تصميم خلطة إعادة الاستخدام*
باستخدام المواد المكشوطة

الدكتور صفوان الحوري المهندس مهند طلال العفاش

كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق

الملخص

تعد مشكلة صيانة شبكات الطرق الضخمة الحالية بأقل كلفة ممكنة مع الحفاظ على الثروات الطبيعية و التخلص من الكميات الكبيرة للمواد المكشوطة سنويا"من أهم المشاكل التي تواجـه المهندسـين و المهتمين بهذا القطاع الحيوي و الهام .

في هذا البحث تم إلقاء الضوء على أحد أهم خيارات الحل و هي تكنولوجية إعادة الاستخدام , و قـد تم التركيز على إعادة الاستخدام على الساخن باعتبارها الأكثر ملاءمة لشبكة الطـرق السـورية ,و يهدف البحث إلى تصميم خلطة إعادة الاستخدام باستخدام المواد المكشوطة في سورية , لـذلك تـم شرح وبشكل مفصل طريقة معهد الإسفلت في تصميم خلطة إعادة الاستخدام , و في الجانب العملـي من البحث تم تصميم خلطة إعادة الاستخدام مخبريا" و إجراء التجارب اللازمة عليهـا للتحقـق مـن مطابقتها للمواصفات الفنية المطلوبة.

*أعد هذا البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندس مهند طلال العفاش
بإشراف الدكتور صفوان الحوري

المقدمة:

أدى التوسع الكبير في إنشاء الطرق نتيجة الطلب المتزايد على النقل إلى تزايد استهلاك المواد الأولية و خاصة الحصويات ,الأمر الذي نتج عنه تناقص متزايد في الكميات المتوافرة من الحصويات الجيدة مما خلق مشكلة جدية تعترض منفذي الطرق تُضاف إلى مشكلة التلوث البيئي الكبير الذي تسببه الكميات الكبيرة من المواد المكشوطة سنوياً"نتيجة إعادة تأهيل الأغطية الطرقية,هذا فضلاً"عن تزايد كلفة المنتجات النفطية و تناقص مخصصات الصيانة ,كل هذه العوامل مجتمعة أدت إلى خلق تحدٍ لإنجاز عمل أكثر بموارد أقل ,مما دفع إلى تطوير تقانات جديدة تخفض التكاليف من جهة و تحقق المواصفات من جهة أخرى، فتم تركيز الجهود على إيجاد تكنولوجية تحقق الغرض من الصيانة و إعادة التأهيل بكلفة أقل، فكان من أهم التكنولوجيات التي حققت نتائج جيدة تكنولوجية إعادة الاستخدام(8).

1- إعادة الاستخدام:RECYCLING (6):

يُقصد بعملية **إعادة الاستخدام**:استخدام المواد الطرقية المكشوطة (حصويات+روابط)والمستعادة من الأغطية القديمة التي تعرضت للشيخوخة في إنتاج خلطة إسفلتية جديدة بمواصفات مقبولة.

و تتألف خلطة إعادة الاستخدام من مزيج من المواد المكشوطة و الحصويات الجديدة و بيتومين جديد و/أو وسيط إعادة استخدام، و لهذه الخلطة هدفان أساسيان :

1- الاستفادة من المواد المكشوطة (الحصويات + الرابط) في تشكيل خلطة جديدة و ذلك بإعادة استخدام أعلى نسبة ممكنة من المواد المكشوطة مع الحفاظ على المواصفات الفنية المطلوبة .

2- التخلص من المواد المكشوطة و التي تعد ملوثة بيئياً.

لكن عملية التوصل إلى مثل هذه الخلطة تفرض تحقيق عدة متطلبات :

1- استعادة الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للرابط الإسفلتي في المواد المكشـوطة، أو الحد الأدنى منها بحيث ينسجم مع المستوى المناسب للخلطة.

2- تحديد كمية الإسفلت الجديد أو وسيط إعادة الاستخدام اللازمة.

3- تحديد النسبة المثالية من المواد المكشوطة.

4- تسخين المواد المكشوطة إلى درجات الحرارة الضرورية للخلط و الـرص مـن دون تعريضها لأكسدة إضافية .

و يمكن تقسيم عملية إعادة الاستخدام إلى نوعين أساسيين:

1- إعادة الاستخدام على الساخن:HOT RECYCLING .

2- إعادة الاستخدام على البارد: COLD RECYCLING.

1-1- إعادة الاستخدام على الساخن:HOT RECYCLING

و هي أحد الخيارات المتوافرة لإعادة تأهيل الأغطية الإسفلتية المتخريـة و تُسـتخدم عندما تنحصر مشاكل التخددات و التأكسد و التقشر في الطبقة السطحية من الغطـاء الإسفلتي (6-7) سم (1) ، مما يجعل هذا الخيار الأنسب لصيانة طرق محافظة دمشق ,كبديل لعملية إعادة إنشاء طبقة الاهتراء المعتمدة حاليا" في خطط الصـيانة و التـي تكلف سنويا" محافظة دمشق قرابة (120) مليون ليرة سورية و ينتج عنهـا كميـات كبيرة من المواد المكشوطة تصل حتى 2500م3 (8)، لذلك تم اعتماد هذا الخيار فـي التجارب المخبرية التي تمت في البحث لتصميم خلطة إعادة الاستخدام واختبارها.

