



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

كلية العلوم التطبيقية

قسم الهندسة المدنية والري

مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر أكاديمي

ميدان : علوم وتكنولوجيا

الشعبة : أشغال العمومية

التخصص : طرق ومنشآت فنية

من إعداد :

زقعيط حورية

بيرش و داد

العنوان :

دراسة تأثير درجة الحرارة على طبقة السير في المناطق الصحراوية
(حالة ورقلة)

تمت المناقشة يوم 2025/06/16

أمام لجنة المناقشة

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح	أستاذ محاضر (أ)	شعيب هاشم
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح	أستاذ محاضر (أ)	لقمان عبد الجواد
مشرف	جامعة قاصدي مرباح	أستاذ محاضر (أ)	أبي مولود يوسف
مساعد المشرف	جامعة قاصدي مرباح	طالب دكتوراه	حاجي أسامة

2025/2024

بطاقة شكر و تقدير

الحمد لله عدد ما خطت الأقلام ، و وكبت الأيام ،وملأت الأفهام ،
الحمد له حمداً لا يُعدّ ، ولا يُحدّ ، لا يُفنى له مدد ، و صلاة وسلاماً
يليقان بخير من وُجد، المصطفى الأجد ، والنبي المسدد ،سيدنا محمد
، وعلى اله و صحبه و من اقتدى و اهتدى .

ولأن من لا يشكر الناس لا يُشكر ، ومن لا يعترف بالفضل لا يُؤجر
فإننا نرفع أكف الامتنان ، ونفرد صفحات الشكر و العرفان ، إلى
الأستاذ المشرف أبي مولود يوسف الذي كان لنا نبراً سائياً يُضيء
العمات و دُررا تنثر الحكمة و التوجيهات ، فجزاه الله عنا خير جزاء و
أوفى له الجزاء بالجزاء

كما نتوجه بخالص التحية و وافر التقدير إلى الأساتذة المناقشين الكرام
، الذين شرفونا بحضورهم ، و أثروا عملنا بحكمهم ، و نفائس علمهم
، فكانوا نقداً بناءً ، ورأيًا سديداً ، و نصحاً مفيداً .

وما نسينا زحمة الانشغال، و تراكم الأعمال، أولياء أمورنا الأعزاء
الذين مدّونا بدعائهم ، و أحاطونا بعبائهم فكانوا فالثدائد لنا عوناً ، و
في الخطى سندا ، فلهم منا صادق الدعاء ، و عظيم الوفاء .

و ختاماً نوجه كلمات الشكر و الامتنان إلى كل معلم غرس و أستاذ
أسس ، و زميل أخلص و حرص ، فلكم في القلب وُدّ ، وفي الذاكرة
عهد ، و على الدرب أثر لا يُمحى .

الملخص :

تلعب حساسية الخرسانة الإسفلتية تجاه التغيرات الحرارية دورًا مهمًا في أداء طبقات السير ، حيث تؤدي إلى ظهور التشققات و التشوّهات السطحية . في منطقة ورقلة بالجنوب الجزائري ، و التي تتميز بمناخ حار و جاف ، تؤثر التغيرات الحادة بين درجات الحرارة نهارًا و ليلاً بشكل كبير على متانة الرصف .

هذه الدراسة عبارة عن تقييم تجريبي لتأثير تغير درجة الحرارة على طبقة السير بالاعتماد على اختبارات مارشال و دوريزو تجربة قياس درجات الحرارة في أعماق الطريق و تعرض الخرسانة الإسفلتية المصنوعة من بيتومين و رمل 0/3 و حصى (8/15 و 3/8) الى درجات حرارة مختلفة (60° م -5° م) قبل السحق العينة حيث اظهر الاختبار انا تعرض العينات الى درجات حرارة مختلفة يؤثر سلبا على خصائص الإسفلت حيث أظهرت اختبارات مارشال و دوريزو تدهورًا في الاستقرار و الزحف مقارنة بالعينات غير المعرضة الحرارية .

اثبتت التجربة الالكترونية انا طبقة سطحية لطبقة السير هي الأكثر تعرضنا لتغيرات اليومية بينما العمق اقل تأثير بدرجة الحرارة

الكلمات المفتاحية : الخرسانة الاسفلتية ، التغيرات الحرارية ، الطبقة السطحية ، اختبار مارشال ، اختبار دوريزو ، البيتومين ، الزحف والاستقرار .

Abstract :

Asphalt concrete's sensitivity to temperature changes significantly impacts the performance of wearing courses, often leading to cracks and surface deformations. In Ouargla, southern Algeria, a region known for its hot and dry climate, severe daily temperature fluctuations between day and night critically affect pavement durability.

This study experimentally assesses the effect of temperature variations on the wearing course. The research utilized Marshall and Duriez tests and involved measuring temperatures at various road depths. Asphalt concrete samples, composed of bitumen, 3/0 sand, and gravel (15/8 and 8/3), were exposed to a range of temperatures (from 60°C to -5°C) before being tested. The results clearly indicated that exposing the samples to these different temperatures negatively impacted the asphalt's properties. Specifically, both Marshall and Duriez tests showed a deterioration in stability and creep when compared to samples that were not subjected to thermal exposure.

Furthermore, an electronic experiment confirmed that the surface layer of the wearing course is the most susceptible to daily temperature changes, while deeper sections of the pavement are less affected.

Keywords: Asphalt concrete, thermal changes, surface layer, Marshall test, Duriez test, bitumen, creep and stability.

Résumé :

La sensibilité du béton bitumineux aux variations thermiques joue un rôle crucial dans la performance des couches de roulement, entraînant l'apparition de fissures et de déformations superficielles. Dans la région de Ouargla, au sud de l'Algérie, caractérisée par un climat chaud et sec, les fluctuations importantes des températures entre le jour et la nuit affectent considérablement la durabilité des chaussées.

Cette étude consiste en une évaluation expérimentale de l'impact des variations de température sur la couche de roulement. Elle s'appuie sur les essais Marshall et Duriez, ainsi que sur une expérience de mesure des températures à différentes profondeurs de la route. Des échantillons de béton bitumineux, fabriqués à partir de bitume, de sable 0/3 et de graviers (3/8 et 8/15), ont été soumis à diverses températures (60 °C et -5 °C) avant de réaliser les essais de compression. Les résultats ont montré que l'exposition des échantillons à différentes températures affecte négativement les propriétés de l'asphalte. Les essais Marshall et Duriez ont révélé une détérioration de la stabilité et de l'orniérage par rapport aux échantillons non exposés à des variations thermiques.

L'expérience électronique a prouvé que la couche superficielle de la chaussée est la plus exposée aux variations quotidiennes, tandis que les profondeurs sont moins affectées par la température.

Mots-clés : Béton bitumineux, variations thermiques, couche de surface, essai Marshall, essai Duriez, bitume, orniérage et stabilité.

الفهرس	
الصفحة	التسمية
I	الاهداء
II	بطاقة الشكر و تقدير
III	الملخص
IV	قائمة الاشكال وصور
V	قائمة الجداول
1	المقدمة العامة
4	الفصل الأول :تعريف منطقة الدراسة
4	1.I مقدمة
4	2.I القسم الأول : معلومات حول منطقة الدراسة
4	1.2.I الموقع الجغرافي
5	2.2.I الموقع الإداري.
5	2.I. 3 تضاريس منطقة ورقلة
5	4.2.I الهيدرولوجيا الجوفية لمنطقة ورقلة
5	5.2.I المناخ في المنطقة
6	1.5.2. I درجة الحرارة
6	2.5.2. I التساقط
6	2.I. 5. 3 الرياح
7	1. 4.5.2. I نسبة الرطوبة
8	3.I القسم الثاني : الهياكل القاعدية لمدينة ورقلة
8	1.3.I شبكة الطرقات
9	2.3.I المطارات
9	3.3.I شبكة السكة الحديدية
10	4.I خاتمة
11	الفصل الثاني : معلومات العامة حول الطرق وتركيبية الخلطة الاسفلتية
11	1.II المقدمة.
11	2.II معلومات عامة عن الطريق
11	1.2.II التصنيف الإداري للطرق
11	2.2.II التصنيف التقني للطرق
12	2.II. 3 التصنيف الطرق في الجزائر حسب B40
13	3.II هيكل الطريق
13	1.3.II هرم الطريق
13	2.3.II صحن الطريق
13	3.3.II مجال الطريق .
13	4.3.II قارعة
13	5.3.II الجوانب
13	6.3.II الخندق
13	7.3.II المنحدر
14	8.3.II حاجز الأمان
14	9.3.II طبقة السير
14	10.3.II طبقة الربط
14	11.3.II طبقة التشريب

14	12.3.II طبقة القاعدة
14	13.3.II طبقة الأساس
14	14.3.II طبقة الأساس المساعد
15	4.II أنواع الطريق
15	1.4.II الطريق المرن
15	2.4.II الأرصفة البيتومينية السميكة
15	3.4.II الطرق ذات القاعدة المعالجة بمواد رابطة هيدروليكية او ارسفة شبه صلبة
15	4.4.II الأرصفة ذات الهياكل المختلطة
15	5.4.II الأرصفة ذات بنية العكسية
15	6.4.II ارسفة خرسانية الاسمنتية
16	5.II تركيب الخلطة الخرسانية الزفتية
16	1.5. II البيتومين
17	1.1.5.II تصنيف رابط الهيدروكربون
17	2.1.5.II خواص البيتومين
18	3.1.5.II التجارب على البيتومين.
20	2.5.II الركام
20	1.2.5.II تصنيف الركام
20	3.5.II صياغة الخرسانة البيتومينية
21	1.3.5.II التركيب الحبيبي
21	2.3.5.II محتوى الرابط
22	6.II اختبارات على الخرسانة البيتومينية
22	1.6.II اختبار مرشال(NF EN 12697-34)
22	2.6.II اختبار دورياز(NF EN 12697-12)
23	7.II الخاتمة
24	الفصل الثالث : الخصائص الحرارية للمواد والامراض وتدهورات طبقة الرصف
24	1.III مقدمة
24	2. III الخصائص الحرارية
25	3.III أنواع التلف المختلفة وأسبابها
26	1.3.III مجموعة التشوهات
26	1. 1.3.III الانبعاج ذات نصف القطر الصغير
26	2.1.3.III الانبعاج ذو نصف القطر الكبير
27	3.1.3. III الهبوط
28	4. 1.3. III الرفع التفريقي
29	5.1.3.III اضطراب في المستوى الطولي للطريق
30	2.3.III عائلة التشققات
30	1..23.III التشققات العرضية
30	2.2.3.III التشققات الطولية
31	1.2.2.3. III التشققات الطولية في مسارات العجلات
31	2.2.2.3. III التشققات الطولية خارج مسار العجلات
32	3.2.3. III تشققات ناتجة عن التجمد
32	4.2.3. III التشققات على شكل بلاطات
33	5.2.3.III تشققات على الحافة
33	6.2.3. III التشققات الشبكية
34	3.3.III مجموعة التاكلات
34	1.3.3. III زوال الغلاف الاسفلتي
35	2.3.3.III التقشر السطحي
35	3.3.3. III الحفرة

35	III. 4.3.3. النز الاسفلتي
37	III.4.3. التدهورات في المناطق الحضرية
37	III.4.3.1. التشققات حول أغطية الصرف والمجاري
37	III. 2.4.3. القطع والحفر
38	III.3.4. تفاوت ارتفاع الفتحات والبالوعات
39	III. 4. تأثير درجة الحرارة على الأرصفة المرنة
40	III.4.1. تأثير درجة حرارة الهواء الخارجية على درجات حرارة طبقة الطريق
40	III.4.2. دراسة أحمد حمد وآخرين حول تأثير تغير المناخ على الرصف
40	III.3.4. دراسة ليشاني ر. و غطاس م.
42	III.5. خاتمة
44	الفصل الرابع : الاختبارات والأجهزة التجريبية
44	IV. 1. مقدمة
44	IV. 2. خصائص الركام المستخدم
44	IV.1.2. الكتلة الحجمية (18-554) PNF
45	IV.2.2. التحليل الحبيبي (18-560) NF P
47	IV.3.2. مكافئ الرمل بنسبة 10 % من المواد الناعمة (18-5597) NF P
47	IV.4.2. اختبار الأزرق الميثيلين (94-068) NF P
48	IV.5.2. الاختبار المتعلق بالحصى
49	IV.3. خصائص البيتومين المستخدم
53	IV.4. خطة العمل
54	IV.1.4. تصنيع العينات الاختبارية
55	IV.4. الجزء الإلكتروني
63	IV.5. الخاتمة
64	الفصل الخامس : النتائج و المناقشة
64	V.1. المقدمة
64	V.2. نتائج تجربة مارشال
65	V.3. نتائج تجربة دورياز
66	V.4. تجارب معا الفروقات الحرارية
69	V.5. نتائج اختبار تحديد درجة الحرارة في الموقع
72	V.6. خاتمة .
73	خاتمة عامة
74	قائمة المراجع

قائمة الأشكال و الصور	
الصفحة	التسمية
4	الفصل الأول
4	الشكل I.1 : خريطة ورقلة [1]
6	الشكل I.2 : متوسط تساقط الأمطار من فترة 1991 إلى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]
6	الشكل I.3 : متوسط تساقط الأمطار من فترة 1991 إلى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]
7	الشكل I.4 : متوسط سرعة الرياح من فترة 1991 إلى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]
7	الشكل I.5 : متوسط نسبة الرطوبة من فترة 1991 إلى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]
8	الشكل I.6 : شبكات الطرق بمنطقة ورقلة حسب التقسيم الجديد
9	الشكل I.7 : ترامواي ورقلة [4]
11	الفصل الثاني
12	الشكل II.1 : تصنيف الطرق فالجزائر حسب B[5] 40
13	الشكل II.2 : طبقات الطريق
13	الشكل II.3 : هيكل الطريق
15	الشكل II.4 : انواع رصف الطرق [6]
16	الشكل II.5 : خرسانة زفتية [7]
16	الشكل II.6 : البيتومين [8]
18	الشكل II.7 : مبدأ تجربة اختراق البيتومين [10]
19	الشكل II.8 : مبدأ تجربة تليين البيتومين [10]
19	الشكل II.9 : تجربة كثافة البيتومين [9]

19	الشكل II.10 : مبدأ تجربة الاستطالة [9]
20	الشكل II.11 : جهاز كليفلاند [10]
22	الشكل II.13 : جهاز مارشال [11]
24	الفصل الثالث
24	الشكل III.1 : تعريف الموصلية الحرارية [6]
27	الشكل III.2 : انبعاجات ذات قطر صغير
28	الشكل III.3 : انبعاجات ذات قطر كبير
28	الشكل III.4 : الهبوط
29	الشكل III.5 : اضطراب في مستوى الطولي للطريق
29	الشكل III.6 : الرفع التفريقي
31	الشكل III.7 : التشققات الطولية في مسار العجلات
32	الشكل III.8 : التشققات الطولية خارج مسار العجلات
34	الشكل III.9 : التشققات العرضية
34	الشكل III.10 : التشققات الشبكية
36	الشكل III.11 : الحفرة
36	الشكل III.12 : التقشر السطحي
37	الشكل III.13 : النز الإسفلتي
38	الشكل III.14 : التشققات حول أغطية الصرف و المجاري
39	الشكل III.15 : القطع و الحفر
39	الشكل III.16 : تفاوت ارتفاع الفتحات و البالوعات
44	الفصل الرابع
45	الشكل VI.1 : منحني التحليل الحبيبي لرمل 0/3
46	الشكل VI.2 : منحني التحليل الحبيبي للحصى 3/8
46	الشكل VI.3 : المنحني البياني للتحليل الحبيبي للحصى 8/15

47	الصورة VI.1 : تجربة مكافي الرمل
47	الشكل VI.5: مبدأ اختبار مكافي الرمل
48	الصورة VI.2 : تجربة أزرق المثلين
48	الصورة VI.3 : تجربة اختبار التسطيح
49	الصورة VI.4 :جهاز ميكرو دوفال
49	الصورة VI.5 : كرات الطحن و أسطوانات الاختبار
49	الصورة VI.6 : التجارب التي اجريت على البيتومين
51	الشكل VI.6 : نسبة التركيبات المستعملة في الخرسانة الزفتية
52	الشكل VI.7 : المنحنى البياني لتحليل الحبيبي للخلطة المدروسة 0 /14
54	الصورة VI.7 : العينات و قوالب تجربة مارشال
54	الصورة VI.8 : جهاز الدمك مارشال
55	الصورة VI.9 : عينات و قوالب تجربة مارشال
55	الصورة VI.10 : جهاز الضغط دوريان
56	الصورة VI.11 : الجهاز قيد التشغيل في وضع الشحن
58	الشكل VI.9 : لقطة شاشة لعينة من قياسات قاعدة البيانات المجمعة
59	الشكل VI.10 : إشارة الاعطال (1) مشكلة المستشعرات (2) مشكلة بطاقة SD(3) خلل عام
61	الشكل VI.11 : توضيح عام للوحة مصممة بصور حقيقية
62	الصورة VI.11 : العينة الاسطوانية و جهاز الحفر من التجربة الميدانية
63	الصورة VI.12 :يمثل صورة التجربة الميدانية عند وضع الجهاز
64	الفصل الخامس
64	الشكل V.1 :منحنى تغيرات مارشال
65	الشكل V.2 : منحنى تغيرات زحف مارشال
66	الشكل V.3 :تغيرات معامل حساسية الخرسانة الزفتية للماء

67	الشكل V.4 : تغير ثبات مارشال العينة المرجعية مقارنة بالعينة 1 و 2
68	الشكل V.5 : تغير زحف مارشال العينة المرجعية مقارنة بالعينة 1 و 2
69	الشكل V.6 : تغيرات معامل حساسية العينة مرجعية للماء مقارنة بالعينة 1 و 2
70	الشكل V.7 : تغيرات درجة الحرارة عبر طبقات الطريق

قائمة الجداول	
الصفحة	التسمية
الفصل الأول	
5	الجدول I. 1 : التقسيم الإداري لولاية ورقلة
الفصل الثاني	
11	الجدول II. 1 : التصنيف التقني للطرق
21	الجدول II. 2 : حجم جسيمات الخليط المرجعي
الفصل الرابع	
41	الجدول VI.1 : الكتلة الحجمية المطلقة و الظاهرية للركام المستخدم
44	الجدول VI.2 : نتائج تجربة التحليل الحبيبي
47	الجدول VI.3 : نتائج تجربة مكافئ الرمل
48	الجدول VI.4 : نتائج تجربة أزرق المثلين
49	الجدول VI.5 : خصائص الحصى المستخدم
50	الجدول VI.6 : نتائج الاختبارات التي أجريت على البيتومين
51	الجدول VI.7 : التحليل الحبيبي للخليط المدروس
53	الجدول VI.8 : نسب البيتومين
53	الجدول VI.9 : شرح مختلف العينات العملية
الفصل الخامس	
64	الجدول V.1 : نتائج تجربة مارشال
65	الجدول V.2 : نتائج تجربة دورياز
67	الجدول V.3 : نتائج اختبار مارشال من خلال إجراء الفروقات الحرارية

مقدمة عامة

تمثل طبقة الرصف الجزء المخصص لحركة المركبات ضمن شبكة الطرق، حيث تتيح التنقل ونقل البضائع بسلاسة، مع ضمان مستويات عالية من الأمان والراحة بغض النظر عن الظروف الجوية المحيطة. من الناحية الهندسية تؤدي هذه الطبقة دوراً أساسياً في توزيع الأحمال الميكانيكية على التربة الداعمة مما يسهم في تحسين استقرار الطريق وزيادة عمره الافتراضي.

تتألف الأرصفة الإسفلتية من عدة طبقات، وتعد طبقة السطح المصنوعة غالباً من الخرسانة الإسفلتية الأكثر تعرضاً للعوامل البيئية المختلفة. تؤثر التغيرات المناخية بشكل مباشر على أدائها، حيث تؤدي درجات الحرارة المنخفضة إلى تشققات حرارية، بينما تسبب درجات الحرارة المرتفعة في حدوث تشوهات دائمة، مما يؤثر سلباً على جودة الرصف واستدامته.

تتعرف ولاية ورقلة بمناخها الحار، خاصة خلال فصل الصيف، حيث تشهد درجات حرارة مرتفعة تؤدي إلى تفاقم ظاهرة التشوه الدائم للطرق الإسفلتية. ومع تزايد حركة المرور، تزداد الضغوط الميكانيكية على البنية التحتية، مما يجعل هذه الظاهرة ذات أبعاد اقتصادية هامة، سواء من حيث تصميم الأرصفة بالاعتماد على طبقات أقل سماكة وتطوير مواد محسنة، أو من حيث إستراتيجيات الصيانة وذلك لضمان استثمارات طويلة الأمد.

بناءً على ذلك، تبرز الحاجة إلى دراسات معمقة حول الخصائص الحرارية والميكانيكية للمواد الإسفلتية، بهدف تحسين أدائها وتعزيز مقاومتها للظروف المناخية القاسية.

في هذا السياق نسعى في هذه الدراسة إلى تحليل هذه الظاهرة واستعراض آثارها المختلفة، بالإضافة إلى تقييم مدى تأثيرها على البنية التحتية للطرق.

لقد تم تقسيم هذا البحث إلى قسمين رئيسيين لتحقيق هذا الهدف:

الجزء النظري:

الفصل الأول مخصص لتعريف منطقة الدراسة من كل الجوانب الجغرافية والإدارية والطوبوغرافية والهيدروجيولوجيا والمناخية لمنطقة ورقلة.

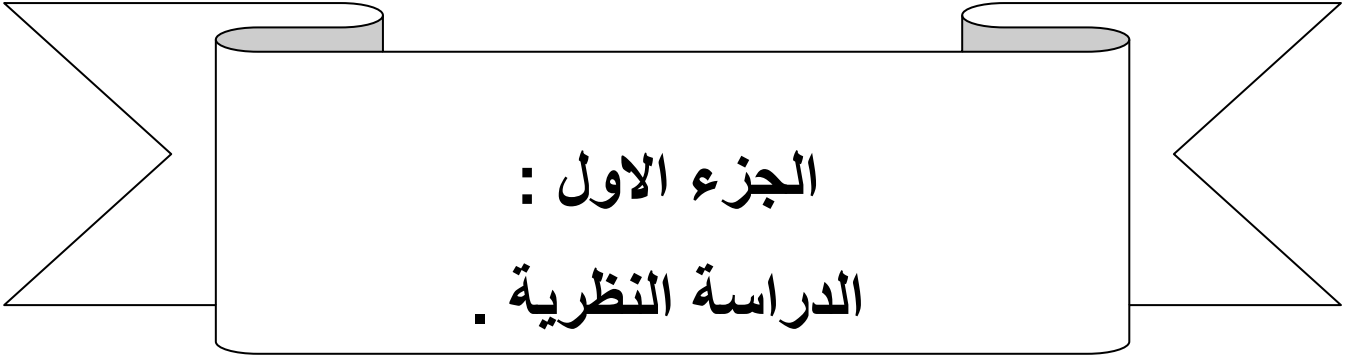
الفصل الثاني يستعرض المبادئ الأساسية المتعلقة بالطرق بما في ذلك طبقات السطح والأساس ودراسة التركيبة الخرسانية الإسفلتية.

يتناول الفصل الثالث الخصائص الحرارية للمواد المكونة للطرق مع التركيز على الأمراض والتدهورات التي تصيب الشبكات الطرقية.

الجزء التجريبي:

يتناول الفصل الرابع وصف المواد المستعملة (الحصى، البيتومين، الرمل) بهدف تحديد خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، ورسم منحنيات الخلطة المعتمدة وتحديد نسبة البيتومين.

أما الفصل الخامس فيعرض التجارب والأجهزة المستعملة في هذا البحث، وتقديم شرح مفصل لكل التجارب المنجزة، وهي تجربة مارشال ودورياز، مع توضيح مبدأ عمل كل تجربة وكيفية تنفيذها.



الجزء الاول :
الدراسة النظرية .

