سنتيمتر .

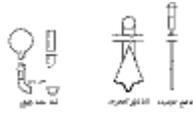
هذا بالإضافة إلى نوع التربة وكفاءة الشخص الذي يقوم بالتجربة .
ولغرض التقليل من تأثير العوامل أنفة الذكر تم عمل جهاز قياسي ونوعين من أدوات قطع العينة هما : -

١. أداة قطع مقترحة من قبل كازجراند (Cassagrande) (انظر شكل رقم ٢- ب) ، وهذا النوع يقوم بتحديد سمك العينة بالإضافة إلى القطع .
٢. أداة قطع مقترحة من قبل الجمعية الأمريكية للفحص والمواد (ASTM) (انظر شكل رقم ٢- ج)

وهذا النوع مفضل بالنسبة للتربة ذات المحتوى المائي المنخفض والصعبة القطع مثل التربة الرملية والطينية ، وفي هذا النوع من التربة يمكن الاستعانة أولاً بالسكين (Spatula) للمساعدة في تحديد مكان القطع ثم يليها استخدام أداة القطع .
ولغرض السيطرة على سرعة الضربات يجب إدارة مقبض الضربات بمعدل ١٢٠ دورة في الدقيقة أي بمعدل ١٢٠ ضربة في الدقيقة الواحدة .
هذا وقد حددت الجمعية الأمريكية للفحص والمواد استعمال الماء المقطر عند الاختبار .



شكل (٢- أ) جهاز حد السيولة



شكل (٢- ب) شكل (٢- ج)

شكل رقم (٢)

جهاز كازجراندي وجهاز (ASTM)

يتم عمل تجربة حدود أتريرج على التربة التي تمر من المنخل رقم (٤٠) ، إلا أن التربة التي تجلب من الحقل تكون مبلولة ويصعب مرورها من هذا المنخل ، لهذا فإنه من المسموح به تجفيف التربة هوائياً (Air-dry) للمساعدة على مرور الحبيبات خلال ذلك المنخل حسب التعليمات القياسية للجمعية الأمريكية للفحص والمواد (ASTM D421-58) . ولا يسمح بتجفيف التربة بالفرن لأن هذه العملية تقلل في العادة من قيم حدي السيولة واللدونة على عكس التجفيف بالهواء حيث دلت البحوث على أن التربة المجففة هوائياً يمكن أن تستعيد القيم الحقيقية للحدود بعد خلطها بالماء ومعالجتها من ٢٤ إلى ٤٨ ساعة . كما أن تجفيف التربة هوائياً يقلل حد السيولة بمقدار ٢-٦٪ . ولتجنب هذه المشكلة يمكن اختيار التربة من الحقل عن طريق النظر بحيث تستطيع حبيباتها المرور خلال المنخل رقم (٤٠) .

لتحديد قيمة حد السيولة بصورة دقيقة ترسم العلاقة بين عدد الضربات باستعمال المقياس اللوغاريتمي وبين المحتوى المائي باستعمال المقياس الطبيعي . وعادة ما تكون العلاقة خطأً مستقيماً ، وبذلك يصبح من السهل إيجاد المحتوى المائي بهذه الطريقة . وعليه فالمطلوب هو إيجاد ثلاث إلى ست نقاط تمثل العلاقة بين عدد الضربات والمحتوى المائي ، (بالطبع يجب أن يشمل مدى الضربات ٢٥ ضربة) . يتم بعد ذلك رسم هذه النقاط على ورق نصف لوغاريتمي وتوصيلها بخط مستقيم ثم قراءة مقدار المحتوى المائي الذي يقابل ٢٥ ضربة من الرسم البياني . ويجب ملاحظة أنه كلما كانت النقاط المرسومة قريبة من الـ ٢٥ ضربة كانت النتائج أفضل .

* حد اللدونة (LL Plastic limit) :

لقد أمكن من التجربة إعطاء حد اللدونة تعريف كافي على أنه المحتوى المائي الذي يمكن عنده قتل التربة إلى خيط قطره (١٢٥ ، بوصة) دون أن ينقطع هذا الخيط ، وتعتمد هذه التجربة نوعاً ما على الشخص الذي يقوم بها مقارنة بتجربة حد السيولة ، وذلك لصعوبة تقدير قطر قدره (١٢٥ ، بوصة) . ولكن للحصول على نتائج أكثر دقة يمكن مقارنة خيط التربة بسلك أو قضيب قطره (١٢٥ ، بوصة) ، حيث يمكن إجراء التجربة من قبل فنيين مختلفين والحصول على نتائج في حدود ١-٣٪ لنفس نوع التربة .

* مؤشر اللدونة (PI Plasticity Index) :

هو الفرق بين حد السيولة وحد اللدونة للتربة ويمكن كتابته كما يلي :

$$PI = LL - PL$$

تكون التربة عديمة اللدونة في الحالات التالية :

١. عندما يصعب تعيين حد السيولة أو حد اللدونة .

٢. عندما يكون حد اللدونة مساوياً أو أكبر من حد السيولة . ١.

حساب حدود أتبرج

المشروع : إنشاء طريق

رقم العملية : -

موقع المشروع : بلدية

رقم التقب : -

رقم العينة : -

وصف التربة : طين بني فاتح

عمق العينة :

اسم الفاحص : ر.د.س

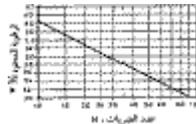
التاريخ : ١٥/٣/١٤٢٠هـ

- حساب حد السيولة

رقم العينة	23	39	14
وزن التربة الرطبة + العينة (جم)	33.51	34.79	39.40
وزن التربة الجافة + العينة (جم)	28.08	29.55	34.00
وزن العينة (جم)	11.92	11.97	14.95
وزن التربة الجافة (جم)	16.16	17.58	19.05
وزن الماء (جم)	5.43	5.24	5.40
المحتوى المائي %W	33.6	29.8	28.4
عدد الضربات N	18	28	35

- حساب حد اللدونة

رقم العينة	63	35
وزن التربة الرطبة + العينة (جم)	24.59	24.17
وزن التربة الجافة + العينة (جم)	22.59	23.77
وزن العينة (جم)	22.59	21.53
وزن التربة الجافة (جم)	1.70	2.24
وزن الماء (جم)	0.30	0.40
المحتوى المائي % W = Wp	17.7%	% 17.9



شكل رقم (٣) بيانات نموذجية من تجربة حدود أتبرج

٥ - ٣ - التدرج الحبيبي للتربة Grain Size Distribution

يستخدم اختبار التدرج الحبيبي في تصنيف التربة عن طريق التحليل المنخلي لها Sieve Analysis باستخدام المناخل التي تتراوح فتحاتها من ١٠٠ ملم (٤ بوصة) إلى ٠,٠٧٥ ملم (منخل رقم ٢٠٠) حسب المواصفات الأمريكية وهي :

رقم المنخل	الفتحات بالملم
4	100.00
3	75.00
2	50.00
2/1 1	37.5
1	25.00
4/ 3	19.00
2/1	12.5
8/3	9.5
4	4.75
10	2.00
20	0.850
40	0.425
80	0.180
200	0.075

جدول رقم (٢) أرقام المناخل ومقاساته

ويقاس التدرج الحبيبي لجزء التربة المار من المنخل رقم (٢٠٠) باستخدام جهاز قياس الثقل النوعي Hydrometer ، ويتم بعد ذلك رسم منحني التدرج ومن ثم تحديد نسب المواد المكونة للتربة والتي من أهمها نسبة المواد الطينية ، ويتم تحديد المواد المخصصة للردم أو لتصميم الطريق بناءً على المواصفات الخاصة بالمشروع والتي تعطي أفضل تدرج وثبات وأكبر قدرة تحمل ، ويتم التأكد من مطابقة المواد لتلك المواصفات عن طريق التحليل المنخلي لعينة منها .

١ . المواصفات الفنية .

D – 422 & ASTM D-421

T – 88 & AASHTO T – 78

٢ . الأدوات المستخدمة

- ١ . مجموعة من المناخل حسب المواصفات .
- ٢ . ميزان بحساسية ٠,١ جرام .
- ٣ . فرن تجفيف .
- ٤ . جهاز قياس الثقل النوعي .
- ٥ . مقياس حرارة .

٣ . طريقة الاختبار :

- ١ . يتم الحصول على حوالي ٥٠٠ جرام من التربة الممثلة باستخدام جهاز فصل التربة ثم توزن التربة.
- ٢ . رتب المناخل المطلوبة من الأعلى إلى الأسفل حسب حجم أكبر حبيبات التربة ثم ضع التربة وهز المناخل بعد تغطيتها باليد أو باستخدام الهزاز الميكانيكي لحين توقف التربة عن المرور .
- ٣ . قس وزن التربة المتبقية على سطح كل منخل إلى أقرب ٠,١ جرام وقارنه بوزن التربة عند بداية الاختبار .

٤. احسب نسبة الوزن المرتد ومنه نسبة التربة المارة وسجل البيانات في النموذج المعد لذلك ومن ثم ارسم منحنى التدرج .
٥. ولتحليل التربة المارة من منخل رقم (٢٠٠) باستخدام جهاز الثقل النوعي (الهيدروميتر) ضع التربة على منخل رقم (٢٠٠) واغسل التربة بعناية واجمع التربة المارة بعد تصفيتها وتجفيفها بالفرن .
٦. امزج ٥٠ جم من التربة مع ١٢٥ مليلتر من ٤٪ من محلول $NaPO_3$ جديد لم يمر أكثر من شهر واحد على تركيبه ثم اترك المزيج لمدة تتراوح بين ١٠-١٦ ساعة .
٧. انقل التربة إلى كأس الخلاط بعناية بحيث لا يفقد أي جزء من الخليط وأضف إليها ماء مقطر إلى ثلثي كأس الخلاط ثم اخلط المزيج لمدة دقيقة .
٨. جهز ١٢٥ مليلتر من محلول $NaPO_3$ وأضف إليه ماء مقطر حتى يصل الحجم إلى ١٠٠٠ مليلتر وبدرجة حرارة ثابتة .
٩. انقل مزيج التربة مع المحلول إلى كأس مدرج وأضف إليه المزيج الذي تم تحضيره في الخطوة رقم ٨ إلى علامة ١٠٠٠ مليلتر .
١٠. ضع الغطاء بإحكام ثم اقلب الكأس إلى أعلى وإلى أسفل لمدة دقيقة (٦٠ مرة) ثم ضعه على الطاولة لمدة دقيقتين .
١١. أدخل الهيدروميتر ببطء شديد إلى الكأس المدرج ثم سجل القراءة الأولى وكذلك درجة الحرارة للمحلول ، وكرر أخذ القراءة بعد ٤ و ٥ دقائق .
١٢. كرر العملية الواردة في الخطوة رقم ١١ ثم سجل القراءات للهيدروميتر ودرجة الحرارة بعد مضي الأوقات التالية : ٨ ، ١٦ ، ٣٠ دقيقة و ٢ ، ٤ ، ٨ ، ١٦ ، ٣٢ ، ٦٤ ، ٩٦ ساعة وتسجل البيانات في النموذج المعد لذلك .
١٣. يتم تمثيل البيانات على منحنى التدرج استكمالاً للمنحنى الذي تم رسمه في الخطوة رقم ٤ .

٥ - ٤ - اختبار تعيين الكثافة في الموقع للتربة بطريقة المخروط الرمل

Density of Soil in-place by Sand Cone Method

إن تعيين كثافة التربة في الموقع له أهمية كبيرة في الأعمال الترابية وأعمال طبقات الأساس ويمكن قياس هذه الكثافة بعدة طرق من أهمها طريقة المخروط الرمل.

الغرض من التجربة

١. تعيين كثافة التربة في الموقع في حالتها الطبيعية أو بعد الدمك.
٢. المساعدة في إيجاد الكثافة الجافة في الموقع والتي من خلالها يمكن إيجاد نسبة الدمك المطلوبة.

الأدوات المستخدمة

١. إناء زجاجي مملوء برمل قياسي.
٢. مخروط معدني.
٣. قاعدة الجهاز بها ثقوب.
٤. ميزان حساس.
٥. فرن تجفيف .
٦. أدوات حفر وتنظيف.
٧. أوعية غير منفذة للماء.

خطوات التجربة

١. يسوى سطح الموقع بعمق ٥ سم تقريباً ، وتزال جميع المواد السطحية الغير مرغوب فيها في المكان المراد حساب كثافة الحقل فيه .
٢. توضع القاعدة الخاصة بالجهاز فوق المكان المراد حساب الكثافة عنده على أن تثبت القاعدة بالأرض جيداً ، وتحفر حفرة بقطر الثقب وبعمق الطبقة المدموكة ، وفي حالة الأرض الطبيعية يكون العمق في حدود ١٥ سم إلى ٢٠ سم
٣. يجمع ناتج الحفر في وعاء غير منفذ للرطوبة والماء ، ويتم وزن العينة فور إخراجها .

٤. يوزن القمع الرملي والإناء وهو مملوء بالرمل قبل إجراء التجربة ، بعد ذلك يوضع الإناء مع القمع والرمل مقلوباً فوق الحفرة ثم يفتح الصنبور لإنزال الرمل في الحفرة .

٥. بعد امتلاء الحفرة والقمع بالرمل القياسي يقفل الصنبور ، ثم يرفع القمع الرملي والإناء ويوزن ما تبقى من الرمل القياسي .

٦. يتم حساب وزن الرمل الذي ملأ الحفرة بعناية تامة .
وزن الرمل الذي ملأ الحفرة = وزن الرمل الذي يملأ الإناء - وزن الرمل المتبقي - وزن الرمل الذي يملأ القمع

٧. يتم تعيين كثافة الرمل القياسي المستخدم في إجراء التجربة وذلك بأن يملأ وعاء معلوم الحجم بالرمل القياسي ويسوى سطحه ثم يوزن .

كثافة الرمل القياسي = وزن الرمل في الوعاء جم/سم^٣
حجم الوعاء

٨. يتم تعيين حجم الحفرة وذلك كالآتي :

حجم الحفرة = وزن الرمل الذي يملأ الحفرة سم^٣
كثافة الرمل القياسي

٩. كثافة التربة في الموقع :

كثافة التربة في الموقع (الرطبة) = وزن التربة المستخرجة من الحفرة جم/سم^٣
حجم الحفرة

الاحتياطات الواجب مراعاتها عند إجراء التجربة :

١. يجب عدم لمس أو هز الجهاز أثناء إجراء التجربة.
٢. يجب حفظ العينة المستخرجة من الحفرة في وعاء غير منفذ للماء.
٣. إذا كان الاختبار على طبقة الأساس وما تحت الأساس تؤخذ الحفرة بكامل عمق الطبقة المدموكة .
٤. إذا كان الاختبار على طبقة الأرض الطبيعية تؤخذ الحفرة بعمق ١٥ سم إلى ٢٠ سم.
٥. يجب تعيين المحتوى المائي للتربة بسرعة حتى لا تفقد التربة رطوبتها ، وذلك بتجفيفها في فرن درجة حرارته من ١٠٥ إلى ١١٠ درجة مئوية ولمدة ٢٤ ساعة.
٦. يجب التأكد من ضبط الميزان قبل استخدامه .
٧. أي أحجار كبيرة ترجع إلى الحفرة مرة ثانية .

٥ - ٥ - اختبار الدمك (Proctor) Test

(d) والمحتوى يتم في اختبار الدمك تحديد العلاقة بين الكثافة الجافة للتربة (γ_{dmax}) والمائي (W) ومن ثم تحديد الكثافة الجافة العظمى Maximum Dry Unit Weight (والمحتوى الرطوبي الأمثل Optimum Moisture Content, (OMC)) للتربة باستخدام طريقتي اختبار بروكتور ، وذلك من أجل تحديد الكثافة القصوى والرطوبة المثلى التي ستقارن بها الكثافة الحقلية ، وكذلك تحديد الطاقة التي تتعرض لها التربة في الدمك في المعمل لتمثيلها على الطبيعة باستخدام أدوات ومعدات الدمك المختلفة . والطريقتان المستخدمتان للدمك هما :

١. اختبار بروكتر القياسي Standard Proctor Test .

٢. اختبار بروكتر المعدل Modified Proctor Test .

المعدل		القياسي		
قالب 6	قالب 4	قالب 6	قالب 4	القالب Mold
152.4	101.6	152.4	101.60	القطر (ملم)
116.43	116.43	116.43	116.43	الطول (ملم)
2124	944	2124	944	الحجم (سم ^٣)
44.5	24.5	44.5	24.5	وزن المطرقة (نيوتن)
25	25	25	25	عدد الضربات

عدد الطبقات	3	3	5	5
ارتفاع المطرقة (ملم)	305	305	457	457

جدول رقم (٣) الفرق بين الأجهزة المستخدمة في طريقتي الدمك

ويتم حساب الطاقة المبذولة في عملية الدمك كما يلي :

$$\text{الطاقة المبذولة في الدمك (كيلوجول /م}^3\text{)} =$$

(عدد الطبقات × عدد الضربات × الارتفاع (م) وزن المطرقة (نيوتن)) /حجم القالب (م^٣)
فمثلا الطاقة المبذولة في الطريقة القياسية باستخدام قالب قطره ١٠١,٦٠ ملم = ٥٩٣,٧ كيلوجول /م^٣ وعند تمثيل الطريقتين على رسم بياني نجد أن في الطريقة المعدلة تكون التربة خالية من الهواء Air Voids Zero عندها تكون التربة مشبعة تماما بالماء.

طريقة الاختبار :

١. المواصفات الفنية .

D – 1557 –78 & ASTM D- 698-78

T – 180 –90 & ٩٠- AASHTO T – 99

هناك أربعة طرق لعمل هذا الاختبار وهي :

١. الطريقة الأولى Method A باستخدام الوعاء الأسطواني (١٠١,٦٠ ملم) وتربة مارة من منخل رقم ٤ (٤,٧٥ملم) وزنها ٣ كيلوجرام تقريبا .
 ٢. الطريقة الثانية Method B باستخدام الوعاء الأسطواني (١٥٢,٤ ملم) وتربة مارة من منخل رقم ٤ (٤,٧٥ملم) وزنها ٧ كيلوجرام تقريبا .
 ٣. الطريقة الثالثة Method C باستخدام الوعاء الأسطواني (١٠١,٦٠ ملم) وتربة مارة من منخل رقم ٥,٧٥ (١٩ ملم) وزنها ٥ كيلوجرام تقريبا .
 ٤. الطريقة الرابعة Method D باستخدام الوعاء الأسطواني (١٥٢,٤ ملم) وتربة مارة من منخل رقم ٥,٧٥ (١٩ ملم) وزنها ١١ كيلوجرام تقريبا .
٢. الأدوات المستخدمة .

١. أدوات الدمك وتشمل .

- قالب الدمك الأسطواني Mold حسب الطريقة المتبعة .

- حلقة Collar وقاعدة Base Plate .

- مطرقة الدمك Rammer ، إما يدوية أو ميكانيكية .

٢. مناخل حسب الطريقة المتبعة .

٣. أداة استخراج العينة (رافعة) ومسطرة .

٤. ميزان وفرن تجفيف .

٣. الطريقة .

١. جهاز حوالي ٣ كيلوجرام من التربة المارة من منخل رقم ٤٠ والتي تم تحديد نسبة الرطوبة الطبيعية لها ، ثم أضف إليها الماء للحصول على محتوى مائي حوالي ٤ ٪ أو ٥ ٪ أقل من المحتوى الرطوبي الأمثل للتربة ثم اخلط التربة جيدا .
٢. قس وزن القالب الأسطواني مع القاعدة وليكن W1 .
٣. اربط القاعدة والحلقة المعدنية والأسطوانة مع القالب .
٤. ادمك التربة على ثلاث طبقات في حالة استخدام الطريقة القياسية ، أو خمس طبقات في حالة استخدام الطريقة المعدلة . ادمك كل طبقة ٢٥ مرة قبل إدخال الطبقة التالية ، وذلك باستخدام المطرقة والارتفاع بالطريقة القياسية أو المعدلة التي سبق شرحها .
٥. افصل الحلقة عن القالب وباستخدام المسطرة أزل التربة الزائدة لتتساوي مع سطح القالب ، وفي حالة وجود فجوات أضف مواد ناعمة أو خشنة لملء الفراغات .
٦. قس وزن القالب الأسطواني مع القاعدة والتربة المدموكة W2 .

٧. افصل القاعدة ثم استخراج عينة التربة باستخدام الرافعة .
 ٨. خذ عينة ممثلة من التربة المدموكة من أسفل ووسط وأعلى القالب (حوالي ١٠٠ جم)
 لتحديد المحتوى المائي .
 ٩. امزج التربة مع التربة المتبقية وأضف حوالي ٢ ٪ من الماء واخلطهما جيداً .
 ١٠. كرر الخطوات من ٤ إلى ٨ عدة مرات حتى تلاحظ أن وزن القالب مع القاعدة
 والتربة بدأ يقل رغم زيادة الماء ثم سجل بعدها محاولتين .
 ١١. الكثافة الرطبة للتربة γ_{wet} = وزن التربة ÷ حجم الرعاء

$$\text{الكثافة الجافة للتربة } \gamma_d = \text{الكثافة الرطبة للتربة } \gamma_{wet} \div (1 + \text{المحتوى المائي})$$

١٢. ارسم الكثافة الجافة للتربة γ_d مع المحتوى المائي w على رسم بياني والتي

ستشكل منحنى ومنه حدد الكثافة الجافة العظمى للتربة $\gamma_d \max$ ، وهي أعلى نقطة في المنحنى ويمثل المحتوى المائي لهذه النقطة المحتوى الرطوبي الأمثل (OMC) .

٥ - ٦ - الوحدة الوزنية للتربة Unit Weight ، γ

يتم تحديد كثافة التربة بعد أخذ كتلة من التربة ووزنها ثم وضعها في إناء تحديد الحجم ومعرفة كمية الماء المطلوبة لملاء الإناء حسب المعادلة التالية :

$$\text{كثافة التربة} = \text{وزن عينة التربة} \div (\text{حجم الإناء} - \text{حجم الماء})$$

وتستخدم الكثافة في حساب ضغط حمل التربة Overburden Pressure المستخدم في حساب مقدار انضغاط التربة وتحديد الضغط الجانبي للحوائط الاستنادية ومعامل الاحتكاك للخوازيق (Piles) .

٥ - ٧ الكثافة النسبية (ASTM D 4253 , D 4254) (Relative Density (Dr))

تستخدم الكثافة النسبية عادة للرمل عن طريق تحديد نسبة الفراغات الطبيعية والصغرى والقصى (Void Ratio, e) ، ولصعوبة تحديد نسبة الفراغات في التربة فإنه يتم حساب الكثافة النسبية كما يلي :
 الكثافة النسبية $Dr = \text{الكثافة القصوى} - \text{الكثافة النسبية} \div (\text{الكثافة القصوى} - \text{الكثافة الصغرى})$ ÷ كثافة التربة في الحقل (الكثافة النسبية - الكثافة الصغرى) .

$$Dr = \frac{\gamma_d \max - \gamma_d}{\gamma_d \max - \gamma_d \min}$$

حيث إن

Dr : الكثافة النسبية للتربة .

$\gamma_d \max$: الكثافة القصوى .

γ_d : كثافة التربة في الحقل .

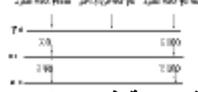
$\gamma_d \min$: الكثافة الصغرى .

وتستخدم الكثافة النسبية في حساب نسبة الدمك ولتقدير قوة تحمل التربة ، ويبين الجدول التالي قيم الكثافة النسبية مع حالة التربة .

الكثافة النسبية	التربة
10 - 15	مخلخلة جداً Very Loose
15 - 35	مخلخلة Loose
35 - 65	متوسطة الدمك Medium Compact

65 – 85	مدموكة Compact
85 – 100	مدموكة جداً Very Compact

جدول رقم (٤) قيم الكثافة النسبية مع حالة التربة



الدمك النسبي RC = كثافة التربة في الحقل / كثافة التربة القصوى .
شكل رقم (٤) العلاقة بين الكثافة النسبية والكثافة والدمك النسبي

طريقة الاختبار :

- المواصفات الفنية .
- ASTM D – 4253 (Minimum Index Density) (Maximum Index Density) ٤٢٥٤ – ASTM D
- الأدوات المستخدمة .
١. قالب أسطواني قياسي Mold حجمه ٢٨٣٠سم^٣ وآخر حجمه ٤٢٠٠سم^٣.
٢. قاعدة الأوزان Surcharge Base Plate مع المقبض والأوزان .
٣. مؤشر مع مقبض لقياس اختلاف الارتفاع بين سطح القالب وقاعدة الأوزان .
٤. مناخل (٧٥ ملم و ٣٧,٥ ملم و ١٩ ملم و ٩,٥ ملم ورقم ٤ ورقم ٢٠٠) .
٥. طاولة هزازة Vibrating Table .
٦. ميزان وفرن تجفيف .

٣. الطريقة

٣ – ١ مؤشر الكثافة القصوى Maximum Index Density ، $\gamma_{d \max}$

١. جهاز العينات حسب أكبر حبيبة في التربة وفقاً للجدول التالي :

مقاس أكبر حبيبة (ملم)	الوزن المطلوب (كجم)	مقاس القالب (سم))
75	34	14200
38	34	14200
19	11	2830
9.5	11	2830
4.75 أو أقل	11	2830

٢. اخلط العينة المجففة في الفرن جيداً ثم املاً القالب بالتربة باستخدام قمع .
٣. ضع قاعدة الأوزان على التربة وأدرهما يميناً ويساراً لتسوية السطح ثم افصل قابض القاعدة .
٤. ثبت القالب على الطاولة الهزازة ثم ضع الأوزان المناسبة في مكانها .
٥. جهاز طاولة الاهتزاز لتكون بتردد ٦٠ هيرتز واهتزاز رأسي مزدوج مقداره ٠,٣٣ ملم أو تردد ٥٠ هيرتز واهتزاز رأسي مزدوج مقداره ٠,٤٨ ملم .
٦. شغل الطاولة الهزازة لمدة ٨ دقائق في التردد ٦٠ هيرتز أو لمدة ١٢ دقيقة في التردد ٥٠ هيرتز .
٧. افصل القالب ثم قس وزنه مع التربة ومنه احسب وزن التربة .
٨. $\gamma_{d \max}$ والتي تساوي وزن التربة على حجم القالب . احسب الكثافة القصوى للتربة

٩. كرر العملية عدة مرات حتى تكون قيمة الكثافة القصوى للمحاولات متقاربة (حوالي ٢٪) ثم أوجد متوسط هذه القيم .

