

## معالجة الحصىات البيتونية المعاد تدويرها (RCA) بمحلول بوليمير السيلوكسان وتأثيره على خصائصها الفيزيائية والميكانيكية

\* أ.د. ماجد أسعد

\*\* د. رباب جوني

\*\*\* مجد محمود

(تاريخ الإيداع 2020/ 12/ 22. قَبْلَ للنشر في 2021/ 4/ 12)

### □ ملخص □

يعتبر محلول بوليمير السيلوكسان من البوليميرات المعدنية وهو مركب كيميائي له الصيغة:  $(R_2SiO)_x$  وقد تم استخدامه في هذا البحث بهدف تحسين الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للحصىات البيتونية الخشنة المعاد تدويرها (RCCA) Recycled Concrete Coarse Aggregates عن طريق غمر هذه الحصىات بتركيز وأزمنة غمر مختلفة.

تم في هذا البحث تحضير حصىات (RCCA) من بقايا مكعبات مخبرية محضرة من خرسانة عيار  $300-400 \text{ kg/m}^3$  (من منطقة (السليمة في دمشق)، وطحنهم باستخدام كسارة ثابتة كبيرة تعتمد آلية عملها على العفاس لاستخدام الحصىات البيتونية الناتجة في مجال الخلطات الإسفلتية الساخنة للطرق Hot Mix Asphalt (HMA) في طبقة الاهتراء الاسفلتي.

وقد أجريت الاختبارات التالية عليها: (التدرج الحبي، المكافئ الرملي، حدود أتبرغ، لوس أنجلوس، الأوزان النوعية ونسبة التشرب).

ثم تمت معالجة حصىات (RCCA) بالغمر باستخدام محلول بوليمير السيلوكسان بتركيز (10،20،30)% و أزمنة غمر (5،15،30،45،د، 1،2،سا، 1،1 يوم).

فقد تبين أن الغمر لمدة 45 دقيقة، وبتركيز 30% قد خفّض نسبة التشرب من 5.49% إلى 3.06% أي بنسبة 44.26%.

أما قيمة معامل لوس أنجلوس فقد تم تحسينها من 30.41% إلى 24.03% أي بنسبة 21%، أما الأوزان النوعية لم تتأثر بهذه المعالجة.

**كلمات مفتاحية:** نفايات البناء والهدم، حصىات بيتونية معاد تدويرها (RCA)، محلول السيلوكسان، بوليميرات.

\* أستاذ- قسم هندسة النقل ومواد البناء- كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق- دمشق- سورية

\*\* مدرس - قسم هندسة النقل ومواد البناء- كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق- دمشق- سورية

\*\*\* طالب دراسات عليا -دكتوراه- قسم هندسة النقل ومواد البناء- كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق- دمشق- سورية

## Treatment Of RCA By Using Siloxane Solution And Its Effect On Its Physical And Mechanical Characteristics

Dr. Majed Asaad <sup>\*</sup>  
Dr. Rabab Jouni <sup>\*\*</sup>  
Majd Mahmoud <sup>\*\*\*</sup>

(Received 22/ 12/2020. Accepted 12/ 4 /2021)

### □ ABSTRACT □

Siloxane solution is a mineral polymer and is a chemical compound of the formula:  $(R_2SiO)_x$ . It was used in this research to improve the mechanical and physical properties of (RCCA) by immersing these grains with different concentrations and immersion times.

The aggregates in this research, were prepared by crushing the remains of the laboratory cubes of concrete (300-400) kg / m<sup>3</sup>, from (Al-Salima area in Damascus), with a large fixed crusher whose mechanism relies on Afass, for using them in the field of hot asphalt mixtures for roads in a wear layer Asphalt.

The tests which carried out are: (aggregate analysis, sand equivalent, Atterberg Limits, Los Angeles, specific gravity, and water absorption).

Then, the (RCCA) aggregates were treated by immersion it in Siloxane solution at concentrations (10,20,30) % and immersion times (5min, 15min, 30 min, 45 min, 1 hour, 2 hours, 1 day).

It have been found that the 45-minute immersion with a concentration of 30% reduced the water absorption ratio from 5.49% to 3.06% by average of 44.26%.

Also the value of Los Angeles coefficient, it was improved from 30.41 to 21 by average of 24.03%, while specific gravity were not affected by this treatment.

**Keywords:** Construction And Demolition Waste, Recycled Concrete Aggregates (RCA), Siloxane Solution, Polymers

---

\* professor, Department of transportation engineering - Faculty of civil engineering, Damascus university- Damascus - Syria.

\*\* Assistant Prof. Department of transportation engineering - Faculty of civil engineering - Damascus university- Damascus - Syria.

\*\*\* postgraduate student -PHD - Department of transportation engineering. Faculty of civil engineering, Damascus university-Damascus - Syria.

## مقدمة

تقوم عملية تدوير النفايات بتحويل النفايات من مشكلة ذات آثار سلبية من وجهة النظر البيئية والاقتصادية الى مصدر للمواد الأولية، وتعتبر عملية تدوير النفايات من أهم متطلبات التنمية المستدامة. تشكل نفايات البناء والهدم (C&D W) Construction & Demolition Waste القسم الأكبر من النفايات الصلبة (SW) Solid Waste، في الولايات المتحدة الأمريكية 38 ولاية تستخدم الحصى المعاد تدويرها في طبقة ما تحت الأساس للطرق و 11 ولاية تعيد تدويرها لبيتون جديد [1]. كما بينت نتائج أبحاث حقلية ومخبرية أجريت في عدد من الدول بأن الحصى البيتونية المعاد تدويرها RCA أفضل من الحصى الجديدة NA لتنفيذ طبقتي الأساس وما تحت الأساس الحصى للطرق لأدائها الأفضل في هاتين الطبقتين بالمقارنة مع NA من جهة أولى، وتحسن هذا الأداء مع الزمن من جهة ثانية [2]. إن الحصى البيتونية الخشنة (البحص) يجب معالجتها قبل استخدامها في الخلطات الإسفلتية الساخنة لتحسين مواصفاتها وهنا في هذا البحث سوف تتم معالجتها بطريقة الغمر بمحلول بوليمير السيلوكسان ودراسة تأثيره على خصائصها.

