

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'El Oued

Faculté de Technologie

Département d'hydraulique et de génie civil

Laboratoire Unité de Développement des Énergies Renouvelables dans les Zones Arides

Thèse de Doctorat

Soumis en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat du troisième cycle (LMD).

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux du Génie Civil

Intitulé: Étude de la durabilité du béton de sable de puits pétrolier

Présentée par :

SALEMI Djafar

Soutenue le 22/04/2026 devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Role
KHECHANA Salim	Professeur	Université d'El Oued	Président
MANI Mohamed	Professeur	Université d'El Oued	Encadrant et rapporteur
KAAB Mohamed Zoheir	Maitre de conférences A	Université d'El Oued	Co- Encadrant
TAALLAH Bachir	Professeur	Université de Biskra	Examinateur
CHAIB Hachem	Maitre de conférences A	Université de Ouargla	Examinateur
LOGBI Abdelaziz	Maitre de conférences A	Université d'El Oued	Examinateur
BEDADI Laid	Maitre de conférences A	Université d'El Oued	Examinateur
BENDRIS MABROUK	Cadre	Société Sonatrach	Invité

Année académique : 1446-1447 AH / 2025-2026



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الوادي

كلية التكنولوجيا

قسم الري والهندسة المدنية

مخبر وحدة تنمية الطاقة المتجددة في المناطق القاحلة



أطروحة دكتوراه

مقدمة لنيل شهادة الدكتوراه في الطور الثالث (LMD)

الشعبة: الهندسة المدنية

التخصص: مواد الهندسة المدنية

بعنوان: دراسة ديمومة خرسانة رمل آبار

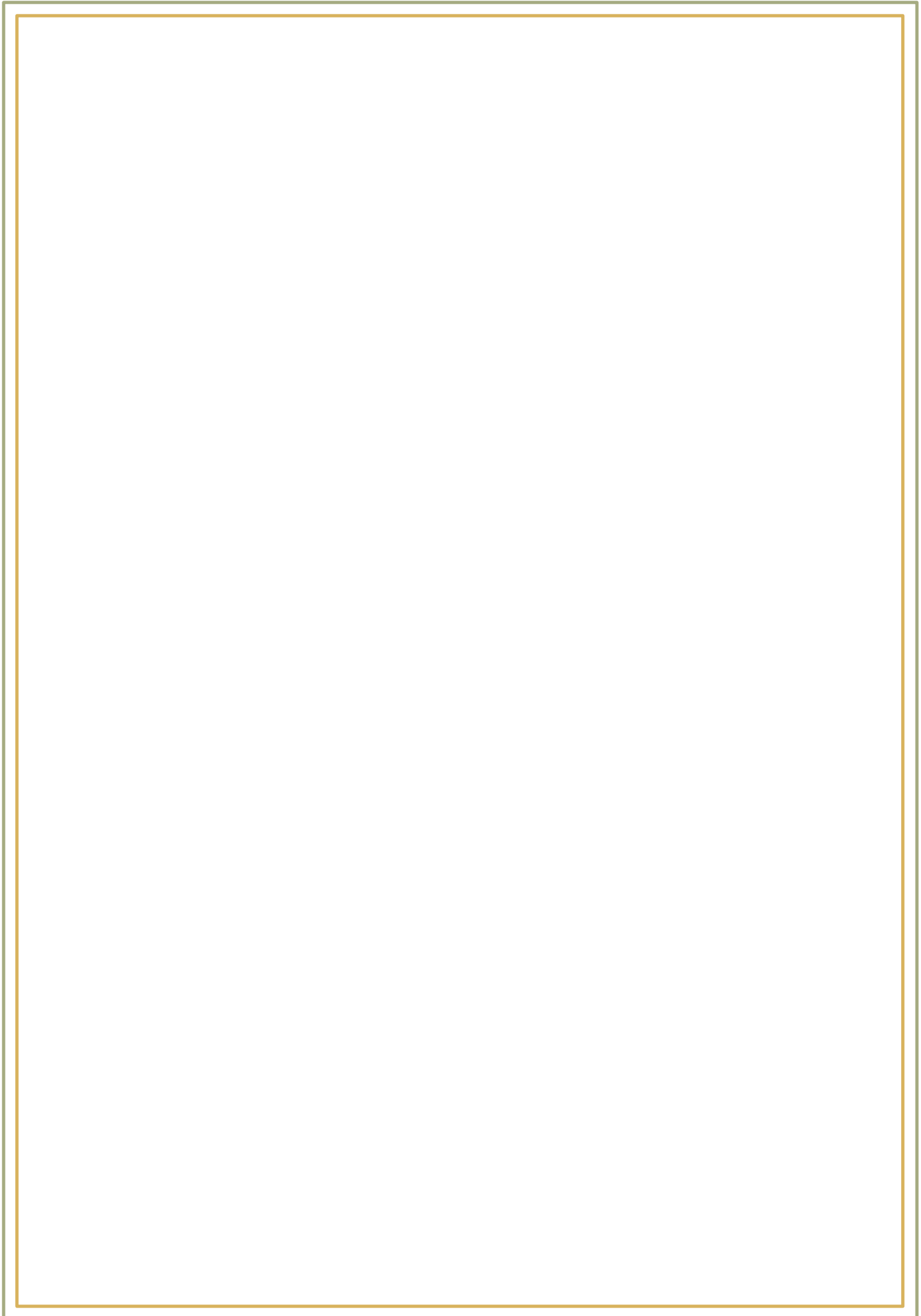
من إعداد:

سالمة جعفر

نوقشت يوم 2026/04/22 أمام لجنة المناقشة :

الاسم واللقب	الرتبة	الجامعة	الصفة
خشانة سليم	أستاذ تعليم عالي	جامعة الوادي	رئيساً
ماني محمد	أستاذ تعليم عالي	جامعة الوادي	مشرفاً ومقرراً
كعب محمد زهير	أستاذ محاضر أ	جامعة الوادي	مساعد مشرف
طاع الله بشير	أستاذ تعليم عالي	جامعة بسكرة	مناقشاً
شعيب هاشم	أستاذ تعليم عالي	جامعة ورقلة	مناقشاً
العقبي عبد العزيز	أستاذ محاضر أ	جامعة الوادي	مناقشاً
بدادي العيد	أستاذ محاضر أ	جامعة الوادي	مناقشاً
بن ادريس مبروك	إطار بشركة سونطراك		مدعواً

السنة الجامعية: 1446-1447 هـ / 2025-2026 م



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تشكرات

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

وفاء وتقديرا واعترافا منا بالجميل تتقدم بجزيل الشكر

لأولئك المخلصين الذين لم يألوا جهدا في مساعدتنا في هذا البحث

العلمي، وأخص بالذكر الأستاذ الفاضل: الدكتور محمد ماني

صاحب الفضل بعد الله في توجيهنا ومساعدتنا في تجميع المادة البحثية

كما أتقدم بجزيل الشكر الى كل من مد والنايد العون والمساعدة

من قريب أو بعيد في إخراج هذه الدراسة على أكمل وجه

مع تمنياتنا أن تكون هذه الدراسة مفتاحا لمواصلة مزيد

من الأبحاث العلمية الجديدة

إهداء

الحمد لله

حتى يبلغ الحمد منتهاه

والصلاة والسلام على أشرف خلق الله

أهدي ثمرة عملي هذا أولاً إلى من ربوني وكانوا سببا في وجودي

أمي الغالية رحمة الله عليها وأفسح الله لها في قبرها وأسكنها الفردوس الأعلى

أبي الغالي أطال الله في عمره بالخير والبركات وحفظه الله ورعاه

زوجتي الغالية، أبنائي الأعزاء وسندي في الحياة، بناتي المؤمنات الغاليات

أسأل الله لهم ولهن النجاح في الدنيا والآخرة

إخوتي وأخواتي وأقربائي، أصدقائي وزملائي في العمل والى كل من يعرفني

إلى الأساتذة الأفاضل وطلبة الهندسة المدنية

إلى كل السالكين طريق العلم والمعرفة

الذين جعلوا الكتاب أنيس والقلم رفيق

إلى كل الكتاب والباحثين والدارسين، الذين أثاروا دروب الإنسانية بجهودهم العلمية

إلى من في القلب سكناهم والذكرى ذكراهم

والفؤاد لن ينساهم

ملخص:

تواجه منطقة حاسي مسعود في جنوب الجزائر تراكمًا كبيرًا للرمال الناتجة عن حفر آبار البترول، مما يؤدي إلى تلوث بيئي يشكل خطراً على الإنسان والطبيعة. إضافة إلى ذلك، تعاني شركات البترول من ندرة الرمال الصالحة للبناء. تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة ديمومة الخرسانة المصنوعة من رمل آبار البترول، من خلال تقييم خصائصها الميكانيكية والفيزيائية قبل وبعد تعرّضها لبيئات عدوانية، ومقارنتها بأنواع أخرى من الرمال الطبيعية المستعملة كشاهد، مثل الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام بولاية المغير ورمل الكتبان الصحراوية لمنطقة حاسي مسعود. تمت الدراسة على نوعين من الخلطات: الأولى تعتمد على رمل آبار النفط بنسبة 100%، والثانية على خلطه بنسب 10% و20% من رمل الكتبان المجاور له، لمحاكاة إمكانية خلطه الميداني غير المقصود. وقد أُقيمت نسبتا 30% و40% بسبب ضعف تدرجهما الحبيبي. استُخدمت تراكيز إسمنتية مختلفة (350، 400، و450 كغ/م³)، مع نسب E/C تتراوح بين 0.55 و0.6، وتم اعتماد التركيز 450 كغ/م³ في التحاليل النهائية لأنه حقق أفضل النتائج. شملت التجارب اختبارات الخصائص الفيزيائية مثل الكثافة الطازجة، الكثافة الصلبة، سرعة الأمواج الصوتية، والانكماش، إضافة إلى خصائص ميكانيكية كمقاومة الضغط والانحناء. كما شملت الدراسة تجارب مرتبطة بديمومة الخرسانة، مثل اكتساب وفقدان الكتلة، مقاومة الهجوم الكبريتي ومقاومة الكلوريد وتجربة الإمتصاص الشعري للماء فضلاً عن تحاليل مجهرية وبنوية مثل DRX، MEB، وEDS، قبل وبعد تعرّض العينات للظروف العدوانية. تمت المعالجة الأولية للعينات في الماء لمدة 28 يوماً، ثم وُضعت في بيئتين مختلفتين: وسط هوائي عادي كشاهد، ووسط حمضي عدواني يحاكي الظروف الواقعية للمياه السطحية الملوثة الصاعدة. وقد تم تصميم هذا الوسط الحمضي استناداً إلى تحاليل ميدانية أُجريت على عدة مناطق من بلدية الوادي، حيث سُجّل أعلى تركيز في منطقة سيدي مستور، ما دفع إلى رفع تركيز الحمض المستعمل في التجربة إلى خمسة أضعاف التركيز الطبيعي للمياه السطحية، وذلك لملاحظة التأثير على مدى 180 يوماً.

أظهرت أبرز النتائج النهائية بعد 180 يوماً أن الخرسانة المنتجة من رمل آبار البترول (بنسبة 100%) حققت مقاومة ضغط بلغت 39.94 ميغاباسكال في الوسط الحمضي مقابل 40.71 ميغاباسكال في الوسط الهوائي، ومقاومة انحناء بلغت 4.23 ميغاباسكال في الوسط الحمضي مقابل 4.53 ميغاباسكال في الوسط الهوائي. أما الخلطات المحتوية على 10% و20% من رمل الكتبان، فقد حافظت هي الأخرى على خصائصها، حيث كانت فروق النتائج بين البيئتين العدوانية والعادية طفيفة. تدل هذه النتائج على قدرة هذه الخرسانة على الصمود في البيئات القاسية، مما يعزز إمكانية استخدامها كحل بديل في المناطق التي تتوفر فيها هذه الرمال والمساهمة في تقليل الأثر البيئي في منطقة حاسي مسعود.

الكلمات المفتاحية: الديمومة، خرسانة الرمل، رمل آبار البترول، سائل الحفر، الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، التلوث البيئي، خرسانة صديقة للبيئة.

Résumé:

La région de Hassi Messaoud, située dans le sud de l'Algérie, connaît une accumulation importante de sable issue des opérations de forage des puits pétroliers, entraînant une pollution environnementale qui présente des risques à la fois pour l'homme et pour la nature. Par ailleurs, les entreprises pétrolières font face à une pénurie de sable conforme aux exigences de la construction. Cette thèse vise à étudier la durabilité du béton élaboré à partir de sable de forage pétrolier en évaluant ses propriétés mécaniques et physiques avant et après exposition à des environnements agressifs, et en le comparant à d'autres sables naturels utilisés comme références, tels que le sable naturel d'Oued Rtem dans la wilaya d'El M'Ghair et le sable de dunes désertiques de la région de Hassi Messaoud. L'étude a été menée sur deux types de formulations : la première utilisant 100 % de sable de forage pétrolier, et la seconde constituée de mélanges incorporant 10 % et 20 % de sable de dunes afin de simuler une éventuelle contamination sur le terrain. Les formulations contenant 30 % et 40 % de sable de dunes ont été exclues en raison de leur mauvaise granulométrie. Différentes teneurs en ciment (350, 400 et 450 kg/m³) ont été utilisées, avec des rapports eau/ciment (E/C) variant entre 0,55 et 0,6. La teneur de 450 kg/m³ a été retenue pour les analyses finales, car elle a donné les meilleurs résultats. Le programme expérimental a inclus des essais portant sur les propriétés physiques telles que la masse volumique à l'état frais, la masse volumique à l'état durci, la vitesse de propagation des ultrasons et le retrait, ainsi que sur les propriétés mécaniques comme la résistance à la compression et à la flexion. L'étude a également comporté des essais de durabilité, notamment la variation de masse (gain et perte), la résistance à l'attaque des sulfates, la résistance à la pénétration des chlorures et l'absorption capillaire de l'eau. En outre, des analyses microstructurales et structurales telles que la diffraction des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectroscopie à dispersion d'énergie (EDS) ont été réalisées avant et après l'exposition des échantillons à des conditions environnementales agressives. La cure initiale a été effectuée dans l'eau pendant 28 jours, après quoi les éprouvettes ont été exposées à deux environnements différents : un environnement aérien normal servant de témoin, et un environnement acide conçu pour simuler les conditions réelles de remontée des eaux de surface polluées. Cet environnement acide a été élaboré sur la base d'analyses de terrain réalisées dans différentes zones de la commune d'El Oued, la concentration la plus élevée ayant été enregistrée dans la région de Sidi Mestour. Par conséquent, la concentration acide utilisée dans l'expérience a été augmentée à cinq fois celle des eaux de surface naturelles afin d'observer les effets sur une période de 180 jours. Les principaux résultats après 180 jours ont montré que le béton constitué de 100 % de sable de forage pétrolier a atteint une résistance à la compression de 39,94 MPa dans l'environnement acide contre 40,71 MPa en milieu aérien, et une résistance à la flexion de 4,23 MPa en milieu acide contre 4,53 MPa en milieu aérien. Les mélanges contenant 10 % et 20 % de sable de dunes ont également bien conservé leurs propriétés, avec des différences faibles entre les environnements agressif et normal.

Ces résultats démontrent la capacité de ce béton à résister à des conditions sévères, ce qui soutient son potentiel d'utilisation comme matériau de construction alternatif dans les régions où ces sables sont disponibles, tout en contribuant à la réduction de l'impact environnemental dans la région de Hassi Messaoud.

Mots-clés

Durabilité, béton de sable, sable de forage pétrolier, fluide de forage, propriétés physiques et mécaniques, pollution environnementale, béton écologique.

Abstract:

The Hassi Messaoud region in southern Algeria is facing a significant accumulation of sand resulting from oil well drilling, which leads to environmental pollution posing risks to both humans and nature. In addition, oil companies are experiencing a shortage of construction-grade sand. This thesis aims to investigate the durability of concrete made from oil well sand by evaluating its mechanical and physical properties before and after exposure to aggressive environments, and comparing it to other natural sands used as references, such as natural sand from Oued Rtem in El M'Ghair province and desert dune sand from the Hassi Messaoud area. The study was conducted on two types of mixtures: the first using 100% oil well sand, and the second involving blends with 10% and 20% dune sand to simulate the potential for unintended field mixing. Mixtures containing 30% and 40% dune sand were excluded due to their poor particle size distribution. Different cement concentrations (350, 400, and 450 kg/m³) were used, with water-to-cement (W/C) ratios ranging between 0.55 and 0.6. The 450 kg/m³ concentration was adopted for the final analyses as it yielded the best results. The experimental program included tests of physical properties such as fresh density, hardened density, ultrasonic pulse velocity, and shrinkage, in addition to mechanical properties like compressive and flexural strength. The study also involved durability-related tests, including mass gain and loss, sulfate attack resistance, chloride penetration resistance, and capillary water absorption. Furthermore, microstructural and structural analyses such as X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were conducted before and after exposing the samples to aggressive environmental conditions.

Initial curing was carried out in water for 28 days, after which the specimens were exposed to two different environments: a normal air environment as a control, and an acidic environment designed to simulate real conditions of rising polluted surface water. This acidic environment was formulated based on field analyses conducted in various areas of the El Oued municipality, with the highest recorded concentration found in the Sidi Mestour area. Consequently, the acid concentration used in the experiment was increased to five times the natural surface water level to observe the effects over a 180-day period.

The key findings after 180 days showed that concrete made from 100% oil well sand achieved a compressive strength of 39.94 MPa in the acidic environment compared to 40.71 MPa in air, and a flexural strength of 4.23 MPa in the acidic environment compared to 4.53 MPa in air. The mixtures containing 10% and 20% dune sand also retained their properties well, with only slight differences between the aggressive and normal environments.

These results indicate the concrete's capacity to withstand harsh conditions, supporting its potential use as an alternative construction material in regions where such sands are available, while also contributing to environmental impact reduction in the Hassi Messaoud region.

Keywords:

Durability, sand concrete, oil well sand, drilling fluid, physical and mechanical properties, environmental pollution, eco-friendly concrete.

قائمة الرموز

SPP	: رمل آبار البترول لمنطقة حاسي مسعود
SDH	: رمل الكتبان لمنطقة حاسي مسعود
SOR	: رمل طبيعي نهري لمنطقة واد الرتم بولاية المغير
SPP5.07%	: رمل آبار البترول يحتوي على 5.07 بالمائة من زيت الحفر
SPP3.91%	= رمل آبار البترول يحتوي على 3.91 بالمائة من زيت الحفر =
SPP3.34%	= رمل آبار البترول يحتوي على 3.34 بالمائة من زيت الحفر =
Ab	: معامل امتصاص للماء
ES	: المكافئ الرملي او معامل النقاوة
MF	: معامل النعومة
Rc	: مقاومة الضغط
Rf	: مقاومة الانحناء
E/C	: نسبة الماء الى الاسمنت
G/S	: نسبة الحصى الى الرمل
AC	: معامل امتصاص الخرسانة المتعلق بالوزن والزمن
Ca	: معامل امتصاص الخرسانة المتعلق بالمساحة والزمن
EN	: المعيار الاوروبي
NF P	: المعيار الفرنسي
MEB	: المجهر الالكتروني الماسح
DRX	: التحليل بحيود الاشعة السينية
EDS	: التحليل الكيميائي الطيفي بالأشعة السينية المشتتة للطاقة
CEM I 42.5 N SR3 LH	: اسمنت بورتلندي له مقاومة عالية للكبريتات وحرارة امهته منخفضة
H ₂ SO ₄	: حمض الكبريتيد
HCL	: حمض كلور الماء

الفهرس

V	فهرس المحتوى
XI	فهرس الأشكال
XVI	فهرس الجداول
XVII	فهرس الصور
	المقدمة العامة

الفصل الأول

عموميات حول حفر آبار البترول

1	1.1. مدخل
1	2.1. حقل حاسي مسعود
2	1.2.1. لمحة تاريخية عن حقل حاسي مسعود
2	2.2.1. تعريف البئر
3	3.2.1. تعريف النفط أو البترول
3	4.2.1. طبيعة حقل حاسي مسعود
3	3.1. مواصفات حفر البئر
4	4.1. أنواع الحفر
4	1.4.1. الحفر المطرقي
4	2.4.1. الحفر الدوراني
4	3.4.1. الحفر باستخدام محركات توربينية
4	5.1. سائل الحفر
4	1.5.1. تعريف
5	2.5.1. أنواع سوائل الحفر
5	1.2.5.1. سائل الحفر ذو أساس مائي
5	2.2.5.1. سائل الحفر ذو أساس غازي أو هوائي أو على شكل رغوة
5	3.5.1. مهام سائل الحفر
6	4.5.1. مكونات سائل الحفر
7	5.5.1. التركيب الكيميائي لسائل الحفر
7	6.5.1. خصائص سائل الحفر
8	6.1. حجم الرمال الملوثة المستخرجة من بئر واحد
11	7.1. أنواع المعالجات
11	1.7.1. معالجة سوائل الحفر
11	2.7.1. المعالجة الميكانيكية المتصلة
11	3.7.1. المعالجة الكيميائية
11	8.1. الأهداف الأساسية من المعالجة الميكانيكية والكيميائية
12	9.1. معالجة رمال وفتات الحفر
12	1.9.1. المعالجة الكيميائية غير المتصلة (التصلب-الاستقرار)
12	2.9.1. المعالجة الحرارية
12	10.1. نتائج تحليل التربة المعالجة حرارياً
13	11.1. التأثيرات والأضرار على البيئة والإنسان
16	خلاصة

الفصل الثاني

عموميات حول ديمومة خرسانة الرمل

المطلب الأول: تركيبة خرسانة الرمل

18	1.1.1. II المدخل
19	2.1.1. II تاريخ خرسانة الرمل
20	3.1.1. II استعمالات خرسانة الرمل في العالم
20	1.3.1.1. II الإتحاد السوفياتي

21	..... 2.3.1.II خرسانة الرمل في فرنسا
22	..... 3.3.1.II خرسانة الرمل في الخليج العربي
22	..... 4.3.1.II خرسانة الرمل في الشمال الإفريقي
23	..... 4.1. II مكونات وصياغة خرسانة الرمل
23	..... 1.4.1.II مدخل
23	..... 2.4.1.II مبدأ تركيبية الخرسانة
24	..... 1.2.4.1.II تأثير النسبة G/S على خصائص الخرسانة
25	..... 2.2.4.1.II تأثير النسبة E/C على خصائص الخرسانة
28	..... 5.1. II مكونات خرسانة الرمل
28	..... 1.5.1.II الاسمنت
28	..... 2.5.1.II الرمل
28	..... 3.5.1.II الماء
29	..... 4.5.1.II Les adjuvants الاضافات
29	..... 1.4.5.1.II دور المميغات أو الملدنات
30	..... 5.5.1.II المواد المضافة (Les ajouts)
30	..... 1.5.5.1.II Filler الحشو
30	..... 2.5.5.1.II Gravillons الحصى الصغير
30	..... 3.5.5.1.II Fibres الألياف
30	..... 6.1. II صياغة خرسانة الرمل
31	..... 1.6.1.II مبدأ صياغة خرسانة الرمل
31	..... 2.6.1.II بعض طرق صياغة خرسانة الرمل
31	..... 1.2.6.1.II الطريقة النظرية لصياغة خرسانة الرمل
34	..... 2.2.6.1.II الطريقة التجريبية لصياغة خرسانة الرمل
37	..... 7.1. II خصائص خرسانة الرمل
37	..... 1.7.1.II خصائص خرسانة الرمل قبل التصلب
37	..... 1.1.7.1.II Compacité التراصية
40	..... 2.1.7.1.II Maniabilité قابلية الانسياب
41	..... 2.7.1.II خصائص خرسانة الرمل بعد التصلب
41	..... 1.2.7.1.II الخصائص الميكانيكية
45	..... 2.2.7.1.II معامل المرونة
47	..... 3.2.7.1.II Le retrait الانكماش
49	..... 4.2.7.1.II Le fluage الزحف
50	..... 5.2.7.1.II Durabilité الديمومة
51	..... 6.2.7.1.II الخاصية الشعرية
51	..... 7.2.7.1.II La perméabilité النفاذية
51	..... 8.1. II مزايا وميادين استعمال خرسانة الرمل
51	..... 1.8.1.II قابلية التشغيل L'ouvrabilité
52	..... 2.8.1.II نوعية المظهر :Qualité d'aspect
52	..... 3.8.1.II Homogénéité-Cohésion التجانس والتماسك
52	..... 4.8.1.II مصدر محلي للمواد الأولية
54	..... الخلاصة
	المطلب الثاني: عموميات حول الديمومة
55	..... 1.2.II مدخل
55	..... 2.2.II تعريف الديمومة
56	..... 3.2 II تصلب الخرسانة – إمارة الإسمنت
57	..... 1.3.2.II إمارة ألومينات ثلاثي الكالسيوم C3A
58	..... 2.3.2.II إمارة سليكات الكالسيوم

58	..... 3.3.2.II إماهة مركب C4AF
59	..... 4.2 II تآكل الإسمنت المتصلب
59	..... 1.4.2.II العناصر الكيمائية الضارة
59	..... 2.4.2.II عمل العناصر الكيمائية الضارة
60	..... 3.4.2.II آلية التفاعل بين العناصر الضارة والخرسانة
60	..... 5.2 II تدهور الخرسانة
60	..... 1.5.2.II فعل ثاني أكسيد الكربون - الكربنة
61	..... 1.1.5.2.II آلية انهيار الخرسانة بفعل الكربنة
64	..... 2.1.5.2.II عمق الكربنة
64	..... 3.1.5.2.II العناصر المؤثرة في الكربنة
67	..... 2.5.2.II فعل الكلوريدات
67	..... 1.2.5.2.II آلية تدهور الخرسانة بفعل الكلوريدات
70	..... 2.2.5.2.II انتقال الكلوريدات
71	..... 3.2.5.2.II العوامل المؤثر في عملية التآكل
72	..... 3.5.2.II فعل السيلفات " الكبريتات "
72	..... 1.3.5.2.II آلية تأثير الكبريتات SO ₂
75	..... 2.3.5.2.II حيادية الخرسانة عند تأثير SO ₂
76	..... 3.3.5.2.II العوامل المؤثرة على فعل الكبريتات في الخرسانة
78	..... 6.2. II انواع الاترنجيت ETTRINGITE
79	..... 7.2. II أسباب تلف وتدهور الخرسانة عموما
81	..... 8.2. II مقاومة الخرسانة للتلف
81	..... 9.2. II المسامية والنفاذية و الامتصاص
83	..... 10.2 II تآكل الحديد
83	..... 1.10.2.II تعريف تآكل الحديد أو الصدأ
83	..... 2.10.2.II أسباب حدوث تآكل الحديد وصداه:
83	..... 3.10.2.II آلية التآكل الحديد
85	..... 1.3.10.2.II الحديد المغمور داخل مركبات إسمنتية جيدة
86	..... 2.3.10.2.II الحديد المغمور داخل مركبات إسمنتية متآكلة
87	..... 11.2 II تجارب وتقنيات الديمومة
87	..... 1.11.2.II المشاهدات الضوئية macroscopiques
87	..... 2.11.2.II المشاهدات الإلكترونية microscopiques
88	..... 3.11.2.II التجارب الأخرى
88	..... 12.2 II أنواع المياه في الواحات وظاهرة صعود المياه
89	..... 13.2 II أنواع المياه الموجودة في الواحات
89	..... 14.2 II تعريف ظاهرة صعود المياه
89	..... 15.2 II التعريف بمشكل صعود المياه
90	..... 1.15.2.II النظام التقليدي
90	..... 2.15.2.II النظام الحديث
90	..... 16.2 II تاريخ مشكل صعود المياه
90	..... 17.2 II مراحل مشكل صعود المياه
90	..... 1.17.2.II المرحلة الأولى
91	..... 2.17.2.II المرحلة الثانية
91	..... 18.2 II أسباب مشكلة صعود المياه
91	..... 1.18.2.II الأسباب الطبيعية
92	..... 2.18.2.II الأسباب البشرية
92	..... 3.18.2.II أسباب زراعية
93	..... 19.2 II آثار مشكلة صعود المياه
93	..... 1.19.2.II أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الزراعي

93	..... أثر مشكلة صعود المياه على الجانب العمراني	2.19.2.II
95	..... أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي	3.19.2.II
96	..... أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الزراعي	4.19.2.II
96	..... تحاليل المياه الصاعدة	20.2.II
99	..... ملاحظة حول العناصر المكونة لطبقة المياه الصاعدة	21.2.II
99	..... مواصفات ماء الحفظ	22.2.II
101	..... الخلاصة	

الفصل الثالث

خصائص المواد المستعملة وصياغة خرسانة الرمل

103	..... مدخل	1. III
103	..... خصائص المواد المستعملة	2. III
103	..... الرمل	3. III
104	..... الرمل الطبيعي	1.3.III
105	..... رمل الكثبان	2.3.III
105	..... أماكن التوزيع	3.3.III
106	..... رمل آبار البترول	4.3.III
108	..... طرق التعرف على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل	5.3.III
109	..... الخصائص الكيميائية والفيزيائية للرمال المدروسة	4. III
109	..... الخصائص الكيميائية	1.4.III
113	..... الخصائص الفيزيائية	2.4.III
113	..... 1.2.4.II الكتلة الحجمية	
113	..... 1.1.2.4.III الكتلة الحجمية الظاهرية	
114	..... 2.1.2.4.III الكتلة الحجمية المطلقة	
115	..... 2.2.4.III معامل امتصاص الماء (Coefficient d'absorption d'eau)	
116	..... 3.2.4.III المكافئ الرملي (Equivalent de Sable)	
116	..... 4.2.4.III التدرج الحبيبي (Analyse granulométrique)	
121	..... 5.2.4.III معيار النعومة (Module de finesse)	
123	..... 5. III المشاهدة الإلكترونية والمعالجة بالأشعة	
123	..... 1.5.III التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD)	
127	..... 2.5.III الملاحظة المجهرية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (MEB)	
130	..... 6. III الإسمنت	
130	..... 1.6.III اسمنت من نوع CEM I 42.5 N SR3 LH	
130	..... 1.1.6.III المساحة السطحية للإسمنت Surface spécifique	
131	..... 2.1.6.III زمن التصلب	
132	..... 3.1.6.III الخصائص الكيميائية	
133	..... 4.1.6.III مقاومة الضغط	
134	..... 5.1.6.III المعامل الهيدروليكي Indice d'hydraulicité	
134	..... 7. III الماء	
135	..... 1.7.III خواص الماء المستعمل في الخرسانة	
135	..... 2.7.III التركيبة الكيميائية للماء المستخدم	
135	..... 8. III صياغة خرسانة الرمل	
135	..... 1.8.III صياغة وتخضير الملاط النظامي	
136	..... 2.8.III صياغة خرسانة الرمل محل الدراسة والعادية (الشاهد)	
136	..... 3.8.III تجربة التشغيلية	
139	..... 4.8.III تركيبة الخرسانة المدروسة	
139	..... 5.8.III تحضير وشكل العينة	
140	..... 6.8.III طرق التجارب للعينات الخرسانية	
141	..... 1.6.8.III تجربة الكتلة الحجمية	

142	..... 2.6.8.III تجربة مقاومة الانحناء
143	..... 3.6.8.III تجربة مقاومة الضغط
144	..... 4.6.8.III تجربة الانكماش (Essai de rétrait)
145	..... 5.6.8.III تجربة امتصاص الماء (الخاصية الشعرية)
147	..... 6.6.8.III تجربة إنتشار الموجات فوق الصوتية (Essai ultrasonique)
149	..... الخلاصة