Minimum Index Density ٢ – ٣d min γ مؤشر الكثافة الصغرى

١. جهز العينات حسب أكبر حبيبية في التربة وفقاً للجدول التالي :

أداة وضع التربة	مقاس القالب (سم ٣)	الوزن المطلوب (كجم)	مقاس أكبر حبيبية (ملم)
كريك	14200	34	75
ملعقة	14200	34	38
ملعقة	2830	11	19
ملعقة بقطر ٢٥ ملم	2830	11	9.5
ملعقة بقطر ٢٥ ملم	2830	11	4.75 أو أقل

٢. اخلط العينة المجففة في الفرن جيداً ثم املأ القالب بالتربة باستخدام الأدوات الموضحة بالجدول ببطء مع ملاحظة عدم دمك التربة إلى حوالي ٢٥ ملم أعلى من سطح القالب للحصول على أكبر نسبة من الفراغات في التربة .
٣. أزل التربة الزائدة بحذر شديد بواسطة مسطرة حديدية .
٤. احسب وزن القالب مع التربة ومنه احسب وزن التربة .
٥. احسب الكثافة الصغرى للتربة $\gamma_d \min$ والتي تساوي وزن التربة على حجم القالب .
٦. كرر العملية عدة مرات حتى تكون قيمة الكثافة الصغرى للمحاولات متقاربة (حوالي ١٪) ثم أوجد متوسط هذه القيم .
٧. احسب الكثافة النسبية بالمعادلة التالية:

$$\gamma_d \min - \gamma_d \max \gamma_d / (\gamma_d \min - \gamma_d) \gamma_d \max = D_r$$

(

حيث إن

D_r : الكثافة النسبية للتربة .

$\gamma_d \max$: الكثافة القصوى .

γ_d : كثافة التربة في الحقل .

$\gamma_d \min$: الكثافة الصغرى .

٥ – ٨ الوزن النوعي للتربة **Specific Gravity of Soils , G_s**

يستخدم الوزن النوعي تقريباً في كل المعادلات التي تمثل علاقات حالة كل من الهواء والماء والمواد الصلبة الموجودة في حيز معين .

الوزن النوعي	نوع التربة
2.65 – 2.68	ركامية
2.65 – 2.68	رملية
2.62 – 2.68	طينية
2.58 – 2.65	طينية عضوية
2.68 – 2.75	طينية غير عضوية
أقل من ٢	التربة العضوية

وفي العادة يتم أخذ قيمة ٢,٦٧ للتربة المفككة و ٢,٧٠ للتربة الطينية الغير عضوية .
جدول رقم (٥) الوزن النوعي حسب نوع التربة

طريقة الاختبار :

١ . المواصفات الفنية .

ASTM – 854

AASHTO T -100

٢ . الأدوات المستخدمة .

١ . دورق بحجم ١٠٠ مليلتر .

٢ . ثرمومتر وماء مقطر .

٣ . ميزان وفرن تجفيف .

٣ . الطريقة

١ . املاً الدورق بماء مقطر إلى علامة ١٠٠ مليلتر .

٢ . قس وزن الدورق والماء Wa ثم حدد درجة حرارة الماء .

٣ . زن حوالي ١٠٠ جرام من التربة ثم ضعه في الدورق و أضف إليه الماء المقطر إلى ثلثي الدورق .

٤ . تخلص من الفقاعات الهوائية للمزيج باتباع أحد الخطوات التالية :

- سخن الدورق لمدة ١٥ - ٢٠ دقيقة مع التحريك ببطء .

- صل الدورق بجهاز الشفط Vacuum لمدة ١٠ دقائق وحرك الدورق باتجاه نصف دائري .

٥ . تأكد من أن درجة حرارة الماء بالدورق تساوي درجة الحرارة التي تم قياسها في ٢ .

٦ . أضف ماءً مقطراً إلى الدورق حتى علامة ١٠٠ مليلتر ثم احسب وزن الدورق مع التربة والماء Wb .

٧ . ضع جميع ما في الدورق من التربة والماء في طبق تبخير ثم ضعه في الفرن ليجف وحدد وزن التربة الجافة Wo .

٨ . احسب الوزن النوعي كما يلي .

- الوزن النوعي (درجة حرارة المعمل) .

$$\{ (Gs @ Tx = Wo \{ Wo + (Wa - Wb$$

حيث إن :

TX : درجة حرارة المعمل .

Wo : وزن التربة الجافة بالجرام .

Wa : وزن الدورق مملوءاً بالماء عند درجة حرارة المعمل بالجرام .

Wb : وزن الدورق مع التربة والماء عند درجة حرارة المعمل بالجرام .

- الوزن النوعي (درجة حرارة ٢٠) = الوزن النوعي (درجة حرارة

المعمل) × (water) / γwater . (درجة حرارة ٢٠) γ درجة حرارة المعمل)

٥ - ٩ تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا , CBR California Bearing Ratio

وهو قياس الحمل اللازم لغرز إبرة ذات قطر معين وبسرعة معينة في عينة التربة عند قيم محددة للمحتوى المائي والكثافة ، وحساب نسبة هذا الحمل (الضغط) إلى الحمل (الضغط) القياسي عند غرز للإبرة مقداره ٥,٢ملم (١ر . بوصة) أو ٥ملم (٢ر . بوصة) ويعطي الاختبار معلومات عن مدى انتفاخ التربة ومقدار القوة المفقودة للتربة عندما تكون التربة مشبعة بالماء ، كما تعطي نسبة التحمل لكاليفورنيا تصوراً عن تصرف التربة تحت الأوزلت (مواد الأساس) ، ويمكن عمل الاختبار في الحقل أو المعمل ، ويوضح الجدول التالي بعض القيم لنسبة التحمل .

١ . المواصفات الفنية .

ASTM – 854

AASHTO T -100

٢. الأدوات المستخدمة .

١. دورق بحجم ١٠٠ مليلتر .
٢. ثرمومتر وماء مقطر .
٣. ميزان وفرن تجفيف .

٣. الطريقة

١. املا الدورق بماء مقطر إلى علامة ١٠٠ مليلتر .
٢. قس وزن الدورق والماء W_a ثم حدد درجة حرارة الماء .
٣. زن حوالي ١٠٠ جرام من التربة ثم ضعه في الدورق و أضف إليه الماء المقطر إلى ثلثي الدورق .
٤. تخلص من الفقاعات الهوائية للمزيج بإتباع أحد الخطوات التالية :
- سخن الدورق لمدة ١٥ - ٢٠ دقيقة مع التحريك ببطء .
- صل الدورق بجهاز الشفط Vacuum لمدة ١٠ دقائق وحرك الدورق باتجاه نصف دائري .
٥. تأكد من أن درجة حرارة الماء بالدورق تساوي درجة الحرارة التي تم قياسها في ٢ .
٦. أضف ماءً مقطراً إلى الدورق حتى علامة ١٠٠ مليلتر ثم احسب وزن الدورق مع التربة والماء W_b .
٧. ضع جميع ما في الدورق من التربة والماء في طبق تبخير ثم ضعه في الفرن ليجف وحدد وزن التربة الجافة W_o .
٨. احسب الوزن النوعي كما يلي .
- الوزن النوعي (درجة حرارة المعمل) .

$$\{ (G_s @ T_x = W_o \{ W_o + (W_a - W_b$$

حيث إن :

- TX : درجة حرارة المعمل .
- Wo : وزن التربة الجافة بالجرام .
- Wa : وزن الدورق مملوءاً بالماء عند درجة حرارة المعمل بالجرام .
- W b : وزن الدورق مع التربة والماء عند درجة حرارة المعمل بالجرام .
- الوزن النوعي (درجة حرارة water / حرارة ٢٠) = الوزن النوعي (درجة حرارة المعمل) × (درجة حرارة المعمل) (water / حرارة ٢٠) .

٥ - ٩ تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا California Bearing Ratio , CBR

وهو قياس الحمل اللازم لغرز إبرة ذات قطر معين وبسرعة معينة في عينة التربة عند قيم محددة للمحتوى المائي والكثافة ، وحساب نسبة هذا الحمل (الضغط) إلى الحمل (الضغط) القياسي عند غرز للإبرة مقداره ٥،٢ملم (ا. بوصة) أو ٥ملم (٢. بوصة) ويعطي الاختبار معلومات عن مدى انتفاخ التربة ومقدار القوة المفقودة للتربة عندما تكون التربة مشبعة بالماء ، كما تعطي نسبة التحمل لكاليفورنيا تصوراً عن تصرف التربة تحت الأزرقت (مواد الأساس) ، ويمكن عمل الاختبار في الحقل أو المعمل ، ويوضح الجدول التالي بعض القيم لنسبة التحمل .

نظام	النظام الموحد USC	مجال الاستخدام	تصنيف المواد	نسبة التحمل CBR
A5 ,A6,A7	OH,CH,MH,OL	القاعدة الترابية	ضعيفة جداً	0-3
A4 , A5 ,A6,A7	OH,CH,MH,OL	القاعدة الترابية	ضعيفة	3 - 7
A2 , A4 ,A6,A7	OH,CH,MH,OL	تحت الأساس	مقبولة	7 - 20
A1b , A2 - 5, A3,A2-6	GM ,GC,SW ,SM	أساس و تحت الأساس	جيدة	20- 50

	,SP,GP			
A1a,A2-4,A3	GW ,GM	أساس	ممتازة	أكبر من ٥٠

جدول رقم (٦) يوضح بعض قيم نسبة التحمل (CBR)

وتستخدم القيم القياسية الموضحة في الجدول التالي لحساب نسبة التحمل :

مقدار الاختراق (ملم)	وحدة الوزن القياسية (ميغا باسكال)
2.5	6.9
5.00	10.3
7.5	13.00
10	16.00
12.7	18.00

جدول رقم (٧) حساب نسبة التحمل (CBR)

طريقة الاختبار :

١. المواصفات الفنية .

ASTM D – 1883 - 87

AASHTO T – 193- 81

٢. الأدوات المستخدمة .

١. أدوات اختبار الـ CBR والتي تتكون من :

- قالب الدمك الأسطواني Mold حسب الطريقة المتبعة .

- حلقة Collar وقاعدة Base Plate .

- مطرقة الدمك Rammer ، إما يدوية أو ميكانيكية .

- أداة قياس الانتفاخ مع مؤشر وأوزان .

- آلة قياس الضغط مثبت عليها إبرة الاختراق .

٢. ميزان وفرن تجفيف .

٣. الطريقة .

١. جهاز حوالي ١٢ كيلو جرام من التربة المارة من منخل رقم (٤)، واخلطها مع كمية الماء المناسبة تبعاً للمحتوى المائي المطلوب .

٢. خذ عينات من التربة لتحديد المحتوى المائي للتربة .

٣. احسب وزن القالب الأسطواني Mold بدون القاعدة والحلقة .

٤. اربط القاعدة والحلقة المعدنية والأسطوانة مع القالب ثم ضع ورقة الترشيح .

٥. ادمك التربة حسب طريقة الدمك العادية أو المعدلة والتي سبق شرحها .

٦. افصل الحلقة المعدنية عن القالب الأسطواني ، ثم أزل التربة الزائدة ليتساوى سطح التربة مع سطح القالب ، وفي حالة وجود فجوات تضاف تربة لسدها من نفس التربة .

٧. افصل القاعدة والأسطوانة ثم احسب وزن القالب الأسطواني مع التربة ، ومنه حدد وزن وكثافة التربة .

٨. ضع ورقة ترشيح على القاعدة ثم اقلب العينة واربط القالب مع القاعدة .

٩. ضع مجموعة من الأوزان كافية لا تقل عن ٤,٥ كجم (تعادل وزن ضغط التربة على الطبيعة Overburden Pressure) ، ثم سجل قيمة هذه الأوزان .

١٠. اغمر العينة تماماً بالماء ثم أوصل المؤشر المدرج Dial Gauge دقة قراءته ٠,٠١ ملم ثم صقر المقياس .
١١. سجل زمن بداية الاختبار ثم خذ قراءات بعد مرور ٠,١، ٢، ٤، ٨، ١٢، ٢٤، ٣٦، ٤٨، ٧٢، ٩٦ ساعة لتحديد مقدار الانتفاخ مع ملاحظة أن الاختبار يمكن أن ينتهي بعد مرور ٤٨ ساعة عند ثبوت القراءة بعد هذا الوقت لمدة ٢٤ ساعة.
١٢. بعد الانتهاء من تحديد مقدار الانتفاخ اترك العينة لمدة ١٥ دقيقة لخروج الماء ثم جفف سطحها واحسب وزن العينة مع القالب .
١٣. ضع العينة في آلة قياس الضغط ثم ضع أوزاناً لا تزيد عن ٤,٥ كيلو جرام وصقر مؤشر الضغط وكذلك مؤشر الاختراق .
١٤. زد قيمة الضغط والاختراق لها .
١٥. بعد انتهاء الاختبار استخرج عينة التربة ثم خذ عينات من الثلث الأول والوسط والثلث الأخير لتحديد المحتوى المائي للتربة المدموكة .
١٦. ارسم منحنى الضغط (كيلو باسكال) مع الاختراق (ملم) ثم سجل مقدار الضغط عند الاختراق ٠,٢ و ٢,٥ و ٥,٠ ملم ومنها حدد قيمة التحمل بالمعادلة التالية :
نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR) = مقدار الضغط في الاختبار / مقدار الضغط القياسي × ١٠٠ (%) .
يجب ملاحظة أنه عندما تكون نسبة التحمل عند اختراق ٥,٠٠ ملم أكبر من نسبة التحمل عند اختراق ٢,٥ ملم يجب إعادة الاختبار مرة أخرى .
١٧. احسب معدل المحتوى المائي والكثافة الجافة قبل وبعد الاختبار .
١٨. ارسم منحنى نسبة الانتفاخ (%) مع الوقت (دقيقة) بناءً على التغير الحاصل في ارتفاع العينة .
١٩. في حالة استخدام طريقة عدم غمر العينة بالماء اتبع الخطوات السابقة دون غمر العينة بالماء .

٦ - اختبارات الركام

١-٦ التحليل المنخلي للمواد الخشنة والناعمة

Coarse Aggregate AASHTO (T27-78 Sieve Analysis Of Fine And)

١. المجال
تبين هذه التجربة طريقة تحديد التدرج الحبيبي للركام الخشن والناعم باستخدام مناخل ذات فتحات مربعة أو دائرية.
٢. الأجهزة :
أ - موازين ذات حساسية تصل إلى ٠,١٪ من وزن العينة .
ب - مناخل قياسية .
ج - فرن يعطي درجة حرارة ١١٠ ± ٥ م° .
٣. حجم العينة :
أ - تقسم العينة بواسطة جهاز التقسيم القياسي حتى تصل إلى الوزن المطلوب تقريباً بحالتها الطبيعية .
ب - يكون وزن العينة من الركام الناعم ١٠٠ جم في حالة كون المار من المنخل رقم (٨) ٩٥٪ على الأقل .
ج- يكون وزن العينة من الركام الناعم ٥٠٠ جم في حالة كون المار من المنخل رقم (٤) ٨٥٪ على الأقل .
٤. طريقة الفحص :
أ- يتم تجفيف العينة على درجة حرارة ١١٠ ± ٥ م° .
ب- يتم وزن العينة بعد تجفيفها وتخضع للغسيل على منخل رقم ٢٠٠ إلا إذا لم يكن تحديد المواد المارة من منخل رقم ٢٠٠ مطلوباً يتم التجفيف إلى وزن ثابت على درجة حرارة ١١٠ ± ٥ م° .

١. دورق Pycnometer بسعة ٥٠٠ مليلتر .
٢. قالب مخروطي .
٣. أداة للدك Tamper مسافة وزنها ٣٤٥ جرام .
٤. أدوات خلط التربة .
٥. ميزان لا تقل سعته عن ٥ كجم .
٦. وعاء كبير لحفظ العينة .
٧. أداة لتعليق الوعاء في الماء .

٣. الطريقة .

الركام الناعم

١. جهز حوالي ١ كجم من الركام الناعم ثم جففه بفرن درجة حرارته ١١٠ درجة مئوية واتركه ليبرد ثم اغمره بالماء لمدة ١٥ إلى ١٩ ساعة .
٢. أفرد العينة على سطح مستو وجاف بعد تجفيف سطح العينة ثم مرر هواءً ساخناً على العينة بعناية حتى لا تتطاير الحبيبات الصغيرة .
٣. املاً جزءاً من الدورق بالماء ثم أضف إليه ٥٠٠ جرام من الركام المشبع بالماء والمجفف سطحه (Saturated Surface – Dry (SSD) ثم أضف ماء إلى الدورق إلى حوالي ٩٠٪ وحرك الدورق ببطء على شكل حركة نصف دائرية حتى تخرج الفقاعات الهوائية واحسب وزن الدورق والماء والركام .
٤. قم بإخراج الركام من الدورق وجففه في فرن درجة حرارته ١١٠ درجة مئوية واحسب الوزن .
٥. احسب وزن الدورق وهو مملوء بالماء .
٦. احسب الوزن النوعي والامتصاص بالمعادلات التالية :
أ - الوزن النوعي الكلي
$$\text{(Bulk Specific Gravity} = A / (B + 500-C$$

حيث إن :
A = وزن الركام المجفف بالفرن بالجرام .
B = وزن الدورق مع الماء بالجرام .
C = وزن الدورق مع الماء والركام بالجرام .
ب - الوزن النوعي الظاهري
$$\text{(Gravity} = A / (B + A - C$$

ج - الامتصاص
$$[A / A -) = [(500\% \times 100 \text{ Absorption ($$

الركام الخشن

٧. جهز حوالي ٥ كجم من الركام الخشن بعد استبعاد المواد المارة من منخل رقم (٤) ، ثم اغسل الركام وجففه بفرن درجة حرارته ١١٠ درجة مئوية واتركه ليبرد ثم اغمره بالماء لمدة لا تقل عن ١٥ ساعة . يجب ملاحظة أن وزن الركام الخشن يعتمد على أكبر مقاس للركام والجدول التالي يوضح ذلك :

الوزن (كجم)	أكبر مقاس (للركام ملم)
2	12.5
3	19
4	25
5	37.5
8	50
12	63

75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

٨. أفرد الركام على قطعة من القماش حتى يجف سطحه ، وجفف العينات الكبيرة على حده ، واحسب وزن الركام .

٩. ضع الركام في وعاء واحسب وزنه في الماء مع ملاحظة عدم وجود أية فقاعات هوائية بين الركام .

١٠. جفف الركام في فرن درجة حرارته ١١٠ درجة مئوية ثم برده واحسب الوزن .

١١. احسب الوزن النوعي والامتصاص بالمعادلات التالية :

أ - الوزن النوعي الكلي

$$(Bulk\ Specific\ Gravity = A / (B - C$$

والوزن النوعي الكلي للركام المشبع بالماء والمجفف سطحه

$$B / (B - C) SSD =$$

A = وزن الركام المجفف بالفرن بالجرام .

B = وزن الدورق مع الماء بالجرام .

C = وزن الدورق مع الماء والركام بالجرام .

ب - الوزن النوعي الظاهري

$$A / (A - C = Apparent\ Specific\ Gravity)$$

ج - الامتصاص

$$) = (B - A) / A \times 100\% Absorption ($$

٣-٦ مقاومة الركام للبري Los Angeles Abrasion

يتم في هذا الاختبار تحديد مقاومة الركام للبري لمواد الركام الأصغر من ٣٧,٥ ملم باستخدام جهاز لوس أنجلوس .

طريقة الاختبار

١. المواصفات الفنية .

ASTM C – 131

AASHTO T – 96

٢. الأدوات المستخدمة .

١. ميزان وفرن تجفيف .

٢. مناخل .

٣. جهاز لوس أنجلوس ويتكون من التالي :

- أسطوانة دائرية من الصلب قطرها ٧١١ ملم وطولها ٥٠٨ ملم ، بها فتحة لإدخال وإخراج العينات مع غطاء محكم لمنع خروج المواد الناعمة ، وبداخلها رف حديدي على طول الأسطوانة وبيروز ٨٩ ملم إلى الداخل ومثبتة من الخارج على محور ارتكاز أفقي يمكن الأسطوانة من الدوران حول المحور الأفقي بميلان من ١ إلى ١٠٠ .

- كرات معدنية متوسطة قطرها ٤٦,٨ ملم ووزن كل منها ما بين ٣٩٠ جم إلى ٤٤٥ جم حيث يعتمد عدد هذه الكرات على وزن العينة المراد تحديد مقاومة البري لها والذي يعتمد على تدرج العينة طبقاً لما يلي :

عدد الكرات	تدرج العينة	وزن العينة بالجرام
12	A	5000
11	B	4584

3330	C	8
------	---	---

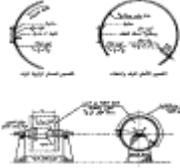
٤. ويعطي الجدول التالي التدرج الحبيبي لعينات الاختبار :

الوزن بالجرام التدرج				مقاس المنخل	
D	C	B	A	محجوز على	مار من
-	-	-	1250 ± 25	25	37.5
-	-	-	1250 ± 25	19	25
-	-	2500 ± 10	1250 ± 10	12.5	19
-	-	2500 ± 10	1250 ± 10	9.5	12.5
-	2500 ± 10	-	-	6.3	9.5
-	2500 ± 10	-	-	4.75	6.3
5000 ± 10	-	-	-	2.36	4.75
5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	المجموع	

٥. (جدول رقم ٩) يوضح التدرج الحبيبي لعينات الاختبار

٣. الطريقة .

١. تجهز العينات من الركام النظيف والجاف ثم توزن إلى أقرب ٥ جرامات (Wo) .
٢. يوضع الركام وعدد الكرات حسب ما هو موضح بالجدول السابق في جهاز لوس أنجلوس ، ويشغل الجهاز بمقدار ٥٠٠ دورة بسرعة ٣٠ إلى ٣٣ دورة في الدقيقة ، ثم تخرج المواد وتتخل على منخل رقم ١٢ ، ثم يتم غسل المواد المحجوزة عليه وتحفيها ثم توزن لأقرب ٥ جرامات (Wf) .
٣. يتم حساب مقدار البري في الركام كما يلي :
مقدار البري (%) = $Wo \times 100 / (Wo - Wf)$
حيث أن :
Wo : الوزن الأصلي للركام قبل الاختبار .
Wf : وزن الركام بعد الاختبار وبعد نخله وغسله وتحفيه .



شكل رقم (٥) جهاز لوس أنجلوس لاختبار تآكل المواد

٤-٦ تآكل الركام Soundness Of Aggregate

في هذا الاختبار يتم تحديد مقاومة الركام للتآكل باستخدام محلول كبريتات الصوديوم أو كبريتات المغنيسيوم لإعطاء معلومات عن تأثير العوامل الجوية والتعرية على الركام .

طريقة الاختبار :

١. المواصفات الفنية .

ASTM C – 88

AASHTO T – 104

٢. الأدوات المستخدمة .

١. مناخل المواد الناعمة من رقم ٤ إلى رقم ١٠٠ .
٢. مناخل المواد الخشنة من ٦٣ ملم إلى ٨ ملم .
٣. إناء تغمر فيه العينة بالمحلول .
٤. جهاز أوتوماتيكي للنخل .

٥. ميزان وفرن تجفيف .
٦. محلول كبريتات الصوديوم أو كبريتات المغنيسيوم .

٣. الطريقة

١. لاختبار الركام الناعم لا بد أن يكون ماراً من منخل ٩,٥ ملم للحصول على ما لا يقل وزنه عن ١٠٠ جم لكل من المناخل التي تليها ثم تغسل العينة على منخل ٠,٣٠ ملم وتجفف بالفرن وتوزن لأقرب ٠,١ جم .
٢. لاختبار الركام الخشن لا بد أن يكون محجوزاً على منخل رقم (٤) للحصول على ما لا يقل وزنه عن التالي :

الوزن بالجرام	المنخل بالملم
300 ± 5	4.75 – 9.5
1000 ± 10	9.5 – 19
1500 ± 50	19 – 37.5
5000 ± 300	37.5 – 63
7000 ± 1000	الأحجام الأكبر موزعة بمقدار منخل حجم ٢٥ ملم ، كل جزء

٣. وتغسل العينة وتجفف وتوزن لأقرب ١ جم .
٤. تغمر العينة في إناء به محلول كبريتات الصوديوم أو كبريتات المغنيسيوم لمدة لا تقل عن ٦ ساعات ولا تزيد عن ١٨ ساعة على أن يغطي المحلول العينة تماماً ويزيد عنها بمقدار ١٢,٧ ملم ، ويغطي الإناء حتى لا يتبخر المحلول ، كما يجب أن تكون درجة الحرارة ٢١ درجة مئوية طيلة مدة الغمر .
٥. بعد انتهاء مدة الغمر تزال العينة ثم تترك لينزل منها المحلول لمدة ١٥ دقيقة وتوضع في فرن درجة حرارته ١١٠ درجة مئوية ثم تترك العينة لتبرد ، وتكرر العملية الواردة في الخطوة رقم ٣ عدة مرات .
٦. بعد نهاية الغمر بالمحلول تغسل العينة بالماء حتى يزول المحلول تماماً ، ويمكن التأكد من أن المحلول تم غسله بواسطة إضافة محلول كلوريدات الباريوم Barium Chloride مع الماء وملاحظة التفاعل .
٧. بعد انتهاء عملية الغسل تجفف العينة بالفرن ثم تتخلل ميكانيكياً على نفس المناخل التي سبق تحضيرها به لمدة ١٠ دقائق وتوزن العينات .
٨. تتم معاينة العينات الأكبر من منخل ١٩ ملم أثناء عملية الغمر وبعد الانتهاء من الاختبار من ناحية تأثرها بالمحلول وعدد العينات التي تأثرت ، وتكسرها أو تشققها وما إلى ذلك .
٩. يحسب مقدار الفاقد في وزن الركام للمواد المارة من المناخل مقارنة بوزن الركام قبل بدء الاختبار ، وتحسب النسبة المئوية إلى أقرب ٠,١ ٪ ، وتحسب المواد المارة من منخل ٠,٣ ملم على أن مقدار الفاقد هو صفر ٪ .

