الجمهوريـــة الجزائريـــة الديمقراطـية الشعبيـــة
وزارة التعليم العـالي والبحـث العلمـي
جـامعـة: قاصـدي مربـاح –ورقلـة–
كليـــة العلـوم التطبيقيـة
قسـم الهندسـة المدنيـة والري

مذكرة تخرج لنيل شهادة:

مـــاستر مهنـــي

تخصص: دراسات ومراقبة العمارات والطرق

مقدمة من طرف:

صديقي أسامة وصديقي عبد الكريم

تحت عنوان:

دراسة تجريبية لتأثير نوع البيتومين على الخلطة الإسفلتية لمقاومة ظاهرة التخدد

والمناقشة بتاريخ: 11/06/2024

أمام اللجنة المكونة من السادة:

بوعكة وفاء	أستاذة محاضرة (ب)	رئيسا
بن زيد عبد الحميد	طالب دكتورة	مناقشا
بن طاطة عيسى	أستاذ مساعد (أ)	مشرفا

السنة الجامعية: 2024/2023

بسم الله الرحمن الرحيم

إهداء:

قال تعالى: (وآخر دعواهم أن الحمد لله ربي العالمين)

الحمد لله حباً وشكراً و إمتناناً على البدء والختام.

والصلاة على أشرف الأنبياء والمرسلين نبينا محمد وعلى آله و صحبه أجمعين.

ما أجمل أن يجود المرء بأغلى ما لديه والأجمل أن يهدى الغالي للأغلى هي ذي ثمرة جهدي أجنيها اليوم هي هدية أهديها:

إلى من ساندتني في صلاتها ودعائها إلى من سهرت الليالي تنير دربي، إلى من أفتقد حرارة تصفيقها فرحا بإنجازي في هذه اللحظة ولا أفتقد دعوتها التي أجني ثمارها كل يوم، الى من كانت سبباً في وصولي إلى هنا، إلى أمي رحمها الله وأسكنها فسيح جناته.

إلى من أدين له بحياتي، إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، إلى من سعى لأجل راحتي ونجاحي إلى أعظم وأعز رجل أبي الغالي أطال الله في عمره.

إلى من بوجودهم أكتسب قوة وعزيمة وإلى من عرفت معهم معنى الحياة إلى إخوتي وأخواتي، وإلى من كاتفني ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح إلى رفيق دربي وإبن أخي عبد الكريم.

إلى من تحلوا بالأخاء و تميزوا بالوفاء وإلى من برفقتهم سرت نحو النجاح إلى زملائي في الدراسة كل باسمه.

إلى كل الأساتذة الأفاضل الذين قدموا لنا يد المساعدة وإلى كل من كان لي خير عون في إنجاز هذا البحث وإلى كل من رفعوا رايات العلم والتعليم.

إلى كل من سقط سهواً من قلمي ولم يسقط من قلبي.

ونسأل الله أن يجزي الجميع عنا خير الجزاء في الدنيا والآخرة.

/صديقي أسامة/

إهداء :

الحمدلله حبا وشكرا وإمتنانا على البدء والختام

﴿وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفا بالتسهيلات، لكنني فعلتها فالحمدلله الذي يسر البدايات

وبلغنا النهايات بفضله وكرمه

اهدي هذا النجاح لنفسي أولا ثم الى كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة، دمتم لي سندا لا عمر له..

من كلله الله بالهيبة والوقار، إلى من أحمل إسمه بكل فخر، إلى من حصد الاشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم بعد فضل الله ما أنا فيه يعود إلى –أبي- الرجل الذي سعى طوال حياته لكي أكون أفضل منه

-أبي الغالي:صديقي إبراهيم-

إلى ملاكي في الحياة إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني إلى بسمة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي

التي كانت لي الأم والأخت والصديقة والداعمة لي ووجهتي التي استمد منها قوتي

-امي الحبيبة الغالية –

إلى من بوجودهم أكتسب قوة وعزيمة وفخر وإلى من عرفت معهم معنى الحياة إلى إخواتي و أخواتي و أعمامي وأخص بالذكر اخي الغالي الحنون عبدالحق الذي كان السند لي بعد الوالدين حفظه ورعاه، وإلى عمي الطالب صديقي أحمد الذي كان مرشدي في طريقي وحريصا على نجاحي جزاهم الله عنا خير الجزاء ، وإلى من كاتفني ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح إلى رفيق دربي وأخي وكل ما أملك في حياتي عمي أسامة صديقي.

إلى من تحلو بالأخاء وتميزوا بالوفاء وإلى من برفقتهم سرت نحو النجاح إلى زملائي في الدراسة كل بإسمه ، إلى كل من علمني حرفا إلى كل الأساتذة الافاضل الذين قدموا لنا يد المساعدة وإلى كل من كان لي خير عون في إنجاز هذا البحث وإلى كل من رفعو رايات العلم والتعليم.

الشكر كله لله، والحمدلله رب العالمين والصلاة والسلام على نبيه الكريم محمد صلى الله عليه وسلم وعلى أله وصحبه أجمعين.

/صديقي عبد الكريم/

شكر وتقدير:

بدايةً الشكر لله عزوجل الذي أعاننا وشد من عزمنا لإكمال هذا التقرير، ونشكره راكعين، الذي وهبنا الصبر والمطاولة والتحدي لنجعل هذا العمل علما ينتفع به.

قال رسول الله صلى الله عليه و سلم: {من لم يشكر الناس لم يشكر الله }

نتقدم بأجمل عبارات الشكر والإمتنان من قلوب فائضة بالمحبة والإمتنان إلى الأستاذ المشرف " بن طاطة عيسى" على جهده المبذول في تأطيره لنا، وعلى نصائحه القيمة التي مهدت لنا الطريق لإتمام هذه الدراسة، فله منا فائق التقدير و الإحترام وجزاه الله عنا خير الجزاء وأطال في عمره، كما نتوجه في هذا المقام بالشكر الخاص لأساتذتنا الذين رافقونا طيلة المشوار الدراسي ولم يبخلوا في تقديم يد العون لنا وخاصة الأساتذة: مزياني، خلو عبدالرزاق، ابي ميلود، مختاري، زنخري، خلاصي، حسيني سليمان، قبايلي نبيل .....الخ.

كما نتقدم بالشكر الجزيل لجامعة قاصدي مرباح وعلى رأسها الأساتذة كريكر عبد الواحد الذي سعى جاهدا في نجاح هذه الكلية وتطويرها وتطوير مخابرها للبحث العلمي، كما نشكره على توفير العتاد اللازم الذي سهل لنا في إنشاء مذكرتنا وساعدنا من خلاله في فهم الأجهزة المخبرية الحديثة وخاصة جهاز تجربة التخدد.

وندين بالشكر أيضا إلى كل عمال مؤسسة مخبر الأشغال العمومية في الجنوب ورقلة وغرداية وعلى رأسهم الأستاذ عبد اللطيف حفصي وإبراهيم بكوش.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة على توجيهاتهم وملاحظاتهم القيمة

وفي الختام نشكر كل من ساعدنا وساهم في هذا العمل من قريب أو من بعيد ولو بكلمة طيبة.

ملخص: تعتبر الخلطة الإسفلتية من أهم العناصر المشكلة لجسم الطريق، إلا أنها تتعرض لكثير من التشوهات الدائمة وعلى رأسها ظاهرة التخدد التي قد تعيق حركة السير وتؤدي إلى إنعدام السلامة المرورية. دراسات كثيرة تناولت بصفة تجريبية إمكانية تحسين مقاومة الطرق للتخدد وذلك بإضافة تعديلات في تركيبة الخلطة الإسفلتية أو بالتغيير في بعض مكوناتها.

في هاته الدراسة التجريبية قمنا بتغيير البيتومين (50/40) المعمول به عادة في الخلطة الإسفلتية بالبيتومين المعدل بمادة البوليمار (BMP) باستعمال بعض التجارب المخبرية، وهذا بهدف الحفاظ على البيئة عن طريق التقليل من نفايات إطارات العجلات وكذا تحسين مقاومة الخلطة الإسفلتية لظاهرة التخدد.

وقد توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج الإيجابية أهمها تأثير البيتومين المعدل بالبوليمار على زيادة مقاومة الخلطة الإسفلتية ضد ظاهرة التخدد.

الكلمات المفتاحية: خلطة إسفلتية؛ ظاهرة التخدد؛ بيتومين معدل بالبوليمر ؛ طريق؛ خرسانة بيتومينية

Résumé: Le enrobé bitumineux est l'un des éléments les plus importants du corps de chaussée, mais il est sujet à de nombreuses déformations permanentes, en particulier le phénomène d'orniérage, qui peut entraver la circulation et entraîner un manque de sécurité du trafic.

De nombreuses études ont examiné expérimentalement la possibilité d'améliorer la résistance des routes à l'orniérage en modifiant la composition du enrobé bitumineux ou en changeant certains de ses composants.

Dans cette étude expérimentale, nous avons remplacé le bitume couramment utilisé (40/50) dans l'enrobé bitumineux par du bitume modifié par des polymères (BMP) à l'aide de quelques expériences en laboratoire, dans le but de préserver l'environnement en réduisant les déchets de pneus et d'améliorer la résistance de l'enrobé bitumineux au phénomène d'orniérage.

L'étude a abouti à une série de résultats positifs, dont le plus important est l'effet du bitume modifié par des polymères sur l'augmentation de la résistance des enrobés bitumineux au phénomène d'orniérage.

Most Clés: enrobé bitumineux; Orniérage;Bitumes modifiés aux polyméres ; Route; bèton bitumineux

Summary: Asphalt concrete is one of the most important elements of the pavement body, but it is subject to many permanent deformations, especially the phenomenon of rutting, which may hinder traffic and lead to a lack of traffic safety .

Many studies have experimentally investigated the possibility of improving the resistance of roads to rutting by modifying the composition of asphalt concrete or by changing some of its components .

In this experimental study, we changed the commonly used bitumen (40/50) in asphalt concrete with polymer-modified bitumen (BMP) using some laboratory experiments, with the aim of preserving the environment by reducing tire waste and improving the resistance of asphalt concrete to the rutting phenomenon .

The study came up with a set of positive results, the most important of which is the effect of polymer-modified bitumen on increasing the resistance of asphalt concrete against the rutting phenomenon .

Key word: Asphalt mixture ;Rutting; polymer-modified bitumen; road; asphalt concrete

الفهرس	الصفحة
إهداء	I
إهداء	II
شكر وتقدير	III
ملخص	IV
الفهرس	V
فهرس الصور والأشكال	VII
فهرس الجداول	IX
مقدمة عامة	1
المحور الأول: الجانب النظري	
الفصل I: عموميات على الخلطة الإسفلتية	
مقدمة	3
1.I/ تعريف الخلطة الإسفلتية	3
2.I/ متطلبات الخلطة الإسفلتية	3
3.I/ مكونات الخلطة الإسفلتية	4
1.3.I/ المواد الحصوية(الركام)	4
1.1.3.I/ تصنيف الركام	5
2.1.3.I/ خواص الركام	5
2.3.I/ البودرة (الفيلر)	6
3.3.I/ المادة الرابطة (الروابط الهيدروكربونية)	6
1.3.3.I/ مختلف أنواع الروابط الهيدروكربونية	7
2.3.3.I/ خواص المادة الرابطة(البيتومين)	9
4.I/ تصنيف أنواع الخلطات الاسفلتية	10
1.4.I/ الخلطات الاسفلتية الساخنة	10
4.4.I/ الخلطات الإسفلتية الباردة	12
5.I/ مراحل تصميم الخلطة الإسفلتية	12
6.I/ عيوب الخلطة الإسفلتية	13
1.6.I/ ظاهرة التخدد	13
2.6.I/ مستويات شدة التخدد	13
3.6.I/ أسباب ظاهرة التخدد	14
4.6.I/ التأثير السلبي للتخدد على قيادة المركبات	14
5.6.I/ طريقة قياس عمق التخدد	14
6.6.I/ إجراءات تساهم في مقاومة التخدد	15
خلاصة	15

الفصل II: دمك الخلطة الإسفلتية	
مقدمة	17
1.II/ تعريف الدمك	17
2.II/ الهدف من الدمك	17
3.II/العوامل المؤثرة على عملية الدمك	18
4.II/ الآلات(الماكينات) المستخدمة في الدمك	20
5.II/ مراحل عملية الدمك	24
خلاصة	25
المحور الثاني: الجانب التجريبي	
الفصل III: التجارب على المواد المستعملة	
مقدمة	27
1.III/ تحديد المواد المستعملة	27
2.III/ خصائص الركام	27
1.2.III/ تجربة التدرج الحبيبي (NFP 18-560 September 1990)	27
2.2.III/ تجربة معامل التسطيح (NFP-18 561 September 1990)	29
3.2.III/ تجربة النقاوة (NFP 18-591 September1990)	30
4.2.III/ تجربة لوس أنجلوس (NF P 18-573)	30
5.2.III/ تجربة ميكرو دوفال (NF P 18-572)	31
6.2.III/ تجربة الكتلة الحجمية المطلقة (NF P 18-554)	32
7.2.III/ تجربة مكافئ الرمل (NF P 18-597)	32
3.III/ خصائص البيتومين	33
1.3.III/ تجربة الإختراق(الغرز)(NF T 66-007)	33
2.3.III/ تجربة تحديد نقطة الهبوط (الليونة)(NF T 66-008)	34
3.3.III/ تجربة الكثافة النسبية (طريقة البيكنومتر)(NF EN 15326)	36
خلاصة	37
الفصل IV: التجارب على الخلطة الإسفلتية	
مقدمة	39
1.IV/ دراسة صياغة(تركيبة) الخليط البيتوميني	39
1.1.IV/ تحديد التركيب الحبيبي الأمثل	39
2.1.IV/ تحديد محتوى المادة الرابطة(البيتومين)	41
2.IV/ وصف الخلطات(التركيبات) المستعملة	42
3.IV/ خطوات العمل لإجراء تجربة التخدد	43
3.3.IV/ إختيار القالب المناسب للإختبار	43
4.3.IV/ تحضير العينة	44

5.3.IV/ عملية الخلط	45
6.3.IV/ عملية الدمك	46
11.3.IV/ تجربة التخدد	47
خلاصة	50
الفصل V: النتائج والمناقشات	
مقدمة	52
1.V/ نتائج تجربة التخدد للخلطة الأولى(C)	52
1.1.V/ مناقشة النتائج (1)	53
2.V/ نتائج تجربة التخدد للخلطة (A)	53
1.2.V/ مناقشة النتائج (2)	54
3.V/ نتائج تجربة التخدد للخلطة (B)	55
1.3.V/ مناقشة النتائج (3)	56
خلاصة	56
خاتمة	57
قائمة المراجع	58

فهرس الصور والأشكال	الصفحة

الصورة(I-01): الخلطة الإسفلتية	3
الشكل (I-02): رسم توضيحي لمكونات الخلطة الإسفلتية [4]	4
الصورة (I-03): مقلع الحصى(محجرة)	4
الشكل (I-04): مخطط يوضح مختلف أنواع الروابط الهيدروكربونية [10]	7
الصورة(I-05): البيتومين في الحالة الصلبة	8
الصورة(I-06): البيتومين في الحالة السائلة	8
الشكل(I-07): رسم يوضح الفرق بين BMP والبيتومين التقليدي. [9]	9
الشكل (I-08): مخطط يوضح تصنيف أنواع الخلطات الإسفلتية [11]	10
الشكل(I-09): شكل التخدد	13
الصورة(I-10): موقع التخدد في الطريق	13
الصورة(I-11): توضح طريقة قياس عمق التخدد	14
الصورة(II-01): مبدأ عمل الدمك	18
الصورة(II-02): توضح طرق الضغط	21
الصورة(II-03): آلة الفرش(finisseur)	21
الصورة(II-04): ضاغطات الإطارات الهوائية	22
الصورة(II-05): ضاغطات الأسطوانة الملساء	23
الصورة(II-06): ضاغطات ديناميكية	24

الصورة(III-01): أنواع الحصى المستعمل	27
صورة(III-02): توضح أدوات تجربة التدرج الحبيبي	28
الشكل(III-03): منحنى التدرج الحبيبي للرمل 3/0	28
الشكل(III-04): منحنى التدرج الحبيبي للحصى 8/3	29
الشكل(III-05): منحنى التدرج الحبيبي للحصى 15/8	29
الصورة(III-06): توضح أدوات تجربة لوس أنجلوس	31
الصورة(III-07): توضح أدوات تجربة ميكرو دوفال (MDE)	31
الصورة(III-08): توضح أدوات تجربة مكافئ الرمل	32
الصورة(III-09): توضح أدوات تجربة الغرز	33
الصورة(III-10): توضح أدوات تجربة تحديد نقطة الليونة	34
الصورة(III-11): مقياس البيكنومتر	36
الشكل(IV-01): التركيب الحبيبي للخرسانة البيتومينية 14/0	40
الشكل(IV-02): منحنى التدرج الحبيبي للخليط 14/0	41
الشكل(IV-03): النسب المئوية للمواد المكونة للخلطات	43
الصورة(IV-04): قالب (1)	44
الصورة(IV-05): قالب (3)	44
الصورة(IV-06): وضع المواد في الفرن	44
الصورة(IV-07): قبل عملية الخلط	45
الصورة(IV-08): خلاط	45
الصورة(IV-09): خلاط	45
الصورة(IV-10): بعد عملية الخلط	45
الصورة(IV-11): جهاز الدمك	46
الصورة(IV-12): جهاز الدمك	46
الصورة(IV-13): توضح وضع الأسطوانة الحديدية	46
الصورة(IV-14): العينة بدون قالب جهاز تجربة التخدد	47
الصورة(IV-15): توضح الثقب في العينة	47
الصورة(IV-16): جهاز تجربة التخدد	48
الصورة(IV-17): جهاز تجربة التخدد	48
الصورة(IV-18): جهاز قياس عمق التخدد	49
الصورة(IV-19): العينة بعد وصولها لمتوسط عمق التخدد	49
الصورة(V-01): العينة (C) بعد التجربة	52
الصورة(V-02): توضح نتائج العينة (C)	53
الصورة(V-03): العينة (A) بعد التجربة	54
الشكل(V-04): منحنى يوضح نتائج العينة (A)	54
الصورة(V-05): العينة (B) بعد التجربة	55

فهرس الجداول	الصفحة
الجدول (I-01): تصنيفات الركام	5
الجدول (I-02): خصائص البيتومين النقي حسب المعيار الأوروبي EN 12591 [7]	8
الجدول(I-03): يوضح أساليب الصيانة حسب الشدة والكثافة. [3]	15
الجدول(II-01): الحد الأدنى لدرجة حرارة الضغط المقبولة عموما للبيتومين النقي.[18]	19
الجدول(III-01): المواد المستعملة ومواقع تصديرها	27
الجدول(III-02): نتائج تجربة معامل التسطيح	30
الجدول(III-03): نتائج تجربة النقاوة	30
الجدول(III-04): نتائج تجربة لوس أنجلوس	31
الجدول(III-05): نتائج تجربة ميكرو دوفال (MDE)	32
الجدول(III-06): نتائج تجربة الكتلة الحجمية المطلقة لكل من 3/0، 8/3، 15/8	32
الجدول(III-07): نتائج تجربة مكافئ الرمل	33
الجدول(III-08): نتائج تجربة الغرز وتحديد نقطة الليونة للبيتومين النقي 40/50	35
الجدول(III-09): نتائج تجربة الغرز وتحديد نقطة الليونة للبيتومين المعدل (BMP NAFTAL)	35
الجدول(III-10): نتائج تجربة الكثافة النسبية للبيتومين النقي 40/50 و BMP NAFTAL	36
الجدول(IV-01): نتائج التدرج الحبيبي للخليط المختار 14/0	40
الجدول(IV-02): نتائج تحديد محتوى البيتومين.[19]	42
الجدول(IV-03): أوزان المواد الخاصة بكل خلطة	45
الجدول(V-01): معلومات عن الخلطة (c)	52
الجدول(V-02): خصائص العينة (C)	52
الجدول(V-03): نتائج العينة (C)	53
الجدول(V-04): معلومات عن الخلطة (A)	53
الجدول(V-05): خصائص العينة (A)	54
الجدول(V-06): نتائج العينة (A)	54
الجدول(V-07): معلومات عن الخلطة (B)	55
الجدول(V-08): خصائص العينة (B)	55
الجدول(V-09): نتائج العينة (B)	55
الشكل(V-06): منحنى يوضح نتائج العينة (B)	56

مقدمـة عامـــة:

تعتبر شبكة الطرق من البنية التحتية الحيوية التي تلعب دورا محوريا في تعزيز التنمية الإقتصادية والاجتماعية للبلد، فهي الشبكة الرئيسية التي تسهل حركة الأشخاص والبضائع والخدمات داخل البلد وخارجه؛ وتأتي الخلطة الإسفلتية في مقدمة المواد المستخدمة لتحقيق طرق ذات جودة عالية وكفاءة طويلة الأمد، فهي تتميز بقدرتها على تحمل الأحمال المرورية الثقيلة ومقاومتها للعوامل البيئية، إلا أن تصميم هذه الخلطة يتطلب فهماً دقيقا للخصائص الميكانيكية والفيزيائية لكل مكوناتها بالإضافة إلى دراسة تأثير التغيرات البيئية والمرورية على آدائها، حيث أجريت العديد من الدراسات التجريبية السابقة على الخلطة الاسفلتية لتحسين آدائها وكفاءتها ضد التشقق والتخدد والتآكل، بالإضافة إلى تعزيز إستدامتها باستخدام مواد معاد تدويرها وتقنيات تصنيع أكثر كفاءة.