الفصل الرابع

مختلف سلوك الخرسانة المدروسة

152	..... 1. IV مدخل
152	..... 2. IV نتائج الكتلة الحجمية
152	..... 1.2.IV نتائج الكتلة الحجمية الطازجة
153	..... 2.2.IV نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة
154	..... 3.2.IV مناقشة نتائج الكتلة الحجمية الطازجة والمتصلبة
156	..... 3. IV نتائج مقاومة الانحناء
156	..... 1.3.IV تأثير نوع وتركيب الرمل
158	..... 2.3.IV تأثير محتوى الزيت في الرمل
159	..... 3.3.IV تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه
159	..... 1.3.3.IV رمل آبار البترول (SPP)
160	..... 2.3.3.IV رمل الكتبان لمنطقة حاسي مسعود (SDH)
160	..... 3.3.3.IV الرمل المخروط 90 % رمل آبار البترول + 10 (SPP) % رمل الكتبان المجاور (SDH)
161	..... 4.3.3.IV الرمل المخروط 80 % رمل آبار البترول + 20 (SPP) % رمل الكتبان المجاور (SDH)
161	..... 5.3.3.IV الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR)
162	..... 4.3.IV مناقشة نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المختلفة
164	..... 4. IV نتائج مقاومة الضغط
164	..... 1.4.IV تأثير نوع وتركيب الرمل
165	..... 2.4.IV تأثير محتوى الزيت في الرمل
167	..... 3.4.IV تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه
167	..... 1.3.4.IV رمل آبار البترول (SPP)
167	..... 2.3.4.IV رمل الكتبان لمنطقة حاسي مسعود (SDH)
168	..... 3.3.4.IV الرمل المخروط 90 % رمل آبار البترول + 10 (SPP) % رمل الكتبان المجاور (SDH)
168	..... 4.3.4.IV الرمل المخروط 80 % رمل آبار البترول + 20 (SPP) % رمل الكتبان المجاور (SDH)
169	..... 5.3.4.IV الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR)
169	..... 4.4.IV مناقشة نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المختلفة
172	..... 5. IV نتائج تجربة الانكماش
172	..... 1.5.IV تأثير نوع وتركيب وخصائص الرمل حسب التركيز الاسمطي
177	..... 2.5.IV مناقشة نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المختلفة
179	..... 6. IV تجربة الاموج الصوتية
179	..... 1.6.IV تأثير نوع وتركيب وخصائص الرمل حسب التركيز الاسمطي
181	..... 2.6.IV مناقشة نتائج تجربة الاموج الصوتية لخرسانة الرمل المختلفة
184	..... 7. IV الديمومة
184	..... 1.7.IV الوسط الحافظ
185	..... 2.7.IV آلية التنفيذ
186	..... 3.7.IV التجارب الخاصة بديمومة الخرسانة
186	..... 1.3.7.IV تجربة التغير في الكتلة الحجمية
186	..... 1.1.3.7.IV نتائج تغيير الكتلة الحجمية المدونة أثناء الغمر (إكتساب الكتلة)
192	..... 2.1.3.7.IV نتائج تغيير الكتلة الحجمية المدونة أثناء الغمر (فقدان الكتلة)
198	..... 3.1.3.7.IV مناقشة نتائج تجربة تغيير الكتلة

202	4.1.3.7.IV طبيعة الرواسب الملحية المتكونة على العينات
204	2.3.7.IV تجربة امتصاص الماء
204	1.2.3.7.IV نتائج تجربة إمتصاص الماء المتعلقة بالوزن والزمن
209	2.2.3.7.IV نتائج تجربة إمتصاص الماء المتعلقة بالمساحة والزمن
214	3.2.3.7.IV مناقشة نتائج تجربة إمتصاص الماء
217	3.3.7.IV المقاومة الميكانيكية لخرسانة الرمل المختلفة
217	1.3.3.7.IV مقاومة الانحناء
220	2.3.3.7.IV مقاومة الضغط
224	3.3.3.7.IV نتائج المقاومة الميكانيكية لخرسانة الرمل المختلفة
226	4.3.7.IV المشاهدات البصرية
226	1.4.3.7.IV مشاهدات ضوئية
227	2.4.3.7.IV مشاهدات إلكترونية
231	3.4.3.7.IV مناقشة المشاهدات الإلكترونية
232	5.3.7.IV الاختبار بالأشعة
233	1.5.3.7.IV تحليل طيف الأشعة السينية الناتجة عن الإلكترونات (EDS)
236	2.5.3.7.IV الحيود بالأشعة السينية (DRX)
240	الخلاصة
241	الخلاصة العامة والتوصيات
245	قائمة المصادر والمراجع
259	الملاحق

فهرس الأشكال

الفصل الأول

- الشكل I. 1. توزيع المناطق داخل حفل حاسي مسعود. 2
 الشكل I. 2. دورة سائل الحفر على موقع 5
 الشكل I. 3. نموذج طبقي وتقني لبئر بمنطقة جنوب بركين يوضح التتابع الجيولوجي وخصائص الحفر. 9
 الشكل I. 4. نموذج طبقي وتقني لبئر بمنطقة البيزي يوضح التتابع الجيولوجي وخصائص الحفر. 10

الفصل الثاني

- الشكل II. 1. أثير النسبة على خصائص الخرسانة 24
 الشكل II. 2. تأثير النسبة E/C على المسامية. 26
 الشكل II. 3. تأثير النسبة E/C على مقاومة الانحناء. 27
 الشكل II. 4. تأثير النسبة E/C على مقاومة الضغط. 27
 الشكل II. 5. تأثير المسامية بمعامل النعومة. 38
 الشكل II. 6. تأثير بعد الحبيبات الأصغري D على مسامية الخرسانة باستعمال حجمين مختلفين D من الرمل. 39
 الشكل II. 7. التراصية بدلالة تركيز الاسمنت 39
 الشكل II. 8. التشغيلية بدلالة النعومة، تأثير مقدار الدقائق 40
 الشكل II. 9. الانكماش الكلي. 48
 الشكل II. 10. الزحف الكلي 49
 الشكل II. 11. منحني توزيع المسامية بدلالة قطر الفراغات 50
 شكل II. 12. التغيرات الحاصلة في كميات البورتلانديت و كربونات الكالسيوم أثناء التفاعل 61
 الشكل II. 13. يوضح آلية كربنة الإسمنتالبورتلاندي 62
 الشكل II. 14. يوضح نموذج للخرسانة اثناء الكربنة 62
 الشكل II. 15. تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت E/C على عمق طبقة الكربنة خلال الزمن 65
 الشكل II. 16. يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت على عمق الكربنة بدلالة الزمن. 66
 الشكل II. 17. شكل التآكل بفعل لكلوريدات 69
 الشكل II. 18. يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت ونسبة C3A فيه على نسبة تآكل الخرسانة. 77
 الشكل II. 19. مقاومة الملاط بخبث الأفران لفعل الكلوريدات 77
 الشكل II. 20. آلية التخریب الكيميائي في الخرسانة 79
 الشكل II. 21. يوضح أشكال المسامية و أنواع النفاذية في الخرسانة 82
 الشكل II. 22. يوضح آلية التآكل الحديد 84
 الشكل II. 23. يوضح آلية التشقق في الخرسانة بفعل صدأ التسليح 85
 الشكل II. 24. يوضح مختلف الطبقات المحيطة بالتسليح داخل الخرسانة المنهارة 87

الفصل الثالث

- الشكل III. 1. منحني التدرج الحبيبي للعينه الأولى رمل آبار البترول 2
 الشكل III. 2. منحني التدرج الحبيبي للعينه الثانية رمل الكتبان المجاور لمنطقة حاسي مسعود 118
 الشكل III. 3. منحني التدرج الحبيبي للعينه الثالثة رمل طبيعي لمنطقة واد الرتام 119
 الشكل III. 4. منحني التدرج الحبيبي للعينه الرابعة 90% رمل آبار البترول + 10% رمل الكتبان المجاور 119
 الشكل III. 5. منحني التدرج الحبيبي للعينه الخامسة 80% رمل آبار البترول + 20% رمل الكتبان المجاور 120
 الشكل III. 6. منحني التدرج الحبيبي للعينه السادسة 70% رمل آبار البترول + 30% رمل الكتبان المجاور 120
 الشكل III. 7. منحني التدرج الحبيبي للعينه السابعة 60% رمل آبار البترول + 40% رمل الكتبان المجاور 121
 الشكل III. 8. تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) لحبيبات الرمل المستخرجة من آبار النفط عند نسب زيت مختلفة 124
 الشكل III. 9. منحني المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل الكتبان 125
 الشكل III. 10. منحني المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل وادي الرتم 126

- الشكل III 11. يوضح آلية التحطيم بالانحناء 142
 الشكل III 12. يوضح آلية التحطيم بالضغط 143
 الشكل III 13. يوضح آلة الانكماش 144
 الشكل III 14. رسم تخطيطي يوضح تجربة امتصاص الماء بالخاصية الشعرية 147
 الشكل III 15. تجربة الأمواج فوق الصوتية (A) مبدأ التجربة (B) الجهاز المستخدم 148

الفصل الرابع

- الشكل IV 1. نتائج الكتلة الحجمية الطازجة لخرسانة الرمل المختلفة حسب التركيز الاسمنتي 152
 الشكل IV 2. نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة لخرسانة الرمل المختلفة حسب العمر للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³ 153
 الشكل IV 3. نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة لخرسانة الرمل المختلفة حسب العمر للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³ 153
 الشكل IV 4. نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة لخرسانة الرمل المختلفة حسب العمر للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ 154
 الشكل IV 5. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³ 156
 الشكل IV 6. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³ 157
 الشكل IV 7. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 450كغ/م³ 157
 الشكل IV 8. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³ 158
 الشكل IV 9. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³ 158
 الشكل IV 10. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 450كغ/م³ 159
 الشكل IV 11. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل ابار البترول (SPP) حسب تركيز الاسمنت 159
 الشكل IV 12. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود (SDH) حسب تركيز الاسمنت 160
 الشكل IV 13. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة 90 % رمل (SPP) + 10 % رمل (SDH) حسب تركيز الاسمنت 160
 الشكل IV 14. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة 80 % رمل (SPP) + 20 % رمل (SDH) حسب تركيز الاسمنت 161
 الشكل IV 15. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR) حسب تركيز الاسمنت 161
 الشكل IV 16. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³ 164
 الشكل IV 17. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³ 164
 الشكل IV 18. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 450كغ/م³ 165
 الشكل IV 19. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³ 165
 الشكل IV 20. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³ 166
 الشكل IV 21. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 450كغ/م³ 166
 الشكل IV 22. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب تركيز الاسمنت 167
 الشكل IV 23. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود حسب تركيز الاسمنت 167
 الشكل IV 24. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة 90 % رمل (SPP) + 10 % رمل (SDH) حسب تركيز الاسمنت 168
 الشكل IV 25. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة 80 % رمل (SPP) + 20 % رمل (SDH) حسب تركيز الاسمنت 168
 الشكل IV 26. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR) حسب تركيز الاسمنت 169
 الشكل IV 27. منحى تطور الانكماش حسب الزمن لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع و تركيبة وخصائص الرمل 172
 الشكل IV 28. نتائج الانكماش بعد 60 يوم لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع و تركيبة وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³ 173
 الشكل IV 29. منحى تطور الانكماش حسب الزمن لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع و تركيبة وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³ 173
 الشكل IV 30. نتائج الانكماش بعد 60 يوم لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع و تركيبة وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³ 174
 الشكل IV 31. منحى تطور الانكماش حسب الزمن لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع و تركيبة وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ 174
 الشكل IV 32. نتائج الانكماش بعد 60 يوم لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع و تركيبة وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ 175
 الشكل IV 33. منحى تطور الانكماش حسب الزمن لمختلف التركيبات الخرسانية 176
 الشكل IV 34. نتائج مقارنة الانكماش في 60 يوم لمختلف التركيبات الخرسانية حسب كل تركيز اسمنتي 176

الشكل IV. 35. نتائج سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م ³	179
الشكل IV. 36. نتائج سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م ³	180
الشكل IV. 37. نتائج سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م ³	180
الشكل IV. 38. نتائج مقارنة سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب التركيز الاسمنتي 181	181
الشكل IV. 39. منحني تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 350 كغ/م ³	187
الشكل IV. 40. منحني تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 400 كغ/م ³	187
الشكل IV. 41. منحني تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 450 كغ/م ³	188
الشكل IV. 42. منحني تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب كل التركيز الاسمنتي 188	188
الشكل IV. 43. نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 350	189
الشكل IV. 44. نسبة إكتساب الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 350	189
الشكل IV. 45. نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 400	190
الشكل IV. 46. نسبة إكتساب الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 400	190
الشكل IV. 47. نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450	191
الشكل IV. 48. نسبة إكتساب الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450	191
الشكل IV. 49. مقارنة نسبة تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 192	192
الشكل IV. 50. منحني تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 350 كغ/م ³	192
الشكل IV. 51. منحني تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 400 كغ/م ³	193
الشكل IV. 52. منحني تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 450 كغ/م ³	193
الشكل IV. 53. منحني تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب كل التراكيز الاسمنتي 194	194
الشكل IV. 54. نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 350	194
الشكل IV. 55. نسبة فقدان الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 350	195
الشكل IV. 56. نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 400	195
الشكل IV. 57. نسبة فقدان الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 400	196
الشكل IV. 58. نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450	196
الشكل IV. 59. نسبة فقدان الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450	197
الشكل IV. 60. مقارنة نسبة تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 197	197
الشكل IV. 61. منحني المعالجة بأشعة DRX للرواسب الملحية على العينة (SPP) بتركيز 450 كغ/م ³	202
الشكل IV. 62. منحني بياني يُظهر تطور نسبة امتصاص الماء عبر الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي 204	204
الشكل IV. 63. منحني بياني يُبرز تطور نسبة امتصاص الماء مع مرور الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني. 204	204
الشكل IV. 64. مقارنة بين نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني. 205	205
الشكل IV. 65. منحني بياني يُظهر تطور نسبة امتصاص الماء عبر الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي 205	205
الشكل IV. 66. منحني بياني يُبرز تطور نسبة امتصاص الماء مع مرور الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني. 206	206
الشكل IV. 67. مقارنة بين نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني. 206	206
الشكل IV. 68. منحني بياني يُظهر تطور نسبة امتصاص الماء عبر الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي 207	207
الشكل IV. 69. منحني بياني يُبرز تطور نسبة امتصاص الماء مع مرور الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني. 207	207

الشكل IV. 70 مقارنة بين نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.	208
الشكل IV. 71 مقارنة في نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة بعد تعريضها لمدة 72 ساعة لوسط حمضي عدواني، وذلك باختلاف التراكيز الإسمنتية المستخدمة في الخلط.	208
الشكل IV. 72 منحني بياني يُظهر تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي.	209
الشكل IV. 73 منحني بياني يُبرز تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.	209
الشكل IV. 74 مقارنة بين معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.	210
الشكل IV. 75 منحني بياني يُظهر تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي.	210
الشكل IV. 76 منحني بياني يُبرز تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.	211
الشكل IV. 77 مقارنة بين معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.	211
الشكل IV. 78 منحني بياني يُظهر تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي.	212
الشكل IV. 79 منحني بياني يُبرز تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.	212
الشكل IV. 80 مقارنة بين معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.	213
الشكل IV. 81 مقارنة في معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة بعد تعريضها لمدة 72 ساعة لوسط حمضي عدواني، وذلك باختلاف التراكيز الإسمنتية المستخدمة في الخلط.	213
الشكل IV. 82 منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الانحناء عبر الزمن لخرسانة رمل أبار البترول للتركيز الاسمطي 350 كغ/م ³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني.	217
الشكل IV. 83 منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الانحناء عبر الزمن لخرسانة رمل أبار البترول للتركيز الاسمطي 400 كغ/م ³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني.	217
الشكل IV. 84 منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الانحناء عبر الزمن لخرسانة رمل أبار البترول للتركيز الاسمطي 450 كغ/م ³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني.	218
الشكل IV. 85 مقارنة مقاومة الانحناء لخرسانة رمل (SPP) ذات تركيز إسمنتي 350 كغ/م ³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن.	218
الشكل IV. 86 مقارنة مقاومة الانحناء لخرسانة رمل (SPP) ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م ³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن.	219
الشكل IV. 87 مقارنة مقاومة الانحناء لخرسانة رمل (SPP) ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م ³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن.	219
الشكل IV. 88 مقارنة بين مقاومة الانحناء لخرسانة رمل (SPP) والخرسانات المرجعية الأخرى حسب تركيز الإسمنت عند عمر 180 يوماً.	220
الشكل IV. 89 منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الضغط عبر الزمن لخرسانة رمل أبار البترول للتركيز الاسمطي 350 كغ/م ³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني.	220
الشكل IV. 90 منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الضغط عبر الزمن لخرسانة رمل أبار البترول للتركيز الاسمطي 400 كغ/م ³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني.	221
الشكل IV. 91 منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الضغط عبر الزمن لخرسانة رمل أبار البترول للتركيز الاسمطي 450 كغ/م ³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني. خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.	
الشكل IV. 92 مقارنة مقاومة الضغط لخرسانة رمل (SPP) ذات تركيز إسمنتي 350 كغ/م ³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن.	222

الشكل IV. 93. مقارنة مقاومة الضغط لخرسانة رمل (SPP) ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدوانى عبر الزمن 222

الشكل IV. 94. مقارنة مقاومة الضغط لخرسانة رمل (SPP) ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدوانى عبر الزمن 223

الشكل IV. 95. مقارنة بين مقاومة الضغط لخرسانة رمل (SPP) والخرسانات المرجعية الأخرى حسب تركيز الإسمنت عند عمر 180 يوماً 223

الشكل IV. 96. منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³، حُفظت في الهواء لمدة 180 يوماً. 233

الشكل IV. 97. منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في الهواء لمدة 180 يوماً. 233

الشكل IV. 98. منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³، حُفظت في محلول عدواني لمدة 180 يوماً. 234

الشكل IV. 99. منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في محلول عدواني لمدة 180 يوماً. 234

الشكل IV. 100. منحنى تحليل DRX لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في الهواء لمدة 180 يوماً. 237

الشكل IV. 101. منحنى تحليل DRX لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في محلول عدواني لمدة 180 يوماً. 237

فهرس الجداول

الفصل الأول

- الجدول I. 1 كمية الرمال المستخرجة أثناء الحفر حسب عمق البئر. 8
 الجدول I. 2 نتائج تحليل التربة المعالجة حراريا من طرف شركة MI-SWACO. 13
 الجدول I. 3 بين كيفية انتقال التلوث الى التربة. 15

الفصل الثاني

- الجدول II. 1 يعطي المقدار الأدنى من الإسمنت بدلالة D. 25
 الجدول II. 2 أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل. 36
 الجدول II. 3 أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل قام بها بعض المغاربة. 37
 الجدول II. 4 يوضح التدرج الحبيبي للرمل المستعمل في تركيبات خرسانة رمل بعض المغاربة. 37
 الجدول II. 5 التراصية العظمى بدلالة DMAX. 40
 الجدول II. 6 نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات CHAOUCH لخرسانة الرمل. 42
 الجدول II. 7 نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات GUENOUN لخرسانة الرمل. 42
 الجدول II. 8 نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات KETTAB لخرسانة الرمل. 43
 الجدول II. 9 نتائج مقاومة الشد لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال CHAOUCH. 44
 الجدول II. 10 نتائج مقاومة الشد لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال GUENOUN. 44
 الجدول II. 11 نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال. 44
 الجدول II. 12 نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال CHAOUCH. 46
 الجدول II. 13 نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال BATATA و NAFA. 46
 الجدول II. 14 أهم أنواع الانكماش. 48
 الجدول II. 15 المركبات الرئيسية للإسمنت البورتلاندي. 56
 الجدول II. 16 المركبات الكيميائية للإسمنت البورتلاندي. 57
 الجدول II. 17 تحاليل المياه الصاعدة. 97
 الجدول II. 18 تعريف بمواضع المياه الصاعدة التي تم تحاليلها. 98
 الجدول II. 19 المواصفات اللازمة للماء المخصص لحفظ الخرسانة بعد صبها. 99
 جدول II. 20 خصائص الماء الطبيعي وتعريف درجة بعض العناصر الخطورة. 99
 جدول II. 21 خصائص التربة وتحديد درجة الخطورة. 100
 جدول II. 22 أنواع الإسمنت المستعمل حسب خطورة التربة والماء. 100

الفصل الثالث

- الجدول III. 1 يبين النسب المئوية للمكونات الكيميائية في الرمل محل الدراسة. 109
 الجدول III. 2 يبين النسب المئوية للعناصر الكيميائية في الرمل محل الدراسة. 110
 الجدول III. 3 يبين محتوى الزيت المُحدد بواسطة التقطير في عينات رمل آبار البترول. 111
 الجدول III. 4 يبين نتائج تحليل ثلاث عينات من رمل آبار البترول للكشف عن المعادن الثقيلة. 112
 الجدول III. 5 الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة لرم (SPP) ورم (SDH) ورم (SOR) وبعض التركيبات المختلطة. 114
 الجدول III. 6 النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء AB. 115
 الجدول III. 7 النسب المئوية للمكافئ الرمي (ES). 116
 الجدول III. 8 معيار النعومة لكل عينة. 122
 الجدول III. 9 التحليل الكيميائي للإسمنت (CEM I 42.5 N SR3 LH). 132
 الجدول III. 10 التحليل الكيميائي والمعدني للإسمنت (CEM I 42.5 N SR3 LH). 133
 الجدول III. 11 التركيبة الكيميائية للماء المستعمل. 135
 الجدول III. 12 تصنيف الخرسانة وفق التشغيلية. 137
 الجدول III. 13 نتائج تجربة التشغيلية. 138
 الجدول III. 14 تركيبة خرسانة الرمل محل الدراسة والرمل الشاهد. 139

فهرس الصور

الفصل الأول

- 13 الصورة I 1 صورة المستنقع قبل عملية الحفر.
 14 الصورة I 2 صورة المستنقع بعد عملية الحفر.

الفصل الثاني

- 19 الصورة II 1 منارة بور سعيد [13]. الصورة 1 II: منارة بور سعيد .
 21 الصورة II 2. ميترو الأنفاق (SAINT-PETERSBOURG) .
 23 الصورة II 3. العوارض بخرسانة الرمل مصنع بني صاف.
 69 الصورة II 4. تآكل حديد التسليح في الخرسانة
 78 الصورة II 5. تمثيل البنية الداخلية لمركبات الإسمنت
 93 الصورة II 6. آثار ظاهرة صعود المياه على الجانب الزراعي
 94 الصورة II 7. توضح بعض مظاهر صعود المياه وتأثيرها على العمران .
 94 الصورة II 8. يوضح تدهور بعض المباني الجبسية نتيجة صعود المياه
 95 الصورة II 9. يوضح بعض أثر صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي

الفصل الثالث

- 106 صورة III 1. موقع العروق والواحات الجزائرية .
 107 صورة III 2. رمل آبار البترول.
 108 صورة III 3. خريطة توضح موقع الدراسة.
 127 الصورة III 4. مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل آبار البترول
 128 الصورة III 5. مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكثبان
 129 الصورة III 6. مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB للرمل النهري لوادي الرتام
 137 الصورة III 7. جهاز تجربة التشغيلية

الفصل الرابع

- 203 الصورة IV 1. المشاهدات الماسح الإلكتروني MBE الرواسب الملحية لعينات SPP 450
 226 الصورة IV 2. العينات الشاهد التي لم تحفظ في الوسط العدواني
 227 الصورة IV 3. العينات التي حفظت في الوسط العدواني
 227 الصورة IV 4. مشاهدة بصرية لجوانب العينات المتأثرة بوسط عدواني
 228 الصورة IV 5. البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 400 كغ/م³
 228 الصورة IV 6. البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 450 كغ/م³
 229 الصورة IV 7. توضح الصور البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 400 كغ/م³
 230 الصورة IV 8. توضح الصور البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 450 كغ/م³

المقدمة العامة

المقدمة العامة

في البلدان النامية مثل الجزائر، تُعد الخرسانة حجر الزاوية في تطوير البنية التحتية، حيث تلبي احتياجات البناء التقليدي والحديث على حد سواء. وبما أن الركام يشكل ما يقارب ثلثي تركيبة الخرسانة، فإن توفره وجودته يعتبران عاملين حاسمين. إلا أن الركام يُعد من الموارد غير المتجددة، واستخراجه ونقله يُسبب اضطرابًا كبيرًا للمناظر الطبيعية، مما يثير مخاوف بيئية وإيكولوجية خطيرة [1-7].

تواجه الجزائر تحديًا متزايدًا بسبب محدودية موارد الركام الطبيعي، وخاصة الرمال المخصصة للبناء [8-11]. وقد يعيق هذا النقص الرؤية طويلة الأمد للبلاد في التوسع الحضري المستدام وتطوير البنية التحتية [12]. وفي الوقت نفسه، تستمر الحاجة العالمية إلى الرمال في الارتفاع، لا سيما في الدول النامية، مما يزيد الضغط على الموارد الطبيعية الشحيحة أصلًا.

من ناحية أخرى، تنتج صناعة النفط الجزائرية كميات هائلة من الرمال كنواتج ثانوي من عمليات الحفر. وغالبًا ما يتم التخلص من هذه المادة الفائضة أو تخزينها في فضاءات مفتوحة، مما يؤدي إلى تراكمها بمعدل ينذر بالخطر، حيث تصل إلى مئات الآلاف من الأمتار المكعبة يوميًا. وإذا لم تُدار هذه الرمال بشكل سليم، فإنها تشكل مخاطر بيئية جسيمة، بما في ذلك تدهور النظم البيئية ومخاطر صحية عامة محتملة، خاصة في المناطق الصحراوية القريبة من الآبار النفطية النشطة.

في ظل هذه التحديات، يبرز استخدام رمال آبار البترول كمادة بناء بديلة قابلة للتطبيق كفرصة واعدة للتقليل من الأضرار البيئية، مع المساهمة في معالجة مشكلة نقص الرمال في الجزائر [13].

رغم تزايد الاهتمام بمصادر الرمال البديلة، فإن البحوث السابقة ركزت بشكل أساسي على تقييم الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة التي تحتوي على أنواع الرمال التقليدية، مثل مقاومة الضغط والانحناء وقابلية التشغيل. ومع ذلك، لا تزال هناك فجوة كبيرة فيما يتعلق بإمكانية استخدام رمال آبار البترول كمادة مستدامة بديلة للركام التقليدي. وعلى وجه الخصوص، لم تتم دراسة التأثير البيئي وطول عمر الخرسانة المحتوية على هذه الرمال بشكل شامل [14-18].

وعلاوة على ذلك، وبينما تناولت بعض الدراسات استخدام المنتجات الثانوية الصناعية في الخرسانة، فإنها غالبًا ما تقتصر إلى تقييم متكامل يجمع بين الأداء الميكانيكي والاعتبارات البيئية. كما لا تزال التفاعلات بين رمال آبار البترول والمواد الإسمنتية تحت ظروف المعالجة المختلفة غير مفهومة جيدًا.

ورغم هذه الثغرات في الدراسات السابقة، لم تُجرَ حتى الآن دراسة شاملة تحقق في الأداء الميكانيكي، والديمومة، والتأثير البيئي للخرسانة المحتوية على رمال آبار البترول تحت ظروف معالجة مختلفة. ومن هنا، تأتي أهمية هذا البحث كمساهمة جديدة من خلال تقديم تحليل تجريبي شامل لإمكانية استخدام رمال آبار البترول

كمادة بديلة مستدامة للركام التقليدي. ويسعى هذا العمل إلى سد فجوة المعرفة الحالية، وتعزيز الفهم لإمكانيات استخدام هذه الرمال في البناء الصديق للبيئة، مما يدعم أهداف التنمية المستدامة في الجزائر، ويتمشى مع الجهود العالمية الهادفة إلى تطبيق ممارسات الاقتصاد الدائري.

ولسد هذه الفجوات، تهدف هذه الدراسة إلى:

- توصيف الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لرمال آبار البترول من منطقة حاسي مسعود.
- مقارنة أدائها مع أنواع الرمال الطبيعية الأخرى، بما في ذلك الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتم بولاية المغير، ورمل الكتبان من حاسي مسعود ولاية ورقلة .
- تقييم كل من الأداء الميكانيكي والاستدامة البيئية للخرسانة المحتوية على رمال آبار البترول، والتأكد من توافقها مع التوجهات العالمية نحو البناء الصديق للبيئة.

ومن خلال هذا التقييم الشامل، لا يسعى هذا البحث فقط إلى سد الفجوة المعرفية القائمة، بل يسهم أيضًا في تعزيز ممارسات البناء المستدام في الجزائر. كما أن النتائج قد تكون لها آثار أوسع في مناطق أخرى غنية بالنفط تواجه تحديات مماثلة تتعلق بندرة الموارد وإدارة النفايات، مما يعزز الحاجة إلى تبني نهج الاقتصاد الدائري في قطاع البناء.

في هذه الدراسة قسمنا عملنا هذا إلى أربعة فصول، تطرقنا في الفصل الأول إلى عموميات حول حفر آبار البترول لمنطقة حاسي مسعود.

وفي الفصل الثاني تطرقنا إلى ديمومة خرسانة الرمل من خلال جمع المعلومات حول تركيبة خرسانة الرمل وعموميات حول الديمومة .

وأما الفصل الثالث فقد عالجتنا فيه خصائص المواد المستعملة في هذا البحث وصياغة خرسانة رمل آبار البترول وخرسانة الرمل الشاهد .

وبالنسبة للفصل الرابع فقد تناولنا فيه مختلف سلوك خرسانة رمل آبار البترول وخرسانة الرمل الشاهد ، من انحناء وضغط ودراسة لظاهرة الانكماش . ومختلف التجارب الخاصة بديمومة خرسانة الرمل .

وفي الأخير قدمنا خلاصة عامة على خصائص خرسانة رمل آبار البترول تحت تأثير القوى والضروف البيئية وذلك اعتمادا على ما تحصلنا عليه من نتائج.

الفصل الأول:

عموميات حول حفر آبار

البتروول

I. 1. مدخل:

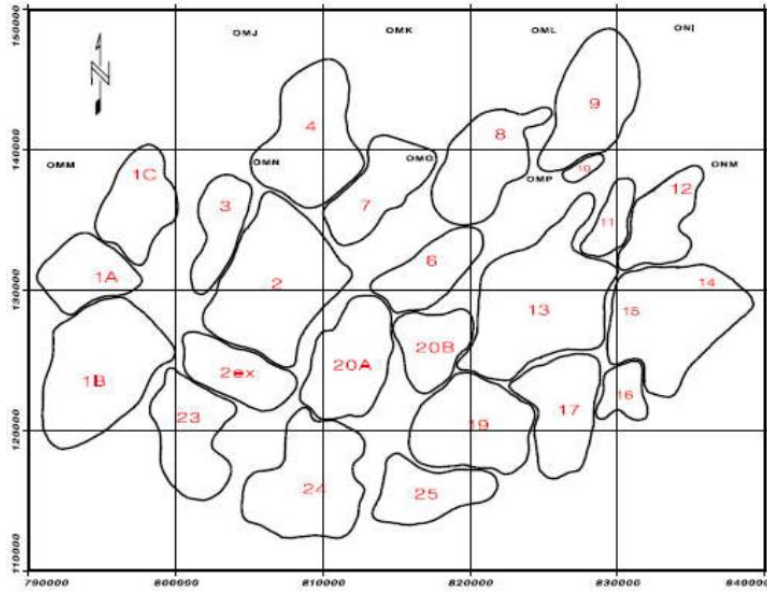
نطلق اسم الخرسانة على الخليط المكون من الماء والركام (الرمل والحصى) والاسمنت بنسب ملائمة، وتسمى خرسانة مسلحة تلك الخرسانة المضاف إليها كمية من الحديد بغية توازن إجهادات الشد التي لا تستطيع الخرسانة لوحدها مقاومتها، بهذا أصبحت الخرسانة أكثر استعمالاً في مجال البناء وخاصة في ميدان الأرصفة (béton de chaussée) وفي بعض الأحيان نستطيع استخدام الركام كله رمل ونسمي الخرسانة الناتجة خرسانة الرمل (béton de sable) في دراستنا ستكون الرمال ذات طبيعة مختلفة لتعطي لنا خرسانة نصلح عليها "خرسانة رمل آبار البترول". (Le béton de sable des puits pétrolière).

إن استعمال رمال آبار البترول داخل تركيبة خرسانية معينة يتعلق أساساً بمدى تأقلم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لهذه الأخيرة مع مكونات خرسانة الرمل الأخرى وذلك دون تجاهل العامل الاقتصادي (الثمن)، الذي يلعب دوراً هاماً، خاصة في الحالات التي يكون فيها سعر المعالجات الرملية وتأهيلها للاستعمال مكلفاً.

إن الدور المرجو من هذه الكميات الهائلة لهذه الرمال المستخرجة والمترامية في الطبيعة هو المساهمة في تحسين خصائص خرسانة الرمل وتوفير مصدر جديد وغير مستغل لأحد العناصر الأساسية لمكونات الخرسانة الرملية وكذلك المساهمة في التنمية المستدامة والقضاء على التلوث البيئي لحقل حاسي مسعود.

I. 2. حقل حاسي مسعود:

هو حقل نفط يقع في حوض بركين بولاية ورقلة الجزائر ويعتبر أكبر حقل نفط في الجزائر وفي القارة الإفريقية وبعد عدة سنوات من الإنتاج تم حصر حقل حاسي مسعود على أنه مجموعة من المناطق كل منطقة بها عدة آبار تتصرف بشكل مستقل عن بعضها البعض مما أدى إلى تعريف أن كل منطقة آبارها تتواصل مع بعضها البعض وليس مع المناطق المحيطة بها ويوجد حالياً حوالي 25 منطقة إنتاج واسعة في هذا المجال [19].



الشكل 1.I: توزيع المناطق داخل حقل حاسي مسعود [19].