1-1-1- تقييم مكونات الخلطة:

1-1-1-1- تقييم المواد المكشوطة:

تم الحصول على المواد المكشوطة من ثلاثة مواقع في مدينة دمشق و هي :

مزة86,طريق دمشق القنيطرة (السومرية), طريق المطار القديم (برج تالة)، و لتقيـيم هذه المواد تم إجراء تجارب الاستخلاص و الغرز عليها لتحديد:

1- نسبة البيتومين.

2- تدرج الحصويات.

3- غرز الإسفلت المستخلص من المواد المكشوطة.

و يبين الجدول التالي (1-1) عمر كل غطاء و قيمة الغرز للرابط المستخلص منه:

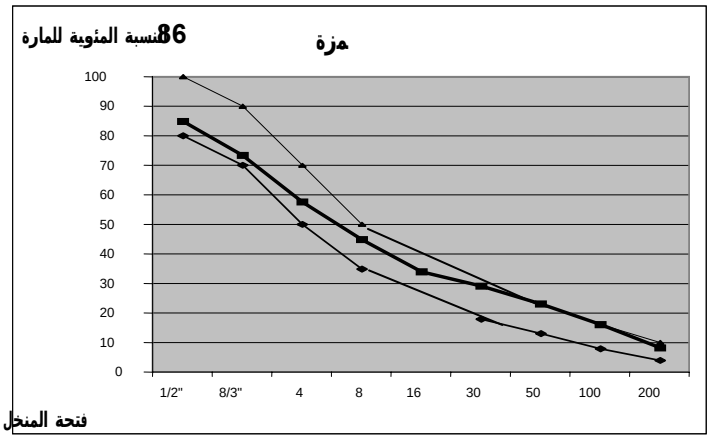
الجدول(1-1)

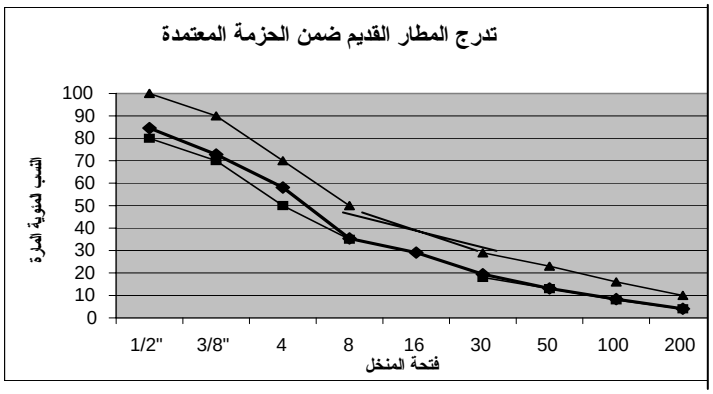
موقع العينة	مزة 86	السومرية	المطار القديم
عمر الغطاء	12سنة	5سنوات	4سنوات
الغرز	37	49	53
غرز الرابط في الخلطة الإسفلتية الأساسية	60-70	60-70	60-70

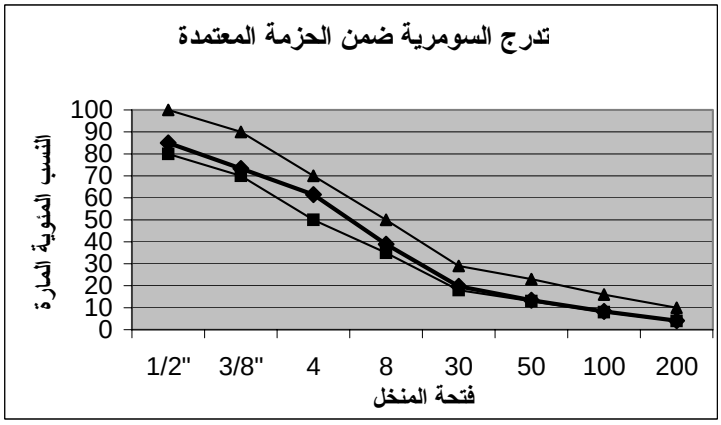
و يظهر من هذا الجدول أن درجة الغرز و من ثم اللزوجة ترتبط بشكل مباشر بعمـر الغطاء ,مما يؤثر في إمكانية إعادة استخدامها حيث توصي بعـض المراجـع بعـدم جدوى إعادة استخدام روابط تقل قيم غرزها عن 25.

و يبين الجدول (2,1)نسبة بيتومين و تدرج المواد المكشوطة المأخوذة من المواقع الثلاثة و كذلك تدرجها بعد تصحيح التدرج.

موقع العينة	مزة86		المطار القديم		السومرية	
رقم العينة	1		1		1	
نسبة الإسفلت	5.35		4.64		4.50	
فتحة المنخل	تدرج المادة المكشوطةg	التدرج المصححg	تدرج المادة المكشوطةg	التدرج المصححg	تدرج المادة المكشوطةg	التدرج المصححg
1/2"أ	- - - -	183.42	5.73	190.11	- - - -	184.23
3/8"ب	3.98	142.15	21.2	144.11	20.1	142.92
4	9.03	192.45	180.8	180.8	146.4	146.4
8	33.91	156.19	156.26	279.17	54.5	177.32
16	12.24	134.52	77.25	77.25	53.68	123.56
30	52.11	52.11	46.53	78.10	159.6	235.15
50	76.29	76.29	28.94	78.10	40.8	77.64
100	83.17	83.17	21.36	58.23	25.8	62.64
200	104.2	104.2	16.1	52.97	14.7	51.54