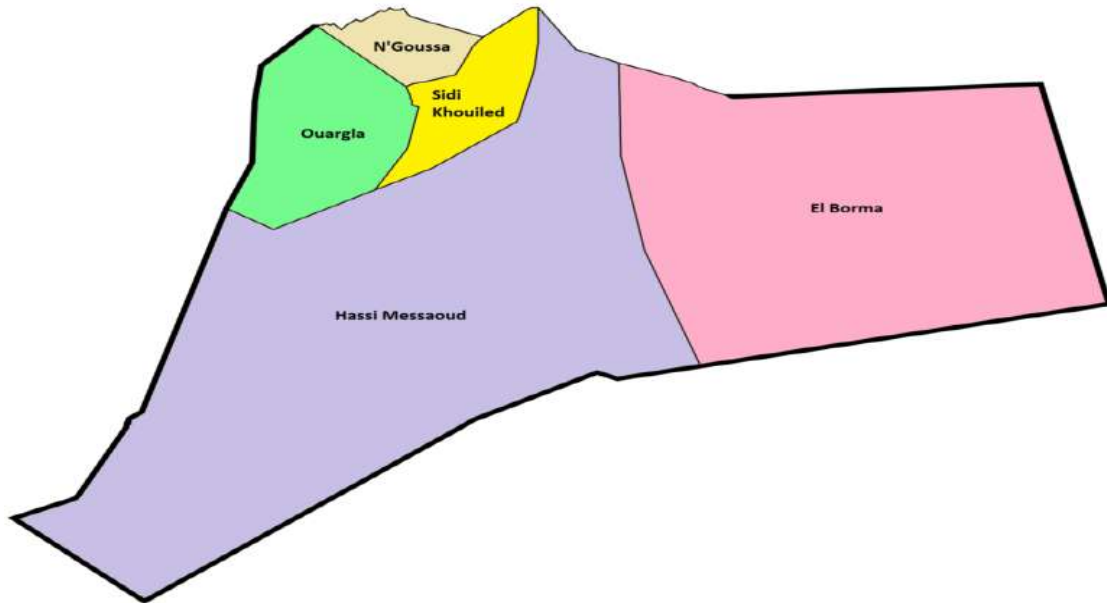
I.1. المقدمة

يتطرق هذا الفصل إلى جزء من الدراسة المتعلقة بمنطقة ورقلة التي تنقسم إلى قسمين رئيسيين في الجزء الأول نعرض بشكل مفصل منطقة ورقلة من حيث جوانبها الجغرافية و الإدارية و كذلك خصائصها الهيدروجيولوجية و المناخية بينما يستعرض الجزء الثاني الهياكل القاعدية الاساسية لولاية ورقلة

I.2. القسم الاول :معلومات حول منطقة الدراسة

I.2.1 الموقع الجغرافي

ولاية ورقلة هي إحدى أهم ولايات الجنوب الجزائري لما تحتويه من ثروات هامة تجعلها شريان الإقتصاد والتنمية في الجزائر وتقع بين خطي طول 5° و 15° شرقا وخطي عرض 31° و 58° شمالا في الجنوب الشرقي من الوطن وتغطي مساحة تصل إلى (211,980) كلم² كما تبعد ولاية ورقلة عن العاصمة الجزائرية بنحو 900 كلم. يحدها من الشمال ولايتي تفرت, المغير, اولاد جلال و الجلفة و ومن الشرق جمهورية تونس ومن الجنوب ولايتي عين صالح وإيليزي ومن الغرب ولاية غرداية , المنيعه و الاغواط.



الشكل I.1. خريطة ورقلة [1]

I.2.2 الموقع الإداري

تتألف ولاية ورقلة من 5 دوائر توزع على 8 بلديات موزعة كما يلي:

الجدول (1. I) التقسيم الإداري لولاية ورقلة

الدائرة	البلديات
ورقلة	الرويسات - ورقلة
النقوسة	النقوسة
حاسي مسعود	حاسي مسعود
البرمة	البرمة
سيدي خويلد	سيدي خويلد - عين البيضاء - حاسي بن عبد الله

3.2.I تضاريس منطقة ورقلة

تتكوّن تضاريس ولاية ورقلة من مجموعة من الوحدات الجغرافية، أهمها :

- العرق الشرقي الكبير : وهو بمثابة بحر من الرمال، حيث يمكن أن يصل ارتفاع الكثبان الرملية إلى 200 متر، ويغطي حوالي ثلثي مساحة الولاية
- الهضبة الصخرية (الحمادة): وهي عبارة عن هضبة مغطاة بالصخور والحصى، تقع غالبًا في الجهة الغربية والجنوبية من الولاية
- الأودية : هناك العديد من الأودية التي تمر بولاية ورقلة منها : وادي مئة، وادي ريغ، وادي نساء ، وادي ميزاب، هذه الأودية في معظمها ليست قوية و فيضاناتها قليلة جدا
- السهول: تلتقي في الحدود الغربية من الولاية و تمتد إلى الشمال و الجنوب
- المنخفضات: تُعدّ ضيّلة و تتمركز في وادي ريغ.

4.2.I الهيدرولوجيا الجوفية لمنطقة ورقلة

كما هو الحال في معظم واحات الصحراء فإن الموارد المائية الأساسية والأكثر استغلالاً في ولاية ورقلة هي من أصل جوفي .

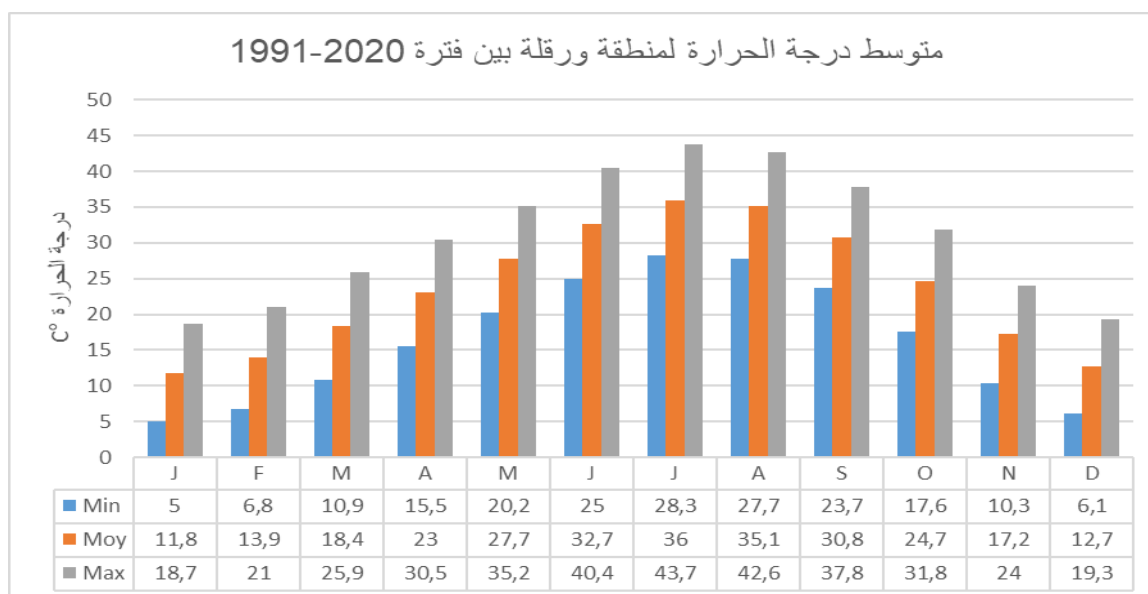
تمثل المياه الجوفية المورد الأساسي للولاية و تتكون من أربعة طبقات مائية مختلفة هي:

- خزانات مائية باطنية: (خزان مائي فرياتيكي) عمقها يتراوح من 1 إلى 8 م.
- جيوب رملية.
- خزان سنوني (الكلسي): جيوب المركب النهائي.
- خزان متداخل قاري (ALBIEN): عمقه يتراوح بين 1000م و 17000م.
- الوديان الرئيسية: وادي نساء ، وادي ريغ، وادي مئة، وادي ميزاب. [2]

5.2.I المناخ في منطقة ورقلة

1.5.2.I درجة الحرارة

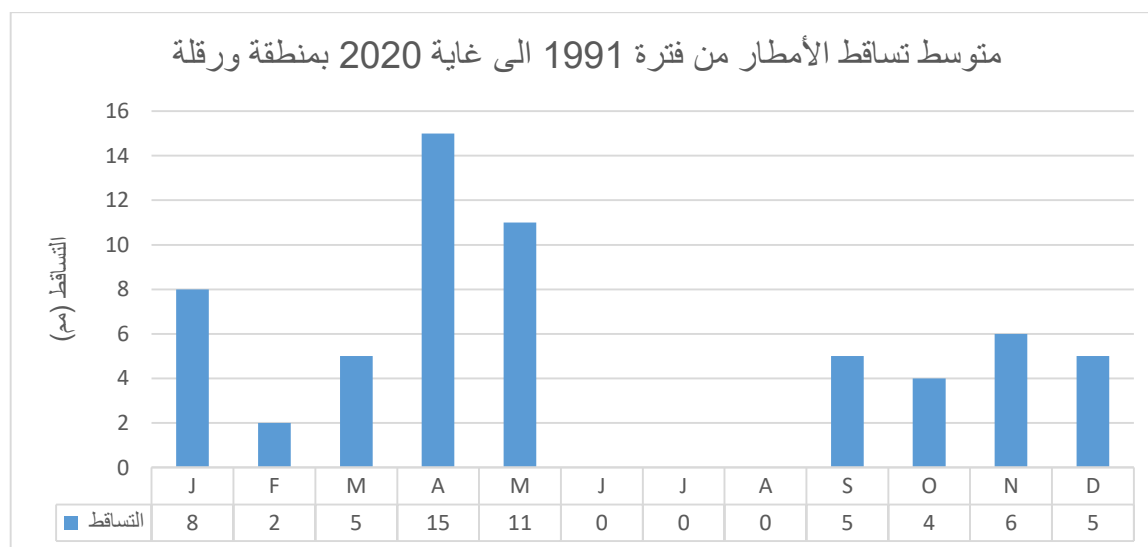
تتميز منطقة ورقلة بدرجة حرارة شديدة جدا في فصل الصيف حيث تتجاوز المتوسط $^{\circ}C$ 45 وتتنخفض في فصل الشتاء خاصة اثناء الليل في حدود $^{\circ}C$ 5 ويعد المناخ خناقاريا يتميز بفوارق حرارية كبيرة وموسمية تصل الى $^{\circ}C$ 30



الشكل 2.I. متوسط تساقط الأمطار من فترة 1991 الى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]

2.5.2.I التساقط

يبلغ معدل هطول الأمطار 65 مليمترا سنويا، مما يعني أنه على مستوى صحراوي. ويتراوح بين 0 مليمترا في الأشهر الأكثر جفافاً (يونيو، يوليو، أغسطس) و15 مليمترا في أكثرها رطوبة (أبريل). الصورة 4.I تبين متوسط هطول الأمطار.

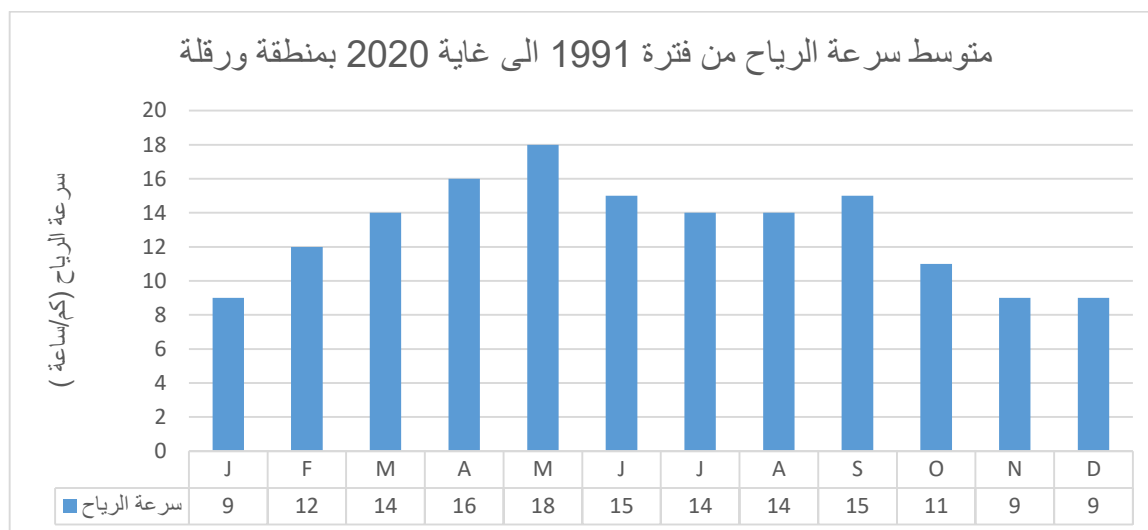


الشكل 3.I. متوسط تساقط الأمطار من فترة 1991 الى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]

3.5.2.I الرياح

تهب عواصف رملية موسمية على ورقلة بين شهري فيفري و أفريل و تصل إلى ذروتها في مارس ، يبدأ الطقس في التحسن

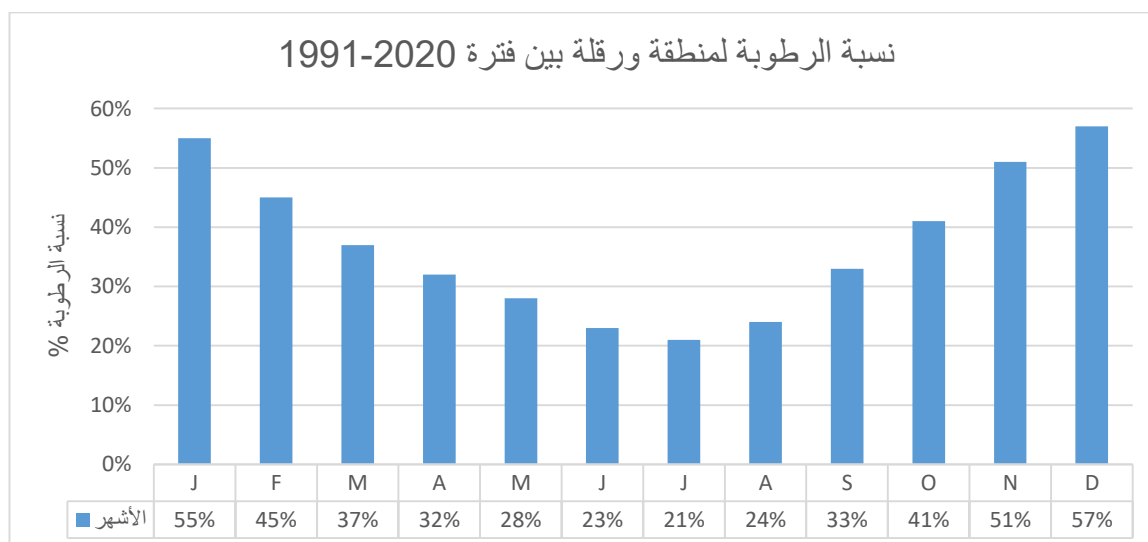
اعتبار من شهر سبتمبر عندما يتغير إتجاه الرياح لتصبح شمالية شرقية و تعرف محليا(البحري) وهي غالبا ما تكون محملة بالرطوبة وتساهم في تلطيف الجو خاصة في الليل



الشكل 4.I. متوسط سرعة الرياح من فترة 1991 الى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]

4.5.2.I نسبة الرطوبة

يتميز مناخ ورقلة بأنه صحراوي جاف، حيث تكون الأمطار نادرة ودرجات الحرارة مرتفعة في الصيف ومنخفضة في الشتاء. هذا النوع من المناخ يؤدي إلى انخفاض نسبة الرطوبة في الهواء عادة .
الصورة الأتية توضح متوسط الرطوبة للمنطقة بين فترة 1991-2020



الشكل 5.I. متوسط نسبة الرطوبة من فترة 1991 الى غاية 2020 بمنطقة ورقلة [3]

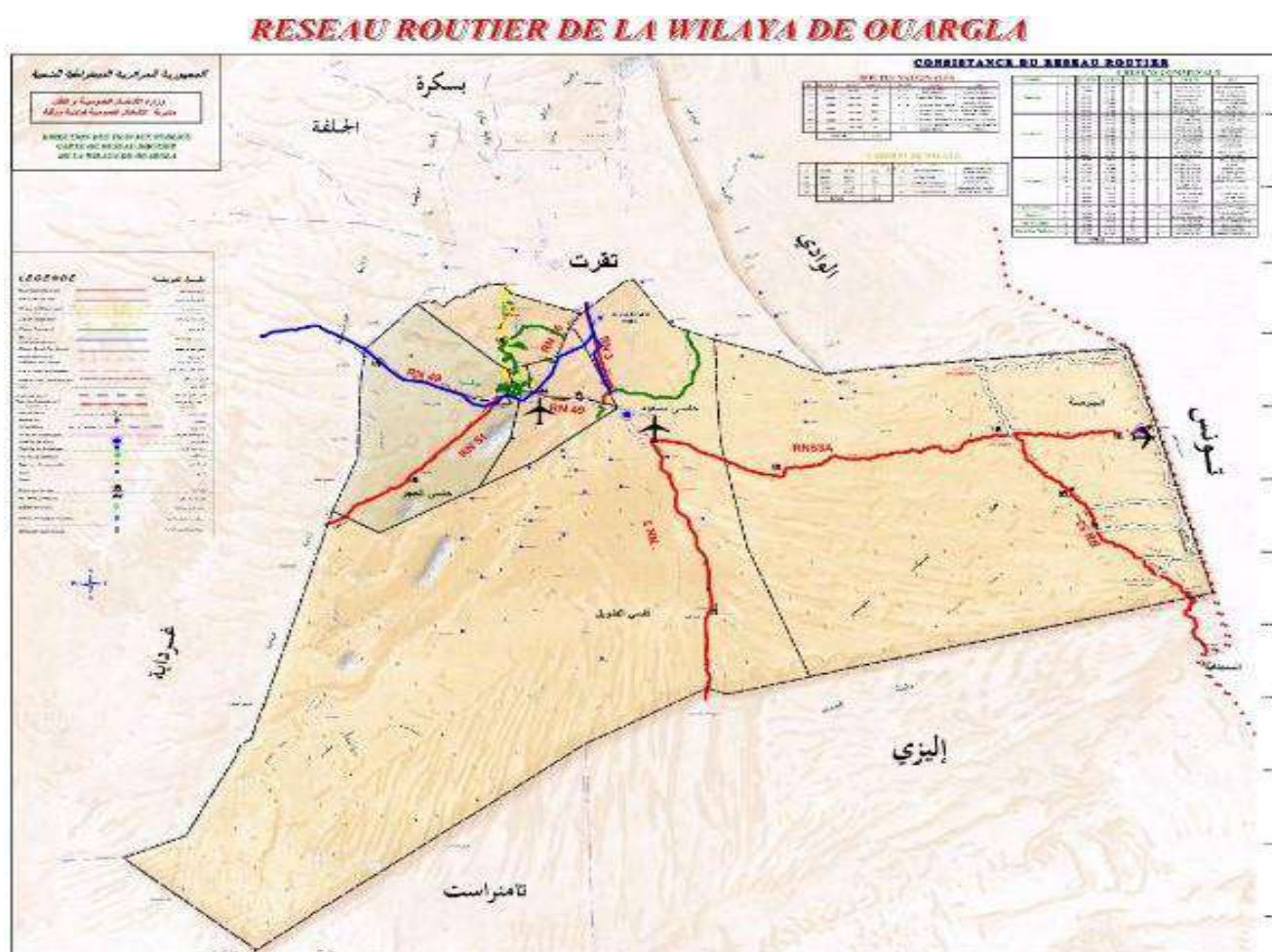
3. I القسم الثاني: الهياكل القاعدية لمدينة ورقلة

1.3. I شبكة الطرقات

تلعب الشبكة الطرقية في ورقلة التي تمتد على حوالي 1611.3 كم من الطرق بجميع أنواعها ، دورًا أساسيا في إعادة تنشيط الاقتصاد في الجزائر نظرًا للإمكانات البشرية و الطاقة الزراعية و الثقافية التي تجمعها ورقلة . لذا فإن الاهتمام الذي يجب أن يعطى للشبكة الطرقية يعد أمرًا بالغ الأهمية في مجالنا .

تتكون الشبكة الطرقية في الولاية من :

- 1211 كم من الطرق الوطنية
- 129.5 كم من الطرق الولائية
- 270.80 كم من الطرق البلدية



الشكل 6.I. شبكات الطرق بمنطقة ورقلة حسب التقسيم الجديد

I 2.3 المطارات

مطار ورقلة "عين البيضاء"

- الخطوط الداخلية (الجزائر، قسنطينة، عين أميناس، ايليزي، تمنراست، المنيعه، أدرار) ؛
- الخطوط الخارجية (جدة المملكة السعودية).
- مطار حاسي مسعود " كريم بلقاسم " :
- الخطوط الداخلية (الجزائر، قسنطينة، عين أميناس، ايليزي، تمنراست، المنيعه، أدرار، وهران، عين صالح، بجاية، ت أف تي(TFT) ؛
- الخطوط الخارجية (مدريد إسبانيا).

I 3.3 شبكة السكة الحديدية

ترامواي ورقلة

يمتد خط ترامواي على مسافة 9.6 كلم² و16 محطة، تعتبر أول مدينة في جنوب الجزائر تستقبل مشروع إنجاز الترامواي، حيث وضع حيز التشغيل التجاري يوم 20 مارس 2018، من طرف السيد وزير الأشغال العمومية والنقل، عبد الغني زعلان



الشكل I.7. ترامواي ورقلة [4]

4.I. الخاتمة

تقع مدينة ورقلة في قلب الصحراء الجزائرية الكبرى، وتحديداً في الجزء الشمالي الشرقي منها. تتميز بمناخ صحراوي جاف حيث يميزه إرتفاع درجة الحرارة في الصيف وإنخفاضه في الشتاء مع قلة الأمطار. شهدت الولاية تطور ملموس من ناحية الهياكل القاعدية بحيث تم تشييد شبكة الترامواي سنة 2018 بخط 9.6 كم و خلق شبكات طرق جديدة لتصل إجمالاً الى حدود 1611.3 كم شكلت هذه التطورات قاطرة دفع قوية للانتعاش الاقتصادي في الجزائر. فبالنظر إلى إمكاناتها البشرية الواعدة، ومواردها الطاقوية والزراعية الهائلة، فضلاً عن ثرائها الثقافي الأصيل، يكتسي الاهتمام بشبكة الطرق أهمية قصوى في هذا السياق. وإزاء المناخ القاسي الذي يميز المنطقة - جفاف حاد وحرارة شديدة صيفاً وبرودة قاسية شتاءً - يصبح من الضروري إيلاء عناية فائقة لدراسة تأثير التدرج الحراري المرتفع نسبياً على متانة بنيتنا التحتية للطرق في هذا الجزء الحيوي من البلاد

1.II. المقدمة

يتناول هذا الفصل نظرة عامة على مكونات الطرق من طبقات السطح و الأساس ، ثم يوضح خصائص الخلطات الأسفلتية و مكوناتها الأساسية مثل البيتومين و الركام ، خاصة تلك المستعملة في الطبقات العليا.

2.II. معلومات عامة عن الطرق

الطريق هو شريط أرضي به مسارات معدة لحركة السيارات و غيرها من المركبات التي تتحرك على عجلات. و الطرق تصل المناطق الحضرية بعضها ببعض، كما تصلها بالمناطق الريفية. وتعرف الطرق التي تخترق المدن باسم الشوارع. و الطرق ذات أهمية حيوية، إذ يستخدمها المزارعون في نقل محاصيلهم إلى الأسواق، وتسير عليها الشاحنات الكبيرة لتوزيع الإنتاج الصناعي من منطقة إلى أخرى. كما تقطعها السيارات و الحافلات و الدراجات و غيرها من وسائل النقل للأغراض الترفيهية و الترفيهية.