٥-٦. إيجاد كمية المواد الناعمة التي هي أنعم من منخل ٧٥ ميكرون بطريقة الغسيل المواصفات الفنية : (ASTM C117 , AASHTO T 11) .

١. المجال :
يتم في هذا الاختبار تحديد المواد الناعمة المارة من منخل رقم (٢٠٠)(٧٥ ميكرون) في الركام .
٢. الأجهزة :
أ – تتكون من منخلين أحدهما يعلو الآخر ، الأسفل هو رقم ٢٠٠ والأعلى رقم ١٦ ، وكلاهما مطابق للمواصفات القياسية للمناخل .
ب- وعاء ذو حجم مناسب وكاف لاستيعاب العينة المغطاة بالماء ، ويسمح بالحركة الشديدة دون فقدان أو تناثر الماء والعينة .
ج - ميزان ذو حساسية ٠,١ ٪ من وزن المادة المطلوب اختبارها .

د - فرن قادر على إعطاء درجة حرارة 110 ± 5 م° .
هـ- مواد ترطيب كالصابون والذي يساعد على انفصال المواد الناعمة .

٣. وزن العينة :

يتم اختبار عينة مخلوطة جيداً وتحوي رطوبة كافية لمنع انفصال الحبيبات بحيث يكون أدنى وزن جاف مقابل لأقصى حجم كالتالي

رقم ٢/١١ (37.5 ملغم)	رقم ٣/٤ (19 ملغم)	رقم ٣/٨ (9.5 ملغم)	رقم ٤ (4.75 ملغم)	رقم ٨ (2.36 ملغم)	أقصى حجم
5.00	2.5	1.00	0.50	0.10	أدنى وزن للعينة (كجم)

٤. طريقة الاختبار :

- أ - تجفف العينة إلى وزن ثابت في درجة حرارة 110 ± 5 م° وتوزن لأقرب ٠,٢٪ .
- ب - يتم وضع العينة بالوعاء ويضاف إليها ماء يكفي لغمرها مع الصابون للتأكد من انفصال المواد الناعمة ، ويرج محتوى الإناء جيداً ، ويصب ماء الغسيل مباشرة فوق المنخلين ، ويفضل استعمال ملعقة كبيرة للرج والهز للمواد في الماء بحيث يعطي الغسيل نتيجة مقبولة .
- ج - تكرر عملية الغسيل حتى تصبح مياه الغسيل صافية .
- د - يتم جمع المواد المحجوزة على المنخلين بصينية ثم يتم تجفيفها إلى وزن ثابت بدرجة حرارة 110 ± 5 م° .

٥. الحسابات :

الوزن الجاف الأصلي - الوزن الجاف بعد الغسيل

$$\text{نسبة المواد المارة من المنخل رقم ٢٠٠} = \frac{\text{الوزن الجاف الأصلي} - \text{الوزن الجاف بعد الغسيل}}{\text{الوزن الجاف الأصلي}} \times 100$$

٦. التقرير :

يبين التقرير كمية المواد الناعمة من المنخل ٠,٧٥ مم (رقم ٢٠٠) لأقرب ٠,٢٪ .

٦-٦ تحديد كتل الطين والحبيبات سهلة التفتت في الركام

المواصفات الفنية : (ASTM C142 , AASHTO T 112)

١. المجال :

يحدد هذا الاختبار الكمية التقريبية للكتل الطينية والمواد القابلة للتفتت في الركام .

٢. الجهاز :

١. ميزان بدقة ٠,١٪ من وزن العينة .

٢. أوعية بحجم وشكل يسمح بانتشار العينة الموجودة بالقاع على شكل طبقة رقيقة .

٣. مناخل قياسية .

٤. فرن تجفيف بحرارة 110 ± 5 م° (230 ± 9 ف°)

٣. العينات :

١. يتكون الركام المطلوب لهذا الاختبار من المواد المتبقية بعد الانتهاء من اختبار أشتو

(T 11) والخاص بتحديد المواد المارة من المنخل ٧٥ ميكرون من الركام المعدني

بواسطة الغسيل ، وقد يكون ضرورياً خلط مواد من أكثر من اختبار أشتو (T 11)

لتوفير الكميات المطلوبة .

٢. يجفف الركام في درجة حرارة 110 ± 5 م° .

٣. تتكون عينات اختبار الركام الناعم من الحبيبات المحجوزة على منخل ١,٨ مم بوزن

لا يقل عن ٢٥ جم .

٤. تفصل عينات اختبار الركام الخشن باستخدام المناخل التالية ٤,٧٥ ملغم ، ٩,٥ ملغم ،

١٩ ملغم ، ٣٧,٥ ملغم ، على ألا يقل وزن عينة الاختبار عن الأوزان الموضحة

بالتالي :

أقل وزن لعينة الاختبار (كجم)	حجم الحبيبات التي تتكون منها العينة
1	4.75 - ٩,٥ ملم (رقم ٤ - 3/٨)
2	9.5 - ١٩ ملم (3/٨ - 3/٤)
3	19 - ٣٧,٥ ملم (3/٤ - ١/٢)
5	أكبر من ٣٧,٥ (١/٢) 1

٥. في حال وجود خليط من الركام الناعم والخشن يفصل الخليط على منخل رقم (٤) وتجهز العينات حسب البندين ٣ ، ٤ .

٤. طريقة الاختبار:

١. توزن عينة الاختبار وتنتشر على شكل طبقة رقيقة في قاع الوعاء وتغمر بالماء لمدة ٢٤ ساعة ± ٤ ساعات ، وتصنف حبيبات يمكن تكسيرها بالأصابع إلى مواد ناعمة ويمكن إزالتها بالنخل المبلل ككتل طينية أو حبيبات سهلة التفتت ، وتفصل الحبيبات المفتتة عن باقي العينة بواسطة النخل المبلل على المناخل المبينة في الجدول التالي :

حجم المناخل اللازمة لإزالة المتبقي من كتل الطين والحبيبات سهلة التفتت	حجم الحبيبات التي تتكون منها العينة
0.850ملم (رقم ٢٠)	ركام ناعم على المنخل ١,١٨ ملم (رقم ١٦)
2.36ملم (رقم ٨)	4.75 - ٩,٥ ملم (رقم ٤ إلى 3/٨)
2.36ملم (رقم ٨)	9.5 - ١٩ ملم (3/٨ - 3/٤)
4.75ملم (رقم ٤)	19 - ٣٧,٥ ملم (3/٤ - 1/٢)
4.75ملم (رقم ٤)	أكبر من ٣٧,٥ (١/٢) 1

٢. ويجرى النخل المبلل بإمرار مياه على العينة خلال المنخل مع الهز يدوياً حتى تمر جميع المواد الأقل حجماً.

ملاحظة : * يتم تكسير الحبيبات سهلة التفتت بعصرها ودحرجتها بين أصبعي السبابة والإبهام ولا تستخدم الأظافر لتكسيروها أو ضغطها على سطح صلب .
* ترفع الحبيبات المحجوزة بعناية من المنخل وتجفف على حرارة ١١٠ ± ٥م° ويتم تبريدها ثم توزن لأقرب ٠,٠٢% من وزن العينة الأصلي .

٥. الحسابات :

$$ط = \frac{و - م}{و} \times 100$$

٦. حيث

ط = النسبة المئوية لكتل الطين والحبيبات سهلة التفتت .

و = وزن العينة الجاف الأصلي .

م = وزن الأجزاء المغسولة المجففة والمحموزة على منخل الغسل الموضح بالجدول السابق .

* تكون النسبة المئوية لكتل الطين والحبيبات سهلة التفتت في حالة الركام الخشن عبارة عن المتوسط على أساس النسبة المئوية لكتل الطين والحبيبات سهلة التفتت لكل جزء محجوز على منخل ، ويتم وزنه حسب تدرج العينة الأصلية قبل الانفصال أو متوسط التدرج للعينة التي تمثل المواد الموردة وهو الأكثر تفصيلاً ، ولا تختبر أحجام الركام الممثلة بأقل من ٥ ٪ من أي حجم مبين في البند (٤-١) ولكن لأغراض حساب متوسط الوزن فيفترض أنها تحتوي على نفس النسبة المئوية لكتل الطين والحبيبات سهلة التفتت للحجم الثاني الأكبر أو الأصغر أيهما وجد .

٦ - ٧ تقدير المواد اللدنة الناعمة في المواد الصلبة المتدرجة والترتبة بطريقة المكافئ الرملي .

المواصفات الفنية : (ASTM D2419 - AASHTO T 176)

١. المجال :

الهدف من هذا الاختبار هو الحصول على كميات المواد الناعمة اللدنة في الحصى المتدرج والترتبة بطريقة سريعة في الحقل .

٢. الجهاز :

أ - أسطوانة قياس شفافة ومدرجة قطرها الداخلي ١,٢٥ بوصة وبارتفاع حوالي ١٧ بوصة ، ويتدرج حتى ١٥ بوصة ويتقسيم كل ٠,١ بوصة لكل جزء .

ب- أنبوبة من النحاس بقطر خارجي ١/٤ بوصة نهايتها مغلقة ، وبها ثقبان مفاص ٦٠ بالقرب من طرفها .

ج - وعاء زجاجي أو بلاستيكي حجم ١ جالون مزود بتركيبة سيفون مكونة من سدادة بها ثقبين وأنبوبة ملونة نحاسية مثنية ، وتوضع الزجاجاة على ارتفاع ٣ أقدام أعلى منضدة العمل .

د - خرطوم مطاط قطر ٣/١٦ بوصة مزود بضغط لقطع التيار ، وهذا الخرطوم لتوصيل الأنبوبة النحاسية مع السيفون .

هـ- قاعدة ثقيل مكونة من قضيب معدني بطول ١٨ بوصة مزود من نهايته السفلى بقاعدة مخروطية بقطر ١ بوصة ، و القاعدة بها ثلاث مسامير حلزونية صغيرة حتى يمكن تركيز القاعدة في الأسطوانة ، ويعمل غطاء بمقاس أعلى الأسطوانة ويحيط بدون إحكام حول القضيب ، وذلك بغرض تركيز أعلى القضيب داخل الأسطوانة ، ويركب بأعلى القضيب ثقيل بحيث يكون وزن التركيبة الكلي ١ كجم .

و - علبه قياس حجم ٣ أوقية (٨٥سم^٣) .

ر - قمع واسع لنقل التربة إلى الأسطوانة .

محاليل الاختبار المستخدمة في التجربة :

أ - ٤٥٤ جم كلوريد كالسيوم غير ممتيع .

ب - ٢٥٥٠ جم (١٦٤٠سم^٣) جليسرين (U.S.P) .

ج - ٤٧ جم (٤٥سم^٣) فورمالدهايد (٤٠ ٪ بالحجم) .

- يذاب كلوريد الكالسيوم في ١/٢ جالون من الماء ثم يبرد ويرشح بورقة ترشيح رقم (١٢) أو أي ورقة ترشيح مشابهة .

- يضاف الجليسرين والفورمالدهايد إلى المحلول المرشح ويخلط جيداً ثم يخفف إلى ١ جالون ، ويمكن أن يكون الماء مقطراً أو ماء شرب جيد .

- يخفف ٨٥سم^٣ من المحلول السابق إلى حجم ١ جالون من ماء الشرب وتملأ الأسطوانة المدرجة حتى علامة ٤,٤ بوصة للحصول على ٨٥سم^٣ من المحلول .

و يمكن اختبار صلاحية ماء الشرب بمقارنة نتائج اختبار المكافئ الرملي باستخدام هذا الماء مع النتائج باستخدام الماء المقطر .

٣. خطوات العمل :

أ - تحضير العينة : يفضل أن تكون العينة المراد اختبارها رطبة ثم تقصل على منخل رقم ٤ ، وإذا كانت الحبيبات الخشنة مغلقة بمواد لا يمكن إزالتها بالفصل فإنها تجفف ثم تفرك باليد ويضاف الغبار إلى الجزء الناعم من العينة .

ب - تجهيز السيفون للعمل وفتح الضاغط .

ج - يفرغ المحلول بواسطة السيفون وتملأ أسطوانة الاختبار حتى عمق ٤ بوصة .

د - يفرغ في الأسطوانة حجم علبه قياس من عينة التربة أي ما يعادل ١٠ جم من المواد السائبة ، ويتم الضرب على أسفل الأسطوانة جيداً بواسطة كف اليد عدة مرات وذلك لإخراج أية فقاعات

هوائية وكذلك لتساعد في بل العينة ثم تترك التربة لمدة ١٠ دقائق .
 هـ- بعد ذلك تغطى الأسطوانة بواسطة سداة ثم ترج بشدة من جانب لآخر باتجاه أفقي ، وتعمل ٩٠
 دورة في حوالي ٣٠ ثانية بحيث يكون المشوار حوالي ٨ بوصات (٢٠سم) ، حيث تتكون الدورة من
 حركة كاملة ذهاباً وإياباً ، وحتى يكون الرج جيداً فإنه من الواجب على القائم بهذه العملية استخدام
 الجزء الأمامي من الذراع فقط مع جعل الجسم والأكتاف بحالة استرخاء وقد يستخدم جهاز لهذا
 الغرض .

و - تزال السداة وتوضع الأنبوبة النحاسية وتشطف جوانب الأسطوانة ثم يتم إنزال الأنبوبة حتى
 قاع الأسطوانة وبهذا تنفصل المواد الطينية وترتفع لأعلى ويبقى الرمل في الأسفل ، وعند ارتفاع
 الماء حتى علامة ١٥ بوصة ترفع الأنبوبة النحاسية بهدوء بدون قطع تيار الماء بحيث يحافظ على
 منسوب السائل عند حوالي ١٥ بوصة أثناء سحب الأنبوبة ثم تترك المواد بدون قفلة لمدة ٢٠ دقيقة
 مع العلم أن أي اهتزاز أو قفلة أثناء هذه الفترة سوف تؤثر على معدل رسوب الطين وبالتالي إعطاء
 نتيجة غير سليمة .

ز - بعد ٢٠ دقيقة يسجل منسوب سطح الطين العالق إلى أقرب ٠,١ بوصة .
 ح - يتم إنزال قاعدة الثقل في الأسطوانة بلطف حتى تستقر على سطح الرمل ، ثم يلف بخفة وبدون
 الضغط إلى أسفل حتى يمكن رؤية أحد المسامير الحلزونية التي تضبط المحور ، ثم يسجل المنسوب
 عند محور المسامير الحلزونية وتعتبر هذه القراءة هي قراءة منسوب الرمل .

٤ . الحساب :

$$\text{المكافئ الرملي} = \frac{\text{القراءة عند سطح الرمل}}{\text{القراءة عند سطح العينة}} \times 100$$

٥ . وإذا كانت قيمة المكافئ الرملي أقل من القيمة المنصوص عليها جري اختباران آخران
 على نفس المواد ، وتؤخذ القيمة المتوسطة للنتائج الثلاث على أنها هي المكافئ الرملي .

٦-٨ تحديد وزن وحدة الحجم

(AASHTO T 19-76) (Unit Weight of Aggregates) ، (ASTM C 29)

١ . المجال :

تشمل هذه الطريقة خطوات تحديد وزن وحدة الحجم للمواد الناعمة والخشنة والمخلوط منها
 لاستخدامها في الخرسانة الأسمنتية .

٢ . الأجهزة :

تتكون الأجهزة من الآتي :

- أ - ميزان ذو حساسية تصل إلى ٠,٣٪ من وزن العينة .
 ب- قضيب دك من الصلب قطره ٨/٥ بوصة تقريباً وطوله ٢٤ بوصة وإحدى نهايتيه مستديرة على
 هيئة نصف كرة قطرها ٨/٥ بوصة .
 ج - مكيال معدني وأسطواني الشكل ويكون مستويًا من أعلى وأسفل لضبط القياس الداخلي كما يجب
 أن يكون صلباً يتحمل الاستعمال الشديد . والمكاييل ١/٢ قدم ٣ وواحد قدم ٣ يجب أن تسلح من أعلى
 بشريط من الصلب رقم ١٠ أو رقم ١٢ ذو عرض ١ ١/٢ بوصة .
 ويعتمد حجم المكيال المطلوب على الحجم الأقصى للحبيبات الخشنة حسب الجدول التالي :

أقصى مقاس اسمي للركام (مم)	السماح الأدنى (مم)		الارتفاع الداخلي (مم)	القطر الداخلي (مم)	السعة (متر ^٣ × ١٠ ^٤)
	الجدار	السطح السفلي			
13	2.5	5	154± 2.5	152± 2.5	28.317
25	2.5	5	292± 2.5	203± 2.5	94.39
38	3	5	279± 2.5	254± 2.5	141.585
101	3	5	284± 2.5	356± 2.5	283.17

٣ . جدول رقم (١٠) أحجام المكاييل حسب الحجم الأقصى للحبيبات الخشنة

كجم / م ^٣	رطل / قدم مكعب	درجة الحرارة	
		درجة مئوية	درجة فهرنهايت
999.01	62.366	15.6	60
998.54	62.336	18.3	65
997.97	62.3001	21.1	70
997.54	62.274	23	73.4
997.32	62.261	23.9	75
996.59	62.216	26.7	80
995.83	62.166	29.4	85

٤. عينة الاختبار :

يتم الحصول على عينة الاختبار بالوزن المطلوب بطريقة المقسم الميكانيكي أو التقسيم الرباعي طبقاً لطريقة أشتو (AASHTO T-248) ثم يجفف الجزء الذي تم اختياره لوزن ثابت على درجة حرارة 110 ± 5 م° وتخلط جيداً .

٥. معايرة المكيال :

١. يملأ المكيال بالماء عند درجة حرارة الغرفة ، ويغلى بلوح زجاجي بحيث تزال الفقاعات والمياه الزائدة .
٢. يحدد وزن الماء الصافي بالمكيال بدقة $\pm 0.1\%$.
٣. تقاس درجة حرارة الماء ويحدد وزن وحدة الحجم للماء من الجدول السابق ، وتؤخذ قيم متوسطة عند الضرورة .
٤. يحسب معامل المكيال ، وذلك بقسمة وحدة الحجم للماء على الوزن المطلوب للماء المكيال .

٦. طريقة الدمك

تطبق هذه الخطوات على المواد ذات أقصى مقاس $1\frac{1}{2}$ بوصة أو أقل .
 أ - يملأ المكيال لثلاثة ويسوى المنسوب الأعلى بالأصابع ويدك سطح الطبقة بقضيب الدك ٢٥ مرة موزعة على كل السطح ، ثم يملأ المكيال للثالث الثاني ويدك ٢٥ مرة ، ثم يملأ المقياس لنهايته ويدك ٢٥ مرة ، وتزال المواد الزائدة باستعمال الجزء المستقيم لقضيب الدك وذلك للتسوية .
 ب- يراعى عند دك الطبقة الأولى ألا يسمح للقضيب بأن يخترق الطبقة إلى قاع المقياس ، وعند دك الطبقة الثانية والنهاية يكون الدك كافياً لأن يخترق القضيب قاع الطبقة السابقة لها للمواد الموضوعة في المكيال .
 ج - يحدد الوزن الصافي للمواد في المكيال ويتم الحصول على وزن وحدة الحجم للمواد بضرب الوزن الصافي للمواد في المعامل المحدد في البند الرابع من معايرة المكيال .

٧. طريقة الهز :

أ - تطبق هذه الطريقة للمواد ذات أقصى مقاس $1\frac{1}{2}$ بوصة ولا يزيد عن ٤ بوصة .
 ب - يملأ المكيال على ثلاث طبقات متساوية الثلث الأول والثاني والثالث للمكيال ، وتدمك كل طبقة بوضع المكيال على قاعدة ثابتة مثل أرضية من الخرسانة الأسمنتية ، وترفع الجوانب المتقابلة للمكيال بالتناوب حوالي ٢ بوصة من القاعدة ، ثم تسقط فجأة كضربة فجائية فتنتظم الحبيبات نفسها بهذه الطريقة وتصبح بحالة دمك تام ، وتدمك كل طبقة بضرب المكيال ٥٠ مرة بالطريقة الموضحة أعلاه ، أي ٢٥ مرة لكل جانب ، ثم تسوى المواد بالإصبع أو بقضيب مستقيم بحيث يكافئ أي بروز أو نتوء للقطع الكبيرة من المواد الخشنة الفراغات الأكبر في سطح المواد تحت مستوى حافة المكيال العلوية .
 ج- يحدد الوزن الصافي للمواد داخل المكيال ثم يحصل على وزن وحدة الحجم بضرب الوزن الصافي للمواد في معامل المكيال

٨. طريقة الجاروف :

أ - تطبق هذه الطريقة على المواد ذات أقصى مقاس ٤ بوصة أو أقل .
 ب - يملأ المكيال إلى نهايته بواسطة الجاروف أو المغرفة "Scoop" على ألا يزيد الارتفاع الذي تفرغ منه المواد عن ٢ بوصة من أعلى المكيال ، ويجب أخذ الاحتياط قدر الإمكان لمنع أي انفصال

المواصفات الفنية : (AASHTO T-49)

تصف هذه الطريقة أسلوب تعيين مقدار الغرز للمواد البيتومينية النصف صلبة والصلبة ، وتجري هذه الطريقة بواسطة صهر العينة وتبريدها تحت ظروف محكمة ، وتقاس درجة الغرز باستخدام جهاز غرز و إبرة قياسية .



شكل رقم (٧) إبرة اختبار الغرز

ويعرف مقدار الغرز على أنه المسافة بعشر المليمتر التي تخترقها إبرة قياسية رأسياً في عينة من المادة تحت ظروف ثابتة من درجة الحرارة والتحميل والوقت .

١. جهاز الغرز

يمكن قبول أي جهاز يسمح بحركة المحور بدون أي احتكاك يذكر ، ويكون معياراً بدقة ليعطي نتائج تتفق مع وصف مصطلح الغرز ، ويجب أن يكون السطح الذي يرتكز عليه وعاء العينة مسطحاً ، ويكون محور الضاغط على زاوية 90° تقريباً على هذا السطح ، كما يجب أن يكون حل المحور قابلاً للفصل من الجهاز بدون استعمال أي أدوات خاصة للتأكد من كتلته . وعندما يتم تركيب الإبرة في الجلبة يجب أن تكون كتلة المحور المتحرك $47,5 \pm 0,05$ جرام وبغض النظر عن طريقة تثبيت الإبرة ، يجب أن يكون الوزن الكلي للإبرة والمحور معاً $50,000 \pm 0,1$ جرام . كما يجب أن توفر أوزان $50,000 \pm 0,05$ جرام و $100 \pm 0,05$ جرام لكي تكون هناك أحمال كلية تساوي 100 جرام و 200 جرام (0,9 نيوتن و 2 نيوتن) اعتماداً على ظروف الاختبار المطلوب تطبيقها .

٢. الإبرة

تصنع الإبرة الموضحة في شكل (٧) من قضيب مطبّع (مغطس) وصلب تماماً لا يصداً ذي درجة حرارة 440°م أو مساو له ، ويكون طولها 50 مم (2 بوصة) تقريباً وقطرها 1,00 إلى 1,02 مم (0,039 إلى 0,040 بوصة) على أن تكون إحدى نهايتها مستديراً على شكل مخروط بزاوية تتراوح بين 8,7 إلى 9,7 درجة من بعد الطول الكلي ذي القطر الكامل للإبرة ، كما يجب أن يتطابق محوره مع محور الإبرة في حدود 0,127 مم (0,0005 بوصة) على الأكثر ، وبعد القطع يجب تجليخ نهاية المخروط لتكون مخروطاً ناقصاً ويكون قطر قاعدته الصغرى بين 0,1 إلى 0,16 مم (0,005 إلى 0,0063 بوصة) كما يجب أن يكون المقطع مربعاً عند اتصاله بمحور الإبرة في حدود درجتين ويكون الحرف حاداً وخالياً من الرايش . عند قياس ملمس السطح للمخروط المستدق - باستخدام المواصفة القياسية رقم (B46.1) التابعة للمعهد الوطني الأمريكي للتقييس _ يكون المتوسط الحسابي لارتفاع وعورة السطح من 0,2 إلى 0,3 ميكروميتر (8 إلى 12 ميكروبوصة) .

يتراوح طول الجزء المعرض من الإبرة عند تركيبها في طرف جهاز الغرز أو في الجلبة ما بين 40 إلى 45 مم تقريباً (1,57 إلى 1,77 بوصة) ، وعند تثبيت الإبرة في الجلبة التي تكون عبارة عن قضيب أسطواني قطره $3,2 \pm 0,05$ مم (0,126 \pm 0,002 بوصة) وبطول 38 مم (1,5 بوصة) تقريباً مصنوعة من صلب لا يصداً أو من النحاس الأصفر بحيث تثبت فيه الإبرة بإحكام وملتحدة معه في المحور، ويكون وزن الجلبة والإبرة معاً $2,50 \pm 0,05$ جرام (يسمح بوجود ثقب في نهاية الجلبة للتحكم في الوزن) .