تدرج المطار القديم ضمن الحزمة المعتمدة
النسب لمئوية المارة
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1/2"
3/8"
4
8
16
30
50
100
200
فتحة المنخل


تدرج السومرية ضمن الحزمة المعتمدة
النسب المئوية المارة
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1/2"
3/8"
4
8
30
50
100
200
فتحة المنخل

1-1-1-2- تقييم المواد الجديدة المضافة:

1-1-1-2-1-تقييم الحصويات :

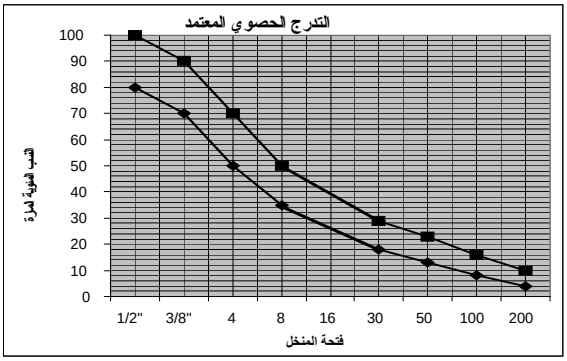
تمت إضافة الحصويات الجديدة لتصحيح التدرج الحبي لحصويات المواد المكشوطة و التي يلاحظ فيه زيادة المواد الناعمة نتيجة عمليات الصقل و الاهتراء تحـت بتـأثير حركة المرور إضافة إلى تأثير عملية الكشط, و لتقييم الحصويات المستخدمة تم إجراء تجربة لوس انجلوس عليها, و يبين الجدول التالي (1-3) القيم الناتجة عن تجربتـي الإسفلت الممتص و لوس أنجلوس:

الحصويات الجديدة المضافة	نسبة الإسفلت الممتص	نسبة الفاقد في تجربة لوس انجلوس
	%0.42	%20.18

كذلك فقد تم إجراء تجربة الوزن النوعي و يبين الجدول التالي (1-4) الأوزان النوعية الناتجة و نسبة التشرب:

الحصويات الجديدة المضافة	نسبة التشرب	الوزن النوعي الظاهري	الوزن النوعي الكلي	الوزن النوعي النسبي
	%0.7	2.648	2.619	2.63

ويبين الشكل التالي التدرج الحبي المعتمد في البحث عند تصميم خلطات إعادة الاستخدام ,وهو التدرج المعتمد في وزارة المواصلات لطبقة الاهتراء الكثيفة:



2-2-1-1-1- تقييم الرابط الإسفلتي الجديد:

نتيجة لعدم توافر وسيط إعادة استخدام محليا",تم استخدام البيتومين المنتج في مصفاة حمص في جميع التجارب ,و لتقييم البيتومين المستخدم تم إجراء تجربتي الغرز و الوزن النوعي عليه, و يبين الجدول التالي (1-5) القيم الناتجة عن التجربتين:

الرابط الإسفلتي المضاف	الوزن النوعي	الغرز
	1.05	93

الجدول(1-5)

2-1-1- طريقة إعداد خلطة إعادة الاستخدام(2)

تم تبني طريقة معهد الإسفلت الأمريكي في إعداد خلطة إعادة الاستخدام و التي تتضمن الإجراءات التالية:

1- تسخين الحصويات الجديدة 50F°(28C°) أعلى من درجة حرارة الخلط القياسية وفق مواصفة ASTM D1559.

2- تسخين المواد المكشوطة إلى درجات حرارة الرص وفق مواصفة ASTM D1559(وهي درجة الحرارة الموافقة للزوجة مقدارها 280+-30CST) ,كما هو مبين في الجدول (1-6).

3- خلط الحصويات الجديدة و المواد المكشوطة لمدة 30 ثانية .

4- إضافة الإسفلت الجديد المسخن مسبقا" إلى درجة حرارة الخلط إلى خليط الحصويات الجديدة و المواد المكشوطة و خلطها لمدة 60 ثانية .

5- نقل كامل الخلطة ووضعها في فرن تم الحفاظ على درجة حرارة الرص فيه على الأقل لمدة ساعة واحدة و لا تتجاوز ساعتين قبل رص العينات.

6- تحضير القوالب المطلوبة بنسب إسفلت جديد أعلى و أخفض بمقدار(0.5%) من القيمة المحسوبة .

الجدول (1-6) (7)

مجال اللزوجة الحركية CST	مجال درجات حرارة التسخين مْ	
	إسفلت غرز 85-100	إسفلت غرز 60-70
في أثناء الخلط(190-150)	156-150	160-166
في أثناء الرص(310-250)	144-139	153-147

3-1-1- العلاقات المستخدمة في حساب مكونات الخلطة :(2)

1- حساب نسبة الحصويات الجديدة اللازمة:

تم حساب الحصويات الجديدة r والتعبير عنها كنسبة مئوية من الحصويات الكلية في خلطة إعادة الاستخدام عن طريق العلاقة التالية :

$$r = \frac{Pns * 100}{Psm - \frac{Psm * PSb}{100} + Pns} \quad \textbf{(2)}$$

حيث:

r: الحصويات الجديدة معبراً عنها بنسبة مئوية من الحصويات الكلية في خلطة إعـادة الاستخدام.

Pns:الحصويات الجديدة في خلطة إعادة الاستخدام معبر عنها كنسبة مئوية .