II 1.2. التصنيف الإداري للطرق

يقسم التصنيف الإداري الطرق الى أربعة أصناف :

- الطرق البلدية : هذه الطرق تقع في نطاق البلدية و تتولى البلدية مسؤولية بنائها و صيانتها و تطويره
- الطرق الولائية : هذه الطرق تقع في نطاق الولاية و تقوم السلطات المحلية بمسؤولية بنائها و صيانتها و تطويرها
- الطرق الوطنية : هذه الطرق هي الأهم و الأكثر أهمية تتولى الحكومة مسؤولية بنائها و صيانتها و تطويرها بحيث تربط بين الولايات .
- الطرق السريعة : هذا النوع هو صنف خاص من الطرق الوطنية بحيث تتميز بسرعة مرجعية كبيرة مقارنة بالاصناف الأخرى .

II 2.2. التصنيف التقني للطرق

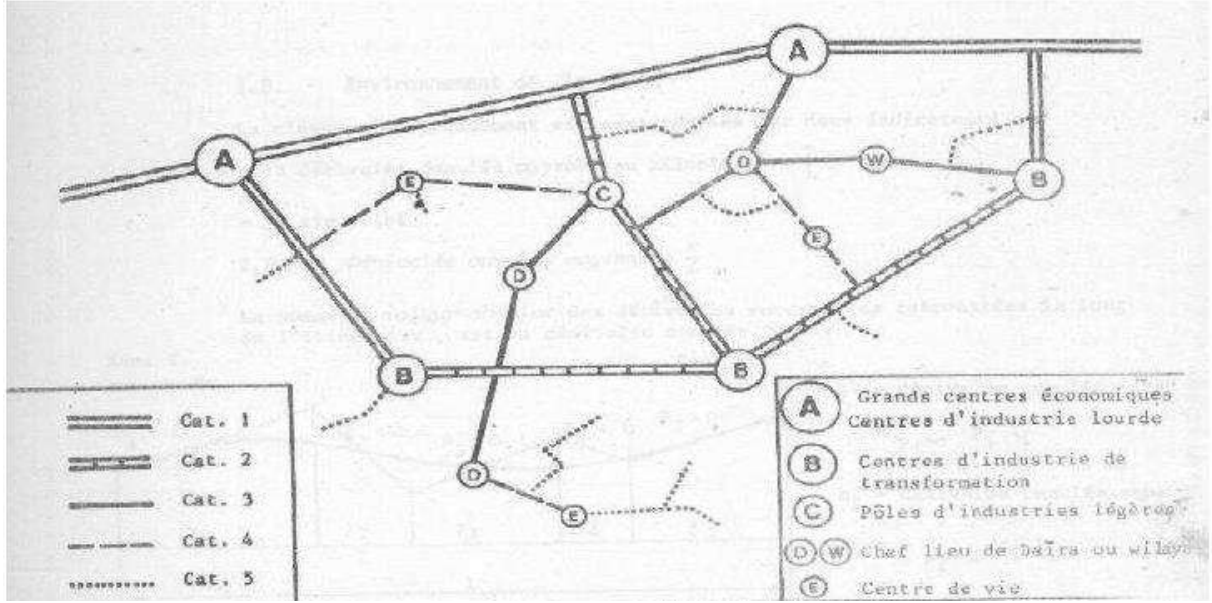
هو عبارة عن تصنيف يحدد خصائص الطريق التقنية، مثل السرعة القصوى المسموح بها، و عدد الحارات، و نوع سطح الطريق، و غيرها من المعايير الهندسية التي تحدد جودة الطريق و سلامته.

الجدول II 1. التصنيف التقني للطرق

الصنف	الإستثنائي	الصنف 1	الصنف 2	الصنف 3	الصنف 4
السرعة (كم /ساعة)	120	100	80	60	40

II 3.2. تصنيف الطرق في الجزائر حسب B40

يمكن تصنيف كافة الطرق في الجزائر إلى خمس فئات وظيفية، تتوافق مع الأهداف الاقتصادية والإدارية التي حددتها سياسة التخطيط الإقليمي،

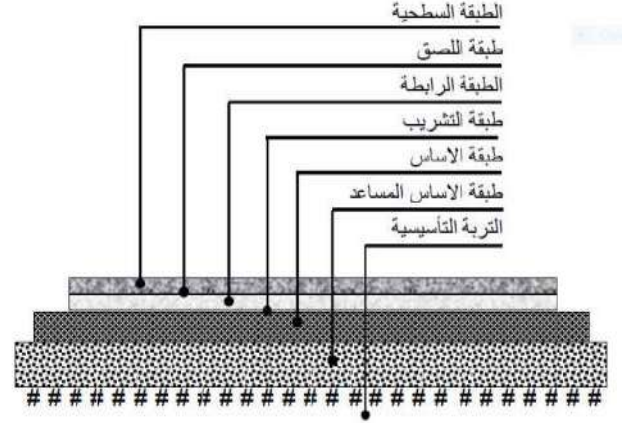
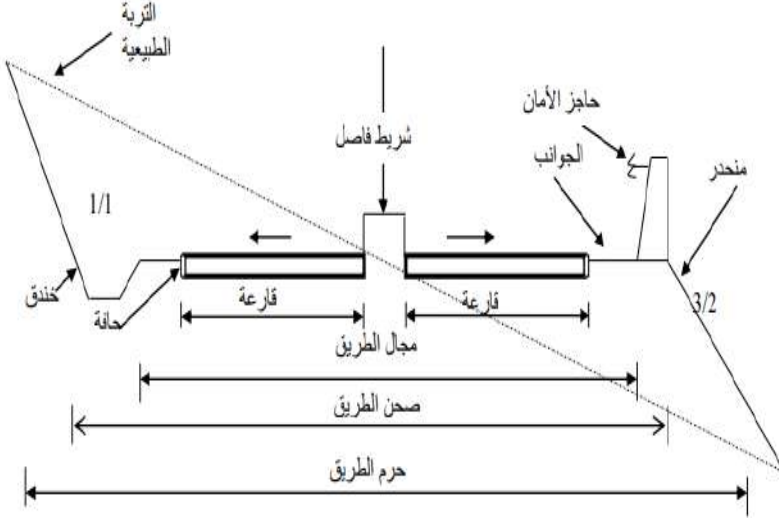


الشكل 1.II تصنيف الطرق في الجزائر حسب B40 [5]

- الفئة 1 : وصلات بين المراكز الاقتصادية الرئيسية ومراكز الصناعات الثقيلة (A)، وصلات تُقدم خدمات تغذية لمراكز الصناعات التحويلية (B) على هذه الشبكة
- الفئة 2: وصلات بين مراكز الصناعات التحويلية (ب)، وصلات تُقدم خدمات تغذية لمراكز الصناعات الخفيفة المتنوعة (C) على الشبكة السابقة (الفئة 1)؛
- الفئة 3: وصلات بين عواصم المقاطعات والولايات (D) غير المشمولة بالشبكة السابقة، مع شبكتي الفئة 1 و 2
- الفئة 4: وصلات بين المراكز السكنية (E) مع شبكتي الفئة 1 و 3
- الفئة 5 : الطرق والمسارات غير المشمولة في الفئات السابقة.

3.II. هيكل الطريق

تشمل مكونات الطريق الرئيسية الطريق أو الرصيف، وعرض الطريق أو التكوين، و الميل العرضي، والأرصفة،



الشكل 3.II . هيكل الطريق

الشكل 2.II. طبقات الطريق

1.3.II حرم الطريق (emprise)

هو العرض الكلي للأرض المستعملة لإنجاز الطريق

2.3.II صحن الطريق (assiette)

المساحة السطحية للأرض التي يشغلها الطريق فعلياً

3.3.II مجال الطريق (plat forme)

هي المساحة الأرض التي على القارعة التي تمر عليها السيارات كما تحتوي على الجوانب والشريط الفاصل في حالة طريق مزدوج

4.3.II قارعة (chaussée)

هي القسم الأساسي من مجال الطريق حيث تكون مهياً ومعبدة خصيصاً لتحمل سير السيارات

5.3.II الجوانب (accotements)

يوجد في اطراف القارعة شريطين مخصصين لإستقبال توقف السيارات عند الضرورة

6.3.II الخندق (fossé)

الخنادق هي هياكل خطية يتم حفرها في البداية لتصريف المياه أو جمعها أو توزيعها.

7.3.II المنحدر (talus)

هو خط توازن التربة الناتج عن الأعمال الترابية يكون في الحفر 1/1 وفي الردم 2/3

8.3.II حاجز الأمان (glissière de sécurité)

الحواجز الأمنية هي أجهزة تقييدية يتم تركيبها على جوانب الطرق للحد من عواقب مغادرة المسار.

9.3.II طبقة السير (Couche de roulement)

الطبقة العليا من سطح الطريق، المصنوعة من خليط البيتومين، هي الطبقة التي تتركز على الطبقة السفلية وتحمل أحمال المرور مباشرةً.

10.3.II طبقة الربط (couche d'accrochage)

طبقة الربط هي طبقة رقيقة جداً من مادة بيتومينية، عادةً ما تكون مستحلباً أسفلتياً أو أسفلتاً مخففاً سريع التطاير، يتم رشها على سطح أسفلتي موجود (سواء كان أسفلت قديم، أو طبقة أسفلتية رابطة جديدة، أو حتى طبقة أساس معالجة بالبيتومين) قبل وضع طبقة أسفلتية جديدة فوقها.

11.3.II طبقة التشريب (couche d'imprégnation)

هي طبقة من مادة بيتومينية سائلة أو مستحلب بيتوميني يتم رشها على طبقة الأساس الحبيبية للطريق (أو طبقة القاعدة) قبل وضع طبقة الأسفلت العلوية. تُعد هذه الطبقة ضرورية لضمان تماسك الطريق وطول عمره الافتراضي.

12.3.II طبقة القاعدة (couche de base)

طبقة قوية من المواد الحبيبية المكسرة أو الممزوجة بمواد رابطة (مثل الأسمنت أو البيتومين)، وتوضع فوق طبقة الأساس المساعدة (أو مباشرة فوق طبقة تحت الأساس إذا كانت قوية بما فيه الكفاية). هي الطبقة التي تتحمل وتوزع معظم الإجهادات الناتجة عن أحمال المرور على طبقة تحت الأساس والأساس المساعدة. يجب أن تكون ذات قدرة تحمل عالية واستقرار جيد.

13.3.II طبقة الأساس (couche de fondation)

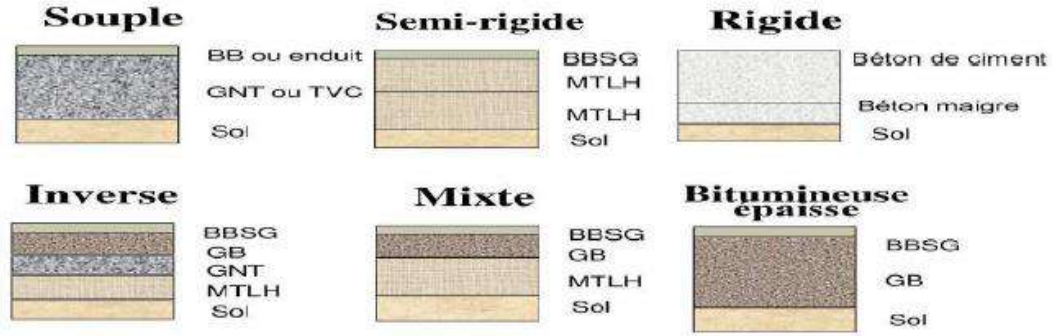
طبقة من المواد الحبيبية (مثل الرمل، الحصى، أو كسر الحجارة) تُوضع تحت طبقة القاعدة تعمل على دعمها وتقويتها بحيث تتحمل الأحمال بشكل أفضل

14.3.II طبقة الأساس المساعد (couche de forme)

هذه ليست طبقة بناء حقيقية يضعها المهندسين، بل هي التربة الطبيعية الموجودة في الموقع بعد تهيئتها وتسويتها وضغطها. إذا كانت التربة ضعيفة، قد تحتاج إلى تحسين (مثل إضافة مواد مثبتة أو استبدالها). تتحمل الأحمال المنقولة إليها من الطبقات العلوية. قوة هذه الطبقة تؤثر بشكل كبير على أداء الطريق ككل.

4.II. أنواع الطرق

كما هو الحال بالنسبة لشبكة الطرق الفرنسية، تتميز شبكة الطرق الجزائرية بتنوع كبير في هياكل الطرق التي يمكن تقسيمها إلى ست عائلات رئيسية. [6]



الشكل 4.II أنواع رصف الطرق [6]

1.4.II الطريق المرن

تتكون من طبقة أساس من الحصى غير المعالج وطبقة أساسية من البيتومين بسبك أقل من 15 سم. تتكون الطبقة السطحية من طبقة رقيقة من مواد البيتومين، والتي قد تصل أحيانًا إلى طبقة بسيطة. [6]

2.4.II الأرصفة البيتومينية السميكة

تتكون من مواد بيتومينية في القاعدة (الطبقة التحتية والأساس) بسبك إجمالي يصل إلى 40 سم، ومغطاة بطبقة سطحية بيتومينية. [6]

3.4.II الطرق ذات القاعدة المعالجة بمواد رابطة هيدروليكية أو أرصفة شبه صلبة

تتكون هذه الطرق، تحت طبقة سطحية بيتومينية، من طبقات قاعدة وطبقة تحتية مصنوعة من مواد معالجة بمواد رابطة هيدروليكية (حصى أسمنتي، حصى خبث، حصى رماد متطاير). يتراوح سمك القاعدة الإجمالي بين 20 و50 سم. [6]

4.4.II الأرصفة ذات الهياكل المختلطة

تتكون من طبقة سطحية وطبقة أساسية (من 10 إلى 20 سم) من مواد بيتومينية على طبقة أساسية (من 20 إلى 40 سم) معالجة بمواد رابطة هيدروليكية. [6]

5.4.II الأرصفة ذات البنية العكسية

هي أرصفة ذات بنية مختلطة، حيث تُدرج طبقة من الحصى غير المعالج بين طبقتي البيتومين والهيدروليكا. [6]

6.4.II أرصفة الخرسانة الأسمنتية

تتكون من طبقة أساسية من الحصى الأسمنتي بسبك 15 سم، تعلوها بلاطة خرسانية بسبك 25 سم. تُوضع فواصل عرضية وطولية كل 4 إلى 5 أمتار لمنع تشقق الخرسانة الغير المنضبط. [6]

5.II. تركيب الخلطة الخرسانية الزيتية

يتكون الخليط الخرساني الزيتي من ركام و رابط هيدروكربوني (بيتومين) , يلعب بيتومين دور لاصق بحيث يعمل على تغليف الركام ودمجه مع بعض مما يجعل الخليط متماسك .



الشكل 5.II خرسانة زيتية [7]

5.II. 1. البيتومين

البيتومين هو مُنتج ثانوي هيدروكربوني ثقيل، وهو بقايا سوداء من النفط الخام، يُستخرج إما بالتقطير الطبيعي أو بالتقطير في المصافي. يُستخدم البيتومين المُعالج مباشرةً لإنتاج الأسفلت المُختلط الساخن. [6]



الشكل 6.II البيتومين [8]

1.1.5.II تصنيف رابط الهيدروكربون

يُصنّف المعيار الأوروبي EN 12-597 المواد الرابطة. يُمَيِّز أولاً بين المواد الرابطة البيتومينية، التي تشمل مواد رابطة أو خليطاً من المواد الرابطة والركام الذي يحتوي على البيتومين، والمواد الرابطة القائمة على القطران. تُصنّف المواد الرابطة البيتومينية بعد ذلك حسب مصدر البيتومين: طبيعي أو مشتق من البترول. أما المواد الرابطة البيتومينية المشتقة من البترول، فتميّز حسب تركيبها واستخدامها. [9]

❖ حسب تركيب

• البيتومين النقي

بيتومين نقي وبيتومين طرق صلب. يُستخرجان من تكرير النفط الخام، ويُصنّفان باستخدام اختبار اختراق الإبرة (30/20، 50/40، 70/60، 100/80، إلخ). [9]

• البيتومين المُخفّف.

البيتومين المُخفّف هو البيتومين الذي خُفّضت لزوجته بإضافة مُخفّف مُتطاير نسبياً (مثل البترول أو الكيروسين). يُستخدم في طبقات مانعة التسرب الإسفلتية والطبقات اللاصقة. يُفرّق بين:

- البيتومين سريع التصلب (RC) يتكون من الأسمنت البيتوميني ومُخفّف عالي التطاير مثل النافثا أو زيت البنزين.

- البيتومين متوسط التصلب (MC) يتكون من الأسمنت البيتوميني ومُخفّف مُتطاير متوسط مثل الكيروسين.

-البيتومين بطيء التصلب (SC) عمليات تخفيض تتكون من الأسمنت البيتوميني والزيوت البطينة التقلب. [9]

• مستحلب البيتومين

هو مادة رابطة تتكون من الماء والبيتومين. وهو نظام مُشتت، حيث تنتشر جزيئات البيتومين في الماء. وتتمثل مهمته الرئيسية في منع اندماج جزيئات البيتومين الدقيقة، مما يحافظ على خصائصه الفيزيائية والكيميائية وجودته. ويتحقق هذا الثبات باستخدام مستحلبات خاصة. تُصنّف مستحلبات البيتومين إلى ثلاث فئات: مستحلبات سريعة التصلب (RC) ومستحلبات متوسطة التصلب (MC)، ومستحلبات بطيئة التصلب (SS) [9]

2.1.5.II خواص البيتومين

• اللزوجة

هي خاصية فيزيائية تُميز حالة السائل الذي تُعيق جزيئاته حركتها نتيجةً للتفاعلات. تتأثر لزوجة السائل بعوامل مُختلفة، منها درجة الحرارة. [9]

• التماسك

يُعد التماسك صفة مهمة تمنع البيتومين من التفكك بسهولة (أي أنه قادر على الاستطالة دون الانفصال).

[9]

• الشيوخة

يفقد البيتومين بعض خصائصه مع مرور الوقت، ويُعتبر التماسك أهم هذه الخصائص. [9]

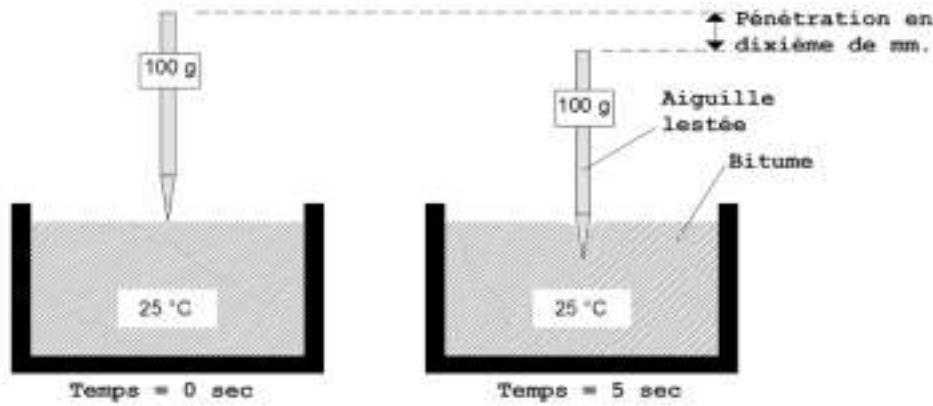
3.1.5.II التجارب على البيتومين

(أ) اختبار اختراق الإبرة (NF EN 1426)

يتكون اختبار الاختراق من تحديد قوام البيتومين والمواد الرابطة البيتومينية. تتمثل هذه الطريقة في تحديد عمق الاختراق الرأسي لإبرة مرجعية في عينة اختبار من المادة، بوحدات أعشار المليمتر، في ظل ظروف محددة.

شروط التشغيل المطبقة على الاختراقات:

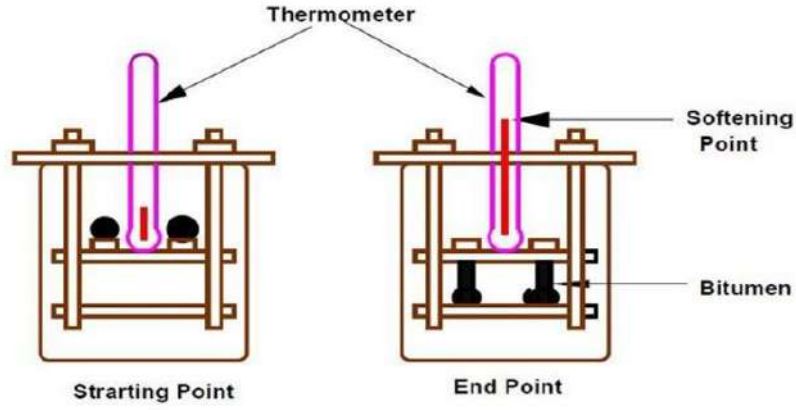
- درجة حرارة مضبوطة على 25 درجة مئوية
- الحمل المطبق 100 غرام
- وقت تطبيق الحمل مضبوط على 5 ثوانٍ



الشكل 7.II مبدأ تجربة إختراق البيتومين [10]

(ب) اختبار نقطة تليين الحلقة والكرة (NF EN 1427)

يحدد هذا الاختبار درجة تليين البيتومين، أي أنه يقيس درجة الحرارة التي يتحول عندها البيتومين من الحالة الصلبة إلى السائلة. تُملأ حلقة نحاسية بالبيتومين، وتوضع كرة فولاذية فوقها، وتُغمر الحلقة بأكملها في الماء. تُرفع درجة الحرارة بمقدار 5 درجات مئوية في الدقيقة. درجة تليين البيتومين هي درجة الحرارة التي تسحبها الكرة من الحلقة إلى قاع الحاوية.



الشكل 8.II مبدأ تجربة نقطة تليين البيتومين [10]

(ج) الكثافة النسبية (NF EN 15326)

بحسب التعريف، الكثافة النسبية هي نسبة كتلة أي حجم من المادة إلى كتلة حجم مماثل من الماء، وكلاهما عند درجة حرارة محددة. وبالتالي، فإن كثافة نسبية تساوي 1.05 تعني أن المادة أثقل من الماء بمقدار 1.05 مرة عند درجة الحرارة المحددة.

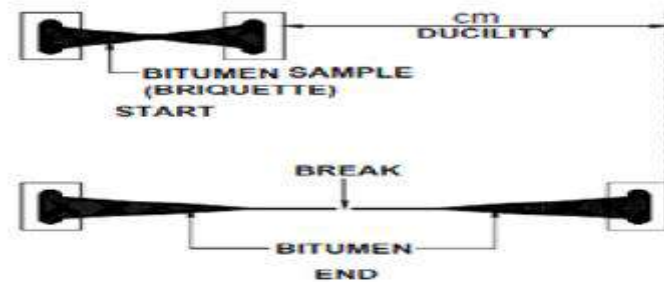
[9]



الشكل 9.II تجربة كثافة البيتومين [9]

(د) اللدونة عند 25 درجة مئوية (NF EN 13589)

تُعرف لدونة المادة البيتومينية باستطالة عينة من البيتومين مغمورة في حمام بدرجة حرارة 25 درجة مئوية وبسرعة 50 مم/دقيقة، عند لحظة تمزق الخيط المتشكل بهذه الطريقة.