٣. الوعاء

يصنع الوعاء الذي تختبر فيه العينة من المعدن أو الزجاج على شكل أسطواني وتكون قاعدته مسطحة ، والوعاء الذي يستخدم للمواد التي تكون درجة الغرز لها 200 أو أقل يجب أن يكون له سعة 3 أوقيات (90 مليلتر) ، ويجب أن تكون أبعاده الداخلية كما يلي : القطر 55 مم (2,17 بوصة) والعمق 35 مم (1,38 بوصة) .

٤. الحمام المائي :

يجب الاحتفاظ بدرجة حرارة الحمام المائي بحيث لا تتغير عن أكثر من 0,1م (0,2 ف) من درجة حرارة الاختبار ، ويجب ألا يقل حجم الماء عن 10 لتر ، كما يجب أن يكون ارتفاع الحمام بحيث يكون الرف المثقب على بعد 50 مم على الأقل فوق قاع الحمام ، ويكون مستوى سطح الماء أعلى من قمة الرف المثقب بـ 150 مم على الأقل ، ويجب عدم السماح بتلوث الحمام المائي بالزيت أو الطين ، ويمكن استخدام محلول الملح في الحمام المائي لتعيين درجات الحرارة المنخفضة . إذا كانت اختبارات درجة الغرز ستتم بدون نقل العينة من الحمام المائي ، فيجب تزويده برف قوته كافية لتحمل جهاز الغرز .

٥. مقاييس لدرجة الحرارة :

- المقاييس الآتية متوافقة مع متطلبات مواصفات جمعية اختبار المواد الأمريكية المطلوبة :
- ١-٥ للاختبارات عند درجة حرارة ٢٥ م (٧٧ ف) يستخدم مقياس (ASTM) سايبولت للزوجة ١٧م أو (١٧ف) ذو مدى بين ١٩ إلى ٢٧ م (٦٦ إلى ٨٠ ف) ويجب أن يغمر المقياس في الحمام ١٥٠±١٥ م .
- ٢-٥ للاختبارات عند درجة حرارة صفر م (٣٢ ف) و ٤ م (٣٩,٢ ف) يستخدم المقياس الدقيق ٦٣ م (أو ٦٣ف) ذو مدى بين (-٨ م إلى + ٣٢ ف) ويجب أن يغمر المقياس في الحمام ١٥٠ ± ١٥ م .
- ٣-٥ للاختبارات عند درجة حرارة ٤٦,١ م (١١٥ ف) يستخدم المقياس الدقيق ٦٤ م (أو ٦٤ ف) ذو مدى بين ٢٥ إلى ٥٥ م (٧٧ إلى ١٣١ ف) ، ويجب أن يغمر المقياس في الحمام ١٥٠ ± ١٥ م .
- بما أن دقة نتائج الاختبار تعتمد على حالات الحرارة المتحكم فيها بدقة ، لذا يجب معايرة المقياس المستخدم في الحمام المائي بواسطة (اختبار التفتيش ومعايرة المقاييس محفورة الساق ذات السائل داخل الزجاج الموضح في المواصفة (ASTM E 77)) .

٦. طبق النقل الخاص بالوعاء :

عند استخدامه يجب أن يكون طبق النقل الخاص بالوعاء أسطواني بقاع مسطح مصنوع من زجاج أو معدن أو بلاستيك كما سيزود الوعاء ببعض الوسائل التي سوف تؤمن قوة تحمله وتمنع اهتزازه ، ويكون له قطر داخلي بمقدار ٩٠ مم (٣,٥ ") على الأقل ويكون العمق الذي يعلو القاع الحامل بمقدار ٥٥ مم (٢,١٧ ") على الأقل .

٧. أداة توقيت :

لأجهزة الغرز يدوية التشغيل يمكن استخدام أي أداة توقيت مناسبة مثل جهاز كهربائي أو ساعة إيقاف أو جهاز آخر مزود بزنبك بشرط أن يكون مدرجاً إلى ١,٠ ثانية أو أقل ، وتكون الأجهزة ذات دقة في حدود $\pm 0,1$ ثانية لفترة ٦٠ ثانية ، ويمكن أيضاً استخدام عداد ثواني مسموع مضبوط ليعطي دقة كل ٠,٥ ثانية ، ويجب أن تكون فترة الـ ١١ عدة تستغرق زمن قدرة $\pm 0,1$ ثانية وإذا كان هنا جهاز توقيت أتماتيكي متصل بجهاز الغرز فيجب أن يكون معياراً بدقة ليعطي فترة الاختبار المرغوبة في حدود $\pm 0,1$ ثانية .

٨. تجهيز العينة :

١. يتم تسخين العينة مع الحرص على عدم تعرضها لتسخين موضعي عالي حتى تصبح سائلة ، ثم مع التقليب المستمر ترفع درجة حرارة العينة الأزفلتية بحيث لا تتجاوز 100°م أعلى من درجة الطراوة . أما درجة حرارة عينة قطران الرصف فيجب ألا تتجاوز 56°م (١٠٠ ف) أعلى من درجة الطراوة المعينة بواسطة طريقة اختبار درجة الطراوة للمواد البيتومينية (طريقة الحلقة والكرة) مع تجنب احتواء العينة على فقاعات هوائية ، ثم تصبب العينة في الوعاء بحيث يكون عمقها بعد تبريدها إلى درجة حرارة الاختبار يزيد بـ ١٠ م على الأقل عن العمق المتوقع لاختراق الإبرة ، ويجب أن تصبب عينات منفصلة عند كل تغيير في ظروف الاختبار .

٢. يغطي كل وعاء ومحتوياته كحماية ضد الغبار ويترك ليبرد في الهواء عند درجة حرارة لا تزيد عن ٢٩,٥°م (٨٥°ف) و لا تقل عن 21°م (70°ف) ، ولمدة لا تقل عن ١/٢ ساعة (ساعة ونصف) و لا تزيد عن ساعتين في حالة إذا ما كانت العينة في وعاء سعته ١٧٥ مليلتر (٦ أوقيات) ، ولمدة لا تقل عن ساعة ولا تزيد عن ١/٢ ساعة (ساعة ونصف) في حالة إذا ما كانت العينة في وعاء سعته ٩٠ مليلتر (٣ أوقيات) ، ثم توضع العينة في الحمام المائي الذي يكون في درجة الحرارة المعينة للاختبار فوق طبق النقل (إذا تم استخدامه) وتترك لمدة لا تقل عن ١/٢ ساعة (ساعة ونصف) و لا تزيد عن ساعتين في حالة إذا ما كانت العينة في وعاء سعته ١٧٥ مليلتر (٦ أوقيات) ، ولمدة لا تقل عن ساعة ولا تزيد عن ١,٥ ساعة (ساعة ونصف الساعة) في حالة إذا ما كانت العينة في وعاء سعته ٩٠ مليلتر (٣ أوقيات) .

٩. طريقة إجراء الاختبار

١. ما لم يذكر خلاف ذلك يوضع وزن مقداره ٥٠ جرام فوق الإبرة ليصبح الحمل الكلي ١٠٠ جرام للإبرة وملحقاتها ، وإذا تمت الاختبارات وجهاز الغرز مغموراً في الحمام فيوضع وعاء العينة مباشرة على قائم الغمر لجهاز الغرز ، أما إذا تمت الاختبارات والعينة في الحمام وجهاز الغرز خارجه فيوضع الوعاء على الرف المزود به الحمام في الخطوات السابقة ، ويجب ترك الوعاء مغموراً تماماً أثناء الاختبار ، وإذا تم الاختبار باستخدام طبق النقل وجهاز الغرز خارج الحمام ، توضع العينة في طبق مملوء بالماء من الحمام إلى عمق يسمح بتغطية تامة لوعاء العينة ، ثم يوضع طبق النقل المحتوي على العينة على قائم جهاز الغرز ويتم عمل الاختبار في الحال ، وفي كل حالة تضبط الإبرة المحملة بالثقل المعين ليتم تلامسها مع سطح العينة ، ويمكن الوصول إلى هذا بتطابق طرف الإبرة مع صورتها المنعكسة على سطح العينة وذلك باستعمال مصدر ضوئي موضوع في مكان ملائم (ملحوظة ٤) ، وتؤخذ قراءة المؤشر أو يضبط المؤشر على الصفر ثم تطلق الإبرة بسرعة لمدة الزمن المحدد ، ويضبط الجهاز لقياس المسافة المختزقة ويتم ملاحظة وعاء العينة عند استخدام الإبرة ، وإذا لوحظت أي حركة للوعاء فيجب إهمال هذه النتيجة وإعادة التجربة .

٢. يجب تسجيل ما لا يقل عن ثلاث قيم غرز عند نقاط على سطح العينة بحيث لا يقل بعدها عن جدار الوعاء عن ١٠ مم (٣/٨ بوصة) ، ولا يقل البعد بينهما عن ١٠ مم (٣/٨ بوصة) ، وإذا تم استخدام طبق النقل يعاد التطبيق والعينة للحمام المائي بعد كل غرز ، وقبل كل اختبار يتم تنظيف الإبرة بقطعة قماش نظيفة مغمورة ومبللة بالتولين أو أي مذيب آخر مناسب لإزالة كل البيتومين اللاصق ثم تجفف بقطعة قماش جافة نظيفة ، وتستخدم ثلاث إبر على الأقل لقيم الغرز التي تزيد عن ٢٠٠ ، مع تركها في العينة حتى إتمام الغرز .

١٠. التقرير

١. يسجل لأقرب رقم صحيح متوسط ثلاث قراءات على الأقل لا تختلف قيمتها بأكثر من القيم المبينة فيما يلي :

الغرز من إلى	صفر 49	50 149	150 249	250 أكثر
أقصى فرق بين أعلى وأقل قيم يتم الحصول عليها	2	4	6	8

١١. الدقة

انسجام تكرارية التجربة – يجب اعتبار النتيجة التي يحصل عليها بنفس القائم بالتجربة في نفس المعمل وباستخدام نفس الجهاز وعلى أيام مختلفة مشكوكاً فيها إذا اختلفت بأكثر من القيم الآتية :

أزفلت عند ٥٢٥م (٥٧٧ف) ذو درجة غرز أقل من ٥٠	1 وحدة غرز واحدة
أزفلت عند ٥٢٥م (٥٧٧ف) ذو درجة غرز من ٥٠ فأكثر	3% من متوسطهم
قطران الرصف عند ٥٢٥م (٥٧٧ف)	15% من متوسطهم *

* تقديرات قطران الرصف للدقة مبنية على نتائج من نوعين من القطران بدرجة غرز ٠,٧,٢٤. يمكن عدم تطابق التقديرات للمواد الأكثر صلابة أو الأكثر ليونة من تلك الحدود .

١-٧. اللزوجة الحركية للأزفلت (Kinematic Viscosity of Asphalt)

(AASHTO T 201) : المواصفات الفنية :

١. المجال

١-تغطي هذه الطريقة عمليات تحديد اللزوجة الحركية للأزفلت السائل (البيتومين) وزيتو الطرق والجزء المتبقي من تقطير الأزفلت السائل (البيتومين) وجميعها عند درجة حرارة 60° م (140° ف) ، وكذلك الأزفلت شبه الصلب عند 135° م (275° ف) (ملحوظة ١) وذلك للزوجة تتراوح بين ٦ إلى ١٠٠,٠٠٠ سنتي ستوك (CST) .

٢-يمكن استخدام الناتج من هذه الطريقة لحساب اللزوجة عندما تكون كثافة المادة المختبرة معلومة عند درجة حرارة الاختبار أو يمكن حسابها .

ملحوظة (١) تصلح هذه الطريقة للاستخدام عند درجات حرارة أخرى ولكن الدقة المقبولة المعطاة في حالة تطبيق هذه الطريقة على الأزفلت السائل وزيتو الطريق عند 60° م (140° ف) وكذلك على الأزفلت شبه الصلب عند 135° م (275° ف) فقط وفي حدود اللزوجة من ٣٠ إلى ٦٠٠٠ سنتي ستوك (CST) .

٢. ملخص الطريقة

يقاس الزمن اللازم لانسياب حجم معين من السائل خلال مسار دقيق لمقياس لزوجة شعري ذي أنبوبة شعرية معايرة ، وذلك تحت ضغط قابل للتكرار بدقة وعند درجة حرارة متحكم فيها إلى حد كبير ، وتحسب اللزوجة الحركية بعد ذلك بضرب زمن الانسياب بالثواني في معامل معايرة مقياس اللزوجة .

٣. تعريفات

١- اللزوجة الحركية :

هي نسبة معامل اللزوجة إلى كثافة السائل ، وهي مقياس لمقاومة تدفق السائل تحت تأثير الجاذبية . وحدة اللزوجة الحركية في النظام المترى الفرنسي هي ١ سم^٢/ث وتسمى ستوك (١ ستوك) ، أما في النظام المترى العالمي فإن وحدة اللزوجة الحركية هي ١ م^٢/ث وهي تكافئ ١٠٤ ستوك . والوحدة المستخدمة كثيراً هي سنتي ستوك حيث يمكن كتابة (١ سنتي ستوك = ١٠-٢ ستوك) .

٢- الكثافة

هي كتلة وحدة الحجم من السائل وهي تساوي ١ جم/سم^٣ في النظام المترى الفرنسي وتساوي ١ كجم/م^٣ في النظام الدولي للوحدات .

٣- اللزوجة

تسمى النسبة بين إجهاد القص المؤثر ومعدل القص بمعامل اللزوجة ، وبذا يكون هذا المعامل مقياساً لمقاومة الانسياب للسائل وهو يسمى عموماً لزوجة السائل ، ووحدة اللزوجة في النظام الفرنسي المترى هي ١ جم/سم^٢ ب. (١ دابن/ث/سم^٢) وتسمى بويز (Poise) بينما وحدة اللزوجة في النظام الدولي للوحدات هي ١ نيوتن/ث/م^٢ وهي تكافئ ١٠ بويز وغالباً ما تستخدم وحدة سنتي بويز (١ سنتي بويز = ١٠-٢ بويز) .

٤. الأجهزة المستخدمة :

١- أجهزة لقياس اللزوجة (VISCOMETERS)

تستخدم مقاييس اللزوجة من الطراز الشعري وهي تصنع من زجاج البورسيليكات المملدن وهي مناسبة لهذا الاختبار وتتضمن مايلي :

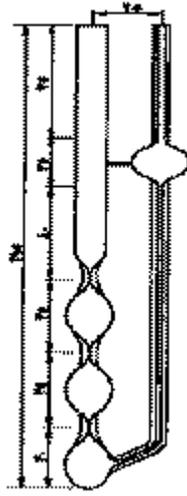
- مقياس اللزوجة من نوع (كانتون – فينسك) للسوائل المعتمدة .
- مقياس اللزوجة من نوع (زينفوس) ذو الذراع المستعرض .
- مقياس اللزوجة من نوع (لانترز – زينفوس) .
- مقياس اللزوجة المطابق للمواصفات البريطانية المعدل ذو الانسياب العكسي وهو على شكل أنبوبة .

٢- أجهزة قياس درجة الحرارة (THERMOMETERS) :

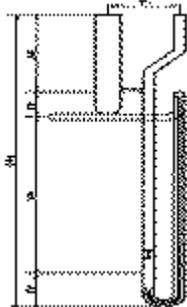
تتميز مقاييس درجة الحرارة الخاصة باللزوجة الحركية و المعايرة طبقاً لمواصفات الجمعية الأمريكية لاختبار المواد بمدى ٥٨,٦ إلى ٥٦١,٤ م (١٣٧,٥ إلى ٥١٤٢,٥ ف) و ١٣٣,٦ إلى

٥١٣٦,٤م (٥٢٧٢,٥ إلى ٥٢٧٧,٥ف) وتطابق متطلبات المقاييس أرقام ٥٤٧م و ٥١١٠م (٥٤٧ف و ٥١١٠ف) على الترتيب .
 ويسمح باستخدام وسائل أخرى لقياس درجات الحرارة شريطة أن تكون دقتها وحساسيتها تساوي إن لم تزد عن تلك المقاييس المبينة في المواصفات المذكورة .

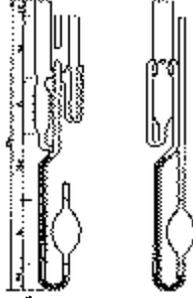
تم تقنين مقياس درجة الحرارة (المقاييس) ٤٧م و ١١٠م (٤٧ف و ١١٠ف) طبقاً لمواصفات الجمعية الأمريكية عند (الغمر الكلي) وهذا يعني أن الغمر حتى قمة عمود الزئبق مع بقاء الجزء المتبقي من الساق وغرفة التمدد بقمة مقياس درجة الحرارة معرضة لدرجة حرارة الغرفة ، ولا يوصى بإجراء الغمر الكلي لمقاييس درجة الحرارة ، فإذا غمرت مقاييس درجة الحرارة تماماً فلا بد من تحديد التصميمات اللازمة لكل مقياس على حدة وذلك على أساس المعايرة تحت ظروف الغمر التام لها . وإذا غمر مقياس درجة الحرارة تماماً في الحمام أثناء الاستخدام فسيكون ضغط الغاز في غرفة التمدد أعلى أو أقل منه أثناء المعايرة مما قد يؤدي إلى قراءات مرتفعة أو منخفضة على مقياس درجة الحرارة .
 وقد وضعت المواصفات الخاصة بالجمعية الأمريكية لاختبار المواد بيانات خاصة بالطرق الفنية لمعايرة مقاييس درجة الحرارة .



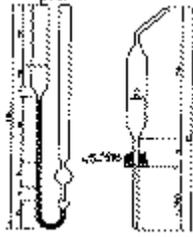
شكل رقم (٨) مقياس اللزوجة من نوع (كانون - فينسك) المستعرض



شكل رقم (٩) مقياس اللزوجة من نوع (زيتفوس) ذو الذراع



المسقط الرأسى شكل رقم (١٠) مقياس اللزوجة من نوع (لانترز - زيتفوس)



المسقط الجانبي شكل رقم (١١) مقياس اللزوجة ذو الانسياب العكسي

٣-الحمام المائي :

يكون الحمام مناسباً لغمر مقياس اللزوجة (VISCOMETER) بحيث لا يقل منسوب أعلى خزان السائل أو قمة القناة الشعرية (أيهما أعلى من الآخر) عن ٢٠ مم أسفل منسوب الحمام العلوي مع توخي سهولة رؤية مقياس اللزوجة ومقياس درجة الحرارة ، وبراعى أن تكون مرتكزات مقياس اللزوجة ثابتة أو أن يكون مقياس اللزوجة جزءاً متكاملأ مع الحمام ، ويجب أن تكون كفاءة التقلب والتوازن بين مقدار الحرارة المفقودة ومقدار الحرارة الداخلة بحيث لا تتغير درجة حرارة المادة الوسيطة عن ± 0.03 م (± 0.05 ف) على امتداد طول مقياس اللزوجة أو من مقياس لزوجة لآخر في مواضع مختلفة من الحمام .
يعتبر الماء المقطر سائلاً مناسباً للحمام لإجراء الاختبار عند 60° م (140° ف) ، وقد وجد أن الزيت الأبيض (USP) ذو درجة الوميض الأعلى من 215° م (420° ف) مناسب لإجراء الاختبار عند 135° م (275° ف) ، وتحدد درجة الوميض طبقاً لاختبار درجة الوميض ودرجة الاشتعال بطريقة طبق كليفلاند المفتوح (AASHTO T48).

٤-أجهزة التوقيت :

١. أداة التوقيت :

تستخدم ساعة إيقاف أو أي وسيلة توقيت مزودة ببيان تشغيل ومدرجة بأقسام تعادل ٠,١ ث أو أقل وتكون دقتها في حدود ٠,٠٥٪ عند اختبارها عبر فترات لا تقل عن ١٥ دقيقة .

٢. أداة توقيت كهربائية

وهي تستخدم فقط بالدارات الكهربائية التي يصل التحكم في تردداتها إلى دقة ٠,٠٥٪ أو أفضل من ذلك .
وقد تلاحظ أن التيارات الكهربائية المترددة التي يكون التحكم في تردداتها متقطعاً وليس مستمراً (كما هو الحال في أكثر نظم القدرة شيوياً) تؤدي إلى أخطاء كبيرة خاصة خلال فترات التوقيت القصيرة عند استخدامها لتشغيل أدوات التوقيت الكهربائية .

٥-إعداد العينة

براعى اتباع الإرشادات التالية وذلك لتقليل الفقد في المكونات المتطايرة وللحصول على نتائج يمكن الاعتماد عليها وهي :

- ٥ - ١ - ١ الطريقة المستخدمة للأزفلت السائل (البيتومين) وزيت الطرق .
- ٥ - ١ - ١ تترك العينات التي تم استلامها كما هي حتى تصل إلى درجة حرارة الغرفة .
- ٥ - ١ - ١ يفتح وعاء العينة وتخلط العينة جيداً بالتقلب لمدة ٣٠ ثانية مع مراعاة عدم إيجاد هواء محبوس بها ، وإذا كانت العينة لزجة بدرجة تصعب على هذا التقلب فلا بأس من وضع

العينة داخل وعاء محكم تماماً في حمام أو فرن ذي درجة حرارة ثابتة عند 63 ± 3 م (145 ± 5 ف) حتى تصبح سائلة بالقدر الكافي للتقليب .
 ٥ - ١ - ١ - ٣ يتم صب العينة في مقياس اللزوجة فوراً ، أما إذا كان إجراء الاختبار سيتم فيما بعد فيتم صب حوالي ٢٠ مليلتر داخل وعاء أو عدة أو عدة نظيفة جافة ذات سعة ٣٠ مليلتر تقريباً ثم يغلَق الوعاء أو الأوعية بإحكام فوراً بغطاء يمنع دخول الهواء .
 ٥ - ١ - ١ - ٤ في حالة المواد ذات اللزوجة الحركية الأكبر من ٨٠٠ سنتي ستوك عند 60° م (140° ف) يجرى تسخين العينة التي حجمها ٢٠ مليلتر داخل الوعاء المحكم في فرن أو حمام ذي درجة حرارة تساوي 63 ± 3 م (145 ± 5 ف) حتى تصبح سائلة بالقدر الكافي لتنتقل بسهولة داخل مقياس اللزوجة ويجب ألا تزيد فترة التسخين عن ٣٠ دقيقة .

٥ - ١ - ٢ الخطوات المتبعة للأزفلت شبه الصلب (ASPHALT CEMENT) .
 ٥ - ١ - ٢ - ١ يتم تسخين العينة بالعناية اللازمة لتجنب التسخين الموضعي الزائد حتى تصبح سائلة بالقدر الذي يكفي لصبها ثم تقلب العينة بين الحين والآخر للمساعدة في انتقال الحرارة ولضمان التجانس الجيد.
 ٥ - ١ - ٢ - ٢ ينقل ما لا يقل عن ٢٠ مليلتر في الوعاء المناسب ليبدأ التسخين حتى تصل درجة الحرارة إلى $135 \pm 5,5$ م (275 ± 10 ف) ، ويستمر التقليب بين الحين والآخر لتجنب التسخين الموضعي الزائد مع مراعاة عدم احتباس الهواء .

خطوات الاختبار

١. تختلف قليلاً التفاصيل اللازمة لإجراء الاختبار تبعاً لنوع مقياس الزوجة المستخدم من حيث تعليمات الاستخدام للنوع المختار من مقياس اللزوجة ، وعلى أي حال لابد من اتباع الطريقة المبينة بالبنود (٦-٢) إلى (٦-٨) في جميع الحالات .
٢. يحفظ الحمام عند درجة حرارة الاختبار في حدود $0,3 \pm 0,05$ م ($0,05 \pm 0$ ف) ، وتجرى التصحيحات اللازمة (إن وجدت لجميع قراءات مقياس درجة الحرارة) .
٣. يتم اختيار مقياس لزوجة نظيف وجاف بحيث يعطي زمن انسياب أكبر من ٦٠ ثانية ثم يسخن مسبقاً إلى درجة حرارة الاختبار .
٤. يملأ مقياس اللزوجة بالطريقة المبينة طبقاً لتصميم الجهاز .
٥. يترك مقياس اللزوجة الممتلئ في الحمام مدة كافية حتى يصل إلى درجة حرارة الاختبار .
٦. يبدأ في انسياب الأزفلت في مقياس اللزوجة .
٧. يجرى قياس الزمن اللازم لمرور الحافة المتقدمة للسطح الهلالي للسائل من العلامة الأولى إلى العلامة الثانية بدقة ٠,١ ثانية ، فإذا قل زمن الانسياب عن ٦٠ ثانية لابد من اختبار مقياس لزوجة آخر ذو قناة شعرية يقل قطرها عن الأولى ثم تكرر العملية .
٨. بعد الانتهاء من الاختبار ينظف مقياس اللزوجة جيداً بشطفه عدة مرات بمذيب مناسب يكون قابلاً للامتزاج التام بالعينة ثم يعقبه شطف بمذيب متطاير تماماً وتجفف الأنبوبة بامرار تيار هواء بطيء ومرشح ومجفف خلال القناة الشعرية لمدة دقيقتين أو حتى يزول كل أثر للمذيب ، ولابد من تنظيف الجهاز دورياً بمحلول حمض الكروميك لإزالة الرواسب العضوية ثم يشطف بعد ذلك بالماء المقطر والأسيتون الخالي من الرواسب ويجفف أخيراً بهواء جاف مرشح .

