الجمهوريـــة الجزائريـــة الديمقراطيـــة الشعبيـــة

وزارة التعلـــيم العـــالي و البحث العـــلمي

جـــامعة قـــاصـــدي مـــربـــاح –ورقـــلـــة–

كـــليـــة العـــلـــوم التـــطبيقيـــة

قســـم: الـــري و الهـــندســـة المـــدنيـــة

C:.....

R:.....

مذكرة نهاية الدراسة لنيل شهادة

الماستر ، مجال : الهندسة المدنية

تخصص : دراسة و مراقبة المباني و الطرق

**العنوان**

# دراسة تجريبية لإمكانية تحسين أداء الخرسانة الإسفلتية للمقاومة ضد التخدد على أساس مواد مستعملة يتم تدويرها

***مقدمة من طرف :***

- عبدالوهاب أبا يحي
- طاهر فايزي

لجنة المناقشة مكونة من السادة:

| | | | |
|---|---|---|---|
| عبدالرزاق خلو | أستاذ محاضر "ب" | جامعة ورقلة | رئيسا |
| محمد بوشربة | دكتور | LTPS-غرداية- | مناقشا |
| عيسى بن طاطا | أستاذ مساعد "أ" | جامعة ورقلة | مشرفا |

*السنة الجامعية : 2020/2019*

# إهـــداء

الحمد لله الذي أعاننا بالعلم وزيننا بالحلم وأكرمنا بالتقوى وأجملنا بالعافية

أتقدم بإهداء عملي المتواضع إلى

الدرع الواقي و الكنز الباقي، إلى من جعل العلم منبع اشتياقي، إلى روحك الزكية أقدم وسام

استحقاقي أبي العزيز **عبد القادر** رحمك الله.

إلى رمز العطاء وصدق الإيباء، إلى ذروة العطف والوفاء، لكِ أجمل حواء، إليكِ أمي الغالية **عائشة** بارك الله في عمركِ.

و إلى رمز الصداقة و حسن العلاقة **رمزي** إلى زملاء الدراسة خاصة دفعة 2020.

إلى من هم انطلاقة الماضي، وعون الحاضر و سند المستقبل، الذين لا عيش بدونهم ولا متعة إلا برفقتهم إخوتي الأعزاء: **سعدية، ياسين، محمد صلاح الدين، عفاف، أسماء، نور الهدى، فاروق، فتيحة**

إلى الزملاء: **أمين، منير، مسعود، عثمان، طاهر، اشرف، جابر، عبدالقادر، حسام**

إلى كل الأهل و الأقارب على رأسهم: **المعلمة "خالتي" مباركة.**

وفي الأخير إن أحسنت فهذا من توفيق الله لي، و إن أخطاءت فمن نفسي و الشيطان

"ربنا وفقنا لما تحب وترضى"

**أبا يحي عبدالوهاب**

# إهـــداء

أهدي هذا العمل إلى من قال فيهما

**"واخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا "سورة الإسراء-24.**

إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله وأطال في عمرهما ،

إلى الإخوة والأخوات ، إلى كل الأهل والأقارب ،

إلى جميع الأصدقاء،

إلى كل من عرفته من قريب أو بعيد،

إلى من رفعوا رايات العلم والتعليم

أساتذتي الأفاضل،

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

**فايزي طاهر**

# شكر و تقدير

بعد أن من الله علينا بإنجاز هذا العمل، فإننا نتوجه إليه الله سبحانه و تعالى أولا و آخرا بكل المحامد و الثناء على فضله و كرمه التي غمرنا بهت فوفقنا إلى ما نحن فيه راجين منه دوام نعمه وكرمه، وانطلاقا من قوله صلى الله عليه وسلم:"من لا يشكر الناس لا يشكر الله "، فإننا نتقدم بالشكر والتقدير والعرفان إلى الأستاذ المشرف "**عيسى بن طاطا**"، على جهده المبذول في تأطيره لنا، و على نصائحه القيمة التي مهدت لنا الطريق لإتمام هذه الدراسة، فله منا فائق التقدير و الاحترام، كما نتوجه في هذا المقام بالشكر الخاص لأساتذتنا الذين رافقونا طيلة المشوار الدراسي ولم يبخلوا في تقديم يد العون لنا و خاصة الأساتذة: **مزياني، مخرمش عبد السلام، مقدم، زنخري**...الخ

و ندين بالشكر أيضا إلى كل عمال مؤسسة مخبر الأشغال العمومية جنوب بورقلة و غرداية على راسهم الدكتور **محمد بوشربة**، الدكتورة **وفاء بوعكة** و مسؤول المخبر **مراد فولاني** و كل الذين ساعدونا من خلال تقديم جميع التسهيلات و مختلف التوضيحات و المعلومات المقدمة من طرفهم لإنجاز هذا البحث.

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

## الملخص:

تهدف الدراسة إلى معالجة ظاهرة التخدد في الطرقات و استغلال المواد المستعملة بإعادة تدويرها حماية للبيئة، حيث يتم اختبار المواد الأساسية المكونة للخرسانة الإسفلتية و المواد المعاد تدويرها ثم اختبار العينات الخمس للخلطة الإسفلتية بتجربة التخدد، حيث تحتوي كل عينة على نسب مختلفة من المواد المعاد تدويرها.

و اعتمدنا في الدراسة على المنهج التجريبي باستعمال مجموعة من الاختبارات و التجارب المخبرية، حيث قسمت الدراسة إلى جانب نظري و جانب تطبيقي الذي تم فيه التحقق من صحة الفرضيات المطروحة.

و قد توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها إمكانية استغلال المواد المستعملة بنسب معينة في تصميم طبقات الطريق و المساهمة في القضاء على ظواهر تلف الطرقات مثل التخدد.



**الكلمات المفتاحية :** التخدد، البيئة، إعادة تدوير، الخرسانة الإسفلتية.



**Summary:**

The study aims to Study the phenomenon of rutting in roads and the exploitation of Recycled materials to protect the environment, To reach that purpose, the basic materials that make up asphalt concrete and recycled materials are tested, then five samples of the asphalt mixture are tested by rutting test, as each sample contains a certain percentage of recycled materials.

In the study, we relied on the experimental method using a set of tests and laboratory experiments, where the study was divided into a theoretical and part side in which the hypotheses were validated.

The study reached a set of results, the most important of which is the possibility of Using the recycled materials used in certain proportions in designing road layers and contributing to the elimination of road damage phenomena such as rutting.



**Key words:** rutting, environmental, recycling, asphalt concrete.

# فهرس العناويـــــــــــــن


فهرس الأشكال و الصور ..... 8
فهرس الجداول ..... 9
مقدمة عامة ..... 11

**الفصل الأول (الجانب النظري)**

**المحور الأول "عموميات الطرق و الخلطة الإسفلتية" ..... 13**
تمهيد ..... 13
ماهية الطريق ..... 13
الخلطة الإسفلتية ..... 16
مكونات الخلطة الإسفلتية ..... 19
خواص الرابط الإسفلتي ..... 20
تصنيف الإسفلت ..... 23
ملخص خواص المواد البوتمينية ..... 23
تصميم الخلطات الإسفلتية ..... 23
خاتمة المحور ..... 24
**المحور الثاني "ظاهرة التخدد" ..... 26**
تمهيد ..... 26
ظاهرة التخدد ..... 26
مقاومة الخرسانة للانزلاق إثر التخدد ..... 27
أسباب التخدد ..... 28
عوامل مؤثرة في التخدد ..... 34
إجراءات تساهم في مقاومة التخدد ..... 35
حلول و مقترحات للتقليل من ظاهرة التخدد ..... 38
خاتمة المحور ..... 38
**المحور الثالث "تدوير الركام الإسفلتي المستعمل و استعماله في الطريق" ..... 40**
تمهيد ..... 40

عمليات إعادة تدوير الحصى المستعمل ..... 40
عملية كشط الطرقات ..... 43
تصنيف مستوى الكشط ..... 43
نتائج و منحنيات التدرج الحصوي للركام الإسفلتي المستعمل ..... 44
نتائج اختبار الاستخلاص ..... 45
طريقة إعداد الخرسانة الإسفلتية المدورة ..... 46
خاتمة المحور ..... 47

**الفصل الثاني (الجانب التطبيقي)**

**المحور الأول "اختبار المواد المستعملة" ..... 49**
تمهيد ..... 49
تحديد المواد المستعملة ..... 49
المخطط الإنسيابي لمنهجية اختبار العمل في المخبر ..... 50
نسب المواد المكونة لمختلف التركيبات ..... 51
اختبار المواد ..... 52
ملخص نتائج الاختبار ..... 58
خاتمة المحور ..... 58
**المحور الثاني "اختبار خلطة الخرسانة الإسفلتية" ..... 60**
تمهيد ..... 60
تجربة "درياز" ..... 60
تجربة "مارشال" ..... 61
تجربة التخدد ..... 64
تحليل النتائج ..... 73
خاتمة المحور ..... 73
خاتمة عامة ..... 74
قائمة المصادر ..... 75

## فهرس الأشكـــــال و الصـــــور


الشكل رقم: 01 .... رسم توضيحي للعناصر المكونة للطريق ..... 14
الشكل رقم: 02 .... رسم لمقطع عرضي لجسم الطريق ..... 15
الصورة رقم: 03 .... مزيج المغلف الإسفلتي ..... 17
الصورة رقم: 04 .... مختلف الحصويات في المقلع ..... 20
الصورة رقم: 05 .... بودرة الفيلر ..... 21
الصورة رقم: 06 .... المادة البوتمينية الرابطة في حالتها الصلبة ..... 22
الصورة رقم: 07 .... المواد المضافات في الخلطة الإسفلتية ..... 23
الصورة رقم: 08 .... ظاهرة التخدد على سطح الطرقات ..... 26
الشكل رقم: 09 .... كيفية قياس عمق هبوط الأخدود ..... 27
الشكل رقم: 10 .... منحنى قيم معامل إجهادات التشوه ..... 29
الشكل رقم: 11 .... أبعاد طبقة الخرسانة البوتمينية ..... 30
الشكل رقم: 12 .... وضعية قوى التحميل المطبقة على سطح الطريق ..... 32
الشكل رقم: 13 .... رسم بياني لتأثير الضرر بسبب التحمل الزائد ..... 33
الشكل رقم: 14 .... مقارنة بين الحمولة النظامية و غير النظامية للشاحنات ..... 33
الشكل رقم: 15 .... أبعاد قياس التخدد المعمول بها ..... 37
الصورة رقم: 16 .... عملية الكشط لسطح الطريق ..... 42
الصورة رقم: 17 .... عملية الكشط الكامل للطريق ..... 43
الصورة رقم: 18 .... آلة تكسير المواد ..... 44
الشكل رقم: 19 .... منحنى التحليل الحبيبي لخلطة GR1 ضمن الحزمة النظامية المطلوبة . 44
الشكل رقم: 20 .... منحنى التحليل الحبيبي لخلطة GR2 ضمن الحزمة النظامية المطلوبة . 45
الصورة رقم: 21 .... آلة الاستخلاص الإسفلتي ..... 45
الصورة رقم: 22 .... فلتر المصفاة ..... 45
الصورة رقم: 23 .... النسب المئوية للمواد المكونة للتركيبات ..... 51
الشكل رقم: 24 .... منحنى الحزمة النظامية المطلوبة في التحليل الحبيبي ..... 52
الصورة رقم: 25 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة المرجعية GR 0% ..... 53
الشكل رقم: 26 .... منحنى التحليل الحبيبي لـ GR 0% ضمن الحزمة النظامية المطلوبة .. 53
الصورة رقم: 27 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة % GR 25 ..... 54
الشكل رقم: 28 .... منحنى التحليل الحبيبي لـ % GR 25 ضمن الحزمة النظامية المطلوبة. 54

الصورة رقم: 29 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة % GR 50 ..... 55
الشكل رقم: 30 ... منحنى التحليل الحبيبي لـ % GR 50 ضمن الحزمة النظامية المطلوبة. 55
الصورة رقم: 31 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة % GR 75 ..... 56
الشكل رقم: 32 .... منحنى التحليل الحبيبي لـ % GR 75 ضمن الحزمة النظامية المطلوبة. 56
الصورة رقم: 33 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة % GR 100 ..... 57
الشكل رقم: 34 .. منحنى التحليل الحبيبي لـ % GR 100 ضمن الحزمة النظامية المطلوبة. 57
الصورة رقم: 35 .... جهاز اختبار درياز ..... 60
الصورة رقم: 36 .... جهاز اختبار مارشال ..... 61
الصورة رقم: 37 .... فرن ..... 61
الصورة رقم: 38 .... رسم توضيحي لجهز الرص ..... 61
الصورة رقم: 39 .... جهز اختبار التخدد ..... 64
الصورة رقم: 40 .... جهاز دمك العينات قبل اختبار التخدد ..... 64
الشكل رقم: 41 .... مواضع الثقب لتثبيت مقياس الحرارة ..... 66
الصورة رقم: 42 .... واجهة برنامج جهاز اختبار التخدد ..... 66
الشكل رقم: 43 .... مقطع عرضي للوحة الاختبار ..... 67
الصورة رقم: 44 .... أداة قياس الأخدود ..... 68
الصورة رقم: 45 .... العينة المرجعية بعد الاختبار ..... 69
الصورة رقم: 46 .... العينة GR 25% بعد الاختبار ..... 70
الصورة رقم: 47 .... العينة GR 50% بعد الاختبار ..... 71
الصورة رقم: 48 .... العينة GR 75% بعد الاختبار ..... 72

## فهرس الجـــــــــداول

الجدول رقم: 01 .... ملخص تصنيف أنواع الطرق حسب السرعة المسموح بها ..... 14
الجدول رقم: 02 .... تصنيف الخلطات الإسفلتية على أساس تدرج الحبي..... 18
الجدول رقم: 03 .... نسبة تأثير الضرر الذي تحدثه الحمولة غير المسموح بها ..... 32
الجدول رقم: 04 .... دور و مسميات ماكينات و معدات الصيانة ..... 35
الجدول رقم: 05 .... نوع الصيانة اللازمة للتخدد حسب شدة العمق ..... 36
الجدول رقم: 06 .... أعمار طبقات بعض الطرق و قيمة الغرز للرابط المستخلص ..... 42
الجدول رقم: 07 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي لخلطة الحصى المدور GR1 ..... 44

الجدول رقم: 08 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي لخلطة الحصى المدور GR2 ..... 45
الجدول رقم: 09 .... نتائج تربة الاستخلاص ..... 46
الجدول رقم: 10 .... مواقع و كميات المواد المستعملة ..... 49
الجدول رقم: 11 .... قيم منحنيات الحزمة النظامية المطلوبة في التدرج الحبيبي ..... 52
الجدول رقم: 12 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة GR 0% ..... 53
الجدول رقم: 13 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة GR 25% ..... 54
الجدول رقم: 14 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة GR 50% ..... 55
الجدول رقم: 15 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة GR 75% ..... 56
الجدول رقم: 16 .... نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة GR 100% ..... 57
الجدول رقم: 17 .... نتائج اختبارات الركام ..... 58
الجدول رقم: 18 .... نتائج اختبارات الإسفلت ..... 58
الجدول رقم: 19 .... نتائج اختبار كيميائي للغضار ..... 58
الجدول رقم: 20 .... ملخص نتائج اختبار درياز ..... 60
الجدول رقم: 21 .... ملخص نتائج اختبار مارشال ..... 62
الجدول رقم: 22 .... نسب محتويات الرابط الإسفلتي ..... 63
الجدول رقم: 23 .... ملخص نتائج اختبار الخلطة الإسفلتية ..... 63
الجدول رقم: 24 .... تعريف رموز و مصطلحات القياس ..... 65
الجدول رقم: 25 .... معلومات عن التركيبة المرجعية ..... 69
الجدول رقم: 26 .... أبعاد العينة المرجعية ..... 69
الجدول رقم: 27 .... نسب التخدد في العينة المرجعية ..... 69
الجدول رقم: 28 .... معلومات عن التركيبة GR 25% ..... 70
الجدول رقم: 29 .... أبعاد العينة GR 25% ..... 70
الجدول رقم: 30 .... نسب التخدد في العينة GR 25% ..... 70
الجدول رقم: 31 .... معلومات عن التركيبة GR 50% ..... 71
الجدول رقم: 32 .... أبعاد العينة GR 50% ..... 71
الجدول رقم: 33 .... نسب التخدد في العينة GR 50% ..... 71
الجدول رقم: 34 .... معلومات عن التركيبة GR 75% ..... 72
الجدول رقم: 35 .... أبعاد العينة GR 75% ..... 72
الجدول رقم: 36 .... نسب التخدد في العينة GR 75% ..... 72

# مقدمـــــــــة عامـــــــة

لا يخفى على العام و الخاص الأهمية البالغة للطرق، فهي العصب الشرياني لنقل الركاب والبضائع بين مختلف المناطق، كما يلاحظ الجميع أن صيانة الطرق تخلف ركاماً إسفلتياً يمكن الاستفادة منه! كيف ذلك؟.

يشكل الركام الإسفلتي الهيكل الإنشائي لتصميم الخرسانة الإسفلتية، حيث تتطلب هذه الأخيرة التنقيب عن المواد الأولية، في ظل متطلبات الحفاظ على البيئة من مخلفات التنقيب و صيانة الطرقات من الركام الإسفلتي، و الذي بدوره يشكل تحدياً للباحثين من ناحية إمكانية إعادة تدويره.

تأتي هذه الدراسة التجريبية لمعرفة مدى إمكانية إعادة تدوير الخرسانة الإسفلتية و استعمالها في تصميم الطبقة الإسفلتية للطريق، و لمعرفة مدى مساهمة هذه المواد التي يتم تدويرها لزيادة المقاومة ضد ظاهرة التخدد، كما نسعى للوصول إلى أن اعتماد نسبة معينة من الركام الإسفلتي المدور، ليس له آثار جانبية على خصائص الخلطة الإسفلتية.

منهجياً؛ قسمنا المذكرة إلى فصلين؛ جانب نظري به ثلاثة محاور، و آخر تطبيقي به محوران؛ كما يلي:

- ✓ المحور الأول في الفصل الأول: عموميات عن الطريق و خصائص المكونات المختلفة للخرسانة البيتومينية و تركيباتها.
- ✓ المحور الثاني في الفصل الأول: ظاهرة التخدد.
- ✓ المحور الثالث في الفصل الأول: استعمال الحصى المدور في الطرقات.
- ✓ المحور الأول في الفصل الثاني: اختبار المواد المستعملة من ركام مدور و حصى و إسفلت.
- ✓ المحور الثاني في الفصل الثاني: اختبار خلطة الخرسانة الإسفلتية.

لنختم هذه الأطروحة بخاتمة عامة تلخص ما توصلنا إليه، مشيرين في نهايتها إلى أهم التوصيات.

# الفصل الأول: عموميات "الطرق و الخلطة الإسفلتية"

## تمهيد:

نستهل هذه الدراسة التجريبية للخرسانة البيتومينية بالتطرق لعموميات الطرق و أنواعها و كذلك تفاصيل المكونات التي تشكل الخرسانة البيتومينية حيث تعتبر أساس تصميم طبقات الرصف.