الشكل 10.II مبدأ تجربة إستطالة البيتومين [9]

هـ) اختبار نقطة الوميض (NF EN 22592)

يتكون اختبار نقطة الوميض من تسخين عينة برفق بمعدل ثابت من ارتفاع درجة الحرارة مع التحريك المستمر. عند كل درجة حرارة، يُشعل لهب في البخار الناتج فوق العينة. أدنى درجة حرارة تشتعل عندها الأبخرة هي نقطة الوميض [10]



الشكل 11.11 جهاز كليفلاند [10]

5.11.2. الركام

يمكن تقسيم المواد الخام المستخدمة في خلطات الأسفلت إلى فئتين رئيسيتين: المواد الخام الطبيعية من المحاجر وحفر الرمل وحفر الحصى والمواد الخام من مصادر أخرى مثل المواد الخام المعاد تدويرها أو المنتجات الثانوية الصناعية أو المواد الخام المصنعة لاستخدام محدد. [10]

5.11.2 تصنيف الركام [10]

تُصنّف الركامات إلى فئات حبيبية مختلفة وفقاً لحجم عناصرها. تُصنّف الفئة الحبيبية (d/D) حسب حجم أصغر حبيبة "d" وأكبر حبيبة "D"، ويُعبّر عن الحجم بالمليمتر. ومن المتعارف عليه أن الجزء الحبيبي يمكن أن يحتوي على ما يصل إلى 15% من المواد الزائدة. يمكن تمييز الأنواع الحبيبية التالية:

- الحبيبات الدقيقة D/0 مع $D \leq 0.080$ مم
- رمال D/0 مع $D \leq 6.6$ مم
- حصى d/D مع $d \geq 2$ مم و $D \leq 31.5$ مم
- حصى d/D مع $d \geq 20$ مم و $D \leq 80$ مم
- حصى D/0 مع $6.3 > D \leq 80$ مم

5.11 صياغة الخرسانة البيتومينية

صياغة خليط هيدروكربوني هي تحديد أفضل خليط من مواد ركام بأحجام مختلفة ومادة رابطة (البتومين) لتحقيق الأداء المطلوب: عدم النفاذية، والخشونة، والمقاومة الميكانيكية (للتآكل والتعب). لذلك، يهدف هذا الخليط إلى تحديد أنواع حبيبية مختلفة تُشكل هيكلًا حبيبيًا بنسبة فراغات مناسبة. فانخفاض نسبة الفراغات يمنع إدخال كمية كافية من المادة الرابطة لتغطية جميع الحبيبات دون تشبع الخليط، بينما تُعزز نسبة الفراغات العالية حدوث تشوهات دائمة نتيجة للضغط اللاحق. [10]

1.5.II التركيب الحبيبي

يجب أن تتوافق الخلطات البيتومينية مع قواعد التركيب الحبيبي، والتي تُلخص في شكل مغازل يتحرك ضمنها المنحنى الحبيبي للخلطة قيد الدراسة. تتضمن دراسة التركيب الحبيبي للخلطة مرحلتين:

-شكل المنحنى (الاستمرارية)

-حالة ضغطها (طبيعة وكثافة الضغط).

- يجب أن يكون التركيب الحبيبي للخلطة، وفقاً لنوعها، ضمن النطاقات الموضحة في الجدول التالي:

الجدول II. 2. حجم جسيمات الخليط المرجعي 0/14

الخرسانة الزفتية 0/14		الغزبال (مم)
الأقل	الأعلى	
-	-	20
94	100	14
72	84	10
50	66	6.3
28	40	2
7	10	0.08

1.5.II محتوى الرابطة

يُحدّد محتوى المادة الرابطة المُستخدمة بناءً على دراسة مخبرية تتضمن اختيار ركام مفرد أو مُركّب ضمن النطاق المُوصى به. ويعتمد ذلك على مساحة السطح النوعية للركام وفقاً للمعادلة التالية:

$$K \times \alpha \times \sqrt{\Sigma} = \text{محتوى المادة الرابطة}$$

K : معامل الثراء، والذي يمكن أن يأخذ القيم التالية:

- من 2 إلى 2.9 للحصى البيتوميني (GB)
- من 3.2 إلى 3.9 للخرسانة البيتومينية (BB)

α : معامل التصحيح لمراعاة كثافة المواد الخام (MVRg)

$$\alpha = \frac{2.65}{MVRg}$$

بحيث :

$$MVRg = \frac{100\%}{\frac{0/3\%}{MV(0/3)} + \frac{3/8\%}{MV(3/8)} + \frac{8/15\%}{MV(8/15)}}$$

Σ : تُحسب المساحة السطحية النوعية للركام باستخدام الصيغة التالية:

$$100\Sigma = 0.25G+2.3S+12s+135f \text{ (m2/kg)}$$

- G-النسبة المئوية للعناصر التي أبعادها أكبر من 6.30 مم
S-النسبة المئوية للعناصر التي أبعادها بين 6.30 و0.315 مم
s-النسبة المئوية للعناصر التي أبعادها بين 0.315 و0.08 مم
f- النسبة المئوية للعناصر التي أبعادها أقل من 0.08 مم

6.II. اختبارات على الخرسانة البيتومينية

1.6.II اختبار مارشال (NF EN 12697-34)

اختبار مخبري لتحضير خلطات الأسفلت الساخنة. يتكون الاختبار من ضغط عينات من الخليط في قالب أسطواني، مما يحدد "الثبات" و"الزحف" و"نسبة الفراغات" في عينات الخليط.

2.6.II اختبار دوريز (NF EN 12697-12)

يحدد هذا الاختبار مقاومة الماء لمزيج ساخن، ويُعَيَّر عنه بنسبة قوى الضغط عند غمره في الماء وجفافه. يتكون هذا الاختبار من صنع 12 قالباً أسطوانياً صغيراً من الأسفلت: قالبان لقياس الكثافة باستخدام الوزن الهيدروستاتيكي، و5 قوالب لمدة 7 أيام في الماء، و5 قوالب لمدة 7 أيام في الهواء. بعد هذه المدة، تُسحق العينات في مكبس هيدروليكي



الشكل 12.II جهاز مارشال [11]



الشكل 11.II آلة اختبار عالمية 200 كيلو نيوتن [11]

7.II. الخاتمة

تحليل الفقرات السابقة يحدد مكونات الطرق و أنواعها ، حيث يتكون الخرسانة البيتومينية من الركام و البيتومين. تصميم الخلطة يتطلب مراعاة عوامل مثل حركة الم رور ، المناخ ، و المواد المتاحة. يجب أن تحتوي الخلطة على كمية كافية من البيتومين ، ثبات لتحمل حركة المرور لمواجهة التمدد الحراري ، و سهولة في التطبيق . كما تحتاج إختبارات الجودة و معدات متخصصة و خبرة فنية ،خصوصًا في المناطق القاسية مثل الصحاري

1.III مقدمة

الخصائص الحرارية للمواد تعبر عن كيفية تفاعلها مع انتقال الحرارة ، وتشمل خصائص مثل التوصيلية و المقاومة و الإنبعائية والانتشارية . تُعرف الخصائص المرتبط بالتوصيل و الحمل باسم "خصائص النقل" لأنها تعتمد على حركة الجزيئات . كما تعبر عن قدرة المادة على امتصاص الحرارة و التغير بفعالها ، مثل السعة الحرارية و معامل التمدد . و تعتمد هذه الخصائص على طبيعة المادة و درجة حرارتها ، ولا يمكن قياسها بدقة دون معرفة هاتين المعطيتين

2.III الخصائص الحرارية [6]

• التوصيلية الحرارية

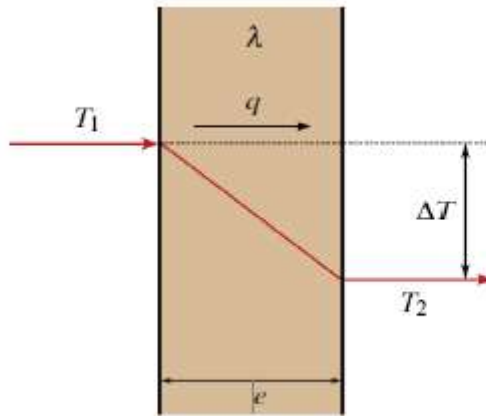
هي مقياس لمدى قدرة المادة على نقل الحرارة . تُعرّف بأنها معدل تدفق الطاقة الحرارية (الحرارة) عبر مادة تحت تدرج حراري معين. تُقاس بوحدة واط/متر/كلفن (W/m·K).

$$\lambda = q / \text{grad}T$$

q تدفق الحرارة [W · m⁻²]

T درجة الحرارة [K]

$$[\text{K} \cdot \text{m}^{-1}] \Delta T/e = (T_1 - T_2)/e = \text{grad}T$$



الشكل 1.III تعريف الموصلية الحرارية [6]

• السعة الحرارية الكتلية

السعة الحرارية الكتلية c [J.kg⁻¹.k⁻¹] او الحجمية C [J.k⁻¹ . m⁻³] (= c. ρ) هي كمية الطاقة اللازمة لتسخين 1kg او (1m³ على التوالي) من مادة مقدار 1k تعطى هذه الخاصية دلالة على قدرة الجسم على امتصاص أو تحرير الطاقة من خلال التبادل الحراري الذي يؤدي الى تغير في درجة الحرارة .

وكلما زادت السعة الحرارية لجسم ما ، زادت كمية الطاقة التي يتم تبادلها خلال عملية تترافق مع تغير في درجة الحرارة .

وغالبا ما يرمز الى السعة الحرارية للتربة غير المتجمدة ب Cu والتربة المتجمدة Cf وبمعرفة السعة الحرارية الكتلية للتربة الجافة cs وللماء cw بالإضافة الى المحتوى المائي يمكن حساب السعة الحرارية الحجمية للمزيج غير المتجمد باستخدام العلاقة البسيطة التالية :

$$C_u = c_s \cdot \rho_d + w/100 \cdot c_w \cdot \rho_d \quad [\text{J.k}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}]$$

• الانتشارية الحرارية

في صيغتها العامة تكتب معادلة الحرارة ، التي قدمها لأول مرة جان باتيست جوزيف فورييه 1811 ، على النحو التالي :

$$\lambda \nabla \cdot (\nabla T) + \lambda \nabla (\nabla T) + P = \rho c \partial T / \partial t$$

حيث :

∇ : معامل نابلا ،

λ : الموصلية الحرارية (W/(m.k) ،

T : مجال درجة الحرارة (K او C°) ،

ρ : الكتلة الحجمية للوسط ،

P : تدفق الحرارة المنتج لكل وحدة حجم ،

c : السعة الحرارية الكتلية (J . kg⁻¹ . k⁻¹)

3.III أنواع التلف المختلفة وأسبابها [12]

بشكل عام، يمكن تصنيف التدهورات التي تظهر في الطرق المرنة إلى أربع مجموعات رئيسية، وهي

- مجموعة التشوهات
- مجموعة التشققات
- مجموعة التآكلات
- التدهورات في المناطق الحضرية

1.3.III مجموعة التشوهات

تتعلق هذه المجموعة بالتلفيات التي تسبب تغيراً في شكل سطح الطريق، مما يجعله مختلفاً عن الشكل المطلوب. وغالباً ما تبدأ هذه التشوهات من الطبقات السفلية للطريق، ثم تظهر على السطح. وتُصنّف حسب شكلها أو مكانها.

1.1. 3.III الانبعاج ذات نصف القطر الصغير

هذا النوع من التشوه هو عبارة عن انخفاض طولي في سطح الطريق، وقد يكون على شكل انبعاج واحد أو اثنين أو حتى ثلاثة، ويبلغ عرضه حوالي 250 ملم. يظهر عادة في مكان مرور عجلات المركبات، ويشبه في شكله آثار الإطارات المفردة أو المزدوجة.

أ. الأسباب المحتملة

تتمثل الأسباب المحتملة في أن المواد الحبيبية التي تشكل طبقة الأساس في الطرق المرنة تكون أحياناً ذات صلابة منخفضة. وبما أن طبقة الإسفلت (الطبقة البيتومينية) رقيقة، فإن الأحمال الرأسية الناتجة عن حركة المرور تنتقل إلى الطبقة التحتية مع انتشار ضعيف.

تتسبب هذه الضغوط الرأسية العالية، عند تكرارها، في تشوهات بلاستيكية تؤدي إلى تشوهات دائمة على سطح الطريق. وأكثر مظاهر هذه التلفيات شيوعاً تظهر أولاً على شكل تشوهات دائمة تُعرف باسم الانبعاج. الأسباب المحتملة لحدوث الانبعاج ذو نصف القطر الصغير هي:

- طبقة الأسفلت ذات الاستقرار المنخفض في الطقس الحار (مثال: بيتومين لين جداً أو استخدام كمية زائدة منه).
- طبقة الأسفلت غير كافية لتحمل الأحمال الثقيلة.
- ضغط غير كافٍ لطبقة الأسفلت أثناء التمديد والتسوية.
- تآكل سطح طبقة الأسفلت نتيجة الاحتكاك (التآكل السطحي).

2.1.3.III الانبعاج ذو نصف القطر الكبير

يتميز هذا النوع بوجود انخفاض طولي مفرد يقع في مسار عجلات المركبات. ويأخذ المقطع العرضي لهذا الانخفاض شكل منحنى قطع مكافئ واسع جداً.

أ-الأسباب المحتملة :

الأسباب الأكثر احتمالاً والأكثر شيوعاً التي تؤدي إلى ظهور الانبعاجات ذات نصف القطر الكبير هي كما يلي:

- التقدم في العمر (تراكم التشوهات الدائمة).
- ضغط غير كافٍ في الطبقات الحبيبية أثناء البناء.
- عدم كفاية القدرة الهيكلية للطريق.
- سوء تصريف المواد الحبيبية في الطريق (مثل فترة ذوبان الجليد).
- التآكل.

تتعدد أسباب تكون الانبعاجات، وكلما كانت الانبعاجات ضيقة أكثر، كانت الطبقة المتسببة فيها أقرب إلى سطح الطريق. قد تكون هذه الانبعاجات ناتجة عن مشاكل في طبقات الأسفلت إذا كانت غير مستقرة بشكل كافٍ، وقد تنشأ أيضاً من التربة الطبيعية نفسها عندما يكون الطريق رقيقاً ويفتقر إلى طبقة تغطية سميكة.

3.III.3.1 الهبوط

الهبوط هو تغير في مستوى الطريق يحدث عادة عند الحافة أو قرب أنابيب تحت الأرض، وهو عبارة عن انخفاض واضح وعميق أحياناً، ويمكن أن يكون محدوداً عند الحافة أو يشمل عرض الطريق كله.

أ-الأسباب المحتملة :

عادةً ما تكون هبوطات الطرق المرنة ناتجة عن عدم استقرار الردم، وجود مواد غير مناسبة أو غير مضغوطة بشكل جيد، وجود مناطق من التربة الطينية المنقبة أو المناطق المستنقعية، تعرية أو جفاف التربة الداعمة، وسوء حالة شبكات البنية التحتية تحت الأرض (في المناطق الحضرية).

هناك أسباب أخرى مثل نقص الأبعاد المحلية، تلوث جسم الطريق، أو البناء المحلي غير السليم.

الرسوم التوضيحية المجاورة تبين أنواع التلف المختلفة المذكورة أعلاه يتم تصنيفها وفق ثلاث درجات من الشدة منخفضة، متوسطة، عالية.



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 2.III.2 إنبعاجات ذات قطر صغير



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 3.III انبعاجات ذات قطر كبير



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 4.III الهبوط

3.III 4.1 الرفع التفريقي

يُعرف الرفع التفريقي بأنه انتفاخ موضعي في الطريق يحدث أثناء فترة الصقيع، سواء كان هذا الانتفاخ موازيًا أو عموديًا على محور الطريق.

أ - الأسباب المحتملة

الأسباب الأكثر احتمالاً هي:

- وجود بنية تحتية عرضة للتجمد، وهو ظاهرة شتوية متكررة.
- مواد حساسة للرطوبة، وهي ظاهرة دائمة.

- ارتفاع منسوب المياه الجوفية ووجود مياه بالقرب من الطريق.
- تباين في المواد أو انتقال غير مناسب بين طبقات الطريق.
- وجود أنابيب تحت الأرض على عمق منخفض (في المناطق الحضرية).

III.1.3.5 اضطراب في المستوى الطولي للطريق

يُلاحظ اضطراب المستوى الطولي في حالة وجود منحدرات أو هندسة غير مناسبة تُسبب تجمع مياه السطح على شكل برك على الطريق.

أ الأسباب المحتملة

الأسباب التي تؤدي إلى اضطرابات المستوى الطولي للطريق عادةً ما تكون وجود نقاط منخفضة غير مصرفة، أو هبوط على طول حواف الطريق.

الشكل التالي يوضح نوعي التلف المذكورين أعلاه يتم تصنيفها وفق ثلاث درجات من الشدة منخفضة, متوسطة , عالية.



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل III.5 اضطراب في المستوى الطولي للطريق



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل III.6 الرفع التفريقي

2.3.III مجموعة التشققات

تؤدي الإجهادات المتكررة الناتجة عن الانحناء المتناوب في الطبقة البيتومينية للطرق المرنة إلى تدهور ناتج عن التعب، يظهر أولاً على شكل تشققات معزولة، ثم تتطور تدريجياً إلى شبكة من التشققات الدقيقة ذات الأبعاد الصغيرة. ويُعرف التشقق بأنه كسر في طبقة الرصف يتبع خطأ معيناً، وقد يكون مصحوباً أو غير مصحوب بانفصال في جسم الطريق. وقد تؤثر هذه التشققات على طبقة التغطية السطحية فقط، أو على جزء منها، أو حتى على كامل جسم الطريق.

1.2.3.III التشققات العرضية

يُطلق على التشققات "عرضية" عندما تكون الكسور في طبقة الرصف تقريباً عمودية على اتجاه الطريق، وغالباً ما تمتد عبر عرض الطريق بالكامل.

أ الأسباب المحتملة

- تحدث التشققات العرضية غالباً نتيجة للظواهر التالية:
- الانكماش الحراري.
- تقادم البيتومين وفقدانه لمرونته.
- تنفيذ غير سليم لفواصل البناء (نتيجة توقف واستئناف أعمال فرش الأسفلت).
- انخفاض في مقطع طبقة الرصف

في بعض الأحيان، تظهر انزلاقات في طبقة الرصف، وهي حركات كبيرة في الطبقة السطحية ناتجة عن ضعف الالتصاق مع الطبقة الأساسية وعدم استقرار طبقة الرصف. تبدأ هذه الانزلاقات بظهور تشققات مائلة في مكان مرور العجلات، بالإضافة إلى تشققات واضحة تأخذ شكل قطع مكافئ.

تؤدي سهولة تسرب المياه بعد ذلك إلى تسريع ظهور التلف، حيث تبدأ حواف التشققات في التآكل وتتساقط أجزاء من المواد، مما يؤدي لاحقاً إلى تكوّن الحفر

وفي حال تُركت الطريق بدون صيانة، فإنها تتجه بسرعة نحو التدمير الكامل.

2.2.3.III التشققات الطولية

1.2.2.3.III التشققات الطولية في مسارات العجلات

تتميز هذه التشققات بانفصال في طبقة الرصف بشكل موازٍ لاتجاه الطريق، وتقع تحديداً في مسارات العجلات.

أ. الأسباب المحتملة

غالباً ما تنتج هذه الأنواع من التشققات عن:

- إجهاد طبقة الرصف نتيجة مرور المركبات الثقيلة (التعب الناتج عن الحمل المروري).

- عدم كفاية القدرة الهيكلية للطريق.
 - سوء تصريف المياه من الطبقات الحصوية للطريق (مثال: أثناء ذوبان الجليد).
- بالإضافة إلى ذلك، فإن تغيرات درجات الحرارة على سطح الطريق تؤدي إلى ظواهر شد وانكماش تسبب التشققات. فدرجات الحرارة المرتفعة التي تُلين الطبقات السطحية تُسرّع من شيخوخة المواد الهيدروكربونية. أما دورات الحرارة والبرودة فتؤثر سلبيًا على استقرار المواد، مما يجعل الأسطح البيتومينية هشة وبالتالي عرضة للتشقق والتفتت.

III.2.2.3.2.2.2.3 التشققات الطولية خارج مسار العجلات

يُقصَد بها الكسر في طبقة الرصف الموازي تقريبًا لاتجاه الطريق، ولكن خارج مسارات العجلات.

أ. الأسباب المحتملة

- تنتج التشققات الطولية خارج مسار العجلات عن الظواهر التالية:
- تنفيذ غير سليم لوصلة البناء على طول الحارة المجاورة.
- تفرّق مكونات الخلطة الإسفلتية أثناء التنفيذ (مثلًا: في وسط آلة الفرش).
- شيخوخة طبقة الرصف.
- إجهاد متقدم للطريق أو نقص في تصميم إحدى الطبقات أو أكثر.
- انخفاض قدرة تحمل التربة الداعمة (بسبب تصريف غير كافٍ، أو تسرب الماء).
- خلل في طريقة أداء الهيكل (مثل انفصال الطبقات).
- رداءة نوعية بعض المواد المستخدمة.

الرسومات التالية توضح هذه الأنواع من التدهورات يتم تصنيفها وفق ثلاث درجات من الشدة منخفضة, متوسطة , عالية.:



منخفضة

متوسط

عالية

الشكل III.7 تشققات طولية في مسار العجلات



منخفضة



متوسطة



عالية

الشكل 8.III تشققات طولية خارج مسار العجلات

3.2.3.III تشققات ناتجة عن التجمد

تشير إلى كسر في طبقة الرصف يؤدي إلى تشققات نشطة ناتجة عن تأثير التجمد، وقد تكون إما مستقيمة ومتمركزة في منتصف المسار أو الطريق، أو على شكل تشققات متعرجة غير منتظمة دون موقع محدد على سطح الطريق.

أ الأسباب المحتملة

- تنتج التشققات الناتجة عن التجمد بسبب العوامل التالية:
- بنية تحتية قابلة للتجمد وحدوث انتفاخات تفاضلية.
- سلوك مختلف للمواد تحت تأثير التجمد (تجمد غير متجانس).
- ردم غير مستقر.
- تصريف غير كافٍ.

4.2.3.III التشققات على شكل بلاطات

تتمثل في كسر طبقة الرصف على مساحات متوسطة إلى كبيرة، وتشكل نمطاً من التشققات ذات شبكة متعددة الأضلاع صغيرة الحجم، حيث يكون متوسط أبعاد الشبكة حوالي 300 ملم أو أقل.

أ. الأسباب المحتملة

أكثر الأسباب شيوعاً للتشققات على شكل بلاطات (تشققات شبكية) هي:

- الإجهاد الناتج عن التعب (مثل: سماكة غير كافية لطبقة الرصف).
- شيخوخة الطريق (تأكسد البيتومين وضعف متانته داخل الخلطة الإسفلتية).
- قدرة تحمل غير كافية للطريق.

III.5.2.3 تشققات على الحافة

تتمثل هذه التشققات في كسور على شكل خطوط مستقيمة أو أقواس، تظهر على طول حافة الطريق أو الرصيف، أو في صورة انفصال لطبقة الرصف عن الحافة.

أ. الأسباب المحتملة

تنتج التشققات على الحواف عن الظواهر التالية:

- نقص في الدعم الجانبي (مثل: وجود حافة ضيقة أو انحدار حاد في المنحدر الجانبي).
- عدم استمرارية في الهيكل (مثل: توسعة الطريق).
- تدفق مياه الجريان السطحي من الجوانب إلى داخل بنية الطريق (في المناطق الحضرية).
- جفاف التربة الداعمة.

III.6.2.3 التشققات الشبكية

التشققات الشبكية تُعرّف على أنها مجموعة من التشققات المتقاربة بدرجات متفاوتة، تشكل شبكة أو نمطاً شبكياً. يُطلق عليها "شبكة دقيقة" أو "جلد التمساح" عندما يتراوح حجم الخلايا بين 10 و 40 سم، وتُسمى "شبكة واسعة" عندما يتجاوز حجم الخلايا 40 سم.

يُطلق هذا الاسم على نمط التشققات الذي يظهر أحياناً على سطح الرصف الإسفلتي عندما يُطبّق فوق طريق يعاني من تشوهات مفروطة.

وهي تُعدّ كسراً ناتجاً عن الإجهاد والتعب في طبقة الرصف، وغالباً ما يكون السبب هو عدم كفاية سماكة طبقة الرصف بالنسبة للأحمال المرورية، وتكرارها، وجودة البنية التحتية للطريق.

أ. الأسباب المحتملة

تشمل الأسباب المحتملة ما يلي:

- الإجهاد الزائد على الطريق بسبب ضعف في التصميم الهيكلي أو رداءة جودة الهيكل أو إحدى طبقاته.
- تصلب وانكماش الخلطة الإسفلتية.
- كسر في الطبقة السطحية نتيجة تأثير حركة المرور، التعب، والشيخوخة، خاصةً عندما تكون طبقة الرصف رقيقة جداً.
- سوء التماسك بين طبقة التآكل (السطحية) وطبقة الأساس.
- تدهور الطبقات السفلية (خصوصاً طبقة الأساس).
- نفاذية طبقة الأساس أقل من نفاذية طبقة التآكل.

تُظهر الشكل المجاور الأنواع المختلفة للتشققات يتم تصنيفها وفق ثلاث درجات من الشدة منخفضة, متوسطة , عالية.