## أهمية البحث وأهدافه

دراسة إمكانية تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للحصى البيتونية الخشنة المعاد تدويرها (RCCA)، وتحديد نسبة امتصاص الماء (التشرب)، ومقاومة الاهتراء (لوس أنجلوس)، بالغمر بمحلول بوليمير السيلوكسان وذلك لاستخدامها في طبقة الاهتراء للطرق الإسفلتية.

## مشكلة البحث

تحتوي حصىات (RCA) على الملاط الإسمنتي (سواء على شكل حبيبات مستقلة أو على شكل قشرة ملتصقة بالحصىات الأم) وهو ذو مسامية عالية واهتراء كبير الأمر الذي يعكس تأثيره السلبي على خصائص الخلطات الإسفلتية الحاوية عليه.

## الدراسة النظرية

### ■ بنية حصىات (RCA)

تعرف الحصىات البيتونية المعاد تدويرها (RCA) بأنها حصىات ناتجة عن تدوير نفايات البناء والهدم الخرسانية بشكل رئيسي ويسمح بوجود نسب محددة من باقي مكونات نفايات البناء والهدم الأخرى. تتألف نفايات البناء والهدم من عدة مكونات ذات نوعيات مختلفة، وتختلف كميات نفايات البناء والهدم والنسب الوزنية لمكوناتها باختلاف مصادرها واختلاف أنظمة البناء المتبعة ومواد البناء المتوفرة في البلاد.

تتألف نفايات البناء والهدم من عدد كبير من المكونات، وقد تم تصنيفها الى أربع عشرة زمرة، و احدى هذه الزمر هي زمرة نفايات البناء والهدم الخرسانية، التي تتألف من مواد البيتون الاسمنتي، مثل جدران البلوك والأساسات، الأسقف، البلاطات البيتونية، الأرضيات، مواد التغطية و الإكساء.

الأمر الذي أدى الى تفاوت قيم خصائص حصىات (RCA) الفيزيائية والميكانيكية، وهي حصىات غير متجانسة من حيث مكوناتها وبسبب طبيعة البنية التركيبية لحبيباتها. [3]

يبين الفحص البصري للحصىات البيتونية المعاد تدويرها (RCA) المستخدمة في هذا البحث، بأنها حادة الزوايا، وذات سطوح خشنة ومتعددة، وتتألف من حبيبات ذات بنى مختلفة، ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من الحبيبات، حسب بنيتها وهي موضحة بالشكل رقم (1):

1- حبيبات أساسية، وهي عبارة عن حبيبات الحصىات NA، المستخدمة في المكعبات البيتونية، التي تم تدوير ركامها.

2- حبيبات على شكل كتل من الملاط الاسمنتي المتصلب (حبيبات من الرمل متلاصقة بفعل الرابط الاسمنتي).

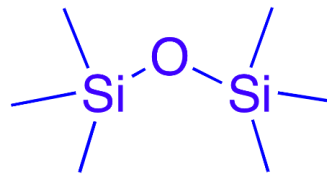
3- حبيبات مختلطة: عبارة عن حبيبات من الحصىات يجتمع فيها النوعين السابقين (حبيبات من الحصىات الأساسية ملتصق بها كتلة من الملاط الاسمنتي).



الشكل (1) البنية التركيبية لحصىات RCA

## تعريف بوليمير سيلوكسان Siloxane

هو مركب ترتبط فيها ذرات السيليكون (Si) عبر ذرات الأكسجين (O)، كل ذرة من السيليكون تحتوي على مجموعة أو عدة مجموعات عضوية. وفقاً للقواعد الرئيسية لتصنيف المواد الكيميائية (IUPAC).



ويعتبر مركب كاره للماء وذو موصلية حرارية منخفضة، ويتمتع بمرونة عالية. مجال التطبيق الرئيسي هو عزل الأبنية للمياه، ويستخدم في مستحضرات التجميل ومواد النظافة، الدهانات. [4]

## الدراسات المرجعية

قام Dr. Dimitrios Goulias وزملائه عام 2016 بتقديم تقرير لتوصيف حصويات RCA ودراسة خصائصها واستخدامها في الخلطات الإسفلتية حيث تبين أن امتصاص الماء من RCA أعلى مرتين من الركام الخشن الطبيعي، وثلاث مرات أعلى من الحجر الجيري و معامل لوس أنجلوس لـ RCA أعلى بنسبة 27 - 41 % من الحجر الجيري ويعزى هذا التغير إلى المصادر المختلفة للمواد.

عند استخدام RCA في الخلطات الإسفلتية الساخنة HMA، يكون محتوى الإسفلت الأمثل (OAC) أعلى من ذلك في الخلطات الإسفلتية التقليدية إلى جانب كمية أعلى من فراغات الهواء. إن وجود RCA يقلل من الفراغات المملوءة بالرابط الاسفلتي (VFB)، ويبلغ محتوى الإسفلت الأمثل في الخلائط الإسفلتية التي تحتوي على RCA واستبدال كل من الركام الخشن والركام الناعم حوالي 7 %، أما استبدال RCA لجميع الركام الخشن حوالي 6.5 % في المتوسط، و حوالي 5.6 % في المتوسط عند استخدام RCA محل الركام الناعم. [5]

أجريت دراسة عام 2012 قام بها Rami M Alfaqawi للبحث في إمكانية استخدام الحصويات البيتونية المعاد تدويرها في إنتاج الخلائط الإسفلتية الساخنة المحضرة وفق طريقة مارشال.