## ماهية الطريق:

يُعرف الطريق على أنه المسلك البري للمواصلات الذي يسمع بالوصل بين مختلف مناطق البلد، مهما كانت تضاريس الأرض المقطوعة ويساعد على النقل الاقتصادي للمنتجات و النقل العمومي للأشخاص.

كما أنها تشكل الطرق العصب الشرياني لنقل حركة الركاب و البضائع و تستخدم للنقل بين القرى و المناطق الزراعية كذلك.

**1- التصنيف الإداري للطرق:** تصنف حسب إنتمائها لهياكل الدولة:

- ✓ الطرق البلدية: ذات أهمية بسيطة تتواجد داخل حدود البلدية الواحدة.
- ✓ الطرق الولائية: تشرف عليها الولاية، و هي طرق تؤمن المواصلات داخل حدود الولاية الواحدة.
- ✓ الطرق الوطنية: ذات أهمية كبيرة للبلد، حيث تربط مختلف الولايات وتكون تهيئتها و صيانتها على عاتق الدولة.
- ✓ الطرق السريعة: وهي طرق وطنية ذات صنف خاص، حيث أنها :
  - تُخصص للحركة السريعة.
  - لا تحتوي على تقاطعات.
  - تُمنع على الراجلين و الدرجات العادية.
  - تُمنع على العربات المجرورة.
  - يُمنع توقف العربات فيها إلا للظرورة القصوى، و يكون ذلك في أماكن مخصصة لها.

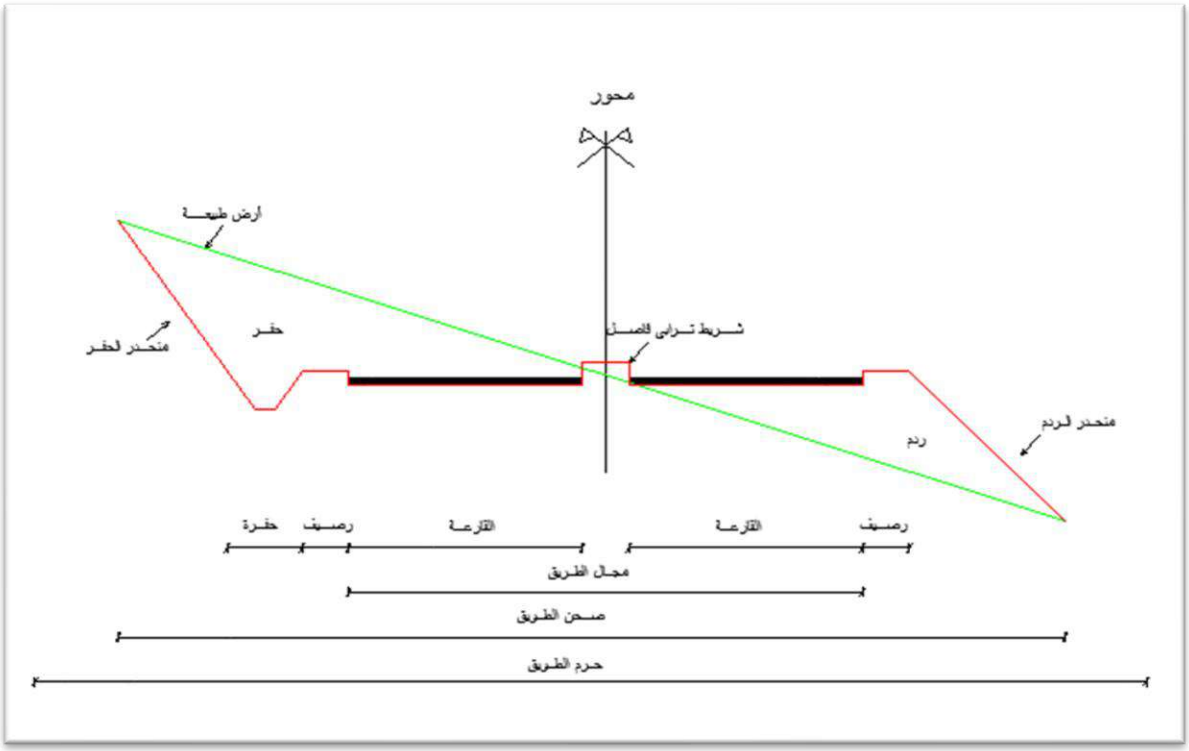
## 2- التصنيف التقني للطرق:

يعتمد هذا التصنيف على السرعة المرجعية، أي سرعة الحركة المسموح بها على طول و عرض الطريق، نُميز خمسة أصناف (أنواع) ملخصة في الجدول التالي:

- الجدول رقم (1) ملخص لتصنيف أنواع الطرق حسب السرعة المسموح بها -

| الصنف | الاستثنائي | الأول | الثاني | الثالث | الرابع |
|---|---|---|---|---|---|
| السرعة كلم / سا | 120 | 100 | 80 | 60 | 40 |

## 3- العناصر المكونة للطريق:




- الشكل رقم (1) رسم توضيحي للعناصر المكونة للطريق -

أ- **أرض طبيعية:** وهي عبارة عن وضعية الأرضية قبل بداية المشروع.

ب- **حرم الطريق:** هو عبارة عن شريط من الأرض الممتلك من طرف الإدارة، حيث يتم إنجاز الطريق على جزء منه.

**ج- صحن الطريق:** هو جزء من حرم الطريق خاص بإنجاز الطريق.

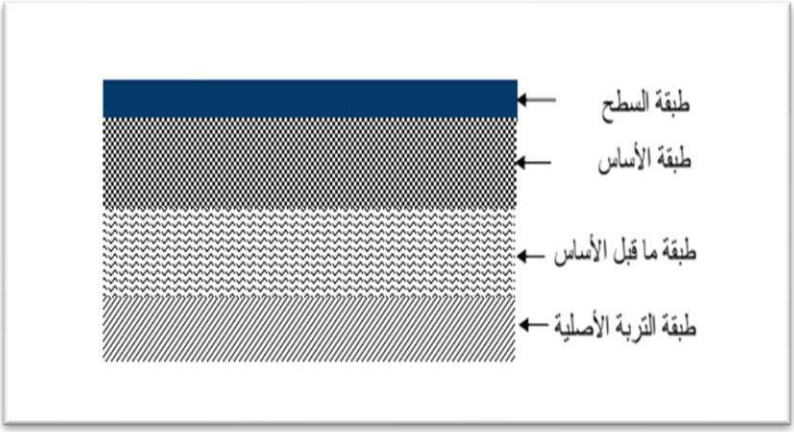
**د- مجال الطريق:** هي مساحة الأرض التي تحتوي على القارعة التي تمر عليها السيارات، زائد الجوانب و الشريط الفاصل من التربة في حالة طريق مزدوج.

**هـ- القارعة:** هي الجزء الأساسي من مجال الطريق المعدة خصيصا لسير السيارات وتحمل أثقالها.

**و- الجوانب:** يوجد في كل طرف من القارعة شريط غير معبد، مهيأ لسير المارة و أحيانا لاستقبال السيارات و إيقافها بشكل مؤقت في حالة الضرورة.

**ي- حاجز الأمن (مزلقة الأمن):** تتكون من صفيحة فولاذية (حديدية) سمكها بين 3 مم و 4 مم مثبتة في قوائم معدنية، دورها منع خروج العربات من القارعة في حالة وقوع حوادث أو انزلاقات.[1]

**4- طبقات الرصف السفلي:**




- الشكل رقم (2) رسم لمقطع عرضي لجسم الطريق يبين مختلف طبقات الرصف -

يتكون هيكل الطريق من عدة طبقات يختلف سمكها وعددها باختلاف حجم المرور ونوع الرصف سواء كان صلبا أم مرنا. و تقوم كل طبقة بحمل الثقل و نقله إلى الطبقة التي أسفل منها.

**أ- طبقة التربة الأصلية:** تعتبر هذه الطبقة طبقة الأرض الطبيعية التي يتم وضع طبقات الرصف عليها بعد تمهيدها وتسويتها ، وتعتبر التربة الأصلية الأساس الحقيقي لجسم الطريق، حيث أنها القاعدة الأساسية التي تركز عليها جميع طبقات الرصف.

**ب- طبقة الأساس:** هي الطبقة التي يرتكز عليها سطح الطريق وتقوم بنقل وتوزيع الأحمال الناتجة عن المرور إلى الطبقات السفلى و تساعد على حماية سطح الطريق من انتفاخ وهبوط التربة

الأصلية، و تتمتع هذه الطبقة بخواص جيدة من حيث المتانة و المقاومة، و كلما زاد الترابط و الاحتكاك بين حبيباتها كلما زادت قوة تحملها على توزيع الأثقال، و لكي يتحقق هذا بشكل جيد لابد أن:

- ✓ تحتوي على تدرج حُبيبي جيد.
- ✓ لا تحتوي على المواد الناعمة و المواد اللينة الزائدة على الحد.
- ✓ لا تتجاوز حد الميوعة فيها 25% و معامل اللدونة 6%.
- ✓ لا تزيد نسبة المار من المنخل 0,075 على10%.
- ✓ لا تتجاوز نسبة التآكل للحبيبات على50%.
- ✓ تدمك دمكا جيداً.

ج- **طبقة ما تحت الأساس:** توضع هذه الطبقة بين الأساس و التربة الأصلية، و تتكون عموما من مواد ذات خواص و مواصفات أقل جودة من مواد الأساس و أعلى جودة من التربة الأصلية، و تساعد هذه الطبقة على تقوية التربة الأصلية و على نقل الأحمال إليها و كذلك على حماية طبقة الأساس، حيث يجب أن:

- ✓ تكون نسبة المواد الناعمة و المواد اللينة فيها قليلة.
- ✓ تحتوي على تدرج حبيبي مناسب بحيث تبقى مستقرة.
- ✓ لا تتجاوز حد الميوعة فيها 25% و معامل الليونة فيها قليلة.
- ✓ لا تتجاوز نسبة التآكل للحبيبات فيها على 50% [2].

## الخلطة الإسفلتية:

يعرف المهندسان أراس عبدالله و صابر عثمان الخلطة الخرسانية في كتاب تصميم الخلطات الإسفلتية على أنها "عبارة عن كتلة من الركام المتدرج المغلف بالإسفلت العادي أو المعدل تتخللها فراغات هوائية تستعمل في رصف أسطح الطرقات و المطارات و المواقف و الساحات الصناعية و الميادين كما تستخدم في تبطين القنوات.

وتسمى الخرسانة البيتومينية أيضا **(بالمغلف)** كخليط ركام متماسك بواسطة رابط هيدروكربوني، مع إمكانية إضافة مواد لتحسين بعض الخصائص.

"المغلف" هذا المصطلح أكثر عمومية من مصطلح "الخرسانة البيتومينية"، لانه تشمل مخاليط لايكون رابطها بالضرورة (قطران ، إسفلت ...إلخ). [3: 4]

– الصورة رقم (3) مزيج المغلف الإسفلتي –

**1- أنواع الخلطات الإسفلتية و مواصفاتها:**

إن وجود أنواع مختلفة من المواد البيتومينية يعطي مرونة في استعمالها للعمل المناسب, حيث يمكن اختيار البيتومين الذي يتناسب مع حجم المرور و نوع الطريق و السطح و كذلك الطقس و نوع الركام المستخدم.

و هنالك أنواع عديدة من الخلطات الإسفلتية تختلف إما بالمكونات او التدرج الحبيبي أو بطريق الخلط و التحضير أو بالغرض المطلوب منها، ومن ناحية الخلط و التحضير هناك عدة تقسيمات للخلطات الإسفلتية أهمها:

أ- **الخلطات الإسفلتية الساخنة:** حيث يسخن الركام و الإسفلت في درجة حرارة مابين (من163-إلى139) درجة مئوية ثم يخلطان في خلاطات إسفلتية خاصة، وبعدها تنقل الخلطة الساخنة إلى الموقع وتفرش بالفرادات ثم تدمك كطبقة سطح إما مفردة أو مزدوجة.

و تقسم الخلطات الإسفلتية الساخنة حسب معادلتها التصميمية و حسب طرق تحضيرها إلى الأقسام الموضحة في الجدول (2)

– الجدول رقم (2) تصنيف الخلطات الإسفلتية على أساس التدرج الحبي –

| صنف الخرسانة الاسفلتية | التسمية | التصنيف الحبي | الاستعمال |
|---|---|---|---|
| 1,2 أو 3 | BBSG الخرسانة البيتومينية شبه الحبيبية | 10\0 أو 14\0 | طبقة المتداول |
| | BBSG الخرسانة البيتومينية شبه الحبيبية | 10\0 أو 14\0 | طبقة الملزم |
| | BBME (الخرسانة الإسفلتية ذات المعامل العالي) | 10\0 أو 14\0 | طبقة المتداول |
| | BBME (الخرسانة الإسفلتية ذات المعامل العالي) | 10\0 أو 14\0 | طبقة الملزم |
| لا صنف | BBCS (الخرسانة البيتومينية للأرصفة المرنة منخفضة الحركة) | 10\0 أو 14\0 | طبقة المتداول |
| | BBCS (الخرسانة البيتومينية للأرصفة المرنة منخفضة الحركة) | 10\0 أو 14\0 | طبقة الملزم |
| 1,2 أو 3 | BBA (الخرسانة البيتومينية للملاحة الجوية) | 10\0 أو 14\0 | طبقة المتداول |
| | BBA (الخرسانة البيتومينية للملاحة الجوية) | 10\0 أو 14\0 أوD,C | طبقة الملزم |
| | BBM(الخرسانة البيتومينية الرقيقة) | 10\0 أو 14\0 أوD,C | طبقة المتداول |
| | BBM (الخرسانة البيتومينية الرقيقة) | 10\0 أو 14\0 أوC,B,A | طبقة الملزم |
| 1 أو 2 | BBTM (الخرسانة البيتومينية الرقيقة جدًا) | 10\0 أو 14\0 أوC,B,A | طبقة المتداول |
| | BBDr (الخرسانة البيتومينية المسامية - تصريف) | 6\0 أو 10\0 | طبقة المتداول |
| 2,3 أو 4 | GB (البيتومين-خطير) | 6\0 أو 10\0 | طبقة القاعدة |
| | GB (البيتومين-خطير) | 14\0 أو 20\0 | طبقة الأساس |
| 1 أو 2 | EME (خرسانة ذات معامل أسفلتي مرتفع) | 10\0 ,14\0 أو 20\0 | طبقة القاعدة |
| | EME (خرسانة ذات معامل أسفلتي مرتفع) | 10\0 ,14\0 أو 20\0 | طبقة الأساس |

**ب . الخلطات الإسفلتية الناعمة:** تتكون من حجم واحد من الركام الخشن وبنسبة كبيرة من الركام الناعم (الرمل) تصل الى 50 % من وزن الخلطة و نسبة غنية من المادة الإسفلتية بـ (8–10) % و تكون كثافة هذه الخلطة تكون منخفضة نسبيا وكذلك ثباتها لعدم وجود تدرج جيد في احجام الركام المستعملة.

**ج . الخلطات الإسفلتية المسامية:** تتصف بارتفاع مساميتها و نفاذيتها للماء، حيث تتكون الخلطة من نسبة عالية من الركام الخشن و نسبة قليلة من المواد الناعمة تخلط مع إسفلت بنسبة بـ (5–6) %، وهذا يعطي للخلطة نسبة فراغات مرتفعة تسمح بنفاذية المياه، و يفضل استخدام هذه الخلطات خاصة في المناطق الماطرة و في طبقات الرصف الخاصة بالمواقف.[5]

## مكونات الخلطة الإسفلتية:

### 1– المواد الحصوية:

تعتبر الخلطات الحصوية المكون الأساسي و الأكبر لطبقات رصف الطرق، فهي المكون الأساسي في تكوين الخلائط البيتومينية كما أنها تستعمل دون أي رابط في طبقات الرصف، و على خواص المواد الحصوية تتوقف بشكل رئيسي مقاومة طبقات الرصف للإجهادات الميكانيكية الناتجة عن حركة السير و الإجهادات الحرارية الناتجة عن التغيرات الجوية وبالتالي مقاومة جسم الطريق للتشوهات و الاهتراء، و لهذا تعتبر معرفة خواص المواد الحصوية ذات أهمية بليغة و تشكل الخلائط الحصوية في حدود 95 % من تركيب الخلطة البيتومينية، وللحصول على الدمج المثالي نلعب على معيار "السماكة" من خلال نشر هذه المواد في الطبقة من 12 إلى 18 سم، تتراوح أبعاد حبيباتها بين (50 ملم) و (0,075 ملم) تصنف عادة إلى:

- ✓ الحصى الخشن هو الحبيبات المحجوزة على المنخل (رقم 4) (4,75ملم )
- ✓ الحصى الناعم هو الحبيبات المارة من المنخل (رقم 4) (4,75ملم ) والمحجوز على منخل (رقم 20) ( 0,075 ملم)[3: 4] .

معظم المواد الحصوية المستعملة في إنشاء الطرق، يمكن تصنيفها حسب مصدرها إلى نوعين : (الحصويات الطبيعية ، حصويات المقالع) .

أ- **الحصويات الطبيعية:** وهي عبارة عن خليط طبيعي من العناصر الحصوية والرملية متكونة من تفتت الصخور الطبيعية نتيجة عمليات التعرية ونُقلت إلى أماكن غير منشؤها بواسطة العوامل الطبيعية و أبرز مثال لها هو رمل الكثبان.

**ب - حصويات المقالع:** إن هذه الحصويات هي التي نحصل عليها من تكسير الكتل الصخرية عند إمرارها على الكسارات، و بالتالي نحصل على ما يعرف بـ (الصخر المكسر)، و تتميز هذه الحصويات بأن حوافها حادة و حجوم حباتها تكون حسب الطلب[5] .

– الصورة رقم (4) مختلف الحصويات في المقلع –

**الخواص العامة لحصويات الطرق و الاختبارات المخصصة لها:**

تتطلب الدراسة التجريبية للمواد التعرف على أهم الخواص التي تمتاز بها هذه الأخيرة.

**أ– المقاومة:** إن الحصويات يجب أن تتمتع بمقاومة كافية كي تصمد تحت الإجهادات الناتجة عن حمولة العربات المستخدمة للطريق وبصورة خاصة في الطبقة السطحية، ويدعى إِختبار المقاومة بإختبار التفتت.

**ب– الصلابة:** ويدعى إختبار الصلابة بإختبار التأكل، و هناك ثلاث أنواع من التجارب المعرفة عالميا ، تجربة التآكل (لوس أنجلوس) ، تجربة التأكل دوري، تجربة التأكل (ميكرو دوفال).

**ج– المتانة:** إن المواد الحصوية المستخدمة في الطرق و بصورة خاصة في الطرق الزراعية المرصوفة بالكاد تكون معرضة لفعل الصدم نتيجة الحركة عليها، وتزداد قيمة هذا الفعل بخشونة سطح الطريق وخشونة سطح التحميل، وأختبار المتانة يدعى بتجربة الصدم.