1.2.I لمحة تاريخية عن حقل حاسي مسعود:

في عام 1917م جاء رجل بدوي مع عائلته اسمه رواجي مسعود إلى منطقة في ورقلة ووجد فيها الماء على عمق 14 متر بعد عملية الحفر، عرفت هذه المنطقة منذ ذلك الوقت باسم حاسي مسعود نسبة إلى اسم الرجل، ثم شبهها الجيولوجيون الفرنسيون سنة 1956 في وجود شيء آخر غير الماء وبالفعل تم اكتشاف أول بئر بترولي في حاسي مسعود سنة 1958م [19].

2.2.I تعريف البئر:

هو فتحة عميقة يحفرها الإنسان للوصول إلى جوف الأرض ليستخرج منها سائل، وآبار الماء والغاز وهي الآبار الأكثر شيوعاً، وقد يصل هذا الحفر إلى آلاف الأمتار، وذلك بواسطة أجهزة ومعدات حفر ذات تكنولوجيا عالية تسمح لها باختراق قشرة الأرض [20].

حيث تم حفر أول بئر للتنقيب على النفط في 27 سبتمبر 1859 بواسطة الأمريكي E.L.Drake بمدينة بنسلفانيا الأمريكية، والتقنية الكلاسيكية كانت في بداية القرن العشرين واخترعها لوكاس وشهدت عمليات الحفر في تكساس تطوراً كبيراً في النظام، لحل العديد من المشاكل التي واجهتها أثناء الحفر وكانت مساهمات كبيرة جلبت أثناء الحفر الخاص (الضغط العالي والحفر، درجات الحرارة العالية، الحفر الأفقي والمتعدد والحفر الرغوي والهوائي وما إلى ذلك) ثم تطوير الحفر في أواخر الثلاثينات وهذا منذ 1930 إلى عام 1947 وتركز البحث على تكوين خصائص سوائل الحفر وإعطاءه اهتمام كبير [21].

3.2.I تعريف النفط أو البترول:

تستمد كلمة بترول (petroleum) أصلها من اللغة اللاتينية وهي كلمة من مقطعين (petra) وتعني الصخر و(oleum) وتعني الزيت وتعني الكلمة باللغة العربية زيت الصخر أو الزيت الخام (للتمييز بينه وبين زيوت الخضروات وشحوم الحيوانات) كما أنه له اسم دارج هو الذهب الأسود وأحياناً يسمى نافثاً من اللغة الفارسية (نافث أو نافثاً والتي تعني قابليته للسريان). ويطلق مصطلح بترول بصورة عامة على جميع المواد الهيدروكربونية التي تتكون بصورة طبيعية، ولكن بالمعنى التجاري الضيق يطلق مصطلح النفط الخام على المواد السائلة والنفط الخام عبارة عن مواد هيدروكربونية سائلة دهنية لونها المخضر إلى البني والأصفر كما تختلف لزوجته وبالتالي كثافته النوعية أما المواد الهيدروكربونية الغازية فهي التي تشكل الغاز الطبيعي.

وقد تتواجد هذه المواد السائلة (النفط الخام) والغازية (غاز طبيعي) جنباً إلى جنب في حوض بترولي واحد كحقول كركك في العراق وقد تنفرد في الوجود كحقول الغاز في الجزائر.

إن مادة النفط بصورته السائلة أو الغازية يتواجد في أعماق الأرض، لذلك تكون هناك المواد منها العالقة أو المختلطة مع البترول الخام خاصة مثل المياه، الأملاح، الكبريت، الرمال، الشمع...إلخ، لذلك لا يمكن استعمال واستهلاك النفط كمادة خام إلا بعد تصفيته أو تكريره، ويعتبر النفط الجزائري من أفضل الأنواع من حيث درجة نقاوته من الكبريت [22].

4.2.I طبيعة حقل حاسي مسعود:

تتمثل خصائص حقول حاسي مسعود بطبيعة تكوينها التي واجهتها أثناء الحفر في المراحل وفقاً للطبقات المحفورة التي هي كما يلي:

* طبقات رملية.

* طبقات طينية؛

* طبقات غنية بالأملاح؛

* طبقات منتجة تحتوي على الماء والنفط والغاز [19].

3.I مواصفات حفر البئر:

البئر يتكون من خمسة مراحل كل مرحلة تمتاز بقطر الثقب وعمق المرحلة ونوع سائل الحفر المستعمل.

ونوع الطبقات المتشكلة وخصائصها.

4.I أنواع الحفر:**1.4.I الحفر المطرفي :**

تعتبر هذه الطريقة الأولى التي طبقت لإستخدام النفط لكن هذه الطريقة مستخدمة في مجال الصناعة النفطية.

2.4.I الحفر الدوراني :

وهي الطريقة المطبقة حالياً في الصناعة النفطية وفي هذه الطريقة من الحفر يتم تحطيم الصخور على قاع البئر نتيجة الحمل على رأس الحفر، ودوران رأس الحفر على القاع في آن واحد، فبتأثير الحمل تنغرس أسنان رأس الحفر في الصخر وبتأثير دوران رأس الحفر يتم تفتيت الصخور وزلها وإخراجها بواسطة سائل الحفر الذي يتم تدويره بصورة مستقرة بعد معالجته ميكانيكياً وكيميائياً [23].

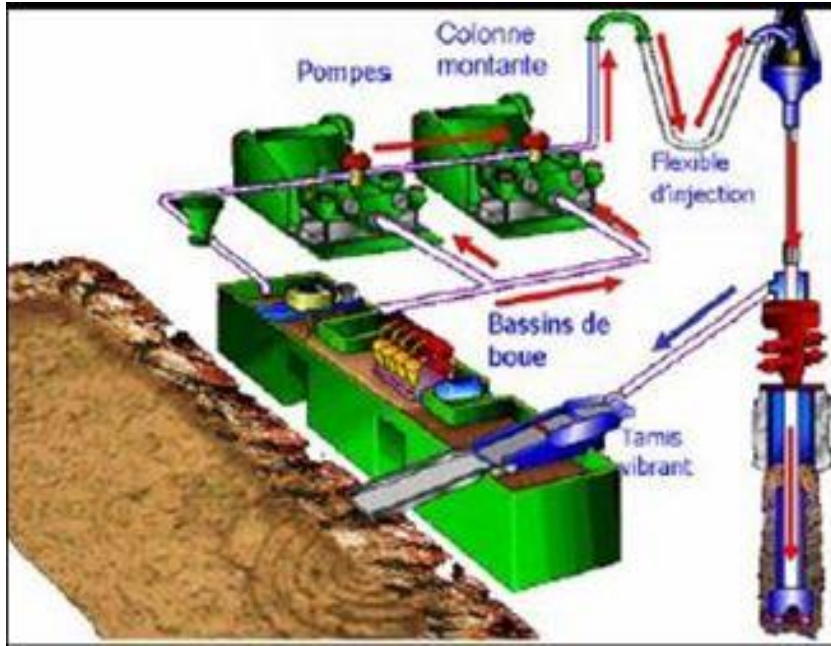
3.4.I الحفر باستخدام محركات توربينية :

حيث تعمل هذه المحركات بطاقة سائل الحفر الذي يضح من خلال مجموعة مواسير الحفر [23].

5.I سائل الحفر :**1.5.I تعريف:**

سائل الحفر والذي يسمى أيضا طفلة الحفر أو طمي الحفر وهو عبارة عن نظام مركب من عدة مكونات مختلفة، السائلة (الماء والزيت) و/أو الغازية (هواء أو غاز طبيعي) والتي تحتوي على إضافات أخرى معدنية وعضوية (الطين والبوليمرات و مواد معدلة للتوتر السطحي (جزئيات برمائية والاسمنت) و مواد أخرى.

تم تقديم سائل الحفر فعليا في المؤتمر العالمي الأول للنفط سنة 1933م وتم نشر أول معالجة عن سائل الحفر سنة 1936 من قبل إنفانزوريد وفي سنة 1979 عرف معهد البترول الأمريكي (APL) سائل الحفر على أنه سائل خاص بالتدوير المستمر طوال مدة الحفر داخل البئر وخارجه، يتم تحضير السائل في خزانات خاصة ويتم حقنه داخل القضبان إلى غاية رأس الحفارة الدورانية وعند خروجه من البئر محمل بالأتربة غثات الصخور يخضع للعديد من المعالجات والغرلة والتخفيف وإضافة بعض المواد التي تقضي على الأشياء العالقة في السائل ثم إعادة ضبط خصائصه الفيزيائية والكيميائية حتى يرجع لقيمته وحالته الأصلية [21].



الشكل 2.I: دورة سائل الحفر على موقع الحفر .

2.5.I أنواع سوائل الحفر :

يوجد عدة أنواع من سائل الحفر وتصنف عادة وفقاً لمرحلة العبور داخل البئر حيث هناك تقاطعات وتداخلات لمختلف الطبقات والسوائل.

1.2.5.I سائل الحفر ذو أساس مائي (WBM):

هو سائل من مادة الطفلة أساسه زيتي يكتسب خصائصه المثلى بعد عدة مرات من التدوير في البئر وهذا النوع يصنع ليكون الزيت هو الشق المستمر فيه، زيت الديزل وهو الأكثر شيوعاً للإمداد الشق الزيتي، ويستخدم هذا النوع عامة في الطبقات الصلصالية المنتفخة، لأنه في حالة استخدام السائل الطفلي ذو أساس ماء سيمتص الصلصال الماء وسينتفخ مسبباً التصاق الأنابيب [24].

2.2.5.I سائل الحفر ذو أساس غازي أو هوائي أو على شكل رغوة:

توجد ظروف حفر تحتها لا يستطيع سائل الحفر العادي أن يعطي وسط التدوير المرغوب فيستخدم الهواء أو الرغوة أو الغاز في حفر بعض الآبار التي تحدث فيها هذه الظروف الخاصة.

3.5.I دور سائل الحفر:

1. تزييت وتبريد الريشة ومجموعة مواسير الحفر.

2. إزاحة ونقل الفتات الصخرى من قعر البئر إلى السطح.

3. المساعدة في الحصول على معلومات من البئر.
4. حمل الفتات وبقائه معلقاً خلال توقيف التدوير.
5. السيطرة على الضغط للطبقات تحت السطحية.
6. تغطية جدار البئر بطبقة غير نافذة تسمى (Mud Cake or filter cake).
7. تخفيف الحمل أو الضغط على جهاز الحفر.
8. التخلص من نواتج الحفر وحببيبات الرمال على السطح.

4.5.1 مكونات سائل الحفر:

1. البارايت (Barite): وهو معدن مركب من كبريتات الباريوم ($BaSO_4$)، 65.6% من BaO و 34.4% من SO_3 ، حيث يستعمل لزيادة وزن الصقلة أو سائل الحفر بمعنى زيادة الكثافة [24].
2. البنتونيت (Bentonite): وهو يتواجد في الطبيعة على شكل سيليكات الألمنيوم المائية ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$)، ويستخدم لزيادة لزوجة سائل الحفر أو الطفلة وتقليل ترشح الماء وتمتاز هذه المادة بقابلية التميؤ [25].
3. كاربوسي مثيل السيلليوز (Methyl Cellulose): هو مادة عضوية وأحد مشتقات السيللوز ومرتبطة ببعض مجموعات الهيدروكسيل صيغته الكيميائية هي ($CH_2_CO_2H$) وهو يستعمل للسيطرة على ترشح الماء [25].
4. النشاء : وصيغته الكيميائية ($C_6H_{10}O_5$)_n وهو مادة مقللة لترشح السوائل وخاصة في الطبقات ذات المياه المالحة والمشبعة [25].
5. هيدروكسيد الصوديوم: (NaOH) ويستعمل للتخلص من تأثير أيون الكالسيوم على الطفلة وثاني أيون الكالسيوم خلال حفر الطبقات حيث هذه المادة تقلل الـ pH وترفع اللزوجة والقوة الحيلاتيئية [25].
6. الصودا الكاوية (Causticpotash): هي مادة صيغتها الكيميائية NaOH حيث تقوم هذه المادة بالسيطرة على قاعدية سائل الحفر وتمنع تجمع الجزئيات ومنع تفسخ المواد المكونة لبقيّة المواد المستعملة [25].
7. المواد المزيتة: مثل النفط الخام وهو عبارة عن هيدروكربونات مشبعة لها تراكيب حلقيّة تتألف من خمسة إلى سبع ذرات كربون ولهذه المركبات الصيغة العامة $C_n H_{2n}$.
- زيت الغاز أو الديزل وهو عبارة عن مزيج من المركبات الهيدروكربونية $C_{14} H_{30}$ [25].

وأخيرا وبالرغم من أن تكنولوجيا وكيمياء موائع الحفر أصبحت أكثر تعقيدا، ظل مفهوم سائل الحفر نفسه، إن سائل الحفر ضروري لنجاح عملية الحفر لأنه يزيد الانتعاش ويقلل الوقت اللازم لتحقيق الهدف [25].

5.5.I التركيب الكيميائي لسائل الحفر:

التركيبية الكيميائية لسوائل الحفر المستعملة بمختلف أنواعها هي على حسب اكتشافها وتطورها من خلال احتكاكها مع الطبقات المختلفة وأيضا عملية التدوير فإنه يحتوي على العديد من المواد الكيميائية الخطيرة التي تتأثر بها البيئة على غرار التلوث وتضرر التربة ومن أهمهم:

1. كلور الصوديوم (NaCl) بنسبة لا تتجاوز بعض الغرامات في اللتر.

2. بنتونيت (Coloïdale d'argile) بنسبة تتراوح من 30 إلى 70 غ التر.

3. (Attapulgate) Colloïdesmineraox

4. (Amidon) Colloïdes Organiques

5. سوائل معدنية وعضوية (الجير_ والصودا) [26].

6.5.I خصائص سائل الحفر:

تعتمد دراسة خصائص سائل الحفر بشكل عام على عدة معايير أهمها:

الكثافة، اللزوجة، الترشيح، الحامضية، القاعدية.

1. **الكثافة:** هي المسؤولة عن توليد الضغط الهيدوستاتيكي لسوائل الحفر على الطبقات المختلفة للحفاظ على موازنة الضغوط الممكنية مع ضغط سائل الحفر ويجب أن يكون الفرق بين الضغطين يساوي الصفر حتى تنفادى تسرب الموائع وفقدان السائل [27].

2. **اللزوجة (Viscosité):** هي المسؤولة عن إمكانية نقل الفتات الصخري من قاع البئر إلى المنخل الهزار وكذلك إبقاء سوائل الحفر متماسكة عند تعرضها إلى أي مؤشر خارجي، وأيضا إبقاء سوائل الحفر بصورة عالقة عند دورتها أو حتى عند بقائها ساكنة دون تحريك، إن تقليل اللزوجة عن القيم المسموح بها تؤدي إلى مشاكل عديدة منها عدم قدرة السائل على رفع ونقل الفتات الصخري كما أن الزيادة في اللزوجة تؤدي إلى مشكل تكور الفتات الصخري حول أسنان الحافرة مما يؤدي إلى زيادة زمن اختراق الطبقات وحفر البئر وكذلك تقصير عمر الحافرة، ويتم التحكم في هذه الخاصية عن طريق التحكم بكمية مادة البنتونيت المضافة إلى سائل الحفر.

3. **الترشيح (Filtration):** هو عملية فقدان جزء من سائل الحفر نحو التكوينات المسامية أثناء عمليات الحفر، مما يؤدي إلى تكون طبقة مرشحة من المواد الصلبة على جدار البئر. وتعمل هذه الطبقة على تقليل نفاذية

الجدار ومنع تسرب السوائل والجزيئات الدقيقة الى داخل التكوين ,كما تساهم في تدعيم وإستقرار جدار البئر والحد من انهياره أو حدوث التكهفات فيه [27].

4. **القوة الجيلاتينية:** هي قوة تجاذب جزيئات السائل عندما يكون في حالة سكون وأن القوة الجيلاتينية ضرورية في طين الحفر للحفاظ على المواد الصلبة معلقة أثناء توقف تدوير.

5. **الحامضية PH:** يعبر عنها بدرجة تركيز أيون الهيدروجين الموجب (H^+) في السوائل المائية وتتراوح قيمة ال PH من (0 إلى 14) حيث تعتبر القيمة (7) محيط متعادل والقيم (0 إلى 7) محيط حامضي والقيم (7 إلى 14) محيط قاعدي.

إن قلت ال-PH لسوائل الحفر تؤدي إلى ازدياد الحامضية وبالتالي تآكل وتلف خيط الحفر والمعدات التي تمر من خلالها هذه السوائل وزيادة تلوث سائل الحفر، كما تؤثر على قابلية ذوبان معظم المواد العضوية المخفضة للزوجة وتساعد على انتشار المواد الطينية أما زيادتها فتعمل على التأثير على البوليمترات واختلال وظائفها في سوائل الحفر، إن قيمة ال PH المناسبة لسوائل الحفر تتراوح بين (8.5 إلى 12.5) [27].

6. **القاعدية Alcalinité:** إن السيطرة على القاعدية والمحافظة عليها بالمستوى المطلوب يساعد بالحصول على طين جيد مسيطر عليه من كافة الجوانب، ويمكن تعريف القاعدية بأنها تركيز أيونات الهيدروكسيل فكلما ازداد أيون الهيدروكسيل يكون الطين جيداً ومقاوم لجميع التلوثات التي تحدث له مثل دخول الكربونات أو غاز ثاني أكسيد الكربون أو الاسمنت [27].

6.I حجم الرمال الملوثة المستخرجة من بئر واحد:

إن الرمال المستخرجة من آبار البترول جراء عملية الحفر تعتبر كمية كبيرة لا يستهان بها من ناحية الحجم ولكن يبقى المشكل الوحيد هو في تلوث هذه الرمال بواسطة سائل الحفر الذي يساعدنا في عملية الحفر واستخراج الرمال والجدول الآتي يبين حجم هذه الرمال المستخرجة من بئر واحد فقط.

الجدول I.1: كمية الرمال المستخرجة أثناء الحفر حسب عمق البئر.

المرحلة	القطر(إنش)	العمق (بالمتر)	الحجم (م ³)
01	30	0 إلى 60 م	27.35 m ³
02	26	60 إلى 524 = 464 م	158.85 m ³
03	16	524 إلى 2883 = 2359 م	305.85 m ³
04	12 1/4	2883 إلى 3401 = 518 م	39.37 m ³
05	8 1/2	3401 إلى 4650 = 1249 م	45.70 m ³
			577.12 × 02
			1154.24M ³

SONATRACH		Activité Exploration & Production		Division Forage		Direction des Opérations		LEDJMET NORD-1		Basin: Berkine-Ouest		Permis: Menzal Ledjmet		Bloc: 405 b2		ENF59	
UTM		Geographic		STRAT		LITHOLOGY		CO		Programs		Mud		Logging			
X= 362300,882 m	M: 07°34'05,69103" E																
Y= 3351389,252 m	L: 30°17'19,51129" N																
Zs= 226,763 m	Rig: ENF59																
Zt= 237,423 m	RKB Height: 10,66 m																
Age	RKB	Epai	Formation														
CRETACEOUS	11,0	238	Mio-Pliocène	Sable jaunâtre, blanc translucide, subarrondi, avec fines passées d'argiles brun rouge, pâteuse et de calcaire blanc beige, dur.				36" OH x 30" CSG		1,05sg WBM		No logging					
	249	235	Sénonie II	Calcaire dolomitique, blanc, blanc-beige à beige, cristallin, dolomie calcaire, beige, gris-blanc avec fines passées de gypse, d'anhydrite et d'argile gris-vertâtre, tendre à pâteuse.				26" x 18 5/8"									
	484	250		Anhydrite blanche, pulvérulente, parfois translucide, dure avec intercalations de dolomie calcaire blanc-beige, gris-blanc, calcaire dolomitique gris blanc, et d'argile gris-vertâtre, tendre.													
	734	138		Sel blanc translucide, rosâtre, massif avec passées d'argile brun-rouge, et d'anhydrite, blanche, pulvérulente.													
	872	104	Turonien	Calcaire dolomitique blanc-beige à beige, microcristallin et marne grise à gris-vertâtre, tendre à induré.				40m Into									
	976	233	Cénomanién	Alternance de calcaire gris clair et anhydrite blanche, sel massif rosâtre.													
	1209	265	Albien	Argile avec passées de grès, fines passées de dolomie calcaire et grès avec fines passées d'argile et de sable.													
	1474	28	Aptien	Dolomie calcaire, blanc beige, cryptocristalline avec passées d'argile grise à gris-vertâtre, légèrement carbonatée.													
	1502	556	Barrémien	Grès bruns rouges fins à très fins argileux à passé d'argile brune rouge indurée et anhydrite blanche.				16" OH x 13 3/8" CSG		1,30sg OBW		*GR-CAL-Sonic					
	2058	244	Néocomien	Argile gris-vertâtre, brune à brun-rouge, silteuse, anhydritique, indurée avec fines passées de grès blanc, gris-blanc à gris-vert, argileux, friable à moyennement consolidé.				12 1/4" OH x 9 5/8" CSG									
JURASSIC	2302	286	Malm	Argile grise, gris vert, brun rouge, silteuse, carbonatée, anhydritique, indurée avec passées de grès blanc, gris beige, blanc beige, très fin à fin, argileux, friable et de calcaire gris blanc, moucheté, microcristallin, moyennement dur. Traces de Lignite.													
	2588	110	Dogger argileux	Argile gris-beige, gris vert, brune à brun-rouge, silteuse, tendre à indurée avec passées de grès blanc, gris-blanc, gris-vert, localement brun-rouge, très fin à fin, argileux à silico-argileux, friable à moyennement consolidé.													
	2698	145	Dogger lagunaire	Argile brun rouge, localement grise à gris vert, silteuse, parfois anhydritique, indurée avec fines intercalations de grès blanc beige, parfois brun rouge, gris, fin, friable. Traces de Lignite.				2883m									
	2843	119	LIA S	Anhydrite blanche, localement grise, pulvérulente avec passées d'argile brune, brun rouge, grise à gris vert, silteuse, localement anhydritique, carbonatée, feuilletée, indurée dolomique grise à gris beige, parfois mouchetés, microcristalline, tendre et				40m Into L.Anhydritic		TOL:2988m							
	2962	76		Sel jaunâtre, blanc, translucide, massif avec fines passées d'argile, gris, brun-rouge, salifère, tendre à indurée, silteuse.													
	3038	23	Horizon "B"	Calcaire à calcaire dolomitique.													
	3061	226	S1 + S2	Sel jaunâtre, blanc, translucide, massif avec passées d'argile, brun-rouge, grise, gris-vert, tendre à indurée, parfois pâteuse et d'anhydrite, blanche, pulvérulente.													
	3287	112	S3	Sel rosâtre, blanc translucide, massif avec fines passées d'argile brune rouge, rarement grise à gris vertâtre, tendre à indurée, salifère.													
	3399	35	Argileux	Argile brune rouge, à rouge brique grise à gris vertâtre, tendre à indurée silteuse avec des niveaux de sel blanc et trace d'anhydrite.													
	3434	13	S4	Argile, grise, gris-vert, anhydritique, tendre à indurée avec passées d'anhydrite blanche, pulvérulente.				3401m		2,05 sg OBW		*GR-CAL-Sonic *CBL_VDL_CCL in 13 3/8" CSG *V/SP GR *CBL_VDL GR in 7"					
TRIAS	3447	44	Argileux	Argile rouge brique, brun-rouge, silteuse, tendre à indurée avec passées de grès gris vert, très fin à fin, argileux, friable.				2m Into Lias Argileux									
	3491	60	TAGS	Grès blanc à blanc-beige, gris-vert, fin à moyen, siliceux à silico-argileux avec passées d'argile brun-rouge, tendre à indurée.													
	3551	58	Carbonaté	Argile brun-rouge, gris-clair à gris-vert avec passées de grès gris-blanc à blanc, fin, siliceux à silico-argileux, friable et de calcaire blanc-beige.													
	3609	55	TAGI	Grès blanc à blanc-beige, gris-vert, fin à moyen, siliceux à silico-argileux, et argile gris-vert, silteuse, tendre à indurée.													
DEVONIAN	SUP	3664	260	Famennien	Argile grise noir à noire, silteuse, micacée tendre à indurée.												
		3924	129	Frasnien	Argile noire à grise noir, silteuse, micacée, charbonneuse, tendre à indurée.												
	INF	4053	79	Givétien / Eifélien	Argile gris-noir, gris-clair, silteuse, micacée, avec rares fines passées de calcaire gris-blanc, gris-sombre, et dolomie gris-beige.				8 1/2" OH x 7" Inlet		1,40 sg - 1,45 sg OBW		*GR MSIP AIT EMS *LDT APS *HNGS *CMR PLUS GR ou MRX *MDT GR *CBL_VDL GR in 9 5/8 *V/SP GR *CBL_VDL GR in 7"				
		4132	113	Emsien (F4)	Argile gris-noir parfois gris-clair, silteuse avec rares fines passées de calcaire gris-blanc et grès sombre très fin à fin, argileux à silico-argileux.												
		4245	120	Siegénien F6-1	Grès gris blanc, blanc translucide, silico-argileux, blanc, translucide, siliceux à silico-quartziteux, dur avec passées d'argile gris-foncé silteuse, indurée.												
		4365	240	Siegénien F6-2	Alternance d'argile grise, silteuse et de grès blanc, gris-blanc, gris clair, localement gris sombre, très fin à fin, siliceux.												
4605	45	Gédinnien	Grès blanc, blanc beige, rarement gris-blanc, fin à moyen, arrondi à subarrondi, siliceux, bien consolidé, localement blanc translucide, fin, silico-quartziteux, dur.				4650m										
TD=		4650m															

الشكل 1.1 : نموذج طبقي وتقني لبئر بمنطقة جنوب بركين يوضح التتابع الجيولوجي وخصائص الحفر

Top "m"		Stratigraphy		Lithology	Rock Description	Car	DST	Casing Profile	Drilling Fluids
<p>TAMADANET NORD Ordovicien-5 TMNO-5 (F-27)</p> <p>Basin: ILLIZI Permis: TINRHERT</p> <p>Plateforme : X = 526500,02 m Y = 3180499,98 m Zt = 672,8 m</p>									
45	CRETACEOUS	TURON	Calcaire	Calcaire dolomitique. Argiles plastiques à forte presence de gypse				26" x 18 5/8"	WBM 1.05-1.08 sg
			MARNES						
			CALCAIRE						
138	CENO		ARGILE A GYPSE				140m		KCL 1.05-1,11 sg
226			Serie IN AKAMIL						
316	CRETACEOUS		ALBIEN	Sable et argile					
			APTIEN						
400			BARREMIEN						
			NEOCOMIEN						
	JURASSIC		MALM	Argiles et sable				530m	
510			DOGGER ARG						
756			DOGGER LAGU						
	TRIAS	LIAS	Argilo-Dolomitique	Argile, sable et gres					
			Equi. Salifere						
930			Argileux						
	CARBONIFEROUS		Argilo-greux sup	Sable et argile					OBM 1,05-1,08sg
1060			TIGUENTOURINE						
1140			WESTPHALIEN "F"						
1288			WESTPH-NAMURIEN "E"						
1820			NAMURIEN "D"						
1685			WISEEN "C"						
1927			WISEEN "B"						
2170			TOURNAISIEN "A"						
2423	DEVONIAN		F2	Gres fin a grossier, argile, fissures				2413m	
2464			Serie ARGILEUSE						
			Reservoir F4						
2679			Argiles-Intermediaire						
2712	SILURIEN	F6	Unité C	Grès et argile sableuse					OBM 1,01-1,03sg
2726			Unité B						
			Unité A						
2770			Unité M2						
2830			Unité M1						
2900	Silurien Argileux		Argile noire charboneuse, grès-silteuse	Grès avec passées d'argiles				3109m	
3119	Units :IV								
3210	Unité III								
3380	Cambrien II		Grès gris blancs avec passées d'argiles	Grès noir avec rares fines passées de grès					OBM 0,93-0,98sg
3400	BASEMENT		Roches métamorphiques						
3420	TOTAL DEPTH							3420m	

الشكل 4.I : نموذج طبقي وتقني لبئر بمنطقة اليزي يوضح التتابع الجيولوجي وخصائص الحفر

7.I أنواع المعالجات:**1.7.I معالجة سائل الحفر:**

إن المعالجة الاحترافية لسوائل الحفر ضرورية لضمان عملية حفر متتالية مع الالتزام في نفس الوقت بمتطلبات الحماية البيئية الإلزامية حيث هذه المعالجة جاءت بسبب الإشكال الذي أثير حول المستنقع (la bourbier) الذي يرمي فيه تراب الحفر الملوث وتأثيره على البيئة، في الواقع قد يؤدي هذا الإشكال والرمي لبعض المنتجات والحفريات سوى كانت صلبة أو سائلة في المكان المسمى «مستنقع» إلى تغيير في خصائص هذه البيئات عن طريق تقليل من قدرتها على التهوية [28].

2.7.I المعالجة الميكانيكية المتصلة :

إن معالجة الميكانيكية المتصلة هي سلسلة من المعالجات المتواصلة دون انقطاع أثناء عملية الحفر حيث تقوم هذه المعالجة بعزل وفصل الحفريات والأجزاء الكبيرة والصغيرة من سائل الحفر وذلك باستعمال عدة أجهزة من بينها غربال اهتزازي بأحجام مختلفة وجهاز Dessable وجهاز الطرد المركزي العمودي حيث المرحلة الأولى تكون بين الغربال وجهاز الطرد المركزي العمودي أين نتحصل على ركام بقطع صغيرة على شكل بودرة ملوثة بالزيت بنسبة تقل عن 5% والباقي ينتقل إلى جهاز الطرد المركزي الأفقي حيث نتحصل على سائل أو عجينة زيتية ملوثة بنسبة 22% والباقي يذهب للمعالجة الكيميائية والنفايات المتحصل عليها تذهب إلى المستنقع [26].

3.7.I المعالجة الكيميائية:

هذه العملية تتعلق بإضافة المواد المفقودة نتيجة عملية التصفية أو المعالجة الميكانيكية وذلك حتى يسترجع كامل معاييرهِ اللازمة ومن ثم يعود لمهامه في نظام الدوران الخاص بعملية الحفر.

8.I الأهداف الأساسية من المعالجة الميكانيكية والكيميائية:

1. تقليل نسبة الزيت أو التلوث بعد معالجة إلى أقل أو يساوي 5%.
2. إعادة إرسال أقصى حجم ممكن من سائل الحفر منزوع التلوث إلى نظام الحفر.
3. معالجة سائل الحفر منزوع التلوث عن طريق جهاز الطرد المركزي من أجل تقليل من LGS (Laba Gaz Systeur) على قدر الإمكان [26].

9.I معالجة رمال وفتات الحفر:

تُعدّ المستخرجات الناتجة عن عمليات الحفر، والمتمثلة في الرمال وبقايا الصخور المفتتة بعد معالجتها ميكانيكيًا وإزالة ما يمكن إزالته من سائل الحفر، نفايات تُرمى في موقع يُسمى (bourbier)، أي مكان لتجميع النفايات. وتُصنّف هذه المخلفات ضمن نفايات سوائل الحفر، لكنها في الواقع عبارة عن رمال ملوثة بسائل الحفر، لذلك يتم إخضاعها لمعالجات كيميائية وحرارية لإزالة التلوث [29].

1.9.I المعالجة الكيميائية غير المتصلة (التصلب-الاستقرار):

المعالجة بالطريقة الكيميائية هي وسيلة تستخدم في كثير من الأحيان لعلاج النفايات الملوثة وإدارتها وإعادة استخدامها، حيث تتم هذه العملية بدمج هذه الرمال الملوثة مع الخرسانة التي بها إسمنت بورتلندي والماء وبعض المواد المضافة مثل سيليكات الصوديوم حيث يتفاعل الإسمنت مع الماء كيميائيًا في المواد المعالجة ويكون الإسمنت هو المسؤول عن التصلب وكذلك مادة سيليكات الصوديوم التي تعمل على الإحاطة وحصر هذه النفايات الهيدروكربونية داخل هذا التصلب أو المكعبات الخرسانية محدثة بذلك استقرار في هذه المكونات الخطيرة ومنعها من الانتقال إلى البيئة ولكن بالرغم من هذا فإن هذه المعالجة تبقى غير كافية لأن الخرسانة لها عمر وعندما ينتهي عمرها يعود التلوث من جديد إلى البيئة [26].

2.9.I المعالجة الحرارية:

هذه العملية هي أكثر فعالية مقارنة بالمعالجة الكيميائية لأنها تقضي على التلوث بنسبة تفوق 99% ولا يبقى من التلوث إلا أقل من 01% ويصل إلى غاية 0.3% من مادة الغازوال وهذه العملية تكون بتمرير كمية من الرمال الملوثة بحجم واحد متر مكعب عبر قناة لولبية تتحرك بسرعة معتدلة داخل الفرن درجة حرارته تتراوح بين 350 و500 د.م من أجل تسخين هذا الرمل في مدة 40 إلى 45 دقيقة، تقوم المعالجة الحرارية بفصل الرمال عن التلوث المتمثل في مادة الغازوال والماء والغازات وتتحصل على رمال كما قلنا معالجة بنسبة تفوق 99% وهذه النسبة مقبولة عالميًا، ولكن يبقى هناك نسبة قليلة من المواد الغير عضوية مثل المعادن الثقيلة والأملاح وهذه النقطة السوداء الوحيدة بالنسبة للمعالجة الحرارية [29].