١. الحسابات

١. تحسب اللزوجة الحركية لأقرب ثلاث أرقام صحيحة باستخدام المعادلة التالية :
 اللزوجة الحركية (سنتي ستوك) = م . ز . حيث :
 م = ثابت المعايرة لمقياس اللزوجة (VISCOMETER) (سنتي ستوك / ث)
 ز = زمن الانسياب (ث) .

٢. التقرير

لابد دائماً من تسجيل درجة حرارة الاختبار مع النتائج فمثلاً : اللزوجة الحركية عند 60° م (140° ف) تساوي ٧٥,٦ سنتي ستوك .

٣. درجة الدقة

يبين الجدول أدناه معيار الحكم على مدى قبول نتائج اختبارات اللزوجة بهذه الطريقة .
يراعى أن القيم المعطاة بالعمود الثاني هي معاملات التباين التي وجد أنها تلائم مواد وظروف
الاختبار المبين في العمود الأول ، وتعتبر القيم المعطاة في العمود الثالث هي الحدود التي يجب ألا
يتجاوزها الفرق بين نتيجتين لاختبارين تم إجراؤهما على النحو الصحيح .

المادة ودليل النوع	معامل التباين (نسبة مئوية من المتوسط (أ))	الحدود المقبولة لنتيجتين نسبة مئوية من المتوسط (أ)
دقة تكرار النتائج لفني واحد أزفلت شبه صلب عند ٥١٣٥م (٥٢٧٥ف)	0.64	1.8
أزفلت سائل عند ٥٦٠م (٥١٤٠ف)		
أقل من ٣٠٠٠ سنتي ستوك	0.53	1.5
من ٣٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ سنتي ستوك	0.71	2.0
أعلى من أو يساوي ٦٠٠٠ سنتي ستوك	3.2	8.9
دقة تكرار النتائج من مختبرات مختلفة أزفلت شبه صلب عند ٥١٣٥م (٥٢٧٥ف)	3.1	8.8
أزفلت سائل عند ٥٦٠م (٥١٤٠ف)		
أقل من ٣٠٠٠ سنتي ستوك	1.06	3.0
من ٣٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ سنتي ستوك (ب)	3.11	9.00
أعلى من أو يساوي ٦٠٠٠ سنتي ستوك (ب)	3.6	1.00

أ – تمثل هذه الأرقام على الترتيب الحدود لنسبة انحراف معياري واحد (S١%) أو انحرافين (D2S%) كما هو مبين في مواصفات الأشتو (R2) .
ب – مبنية على أساس أن لها درجات حرية تقل عن ٣٠ درجة .
جدول (١٢) مدى قبول اختبارات تعيين اللزوجة الحركية

٤. المعايير :

تتم معايرة مقياس اللزوجة الروتيني باستخدام سوائل اللزوجة القياسية ليتم اختبار سائل اللزوجة - قياساً من جدول (٣) - له زمن انسياب لا يقل عن ٢٠٠ث وذلك عند درجة حرارة المعايرة وتفضل أن تكون ٣٧,٨م (١٠٠ف) ويحدد زمن الانسياب لأقرب ٠,١ ثانية ، ثم يحسب مقياس اللزوجة (ب) كما يلي :

$$ب = ز / ن$$

حيث إن

ز = لزوجة السائل القياسي (سنتي ستوك) .

ن = زمن الانسياب (ثانية) .
ويلاحظ أن ثابت مقياس اللزوجة لا يعتمد على درجة الحرارة لأنواع مقاييس اللزوجة التالية :

١. زيتفوس ذو الذراع المستعرض .

٢. ولانتز - زيتفوس (BS-IP-RF) ذو الأنبوبة على شكل حرف

(U) .

ويتميز مقياس اللزوجة للسوائل المعتمدة (طراز كانون - فينسك) بأن له حجماً ثابتاً للعينة التي يتم ملؤها عند درجة حرارة الملاء ، فإذا اختلفت درجة حرارة الاختبار عن درجة حرارة الملاء يتم حساب ثابت مقياس اللزوجة كما يلي :

ثابت مقياس اللزوجة (ب) = ب م (١ + م (هـ ح - هـ ل)) .

حيث :

ب م = ثابت مقياس اللزوجة عند ملئه واختباره عند نفس درجة الحرارة .

هـ = درجة الحرارة .

م = معامل يعتمد على درجة الحرارة .

ح ، ل = تشير الأولى (ح) إلى درجة حرارة الاختبار بينما تشير الثانية (ل) إلى درجة حرارة الملاء على الترتيب .

ويحسب الثابت الذي يعتمد على درجة الحرارة باستخدام المعادلة التالية :

4ح (ث ل - ث ح)

المعامل = ٤ أ ح / ط ق ٢ ف =

ط ق ٢ ف ث ح (هـ ح - هـ ل)

حيث :

ح = حجم الشحنة (سم^٣)

ق = القطر المتوسط لسطح السائل في الخزان العلوي .

ف = متوسط علو الضغط المؤثر .

أ = معامل التمدد الحراري لعينة الاختبار بين درجة حرارة الملاء ودرجة حرارة الاختبار .

ث = الكثافة جم / سم^٣ .

الرموز السفلية (ح ، ل) = كما هو مبين سابقاً .

إذا استخدم مقياس اللزوجة عند موضع يختلف عن موضع معمل المعايرة فيجب تصحيح الثابت

(ب) للفرق في عجلة الجاذبية (ع) عند الموضوعين كما يلي :

$$\frac{\text{ث} ٢ \times \text{ع} ٢}{\text{ث} ١} = \text{ث} ٢$$

ث ٢ = ثابت المعايرة في معمل الاختبار .

ث ١ = ثابت المعايرة في معمل المعايرة .

ع ٢ = عجلة الجاذبية بمعمل الاختبار .

ع ١ = عجلة الجاذبية بمعمل المعايرة .

ويجب أن تذكر شهادات مقاييس اللزوجة قيمة "ع" في موضع معمل المعايرة ، ويلاحظ أن الخطأ في تصحيح فعل الجاذبية يؤدي إلى خطأ يساوي ٠,٢ % .

الحركية التقريبية (سنتي ستوك)			المواصفات القياسية
عند ٥٩٩م (5210 ف)	عند ٥٥٠م (5122 ف)	عند ٥٣٧,٨ (5100ف)	لزبوت اللزوجة طبقاً لمواصفات الجمعية الأمريكية لاختبار المواد للزوجة

-	-	60	٦٠ د
-	-	200	٢٠٠ د
32	280	600	٦٠٠ د
-	-	2000	٢٠٠٠ د
-	-	8000	٨٠٠٠ د
-	11000	27000	٣٠٠٠٠ د

جدول (١٣) المواصفات القياسية لزيتوت اللزوجة

٥. معايرة مقياس لزوجة روتيني بمقياس لزوجة قياسي .
يتم اختبار أي زيت بترولي له زمن انسياب لا يقل عن ٢٠٠ ثانية ويختار كذلك مقياس لزوجة قياسي معلومة قيمة الثابت "ب" له ، فيكون مقياس اللزوجة هذا هو مقياس اللزوجة الرئيسي الذي تمت معايرته بطريقة " الزيادة أو المضاعفة " باستخدام مقياس لزوجة ذات أقطار كبيرة على التعاقب ابتداءً بالماء المقطر باعتباره المعيار القياسي الرئيسي للزوجة ، أو مقياس لزوجة روتيني من نفس النوع والذي تمت معايرته بالمقارنة بمقياس اللزوجة الرئيسي ، وتوجد مقياس لزوجة معايرة متوفرة عند عدد من الموردين التجاريين .

١. يركب مقياس اللزوجة القياسي ومقياس اللزوجة المطلوب معايرته مع بعضهما البعض بداخل نفس الحمام ثم يحدد زمن انسياب الزيت بالطريقة المبينة بالبند السادس .

٢. يحسب الثابت (ب) كما يلي:

$$ت٢ \times ب٢$$

$$= ب١$$

$$ت١$$

٣.

ب١ = الثابت (ب) لمقياس اللزوجة الروتيني .
ت١ = زمن الانسياب بمقياس اللزوجة الروتيني لأقرب ٠,١ ث
ب٢ = الثابت (ب) لمقياس اللزوجة القياسي .
ت٢ = زمن الانسياب بمقياس اللزوجة القياسي لأقرب ٠,١ ث

٥-١-٧ اللزوجة المطلقة للأزفلت (Absolute Viscosity of Asphalt)

المواصفات الفنية: (ASTM D 2171) (AASHTO T 202)

١. المجال

تغطي هذه الطريقة عمليات تحديد اللزوجة المطلقة للأزفلت (البيتومين) باستخدام مقياس اللزوجة الشعرية بالتفريغ عند 60° م (140° ف) وهو يستخدم لمواد ذات لزوجة في حدود من ٠,٠٣٦ إلى ٢٠٠,٠٠٠ بوير .
ملحوظة :

تناسب هذه الطريقة الاستخدام عند درجات حرارة أخرى إلا أن الدقة المذكورة محددة للأزفلت شبه الصلب عند 60° م (١٤٠° ف) .

٢. ملخص الطريقة

١. يقاس الزمن اللازم لسحب حجم معين من السائل خلال أنبوبة شعرية بواسطة التفريغ ، وذلك تحت ظروف متحكم فيها إلى حد ما من حيث التفريغ ودرجة الحرارة ، وتحسب اللزوجة المطلقة بالبوير كحاصل ضرب زمن الانسياب بالتواني في ثابت معايرة مقياس اللزوجة .
ملحوظة :

يقال معدل القص كلما تحرك السائل أعلى الأنبوبة إلا أنه يمكن تغييره باستخدام درجات تفريغ مختلفة أو مقياس لزوجة ذات مقاسات مختلفة ، لذا فإن هذه الطريقة

مناسبة تماماً لقياس لزوجة عينة ذات خواص نيوتونية وسوائل غير نيوتونية (معقدة).

٣. التعريفات

١. تعتبر اللزوجة المطلقة أو الديناميكية لسائل نيوتوني هي الاحتكاك الداخلي الذي ينشأ إذا أثرت قوة مماسة مقدارها (١) دابن على مستويات لها وحدة المساحات يفصل ما بينها وحدة المسافات وذلك بسرعة مماسة قدرها وحدة السرعات ، وفي هذه الحالة فإن لزوجة السائل تساوي (١) بوايز .
٢. السائل النيوتوني هو السائل الذي يتناسب فيه معدل القص مع إجهاد القص وتكون النسبة الثابتة لإجهاد القص إلى معدل القص هي لزوجة السائل ، فإذا لم تكن هذه النسبة ثابتة كان السائل غير نيوتوني .

٤. الجهاز والمعدات المستخدمة

١. مقياس درجة الحرارة
مقياس الحرارة الخاص باللزوجة الحركية طبقاً لمواصفات الجمعية الأمريكية لاختبار المواد في حدود من ١٣٧,٥ إلى ١٤٢,٥ °ف ، ويطابق متطلبات مقياس درجة الحرارة ٤٧°ف و ٤٧°م المبين بالمواصفات ، ويمكن استخدام أي أدوات لقياس درجات الحرارة شريطة أن تكون دقتها وحساسيتها تساوي إن لم تزد عن تلك القيم للمقياس المبين .
لقد تم معايرة مقياس درجة الحرارة المذكورة عند الغمر التام والذي يعني الغمر حتى قمة محور الزئبق بينما يكون المتبقي من الساق وغرفة التمدد أعلى مقياس درجة الحرارة مكتشفاً لدرجة حرارة الغرفة ، ولا يوصى بإجراء الغمر الكلي التام لمقياس درجة الحرارة لأنه إذا غمرت هذه المقاييس تماماً فإنه يجب أن تجري تصحيحات كل مقياس على حدة على أساس المعايرة تحت ظروف الغمر التام بعد تحديدها ، وإذا غمر المقياس كلياً في حمام أثناء الاستخدام فإن ضغط الغاز بغرفة التمدد يكون أعلى أو أقل عنه أثناء عملية المعايرة مما قد يؤدي إلى قراءات عالية أو منخفضة على مقياس درجة الحرارة .
٢. الحمام المستخدم
يعتبر الحمام مناسباً لغمر مقياس اللزوجة إذا ما كانت علامة التوقيت العليا تنخفض عن سطح السائل بالحمام بمقدار لا يقل عن ٢٠ مم ، وكذلك رؤية كل من مقياس اللزوجة أو مقياس درجة الحرارة بوضوح ، ولا بد من التثبيت الجيد لمقياس اللزوجة .
كما يجب أن تكون كفاءة التقلب والموازنة بين الفقد في الحرارة والحرارة الداخلة بالقدر الذي لا تتغير معه درجة حرارة سائل الحمام بأكثر من $\pm 0,03$ م ($\pm 0,05$ °ف) على امتداد طول مقياس اللزوجة أو ما بين مقياس لزوجة وآخر في مواضع مختلفة بالحمام .
٣. نظام التفريغ
يستطيع نظام التفريغ المحافظة على قدر من التفريغ في حدود $\pm 0,5$ مم من المنسوب المطلوب على ألا يتعدى ٣٠٠ مم زئبق ، ويجب استخدام أنابيب زجاجية قطرها الداخلي ٦,٣٥ مم (¼ بوصة) كما يجب أن تكون جميع المفاصل الزجاجية محكمة ضد تسرب الهواء بحيث لا يبين المانومتر الزئبقي ذو الطرف المفتوح والمدرج بأقسام "١" مم أي فقد في التفريغ عندما يكون النظام مغلقاً ، ويمكن استخدام مضخة تفريغ كمصدر للتفريغ .
٤. أداة التوقيت
تستخدم ساعة إيقاف أو أي أداة توقيت أخرى مدرجة إلى أقسام يعادل القسم الواحد منها "١" ثانية أو أقل وتبلغ دقتها في حدود ٠,٠٥٪ عند اختبارها عبر فترات زمنية لا تقل عن "١٥" دقيقة .
٥. أدوات توقيت كهربائية
وهي لا تستخدم إلا مع دارات كهربائية يتم التحكم في تردداتها بدقة ٠,٠٥٪ أو أفضل .
يمكن أن تؤدي التيارات الكهربائية المتناوبة – ذات الترددات التي يتم التحكم فيها تحكماً متقطعاً وليس بصفة مستمرة كما هو الحال في أغلب مجموعات القدرة

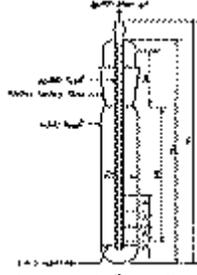
الشائعة إلى أخطاء جسيمة ، خاصة في حالات فترات التوقيت القصيرة عندما تستخدم لتشغيل أدوات التوقيت الكهربائية .

٥. إعداد العينة

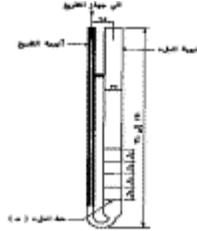
١. يتم تسخين العينة مع مراعاة العناية لتجنب التسخين الموضعي الزائد حتى تصبح سائلة بالقدر الكافي لصبها وتقلب العينة بين الحين والآخر لمساعدة الانتقال الحراري ولضمان التجانس ، ويجب ألا تتعدى درجة الحرارة القصوى 100°م أو 180°ف فوق درجة الطراوة المتوقعة .
٢. ينقل قدر من العينة لا يقل عن ٢٠ مليلتر إلى وعاء مناسب ثم يسخن حتى $135^{\circ} \pm 5.0^{\circ}\text{م}$ ($275^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{ف}$) ويجرى تقلبها بين الحين والآخر للحيلولة دون حدوث تسخين موضعي زائد مع مراعاة العناية لعدم حبس هواء بالعينة .

٦. طريقة العمل

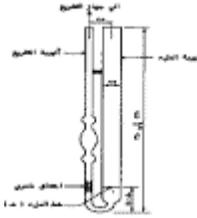
١. تختلف التفاصيل المحدودة لعمل الاختبار قليلاً تبعاً لنوع مقاييس اللزوجة (انظر الأشكال ١٢ ، ١٣ ، ١٤) ، لمعرفة بيانات عن قياس اللزوجة المختارة ، وفي جميع الحالات وعلى أي حال تتبع الطريقة العامة المبينة في البنود الآتية :
 - ٦ - ١ - ١ يحفظ الحمام عند درجة حرارة الاختبار وهي 60°م في حدود $\pm 0.3^{\circ}\text{م}$ ($\pm 0.05^{\circ}\text{ف}$) وتجرى التصحيحات اللازمة إذا لزم ذلك لجميع قراءات مقياس درجة الحرارة .
 - ٦ - ١ - ٢ يتم اختيار مقياس لزوجة نظيف وجاف يعطي زمن انسياب أكبر من ٦٠ ثانية ، ثم يسخن حتى درجة $135^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{م}$ ($275^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{ف}$) .
 - ٦ - ١ - ٣ يملأ مقياس اللزوجة بصبب العينة المعدة في حدود ± 2 مم من خط الملاء (هـ) (انظر الأشكال ١٢ ، ١٣ ، ١٤) .
 - ٦ - ١ - ٤ يوضع مقياس اللزوجة الممتلئ في فرن أو حمام عند درجة حرارة ثابتة مقدارها $135^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{م}$ ($275^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{ف}$) لمدة 10 ± 2 دقائق لضمان خروج فقاعات الهواء الكبيرة .
 - ٦ - ١ - ٥ ينقل مقياس اللزوجة من الفرن أو الحمام ثم يوضع خلال خمسة دقائق في حامل ويضبط مقياس اللزوجة في وضع رأسي داخل الحمام الذي تم ضبط درجة حرارته عند 60°م بحيث لا تقل علامة التوقيت العليا عن 20 مم أسفل سطح السائل بالحمام .
 - ٦ - ١ - ٦ يتم إحداث تفريغ قدره 300 ± 0.5 مم زئبق في جهاز التفريغ ثم يوصل هذا الجهاز بمقياس اللزوجة والصمام المفصلي أو المحبس مغلقاً بالخط الموصل إلى مقياس اللزوجة .
 - ٦ - ١ - ٧ ويبدأ في انسياب الأزفلت داخل مقياس اللزوجة بعد انقضاء مدة 30 ± 5 دقائق من بدء وجود مقياس اللزوجة داخل الحمام وذلك بفتح الصمام المفصلي أو المحبس بالخط الموصل لجهاز التفريغ .
 - ٦ - ١ - ٨ يقاس الزمن اللازم لتمر حافة سطح السائل العلوية بين زوجين متتابعين لعلامات التوقيت بدقة 0.1 ثانية ، ويسجل زمن الانسياب الأول الذي يتجاوز 60 ثانية بين زوجين من علامات التوقيت مع ملاحظة تعيين زوج علامات التوقيت .
٢. يعتبر تنظيف مقياس اللزوجة ذا أهمية قصوى ، ويمكن اتباع أية طريقة للتنظيف شريطة الحصول على سطح نظيف جاف في الأنبوبة ، ويوصى باستخدام الطريقة التالية في التنظيف : يزال مقياس اللزوجة من الحمام بعد انتهاء الاختبار ، ويوضع في وضع مقلوب في فرن عند درجة حرارة ثابتة قدرها $135^{\circ} \pm 0.5^{\circ}\text{م}$ ($275^{\circ} \pm 60^{\circ}\text{ف}$) حتى ينساب الأزفلت تماماً من مقياس اللزوجة الذي ينظف بعد ذلك جيداً بشطفه عدة مرات بواسطة مذيب مناسب قابل للامتزاج تماماً مع العينة ، ثم يعقب ذلك استخدام مذيب متطاير تماماً ، وتجفف الأنبوبة بامرار تيار بطيء من الهواء الجاف المرشح خلال الاختناق الشعري لفترة 120 ثانية ، أو حتى إزالة كل أثر للمذيب ، ويراعى تنظيف الجهاز دورياً بمحلول حمض الكروميك لإزالة الرواسب العضوية ثم يشطف جيداً بالماء المقطر والأسيتون الخالي من الرواسب ويجفف أخيراً بهواء جاف نظيف .



شكل رقم (١٢) مقياس اللزوجة الشعري المعدل لكوبير الأمريكي



شكل رقم (١٣) مقياس اللزوجة الشعري بالتفريغ لمعهد الأزفلت



شكل رقم (١٤) مقياس اللزوجة الشعري بالتفريغ لكانون ماننج

٦-١-٧ الطريقة القياسية لتحديد نقطة الطراوة Softening Point

المواصفات الفنية (AASHTO T - 53) .

١. مقدمة

١. ينتقل البيتومين تدريجياً من حالة الصلابة ، ويصبح أكثر طراوة وأقل لزوجة كلما ارتفعت درجة الحرارة ضمن مدى واسع من الحرارة .
٢. كلما كانت نقطة الطراوة أعلى قلت حساسية البيتومين للحرارة ، ولذلك تفيد هذه التجربة في مقارنة أنواع الأزفلت المختلفة ، وهذا يساعد على تصنيف أنواع البيتومين ، وتعطينا فكرة عن ميل البيتومين للانسياب عند درجات الحرارة المرتفعة عندما يوضع على الطرق .
٣. تفيدنا هذه الطريقة في السيطرة على إنتاج البيتومين في محطات التكرير وفي إنتاج البيتومين المعرض للهواء ، كذلك فإن للتجربة أهمية خاصة في الطبقات السميكة من البيتومين والبيتومين المستعمل لملء الفواصل والشقوق ودهان الأسطح حيث إن نقطة الطراوة العالية تعني عدم انسياب البيتومين أثناء وبعد الاستعمال . تعطي هذه التجربة تعيين نقطة الطراوة للأزفلت في مدى يتراوح من ٣٠ إلى ١٧٥م باستخدام جهاز الحلقة والكرة في حمام ساخن به محلول الأيثيلين جليكول .

٢. الجهاز

١. حلقات من النحاس توافق الأبعاد المبينة في الشكل رقم (١٥ - أ) .
٢. كرة من الصلب بقطر ٣/٨ (٩,٥ مم) وتزن $3,5 \pm 0,05$ جم .
٣. دليل مصنوع من النحاس لتحديد المركز للكرة كما هو مبين بالشكل رقم (١٥ - ب)
٤. حمام ذو سعة ٨٠٠ملييلتر من نوع الكأس الثابت وبزجاج مقاوم للحرارة .
٥. حامل الحلقة (شكل رقم ١٥ - ج) .
- ٥ - ١ تثبت الحلقات في وضع أفقي بحيث يكون أسفل الحلقات على ارتفاع "١"

- ± 0.03 " (25.4 مم ± 0.8 مم) فوق السطح العلوي للوح السفلي ويجب أن تترك مسافة مقدارها 12.7 مم (0.5 ") على الأقل و 19.1 مم (0.75 ") على الأكثر بين السطح الأسفل من اللوح السفلي وقاع الحمام .
- ٥ - ٢ يعلق مقياس الحرارة بحيث يكون قاع الانتفاخ مستوياً مع قاع الحلقات ويكون على مسافة 0.5 " (12.7 مم) من الحلقات من غير لمسها .
- ٦ . مقياس الحرارة المستخدم لقياس درجة التطرية للمادة البيتومينية يكون له مدى من ٥١ م إلى ١٧٥ م أي من ٥٢٠ ف إلى ٥٢٥٠ ف .
- ٧ . حمام السوائل - أيثلين جليكول ذو درجة غليان بين ١٩٣ م و ٢٠٤ م .

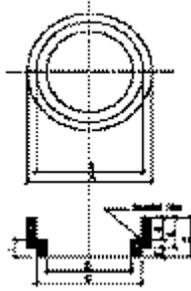
٣ . العينات

- ١ . يتم تسخين البيتومين مع التحريك لمنع التسخين الموضعي حتى يصبح سائلاً يمكن سكه ، ويجب ألا يسخن الأزفلت الأسمنتي أكثر من ١٠٠ م أعلى من نقطة الطراوة المتوقعة ، و ألا يستمر التسخين أكثر من ٣٠ دقيقة فوق لهب أو ساعتين في فرن مع تجنب حدوث فقاعات هوائية .
- ٢ . توضع الحلقات فوق سطح صلب مطلي بالجلسرين أو أي مادة مناسبة لمنع الالتصاق وتملأ الحلقات بالبيتومين حتى يصل إلى مستوى أعلى من حافة الحلقة ، ثم تبرد العينات في الهواء لمدة نصف ساعة ، ثم يزال الأزفلت الزائد بالسكين ، ويجب أن ينتهي العمل خلال أربع ساعات .