**د– الديمومة:** وهي تمثل الخاصية المجابة و المقاومة للعوامل الجوية المتمثلة بالتغيرات الحرارية و تغيرات الرطوبة و تدعى هذه الخاصية بالاصالة.

**هـ– شكل الحبيبات:** تتنوع أشكال الحبيبات الحصوية بين المتطاولة أو الرقيقة أو المكعبية أو المستديرة، و في أعمال الطرق نتجنب الحصويات الرقيقة و المتطاولة و المستديرة.

**و- الكثافة و الثبات:** إن ثبات المواد الحصوية بصورة خاصة خير المعالجة يعتمد بشكل أساسي على التركيب الحبيبي و الكثافة النسبية و شكل الحبيبات من أجل الحصول على ثبات أعظمي للمواد الحصوية غير المعالجة لكي تستطيع مقاومة التشوهات الناتجة عن الحمولات.

**ي- خاصية التلاحم مع البيتومين:** بشكل عام، هناك نوعان من الحصويات شرهة للماء و غير شرهة للماء، و بصورة عامة يكون تلاحم البيتومين مع الحصويات أكثر فعالية كلما كانت الحصويات جافة و نظيفة[3] .

**2- الرمال البيتومينية (البودرة):**

و هي عبارة عن خليط من الرمل الطبيعي (غالبا ما يكون مستدير الشكل)، و يتحول الرمل الصلب المسحوق إلى حبيبات دقيقة أو غبار هو المار من المنخل (رقم 200) (0,075ملم)، ويأتي الأخير لتعويض تماسك الذي تفقدة الرمال الطبيعية[3 :5].

- الصورة رقم (5) لبودرة الفيلر -

**3- الرابط الإسفلتي:**

وهو عبارة عن مادة لزوجة عالية من أصل نفطي، يتم تصنيف الرابط الإسفلتي النقي حسب درجة الصلابة عن طريق تجارب مقاومة الغرز و درجة اللزوجة ، أما تصنيف هذا الرابط الإسفلتي المخفف (يدمج الرابط النقي بمواد مخففة) فيصنف بسرعة التدفق و نسبة المذيب.

الدور الرئيسي للرابط الإسفلتي في الخلطات الإسفلتية هو ربط حبيبات الركام ببعضها البعض و منحها القدرة على مقاومة قوى الشد و القص الناتجة عن التأثيرات الخارجية و عزل حبيبات الركام بمنع وصول الماء و المواد الضارة اليها.

– الصورة رقم (6) المادة البيتومينة الرابطة في حالتها صلبة –

**خواص الرابط الإسفلتي:**

يشكل الربط الإسفلتي في الغالب (5%) من وزن الخلطة الإسفلتية و (10%) من حجمها، فانه يلعب دور أساسيا في أداء تلك الخلطة، وتشمل خواص الربط الإسفلتي:

أ– **الزحف:** القابلية للحركة تحت الضغط ويعتمد على درجة الحرارة و فترة التحميل.

ب– **اللزوجة:** نسبة ضغط القص إلى سرعة القص عند درجة حرارة معينة.

ج– **التصلب:** تغير التركيب الكيميائي بسبب التأكسد و عند التعرض للحرارة و الهواء أو فقدان المذيب.

د– **الاسترخاء:** القدرة على تقليص الإجهاد الداخلي بالإستطالة أو الإنفعال.

**4– المضافات و المحسنات:**

مواد معدنية أو لدائن بلاستيكية أو أحماض أمينية تستعمل لتحسين خواص الرابط الإسفلتي أو تحسين التصاقه بالركام و منع التقشير او التأكسد .

**5– الفرغات:**

و هي الفرغات المتبقية بين حبيبات الركام المملوءة بالهواء [3].

– الصورة رقم (7) للمواد المضافات في الخلطة البيتومينية –

## تصنيف الإسفلت:

في البداية كان يتم تصنيف الإسفلت و تحديد مواصفاته بالاعتماد على نتائج تجربة الغرز، حيث يقسم الإسفلت إلى خمسة أنواع هي ( 40–50, 60–70, 85–100, 120–150, 200–300 ) مع بداية عام 1970 ولغاية 1980 ظهر تصنيف آخر يعتمد على نتائج تجربة اللزوجة حيث يقسم الإسفلت إلى خمسة تدرجات هي ( $AC_{2.5}$ , $AC_5$ , $AC_{10}$ , $AC_{20}$ , $AC_{40}$ )، ويشير الرقم بجانب الرقم لي اختصار ( Asphalt–Concrete ) .

## ملخص خواص المواد البيتومينية:

إن الخواص العامة للمواد البيتومينية يمكن جمعها بأربعة خواص رئيسية (القوام – الديمومة – معدل سرعة التجمد – مقاومة فعل الماء)[3:4].

## تصميم الخلطات الإسفلتية:

إن تصميم خلطة الرصف الإسفلتية هو مسألة اختيار العناصر الداخلة في تركيبها من حصويات (حصى+ رمل+ بودرة) ورابط إسفلتي بشكل مناسب للحصول على مزيج فني و اقتصادي.

### 1– الهدف من تصميم الخلطات الإسفلتية:

في التصميم سلسلة من الإجراءات الهادفة إلى تحديد نوع ونسب و خواص المواد الداخلة في تركيب

الخلطة الإسفلتية و طرق اختبارها للتأكد من تحقيق الخلطة و مكوناتها للمواصفات وقدرتها على الأداء تحت ظروف التشغيل، حيث يهدف التصميم لتحقيق كل من:

- ✓ نسبة إسفلت كافية تؤدي للحصول خلطة إسفلتية ذات ديمومة كافية.
- ✓ ثبات كافي للخلطة يحقق متطلبات حركة المرور بدون تفتت أو تشوه غير مقبول.
- ✓ نسبة فراغات كافية في الخلطة المرصوصة بحيث تستوعب كمية الرص الإضافية تحت تأثير حمولات المرور دون حصول فوران للإسفلت أو فقدان للثبات.
- ✓ قابلية تشغيل كافية تسمح بفرش الخلطة دون فصل في مواد الخلطة الإسفلتية[5] .

**2- مراحل التصميم:**

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

أ- **المرحلة الأولى:** اختيار المواد الداخلة في تركيب الخلطة, الركام, المضافات أو المحسنات.

ب- **المرحلة الثانية:** اخد عدد كافي من العينات المماثلة من جميع المواد و فحصها للتحقق من مطابقة المواد المختارة للمواصفات و إمكانية دمج الركام للحصول على التدرج المطلوب.

ج- **المرحلة الثالثة:** خلط الركام مع نسب متباينة من الربط الإسفلتي و حساب الخواص الحجمية و فحص مؤشرات القوة إن وجدت ثم عرضها بيانيا لاختيار الرابط الإسفلتي المثالي.

د- **المرحلة الرابعة:** إعداد نسبة مثلى للرابط الإسفلتي للخلطة و التحقق من مطابقتها للمواصفات.

هـ- **المرحلة الخامسة:** تنفيد مقطع تجريبي للتأكد من إمكانية إنتاج الخلطة بالخلاطة و إمكانية فردها (فرشها) ودكها حسب المواصفات دون إتلافها.

و- **المرحلة السادسة:** إجازة الخلطة.[3]

## خاتمة المحور:

تعرفنا من خلال هذا المحور على الكثير من تفاصيل الخرسانة البيتومينية والمواد المشكلة لأهم طبقات الرصف وكذلك الطريق وما يحتويه من عناصر ومكونات، وما من طريق يخلو من مشاكل و عيوب ظاهرة على السطح، سنتطرق خلال الفصل التالي إلى جوهر الدراسة وأحد العيوب الظاهرة وهو"التخدد".

## المحور الثاني: "ظاهرة التخدد"

### تمهيد:

ترتبط مقاومة الخلطات الإسفلتية للتخدد بقدرتها على الإستجابة للحمولات المرورية المتكررة تحت تأثير الشروط البيئية السائدة دون اِنهيار مبكر أو ظهور لتشققات، حيث يعتبر الكشف المبكر للخلل البسيط و إصلاحه من النشاطات المهمة للمحافظة على ديمومة الطريق و عدم اِتساع الخلل، نتعرف من خلال هذا الفصل عن سطح الطرقات و ما يعانيه من تشوهات إثر ظاهرة التخدد.

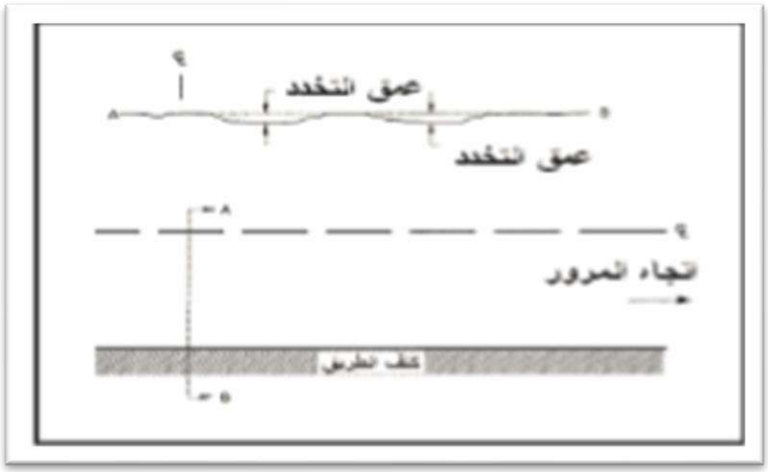
### ظاهرة التخدد:

يعرف التخدد على أنه الإنضغاط الذي يحدث على شكل قنوات في سطح الطريق بأماكن سير إطارات المركبات، و يحدث التخدد نتيجة الأحمال الزائدة و كذلك بسبب الحركة الجانبية لطبقة السطح إذا لم يكن لديها المقدرة على تحمل أوزان المركبات و قد يحدث التخدد في طبقة الرصف الجديدة التي لم يتم دمكها جيدا خلال الإنشاء.

– الشكل رقم (8) صورة لظاهرة التخدد على سطح الطرقات –

**1- طريقة قياس التخدد:**

يقاس متوسط عمق التخدد بوضع أداة مستقيمة يقارب طولها 1,2 م تتقاطع عموديا على التخدد، و يتم تسجيل أقصى عمق ثم تؤخذ متوسط القياسات كل 6 أمتار من طول التخدد لتحديد معدل مستوى عمق التخدد، و تقاس المساحة المتاثرة بالمتر المربع لكل مستوى على حدى، و يتم تسجيل التخدد بقياس عمق الهبوط، و هو المسافة بين سطح الطريق و أخفض نقطة في الهبوط، كما هو موضح في الشكل رقم (9):




- الشكل رقم (9) يبين كيفية قياس عمق هبوط الأخدود -

**2- مستويات عمق التخدد:**

يمكن تقسيم مستوى عمق الأخدود الظاهر على سطح الطريق إلى ثلاث مستويات هي:

أ- **المستوى المنخفض:** يترأوح متوسط العمق لهذا المستوى بين 8-13 ملم.

ب- **المستوى المتوسط:** يترأوح متوسط العمق بين 14-25 ملم.

ج- **المستوى العالي:** يسأوي عمق التخدد عند هذا المستوى اكثر من 25 ملم.

**مقاومة الخرسانة للانزلاق إثر التخدد:**

عند حدوث التخدد على سطح الطريق يكون له تأثير سلبي على خصائص قيادة المركبة و يعرقل تصريف الماء

عن السطح، مما يؤدي إلى التقليل من سطح الإحتكاك و يساهم في إنزلاق إطارات المركبة، و تعتمد خاصية مقاومة الخلائط البيتومينية للإنزلاق حسب [5] على عاملين أساسيين هما

(نسيج المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخليط، نسبة البيتومين الداخلة في تركيب الخليط)

**أسباب التخدد:**

إن الإجهادات الحاصلة على الرصف الخرساني تؤدي إلى ظهور عيوب على سطح الطريق، قد يكون سبب ظهورها هو فشل في صب الرصف أو بسبب فشل في الطبقات التحتية والذي ينعكس بدوره على الطبقات السطحية، ويكون معظم هذه الإجهادات إما من اختلاف درجات الحرارة أو المحتوى المائي أو إزاحة لطبقات الترابية (طبقة الأساس) إضافة إلى أن زيادة الكثافة المرورية أو وزن المركبات عن ما هو مسموح به تؤدي إلى فشل الطريق و ظهور عيوب على السطح لأسباب يمكن جمعها في: ضعف الدمك، زيادة نسبة البيتومين، زيادة الأحمال، زيادة نسبة المواد الناعمة في الخلطة، زيادة سمك طبقة ، ارتفاع درجة الحرارة، نسبة الفرغات قليلة[8،7].

**1- الإجهادات الناتجة عن فروق درجات الحرارة:**

تتأثر البلاطات الخرسانية بالحرارة فتتمدد أو تنكمش عندما ترتفع أو تنخفض درجة حرارتها، ونتيجة لفروق الحرارة الداخلية يحدث إلتواء للخرسانة، وتكون الجهود صغيرة إذا لم تتمكن البلاطة من الإلتواء كما يحدث في كثير من الحالات، ماعدا في حالة البلاطات الصغيرة فان جهودا كبيرة تحدث تزايداً كثيرا عن الجهود الناتجة عن حركة المرور و درجات الحرارة تؤدي إلى إحدث حالتين من الإجهادات في البلاطة الخرسانية.

**أولا إجهاد الإلتواء:** عندما يتعرض سطح البلاطة الخرسانية العلوي و السفلي لدرجات حرارة مختلفة في نفس الوقت، فإن البلاطة تصبح عرضة للالتواء إلى أسفل أو إلى أعلى مما يتسبب في حدوث إجهاد الإلتواء.

ونتيجة لسمك البلاطة فإن السطح السفلي يتأثر بتغير درجات الحرارة ببطىء عن السطح العلوي. فعندما تصل درجة حرارة السطح العلوي إلى T درجة مئوية فإن درجة حرارة السطح السفلي تصل لقيمة أقل من ذلك وليكن (T−t) درجة، وباعتبار التغير في درجة الحرارة تغير خطي فان درجة الحرارة في منتصف السمك أو درجة الحرارة المتوسطة للبلاطة تساوي: $1/2[T + (T - t)]$

فإذا لم يوجد أي قيد على حركة البلاطة، فإن وحدة تمدد السطح و كذلك وحدة انكماش القاع نتيجة لتغير الحرارة النسبي يسأوي كل منهم (0,5×E×e×t)، حيث e يمثل معامل التمدد الحراري للخرسانة، و بإدخال تأثير معامل بواسون فان الإجهاد في المنطقة الداخلية في الاتجاه الطولي و العرضي يمكن تمثيلها بالمعادلة الاتية

حيث:

$$S_t(i) = E \times e \times \left(\frac{t}{2}\right)\left[C_X + \frac{\mu C_Y}{1} - \mu^2\right]$$

$S_t(i)$ = إجهاد الالتواء بالداخل– كجم/سم²

E = معامل مرونة الخرسانة –كجم/سم²

e = معامل التمدد الحراري للخرسانة– لكل مئوية.

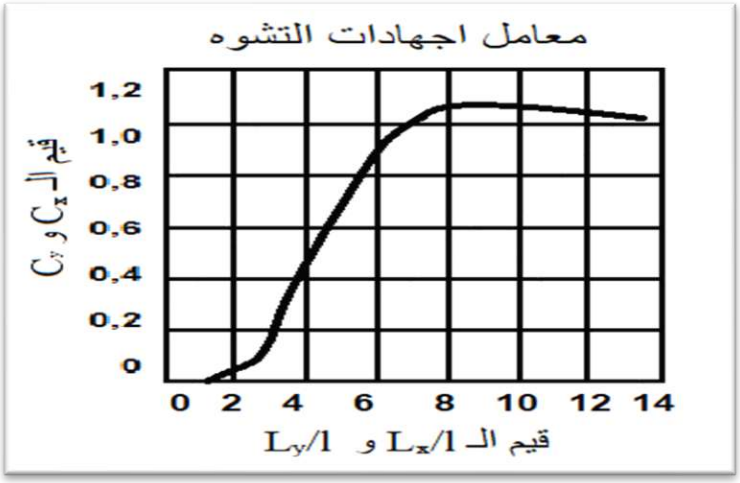
t = التغير في درجة الحرارة– درجة مئوية .

$C_x$ = مع أمل يتوقف على $L_x/l$ للاتجاه المرغوب.

$C_y$ = معامل يتوقف على $L_y/l$ عمودي على الاتجاه السابق.

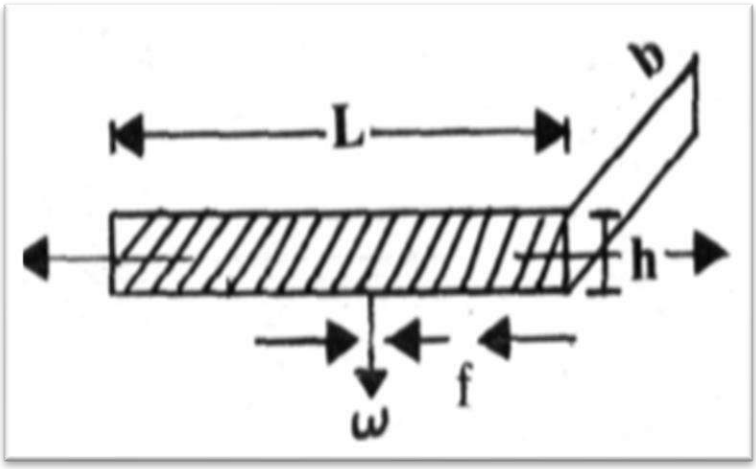
μ = نسبة بواسون

و تؤخذ قيم $C_x$ و $C_y$ من الشكل رقم (13)




– الشكل رقم (10) منحنى قيم معامل إجهادات التشوه –

**ثانيا إجهاد الإِحتكاك:** نتيجة للِرتفاع أو الإِنخفاض المنتظم لدرجات الحرارة في البلاطة الخرسانية يحدث تمدد أو انكماش للبلاطة، و لما كان سطح البلاطة السفلي ملامس للتربة فإن تمدد البلاطة يتم مقأومته نتيجة للإِحتكاك بين سطح البلاطة السفلي وسطح التربة و ينتج عن ذلك إجهاد أضافي لسطح البلاطة السفلي، و تتوقف قيمة هذا الإجهاد على طول البلاطة ففي حالة البلاطات القصيرة فان الإجهاد صغير و غير ملموس، و في حالة البلاطات الطويلة والتي تحتمل تحرك مقداره 0.15 سم ينتج عنها إجهاد احتكاك كبير.




– الشكل رقم (11) أبعاد طبقة الخرسانة البيتومينية –

$$Sd \times h \times 100 = b \times (\frac{L}{2}) \times (\frac{h}{100}) \times w \times f$$

حيث:

$$Sd = w \times L \times (\frac{f}{2}) \times 10^4$$

Sd= الإجهاد الناشئ في البلاطة الخرسانية–كجم/سم².

W = وحدة وزن الخرسانة–كجم/م³ ( حوالي 2400كجم/م³).

f = معامل الاحتكاك ( حوالي1.5).

L = طول البلاطة–متر .