10.I نتائج تحليل التربة المعالجة حراريًا [29]:

بنيت النتائج التحليلية للتربة والتي أجريت من طرف شركة (MI-SWACO) الكائن مقرها بحاسي مسعود وجود نسب للمعادن الثقيلة موضحة في الجدول التالي:

الجدول 2.I: نتائج تحليل التربة المعالجة حراريا من طرف شركة MI-SWACO.

Echantillons	Métaux lourds : concentration (en mg/ kg)				
	Plomb الرصاص	Cuivre النحاس	Cadmium الكادميوم	Zinc الزنك	Mangnèse المانغنيز
Cutting Non Troités	380.00	00	2.00	275.00	30.00
Cutting Troités	326.00	0.40	3.00	395.00	40.00

11.I التأثيرات والأضرار على البيئة والإنسان:

في مجال استغلال النفط هناك مجموعة متنوعة من المواد الكيميائية تستخدم في صياغة سائل الحفر هذه المكونات ذات طبيعة مختلفة والتي تعتبر سامة وقابلة للتحليل البيولوجي، وهي معايير سيئة التحديد ونجدها ملقاة في الطبيعة بالإضافة إلى الهيدروكربونات (مثل الديزل) والتي تشكل السائل الزيتي الرئيسي وكذلك مجموعة من المواد الأخرى والإضافات الخاصة (المواد الخافضة للتوتر السطحي، والبوليمرات...) والتي يمكن أن نجدها في موقع الحفر لكن عادة ما يتم تخزين هذه النفايات المرفوضة في مكان يسمى المستنقع (Bour bié) [21] [30].



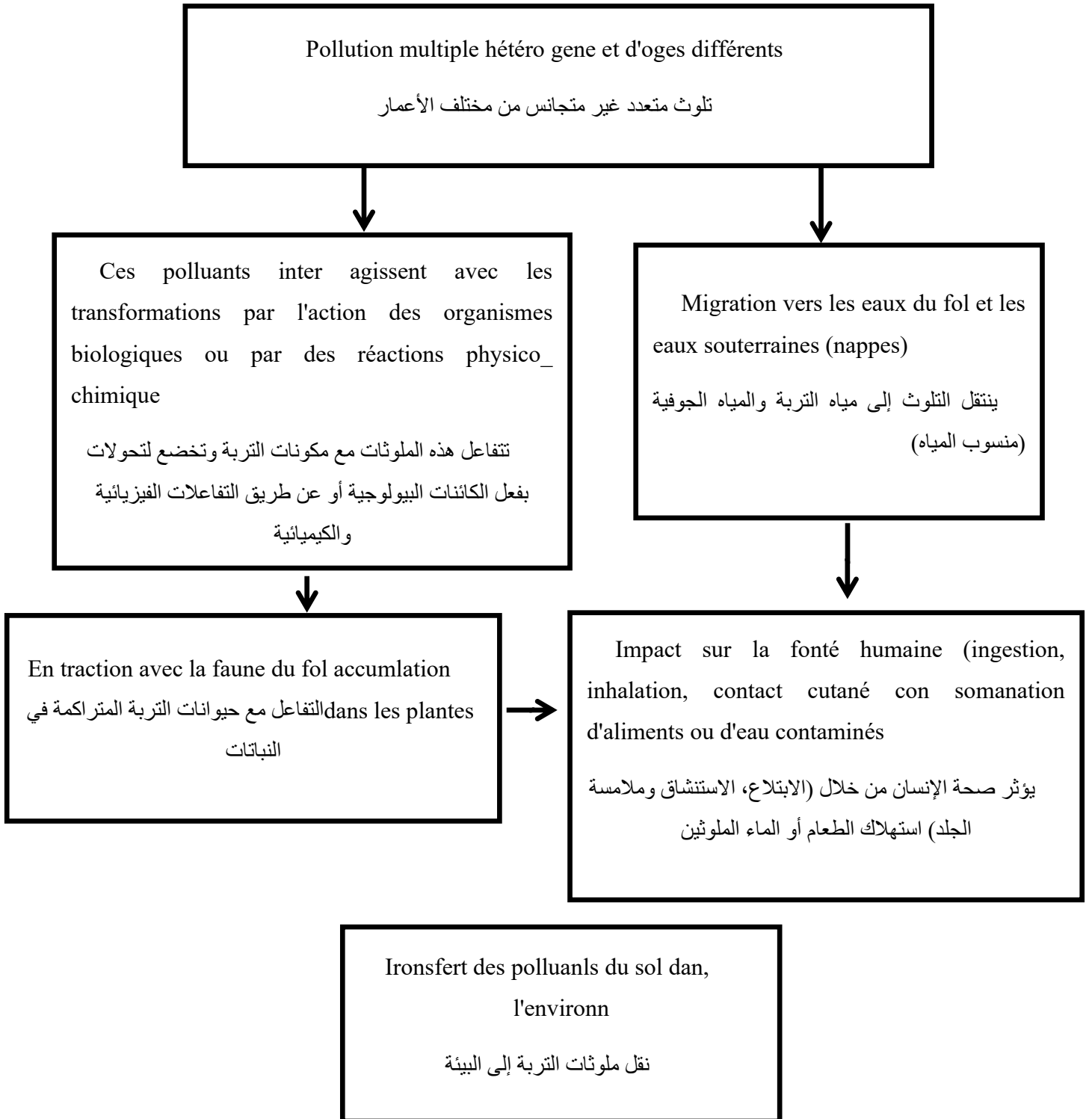
الصورة 1.I: صورة المستنقع قبل عملية الحفر.



الصورة 2.I: صورة المستنقع بعد عملية الحفر.

المستنقع هو ملوث بالهيدروكربونات القادمة من سائل الحفر الزيتي وكذلك ملوث بالمعادن الثقيلة القادمة من الإضافات التي تضاف إلى سائل الحفر، إذًا هذا هو المستنقع الذي يشكل خطر على تلوث الأرض وما تحت الأرض ومن ثم البيئة والإنسان [21].

الجدول 3.I: بين كيفية انتقال التلوث الى التربة.



خلاصة:

تُعد الرمال من أكثر المواد استخدامًا في صناعة الخرسانة، وتتنوع في طبيعتها ومصادرها إلى صنفين رئيسيين: رمال ذات طبيعة عادية وأخرى غير عادية، حيث تختلف خصائص كل نوع تبعًا للمصدر الجيولوجي من جهة، ولطريقة تكوينها واحتياجها في التطبيقات الهندسية من جهة أخرى.

تتنوع الرمال كذلك في أشكالها الهندسية وحجم حبيباتها، فمنها ما هو دائري أو زاوي، ناعم أو خشن، وحسب حجم الحبيبات يمكن تصنيفها إلى دقيقة أو كبيرة. وتؤثر هذه الخواص الفيزيائية مباشرة في أداء الخرسانة، لاسيما على المدى الطويل، إذ تُسهم الرمال في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة، غير أن بعض أنواع الرمال تُعاني من ضعف في التدرج الحبيبي، مما قد يؤثر سلبيًا على تماسك الخلطة الإسمنتية وكفاءتها الإنشائية.

يتباين تأثير الرمال على خصائص الخرسانة تبعًا لنوعها ومصدرها، حيث يمكن تصنيفها إلى نوعين أساسيين: الرمال الطبيعية، والتي تشمل تلك المستخرجة من الأودية والأنهار والسواحل البحرية، بالإضافة إلى رمال المحاجر.

الرمال الصناعية، ومن أبرزها الرمال الناتجة عن عمليات سحق الصخور أو النفايات المعدنية، مثل تلك الناتجة عن معالجة كتل الجبس المنصهر داخل أفران صناعة الفولاذ.

ومع التزايد الكبير في الطلب على الخرسانة، شهدت الرمال الطبيعية، خصوصًا تلك المستخرجة من الأودية والأنهار، استنزافًا مفرطًا أدى إلى آثار بيئية سلبية خطيرة، مما دفع العديد من الحكومات إلى فرض قيود وتشريعات صارمة للحد من استخراج هذا المورد الطبيعي المحدود.

في ضوء هذه التحديات البيئية، تبرز الحاجة الملحة إلى البحث عن بدائل فعالة ومستدامة تُعوّض النقص في الرمال التقليدية. ومن بين البدائل المقترحة والواعدة، تبرز رمال حفر آبار البترول المعالجة كخيار مبتكر وصديق للبيئة، يمكن أن يُسهم في تقليل الاعتماد على المصادر الطبيعية التقليدية، ويُعزز من استدامة قطاع البناء والتشييد، خاصة في المناطق الصناعية والصحراوية الغنية بهذه الموارد الثانوية.

الفصل الثاني:

عموميات حول ديمومة

خرسانة الرمل

الفصل الثاني: عموميات حول ديمومة خرسانة الرمل

المطلب الأول: تركيبة خرسانة الرمل

II.1.1. المدخل:

تعتبر كمية الرمال المتراكمة داخل حقول النفط في جنوب الوطن (حقل حاسي مسعود) جراء عملية حفر آبار البترول، مادة تدعوا إلى التساؤل في إمكانية استعمالها واستغلالها في مكونات مركبات مواد البناء.

تتميز خرسانة الرمل عن خرسانة العادية باحتوائها على نسبة رمل كبيرة مع غياب أو قلة نسبة الحصى (Gravilions) كما تختلف خرسانة الرمل عن الملاط بكونها تحتوي على محتوى إسمنتي أقل، إضافة إلى اختلاف مجالات استعمالها [31]. إن استعمال خرسانة الرمل عوضا عن الخرسانة العادية قد يشكل أحيانا عاملا ايجابيا من الناحية الاقتصادية عندما تكون هناك سهولة في الحصول على الرمل كونه أقل ثمنا من الحصى وربما يكون مجاني مثل حالتنا هذه حيث رمل الآبار موجود بجانب الشركات والمؤسسات العاملة في حقول النفط والتي تحتاج لبناء البلاطات الأرضية (Plateforme) [32] وقد يغنيها هذا الرمل المجاني عن اقتناء رمال أخرى من مكان بعيد وبأسعار باهظة في حين أن استعمال خرسانة رمل يمكن تتميز خصائصها الفيزيائية أكثر بواسطة التصحيح الحبيبي لها وذلك بإضافة نسبة من رمل المنطقة المجاور لهذه الآبار والتي طبيعتها كثبان (Sable dune) ويكمن هذا التثمين بمزج خرسانة الرمل المتكونة من نوعان من الرمل رمل الآبار ورمل الكثبان المجاور لها بنسب متفاوتة قصد التصحيح الحبيبي الأمثل، حيث تم التطرق في هذه الدراسة إلى العديد من التركيبات لخرسانة الرمل:

* باستعمال رمل الآبار كليا (100%).

* باستعمال الرمل المجاور له (كثبان) 100%.

* باستعمال رمل الآبار المراد تثمينه بقيمة (90%) واستكمال الباقي باستعمال الرمل المجاور رمل الكثبان (10%).

* باستعمال رمل الآبار المراد تثمينه بقيمة (80%) واستكمال الباقي باستعمال الرمل المجاور رمل الكثبان (20%).

* باستعمال رمل الآبار المراد تثمينه بقيمة (70%) واستكمال الباقي باستعمال الرمل المجاور رمل الكثبان (30%).

* باستعمال رمل الآبار المراد تثمينه بقيمة (60%) واستكمال الباقي باستعمال الرمل المجاور رمل الكثبان (40%).

إن الهدف المقصود من التغيير في نسبة التركيبة لنوعا الرمل تكمن في معرفة أي من التركيبة الأمثل التي تدرج في مجال التدرج الحبيبي المقبول.

II. 2.1. تاريخ خرسانة الرمل:

تعتبر خرسانة الرمل أقدم من الخرسانة العادية حسب POITEVIN، حيث ذكر أن أصل خرسانة الرمل يعود إلى السنوات 1850 – 1875 تحت اسم (الخرسانة المتكتلة Béton Aggloméré) والمتكونة أساساً من الرمل والماء والاسمنت [32]. في سنة 1853 قام المهندس الفرنسي COIGNT بإنجاز بنايات اقتصادية بخرسانة تراكم (Béton Aggloméré) التي تعتبر أصل خرسانة الرمل والتي تتكون من خليط بدون حجارة، من رمل رماد بركاني لمسحوق الفحم و تربة غضارية محروقة و جير طبيعي وماء. هذه الخرسانة استعملت في عدة إنجازات من بينها منزل كبير من خرسانة مقولبة رقم 72 شارع شارل ميشال في باريس. وقد ذكر POITEVIN أيضاً أنه في سنة 1869 و 1872 تم إنجاز جزء من قناة ذات طول يبلغ 40 كلم باستعمال الخرسانة المتكتلة وذلك بغرض ربط النافورة الزرقاء (Fontaine bleu) بأورليان (فرنسا) [32].

وفي نفس السياق أنجزت في مصر سنة 1869 منارة بور سعيد بخرسانة رمل البحر والجير بطول قدره 52 متر.



الصورة 1.II : منارة بور سعيد [13].

وقد نقل POITEVIN تقنيته إلى الولايات المتحدة الأمريكية حيث أنجز بين سنتي 1871 و 1872 جسر بخرسانة الرمل بير وكلين [32].

وخلال عشرية 1970 - 1980 قلصت السلطات العمومية الفرنسية من رخص استغلال مواقع استخراج الحصى في مجاري الأنهار و بسبب مشاكل بيئية عويصة ناتجة عن استخراج الحصى و كذلك لأن رمل المحاجر موجود بكميات كبيرة وزائدة عن الحاجة، لهذا ظهرت الحاجة لخرسانة تقلص من استعمال الحصى وتستهلك الكميات الزائدة من الرمل ألا وهي خرسانة الرمل التي لها بعض الخصائص المماثلة للخرسانة التقليدية [32]

وفي نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بدأ ظهور الخرسانة التي تستعمل الحصى ذو الحجم الكبير مما أعطى نتائج مقاومة عالية تصل حتى 20MPa. ومنذ ذلك الحين تلاشى استعمال خرسانة الرمل تاركا مكانه للخرسانة الجديدة ذات المقاومة العالية المعروفة إلى أيامنا هذه.

وبالرغم من مرور مدة زمنية طويلة على إنجاز منشآت بخرسانة الرمل إلا أنها مازالت على قيد الاستخدام شاهدة على مدى صمود هذه الخرسانة.

II. 3.1. استعمالات خرسانة الرمل في العالم:

عند البحث على تاريخ خرسانة الرمل نجدها قد استعملت في العديد من المناطق في العالم التي نذكر منها : الاتحاد السوفياتي سابقا وفرنسا والشمال الإفريقي والخليج العربي.

II. 1.3.1. الإتحاد السوفياتي:

إن دول الاتحاد السوفيتي هي أول من أعاد اكتشاف خرسانة الرمل نظرا للحاجة الماسة للحصى حيث كان شبه مفقود في هذه الدول ويستدعي أحيانا نقله من مسافات تزيد عن 1000 كلم.

ولقد قام NICOLAS DE ROCHEFIELD سنة 1918 بتجربة سحق خليط من الرمل والكلينكر بنسبة متساوية و بعد ذلك كون بها خلطة خراسانية مكونة بنسبة 1 من المسحوق و 3 من الرمل، وكانت مقاومة هذه الخرسانة مساوية لمقاومة خرسانة الرمل المكونة من 2/3 رمل و 3/1 إسمنت. ولقد قام ROBINDER سنة 1954 بتطوير هذه التجربة حيث اقترح سحق جزء من الرمل مع الاسمنت ثم الهز أثناء عملية الصب مما يؤدي إلى الحصول على خرسانة عالية الكتامة وذات تجانس أعظمي [32].

والصورة (I. 2) توضح ميتر و الأنفاق (Saint-Pétersbourg) الذي استعمل فيه طبقة رقيقة من خرسانة الرمل مسبقة الصنع.



الصورة II.2: مترو الأنفاق (Saint-Petersbourg) [32].

منذ 1814 قد أنجز عدة منشآت بخرسانة مكونة من الرمل والإسمنت أو الجير وهي على سبيل المثال لا الحصر:

- مدارج المطارات الحربية.
- الطرق و الطرق السيارة.
- العمارات و الأسقف المثنية و عدة عناصر ذات التصنيع المسبق (Préfabriqué)
- الأنفاق و المترو.
- أشغال ترميم المنشآت الفنية.
- ستار منجز بقالب انزلاقي (Coffrage glissant) على مساحة كبيرة .
- سد آبار النفط المستنفذة.

II.3.1.2 خرسانة الرمل في فرنسا:

إن استعمال الحصى في الخرسانة وانتشاره بشكل كبير ولد مشاكل بيئية عديدة كانت الأصل في عودة ظهور خرسانة الرمل في سبعينات القرن الماضي في الجنوب الغربي من فرنسا.

لكن بخلاف تجارب الاتحاد السوفيتي التي استدعت سحق الرمل من أجل الحصول على خرسانة ذات كتامة ومقاومة عاليتين فإن التجارب في فرنسا كان هدفها تصحيح التدرج الحبيبي للرمل وذلك بإضافة بعض المحسّنات (Filler).

ونتيجة لهذه التجارب تم صدور مستندات وتوصيات من طرف مراكز وجمعيات علمية (CEBTP, LCPC) كانت قاعدة انطلاق أبحاث هدفها تطوير الاستعمال الأمثل للرمل في الخرسانة. ومن ثم تم إنجاز العديد من المنشآت من طرقات و عمارات تجريبية بين 1989 و 1993 [32].

3.3.1.II خرسانة الرمل في الخليج العربي:

إن استعمال خرسانة الرمل في الخليج العربي هو استعمال اقتصادي بحت، نظرا لوفرة الرمال من جهة ولقلة الحصى الكبير من جهة أخرى.

استخدمت خرسانة الرمل في هذه المناطق في إنجاز الأساسات والجدران الساندة والأسقف. مع العلم أنه كان مثل الملاط حيث كان المقدار الحجمي S/C يساوي 3/1، وكثافته حوالي 2.15. ولم يتم الانتباه إلى التشققات الكبيرة الناتجة إلا بمقارنتها بالخرسانة العادية الموضوعة والمنجزة في نفس الشروط [32].

4.3.1.II خرسانة الرمل في الشمال الإفريقي:

في الجزائر قدر الطلب على الحصباء خاصة من قطاع الأشغال العمومية و البناء سنة 2002 بـ 80 مليون m^3 أمام عرض قدر بـ 30 مليون متر مكعب وذلك من أجل إنجاز مشروع الطريق السيار شرق غرب، وطريق الهضاب العليا و ترميم 10000 كلم من الطرقات سنويا، مما سينتج كميات زائدة عن الحاجة من رمل المحاجر الذي لا يستعمل كثيرا في الخرسانة العادية ، وهذا حسب اليومين الدراسيين لوزارة الأشغال العمومية 22-2002/12/21 حول استغلال أنواع الحصى انطلاقا من المحاجر الصخرية [32].

مما سبق يتضح لنا جليا أهمية خرسانة الرمل في تامين مواد البناء المحلية لخفض تكلفة الإنجاز، إذ يمكن استعمال كل أنواع الرمل بما في ذلك رمل المحاجر الذي قدمنا أنه أصبح يسبب مشكل بيئي ان لم يستغل و رمل الكثبان (Sable de dune) الموجود في الصحراء، والذي بدوره يشكل مشكل بيئي متمثل في التصحر وغير ذلك وحيث أنه توجد ندرة في الحصى و طالما أن الدراسات أثبتت أن خرسانة الرمل المسلحة لها خصائص مماثلة للخرسانة المسلحة التقليدية.

أثبتت الدراسات التجريبية و النظرية التي تمت تحت إشراف منصور [32] إمكانية صناعة عوارض سلك الحديد في المصنع الموجود في بني صاف بخرسانة الرمل حيث أن استعمال خرسانة الرمل عوض الخرسانة العادية التي يستعمل فيها رمل البحر الذي يؤدي استعماله إلى مشاكل بيئية عويصة، و بينت الدراسات أن الخصائص الميكانيكية للعوارض المصنوعة بخرسانة الرمل في نفس المستوى مثل العوارض المصنوعة

بالخرسانة العادية. نظرا لانطلاق مشاريع تجديد و توسيع شبكة سكك الحديد عبر نواحي عديدة من القطر الوطني مما سيؤدي إلى إنتاج مكثف لهذه العوارض ، لهذا استعمال خرسانة الرمل يمكن أن يؤدي إلى فائدة كبيرة اقتصاديا و بيئيا [32]. و الصورة (3.II) توضح العوارض بخرسانة الرمل لمصنع بني صاف.



الصورة 3.II: العوارض بخرسانة الرمل لمصنع بني صاف [14].

II 4.1. مكونات وصياغة خرسانة الرمل:

II 1.4.1. مدخل:

الخرسانة خليط مكون من عدة مواد بناء متنوعة (اسمنت, حصى, رمل, ماء, محسنات) وحيث أن كل الأبحاث العلمية في هذا المجال تسعى إلى إيجاد واستصدار نوع من هذا الخليط ذو أوصاف تمتاز بالديمومة والبقاء من أجل جعل هذه المواد المركبة لهذا الخليط مطابقة لمواصفات قانونية عالمية أو محلية تتضمن تلك الأوصاف المدروسة.

في هذا المحور سندرس هذه المواد وهذا الخليط طبقا للقاعدة المنصوص عليها: (AFNOR) . من أجل الوصول إلى تراكيب تتوفر فيها الأهداف المرجوة من بقاء وديمومة ومقاومة... الخ.

II 2.4.1. مبدأ تركيبة الخرسانة:

ان الاختلاف الرئيس بين خرسانة الرمل والخرسانة الكلاسيكية يكمن في اختلاف التركيب الحبيبي إذ ان خرسانة الرمل يجب ان لا يتعد فيها قطر الحبيبات 5 ملم ($d \geq 5$ ملم) كما يجب ان لا تتعد النسبة $\frac{G}{S}$ واحد. على عكس الخرسانة العادية التي تستخدم حبيبات من نوع 15/0 و 25/0 وكمية أسمنت تقدر من 250 الى 400 كغ

لكل متر مكعب من الخرسانة مع أن النسبة $\frac{G}{S}$ محصورة عموماً حسب DREUX بين 2.2 الى 2.8 بالنسبة

للخرسانة العادية [32].

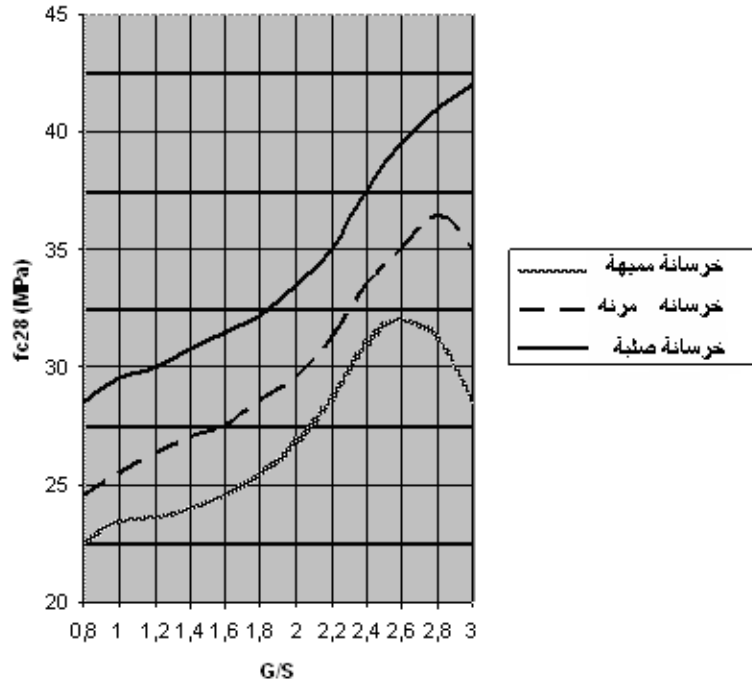
$$2 \leq \frac{G}{S} \leq 2.8$$

1.2.4.1.II تأثير النسبة G/S على خصائص الخرسانة:

ان هذه النسبة G/S (G كمية الحصى , S كمية الرمل) لها تأثير في التراصية (La compacité) التي

تعرف على أنها النسبة الحجمية بين حجم الحبيبات الصلبة V_s على الحجم الكلي V_t . $c = \frac{v_s}{v_t}$

والتي هي من أهم خواص خرسانة الرمل إذ تتعلق مباشرة بالمقاومة . إن مبدأ تحسين التراصية من وجهة نظر التركيب الحبيبي يخضع لمبدأ بسيط: وهو أن أكبر العناصر تخلق فراغات كبيرة يمكن ملؤها بالرمل ، كما أن فراغات الرمل تملأ بالمواد الدقيقة وهي الإسمنت مع العلم أن الكمية اللازمة من الإسمنت للحصول على ترابية جيدة متطابقة مع الكمية التي تضمن المتانة (في حالة الخرسانة العادية). [32] و الشكل 4.II يوضح تأثير النسبة $\frac{G}{S}$ على خصائص الخرسانة:



الشكل 1.II : تأثير النسبة $\frac{G}{S}$ على خصائص الخرسانة [33]

لكننا إذا كنا نبحث عن قيمة قطر صغيرة للحبيبات (أقل من 16 مم)، ففي هذه الحالة ومن أجل الحفاظ على تراصية عظمى، فإنه يجب الزيادة في تركيز المواد الدقيقة (الاسمنت). وهذا ما يترجم بعلاقة CHAUVIN التي تنص على مقدار الدقائق معطى حسب استعمال الخرسانة [33]:

$$c = \frac{550}{\sqrt[3]{D}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$c = \frac{700}{\sqrt[3]{D}} \dots \dots \dots (2.3)$$

من أجل حساب المقدار الأدنى من الإسمنت بدلالة D فان الجدول (2.II) يوضح ذلك .

الجدول 1.II: يعطي المقدار الأدنى من الإسمنت بدلالة D [32].

تركيز الاسمنت $c = \frac{700}{\sqrt[3]{D}}$	تركيز الاسمنت $c = \frac{550}{\sqrt[3]{D}}$	القطر الأعظمي للمل D	النوع
220	251	31.5/0	خرسانة
375	268	22.5/0	
400	287	16/0	
460	330	8/0	
480	380	6.3/0	ملاط
560	401	3/0	
700	550	1/0	

في حالة خرسانة الرمل يحدد امتداد التدرج الحبيبي من الأعلى بـ 5 مم مع غياب الحبيبات الكبيرة. لذلك يظهر جليا أن الخليط (إسمنت + رمل) يعطي مسامية كبيرة مقارنة بالخرسانة العادية، مما يستدعي إدخال إضافات (Filler) لغرض إغلاق المسامات التي تنتج عن الرمل، وبعدها نقوم بضمان صلابة الخليط وذلك بإضافة الاسمنت بتركيز يتوافق مع الخرسانة العادية و للمعامل E/C تأثير مهم على المسامية لذا تجب العناية به.

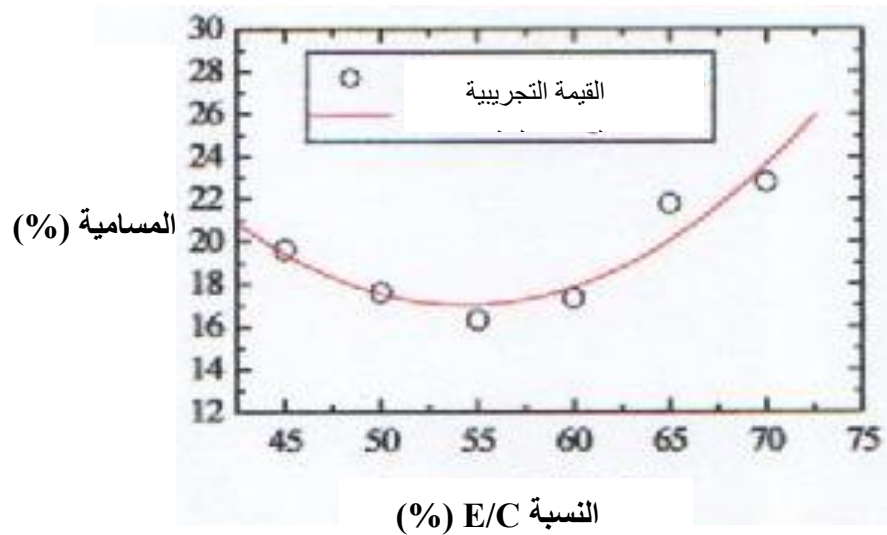
2.2.4.1.II تأثير النسبة E/C على خصائص الخرسانة:

1.2.2.4.1.II تأثير النسبة E/C على المسامية:

قبل الحديث على تأثير النسبة E/C على المسامية يجب معرفة مفهوم المسامية إذ أنها تعرف [34] بالنسبة

$$n = \frac{v_v}{v_t} \text{ ونكتب } V_t \text{ على الحجم الكلي } V_t \text{ ونكتب } v_t \text{ الحجمية بين حجم الفراغات } V_v \text{ على الحجم الكلي } V_t \text{ ونكتب } v_t$$

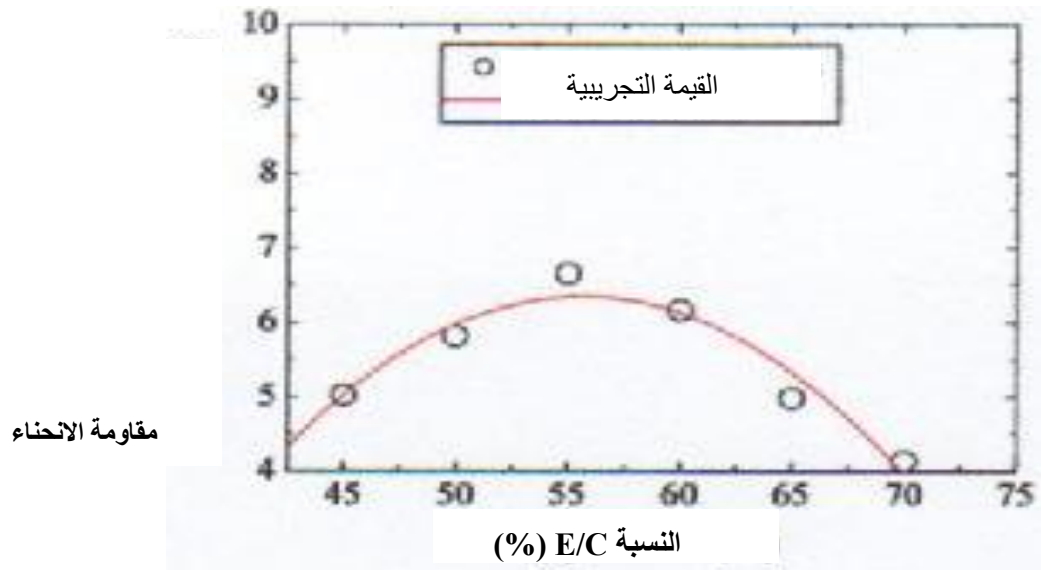
إن النسبة E/C لها تأثير كبير على خصائص الخرسانة، ومن ذلك تأثيرها المباشر على المسامية كما أكد [35]، ونذكر مثال على ذلك الدراسة التي قام بها [36] والتي تبين أن المسامية تبلغ قيمتها المثلى (الدنيا) عند النسبة E/C تساوي 0.55، والتي تكون فيها نسبة الماء وتركيز الاسمنت قد عنيت بدراسة جيدة، حيث أن الزيادة في هذه النسبة، الذي يعني زيادة كمية الماء مخلقة عند خروجها مسامات تكون كثيرة وفي بعض الحالات تكون متصلة ببعضها البعض مما يشكل أخطار مختلفة أهمها دخول عناصر غريبة إلى قلب الخرسانة من ناحية وضعف التراصية من ناحية أخرى. أما نقصان هذه النسبة فينتج عنه عدم التفاعل الكلي لكمية الاسمنت، مما يؤدي إلى عدم تلاحم كل مركبات الخرسانة (الركام)، وهذا يخلف فراغات بين حبيبات هذا الأخير وبالتالي زيادة المسامية والتي ينتج عنها كما ذكرنا ضعف الخصائص الميكانيكية. والمنحنى أدناه يوضح تأثير النسبة E/C على المسامية:



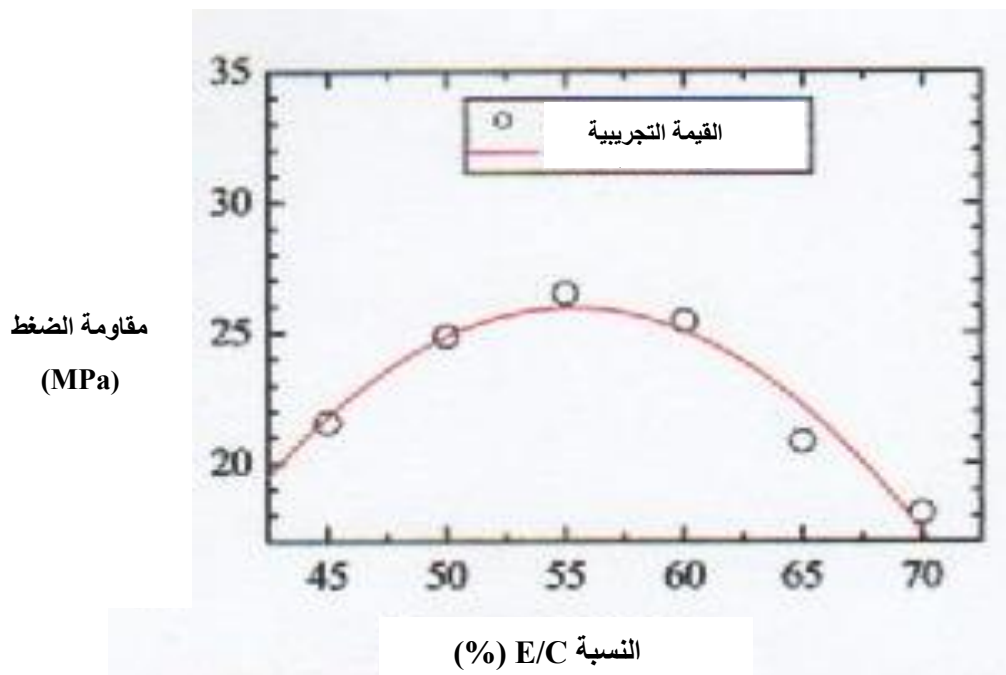
الشكل 2.II : تأثير النسبة E/C على المسامية [36].