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 9.III تشققات العرضية



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 10.III التشققات الشبكية

3.3.III مجموعة التآكلات

تتعلق هذه الفئة من العيوب بشكل عام بطبقة التغطية السطحية للطريق.

1.3.3.III زوال الغلاف الاسفلتي

هو تآكل وفقدان الحبيبات الخشنة (الركام) على السطح، مما يؤدي إلى تدهور تدريجي لطبقة الرصف.

أ. الأسباب المحتملة

يحدث زوال الغلاف الاسفلتي نتيجة لعدة عوامل منها:

- التآكل الناتج عن حركة المرور الكثيفة

- نقص كمية البيتومين
- استخدام ركام يمتص الماء
- ضغط غير كافٍ
- تسخين مفرط أو تقادم الخليط (الأكسدة والتقصف)
- زيادة الأحمال في أماكن الانعطاف أو الكبح (خاصة في المناطق الحضرية)
- ضعف التماسك بين الرابط والركام
- التنفيذ في ظروف جوية غير مناسبة
- تجمع المياه على سطح الطريق

III.3.3.2.3 التقرش السطحي

وهو تساقط طبقات من الخليط الإسفلتي من الطبقة السطحية على شكل صفائح.

أ. الأسباب المحتملة

- ضعف الالتصاق بين الطبقات (مثلاً: نقص في المادة اللاصقة، عدم توافق كيميائي، وجود أوساخ بين الطبقات)
- سمك غير كافٍ للطبقة السطحية
- تعرض الطريق لإجهادات مرورية مرتفعة

III.3.3.3 الحفرة

تمثل الحالة النهائية لعدة مشاكل في طبقة السطحية وتتميز بتفتت موضعي لطبقة الرصف على كامل سمكها، مكونة ثقباً غالباً ما تكون دائرية، ذات حواف واضحة، ومتغيرة من حيث الحجم والعمق.

أ. الأسباب المحتملة

- ضعف موضعي في الأساسات
- سمك غير كافٍ لطبقة الرصف
- نقص في القدرة الحاملة (تصريف مياه غير كافٍ، وجود جيوب من الطين، إلخ)
- تعرض الطريق لإجهادات مرورية ثقيلة
- خلل محلي في الطبقة السطحية أو الأساسية بسبب رداءة التنفيذ أو جودة المواد

III.3.3.4 النز الاسفلتي

هو صعود البيتومين إلى سطح الرصف، ويظهر بشكل واضح في مسارات العجلات.

أ.الأسباب المحتملة

- يحدث الطفح نتيجة للأسباب التالية:
- الإفراط في استخدام البيتومين
- التأثير المشترك لدرجات الحرارة المرتفعة لحبيبات الرصف والضغط الناتج عن المرور
- الإفراط في استخدام المادة اللاصقة بين الطبقات
- تركيبة غير مناسبة للخليط الإسفلتي مقارنة بظروف الاستخدام

تعرض الصورة التالية هذه الأنواع المختلفة من التدهور يتم تصنيفها وفق ثلاث درجات من الشدة منخفضة, متوسطة , عالية:



منخفضة



متوسطة



عالية

الشكل 11.III الحفرة



منخفضة



متوسطة



عالية

الشكل 12.III التقشر السطحي



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 13.III النز الاسفلتي

4.3.III التدهورات في المناطق الحضرية

1.4.3.III التشققات حول أغطية الصرف والمجاري

وهي عبارة عن كسر في طبقة الرصف يتبع نمطاً دائرياً و/أو شعاعياً حول أغطية البالوعات والمجاري.

أ. الأسباب المحتملة

تنتج هذه التشققات عن:

- انضغاط أو هبوط التدريجي لطبقات سطحية لطريق
- دورات التجمد والذوبان
- تفتت فتحة الصرف بسبب المياه المالحة
- الاهتزازات أو الصدمات الديناميكية
- فقدان المواد المحيطة بالهيكل

2.4.3.III القطع والحفر

وهي عبارة عن تشققات أو هبوطات تحدث داخل الحفر أو في محيطها.

أ. الأسباب المحتملة

- تشمل الأسباب المحتملة ما يلي:
- ضعف ضغط مواد الردم داخل الخنادق
- عدم تجانس مواد الخنادق مقارنة بمواد الطريق الأصلية
- فقدان الدعم الجانبي مما يؤدي إلى ارتخاء في التربة داخل الخندق

- عدم اكتمال الردم أسفل جوانب طبقة الرصف
- نقص العزل عند مواضع القطع

3.4.3.III تفاوت ارتفاع الفتحات والبالوعات

وهو عدم تساوي في المستوى بين سطح الرصف وأعلى فتحة البالوعة أو غطاء المجاري.

ا. الأسباب المحتملة

- تشمل الأسباب الأكثر احتمالاً ما يلي:
- انضغاط أو هبوط جسم الطريق
- دورات التجمد والذوبان التي تؤدي إلى تشوهات دائمة
- تفتت فتحة البالوعة عند وجود المياه المالحة (الساومور)
- الصدمات الديناميكية المتكررة التي تؤدي إلى تشوهات دائمة
- فقدان المواد المحيطة بالهيكل

الرسوم التوضيحية أدناه تعرض هذه الأنواع من التدهورات يتم تصنيفها وفق ثلاث درجات من الشدة منخفضة, متوسطة , عالية:



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 13.III التشققات حول أغطية الصرف والمجاري



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 14.III القطع والحفر



منخفضة

متوسطة

عالية

الشكل 15.III تفاوت ارتفاع الفتحات والبالوعات

4.III تأثير درجة الحرارة على الأرصفة المرنة

الحرارة عامل رئيسي في تصميم الأرصفة المرنة، وتؤثر بشدة على ديمومتها. أجريت دراسات عدة لتقييم تأثير الحرارة على ديمومة الأرصفة خصوصاً في المناطق ذات المناخ الجاف مع تغيرات حرارية كبيرة في الصيف. مثلاً، أبحاث Hamad I. Al-abdul Wahhab وآخرون في مقالهم "تأثير الحرارة على هياكل الأرصفة في البيئة الجافة الحارة" [20]، يستعرضون دراسات قياس درجات حرارة الأرصفة في السعودية والكويت والإمارات.

وجد Fatani وآخرون (1994) أن أقصى درجة حرارة في الرصف تحدث على عمق 2 سم تحت السطح، وأدنى درجة حرارة دائماً على السطح.

تم تطوير نموذج للتنبؤ بدرجة الحرارة القصوى والرسمية للأرصفة بناءً على درجة حرارة الهواء والإشعاع الشمسي بدقة عالية.

أشار Al-Abdul Wahhab و Balghunaim (1994) إلى أن درجات حرارة الأرصفة في البيئة الصحراوية السعودية تتراوح بين $3C^{\circ}$ ، $72C^{\circ}$ ، وبين $4C^{\circ}$ و $65C^{\circ}$ في المناطق الساحلية.

دراسات Bissada (1972) في الكويت أظهرت تقلبات حرارية كبيرة على سطح الأسفلت خلال النهار تتراوح بين $32C^{\circ}$ ، $74C^{\circ}$.

Ramadhan و Al-Abdul Wahhab (1997) أعدوا قاعدة بيانات لدرجات حرارة الأرصفة واستخدموها لتطوير نماذج رياضية تربط درجة حرارة الرصف بدرجة حرارة الهواء

III.4.1 تأثير درجة حرارة الهواء الخارجية على درجات حرارة طبقة الطريق

من الواضح أن درجة الحرارة الخارجية عند سطح طبقة الطريق تؤثر بشكل مباشر على درجات الحرارة داخل طبقات الطريق، حيث يمكن أن تصل الفروق في درجة الحرارة إلى $27C^{\circ}$ بين السطح وعمق $72cm$ خلال الفترة الزمنية من الساعة 11 صباحًا إلى 3 مساءً في نفس اليوم

III.4.2 دراسة أحمد حمد وآخرين حول تأثير تغير المناخ على الرصف

أظهر أحمد حمد وزملاؤه في دراستهم المعنونة: "تأثير تغير المناخ على الرصف" [23] الآثار المحتملة لتغير المناخ على هياكل الرصف. وقد ركزت الاختبارات والتحليلات على تأثير ارتفاع درجات الحرارة على أداء الرصف وعمره الافتراضي.

يؤدي تغير المناخ إلى تأثيرات إيجابية وسلبية على الرصف، منها:

- **التأثيرات الإيجابية:**
انخفاض مؤشر التجمد في الهواء خلال فصل الشتاء.
- **التأثيرات السلبية:**
زيادة عدد دورات الذوبان والتجمد في الشتاء، مما قد يسبب مشاكل في أداء الرصف مثل التشوه الدائم (تشكل الانبعاج) في الطبقات التحتية والتشقق نتيجة التعب في طبقات الطريق.
كما تم تطوير علاقة بين محتوى الماء في التربة المكونة لطريق وهطول الأمطار في سياق الدراسة، بهدف ربط محتوى الماء في التربة بزيادة هطول الأمطار المتوقعة، وتأثير ذلك على انخفاض متانة الهياكل الطرقية.
تزداد الهطولات المطرية مما يؤثر على حدوث التشوهات الدائمة في طبقة سطحية لطريق وتشقق التعب.
تؤثر زيادة درجات الحرارة الشتوية وتذبذبها بشكل كبير على عمر طريق، وتزيد من معدلات التدهور .

III.4.3 دراسة ليشاني .ر و غطاس .م

في دراسة ليشاني ر. و غطاس م. حول تأثير التدرج الحراري على النطقة الصحراوية على متانة الطريق (حالة ورقلة) حيث قامو بعمل تجربة مارشال ودورياز بدون اتباع معايير حفظ العينات حيث تم تسخين العينات على درجة حرارة 60 C° وتبريد العينات على درجة حرارة 5 C° .

حيث تم حفظ العينات 12 ساعة قبل سحق و 7ايام قبل سحق و 14يوم قبل سحق العينة

بناء على النتائج تجربة مارشال فان تعرض العينة الى دورات حرارية تتراوح بين 60 C° و 5 C° - يؤثر سلبا على استقرار العينات بنسبة واضحة تصل الى 93% في غضون 14 يوم فقط

معا ذلك تأثير الانسيابية حيث يظهر بعد 7ايام انخفاض وبعد 14 يوم زيادة .

بناء على نتائج تجربة دورياز فان تعرض العينة الى دورات الحرارية تتراوح بين 60 C° و 5 C° - بعد 7ايام تآثر سلبي فيما يتعلق بمقاومة للانضغاط في الهواء بينما تآثرت تلك التي تعرضت انفس الدور في 14يوم بشكل ايجابي والانغماس لاحظو تغير طفيف .

5.III خاتمة

التشخيص وتدقيق البيانات يساهمان في تحديد الأسباب الأكثر احتمالاً لأضرار الأرصفة المرنة، والتي تتجم أساساً عن:

- حركة المرور (الأحمال الرأسية والأفقية، خصوصاً من المركبات الثقيلة).
- تأثير الظروف المناخية (الماء، درجة الحرارة)
- العيوب في التنفيذ (تحديد أبعاد غير مناسبة مقارنة بحركة المرور والتربة، توزيع غير مناسب للبيتومين، تلوث الحبيبات، ضغط غير كافٍ)

تساعد نتائج الفحص الآلي والتفتيش البصري على فهم أسباب الأضرار واقتراح الحلول الملائمة.

الجزء الثاني :

الدراسة التجريبية

1.IV. مقدمة

يتناول هذا الفصل إلى عرض المواد المستخدمة في هذه الدراسة ، وكذلك خصائصها التي تم الحصول عليها من خلال الاختبارات المعملية ، وذلك لصياغة الخرسانة البيتومينية شبه الحبيبية مع إجراء عملية التدرج الحراري وتحديد درجات الحرارة عبر أعماق مختلفة في سطح طريق زفتي .

2.IV. خصائص الركام المستخدم

في دراستنا استخدمنا الرمل من محجر سماحة باليزي والحصى 3/8 و 8/15 من محجر جغل محمد بعين أمناس

1.2.IV. الكتلة الحجمية (NF P 18-554)

1- الكتلة الحجمية المطلقة

هي الكتلة وحدة الحجم للمادة التي يتكون منها الرمل ،دون الاخذ في الاعتبار الفراغات التي قد توجد بين الحبيبات .
الصيغة التي تسمح بحساب هذه المعلمة هي :

$$\gamma_s = M / V_s$$

γ_s : الكتلة الحجمية المطلقة (g/cm³) .

M : كتلة العينة (g) .

V_s : الحجم المطلق للعينة (cm³) .

2- الكتلة الحجمية الظاهرية

حسب التعريف الكتلة الحجمية الظاهرية γ_a لعينة ما هي ناتج قسمة كتلتها M على الحجم الظاهري V_a الذي تشغله :

$$\gamma_a = M / V_a$$

γ_a : الكتلة الحجمية الظاهرية (g/cm³) .

M : الكتلة العينة (g) .

V_s : الحجم الظاهري للعينة (cm³) .

تتلخص النتائج في الجدول التالي للرمل المستخدم :

الجدول 1.IV : الكتلة الحجمية المطلقة و الظاهرية للركام المستخدم .

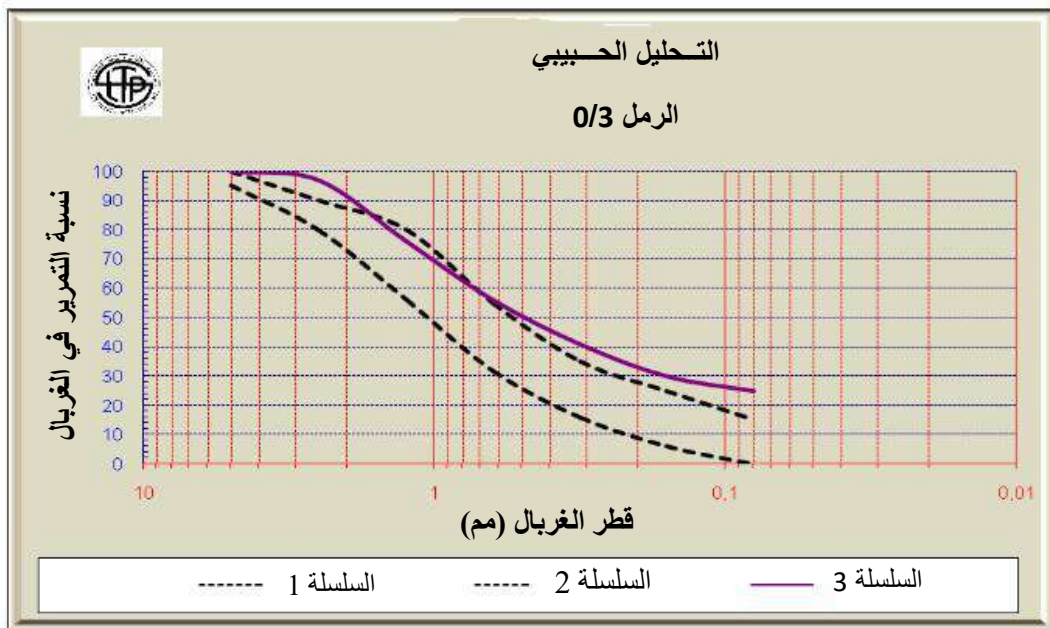
نوع الركام	γ_s (g/cm ³)	γ_a (g/cm ³)
رمل 0/3	2.54	1.55
حصى 3/8	2.97	1.35
حصى 8/15	2.89	1.46

2.2.IV التحليل الحبيبي (NF P 18-560)

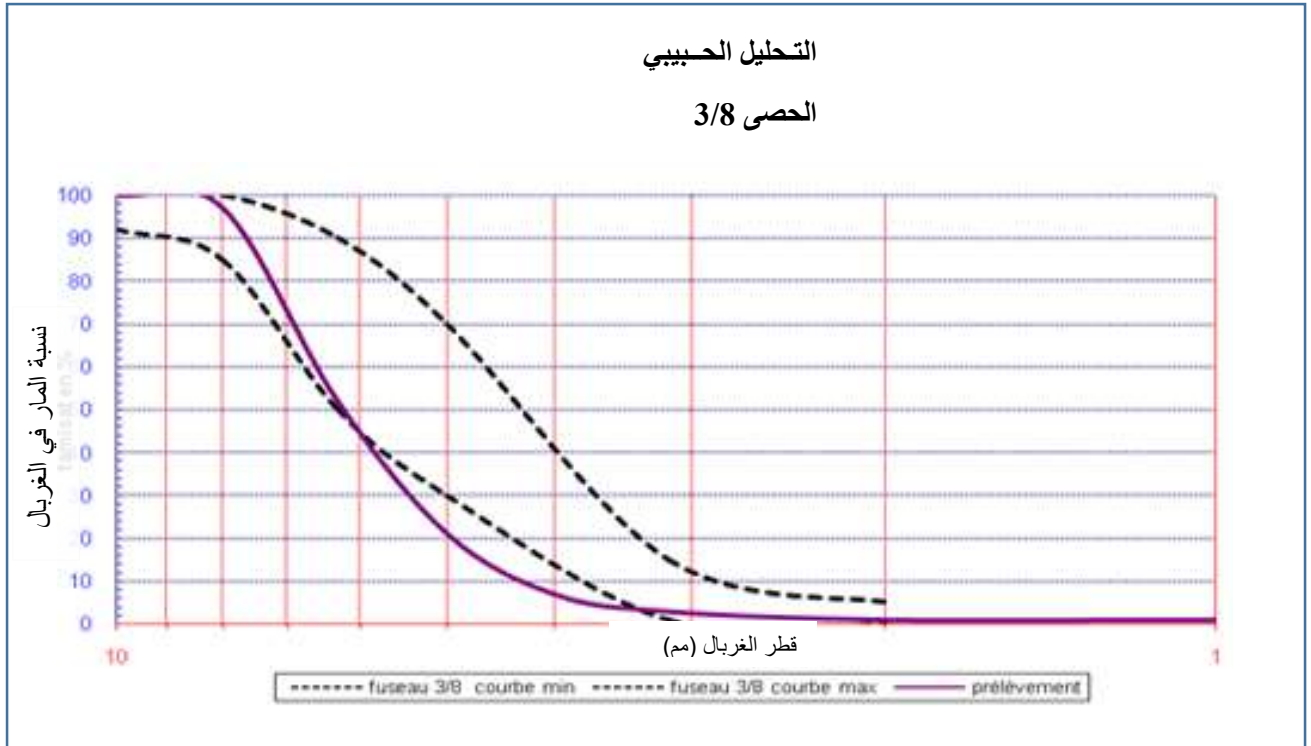
يهدف هذا الاختبار الى تحديد توزيع الحبيبات حسب أبعادها أو أحجامها للركام ذات قطر أكبر من 0.08mm قدم النتائج التحليل الحبيبي على شكل منحى يعرف بالمنحنى الحبيبي .

الجدول 2.IV : نتائج تجربة التحليل الحبيبي .

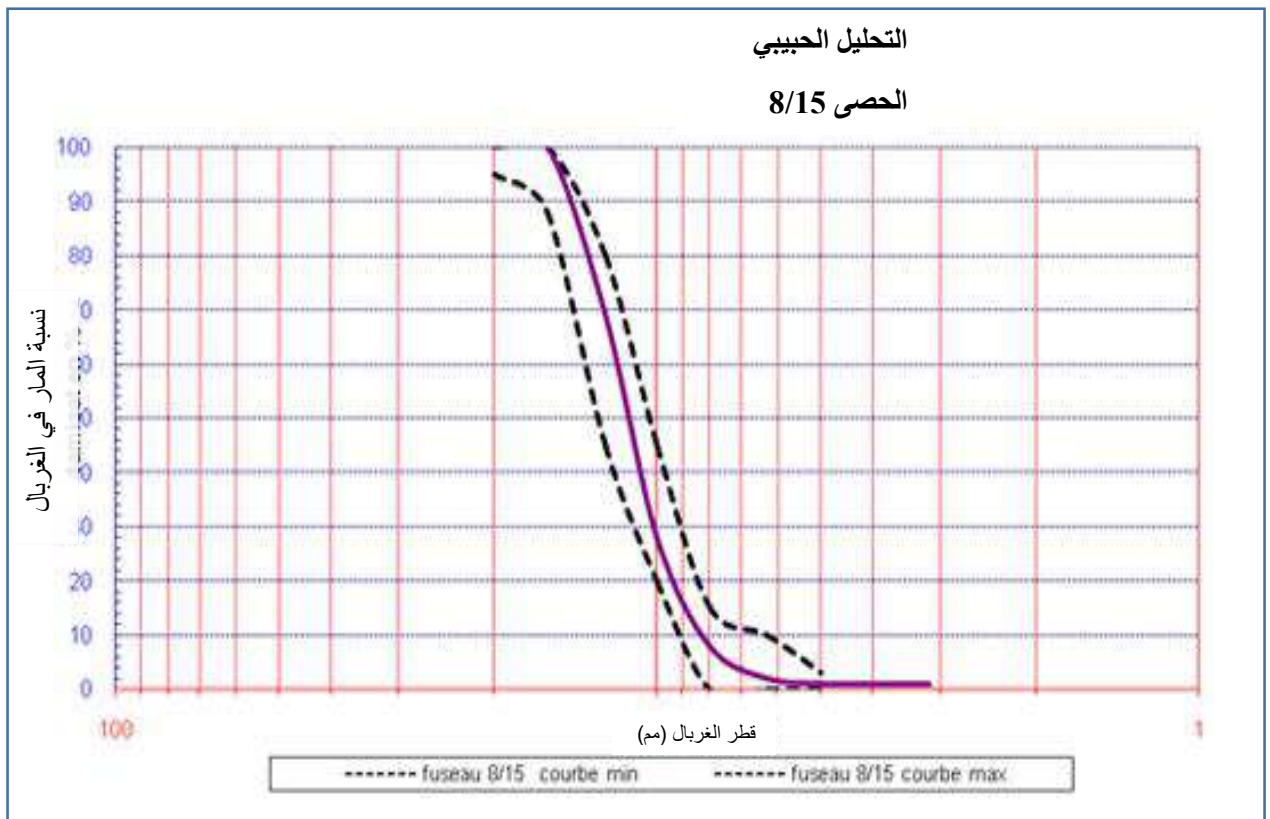
النتائج			التجربة
حصى 8/15	حصى 3/8	رمل 0/3	
100	-	-	أقل من 16 مم
69	-	-	أقل من 12.5 مم
28	100	-	أقل من 10 مم
8	97	-	أقل من 8 مم
2	52	-	أقل من 6.3 مم
1	21	100	أقل من 5 مم
1	7	100	أقل من 4 مم
-	3	100	أقل من 3.15 مم
-	2	97	أقل من 2.5 مم
-	1	91	أقل من 2 مم
-	-	56	أقل من 0.63 مم
-	-	41	أقل من 0.315 مم
-	-	30	أقل من 0.16 مم
-	-	25	أقل من 0.08 مم



الشكل 1.IV: يمثل منحنى التحليل الحبيبي لرمل .



الشكل 2.IV : يمثل منحي لتحليل الحبيبي للحصى 3/8 .



الشكل 3.IV : يمثل المنحي البياني لتحليل الحبيبي للحصى 8/15 .

الخصائص الفيزيائية-الميكانيكية والكيميائية للحصى والرمل

1. الحصى

تتوافق خصائص التصنيع والخصائص الفيزيائية-الميكانيكية لحصى الكسور 8/3 و 15/8 مع المعايير المطلوبة.