**2- آثار تجمع الإجهادات على الرصف:** نظرا لأن الإجهادات الناتجة في البلاطة تختلف في قيمتها حسب موقع الحمل و حسب درجات الحرارة، فإنه من الضروري تحديد الوضع الحرج الذي ينتج عند أقصى إجهاد، والحالات الآتية قد اعتبرت لتحديد الإجهاد الأقصى:

أ- **أثناء الصيف:** الوضع الحرج للإجهاد في الداخل و عند الحافة أثناء منتصف النهار يحدث عندما تعمل البلاطة على الالتواء إلى أسفل في هذه اللحظة فإن إجهاد الشد يحدث عند السطح العلوي للبلاطة و التي تضاف إلى جهد الشد نتيجة للحمل، التجمع الحرج للإجهاد= (الإجهاد نتيجة للحمل+ إجهاد الالتواء- إجهاد الاحتكاك).

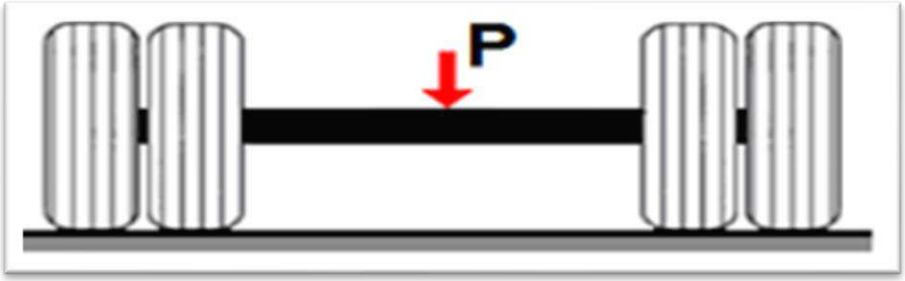
**ب- أثناء الشتاء:** يحدث الوضع الحرج للأوضاع السابقة عندما تنكمش البلاطة ويحدث الالتواء في البلاطة إلى أسفل أثناء منتصف النهار، التجمع الحرج للإجهاد للسطح السفلي للبلاطة =(الإجهاد نتيجة للحمل+ إجهاد الالتواء+ إجهاد الاحتكاك، و نظرا لأن التغير في درجة الحرارة (t) أقل قيمة خلال الشتاء عنه في الصيف، فان الحالة الأولى تعتبر هي الحرجة لحساب الإجهاد داخل البلاطة و عند الحافة[7].

**3- آثار الضرر على طبقات الرصف للطرق بسبب الحمولة الزائدة:** يعتقد الكثيرون و بالأخص سائقوا الشاحنات أن زيادة الحمولة المسموحة أمر عادي و لا يؤثر على المركبة أو على الطريق و لكن الأبحاث والدراسات تدل إلى إن تأثير تلك الحمولات الزائدة تؤدي إلى ضرر كبير في طبقات رصف الطرق بسببها، حيث أنها تسبب الضرر بمعدل الأسي قوة أربعة، أي إن الشاحنة المحملة فوق طاقتها 10 % يمكن أن تلحق الضرر بالطريق بنسبة أكبر من 40 % مقارنة مع نفس حمولة شاحنة نظامية[9].

إضافة إلى بعض الأسباب التي تؤدي إلى الحاق الضرر على جسم الطريق مثل: (تصميم الطرق، إنشاء الطرق، صيانة الطرق، الكوارث الطبيعية).

حسب الكودات يعتبر المحور المعياري المكافئ الأحادي حسب الشكل (15) و الذي من خلاله تحسب سماكات الرصف و إن كافة المحاور المرورية ستحسب قياسا على الحمل المكافئ وفق معادلات تأخذ بعين الاعتبار تربة التأسيس و النمو المروري.

P =8.2 طن




– الشكل رقم (12) يوضح وضعية قوة التحميل –

و قد تم دراسة العلاقة بين الحمولات النظامية و المخالفة و تحديد معامل الضرر حسب زيادة الحمولة النظامية إلى المخالفة ووضحت العلاقة مقدار الضرر وتأثيره على العمر التصميمي للطريق، على سبيل المثال تم حساب سماكات طبقات الرصف لعدد معين من الشاحنات حمولتها النظامية 40 طن و عمر تصميمي للطريق 15 سنة إضافة للعوامل الأخرى، فإن تجأوزت تلك الشاحنات الحمولات النظامية بنسبة 100% (أي كافة الشاحنات محملة حمولات مخالفة) فان النتائج ستكون كما يلي:

زيادة 5% (42 طن) يصبح العمر التصميمي 1.22/15 = 12.3 عاما

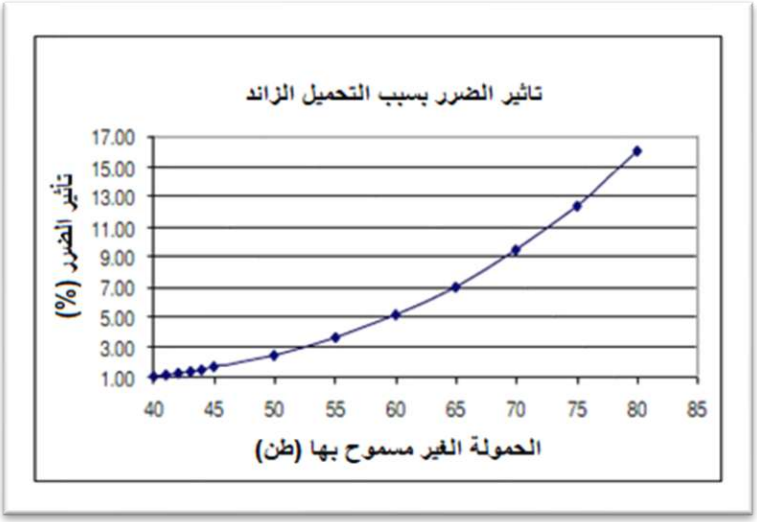
زيادة 10% (44 طن) يصبح العمر التصميمي 1.46/15 = 10.27 عاما

زيادة 15% (48 طن) يصبح العمر التصميمي 2.07/15= 7.25 عاما

و تبين الجدأول التالية معامل الضرر الناتج عن تأثير الفرق الحمولة النظامية و غير النظامية على طبقات الرصف و العمر [9] التصميمي للطريق:

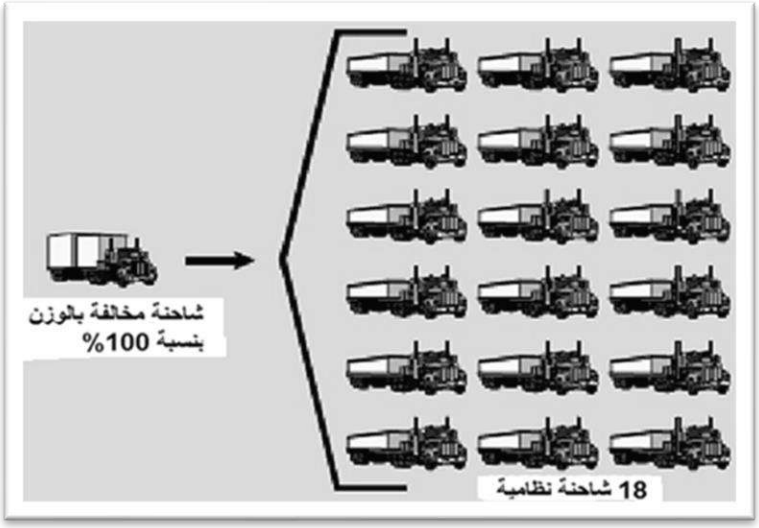
– الجدول رقم (3) نسبة تأثير الضرر الذي تحدثه الحمولة غير المسموح بها –

| **حمولة مسموح بها (طن)** | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **حمولة غير مسموح بها (طن)** | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| **تاثير الضرر (%)** | **1.00** | **1.10** | **1.22** | **1.34** | **1.46** | **1.60** | **2.44** | **3.57** | **5.06** | **6.97** | **9.38** | **12.36** | **16.00** |




– الشكل رقم (13) رسم بياني لتأثير الضرر بسبب التحمل الزائد –

ان السماح بمرور حمولة مخالفة للوزن بنسبة 100 % تسأوي مرور 18 شاحنة نظامية من نفس النوع، و إن منعها من السير سيبقي على عمر الطريق التصميمي و الحالة الجيدة لطبقات الرصف[9].




– الصورة رقم (14) رسم مقارنة بين الحمولة النظامية و غير النظامية للشاحنات –

**4– ضعف الخلطة الإسفلتية بسب ردائة المواد المكونة (الركام):** ان من أهم الركائز لمتانة الخلطة الإسفلتية و ثباتها و تقديم العمر الافتراضي المحدد لها هي المواد الركامية المتواجدة داخل خليط الخلطة، و لذلك يجب أن تتوفر على مواصفات قياسية و معتمدة مخبريا و على معاير لذلك أدرجت في مواصفات و تصنيفات فإذا كانت

المواد الركامية المستعملة رديئة و ليس لديها متانة و ديمومة و ملتصقة بالكتل الطينية الضارة وليست نظيفة كانت من أهم الأسباب التي تؤدي في ظهور عيب التخدد و المساهمة في عمقه[10].

## عوامل المؤثرة في التخدد:

### 1- أهم العوامل المؤثرة في التخدد:

التخدد أو خراب الطريق، هو مصطلح يدل على التغيير في حالة الطريق نتيجة عوامل السير المتزايدة والعوامل البيئية ومستوى خدمة (صيانة) الطريق، هذه العوامل تتلخص في (التغير في درجات الحرارة اليومية و الوحدوية، الحمولات المرورية الزائدة، المياه و الرطوبة، ضعف خصائص تربة الأساس، كثافة المرور و تكراره، و كذا المؤثرات الخارجية البشرية و الطبيعية)[10].

### 2- خواص المواد المؤثرة في حدوث الأخاديد:

أ- **الركام:** نوعية الركام من حيث الأصل الحجري و قوته وكذلك ( التدرج, الشكل, النسيج السطحي )، حيث الشكل الزأوي والسطح الخشن للركام يكون ذا مقاومة للقص أعلى من الركام ذا الشكل المدور و السطح الأملس.

ب- **تدرج الركام:** خليط الركام الخشن تكون مقأومته للقص عالية بالمقارنة بخليط الركام الناعم.

ج- **الركام الناعم:** استخدام رمل الكسارات في الخليط أفضل من الرمل الطبيعي و يعطي ثباتاً عالياً و مقاومة قص عالية.

د- **الركام الخشن:** الركام الخشن المكسر ذو مقاومة قص أفضل من الركام الخشن غير مكسر، و كذلك يعطي قوة ثبات عالية.

هـ- **الفلر:** كلما كانت نسبة المواد الناعمة (نسبة المواد العابرة من الغربال) عالية، تكون المقاومة جيدة حيث تملأ الفراغات الهوائية و تزيد من قوة الثبات، و في كل الأحوال يجب ان لا تزيد نسبة الفلر في المزيج عن حدود المواصفات[10].

## إجراءات تساهم في مقاومة التخدد:

يتم إتخاد بعض الإجراءات للمحافظة على جسم الطريق من التخدد و إطالة العمر التشغيلي لها، أهمها الصيانة المستمرة لطريق منذ لحظة الانتهاء من تنفيذه والمتمثلة في متابعة أوزان السيارات المحملة والحرص على عدم تجأوز الحمولات القانونية حتى يبقى الطريق صالحا للمرور في صورته الأصلية طيلة فترة عمره الافتراضية، أما أثناء تصميم الخلطة الإسفلتية فهناك عدة عمليات تساهم في علاج التخدد منها:

- ✓ دمك الإسفلت جيدا للحصول على نسبة الدمك المطلوبة.
- ✓ عدم زيادة نسبة البيتومين، و استخدام بيتومين أكثر لزوجة، فمثلا استخدام البيتومين 50/40 بدلا من 70/60.
- ✓ متابعة أوزان السيارات المحملة.
- ✓ عدم استعمال المواد الناعمة بنسبة كبيرة وعدم زيادة سمك طبقة.
- ✓ الحفاظ على درجة حرارة الخلطة في الخلاطة 160+5 م، و في الموقع أثناء الدمك 140+5 م.
- ✓ الحفاظ على نسبة الفرغات في طبقة الأساس للخلطة الإسفلتية الساخنة وهي من ( 5:8 ) %، وفي طبقة السطح للخلطة الإسفلتية هي من ( 4:7 ) %.
- ✓ نسبة الرمل الطبيعي لا تزيد عن 15 % من المار من الغربال رقم 4 على ألا تزيد نسبة الرمل النافذ عن 50 % من الرمل الطبيعي، أي أن نسبة الرمال النافذة يجب أن لا تزيد عن 7,5 % .
- ✓ عدم المبالغة في سمك الطبقة التأسيسية البتومينية أكثر من اللازم [10: 8].

### 1- معدات و ماكينات المخصصة لصيانة الرصف الإسفلتية:

-الجدول رقم (4) دور و مسميات ماكينات و معدات الصيانة-

| النوع | دور | مسميات |
|---|---|---|
| ماكينات | أزالة الرصف | منشار، شوفل، ماكينة الكشط، الكومبريسر (الضاغط الهوائي)، القلاب |
| | الصيانة | فارشة إسفلتية، كريدر، مكنسة ميكانيكية أو آلية |
| معدات | الحدل | الحادلات المطاطية و الحديدية و الإهتزازية و (حادلات حديدية بتشغيل يدوي) |
| | ثانوي عام | معدات دهان باتجاه حركة السير، معدات أزالة دهان الطريق، تانكر ماء |

**2- صيانة التخددات على سطح طرقات:**

يتم إصلاح التخددات بمساواة السطح، بملء القنوات بخليط إسفلت ساخن إذا لم يكن هناك زحف جانبي، و من ثم تغطية السطح بطبقة إسفلتية إضافية خفيفة، أما إذا كان السبب هو الحركة الجانبية للطبقة الإسفلتية فإنه يجب إزالتها و إعادة إنشائها [6:11].

**3- الأدوات المستخدمة في البحث و قياس عمق الأخاديد:**

أ- لتحديد عيوب التبليط تشير مواصفات الـ (PIC) إلى أدوات قياس العيوب و هي شريط القياس لمعرفة أبعاد، أطوال العيوب و مسطرة معدنية، لقياس مقدار العمق لتحديد درجة شدة بعض العيوب كالأخاديد أو التموجات ويمكن استخدام الأجهزة المساحية الحديثة لتحديد بعض هذه المتطلبات.

**ب-** يتم أخذ (10) عينات أسطوانية من التبليط الإسفلتي بجهاز اللباب الاسطواني للطبقة السطحية و ذلك لأجراء فحص السمك، الكثافة ونسبة الدك، فحص ثبات مارشال، الإنسياب...الخ.

ج- أخذ (10) عينات من تبليط الطبقة السطحية من نفس الموقع لإجراء فحص الإستخلاص[10].

-الجدول رقم (5) نوع الصيانة اللازمة لتخدد حسب شدة العمق-

| التخدد | | | |
|---|---|---|---|
| الكثافة / الشدة | منخفضة<br>أقل من 10 % | متوسطة<br>ما بين 11% -50% | عالية<br>أكثر من 50% |
| **منخفضة** | لا تفعل شيئا | لا تفعل شيئا | لا تفعل شيئا |
| **متوسطة** | كشط و إعادة الرصف | كشط و إعادة الرصف | كشط و إعادة الرصف |
| **عالية** | ترقيع عميق | ترقيع عميق | إعادة إنشاء |

**طريقة الـ ASTM:** في هذه الطريقة يتم قياس عمق التخدد لسطح التبليط باستخدام المسطرة ذات الحافة المستقيمة باعتماد الخطوات المذكورة في المواصفات سنة 2000 (ASTM E1703/E1703-95).

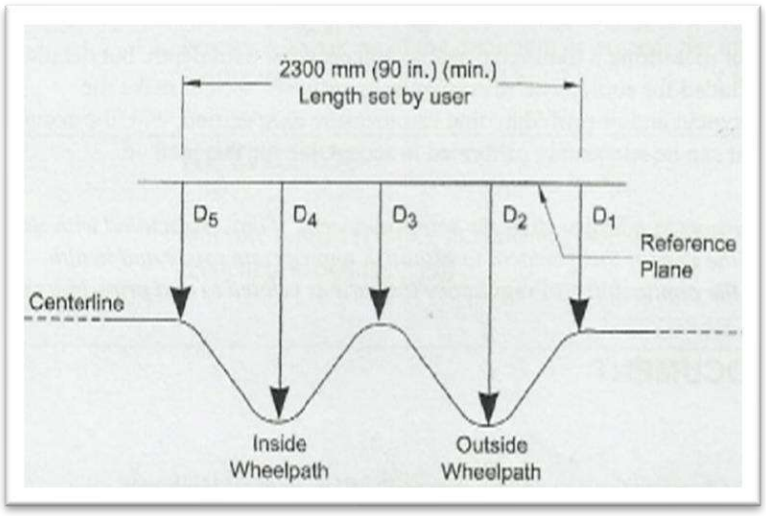
في هذه الطريقة يتم قياس عمق التخدد في المكان الذي يتم اختياره على سطح التبليط تحت أحد الإطارات، دون

اعتبار مقدار التخدد تحت الإطار باستخدام المسطرة، و يتم بذلك حساب أقصى مسافة عمودية بين السطح السفلي للمسطرة و منطقة اتصال المقياس مع سطح التبليط في مكان محدد.

**تنويه: (ASTM)** هي المواصفات القياسية للجامعة الأمريكية للاختبارات و المواد.

**طريقة الـ AASHTO:** في هذه الطريقة يتم قياس عمق التخدد لسطح التبليط لكامل المقطع العرضي من خلال خمس نقاط (على الأقل) لكل 50 متر من الطريق و باعتماد الخطوات الموصوفة في نظام AASHTO R48-10.

**تنويه: (AASHTO)** هو الكود الأمريكي لتصميم الطرق مواصفات العالمية.




– الشكل رقم (15) أبعاد قياس التخدد المعمول بها –

حيث:

$$R_0=D_2-[(D_1+M)/2]$$

$$R_1=D_4-[(M+D_5)/2]$$

نختار أيهم الأقل

$$M=(D_1+D_5)/2 \text{ أو } D_3$$

$R_0$: عمق التخدد تحت الإطار الخارجي (ملم).

$R_1$: عمق التخدد تحت الإطار الداخلي( ملم).

– $D_1,D_2,D_3,D_4,D_5$: الارتفاعات المقاسة كما في الشكل رقم (19) (ملم) [11].

## حلول و مقترحات للتقليل من ظاهرة التخدد:

**1- تقوية طبقات التبليط بإضافة مواد:** المواد نسيجية أو معدنية، و إن وضع طبقة منها ما بين طبقة ما تحت التدرج وطبقة ما تحت الأساس ستكون فعالة في تحسين أداء التبليط و إطالة عمره، وذكر الباحثون بأن هذه المواد أثبتت نجاحها تجريبيا بمقاومة الظروف الموقعية، و أنها تقوي تربة ما تحت التدرج الضعيفة بدلا من تثبيتها كيميائيا أو استبدالها بأخرى[13:12].