2.2.2.4.1.II تأثير النسبة E/C على المقاومة:

يأتي تأثير هذه النسبة على المقاومة من كون هذه النسبة عند زيادتها مما يعني زيادة الماء عن الحاجة كما ذكرنا سابقا وعند خروجه يخلف فراغات (مسامات) هذه الأخيرة تؤثر على جسم الخرسانة حيث يكون شبه مجوف وهذا مما يجعله سهل للانضغاط والانكسار [35] ولمنحنيات التالية توضح مقدار تأثير النسبة E/C على مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء حسب الدراسة التي قام بها [36]:



الشكل 3.II : تأثير النسبة E/C على مقاومة الانحناء [36].



الشكل 4.II : تأثير النسبة E/C على مقاومة الضغط [36].

وقد لاحظ الكثير من الدارسين أن كل العلاقات والنظريات التي تعرض طرق صياغة الخرسانة تهتم اهتماما بالغا بكمية الماء اللازمة للخلط وكمية الاسمنت المستعملة وبالتالي الاهتمام بالنسبة E/C التي لها التأثير المباشر والكبير على خصائص الخرسانة [37].

5.1.II. مكونات خرسانة الرمل:

وفي ما يلي نعطي المركبات الأساسية التي تدخل في إنشاء خرسانة الرمل.

1.5.1.II. الاسمنت:

إن الاسمنت المستعمل في صناعة خرسانة الرمل يجب أن يكون متوافقا مع القواعد NF301-P15. وتركيز الاسمنت يجب أن يكون مقاربا لتركيزه في الخرسانة العادية (300-400 Kg/m³).

وفي العموم فإن تركيز خرسانة الرمل من الاسمنت أعلى منه في الخرسانة العادية وهذا ما استنتجه [32] لأن تركيز الاسمنت متعلق بقطر الحبيبات.

2.5.1.II. الرمل:

ليس هناك أي شروط وضعت على أصل الرمال المستخدمة في الخرسانة ، سواء كانت رمال الوديان أو الكثبان أو المحاجر أو المواد المسترجعة من بقايا هدم الطرقات والمباني لاستعمالها كحبيبات حصوية في صناعة الخرسانة، حيث أن نقل هذه المواد إلى أماكن التفريغ يطرح عدة مشاكل (تخصيص مساحات التخزين، تكاليف معتبرة، تشويه للبيئة) لذا يجب إيجاد إمكانية لإعادة تقييم و استعمال هذه البقايا وبالتالي إيجاد مصدر آخر للركام. من أجل إيجاد أو تكوين خرسانة الرمال، نشير أنه من بين أهم العوامل التي تأخذ بعين الاعتبار عامل النقاوة ، إذ أن استعمال رمال غير نقية ينجم عنه خرسانة ضعيفة المقاومة. [39,38].

ومن الملاحظ أن رمال الكثبان مواد ذات نوعية سيئة في مجالات الإنشاء لأنها غير قابلة للترصيص ولها قدرة حمل ضعيفة ونسبة فراغات كبيرة كما تمتاز بحبيباتها بعدم الاستمرار في الغالب واستعمالها سواء مع الروابط الهيدروكربونية (الزفت الصرف، المميع، كوت باك) أو الروابط الهيدروليكية (الاسمنت) يعطي خصائص ميكانيكية ناقصة (الاستقرارية، الترصيص، مقاومة الضغط، مقاومة الشد) لذا تصبح معالجتها ضرورية من أجل تحسين خواصها الميكانيكية وإعطائها استقراره مرضية [39].

وقد أجريت عدة تجارب على أنواع مختلفة من الرمل حسب مناطق تواجدنا نذكر منها :

- تجربة التدرج الحبيبي التي أعطت النتائج التالية [39]:

3.5.1.II. الماء:

كغيره من مركبات الخلطة الخرسانية، يجب أن يتوفر في الماء شرط النقاوة. مع احترام التركيز اللازم حيث، أن الزيادة من هذه المادة في الخرسانة وبعد خروج الكميات الزائدة عن الحاجة مخلقة مكانها فراغات من شأنها تسبب ضعف في المقاومة، وأما نقصان هذه المادة فهو يقلل من إنحلالية الخلطة مما يعني بقاء بعض الحبيبات من الاسمنت دون تفاعل أي بعض حبيبات الرمل لا يتسنى لها التماسك، مما يقلل من المقاومة.

نذكر أن الماء المستخدم في خرسانة الرمل يجب أن يكون متوافقا مع القواعد P18-303NF. وبما أن قطر الحبيبات التي تدخل في تركيب خرسانة الرمل يكون أقل أو يساوي 5 مم، فإن السطوح النوعية تكون أكبر، مما يجعل الخلطة الخرسانية الطازجة جافة جدا وصعبت التشغيل وبالتالي تكون التشغيلية ضعيفة مما يستدعي إضافة كمية أكبر من الماء وهذه الإضافة ستؤثر على الخصائص الميكانيكية الأخرى، ولهذا يصبح من الضروري الاستعانة ببعض الإضافات والمحسنات للتقليل من قيمة المعامل E/C من أجل رفع المقاومة [40].

يشارك الماء في عمليات التفاعلات الكيميائية المنتشرة داخل كتلة الخرسانة الطازجة والتي تنجم عنها الخرسانة المتصلبة ذات المقاومة المطلوبة. كما يقوم الماء في الخلطة بدور تأمين سهولة تشغيل الخرسانة وصيها في مكانها المحدد.

4.5.1.II Les adjuvants: الإضافات

كغيرها من أنواع الخرسانة، فإن خرسانة الرمل تحتاج إلى بعض المواد المحسنة في مختلف أشكالها: الملدنات بأنواعها وما إلى ذلك. تضيف المحسنات أو المواد المساعدة لمسة فيزيائية واقتصادية معتبرة على الخرسانة، مثل التحسين في التشغيلية واستخدام الخرسانة في ظل ظروف صعبة، كما أنها تسمح باستعمال أنواع أخرى من المواد في الخرسانة.

1.4.5.1.II دور المميغات أو الملدنات:

تعتبر التشغيلية أحد أهم خصائص الخرسانة الطازجة، حيث تتعلق أساسا بتركيز الماء المستخدم [36]. ونذكر هنا الآثار السلبية لزيادة نسبة الماء في الخرسانة:

- عزل المواد عن بعضها البعض.
- فقدان تجانس الخلطة.
- زيادة المسامية.
- انخفاض المقاومة.
- النقص من ديمومة المنشأة.

أدت هذه السلبيات التي وقفت عائقا أمام الحصول على خرسانة ذات تشغيلية جيدة بالباحثين، منذ زمن قديم، إلى استخدام العناصر الكيميائية العضوية التي تساعد في جعل الخرسانة أكثر تشغيلية وذلك دون التقليل من نسبة الدمك [40].

5.5.1.II المواد المضافة (Les ajouts):

هي مواد تضاف الى ماء الخلط أو الى الخرسانة مباشرة أثناء أو قبل عملية الخلط تكون في غالبها مشابه في خواصها الفيزيائية و الكيميائية الى الاسمنت وبوجود الماء أي عند امالتها نحصل تقريبا على نفس نتائج امالة الاسمنت [15].

1.5.5.1.II الحشو Filler:

يتواجد هذا النوع من المحسنات على عدة أشكال معدنية وصناعية وطبيعية، حيث يستخدم في سد الفراغات الناجمة عن الرمل في الخرسانة وذلك من أجل الحفاظ على اندماج (Compacité) عالي لهذه الأخيرة عن طريق خلق امتداد حبيبي مستمر. وهذا ما يعطي دفعا إيجابيا من الناحية التقنية، حيث يزيد في مقاومة الخرسانة للشد، ومن الناحية الاقتصادية، حيث يقود إلى التقليل من تركيز الاسمنت في الخلطة الخراسانية [32].

2.5.5.1.II الحصى الصغير Gravillons :

يستعمل الحصى 0/15 كأحد المحسنات في خرسانة الرمل شريطة أن لا تتجاوز النسبة G/S الواحد، وذلك لغرض التحسين في بعض الخصائص الميكانيكية والانسيابية كالمقاومة والتشغيلية والانكماش الخ [41].

3.5.5.1.II الألياف Fibres:

ويستعمل هذا النوع من المحسنات كمادة مقوية داخل الخلطة الخراسانية بهدف التحسين من مقاومة الخرسانة للشد والتقليل من ظاهرة الانكماش [41].

6.1. II صياغة خرسانة الرمل:

تعتمد عملية تركيب الخرسانة أساس على اختيار المواد اللازمة ومحاولة تنسيقها بهدف الحصول على خصائص تتناسب والمعايير التقنية والاقتصادية المرجوة، ففي حالة الخرسانة العادية مثلا، تتلخص المكونات في الحصى والرمل والاسمنت والماء.

ونظرا للإمكانيات المحدودة التي تقدمها الطرق العادية في تركيب الخرسانة، توسعت جملة المكونات التي تدخل في التركيب الخرسانة بواسطة الإضافات والمحسنات. ومن بين أهم أنواع الخرسانة الجديدة ذات التركيبة الخاصة، نذكر خرسانة الرمل (المتميزة بدقة الحصى والانحلالية)، التي تعرف مرحلة تشكيل جد خاصة.

هناك العديد من المناهج استعملت من أجل الحفاظ على مقاومة عالية لخرسانة الرمل، في حين بقي معيار الانحلالية يشكل عاملا معقدا نوعا ما، نظرا لأن عجينة هذه الخرسانة تحتوي دائما (بالإضافة للاسمنت والماء) على مواد حشو كلسية calcaires Fillers ومحسنات انسيابية Adjuvant rhéologique بطريقة تسمح بتحديد تركيز الاسمنت لجعله مماثلا للتركيز في الخرسانة العادية.

1.6.1.II مبدأ صياغة خرسانة الرمل:

بخلاف الملاط، تحتوي خرسانة الرمل على تركيز للإسمنت يقارب التركيز الموجود في الخرسانة العادية (من 300 إلى 400 kg/cm³). لكن وجود الحصى ذات الأقطار الصغيرة (قطر ≥ 5 mm) هو ما يميز خرسانة الرمل عن الخرسانات العادية، وليس هناك مانع من إضافة الحصى بشرط الحفاظ على النسبة الكتلية $G/S < 1$. وبفضل تقنية ملئ فراغات الرمل بواسطة مواد الحشو الكلسية الأقل من (80 μ m)، أصبحت الزيادة في تركيز الاسمنت ممكنة، حيث ساعد ذلك في الحصول على نسبة للتراصية عالية، وذلك بإنشاء امتداد حبيبي مستمر. وتستعمل عادة مواد الحشو ذات الطابع الكلسي نظرا لمفعولها الجيد تجاه المواد القاعدية. ويستوجب التواجد الكبير للجسيمات الدقيقة إلى استعمال كبير لماء الخلط، مما يستدعي وجود مخفض للماء (Réducteur d'eau) من أجل رفع أداء الخرسانة والتقليل من التشوهات المختلفة [31].

2.6.1.II بعض طرق صياغة خرسانة الرمل:

إن الهدف من صياغة خرسانة الرمل هو إيجاد نسب مختلف المركبات التي تدخل في الخلطات، من أجل الحصول على خرسانة ذات هيكل حصوي أمثل يتجاوز مع المعايير التقنية والاقتصادية. ونظرا لكون مختلف طرق ومناهج الصياغة لا تخضع إلى علوم دقيقة، فإن الدراسة النظرية لا تقودنا إلى الحل النهائي لمجمل المشاكل التي تواجه التركيبات الخرسانية. ولهذا نلجأ دائما إلى دراسة تجريبية تعتمد على إنجاز خلطات متتابعة تسمح لنا بتصحيح الصياغة النظرية. ومن هنا نستطيع تمييز نوعين من طرق الصياغة وهما الطريقة النظرية والطريقة التجريبية معتمدين في ذلك على معيارين مهمين وهما:

❖ الخصائص الميكانيكية.

❖ التشغيلية.

1.2.6.1.II الطريقة النظرية لصياغة خرسانة الرمل:

من المعلوم أن خرسانة الرمل مكونة عموما من الاسمنت والماء والرمل والإضافات الدقيقة وأن الخرسانة المراد الحصول عليها يجب أن تتوفر على ترابية عالية وبالتالي نفاذية منخفضة.

توصل CAQUOT من خلال معطيات تجريبية إلى علاقة رياضية تربط بين حجم الفراغات لخليط حصوي يمثل ترابية عظمى وبين امتداده الحبيبي d/D_{max} .

وتعطى علاقة Caquot كما يلي :

$$V = V_0 (d / D_{max})^{1/5} \dots\dots\dots(2.4)$$

حيث:

V : حجم الفراغات داخل الخليط الحبيبي.

V_0 : ثابت تجريبي محصور بين 0.7 و 0.8.

d : قطر أصغر حبيبة في الامتداد الحبيبي.

D_{max} : قطر أكبر حبيبة في الامتداد الحبيبي.

وكانت هذه العلاقة بمثابة تغير في مجال صياغة الخرسانة وكانت قاعدة أبحاث لكثير من الباحثين على غرار FAURY و BOLOMEY و DREUX في طرقهم للصياغة الخرسانة العادية. كما استخدمت هذه العلاقة لصياغة خرسانة الرمل من أجل تحديد نسب مختلف المركبات داخل الخلطة مع بعض التغيرات المعتبر لهذه الحالة الخاصة [32].

وفي ما يلي سنعطي طريقة حساب كل تركيز:

* تركيز الدقائق في خرسانة الرمل:

من أجل التحسين في ترابية خرسانة الرمل تم فصل المركبات الداخلة في الخليط إلى قسمين:

1. **العناصر الدقيقة:** وهو القسم الذي يحتوي على حبيبات ذات أبعاد أقل من 80 μm والتي تمثل الاسمنت والإضافات الدقيقة وجزء من الرمل.

2. **العناصر المتبقية:** وهو القسم الذي يحتوي على حبيبات ذات أبعاد محصورة بين 80 μm و D_{max} والمتمثل في الجزء المتبقي من الرمل زيادة على الإضافات التي يتجاوز قطرها 80 μm .

وبعد إجراء هذا الفصل وتحديد قيمة V_0 في العلاقة السابقة بالثابت المتوسط 0.75 تعطى المسامية إذن بالعلاقة:

$$P_s = V = 0.75(0.08 / D_{max})^{1/5} \dots\dots\dots(2.5)$$

$P_s(V)$: مسامية الرمل المحصور بين 80 μm و D_{max} .

D_{max} : قطر أكبر حبيبة في الامتداد الحبيبي.

وإذا قمنا بإدخال تركيز أمثل للإضافات فسيصبح لنا ذلك بإكمال الامتداد الحبيبي المحدود بـ 80 μm كقيمة صغرى وسد مسامية الرمل المحسوبة بالعلاقة.

وعند قيامه ببعض التبسيطات في العلاقة استنتج CAQUOT أن قيمة حجم مجموع العناصر الدقيقة (الأقل من 80 μm) وقيمة حجم الفراغات المترتبة عنها متساويان. وبعبارة أخرى فإن حجم الفراغات المتبقية في الخليط ككل يساوي حجم مجموع الإضافات [32].

وبالتنسيق بين الاستنتاجين المتحصل عليهما، نجد أن التركيز الحجمي الأمثل للإضافات هو نصف مسامية الرمل وأن النصف الآخر يمثل المسامية الأقلية الموجودة، ونكتب:

$$[Fines] = 0.38(0.08/D_{max})^{0.2} \dots\dots\dots(2.6)$$

ويبين من خلال هذه العلاقة أن تركيز الإضافات يتعلق بحجم الحبيبات الكبيرة، ويتضح جليا أنه كلما كان قطر الحبيبات الكبيرة أصغر كلما زاد تركيز الإضافات [31].

*** تركيز الماء في خرسانة الرمل:**

وبعد القيام بتحسين الهيكل الحبيبي، والخلوص إلى أن تراصية جيدة تقود إلى مسامية ضعيفة حيث لا يأتي ذلك بسهولة، لذلك قام CAQUOT بأبحاث أخرى تتعلق بالتراصية توصل بها إلى صياغة جديدة انطلقا من علاقة المسامية السابقة، حيث سلم أن مسامية الهيكل الحبيبي تنقسم إلى مجموع حجم الماء + حجم الفراغات. واصطلح على أن تكون علاقة المسامية كما يلي [31]:

$$(e + v)_{min} = 0.8(d / D_{max})^{1/5} \dots\dots\dots(2.7)$$

e : مجموع حجم الماء.

v : مجموع حجم الفراغات.

d : البعد النسقي لأصغر الحبيبات في حالة خليط خالي من الشوائب ويعطى بالعلاقة :

$$d = (60/(f))mm \times \rho \dots\dots\dots(2.8)$$

f : المساحة السطحية معطاة بـ cm²/g

ρ : الكتلة الحجمية للعناصر معطاة بـ g/cm³

كما نص CAQUOT على أن حجم الفراغات في خرسانة الرمل أكثر منه بقليل في الخرسانة العادية وأعطى العلاقة لحجم هذه الفراغات بدلالة الماء كما نص على أنها يجب أن لا تتجاوز النسبة من 3 إلى 5 % :

$$[V_{vide}] = k[V_{eau}] \dots\dots\dots(2.9)$$

حيث :

k : ثابت محصور بين 0.2 و 0.25 [32].

* تركيز الرمل في خرسانة الرمل :

ومن أجل إكمال الحجم الوجودي لخرسانة الرمل (في المتر المكعب) من التركيبية، ولحساب تركيز الرمل ما علينا إلا طرح تراكيز باقي العناصر المحسوبة مسبقا (الماء والفراغات والدقائق) من 1 متر مكعب :

$$[V_{\text{sable}}] = 1000 - [V_{\text{fines}}] - [V_{\text{eau}}] - [V_{\text{vide}}] \left(l / m^3 \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

في النهاية بقي أن نشير إلى أن حجم الرمل المحسوب في العلاقة يمثل كل العناصر ذات الأبعاد الأكبر من 80 µm، سواء كانت من الرمل أو من أجزاء الدقائق الإضافية. [32]

2.2.6.1.II الطريقة التجريبية لصياغة خرسانة الرمل :

هناك العديد من الطرق التجريبية لصياغة خرسانة الرمل تسمح في مجملها بصياغة هذه الخرسانة، لكن ليس بهدف شرح الظواهر التي تدخل في صياغتها، وإن اختلفت في المبادئ النظرية ومناهج العمل لكن هدفها واحد وهو صياغة خرسانة ذات تراصية كبيرة وبالتالي ذات جودة عالية.

ونستخدم في هذه الطريقة تركيز ثابت للإسمنت. حيث أن هذه الأخيرة مستوحاة من الطريقة المسماة BARON-LESAGE وأنها تعتمد على خلطات متعددة لحساب التشغيلية بواسطة الجهاز الخاص بها وحساب الكتلة الحجمية الظاهرية [32].

وبهذه الطريقة تم تحقيق العديد من الانجازات التي نذكر منها : خرسانة الأوتاد وخرسانة الطرقات ... الخ.

مختلف مراحل الصياغة:

1.2.2.6.1.II صياغة خرسانة الرمل بدون إضافات:

في هذا الجزء من الطريقة سنبحث على صيغة لمختلف تراكيز المواد المكونة (اسمنت, ماء, رمل, إضافات) في المتر المكعب والتي تعطي تشغيلية مقبولة.

* تركيز الاسمنت:

يفرض علينا الشرط المهم والملزم استعمال تركيز أصغري للإسمنت في المتر المكعب للخرسانة وذلك حسب نوع المنشأة المراد بنائها ودرجة خطورة الوسط. ولهذا سنعمل على مدى هذه الدراسة بتركيز ثابت للإسمنت $C \text{ (Kg/m}^3\text{)}$ [32].

* تركيز الماء:

وسنكتفي في هذه المرحلة من الصياغة بأخذ قيمة تقريبية لتركيز الماء $E (l/m^3)$ حسب الخبرة فمثلا 220 لتر من الماء من أجل 350 Kg أو 250 لتر من الماء من أجل 400 Kg [31].

* تركيز الرمل :

وفي هذه الصياغة يتوجب إدخال ملدن مقلل للماء بالتركيز المنصوص عليه من طرف الصانع (N% من وزن العناصر الأقل من 80 μm)، ومن المعلوم أن الخرسانة تحتوي دائما على نسبة من الفراغات V_{air} حيث يكون حجم هذه الفراغات في خرسانة الرمل أكثر منه في الخرسانة العادية حيث تصل النسبة إلى ما بين 5 إلى 7 % من حجم الخرسانة.

وبعد معرفة مقدار تراكيز كل من الماء والاسمنت والفراغات والملدن يصبح من السهل استخراج تركيز الرمل في 1 متر مكعب حيث نكتب:

$$V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000 \dots \dots \dots (2.11) \text{ (باللتر)}$$

وبعد أن أصبحت الكتل الحجمية لمركبات الخرسانة معروفة يمكننا استخراج كتلة الرمل لصياغة في 1 متر مكعب من الخرسانة $S (Kg/m^3)$.

* ضبط التشغيلية ومردود الصياغة:

بعد الحصول على صياغة خرسانة الرمل وتحديد:

- التشغيلية المقابلة لهذه الصياغة بواسطة جهاز التشغيلية.

- مقدار الكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقية للخرسانة المنجزة.

يجب تصحيح الصياغة بواسطة المعادلة التكرارية التالية:

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \pm V \times MV_{sable} \dots \dots \dots (2.12)$$

حيث يمثل $MVAR$ و $MVAT$ كل من الكتلة الحجمية الظاهرية النظرية والكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقية على الترتيب [31].

إذا كان زمن السيالان للتشغيلية أقل من القيمة المرجوة يجب التقليل من قيمة حجم الماء بالمقدار $V (+V)$ في المعادلة، وإذا كان زمن السيالان للتشغيلية أكبر من القيمة المرجوة يجب الزيادة من قيمة حجم الماء بالمقدار $V (-V)$ في المعادلة.

بعد القيام بكل تصحيح يجب مقارنة الكتلة الحجمية الظاهرية النظرية والكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقية.

2.2.2.6.1.II صياغة خرسانة الرمل باستعمال الإضافات:

وفي هذا الجزء سنقوم بإضافة بعض الدقائق المحسنة والوصول إلى التركيز الأمثل لها، مع الحفاظ على معامل E/C ثابت. من أجل ذلك يجب القيام بعدة خلطات (من 5 إلى 6) تحتوي تراكيز مختلفة من هذه الدقائق المحسنة ولكن دون الخروج على المجال المنصوص عليه لاستعمالها، حيث إن إدخال هذه الدقائق من شأنه الزيادة في ترابية الخرسانة، وذلك بملئها للفراغات. [32]

وتجدر الإشارة إلى أن هدفنا هو الوصول إلى صياغة خرسانة (في 1 متر مكعب) من شأنها أن تكون كتلتها الحجمية الظاهرية النظرية تقارب كتلتها الحجمية الظاهرية الحقيقية، وزمن سيلان مناسب.

من أجل كل خلطة نقوم بحساب زمن السيالان (للتشغيلية) والكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقية MVAR ونقارنها بالكتلة الحجمية الظاهرية النظرية MVAT. وإذا استلزم الأمر نقوم بتصحيح تركيز الرمل بواسطة العلاقة التالية [32]:

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \dots \dots \dots (2.13)$$

ويوضح الجدول (II.2) بعض الأمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل. [42].

الجدول II.2: أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل.

الكمية ب (kg/cm ³)			مكونات الخلطة الخرسانية
التركيبية 3	التركيبية 2	التركيبية 1	
400	460	330	اسمنت
1260	1350	1530	رمل
200	/	/	حشو Filler
240	300	260	ماء
1/3.65	1/3	1/4.6	C/S
0.6	0.65	0.79	E/C

وهذه بعض التركيبات لخرسانة الرمل قام بها بعض المغاربة يوضحها الجدول (II.3) [43]:

الجدول 3.II: أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل قام بها بعض المغاربة [43].

E/C	الرمل الخشن	الرمل الدقيق	الماء	الاسمنت	المواد التركيبية
0.68	966	644	238	350	1
0.7	1127	483	245	350	2
0.7	805	805	245	350	3

حيث عرف الرمل الدقيق والخشن بالجدول 4.II.

الجدول 4.II: يوضح التدرج الحبيبي للرمل المستعمل في تركيبات خرسانة رمل بعض المغاربة [43]:

< 0.08 mm	0.08 - 2 mm	>2mm	
% 19	% 74	% 7	رمل دقيق
% 1	% 1	% 98	رمل خشن

7.1. II. خصائص خرسانة الرمل:

نستطيع تقسيمها الى نوعين من الخصائص قبل وبعد التصلب:

1.7.1.II خصائص خرسانة الرمل قبل التصلب:

1.1.7.1.II التراصية Compacité:

تعرف التراصية أو اندماجية الخرسانة على أنها الحجم المشغول من طرف العناصر الصلبة بالنسبة للحجم الكلي كما ذكرنا سابقا، فهي بالتالي مكملة للمسامية.

توصل الباحث CAQUOT حسب ما نص عليه [32]، بعد إجراء تجارب على خرسانة، إلى علاقة رياضية بين المسامية، داخل كومة حبيبية، تتميز بقطر d للعناصر الدقيقة و قطر D للعناصر الكبيرة (أنظر العلاقة (2.14):

$$P = P_0(d/D)^{0.2} \dots\dots\dots(2.14)$$

P_0 : ثابت تجريبي.

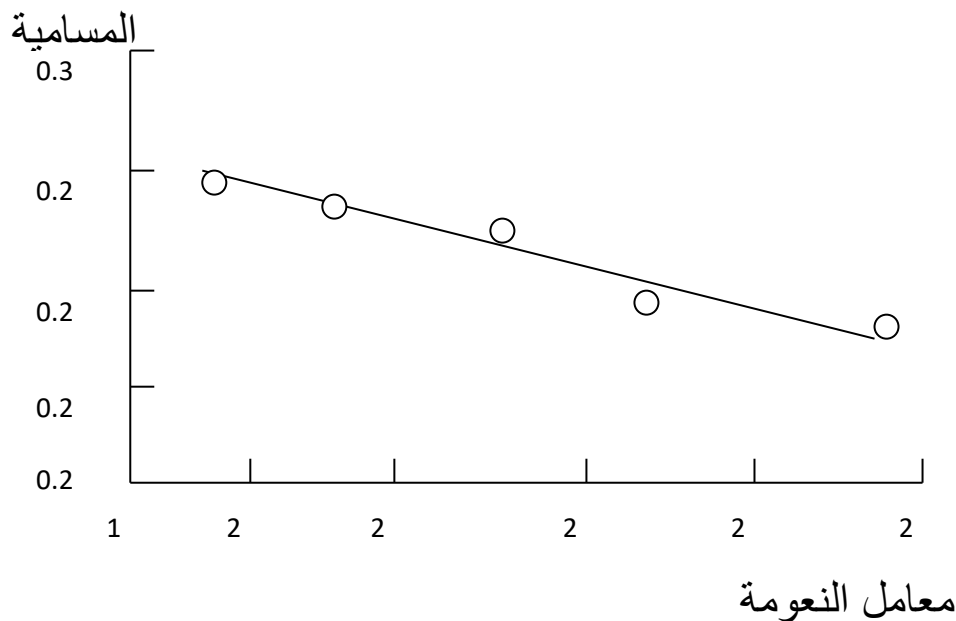
d : قطر العناصر الدقيقة.

D : قطر العناصر الكبيرة.

نشير هنا إلى أن مدى صحة هذه العلاقة يبقى محصور في الخلطات التي تكون فيها أحجام المكونات في الامتداد الحبيبي محسنة من ناحية التراصية. بعبارة أخرى، التراصية المثلى لا تتعلق فقط بالامتداد الحبيبي، بل وبالتوزيع الحبيبي للدقائق أيضا.

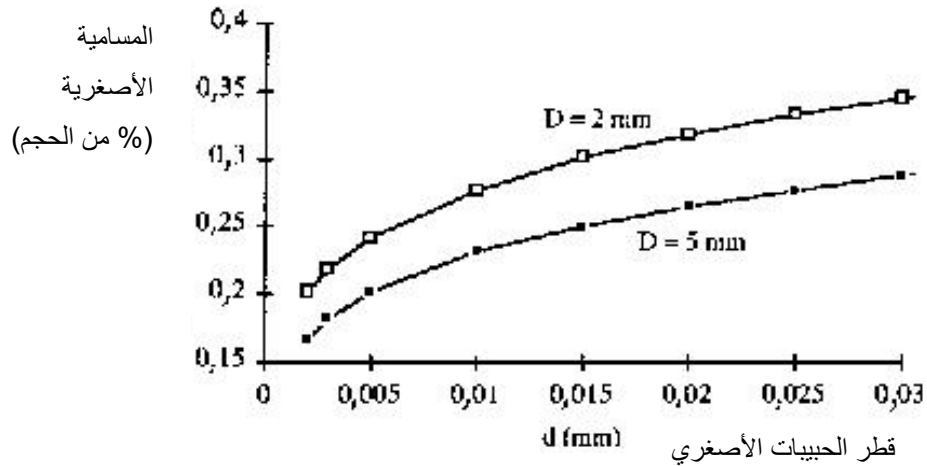
من المعلوم أن قطر الحبيبات في خرسانة الرمل يكون $D \geq 5$ مم ، لذلك فإنه من الواضح أن الخليط، رمل - اسمنت، يكون ذات مسامية عالية مقارنة بخرسانة عادية. حيث تسبب الزيادة في السطوح النوعية في خرسانة الرمل إلى الزيادة في المسامية، أي أنه كلما زاد معامل النعومة (Module de finesse) كلما نقصت المسامية (أنظر الشكل II.5) لذلك إذا أردنا الحفاظ على التراصية- اندماجية- عظمى، فالطريقة الأسهل هي الزيادة من تركيز الاسمنت. لكن تبقى هذه الطريقة غير مستحبة من الناحية التقنية، نظرا لخطر الانكماش الذي ينجم عنها، كما أن الزيادة في تركيز الاسمنت يسبب ارتفاعا في التكلفة الكلية.

في ظل هذه الشروط، يصبح من الضروري اللجوء إلى استعمال حشو ذو حبيبات مشابهة لحبيبات الاسمنت، وذلك من أجل سد جزء من فراغات الرمل، بهدف الحد من الزيادة في تركيز الاسمنت [32,33]. والمنحنى التالي يوضح تغير المسامية بدلالة معامل النعومة :



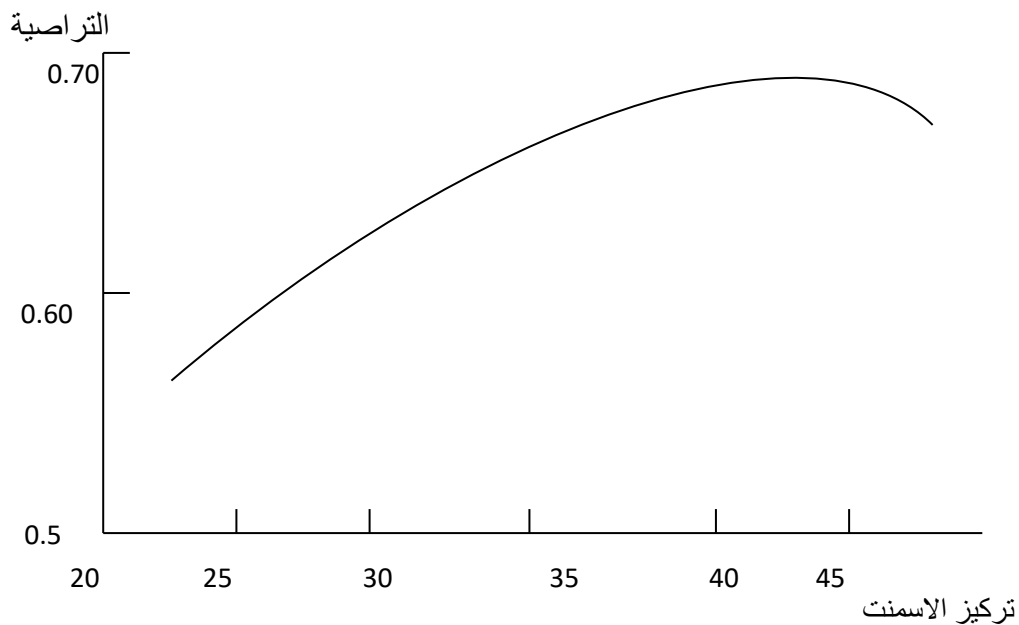
الشكل II.5: تأثير المسامية بمعامل النعومة [33].