2. الرمل

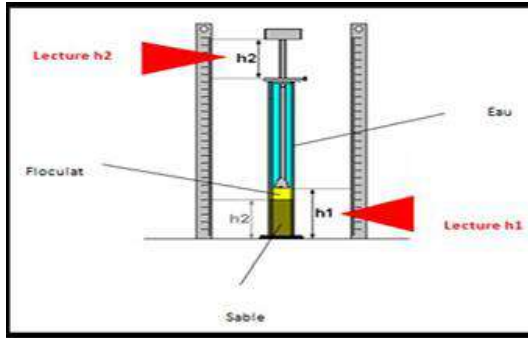
يُظهر الرمل الذي جرى تحليله منحنى تدرج حبيبي يقع ضمن النطاق المرجعي المحدد، مع مكافئ رملي يبلغ حوالي 70%. تشير التحاليل الكيميائية إلى أن الرمل المستخدم ذو طبيعة كلسية

3.2.IV. مكافئ الرمل بنسبة 10% من المواد الناعمة (NF P 18-5597)

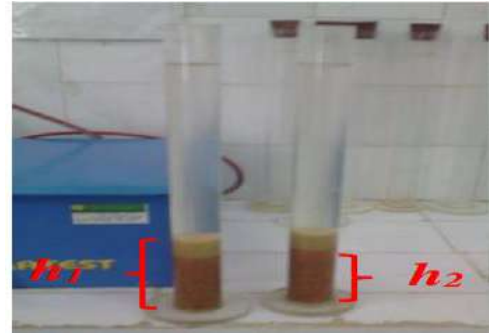
يهدف هذا الاختبار إلى إدخال جزء من الرمل ذو الحبيبات من 0 إلى 2mm الذي يحتوي على 10% من المواد الناعمة في أسطوانة مدرجة ثم فصل المواد الناعمة عن المكونات الأكثر خشونة عن طريق الغمر والرج في محلول تخثير كلوريد الكالسيوم بعدة فترة راحة مدتها 20 دقيقة تقاس العناصر التالية :

الارتفاع h_1 : الرمل الناطق + المواد الناعمة .

الارتفاع h_2 : الرمل الناطق فقط .



شكل 4.IV: مبدأ اختبار مكافئ الرمل .



الصورة 1.IV: تجربة مكافئ الرمل .

النتائج التي تم الحصول عليها المذكورة في الجدول التالي :

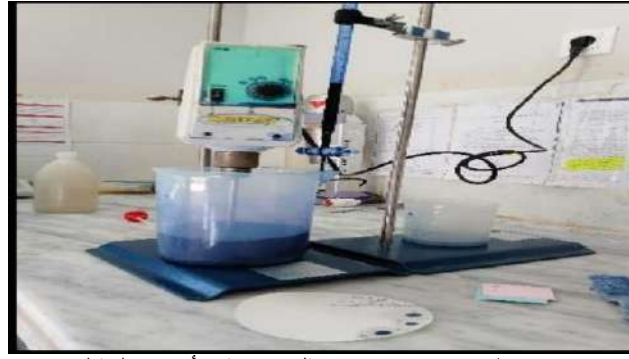
الجدول 3.IV : نتائج تجربة مكافئ الرمل.

الموصفات	الرمل 0/3	نوع الرمل
$\geq 55\%$	70.64	ES%

4.2.IV اختبار الأزرق الميثيلين (NF P 94-068)

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد الخصائص الكلية للجزء الطيني الموجود في المادة .

يتضمن الاختبار قياس كمية أزرق الميثيلين اللازمة لتغطية الجزيئات الطين الموجودة في المادة .



الصورة 2.IV : يمثل تجربة الأزرق المثلين .

الجدول 4.IV: الأزرق المثلين .

الموصفات	الرمل 0/3	نوع الرمل
تربة تحتوي على نسبة ضعيفة او متوسطة من الطين و حساسة للماء بدرجة معينة ومتوسطة للدونة	3	VB

5.2..IV. الاختبارات المتعلقة بالحصى

(1) اختبار نظافة الحصى (NF P 18-591)

يعرف اختبار نظافة الحصى بأنها النسبة المئوية الوزنية للحبيبات الأصغر من 0.5mm الممزوج.

(2) اختبار التسطح (NF P 18-561)

يستخدم هذا المعامل لتحديد الشكل الكتلي مسطح او غير مسطح للركام .



الصورة 3. IV : صور تجربة اختبار التسطح .

(3) اختبار لوس انجلوس (NF P 18-554)

يحدد هذا الاختبار مقاومة الركام للصدمات كلما كانت النتيجة أقل ازدادت مقاومة الركام للصدمات .

(4) اختبار ميكرو ديفال بوجورد للماء (NF P 18-572)

يسمح هذا الاختبار بتحديد مقاومة طبقة الرصف للتآكل نتيجة الاحتكاك



الصورة 5.IV: كرات الطحن و أسطوانات الاختبار .



الصورة 4.IV: جهاز مايكرو ديفال.

النتائج تم التجارب المذكورة سابقا في الجدول التالي :

الجدول 5. IV : الخصائص الحصى المستخدم .

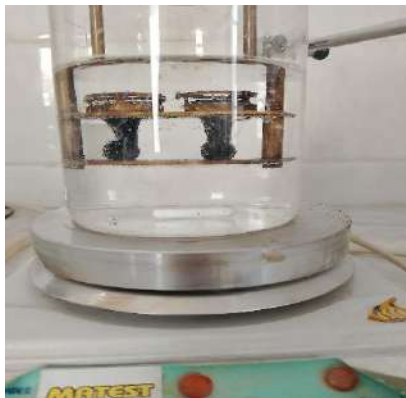
الموصفات		نوع الحصى		الاختبارات
		3/8	8/15	
≤2%		1.26	1.36	اختبار نفاثة
≤25%	3/8	21.82	8.40	اختبار التسطیح
≤15%	8/15			
≤25%			24.38	اختبار لوس انجلوس
≤25%			24.95	اختبار الميكرو ديفال

التعليق

بعد إجراء الاختبارات على الركام أظهرت النتائج أن ركام الكلسي مقبول

3.IV خصائص البيتومين المستخدم

البيتومين المستخدم هو بيتومين نقي من صنف 40/50 مصدره مظاهر مركز البيتومين التابع لشركة نפטال بعد إجراء اختبارات لتعريف على هذا البيتومين حصلنا على النتائج التالية :



الصورة 6. IV : تمثل تجارب التي أجريت علا البيتومين .

الجدول IV. 6 : نتائج الاختبارات التي أجريت علا البيتومين .

الاختبار	الوحدة	المرجع و المعيار	النتيجة	الوصفات
اختراق الإبرة عند 25°C	(1/10 mm)	(NF T 66-004)	40.7	40 إلى 50
نقطة التلين	(°C)	(NF T 66-008)	50	47 إلى 60
الكثافة النسبية عند 25 درجة مئوية	(g/cm ³)	(NF T 66-007)	1.01	1.00 إلى 1.10

تعليق

البيتومين الذي تم تحليله يستجيب جيدا لخصائص صنف 40/50 وفق للمعيار

• وصف الخلطة المدروسة :

تعتمد عملية خلط المواد في الجزائر على التحقق الدقيق من الخصائص المكونات بالإضافة إلى ذلك تحرى اختبارات دوريز مرشال وهي إختبارات حاسمة تعتمد على خصائص المواد الحبيبية المستخدمة .
الهدف الأساسي من هذه العملية هو اختبار تركيبة تنتج خليطا يتميز بأفضل قابلية للرص مما يضمن في النهاية استقرار مميزات الخليط الهيدروكربوني النهائي .

يتم اختبار الكسور الحبيبية من بين الاحجام 0/3 ، 3/8 ، 8/15 تمثل خصائص الركام كمايلي :

• دراسة الخرسانة البيتومينية 0/14

لقد اخترنا دراسة الخرسانة بيتومينية من فئة 0/14 تتراوح سمك التطبيق المعتادة لهذه الخرسانة بين 7 و 9 cm مع العلم أن الحد الأدنى المطلق 6 cm .

تحدد النسب المئوية للمكونات بناء على المنحى الحبيبي لكل الركام ، مع الاخذ في عين الاعتبار نطاق التدرج المرجعي 0/14 للضمان توافق معا المواصفات المطلوبة

التركيبية التي تم الحصول عليها هي كالتالي :

- ❖ الحص 8/15 34 %
- ❖ الحص 3/8 27 %
- ❖ الرمل 0/3 39 %

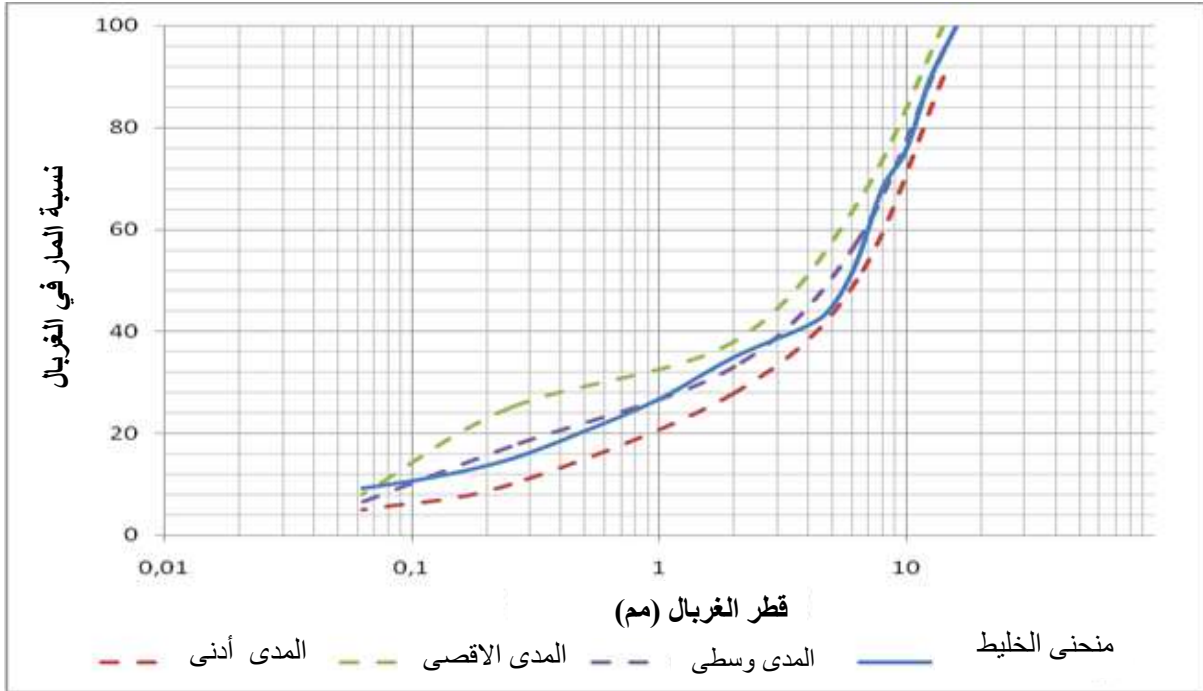


الشكل 6.IV : نسبة التركيبات المستعملة في الخرسانة الزفتية .

الجدوال الاتي يمثل التدرج الخاص بالخليط 0/14

الجدول 7.IV: التحليل الحبيبي للخليط المدروس 0/14 .

الخليط المدروس	الرمل 0/3	الحصى 3/8	الحصى 8/15	الغربال
0/14				
100	39	27	34	16
89	39	27	23.5	12.5
76	39	27	9.52	10
68	39	26.2	2.72	8
54	39	14	0.68	6.3
45	39	5.67	0.34	5
41	39	1.89	0.34	4
35	34.3	0.27	0.34	2
27	26.1	0.27	0.34	1
21	19.9	0.27	0.34	0.5
15	14.4	0.27	0.34	0.250
12	10.9	0.27	0.34	0.125
9.2	8.58	0.27	0.34	0.063



الشكل 7.IV: يمثل المنحنى البياني لتحليل الحبيبي للخطة المدروسة 0/14 .

تحديد نسبة البيتومين

لتحديد نسبة البيتومين المثلي ، تدخل مفهوم السطح النوعي للركام والذي يرمز له ب Σ ويعبر عنه ب kg/m يمثل هذا السطح مساحة الكلية التي ستشغلها حبيبات الركام إذا ما اعتبرناها كروية شكل بالنسبة للخليط جبيبي معين ، تستخدم الصيغة التالية للحصول على تقريب للسطح النوعي

$$100\Sigma=0.25G+2.3S+12s+150f$$

حيث :

G : عناصر أكبر من 6.3mm

S : عناصر أكبر بين 0.315 و 6.3mm

s : عناصر تتراوح بين 0.08mm و 0.315

F : عناصر أقل من 0.08mm

تعطى نسبة المادة الرابطة ، كدالة للسطح النوعي للركام ، بواسطة الصيغة التجريبية التالية :

$$TL=\alpha \cdot K5\sqrt{\Sigma}$$

حيث :

TL نسبة المادة الرابطة (%)

α معامل يهدف الى الاخذ في الاعتبار الكتلة الحجمية الحقيقية للركام (MVRg) إذا كانت تختلف عن $2.65 t/m^3$

تستخدم الصيغة التالية :

الفصل الرابع : الاختبارات التي أجريت والأجهزة التجريبية

$$\alpha = 2.65 \div \text{MVRg}$$

K معامل الثراء ، والذي تمثل متوسط سمك الطبقة

Σ السطح النوعي للركام (m^2 / Kg)

$$\Sigma = 15,492 m^2/kg.$$

البيتومين حول الركام (يتراوح معامل الثراء (K) الخرسانة البيتومينية (0/14) بين 3.3 إلى 3.90)

تعطى نسب المواد الرابطة كدالة لمعاملات الثراء في الجدول

يتم اختيار النسب البيتومين المثلى عن طريق إجراء اختبار مارشال على العينات القياسية ، تعتبر النسبة المثلى هي تلك التي تعطى أقص استقرار .

تجدر الإشارة إلى أن نسب المادة الرابطة المعبر عنها في الجدول أدناه تتعلق بوزن الركام ، بينما تنتسب النسب المئوية للمادة الرابطة إلى وزن الخليط الكلي .

الجدول 8.IV : يمثل نسب البيتومين .

معامل الثراء k	3.3	3.4	3.5	3.6
$TL=a.K5\sqrt{\Sigma}$	5.52	5.68	5.85	6.02

4.IV خطة العمل :

في هاته الدراسة نحاول ان نقوم بعمل اختبارات مارشال ودورياز وفق المعيار EN وذلك من اجل تحديد نسبة البيتومين المثلى . بعد معرفة نسبة المحددة نقوم بإعادة الاختبار وذلك وفق فورقات الحرارية مختلفة . وذلك بهدف تحديد تأثير التدرج الحراري على خصائص الخرسانة الزفتية .

الجدول 9. IV : شرح لمختلف العينات العملية .

العيينة 2	العيينة 1	العيينة المرجعية
عيينة تم إجراءها من خلال عدم التقيد بتعاليم المرجع EN تم تسخين العينة لمدة ساعتين تحت درجة حرارة $5C^{\circ}$ قبل الشروع في التجربة على عكس مرجع EN	عيينة تم إجراءها من خلال عدم تقيد بتعاليم المرجع EN تم تسخين العينة لمدة ساعتين تحت درجة حرارة $60 C^{\circ}$ قبل الشروع في التجربة على عكس EN	عيينة تم إجراءها من خلال الحفاظ على تعاليم المرجع EN هي العينة التي تحقق افضل نسبة أداء من خلال تجارب مارشال و دورياز التي توافق (نسبة البيتومين المثلى)

4.IV. تصنيع العينات الاختبارية

تصنع العينات الاختبارية وفقا لنوع الاختبار المطلوب سواء كان اختبار مرشال أو اختبار دورياز

• تصنيع العينات الاختبارية لاختبار مرشال

تحدد عينة اختبار مرشال تصنيع عينة أسطوانة بكتلة تبلغ 1200g وقطر 105mm وارتفاع يبلغ 63.5mm حيث فما يعمل 9 عينات لتطبيقهم على جهاز مارشال في درجات حرارة مختلفة 5- /60

• تصنيع العينات الاختبارية لاختبار دوريز

تحدد عينة اختبار دوريزان بتصنيع عينة اسطوانية الشكل الصورة بكتلة تقريبية تبلغ 1000g وقطر 80mm و ارتفاع 190mm

حيث قمنا بعمل 18 عينة لتطبيقهم على جهاز دوريز في 3 درجات حرارة مختلفة 5- /60

اختبار مرشال

تنص المواصفات القياسية على أنه بعد إزالة العينات من القوالب ، يجب تركها تبرد في الهواء الطلق 24 ساعة بعد ذلك ، بعد ذلك توضع في حمام مائي عند درجة الحرارة 60 لمدة 400 دقيقة قبل إجراء الاختبار .

أما في دراستنا فقد قمنا بترك العينات في الهواء حتى تبرد ثم قمنا بوضع 3 عينات في الفرن على درجة 60 مئوية لمدة ساعتين ، قبل سحق العينات في الجهاز . 3 عينات في درجة الحرارة العادية قبل تطبيقها في الجهاز . 3 عينات أخرة في درجة الحرارة 5- لمدة ساعتين قبل سحقها في الجهاز



الصورة 7.IV: يمثل العينات وقوالب تجربة مارشال .



الصورة 8.IV : جهاز دمك مارشال .

إختبار دوريز

الفصل الرابع : الاختبارات التي أجريت والأجهزة التجريبية

تنص المواصفة القياسية على أنه بعد إزالة العينات من القوالب ، تترك لتبرد في الهواء الطلق لمدة 24 ساعة ، ثم يجرى الاختبار في دراستنا قمنا بحفظ العينات في الفرن عند درجة الحرارة 60 مئوية لمدة ساعتين ثم قمنا بسحق العينات في الجهاز ، وقمنا بحفظ العينات في درجة العادية وقمنا بعملية سحق العينات ، وكذلك قمنا بتبريد العينات على درجة الحرارة 5- لمدة ساعتين ثم قمنا بسحق العينات في الجهاز .



الصورة 9.IV: صورة تمثل عينات وقوالب اختبار دورياز .



الصورة 10.IV: يمثل جهاز الضغط دوريز .

4.IV الجزء الكهربائي

هذه المهمة، أو على الأقل هذا الجزء الأساسي من مشروعنا، يمثل تعاونًا رائعًا بين قسم هندسة العمليات وقسم الهندسة الكهربائية. نود أن نعرب عن عميق امتناننا وتقديرنا الكبير للأستاذ الدكتور: محمد رضا رزوق، من قسم الهندسة الكهربائية، الذي صمم ونفذ هذه اللوحة الإلكترونية ببراعة. كان لمساهمته، بصفته المشرف الرئيسي على هذا الجهاز، دور حاسم، حيث دمج تقنيات متقدمة مثل مستشعرات *NTC*، ووحدات *TP4056* لإدارة خلايا 18650، وشاشة *LCD*، مما يلبي بدقة الاحتياجات المحددة لمجال دراستنا.

تم تصميم اللوحة الإلكترونية لقياس درجة حرارة التربة في الوقت الفعلي على أعماق مختلفة، وبالتالي تلبية احتياجاتنا الخاصة. مزودة بمستشعرات *NTC* موضوعة على مستويات مختلفة، وتسمح بتحليل دقيق للتدرجات الحرارية، وهو أمر ضروري للدراسات البيئية أو الزراعية. تم تصميمها بخبرة من قسم الهندسة الكهربائية، وهي تدمج تقنيات مناسبة لجمع بيانات موثوق به ومستمر.

اللوحة مزودة بوحدة TP4056 تقوم بشحن خلايا 18650 بشكل مستقل، مع صمام ثنائي حماية لعزل كل دائرة شحن، مما يضمن شحنًا آمنًا وفرديًا لكل خلية، كما هو موضح في الصورة. الخليتان الخضراوان متصلتان بوحدات الشحن الخاصة بهما.



الشكل IV. 8: الجهاز قيد التشغيل في وضع الشحن

فيما يتعلق بحالة الشحن، تم تزويد اللوحة بمؤشرات LED بيضاء : مؤشر LED أحمر أثناء شحن كل خلية، وينشط مؤشر LED أزرق بمجرد اكتمال الشحن. خلال مرحلة الشحن، يكون مؤشر LED الأحمر مرئيًا لكل خلية قيد الشحن؛ في نهاية العملية، ينطفئ مؤشر LED الأحمر وبيضاء مؤشر LED الأزرق، مما يشير إلى أن الخلايا مشحونة بالكامل. يتم توفير الطاقة للوحة بشكل صحيح عبر منفذ USB mini لتقدير الاستهلاك الإجمالي لتركيبنا الإلكتروني (مع Arduino Nano، المستشعرات، شاشة LCD، إلخ)، سنقوم بجمع الاستهلاك التقريبي لكل مكون. فيما يلي التقدير المفصل:

الجدول 10.IV: تقدير استهلاك الطاقة للوحة .

Composant	Consommation estimée (mA)	Commentaires
Arduino Nano	19 – 25 mA ≈ 20 mA	Mode actif, sans module USB
LCD I2C 16x2	2 – 20 mA ≈ 15 mA	Dépend du rétroéclairage
2 résistances 200 Ω	Dépend de la tension ≈ 50 mA	On calcule ci-dessous
6 résistances de 10 kΩ	-0 mA 1 mA	Charge négligeable
2 modules TP4056	1 mA (en veille), max 1000 mA (en charge) ≈ 2 mA	Attention : si utilisés comme alimentation, pas comme chargeurs
Buzzer passif	30 – 50 mA (quand actif) ≈ 40 mA	Dépend de l'utilisation
6 CTN (Thermistances)	-1 mA total ≈ 15 mA	Si en diviseur avec 10 kΩ
Pertes diverses	-10 – 20 mA	Fuites, régulateurs...
Total estimé		143 mA

مع خليتين 18650 متصلتين على التوالي (2000mAh لكل منهما)، نحصل بالفعل على جهد 7.4V، لكن السعة الفعالة تظل محدودة بـ 2000 mAh، لأن الاتصال على التوالي لا يزيد السعة، بل يزيد الجهد فقط. باستهلاك قدره 143mA كما هو موضح في الجدول، لدينا استقلالية تبلغ حوالي (14h (2000mAh / 143 mA). في إطار هذه الدراسة، تم تصميم لوحة إلكترونية لمراقبة تطور اختراق درجة حرارة الشمس في التربة على أعماق مختلفة في الوقت الفعلي. ولهذه الغاية، تم اختيار متحكم دقيق من نوع ATmega328P، المدمج في Arduino Nano، لإدارة جمع البيانات من ستة مستشعرات درجة حرارة NTC، كل منها موضوع على عمق محدد في التربة. يتيح هذا التكوين تحليل التغيرات الحرارية بمرور الوقت والعمق، مما يوفر فهماً تفصيلياً لديناميكيات انتقال الحرارة. يتم تخزين البيانات المجمعة على بطاقة SD بسعة 1Go، متصلة عبر وحدة محول SD، مما يضمن تسجيلاً مستمراً للتقلبات الحرارية على مدى فترة طويلة، متناسبة مع سعة تخزين الجهاز. للمراقبة البصرية الفورية، تم دمج شاشة LCD 16x2 من نوع I2C، تعرض قيم درجة الحرارة في الوقت الفعلي، والوقت المنقضي، بالإضافة إلى رسائل التنبيه في حالة اكتشاف أي انحرافات، مما يسهل تفسير النتائج في الميدان.