**2- استخدام طبقة المشبك البلاستيكي:** لقد ذكر الباحثون بأن استخدام طبقة واحدة من المشبك البلاستيكي بين طبقة تربة ما تحت التدرج و طبقة ما تحت الأساس أدى إلى التقليل من عمق الأخاديد و زادت من زاوية توزيع الجهد، أي قللت من الجهد العمودي على السطح ما بين طبقة ما تحت التدرج وما تحت الأساس مقارنة بالمقطع غير المسلح، و أصبحت هذه المعالجة جزءً من تصميم التبليط أو من نظام صيانته و إعادة تأهيله[14].

**3- تسليح الطبقة الإسفلتية:** أما بالنسبة إلى تسليح الطبقة الإسفلتية، فقد ذُكر بأن تسليح طبقة الإسفلت السطحية أو الرابطة عند الإنشاء أو طبقة التبليط الإضافية عند الصيانة باستخدام طبقة من المشبك الفولاذي، أدى إلى تقليل إجهاد الحرارة و الأحمال بأسفل الطبقة المسلحة و أخّر بدء التشققات[15].

ينصح الباحثون بإضافة التسليح بالشباك الفولاذي بين طبقة التبليط السطحية المتضررة و طبقة التبليط الإضافية أو في داخل طبقة التبليط السطحية عند انشائها [16].

## خاتمة المحور:

تم في هذا المحور التطرق للظاهرة الأساسية المراد دراستها في هذه الأطروحة و هي "التخدد"، فالتقليل من ظهورها على أسطح الطرقات هو مكسب لمهندسي الطرق و مستعملي الطرق كذلك، حيث يوفر هذا الأخير راحة القيادة للمركبات، وهذا هو المبدأ الأساسي لتصميم الطرق.

## المحور الأول: "اختبار المواد المستعملة"

### تمهيد:

تمت الدراسة التجريبية لمختلف صيغ الخرسانة البيتومينية على ثلاث مراحل هي:

1. تحديد المواد المكونة (الركام، البيتومين، الحصى المدور).
2. تصنيف الحصى المدور وتحديد الفئة الحبيبية التي ينتمي لها.
3. اختبار التخدد لمختلف الخلطات تبعاً والمقارنة مع النتائج المسجلة للخلطة المرجعية.

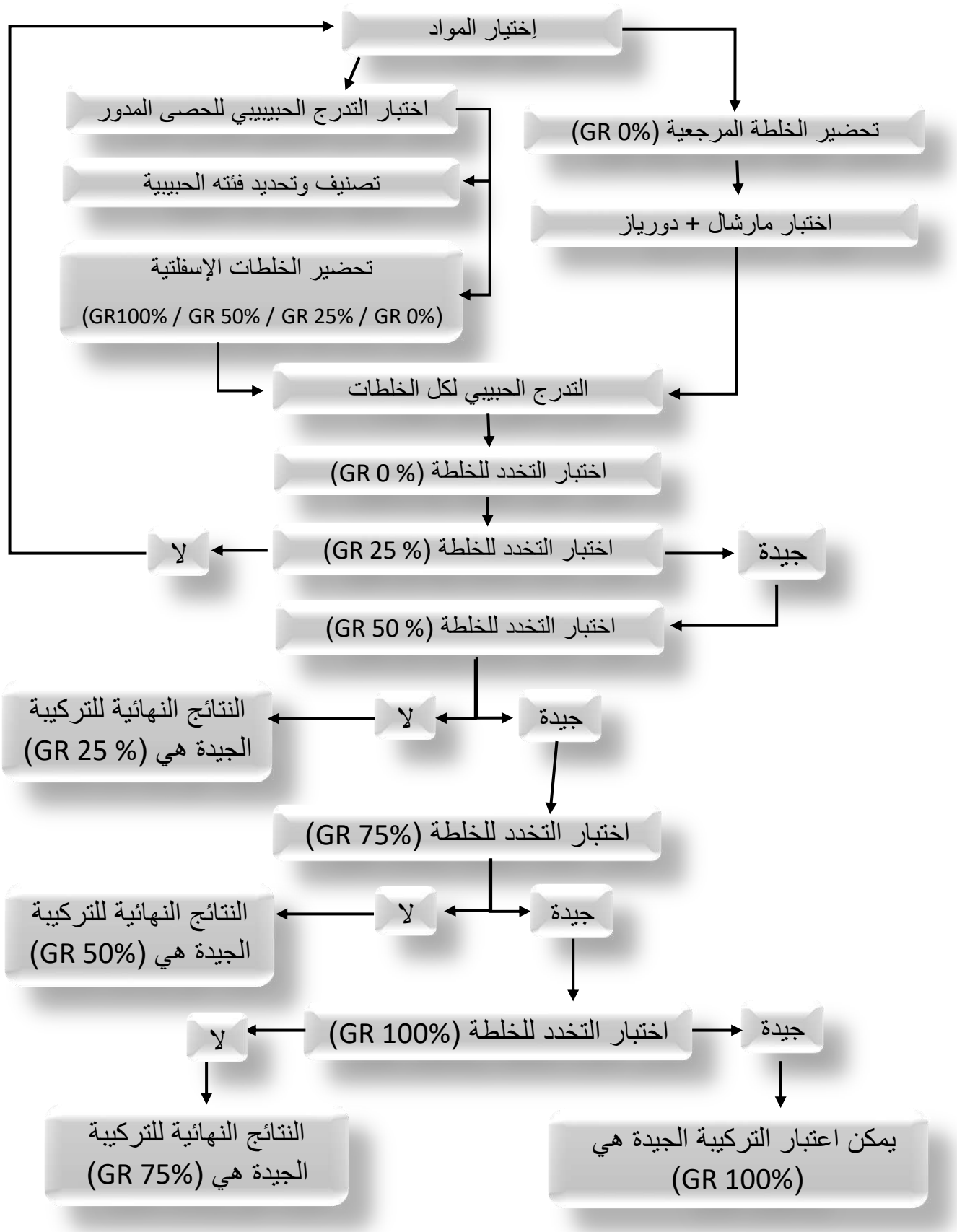
### تحديد المواد المستعملة:

تشمل الدراسة التجريبية للمغلف الإسفلتي عدة تجارب تتطلب مواد طبيعية يتم قلعها و أخرى نفطية يتم معالجتها و كذلك مواد مرسكلة يتم تدويرها لإعادة استعمالها كمواد مشكلة لتصميم الخلائط الإسفلتية لطرق، يوضح الجدول رقم (10) كل المواد المستعملة في الدراسة و الفئة التي تنتمي إليها و الكمية اللازمة لتجربة هذه الدراسة، مع تحديد المواقع الصادرة منها.

| المواد | رمل | حصى | حصى | حصى مدور | إسفلت |
|---|---|---|---|---|---|
| **الفئة** | 3/0 | 8/3 | 15/8 | 8/3 و 15/8 | - |
| **الوزن (كلغ)** | 50 | 15 | 20 | 35 | 7 |
| **الموقع** | "بن براهيم" ورقلة | "بن براهيم" ورقلة | "بن براهيم" ورقلة | مخلفات كشط طريق وسط المدينة ورقلة | شركة total ورقلة |

- الجدول رقم (10) مواقع و كميات المواد المستعملة -

**المخطط الإنسيابي منهجية اختبار العمل في المخبر:**



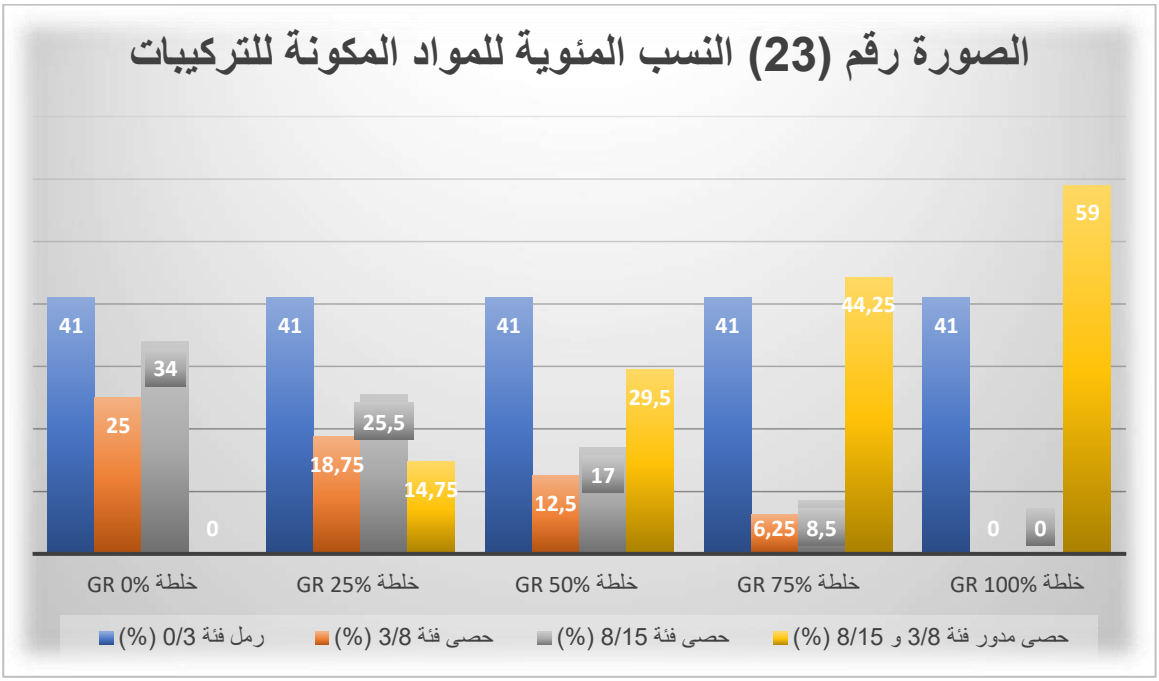
## نسب المواد المكونة لمختلف التركيبات:

لدراسة طبقة الخرسانة البيتومينية العادية "BB" ذات خلطة تحتوي على نسب مختلفة من الحصى المدور، أقترحنا التركيبات التالية:

- ✓ التركيبة المرجعية رقم (1): الرمل (S 0/3) بـ 41% + الحصى(G 3/8) بـ 25% + الحصى(G 8/15) 34% + الحصى مدور(8/15 و GR 3/8) بـ 0%.
- ✓ التركيبة رقم (2): نستبدل جزء من الحصى (G 3/8) و(G 8/15) بنسبة 25% بحصى المعاد تدويره من نفس الفئة (G 3/8) و(G 8/15) .
- ✓ التركيبة رقم (3): نستبدل جزء من الحصى (G 3/8) و(G 8/15) بنسبة 50% بحصى المعاد تدويره من نفس الفئة (G 3/8) و(G 8/15).
- ✓ التركيبة رقم (4): نستبدل جزء من الحصى (G 3/8) و(G 8/15) بنسبة 75% بحصى المعاد تدويره من نفس الأبعاد (G 3/8) و(G 8/15).
- ✓ التركيبة رقم (5): نستبدل الحصى (G 3/8) و(G 8/15) كليا بحصى المعاد تدويره من نفس الأبعاد (G 3/8) و(G 8/15).

الآن لدينا خمس خلطات تقسم نسبها كالتالي:

الصورة رقم (23) النسب المئوية للمواد المكونة للتركيبات



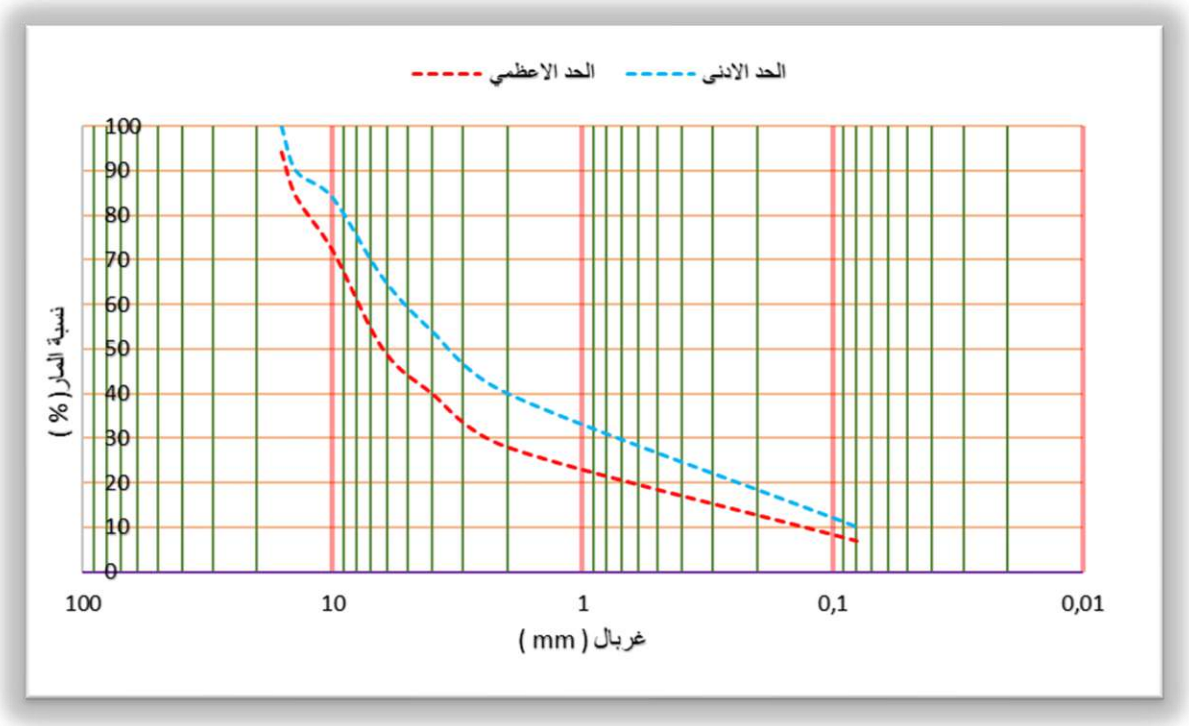
## اختبار المواد:

### 1- التحليل الحبيبي:

منحنيات لحجم جسيمات مختلف الخلطات ضمن حزم نظامية معينة في الجداول التالية:

- جدول (11) قيم منحنى الحزمة النظامية المطلوبة في التدرج الحبيبي -

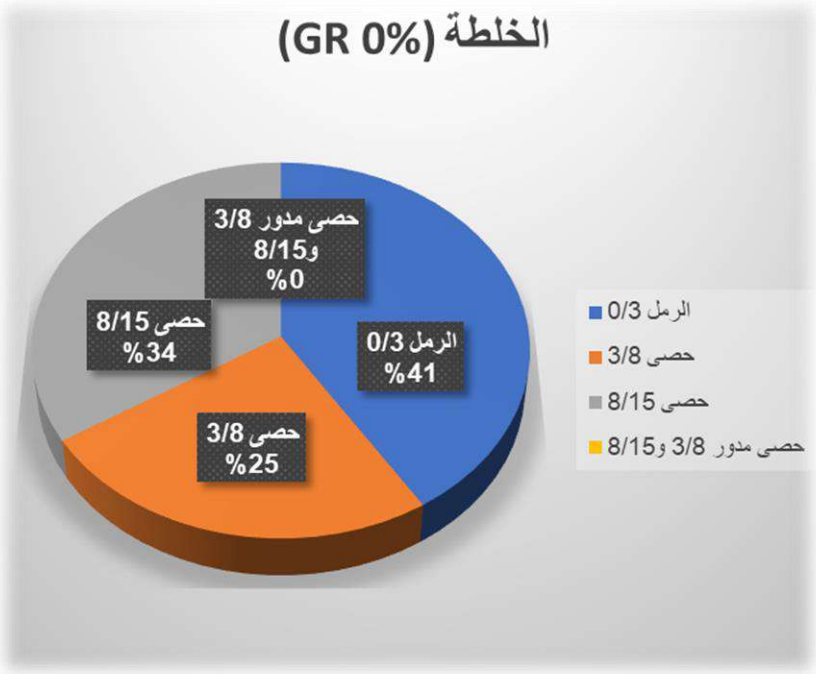
| غربال (مم) | نسبة المار (%) من F1 إلى F2 |
|---|---|
| 16 | من 94 إلى 100 |
| 12,5 | من 84 إلى 90 |
| 10 | من 72 إلى 84 |
| 6,3 | من 50 إلى 66 |
| 2 | من 28 إلى 40 |
| 0,08 | من 7 إلى 10 |



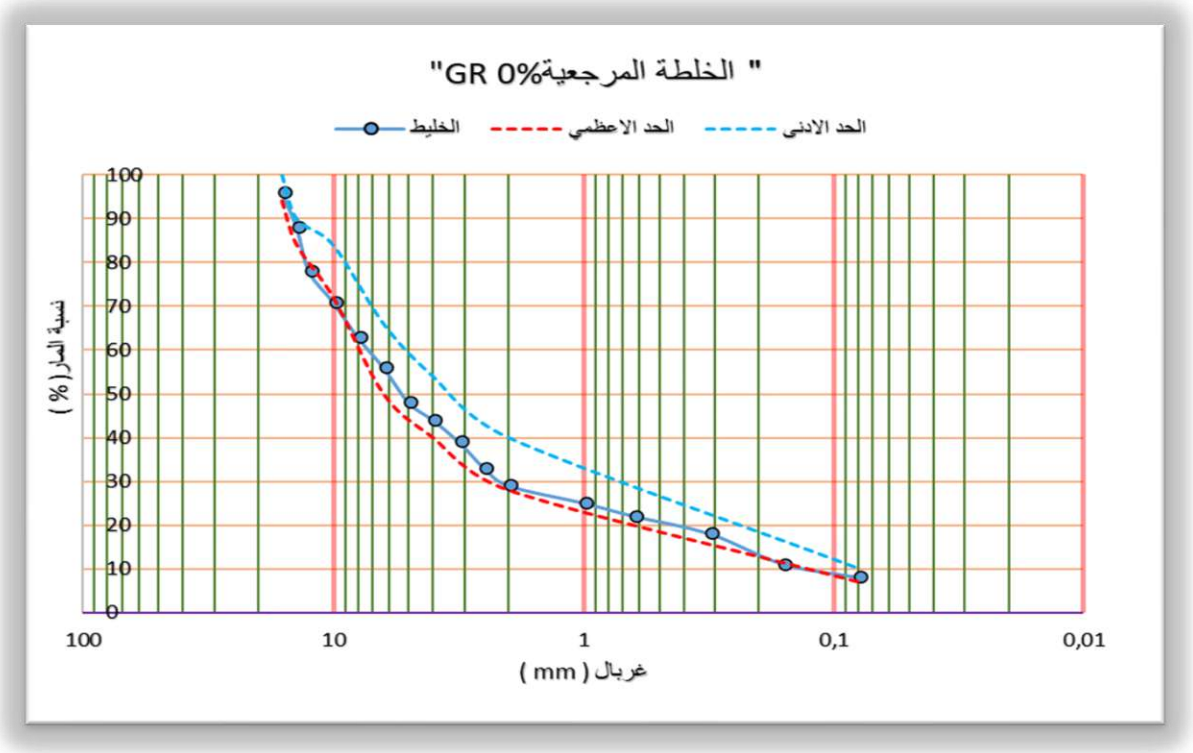

- الشكل رقم (24) منحنى الحزمة النظامية المطلوبة في التحليل الحبيبي -

- جدول (12) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة المرجعية "GR 0%" -

| نسبة المار (%) | غربال (مم) |
|---|---|
| 96 | 16 |
| 88 | 14 |
| 78 | 12,5 |
| 71 | 10 |
| 63 | 8 |
| 56 | 6,3 |
| 48 | 5 |
| 44 | 4 |
| 39 | 3,15 |
| 33 | 2,5 |
| 29 | 2 |
| 25 | 1 |
| 22 | 0,63 |
| 18 | 0,315 |
| 11 | 0,16 |
| 8 | 0,08 |