شكل رقم (١٥) جهاز درجة التطرية للأزفلت

م	بوصة	
23 ± 0.3	0.91 ± 0.01	A
19.8 ± 0.3	0.78 ± 0.01	B
19.1 ± 0.3	0.75 ± 0.01	C
15.9 ± 0.3	0.63 ± 0.01	D
4.4 ± 0.3	0.17 ± 0.01	E
2 ± 0.3	0.08 ± 0.01	F
6.4 ± 0.4	0.25 ± 0.02	G
3.6 ± 0.3	0.14 ± 0.01	H
2.8 ± 0.3	0.11 ± 0.01	I

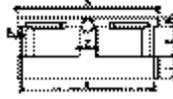
شكل (١٥ - أ) حلقة بحواف



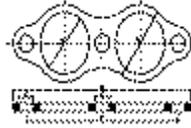
م	بوصة	
23.1 (ملحوظة ب)	0.91 (ملحوظة ب)	A
9.6 (ملحوظة ج)	0.78 (ملحوظة ج)	B
1.5 ± 0.3	0.06 ± 0.02	C
24.6 ± 0.3	0.97 ± 0.01	D

0.8 ± 0.5	0.03 ± 0.02	E
3 ± 0.5	0.12 ± 0.02	F
1.5 ± 0.3	0.06 ± 0.01	G
4.8 ± 0.3	0.19 ± 0.01	H
4.3 ± 0.3	0.17 ± 0.01	I

شكل (١٥ - ب)
دليل لتحديد مركز الكرة



شكل (١٥ - ج) حامل الحلقة



م	بوصة	
19.1 (ملحوظة أ)	0.75 (ملحوظة أ)	A
23.9 ± 0.5	0.94 ± 0.02	B
76.2 ± 0.5	3 ± 0.02	C
5.6 ± 0.5	0.22 ± 0.02	D
5.6 ± 0.5	0.22 ± 0.02	E
66.5 ± 0.5	2.62 ± 0.02	F

ملحوظة (أ) هذا القطر يكون أكبر بدرجة طفيفة (تقريباً 0.05 مم) عن البعد C الشكل (١٥) -
 (أ) حلقة بحواف - حتى يسمح إدخال الحلقة في المجموعة النهائية وتكون فقاعة مقياس الحرارة في
 حدود (12.7 مم) ولكن لا تلمس دليل تحديد المركز للكرة .
 ملحوظة (ب): هذا القطر يكون أكبر بدرجة طفيفة (تقريباً 0.05 مم) عن البعد A للشكل (١٥-أ)
 حلقة بحواف حتى تنزلق على الحلقة .
 ملحوظة (ج) : هذا القطر يكون أكبر بدرجة طفيفة (تقريباً 0.05 مم) عن (9.6 مم) حتى يسمح
 بوضع وتحديد مركز الكرة الصلبة .

٤ . طريقة الفحص

١. توضع الحلقات الحاوية للعينات فوق القطعة المخصصة لحملها ،
 ويوضع فوقها الحلقات (القطع) التي تبقى الكرة فوق الأزفلت في المركز وتغمر
 المجموعة في حمام من سائل الأيثيلين جليكول (Ethylene glycol) وبعمر
 يتراوح بين $100 - 108$ ملم بشكل يبعد أسفل اللوحة السفلى مسافة تتراوح بين
 $25 - 37$ ملم من قاع الوعاء ويوضع ميزان الحرارة في منتصف الوعاء رأسياً
 حتى يصل إلى مستوى الحلقات دون أن يلامس الحلقات أو اللوحة .
٢. تثبت درجة الحرارة للحمام عند 4 ± 1 م لمدة 15 دقيقة .
٣. توضع الكرات فوق عينات الأزفلت ضمن الحلقات التي تبقى
 الكرات في مركز العينة .

٤. ابدأ التسخين بحيث ترتفع درجة الحرارة تدريجياً بمعدل 0.5 ± 0.5 م كل دقيقة ، ولا يجوز عمل معدل لارتفاع الحرارة على مدى زمن التجربة ، و تلغى أي تجربة لا يتم التحكم فيها بالحرارة بالمعدل المطلوب بعد مرور ٣ دقائق . ويستمر التسخين للكرات والعينة حتى تبدأ العينة بالانسياب والهبوط ، وعندما تلامس العينة اللوحة السفلية تسجل درجة الحرارة ، وقد تلامس أحد الكرات اللوحة قبل الأخرى فإذا كان الفرق بين الحرارة التي سجلت لتلامس الكرة الأولى والحرارة التي سجلت للثانية أعلى من درجة مئوية تعاد التجربة .

٢- اختبارات الخلطات الأرفلتية المستخدمة في الرصف 7

: وتشمل الآتي :

1. الطريقة القياسية لأخذ عينات ممثلة للخلطات الأرفلتية .
2. مكوناتها (الطريقة القياسية لاستخلاص الأرفلت من الخلطات الأرفلتية وتحديد (تحليل الخلطة الأرفلتية باستعمال الطريقة القياسية لتحديد الوزن النوعي لعينات خلطة أرفلتية مدموكة .
3. العينات المشبعة والمجففة السطح من الخارج .
4. مدموكة الطريقة القياسية لتحديد الوزن النوعي الأقصى للخلطات الأرفلتية الغير .
5. جهاز باستعمال الطريقة القياسية لفحص مقاومة الخلطات الأرفلتية للانسياب للندن مارشال .

المستخدمة في الرصف ١-٢ الطريقة القياسية لأخذ عينات ممثلة للخلطات الأرفلتية 7

(AASHTO T 40-72) : المواصفة الفنية

1. مقدمة
المستخدمة في الرصف وكذلك مواد هذه الطريقة تحدد أسلوب أخذ العينات للخلطات الأرفلتية للخلطة الأرفلتية وكذلك لتحديد التغير الدوري الخلطة ، وهذه العينات يمكن استخدامها كعينة ممثلة . في خواص الخلطة وذلك بهدف ضبط الجودة .
2. اختيار العينة
أهمية إجراء الاختبارات للمواد ، ويجب اتخاذ كل إن طريقة أخذ عينات ممثلة للمواد له نفس عينات ممثلة للخلطات الأرفلتية ، فمثلاً يجب تفادي حدوث الاحتياطات اللازمة للحصول على . الخشن وبين المواد الناعمة للخلطة الأرفلتية انفصال للمواد بين الركام حدوث أي تلوث للعينات بواسطة الغبار أو أي مواد غريبة أخرى كما يجب اتخاذ الاحتياطات لمنع .
الأرفلتية التي تستخدم كعينات قبول أو رفض لغرض التحقق من مطابقة مواد التنفيذ عينات الخلطة المتبعة للمواصفات يجب أن تختار بواسطة مهندس ممثل للمالك أو من يمثله وذلك طبقاً للخطوات لذلك .
3. حجم العينات
للحصى (الركام) والجدول الآتي يوضح أقل كمية تعتمد كمية العينة على المقاس الاسمي الأكبر :
مطلوب :

المقاس الاسمي الأكبر ملم	أقل وزن للعينة غير المدموكة (كجم)	أقل مساحة للخلطة المدموكة سم ^٢
50	16	1450
37.5	11	950
25	9	950
19	7	650

12.50	5	400
9.50	4	250
4.75	2	250
2.38	2	250

4. مقياس الركام جدول رقم (١٤) يوضح أقل وزن ومساحة للعينة باعتبار

5. العينات الممثلة المأخوذة عند أماكن الإنتاج :

(SHOVEL / SCOOP) يتم تفرغها من الخلاطة يجب أن تؤخذ من كومة بواسطة مغرفة الخلطة التي وذلك من أسفل إلى أعلى وذلك عند نقطتين تفصلهما زاوية مقدارها ١٨٠ درجة ، (SCOOP) العينة بعد ذلك إلى الوزن المطلوب بإعادة الخلط ثم التقسيم ، وإذا كانت العينة تمثل ويتم تجزئة لما ذكر أكثر من خلطة فإن العينة يجب أن تؤخذ عند أوقات منتظمة من الخلطات المتعاقبة طبقاً مختلفة فإنها تخلط أعلاه عند أخذ العينة وتوضع في إناء مناسب ، وعند جمع العينات من خلطات المأخوذة تحتاج إلى التدفئة وذلك ثم تقسم على سطح ناعم ونظيف ، وفي بعض الأحيان فإن العينة اتخاذ الاحتياطات لتفادي زيادة التسخين لأي جزء لتسهيل عملية إعادة الخلط والتقسيم ، ولكن يجب الكافي فقط لجعل الخليط أكثر سهولة عند الخلط من العينة ، ويتم التسخين بالقدر الإنتاج الخاص بالخلطة فإن العينة لا تخلط ولكن يتم أخذها إذا كان الغرض من العينة هو ضبط بمفردها .

المأخوذة من الأكوام الاحتياطية يجب أن تؤخذ بواسطة مزج كميات متساوية من العينات * (Stock Pile) مأخوذة من حفر محفورة في نقاط مختلفة عند أعلى ووسط وقاع الكومة المخلوط . ويتم تجزئة العينة إلى الحجم المطلوب للعينات الممثلة للخلطات ،

6. العينات الممثلة المأخوذة أثناء الرصف :

(يقل حجم العينة المأخوذة من موقع تم رصفه (إعادة أخذ العينة من وراء الفريدة يجب أن لا لغرض تحديد خواص الخلطة عن المساحة المذكورة في جدول رقم (١٤) ، ويجب أن PAVER تمتد إلى كامل عمق طبقة الرصف ، ويجب أن لا يقل عدد العينات عن عينة واحدة لكل رصف يومي . كما يجب أن

على كثافة العينة ، ويجب المحافظة على شكل تقطع العينة بالطريقة المناسبة والتي تسمح بأقل تأثير بحمايتها ودعمها العينة المأخوذة أثناء النقل وذلك .

7. العينات الممثلة المأخوذة من الخلطات المخلوطة بنفس الموقع .

لغرض تحديد يجب أن تؤخذ عينات من الخلطات التي يتم خلطها بالموقع (موقع الرصف) ، وذلك جيداً مع المواد الخواص الفيزيائية للخلطة وتحديد نسبة البيتومين وذلك بعد خلط البيتومين طولي وتختبر لوحدها ، وتؤخذ وإذا كانت الخلاطة على هيئة أكوام فتؤخذ عينة واحدة كل ١٥٠م طبقة واحدة بسمك حوالي ٠,٣م ، ويتم أخذ العينات بعد أن تتم تسوية الكومة عند نقطة واحدة إلى الكمية الكافية ، وإذا كانت الخلاطة قد تمت تسويتها في عينات من ثلاثة أماكن مختلفة لغرض أخذ م طولي ، وإذا أريد أخذ عينات إضافية من الخلاطة للتأكد من 150 الطريق فإن العينة تؤخذ كل م طولي وعلى بعد ٠,٦م من مسافة الرصف ، وتتخذ الاحتياطات 150 تجانسها فإنها تؤخذ كل طبقة الأساس أو تحت الأساس الموجودة أسفل طبقة الأزفلت لتفادي قطع مواد من

7. وتحديد مكونات الخلطة ٢- ٢. الطريقة القياسية لاستخلاص الأزفلت من الخلطات الأزفلتية

1. مقدمة :

الموجودة في الخلطات الأزفلتية الساخنة (تحدد هذه التجربة تعيين كمية الأزفلت (البيتومين وتجري كذلك تجربة التدرج الحبيبي للركام بعد ولعينات الأزفلت المستعملة على الطرق ، من أجل تحديد مطابقة الخلطات للمواصفات وتقويمها استخلاص الأزفلت ، وتستهمل هذه الطريقة وضبط الجودة .

2. الأجهزة :

1. جهاز الاستخلاص مؤلف من وعاء له غطاء محكم ويدور بسرعة

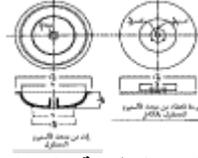
دورة في الدقيقة ، ويتم التحكم بالسرعة يدوياً أو بتحديد 3600 قصوى مقدارها فتحة في الوعاء لخروج السائل مع مدرج لجمع السائل السرعة مسبقاً ، ويوجد الخارج من الوعاء .

2. ورق ترشيح على هيئة حلقات بمقاس الوعاء سمكه ± 0.005 بوصة 0.005 ،،،،

3. فرن درجة $\pm 5^\circ\text{م}$ ، ميزان ، ولوحة تسخين كهربائية ، ومخبر مدرج 5 ملم ، وبوتقة للحرق سعتها ١٢٥ ملم ، ووعاء تجفيف 100-200 حرارته ١١٠ . قياسية محكم الإغلاق ، ومناخل .

3. المحاليل :

1. Trichloroethelene . محلول الترايكلورو أيثيلين
2. $(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_3$ محلول كربونات الأمونيوم



الاستخلاص شكل رقم (١٦) وعاء جهاز

4. تحضير العينة :

بالمسطرين أو السكنينة توضع في الصينية وتسخن إذا كانت الخلطة غير لينة لنتمكن من تقسيمها . حتى يمكن تفكيكها . ق بالتربيع حتى نحصل على كمية مناسبة للفحص في حدود الجدول المرفق تقسم العينة

المقاس الاسمي (الأكبر للركام (ملم	أقل وزن للعينة (كجم)
37.500	4.00
25.00	3.00
19.00	2.00
12.500	1.50
9.500	1.00
4.75	0.500

5. الرطوبة إذا كانت العينة بها رطوبة نسبتها أكبر من ١,٠٪ فإنه يتم حساب محتوى مذکور بالجدول ، وبعد ذلك تؤخذ عينة يكون وزنها حسب المقاس الأكبر الاسمي للركام كما ه السابق وتوضع في إناء جهاز الاستخلاص .
بالإناء بمحلول الترايكلورو أيثيلين وتترك لمدة لا تزيد عن ساعة حتى يتحلل تغمر العينة الموجودة ة ويوضع الإناء والمحلول والعينة في الجهاز ، وتوضع ورقة الترشيح بعد وزنها على فوه المزيج ، الإناء ، ويتم وضع الغطاء بإحكام ، ويوضع مخبر تحت فتحة التصريف .
ببطء في البداية ، ثم تزداد سرعته تدريجياً حتى تصل السرعة إلى ٣٦٠٠ دورة في يدار الجهاز ، حتى يتوقف انسياب المحلول من الجهاز ، ثم يوقف الجهاز ، وتوضع ٢٠٠ملم من الدقيقة (، وتعاد التجربة عدة مرات حتى يصبح السائل الخارج من الجهاز مثل لون القش الفاتح ل المحلو (يكون السائل نظيفاً) .
ثم توضع في فرن تجفيف درجة حرارته يفتح الجهاز ، وترفع ورقة الترشيح ، وتجفف في الهواء ، ء الركام في الإناء ١٠٠م و تعاد المواد العالقة بورقة الترشيح إلى توضع بالفرن أو على اللوحة توضع محتويات الإناء في الصينية ، وتجفف بحمام بخاري ، ثم ويكون وزن الركام بعد استخلاص الساخنة في درجة حرارة $110 \pm 5^\circ\text{م}$ حتى ثبات الوزن ، في وزن ورقة الترشيح الأزفلة (٣) يساوي وزن الركام في الصينية + الزيادة تحريكه بشكل كاف ، وليكن (ح) ثم ديتم تسجيل حجم المحلول الذي تجمع في المخبر المدرج بع تحديد وزنها فارغاً ، وتجفف المحتويات في البوتقة يؤخذ منه ١٠٠ملم إلى بوتقة الحرق بعد أن يتم درجة ٥٠٠ - ٦٠٠ م . ثم تبرد وتوزن ويضاف ٥ ملم من على لوحة معدنية ويحرق الباقي على

لكل جرام من الرماد ، ويترك ليذوب لمدة ساعة في درجة ع محلول كربونات الأمونيوم المشب
درجة حرارة ١٠٠م حتى ثبات الوزن ، ثم يبرد ويحسب وزن الرماد حرارة الغرفة ، ثم يجفف في
الصلبة في الخلاصة (٤) كما يلي وتحسب كتلة المواد :

$$\begin{array}{r} \text{ح ١} \\ \text{—} \\ \text{ح ١-ح ٢} \end{array}$$

$$\times (\text{جم}) = \text{وزن الرماد}$$

6.

حيث :

ح ١ = حجم المحلول الكلي

. أخذ العينة ، أي أن ح ١ - ح ٢ هي الحجم الذي تم أخذه ح ٢ = حجم المحلول بعد

الحسابات

$$= \frac{(\text{و ١} - \text{و ٢}) - (\text{و ٣} + \text{و ٤})}{\text{و ١} - \text{و ٢}} (\%) = \text{تحسب نسبة الأزفلت في العينة}$$

7.

حيث :

. و ١ = وزن عينة الخلطة المستعملة للفحص

. الماء في العينة و ٢ = وزن

. ورقة الترشيح و ٣ = وزن الركاب في إناء جهاز الاستخلاص + الزيادة في وزن

(و ٤ = وزن المواد الصلبة في المحلول) والتي تم حسابها أعلاه

مدموكة باستعمال العينات المشبعة ٣-٢. الطريقة القياسية لتحديد الوزن النوعي لعينات خلطة أزفلتية 7
. المجففة السطوح من الخارج

(AASHTO T-166-78 , ASTM D 2726) : المواصفات الفنية

1. مقدمة

1. يتم في هذه الطريقة تحديد الوزن النوعي لعينات خلطة أزفلتية مدموكة .
المختبر أو عينات مأخوذة من الموقع بعد الرصف . ويتم تحديد الوزن النوعي في
(VMA) المختبر وكذلك حساب نسبة الفراغات الهوائية وفراغات الحصى لعينات
تحضيرها كما هو مذكور في تجربة مارشال (أما العينات وهذه العينات يتم .
الوزن النوعي لها كما يتم تحديد كفاءة الدمك في المأخوذة من الموقع فيتم تحديد
(لعينات الرصف الموقع وذلك بإيجاد نسبة الدمك) .

2. تستخدم هذه الطريقة لتحديد الوزن النوعي لعينات خلطة أزفلتية مدموكة
مسامية أو ذات مسامات متصلة (فراغات) وذلك بوزنها في الهواء ثم وزنها في
عند درجة حرارة ٢٥م وتحديد حجمها الماء .

2. الجهاز :

ماء حيث يحدد وزنها وهي في الهواء ميزان مزود بوسيلة لتعليق العينة وغمرها في حوض
ووزنها وهي مغمورة بالماء .
العينات مع وجود وسيلة تصريف لكي ينسكب الماء الزائد عند غمر العينات حتى حمام ماء لغمر
ارتفاع الماء ثابتاً يكون .

3. العينات

مارشال أو عينات مأخوذة من الرصف على كما ذكر فالعينات إما أن تكون محضرة لاختبار
لحبيبات الحصى ، ولا يقل سمكها عن شرط أن يكون قطر العينة أربعة أضعاف أقصى مقاس
غير مشوهة ولا تحتوي على مواد غريبة ١,٥ × أقصى مقاس للحبيبات ، ويجب أن تكون العينات

كانت العينة تحتوي على طبقات سطحية وطبقات مثل بقايا من طبقة أزفلت لاصقة أو تراب ، وإذا . المنشار أساس فيمكن فصل الطبقات المختلفة بواسطة

4. الطريقة:

- : المدموكة وسيتم هنا توضيح طريقتين هناك عدة طرق لتحديد الوزن النوعي لعينات الأزفلت

1. الطريقة الأولى :-

1. إذا كانت العينات تحوي ماء يتم غمرها في حمام لمدة ٣-٥ دقائق ثم توزن وهي مائي عند درجة حرارة ٢٥م^٢ العينة مغمورة بالماء وليكن الوزن (ج) ، وإذا اختلفت حرارة عن حرارة الحمام بأكثر من ٢ م^٢ تبقى مغمورة بالماء لمدة ١٠- الوزن . تخرج العينة من الماء ويعد وزنها ١٥ دقيقة قبل ويتم وزنها في وتمسح بقطعة قماش لتجفيف سطحها الخارجي الهواء وليكن (ب) ، ثم تجفف العينة في فرن درجة حرارته (تقريباً) لمدة ١٥ - ٢٤ ثم تبرد وتوزن وليكن وزنها (أ) ١١٠ م^٢.

2. إذا كانت العينات جافة كتلك التي تحضر لتجربة

الهواء بعد أن تكون قد بقيت ساعة في مارشال توزن أولاً في درجة حرارته ، ثم تغمر في ماء (A) الهواء ، وليكن الوزن ٢٥م^٢ لمدة ٣ - ٥ دقائق ، ثم توزن وهي مغمورة بالماء ، ليكن وتخرج من الحمام وتمسح بقطعة قماش وتوزن و (C) اوزنه (B) ليكن وزنها

: النوعي كالاتي يمكن حساب الوزن -1

$$A / (C - B) = \text{الوزن النوعي للعينة}$$

حيث :

A = الجافة في الهواء وزن العينة

B = وزن العينة ذات السطح الجاف

C = الماء وزن العينة في

$$\text{الوزن النوعي النظري الأقصى} - \text{الوزن النوعي} = \text{نسبة الفراغات الهوائية } \% = \frac{\text{الوزن النوعي النظري الأقصى}}{\text{الوزن النوعي النظري الأقصى}}$$

3.

2. الطريقة الثانية :-

(Paraffin Coated Specimen) عينة مغلقة بالبرافين

1. وذلك (A) يتم تحديد وزن العينة الجافة وليكن حرارة ٦٠م^٢ ± ٥٥م^٢ وتركها في الهواء بعد تجفيفها في درجة لمدة ساعتين .

2. يتم تغليف جميع أسطح العينة المغلفة والتأكد من بالبرافين المذاب ، ثم تترك العينة تغطية جميع المسامات بها ثانية ، ثم يتم لتبريد في الهواء في درجة حرارة الغرفة لمدة ٣٠ (D) وزنها وليكن

3. درجة حرارته يتم وزن العينة المغلفة في ماء (E) ٢٥ ± ٥١م^٢ ، وليكن وزن العينة

4. يتم تحديد الوزن النوعي للبرافين (Specific Gravity of Paraffin) عند ٥٢٥ ± ٥١م^٢ ، عند (F) وليكن

5. الحسابات

$$\text{الوزن النوعي للعينة} = \frac{A}{(D - E) - \frac{(D - A)}{F}}$$

حيث :

A = (وزن العينة الجافة في الهواء) جم

D = (وزن العينة الجافة بالإضافة للبرافين في الهواء) جم

E = (بالإضافة للبرافين في الماء) جم وزن العينة الجافة

F = م 51 ± 25 الوزن النوعي للبرافين عند درجة حرارة

تختلف اختلافاً كبيراً عن ٥٢٥ م يتم تصحيح الوزن النوعي إذا كانت درجة حرارة الحمام المائي :
التالية وذلك حسب المعادلة , (ASTM D 2726) انظر المواصفة

$$R = \Delta t * KS * (B - C)$$

حيث :

R = التصحيح (Correction)

Δt = ودرجة حرارة الحمام 25 الفرق بين درجة حرارة

KS = البيتومينية معامل التمدد الحراري التكعيبي المتوسط للخرسانة

(Average Coefficient of Cubical Thermal Expansion of Bituminous Concrete

= 6*10-5 ml/ml/°c)

6. التقرير

ونوع الخلطة ، ونوع العينة ومصدرها ، يتضمن التقرير الوزن النوعي عند درجة حرارة ٢٥ م ،
وحجم العينة .

7. الأزلتية لعينة غير مدموكة ٤.٢- الطريقة القياسية لتحديد الوزن النوعي الأقصى النظري للخلطات

(ASTM D 2041 - AASHTO T 209) : المواصفات الفنية

1. المقدمة

لعينات الخلطة الأزلتية الغير مدموكة والذي تحدد هذه الطريقة الوزن النوعي النظري الأقصى -
للخلطات الأزلتية ونسبة امتصاص الأزلت يستخدم في حساب نسبة الفراغات الهوائية .

2. الجهاز

1. دورق زجاجي أو معدني سعته على الأقل ١٠٠٠ مللتر ، ويجب أن يكون
لتحمل شطف الهواء وله غطاء ، ويثبت به خرطوم مع منخل معدني يغطي قويا
يمنع نفاذ المواد الناعمة أثناء تفريغ الهواء فتحة الخرطوم حتى
2. ميزان حساس لحساب الوزن النوعي للعينة لأربعة أرقام (أي ثلاثة
عشرية) ويزود الميزان بوسيلة لتعليق العينة به أرقام
3. مضخة تفريغ الهواء مع أداة لقياس الضغط (ضغط الهواء أقل من أو
(ملم زئبق 30 يساوي

4. حمام ماء . في حالة استخدام الإناء يكون الحمام المائي مناسباً لغمر
الإناء ويعمل الجهاز على تعليق الإناء من مركز كفة الميزان ، وفي حالة استخدام
القارورة يكون من المناسب استخدام حمام مائي ذي درجة حرارة ثابتة .

3. معايرة الدورق

درجة حرارة ٢٥ م ± ٠,٥ م ، وعادة يتم التأكد من تتم معايرة الدورق بقياس وزن الماء بدقة في
أي فقاعات هواء ، وذلك باستخدام غطاء زجاجي يوضع على ملء الدورق كاملاً بالماء دون وجود
الغطاء أي فقاعات هوائية موجودة فتحة الدورق ، ويظهر هذا

4. العينات

تكسير لحبيبات الحصى بحيث لا يزيد يتم تحضير العينات بفصل جزيئات الخلطة ، ولكن بدون
الخلطة ليست لينة يمكن فصل جزيئاتها ت مفاص حبيبات الحصى الناعمة عن ٦,٤ ملم . وإذا كان
بسهولة ، ويكون وزنها حسب المقاس الاسمي الأكبر يدوياً فإنها توضع في فرن حتى يمكن فصلها

. للركام كما يوضح الجدول التالي .

المقاس الاسمي الأكبر للركام		أقل وزن للعيينة (كجم)
(بوصة)	(ملم)	
1	25	2.5
4/3	19	2.00
2/1	12.5	1.5
3	9.5	1.00
رقم ٤	4.75	0.500

5. الطريقة

1. تفصل حبيبات العينة مع مراعاة عدم تحطيم الحبيبات الحصوية بحيث تزيد حبيبات الجزء الناعم من الركام عن 1/4 بوصة (٦,٤ مم) . وما لم تكن لا طرية بالقدر الذي يسمح بالفصل اليدوي للحبيبات فتوضع في كفة مسطحة الخلطة . الفرن حتى القدر الذي يمكن عنده فصل العينة فقط كبيرة وتسخن داخل تبرد العينة إلى درجة حرارة الغرفة وتوضع في القارورة أو الإناء ثم توزن وتسمى الكتلة الخالصة للعيينة (أ) ، يضاف ماء كافٍ عند درجة حرارة تقريباً لتغطية العينة (٥٢٥ م) (٥٧٧ م)
2. يزال الهواء المحبوس بتعويض المكونات لتفريغ جزئي (ضغط الهواء مم زئبق) لمدة ١٥ ± ٢ دقيقة ، وبرج الوعاء والمكونات إما 30 أقل من هزاز ميكانيكي أو يدوياً بهزها هزاً شديداً على فترات تبلغ باستمرار هزه بواسطة . حوالي دقيقتين . يمكن تحرير الهواء المحبوس بإضافة عامل ترطيب مناسب مثل الأيروسول بنسبة تركيز ٠,٠١ % أو ١ مليلتر من ١٠ % محلول في ١٠٠٠ مليلتر من (OT) الماء .
3. التحديد بالإثناء : يغلق الإناء والمكونات في الماء عند ٢٥ ± ٥١ م (٧٧ ف) وتوزن بعد غمرها لمدة ١٠ ± ١ دقائق ، وتسمى الكتلة الخالصة 51.8 ± (ج) . للعيينة في الماء .
4. التحديد بالقارورة : تملأ القارورة بالماء وترفع درجة حرارة المكونات حتى ٢٥ ± ٥٠,٥ م بعدئذ وزن القارورة (ف) في حمام مائي درجة حرارته ثابتة ، ويحدد (77 ± 51) مملوءة بالمحتويات بعد ١٠ ± ١ دقيقة من الانتهاء من البند ٣-٥ .