وتعد دراستنا التجريبية تكملة لهذه الدراسات، حيث نعمل من خلال هذه الدراسة إلى التعديل في تركيبة الخلطة عن طريق تغيير البيتومين العادي (50/40) إلى بيتومين معدل بمادة البوليمار ومعرفة مدى تأثير هذا التغيير في زيادة مقاومة وتماسك الخلطة ضد ظاهرة التخدد.

السؤال المطروح هل سيؤثر نوع البيتومين المعدل بمادة البوليمار على الخلطة الإسفلتية لمقاومة هذه ظاهرة؟

قمنا بتقسيم الدراسة إلى محورين، الجانب النظري والجانب التجريبي

الجانب النظري يتكون من فصلين:

الفصل الأول: يتيح لنا تقديم عموميات على الخلطة الإسفلتية (تعريفها، مكوناتها، أنواعها....)

الفصل الثاني: يوضح عملية دمك الخلطة الإسفلتية والماكينات المستخدمة في ذلك....

الجانب التجريبي يتكون من 3 فصول:

الفصل الثالث: يوضح التجارب على المواد المستعملة في الخلطة الإسفلتية ونتائجها

الفصل الرابع: يتناول وصف التركيبات المستعلمة في الدراسة، ويوضح تجربة التخدد وطريقة القيام بها.

الفصل الخامس: يبين النتائج المتحصل عليها ومناقشتها.

المحور الأول:

الجانب النظري.

الفصل I: عموميات على الخلطة الإسفلتية

مقدمــة:

تعد الخرسانة الإسفلتية من أكثر وأهم الخلطات استخداماً في إنشاء طبقات رصف الطرق، ويكون سمكها محصور بين 5 سم في الطرق ذات حركة سير خفيفة إلى 10 سم ذات حركة سير ثقيلة (الطرق الوطنية)، من خلال هذا الفصل سنتطرق إلى تحديد المواصفات المتعلقة بهذه الخلطة بما في ذلك جميع المواد الداخلة في تركيبها وكذا أنواعها ومراحل تصميمها وأحد عيوبها الذي يعتبر أساس دراستنا.

I. 1/ تعريف الخلطة الإسفلتية:

هي عبارة عن كتلة متماسكة من الركام المتدرج المغلف بالإسفلت العادي أو المعدل، تتخللها فراغات هوائية تستعمل في رصف أسطح الطرق والمطارات والمواقف والساحات الصناعية والميادين، يشكل الركام عناصر الهيكل الإنشائي للخلطة وهو النسبة الكبرى في الخلطة بمقدار 93% إلى 96% أما الإسفلت فيربط العناصر ببعضها.

وتسمى الخرسانة البيتومينية أيضا بـ(المغلف) و هو المصطلح الأكثر شيوعاً لأنه يشمل مخاليط لا يكون رابطها بالضرورة (إسفلت، قطران...).[1]

الصورة(I-01): الخلطة الإسفلتية

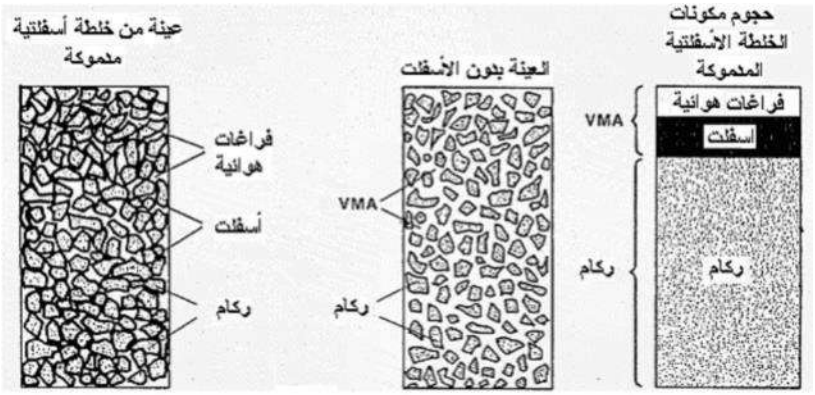
I. 2/ متطلبات الخلطة الإسفلتية:

- **قابلية التشغيل:** سهولة تشكيل وإعادة تشكيل الخلطة أثناء الرصف بحيث يتماشى سطحها مع الخطوط التصميمية دون أن تفكك أو تتشقق أو يتشوه سطحها أو تنفصل مكوناتها.
- **المرونة:** التجاوب مع القوى المؤثرة دون حدوث إنكسار.
- **الثبات:** القدرة على مقاومة التشوه الناتج عن الأحمال المرورية والبيئية.
- **المتانة:** القدرة على مقاومة العوامل البيئية وثبات الخواص مع مرور الزمن.

- **قابلية الدمك:** سهولة دك الخلطة للحصول على الكثافة المطلوبة أثناء التنفيذ دون إلحاق الضرر بالخلطة أو بمكوناتها. **[1]**

I. 3/ مكونات الخلطة الإسفلتية:

تتشكل الخلطة الإسفلتية من مكونات أساسية تتمثل في: مواد حصوية، مادة رابطة، بودرة (فيلر)، مواد مضافة، فراغات.



الشكل (I-02): رسم توضيحي لمكونات الخلطة الإسفلتية **[4]**

I.3.1/ المواد الحصوية(الركام):

يشكل الركام ما يقارب **95%** من الخلطة الإسفلتية ويعتبر المكون الأساسي لها، حيث يستخدم بدون أي رابط في طبقات الرصف؛ تعتمد مقاومة طبقات الرصف للإجهادات الميكانيكية والحرارية على خواص المواد الحصوية مما يؤثر على مقاومة الطرق للتشوهات والتآكل. لذا، فإن معرفة خواص المواد الحصوية ضرورية لتحقيق الدمج المثالي وكذا آداء ومتانة الطبقة، وتتراوح أبعاد حبيباتها بين 50 ملم و0.075 ملم.**[2]**

_ يتواجد الركام بأشكال متعددة منها المكعب والمستطيل والمستدير ومنها ما يكون سطوحه خشنة ومنها ما يكون سطوحه ملساء ناعمة ويعتمد الشكل على طريقة إستخراج الركام ونوعية الحجر وكذا نوعية الكسارات ويمكن تقسيمه الى مايلي:

❖ **ركام الأحجار (المقالع):** وهو الركام الناتج من الصخور المكسرة بالكسارات، ويكون مدبب الرؤوس، خشن السطوح وبأشكال مكعبة ومبسطة ويعتبر من أهم مكونات الرصف كما أن حجم حبيباته تكون حسب الطلب 0/3-3/8-8/15.

الصورة (I-03): مقلع الحصى(محجرة)

❖ **ركام الوديان:** يتواجد هذا النوع من الركام في الوديان ويكون مستديرا وأملس السطح وليس له رؤوس مدببة وقوياً نسبياً.**[4]**

I. 1.1.3/ تصنيف الركام:

يتم تصنيف الركام إلى فئات حبيبية مختلفة وفقًا لحجم العناصر، ويكون التعبير عن الحجم بالميليمتر.

الفئة	الأبعاد
كتلة صخرية	> 200 مم
حصى الشواطئ	20 إلى 200 مم
حصى	2 إلى 20 مم
رمل خشن	0.2 إلى 2 مم
رمل ناعم	20 إلى 200 ميكرومتر
الطمي	2 إلى 20 ميكرومتر
الطين	< 2 ميكرومتر

الجدول (I-01): تصنيفات الركام

I. 2.1.3/ خواص الركام:

إن خواص الركام تؤثر تأثيراً مباشراً على آداء الخلطة، وتشمل:

- ✓ **الصلابة:** تعبر عن مقاومة الركام للتكسير والتفتت خلال عمليات الخلط والنقل والدمك والخدمة.
- ✓ **النظافة:** تتمثل في خلو الركام من الشوائب مثل المواد الطينية والمواد الهشة وأي مواد غريبة.
- ✓ **المتانة:** تمثل مقاومة الركام للتفتت نتيجة تغير العوامل البيئية، مثل تعاقب دورات الرطوبة والجفاف والحرارة والبرودة.
- ✓ **التركيب المعدني:** يشير إلى المعادن المكونة للركام والتي تحدد خصائصه الرئيسية مثل الصلابة والمتانة، ومدى توافق خواص سطح الركام مع الرابط الإسفلتي وقوة الالتصاق بينهما ومقاومة التفاعل مع الماء.
- ✓ **التدرج:** يشير إلى التوزيع الحجمي لحبيبات الركام بطريقة تضمن تماسًا أمثل بين الحبيبات ووجود فراغات كافية في الركام المعدني لإستيعاب الرابط الإسفلتي اللازم وضمان الأداء المطلوب.
- ✓ **الشكل:** يشير إلى الشكل الهندسي لحبيبات الركام (كروي، شبه كروي، مضلع، أو مسطح)، والذي يحدد مدى تداخلها ودعمها المتبادل.
- ✓ **الملمس:** يشير إلى التضاريس الدقيقة لسطح حبيبات الركام وكيفية تأثيرها على معامل الاحتكاك الداخلي والخارجي، وبالتالي على الثبات ومقاومة الانزلاق.

- ✓ **نسبة التكسير:** تعبر عن نسبة عدد حبيبات الركام التي تحتوي على وجه مكسر واحد على الأقل إلى العدد الكلي لحبيبات الركام في العينة.
- ✓ **الكثافة النوعية:** تشير إلى الوزن بالنسبة لحجم معين من الركام مقارنة بوزن نفس الحجم من الماء المقطر الخالي من الهواء، وتقاس عند درجة حرارة 25 م°.**[1]**

I.2.3/ البودرة (الفيلر):

هي المواد الناعمة والتي مقاسها أقل من 2 مم ويمر حوالي 70% من منخل رقم 200 (0.075 مم) وتكون عبارة عن حبيبات دقيقة أو غبار، حيث تعمل على تحسين الخلطة الإسفلتية وذلك عن طريق:

_تقليل نسبة الفراغات بين حبيبات الركام.

_زيادة كثافة الخلطة الإسفلتية.

_الزيادة من مقاومة الخلطة للعوامل الجوية.

_ زيادة ثبات الخلطة الإسفلتية.

ولكن إذا زادت نسبة الفيلر عن نسبة معينة من الممكن أن تؤدي إلى:

_ ضعف ثبات الخلطة وبالتالي حدوث عيوب (تخدد أو تشوهات..).

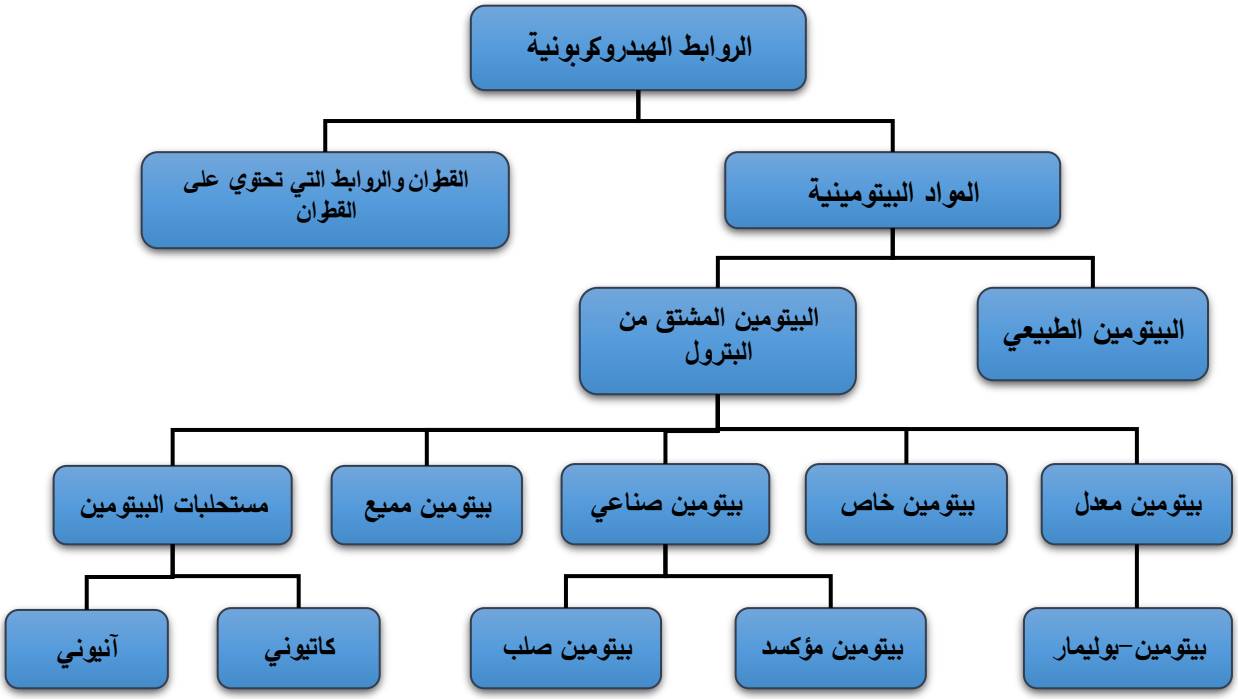
_تقل نسبة الفراغات في الخلطة الإسفلتية وبالتالي عدم وجود فراغات كافية تسمح بتمدد المادة الرابطة(البيتومين) عند ارتفاع درجة الحرارة.**[2]**

I.3.3/ المادة الرابطة (الروابط الهيدروكربونية):

تعتمد الروابط الهيدروكربونية المستخدمة في الرصف على مجموعة متنوعة من الموارد: البيتومين والقطران (القار) ومستحلبات البيتومين، المادة الرابطة الهيدروكربونية هي مادة عضوية مكونة من الهيدروكربونات أي أنها تعتمد أساسا على الكربون والهيدروجين، ويضاف إليها الأكسجين والكبريت. **[5]**

يمكن تعريف " **المادة الرابطة** " على أنها مادة تعمل على تجميع الجسيمات الصلبة بشكل عام بطريقة متينة، بالإضافة إلى قدرتها على تطوير قوى الإلتصاق والتماسك داخل الخليط مما يضمن صلابة ومقاومة قوى الشد والقص الناتجة عن التأثيرات الخارجية.**[1]**

I.1.3.3/ مختلف أنواع الروابط الهيدروكربونية: يتم تصنيف هذه الروابط إنطلاقاً من الروابط البيتومينية التي تحتوي على مادة البيتومين، والروابط القائمة على القطران وذلك وفقاً لمصدرها: طبيعية، مشتقة من البترول، ويتم التفريق بين المواد البيتومينية القائمة على النفط وفقا لتركيبها واستخدامها كما هو موضح في الشكل **(I-04)**:



الشكل (I-04): مخطط يوضح مختلف أنواع الروابط الهيدروكربونية **[10]**

أ- **البيتومين الطبيعي:** يوجد البيتومين طبيعيا على شكل بقايا من رواسب النفط القديمة، وقد تم التخلص من العناصر الخفيفة منها بمرور الوقت عن طريق عملية تقطير طبيعية؛ يمكن العثور على هذه الرواسب إما على شكل بحيرات أو طبقات تحت سطح الأرض.

ب- **البيتومين النقي:** يتم الحصول عليه عن طريق تكرير الخامات البترولية ولا يحتوي على أي إضافات. واعتماداً على كيفية تصنيعه، يمكن الحصول على البيتومين بقوام مختلف؛ حيث تحدد الظروف المناخية ونوع المشروع إختيار النوع المناسب وهناك عدة أنواع من البيتومين، تتراوح من الأكثر صلابة إلى الأكثر ليونة، ويتم تحديد ذلك من خلال إختبار مقاومة الغرز ودرجة اللزوجة ويمكن تمييزها بعدة فئات من بينها 30/20، 50/40، 70/50، 100/70... **[6]**

الصورة(I-05): البيتومين في الحالة الصلبة

الصورة(I-06): البيتومين في الحالة السائلة

- **خصائص البيتومين النقي حسب المعيار الأوروبي EN 12591:**

الخصائص	الوحدة	المعيار	الفئـــات				
			20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
درجة الغرز 25م°، 100g، 5S	مم 1/10	EN 1426	30-20	50-35	70-50	100-70	220-160
درجة الليونة (TBA)	م°	EN 1427	63-55	58-50	54-46	51-43	43-35

الجدول (I-02): خصائص البيتومين النقي حسب المعيار الأوروبي EN 12591 **[7]**

ت- **القطران(قودرون)**: منتج يتم الحصول عليه من تقطير مواد مختلفة مثل: الفحم والخشب والخث، وهو أقل قابلية للذوبان من البيتومين.

ث- **مستحلبات البيتومين**: يتم تحضير المستحلبات البيتومينية عن طريق تسخين البيتومين في وجود الماء لدرجة حرارة 135م° حيث يتحول إلى أجزاء صغيرة جداً تنتشر في الماء وللحفاظ على هذا الإنتشار يتم إضافة معامل إستحلاب مثل الصابون أو الراتنج أو السيليكات حيث يعمل معامل الاستحلاب على عدم تجمع جزيئات البيتومين مرة أخرى أثناء فترة التخزين؛ وعندما يفرش المستحلب البيتوميني على الطريق فإن الماء الموجود به يتبخر تاركاً جزيئات الإسفلت التي تغلف حبيبات الركام.**[8]**

ج- **البيتومين المعدل**: هو البيتومين الذي يتم تعديله أو تغيير خصائصه من خلال إضافة مواد أخرى مثل المطاط أو البوليمرات حيث يهدف ذلك إلى تعزيز خصائصه مثل المرونة ومقاومة التآكل والتشققات وتحسين آدائه في رصف الطرق.

❖ **البيتومين المعدل بالبوليمار(BMP):**

BMP نفطال هو بيتومين تم تعديل خصائصه الريولوجية أثناء التصنيع باستخدام بوليمرات إصطناعية.

- وهو ما اعتمدناه في دراستنا.

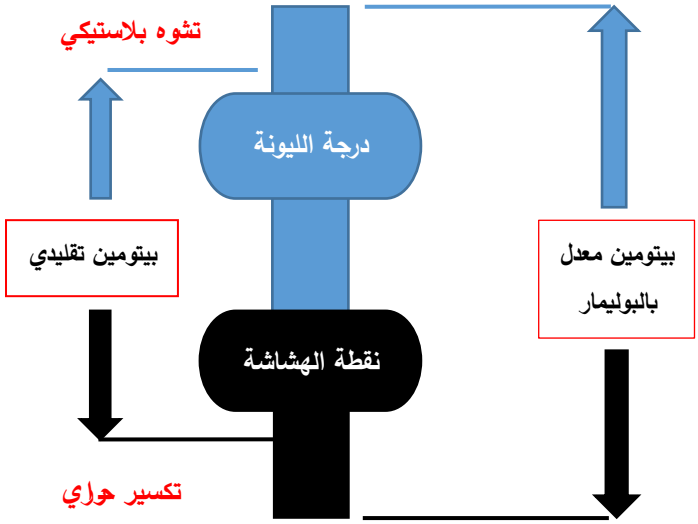
✓ **مجالات إستخدامه:**

_يستخدم في الخلطات الإسفلتية المناسبة للطرق التي تحمل حركة مرور ثقيلة جداً وموجهة لدرجات حرارة عالية بشكل دائم، مثل الطرق السريعة وطرق الحافلات.