Psb:النسبة المئوية للبيتومين في المواد المكشوطة و التي تم تحديدها بواسطة تجربـة الاستخلاص .

Psm: نسبة المواد المكشوطة في خلطة إعادة الاستخدام معبراً عنها بنسبة مئوية

2- حساب الكمية التقريبية من الإسفلت اللازمة لربط الحصويات:

$$P=0.035*a+0.045*b+k*c+f \quad \textbf{(2)}$$

P:الكمية التقريبية من الإسفلت اللازمة لربط الحصويات مقدرة بنسبة مئوية وزنيا" من الخلطة الكلية .

k=0.18 : من أجل نسبة (10-6%) مارة من المهزة رقم 200 (0.75مم) .

k=0.2 :من أجل نسبة (5%) أو أقل مارة من المهزة رقم 200(0.75مم) .

a :النسبة المئوية للحصويات المينرالية المحجوزة على المنخل رقم 8 (2.36مم) .

b :النسبة المئوية للحصويات المينرالية المارة من المهزة رقم 8 (2.36مم) و المحجوزة على المنخل رقم 200(0.75مم) .

c :النسبة المئوية للحصويات المارة من المهزة رقم 200(0.75مم) .

f:تتراوح قيمته من (0-2 %) بالاعتماد على نسبة امتصاص الحصويات الخفيفة أو الثقيلة، و اعتمدت القيمة (1) في البحث.

وقد تم استخدام القيم المناسبة للثوابت الواردة في العلاقات السابقة، و ذلك حسب التدرج الحبي لكل عينة .

3- حساب نسبة الإسفلت الجديد في الخلطة :

$$Pnb = \frac{(100^2 - Psb * r) * Pb}{100(100 - Psb)} - \frac{(100 - r) * Psb}{(100 - Psb)} \quad \textbf{(2)}$$

حيث :

Pnb:الإسفلت الجديد في خلطة إعادة الاستخدام مقدرة بنسبة مئوية .

r:النسبة المئوية للحصويات الجديدة من الحصويات الكلية في خلطة إعادة الاستخدام.

Pb:النسبة المئوية للإسفلت اللازم لربط الحصويات.

Psb:نسبة البيتومين في المواد المكشوطة مقدرة بنسبة مئوية .

4-1-1- إجراءات الاختبار بعد تكوين الخلطات:

تم تشكيل 102 قالب للعينات المأخوذة من :المزة 86 (12سنة), طريق المطار القديم (برج تالة) (4سنوات) ,طريق دمشق القنيطرة (السومرية) (5سنوات)

ثم اختبرت هذه القوالب فتم تحديد كثافتها وفق المواصفة AASHTO T166 و إخضاعها لاختبار قياس الثبات و السيلان وفق مواصفة ASTM D 1559 , كذلك حسبت نسبة الإسفلت الممتص و نسبة الفراغات الهوائية و المليئة وفق العلاقات التقليدية, وتبين الجداول التالية (1, 7) , (1 , 8) , (1, 9) مواصفات و نتائج

خلطات إعادة الاستخدام , وذلك باستخدام 40%مواد مكشوطة لعينـات المـزة 86 و 50.% مواد مكشوطة لعينات المطار القديم و كذلك لعينات السومرية .

موقع العينة	المزة86						
رقم القالب	1	2	3	4	5	6	7
نسبة البيتومين المضاف %	3.97	3.47	2.97	2.47	4.47	4.97	5.47
كثافة مارشال	2.35	2.316	2.29	2.25	2.364	2.386	2.364
نسبة الفراغات الهوائية %	4.23	6.36	8.06	10.3	3.07	1.49	1.73
الثبات kg	605	645	810	605	526	529	457
السيلان mm	3.69	3.59	3.76	3.12	4.22	4.62	5.32
نسبة الفراغات المليئة %	67.7	54.61	39.6	38.2	76.58	88.28	90.32

الجدول(1 , 7)

موقع العينة	المطار القديم				
رقم القالب	1	2	3	4	5
نسبة البيتومين المضاف%	3.22	2.77	2.22	3.72	4.22
كثافة مارشال	2.315	2.3	2.328	2.383	2.393
نسبة الفراغات الهوائية	6.72	7.98	7.52	3.31	2.22
الثبات kg	1643	1827	1270	1155	1136
السيلان mm	3.34	3.58	3.59	4.22	4.39
نسبة الفراغات المليئة	51.37	42.74	39.55	71.83	81.24

الجدول(1 , 8)

موقع العينة	السومرية				
رقم القالب	1	2	3	4	5
نسبة البيتومين المضاف %	3.354	2.854	2.354	3.854	4.354
كثافة مارشال kg/cm3	2.381	2.356	2.342	2.397	2.396
نسبة الفراغات الهوائية %	3.89	5.56	6.79	2.56	1.92
الثبات kg	1543	1588	1335	1652	950

السيلان mm	2.63	2.24	2.78	3.76	6.10
نسبة الفراغات المليئة %	66.16	53.52	43.60	77.46	83.80

الجدول(1 ,9)

و فيما يلي تطبيق حسابي على عينة المزة 86:

فتحة المنخل	تدرج المواد المكشوطة	التدرج المصحح	المحجوز الجزئي%	المحجوز الكلي %	المار الكلي %
½		183.42	15	15	85
3/8	3.98	3.98+138.17=142.15	11.625	26.62	73.37
4	9.03	9.03+183.42=192.45	15.73	42.36	57.63
8	33.91	33.91+122.28=156.19	12.77	55.13	44.86
16	12.24	12.24+122.28=134.52	11	66.14	33.86
30	52.11	52.11	4.26	70.40	29.6
50	76.29	76.29	6.24	76.63	23.36
100	83.17	83.17	6.8	83.43	16.50
200	104.2	8.52	8.52	91.96	8

حساب نسبة الحصويات الجديدة :

$$r = \frac{60*100}{40-\frac{40*5.35}{100}+60} = 61.3\%$$

مواد مكشوطة: 100-61.3=38.7

$$\frac{473.23}{38.7} = 12.22 \text{ g}$$

كمية الحصويات الجديدة الإضافية :

12.22*61.3=749.57

الكمية الكلية :

749.57+473.23=1222.8

نسبة الإسفلت اللازمة لربط الحصويات:

p=0.035*a+0.45*b+k*c+f

p=0.0.35*55.136+0.045*36.82+0.18*8+1

p=6.03%

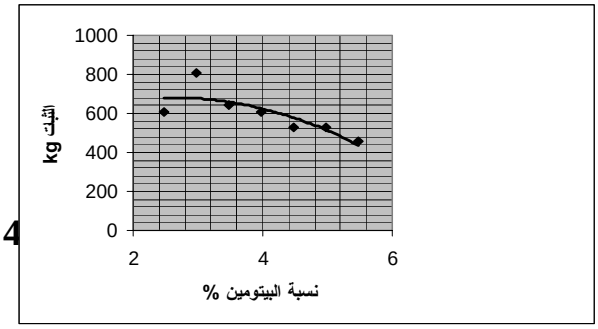
كمية الإسفلت الجديد في الخلطة:

$$pnb = \frac{(100^2 - 5.35*61.3)*6.03}{100(100-5.35)} - \frac{(100-61.3)*5.35}{100-5.35} = 3.97\%$$

نسبة الإسفلت الجديد من المحتوى الإسفلتي الكلي :

$$R = \frac{Pnb}{Pb}*100 = \frac{3.97}{6.03}*100 = 65.83\%$$

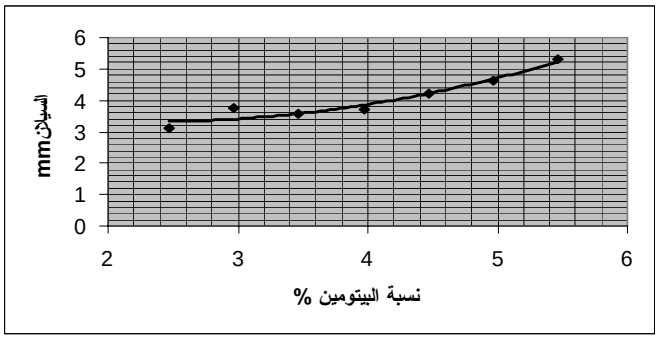
1-1-5- رسم بيانات الاختبار: بعد أن تم حساب جميع عناصر الخلطة الإسفلتية، قمنا برسم مخططات بيانية منفصلة تربط بين نسبة الرابط الإسفلتي الجديد و كل من الثبات و السيلان و كثافة الخلطة الإسفلتية المرصوصة و نسبة الفراغات الهوائية و الفراغات المليئة في الخلطة الإسفلتية المرصوصة . و تبين الأشكال التالية منحنيات نتائج اختبار خلطات إعادة الاستخدام لعينات المزة 86 ,ويبين الشكل