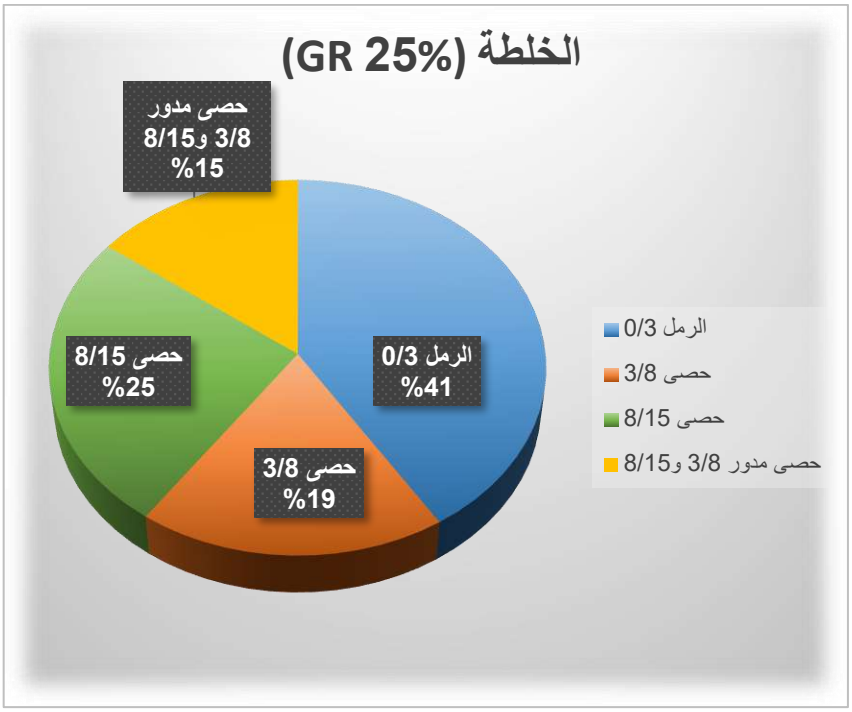

- الصورة رقم (25) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة المرجعية "GR 0%" -



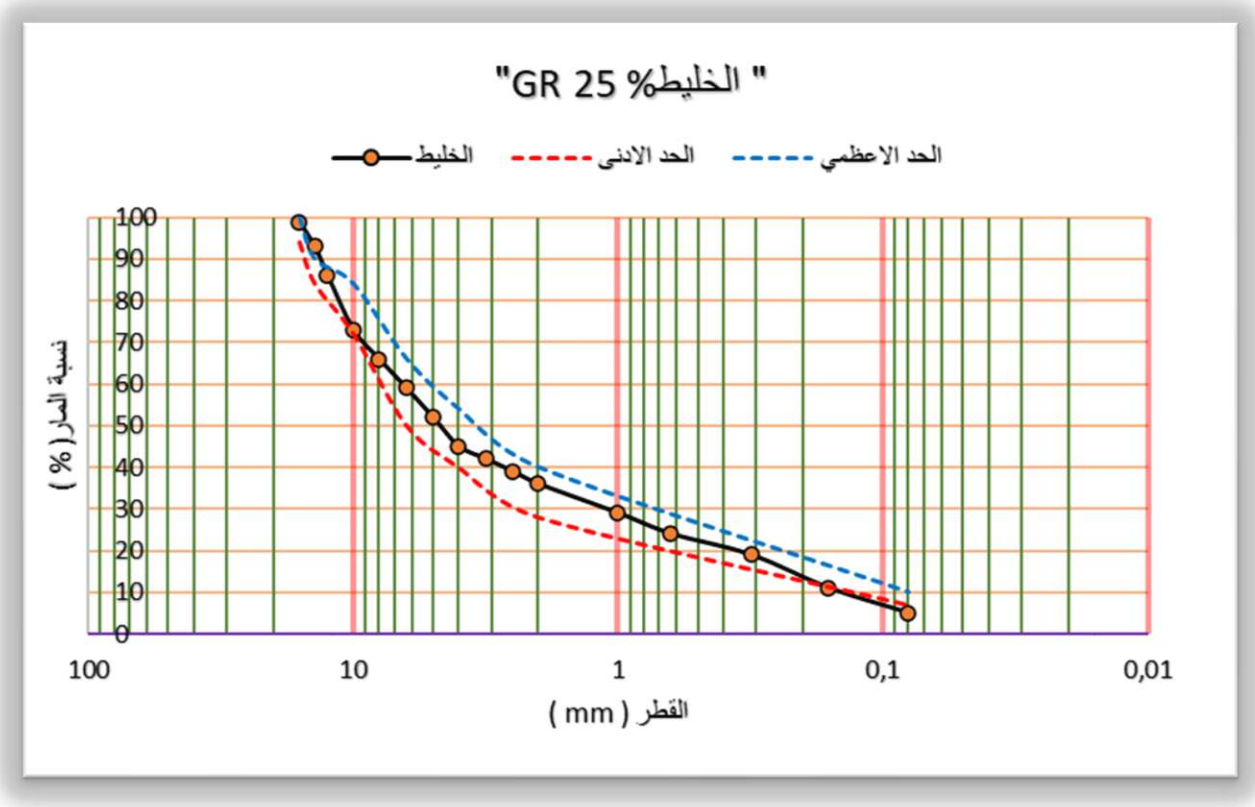

- الشكل رقم (26) منحنى التحليل الحبيبي للخلطة المرجعية "GR 0%" ضمن الحزمة النظامية المطلوبة -

- جدول رقم (13) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 25%" -

| نسبة مار (%) | غربال (مم) |
|---|---|
| 99 | 16 |
| 93 | 14 |
| 86 | 12,5 |
| 73 | 10 |
| 66 | 8 |
| 59 | 6,3 |
| 52 | 5 |
| 45 | 4 |
| 42 | 3,15 |
| 39 | 2,5 |
| 36 | 2 |
| 29 | 1 |
| 24 | 0,63 |
| 19 | 0,315 |
| 11 | 0,16 |
| 5 | 0,08 |



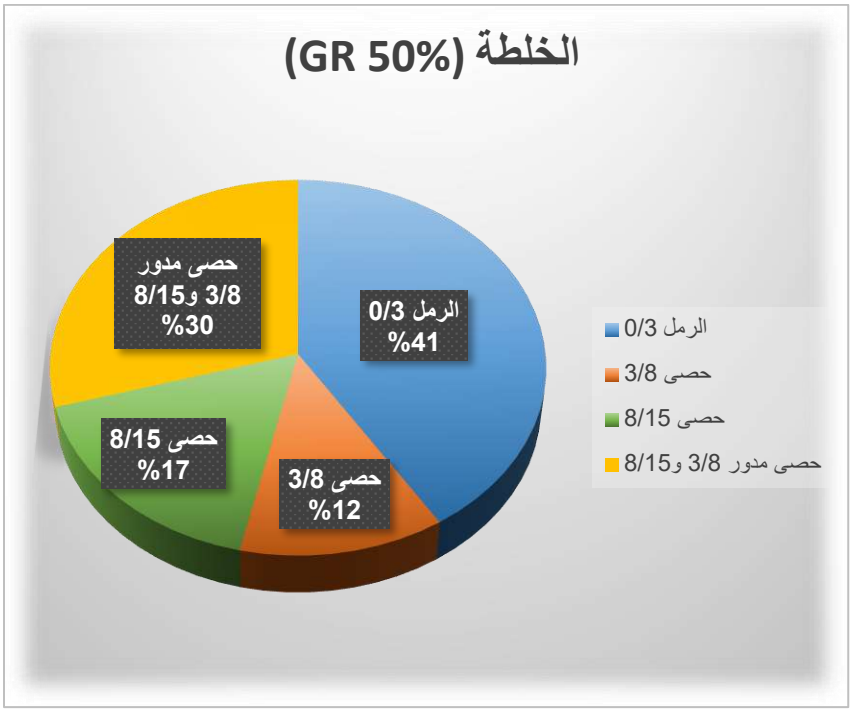

- الصورة رقم (27) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 25%" -



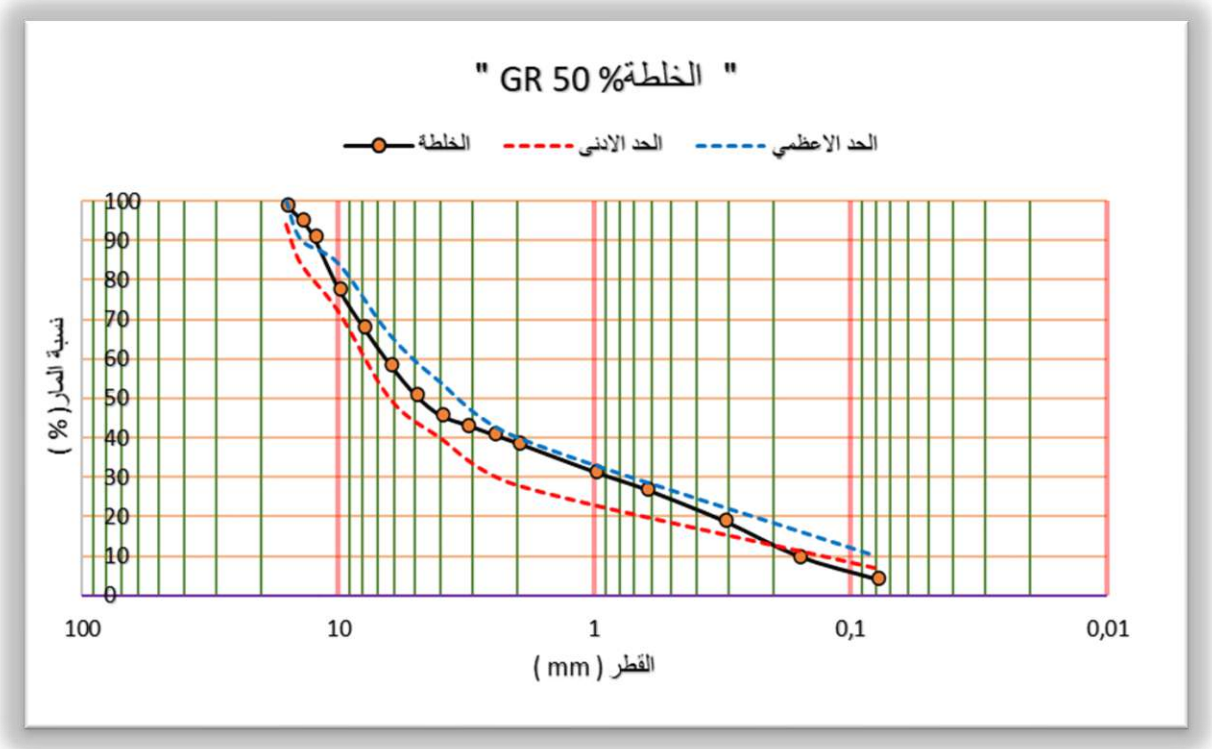

- الشكل (28) منحنى التحليل الحبيبي للخلطة "GR 25%" ضمن الحزمة النظامية المطلوبة -

- جدول رقم (14) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 50%" -

| نسبة مار (%) | غربال (مم) |
|---|---|
| 99 | 16 |
| 95 | 14 |
| 91 | 12,5 |
| 78 | 10 |
| 68 | 8 |
| 59 | 6,3 |
| 51 | 5 |
| 46 | 4 |
| 43 | 3,15 |
| 41 | 2,5 |
| 39 | 2 |
| 31 | 1 |
| 27 | 0,63 |
| 19 | 0,315 |
| 10 | 0,16 |
| 4 | 0,08 |



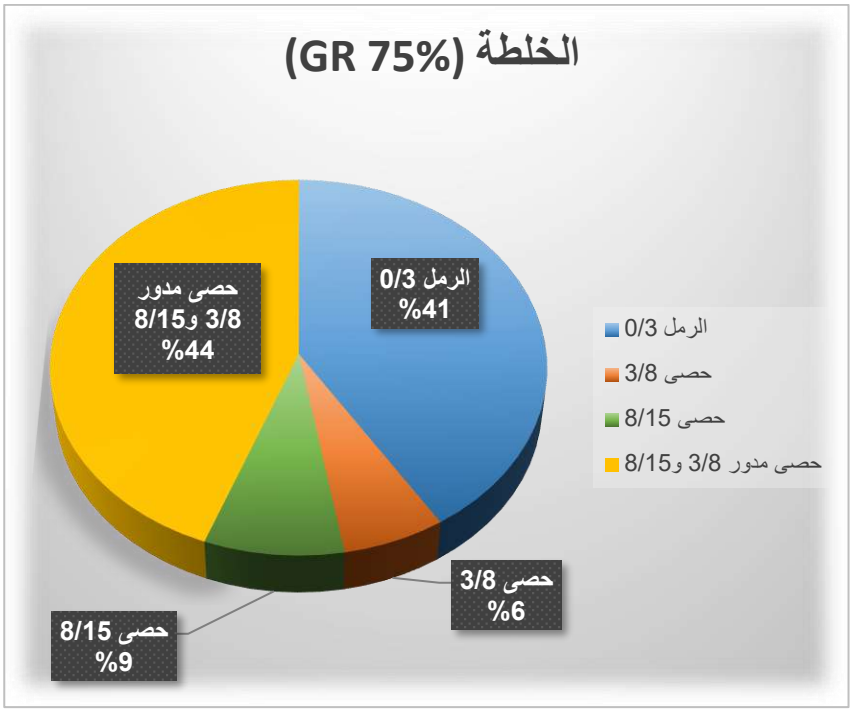

- الصورة رقم (29) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 50%" -



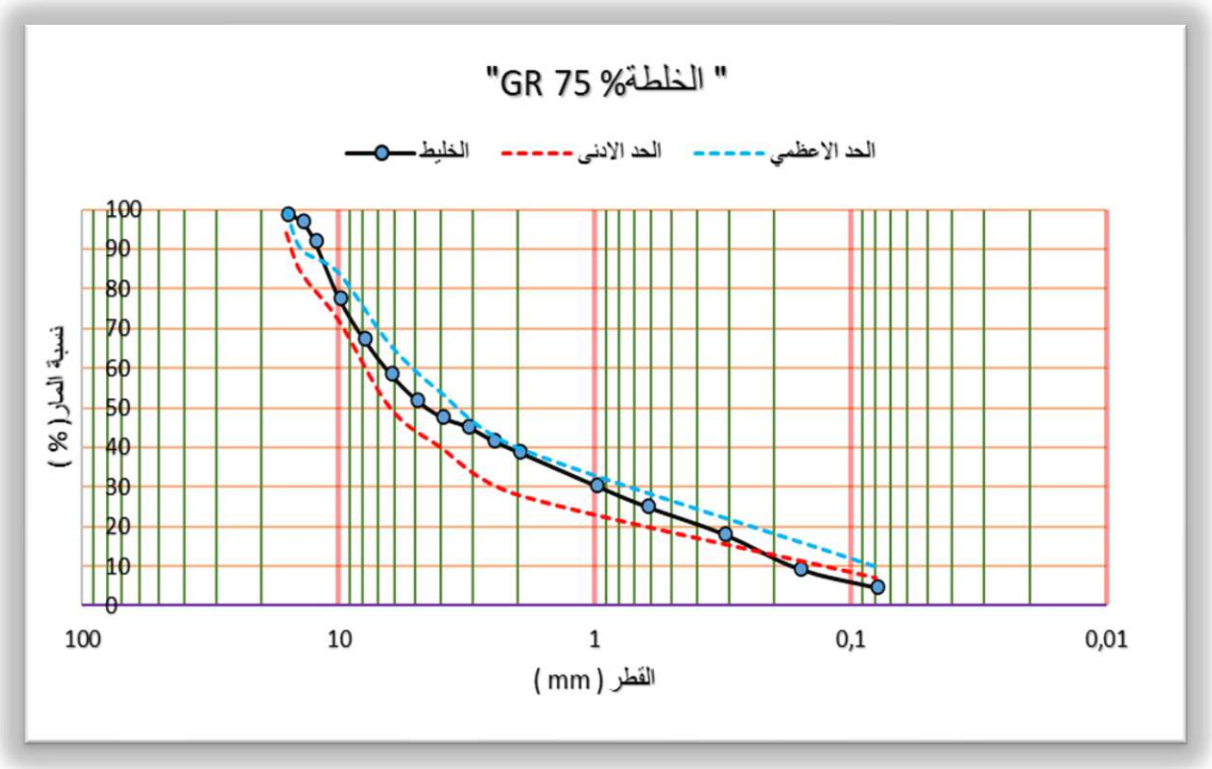

- الشكل رقم (30) منحنى التحليل الحبيبي للخلطة "GR 50%" ضمن الحزمة النظامية المطلوبة -

- جدول رقم (15) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 75%" -

| غربال (مم) | نسبة مار(%) |
|---|---|
| 16 | 99 |
| 14 | 97 |
| 12,5 | 92 |
| 10 | 78 |
| 8 | 67 |
| 6,3 | 59 |
| 5 | 52 |
| 4 | 48 |
| 3,15 | 45 |
| 2,5 | 42 |
| 2 | 39 |
| 1 | 30 |
| 0,63 | 25 |
| 0,315 | 18 |
| 0,16 | 9 |
| 0,08 | 5 |