6. الحسابات :

1. يحسب الوزن النوعي للعيينة كما يلي :
 1. في حالة التحديد بالإثناء :
(الوزن النوعي = أ / (أ - ج))
حيث :
(أ = كتلة العينة الجافة في الهواء (جم)
(ج = كتلة العينة في الماء)
 2. في حالة التحديد بالقارورة :
(الوزن النوعي = أ / (أ + د - هـ))
حيث :
(أ = كتلة العينة الجافة في الهواء (جم)
القارورة الممتلئة بالماء عند ٥٢٥ م (٥٧٧ م) (ج = د = كتلة)

المتلثة بالماء والعينة عند درجة ٥٢٥م (هـ- كتلة القارورة
(٥٧٧ف) جم) .

٥-٢. تصميم الخلطات الأرفلتية باستخدام جهاز مارشال 7

(AASHTO T 245-78) المواصفات الفنية

1. المقدمة .

المختبر باستخدام طريقة مارشال . والهدف تحدد هذه الطريقة تصميم الخلطات الأرفلتية في
اقتصادي من المواد ذو تدرج ، ونسبة أرفلت تعطي الخليط الرئيسي لتصميم الخلطة هو إيجاد خليط
: الخواص الآتية :

أ - نسبة الأرفلت كافية لضمان الديمومة والمرونة في الخلطة

كافية لمقاومة الانسياب توفي بمتطلبات المرور بدون حدوث أي ب- قوة
تشوهات .

هوئية كافية في الخليط الكلي المدموك تسمح باستيعاب الأرفلت ج - فراغات
الفراغات مملوءة بالهواء حتى إذا دمكت الخلطة تحت تأثير وإبقاء جزء من
الفراغات الهوائية الباقية ، وإذا لم تتوفر الفراغات السير تحرك الأرفلت إلى
أما إذا كانت الفراغات الهوائية كثيرة فتصبح ، ينزف الأرفلت ويصعد للسطح
ويتسببان في تخريبها الخلطة مسامية ويدخلها الهواء والماء .
د - القابلية لسهولة التعامل معه .

2. الأجهزة .

1. قوالب أسطوانية قطرها ١٠١,٦ ملم وارتفاعها ٧٦,٢ ملم مع قاعدة
إضافية لها نفس قطر القالب ، وتوضع فوق القالب لزيادة ارتفاعها متحركة وحلقة
الدمك وليستوعب الخلطة قبل .

2. جهاز لإخراج العينة من القالب وهو على شكل قرص قطره ١٠٠ ملم
وسمكه ١٣ ملم .

3. مطرقة مؤلفة من قرص معدني دائري منبسط مثبت في وسطه عمود
على العمود حلقة وزنها ٤٥٣٦ جم تسقط من ارتفاع ٤٥٧,٢ ملم حديدي وتنزلق .

4. قاعدة دمك خشبية أبعادها ٢٠٣,٢ x ٢٠٣,٢ x ٤٥٧,٢ ملم مغطاة
بأبعاد ٣٠٤,٨ x ٣٠٤,٨ x ٢٥,٤ ملم ، وتكون القاعدة من خشب بلوحة معدنية
خرسانية بزوايا حديدية ، ويكون الغطاء المعدني ثابتاً زان ، ومثبتة على أرضية
أن تكون مستوية وقطعة الخشب رأسية على على القاعدة الخشبية ، ويجب
الشاقول .

5. أداة لمسك القالب والحلقة والقاعدة وتثبيتهما أثناء الدمك .

6. مؤلفة من قطعتين معدنيتين عليا (Breaking Head) رأس الكسر
، وكل واحدة على شكل نصف أسطوانة نصف قطرها ٥٠,٨ ملم ، وسفلى للعينة
قاعدة مستوية ويبرز منها عند رؤوس الشكل ترتكز القطعة السفلية على
وضع القطعة العليا من رأس الكسر الأسطواني قضيبان حديديان رأسيان . وعند
الموجودتين في القطعة العليا فوق السفلى يدخل القضيبان العموديان في الحلقتين .

7. رافعة تحميل - مثبتة على إطار معدني ومتحركة إلى أعلى حركة
تبلغ عند التشغيل ٥٠,٨ ملم / الدقيقة منتظمة .

8. بقدرة ٢٢٧٦ كجم مثبت في (Proving Ring) حلقة قياس قوة الضغط
قياس يعطي أرقام تحول فيما بعد إلى قوة حسب نوع الحلقة حيث وسطها مؤشر
لتحديد دقتها يجب عمل معايرة لها .

9. جهاز لقياس الانسياب أو الحركة الرأسية أثناء الضغط موصول بعداد
في داخل أحد القضبان الرأسية المثبتة في رأس الكسر ، وعادة يصغر هذا ينزلق
تكون العينة الأرفلتية بين فكي رأس الكسر ، ويجب أن تكون دقة العداد عندما
ملم (٠,٠١ بوصة) لكل تقسيم من تقاسيم العداد 0.25 هذا العداد هي .

10. أفران أو لوحات ساخنة من أجل تسخين الركام والأرفلت والقوالب
وأية أدوات تستعمل في الخلط ، ويجب أن يتم التحكم بوسائل التسخين والمطرقة
الحرارة حسب المطلوب حتى تبقى درجة .

11. خلطة ميكانيكية قادرة على خلط المواد بشكل منتظم وبشكل تصبح معه 11. حبات المواد مغلفة بالبيتومين كل .

12. حمام مائي عمقه ١٥٠ ملم وبه جهاز للتحكم في درجة الحرارة لإبقائها ٦٠± 1 م ، ويزود الحمام برف به ثقب يرتفع عن قاعدة الحمام مقدار ٥٠,٨ ملم .

13. Asphalt حمام هوائي من أجل استعماله لمخلوط الأزفلت المحلول Cut Back ، ويعطي حرارة مقدارها ١±٢٥ م ، .

14. أدوات متفرقة مثل أوعية لتسخين الركام وأوعية لتسخين الأزفلت ، ودورق ، وعلب ، وأدوات خلط مثل المسطرين والسكين ، وموازين ومقلاة ، الركام والأزفلت ، والخلطة تتراوح قدراتها من ٩,٩ - حرارة لتحديد حرارة ، وقفازات وطباشير وملعقة ومغرفة ٢٠٤ م وموازين عادية وأخرى دقيقة .

3. تحضير العينات .

1. (تحضر (٣) عينات لكل نسبة من نسب الأزفلت (تمثل محاولة واحدة) .

2. يجفف الركام في درجة حرارة (١٠٥ - ١١٠ م) حتى ثبات الوزن ، ثم الركام بعد تبريده على المناخل ٢٥ ، ١٩ ، ٩,٥ ، ٤,٧٥ ، ٢,٣٦ ، ١,١٨ ، يفصل ملم .

3. تحدد درجة الحرارة اللازمة لتسخين الأزفلت للخلط بأنها التي تجعل أما الحرارة اللازمة للدمك فهي (CST) لزوجة الأزفلت ١٧٠±٢٠ سنتي ستوك (CST) فيها للزوجة مقدارها ٢٨٠±٣٠ سنتي ستوك التي تكون .

4. يتم اختيار الوزن من كل مقياس من المقاسات المفصولة حسب نسبة هذا من الوزن الكلي و بحيث يكون الوزن الكلي للركام للعينة الواحدة ما يقارب المقاس يعطي هذا الوزن بعد خلطه بالأزفلت ودمكه عينة ارتفاعها ١٢٠٠ جم بحيث ملم . وتحضر ٣ عينات من هذا الوزن لكل 101.6 ±٦٣,٥ ملم وقطرها . من الأزفلت فإنه يتم تحضير ١٢ عينة نسبة أزفلت ، فإذا كان هناك أربع نسب

5. تسخن عينات الركام في الفرن لدرجة حرارة لا تزيد عما حدد في الفقرة ٣-٣ . بأكثر من ٥٢٨ م ، و ٥٢٥ م للأزفلت الأسمنتي والمحلول على التوالي ٣-٣ .

6. يوضع الركام الساخن في الخلطة ويخلط جيداً ، ثم تحفر حفرة في ويضاف الأزفلت الساخن بالكمية المحددة ، وتخلط المكونات حتى تصبح الركام مغلفة بالأزفلت جميع الحبيبات .

7. توضع الخلطة الحاوية للأزفلت المحلول في فرن درجة حرارته ١١٠ م حرارة الدمك المحددة في الفقرة ٣-٣ بمدة كافية لتفقد العينة حوالي ٥٠٪ أعلى من المتطايرة ، ويمكن التحريك لتسهيل التبخر ، ويحسب وزن العينات على من المواد دقيقة ثم كل ١٠ دقائق حتى يصبح الفقدان للمواد المتطايرة ٥٠٪ فترات كل ١٥ .

4. دمك العينات

ساخنة في درجة ينظف القالب ومطرقة الدمك ثم يسخنان إما في ماء مغلي أو لوحة معدنية حول محيط القالب و حرارة ٩٣,٣ - ١٤٨,٩ م ، وتوضع العينة في القالب وتدمك بالسكين ١٥ مرة على شكل كروي ، ثم تعاد ١٠ مرات في القالب داخل الحلقة ، وترفع الحلقة ويجعل سطح العينة أو ٥٠ ضربة (حسب نوع المرور الحلقة ويوضع القالب على القاعدة الخشبية وتدمك العينة ٧٥ ملم ، على أن يكون محور المطرقة 457.2 لطبقة الرصف) من المطرقة التي تسقط من ارتفاع يقلب القالب والعينة ويعاد الدمك بنفس عدد الضربات عمودياً قدر الإمكان على مستوى القاعدة ، ثم الأزفلتية ممثلة لعينة مأخوذة من الموقع تكون درجة حرارة الخلطة عند . إذا كانت عينات الخلطة ويرفع القالب ويوضع فوق الحلقة ويطرق طرفاً خفيفاً جداً يكفي لإخراج العينة . الدمك ٥١٣٥ م ثم توزن الحلقة ، ثم ترفع الحلقة من العينة وتوضع العينة على أرضية صلبة مستوية لمدة ليلة في . وتقاس أبعادها .

5. طريقة الفحص

1. تغمر العينات التي تم دمكها وبردت وتم اختبار كثافتها في حمام مائي ٣٠ - ٤٠ دقيقة عند درجة حرارة ٦٠ ± ١ م وعند درجة حرارة ٣٧,٨ ± ملم للمحلول ٥١ م للأزفلت .

2. ينظف رأس الكسر والقضبان ويشحن القضبان على القضبان حتى الجزء العلوي بسهولة وتكون درجة حرارة رأس الكسر ٢١,١ - تنزلق في مائي ٣٧,٨ وذلك بغمره في حمام

3. تخرج العينة من الحمام وتوضع في الجزء السفلي من رأس الكسر العلوي فوق العينة ويوضع الجميع على جهاز الكسر ، ثم يوضع ويوضع الجزء أحد القضبيين ويضبط على الصفر ويثبت جهاز القياس جهاز قياس الانسياب على جيداً أثناء الاختبار .

4. يشغل المحرك (ألياً أو يدوياً) بسرعة ثابتة مقدارها ٥٠,٨ ملم لكل دقيقة إلى أقصى قراءة (Proving Ring) حتى يصل المؤشر (قراءة العداد الخاص اقرأ مقياس الضغط وحول القراءات إلى وحدات الضغط وسجل . ويبدأ بالرجوع الحمل إلى الحد الأقصى ويبدأ بالرجوع ، يجب ألا قراءة الانسياب حالما يصل من لحظة وضع العينة في رأس الكسر حتى يستغرق الاختبار أكثر من ٣٠ ثانية . أو ٠,٢٥٤ النهاية ، ويسجل الانسياب حسب العداد ٠,٠١ ملم

5. إذا تم الفحص على عينات يختلف ارتفاعها عن ٦٣,٥ ملم تضرب القراءة (معامل التصحيح كما هو مذكورة في الجدول رقم (١٥ في

معامل التصحيح	سمك (ارتفاع) العينة (مم)	حجم العينة (سم ^٣)
5.56	25.4	213 - 200
5.00	27.0	225 - 214
4.55	28.6	237 - 226
4.17	30.2	250 - 238
3.85	31.8	264 - 251
3.57	33.3	276 - 265
3.33	34.9	289 - 277
3.03	36.5	301 - 290
2.78	38.1	316 - 302
2.50	39.7	328 - 317
2.27	41.3	340 - 329

2.08	42.9	353 - 341
1.92	44.4	367 - 354
1.79	46.0	379 - 368
1.67	47.6	392 - 380
1.56	49.2	405 - 393
1.47	50.8	420 - 406
1.39	52.4	431 - 421
1.32	54.0	443 - 432
1.25	55.6	456 - 444
1.19	57.2	470 - 457
1.14	58.7	482 - 471
1.09	60.3	495 - 483
1.04	61.9	508 - 496
1.00	63.5	522 - 509
0.96	64.0	535 - 523
0.93	65.1	546 - 536
0.89	66.7	559 - 547
0.86	68.3	573 - 560
0.83	71.4	585 - 574

0.81	73.0	598 - 586
0.78	74.6	610 - 599
0.76	76.2	625 - 611

6. العينة جدول رقم (١٥) يوضح معاملات التصحيح حسب ارتفاع

7. الحسابات

1. يتم حساب كثافة العينات باستخدام الطريقة مدموكة كما تم ذكره سابقاً في القياسية لعينات خلطة أزلتية ، (ASTM D 2725 - AASHTO T- 166) الموصفة حساب معدل الكثافة لكل ثلاث عينات على نسبة الأزلت ويتم بيبين العلاقة بين نسبة الأزلت الواحدة ثم نرسم الشكل الذي محور (على محور السينات) والكثافة المقابلة لها (على محور (الصادات) .

2. يتم إجراء الحسابات الخاصة بالفراغات في ويتم عمل أشكال تبين العلاقة بين الركام والفراغات الهوائية ، (%) نسبة الأزلت (محور السينات) والفراغات الهوائية (محور (الصادات) في الركام المملوءة بالأزلت .

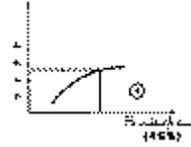
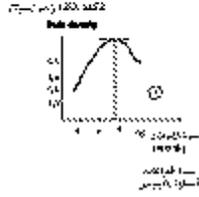
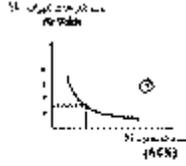
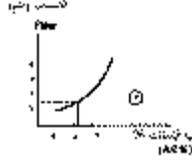
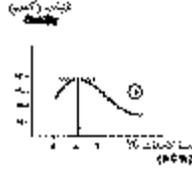
3. ترسم العلاقة بين نسبة الأزلت ومعدل القوة (عينات) ، ويرسم شكلاً يبين العلاقة ثبات مارشال (ثلاث عينات) . (بين نسبة الأزلت ومعدل الانسياب (ثلاثة عينات) .

4. يتم تحديد نسبة الأزلت التي تحقق أعلى كثافة وفراغات هوائية عند منتصف المواصفات (وأعلى ثبات (قوة تكون 3-5% . أي إذا كانت المواصفات للفراغات الهوائية النقطة التي يتم تحديد نسبة الأزلت عندها لشكل الفراغات الهوائية هي ٤ % .

ثم يوجد معدل هذه القراءات الثلاثة لنسب الأزلت ويدقق إذا معدلها (تحقق شروط الانسياب المطلوبة) كانت هذه النسبة الشروط فيعدل في الفراغات المعدنية المطلوبة . وإذا لم تحقق اختيار هذه النسبة بالزيادة أو النقصان حتى الوصول إلى النسبة (تحقق الشروط المطلوبة . انظر شكل رقم (١٧) التي

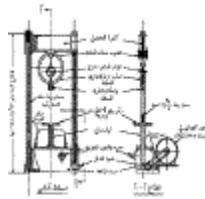
8. التقرير

كمعدل لثلاث عينات لكل يتضمن التقرير نوع العينة والقوى المصححة والانسياب التقرير درجة حرارة نسبة أزلت ، ويتم رسم العلاقات البيانية السابقة ، ويتضمن (الاختبار ونوع العينة (مختبر أو من الموقع



نسبة الأزفلت المثلى شكل رقم (١٧) تحديد

$$\text{نسبة الأزفلت المثلى} = \frac{1 + 2 + 3 + 4}{5} = 000\%$$



مارشال شكل رقم (١٨) جهاز

باستعمال جهاز مارشال اختبار مقاومة انسياب اللدونة للخلطات البيتومينية

المشروع	وصف العينة	رقم العينة
الموقع	تاريخ أخذ العينة	تاريخ الاختبار
المقاول	أخذ العينة	القائم بالاختبار

م	البيان	
1	نسبة الأزفلت من كامل الخلطة %	
2	رقم العينة	
3	الوزن الجاف في (الهواء) جرام	
4	الوزن في الماء () جرام	
5	وزن العينة مشبعة في الهواء جافة السطح () جرام	
6	(الحجم) سم ٣	
7	الكثافة الظاهرية للخلطة جم / سم ٣	
8	متوسط الكثافة الظاهرية للخلطة () جرام / سم ٣	
9	وزن العينة سائبة () جرام	
10	وزن الماء + (الدورق) جرام	
11	وزن العينة + (الدورق + الماء) جرام	
12	الكثافة القصوى للخلطة المرصوفة ((جرام / سم ٣))	
13	متوسط الكثافة القصوى (جرام / سم ٣)	
14	الفراغات الهوائية في الخلطة %	
15	الفراغات في الحصى %	
16	الفراغات المملوءة بالبيتومين %	
17	الوزن النوعي الفعال للحصى جرام / سم ٣	

18	نسبة الأزفلت الامتص بالحصى %	
19	نسبة الأزفلت الفعالة بالخلطة %	
20	(الثبات) كجم	
21	معامل التصحيح	
22	الثبات بعد (التصحيح) كجم	
23	متوسط الثبات بعد (٣٠ دقيقة) كجم	
24	الثبات بعد ٢٤ (ساعة) كجم	
25	متوسط الثبات بعد (٢٤ ساعة) كجم	
26	فاقد الثبات %	
27	(الانسياب) ملم	
28	متوسط الانسياب (ملم)	
29	الوزن النوعي (للأزفلت) جم / سم ^٣	
30	نسبة الحصى من كامل الخلطة %	
31	الوزن النوعي الكلي للحصى جم / سم ^٣	
32	إجمالي الخلطة السائبة من كامل الخلطة	

المقاول
مهندس المواد
إدارة المواد

مدير

٨ - الطريقة الحديثة لتصميم الخلطة الأزفلتية

Superpave asphalt mix Design procedures

تستخدم معظم هيئات الطرق طريقة مارشال لتصميم الخلطات الأزفلتية ، ومن أهم عوامل قوة طريقة مارشال توجيه العناية لكثافة المخلوط ونسب الفراغات داخل المخلوط الأزفلتي كما أن المعدات المطلوبة نسبياً غير باهظة الثمن وسهلة النقل . ويعتقد العديد من مهندسي الطرق أن الدمك بالصدم (Impact Compaction) المستخدم في طريقة مارشال لا يحاكي الدمك الذي يحدث للخلطة الأزفلتية في الطبيعة. وتعتمد الطريقة الحديثة لتصميم الخلطة الأزفلتية (Superpave) على الدمك المعلمي واختبارات الخواص

الميكانيكية للخلطة الأزفلتية لتوقع الأداء المستقبلي للخلطة التصميمية. ويأتي مصطلح (Superpave) من اختصار عبارة superior performing asphalt pavement . ولقد ابتكرت هذه الطريقة من خلال برنامج بحثي أمريكي يطلق عليه اسم شارب (SHRP) . كما ابتكر عدد من الاختبارات المعملية لتوقع الأداء . ومخرجات هذه الاختبارات (النتائج) تؤدي إلى عمل توقع لأداء الرصف في الطبيعة أو بعبارة أخرى نماذج (Models) .

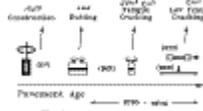
وتسمح خطوات التجارب وتوقع الأداء النهائي للمهندس بتقدير أداء الرصف بدلالة أحمال المحاور المكافئة (ESALs) أو الوقت اللازم للوصول إلى درجة تحدد معين (Rutting Level) أو شروخ كلال أو شروخ انكماش . هذا النظام الخاص بالخليط المتكامل والتحليل الإنشائي يتيح للمصمم تقويم ومقارنة التكاليف المرتبطة باستعمال مواد مختلفة وخططات مختلفة.

وفي هذه الطريقة تم ابتكار ألتن جديدتين للاختبارات هما :

الأولى تسمى tester superpave shear (SST) والثانية تسمى (Tester (ITT Indirect Tensile) ويجرى بهاتين الألتين مجموعة من الاختبارات التي تعطي مؤشراً مباشراً لسلوك الخلطة الأزفلتية أو تنتج مدخلات لنماذج توقع أداء الخلطة الأزفلتية مستقبلاً.



شكل رقم (١٩) يمثل مبدأ عمل الطريقة الحديثة لتصميم الخلطة الأزفلتية (Superpave)



شكل رقم (٢٠) يمثل تجارب الطريقة الحديثة لتصميم الخلطة الأزفلتية

RV] = Rotational Viscometer]
Rheometer DSR] = Dynamic Shear]
DTT] = Direct Tension Tester]
Rheometer BBR] = Bending Beam]

أولاً : الاختبارات التي تجرى على الأزفلت

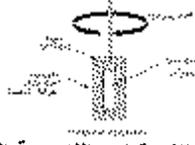
١-٨ مقياس اللزوجة الدوراني (Rotational Viscometer (RV

المواصفة الفنية: AASHTO PP-6

يستخدم هذا الاختبار لتقويم القابلية للتشغيل (Workability) للخلطات الأزفلتية الساخنة وتقاس القابلية للتشغيل للتأكد من أن الأزفلت سائل لدرجة كافية عند الضخ والخلط . وتقاس اللزوجة الدورانية بواسطة قياس العزم المطلوب للحصول على سرعة دورانية ثابتة للأسطوانة الدوارة ، ويستخدم في هذا للاختبار جهاز مزود بالوظائف والقدرات التالية :-

- ١ . وحدة معالجة حاسوبية مبنية داخل الجهاز لتخزين بيانات الفحص والتحليل .
- ٢ . برنامج مبني داخل الجهاز بالإضافة إلى شاشة لعرض البيانات .
- ٣ . نظام مراقبة وسيطرة على درجة حرارة العينة الأزفلتية .
كما أن هناك بعض المواصفات التي يجب توافرها مثل :-
- ١ . أن يكون مدى قياس اللزوجة بين ٣ إلى ٦٠٠ ملي باسكال في الثانية .
- ٢ . مدى السرعة بين (٠ - ٢٥٠ دورة في الدقيقة) وبزيادة مرحلية تساوي ١,٠ .
- ٣ . تكون الدقة حوالي ١٪ من مدى الاستخدام .
- ٤ . مدى منظم حرارة العينة يكون ٥٣٠٠م حسب درجة الحرارة المحيطة وبدقة ± ٠.٥ من نقطة البدء .
- ٥ . حجم غرفة العينة من ٨ - ١٣ مليلتر .
- ٦ . يجب أن تحتوي غرفة تنظيم الحرارة على :
أ - أدوات للصف .
ب - أدوات لاستخلاص العينة و أدوات لتبريدها .
ج - مثبت لغرفة العينة مع غطاء عازل للغرفة .

و - مسمار ووردة لربط عمود الدوران .
يجب أن يتوفر في هذه التجربة برنامج للحاسب الآلي يقوم بالسيطرة على جهاز
قياس اللزوجة الدوراني ومنظمات الحرارة وجمع وتخزين بيانات الاختبار مع عمل
للتحليل اللازم لها .



شكل رقم (٢١) مقياس اللزوجة الدوراني

٢-٨ ريومتر القص الحركي الديناميكي (Dynamic Shear Rheometer (DSR

المواصفات الفنية : (AASHTO TP5)

الأجهزة المستخدمة :

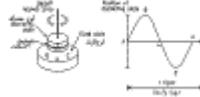
- ١ . جهاز القص الديناميكي .
- ٢ . غرفة لضبط بيئة الفحص .
- ٣ . حاسب آلي وبرنامج .

مقدمة

يستخدم جهاز القص الديناميكي لأغراض المواصفات وهو يقيس معامل التركيب وزاوية المرحلة للمواد
الأزفلتية الرابطة عند درجة حرارة متوسطة وعلياً لطبقات الأزفلت المستخدمة بشكل متكرر يصل إلى ١٠
راديان في الثانية الواحدة . وبالإضافة إلى قياس معامل التركيب وزاوية المرحلة عند تكرار واحد ، فإنه يمكن
استعمال جهاز القص الديناميكي لقياس تلكما الخاصيتين عند مدى مختلف من الترددات لتحديد تأثير الوقت على
المواد الأزفلتية الرابطة .