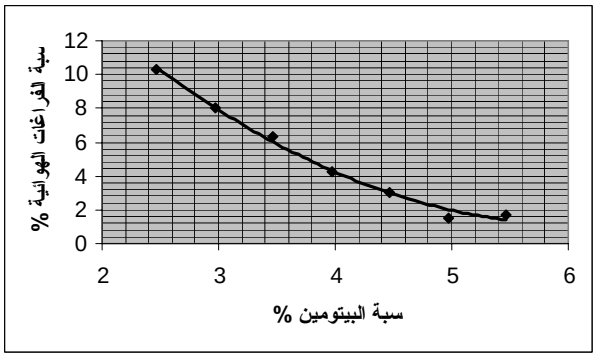


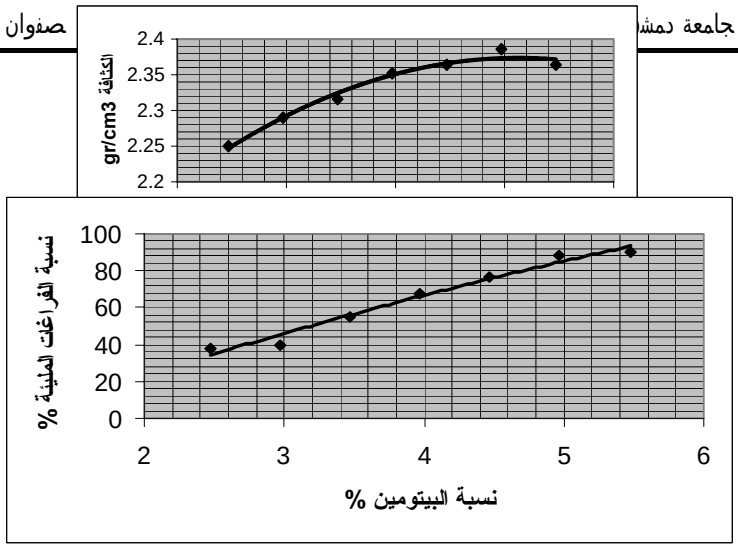
4

الأول العلاقة بين نسبة

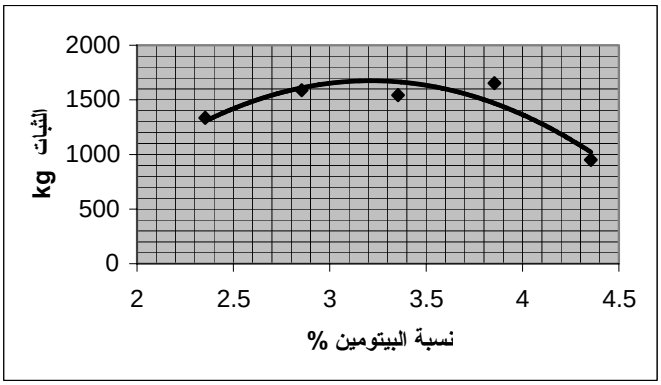
الرابط الإسفلتي الجديد المضافة و قيم الثبات لعينات المزة86، و يلاحظ مـن هـذه الأشكال أن منحنيات خصائص الاختبار لهذه الخلطات مشابهة لمنحنيات

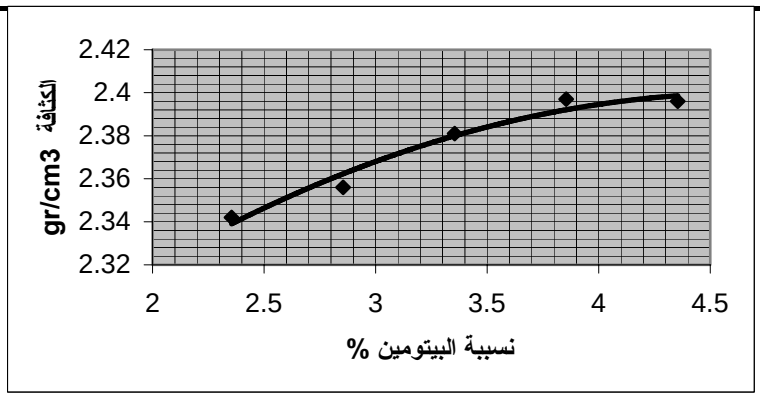


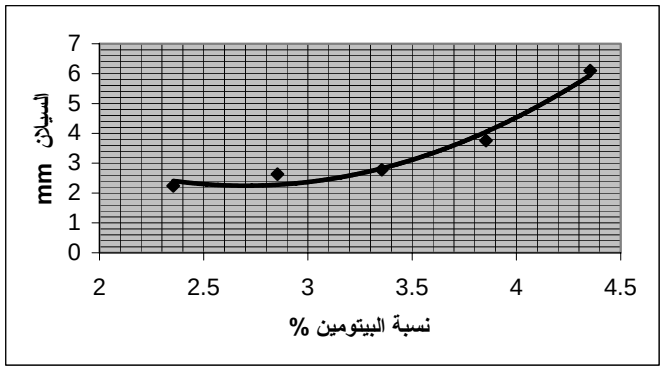


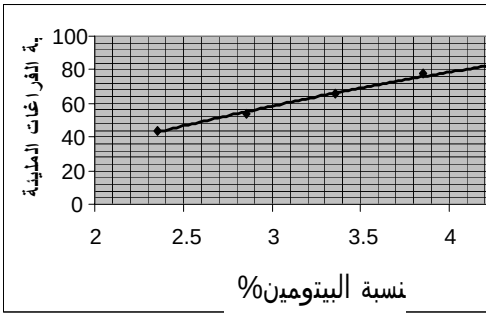


الخلطات التقليدية كذلك يلاحظ أن قيم الثبات جيدة لهذه الخلطات على الرغم مـن أن قيم الثبات لخلطات المزة 86 كانت الأخفض بين جميع الخلطات الأخرى، و قد يعود ذلك إلى كون هذه العينات هي الأقدم (12سنة) و الأسوأ مـن حيـث تـدرج المـواد المكشوطة و التي تحوي