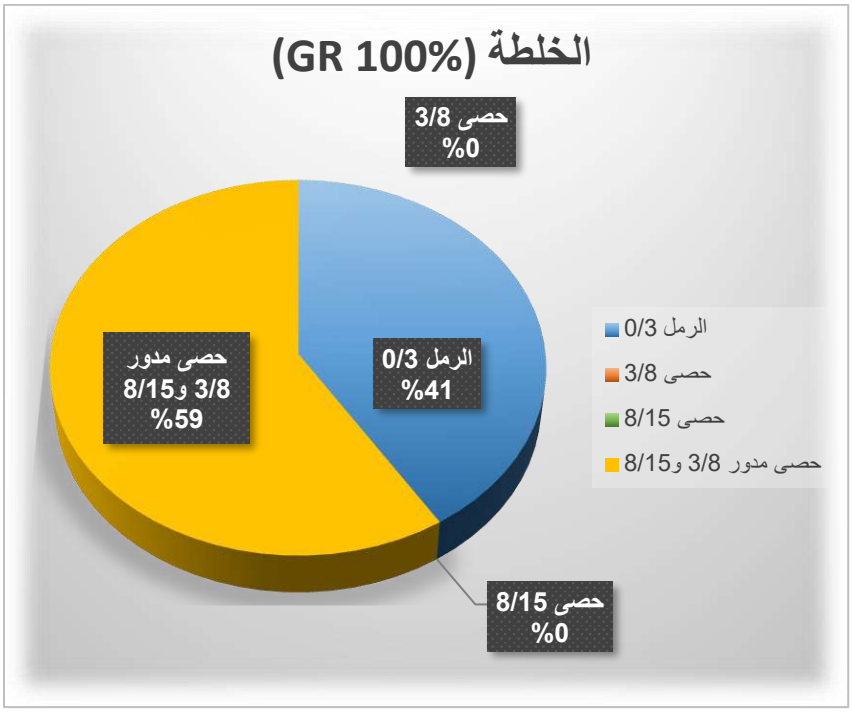

- الصورة رقم (31) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 75%" -



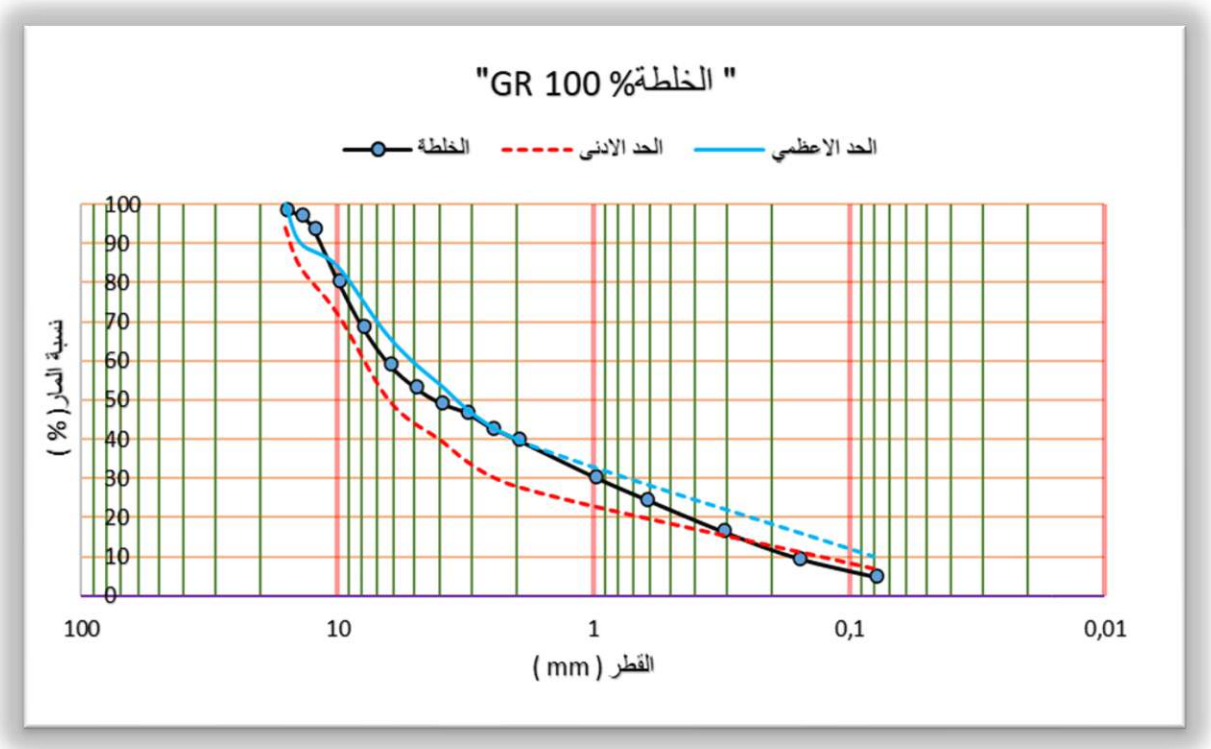

- الشكل رقم (32) منحنى التحليل الحبيبي للخلطة "GR 75%" ضمن الحزمة النظامية المطلوبة -

- جدول رقم (16) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 100%" -

| غربال (مم) | نسبة مار(%) |
|---|---|
| 16 | 98 |
| 14 | 97 |
| 12,5 | 94 |
| 10 | 80 |
| 8 | 69 |
| 6,3 | 59 |
| 5 | 53 |
| 4 | 49 |
| 3,15 | 47 |
| 2,5 | 43 |
| 2 | 40 |
| 1 | 30 |
| 0,63 | 25 |
| 0,315 | 16 |
| 0,16 | 10 |
| 0,08 | 5 |




- الصورة رقم (33) نتائج تجربة التدرج الحبيبي للخلطة "GR 100%" -




- الشكل رقم (34) منحنى التحليل الحبيبي للخلطة "GR 100%" ضمن الحزمة النظامية المطلوبة -

**ملاحظة:** تظهر منحنيات التدرج الحبيبيبي للتركيبات الخمس عدم خروج المنحى عن الحزمة النظامية المطلوبة مما يبين ان كل الخلطات لها تدرج جيد لاحجام الجسيمات الحصوية رغم إضافة مواد مستعملة تم تدويرها.

**ملخص نتائج الاختبارات:**

| اختبارات | حصى من فئة 8/15 و 3/8 | | رمل 0/3 | النتائج | التوصيات |
|---|---|---|---|---|---|
| **اختبار النظافة** | 0.54 | 0.93 | – | P % | **% أقل من 2** |
| **اختبار التسطيح** | 19.22 | 21.55 | – | A % | **% أقل من 20** |
| **اختبار لوس انجلس** | 24.02 | | – | فئة 10/14 % | % أقل من 25 |
| **اختبار ميكرودوفال** | 23.51 | | – | فئة 10/14% | % أقل من 20 |
| **مكافئ الرمل** | – | | 49.4 | 10 % في عينة | % أكثر من 45 |
| **اختبار أزرق الميثالين** | – | | 0.64 | $V_B$ | أقل من 1 |
| **الكثلة الحجمية** | 2.61 | 2.61 | 2.60 | المطلق ( ط/م$^3$) | – |
| | 1.42 | 1.36 | 1.43 | الظاهرة (ط/م$^3$) | |

– الجدول رقم (17) نتائج اختبارات على الركام–

| اختبار | وحدة | إسفلت | التوصيات |
|---|---|---|---|
| **إختراق** | مم 10/1 في 25°C | 43.25 | من 40 إلى 50 |
| **نقطة التليين** | °C | 54.85 | من 47 إلى 60 |
| **الكثافة** | في 25 °C نسبيا | 1.04 | من 1,00 إلى 1,10 |

– الجدول رقم (18) نتائج اختبارات للإسفلت –

| تحاليل كميائية | رمل فئة 3/0 | حصى فئة 8/3 و 15/8 |
|---|---|---|
| **نسبة عدم تتحلل في الماء (%)** | 32.5 | 17.6 |
| **(SO3) نسبة الكبريتات (%)** | 0.89 | 0.75 |
| **نسبة الكربونات (%)** | 56 | 77 |
| **نسبة الكلوريدات (%)** | 0.009 | 0.009 |

– الجدول رقم (19) نتائج اختبار كميائي للغضار –

**خاتمة المحور:** تناولنا خلال هذا المحور مجموعة الاختبارت على المواد المستعملة في تصميم خلاطات الإسفلتية المراد دراستها بداية بتدرج الحبيبي لمزيج الركام ثم نتائج تجارب اختبار البيتومين.

## المحور الثاني: "اختبار خلطة الخرسانة الإسفلتية"

**تمهيد:**

تتطلب خصائص الخلطات البيتومينية مجموعة متنوعة من الاختبارات التي تجريها العديد من المختبرات في جميع أنحاء العالم من أشهرها: (اختبار دريار، اختبار مارشال، اختبار التخدد).

يُشار إلى هذه الاختبارات أحيانًا باسم "اختبارات الطرق" التي تعطي معلومات حول خصائص المقاومة الميكانيكية للإسفلت واستقراره لضغط معين.

**تجربة "دورياز" (NF P9-251-1):** الغرض من هذا الاختبار هو تحديد قوة الانضغاط لعينة من الإسفلت بأوزان محددة ومقاطع عرضية، كما يمكن تحديد مقاومة المزيج للماء من خلال نسبة قوة الانضغاط بعد الغمر للعينة في حمام مائي.

.

– الصورة رقم (35) لجهاز اختبار دورياز –

| الاستقرار في اختبار دورياز (بار) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقاومة ضغط الهواء | (R) | 101.4 | 136.5 | 128 | 121.35 | 70 < كلغ/سم$^2$ |
| مقاومة ضغط بعد الغمر | (r) | 85 | 119.55 | 109.75 | 99.35 | – |
| نسبة ضغط الإنغمار | (r/R) | 0.83 | 0.87 | 0.85 | 0.81 | > 0.8 |

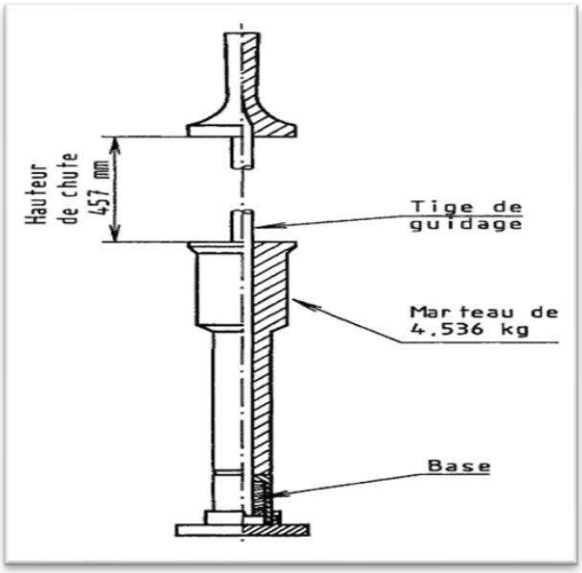
– جدول رقم (20) ملخص نتائج اختبار دورياز –

**تجربة "مارشال" (NF 98-251-2):** مبدأ الاختبار تحديد ثبات وانسياب عينة مدموكة من الخلطة الإسفلتية وتحديد نسبة الإسفلت المثلى.

– الصورة رقم (36) لجهاز اختبار مارشال –

**هدف الاختبار:** يسمح الاختبار بتقييم أداء الخرسانة البيتومينية على مستويات ضغط مختلفة، كما يسمح إلى حد ما بالتنبؤ بما إذا كانت الخرسانة الإسفلتية ستكون مستقرة تحت حركة المرور أو على العكس ستميل إلى الزحف.

– الصورة رقم (37) لفرن –




– الصورة رقم (38) رسم توضيحي لجهاز الرص–

– جدول رقم (21) ملخص نتائج اختبار مارشال –

| الاستقرار في اختبار مارشال (كلغ) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **الاكتناز** | % | 94.70 | 96.50 | 95.90 | 95.70 | ≤ 97 |
| **استقرار مارشال** | كلغ | 1622 | 1781 | 1775 | 1502 | > 1050 |
| **زحف مارشال** | مم | 2.92 | 3.10 | 3.18 | 3.53 | ≤ 4 |

**تحديد نسبة محتوى الرابط البيتوميني (TL):**

يتم تحديد محتوى هذا الرابط كنسبة مئوية من وزن الركام و يتم إعطاء محتوى الموثق الأمثل، اعتماداً على السطح المحدد للركام بالصيغة التجريبية التالية:

$$TL = \alpha \cdot K \sqrt[5]{\Sigma}$$

$$\alpha = 2.65 / \gamma G$$

و "γG" هي الكثلة الحجمية الحقيقية للحصى.

K: معامل الوفرة.

Σ: مساحة سطح تقليدية محددة.

**قياس السطح المحدد:** $\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f$

G: نسبة العناصر أكبر من 6.3 مم

S: نسبة العناصر بين 6.3 و 0.315 مم

s: نسبة العناصر بين 0.315 و 0.08 مم

f: نسبة العناصر أقل من 0.08 مم

( % 34 = G ; % 25 = S ; % 41 = s ; % 5,38 = f )

نحصل على قيمة السطح المحدد $\Sigma = 12.84\ m^2/kg.$

معامل التصحيح: $\alpha = 2.65/\gamma G$

حيث $\gamma G$ هي الكثافة الحقيقية للركام

قيمة معامل التصحيح لكل خليط: $\alpha = 1$

**تحديد محتوى الرابط بدلالة لمعامل الوفرة (K):**

يمكن لمعامل الوفرة (K) أن يأخذ القيم بين 3.9 و 3.3 في حالة الخرسانة الإسفلتية.

الجدول (22) محتويات الرابط الإسفلتي لقيم مختلفة لمعامل الوفرة.

– الجدول رقم (22) نسب محتويات الرابط الإسفلتي –

| **المعامل (K)** | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 |
|---|---|---|---|---|
| **محتوى الربط الإسفلتي (%) (مقارنة المجاميع)** | 5,76 | 5,93 | 6,10 | 6,27 |
| **محتوى الربط الإسفلتي (W) (%) (بنسبة الخلط)** | 5,66 | 5,83 | 6 | 6,16 |

يتم تحديد محتوى الموثق لكل خليط W بواسطة:

$$\frac{100\,TL}{100+TL} = \mathbf{W}$$

يتم تعريف هذه النتائج التي تم الحصول عليها بشكل عام على أنها محتوى الموثق للخلطات المختلفة ( GR 0% , GR 25% , GR 50% ).

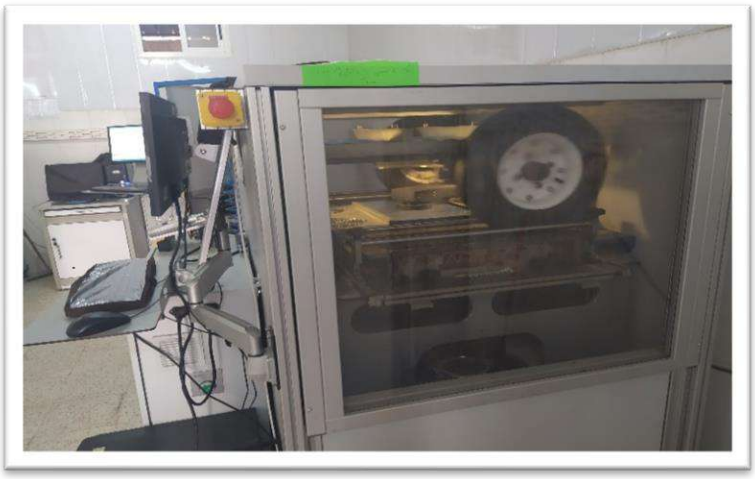
– الجدول رقم (23) ملخص نتائج اختبار للخلطة إسفلتية –

| التجارب | | النتائج | | | | النصائح |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **خليط .ا** | **خليط .ب** | **خليط .ج** | **خليط .د** | |
| **معامل** | K | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | _ |
| **محتوى البيتومين** | % | 5,76 | 5,93 | 6,10 | 6,27 | – |
| **الكثافة الظاهرة** | غ/سم$^3$ | 2.20 | 2.22 | 2.21 | 2.20 | – |
| **الكثافة النظرية** | غ/سم$^3$ | 2.408 | 2.403 | 2.398 | 2.393 | – |
| **الفرغات الحجمية%** | % | 8.65 | 7.60 | 7.85 | 8.05 | – |
| **تجانس** | % | 91.35 | 92.40 | 92.15 | 91.95 | 92 à 96 |

## تجربة التخدد (NF EN 12697 – 1 ):

يهدف اختبار التخدد لتقييم سلوك تشوه المواد البيتومينية الساخنة، بعمق الأخدود أقل أو يساوي Dmax 32مم الذي يتشكل بعد الممرات المتكررة للحمل المتداول عند درجة حرارة ثابتة، يعرض هذا الدليل في حالة يكون الجهاز الكبير.

**نوع الإطار**: (Trelleborg T522 BV Extra: 400×8)



– الصورة رقم (39) جهاز اختبار التخدد –

### 1– خطوات العمل على اختبار التخدد:

– الصورة رقم (40) جهاز دمك اللوحات قبل اختبار تخدد –

**أ– معايرة و تحقق:**

- ✓ معايرة كل من (الفرن، الميزان، جهاز التوجيه، ضاغطة اللوح، كمية العينة، الكثافة الفعلية للعينة).

- ✓ تسجيل تاريخ ووقت بدء الاختبار

**ب- اختيار قالب الاختبار:** يتم اختيار قالب الاختبار وفقًا لحجم حبيبات الخليط على النحو التالي

- ✓ إذا كان Dmax أقل من 14مم نختار حجم القالب 500×180×50 مم.
- ✓ إذا كان Dmax أكبر من 14مم نختار حجم القالب 500×180×100 مم.

و نسجل بعاد التشوه:

**ج- تحقق من أبعاد القالب:** يسمح جهاز التخدد باختبار لوحتين في آن واحد حسب دليل**33 - NF EN 12697**

حيث الابعاد النظامية كالتالي 500 ± 2 مم، 2 ± 180 مم المطلوب حساب النسبة المئوية للفراغ المستهدف.

- الجدول رقم (24) تعريف لرموز و مصطلحات القياس -

| رمز | وحدة القياس | تعيين |
|---|---|---|
| $h_A, h_B$ | مم | على التوالي A وB متوسطات سمك الألواح |
| N | - | عدد الدورات |
| $m_{A_j}^0, m_{B_j}^0$ | مم | على التوالي J في الموقع A و B القياسات الأولية للواحات |
| $m_{A_j}^N, m_{B_j}^N$ | مم | عدد دورات N على التوالي و Jفي الموقع A و B قياسات الانفعال للواحات |
| $P_A{}^N, P_B{}^N$ | % | على التوالي A و B النسبة المئوية لعمق الشق المقاسة من الصفيحتين |
| $P^N$ | % | النسبة المئوية لمتوسط عمق الشبق للصفيحتين تحت تحميل دورات N |

**د- قياس سمك و كتلة الألواح:** هناك نوعان الألواح بسمك 50± 2,5 مم و الألواح بسمك 100±5 مم

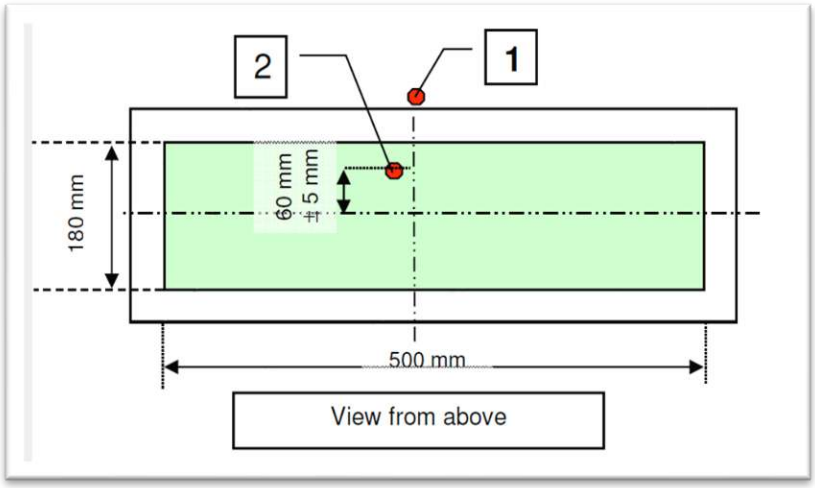
مع تحديد قيمة الكتلة لكل لوحة كمثال (اللوحة أ) M= كتلة (أ)

**هـ- حساب الكثافة الظاهرية للوحات: "EN 12697-6"**

كمثال تسجيل الكثافة الظاهرية للوحة (ا) = MVA (اللوحة أ)

**:تحضير أطباق الاختبار:**

نستخدم مثقاباً كهربائياً لحفر ثقب بقطر 8 مم في كل لوحة، كما هو موضح في الشكل (41)

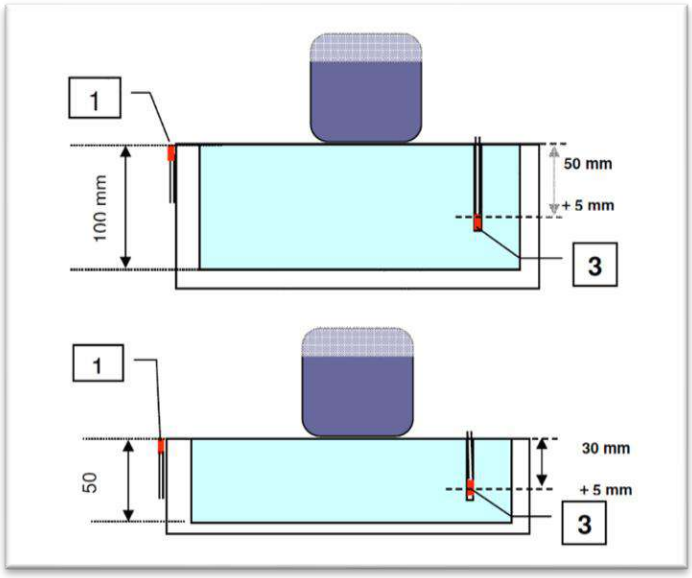



– الشكل رقم (41) مواضع ثقب لتثبيت مقياس الحرارة –

– نقوم بملء المعلومات: فترة التكييف (دورات التحميل): درجة حرارة الاختبار يجب أن تكون 60 ± 1 درجة مئوية.