يجب أن يعمل جهاز القص الديناميكي حسب مواصفة (AASHTO TP5) ويمكن ضبطه وتشغيله باستخدام
حاسب آلي ، وأن يحتوي على مايلي :-

- ١ . أن يعمل بمدى ترددات من ١٠ - ٣ إلى ٢٠ هرتز . (أقصى حد ١٠٠ راد للثانية) مع فترات
تأخير خاصة يمكن اختيارها لكل تردد .
- ٢ . أن يكون مزوداً بمحلل إجهاد يصل إلى ٥٠ ميكرو راد .
- ٣ . يجب أن يقوم بفحص وتحليل متعاقب عند مدى لترددات تحدد باستخدام لوحة أبعادية ، ومقاييس
الإجهادات إلى حد ٢٪ من قيمة (G) التي تصل إلى ١ كيلو بسكال .
- ٤ . يجب أن تكون الألواح قابلة للنقل والتحرك وأن يتراوح قطرها من ٦ ملم إلى ٤٠ ملم حسب الحاجة .
ويجب تأمين مجموعتين ذات قطر ٨ ملم و ٢٥ ملم ، للوح القاعدة ولوح القمة على التوالي .



شكل رقم (٢٢) جهاز القص الديناميكي

غرفة ضبط بيئة الفحص .

- ١ . يجب أن تغلف غرفة ضبط البيئة بكامل عينة الفحص تماماً . كما يجب أن يكون بها نظام ضبط
حرارة خاص بها ، وأن يتم ضبط درجة الحرارة بفروق (١٠ درجة مئوية) ، وأن لا يزيد فرق
الحرارة من خلال العينة عن درجة مئوية واحدة .
- ٢ . يجب أن تزود الغرفة بوحدة ضبط للحرارة من ٥ إلى ١٠٠ درجة مئوية .
- ٣ . ويجب أن تزود ببطاقة ضابط للحرارة مبرمجة ، لتثبيت الحرارة ، والتغيير المرحلي ، والتغيير
المتدرج في جميع أنماط التشغيل .

الحاسب الآلي .

يجب أن يكون الحاسب الآلي مزوداً ببرنامج تشغيل مصمماً حسب طريقة (AASHTO TP 5) ، وأن
يكون قادراً على برمجة جهاز القص الديناميكي لأداء فحص المسح الترددي (راديان في الثانية) ، ومن ١ إلى
١٠٠ راديان في الثانية ، وأداء فحص مسح الإجهاد من صفر (٠) إلى ٢٠٠٪ ، وأداء فحص مسح درجة الحرارة

والتغير المرئلي على مدى كامل من الدرجات الحرارية ، وأن يكون قادراً على تكوين جداول ورسومات بيانية خاصة بالخصائص الانسيابية .
هناك تجارب أخرى للأزفلت تجرى في البلدان التي تتخفف فيها درجات الحرارة بدرجة كبيرة ، وهذه الاختبارات لا تجرى في المملكة لأن درجات الحرارة لا تتخفف فيها بدرجة كبيرة وإن انخفضت فيكون ذلك لفترات قصيرة لا تؤثر على سلوك الأزفلت في الرصف ، ومن هذه الاختبارات :

١ . ريوميتزر الكمرة المنحنية (Bending Beam Rheometer)

٢ . اختبار الشد المباشر (Direct Tension Test)

ثانياً : الاختبارات التي تجرى على الخلطات الأزفلتية :

٨ - ٣ آلة اختبار القص (Superpave Shear Tester (SST

هذه الآلة عبارة عن دائرة مغلقة رجوعية مع نظام هيدروليكي - سرفوا وتتكون من أربعة أجزاء رئيسية هي وحدة التحكم في الاختبار ، والجزء الخاص بجمع المعلومات ، وآلة الاختبار ، وغرفة التحكم البيئية للاختبار ، والنظام الهيدروليكي .

ويجرى بواسطة هذه الآلة ، ستة اختبارات هي:

١ . الاختبار الحجمي Volumetric test

٢ . اختبار الانفعال وحيد المحور Uniaxial strain test

٣ . اختبار القص المتكرر عند نسبة ضغط ثابتة

Stress Ratio Repeatel Shear Test At Constant

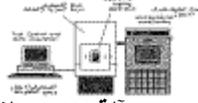
٤ . اختبار القص البسيط عند ارتفاع ثابت Simple shear test at constant height

٥ . اختبار التحميل التكراري عند ارتفاع ثابت

height Frequency Sweep test at constant

٦ . اختبار القص المتكرر عند ارتفاع ثابت heigh Repeated shear test at constant

(وهو غير مطلوب في ال Superpave)



شكل رقم (٢٣) آلة اختبار القص

٨ - ٣ - ١ الاختبار الحجمي Volumetric test

تستخدم نتائج هذا الاختبار لتحليل التشكلات المستديمة وشروخ الكلال . ويتم الاختبار في درجات الحرارة التالية:

الضغط (كيلوباسكال)	درجة الحرارة (5 م)
830	4
690	20
550	40

٨ - ٣ - ٢ اختبار الانفعال وحيد المحور Uniaxial Strain test

يستخدم هذا الاختبار لتحليل التشكلات المستديمة وشروخ الكلال أيضا مثل الاختبار الحجمي ، وفي هذا الاختبار يتم تطبيق الضغوط المحورية على العينة بينما تحاول العينة زيادة محيطها ، وتستخدم ثلاث مستويات من الضغوط تعتمد على درجات الحرارة ، وتقاس التشكلات المحورية في كلا الجانبين كما يتم قياس الأحمال الرأسية أيضاً.

الضغط المحوري (كيلوباسكال)	درجة الحرارة (5 م)
655	4
550	20

٨ - ٣ - ٣ اختبار القص المتكرر عند نسبة ضغط ثابتة Constant Repeated Shear Test at Stress Ratio

يتم إجراء هذا الاختبار لكل من التحليل الكامل أو الجزئي لتحديد مدى مقاومة الخليط الأزفلتي لحدوث تخرق ثلاثي Tertiary Rutting ، وذلك النوع من التخرق يحدث عند محتوى هوائي قليل مع عدم اتزان الخليط الأزفلتي الكلي . وتعتبر درجة الحرارة المستخدمة في الاختبار عبارة عن درجة حرارة تحكم في التشكل المستديم ، ويتم حسابها على أساس حالة المرور المتوقعة والظروف الجوية للمشروع.

٨ - ٣ - ٤ اختبار القص البسيط عند ارتفاع ثابت height Simple Shear test at constant

يستخدم هذا الاختبار للتحليل المتوسط (Intermediate) والكامل للتشكل المستديم وشروخ الكلال ، ويتم التحكم في إجهادات القص التي تطبق على عينة الاختبار وتسبب زيادة في طول العينة. ويتم إجراء هذا الاختبار عند ضغوط ودرجات حرارة مختلفة في كل من التحليل المتوسط والكامل.

نوع التحليل	درجة الحرارة (5 م)	إجهاد القص (كيلوباسكال)
كامل	4	345
	20	105
	40	35
متوسط	Teff (PD)	35
	Toff (FC)	105

٨ - ٣ - ٥ اختبار التحميل التكراري عند ارتفاع ثابت constant Frequency sweep test at height

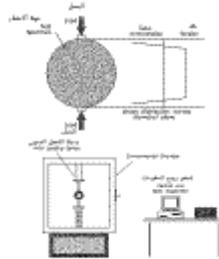
يستخدم هذا الاختبار للتحليل المتوسط والكامل للتشكل المستديم وشروخ الكلال ويتم تطبيق تحميل متكرر على العينة للحصول على أقصى انفعال بمقدار ٠,٠٠٥ ٪ . ويتم إجراء حوالي مائة دورة للاختبار عند ترددات مختلفة. كما يتم إجراء الاختبار عند درجات حرارة مختلفة ٤ ، ٢٠ ، ٤٠ درجة مئوية في حالة التحميل الكلي ودرجة حرارة Teff و Toff في حالة التحميل المتوسط . وخلال إجراء الاختبار يقاس الحمل المحوري والقصي والتشكلات ويتم تسجيلها.

٨ - ٣ - ٦ اختبار القص المتكرر عند ارتفاع ثابت constant Repeated shear test at height

وهذا الاختبار غير مطلوب للطريقة الحديثة لتصميم الخلطة الأزفلتية (SUPER PAVE)

٨ - ٤ اختبار الشد غير المباشر Indirect Tensile test

يقيس هذا الاختبار تأثير الزحف (creep) ومقاومة خليط الأزفلت باستخدام تقنية تحميل العينة بأحمال شد عند درجات الحرارة المتوسطة والمنخفضة (> ٢٠ درجة مئوية) ويشمل اختبار الشد تطبيق حمل ضغط عبر قطر العينة الأسطوانية .



٩- الفحوصات التي تجرى على البلاط

من أهم الفحوصات التي تجرى على البلاط بأنواعه كالأسمنتي والصيني والسيراميك والتيرازو ما يلي:

١. الفحص بالنظر للبلاط – الفحص البصري .
قبل إجراء أية فحوصات على البلاط يجب التأكد من أن جوانبه وزواياه حادة و متعامدة مع الأسطح ، والتأكد من أن الحواف سليمة وخالية من الشطف والكسر ، والأسطح مستوية وخالية من الانفتال والعيوب مثل التتميل والتفوس والتشقق والتغير والتنوعات ، وأن يكون اللون متجانساً بحيث لا يظهر أي عيب ملحوظ خاصة عندما يسقط الضوء على سطح بلاط السيراميك والبلاط الصيني من على بعد متر ويراعى في بلاط التيرازو انتظام توزيع الحبات .
 ٢. فحص الترتيب
يجرى هذا الفحص على كافة أنواع البلاط باستعمال زاوية حديدية ويتم فحص جميع الزوايا ، وفي حالة عدم تطابق ضلعين متجاورين من أضلاع البلاطة مع الزاوية المعدنية يقاس أقصى بعد " فراغ" بين ضلع البلاطة وضلع الزاوية المعدنية المتاخم ، ويقسم على طول ضلع البلاطة ، ويجب ألا يزيد عن ٠,٥ ٪ (ظل الزاوية) .
 ٣. استقامة الحواف
تقاس استقامة حواف البلاطة بوضع مسطرة معدنية على طول كل حافة من حواف البلاطة ، ويحدد مقدار التقعر والتحدب بحيث لا يزيد أقصى عمق للتحدب أو التقعر عن $\pm ٠,٣$ ٪ من طول الحافة .
 ٤. طول حواف وجه البلاط .
يجرى هذا الفحص على كافة أنواع البلاط ، وتقاس أطوال الحواف من جهة الوجه باستعمال أداة قياس دقيقة ، وتقدر الزيادة أو النقص في طول الحافة كنسبة مئوية من الطول الاسمي ويعتمد التفاوت المسموح تبعاً لنوع البلاط وأبعاده .
- أ - بلاط السيراميك : يقاس لأقرب ٠,١ ملم وتقاس الأضلاع الأربعة ويؤخذ معدلها ، ويجب ألا يتعدى التفاوت بالمعدل عن $\pm ١,٥$ ملم للأطوال ١٠٠ ملم وعن ± ٣ ملم للأطوال ٢٠٠ ملم .
- ب - البلاط الصيني لا يزيد التفاوت في متوسط طول حواف الوجه عن ± ١ ٪ .
- ج - بلاط التيرازو والبلاط الأسمنتي لا يتجاوز التفاوت في متوسط طول أضلاع البلاط عن ١ ملم .
- د - سمك البلاط : يتم قياس البلاط من عدة مناطق لأقرب ٠,١ ملم بواسطة الورنية ويؤخذ معدل السمك مع استبعاد سمك المناطق النافرة بظهر البلاطة ، ويجب ألا يزيد التفاوت في السمك الكلي لبلاط التيرازو والأسمنتي عن ٣ ملم ، أما سمك وجه البلاط الأسمنتي والتيرازو فيجب ألا يقل عن ٧ ملم .

١٠-٩ الطريقة القياسية لفحص امتصاص السيراميك والبلاط الصيني للماء.

المجال :

تحدد هذه الطريقة نسبة الامتصاص في البلاط الصيني والسيراميك .

الجهاز :

- فرن تجفيف قادر على إعطاء درجة حرارة 110 ± ٥ م° .
- حوض لغمر العينات وعلوها مع دعامات في قعر الحوض قطرها ١ ملم .
- ميزان دقيق .

العينات :

- يتم اختبار (٥) بلاطات عشوائياً من الكمية المراد فحصها ، فإذا زادت نسبة الامتصاص في أي من بلاط السيراميك المزجج عن ٣-٤ ٪ يعاد الفحص على (٥) بلاطات أخرى ، وإذا زاد الامتصاص مرة أخرى عن المذكور تعتبر الكمية غير مطابقة للمواصفات .
 - في البلاط الصيني يجب ألا يزيد الامتصاص عن ٥ ٪ في النوع الخاص وعن ١٧ ٪ في النوع العام .
- طريقة الفحص :

- أ - تجفف البلاطات في فرن على درجة حرارة 110 ± ٥ م° حتى يثبت وزنها ، وثبات الوزن يعني أن الفرق في الوزن بين وزنين متتاليين لا يزيد عن ٠,١ ٪ .
- ب- يتم تبريد العينات في وعاء محكم الإغلاق ثم توزن لأقرب ٠,١ جم .
- ج - تغمر البلاطات في حوض ماء يغلي ، وتكون مرتكزة على دعامات لا يزيد قطرها عن ١ ملم ويستمر الغلي في درجة حرارة 100 ± ٢ م° لمدة 120 ± ٥ دقائق .

د - تترك العينة لتبرد مع بقائها مغمورة بالماء إلى درجة حرارة 20 ± 2 م .
هـ- في البلاط الصيني تغلى العينة مدة ٤ ساعات وتبرد بنفس الطريقة ، ويتم إخراج البلاط عن الحوض وتمسح بقطعة قماش ثم توزن .

الحسابات :

أ -

$$\text{نسبة الامتصاص} = \frac{\text{وزن البلاط بعد الغمر بالماء} - \text{وزنها جافة}}{\text{وزنها جافة}} \times 100 \%$$

ب- يؤخذ معدل النتائج ويقارن بالنسب المطلوبة .

فحص نسبة الامتصاص الكلي لكامل البلاطة :

بعد انتهاء الفحص السابق يتم تحفيف البلاطات حتى ثبات الوزن كما ذكر سابقاً ، وتبرد لمدة ٢٤ ساعة في درجة حرارة الغرفة ثم تغمر في الماء في درجة حرارة 20 ± 2 م ، ويراعى أن تكون البلاطات متوازية مع سطح الماء ، ويكون ارتفاع الماء فوق البلاطة من ٢٥ - ٥٠ ملم ، ويستمر الغمر لمدة $24 \pm 1/2$ ساعة ، وتخرج البلاطات من الماء وتمسح بالقماش ثم توزن .

الحسابات :

$$\text{النسبة المئوية الامتصاص} = \text{وزن البلاطة الرطب} - \text{وزن البلاطة الجاف} \times 100 \%$$

وزن البلاطة الجاف

تتص المواصفات البريطانية على ألا يزيد الامتصاص للوجه لأي بلاطة عن ٠,٤ جم / سم^٢ ، وألا يزيد الامتصاص الكلي للبلاطة عن ٨٪ ، وإذا فشلت بلاطتان أو أكثر يتم رفض البلاط ، وإذا فشلت بلاطة واحدة تؤخذ عينات إضافية . عند فحص بلاط أسمنتي تجرى عليه نفس طريقة الفحص الكامل للبلاطة .

التقرير

يشمل التقرير تاريخ الفحص ورقم العينات وعمر البلاطات ووزن الماء الممتص (جم/سم^٢) من الوجه ونسبة الامتصاص الكلية .

٢-٩ الطريقة القياسية لفحص قوة كسر البلاط .

العينات :

يتم فحص (٣) بلاطات لكل مجموعة مؤلفة من (١٠٠) بلاطة وتفحص بلاطتان إضافيتان لكل (٢٠٠) بلاطة إضافية ، وقبل فحص البلاطة للكسر يجب التأكد من خلو البلاطة من الشقوق والعيوب ، ويتم فحص البلاط بالكسر بعد إتمام فحص الامتصاص .

طريقة الفحص :

- توضع البلاطة على الدعامات بشكل يكون الجزء الممتد خارج الدعامات بمقدار ١/٦ طول البلاطة ، وتكون المسافة بين الدعامتين ٢/٣ طول البلاطة ، ويكون وجه البلاطة للأعلى ويبدأ التحميل باستمرار حتى تنكسر العينة ويسجل حمل الكسر .

٣

$$\text{قوة الثني (ننيوتن / ملم)} = \frac{\text{حمل الكسر} \times \text{المسافة بين الركيزتين (ملم)}}{2 \times \text{عرض البلاطة} \times \text{مربع سمك البلاطة}}$$

التقرير :

يجب أن يتضمن التقرير رقم العينة ، وتاريخ الفحص ، وعمر العينة ، وحمل الكسر ، وجر العينة ، وسمكها ، وعرضها ، وطولها وقوة مقاومة الثني .

٣- ٩ الطريقة القياسية لتحديد الافتتال في البلاط

المجال :

الانفتال هو عدم مطابقة الزاوية الرابعة للمستوى المار من الثلاث زوايا الأخرى ويقاس بأجزاء المليمتر .

الجهاز :

- أ – جهاز قياس الانفتال كما هو موضح بالشكل رقم (٢٤) مثبت عليه ٣ أقراص قياس "guage" ، ويستعمل قرص قياس واحد لقياس الانفتال وهو الواقع على إحدى الزوايا في حين أن الزوايا الثلاث الأخرى تحدد بالمسامير ، أما القرص الذي في الوسط فيستعمل لتحديد التقعر المركزي ، ويستعمل القرص الثالث لقياس التقعر على الطرف .
- ب- لوحة معايرة مستوية من الزجاج أو المعدن .

معايرة الجهاز :

تثبت لوحة معايرة في الجهاز على رأس المسامير الثلاثة المرتكزة على لوحة معدنية سمكها ١٠ ملم ، وتكون المسامير الثلاثة ثابتة لترتكز عليها ثلاثة زوايا للبلاطة في حين ترتكز الزاوية الرابعة للبلاطة على عمود اختراق مثبت عليه قرص القياس ، هذا العمود يمر من ثقب اللوحة وتوضع لوحة المعايرة على المسامير والعمود بحيث تبعد أحرف اللوحة مسافة ١٠ ملم عنها ، يثبت قرص القياس على صفر عندما يكون عمود الاختراق ملامساً للوجه

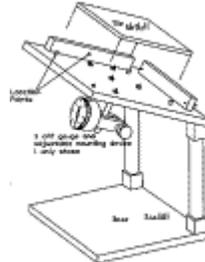
طريقة الفحص :

- أ – تسحب لوحة المعايرة ، وتوضع البلاطة المراد فحصها على وجهها لترتكز على المسامير ، نجعل عمود الاختراق يلامس البلاطة دون أن يرفعها عن أي من المسامير الثلاثة . ثم تسجل قراءة القرص ، وتكرر العملية مع البلاطات الباقية ويتم تسجل قراءات القرص لكل بلاطة بوحدات ٠,٠١ ملم ويقسم على طول البلاطة .
- ب- يجب ألا يزيد الانفتال عن ٠,٥٪ من طول البلاطة شريطة ألا يزيد هذا الانفتال عن ١ ملم مهما بلغ طول البلاطة .

٤-٩ الطريقة القياسية لتحديد التقعر أو التحذب في البلاط الصيني والسيراميك

المجال :

- أ – يستعمل لتحديد التقعر أو التحذب طريقتان ، الأولى باستعمال الجهاز المستعمل في قياس الانفتال ، والثانية باستعمال مسطرة معدنية .
- ب- يعرف التحذب بأنه ابتعاد مركز العينة أو مركز أحد حوافها من المستوى المار بثلاث زوايا من زوايا البلاطة الأربعة .



شكل رقم (٢٤) جهاز فحص الانفتال والتقعر في البلاط

الجهاز :

يستعمل نفس الجهاز لقياس الانفتال مع استعمال قرص القياس الواقع في مركز العينة والقرص الواقع في منتصف حافة العينة فقط .

معايرة الجهاز :

يتم اتباع نفس طريقة المعايرة المستعملة للانفتال مع تثبيت قرص القياس في مركز العينة والقرص في مركز حافة العينة على الصفر عند وضع لوحة المعايرة ، ولا يستعمل القرص الثالث الذي استعمل في قياس الانفتال .

طريقة الفحص باستعمال الجهاز :

بعد سحب لوحة المعايرة توضع البلاطة ووجهها للأسفل وترتكز على المسامير الثلاثة ، يسمح لأعمدة الاختراق للأقراص بلامسة البلاطة في النقاط المناسبة دون أن ترفع البلاطة عن المسامير ، يكرر العمل مع البلاطات الباقية

الحسابات :

- أ - تسجل قراءات الأقراص الموجبة أو السالبة (تقعر أو تحدب) .
ب- يجب ألا يزيد التقعر أو التحدب عن ٠,٧٥ ملم .

القياس باستعمال المسطرة المعدنية :

إذا لم يتوفر الجهاز يمكن استعمال مسطرة معدنية حيث توضع المسطرة على حرفها باتجاه أطول قطر للبلاطة وبقياس أكبر عمق للتقعر بواسطة أداة قياس دقيقة ، وإذا كان السطح محدباً توضع المسطرة على حرفها ملامسة أعلى قمة للتحدب ويقاس ارتفاع المسطرة عن السطح من كلا الجانبين ويؤخذ متوسط القراءتين ، وتكرر العملية مع القطر الآخر ويؤخذ المتوسط ثم يحسب متوسط النتيجتين وتحسب النسبة بين متوسط القراءات الأكبر عمق تحدب أو تقعر وبين أطول قطر للبلاطة ، وتكون هي مقدار عدم الاستواء في السطح حيث يجب ألا تزيد عن ٠,٤٪.

١٠- الفحوصات التي تجرى على الطوب الأسمنتي والترابي والجيري الرملي

المجال :

- أ - يشبه الطوب إلى حد كبير مكعبات الخرسانة من حيث الفحص بالضغط ومن أهم الخواص التي تهتمنا في الطوب هي قوة الضغط بالإضافة إلى امتصاص الماء واستقامة الحواف واستواء الأسطح وتعامدها مع بعضها واستقامة الحرف والدقة في أبعاد الطوب وخلوه من الشقوق والعيوب والتجانس في اللون والمقطع ، وتوفر الحرق التام والخلو من التزهر والعقد الجيرية في الطوب الترابي .
ب- إن طرق إجراء فحص الضغط على الطوب هي نفس طريقة إجراء فحص الضغط على مكعبات الخرسانة ، كما أن نسبة امتصاص الماء في الطوب هي نفس الطريقة المتبعة في الحجر الطبيعي ، ويؤخذ لكل فحص (٥) طوبات وتعطى النتائج كمتعدل لها .

أبعاد الطوب

أ - الطوب الأسمنتي

يكون الطوب الأسمنتي إما مفرغاً أو مصمتاً ويكون طول الطوبية وارتفاعها ثابتاً ، أما سمك الطوب فيكون متغيراً وتقاس أبعاد الطوبية من عدة جوانب ويؤخذ المعدل ، ويجب ألا يزيد التفاوت في الأبعاد عن ± 6 ملم باستثناء عندما يكون السمك ٧٠ ملم فيجب ألا يزيد التفاوت فيه عن ± 3 ملم ، ويبين الجدول التالي أبعاد الطوب الأسمنتي والتفاوت ونسبة الفراغات :

الأبعاد بالملم	النوع	التفاوت المسموح	نسبة الفراغات
$400 \times 200 \times 200$ ملم	ذو الخلايا	± 6 ملم	51 %
$400 \times 200 \times 150$ ملم	ذو الخلايا	± 6 ملم	43 %
$400 \times 200 \times 100$ ملم	ذو الخلايا	± 6 ملم	37 %
$400 \times 200 \times 70$ ملم	ذو الخلايا	± 3 ملم	31 %
$400 \times 200 \times 70$ ملم	مصمت	± 3 ملم	صفر

جدول رقم (١٦) أبعاد الطوب الأسمنتي ونسب الفراغات به

ب - الطوب الرملي الجيري والترابي

يكون طول الطوبية ٢٩٠ ملم أما ارتفاعها فهو ٩٠ أو ١٩٠ ملم كما يكون سمكها إما ١٩٠ أو ٩٠ ملم ، وتقاس الأبعاد من كل الجهات ويؤخذ المعدل ، ويجب ألا يزيد التفاوت عن ± 3 ملم في الطول و $\pm 1,5$ إلى ٢ ملم في العرض و ± 1 إلى ١,٥ ملم في الارتفاع .

فحص امتصاص الماء :

تغمر الطوية في الماء لمدة ٢٤ ساعة على درجة حرارة 20 ± 3 م° ، ثم تخرج من الماء وتمسح بالقماش وتوزن ، ثم تجفف بعد ذلك في فرن تجفيف على درجة حرارة 110 ± 5 م° حتى ثبات الوزن ويحدد الوزن الجاف .

$$\text{نسبة الامتصاص} = \frac{\text{الوزن بعد الغمر ٢٤ ساعة} - \text{الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}} \times 100 \%$$

فحص مقاومة الكسر :

تكسر العينات بالضغط على الجانب الذي يكون عليه الثقل في المنشآت ، ويتم قياس مساحة السطح بدقة ، ثم توضع العينة في مركز جهاز آلة الضغط ويوضع الحمل ويستمر التحميل حتى تنكسر العينة ، ثم يقسم الحمل الذي انكسرت عليه العينة على مساحة سطحها .