أشارت الدراسة الى انخفاض الوزن النوعي لـ RCA وارتفاع نسبة امتصاص الماء مقارنة مع الحصويات الطبيعية، وتزداد نسبة البيتومين المثالية OBC مع زيادة نسبة RCA مقارنة مع الخلطات التقليدية، كما تزداد الفراغات الهوائية VA والفراغات بين الحصويات VMA وتناقص الفراغات المملوءة بالبيتومين، وتناقص الثبات مع تزايد نسبة RCA وحققَت الخلطة 30% RCA ارتفاع بمقاومة الإجهادات الشاده بنسبة 25% بالإضافة إلى تحسن مقاومة التعب مقارنة مع الخلائط التقليدية. [6]

أجريت دراسة عام 2017 قامت بها د.سحر هادي بعنوان ( تأثير إعداد الخلطة الإسفلتية الحارة باستخدام الأسفلت المحسن على حساسية الخلطة الإسفلتية الحارة للرطوبة والحرارة) حيث تم إضافة الرماد المتطاير بنسبة (3،6،12) % ، الكلس المطفأ بنسبة (5،10،20) % ومادة السيليكا بنسبة (1،2،3) % من وزن الإسفلت الصافي كمواد محسنة لحساسية الخلطة الإسفلتية الحارة للرطوبة والحرارة.

فقد تم تسخين الأسمنت الاسفلتي حتى 160 درجة مئوية وتم إضافة المواد المعدلة بالتدرج مع التحريك المستمر الميكانيكي عند 5000 دورة / الدقيقة حوالي 45 دقيقة في نفس درجة الحرارة.

وتبين أن استخدام نسبة 1 % ، 2 % ، 3 % من السيليكا كمادة معدلة أعطت زيادة في نسبة قوة الشد بنسبة ( 22.76 ، 23.01 و 25.99 ) %، زيادة في مؤشر القوة المحتجرة ( 31.86 ، 37.76 و 42.31 ) % والنقصان في حساسية درجة الحرارة بنسبة ( 46.65 ، 48.47 و 72.33 ) % على التوالي مقارنة بالخلطة المعيارية، وتشير النتائج إلى أن العينات المعدلة بأبخرة السيليكا لها أعلى مقاومة لتلف الرطوبة وأقل حساسية لحرارة مقارنة بالمواد المعدلة الأخرى و قد يكون هذا بسبب مساحتها العالية. [7]

**الدراسة العملية****■ مواد وطرائق البحث**

تم تحضير الحصى من بقايا مخبرية عبارة عن مكعبات بيتونية محضرة من خرسانة عيار  $400-300\text{Kg/m}^3$  ومصدر الحصى لها من السليمة (دمشق).  
تم تكسيرها بكسارة تعتمد على عفاط يطحن المكعبات لقطر حوالي 10-15سم ثم تدخل الى الكسارة ويتم فرز النواتج الى ثلاث فئات (بحص، رمل خشن، رمل ناعم) وتم الطحن في كسارة السليمة في محافظة دمشق.

يبين الجدول رقم (1) أسماء التجارب المخبرية المنفذة على الحصى البيتونية المعاد تدويرها (RCA)

جدول رقم (1) الاختبارات على الحصى البيتونية المعاد تدويرها

الاختبار	المواصفة		
- التدرج الحبي باستخدام المناخل للحببات ذات القطر الأكبر من 75 ميكرون	ASTM D 422-63 AASHTO T78-T88	Grain size analysis for the soil grains larger than 75µm (retained on the No.200 sieve)	
- اختبار تحديد كمية المواد الناعمة في الحصى التي تمر من المهزة رقم 200 بالغسل	ASTM-C117 AASHTO T11-78	Sieve in aggregates amount of material fine than No.200	
- المكافئ الرملي %	AASHTO T176-73	Sand Equivalent Value	SE
- قرينة اللدونة	AASHTO T 90-80	Plasticity Index	PI
- الفاقد بالاهتراء % (لوس أنجلوس)	AASHTO T 96-77 ASTM-C131	Abrasion loss	L.A
- الوزن النوعي الظاهري	AASHTO T 85-77 AASHTO T 84-77 ASTM C-127 ASTM C-128	Apparent specific gravity	Gsa
- الوزن النوعي المشبع		bulk saturated specific gravity	Gssd
- الوزن النوعي الكلي		bulk dry specific gravity	Gsb
- التشرب بالماء %		Water absorption	Wa

**1. اختبار التدرج الحبي**

يبين الجدول رقم (2) التدرج الحبي للحصى البيتونية المعاد تدويرها بدون غسل، حيث تم اختبار /3/ عينات تم الحصول عليها بعملية التقسيم الرباعي. [8]

جدول رقم (2) التدرج الحبي لحصويات RCA

رقم المهزة	فتحة المنخل (mm)	الحد الاعلى %	الحد الادنى %	النسبة المئوية المارة للتدرج الحقيقي %
3/4"	19	100	100	100
1/2"	12.5	90	100	89
3/8"	9.5	78	83	83
No.4	4.75	46	60	75
No.10	2	30	42	50
No.40	0.425	14	25	20
No.80	0.18	8	16	11
No.200	0.075	3	7	6

نلاحظ خروج منحني التدرج الحبي عن الحزمة النظامية عند المنخل N4, N10 وهو أقرب ما يمكن لمجال الحزمة النظامية لطبقة الاهتراء/ تدرج ثاني/، لذا سوف يتم اعتماد هذه الحزمة للتدرج الحبي في هذه الدراسة. تم اجراء فرز الحصويات حسب قياسها مخبرياً وتعديل التدرج بحيث يقع ضمن مجال الحزمة النظامية لطبقة الاهتراء تدرج ثاني وفق الجدول رقم (3).

جدول رقم (3) التدرج الحبي المعتمد

رقم المهزة	فتحة المنخل (mm)	الحد الاعلى %	الحد الادنى %	النسبة المئوية المارة للتدرج المعتمد %
3/4"	19	100	100	100
1/2"	12.5	90	100	95
3/8"	9.5	78	83	80
No.4	4.75	46	60	50
No.10	2	30	42	35
No.40	0.425	14	25	20
No.80	0.18	8	16	12
No.200	0.075	3	7	5

2. اختبار تحديد كمية المواد الناعمة في الحصويات التي تمر من المهزة رقم (200) بالغسل

تم اجراء هذا الاختبار على ثلاث عينات لكل من النموذجين، حيث بلغت قيمته 11.93% نلاحظ أن هذه النسبة عالية وهي تساوي ضعف النسبة من دون غسل والتي كانت حوالي 6% وبالتالي يجب أن تغسل الحصىات قبل استخدامها. [9]