من الملاحظ في هذه المنحنى أنه كلما زاد معامل النعومة نقصت المسامية وهذا راجع كما أسلفنا إلى أن زيادة معامل النعومة يعني أن حبيبات الرمل زادت من الخشونة وبالتالي نقصت المساحة النوعية مما يستدعي نقصان المسامية.



الشكل 6.II: تأثير بعد الحبيبات الأصغري d على مسامية الخرسانة باستعمال حجمين مختلفين D من الرمل

والمنحنى التالي يوضح تغير التراصية بدلالة تركيز الاسمنت [47]:



الشكل 7.II: التراصية بدلالة تركيز الاسمنت [43]

من الملاحظ في هذه المنحنى أنه كلما زاد تركيز الاسمنت زادت التراصية وهذا راجع كما أسلفنا الى أن الاسمنت لعب دور الحشو وملاً الفراغات بين حبيبات الرمل مما زاد في التراصية.

ان التراصية العظمى لخليط من الخرسانة والرمل تعطى بـ 70% .

الجدول 5.II: التراصية العظمى بدلالة D_{max} [43].

القطر الأعظمي	$D_{max} = 5mm$	$D_{max} = 12.5mm$	$D_{max} = 20mm$
التراصية	0.75	0.79	0.805

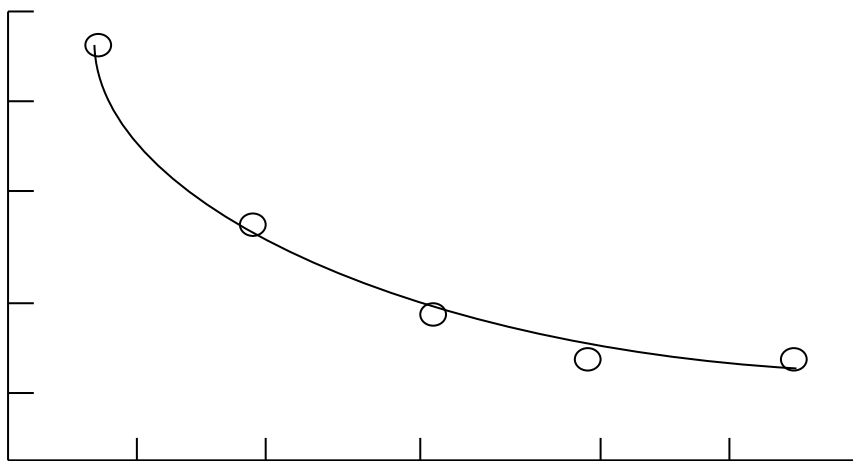
2.1.7.1.II قابلية الانسياب Maniabilité :

تعتبر التشغيلية أحد الخصائص الفيزيائية النوعية للخرسانة ، وذلك إذا أهملنا شروط الاستعمال الخاصة [44]. وتنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة [42] كما تعرّف على أنها سهولة الخلط للخرسانة الطازجة وتجانسها وسهولة قولبتها.

وتتطلب خرسانة الرمل كميات كبيرة من المياه مقارنة بالخرسانة العادية وهذا يترجم بالنسبة E/C الكبيرة ما بين 0.6 الى 0.7 حيث أن هذه النسبة في الحالة العادية تقارب 0.5 هذه الخاصية تعود الى نعومة الخليط الكبيرة (Finesse) .

إضافة إلى ذلك فإنّ التركيب الحبيبي يلعب دور كبير في الحاجة للماء حيث أنه كلما كان الرمل غني بالعناصر الكبيرة كلما كانت الحاجة للماء أقل أي تتحسن التشغيلية وهو ما يترجم في العلاقة بين معامل النعومة و التشغيلية في الشكل [33] .

التشغيلية



معامل النعومة

الشكل 8.II: التشغيلية بدلالة النعومة، تأثير مقدار الدقائق [31]

ويتضح من الشكل أنه كلما زاد معامل النعومة كلما نقص الزمن اللازم للسيلان (Temps d'écoulement) واستوجب بذلك التحسين في التشغيلية.

II.7.1.2. خصائص خرسانة الرمل بعد التصلب:

II.7.1.1.2 الخصائص الميكانيكية:

تعتبر المقاومة الميكانيكية أحد أهم الخصائص في الخرسانة. لذلك فإنه من الضروري، أن تؤخذ كل من مقاومة الكسر والشد والضغط بعين الاعتبار أثناء الدراسة. وفي العادة تعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث أن مقاومة الركام كبيرة جدا بالنسبة لمقاومة العجينة , ولذلك فإن انهيار الخرسانة التقليدية يكون دائما في العجينة ويمر الشرخ حول الركام, فإذا أمكننا إنتاج عجينة ذات مقاومة عالية جدا تقترب من مقاومة الركام فإننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة والتي يكون الانهيار فيها مفاجئ حيث يمر الشرخ بالركام وليس حوله. [42]

II.7.1.1.2.1 مقاومة الضغط :

إن مقاومة الضغط هي أهم خواص الخرسانة المتصلبة على الإطلاق وهي تعبر عن درجة جودتها وصلابتها. ومقاومة الضغط هي المقاومة الأم للخرسانة حيث ان معظم الخواص و المقاومات الأخرى مثل الشد والانحناء والقص تتحسن وتزيد بزيادة هذه مقاومة والعكس صحيح [40].

وقد أجريت دراسات جامعية عديدة على مقاومة الضغط بالنسبة لخرسانة الرمل أهمها:

* أعمال CHAOUCH [46] التي أجراها على أربعة أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في

الجدول (II.10).

الجدول 6.II: نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات CHAOUCH [32] لخرسانة الرمل.

مقاومة الضغط في 28 يوم بـ (bar)				التركيز بـ Kg/m ³				
الأنواع				الأنواع				
4	3	2	1	4	3	2	1	
144.56	149.41	165.67	140.61	300	350	400	350	الاسمنت
				1560	1470	1420	1505	رمل الكثبان
				240	280	280	245	الماء
				0.8	0.8	0.7	0.7	E/C

* أعمال GUENOUN [45] التي أجراها على ستة أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (11.II).

الجدول 7.II : نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات GUENOUN لخرسانة الرمل [47].

التركيز بـ Kg/m ³						المركبات
الأنواع						
6	5	4	3	2	1	
375	375	375	375	375	375	الاسمنت
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	المحسن
666.49	799.79	933.1	1066.39	1199.69	1332.96	رمل الكثبان
705.55	546.44	423.33	282.22	141.11	-	رمل المحاجر
217.84	218.5	219.19	220.52	227.82	232.5	الماء
24.5	23.98	21.76	20.28	18.88	16.73	مقاومة الضغط في 28 يوم بـ (MPa)

* أعمال KETTAB [43] التي أجرتها على ثلاث أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (12.II).

الجدول II.8 : نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات KETTAB [43] لخرسانة الرمل

3	2	1	المركبات
0.9	0.85	0.8	E/C
350	350	350	الاسمنت
1378.33	1424.53	1470.73	رمل الكثبان
315	297.5	280	الماء
4.13	4.13	4.13	المحسن
8.85	10.25	8.84	مقاومة الضغط في 28 يوم ب (MPa)

ومن هذه النتائج نستخلص أن مقاومة الضغط لخرسانة الرمل تعتبر ضئيلة نسبيا مع المقاومة في الخرسانة العادية.

2.1.2.7.1.II مقاومة الشد :

هناك عدة دراسات أجريت بخصوص مقاومة خرسانة الرمل للشد، والتي نذكر منها الأعمال المنجزة من طرف :

* أعمال CHAOUCH [46]، الذي أجراها على أربع أنواع من خرسانة الرمل فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (II.9) [46] :

الجدول 9.II: نتائج مقاومة الشد لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال CHAOUCH [46].

مقاومة الشد في 28 يوم بـ {bar}				التركيز بـ Kg/m ³				
الأنواع				الأنواع				
4	3	2	1	4	3	2	1	
10.7	11.5	15.7	10.3	300	350	400	350	الاسمنت
				1560	1470	1420	1505	رمل الكتبان
				240	280	280	245	الماء
				0.8	0.8	0.7	0.7	E/C

نستنتج من خلال النتائج الموضحة في الجدول أن مقاومة خرسانة الرمل للشد أقل نسبياً من المقاومة في الخرسانة العادية.

* أعمال GUENOUN [47] التي أجراها على ستة أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (II.10).

الجدول 10.II: نتائج مقاومة الشد لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال GUENOUN [47].

التركيز بـ Kg/m ³						المركبات
الأنواع						
6	5	4	3	2	1	
375	375	375	375	375	375	الاسمنت
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	المحسن
666.49	799.79	933.1	1066.39	1199.69	1332.96	رمل الكتبان
705.55	546.44	423.33	282.22	141.11	-	رمل المحاجر
217.84	218.5	219.19	220.52	227.82	232.5	الماء
1.98	1.93	1.84	1.4	1.37	1.24	مقاومة الشد في 28 يوم (MPa)

2.2.7.1.II معامل المرونة:

يعرف معامل المرونة على أنه الميل لمنحنى التشوه العام مع الإجهاد و يعبر عنه بالعلاقة [44]:

$$E = \frac{\sigma_{cj}}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2.15)$$

حيث :

E : معامل المرونة

σ_{cj} : اجهاد الضغط المطبق يعطى ب MPa

ε : التشوه النسبي وهو يساوي $\Delta L/L$

وهذه بعض نتائج أبحاث معامل مرونة لبعض تركيبات خرسانة الرمل :

* وجد مجموعة من الباحثين PENPC أصحاب كتاب [32] التي أجروها على ثلاث أنواع من الخرسانة فكانت نتائج معامل المرونة كما هو موضح في الجدول (II.11)

الجدول 11.II: نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال [32].

3	2	1	المركبات
330	400	350	الاسمنت
-	100	200	المحسن
900	1450	1400	رمل (2.5/0)
800	-	-	كلس 10/6
180	190	200	الماء
28200	30280	21200	معامل المرونة (MPa)

- كما وجد CHAOUCH [46] في أعماله نتائج معامل المرونة كما وهو مبين في الجدول II.12:

الجدول 12.II: نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال CHAOUCH [46].

التركيز بـ Kg/m ³		الأنواع
2	1	المركبات
400	400	الاسمنت
-	200	المحسن
1460	1220	رمل الكثبان
-	-	رمل المحاجر
240	280	الماء
2166.67	2100	معامل المرونة (MPa)

- كما وجد BATATA و NAFA [52] في أعمالهما نتائج معامل المرونة كما هو مبين في الجدول II.13.

الجدول 13.II: نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخرسانية لأعمال NAFA و BATATA [48].

التركيز بـ Kg/m ³					الأنواع
5	4	3	2	1	المركبات
350	350	350	350	350	الاسمنت
100	50	-	-	-	المحسن
-	-	-	-	-	رمل الكثبان
1300	1300	1300	1480	1480	رمل المحاجر
292.5	268	245	250	280	الماء
3060	4800	2460	3300	2357.14	معامل المرونة (MPa)

3.2.7.1.II :Le retrait الانكماش

تتعرض الخرسانة و الملاط إلى تغيرات مهمة في الحجم بتغير كمية الماء الداخلة في التركيبة أو رطوبة المحيط أو الحرارة هذا التغير في الحجم يصطلح عليه بالانكماش وهو عدة أنواع بحسب المسبب ووقت الحدوث بالنسبة للتصلب.

نذكر أن الانكماش الحراري يحدث قبل التصلب, الانكماش اللدن (التبخّر), انكماش الاماهة بعد التصلب [46].

1-الانكماش الحراري:

تتولد أثناء عملية التصلب المبكرة حرارة ناتجة من التفاعل الكيميائي بين الماء والإسمنت . وغالباً ما تعالج العناصر المسبقة الصنع بالبخار وهذه المعالجة الحرارية تولد كمية كبيرة من الحرارة خلال الخرسانة . وعند ما تبرد الخرسانة وتنكمش تبدأ الاجهادات الحرارية في الظهور والنمو خاصة إذا كان التبريد غير منتظم خلال العنصر . وقد يحدث إجهاد الشد الحراري شروخاً دقيقة جداً يقدر أن يكون لها أهمية إنشائياً. ولكن ذلك يوجد أسطحاً ضعيفة داخل الخرسانة، كما أن انكماش الجفاف العادي يؤدي إلى توسيع هذه الشروخ بعد ربط العناصر مسبقاً الصنع [49].

2-الانكماش اللدن:

تحدث نتيجة التبخر السريع للماء من سطح الخرسانة وهي لدنه أثناء تصلدها. وهذا التبخر السريع يتوقف على عوامل كثيرة أهمها درجة الحرارة وسرعة الشمس المباشرة تجعل معدل التبخر أعلى من معدل طفو الماء على سطح الخرسانة [48] .

وتكون شروخ الانكماش اللدن عادة قصيرة وسطحية وتظهر في اتجاهين عكسيين في آن واحد . وفي حالة عناصر المنشآت سابقة الصب التي تصنع في أماكن مغلقة وتعالج جيداً فلا يخشى من خطورة شروخ الانكماش اللدن لصغرها [50] .

3-انكماش الجفاف :

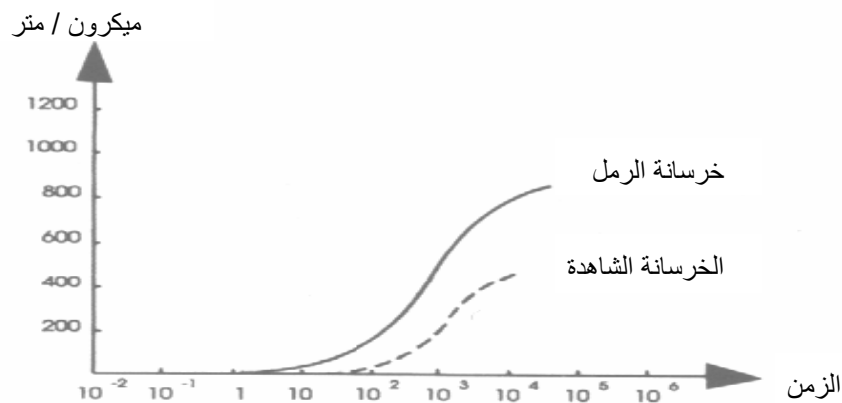
وينجم هذا النوع من الانكماش بسبب ظاهرة خروج الماء إلى المحيط الخارجي نتيجة قوى الشد الداخلية والخاصية الشعرية، وهو غير منتظم في كل العينة إذ أن الجوانب تكون أسرع تأثراً بهذا النوع من الانكماش من داخلها. ويتحكم حجم العينة في سرعة هذه الظاهرة [38].

والجدول (II.14) يلخص أهم أنواع الانكماش [51] :

الجدول II.14: أهم أنواع الانكماش.

النوع	الأسباب	الملاحظات	كيفية المعالجة
الانكماش اللدن (قبل التصلب)	تبخر كمية من الماء الداخل في الخرسانة	تشققات متتابعة لأن الخرسانة منجذبة داخل الكتلة	نستعمل محسن لمنع التبخر الأولي للماء
انكماش حراري (بعد التصلب)	نتيجة رجوع الخرسانة الى الحرارة العادية للمحيط وفقدتها لحرارة التفاعل	نلاحظ نقص صغير في الطول	يجب تفادي التراكيز الإضافية للاسمنت
(انكماش الجفاف) (بعد التصلب)	ناجم عن نقص الحجم الذي يسببه خروج الماء بالخاصية الشعرية وتصلب العجينة التي تنتج قوى شد	يزداد الانكماش بازدياد نعومة وتركيز الاسمنت	يجب المحافظة على الدمك في الخرسانة.

فيما يخص الانكماش (Le retrait) : يمكن أن نلاحظ الشكل إذا عزلنا المادة عن المحيط الخارجي فإن الانكماش ذاتي التجفيف لخرسانة الرمل (Le retrait d'autodéssication) يكون مقارب للخرسانة العادية, لكن إذا تركنا الخرسانة تجف في محيط غير معزول فإن انكماش خرسانة الرمل يصل إلي قيم مضاعفة لتلك في الخرسانة العادية هذه الظاهرة يمكن أن تتعلق بتوزيع ومقاسات الفراغات المختلفة داخل المادتين.



الشكل II.9: الانكماش الكلي. [31]

هذه النظرة قد دعمت من طرف بعض الباحثين على غرار: MEROUANI.Z و BATATA.A [48]، الذين وجدوا في بعض دراساتهم التجريبية أن القيمة النهائية للانكماش لخرسانة رمل الكثبان ذات التركيبة:

$$C = 330 \text{ Kg/m}^3, S = 1530 \text{ Kg/m}^3, E = 260 \text{ l/m}^3$$

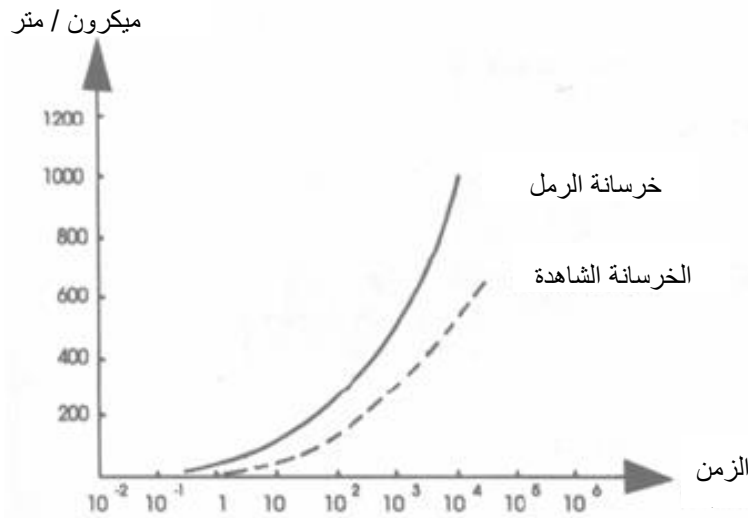
بأن قيمة الانكماش كانت كبيرة حيث بلغت قيمة 1.5 مم/م مقارنة بالقواعد التي تنص عليها قوانين الخرسانة العادية التي يجب أن لا تتعدى فيها قيمة الانكماش 0.3 إلى 0.5 مم/م.

وفي الأخير نستنتج أن الفرق بين الانكماش في التركيبين (خرسانة الرمل و الخرسانة العادية) يكمن في عدة عوامل نذكر من بين أهمها:

- تأثير تركيز الماء.
- تأثير تركيز الاسمنت.
- تأثير التوزيع وحجم الفراغات، التي تتأثر بدورها بحجم حبيبات الرمل وكمية الدقائق.

4.2.7.1.II : Le fluage الزحف

يتضح من المنحنى أسفله أن ظاهرة الزحف في خرسانة الرمل هي أكثر مقارنة بالخرسانة العادية، وهذا راجع إلى هيكلية المواد الداخلة في تركيبة الخرسانة، حيث تؤثر هذه الأخيرة على قيم التشوه ومن ثم على المقاومة، ويتضح ذلك من معامل المرونة (Module d'élasticité) الضعيف في خرسانة الرمل مقارنة بالخرسانة العادية الذي يعتبر العلاقة المباشرة بين هذين الأخيرين (التشوه والمقاومة).



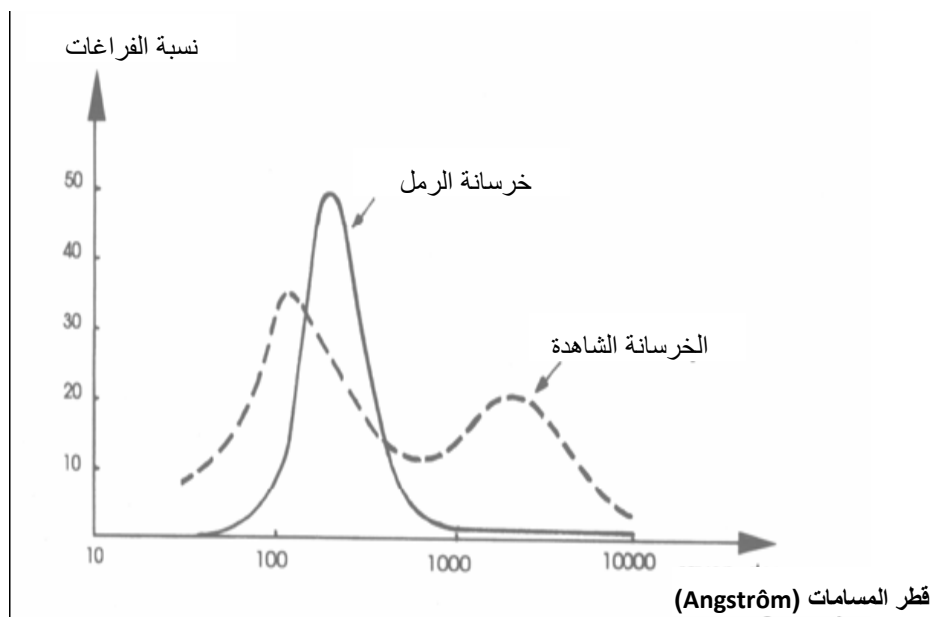
الشكل 10.II: الزحف الكلي [31]

وهذا ما أثبتته أبحاث CHAOUCH [28] و BATATA و NAFA [48] أن معامل المرونة لخرسانة رمل الكثبان يساوي أقل بكثير من معامل الليونة في الخرسانة العادية الذي يتراوح بين (25 إلى 45GPa) كما قدمنا سابقا.

5.2.7.1.II الديمومة: (Durabilité)

عادة ما تكون ديمومة خرسانة الرمل متعلقة أساسا بالمكونات الفيزيائية للتركيبية مثلها مثل ديمومة الخرسانة العادية، كما تتعلق أيضا بالمسامية و النفاذية وتوزيع الفراغات. إضافة إلى هذا، هناك عوامل أخرى داخلية مؤثرة، كتفاعل القلويات و السلفات مما يغير من طبيعة الخرسانة، وقد تتضاعف هذه التفاعلات عن طريق التبادلات الهيدروليكية بالوسط الخارجي.

تختلف خرسانة الرمل عن الخرسانة العادية، بتركيزها العالي للرمل، وهذا ما يجعلها عموما تحتوي على أكثر عدد من المسامات ذات الأحجام الصغيرة، أي نسبة عالية من الفراغات مقارنة بالخرسانة العادية.



الشكل 11.II: منحنى توزيع المسامية بدلالة قطر الفراغات [31]

عادة ما يؤثر المحيط (الوسط الخارجي) على الديمومة بعاملين أساسيين:

6.2.7.1.II الخاصية الشعرية:

تتعلق الخاصية الشعرية أساسا بنسبة واستمرارية المسامات الصغيرة، حيث تكون الخاصية الشعرية عالية في المواد ذات العدد الكبير للمسامات الصغيرة والمتواصلة، وبالتالي ديمومة أقل، وعلى العكس إذا كانت الفراغات الصغيرة متقطعة، فإن الديمومة تكون أكثر، ونجد هذا في خرسانة الرمل المدموكة جيدا (Bien compacté).

7.2.7.1.II النفاذية (perméabilité):

تتعلق النفاذية أساسا بحجم واستمرارية المسامات الكبيرة، حيث تكون النفاذية عالية في المواد ذات العدد المرتفع للمسامات الكبيرة والمتواصلة، وبالتالي ديمومة أقل، وإذا اتبعنا هذه الفرضية فنستنتج أن خرسانة الرمل تكون لها نفاذية أقل أي ديمومة أكبر.

هي الخاصية التي يمكن بواسطتها تسرب أي سائل خلال الخرسانة، و النفاذية خاصية هامة بالنسبة للخرسانة يجب تجنبها قدر الإمكان خصوصا في المنشآت المائية والسدود و الخزانات وأسقف الحمامات، ومن المعروف أنه كلما زادت كثافة الخرسانة قلت نفاذيتها، لان زيادة الكثافة تدل على قلة وجود الفراغات الداخلية والممرات الشعرية.

8.1. II مزايا وميادين استعمال خرسانة الرمل :

تعتبر خرسانة الرمل من مواد البناء الحديثة، حيث أنها تستعمل منابع طبيعية من الرمل، وبذلك تزيل الكثير من العوائق التي تواجه تطور ميدان الإنشاءات.

ونذكر أنه يوجد العديد من أنواع خرسانة الرمل، مما يضع هذه المادة كأحد مواد البناء المتميزة، خاصة عندما يشكل استعمال الخرسانة العادية في بعض الميادين مشكلا أو عائقا في التطبيق – مثلا إذا كان التسليح مكثف ومعقد وكانت الخرسانة العادية ذات حصى كبير فإنه يطرح مشكل التغليف – ، وذلك بفضل الخصائص التي تنفرد بها خرسانة الرمل والتي منها :

1.8.1.II قابلية التشغيل : L'ouvrabilité

خرسانة الرمل تملأ القوالب بطاقة رص (Energie de serrage) أقل و بدون إضرار بخصائص المادة لهذا فإنه:

- يمكن أن ننجز بخرسانة الرمل العناصر الرفيعة أو ملاً الأجزاء المعقدة.

- خرسانة الرمل تضمن تغلِفاً جيداً لحديد التسليح و لو كان التسليح كثيفاً جداً أو معقداً. أو كان الرج (Vibration) مستحيلاً.

- مسافة ضخ عالية (Pompabilité)

2.8.1.II نوعية المظهر Qualité d'aspect:

نتيجة لسهولة استعمالها و تركيبها الحبي الصغير يمكننا أن نحصل بواسطة خرسانة الرمل على فعل معماري (Effets architectural) متنوع و مدهش و فتان :

ذي مظهر شديد الملاسة مثل الرخام ،مظهر دقيق الحصى ،مظهر متكامل و إنتاجية وفية لقوالب دقيقة جدا، مع انعدام العيوب المظهرية خاصة الناتجة عن تحلل الخرسانة.

3.8.1.II التجانس و التماسك Homogénéité-Cohésion:

الخلطة و التركيب الحبيبي يعطي خرسانة الرمل تجانسا و متماسك السطوح و جوانب الخرسانة الظاهرة مرضية جدا سواء بلون الرمل أو بإضافة ملونات للحصول على ألوان أكثر ،هذه الخصائص مهمة جدا للعناصر المعمارية و الحدائق.

4.8.1.II مصدر محلي للمواد الأولية :**- الرمل الفائض:**

أيا كانت مصادر هذا الفائض (رمل طبيعي مثل الكثبان أو مكسر) فإن استعماله الأمثل يكون بذلك بالضرورة مريحا للاقتصاد المحلي.

- ندرة الحصباء :

هذه الندرة سواء (للرمل الطبيعي المستعمل في البناء أو الحصى) و سواء أكانت حالية أو مستقبلية فإن الأهمية الاقتصادية للحصول على مادة معوضة للخرسانة التقليدية تكمن في التحكم في التطبيقات الواسعة و المتنوعة لخرسانة الرمل ، التي تكون ملائمة للاقتصاد المحلي أو الوطني.

- البيئة :

الأثر البيئي بدأ يؤخذ أكثر فأكثر في الحسبان لأن الاقتلاع الكبير للحصى الذي يوجد بكميات ليست متجددة يمس بالتوازن البيئي . فقد نقلت جريدة أخر ساعة الجزائرية في عددها الصادر في 2010/01/27. [50]

((حيث تحولت العديد من المناطق بولاية بومرداس خلال السنوات الأخيرة ،إلى مناطق خصبة لعصابات النهب و السرقة التي تفننت في استنزاف كميات هائلة من الرمال، مما يندر بوقوع كارثة بليغة بالأراضي الفلاحية المحاذية لتلك الشواطئ والأودية، والتي بدأت مساحاتها في تقلص مستمر)) كما أضافت نفس الجريدة وفي نفس الموضوع تسريحات للسيد قائد الأركان بالمجموعة الولائية ببومرداس " موسى مختار "فقال ((وللاشارة وحسب قائد الأركان بالمجموعة الولائية ببومرداس " موسى مختار " فان ظاهرة نهب الرمال تبقى متفشية بصورة كبيرة بمختلف شواطئ الولاية رغم ما اتخذ من إجراءات أمنية ووقائية لحماية ثرواتنا من ظاهرة السرقة

هذه، فقد تم سد كل المنافذ المؤدية إلى الشواطئ بحيث سجلت ذات المصالح في هذا الشأن و منذ بداية السنة الجارية أكثر من 200 قضية تورط فيها أكثر من 146 شخصا و أودع 99 منهم الحبس بمختلف مراكز التربية. كما حجزت خلالها مصالح الدرك الوطني 92 مركبة وضعت في الحظيرة إلى غاية صدور حكم قضائي بشأنها و570 متر مكعب من الرمال، إضافة إلى رمال الوديان التي أضحت هي الأخرى مستهدفة من قبل المافيا حيث تم حجز 40 متر مكعب منها خاصة بوادي سيياو المتواجد ببلدية بغلية أقصى شرق ولاية بومرداس.)) وعند تفسير هذا الكلام نجد أنه في مدة 27 يوم تم قبض 570 متر مكعب أي بمعدل 21.1 متر مكعب يوميا من هذا شواطئ فقط.

- خفض ثمن التكلفة:

نظرا لخصائص خرسانة الرمل يمكن خفض التكلفة عن طريق:

- اقتصاد في المادة .

- ربح في إنتاجية الورشة و زيادة في الفاعلية و سرعة الإنتاج.

- خفض التكلفة الاجتماعية للإنجاز عن طريق تسهيل العمل.

وبفضل الخصائص السالفة الذكر التي تتميز بها خرسانة الرمل فقد استعملت في العديد من المنشآت المختلفة:

- العمارات :

يمكن استعمال خرسانة الرمل في إنشاء العمارات نظرا لتشغيليتها السهلة ومنظرها الجمالي الجيد.

- الطرقات :

ظهر أول استعمال لخرسانة الرمل في الطرقات في بداية التسعينات من القرن الماضي في الجنوب الفرنسي، وذلك باستعمالهم للرمل المحلي لخفض التكلفة.

- الترميم:

حيث تشكل خرسانة الرمل مادة عملية وسهلة للقيام بأشغال الترميم وكذا تساهم في استقرار المنحدرات.

الخلاصة :

من خلال هذا المحور نستطيع أن نستخلص ما يلي:

1. أن استعمال خرسانة الرمل في مجال الانشاء قديم جدا.
2. أن نسبة G/S و E/C لها تأثير كبير ومباشر على خصائص خرسانة الرمل.
3. خرسانة الرمل لها مزايا تؤهلها أن تكون بديل ممتاز للخرسانة العادية.

المطلب الثاني: عموميات حول الديمومة

1.2II. مدخل:

تقوم عادة الخرسانة بمقاومتها للضغط، فهي المقاومة التي من شأنها أن تكشف لنا عن نوعية هذه الخرسانة هل هي من النوع الجيد أو المقبول أو غير ذلك، ولكن مع تطور الزمن وتقدم العلوم لم تعد هذه المقاومة كافية لوحدها لإثبات جدارة هذه المادة، فقد تكون مقاومة الضغط اليوم لمنشأة ما عالية جيدة ولكن بعد فترة من الزمن نجد هذه المنشأة قد بدت عليها عيوب مختلفة وتدهورت هذه المقاومة.

إن هذه الفترة الزمنية التي يمكن أن تبقى فيها المنشأة الخرسانية تؤدي مهامها التي أنشئت من أجلها تسمى " العمر الافتراضي للمنشأة"، وقد يختلف هذا العمر من وسط لأخر فالمنشآت التي هي تحت الأرض يختلف عمرها عن التي هي في مياه البحار وغير ذلك، إن تحمل هذه الظروف وهذا الوسط في هذه الفترة الزمنية يطلق عليه الباحثون مصطلح " الديمومة".

2.2II. تعريف الديمومة:

الديمومة هي تحمل الخرسانة للظروف التي صُممت من أجلها [45] لكي تعمل في محيطها فترة طويلة من الزمن (العمر الافتراضي) دون حدوث تلف أو تفتت بها، أي أنه يجب عليها مقاومة آليات التدهور والتآكل الناتجة عن مختلف التفاعلات الكيميائية الضارة مع الوسط المحيط بها.