يتم تسجيل البيانات التي تم جمعها بواسطة مستشعرات درجة الحرارة الستة من نوع NTC بشكل منهجي في ملف Excel باسم DATA.XLS، منظم في سبعة أعمدة. يسجل العمود الأول الوقت المنقضي بخطوة 1s، بينما تتوافق الأعمدة الستة التالية على التوالي مع قياسات درجة الحرارة للمستشعرات الستة، مما يعكس التطور الحراري على أعماق مختلفة في التربة. يزداد حجم هذا الملف بشكل متناسب مع الوقت المنقضي، حيث تضيف كل ثانية سطرًا جديدًا من البيانات، مما يسمح بتحليل دقيق للتغيرات الحرارية. في حالة التوقف المؤقت في جمع البيانات، يظل ملف DATA.XLS سليمًا ويمكن الوصول إليه، مما يضمن إمكانية استئناف التسجيل لاحقًا دون فقدان الاستمرارية، مما يوفر مرونة في إدارة حملات القياس في الميدان. يُظهر الشكل التالي لقطة شاشة لشكل ملف Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Timestamp (ms)	Temp1 (°C)	Temp2 (°C)	Temp3 (°C)	Temp4 (°C)	Temp5 (°C)	Temp6 (°C)	
2	00:00:00:609	25.69	26.28	26.46	26.99	26.37	26.46	
3	00:00:01:609	25.71	26.28	26.46	27.07	26.37	26.50	
4	00:00:02:608	25.72	26.28	26.46	27.07	26.37	26.48	
5	00:00:03:608	25.64	26.28	26.46	27.06	26.37	26.50	
6	00:00:04:608	25.64	26.28	26.46	27.07	26.37	26.50	
7	00:00:05:608	25.72	26.28	26.46	27.06	26.37	26.50	
8	00:00:06:609	25.67	26.28	26.46	27.06	26.37	26.50	
9	00:00:07:609	25.71	26.28	26.46	27.05	26.37	26.52	
10	00:00:08:610	25.72	26.28	26.46	27.03	26.37	26.53	
11	00:00:09:609	25.70	26.28	26.46	27.04	26.37	26.55	
12	00:00:10:610	25.72	26.28	26.46	27.05	26.37	26.55	
13	00:00:11:609	25.70	26.29	26.46	27.03	26.37	26.55	
14	00:00:12:609	25.69	26.33	26.46	27.02	26.37	26.55	
15	00:00:13:609	25.72	26.32	26.46	27.01	26.37	26.55	
16	00:00:14:609	25.69	26.33	26.46	27.01	26.37	26.55	
17	00:00:15:610	25.67	26.35	26.46	26.99	26.37	26.55	
18	00:00:16:609	25.69	26.37	26.46	27.00	26.37	26.55	
19	00:00:17:610	25.72	26.36	26.46	26.99	26.37	26.55	

الشكل 9.IV: لقطة شاشة لعينة من قياسات قاعدة البيانات المجمعة

لضمان مراقبة موثوقة، يضم النظام آلية اكتشاف الأعطال التي يديرها المتحكم الدقيق *ATmega328P* الموجود في لوحة *Arduino Nano*. في حال تعطل أحد مستشعرات *NTC* الستة، أو وجود خلل في بطاقة الذاكرة، أو تجاوز درجات الحرارة العتبات القصوى المحددة للمستشعرات، يتم تفعيل تنبيهات متعددة الأشكال. تظهر رسالة تنبيه على شاشة *LCD*، مصحوبة برمز محدد يشير إلى طبيعة العطل كما هو موضح في الشكل التالي. في الوقت نفسه، تسمح إشارة ضوئية (عبر مؤشر *LED*) وأصوات صفير مميزة صادرة عن الرنان بتحديد المشكلة بسرعة، حتى في ظروف الرؤية المنخفضة. يضمن نظام التنبيه متعدد القنوات هذا استجابة فورية للأعطال، مما يسهل التدخل السريع لتصحيح المشكلات المكتشفة. تم تطوير الكود البرمجي في بيئة *IDE Arduino*، وهي منصة مخصصة لبرمجة المتحكمات الدقيقة مثل *ATmega328P* المستخدم في *Arduino Nano*. تسهل بيئة *IDE Arduino* إدارة المكتبات الخارجية، مثل *SPI.h* للاتصال ببطاقة *SD*، و *SD.h* لتسجيل البيانات، و *LiquidCrystal_I2C.h* للتحكم في شاشة *LCD 16x2* عبر بروتوكول *I2C*. توفر بيئة *IDE* أيضاً إدارة متكاملة للمنافذ والمقاطع الزمنية (*millis()*)، وهو أمر ضروري لمزامنة المهام مثل قياسات درجة الحرارة، وتسجيل البيانات، والتنبيهات، مما يجعل تطوير نظام المراقبة الحرارية هذا سهل الاستخدام وفعالاً للتطبيقات العلمية.

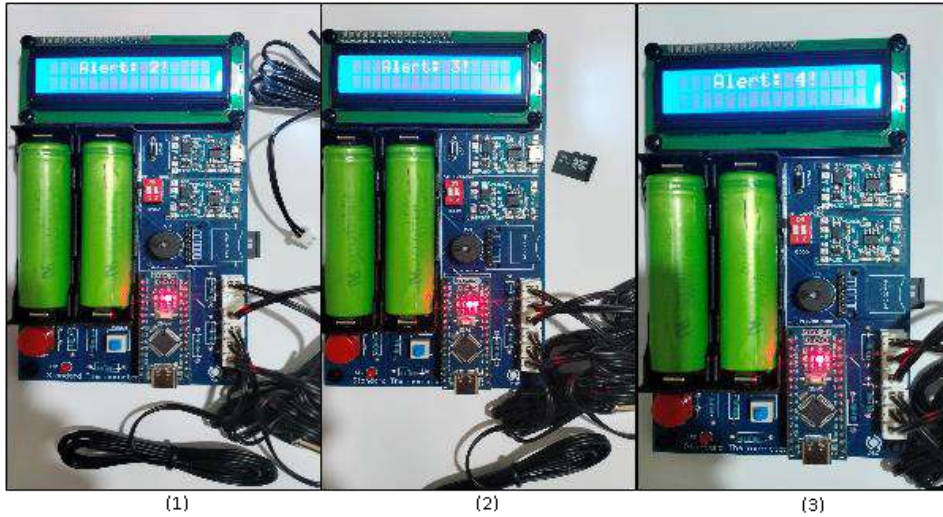
يمثل الكود المنجز تطبيقاً تقنياً وعلمياً قوياً لنظام مراقبة حرارية يعتمد على متحكم دقيق *ATmega328P* مدمج في *Arduino Nano*. يتيح هذا الكود جمع بيانات درجة الحرارة في الوقت الفعلي عبر ستة مستشعرات *NTC* متصلة بالمنافذ التناظرية *A0* إلى *A3* و *A6* إلى *A7*. يعتمد قياس درجة الحرارة على تحويل مقاومة الثرمستورات، المحسوبة باستخدام قانون *Steinhart-Hart* التقريبي، مع معلمات محددة مثل مقاومة اسمية تبلغ $10\text{ K}\Omega$ ومعامل *B* بقيمة 3950، ودرجة حرارة اسمية تبلغ 25°C . لتحسين الدقة، يقوم الكود بأخذ متوسط *10* عينات لكل مستشعر مع تأخير قدره 10ms بين كل قراءة، مما يقلل الضوضاء الكهربائية والتغيرات العشوائية، وهو أمر بالغ الأهمية للقياسات العلمية الموثوقة في بيئة مثل التربة. تم تصميم مستشعرات *NTC* المستخدمة في نظام المراقبة الحرارية هذا بأطوال كابلات تبلغ 1m لكل منها. يوفر هذا الطول مرونة كافية لوضع المستشعرات الستة على مستويات مختلفة، مما يضمن تحليلاً دقيقاً للدرجات الحرارية حسب

الفصل الرابع : الاختبارات التي أجريت والأجهزة التجريبية

العمق. من الناحية الكهربائية، يؤدي طول الكابل هذا إلى مقاومة طفيلية بسيطة يمكن إهمالها بفضل المقاومة الاسمية العالية للثرمستورات $10\ K\Omega$ وطريقة القياس القائمة على مقسم الجهد مع مقاومة متسلسلة تبلغ $10K\Omega$ يضمن التصميم القوي للمستشعرات، جنباً إلى جنب مع طولها، جمع بيانات موثوقة في ظروف بيئية متنوعة، مع البقاء متوافقاً مع المدخلات التناظرية لـ *Arduino Nano* (A7 إلى A6 ، و A3 A0) لدمج سلس في النظام.

على الصعيد الكهربائي، يدمج النظام إدارة فعالة للموارد عبر مقاطعات زمنية باستخدام دالة (*millis*)، والتي تزامن القياسات كل ثانية (*measurementInterval = 1000 ms*) وتحدث عرض شاشة *LCD* كل *500ms* (*lcdUpdateInterval = 500 ms*). تُخزن البيانات على بطاقة *SD* عبر بروتوكول *SPI*، مع التحقق من التهيئة على المنفذ 10 (*chipSelect*)، وتُسجل في ملف *CSV* منظم يتضمن طابعاً زمنياً بالمللي ثانية يتبعه قياسات درجات الحرارة الستة. يضمن استخدام مخزن التنسيق (*sprintf*) للوقت (*hh:mm:ss:ms*) وإدارة *anti-rebound* للزر على المنفذ 9 تفاعلاً مستقرًا مع المستخدم، بينما تعمل *LED* على المنفذ 8 والرنان (*Buzzer*) على المنفذ 7 كإشارات بصرية وصوتية، يتم التحكم فيهما بواسطة توقيتات دقيقة.

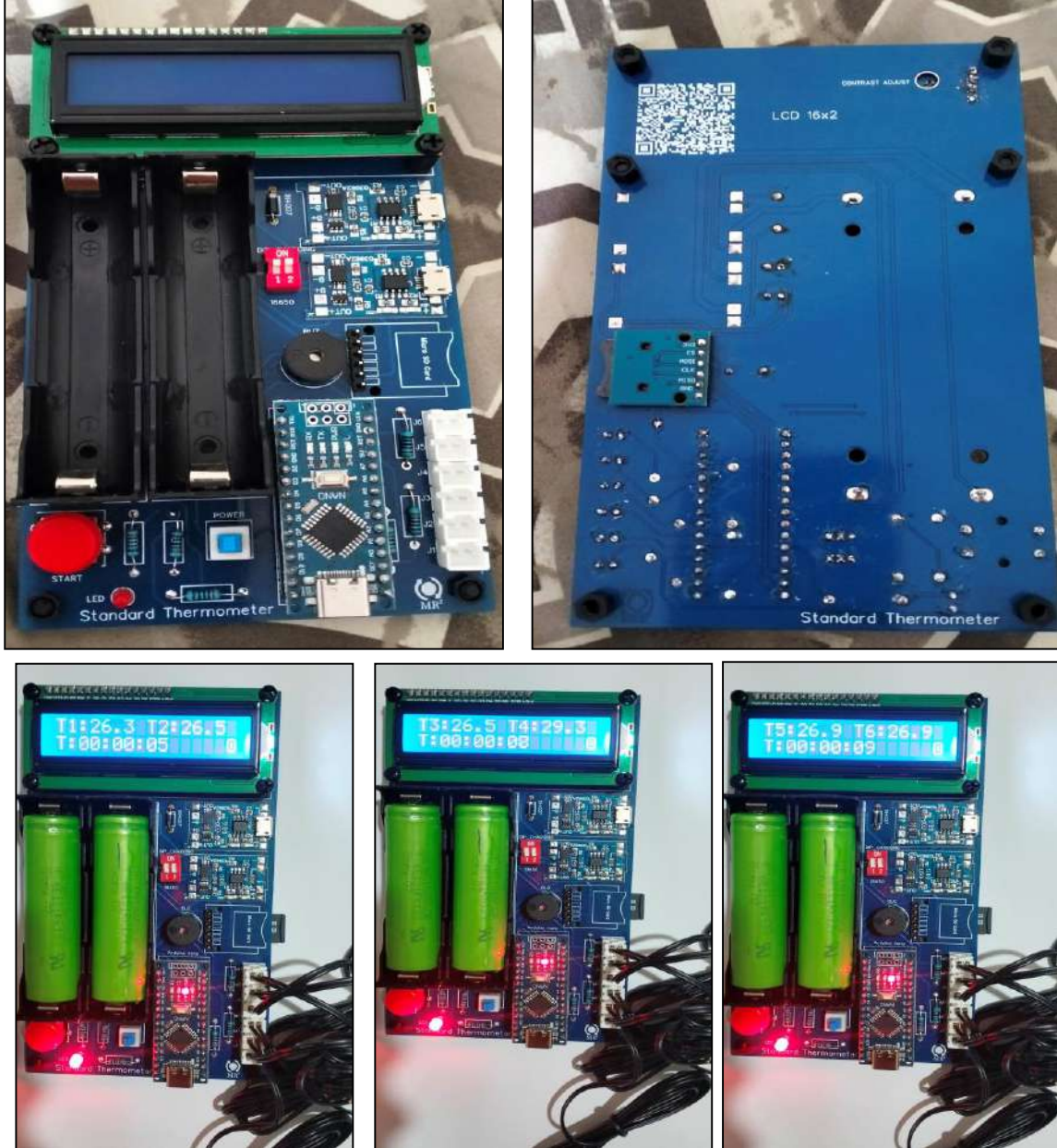
أخيراً، يشتمل الكود على منطق تنبيه متطور تديره وحدة التحكم الدقيقة، حيث يراقب الأعطال المحتملة مثل درجات الحرارة خارج النطاق المحدد ($-50^{\circ}C$ إلى $150^{\circ}C$)، أو بطاقة *SD* معيبة، أو حالة *LED* غير نشطة. يؤدي كل نوع من التنبيهات إلى مجموعة محددة من الصافير (عبر دالة *tone*) وإضاءات *LED*، مع مدة وترددات مميزة، مما يتيح التعرف السريع. تتناوب شاشة *LCD*، التي يتم التحكم فيها عبر بروتوكول *I2C* على العنوان *0x27*، كل ثانيتين بين أزواج المستشعرات (*T1 & T2*، *T3 & T4*، *T5 & T6*) وتتضمن أيقونة حفظ مخصصة، مما يعزز واجهة المستخدم. يوفر هذا الهيكل الكهربائي والبرمجي حلاً كاملاً وقابلاً للتكيف لتطبيقات المراقبة البيئية. في الشكل أدناه، تظهر بعض العينات التي تعرض الشذوذات المختلفة وكذلك طريقة عرضها.



الشكل 10.IV: إشارة الأعطال: (1) مشكلة المستشعرات (2) مشكلة بطاقة (3) *SD* خلل عام

تدمج اللوحة الإلكترونية حماية ضد الأخطاء التشغيلية أثناء مرحلة شحن خلايا 18650، وهي فترة يتم خلالها تعطيل عملية جمع البيانات الحرارية عمداً لأسباب تتعلق بالسلامة والاستقرار. خلال هذه المرحلة، يتم توصيل الخليتين بالتوازي للسماح بالشحن المتزامن والمتوازن عبر وحدات *TP4056*، مما يضمن توزيعاً موحدًا للتيار وحماية ضد الشحن الزائد. ومع ذلك، في التشغيل العادي (الوضع المستقل)، يتم إعادة تهيئة الخلايا على التوالي، مما يزيد الجهد إلى $7.4V$ ($3.7V$ لكل خلية) مع

الحفاظ على سعة 2000 mAh ، مما يوفر كمية كافية من الطاقة لتشغيل النظام بأكمله، بما في ذلك *Arduino Nano*، مستشعرات *NTC*، شاشة *LCD*، الرنان، ووحدة *SD*. يعد هذا التبديل بين التكوينات المتوازية والمتسلسلة ضرورياً لتحسين كل من السلامة أثناء الشحن وكفاءة الطاقة أثناء الاستخدام، مما يضمن تشغيلاً موثقاً لنظام المراقبة الحرارية. لإعادة شحن خلية 18650 في هذه اللوحة الإلكترونية، يعد شاحن مشابه لشاحن الهاتف المحمول، يوفر 1 A عند 5 V ، مناسباً، لأنه يتوافق مع المواصفات النموذجية لوحدة *TP4056* المدمجة، التي تقبل مدخلات 5 V لشحن خلايا ليثيوم أيون. تم تصميم وحدات *TP4056* لإدارة تيار إدخال يصل عادةً إلى 1 A ، وهو مثالي للشحن المستقر والأمن لخلايا 18650 ، حيث يبلغ جهد كل منها الاسمي 3.7 V وجهدتها الأقصى 4.2 V في نهاية الشحن. مع مدخل 5 V ، تقوم وحدة *TP4056* بتنظيم التيار والجهد لشحن الخلايا بالتوازي، كما هو مهياً أثناء مرحلة الشحن، مع الحماية من الشحن الزائد بفضل دائرتها المتكاملة. ومع ذلك، من الضروري التأكد من أن الشاحن يلتزم بدقة بجهد 5 V ، حيث يمكن أن يؤدي الجهد الأعلى إلى إتلاف وحدات *TP4056* أو الخلايا. يعتبر تيار 1 A كافياً للشحن البطيء والأمن، مما يطيل عمر الخلايا (حوالي 0.5 C لسعة 2000 mAh).
يضمن هذا التكوين إعادة شحن فعالة مع الحفاظ على سلامة النظام.
تظهر بعض العينات كصور توضح سطحي اللوحة بالإضافة إلى بعض الشاشات أثناء تشغيل اللوحة في الشكل 4.



الشكل 11.IV: توضيح عام للوحة المصممة بصور حقيقية.

الجزء الأول من التجربة .

في دراستنا قمنا باختبار في الموقع لتحديد درجة الحرارة بين طبقات الطريق، باستخدام جهاز الالكتروني لمراقبة تطور اختراق درجة حرارة الشمس في التربة على أعماق مختلفة .

استخراج العينة الاسطوانية

قمنا بعملية استخراج عينة اسطوانية من الطريق بهدف عمل اختبار في الموقع بطريقة الكترونية يهدف الى تحديد درجة حرارة عبر الأعماق محددة لمعرفة الفروقات الحرارية عبر هيكل الطريق .

قمنا باستخراج عينة اسطوانية بواسطة جهاز الحفر في طريق المتواجد في الجامعة قاصدي مباح بتحديد القطب الثالث .



الصورة 11.IV : يمثل صورة من التجربة الميدانية للعيينة الاسطوانية وجهاز الحفر .

الجزء الثاني من التجربة .

بعد استخراج العينة الاسطوانية من الطريق المتواجد في جامعة قاصدي مرباح ورقلة نقوم بوضع جهاز الالكتروني لمراقبة تطور اختراق درجة حرارة الشمس في التربة على أعماق مختلفة نقوم بوضع الحساسات الحرارية في طبقات الطريق .



الصورة 12.IV: يمثل صور لتجربة الميدانية عند وضع الجهاز .

5.IV خاتمة :

في هذا الفصل ، حاولنا تحديد أنواع الركام المستخدمة في هذه الدراسة ، وذلك باتباع المعايير الموصى بيها . بعد تحليل مختلف أنواع الركام ، نستخلص ان حصويات الكسار نظيف وهو توزيع حبيبي متدرج بشكل جيد . وظهرت حصويات دراسة التصميم الحالية جودة مقبولة من حيث الخصائص التصنيع ، مما يجعلها مناسبة لتحضير الخرسانة 0/14 .
و استخرجنا عينة اسطوانية من طريق ، وذلك بوضع جهاز الالكتروني لمراقبة تطور اختراق درجة حرارة الشمس في التربة على أعماق مختلفة في طبقات الطريق .

1.V مقدمة

في هذا الفصل نقدم نتائج تجربة مارشال ودوريزا المرجعية وكذلك تلك التي عرضت لتأثير الظروف الخاصة مع تلخيص نتائج المتحصل عليها في الموقع من خلال تجربة تحديد الفروقات الحرارية بين الاعماق المختلفة

2.V نتائج تجربة مارشال

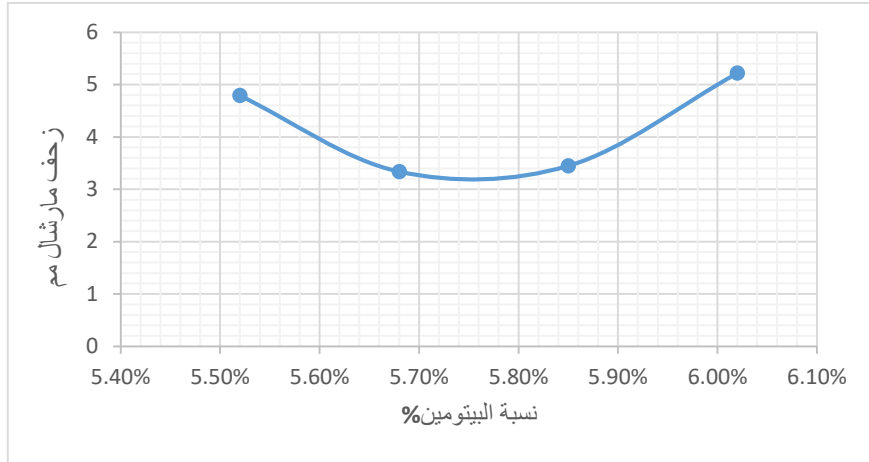
في الجدول الأتي تم تلخيص نتائج تجربة مارشال لتحديد أفضل خليط من حيث الخصائص بحيث يمكن إسخلاص نسبة البيتومين الاحسن

الجدول 1.V. نتائج تجربة مارشال

مواصفات 0/14	النتائج				التجربة	
	الخليط 4	الخليط 3	الخليط 2	الخليط 1	(K)	معامل التراء
	3.6	3.5	3.4	3.3	%	نسبة البيتومين
	6.02	5.85	5.68	5.52	g/cm ³	الكتلة الحجمية الظاهرية
	2.24	2.30	2.29	2.28	g/cm ³	الكتلة الحجمية المطلقة
	2.528	2.534	2.540	2.545	%	نسبة الفراغات
	11.39	9.23	9.84	10.41	%	نسبة التراص
	88.61	90.77	90.16	89.59	Kgf	تبات مارشال
1050 ≤	1012.5	1208.1	1377.6	1069	mm	الزحف
4 ≥	5.22	3.45	3.34	4.79		



الشكل 1.V. منحنى تغير تبات مارشال



الشكل 2.V. منحنى تغيرات زحف مارشال

• تفسير النتائج

من خلال نتائج المتحصل عليها أظهرت النتائج ان نسبة 5.68% من البيتومين تحقق اقصى قوة مارشال للخلط . ويؤدي الخروج عن هذه النسبة (بالزيادة او النقصان) الى تدهور في الأداء الميكانيكي للخلطة

• ثبات مارشال

من خلال منحنى ثبات مارشال يشير الى قدرة الخلطة على تحمل الاحمال . الخليط 2 الذي يحتوي على 5.68% بيتومين . حققت اعلى قيمة لثبات مارشال .

• الزحف مارشال :

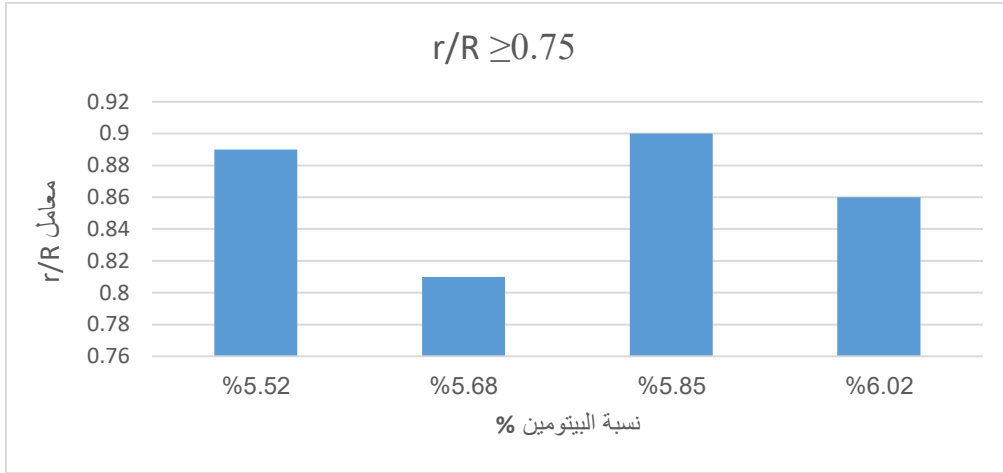
من خلال المنحنى زحف مارشال يقيس قابلية الخلطة للتشوه تحت الاحمال ، الخليط 2 اظهر قيمة زحف تبلغ 3.34 مم

3.V نتائج تجربة دورياز

في الجدول الأتي تم تلخيص نتائج تجربة دورياز لتحديد أفضل خليط من حيث الخصائص بحيث يمكن إسخلاص نسبة البيتومين الاحسن

الجدول 2.V. نتائج تجربة دورياز

تجربة دورياز					
مواصفات 0/14	النتائج				
	6.02	5.85	5.68	5.52	TL%
70 Kg/cm ² ≤	72.84	86.56	131.85	87.25	مقاومة ضغط للعينة تحت الهواء (R)
	62.77	78.40	109.16	77.70	مقاومة ضغط تحت الماء (r)
0.75 ≤	0.86	0.90	0.81	0.89	معامل (r/R)



الشكل 3.V. تغيرات معامل حساسية الخرسانة الزفتية للماء

- تفسير النتائج
 - مقاومة الضغط تحت الهواء والماء
- أظهرت التجربة ان نسبة 5.68% من البتومين حققت اعلى مقاومة ضغط تحت الهواء .
- معامل مقاومة الماء (r/R)
- يشير هذا المعامل الى حساسية الخرسانة الزفتية للماء . نسبة 5.58% من البتومين حققت افضل معامل مقاومة للماء 0.90

تعليق على التجارب :

- أظهرت تجربة مارشال ان نسبة 5.68% من البتومين حققت احسن تباث اي قدرة على التحمل الاحمال بكفاءة

- أظهرت تجربة دورياز ان نسبة 5.85% حققت احسن معامل مقاومة الخرسانة الزفتية للماء

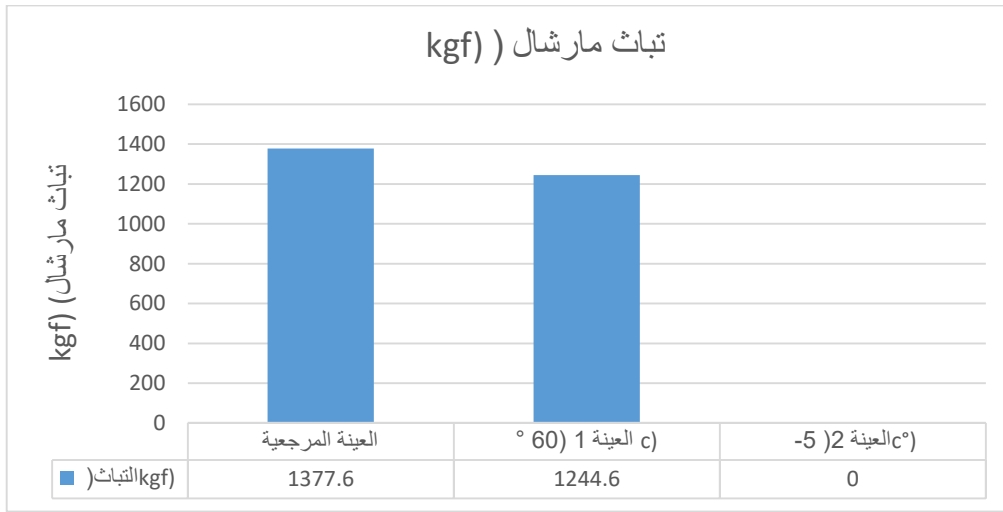
في هاته الدراسة إختارنا نسبة 5.68% هيا المثلى لأنها حققت أقصى تباث مما يجعل الخلطة قوية وتقاوم الأحمال وأيضا قد أظهرت نسبة حساسية للماء تتوافق مع المرجع الأوروبي EN (0.75 < 0.81) الخاص الخرسانة الزفتية النصف حبيبية.