### 3. اختبار المكافئ الرملي

يفترض بهذا الاختبار أن يكون محققاً باعتبار أن الحصىات الناعمة الداخلة في تركيب الخلطة البيتونية يجب أن تكون قيمة المكافئ الرملي المطلوبة لها أعلى من القيمة المطلوبة في الخلطات الإسفلتية، ومع ذلك فقد قمنا بالتحقق بإجراء هذا الاختبار وبيين الجدول رقم (4) اختبار المكافئ الرملي، حيث تم اختبار (3) عينات. [10]

جدول رقم (4) نتائج اختبار المكافئ الرملي

رقم الأنبوب	1	2	3
قراءة ارتفاع الغضار	4.95	5.05	5.1
قراءة ارتفاع الرمل	3.4	3.75	3.65
المكافئ الرملي	68.69%	74.26%	71.57%
المكافئ الرملي الوسطي %	71.50%		
الحدود المسموحة	45%		

نلاحظ أن حصىات RCA محققة للشروط والمواصفات الفنية السورية والتي هي أكبر من 45%/ [10]

### 4. حدود أتربرغ

تم اجراء اختبار حدود أتربرغ وفق المواصفة ASTM-93 , D4318 على عينات من الحصىات البيتونية المعاد تدويرها مارة من المهزة NO.40 وعند اجراء اختبار تحديد حد السيولة كان من الصعب فرش العينة في وعاء كازغراندي إلا بعد إعطاؤها رطوبة عالية، ومع هذه الرطوبة كان الشق يلتحم في العينة بعد 4-5 طرقات في جهاز كازغراندي، كذلك لم يكن للعينات المدروسة أي لدونه، حيث كان من الصعب تشكيل فتائل بقطر /3mm/ مع أية رطوبة وعليه فإن العينات المدروسة عديمة السيولة و اللدونة وقرينة اللدونة معدومة (PI=0)، وهي محققة للمواصفات السورية التي تشترط قيمة (PI<6). [11]

### 5. اختبار لوس أنجلوس

بيين الجدول رقم (5) اختبار لوس أنجلوس لحصىات RCA، حيث تم اختبار (3) عينات لكل مصدر وهي من الصنف / B / وموافقة لأقطار الحصىات الأعظمية المستخدمة في الخلطات الإسفلتية، وزن العينة المختبرة 5000غرام، واستخدمت 11كرة فولاذية، و 500 دورة. [12]

جدول رقم (5) اختبار لوس أنجلوس لحصىات RCA



فأقد الاهتراء		فأقد	وزن العينة		الصف	رقم العينة
L.A			gr			
حدود المواصفات	avreage	S/B	S	B		
35.00%	30.41%	31.03%	1552	5001.1	B	1
		30.00%	1500	5000		2
		30.20%	1510	5000.6		3

نلاحظ أن حصويات RCA محققة للشروط والمواصفات الفنية السورية لطبقة الاهتراء والتي هي أصغر من 35%.

### 6. اختبار الأوزان النوعية ونسبة التثرب

يبين الجدول (6) اختبار الأوزان النوعية ونسبة التثرب لحصويات RCA الخشنة والناعمة، وهذه الأوزان النوعية محسوبة بالنسبة الى كثافة الماء وفق المواصفات الأمريكية ASTM C127 للحصويات الخشنة، ووفق المواصفات ASTM C 128 للحصويات الناعمة. حيث تم اجراء الاختبار في مخبر المواصلات الطرقية في طرطوس. [13]

جدول رقم (6) اختبار الأوزان النوعية ونسبة التثرب لحصويات RCA الخشنة والناعمة

حصويات RCA ناعمة (رمل)	حصويات RCA خشنة		
2.60	2.33	Gsb	الوزن النوعي الكلي الجاف
2.81	2.67	Gsa	الوزن النوعي الظاهري
2.67	2.46	Gssd	الوزن النوعي المشبع
2.83	5.49	Wa%	نسبة التثرب

نلاحظ أن نسبة التثرب للحصويات الخشنة عالية نسبياً (و يجب ألا تزيد نسبة التثرب عن 3% حسب المواصفات القياسية السورية)، وسوف تتم معالجتها بالغمر بمحلول الكلس المطفأ بتراكيز وأزمنة غمر مختلفة بهدف تخفيض قيمة نسبة التثرب لها واختيار نسبة التركيز وزمن الغمر المناسب لتحقيق ذلك، أما الحصويات الناعمة (الرمل) فلا يوجد ضرورة لمعالجتها ويمكن استخدامها في طبقة الاهتراء للمجبول الاسفلتي.

### الغمر بمحلول السيلوكسان

أولاً- دراسة تأثير الغمر بمحلول بوليمير سيلوكسان على نسبة تشرب RCCA:

في هذه الدراسة تمت دراسة تأثير كلاً من العاملين التاليين:

1- **زمن الغمر:** وهو المدة الزمنية التي غمرت خلالها حصويات RCCA بمحلول بوليمير سيلوكسان قبل اختبارها.

2- **تركيز المحلول:** وهو نسبة تركيز مركب بوليمير سيلوكسان ضمن الماء.