_يمنح الخلطات الإسفلتية سلوكاً محسناً في مقاومة التخدد ومقاومة جيدة للتشقق الحراري في درجات الحرارة المنخفضة، ومثالي للطرق في البيئات الصحراوية.

_يوفر أداءً عالياً جداً لخلطات الإسفلت المستخدمة في الموانئ والمطارات والبنى التحتية الصناعية.

_يضمن متانة أفضل للطلاءات السطحية بسبب خصائصه الميكانيكية واللاصقة.**[9]**



الشكل(I-07): رسم يوضح الفرق بين BMP والبيتومين التقليدي. **[9]**

I.2.3.3/ خواص المادة الرابطة(البيتومين):

بالرغم من أن البيتومين لا يشكل سوى حوالي 5% من وزن الخلطات الاسفلتية، إلا أنه يلعب دوراً أساسياً في آدائها؛ وتتمثل خواصه في:

✓ **المرونة:** القدرة على التمدد والانكماش دون تكسير أو تفتت، مما يسمح له بالتكيف مع تغيرات درجات الحرارة وحركة المرور.

✓ **اللزوجة:** قدرته على إلتصاقه بالركام وتشكيل طبقة رصف متماسكة ومتجانسة.

✓ **المتانة:** قدرته على مقاومة التآكل والتلف نتيجة التعرض لعوامل البيئة وحركة المرور المستمرة.

✓ **الإلتصاق:** القدرة على التماسك بين الركام والبيتومين لضمان تكوين طبقة رصف قوية ومتينة.

✓ **مقاومة الماء:** قدرته على مقاومة اختراق الماء والحفاظ على قوة الرابط بين جسم الطريق والطبقة الرابطة.

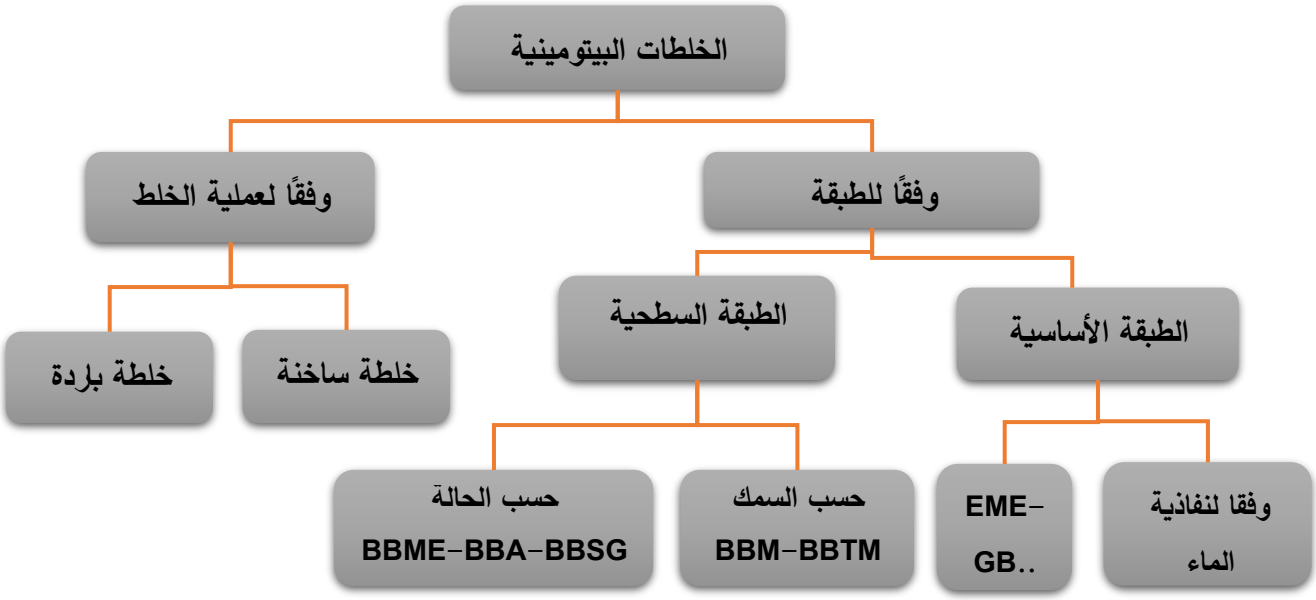
I.4.3/ المضافات والمحسنات: مواد معدنية أو لدائن بلاستيكية أو أحماض آمنية تستعمل لتحسين خواص الرابط الإسفلتي أو تحسين إلتصاقه بالركام ومنع التقشر والتأكسد.

I.5.3/ الفراغات: فراغات هوائية متبقية بين حبيبات الركام والتي لم يتم ملؤها بالرابط الإسفلتي. **[1]**

I. 4/ تصنيف أنواع الخلطات الاسفلتية:

في قطاع الطرق نواجه عدة أنواع من الخلطات الاسفلتية تختلف إما بالمكونات أو بالتدرج الحبيبي أو بطريقة الخلط والتحضير أو بالغرض المطلوب.

_ الرسم البياني التالي يساعدنا على معرفة الإختلافات الرئيسية بين هذه الأنواع:



الشكل (I-08): مخطط يوضح تصنيف أنواع الخلطات الإسفلتية **[11]**

I. 1.4/ الخلطات الإسفلتية الساخنة:

تعرف كذلك بالخرسانة الإسفلتية و هي خلطات الرصف الرئيسية المستخدمة اليوم في رصف معظم الطرق والشوارع ومحطات وقوف المركبات وغيرها من الساحات، حيث أثبتت أنها تتحمل أثقل أنواع المرور في حالة تصميمها وتجهيزها جيداً، وتتكون الخلطة من ركام متدرج تدرجاً منتظماً و بودرة و إسفلت صلب ذي درجة غرز مختلفة، ويتم إنتاج الخلطات الساخنة في محطات خلط خاصة حيث يتم فيها تسخين الركام والإسفلت إلى درجة حرارة ما بين(139-163) درجة مئوية وبعدها تنقل الخلطة ساخنة إلى الموقع وتفرش بالفرّاشات ثم تدمك كطبقة سطح إما مفردة أو مزدوجة. **[4]**

أ- **الخرسانة البيتومينية (BB):** عبارة عن خليط حبيبي مستمر يتكون من الحصى والرمل والحشو والمواد الرابطة البيتومينية والمواد المضافة المحتملة.

_الفئات الحبيبية للخرسانة البيتومينية هي كما يلي: BB 0/8، BB 0/12، BB 0/14. **[12]**

هذا الخليط مناسب تمامًا للطبقات السطحية في الطرق ذات حركة مرورية كثيفة بسبب خصائصه الميكانيكية الجيدة يتم إستخدامه لكل من الطرق الجديدة والتعزيزات، ويتم تصنيعه وفرشه ودمكه على الساخن. **[13]**

ب- الخرسانة البيتومينية الرقيقة (BBM): يبلغ حجم حبيباتها 10/0 أو 14/0؛ هذه الخرسانة البيتومينية قابلة للضغط بسهولة وهي مقاومة للماء تمامًا، وتستخدم بشكل رئيسي في مواقف السيارات أو الأرصفة ويتراوح سمكها من 2.5 إلى 5سم.

ت- الخرسانة البيتومينية الرقيقة جداً (BBTM): هذا بلا شك الخليط الأكثر إثارة للاهتمام من حيث نسبة الجودة مقابل السعر، في الواقع يتمتع بعمر إفتراضي جيد جدًا بالإضافة إلى سهولة التنفيذ بغض النظر عن حجم الحبيبات (10/0 أو 6/0)، فإن سمك BBTM يتراوح بين 1.5 و3سم.

ج- الخرسانة البيتومينية المرنة (BBS): كما يوحي إسمها، تتكون هذه الخرسانة من البيتومين المرن بدرجة كافية للحصول على خليط قابل للتشوه، ومع ذلك فإن مقاومتها للتخدد منخفضة.

ح- الخرسانة البيتومينية شبه الحبيبية (BBSG): هذا هو الخليط الساخن المرجعي في الواقع، فهو يلبي العديد من الإحتياجات (الأرصفة، الممرات، وغيرها) وهو مناسب جدًا لحركة المرور المتوسطة والثقيلة؛ ويتراوح سمكه من 3 إلى9 سم حسب حجم الحبيبات. **[14]**

خ- الخرسانة البيتومينية ذات المعامل العالي (BBME): هي عبارة عن طلاء(خليط) هيكلي، يستخدم كطبقة رابطة أو كطبقة سطحية معرّضة لأحمال ثقيلة (طريق ذو حركة مرور كثيفة، دوار)؛ ويكون تدرجها 10/0 أو 14/0. يتم استخدام هذا الخليط ذو معامل الصلابة العالي بسمك يتراوح من 4 إلى 9 سم لكل طبقة.

مناسب بشكل خاص لمسار الطرق المجهدة بشدة بسبب حركة المرور الكثيفة (الطرق السريعة، والممرات البطيئة، وممرات الحافلات والشاحنات...) وأرصفة المطارات. **[15]**

د- الحصى البيتومين (GB): عبارة عن خليط ذو حبيبات مستمرة 20/0 يحتوي على نسبة منخفضة من البيتومين بالإضافة إلى الركام والرمل والحشو (فيلر) والمواد الإضافية المحتملة؛ وهو مناسب للطبقة الأساسية من الطرق والطرق

السريعة والمطارات، يتم تصنيعه وتنفيذه ودمكه على الساخن ويضمن القدرة التحملية للطريق وتوزيع الأحمال المرورية المنقولة عبر الطبقات السطحية، متوسط سمكه يتراوح بين 8 و14 سم.

كما يتم استخدامه أيضًا لإنشاء المظهر الجانبي المطلوب للطريق على التوالي كطبقة إعادة تشكيل. **[12]**

I.4.2/ الخلطات الإسفلتية الناعمة: تتكون من حجم واحد من الركام الخشن ونسبة كبيرة من الركام الناعم (الرمل) تصل إلى 50% من وزن الخلطة ونسبة غنية من مادة البيتومين (8 – 10%) ونظراً لعدم وجود تدرج جيد في أحجام الركام المستعملة فإن كثافة هذه الخلطة تكون منخفضة نسبيا وكذلك ثباتها.

I.4.3/ الخلطات الإسفلتية المسامية: تتصف بارتفاع مساميتها ونفاذيتها للماء، حيث تتكون الخلطة من نسبة عالية من الركام الخشن ونسبة قليلة من المواد الناعمة وتكون نسبة البيتومين فيها (5 – 6%) وهذا يعطي للخلطة نسبة فراغات مرتفعة تسمح بالنفاذية للمياه؛ ويفضل استخدامها خاصة في المناطق الماطرة وطبقات الرصف الخاصة بالمواقف.**[4]**

I.4.4/ الخلطات الإسفلتية الباردة: تستخدم في أعمال ترميم الطرق في حالة وجود الحفر والمطبات التي تتكون في أسطح الطرق، كما يمكن إستخدامها كطبقة رابطة أو طبقة سطحية في حالة الطرق الثانوية؛ حيث تستخدم فيها المواد المحلية مع معدات بسيطة بالمقارنة بالخلطات الساخنة وكذلك عدم الحاجة إلى تسخين الركام. **[15]**

I. 5/ مراحل تصميم الخلطة الإسفلتية:

بغض النظر عن الطريقة المتبعة، فإن تصميم الخلطات الإسفلتية يمر بعدة مراحل أهمها:

- **المرحلة الأولى:** إختيار المواد الداخلة في تركيب الخلطة: ركام، بيتومين، مضافات ومحسنات.
- **المرحلة الثانية:** أخذ عدد كافي من العينات الممثلة من جميع المواد وفحصها للتحقق من مطابقة المواد المختارة للمواصفات وإمكانية دمج الركام للحصول على التدرج المطلوب.
- **المرحلة الثالثة:** خلط الركام مع نسب متباينة من الرابط الإسفلتي وحساب الخواص الحجمية وفحص مؤشرات القوة إن وجدت وعرضها بيانياً لاختيار النسبة المثلى للرابط الإسفلتي .
- **المرحلة الرابعة:** إعداد خلطة عند النسبة المثلى للرابط الإسفلتي والتحقق من مطابقتها للمواصفات.
- **المرحلة الخامسة:** تنفيذ مقطع تجريبي للتأكد من إمكانية إنتاج الخلطة بالخلاطة وإمكانية فردها ودكها حسب المواصفات دون إتلافها.

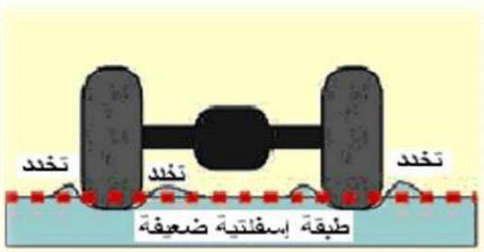
❖ **المرحلة السادسة:** إجازة الخلطة.**[1]**

I. 6/عيوب الخلطة الإسفلتية:

هناك أشكال مختلفة من العيوب التي تحدث للخلطات الإسفلتية مما يصيبها بالتلف والإنهيار ومحدودية عمرها التشغيلي وذلك نتيجة الأحمال المرورية الزائدة والعوامل البيئية، ومن أبرز هذه العيوب ظاهرة التخدد.

I.6.1/ ظاهرة التخدد: [3]

هي هبوط في سطح الطريق (بشكل قنوات) في منطقة مسار إطارات السيارات، وبالأخص في الجهة ذات الأحمال المرورية الثقيلة ويعتبر التخدد من العيوب الوظيفية في الطبقات الإسفلتية، ولكن يدخل ضمن العيوب الإنشائية في حالة مستوى التخدد عالي الشدة؛ ويتعلق التخدد بالأحمال وسماكات الرصف والمواد ويحدث نتيجة الدك والحركة المرنة العرضية لطبقة ما أو لكل طبقات الرصف بما فيها طبقة القاعدة، ويظهر التخدد بعد هطول الأمطار عندما تمتلىء مسارات الإطارات بالماء مما تسبب خطورة على الحركة، كما تنشأ خطورة أخرى عندما يكون التخدد عميق ويصعب التحكم في توجيه السيارة؛ يوضح الشكل(I-09*10) شكل التخدد وموقعه في الطريق.



الشكل(I-09): شكل التخدد

الصورة(I-10): موقع التخدد في الطريق

I.6.2/ مستويات شدة التخدد:

يمكن تقسيم عمق التخدد الظاهر على سطح الطريق إلى ثلاث مستويات والمتمثلة في:

- **مستوى الشدة المنخفض:** يتراوح متوسط العمق لهذا المستوى بين 6 ملم و13 ملم.
- **مستوى الشدة المتوسط:** يتراوح متوسط العمق عند هذا المستوى بين 14 ملم و25 ملم.
- **مستوى الشدة العالي:** يتراوح متوسط العمق إلى أكثر من 25 ملم.**[3]**

I.3.6/ أسباب ظاهرة التخدد:

هناك عدة أسباب قد تؤدي إلى فشل الطريق وظهور عيوب على سطحها مثل التخدد، ومن بين هذه الأسباب:

_ درجات الحرارة العالية.

_ ضعف الدمك.

_ ضعف المواد أو ضعف مواد تصميم الخلطة في إنضغاط الطبقات.

_ زيادة الأحمال المرورية.

_زيادة سمك الطبقة الإسفلتية.

_ زيادة نسبة المواد الناعمة في الخلطة الإسفلتية.

_ نوع وخواص المواد المستعملة في الخلطة الإسفلتية ونسبها في الخليط. **[3]**

I.4.6/ التأثير السلبي للتخدد على قيادة المركبات:

عندما يكون هناك تخدد في سطح الطريق فإن هذا التخدد ربما يكون له تأثير سلبي على خصائص قيادة المركبة وربما يعرقل تصريف الماء من السطح، حيث أن هذا الأمر قد يقلل من الإحتكاك ويساهم في إنزلاق إطارات المركبة (نتيجة تكوين قنوات مائية يسير داخلها الماء).

I.5.6/ طريقة قياس عمق التخدد:

يقاس متوسط عمق التخدد بوضع مسطرة طولها 1.2 متر تتقاطع عمودياً على التخدد ويتم تسجيل أقصى عمق، بعدها تؤخذ متوسط القياسات كل 6 أمتار من طول التخدد لتحديد مستوى الشدة، كما هو موضح في الصورة(I-11).

الصورة(I-11): توضح طريقة قياس عمق التخدد

I.6.6/ إجراءات تساهم في مقاومة التخدد:

من الممكن إتخاذ بعض الإجراءات لمقاومة ظاهرة التخدد والحفاظ على جسم الطريق وإطالة عمره التشغيلي، ومن أهم هذه الإجراءات:

_ عدم زيادة نسبة البيتومين واستخدام بيتومين عالي االلزوجة.

_ عدم إستعمال المواد الناعمة (الفيلر) بنسبة كبيرة.

_ دمك الخلطة الإسفلتية جيدا للحصول على نسبة الدمك المطلوبة.

_متابعة أوزان المركبات المحملة.

_عدم زيادة سمك طبقات الرصف.

_ مراقبة نسبة الفراغات في الخلطات الإسفلتية .

_درجة حرارة الخلطة في الخلافة 160±5 م° وفي الموقع أثناء الدمك 140±5 م°. **[8]**

I.6.7/ طرق معالجة(صيانة) التخدد:

يبين الجدول أساليب الصيانة المقترحة للتخدد حسب الشدة والكثافة:

الكثافة / الشدة	منخفضة	متوسطة	عالية
	أقل من 10%	ما بين 11 و50%	أكثر من 50%
منخفضة	لا تفعل شيئا	لا تفعل شيئا	لا تفعل شيئا
متوسطة	كشط وإعادة رصف	كشط وإعادة رصف	كشط وإعادة رصف
عالية	ترقيع عميق	ترقيع عميق	إعادة إنشاء

الجدول(I-03): يوضح أساليب الصيانة حسب الشدة والكثافة.**[3]**

خلاصة:

تعتبر الخلطة الإسفلتية عنصرا حيويا في بناء وصيانة البنية التحتية للطرق، من خلال هذا الفصل إكتسبنا الكثير من المعلومات حول الخلطة الإسفلتية والمواد المشكلة لأهم طبقات الرصف، حيث تقدم حلولا فعالة وقوية لمتطلبات النقل الحديثة، وعلى الرغم من فوائدها الكبيرة، تظل هناك تحديات وعيوب قد تصيبها ومن بينها ظاهرة التخدد، وهذا قد يكون من عدة أسباب أبرزها ضعف المواد المكونة للخلطة وعدم دمكها جيدا، حيث أن الدمك يلعب دورا أساسيا في إستقرار الخلطة الإسفلتية ويعزز من قوتها ومتانتها وهذا ما سنتطرق إليه في الفصل الثاني.

المحور الأول:

الجانب النظري.

الفصل II: دمك الخلطة الإسفلتية

مقدمــة:

تُعتبر عملية دمك الخلطات الإسفلتية جزءًا أساسيًا من تنفيذ وإنشاء الطرق والجسور والمطارات، حيث تضمن هذه العملية تحقيق الإستقرار والمتانة للطريق؛ الدمك هو عملية ضغط وتثبيت الخليط الإسفلتي للوصول إلى كثافة مناسبة تمنع تشكل الفراغات الهوائية وتقلل من تأثر الأسطح بالعوامل البيئية والمرورية، تتضمن هذه العملية إستخدام معدات متخصصة مثل المداحل الإسفلتية المختلفة التي تعمل على تسوية وضغط الخليط الإسفلتي بشكل منتظم, الهدف من عملية الدمك هو تحسين الآداء العام للطريق وزيادة عمره الإفتراضي بالإضافة إلى توفير سطح أملس وآمن للإستخدام.