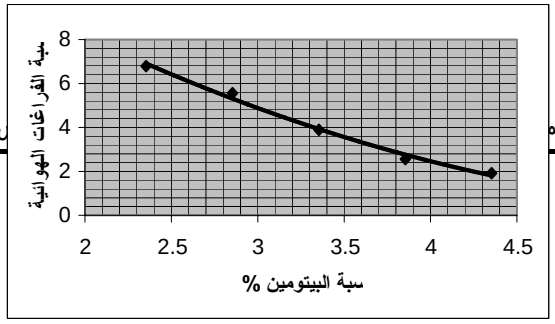




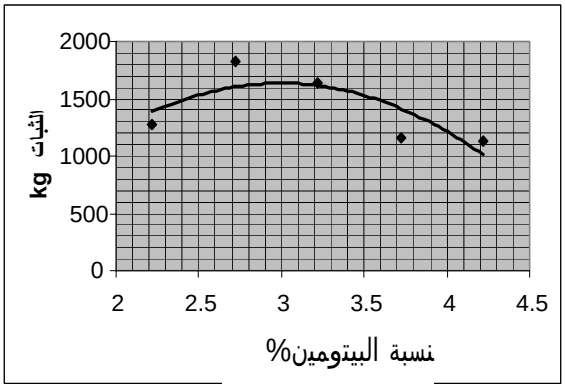


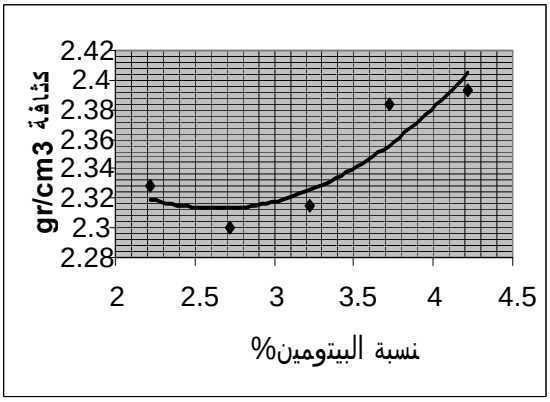
نسبة عالية من المواد الناعمة, هذا إضافة إلى التأكسد الحاد للرابط البيتـ ومين,حيـ ث كانت قيمة الغرز للبيتومين المستخاص من المواد المكشوطة (37)

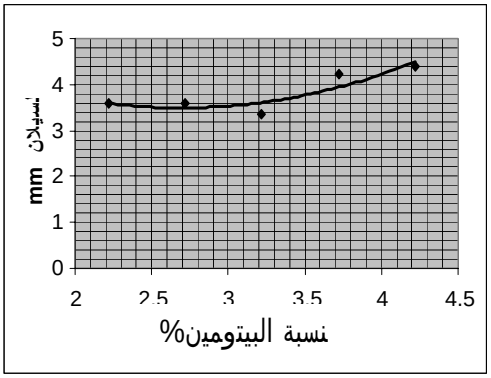
وفيما يلي نعرض نماذج لنتائج عينات السومرية باستخدام 50% مـ واد مكشـ وطة و50% مواد جديدة ,و يتبين من المخططات أن قيم الثبات عالية بشكل واضح .

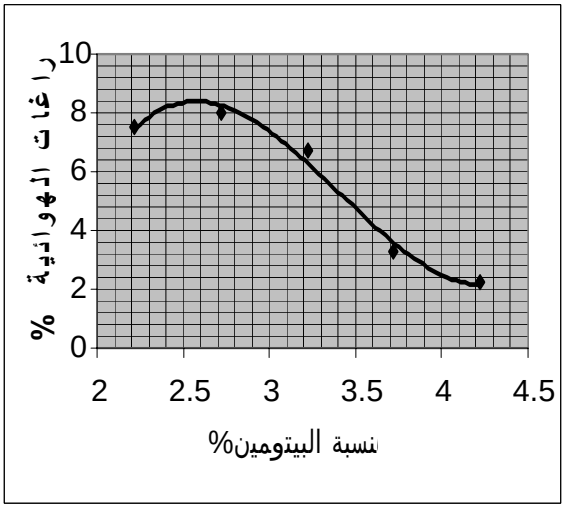


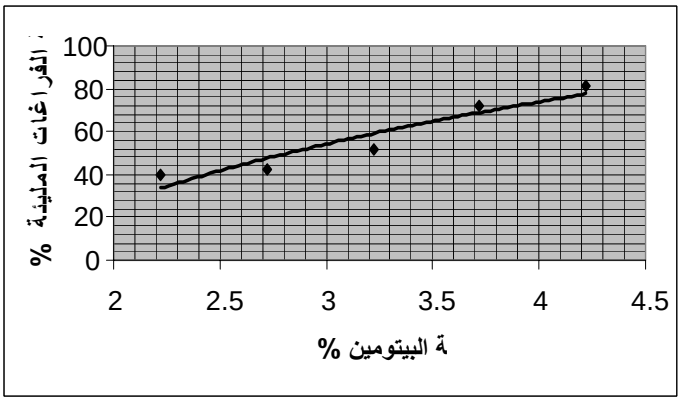
وبالمثل نماذج عن مخططات نتائج عينات السومرية باستخدام 50%مواد مكشوطة و 50% مواد جديدة، و قد كانت نتائج هذه العينات هي الأفضل حيث كان غرز البيتومين المستخلص منها هو الأفضل بين المواقع الثلاثة حيث بلغ 49، و كذلك كان تدرجها الحبي جيداً مقارنة مع عينات المواقع الأخرى.






mm سيلان
0
1
2
3
4
5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
نسبة البيتومين%


% الفراغات الهوائية
0
2
4
6
8
10
2
2.5
3
3.5
4
4.5
نسبة البيتومين%


% الفراغات المملوءة
0
20
40
60
80
100
2
2.5
3
3.5
4
4.5
نسبة البيتومين %

نسبة البيتومين%

6-1-1- معايير تقييم خلطة إعادة الاستخدام وفق معهد الإسفلت الأمريكي :

يبين الجدول(1-5) معايير تقييم خلطة إعادة الاستخدام المعتمدة من قبل معهد الإسفلت الأمريكي:(6)

المعيار	مرور خفيف		مرور متوسط		مرور ثقيل	
	الأساس	السطح	الأساس	السطح	الأساس	السطح
	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي	الأصغري	الأعظمي	الأصغري
الرص,عدد الضربات على كل وجه	35		50		75	
الثبات lb. نيوتن	750 3336		1200 5338		1800 8006	
السيلان 0.01in 0.25مم	8	20	8	18	8	16
نسبة الفراغات الهوائية	3	5	3	5	3	5