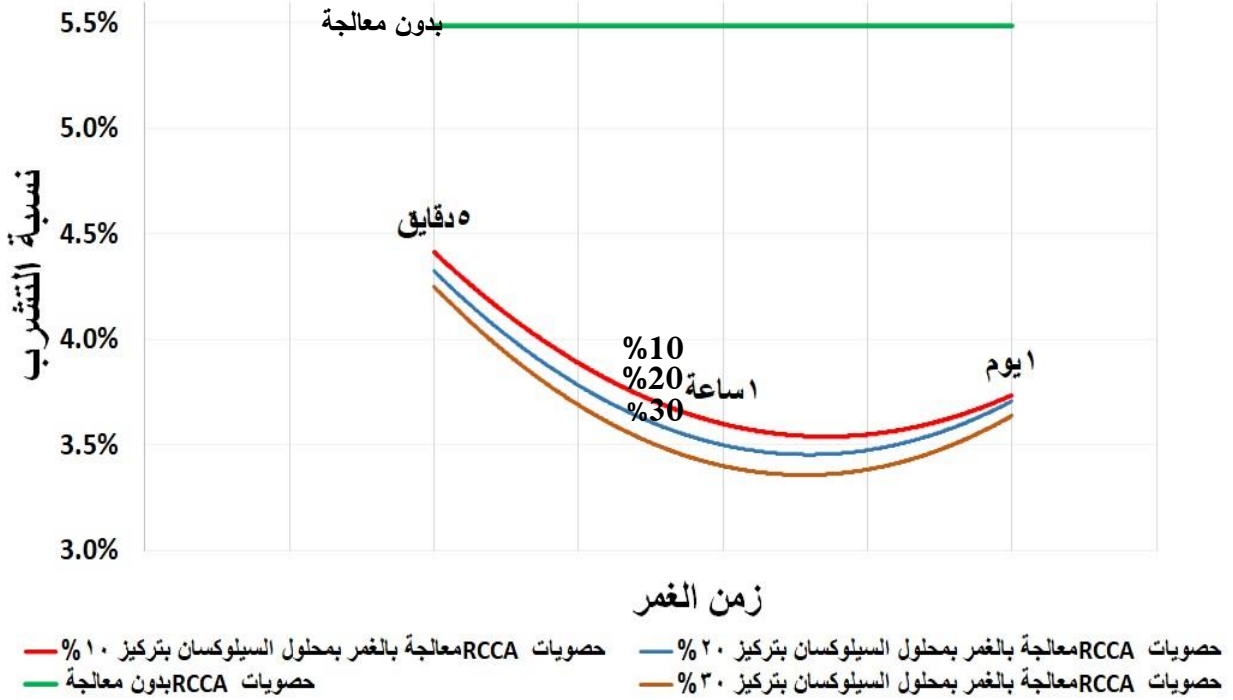
### 1- زمن الغمر:

في البداية تمت دراسة أزمنة متباعدة على نطاقات مختلفة (دقيقة، ساعة، يوم)، وذلك بهدف تحديد النطاق الزمني الفعال للغمر بمحلول سيليكات الصوديوم، ليصار فيما بعد إلى تحديد الزمن بدقة ضمن هذا النطاق.

وقد تم تطبيق ذلك من أجل /3/ تراكيز مختلفة لمحلول بوليمير سيلوكسان (10،20،30)% حيث تم اختبار /3/ عينات من الحصىات RCCA من أجل كل تركيز للمحلول، فكان عدد العينات المختبرة في هذه المرحلة /27/ عينة، وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول (7) والشكل رقم (2).

جدول (7) نسبة التشرب لجميع أزمنة الغمر وجميع التراكيز في المرحلة الأولى

البوليمير تركيز	العمر مدة		
	30%	20%	10%
معالجة بدون	5.49%	5.49%	5.49%
5 دقائق	4.25%	4.32%	4.41%
1 ساعة	3.40%	3.50%	3.60%
1 يوم	3.64%	3.71%	3.74%



الشكل (2) تغير نسبة التشرب بتغير زمن الغمر عند كل نسبة تركيز مدروسة

يبين الشكل (2) ما يلي:

- 1- اختلف تأثير زمن الغمر على نسبة التشرب باختلاف تركيز المحلول، ينخفض التشرب بزيادة التركيز، ونخفض نسبة التشرب مع ازدياد زمن الغمر ثم يعود للارتفاع عند الغمر لمدة 1 يوم، أي أن زمن الغمر الطويل لأكثر من ساعة يعطي نتيجة عكسية بسبب تشكل مسامات مفتوحة جديدة تعمل على امتصاص الماء.

نستنتج مما سبق ما يلي:

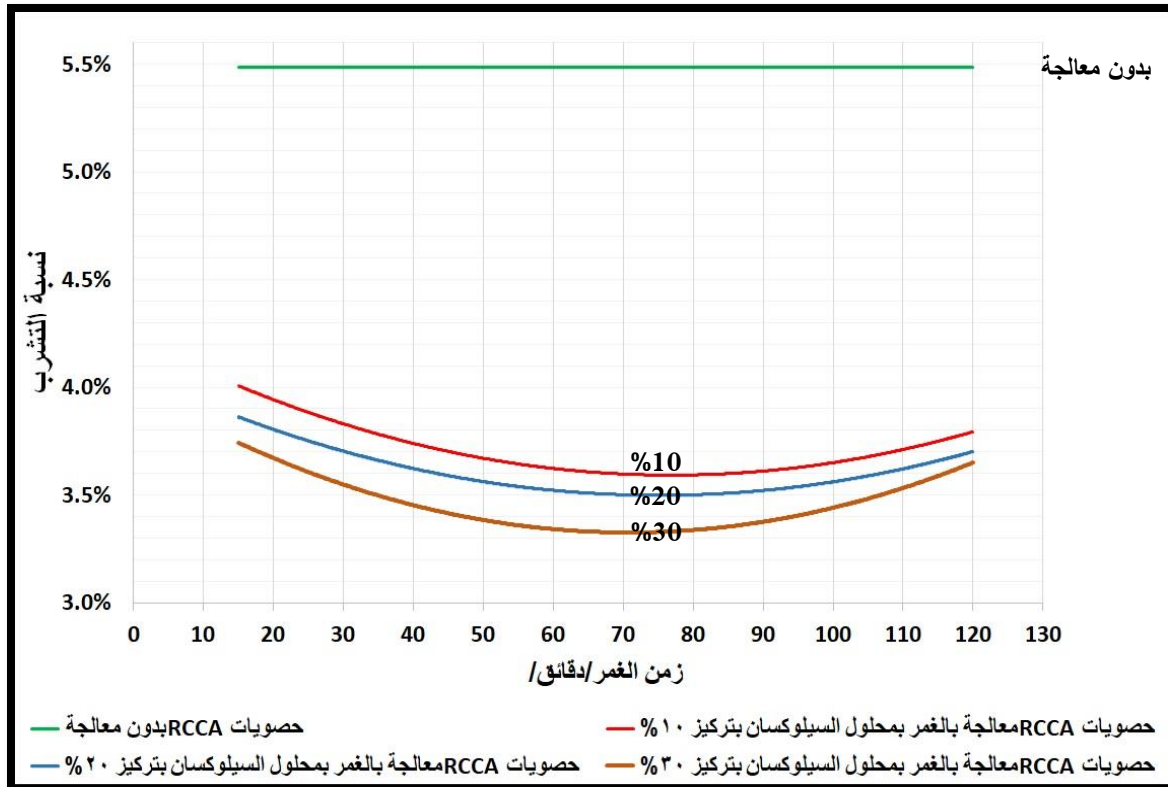
1- زمن الغمر الطويل (بالأيام) غير جيد.