II. 1/ تعريف الدمك:

الدمك هو عملية ميكانيكية تهدف إلى تقليل حجم الفراغات الهوائية داخل المواد الحبيبية مثل الخلطات الإسفلتية عن طريق إستخدام الضغط أو الإهتزاز أو الدمك الثابت؛ يتم تحقيق ذلك باستخدام معدات متخصصة مثل المداحل الإسفلتية أو آلات الإهتزاز ؛ الهدف الرئيسي من عملية الدمك هو زيادة كثافة المادة، مما يعزز إستقرارها وقوتها ويقلل من إحتمالية حدوث هبوط أو تشققات في المستقبل؛ في سياق إنشاء الطرق يساعد الدمك الفعّال على تحسين أداء الأسطح الإسفلتية وزيادة عمرها الإفتراضي. **[16]**

II. 2/ الهدف من الدمك:

يهدف الدمك إلى إكمال عملية الضغط التي تم تنفيذها جزئياً بواسطة آلة الفرش(فينشر)، وبما أن عملية الدمك هي الخطوة الأخيرة فإنها تؤثر بشكل مباشر على جودة ومظهر الطبقة السطحية للطريق، حيث يجب رص الطبقات البيتومينية بأفضل شكل ممكن لتجنب التشوهات الناتجة عن حركة المرور والظروف الجوية؛ وللدمك عدة أغراض من بينها:

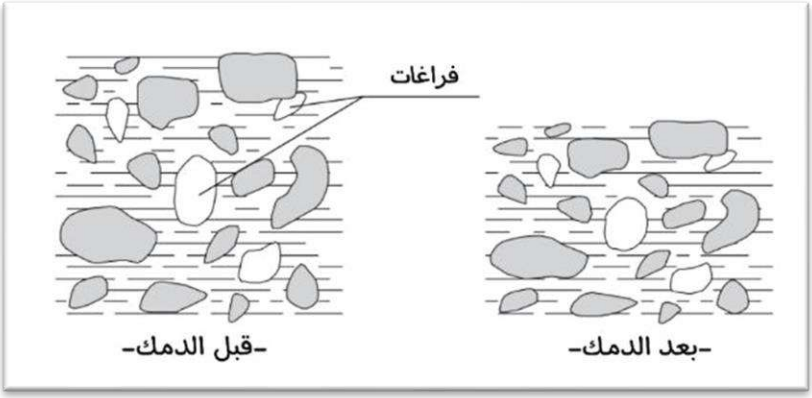
- ❖ **زيادة الكثافة وتقليل الفراغات الهوائية:** يساعد الدمك في زيادة كثافة الخليط الإسفلتي عبر تقليل حجم الفراغات الهوائية داخله، مما يعزز قوة وتماسك الطبقة الإسفلتية.
- ❖ **تحسين الإستقرار والمتانة:** يساهم الدمك الفعّال في تعزيز إستقرار الطبقة الإسفلتية وزيادة قدرتها على تحمل الأحمال المرورية الثقيلة والضغوط المتكررة، مما يزيد من متانة الطريق وعمرها الإفتراضي.
- ❖ **منع تشكل الشقوق والتشوهات:** تقليل الفراغات الهوائية والضغط الجيد للخليط يمنع تشكل الشقوق والتشوهات مثل التخدد والهبوط، ويحسن مقاومة الطريق للتآكل بفعل العوامل البيئية والمرورية.

❖ **توفير سطح أملس وآمن:** الدمك الجيد يساهم في تحقيق سطح أملس ومستوٍ للطريق، مما يوفر قيادة مريحة وآمنة للمركبات، ويقلل من الإهتزازات والضوضاء.

❖ **تحسين مقاومة الماء:** تقليل الفراغات يمنع تسرب الماء إلى داخل الطبقة الإسفلتية، مما يحسن مقاومتها للتلف الناتج عن تجمد وذوبان الماء ويمنع تدهور الهيكل الإسفلتي.

❖ **زيادة كفاءة الأداء الحراري:** الدمك الجيد يضمن توزيع الحرارة بشكل متساوي داخل الطبقة الإسفلتية، مما يساعد في تقليل تأثير التمدد والإنكماش الناتج عن تغيرات درجة الحرارة.

❖ **تعزيز الإلتصاق بين الطبقات:** يساعد الدمك في تحقيق إلتصاق جيد بين الطبقات المختلفة من الخلطة الإسفلتية وبين السطح القديم والجديد، مما يساهم في تكوين طبقة متجانسة ومستقرة. **[17]**



الصورة(II-01): مبدأ عمل الدمك.

II. 3/ العوامل المؤثرة على عملية الدمك:

1) تأثير مكونات الخلطة:

- الخواص الميكانيكية للركام.
- طبيعة وكمية الرابط البيتوميني.
- الحبيبات.
- كميات الرمل المسحوق والرمل المستدير.

2) تأثير درجة الحرارة: تعتبر درجة الحرارة عاملاً مهمًا جدًا عند الدمك، كلما ارتفعت درجة الحرارة كلما كان الدمك أسهل؛ ومع ذلك يجب أن يتم دمك الخليط ضمن نطاق درجة حرارة محدد للغاية، تعتمد درجة الحرارة هذه بشكل أساسي على منحنى لزوجة المادة الرابطة.

يتم اختيار الحد الأعلى لتجنب إنفصال الخليط تحت تأثير الضاغطة ولضمان حدوث الدمك دون إنزلاق الإسفلت ودفعه إلى الجوانب (خطر ظهور تشققات الدمك).

لا يمكن أن تنخفض درجة الحرارة أيضًا عن عتبة حرجة معينة وإلا فسيكون الدمك مستحيلاً، وهذا أحد أسباب ظهور التشققات.

تكون درجة الحرارة الدنيا المطلوبة أعلى بالنسبة للخلطات التي يصعب دمكها مقارنة بالخلطات التي يسهل دمكها.

يعتمد تبريد الخليط أيضًا على سمكه، كلما كانت الطبقة أكثر سمكًا كانت عملية التبريد أبطأ وظلت قابلة للدمك لفترة أطول.

البيتومين النقي	الحد الأدنى لدرجة حرارة الدمك (م°)
220/180	95
100/70	100
70/50	105
50/40	110
30/20	115

الجدول(01-II): الحد الأدنى لدرجة حرارة الضغط المقبولة عموما للبيتومين النقي.**[18]**

يوصى بإجراء الدمك في أسرع وقت ممكن بعد مرور الفينشر، بمجرد إنخفاض درجة الحرارة إلى أقل من 80-90 درجة مئوية (أو حتى 100 إلى 110 م° في حالة BBDr) لن يصبح الدمك ممكناً، وذلك لأن الدمك تحت درجات الحرارة هذه له تأثير سلبي وقد يؤدي إلى تفتت الحصى.

تكون درجة الحرارة الدنيا التي يجب أن يتوقف عندها الدمك مساوية بشكل عام للقيمة العليا لنطاق درجة حرارة تليين الكرة الحلقية TBA للبيتومين النقي الذي يعتبر مرتفعا بـ 50 م° تقريبا.**[17]**

3) حالة الطقس:

للظروف الجوية تأثير كبير على تبريد الخليط وبالتالي على وقت الدمك المتاح؛ سرعة الرياح، ودرجة حرارة الهواء، وأشعة الشمس، ودرجة حرارة الطبقة الأساسية كلها عوامل يمكن أن تحدث فرقًا.

في الطقس الحار يبرد المزيج بسرعة أقل، تؤدي درجات الحرارة المنخفضة والرياح على وجه الخصوص إلى تسريع عملية التبريد وتقصير الوقت الذي يكمن فيه الضغط بشكل كبير؛ يمكن أن تظهر التشققات إذا كان الخليط المعرض للهواء الطلق يبرد بسرعة كبيرة، في الطقس البارد يجب أن يتم الدمك بسرعة ومباشرة بعد مرور الفينشر.

عادة في طقس الصيف يجب وضع خليط الإسفلت في غضون 20 دقيقة (لا يشمل التشطيب) بينما في الأحوال الجوية السيئة يتم تقليل هذه المدة إلى 10 دقائق، وهذا يعتمد بالطبع على سمك الطبقة ونوع الخليط وطبيعة المادة الرابطة المستخدمة.

4) سمك الطبقة:

يتأثر الدمك أيضا بسمك الطبقة، هذا له تأثير كبير على الوقت المتاح لدمك الخليط الإسفلتي؛ فالطبقة الرقيقة تبرد بسرعة أكبر من الطبقة السميكة مما يعني أنه يجب تنفيذ عملية الدمك بسرعة أكبر.

الطبقات السميكة قد تتطلب المزيد من الممرات لضمان الدمك الكامل، بينما الطبقات الرقيقة قد تتعرض لمشاكل إذا تم ضغطها بشكل مفرط.

5) أنوع المعدات المستعملة:

يختلف تأثير الدمك بحسب نوع المعدات المستخدمة، مثل المداحل الإسفلتية ذات العجلات الفولاذية أو المداحل المطاطية أو آلات الإهتزاز، إختيار المعدات المناسبة يعتمد على نوع المادة وظروف الموقع.

6) عدد الممرات:

زيادة عدد الممرات التي تمر بها المعدات فوق الطبقة يساهم في تحسين كثافتها ومع ذلك، يجب تجنب الإفراط في الدمك لتجنب التكسير أو التدهور في المواد.

7) سرعة الدمك:

سرعة حركة المعدات خلال عملية الدمك يجب أن تكون ملائمة، السرعة الزائدة يمكن أن تؤدي إلى دمك غير متساوي، بينما السرعة البطيئة قد تكون غير فعالة.**[17]**

II. 4/ الآلات(الماكينات) المستخدمة في الدمك:

هناك عدة أنواع من آلات الدمك لكل منها خصائصها ومجال تطبيقها ويتم تمييزها وفقاً لطريقة الضغط التي تستخدمها، هناك ثلاث طرق للضغط:

_عن طريق عجن الخليط.

_عن طريق الضغط البسيط للخليط بفضل وزن الماكينة.

_عن طريق الإهتزازات التي تسهل حركة الحبيبات في الخليط الذي لا يزال ساخناً.

_يمكن لآلة واحدة أن تجمع بين أوضاع الضغط المختلفة هذه.

الصورة(II-02): توضح طرق الضغط.

ملاحظة: قبل البدء بعملية الدمك لابد من فرش الخليط بشكل متساوي على الطريق ويكون ذلك بآلة الفرش(finisseur)

1. آلة الفرش(finisseur):

إن جهاز الرصف (أو آلة الفرش) عبارة عن آلة ذاتية الدفع متطورة تستخدم لضمان التوزيع المتجانس والضغط المسبق للخليط البيتوميني بحيث تتمتع الطبقة الموضوعة بثبات كافٍ لتمكين الضاغطات(المداحل) من إجراء الضغط (الرص)النهائي، وهي آلة بطيئة إلى حد ما تتحرك بسرعة 300 م/ساعة، حيث تستقبل الخليط البيتوميني في قادوس بإستخدام شاحنة قلابة. تسمح آلة الفرش بوضع الخليط بشكل متساوي وضمان النعومة والملمس السطحي المتجانس لطبقة الإسفلت.**[17]**

الصورة(II-03): آلة الفرش(finisseur).

2. ضاغطات الإطارات الهوائية:

تجمع ضاغطات الإطارات بين وضعين للضغط في الواقع، فهي تضغط الخليط بفضل الوزن الساكن للآلة وتأثير العجن للإطارات.

يتراوح وزنها من 4 إلى 35 طناً، وهي مزودة بـ 7 إلى 8 إطارات ناعمة حسب حجم الماكينة؛ يتم إزاحة العجلات الموجودة على المحور الأول عن تلك الموجودة على المحور الثاني لضمان ضغط أكثر تساوياً وتستخدم هذه الإزاحة أيضا لإحداث تأثير العجن أثناء الضغط.

تتحرك الإطارات للأمام في أزواج باستخدام محركين هيدروليكيين، مما يسمح لزوجي العجلات اليمنى واليسرى بالتحرك للأمام بسرعات مختلفة عند الدوران.

من الناحية المثالية يتراوح الضغط من 5 إلى 6 بار لضغط الخلطات البيتومينية.

تبلغ سرعتها القصوى للسير 20 كم/ساعة، وتتراوح سرعتها أثناء الضغط بين 5 و6 كم/ساعة وأعلى عند الإنتهاء.

_لا يتم إستخدامها بمفردها أبدًا، بل دائمًا ما يتم إستخدامها مع ضاغطة أسطوانية ملساء.**[17]**

الصورة(II-04): ضاغطات الإطارات الهوائية.

3. **ضاغطات (مداحل) الأسطوانة الملساء:**

هذه الآلات تضغط باستخدام وزنها و/أو أنواع مختلفة من الإهتزازات، وهي آلات ضغط كانت تستخدم سابقا عن طريق جرها بالحيوانات، أما الآن فهي مزودة بمحركات حيث تتميز بعجلات أسطوانية ملساء؛ وهناك أنواع من بينها:

- **ضاغطة ثابتة:**

تقوم المدحلة الثابتة المزودة بأسطوانة ملساء بالضغط بواسطة وزنها، واعتماداً على الوزن والهيكل نميز:

ضواغط مترادفة مزودة بأسطوانتين متماثلتين ومحور دفع واحد أو إثنين (تزن حوالي 12 طن)

ضاغطات تريدم والتي تأتي في نوعين:

آلات ذات أسطوانتين كبيرتين وعجلة صغيرة، يتراوح وزنها من 8 إلى 16 طن، سرعة التشغيل القصوى هي 4 كم/ساعة.

هناك أيضًا ضاغطات ثلاثية مفصلية، تحتوي هذه العجلات الثلاث على 3 أسطوانات ذات قطر متماثل وجميعها مزودة بمحركات.

الأسطوانات الفولاذية مزودة بنظام رش الماء الذي يعمل بالجاذبية أو تحت الضغط لمنع إلتصاق الخليط بالأسطوانات.**[17]**

الصورة(II-05): ضاغطات الأسطوانة الملساء.

4. ضاغطات ديناميكية:

تسمى هذه الضاغطات أيضًا "الضاغطات الترادفية" لأنها تحتوي على أسطوانتين للضغط.

يبدأ وزن الضاغطات الترادفية الصغيرة من حوالي 1,400 كلغ وعرض الأسطوانة من 80 سم، وتستخدم بشكل أساسي في أعمال الإصلاح الصغيرة، تم تطوير الضاغطات الترادفية لأعمال البناء المتوسطة والكبيرة الحجم؛ يتراوح عرض أكبر الموديلات بين 1.5 و2.10 متر و يتراوح الحمل الخطي الثابت بين 20 و30 كلغ/سم

تحتوي هذه الضاغطات عمومًا على أسطوانتين إهتزازيتين بسعتين وترددين، مما يسمح لها بالتكيف مع أنواع مختلفة من المواد وسمك مختلف.**[17]**

الصورة(II-06): ضاغطات ديناميكية.

II. 5/ مراحل عملية الدمك:

تجرى عملية الدمك على ثلاث مراحل وتتمثل في:

المرحلة الأولى: تتم باستعمال مدحلة ذات الإطارات المطاطية.

المرحلة الثانية: تتم باستعمال مداحل الأسطوانة الملساء ويفضل أن تكون من النوع ذو الثلاث عجلات وتكون بوزن (8-12 طن) وبسرعة لا تتجاوز 4 كم/ساعة، مع مراعاة أن تبلل العجلات بالماء وذلك بالقدر الكافي لمنع إلتصاق المخلوط بالعجلات، وفي هذه المرحلة يتم الدمك إلى أقصى كثافة ممكنة.

_تبدأ عملية الدمك طولياً وبانتظام، وتكون إبتداءً من الجوانب وباتجاه محور الطريق؛ ويتم الدمك في مسارات متلاحقة تتراكب معاً بمعدل لا يقل عن نصف عرض أسطوانة المدحلة، تستمر عملية الدمك إلى أن تصبح آثار المدحلة غير مرئية على السطح و تعتمد عدد مرات الدمك على سمك الطبقة ويفضل في المناطق الحارة إعادة الدمك في اليوم التالي لزيادة الكثافة وبعد إنهاء عملية الدمك النهائية يجب التحقق من نسبة الدمك وسمك الطبقة بأخذ قوالب لاختبارها حيث يتم أخذ مجموعة واحدة مكونة من 5 عينات لكل 200 متر طولي باستخدام المثقاب المحوري، كما يجب أن تصل نسبة الدمك إلى 95% من الكثافة النظرية القصوى؛ ويتم كذلك فحص نعومة الطبقة السطحية وإصلاح أية عيوب تزيد عن نسب التفاوت المسموح بها أو التي تحتفظ بالماء على السطح ويجب التحقق من الميول العرضية للسطح النهائي على ألا تزيد عن 3% ولا تقل عن 2% في حالة الطرق ذات الميول المستقيمة.**[4-16]**

خلاصة:

دمك الخلطة الإسفلتية هو عملية حيوية في إنشاء الطرق والتي تهدف إلى تحسين جودة وأداء الطبقات الإسفلتية. يتضمن الدمك استخدام معدات متخصصة مثل المداحل الفولاذية والمطاطية والإهتزازية لضغط الخلطة وتقليل الفراغات الهوائية بداخلها، هذا يساهم في زيادة كثافة الطبقة الإسفلتية ما يعزز إستقرارها وقوتها ويمنع تشكل الشقوق والتشوهات مثل التخدد.

_تتضمن الفوائد الرئيسية للدمك تحسين متانة الطبقة الإسفلتية وقدرتها على تحمل حركة السير الثقيلة كما توفر سطح أملس وآمن، ويعزز الدمك الإلتصاق بين مختلف الطبقات مما يضمن تكوين طبقة إسفلتية متجانسة ومستقرة، تحقيق هذه الأهداف من خلال الدمك الفعال يساهم في إطالة عمر الطريق وتقليل تكاليف الصيانة وتعزيز السلامة المرورية.

المحور الثاني:

الجانب التجريبي.

الفصل III: التجارب على المواد المستعملة

مقدمــة:

تؤثر جودة المواد المستعملة بشكل كبير على السلوك الميكانيكي للخلطة الإسفلتية، حيث يعد تحديد المواد المستعملة خطوة أساسية لأي عمل تجريبي، وتعتمد إختبارات المواد على تحديد خصائصها الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية.

يهدف هذا الفصل إلى دراسة خصائص المواد المستعملة في تركيب الخلطة الإسفلتية 14/0، وذلك من خلال إجراء بعض التجارب المخبرية.

III. 1/ تحديد المواد المستعملة:

الجدول رقم (III-01) يوضح المواد المستعملة في دراستنا والفئة التي ينتمي إليها وكذا مواقع تصديرها.

المواد	رمل	حصى	حصى	بيتومين نقي	BMP
الفئة	0/3	3/8	8/15	40/50	10/40
الموقع	محجرة عين توتة (باتنة)			SNTP ورقلة	NAFTAL العلمة

الجدول(III-01): المواد المستعملة ومواقع تصديرها.

III. 2/ خصائص الركام:

الصورة(III-01): أنواع الحصى المستعمل.

_من أجل تحديد خصائص هذه العينات قمنا بإجراء بعض التجارب والتي تتمثل في:

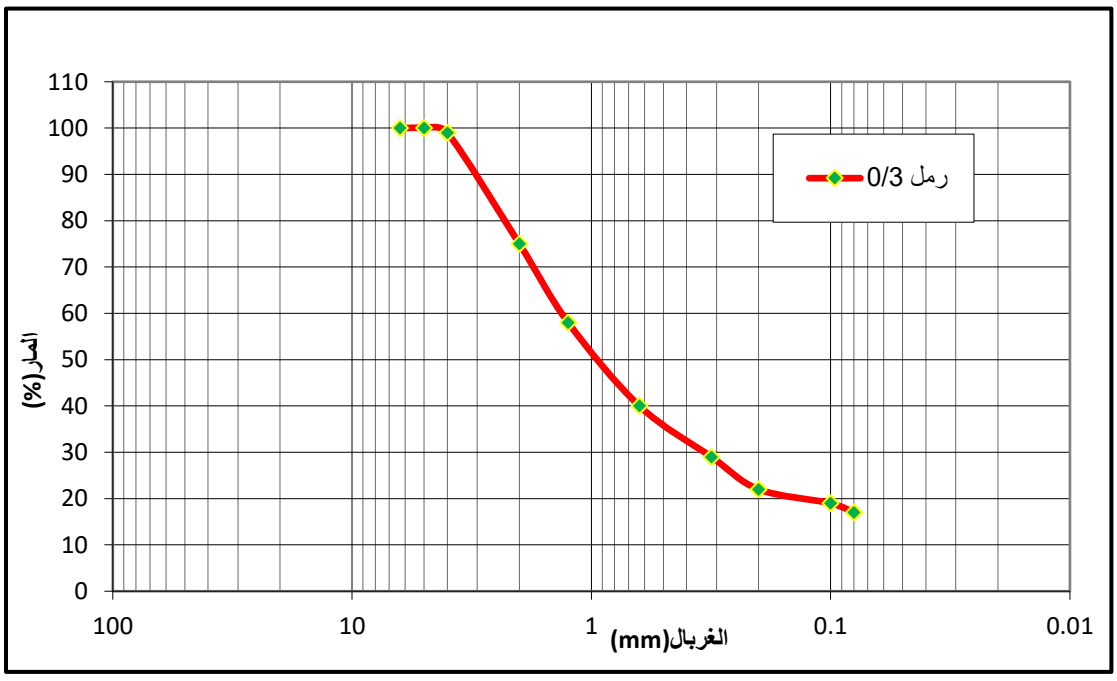
1.2/ تجربة التدرج الحبيبي (NFP 18-560 September 1990):

- ✓ **تعريفها:** هي إختبار يستخدم لتحديد توزيع حجم حبيبات الركام.