وتتجلى ظاهرة تدهور الخرسانة من خلال التفاعلات التي يمكن أن تنجم عن تأثير العوامل الخارجية أو العناصر الداخلية لها، هذه التأثيرات يمكن أن تكون ميكانيكية وفيزيائية أو كيميائية ناجمة عن أفعال القلويات السيليكية والكاربونية والتأثيرات الكيميائية الخارجية عند وجود الأيونات العدوانية مثل الكلوريدات، الكبريتات وغاز الكربونيك والعديد من الغازات والسوائل ذات الأصل الطبيعي أو الصناعي. [53]

إن تآكل الحديد الموجود داخل الجسم الخرساني لا يتفاعل ولا يتأثر بأي عنصر من العناصر الإسمنتية، ما دام محميا بالخرسانة من دخول العناصر الغريبة التي بإمكانها أكسدته، ولا تتمكن هذه الأخيرة من الوصول إلى الحديد إلا إذا كانت الخرسانة ضعيفة بها خلل أو أنها أنجزت بطريقة غير مطابقة للمواصفات كاحتواء الركام أو ماء الخلط على عناصر ضارة.

ومن أجل هذا فقد وجدت قواعد تنص على هذا هي NF EN 206-1 [54] والمراجع FD P18-011

[55].

إن تفاعل الوسط الخارجي الذي يحتوي على مجموعة من العناصر الضارة مع الخرسانة، يجبرنا لمعرفة طبيعة ومركبات هذه الأخيرة والمراحل الكيميائية لتصلبها - إماهة الإسمنت - ومعرفة نواتجها، لنعلم آلية تطورها ومدى تفاعلها مع هذه العناصر الغريبة.

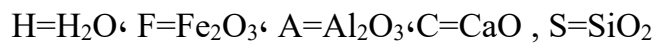
II 3.2. تصلب الخرسانة – إماهة الإسمنت:

إماهة الإسمنت هي التفاعل الكيميائي للإسمنت والماء والذي بموجبه يكون الإسمنت مادة رابطة أي أنه بوجود الماء تحدث تفاعلات وتتكون مركبات جديدة تنتج عنها بمرور الوقت كتلة متينة وصلبة تعرف بعجينة الإسمنت المتصلبة.

لمعرفة آلية إماهة الإسمنت وتصلب الخرسانة يجب معرفة التركيبة الكيميائية للإسمنت البورتلاندي، إذ هو متكون من مركبات رئيسية وأخرى ثانوية، إن مصطلح المركبات الثانوية يشير إلى كمية هذه المركبات وليس إلى أهميتها.

أ- المركبات الرئيسية:

المواد الأولية المستعملة في صناعة الإسمنت البورتلاندي تتكون بصورة رئيسية من الجير(الكلس) والسيليكات والألومينا وأكاسيد الحديد وعندما تخلط هذه المكونات وتتم عليها عملية الحرق بالأفران يتكون الكلنكر والذي يحتوي على أربعة مركبات رئيسية، كما هو مبينة في الجدول رقم (1) مع رموزها المختصرة والتي تستعمل من قبل كيمائي الإسمنت حيث يرمز لكل أكسيد بحرف واحد:



الجدول 15.II المركبات الرئيسية للإسمنت البورتلاندي [56]

المركب	الرمز المختصر	التركيبة الكيميائية
سيليكات ثلاثي الكالسيوم	C ₃ S	3CaO.SiO ₂
سيليكات ثنائي الكالسيوم	C ₂ S	2CaO.SiO ₂
ألومينات ثلاثي الكالسيوم	C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃
ألومينات حديد رباعي الكالسيوم	C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

ب- المركبات الكيميائية:

الجدول 16.II المركبات الكيميائية للإسمنت البورتلاندي [56]

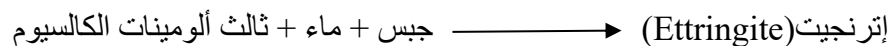
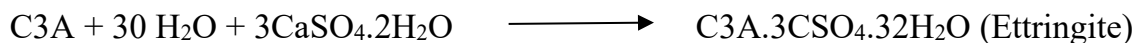
أسماء العناصر	الصيغة الكيميائية	النسبة المئوية التقريبية %
السليكات	SiO ₂	25-18
أكسيد الألمنيوم	Al ₂ O ₃	7-4
أكسيد الحديد	Fe ₂ O ₃	4.5-1.5
أكسيد الكالسيوم	CaO	70-55
أكسيد المغنيزيوم	MgO	1- 2,5
ثلاثي أكسيد الكبريت	SO ₃	1-3

-هنالك نوعان من تفاعل مركبات الإسمنت مع الماء، الأول والذي يعتبر التفاعل الحقيقي لعملية الإماهة وهو الإضافة المباشرة لجزيئات الماء إلى الإسمنت والثاني هو التحمل بالماء.

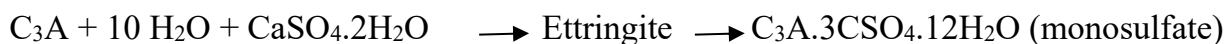
- تختلف سرعة التفاعلات الكيميائية للمركبات المختلفة حتى لو تمت تحت ظروف ملائمة من درجات الحرارة وتوفر الماء إذ أن المركبات الموجودة بشكل فعال وبالأخص ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C₃A) وبدرجة أقل ألومينات حديد رباعي الكالسيوم (C₄AF) تبدأ بالتفاعل مع الماء أولاً حيث تؤثر على مسلك التفاعلات الكيميائية في الأوقات المبكرة من عملية الإماهة وأن التفاعل يستمر بوجود الماء، أما السليكات فإنها تؤثر على التفاعلات الكيميائية في المرحلة التالية.

- سليكات الكالسيوم (C₃S،C₂S) هي المركبات الرئيسية وأن السلوك الفيزيائي للإسمنت أثناء عملية الإماهة يماثل سلوك هذين المركبين. وتعزى المقاومة النهائية لهيكل عجينة الإسمنت المتصلبة بصورة رئيسية إلى سليكات الكالسيوم المتميئة. إن سليكات الكالسيوم تشكل حوالي 75% من وزن الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي لذا فإنها تشكل الجزء الأعظم من عجينة الإسمنت في أي مرحلة من مراحل عملية الإماهة.

1.3.2.II إماهة ألومينات ثلاثي الكالسيوم C₃A:

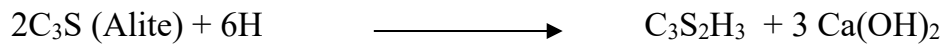


يترسب الترنجيت ويكون مركب غير مستقر ويتحول إلى كبريتات أحادية بالتدرج وهي المنتج النهائي لإماهة الإسمنت البورتلاندي.

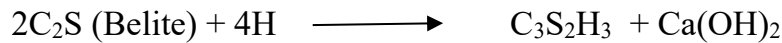


2.3.2.II إماهة سيليكات الكالسيوم:

يعتبر المركبان C_2S و C_3S من المركبات الإسمنتية المسؤولة عن إعطاء المقاومة النهائية لهيكل عجينة الإسمنت. إن إماهة السيليكات تنحصر في تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم C_3S وثاني سيليكات الكالسيوم C_2S والتي تنتج مجموعة من هيدرات سيليكات الكالسيوم متشابهة في التكوين، ولكنها تتفاوت في نسبة الكالسيوم/السيليكا ومحتوى الماء المتحد كيميائياً. كذلك فإن تفاعل C_2S أبطأ من C_3S مما يجعل C_2S مسؤولاً عن المقاومة المتأخرة و C_3S مسؤولاً عن المقاومة المبكرة. يمكن توضيح عملية إماهة السيليكات بالمعادلات التالية:



هيدروكسيد الكالسيوم + سيليكات الكالسيوم المماهة \longrightarrow ماء + ثالث سيليكات الكالسيوم



هيدروكسيد الكالسيوم + سيليكات الكالسيوم المماهة \longrightarrow ماء + ثاني سيليكات الكالسيوم

3.3.2.II إماهة مركب C_4AF

أما مركب C_4AF فهو مركب خامل نوعاً ما وأكثر استقراراً من C_3A لكن أقل من C_3S و C_2S والحرارة المنبعثة أقل. كلما زادت نسبة هذا المركب قلت نسبة C_3A في الإسمنت حيث في الإسمنت المقاوم للكبريتات تتم إضافة الحديد لتزيد نسبة C_4AF وتقل نسبة C_3A .

المركب C_4AF ليس له مساهمة إيجابية يمكن تقديرها في تطوير المقاومة إذ لم يتضح ذلك لحد الآن. ومن المحتمل أن رباعي الكالسيوم الناتج من إماهة هذا المركب يترسب فوق حبيبات الإسمنت وبذلك يؤخر سير الإماهة للمركبات الأخرى.

من هنا يظهر كيف تكونت الخرسانة المتصلبة واتضحت مركباتها الكيميائية حيث أنها تتكون من سيليكات الكالسيوم المماهة $C-S-H$ وهيدروكسيد الكالسيوم أو ما يسمى بماءات الكالسيوم $Ca(OH)_2$.

إن زيادة هيدروكسيد الكالسيوم تؤثر بشكل فعال على قوة تحمل عجائن الإسمنت المتصلب في البيئة الحامضية أو الكبريتية.

II 4.2. تأكل الإسمنت المتصلب

عادة ما يتآكل الإسمنت المتصلب نتيجة التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية biochimiques. ويعزى ذلك في أغلب الحالات لامتصاص الخرسانة إلى محاليل عدوانية.

هذه المحاليل تصل عن طريق الامتصاص بالخاصية الشعرية إلى الأسطح الحرة لعناصر الخرسانة، يتبخر الماء وترسب المواد الذائبة وتتبلور في مسام طبقة السطح للخرسانة. هذا ما يؤدي إلى تدهورها إما بالضغط الناتج عن عملية التبلور، أو عن طريق التفاعلات الكيميائية بين هذه المواد الغريبة المترسبة والإسمنت.

كما يعزى في حالات أخرى إلى التفاعلات الكيميائية والظواهر الفيزيائية بسبب عدم التوافق بين الركام والإسمنت. ويعزى أيضا في حالة الخرسانة المسلحة إلى العمليات الكهروكيميائية بين العناصر الضارة وحديد التسليح - عملية تآكل الحديد - أو ما يسمى بـ " الصدأ " [57].

II 1.4.2. العناصر الكيميائية الضارة:

العناصر الكيميائية العدوانية متنوعة ونستطيع تقسيمها إلى أربع فئات.

- الغازات الطبيعية: من أصل طبيعي أو الناجمة عن تلوث الغلاف الجوي والتخمير، والأكثر شيوعا هي ثاني أكسيد الكربون الكبريتي، النيتروجين، كبريتيد الهيدروجين، اليود، النشادر.

- السوائل : منها العضوية وغير العضوية، بغض النظر عن أثارها المحتملة فيزيائيا، فإنها تحوي أيونات حمضية أو قاعدية وشواردها العدوانية قد تشكل خطرا على الخرسانة.

-المواد الصلبة : عادة ما يكون مصدرها التربة والنفايات المختلفة.

- الأوساط الحيوية - بيولوجية :- إن التخمير البكتيري سواء كان هوائيا أو لا هوائيا وكذلك الفطريات من شأنها أن تؤدي إلى تكوين أحماض قد تتفاعل سلبا مع الخرسانة كما قدمنا سابقا. [57]

II 2.4.2. عمل العناصر الكيميائية الضارة:

- الغازات Gas: يتم تنقل الغازات في الخرسانة عادة عن طريق الانتشار ويعتمد أساسا على الرطوبة النسبية لهذه الأخيرة. فإنه لا يكاد يذكر في الخرسانة المشبعة بالمياه - saturé d'eau - ويزيد عندما تنخفض الرطوبة النسبية.

الغازات عموما ليست ضارة، ولكن نظرا لذوبانها الجزئي وإمكانية تحولها إلى سوائل - قطرات الندى - فإنها يمكن أن تشكل مع المحاليل العدوانية خطرا، حيث يتم نقلها في الخرسانة بالتدفق وقوانين المياه (الضغط الهيدروليكي، والامتصاص بالخاصية الشعرية وقوانين الانتشار).

بخار الماء له سلوك مخالف للغازات بسبب تفاعله بقوة مع هيدرات الإسمنت. [58]

- السوائل: يتم نقل السائل وفقا لعمليتين رئيسيتين مترابطتين، هما حركة السائل تحت تدرج الضغط الهيدروليكي أو الخاصية الشعرية من ناحية، أو الانتشار الأيوني أو الجزيئي من ناحية أخرى.

- المواد الصلبة: ضررها يرتبط ارتباطا مباشرا بقدرتها على التحلل والذوبان في الماء.

العناصر ذات الأصل البيولوجي: الأفعال البيولوجية الهوائية واللاهوائية تسمح لبعض البكتيريا الموجودة في مياه الصرف الصحي بإنتاج الأحماض، خاصة حمض الكبريتيك الناتج من أكسدة كبريتيد الهيدروجين .

والملاحظ أن تأثير جميع هذه العناصر يكون فعالا عند اختلاطها بالماء. [57]

II.3.4.2 آلية التفاعل بين العناصر الضارة والخرسانة:

- الانحلال: إن التحلل الجزيئي أو الكلي للأحماض أو القواعد أو الأملاح في الماء. يعتبر رد فعل للتفكك كاملا أو جزئيا، تفكك الحمض القوي، القاعدة القوية، أملاح حمض قوي وقاعدة قوية كاملة أو تقريبا كاملة. مثل هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ والتي هي قاعدة قوية يتفكك إلى شاردتين (Ca^{+2} و OH^-).

وفي حالة حمض ضعيف أو قاعدة ضعيفة فإن التفكك يكون جزئيا.

- التحلل المائي Hydrolyse: وهو اسم خاص يطلق على انحلال الشوارد في الماء الناتجة عن تفكك حمض ضعيف أو قاعدة ضعيفة.

هذه الأخيرة تتفكك مع إنتاج معتبر من البروتونات (H^+) أو (H_3O^+) والهيدروكسيد (OH^-)، وهذا يتوقف على ما إذا كان التعامل مع قاعدة ضعيفة وملح حامض قوي أو قاعدة قوية وملح حامض ضعيف. الناتج هو تأين الملح فقط، وبالتالي له طابع الحمضية أو القاعدية.

التحلل يؤدي إلى خروج أو تسرب أكثر أو أقل وضوحا للجير - هيدروكسيد الكالسيوم - الذي هو من مركبات عجينة الإسمنت مما يؤدي إلى زيادة المسامية والتفكك التدريجي.

II.5.2 تدهور الخرسانة :

II.5.2.1 فعل ثاني أكسيد الكربون - الكربنة:-

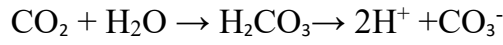
نسمي تفاعل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) مع المواد القلوية للخرسانة بالكربنة، وهذا الأخير هو الظاهرة التي يمكن أن تسبب عدم استقرار الهيكل بفعل CO_2 الموجود بشكل طبيعي في المحيط الخارجي للخرسانة، في أشكال مختلفة، خاصة الحالة الغازية أي في الهواء أو بوجود الرطوبة وتحت الضغط يتشكل حمض الكربونيك



1.1.5.2.II آلية انهيار الخرسانة بفعل الكربنة :

تمر عملية الكربنة بمراحل عديدة من أهمها [60]:

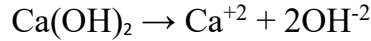
- 1- وجود CO_2 في الوسط المحيط بالخرسانة.
 - 2- دخول CO_2 خلال كتلة الخرسانة ذات المسامات المملوءة بالهواء حيث أن أبعادها عادة ما تكون $10NM < 0.23NM = CO_2$ ثاني اكسيد الكربون ، حيث أن $(1N = 10^{-9} m)$.
 - 3- تحول CO_2 من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة (بوجود الرطوبة) في فراغات الخرسانة .
- أي تفاعل وتحلل CO_2 في السائل الموجود في المسامات ثم تحوله - CO_2 - السائل - إلى H_2CO_3 ويكون ذلك بخطوات بطيئة وبمعدل محدد.



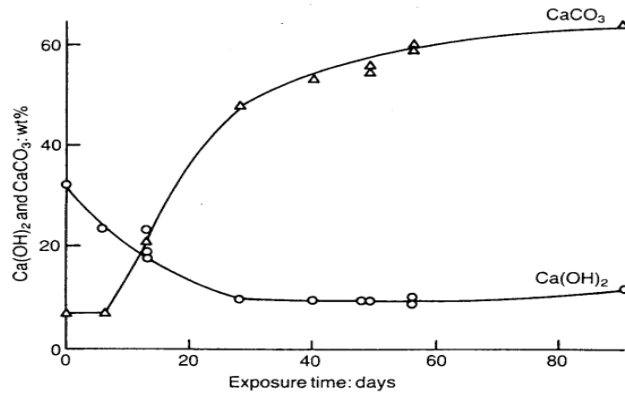
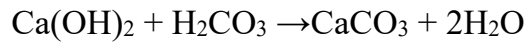
في هذه الحالة يكون H_2CO_3 في حالة توازن مع الكربونات CO_3^{2-}

- تأيين H_2CO_3 إلى H^+ ، HCO_3^- ، CO_3^{2-} . وجود أيونات الهيدروجين يخفض من درجة PH للوسط المحيط.

4- في الوقت نفسه تتم عملية تحلل جزيئات ماء الكالسيوم $Ca(OH)_2$ في الفراغات المملوءة بالسوائل كما يلي:

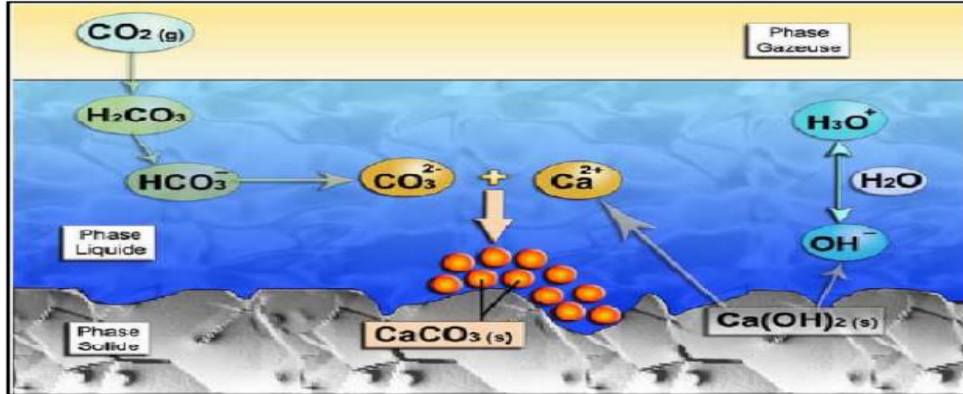


5- تتفاعل $Ca(OH)_2$ مع حمض الكربونات H_2CO_3 وتتشكل كربونات الكالسيوم كما يلي [82]:



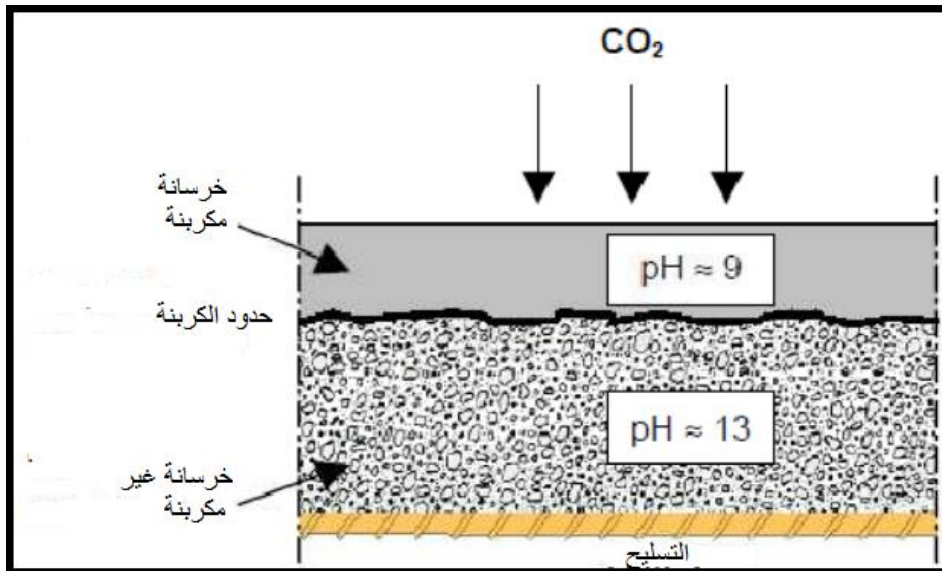
شكل 12.II التغيرات الحاصلة في كميات البورتلانديت وكربونات الكالسيوم أثناء التفاعل [61]

6- سيليكيات الكالسيوم المميهة $C_3S_2H_3$ تذوب لتحرير أيونات Ca^{2+} و SiO_4^{4-} .



الشكل 13.II يوضح آلية كربنة الإسمنت البورتلاندي [59]

نتيجة هذه التفاعلات عامل ال PH لسوائل المسامات تنخفض من 12.6 في البداية إلى أقل من 9 أي من وسط قلوي إلى وسط حامضي أي تتحول الحالة حول حديد التسليح من الحالة الحيدانية إلى الحالة النشطة لأكسدة حديد التسليح نتيجة تأثير الأوكسجين المنحل في السوائل المائلة لفراغات الخرسانة، وتبدأ عملية أكسدة الحديد.



الشكل 14.II يوضح نموذج للخرسانة اثناء الكربنة [59]

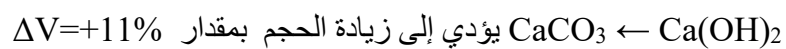
لتشكيل أملاح الكربونات $CaCO_3$ من CO_2 لا بد من وجود الماء، لذلك فإن تأكسد حديد التسليح لا يمكن أن تتم في أجواء جافة.

التفاعلات الكيميائية بين CO_2 و $Ca(OH)_2$ و C-S-H مركبات الإسمنت الأخرى تؤدي إلى تشكل مواد صلبة غير منحلة في الماء، وبالتالي زيادة كثافة الخرسانة، وإعاقة دخول CO_2 داخل الخرسانة.

إذن الكربنة هي عملية كيميائية تؤثر بشكل سلبي دائماً على الخرسانة المسلحة إذ تؤدي إلى الإقلال من ديمومتها، ولكن في الوقت نفسه لها دور إيجابي في الخرسانة إذ أنها تساعد على زيادة تصلب الخرسانة في العمق، وبالتالي لها دور إيجابي في الخرسانة العادية وسلبي في الخرسانة المسلحة. [60]

الظواهر الإيجابية:

زيادة كثافة الخرسانة وذلك نتيجة زيادة حجم المواد الناتجة عن التفاعل إذ أن تحول



زيادة مقاومة نفاذية الماء والغاز وذلك بسبب تقليل الحجم الكلي للفراغات بمقدار 20-28%

زيادة مقاومة الخرسانة بمقدار 20-50% وذلك وفق نوعية الإسمنت.

الظواهر السلبية:

نتيجة انخفاض PH في الفراغات والوسط المحيط لحديد التسليح تظهر أوساط مناسبة جداً لتأكسد حديد التسليح وبالتالي ظهور مواد جديدة لها حجم أكبر، نتيجة أكسدة حديد التسليح، مما يؤدي إلى تهشم وتصدع الخرسانة حول حديد التسليح.

زيادة النفاذية، في حال انحلال أملاح الكربونات (دخول الماء وجريانه خلال الخرسانة). وبالتالي انخفاض المقاومة والظواهر السلبية الأخرى.

وكمخلاصة نستطيع القول:

عملية الكربنة: هي تفاعل الإسمنت المتصلب مع غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2

- في هذه الحالة تتحول مركبات الإسمنت إلى كربونات ومواد أخرى ناتجة عن التفاعلات وبالتالي تتغير تركيبية المواد المشكلة للإسمنت المتصلب وتتناقص قيمة ال PH للمحاليل في فراغات الخرسانة.

- من المعروف أنه بعد تصلب الخرسانة فإن قيمة PH تزداد إلى قيمة 12.5 وذلك نتيجة الوسط القلوي الناتج عن تفاعلات الإسمنت مع الماء، حيث تتشكل ماءات الكالسيوم $Ca(OH)_2$ نتيجة إماهة C_3S و C_2S سيليكيات الكالسيوم الثنائية والثلاثية. ومع مرور برهة من الزمن ترتفع قيمة ال PH إلى 13.5 ويتحول الوسط المحيط إلى وسط قلوي بالكامل مستقر (محايد)، وذلك بعد الانتهاء من عملية الإماهة الكاملة لمركبات الإسمنت.

- تشكل $Ca(OH)_2$ نسبة تتراوح بين 25-50% من وزن العجينة الإسمنتية.

- ولكن وجود غازات CO_2 و SO_2 في الوسط المحيط الخارجي ووجود الرطوبة تساهم في تحويل هذا الوسط المستقر (المحايد) إلى وسط حامضي وبالتالي يؤدي إلى ضعف حماية حديد التسليح وعند ذلك تبدأ عملية تأكسد الحديد. أي بوجود غازات (SO_2 ، CO_2) والرطوبة يتحول الوسط المحيط إلى وسط حامضي وتبدأ عملية أكسدة حديد التسليح. [62]

- الكربنة يمكن أن تعبر عن الشيخوخة الكيميائية للخرسانة.

- في حالة عدم وجود حديد تسليح يمكن أن لا يكون لها أي تأثير يذكر على الخرسانة. أما في حالة وجود حديد التسليح فيجب الانتباه إلى هذه الظاهرة بشكل جدي.

2.1.5.2.II عمق الكربنة:

نستطيع التعرف على مدى عمق الكربنة، بعدة تجارب منها التعرف بواسطة انحراف أشعة X والتقنيات المجهرية الضوئية MO والإلكترونية MEB وأهمها وأبسطها الكشف بواسطة محلول الفينول فتالين، [61].

حيث نميز ثلاث مناطق متباينة على النحو التالي:

- 1- منطقة قد تمت كربنتها تماما حيث غابت كل مركبات الإسمنت.
- 2- منطقة مختلطة حيث تزداد نواتج الكربنة وتقل نواتج إمارة الإسمنت.
- 3- منطقة سليمة لم تتعرض لعملية الكربنة فكل مركباتها هي مركبات إمارة الإسمنت [61].

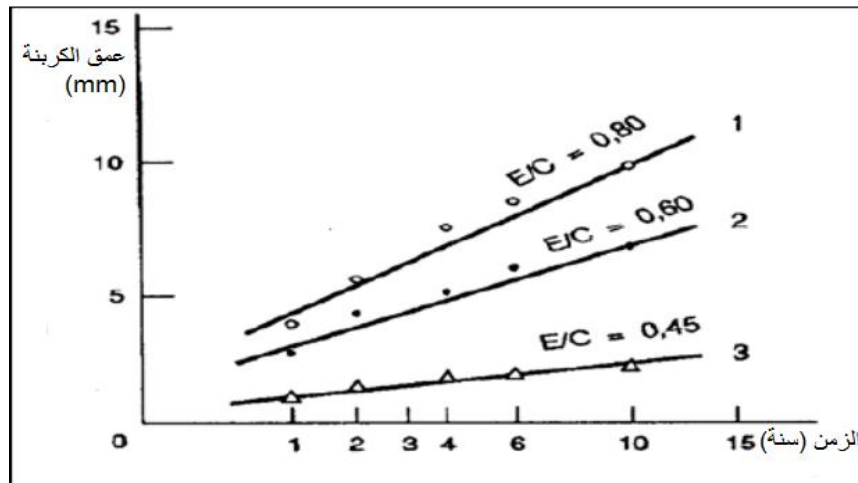
ملاحظة: نستطيع اكتشاف مقدار الكربنة بالكشف بمحلول الفينولفتالين، وذلك برشه على العينات حيث أن مؤشر اللون هو الفاصل إذ يحول لون الخرسانة من لون الإسمنت إلى الوردى عندما يكون دليل الحموضة pH أكبر من 9 ويبقى على حاله إذا كان أقل، وهذا ما يسمح بتسليط الضوء على مقدار كربنة الخرسانة حيث ان كل المناطق التي لا تزال على حالتها ولم يظهر عليها اللون الوردى لم تشملها عملية الكربنة.

3.1.5.2.II العناصر المؤثرة في الكربنة:

عملية كربنة الخرسانة تتأثر بعوامل عديدة من أهمها:

- 1- تركيز CO_2 والمواد الضارة في الوسط المحيط: بشكل عام يكون تركيز CO_2 في الوسط المحيط في حدود 0,03% من حجم الهواء وبالتالي $600\text{mr}\cdot\text{m}^3$ من الهواء، ويكون ثابتاً بشكل عام، ونتيجة لزيادة الانبعاثات الصناعية وزيادة اعتماد السكان على استخدام المنتجات النفطية المختلفة (غاز، نפט، فحم) وكذلك نقص الغابات فإن نسبة CO_2 في الفترة الأخيرة زادت حوالي 0.4 من حجم الهواء.

2- نسبة الماء إلى الإسمنت E/C : كما هو معلوم من وجهة نظر الديمومة، إن نسبة الماء إلى الإسمنت تلعب دوراً رئيسياً في عملية الكربنة. حيث أنه مع زيادة هذه النسبة تزداد الفراغات داخل كتلة الخرسانة وتزداد مساميتها، وإمكانية دخول الغازات، وبالتالي فإن العلاقة بين عمق طبقة الكربنة والنسبة هي علاقة خطية كما هو مبين في الشكل 15. II.



الشكل 15. II تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت E/C على عمق طبقة الكربنة خلال الزمن [59]

3- طريقة رعاية الخرسانة في مراحل تصلبها:

إن طريقة رعاية الخرسانة بعد أن توضع في القوالب، أي الاستمرار في تأمين الرطوبة المناسبة، لها دور كبير في تحديد جودة الطبقة السطحية، وبالتالي تأثير كبير على عملية الكربنة وعمق طبقة الكربنة.

إن عدم رعاية الخرسانة بعد صبها يؤدي إلى تبخر الماء من داخلها، وبالتالي عدم إتمام عملية الهدرجة اللازمة لتصلبها، وبالتالي الحصول على خرسانة مسامية، تسمح بدخول غاز CO_2 وبالتالي زيادة سرعة الكربنة، إن التأثير السلبي لعدم رعاية الخرسانة بعد تصلبها يكون كبيراً في حالة الخرسانة البطيئة التصلب. [62]

4- الرطوبة النسبية والتشبع بالماء:

- الرطوبة النسبية تلعب دوراً رئيسياً في عملية انتشار غاز ثاني أكسيد الكربون، لأن معامل انتشار ثاني أكسيد الكربون في الهواء أعلى عشرة آلاف مرة مما هو عليه في المياه، فعندما تتشبع المسام الخرسانية بالماء يكون دخول الغاز في الفراغات الممتلئة بالماء بطيئاً جداً، ومن هنا يمكن أن نستنتج بأن عناصر الخرسانة المتواجدة في الهواء الطلق المعرضة لتأثير الأمطار تكون عملية الكربنة فيها أبطأ من العناصر المتواجدة في الأماكن المحمية من الأمطار، ولكن بعد تبخر الماء من العناصر الخارجية تبدأ عملية الكربنة من جديد.

- الخرسانة الرطبة أو المغمورة في الماء لا تسمح بدخول CO_2 وبالتالي لا تحدث فيها عملية الكربنة وكذلك الحال في الحالة كون نسبة الرطوبة $\varphi=100\%$

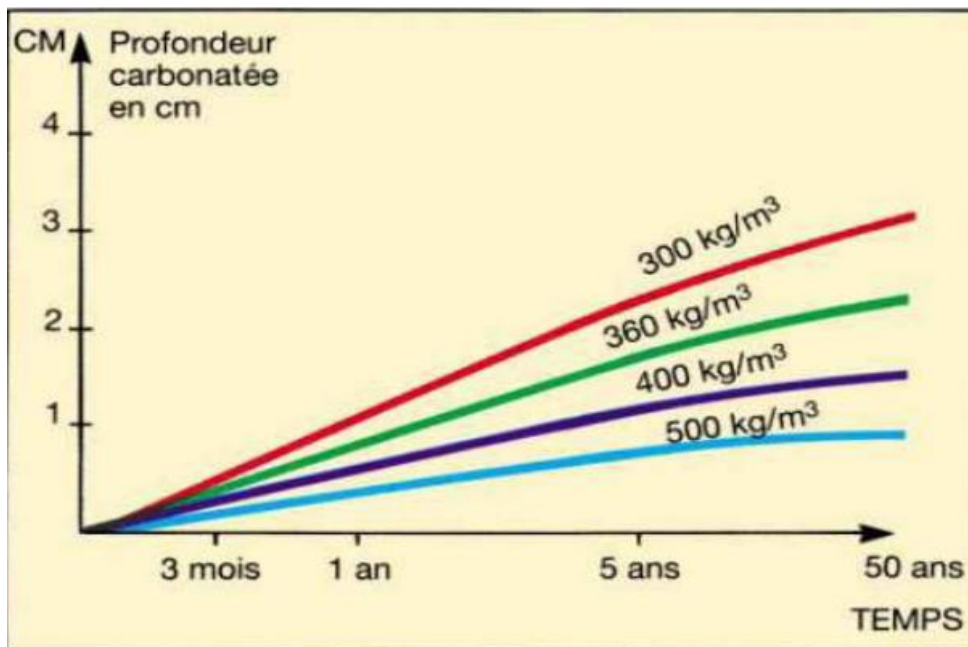
- إن جزيئات الماء H_2O المتشكلة نتيجة الكربنة تتبخر بسرعة عالية، لذلك فإنها لا تؤثر على عملية الكربنة.