– الصورة رقم (42) واجهة برنامج جهاز اختبار التخدد –

**فترة الاختبار (دورات التحميل)** ، فترة الاختبار هي عدد الدورات التي سيتم تنفيذها وفقاً لطلب دليل **NF 13108-1**، القراءة الأولية: هذه هي قياسات التشوه عند 30 و 100 و 300 دورة




– الشكل رقم (43) مقطع عرضي للوحة الاختبار –

يجب فحص ضغط الإطارات، حيث يجب أن تكون 6±0,3 بار قبل بدء الاختبار باجتياز 1000 دورة عند درجة حرارة الغرفة بين 15 و25 درجة مئوية، و تؤخذ قياسات الضغط عند انتهاء هذه المرحلة.

**2- مراحل عرض النقاط على واجهة البرنامج:**

**المرحلة الأولى:** 1000 دورة تستغرق حوالي 25 دقيقة.

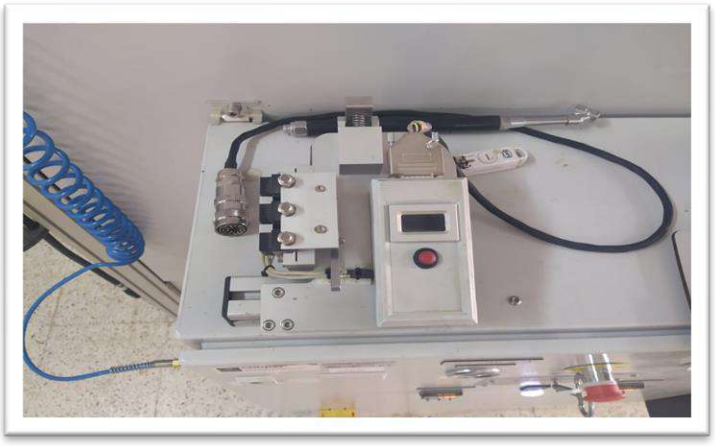
**المرحلة الثانية:** 3000 دورة تستغرق حوالي 35 دقيقة.

**المرحلة الثالثة:** 10000 دورة تستغرق حوالي ساعتين و 30 دقيقة.

**المرحلة الرابعة:** 30000 دورة تستغرق 5 ساعات و 40 دقيقة.

**المرحلة الخامسة:** 100,000 دورة تستغرق أكثر من 19 ساعة.

في نهاية قياس الانفعال في كل مرحلة.



– الصورة رقم (44) ادآت قياس الاخدود –

**5– حساب نسبة التخدد:** يتم احتساب نسبة التخدد تلقائيًا بواسطة البرنامج وفقًا للصيغة التالية

$$P_{A,B}{}^{N} = 100 \times \left[ \sum_{j=1}^{j=15} \left( m_{A,B}{}_{j}^{N} - m_{A,B}{}_{j}^{0} \right) / 15 \times h \right]$$

A و B لوحات الاختبار N عدد الدورات يتم حساب متوسط النسبة المئوية للتخدد باستخدام الصيغة التالية:

$$P^{N} = (P_{A}{}^{N} + P_{B}{}^{N}) / 2$$

نهاية الاختبار يتم الحساب في كل مرحلة (عدد الدورات) و يتم عرض النتائج في ملف امتداد.

– الجدول رقم (25) معلومات عن التركيبة المرجعية –

| التركيبة | GR 0 % |
|---|---|
| تاريخ تصنيع اللوحات | 2020/08/09 |
| طريقة ضغط اللوح | عجلة |
| العمر الافتراضي للعينات | يومان |
| درجة حرارة التخزين | 25°C |
| شرط الاختبار | |
| تاريخ الاختبار | 2020/08/11 |
| اختبار درجة الحرارة | 60°C |
| عدد العينات | 1 |

– الصورة رقم (45) للعينة المرجعية بعد الاختبار–

– جدول رقم (26) ابعاد العينة المرجعية –

| معلومات العينة | الابعاد (مم) | | | كتلة (كلغ) | MVA (كلغ/م$^3$) | MVA(1) (كلغ/م$^3$) | الهواء (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | طول | عرض | سمك | | | | |
| | 500 | 180 | 101,3 | 20338 | 2225,3 | 2400 | 7,28 |

– الجدول رقم (27) نسب التخدد في العينة المرجعية –

| مرجع العينة: 0 % من الحصى المعاد تدويره | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| نتائج الاختبار | عدد الدورات | 1000 | 3000 | 10000 | 30000 | 100000 |
| | قيم التخدد بالـ % | 2,07 | 2,81 | 3,95 | 5,25 | – |

- الجدول رقم (28) معلومات عن التركيبة % GR 25 -

| | |
|---|---|
| **التركيبة** | GR 25 % |
| **تاريخ تصنيع اللوحات** | 2020/08/09 |
| **طريقة ضغط اللوح** | عجلة |
| **العمر الافتراضي للعينات** | يومان |
| **درجة حرارة التخزين** | 25°C |
| **شرط الاختبار** | |
| **تاريخ الاختبار** | 2020/08/11 |
| **اختبار درجة الحرارة** | 60°C |
| **عدد العينات** | 1 |

- الصورة رقم (46) للعينة GR 25 % بعد الاختبار-

- جدول رقم (29) ابعاد العينة % GR 25 -

| معلومات العينة | الابعاد (مم) | | | كتلة (كلغ) | MVA (كلغ/م$^3$) | MVA(1) (كلغ/م$^3$) | الهواء (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | طول | عرض | سمك | | | | |
| | 500 | 180 | 101,3 | 20338 | 2225,3 | 2400 | 7,28 |

- الجدول رقم (30) نسب التخدد في العينة % GR 25 -

| مرجع العينة: 25 % من الحصى المعاد تدويره | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **نتائج الاختبار** | **عدد الدورات** | 1000 | 3000 | 10000 | 30000 | **100000** |
| | **قيم التخدد بالـ %** | 1,99 | 2,67 | 3,58 | 4,29 | - |

- الجدول رقم (31) معلومات عن التركيبة GR 50 % -

| | |
|---|---|
| **التركيبة** | GR 50 % |
| **تاريخ تصنيع اللوحات** | 2020/08/21 |
| **طريقة ضغط اللوح** | عجلة |
| **العمر الافتراضي للعينات** | يومان |
| **درجة حرارة التخزين** | 25°C |
| **شرط الاختبار** | |
| **تاريخ الاختبار** | 2020/08/23 |
| **اختبار درجة الحرارة** | 60°C |
| **عدد العينات** | 1 |

- الصورة رقم (43) للعينة GR 50 % بعد الاختبار-

- جدول رقم (32) ابعاد العينة GR 50 % -

| معلومات العينة | الابعاد (مم) | | | كتلة (كلغ) | MVA (كلغ/م$^3$) | MVA(1) (كلغ/م$^3$) | الهواء (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | طول | عرض | سمك | | | | |
| | 500 | 180 | 100,64 | 20338 | 2245,4 | 2400 | 6,44 |

- الجدول رقم (33) نسب التخدد في العينة GR 50 % -

| مرجع العينة: 50 % من الحصى المعاد تدويره | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **نتائج الاختبار** | **عدد الدورات** | 1000 | 3000 | 10000 | 30000 | **100000** |
| | **قيم التخدد بالـ %** | 6,5 | 8,81 | - | - | - |

- الجدول رقم (34) معلومات عن التركيبة % GR 75 -

| التركيبة | GR 75 % |
|---|---|
| تاريخ تصنيع اللوحات | 2020/08/21 |
| طريقة ضغط اللوح | عجلة |
| العمر الافتراضي للعينات | يومان |
| درجة حرارة التخزين | 25°C |
| شرط الاختبار | |
| تاريخ الاختبار | 2020/08/23 |
| اختبار درجة الحرارة | 60°C |
| عدد العينات | 1 |

- الصورة رقم (48) للعينة GR 75 % بعد الاختبار-

- جدول رقم (35) ابعاد العينة % GR 75 -

| معلومات العينة | الابعاد (مم) | | | كتلة (كلغ) | MVA (كلغ/م$^3$) | MVA(1) (كلغ/م$^3$) | الهواء (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | طول | عرض | سمك | | | | |
| | 500 | 180 | 99,06 | 20335 | 2280,9 | 2400 | 6,96 |

- الجدول رقم (36) نسب التخدد في العينة % GR 75 -

| مرجع العينة: 75 % من الحصى المعاد تدويره | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| نتائج الاختبار | عدد الدورات | 1000 | 3000 | 10000 | 30000 | **100000** |
| | قيم التخدد بالـ % | - | - | - | - | - |

**ملاحظات:** العينات مطابقة للمواصفة القياسية NF EN 13108-1 فئة BBSG1

لم تفقد التركيبة الأولى و الثانية مقاومتهما للتحميل المتكرر طيلة مدة الاختبار بينما فقدت التركيبة الثالثة المقاومة عند عدد معين من الدورات، أما التركيبة الرابعة و الخامسة فقداتا المقاومة و تماسك معا من البداية ولم يسجلا أي نتيجة لتخدد.

**تحليل النتائج:**

- **التركيبة المرجعية "GR 0%"**: سجلت التركيبة 5,2 % كنسبة للهبوط بعد بلوغ 30000 دورة وهي نسبة جيدة وفقاً للمعايير النظامية و يعود هذا لتدرج الجيد لمختلف حجوم الحصويات و النوعية الجيدة للمواد المكونة، كما انه يخلو من أي مواد إضافية أو مرسكلة.

- **التركيبة المرجعية "GR 25%"**: سجلت التركيبة 4,29 % كنسبة للهبوط بعد بلوغ 30000 دورة وهي نسبة وهي نسبة أفضل من نسبة التركيبة السابقة و يعود هذا لعديد من العوامل، لعل ابرزها المواد المستعملة التي تمت إعادة تدويرها و استعمال 25 % منها في تصميم خلطة الاختبار الإسفلتية.

- **التركيبة "GR 50%"**: فقدت التركيبة مقاومتها للتحميل المتكرر بعد 3000 دورة فقط، حيث سجلت 8,81 % وهي نسبة سلبية غير مقبولة، و قد يعود هذا لنسبة المرتفعة للمواد المستعملة التي تم إعادة تدويرها، حيث ساهم بـ 50 % في تصميم هذه التركيبة.

- **التركيبتين "GR 75%" و "GR 100%"**: انهارت التركيبتان مباشرة بعد بدء الاختبار، حيث لم

يسجلا أي نسبة للتخدد و يعود هذا لنسبة الجد مرفعة للمواد المضافة من الحصى المستعمل الذي تم تدويره، حيث ساهمت بنسبة 75% و 100% في تصميم التركيبة على التوالي، مما أدى إلى إهتراء هذه التركيبة وبالتالي فقدانها لتماسك و المقاومة.

**خاتمة المحور:** توصلنا من خلال هذا المحور إلى اعتماد نسبة 25 % من الحصى الإسفلتي الذي يتم تدويره كنسبة يمكن أو يسمح بإضافتها لتصميم الخلطات الخرسانية الإسفلتية دون أن يشكل ذلك ضرراً لها من ناحية التخدد، بل يساهم في تماسك الخليط و مقاومته للتخدد بالنسبة السابقة الذكر.

# خاتمـــــــــة عامـــــــــة

تحمل هذه الأطروحة في مظمونها جزءً من التنمية المستدامة للتمكين من السيطرة على خصائص مواد الطرق، من خلال الأهمية الاقتصادية لهذه المواد على أساس المواد المعاد تدويرها و هو الجانب الأساسي الذي تستند عليه الدراسة.

يتم البحث في إطار المصلحة العلمية و الصناعية، وبالتالي في نهاية دراستنا من المهم بالنسبة لنا توضيح النتائج التي تحصلنا عليها من خلال التجارب للخرسانة البيتومينية القائمة على الركام المعاد تدويره من خرسانة إسفلتية قديمة، و مدى مساهمة هذه الأخيرة في القضاء على ظاهرة تخدد الطرقات.

تؤدي الزيادة في النسبة المئوية للركام المعاد تدويره إلى تقليل الضغط، و يؤدي الارتفاع في نسبة الرابط الإسفلتي الملتصق بجسيمات الركام المعاد تدويره إلى تقليل من الفرغات الهوائية.

عموما؛ يؤدي دمج 25 % من الحصى المعاد تدويره في تصميم الخلطة إلى نتائج جيدة نسبياً، إذ يساهم في مقاومة الخرسانة الإسفلتية للتخدد ، وفقا لنتائج المتحصل عليها يتم اعتماد نسبة 25 % من الحصى المدور لتعويض المواد الأساسية المكونة للخلطات الإسفلتية، و بالتالي فإن النتائج تشير لخطورة انهيار الخلطة الإسفلتية عند تجاوز هذه النسبة المعتمدة من هذه المواد المعاد تدويرها.

في النهاية؛ يفتح هذا البحث الأبواب أمام أبحاث جديدة تعتمد على ما توصلنا إليه من نتائج

و تعمل على ما لم نتمكن من التحقق منه بتجارب و اختبارات أخرى، وتحمل هذه الدراسة وجهات نظر مختلفة مثل أن يكون التركيز على استعادة المواد المستعملة في تصميم الخرسانة البيتومينية من عدة مواقع أو طرق تختلف في تاريخ الإنشاء و تاريخ الكشط لتعطي نتائج متباينة تحدد تصنيف الركام المعاد تدويره و النسب الدقيقة لاستعماله، أو التركيز على التعامل مع المواد المعاد تدويرها بشكل آخر بدرجة حرارة معينة، ويبقى الهدف هو امكانية اعتبار الإسفلت المعاد تدويره مساهماً في تصميم كل الطرقات

و لا يقتصر استخدامه على الطرق ذات الحركة المرورية المنخفضة.

# قائمة المصـــــــــــــادر


[1] كتاب المدرسي, الثالة ثانوية هندسة مدنية , فصل الطرقات, 2015.

[2] كتاب تقنيات الطرق , منهاج سعودي, الفصل الثالث تربة الأساس, 2004.

[3] كتاب تصميم الخلطات الإسفلتية للطرق, المهندس أراس عبدالله صابر عثمان.

[4] مذكرة المساهمة في دراسة إعادة تدوير مخلفات الخرسانة الهيدروليكية لإنتاج الخرسانة البيتومينية, نتاري عادل و بلعموري عماد الدين,2013.

[5] مذكرة الأسس النظرية والتطبيقية لتصميم الخلطات الإسفلتية ,حسين كمال علبة و اياد امير صقور,2016.

[6] كتاب تقنيات الطرق , منهاج سعودي, الوحدة العاشرة صيانة الطرق الإسفلتية, 2004.

[7] كتاب هندسة الطرق (1) , د: محمود توفيق سالم , شركة منشورات, دار الراتب الجامعية.

[9] كتاب الدليل الفني للطرق و الكباري , المهندس الاستشاري حسان عزالدين ابو خريش في أبريل 03, 2017.

[8] موقع انترنات ملفات الهندسة المدنية https://www.civil-files.com/2019 مذكرة الوليد فى هندسة الطريق – م.وليد عبد الرازق.

[10] كتاب دليل المهندس لإعمال الطرق ,كاتب غير محدد (egyptsystem),قسم الهندسة العامة , تاريخ انشاء الملفات, 2004.

[11] كتاب صيانة الطرق,غريب خضر, 2007.

[12] كتاب عيوب التبليط الاسفلتي ، جاسم عطيه علوان ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ،المجلد8 ،2015.

[13] كتاب عيوب التبليط الاسفلتي ، جاسم عطيه علوان ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ،المجلد8 ،2015.

[14] كتاب عيوب التبليط الاسفلتي ، جاسم عطيه علوان ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ،المجلد8 ،2015.

[15] كتاب عيوب التبليط الاسفلتي ، جاسم عطيه علوان ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ،المجلد8 ،2015.

[16] كتاب عيوب التبليط الاسفلتي ، جاسم عطيه علوان ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ،المجلد8 ،2015.

[17] http://www.beatona.net/ar/knowledge-hub/article/content-39982

[18] https://www.facebook.com/asphaalt/posts/1729366397196366

[19] مجلة جامعة دمشق – المجلد 19 – الاعدد الأول - مهند العفاش – صفوان الحوري, 2003.

-[20] KALLAS, B, FLEXIBLE PAVEMENT MIXTURE DESIGN USING RECLAIMED ASPHALT CONCRETE, U.S.A:ASPHALT INSTITUTE REPORT 84-2,OCTOBER 1984.

- [21] MCDANIEL, R. ANDERSON, R, RECOMMENDED USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT IN THE SUPERPAVE MIX DESIGN METHOD TECHNICIANS MANAUAL, WASHINGTON: NATIONAL AC

# المحور الأول "عموميات"

## الفصل الأول (الجانب النظري)

# المحور الثاني "ظاهرة التخدد"

## الفصل الأول (الجانب النظري)

# المحور الثالث "التدوير"

## الفصل الأول (الجانب النظري)

# المحور الأول "اختبار المواد"

## الفصل الثاني (الجانب التطبيقي)

# المحور الثاني "اختبار الخلطات"

## الفصل الثاني (الجانب التطبيقي)