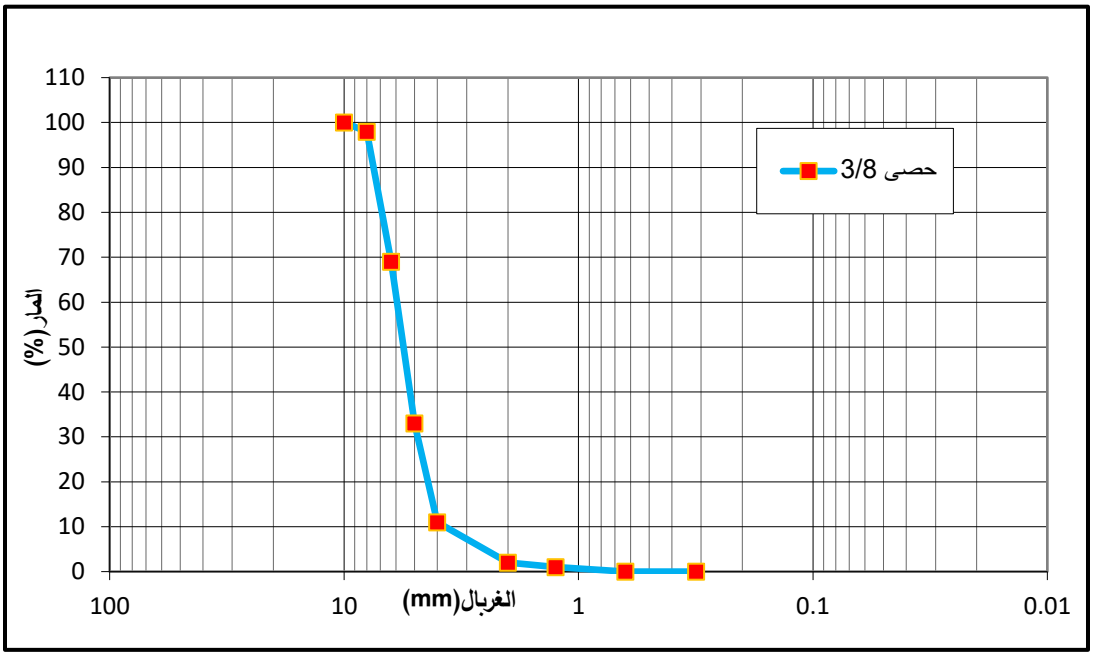
- ✓ **الهدف من التجربة:** هو تحديد كمية ونسبة مختلف أقطار الحبيبات المكونة للعينة، وبالتالي تصنيفها حسب أبعادها لتحديد مدى ملاءمتها للإستخدام في الأغراض الإنشائية.
- ✓ **مبدأ التجربة:** التجربة تصنف مختلف الحبيبات المكونة للعينة وذلك باستعمال سلسلة غرابيل موضوعة فوق بعضها البعض تنازليا، العينة المدروسة توضع في الجزء الأعلى من الغرابيل وترتيب الحبيبات يكون باهتزازات الغرابيل آلياً.

صورة(III-02): توضح أدوات تجربة التدرج الحبيبي.

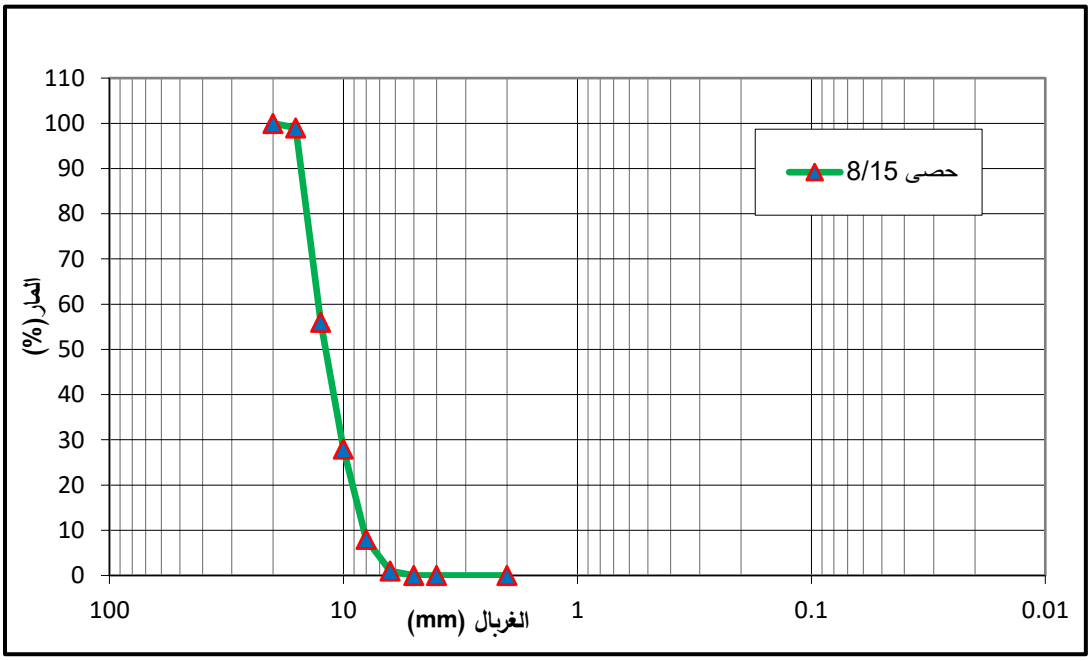
يتم عرض نتائج التدرج الحبيبي لكل من الرمل 3/0، الحصى 8/3، الحصى 15/8 بواسطة المنحنيات التالية:



الشكل(III-03): منحنى التدرج الحبيبي للرمل 3/0



الشكل(III-04): منحنى التدرج الحبيبي للحصى 8/3



الشكل(III-05): منحنى التدرج الحبيبي للحصى 15/8

2.2/ تجربة معامل التسطيح (NFP-18 561 September 1990):

✓ **الهدف من التجربة:**

تحديد معامل التسطيح لعينة من الحصى، التي تتراوح أبعادها بين 4 و80 ملم بإختبار الغربلة المزدوجة.

_ كلما زاد معامل التسطيح للحصى كلما زادت نسبة الهشاشة، وبالتالي قلة إحتمال وضعه في الخرسانة البيتومينية أو الطريق.

✓ **نتائج التجربة:**

الفئة	A (%)	المواصفات
3/8	16	%20 >
8/15	11	

الجدول(02-III): نتائج تجربة معامل التسطيح.

3.2/ تجربة النقاوة (NFP 18-591 September1990):

✓ **الهدف من التجربة:** هو تعيين نسبة الشوائب الموجودة في الحصى.

_كلما كانت نسبة الشوائب قليلة كلما زادت نسبة التماسك.

✓ **نتائج التجربة:**

الفئة	P (%)	المواصفات
3/8	1	%2 >
8/15	0.7	

الجدول(03-III): نتائج تجربة النقاوة.

_ النتائج المتحصل عليها تبين أن نسبة الشوائب في الحصى ضئيلة وبالتالي الحصى صالح للإستعمال.

4.2/ تجربة لوس أنجلوس (NF P 18-573):

✓ **الهدف من التجربة:** هو قياس مقاومة الحصى للتكسير (الصدمات).

✓ **مبدأ التجربة:** تحديد مقاومة الحصى للتكسير عن طريق قياس كمية العناصر الأقل من 1.6 ملم الناتجة من تعريض الحصى لصدمات بواسطة كرات حديدية مرجعية وبدوران 500 دورة المقدرة بـ 15 دقيقة عن طريق آلة لوس أنجلوس.

_كلما إنخفضت نسبة لوس أنجلوس (LA) كلما كان الحصى أكثر مقاومة للتكسير.

الصورة(III-06): توضح أدوات تجربة لوس أنجلوس.

✓ **نتائج التجربة:**

الفئة	LA (%)	المواصفات
3/8	21	%25 >
8/15	22	

الجدول(III-04): نتائج تجربة لوس أنجلوس.

_النتائج المتحصل عليها تبين أن الحصى ذو مقاومة عالية للتكسير وبالتالي الحصى صالح للإستعمال.

5.2/ تجربة ميكرو دوفال (NF P 18-572):

✓ **الهدف من التجربة:** هو قياس مقاومة الحصى للتآكل (الإحتكاك).

✓ **مبدأ التجربة:**

تعريض الحصى لإحتكاك متبادل داخل أسطوانة دورانية حديدية في ظروف محددة ومدروسة مسبقاً وذلك في وجود 2.5 لتر من الماء مع 5 كغ من الكرات الحديدية، يتم تحديد النسبة المئوية للعناصر المارة من غربال 1.6 ملم.

_ كلما إنخفضت نسبة (M.D.E) كلما كان الحصى أكثر مقاومة للتآكل.

الصورة(III-07): توضح أدوات تجربة ميكرو دوفال (MDE).

✓ **نتائج التجربة:**

الفئة	M.D.E (%)	المواصفات
3/8	14	%20 >
8/15	13	

الجدول(III-05): نتائج تجربة ميكرو دوفال (MDE).

_النتائج المتحصل عليها تبين أن الحصى ذو مقاومة عالية للإحتكاك وبالتالي الحصى صالح للإستعمال.

6.2/ تجربة الكتلة الحجمية المطلقة (NF P 18-554):

✓ **الهدف من التجربة:** هو قياس الكتلة الحجمية للحصى، وتحديد نسب المركبات على حسب الكتلة والحجم مع عدم أخذ الفراغات في الحساب.

✓ **نتائج التجربة:**

الفئة	$\gamma abs\ (t/m\hat{}3)$
0/3	2.666
3/8	2.646
8/15	2.652

الجدول(III-06): نتائج تجربة الكتلة الحجمية المطلقة لكل من 0/3، 3/8، 8/15.

7.2/ تجربة مكافئ الرمل (NF P 18-597):

يتم إجراء هذه التجربة على عينة من الرمل أو الركام الذي يمر عبر غربال مربع الشكل قطره 2 ملم وذلك لتحديد درجة نظافة الرمل.

_ كلما كانت نسبة **(ES)** أقرب إلى 100 كلما كان الرمل أنظف.

الصورة(III-08): توضح أدوات تجربة مكافئ الرمل.

✓ **نتائج التجربة:**

الفئة	ES (10%)	المواصفات
0/2	74	≤ 60%

الجدول(III-07): نتائج تجربة مكافئ الرمل.

III. 3/ خصائص البيتومين:

يتم تحديد خصائص البيتومين عن طريق إجراء مجموعة من التجارب المخبرية ومن أهمها:

1.3/ تجربة الإختراق(الغرز) (NF T 66-007):

✓ **الهدف من التجربة:**

تجرى هذه التجربة لمعرفة قوام المادة البيتومينية المطلوب إستعمالها في الرصف، ويستخدم فيها جهاز الغرز وإبرة قياسية؛ ويعرف مقدار الغرز على أنه المسافة التي تتحركها الإبرة مخترقةً عموديا عينة من المادة البيتومينية تحت وزن 100غ وفي زمن 5 ثواني وتحت درجة 25 م°، ويقاس مقدار الغرز بـ 1/10 ملم.

تعتبر تجربة الإختراق من أهم التجارب في مجال الرصف (الطرق) لتحديد درجة صلابة وقوام البيتومين ويعرف البيتومين بدرجة غرزه، فمثلا بيتومين 40/50 درجة غرزه تتراوح بين 40 و50.

✓ **الأدوات المستعملة:**

_جهاز الغرز

_ إبرة

_ وعاء

_ مام مائي

_ مقياس لدرجة الحرارة

_ أداة توقيت

✓ **خطوات التجربة:** **الصورة(III-09):** توضح أدوات تجربة الغرز.

_يتم تسخين العينة مع الحرص على عدم تعرضها لتسخين موضعي عالي حتى تصبح سائلة.

_تصب العينة في الوعاء بحيث يكون عمقها بعد تبريدها إلى درجة حرارة الاختبار يزيد بـ 10 ملم على الأقل عن العمق المتوقع لإختراق الإبرة.

_تتم تغطية العينة لحمايتها من الغبار ثم تترك لتبرد عند درجة حرارة الغرفة لمدة لا تقل عن ساعة ونصف.

_بعد ذلك يرفع الغطاء على العينة وتوضع لمدة ساعتين في حمام مائي درجة حرارته 25 م°

بعد مضي المدة يتم إخراج العينة ووضعها فوق قاعدة جهاز الغرز ليتم إختبارها.

_يوضع وزن مقداره 50 غ فوق الإبرة ليصبح الحمل الكلي للإبرة وملحقاتها 100 غ.

_تضبط الإبرة المحملة بالثقل المعين ليتم تلامسها مع سطح العينة.

_يسمح للإبرة بالهبوط تحت تأثير وزنها مع القضيب لتخترق العينة لمدة 5 ثوان وتؤخذ القراءة من على المؤشر.

_ يجب تسجيل ما لا يقل عن 3 قراءات للغرز عند نقاط مختلفة على سطح العينة بحيث لا يقل بُعدها عن جدار الوعاء عن 10 ملم ولا يقل البعد بينهما عن 10 ملم ويحسب المتوسط ليعبر عن درجة الغرز.

2.3/ تجربة تحديد نقطة الهبوط (الليونة)(NF T 66-008):

✓ **الهدف من التجربة:**

هو تعيين نقطة الليونة للبيتومين في مدى يتراوح بين 30 و175 م° باستخدام جهاز الكرة والحلقة في حمام ساخن به محلول الإيثيلين جليكول؛ فكلما إرتفعت درجة الحرارة ينتقل البيتومين تدريجياً من لحالة الصلابة ويصبح أكثر طراوة وأقل لزوجة، وكلما كانت نقطة الطراوة أعلى قَلّت حساسية البيتومين للحرارة ولذلك تفيد هذه التجربة في مقارنة أنواع البيتومين المختلفة وهو ما يساعد على تصنيفها.

✓ **الأدوات المستعملة:**

_ جهاز قياس نقطة الهبوط

_ حلقات من النحاس.

_كرة حديدية بقطر 9.5 ملم.

_دليل مصنوع من النحاس لتحديد المركز للكرة.

_حامل الحلقات.

_سخان ومقياس لدرجة الحرارة.

الصورة(III-10): توضح أدوات تجربة تحديد نقطة الليونة.

✓ **خطوات التجربة:**

_نضع الحلقات الحاوية للعينات فوق القطعة المخصصة لحملها، ويوضع فوقها القطع التي تبقي الكرة فوق البيتومين في المركز ثم نغمر المجموعة في حمام من سائل الإيثيلين جليكول وبعمق يتراوح من 100 إلى 108 ملم بشكل يبعد أسفل اللوحة السفلى مسافة تتراوح بين 25 و37 ملم من قاع الوعاء ويوضع ميزان الحرارة في منتصف الوعاء رأسياً حتى يصل إلى مستوى الحلقات دون أن يلامس الحلقات أو اللوحة.

_نضع الكرات فوق عينات البيتومين ضمن الحلقات التي تبقي الكرات في مركز العينة.

_نبدأ التسخين بحيث ترتفع درجة الحرارة تدريجياً بمعدل 5 درجات مئوية كل دقيقة.

_يستمر التسخين للكرات والعينة حتى تبدأ العينة بالإنسياب والهبوط من أسفل الكرة المعدنية وعندما تلامس العينة اللوحة السفلية تسجل درجة الحرارة.

✓ **نتائج التجربتين:**

_ تم إجراء التجارب على نوعين من البيتومين **(40/50 و BMP NAFTAL)** وقد تم إستخلاص النتائج الموضحة في الجدولين**(09 و08-III)**.

التجربة	النتائج	مواصفات الفئة 40/50
تجربة الغرز	**46**	**بين 40 و50**
تجربة نقطة الليونة (TBA)	**52**	**بين 47 و60**

الجدول(08-III): نتائج تجربة الغرز وتحديد نقطة الليونة للبيتومين النقي 40/50.

التجربة	النتائج	مواصفات BMP NAFTAL
تجربة الغرز	**21**	**(Classe 2) 10/40**
تجربة نقطة الليونة (TBA)	**71**	**(Classe 5) 65 ≤**

الجدول(09-III): نتائج تجربة الغرز وتحديد نقطة الليونة للبيتومين المعدل (BMP NAFTAL).

3.3/ تجربة الكثافة النسبية (طريقة البيكنومتر)(NF EN 15326):

✓ **الهدف من التجربة:**

تحديد كثافة الروابط البيتومينية باستخدام طريقة البيكنومتر.

✓ **مبدأ التجربة:**

تتم مقارنة كتلة عينة البيتومين وكتلة سائل الاختبار المقابلة للحجمين المتماثلين، يتم ضمان مساواة الأحجام عن طريق ملء مقياس البيكنومتر وإفراغ السائل.

يتم ملء مقياس البيكنومتر المعاير بحوالي ثلاثة أرباع سعته بمادة البيتومين التي يتم تحديد كثافتها ويتم وزنه مع الغطاء؛ يتم ملء مقياس البيكنومتر بسائل الإختبار ويتم وزنه مرة أخرى.

يجب حساب الكثافة من خلال مقارنة الكتلتين.

الصورة(III-11): مقياس البيكنومتر

✓ **نتائج التجربة:**

التجربة	النتـــــائج		المواصفات
	40/50	BMP NAFTAL	
تجربة الكثافة النسبية 25 م°	1.03	1.06	من 1 إلى 1.10

الجدول(III-10): نتائج تجربة الكثافة النسبية للبيتومين النقي 40/50 وBMP NAFTAL.

خلاصـــــة:

تعتبر جودة المواد من أهم العوامل التي تضمن متانة الطرق، حيث ترتبط بشكل أساسي بخصائص كل مادة، والتي تتطلب الموافقة على المعايير المعتمدة؛ ولتحديد خصائص المواد فإنه من الضروري إجراء بعض التجارب لكل نوع من المواد سواءً في المخبر أو في الميدان ومن ثم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بالمعايير المعمول بها.

المحور الثاني:

الجانب التطبيقي.

الفصل IV: التجارب على الخلطة الإسفلتية

مقدمــة:

التجارب على الخلطات الإسفلتية تهدف إلى تحسين جودتها من خلال اختبار خصائصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية، ومن بين هذه التجارب، تجربة التخدد والتي تعتبر أساس دراستنا.

يعرض هذا الفصل الدراسة التجريبية التي أجريت ويوضح دراسة تصميم الخلطة الاسفلتية المثالية، مع تلخيص المراحل والتجارب التي قمنا بها في هذا المشروع البحثي.

IV.1/ دراسة صياغة(تركيبة) الخليط البيتومينـي:

◙ تتكون الدراسة من تحديد:

_الخليط الحبيبي الأمثل المكون من ثلاث فئات حبيبية 3/0، 8/3، 15/8 والذي يتناسب مع النطاق المرجعي المعروف باسم " نطاق المواصفات (fuseau) .

_جرعة أو نسبة البيتومين المناسبة للخليط الحبيبي والتي يمكن أن تغلف سطحه بالكامل، وتقاوم ظاهرة النزيف والتصلب.