4.V. تجارب مع الفروقات الحرارية

في الجدول الأتي يوضح النتائج المتحصل عليها من خلال تجربة مارشال المرجعية و تجربة مارشال المعدلة من خلال فوارق حرارية

الجدول 3.V. نتائج إختبار مارشال من خلال إجراء الفروقات الحرارية

نتائج إختبار مارشال من خلال إجراء الفروقات الحرارية			
العينة 2 (-5 c°)	العينة 1 (60c°)	العينة المرجعية	تباث مارشال (kgf)
	1244.6	1377.6	تباث مارشال (kgf)
	3.905	3.34	زحف مارشال (mm)



الشكل 4.V. تغير تباث مارشال العينة مرجعية مقارنة بالعينة 1 و 2

تفسير النتائج :

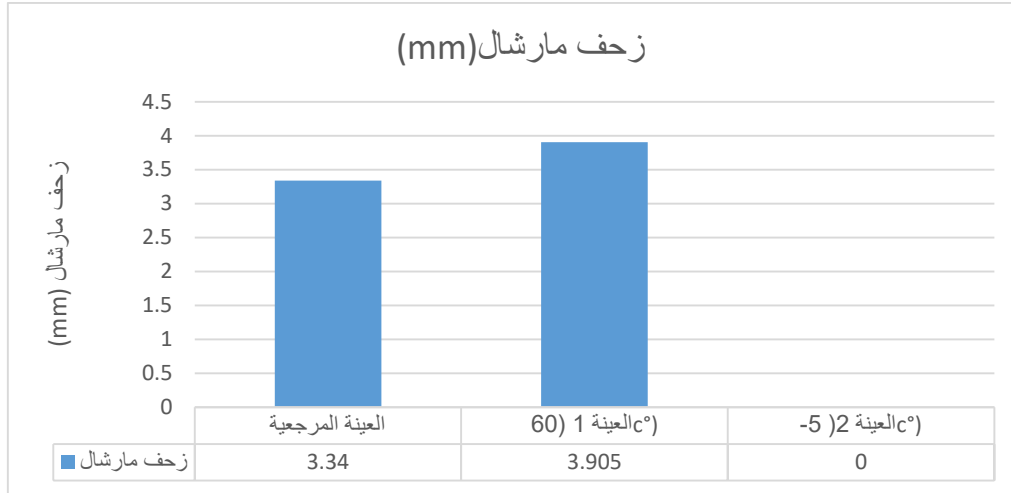
من خلال حفظ العينة بطريقة تخالف المرجع EN قبل شروع في التجربة (معرضة لحرارة 60 درجة لمدة ساعتين.) أدى هذا التغيير الى إنخفاض في تباث مارشال بمعدل 9.65 % مقارنة بالعينة المرجعية . هذا التراجع في تباث مارشال يدل على فقدان أستقرار في الخلطة الخرسانة الزفتية تحت درجة الحرارة

أما في حالة العينة المعرضة لدرجة حرارة منخفضة 5- لمن نتمكن من إجراء العملية لأن جهاز مارشال له قدرة تجميل قصوى 50 KN

يمكننا القول ان العينة تصبح صلبة جدا في درجة الحرارة المنخفضة بحيث يستوجب لقوة أكبر لكسرها وتتجاوز القدرة القصوى لجهاز الاختبار .

فمن خلال هاته الفروقات نتسنتج مايلي :

- إن التعرض العينة لمدة معتبرة من الحرارة العالية يمكن أن يؤثر سلبا على قوتها واستقرارها مما يخلق ضعف في مقاومتها للاحمال والتشوّهات
- إن التعرض العينة لمدة معتبرة من الحرارة المنخفضة يمكن ان يجعل العينة صلبة جدا



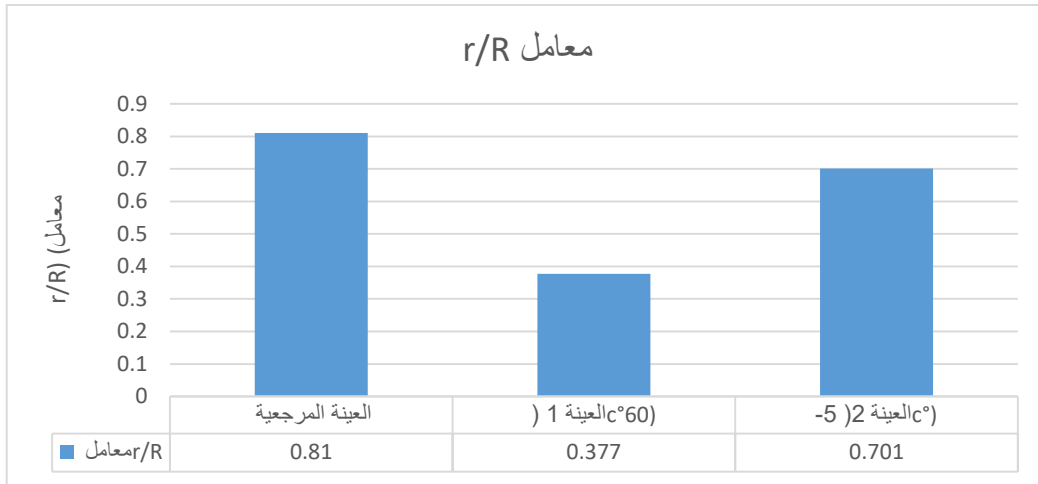
الشكل 5.V. تغير زحف مارشال العينة مرجعية مقارنة بالعينة 1 و 2

تفسير النتائج :

نلاحظ أن قيمة الزحف ارتفع بنسبة 16.91 % مما يعكس ان العينة المعرضة مطولا للحرارة تصبح أكثر قابلية للتشوه

الجدول 3.V. نتائج إختبار دورياز من خلال إجراء الفروقات الحرارية

نتائج إختبار دورياز من خلال إجراء الفروقات الحرارية			
العينة 2 (-5 c°)	العينة 1 (60c°)	العينة المرجعية	
158.16	100.3	131.85	مقاومة ضغط للعينة تحت الهواء (R)
110,82	37.8	109.16	مقاومة ضغط تحت الماء (r)
0.701	0.377	0.81	معامل (r/R)



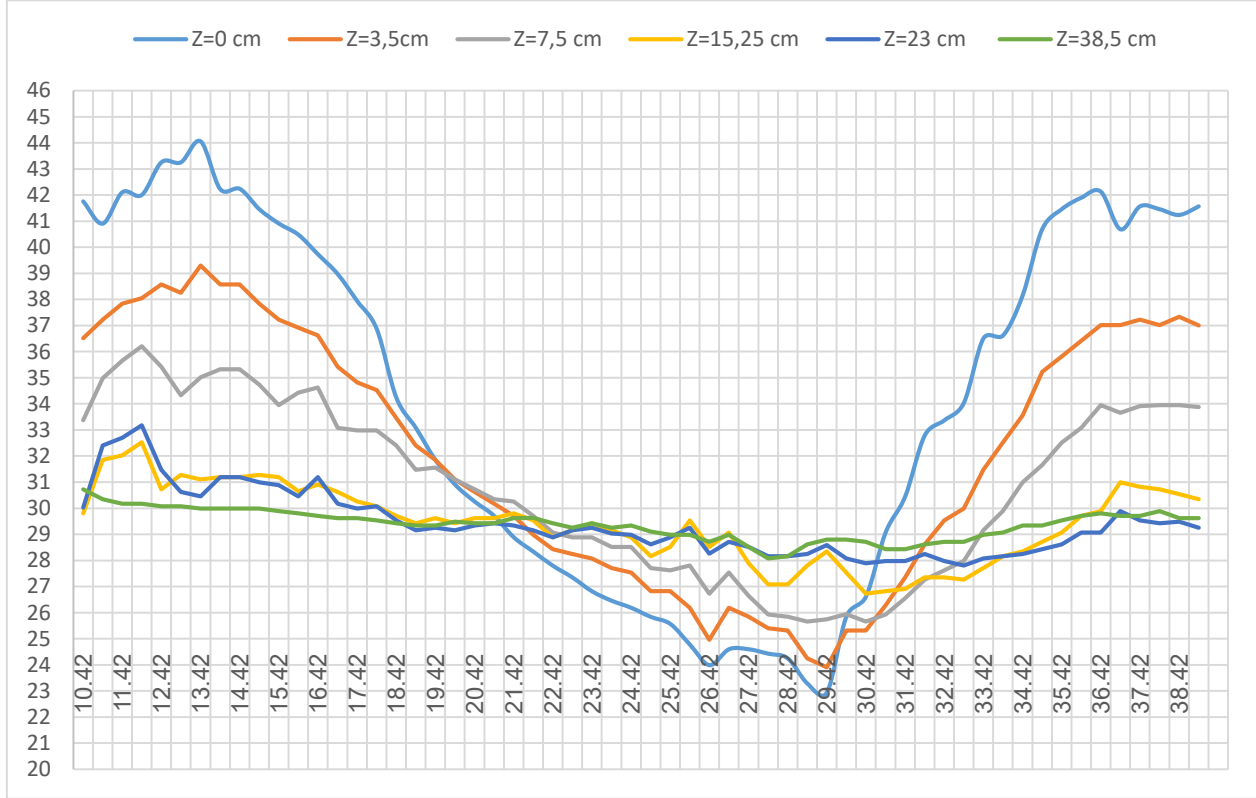
الشكل 6.V. تغيرات معامل حساسية العينة مرجعية للماء مقارنة بالعينة 1 و 2

تفسير النتائج :

نلاحظ من الشكل ان العينة 1 قد تراجعت بشكل ملحوظ بنسبة 53.45% مقارنة بالعينة المرجعية وهذا راجع للحرارة العالية (60 درجة مئوية لمدة ساعتين): تؤدي إلى تقادم البيتومين، مما يضعف بشكل مباشر الروابط اللاصقة بين البيتومين والركام ويزيد من قابلية الخلطة لتغلل الماء مما يجعلها أكثر حساسية .

الحرارة المنخفضة (-5 درجة مئوية في الماء): تؤدي بشكل أساسي إلى ضغط ميكانيكي ناتجة عن تمدد الماء المتجمد اي زيادة حجم الماء المتغلل عبر الفراغات. بينما هذا يضعف الخلطة، فإنه قد لا يؤثر على الخصائص الكيميائية والالتصاقية للبيتومين بنفس شدة تقادم الحرارة العالية، مما يجعل الانخفاض في مقاومة الماء أقل حدة

5.V. نتائج إختبار تحديد درجة الحرارة في الموقع



الشكل 7.V. تغيرات درجة الحرارة عبر طبقات الطريق

تفسير النتائج :

تم قياس درجات حرارة عند ستة أعماق مختلفة :

من خلال المنحنيات نجد :

- عند سطح ($Z = 0$) تشهد أكبر تغيرات في درجات الحرارة حيث ترتفع بشكل كبير خلال النهار تصل الى 45 درجة مئوية تقريبا ، وتنخفض في ليل وهذا يعكس تاثر السطح المباشر بالإشعاع الشمسي
- عند أعماق متوسطة ($Z = 3.5$ سم الى $Z = 15.25$ سم) نلاحظ استجابة للحرارة مشابهة فلكن بدرجة أقل مقارنة بالسطح تأثير الحراري يقل تدريجيا كلما زادت العمق
- عند الأعماق الكبيرة ($Z = 23$ سم الى $Z = 38.5$ سم) تكون التغيرات الحرارية طفيفة و الحرارة شبه مستقر نسبيا وهذا يشير الى خمول حراري مع انخفاض التوصيل الحراري للطبقات السفلى ويعني ان هذه الأعماق أقل تأثرا بالتغيرات اليومية .

- الفترة الزمنية الحرجة (ما بين 24:42 و 28:42 تقريبا)

نلاحظ ان جميع المنحنيات تنخفض الى ادنى درجاتها .
وهذا يشير الي الفترة الليلية حيث تقل الاشعاعات الشمسية وتبدأ درجاتها في الانخفاض .
اكثر الأعماق تأثرا بهذا الانخفاض هي السطحية .

- الاستنتاجات

- درجة الحرارة تتناقص مع العمق

هناك تدرج حراري واضح ، السطح يسخن بسرعة ويتأثر بالتغيرات اليومية ، في حين ان الطبقات العميقة تكون اكثر استقرارا .

- زمن الاستجابة يزداد مع العمق

تأخر الزمني في الوصول الى ادنى و اعلى حرارة يزداد في الأعماق مايعكس انتقال بطيء للحرارة

- الطبقات العميقة تعمل كعازل للحرارة

تقل التذبذبات الحرارية بشكل كبير في الأعماق ، مما يساهم في الحفاظ على الاستقرار قاعدة الطريق

6.V خاتمة

تتأثر الخصائص الميكانيكية للطرق المرنة بشكل ملحوظ بتغيرات درجات الحرارة، خاصة في المناطق التي تشهد تبايناً حرارياً واسعاً. وقد أظهرت نتائج التجارب أن هذا التأثير يمكن أن ينعكس سلباً على أداء الخلطة البيتومينية واستقرارها الميكانيكي. ومع ذلك، لا تزال آلية هذا السلوك غير مفهومة بشكل كامل، إذ تتطلب تحاليل أكثر تقدماً وتقنيات دقيقة للتعلم في تفسير الظاهرة. كما أن الفترة الزمنية المحدودة للتجارب لا تكفي لرصد تطور هذا السلوك على المدى الطويل أو مع تقدم عمر البنية التحتية للطريق .

خاتمة عامة

في ختام هذه الدراسة، التي تناولت تأثير التغيرات الحرارية على سلوك الخرسانة البيتومينية في المناطق الصحراوية، وخاصة في ولاية ورقلة، أكدت العلاقة القوية بين الظروف المناخية القاسية وتدهور البنية التحتية للطرق. فقد أظهرت النتائج أن الفوارق الحرارية اليومية والموسمية تُحدث تأثيرًا مباشرًا على الخلطة البيتومينية، مما يؤدي إلى تسارع ظهور التشققات والتشوهات الدائمة، ويؤثر سلبيًا على عمر الطريق وجودته .

وقد تبين من خلال التجارب أن اختيار نوع البيتومين المستخدم في الخلطة يمثل عنصرًا أساسيًا، إذ ينبغي أن يتميز بمقاومة جيدة للتشوهات في درجات الحرارة العالية، وبمرونة كافية لمقاومة التشققات الناتجة عن البرودة. كما بينت نتائج اختبارات مارشال وديوريه أن الخصائص الميكانيكية للخلطة تتدهور بشكل ملحوظ عند تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة، ما يستدعي إعادة النظر في معايير التصميم المعتمدة.

وأظهرت الدراسة أيضًا أن الأساليب التقليدية المتبعة في تصميم الخلطات الأسفلتية لا تأخذ بعين الاعتبار بشكل كافٍ الواقع المناخي الصعب الذي يميز المناطق الجنوبية، وهو ما يُحتم تطوير منظومة التصميم لتتلاءم مع تلك الخصوصيات المناخية.

وعليه، توصي هذه الدراسة بأهمية توسيع نطاق التجارب المخبرية لتشمل فترات زمنية أطول، والعمل على تطوير نماذج محاكاة تأخذ في الاعتبار تأثيرات الحرارة والرطوبة والرياح، مع ضرورة دمج المعطيات المناخية المحلية في عملية تصميم الطرق لضمان ديمومتها وتحسين أدائها في البيئات الصحراوية .

- إعادة اجراء نفس العمل التجريبي لمدة زمنية طويلة بهدف توصية اكثر دقة للظواهر الحقيقية لمنطقة ورقلة .

قائمة المراجع

- [1] D-maps. (n.d.). Carte de la Wilaya de Ouargla. https://d-maps.com/carte.php?num_car=190726&lang=en
- [9] Gaboussa, O., & Hadji, O. (2023). Effet du gradient thermique en zone saharienne sur la durabilité des chaussées routières (cas de Ouargla) [Mémoire de master, Université de Ouargla].
- [6] Gouvernement Algérien – Ministère de l’Intérieur. (n.d.). Monographie de la Wilaya de Ouargla.
- [2] https://interieur.gov.dz/Monographie/ar/detail_axe.php?wilaya=30&type=potentialite
- [12] IBRO Maiguizo Zakari. (2012). Les dégradations dans les chaussées souples et les moyens de prévention : Expertise de la RN25 près de Draa-El-Mizan [Mémoire de master, Université de Tizi-Ouzou].
- [6] LICHANI, R., & GHATTAS, M. (2020). Effet du gradient thermique en zone saharienne sur la durabilité des chaussées routières (cas de Ouargla) [Mémoire de master, Université de Ouargla].
- [10] Labotech. (n.d.). Essai de pénétrabilité à l’aiguille. <https://labotech.eu/penetrabilite-aiguille/>
- [5] Normes Techniques d’Aménagements des Routes (B 40). (n.d.).
- [4] Systra. (n.d.). Tramway de Ouargla – Algérie. <https://www.systra.com/projects/tramway-de-ouargla-algerie/>
- [7] Texum. (n.d.). L’ornierage – Renforcement de chaussées. <https://www.texum.swiss/fr/renforcement-de-chaussees/les-problematiques/lornierage>
- [8] Wikipédia. (n.d.). Bitume. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bitume>
- [3] Climate to Travel. (n.d.). Climate – Ouargla (Algeria). <https://www.climatestotravel.com/climate/algeria/ouargla>
- [11] Controlab. (n.d.). Machine manuelle d’essai Marshall – 50 kN. <https://www.controlab.fr/gamme/machine-manuelle-dessai-marshall-50-kn/>

الملحقات

جدوال يمثل قيم درجة الحرارة حسب العمق كل ثانية

TIME	Z=0 cm	Z=3,5cm	Z=7,5 cm	Z=15,25 cm	Z=23 cm	Z=38,5 cm
10,42	41,76	36,51	33,37	29,8	30,03	30,72
11,12	40,91	37,22	34,98	31,85	32,41	30,35
11,42	42,11	37,84	35,65	32,03	32,7	30,17
12,12	42,01	38,05	36,21	32,53	33,18	30,17
12,42	43,26	38,57	35,42	30,72	31,47	30,08
13,12	43,26	38,25	34,33	31,28	30,63	30,08
13,42	44,06	39,3	35,02	31,1	30,45	29,99
14,12	42,23	38,57	35,32	31,19	31,19	29,99
14,42	42,24	38,57	35,32	31,19	31,19	29,99
15,12	41,46	37,84	34,73	31,28	31	29,99
15,42	40,91	37,22	33,95	31,19	30,88	29,89
16,12	40,48	36,92	34,43	30,65	30,45	29,8
16,42	39,73	36,62	34,63	30,91	31,19	29,71
17,12	38,98	35,42	33,08	30,63	30,17	29,62
17,42	37,94	34,82	32,98	30,26	29,99	29,62
18,12	36,87	34,53	32,98	30,08	30,08	29,53
18,42	34,24	33,46	32,41	29,71	29,53	29,43
19,12	33,08	32,41	31,47	29,43	29,16	29,34
19,42	31,85	31,85	31,56	29,62	29,25	29,34
20,12	30,91	31,1	31,1	29,43	29,16	29,49
20,42	30,26	30,63	30,72	29,62	29,34	29,43
21,12	29,71	30,17	30,35	29,62	29,43	29,43
21,42	28,89	29,71	30,26	29,8	29,34	29,62
22,12	28,34	28,98	29,71	29,53	29,16	29,63
22,42	27,8	28,43	29,07	28,89	28,89	29,43
23,12	27,35	28,25	28,89	29,16	29,16	29,25
23,42	26,82	28,07	28,89	29,43	29,25	29,43
24,12	26,46	27,71	28,52	29,16	29,03	29,25
24,42	26,19	27,53	28,52	28,89	28,98	29,34
25,12	25,84	26,82	27,71	28,16	28,61	29,11
25,42	25,57	26,82	27,62	28,52	28,89	28,98
26,12	24,78	26,19	27,8	29,53	29,25	28,98
26,42	23,99	24,96	26,73	28,52	28,26	28,71
27,12	24,6	26,19	27,53	29,07	28,71	28,98
27,42	24,6	25,84	26,64	27,89	28,52	28,52
28,12	24,43	25,4	25,93	27,08	28,16	28,07
28,42	24,25	25,31	25,84	27,08	28,16	28,16
29,12	23,29	24,25	25,66	27,8	28,25	28,61
29,42	22,94	23,9	25,75	28,34	28,59	28,8
30,12	25,86	25,31	25,94	27,53	28,07	28,8
30,42	26,62	25,31	25,66	26,73	27,89	28,71
31,12	29,07	26,28	25,93	26,82	27,98	28,43
31,42	30,45	27,35	26,55	26,91	27,98	28,43
32,12	32,79	28,61	27,26	27,35	28,25	28,61
32,42	33,37	29,53	27,62	27,35	27,98	28,71
33,12	34,04	29,99	27,98	27,26	27,8	28,71
33,42	36,51	31,47	29,16	27,71	28,07	28,98
34,12	36,62	32,51	29,89	28,16	28,16	29,07
34,42	38,15	33,56	31	28,34	28,25	29,34

35,12	40,69	35,22	31,66	28,71	28,43	29,34
35,42	41,46	35,81	32,51	29,07	28,61	29,53
36,12	41,9	36,41	33,08	29,71	29,07	29,71
36,42	42,13	37,02	33,95	29,89	29,07	29,8
37,12	40,69	37,02	33,66	31	29,89	29,71
37,42	41,57	37,22	33,91	30,82	29,53	29,71
38,12	41,46	37,02	33,95	30,72	29,43	29,89
38,42	41,24	37,33	33,95	30,54	29,49	29,62
38,5	41,57	37,01	33,88	30,34	29,25	29,62