2- ينخفض التشرب كلما زاد التركيز.

لذا تم العمل في المرحلة الثانية على دراسة الأزمنة التالية: (15 د، 30 د، 45 د، 60 د، 120 د)، حيث تمت دراسة 3 عينات من الحصويات من أجل كل زمن من هذه الأزمنة الخمسة ومن أجل كل تركيز من التراكيز الثلاثة % (30,20,10) أي أن عدد العينات الكلي المختبرة في هذه المرحلة هو 45/ عينة ، وكانت النتائج كما هو مبين في الجدول رقم (8) والشكل رقم (3).

جدول (8) تغير نسبة التشرب لجميع أزمنة الغمر وجميع التراكيز في المرحلة الثانية

البولييمو تركيز	30%	20%	10%	الغمر زمن (دقائق)
معالجة بدون	5.49%	5.49%	5.49%	
15	3.56%	3.61%	3.77%	
30	4.02%	4.27%	4.37%	
45	3.06%	3.28%	3.41%	
60	3.40%	3.50%	3.60%	
120	3.66%	3.72%	3.81%	

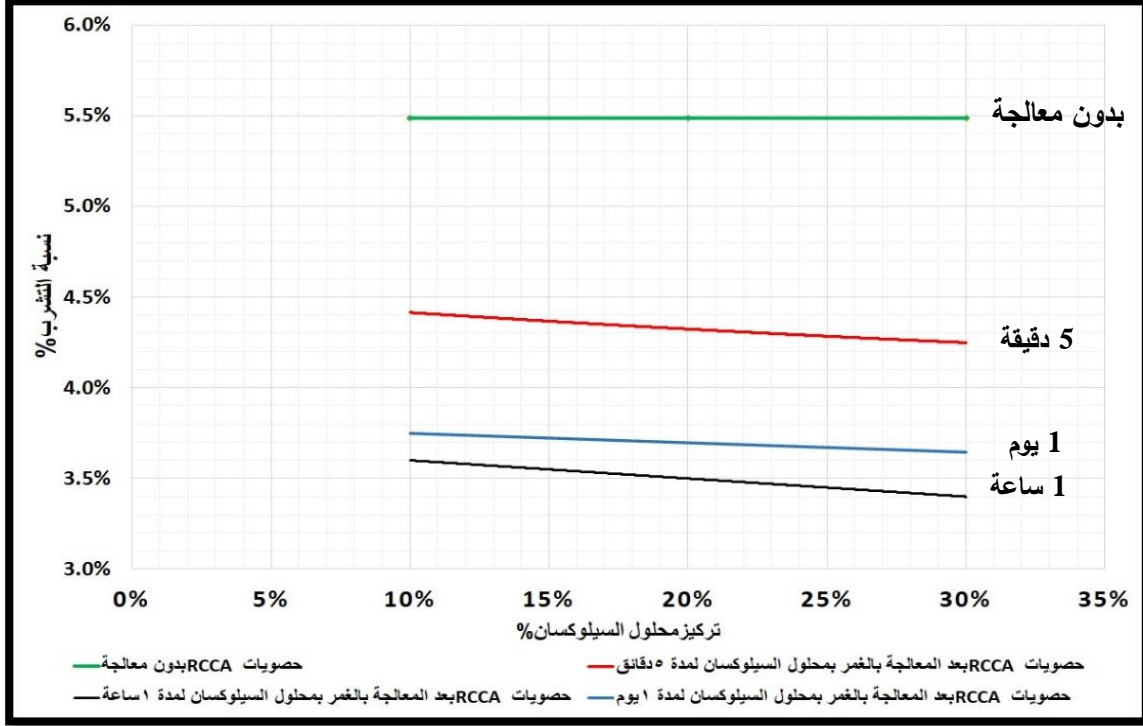


الشكل (3) تغير نسبة التشرب مع زمن الغمر عند كل نسبة تركيز مدروسة

وتستنتج أن الزمن الأفضل الذي أعطى أخفض قيمة لنسبة التشرب هو 45 دقيقة.

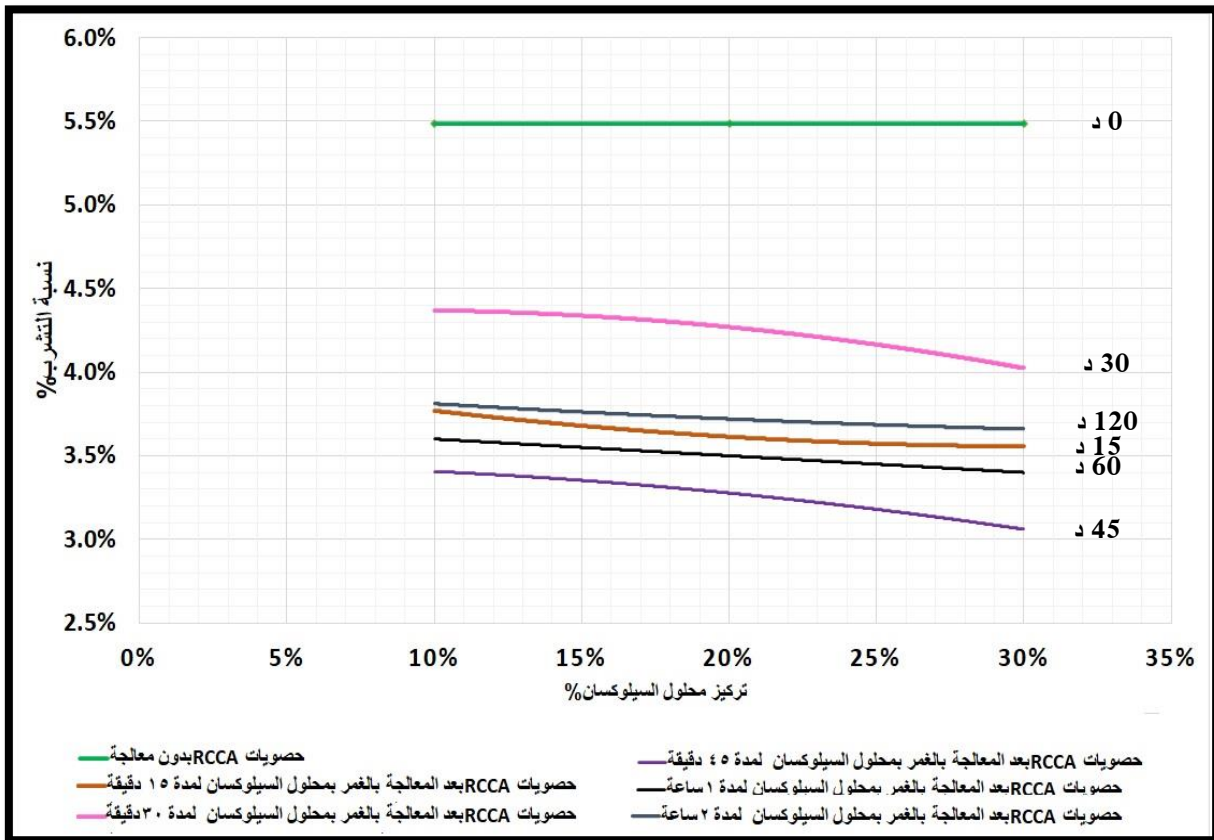
## 2- تركيز المحلول:

يمكن دراسة تأثير تركيز محلول بوليمير سيلوكسان على نسبة التشرب للعينات السابقة وبأزمة الغمر المدروسة سابقاً من خلال كل من الشكلين (4)، (5):



الشكل (4) تغير نسبة التشرب بتغير تركيز محلول بوليمير سيلوكسان لحصىات RCCA مع الزمن في المرحلة الأولى  
يبين الشكل (4) ما يلي:

- مهما يكن تركيز المحلول فإنه يخفض نسبة التشرب.
- كلما زاد تركيز المحلول تنخفض نسبة التشرب مهما يكن زمن الغمر، وبالتالي فإن أفضل تركيز في هذا البحث هو 30%.
- الغمر لمدة 1 ساعة أفضل من الغمر 5 دقائق و 1 يوم.
- الغمر لمدة ساعة أعطى نتائج متفاوتة بشكل كبير حسب تركيز المحلول لذا كان لابد من التوسع في دراسة عدة أزمنة مختلفة ضمن هذا النطاق كما أشرنا سابقاً. لذا تم تنظيم الشكل (5) التالي:



الشكل (5) تغير نسبة التثريب بتغير تركيز محلول بوليمير سيلوكسان لحصويات RCCA مع الزمن في المرحلة الثانية

يبين الشكل (5) ما يلي:

- تنخفض نسبة التثريب مع زيادة التركيز .

- زمن الغمر الذي اعطى أكبر نسبة تخفيض للتثريب هو 45 دقيقة.

#### الخلاصة:

نستنتج من كل مما سبق أن أفضل تركيز في هذا البحث هو 30% وأفضل مدة غمر هي 45 دقيقة.

### ثانياً - دراسة تأثير الغمر بمحلول بوليمير سيلوكسان على الوزن النوعي

من أجل أزمنة الغمر السابقة، والتراكيز السابقة فقد تمت دراسة تأثيرها على كل من قيمتي الوزن النوعي الكلي

الجاف Gsb ، والوزن النوعي الظاهري Gsa لحصويات RCCA .

#### 1. الوزن النوعي الظاهري (Gsa)

يبين الجدول رقم (9) تغير قيمة الوزن النوعي الظاهري حسب مدة الغمر وتركيز محلول سيلوكسان.

جدول (9) قيم الوزن النوعي الظاهري  $G_{sa}$  لحبوبيات RCCA حسب مدة الغمر وتركيز محلول سيلوكسان

الظاهري النوعي الوزن (GSA)			
30%	20%	10%	البوليمير تركيز
2.68	2.68	2.68	معالجة بدون
2.61	2.60	2.59	5 دقائق
2.60	2.61	2.60	15 دقيقة
2.62	2.60	2.60	ساعة نصف
2.66	2.64	2.62	45 دقيقة
2.62	2.61	2.59	ساعة
2.65	2.64	2.64	ساعتين
2.57	2.62	2.62	يوم

نلاحظ من الجدول (9) أنه بالمعالجة بمحلول بوليمير سيلوكسان انخفضت قيمة الوزن النوعي الظاهري لحبوبيات RCCA بحدوده 2% مهما كانت مدة الغمر ومهما كان تركيز المحلول، وهي نسبة مهملة.

## 2. الوزن النوعي الكلي ( $G_{sb}$ )

يبين الجدول رقم (10) تغير قيمة الوزن النوعي الكلي حسب مدة الغمر وتركيز محلول بوليمير

سيلوكسان:

جدول (10) الوزن النوعي الكلي حسب مدة الغمر وتركيز محلول بوليمير سيلوكسان

الكلي النوعي الوزن (GSB)			
30%	20%	10%	البوليمير تركيز
2.33	2.33	2.33	معالجة بدون
2.35	2.34	2.32	5 دقائق
2.38	2.38	2.37	15 دقيقة
2.46	2.43	2.41	ساعة نصف
2.46	2.43	2.41	45 دقيقة
2.41	2.39	2.37	ساعة
2.42	2.41	2.40	ساعتين
2.35	2.39	2.39	يوم

يبين الجدول 10 ما يلي:

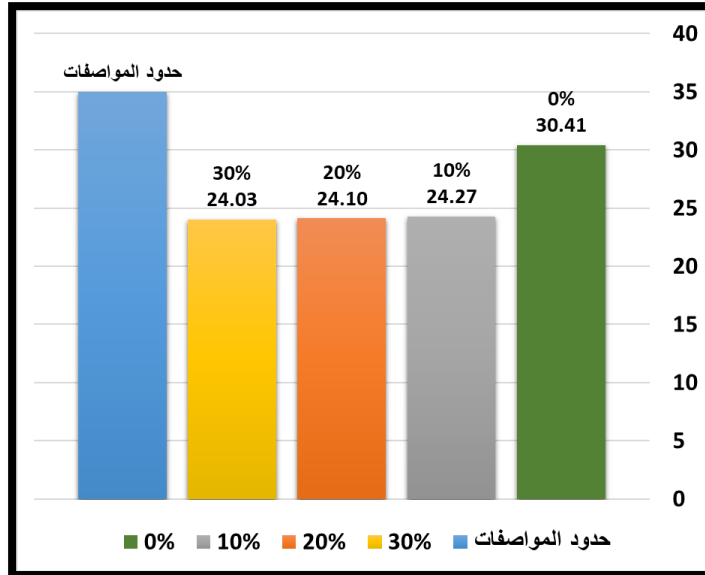
- 1- تزداد قيمة  $G_{sb}$  لحبوبيات RCCA المعالجة بمحلول بوليمير سيلوكسان مهما كانت مدة الغمر .
- 2- أكبر قيمة لزيادة  $G_{sb}$  كانت مع الغمر لمدة 45 دقيقة والتركيز 30% وقد بلغت قيمة هذه الزيادة 0.13
- 3- عند الغمر لمدة 5 دقائق فإنه لا تأثير لتركيز المحلول على قيمة  $G_{sb}$
- 4- مع الغمر لمدة تزيد على 5 دقائق تزداد قيمة  $G_{sb}$  بمقدار 0.05 مع زيادة التركيز إلى نسبة 30% يمكن أن نتوصل مما سبق إلى أن الغمر لمدة 45 دقيقة مع التركيز 30% أعطى أفضل طريقة لزيادة قيمة  $G_{sb}$  وهي تتوافق مع النتيجة السابقة التي تم التوصل إليها بالنسبة لدراسة نسبة التشرب.

### ثالثاً- دراسة تأثير الغمر بمحلول بوليمير سيلوكسان على قيمة مقاومة التأكل (L.A)

تم اجراء اختبار لوس أنجلوس بعدد عينات كلي مقداره /9/ عينات بالتركيز (10،20،30)% ، مع الغمر لمدة 45 دقيقة فقط على اعتبار أنها هي المدة المثالية للغمر، ويبين الجدول رقم (11) والشكل رقم (6) نسبة التغير بقيمة معامل لوس أنجلوس قبل وبعد المعالجة بالغمر بمحلول سيلوكسان.

جدول (11) نسبة التغير معامل لوس أنجلوس قبل وبعد المعالجة بالغمر بمحلول سيلوكسان

حدود المواصفات	محلول توكيز سيلوكسان (%)			
	30%	20%	10%	0%
35.00	24.03	24.10	24.27	30.41
	21.00	20.74	20.19	-



الشكل (6) الفاقد بالاهتراء لحصويات (RCCA) قبل وبعد المعالجة بالغمر بمحلول السيلوكسان

يبين الشكل (6) ما يلي:

- 1- كافة قيم الفاقد بالاهتراء محققة للمواصفات.
- 2- قيمة الفاقد بالاهتراء كانت متقاربة مهما زاد تركيز محلول بوليمير السيلوكسان.

### النتائج:

إن أفضل طريقة لمعالجة حصويات RCCA بمحلول بوليمير سيلوكسان هي غمرها لمدة (45) دقيقة، وبتركيز (30%) حيث عملت على:

1. تخفيض نسبة التشرب بمقدار 2.43 أي بنسبة 44.26%.
2. زيادة الوزن النوعي الكلي الجاف بمقدار 0.13 أي بنسبة 5.52%.
3. خفضت قيمة الفاقد بالاهتراء (لوس أنجلوس) بمقدار 6.38 أي بنسبة 21%.

## التوصيات

1. ينصح بمعالجة الحصى المعاد تدويرها باستخدام محلول بوليمير سيلوكسان لدوره الكبير في تحسين خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، والذي ينعكس إيجاباً في تحسين خصائص الخلطات الإسفلتية الساخنة وتخفيض نسبة الإسفلت المثالية باستخدام هذه المواد.
2. ننصح بدراسة الجدوى الاقتصادية لاستخدام محلول بوليمير سيلوكسان في معالجة الحصى المعاد تدويرها.

## المراجع

- 1- "Transportation Applications Of Recycled Concrete Aggregate" , FHWA State of the Practice National Review September 2004.
- 2- J.Aurstad؛J.Aksnes؛J.E.Dahlhaug؛G.Berntsen؛N.Uthus"Unbound crushed concrete in high volume roads–A field and laboratory study" ،Norwegian Public Roads Administration، Trondheim، Norway. <https://www.sintef.no/globalassets/upload/126.pdf>
- 3- Tuncer B.Edil."specifications and recommendations for Recycled Materials Used as Unbound Base Course" Recycled Materials Resource Center University of Wisconsin-Madison،Madison ،WI 53706 USA 2011
- 4- Lassen Carsten." Consumption, Toxicity and Alternatives "Danish ministry of the Environment, Environmental Protection Agency
- 5- Dr. Goulias Dimitrios, Dr .Aydilek Ahmet. " Recycled Material Availability in Maryland a Synthesis Study " University Of Maryland, College Park. Department of Transportation. 2016.P29-26-38.
- 6- Alfaqawi Rami. "Using Recycled Aggregate In Hot Asphalt Mixtures In Gaza Strip".Department of Civil Engineering, University of Nottingham. 2012
- 7- Dr. Hadi Sahar . "Impact of Preparing HMA with Modified Asphalt Cement on Moisture and Temperature Susceptibility" Al-Furat Al-Awsat Technical University. Kerbalaa Technical Institute. Journal of Engineering. Volume 23.P1,7.2017
- 8- ASTM-D 422-63 ,AASHTO T78-T88
- 9- ASTM C117 , AASHTO T11-78
- 10- AASHTO T176-773,ASTM D-2419
- 11- AASHTO T90-80
- 12- AASHTO T96-77 , ASTM C-131
- 13- AASHTO T85-77, AASHTO T84-77, ASTM C-127, ASTM C-128