IV. 1.1/ تحديد التركيب الحبيبي الأمثل:

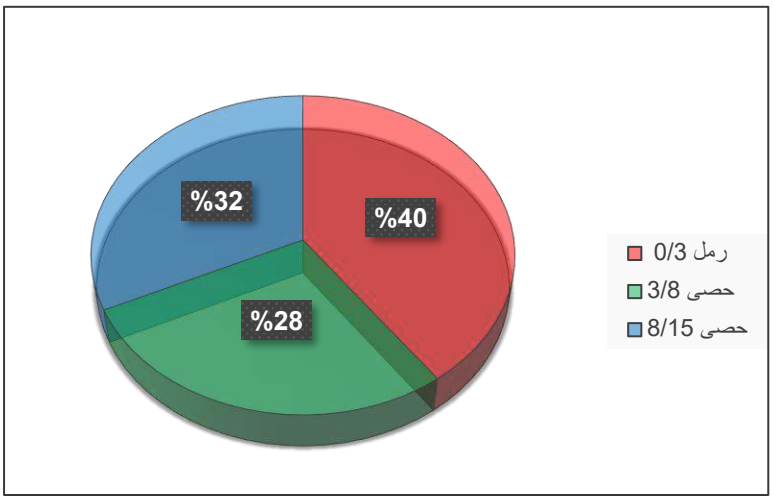
لقد إخترنا في هذه الدراسة التجريبية الخرسانة البيتومينية **(BB)** من الفئة الحبيبية **14/0** وهي عبارة عن خليط مكون من 3 فئات حبيبية 3/0، 8/3، 15/8.

تم إختيار التركيبة التي تعطي خليطاً يتمتع بأفضل خصائص الضغط والتي يمكن أن تمنح الخليط الهيدروكربوني ثباتاً أفضل.

يتم حساب الخليط المقترح باستخدام الصيغة التالية:

$$\text{الخليط المقترح} = \frac{\text{الركام (\%)}}{100} \times \text{المار (\%)}$$

في هذه الحالة وبالإعتماد على تحليلات منحنيات الفئات الحبيبية 3/0، 8/3، 15/8، نجد أن أفضل تركيبة حبيبية تم العثور عليها والتي تتوافق إلى حد ما مع النطاق المرجعي هي الموجودة في الشكل**(IV-01)**:



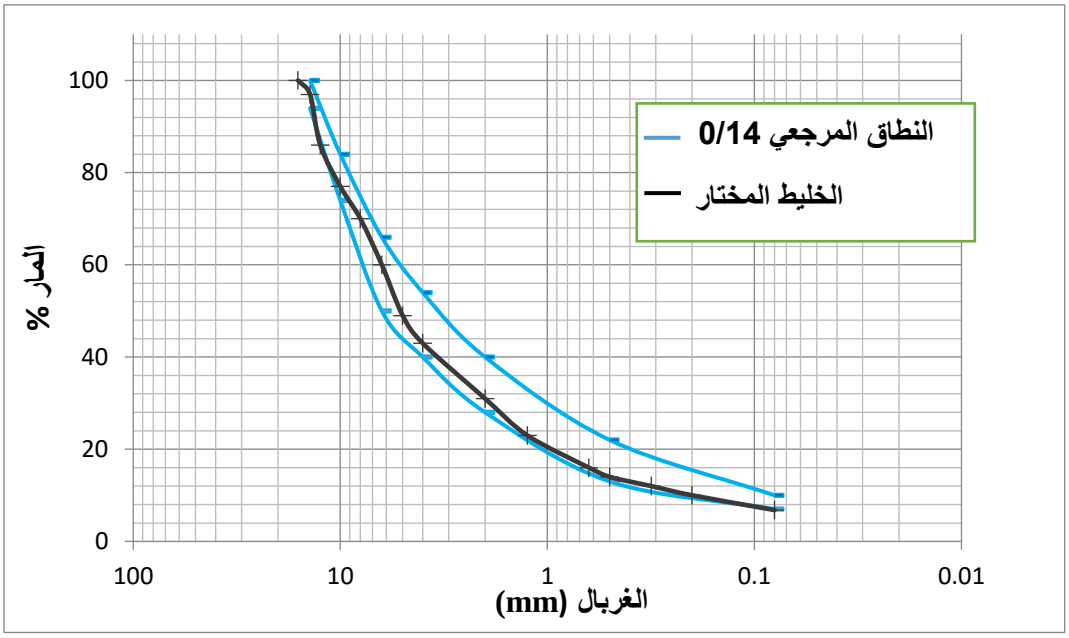
الشكل(IV-01): التركيب الحبيبي للخرسانة البيتومينية 14/0.

الجدول أدناه يوضح النسب المئوية المختلفة للمجاميع(الركام) التي تم الحصول عليها:

النطاق المرجعي		الخليط	8/15	8/15	3/8	3/8	0/3	0/3	غربال
max	min	المقترح	(32%)		(28%)		(40%)		
		100	32	99	28	100	40	100	16
		86	18	56	28	100	40	100	12.5
84	74	77	9	28	28	100	40	100	10
		70	3	8	27	98	40	100	8
66	50	60	0	1	19	69	40	100	6.3
		49	0	0	9	33	40	100	5
54	40	43	0	0	3	11	40	99	4
40	28	31	0	0	1	2	30	75	2
		23	0	0	0	1	23	58	1.25
		16	0	0	0	0	16	40	0.63
22	13	14	0	0	0	0	14	36	0.5
		12	0	0	0	0	12	29	0.315
		10	0	0	0	0	10	22	0.2
10	7	8	0	0	0	0	8	19	0.1
		6.8	0	0	0	0	7	17	0.08

الجدول(IV-01): نتائج التدرج الحبيبي للخليط المختار 14/0.

ويبين الشكل(IV-02) أن الخليط يتناسب مع النطاق المرجعي:



الشكل(IV-02): منحنى التدرج الحبيبي للخليط 0/14.

VI. 2.1/ تحديد محتوى المادة الرابطة(البيتومين):

تنقل المادة الرابطة البيتومينية بشكل طبيعي سلوكها اللزج والمرن إلى الخليط الإسفلتي، لذلك من الضروري تحديد المحتوى (النسبة) الأمثل من المادة الرابطة لضمان تماسك الخليط والتغطية المناسبة لجميع الحبيبات في الخليط بطبقة رقيقة من البيتومين مع تجنب مشاكل الزحف المفرط والتخدد التي تكون واضحة للغاية في درجات الحرارة العالية (في حالة وجود نسبة عالية جدا من البيتومين).

_ويتم تحديده بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{L(\%) = K.\alpha.\sqrt[5]{\sum \vartheta}}$$

K : يرمز المعامل K إلى سمك طبقة البيتومين التي تغلف حبيبات الركام، ويتم تحديده حسب المواصفات في نطاق 3.45 إلى 3.90.

$\boldsymbol{\alpha}$: معامل التصحيح حسب نوع الركام ويحسب بالعلاقة: $\boldsymbol{\alpha = \frac{2.65}{MVR_g}}$

$$\alpha = \frac{2.65}{2.656} = 0.998$$

MVR_g : كثافة الركام وتكون بالعلاقة: $$\mathbf{MVR_g} = \frac{\mathbf{100\,\%}}{\frac{\mathbf{\%0/3}}{\boldsymbol{\gamma}\mathbf{abs\ 0/3}} + \frac{\mathbf{\%3/8}}{\boldsymbol{\gamma}\mathbf{abs\ 3/8}} + \frac{\mathbf{\%8/15}}{\boldsymbol{\gamma}\mathbf{abs\ 8/15}}}$$

$$MVR_g = 2.656\ t/m^3$$

$\sum \vartheta$: المساحة السطحية المحددة للركام (كج/ م^2) معبراً عنها بـ:

$$\mathbf{100 \times \sum \vartheta = 0.25G + 2.3g + 12S + 135f}$$

$$\sqrt[5]{\sum \boldsymbol{\vartheta}} = 1.616$$

G : نسبة الحصى الخشن وهي العناصر الأكبر من 6.3 ملم.

G : نسبة الحصى الناعم وهي العناصر المحصورة بين 6.3 و0.315 ملم.

S : نسبة الرمل الخشن وهي العناصر المحصورة بين 0.315 و0.08 ملم.

F : نسبة الرمل الناعم وهي العناصر الأقل من 0.08 ملم.

يوضح الجدول نتائج تحديد محتوى البيتومين المرجعية التي تم إعتمادها من مخبر ومكتب الأشغال العمومية (رضوان عبد العزيز):

محتوى البيتومين	المعامل K
5.56	**3.45**
5.81	**3.60**
6.05	**3.75**

الجدول(IV-02): نتائج تحديد محتوى البيتومين.

IV. 2/ وصف الخلطات(التركيبات) المستعملة:

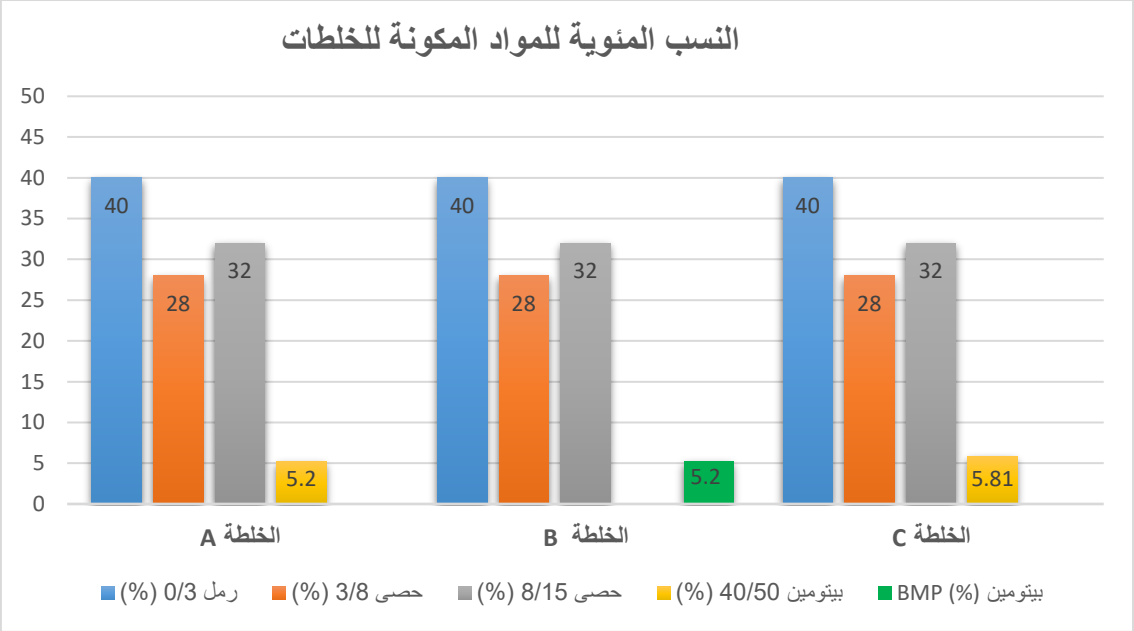
إنطلاقا من نتائج تجربة مارشال المرجعية التي إعتمدنا عليها في دراستنا، والتي أعطتنا أفضل تركيبة من ناحية الثبات ونسبة البيتومين المثلى وبناءا على نسب التركيبة الحبيبية التي تم تحديدها، قمنا بصياغة الخلطات التالية:

الخلطة الأولى: خرسانة بيتومينية 14/0 تتكون من التركيبة الحبيبية(الركام) التي تم إختيارها (3/0، 8/3، 15/8) ونسبة 5.81% من البيتومين النقي 50/40 ونرمز لها بـ**(C)**.**[20]**

الخلطة الثانية: خرسانة بيتومينية 14/0 تتكون من نفس التركيبة الحبيبية ونسبة 5.2% من البيتومين النقي 50/40 وهي الخلطة المرجعية ونرمز لها بـ**(A)**.

الخلطة الثالثة: خرسانة بيتومينية 14/0 تتكون من نفس التركيبة الحبيبية ونسبة 5.2% من البيتومين المعدل (BMP) ونرمز لها بـ**(B)**.

- تم تحضير وإجراء تجربة التخدد على هذه الخلطات في مخبر جامعة قاصدي مرباح ورقلة وLTPS غرداية.



الشكل**(IV-03)**: النسب المئوية للمواد المكونة للخلطات.

IV. 3/ خطوات العمل لإجراء تجربة التخدد:

1.3.IV/ معايرة وتحقق: معايرة كل من (جهاز دمك القوالب، الميزان، الفرن، جهاز تجربة التخدد، كمية العينة، الكثافة الفعلية للعينة).

2.3.IV/ تسجيل تاريخ ووقت بدء التجربة.

3.3.IV/ إختيار القالب المناسب للإختبار: يختلف القالب حسب الأبعاد وجهاز إختبار التخدد ولدينا:

1- قالب بأبعاد 500×180×100 ملم

2- قالب بأبعاد 500×180×50 ملم

3- قالب بأبعاد 320×260×50 ملم

وفي دراستنا قمنا بإختيار القالب ذو الأبعاد (500×180×100 ملم) و (320×260×50 ملم)

الصورة(IV-04): قالب (1).

الصورة(IV-05): قالب (3).

_يتم حساب الوزن والكثافة الفعلية وفقا للقالب المختار بالعلاقات التالية:

$$MVR = \frac{100 + (bitum\%)}{\frac{\%0/3}{\gamma abs\ 0/3} + \frac{\%3/8}{\gamma abs\ 3/8} + \frac{\%8/15}{\gamma abs\ 8/15} + \frac{(bitum\%)}{\gamma abs(bitum)}}$$

$$M = \text{أبعاد القالب} \times \text{الكثافة}(0/14) \times \text{نسبة الفراغات}$$

4.3.IV/ تحضير العينة:

تم تصنيع وخلط الخرسانة البيتومينية في المخبر وفقا للمعيار **EN 12697-35** (أكتوبر 2004)

❖ **تحضير الركام والمادة الرابطة(البيتومين):**

يتم وضع الركام في فرن مُحكم التهوية عند درجة حرارة 160±5 م° لمدة 8 ساعات لتفادي أي مشكلة.

_ وتوضع عينة المادة الرابطة في حاويات معدنية ويتم تسخينها في الفرن إلى درجة حرارة 160±5 م°، لمدة تتراوح بين 3 و5 ساعات.

الصورة(IV-06): وضع المواد في الفرن.

ويتم أخذ الأوزان اللازمة لكل خليط كما هو موضح في الجدول:

الخليط	التركيبة	الوزن (غ)
الخلطة A	حصى 8/15	3520
	حصى 3/8	3080
	رمل 0/3	4400
	بيتومين 40/50	572
الخلطة B	حصى 8/15	3520
	حصى 3/8	3080
	رمل 0/3	4400
	بيتومين BMP	572
الخلطة C	حصى 8/15	3200
	حصى 3/8	2800
	رمل 0/3	4000
	بيتومين 40/50	581

الجدول(IV-03): أوزان المواد الخاصة بكل خلطة.

5.3.IV/ عملية الخلط: قبل بدء الخلط يجب تسخين وعاء الخلاط مسبقا الى درجة حرارة 160±5 درجة مئوية، ثم نقوم بصب عينات الركام الموزونة في وعاء الخلاط، إذا لزم الأمر نخلط الركام الجاف ونضيف المادة الرابطة، نتحكم بدقة في إدخال المادة الرابطة؛ نخلط المكونات في الخلاط لمدة 3 أو 4 دقائق تقريبا حتى يتم الحصول على الخليط الأمثل مع تغطية الركام بالكامل بالمادة الرابطة والتحقق من أن الخليط متجانس بصرياً.

الصورة(IV-07): قبل عملية الخلط

الصورة(IV-08): خلاط.

الصورة(IV-09): خلاط.

الصورة(IV-10): بعد عملية الخلط

بعد الخلط نضع الخليط والقالب في الفرن مدة ساعتين على الأقل لتسخينهم إلى درجة حرارة الدمك والمقدرة بـ 160±5 م°.

IV.6.3/ عملية الدمك:

تتم عملية الدمك وفق المعيار **EN 12697-33** وحسب طريقة كل جهاز، بعد وضع القالب المستطيل في جهاز الدمك وتثبيته جيدا نقوم بدهن العجلة الضاغطة والقالب بمادة غير لاصقة وغير قابلة للإمتزاج مع البيتومين، ثم نقوم بملء القالب بالخليط مع الحرص على توزيعه بالتساوي في القالب للحصول على سطح منتظم قدر الإمكان قبل البدء في عملية الدمك.

وتكون عملية الدمك أولاً عن طريق ضغط الخليط باستخدام حمل(وزن) يتم تطبيقه بواسطة عجلة ذات إطار بضغط (1 بار و6 بار) وبسرعة ثابتة موازية لمحور القالب (ذهاباً وإياباً)، وبعدد مرات حسب برمجة الماكينة في الخلف والأمام والمنتصف.

الصورة(IV-11): جهاز الدمك.

الصورة(IV-12): جهاز الدمك.

بعدها نقوم بتفريغ الإطار من الهواء ووضع أسطوانة حديدية ملساء من أجل إجراء عملية الدمك الثانية لضغط الخليط بشكل جيد والحصول على قالب يلبي المواصفات المعيارية.

الصورة(IV-13): توضح وضع الأسطوانة الحديدية

IV.7.3/ نترك القالب مدة يومين بعد الدمك، ثم نقوم بنزع القالب على العينة كما هو موضح في الصورة(IV-16)

الصورة(IV-14): العينة بدون قالب.

8.3.IV/ نزن العينة ونأخذ متوسط مقاساتها ويكون ذلك بقياس سمكها 3 مرات من الفوق و3 مرات من الأسفل على الطول 500 ملم بمسافات متباعدة، ومرة من اليمين ومرة من اليسار على العرض 180 ملم.

9.3.IV/ نعيد العينة للقالب لوضعها في جهاز إختبار التخدد.

10.3.IV/ نستخدم مثقاب كهربائي لحفر ثقب بقطر 8 مم في زاوية العينة لإدخال مستشعر حراري من أجل قياس درجة حرارة العينة داخل جهاز إختبار التخدد.

الصورة(IV-15): توضح الثقب في العينة.

11.3.IV/ تجربة التخدد (EN 12697-22):

- ✓ **الهدف من التجربة:** هو تقييم قدرة الخلطة الإسفلتية الساخنة على مقاومة التخدد في ظل ظروف تجريبية معينة.
- ✓ **مبدأ التجربة:**

جسم الإختبار عبارة عن قالب أو صفيحة متوازية السطوح سمكها 5 سم أو 10 سم، إعتماداً على ما إذا كان سمك الخليط الإسفلتي أقل من أو أكبر من 5 سم؛ تتعرض هذه الصفيحة لحركة مرور من عجلة مزودة بإطار (التردد: 1 هرتز، الضغط: 6 بار) تحت ظروف درجة حرارة قاسية (60 درجة مئوية).

الصورة(IV-16): جهاز تجربة التخدد.

الصورة(IV-17): جهاز تجربة التخدد.

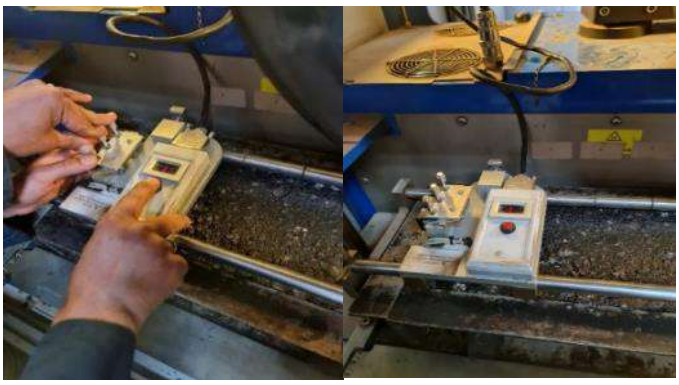
✓ **خطوات القيام بالتجربة:**

_ نثبت القالب على جهاز إختبار التخدد ثم نحاكي على الجهاز 1000 دورة (ذهاباً وإياباً) من مرور عجلة مزودة بإطار 400×8، وبضغط هواء 6 بار وفي درجة حرارة الغرفة بين 15 و25 م°، وهو ما نسميه 1000 دورة باردة، وتؤخذ قياسات الضغط عند إنتهاء هذه المرحلة واعتبارها القياسات المرجعية، أي ما يعتبره الجهاز المستوى0 لعمق التخدد والذي سيقيس بناءً عليه.

_ يتم تخزين القالب لمدة 16 ساعة عند درجة حرارة 60 درجة مئوية داخل جهاز إختبار التخدد.