الجدول(1-5)

7-1-1-النتائج:

1- أظهرت نتائج التجارب التي أُجريت على 102 قالب لعينات مأخوذة من ثلاثة مواقع في دمشق هي : السومرية (5سنوات), المطار القديم (4سنوات), مزة

86(12سنة) أن 92%من القوالب كان الثبات فيها محققاً و 64% كانـت فيهـا قـيم السيلان محققة. و يبين الجدول التالي (6.1) متوسط قيم الثبات و السيلان و الكثافة و الفراغات الهوائية و الفراغات المليئة لجميع القوالب :

متوسط قيم الثبات kg	متوسط قيم السيلان mm	متوسط قيم الكثافة gr/cm3	متوسط قيم الفراغات الهوائية %	متوسط قيم الفراغات المليئة %
1050.26	**4.23**	**2.361**	**4.22**	**66.54**

مما يدل على تحقيق الخلطة للمواصفات المطلوبة.

2- كانت منحنيات خصائص اختبار خلطات إعادة الاستخدام بشـكل عـام مشـابهة لمنحنيات خصائص اختبار الخلطات الإسفلتية التقليديـة المكونـة مـن الإسـفلت و الحصويات الجديدة .

3- أظهرت نتائج خلطات إعادة الاستخدام أن قيم الثبات بشكل عـام كانـت عاليـة بالنسبة للخلطات التقليدية , و قد يعود ذلك نسبيا" إلى كون خلطات إعـادة الاسـتخدام ذات نسب تصلب أبطأ من الخلطات التقليدية مما يتيح وقتاً أطول لانـدماج جزيئـات الخلطة .

4- متوسط نسب البيتومين المثالية المضافة و التي حققت أفضل النتائج هـي النسـبة (3.7 %)، و قد تم الحصول عليها بحساب متوسط قيم: الثبات الأعظمي ,و الكثافـة الأعظمية ,نسبة البيتومين التي تحقق نسبة فراغات هوائية مساوية 4%.

5- أظهرت التجارب المخبرية صعوبة خلط و رص الخلطة في حالة إضـافة نسـب بيتومين أقل من (3.5 %) .

8-1-1- <u>التوصيات</u>:

1- استنادا" إلى تحقيق خلطات إعادة الاسـتخدام المصـنعة مخبريـا" للمواصـفات الفنية المطلوبة,نوصي باتباع طريقة و علاقات معهد الإسفلت الأمريكي لتصميم خلطة إعادة الاستخدام و التي أُستخدمت في البحث .

2- عدم تسخين المواد المكشوطة لدرجات حرارة عالية تتجـاوز 150C° لأن ذلـك سيؤدي إلى تأكسد إضافي للرابط الموجود في المواد المكشوطة ,ولذلك يُفضـل نقـل الحرارة اللازمة للمواد المكشوطة بشكل غير مباشر و ذلك عبر تسخين الحصـويات الجديدة المضافة إلى درجات حرارة عالية (180-190C°) ثم خلطهـا مـع المـواد المكشوطة لنقل الحرارة لها قبل إضافة الرابط الجديد .

3- نوصي بتأمين زمن تماس طويل نسبيا"(1-2) ساعة بـين البيتـومين القـديم و البيتومين الجديد المضاف قبل الرص ،حيث إن عملية التجديد (الإحياء) تأخذ مـداها بعد تقدم السيلان الاصطناعي للبيتومين القديم.

4- جودة و كمية و خصائص المواد المكشوطة تؤثر في نسبة إعـادة الاسـتخدام و استخدام الإضافات.

5- التوسع في دراسة هذا النوع من الخلطات حقليا"لدراسـة فعاليـة أدائهـا بتـأثير الحمولات الديناميكية المتكررة و تشققات التعب و تناوب التجمد و الذوبان و حمولات المرور المحلية .

6- نوصي بدراسة عدد المرات التي يمكن فيها إعادة اسـتخدام المـواد المكشـوطة بفعالية جيدة .

المراجع الأجنبية :

1-EPPS, J ,GUIDELINES FOR RECYCLING PAVEME MATERIALS ,WASHINGTON:NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 224 , 1980.
2-KALLAS, B , FLEXIBLE PAVEMENT MIXTURE DESIGN USING RECLAIMED ASPHALT CONCRETE, U.S.A:ASPHALT INSTITUTE REPORT 84-2,OCTOBER 1984.
3-WOOD, L , E ,RECYCLING OF BITUMINOUS PAVEMENTS ,BALTIMORE: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ,1987.
4-HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 160,1990.
5-DALLAS , B.ESTAKHARI, C , HOT IN PLACE RECYCLING OF ASPHALT CONCRETE , WASHINGTON: NATIONAL ACADEMY PRESS, 1994.
6-MCDANIEL, R . ANDERSON , R , RECOMMENDED USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT IN THE SUPERPAVE MIX DESIGN METHOD TECHNICIANS MANAUAL, WASHINGTON: NATIONAL AC

المراجع العربية:

7- الرفاعي, سامي.نحو خلطة إسفلتية ساخنة فنية و اقتصادية في منطقـة دمشـق, إشراف حمد,عارف. رسالة ماجستير ,جامعة دمشق ,كلية الهندسة المدنية 1992.

8- خطط صيانة محافظة دمشق لعامي 2000-2001 .*

*تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق19/ 3/ 2003