❖ **فترة الإختبار (دورات التحميل):**

قبل بدء الإختبار نقوم بملء المعلومات داخل الجهاز (عدد الدورات، كثافة العينة ومتوسط مقاساتها، درجة الحرارة) حيث يجب أن تكون درجة الحرارة 60 م° أثناء الإختبار ويجب أن يكون ضغط الإطارات 6±0.3 بار، وتنقسم فترة الإختبار إلى 5 مراحل، حيث يتوقف الجهاز بين كل مرحلة وأخرى من أجل قياس عمق التخدد في 5 مواقع محددة مسبقاً كما هو موضح في الصورة أدناه:



الصورة(IV-18): جهاز قياس عمق التخدد.

تكون المراحل كالتالي:

المرحلة الأولى: 1000 دورة تستغرق حوالي 25 دقيقة.

المرحلة الثانية: 3000 دورة تستغرق حوالي 35 دقيقة.

المرحلة الثالثة: 10000 دورة تستغرق حوالي ساعتين و30 دقيقة.

المرحلة الرابعة: 30000 دورة تستغرق حوالي 5 ساعات و40 دقيقة.

المرحلة الخامسة: 100000 دورة تستغرق أكثر من 19 ساعة.

يتم الإنتهاء من الإختبار على هذه العينة بمجرد الوصول إلى العدد المطلوب من دورات التحميل أو عند الوصول إلى متوسط عمق التخدد الصورة(IV-19).

الصورة(IV-19): العينة بعد وصولها لمتوسط عمق التخدد.

عند الإنتهاء يتم تسجيل تاريخ ووقت إنتهاء التجربة ونستخرج النتائج المتحصل عليها.

خلاصة:

تطرقنا في هذا الفصل إلى دراسة تركيبة الخرسانة البيتومينية من خلال تحديد نسب المجاميع المشكلة لها، وكذا وصف التركيبات المستعملة في دراستنا التجريبية، كما قمنا بعرض الخطوات الرئيسية لتجربة التخدد.

لا شك أن لكل تجربة نتيجة، وهذا ما سنوضحه في الفصل الخامس حيث سيتم عرض النتائج المتحصل عليها ومناقشتها.

المحور الثاني:

الجانب التطبيقي.

الفصل V: النتـــائج والمناقشـات

مقدمــة:

يهدف هذا الفصل إلى عرض ومناقشة النتائج التي تم الحصول عليها من تجربة التخدد، وذلك من خلال المقارنة بين الخلطة المرجعية **(A)** المكونة من التركيبة الحبيبية والبيتومين النقي 50/40 والخلطة **(B)** المكونة من التركيبة الحبيبية والبيتومين المعدل BMP بنفس النسب.

V. 1/ نتائج تجربة التخدد للخلطة الأولى(C):

الخلطة (C)	40/50 (5.81%)
تاريخ تحضير القالب	2024/05/02
طريقة ضغط القالب	ضاغطة فولاذية ملساء
العمر الإفتراضي للعينة	3 أيام
درجة حرارة التخزين	31.8 °م
تاريخ التجربة	2024/05/05
درجة حرارة التجربة	55.35 °م
عدد العينات	1

الجدول(V-01): معلومات عن الخلطة **(c)**

الصورة(V-01): العينة **(C)** بعد التجربة.

خصائص العينة	الأبعاد (ملم)			الكتلة	MVA	MVR	نسبة
	الطول	العرض	السمك	(كلغ)	(كلغ/ م^3)	(كلغ/ م^3)	الفراغات(%)
	320	260	50	9.31	2273.91	2425	6

الجدول(V-02): خصائص العينة **(C)**.

عدد الدورات	0	1000	8002
نسبة التخدد (mm)	0	5.03	8.963

الجدول(V-03): نتائج العينة **(C)**.

الصورة(V-02): توضح نتائج العينة **(C)**.

V. 1.1/ مناقشة النتائج (1): تظهر نتائج تجربة التخدد على العينة (c) أن عمق التخدد بلغ نسبة 8.963% خلال 8002 دورة فقط حيث تعتبر نسبة سلبية غير مقبولة، وهذا يدل على هشاشة الخلطة وقدرتها الضعيفة على مقاومة ظاهرة التخدد، وذلك بسبب إرتفاع نسبة البيتومين في الخلطة حسب التجارب السابقة؛ وهو ما دفعنا لتغيير نسبة البيتومين من (5.81%) إلى (5.2%) وفقا لمخبر الأشغال العمومية في غرداية، وذلك من أجل تحقيق هدف الدراسة.

V. 2/ نتائج تجربة التخدد للخلطة (A):

الخلطة (A)	40/50 (5.2%)
تاريخ تحضير القالب	2024/05/22
طريقة ضغط القالب	عجلة
العمر الإفتراضي للعينة	6 أيام
درجة حرارة التخزين	30.3 °م
تاريخ التجربة	2024/05/28
درجة حرارة التجربة	60 °م
عدد العينات	1

الجدول(V-04): معلومات عن الخلطة **(A)**.

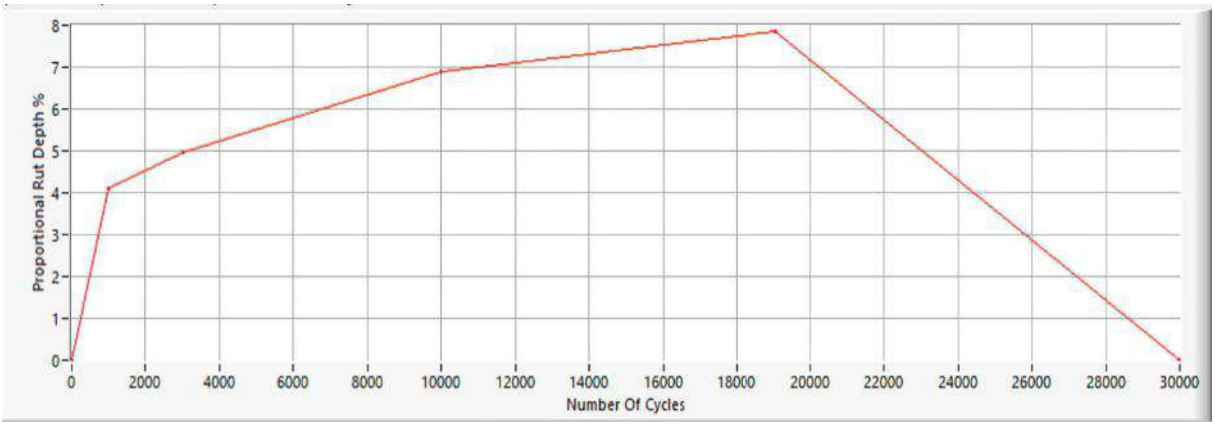
الصورة(V-03): العينة **(A)** بعد التجربة.

خصائص العينة	الأبعاد (ملم)			الكتلة (كلغ)	MVA (كلغ/ م^3)	MVR (كلغ/ م^3)	نسبة الفراغات(%)
	الطول	العرض	السمك				
	500	180	99.31	20.66	2311	2463	6.2

الجدول(V-05): خصائص العينة **(A)**.

عدد الدورات	0	1000	3000	10000	19051	30000	100000
نسبة التخدد (%)	0	4.09	4.98	6.89	7.86	/	/

الجدول(V-06): نتائج العينة **(A)**.



الشكل(V-04): منحنى يوضح نتائج العينة **(A)**.

V. 1.2/ مناقشة النتائج (2): تظهر نتائج التجربة على العينة المرجعية**(A)** قيمة 7.86% كنسبة لعمق التخدد بعد 19051 دورة وتوقف جهاز التجربة تلقائيا، وذلك لفقدان العينة مقاومتها للحمل المتكرر ودرجة الحرارة، إلا أنها تعتبر أفضل من العينة **(c)** ويعود هذا لعديد من العوامل لعل أبرزها أن نسبة البيتومين في العينة **(A)** أقل من نسبة البيتومين في العينة **(c)** وهو ما يدعم صحة كلامنا في مناقشة النتائج (1).

V. 3/ نتائج تجربة التخدد للخلطة (B):

الخلطة (B)	BMP (5.2%)
تاريخ تحضير القالب	2024/05/23
طريقة ضغط القالب	عجلة
العمر الإفتراضي للعينة	5 أيام
درجة حرارة التخزين	30.3 °م
تاريخ التجربة	2024/05/28
درجة حرارة التجربة	60 °م
عدد العينات	1

الجدول(V-07): معلومات عن الخلطة **(B)**.

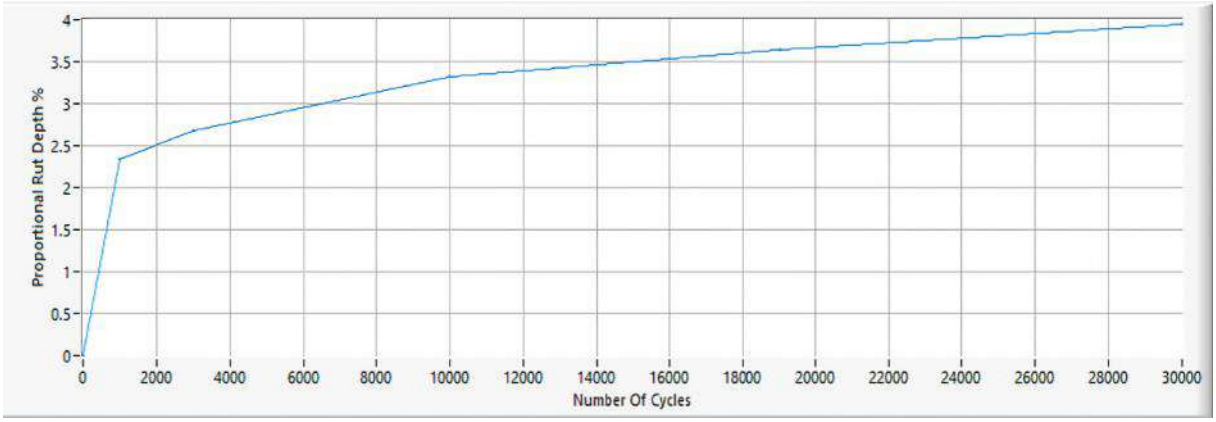
الصورة(V-05): **العينة (B)** بعد التجربة

خصائص العينة	الأبعاد (ملم)			الكتلة (كلغ)	MVA (كلغ/ م^3)	MVR (كلغ/ م^3)	نسبة الفراغات(%)
	الطول	العرض	السمك				
	500	180	99.35	20.75	2320	2471	6.1

الجدول(V-08): خصائص العينة **(B)**.

عدد الدورات	0	1000	3000	10000	19051	30000	100000
نسبة التخدد (%)	0	2.33	2.67	3.32	3.65	3.94	/

الجدول(V-09): نتائج العينة **(B)**.



الشكل(V-06): منحنى يوضح نتائج العينة **(B)**.

V. 1.3/ مناقشة النتائج (3): سجلت العينة **(B)** قيمة 3.94% كنسبة لعمق التخدد بعد بلوغ 30000 دورة وهي نسبة جيدة لمقاومة ظاهرة التخدد، وهذا راجع إلى نوع البيتومين في الخلطة.

بالرغم من وجود نفس نسبة البيتومين في الخلطة (A) و (B) إلا أننا نلاحظ أن البيتومين المعدل بمادة البوليمار(BMP) له دور كبير في تماسك الخلطة (B) ومقاومتها ضد التخدد مقارنة بالخلطة المرجعية.

خلاصة:

إن إستخدام البيتومين المعدل بالبوليمار في الخلطة الإسفلتية يحسن آداءها بشكل ملحوظ، وهذا التحسن يشمل مقاومة الخلطة لأسباب ظاهرة التخدد وأهمها درجات الحرارة العالية والأحمال المرورية الثقيلة؛ مما يجعلها أفضل من الخلطة الإسفلتية العادية.

انطلاقاً من النتائج المتحصل عليها من تجربة التخدد نلاحظ أن الخلطة (B) قد سجلت 3.94% كنسبة هبوط بعد 30000 دورة وهي تعتبر نتيجة جيدة جداً، بينما الخلطة (A) سجلت 7.86% كنسبة هبوط عند 19051 دورة وهو ما يدل على ضعف الخلطة وهشاشتها مقارنة بالخلطة (B).

خاتمـــة:

تهدف هذه الدراسة التجريبية إلى تقييم تأثير نوع البيتومين على مقاومة الخلطة الإسفلتية لظاهرة التخدد و تحسين آدائها، ومن خلال النتائج التي أجريت، تمكنا من إستخلاص الإستنتاجات التالية:

إستخدام البيتومين المعدل بمادة البوليمار يؤدي إلى تحسين ملحوظ في آداء الخلطة الإسفلتية مقارنة بالبيتومين العادي(50/40).

تؤثر خصائص البيتومين مثل اللزوجة، التماسك، والمقاومة الحرارية على آداء الخلطة الإسفلتية تحت الأحمال المرورية ودرجات الحرارة المختلفة.

أظهرت الخلطة القائمة على البيتومين المعدل بمادة البوليمار نسبة هبوط قدرها 3.94% بعد 30000 دورة، مما يدل على مقاومة أكبر للتشوهات الناجمة عن التخدد، في المقابل سجلت الخلطة القائمة على البيتومين العادي نسبة هبوط أعلى بكثير بلغت 7.86% خلال 19051 دورة فقط؛ تشير هذه النتائج إلى أن البيتومين المعدل بالبوليمار يساهم بشكل فعال في تعزيز متانة واستدامة الطرق الإسفلتية، مما ينعكس إيجابا على تقليل تكاليف الصيانة الدورية وتحسين السلامة المرورية.

بناءً على هذه النتائج يمكن التوصية بشدة باستخدام البيتومين المعدل بالبوليمار في مشاريع إنشاء وصيانة الطرق، خصوصا في المناطق التي تعاني من ظروف مناخية قاسية أو حركة مرور كثيفة، إلا أنه يعتبر مُكلفاً بعض الشيء.

تفتح هذه الدراسة آفاقاً جديدة لمزيد من الأبحاث المستقبلية، حيث يمكن التركيز على تأثير أنواع مختلفة من البوليمرات المستخدمة في تعديل البيتومين أو بإضافة مواد أخرى في الخلطة الإسفلتية، وكذلك تقييم الآداء على المدى الطويل في ظروف بيئية متنوعة.

إن إستمرارية البحث والتطوير في هذا المجال ستساهم بلا شك في تعزيز الإبتكار وتحقيق تحسينات مستدامة في قطاع الطرق والبنية التحتية.

قائـــمة المراجع

الرقم	المرجع
[1]	م. أحمد محمد الشريف, كتاب تصميم الخلطات الإسفلتية
[2]	مذكرة المساهمة في دراسة إعادة تدوير مخلفات الخرسانة الهيدروليكية لإنتاج الخرسانة البيتومينية نتاري عادل و بلعموري عماد الدين،2013
[3]	الكاتب غير محدد(egyptsystem) كتاب دليل المهندس لأعمال الطرق ، قسم الهندسة العامة، 2004
[4]	كتاب تخصص التقنية المدنية تقنيات الطرق 255 مدن، طبعة 1429هـ
[5]	ENROBE A MODULE ELEVEE: FORMULATION ET UTILISATION CAS DE FORMULATION A 4 NIVEAUX.
[6]	KEBAÏLI, Nabil, 2017.L'asphalte caoutchouc valorisation de la poudrette de caoutchouc en domaine routier. Thèse de doctorat en es sciences.OUARGLA KASDI MERBAH
[7]	Laboratoire du travaux public de sud région du Ghardaïa (LTPS)
[8]	محمد البحقيري، كتاب دليل الأسئلة الشائعة حول الرصف
[9]	LES Bitumes modifiés aux polyméres de NAFTAL EL EULMA
[10]	M.BOUTLIKHT, cours de MDC, chapitre 3: Liants hydrocarbonés ; Université FERHATABBAS/SETIF; PP 01-02
[11]	HACHANI. M, DAAS. D; 2013), « Etude d'un béton bitumineux modifie à la poudrette de caoutchouc – influence du mode de modification », Université Kasdi Merbah,Ouargla,Algérie
[12]	CDC-ENR05, (2005): «CAHIER DES CHARGES ENROBES A CHAUD», Le Ministre des Travaux Publics, Algérie
[13]	CTTP (2001): « Contrôle Technique des Travaux Publics. », Algérie
[14]	SIDIBE.A , HAMADI.H ,2020);}AMELIORATION DU BETON BITUMINEUX PAR DES POLYMERES ISSUS DE RECYCLAGE {Université 8 MAI 1945 de guelma}
[15]	www.enrobesreunion.re
[16]	كتاب المواد الإسفلتية وطرق ضبط الجودة وإنشاء الطرق من تأليف الدكتور خليل أحمد أبو أحمد،2001
[17]	Centre de recherches routière(CRR) ; Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des enrobés bitumineux
[18]	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées; Compactage des enrobés hydrocarbonés à chaud

المرفقـــــــــات

مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
SPA AU CAPITALE DE :303.000.000 DA
Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa +213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36
+213 (0) 29 25 27 44 BP 332 - 47000 Ghardaïa Contact@ltps.dz www.ltps.dz

FEUILLE DE PAILLASSE
ESSAI D'ORNIERAGE
NF EN 12697 – 22 : 2020

Structure	DIT	**N° Dossier**	
Lieu de travail	PBS	**Échantillon**	BB 0/14

Vérification des équipements *(étalonnage, vérification et état)*	**Équipement**	**N° Inventaire ou série**	**Constat***	**Valeur de correction****
	Étuve	L.039.17.S.001	✓	/
	Balance	L.022.006.23.SE	✓	/
	Compacteur de plaque	L.140.17.S.001	✓	
	Pieds à coulis	PC 01	✓	
	Bascule	L.025.13.S011	✓	
	Machine d'Orniérage	L.127.17.S.001	✓	/

Description de l'échantillon :

(*) : C= conforme, **NC**=non conforme.
(**) Important : Toutes les valeurs mentionnées doivent être corrigées par les valeurs de correction.

N°	ETAPE	EXIGENCE	VALEUR		
1	Date et Heure Début D'essai		22/05/2024 11:00 h		
2	Sélectionner de moule d'essai	• Si $D_{max} < 14$ mm : choisi le moule de dimension 500 × 180 × 50 mm³ • Si $D_{max} \geq 14$ mm : choisi le moule de dimension 500 × 180 × 100 mm³	Dimension de moule : 500 × 180 × 100 mm³		
3	Vérifier les dimensions de moules	500 ± 2 mm 180 ± 2 mm	✓	5.21-110/50	5.21-BMP
4	Préparer deux plaques d'enrobé A et B	Selon NF EN 12697 – 33	**Pourcentage de vide visée**	A: 6 %	B: 6 %
			Masse (kg)	20,836	20,913
			Profile de compactage	lourd	
5	Mesurer l'épaisseur des plaques	± 2,5 mm pour les plaques de 50 mm d'épaisseur ± 5,0 mm pour les plaques de 100 mm d'épaisseur	**Écart (Plaque A)**	99,31 mm	
			Écart (Plaque B)	99,35 mm	

6	Mesurer la masse des plaques	-	M (Plaque A)	20660 g
			M (Plaque B)	6750 g
7	Calculer la masse volumique apparentes des plaques	Selon NF EN 12697 – 6 (Méthode géométrique)	MVA (Plaque A)	2311 g/cm³
			MVA (Plaque B)	2320 g/cm³
8	Conserver les plaques	2 jours et sans dépasser 48 jours à température ambiante.	Date et heure de début	Date et heure de fin
			22/05/2024 13:30 h	26/05/2024 10:00 h
9	Percer des trous pour les sondes de température	Diamètre 8 mm	✓	
10	Placer les plaques dans l'appareille	Référencer les plaques	Plaque A	40/50
			Plaque B	BMP
11	Insérer les sondes de température	-	✓	
12	Allumer le compresseur d'air, et l'appareille d'orniérage	-	✓	
13	Allumer l'ordinateur et ouvrir logiciel d'essai	-	✓	
14	Remplir les différents informations et paramètres	Durée de conditionnement entre 12 et 18 h Température : 60 °C ± 1°C	Nombre de cycles	30000 Cycles
			Cycle intiale	Oui / Non ✓
16	Vérifier la pression des roues	6 bars ± 0,3 bar	✓	
17	Réaliser le conditionnement à froid	Prendre les mesures de 1000 cycles à température ambiante	Température ambiante au moment de l'étape : 30,3 °C	
18	Réaliser le conditionnement à chaud	-	Temps de conditionnement 16 H 05 min	
19	Revérifier la pression des roues	6 bars ± 0,3 bar		
20	Lancer l'essai et prendre les mesures	C : Nombre de cycle / 1000	C: Int. / 1 / 3 / 10 / 30 / 100	
			A: ✓ / 4.09 / 4,98 / 6,89 / 7,86 / 19051	
			B: ✓ / 2,33 / 2,67 / 3,92 / 3,94	
			Int. : Lecture d'orniérage à 30, 100 et 300 cycles	
21	Imprimé le rapport d'essai et joindre avec feuille de paillasse	Fichier XPS	✓	
22	Date et Heure de fin d'essai	28/05/2024 13:15 H		

Date de réception d'échantillon : 22/05/2024

Date d'essai : 27/05/2024

Nom et Prénom du Technicien : Seddiki. Oussama. Abdelkarim

Visa : _____

Nom et Prénom du Contrôleur : _____

Visa : _____

مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
SPA AU CAPITALE DE :303.000.000 DA
Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa +213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36
+213 (0) 29 25 27 44 BP 332 - 47000 Ghardaïa Contact@ltps.dz www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI D'ORNIERAGE

Dispositif de grandes dimension

NF EN 12697 - 22 (2020)

PV N° : …../ORN/ 20... version (*) : ….

Structure			Direction technique			Balance N°	L022.006.23.S2
N° dossier interne			GO/2024			Etuve N°	L039.17.S.002+001
Date de la demande d'essai			22/05/2024			Orniéreur N°	L27.17.S.001
Description et état de l'échantillon (**) :	Granulats + Liant	Granulats	Mélange	Carottage	Autre *(Préciser)*	Compacteur N°	L140.17.S.001
		X				Lieu de travail	PBS

Méthode de production : **Laboratoire** X **Chantier**

COMPOSITION (1)		(%)
Fraction	0/3	40
Fraction	3/8	28
Fraction	8/15.	32
Fraction	/	/
Additif	/	/
Filler	Filler	/
Liant	40/50	5.2

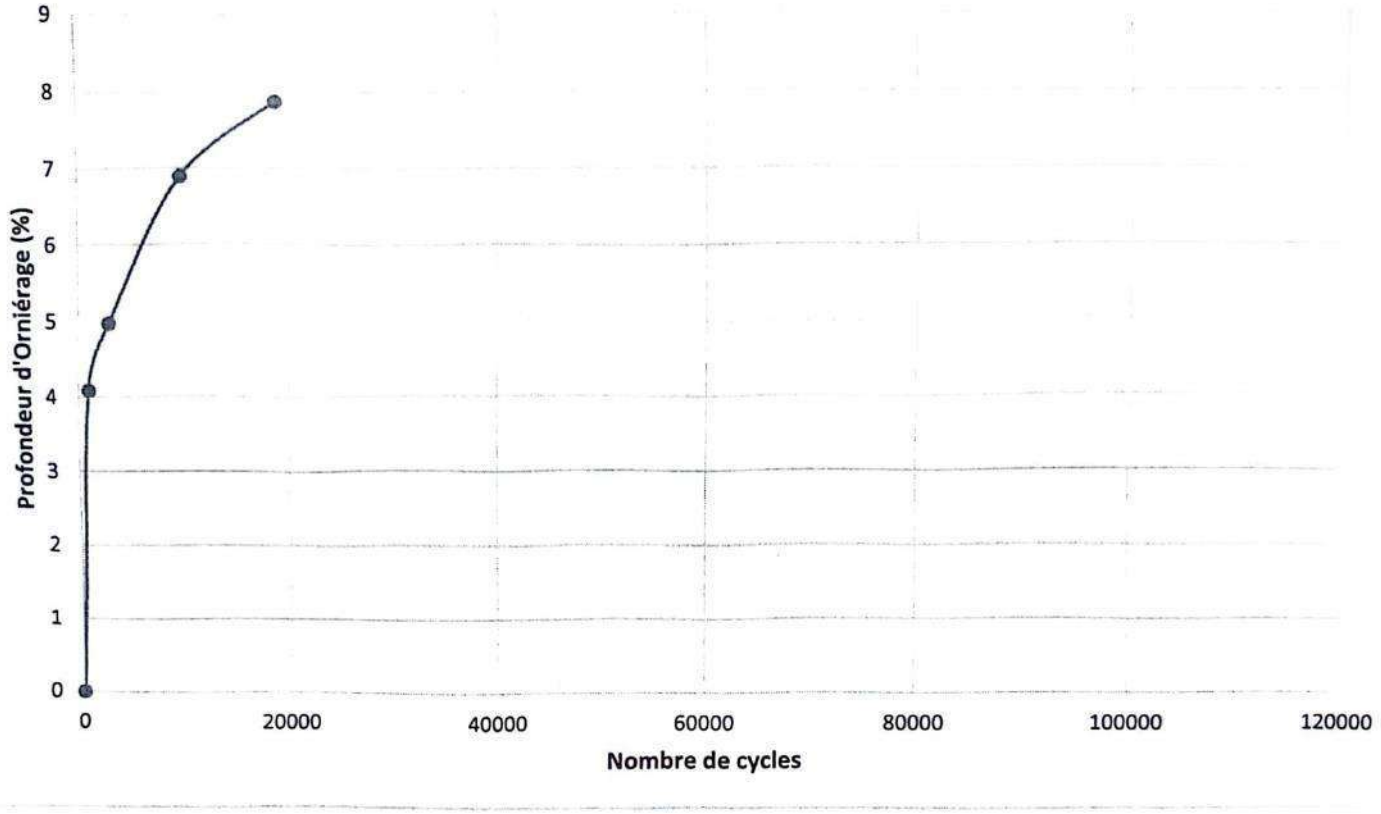
Date de confection des plaques	Profile de compactage
22/05/2024	LOURD
Durée de conservation	Température de conservation
6 JOURS	30.3

Condition d'essai	
Date d'essai	28/05/2024
Température d'essai	60
Nombre des éprouvettes	1

Information d'éprouvette	**Dimension de la plaque**			**Masse (kg)**	**MVA (kg/m3)**	**MVR (kg/m3) (1)**	**Pourcentage de vide (%)**	**Compacité (%)**
	Longueur	**Largeur**	**épaisseur**					
	500	180	99.31	20.66	2311	2463	6.2	93.83

Reference de l'Eprouvette : 0/14 5.20 % De Laint

Nombre de cycles	0	1000	3000	10000	19051	100000
Profondeur d'orniérage en %	0	4.09	4.98	6.89	7.86	



Obervation :

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées doivent être identifiées en « **gras** », les explications de ces modifications doivent être mentionnées dans la rubrique « **observation** » du rapport.
(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation ».

Date de réception d'échantillon : 22/05/2024

Date d'essai : 28/05/2024

Date de rapport : 28/05/2024

Nom et Prénom du Contrôleur :

Visa :

- Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai.

fin rapport

مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
SPA AU CAPITALE DE :303.000.000 DA
Zone d'activité -Bouhraoua -Ghardaïa +213 (0) 770 27 37 32 / +213 (0) 29 25 27 38 / +213 (0) 29 25 27 36
+213 (0) 29 25 27 44 BP 332 - 47000 Ghardaïa Contact@ltps.dz www.ltps.dz

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI D'ORNIERAGE

Dispositif de grandes dimension

NF EN 12697 - 22 (2020)

PV N° : …../ORN/ 20... version (*) : ….

Structure			Direction technique			Balance N°	L022.006.23.S2
N° dossier interne			GO/2024			Etuve N°	L039.17.S.002+001
Date de la demande d'essai			22/05/2024			Orniéreur N°	L27.17.S.001
Description et état de l'échantillon (**) :	Granulats + Liant	Granulats	Mélange	Carottage	Autre *(Préciser)*	Compacteur N°	L140.17.S.001
		X				Lieu de travail	PBS

Méthode de production : **Laboratoire** X **Chantier**

COMPOSITION (1)		(%)
Fraction	0/3	40
Fraction	3/8	28
Fraction	8/15.	32
Fraction	/	/
Additif	/	/
Filler	Filler	/
Liant	BMP	5.2

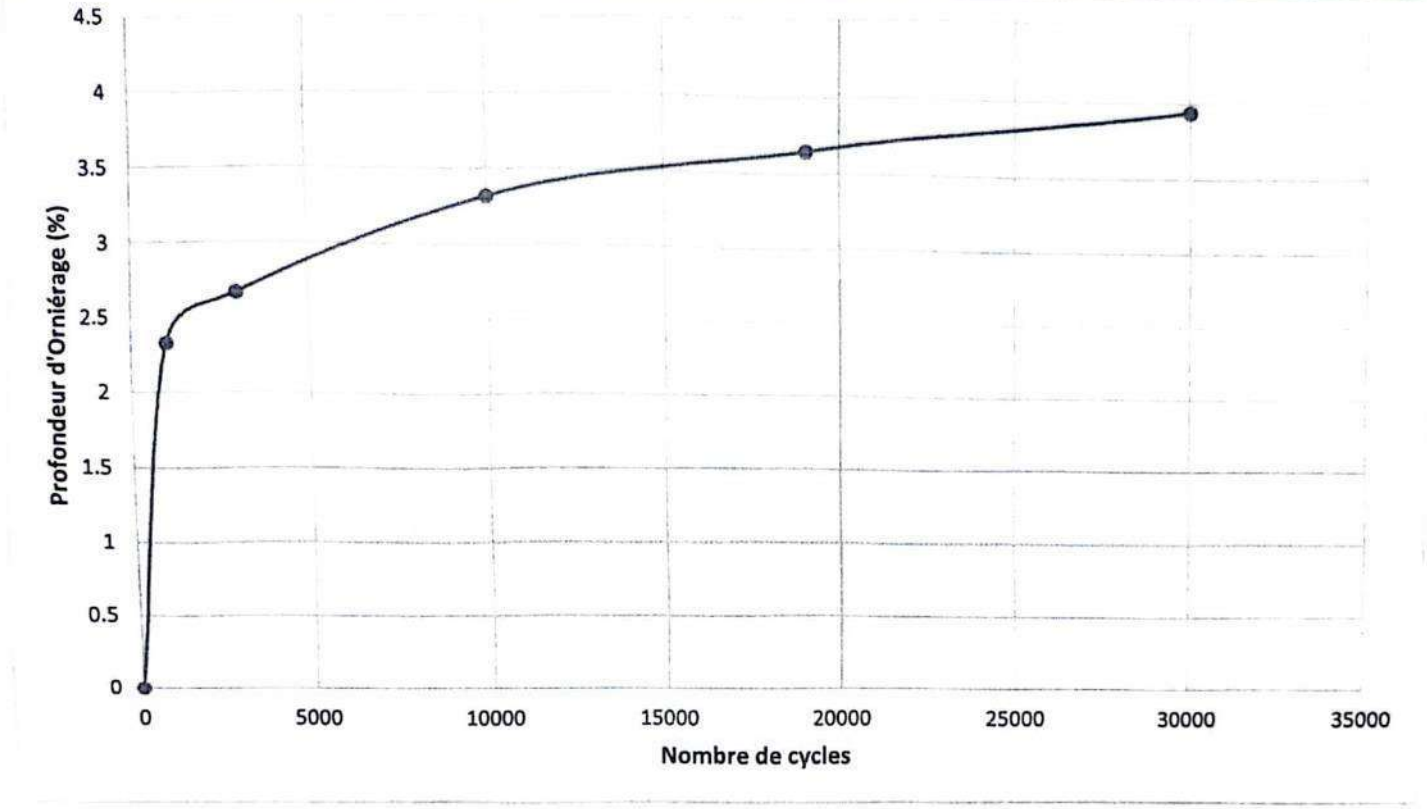
Date de confection des plaques	Profile de compactage
23/05/2024	LOURD
Durée de conservation	Température de conservation
5 JOURS	30.3

Condition d'essai	
Date d'essai	28/05/2024
Température d'essai	60
Nombre des éprouvettes	1

Information d'éprouvette	**Dimension de la plaque**			**Masse (kg)**	**MVA (kg/m3)**	**MVR (kg/m3) (1)**	**Pourcentage de vide (%)**	**Compacité (%)**
	Longueur	**Largeur**	**épaisseur**					
	500	180	99.35	20.75	2320	2471	6.1	93.89

Reference de l'Eprouvette : 0/14 5.20 % De Laint

Nombre de cycles	0	1000	3000	10000	19051	30000
Profondeur d'orniérage en %	0	2.33	2.67	3.32	3.65	3.94



Obervation :

(*) : En cas de changement de la version de rapport, les informations modifiées doivent être identifiées en « **gras** », les explications de ces modifications doivent être mentionnées dans la rubrique « **observation** » du rapport.
(**) : Si l'échantillon présente un écart par rapport aux exigences spécifiées et que le client demande de réaliser l'essai malgré que cet écart peut affecter les résultats, ce dernier doit être mentionné dans la rubrique « observation ».

Date de réception d'échantillon : 22/05/2024

Date d'essai : 28/05/2024

Date de rapport : 28/05/2024

Nom et Prénom du Contrôleur :

Visa :

- Les résultats de ce rapport ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai.

fin rapport

10. Détermination des pourcentages des granulats

Pourcentages des granulats		
0/3	3/8	8/15
40 %	28 %	32 %

Tamis	(0/3)	(0/3) 40 %	(3/8)	(3/8)28 %	(8/15)	(8/15) 32 %	(0/14)%	fuseau
16	100	40	100	28	99	32	100	
14	100	40	100	28	92	29	97	94 à100
12,5	100	40	100	28	56	18	86	
10	100	40	100	28	28	9	77	74 à 84
8	100	40	98	27	8	3	70	
6,3	100	40	69	19	1	0	60	50 à 66
5	100	40	38	9	0	0	49	
4	99	40	11	3	0	0	43	40 à 54
2	75	30	2	1	0	0	31	28 à 40
1,25	58	23	1	0	0	0	23	
0,630	40	16	0	0	0	0	16	
0,500	36	14	0	0	0	0	14	13 à 22
0.315	29	12	0	0	0	0	12	
0,200	24	10	0	0	0	0	10	
0,080	17	7	0	0	0	0	6,8	7 à 10

11. Détermination la teneur en liant :

La teneur en liant se calcule à l'aide de formule suivante:

$$L = KA\sqrt[5]{\sum \vartheta}$$

$$A = \frac{100}{\frac{40}{2.66} + \frac{28}{2.646} + \frac{32}{2.652}}$$

L : La teneur en liant.

K : module de richesse.

$A = 2.65/\gamma_{abs}$ γ_{abs} = *densité absolue.* $\Longrightarrow$ $A = 2.65/2.656 = 0.998$

$\vartheta = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f$

$\sqrt[5]{\sum \vartheta} = 1.616.$

K module de richesse	*La teneur en liant*
3.45	*5,56*
3.60	*5,81*
3.75	*6,05*

12. *Essai Duriez et Marshall :*

Designation	***Formulation***			**Recommandations B.B 0/14**
	Mélange A	***Mélange B***	***Mélange C***	
Dosage en liant (%)	5.56	**5.81**	6.05	-
Densité théorique (t/m3)	2.421	**2.425**	2.429	-
Densité apparente (t/m3)	2.263	**2.284**	2.278	-
Compacité (%)	93.5	**94.2**	93.8	**92 à 96**
Résultats Duriez				
Contrainte à la compression à sec (bar) R	91.4	**96.5**	93.2	**Supérieur à 70 bars**
Contrainte après immersion (bar) R'	80.2	**89.4**	85.3	
Rapport immersion/compression R'/R	0.88	0.93	0.92	**> 0.75**
Résultats Marshall				
Stabilité Marshall (kgf)	1120	**1180**	1165	**Supérieure à 1050**
Fluage Marshall (1/10 mm)	24.4	**28.6**	32.5	**Inférieur à 40**

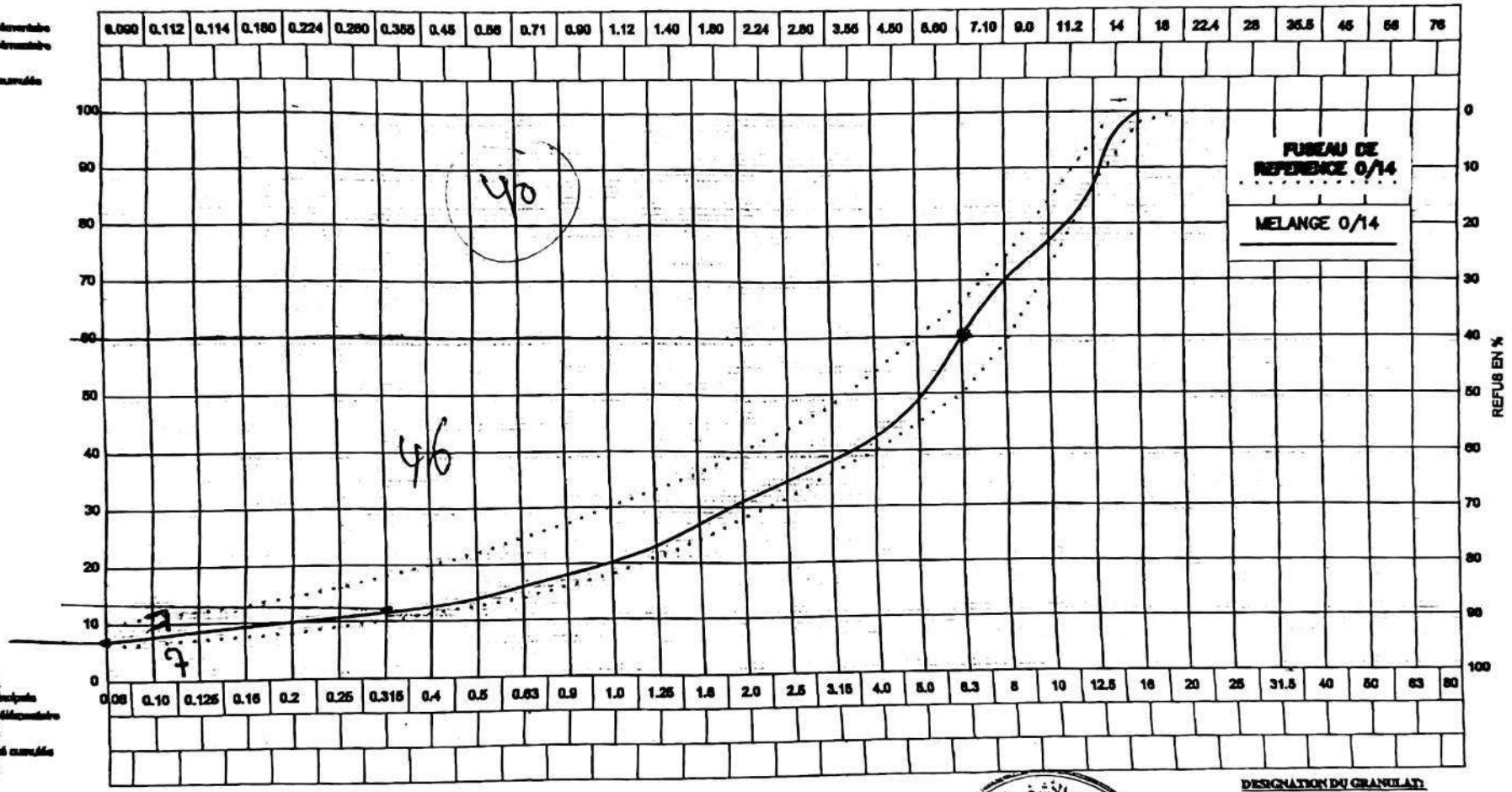
LABORATOIRE ET BUREAU DES TRAVAUX PUBLICS

Chargé d'essais : NASERI. A
Dossier N° : 04/2024
Client :ETP GABOUSSA ABDELBAKI

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS

Norme NF P 18-304

M-O : DTP W/ TOUGGOURT
Projet : REVETEMENT EN BETON BITUMINEUX RN03 DU PK 570+000 AU PK 580+000 SUR 15 KM



- DIMENSIONS RECOMMANDEES : 0/14
OBSERVATIONS : - Mélange 0/14;

CLASSE	0/3	3/8	8/15
PASSANT (%)	40	28	32

L'INGENIEUR CHARGE D'ETUDE

Le: 08/02/2024