- في الظروف الجافة وعندما تكون نسبة الرطوبة أقل من $\varphi=30\%$ فإن عملية الكربنة أيضاً لا تحدث أو تحدث ببطء شديد.

- لذلك فإن الأجواء المناسبة لعملية الكربنة هي عندما تكون نسبة الرطوبة $\varphi=50-80\%$

5- حالة تصنيع الخرسانة: عندما تكون قد تعرضت عند الصب لحالة دمك جيدة فإنها تكون قليلة المسامات وبالتالي تعطي مقاومة جيدة ضد الكربنة.

6- تركيز الإسمنت: من المعلوم أن الزيادة في نسبة تركيز الإسمنت تزيد من متانة الخرسانة وذلك بملئها للمسام الدقيقة التي من شأنها إنفاذ ودخول المواد الغريبة والمحاليل الضارة مثل الكربون والكلوريدات والكبريتات. إذن تعمل عمل الكابح لسرعة دخول المواد العدوانية والمنحني يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت على عمق الكربنة.



الشكل II.16 يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت على عمق الكربنة بدلالة الزمن [59].

2.5.2.II فعل الكلوريدات:

تعتبر الكلوريدات الموجودة في التربة والمياه ومواد البناء المستخدمة في العملية الإنشائية مساعدا مهما في زيادة حدوث تآكل الخرسانة، حيث تشارك هذه الأخيرة في مهاجمة أجزاء المنشأ خاصة حديد التسليح ويبدأ ذلك عند اتحاد مكونات الخلطة الخرسانية وأثناء فترة التصلب والترطيب يتكون وسط مناسب من الحموضة pH تتمحور حول قضبان الحديد فيتأثر أو يصبح قادرا على الانحلال. [62]

1.2.5.2.II آلية تدهور الخرسانة بفعل الكلوريدات:

عموما نستطيع أن نتحدث عن آليتين لتدهور الخرسانة بفعل الكلوريدات:

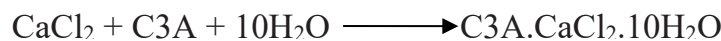
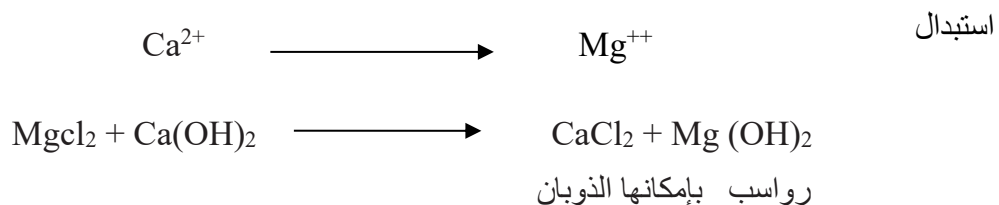
1- الانهيار بواسطة تبادل الشوارد:

عندما تدخل شوارد الكلوريدات في الخرسانة تحت تأثير تدرج التركيز، تأخذ في الانتشار داخل الجسم الخرساني يعبر عن هذا الانتشار بمصطلح " معامل انتشار أيونات الكلوريدات" وهو مقدار أساسي لديمومة الخرسانة. [63]

حيث تمر هذه الآلية بالمراحل التالية:

1- تتحد معظم أملاح الكلوريدات مع ماءات الكالسيوم $Ca(OH)_2$ الموجود في الإسمنت البورتلاندي لتكون كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ القابل للذوبان وبالتالي يتسرب إلى خارج الخرسانة مكوناً مترسبات بيضاء على السطح مع حدوث فراغات بالخرسانة. وتكون كلوريد الكالسيوم بدرجة تركيز عالية يؤدي إلى التلف الشديد لسطح الخرسانة [45]:

مثال حالة كلوريد المغنيزيوم:

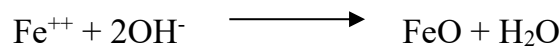


2- المركب الناتج غير مستقر في وجود الكبريتات ويعطي المادة الترنجيتية $C_3A.3CaSO_4.32H_2O$. التي تعتبر تآكلا في الخرسانة عندها تصبح أيونات الكلوريدات بإمكانها الاتصال المباشر أو شبه المباشر بالحديد فتهاجمه وتسبب تأكله ببطء شديد.

3- ففي حال ملامسة أيونات الكلوريدات لسطح الخارجي لقضبان الحديد تحدث تأثيرات سلبية إضافية تسهم في الإقلال من تماسك الحديد مع الخرسانة وتضعف صلابتها وتزيد من درجة النفاذية للخرسانة.

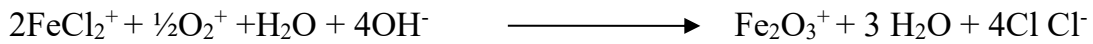
4 - فيتخلل ايون الكلوريد بين أجزاء الحصىيات ويؤثر سلبا على مكوناتها.

4- كما أن الحديد المنحل يتآكل عند اتحاد شحنة موجبة أثناء الانحلال الأيوني متزامنا مع وجود أيون سالب في وسط الخرسانة تاركة الاكسوجين، فعندما يزداد الاكسجين تقل نسبة التآكل وعند زيادة تركيز أيون الهيدروجين يزداد معدل التآكل بوجود وسط مساعد خاصة في حديد التسليح وهو المادة التي تتأثر مباشرة بالظروف البيئية والمناخية المحيطة بالمنشأ والتي تضعف من متانتها وتقلل من صلاحيتها للتشغيل.



5- ويتأثر الحديد سلبا بدرجة الحموضة PH من 12 – 14 عند ذلك تنشط ايونات الكلوريدات فتهاجم الحديد من خلال اكاسيد الحديد ويتحول أيون الحديد في وجود الكلوريدات إلى حالة معقدة نظرا لاختلاف المؤثرات الخارجية والتي ينتج عنها الصدأ.

6- وينتج عن ذلك هيدروكسيد الحديد، الذي يتحول إلى انتفاخات خارجية في الحديد:



يؤثر هذا الناتج على كلوريد الحديد المتواجد على سطح الحديد الخارجي مسببا تآكلا موضعيا يزداد بزيادة درجة الحموضة PH بنسبه عالية فتتكون نتوءات وبثور بنية اللون تسمى الصدأ وهو التآكل أو الانهيار السائد. [84]

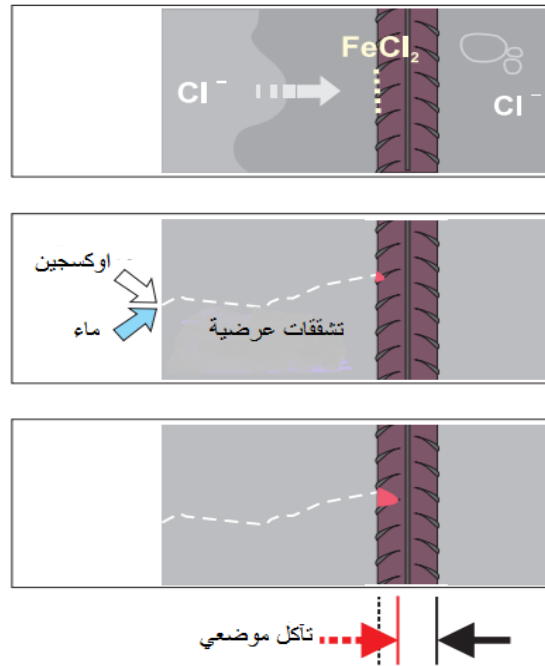
العتبة الحرجة:

العتبة الحرجة تمثل اللحظة التي تكون فيها النسبة [OH-]/ [Cl-] تزيد على القيمة المحصورة بين 0.6-1. هذه العتبة عندما يكون تركيز الكلور القابل للذوبان تقريبا بين 0.2-0.4 % بالنسبة لكتلة الإسمنت حينها لا يمكننا القبول بوضع تركيز وحيد للكلوريد لأن هذا التركيز الحرج يعتمد على قيمة الـ pH. [64]

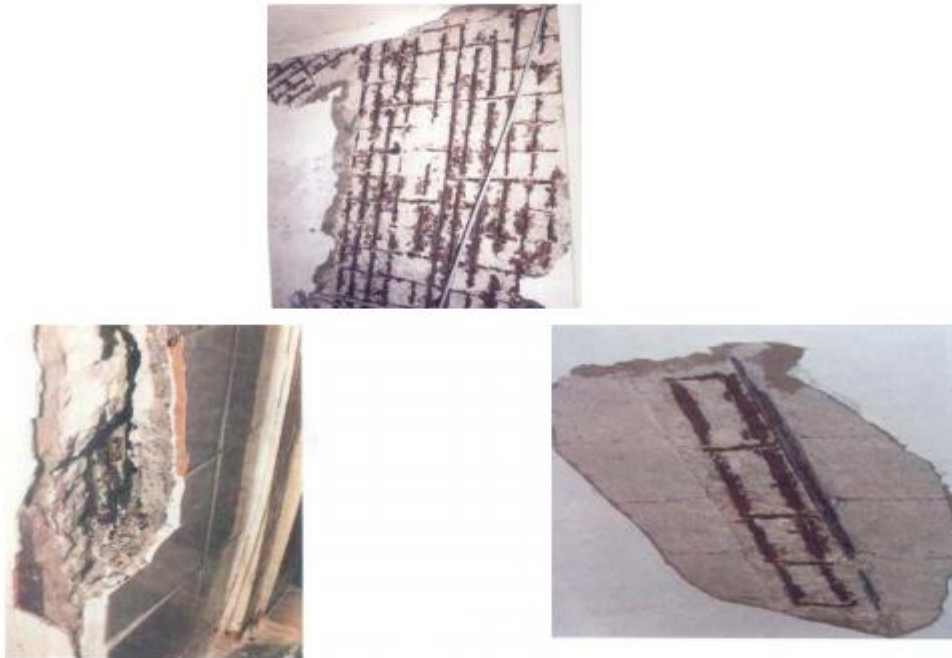
إن التغيير الطفيف لـ pH يحدث تغييرا كبيرا في تركيز OH- (بالتالي في التركيز الحرج للكلور).

في الخرسانة الكربنة (ذات pH أقل من 9) حتى ولو كان التركيز ضعيفا بالكلوريد يمكن حدوث بداية تآكل.

[65]



الشكل 17.II شكل التآكل بفعل لكوريدات [66]



الصورة 4.II تآكل حديد التسليح في الخرسانة [62]

2 الانهيار بواسطة تآكل السطح:

ظاهرة تدهور وتآكل سطح الخرسانة ترجع إلى التكرار المتوالي لظاهرة التجمد /الذوبان في الأوساط العدوانية ذات النسب العالية من الأملاح خاصة (كلوريد الصوديوم NaCl، كلوريد الكالسيوم CaCl...)، وهذا التدهور الناجم عن الدورة يحدث بعد مراحل نذكر منها:

- تحتوي الخرسانة على شقوق صغيرة Microcracking موزعة في كتلة من الخرسانة الناجمة عن مجموعة من العوامل قد تكون الانكماش بأنواعه أو بفعل الحرارة وغيرها.

- تفكك منطقة السطح يستدعي تساقطه تحت تأثير الظاهرة - التجميد/ ذوبان- وذلك بدخول كميات من الماء حين الذوبان في تلك الشقوق، ثم بعد هذا يحدث لها التجمد، إن تجمدها سيزيد من حجمها وبالتالي تطبيق إجهادات داخل الشقوق على قلب الخرسانة.

- هذا التجمد أيضا ينتج ترسب بعض الأملاح على سطح الخرسانة، ستتفاعل هذه الأملاح من الإسمنت في السطح لتحداث التآكل عند تساقط منتجات التفاعل.

- كما يمكن أن تزال تلك الأملاح خلال الدورات - تجمد / ذوبان - وتترك بقعا على السطح وبالتالي تأكله .

- التدرج الحراري الكبير قرب السطح الناتجة عن تفاعلات الأملاح من جهة وعن الدورة - تجمد / ذوبان - ويضاعف من تدهور السطح.

- الضغط الإسموزي الناشئ من الاختلافات في تركيزات الأملاح الذائبة في المياه التي تقع بالقرب من المياه المجمدة والتي لم تتجمد في الشعيرات والمسامات الدقيقة، والتي تعتبر الآن السبب الرئيسي للتدهور.

هذا الضغط (الهيدروليكي) محليا قد صدع عجينة الإسمنت إذا كانت أكبر من قوة الشد.

- تكرار هذه الظاهرة يسبب ضررا تدريجيا.

II.2.2.5 انتقال الكلوريدات:

باختلاف الأوساط المحيطة بالخرسانة تختلف أشكال التحولات الكيميائية:

- بالنسبة للمنشآت المغمورة دائما، يكون نقل الكلوريد عن طريق الانتشار فقط.

- بالنسبة للمنشآت المغمورة وتتعرض للتجفيف فإن نقل الكلوريد يكون عن طريق الانتشار في الطور السائل لكنها لن تتم في الغالب في الطور الجاف.

- في الهواء يمكن للكلوريدات أن تتسرب إلى جسم الخرسانة عن طريقة الخاصية الشعرية.

في معظم الحالات المناطق المتآكلة "الهشة" من المنشآت هي المنطقة التي عانت من ارتفاع وانخفاض مستوى المياه العدوانية، والمنطقة التي تشمل نوعين من النقل.

1- الانتشار:

في الجزء المغمور تماما، أين تكون المنشأة مشبعة بالماء بشكل دائم. تنتشر أيونات الكلوريد من خلال المواد عن طريق تدرج تركيز أيونات الكلوريد. هذا هو الانتشار الصافي، أي حركة أحادية الاتجاه، دون النظر في التفاعل مع المركبات الصلبة.

2- عن طريق الامتصاص الشعيري:

بالنسبة لجزء المنشأة المعرض دوريا للتجفيف / رطوبة، ظاهرة انتقال أيونات الكلوريدات أكثر تعقيدا. في حالة تشبع أو رطوبة الوسط المحيط بالمنشأة فإن هذه الأخيرة ستمتص من هذا الوسط المحيط وبالتالي ستكون حركة الأيونات الكلوريدات من الخارج إلى الداخل.

II.3.2.5.2 العوامل المؤثر في عملية التآكل:

1- النسبة E/C

نسبة (الماء إلى الإسمنت E/C) [60] (- حيث تزداد المسامية بزيادة نسبة E/C)، فزيادة كمية الماء تؤدي إلى وجود فراغات بالخرسانة عند جفافها. كذلك في حالة زيادة الماء فإن جسم الخرسانة سيكون سائلا مما يسمح بهبوط حبيبات الركام الثقيلة إلى أسفل ثم يخرج الماء إلى السطح خلال ممرات شعيرية تظل موجودة بعد جفاف الخرسانة [45]

2- زمن التعرض: كلما طال زمن تعرض الجسم الخرساني للوسط العدواني الذي يحتوي على شوارد الكلور كلما نفذت هذه الشوارد بكميات أكبر وبالتالي التفاعل ستكون أكثر وأسرع مما يعجل بتدهور وانهيار هذا الجسم.

3- تأثير نوع الإسمنت: إن نوع الإسمنت بإمكانه أن يؤثر على كتامة ووجود المسامات داخل الخرسانة وذلك حسب نوعية الإضافات التي تم مزجها معه وحسب كمية هذه الإضافات. [45]

4- تأثير محتوى الماء: كل العناصر الضارة تقريبا لا تكاد تتفاعل مع نواتج إمهاة الإسمنت إلا بوجود الماء الذي يسهل الدخول والتحلل والانتشار.

5- تأثير تركيز الأوكسجين: لا يحدث التآكل في الجسم الخرساني المشبع بالكامل بالضرورة (حتى إذا كان تركيز Cl- مرتفعا) حيث قد يكون هناك نقص في الأوكسجين فلا تتم التفاعلات على الوجه الذي يحافظ على عملية التآكل.

6- الحرارة: ونميز نوعين منها:

* حرارة الإماهة: - قد تؤدي الحرارة المصاحبة لعملية الإماهة إلى حدوث تشققات ميكروسكوبية في عجينة الإسمنت مما يؤدي إلى اتصال الفجوات الداخلية وزيادة النفاذية [45]

* حرارة الجو: وكذلك حرارة الجو قد تؤدي لتبخر كميات من الماء المقدر لإماهة الإسمنت فيحصل نقص وبالتالي عدم تفاعل بعض من كميات هذه المادة التي تبقى غير مرتبطة وبالتالي تترك فيما بينها مساماً وفراغات.

7- تأثير الدورة رطوبة / جفاف: عندما تتعرض الخرسانة لعملية رطوبة / جفاف، يمكن للمحلول الذي يحتوي على الكلوريدات أن يخترق الجسم الخرساني وفقاً لقوانين الانتشار. أثناء تجفيف الخرسانة يتبخر الماء وتبقى الكلوريدات في المادة إما عالقة على جدران المسام أو تشكل بلورات الملح. إذا تمت إعادة اشباع هذه الخرسانة بالماء لاحقاً، يتم إذابة هذه الأملاح مرة أخرى في المياه الواردة. وهذا ما يزيد في عمق نفاذها إلى قلب الخرسانة وبالتالي تفاعلها مع اعرق الطبقات.

II.3.5.2 فعل السيلفات " الكبريتات ":

ان هجوم الكبريتات معقد جدا لان مصدر الكبريتات يمكن أن يكون خارجياً أو داخلياً ويمكن أن يكون كيميائياً في الطبيعة بسبب تغيير منتج الهدرجة، أو فيزيائياً بسبب حالة التغيير في محلول الكبريتات النافذ [67]، إذن هناك مصدران للأملاح الكبريتية التي تهاجم الخرسانة هما خارجية وداخلية، والخارجية منها موجودة في المياه الجوفية والسطحية أو التربة المحيطة بالخرسانة اما الداخلية فموجودة ضمن تراكيب المواد الداخلية في الخرسانة كالركام بنوعيه والإسمنت والماء والإضافات [45, 67]. إن أملاح الكبريتات الاعتيادية هي كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس). $CaSO_4 \cdot H_2O$ وكبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$. وكبريتات الصوديوم Na_2SO_4 وهذه الكبريتات تتفاعل مع عجينة الإسمنت حيث تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ ، معطية كبريتات الكالسيوم $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ثم يتفاعل هذا الأخير مع الومينات ثلاثي الكالسيوم C_3A مكونة الجبس و سلفو الومينات الكالسيوم $(CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O)$ ويسمى الومينات الكالسيوم الكبريتية المائية أو الإترنجيت وهو على شكل بلورات تحتل الفراغات الموجودة في الخرسانة وتكون هذه المركبات بحجم اكبر من حجمها قبل التفاعل، ولذلك فان التفاعلات مع الكبريتات تؤدي إلى تولد إجهادات شد في عجينة الإسمنت المتصلبة. [68] من شأنها تكوين بعض التشققات نتيجة زيادة الحجم ويظهر لون ابيض على سطح الخرسانة [69,70].

II.3.5.2 آلية تأثير الكبريتات SO_2 :

إن آلية تأثير SO_2 على الخرسانة تتم وفق المراحل التالية:

1- دخول SO_2 في مسامات فراغات الخرسانة.

2- تتحول إلى H_2SO_3 نتيجة الإماهة ووجود الماء.

3- تتفاعل مع مركبات الإسمنت المتصلب وتتشكل CaSO_3 كبريتات الكالسيوم.

4- تتأكسد CaSO_3 نتيجة تأثير أوكسجين الهواء وتتحول إلى CaSO_4 .

5- نتيجة وجود الماء يتشكل CaSO_4 و $2\text{H}_2\text{O}$

إن تأكسد ذرات الكبريتات تتم ليس فقط على سطح الخرسانة بل أيضاً بداخلها وذلك نتيجة وجود الماء في الفراغات. في هذه الحالة تتشكل أحماض الكبريتات داخل الخرسانة والتي يمكن أن تبرز على السطح بشكل نقاط حامضية. [60]

توجد ثلاث ميكانيزمات لتشكل حمض الكبريتات من SO_2 :

التأكسد تحت تأثير O_3 و H_2O_2 .

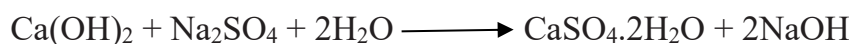
التأكسد تحت تأثير O_2 وبوجود Fe, Mn.

التأكسد تحت تأثير O_2 وبالعلاقة مع درجة pH للسائل.

نتيجة التفاعل مع مجموعات الماءات (OH) أو مع المجموعات بيوماءات (HOO) تتشكل الكبريتات الثلاثية وبوجود الماء تتشكل أحماض الكبريتات.

حالة كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 :

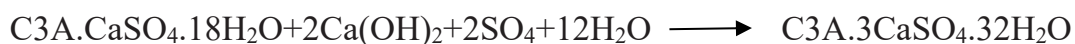
1- المرحلة الأولى من التفاعل:



2- المرحلة الثانية من التفاعل: [55]

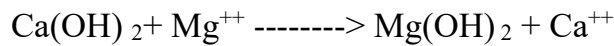
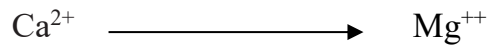
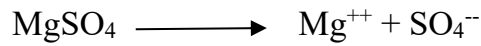


3- المرحلة الثالثة من التفاعل: [55]

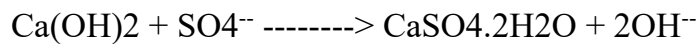


حالة كبريتات المغنيزيوم MgSO₄:

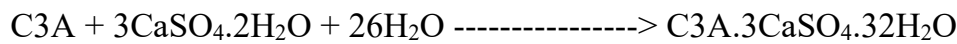
تعتبر كبريتات المغنيزيوم من أخطر أنواع الكبريتات لأنها تحتوي على شاردة مزدوجة Mg²⁺ والتي يقع تبادل بينها وبين شاردة الكالسيوم Ca²⁺



شوارد الكالسيوم + هيدروكسيد المغنيزيوم >----- شوارد المغنيزيوم + هيدروكسيد الكالسيوم - مادة صلبة -

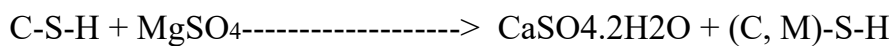


شوارد + الجبس - زيادة في الحجم >----- شوارد الكبريتات + هيدروكسيد الكالسيوم - مادة صلبة-



(تمدد وزيادة في الحجم)

ومن جهة اخرى:



(مركب ذو تماسك ضعيف)

عندما يتم استهلاك وتحول كل البورتلانديت المتمثل في هيدروكسيد الكالسيوم لتشكيل الجبس وكبريتات المغنيزيوم، إذن المركب الإسمنتي C-S-H يتحلل وفقا للتفاعل: [71] ،



* إذن تبادل Mg²⁺ مع Ca²⁺ يؤدي إلى:

1- تشكيل هيدروكسيد المغنيزيوم Mg(OH)₂ والذي من شأنه أن يبطن مؤقتًا اختراق الكبريتات.

2- أنها تسبب أيضا تحول C-S-H تدريجيا إلى **المغنيسيوم السيليكات** M-S-H الذي لا يحتوي على خصائص الروابط الهيدروليكية.

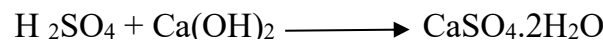
3- تبلور الأترنجيت ettringite غير المستقر في وجود سلفات المغنيزيوم.

4- تفاعل تشكيل الجبس [72]

5- يترسب الاترنجيت والجبس على السطح الخارجي المعرض لهذه المحاليل العدوانية.

6- أظهرت بعض الدراسات [73] أن حفظ الخرسانة شهرين في محل $MgSO_4$ له تأثير كبير على متانتها ويقلل من مقاومتها الميكانيكية.

حالة حمض الكبريت: [74]



إن وجود أملاح الكبريتات بنسب عالية يؤثر سلباً على عجينة الإسمنت المتصلبة بسبب تكوين كميات إضافية من Etringite حيث تحصل زيادة حجمية كبيرة في العجينة الإسمنتية المتصلبة مؤدية إلى حصول إجهادات داخلية تسبب تشققات في الكتلة الخرسانية مما يؤثر على مقاومتها.

كما توجد علاقة قوية بين مقاومة الخرسانة للكبريتات ومحتوى C_3A ألومينات ثلاثي الكالسيوم، فيها أن ارتفاع محتوى C_3A في الخرسانة أو الإسمنت المستعمل يجعلها أكثر عرضة لهجوم الكبريتات لها ولتحسين مقاومة الخرسانة للكبريتات، يستخدم إسمنت بمحتوى C_3A منخفض ونسبة أقل من % 3.5 وبالتالي التقليل من الحاجة لمادة الجبس التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة مادة Etringite، ومادة الجبس هي المسؤولة عن تكوين الكبريتات.

إن التأثير الضار للكبريتات الداخلية يظهر في الأعمار المبكرة ابتداءً من 7 أيام ويزداد مع تقدم العمر خلافاً لتأثير الكبريتات الخارجية التي لا يظهر تأثيرها السلبي في الأعمار المبكرة. من أجل إعطاء أفضل مقاومة للعوامل الفيزيائية والكيميائية الخارجية الضارة، من الضروري أن تكون الخرسانة أكثر متانة وقليلة النفاذية، ومن أجل الوصول لذلك يجب تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت (E/C) [68]

II.2.3.5.2. حيادية الخرسانة عند تأثير SO_2 :

* من الناحية المبدئية فإن SO_2 مثل CO_2 يؤدي إلى حيادية الإسمنت المتصلب من أجل تركيز مناسب وإن سرعة حيادية الإسمنت المتصلب تتراد.

* وفي حال حدوث الحيادية، هذا يعني أن تأثير SO_2 ، CO_2 يكون معدوماً على الإسمنت المتصلب، حيث تتشكل كربونات الكالسيوم ومن ثم تتحول إلى كبريتات الكالسيوم نتيجة دخول SO_2 . هذه العمليات تسمى أيضاً الكربنة.

* إن دور SO_2 في الحيادية بالمقارنة مع CO_2 قليل نسبياً وذلك لان تركيز CO_2 في الهواء هو بحدود 3000 7000 أكثر من تركيز SO_2 ، إلا أنه في بعض الظروف الخاصة تكون نسبة تركيز SO_2 في الهواء أكبر بكثير. فمثلاً في عام 1988م في مدينة فايمر الألمانية كان تركيز SO_2 في الهواء قد وصل إلى (6 mg/m^3) .

* مقدار دخول SO_2 في الخرسانة المتصلبة يتعلق بحجم الفراغات فيها، في حال وجود الرطوبة في فراغات الإسمنت، يتشكل مباشرة الجبس. يتكون الجبس من $Ca(OH)_2$ و SO_2 ويؤدي إلى زيادة في حجم المواد الصلبة المتشكلة وبالتالي يؤدي إلى زيادة في كتامة الخرسانة، مما يؤدي إلى انخفاض دخول الغاز إليها، وبالتالي حدوث عملية الحيادية وتوقف جميع عمليات الكربنة وذلك في مراحل متقدمة، في حال كون الخرسانة كتيمة نسبياً. لذلك فإنه في الطبقة السطحية حتى (10 mm) تكون نسبة الكبريتات عالية.

* تأثير الوسط المحيط بالخرسانة (قرب مصدر رطوبة، وجود مصدر انبعاث الغازات.... إلخ) له تأثير فعال جداً على تشكل الكبريتات، بالإضافة إلى جودة الخرسانة (مساميتها).

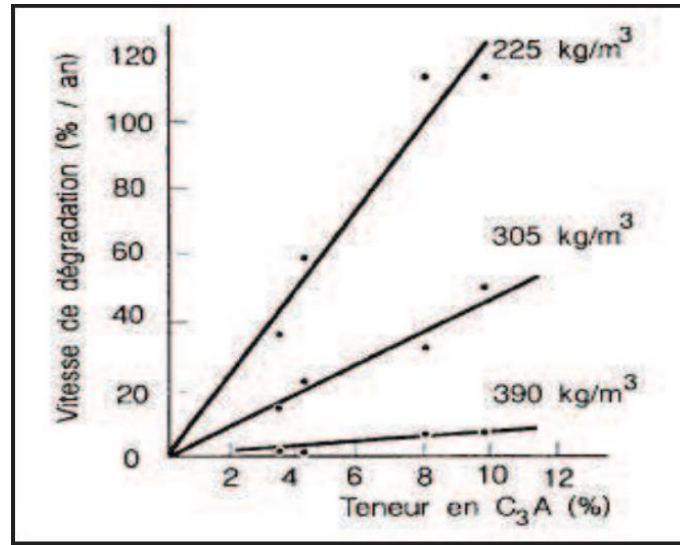
* أيضاً فإن نسبة الكبريتات تتعلق باتجاهات البناء ونسبة تعرضه للأمطار والهواء، حيث أن وجود الأمطار يؤدي إلى غسل الطبقة السطحية (وانحلال الجبس) وبالتالي تتشكل فراغات جديدة.... إلخ. أيضاً فإن الأمطار الحامضية التي تتشكل في الأجواء الملوثة بالغازات لها تأثير واضح على تشكيل الكبريتات وبشكل عام يمكن القول:

* غاز SO_2 لا يؤدي إلى أضرار كبيرة على الخرسانة بشكل عام. [45]

3.3.5.2.II العوامل المؤثرة على فعل الكبريتات في الخرسانة:

1* تركيز الإسمنت كما رأينا فعله على الكربنة، فإن الخلطات الخرسانية ذات التركيز الأكبر من الإسمنت تكون أكثر كتامة من غيرها.

2* تركيز الومينات ثلاثي الكالسيوم C_3A في الإسمنت، حيث يتفاعل الجبس $CaSO_4.2H_2O$ مع هذا المركب ليعطي الترنجيت ($CaO.Al_2O_3.3CaSo_4.32H_2O$) غير المرغوب فيه، فكلما كانت نسبة C_3A أكثر كانت النواتج غير المرغوب فيها أكثر. والمنحنى II.8 يوضح كيفية تأثير نسبة C_3A في الإسمنت على نسبة التآكل.

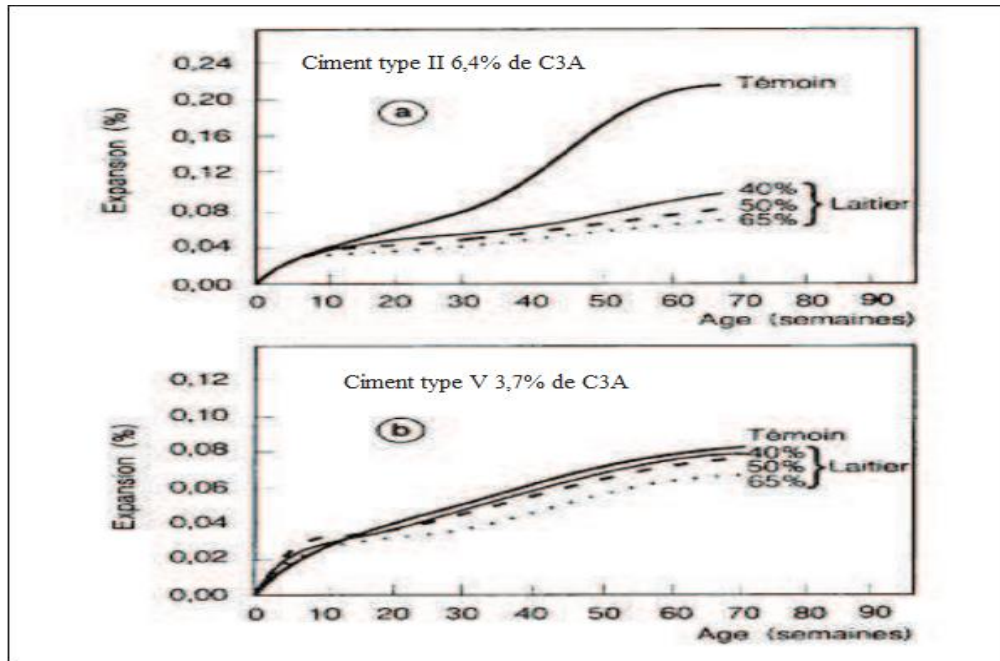


الشكل 18.II يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت ونسبة C3A فيه على نسبة تآكل الخرسانة.

(خرسانة 16 سنة داخل محلول Na₂SO₄ ذي تركيز 10% [75])

3* **فعل الإضافات:** أثبتت التجارب أن زيادة بعض المحسنات للإسمنت خاصة خبث الأفران فإنه يقلل من تآكل

الخرسانة [75] وكذلك إضافة البوزولان فهي تقلل من الفعل الضار الكبريتات على الخرسانة. [63]



الشكل 19.II مقاومة الملاط بخبث الأفران لفعل الكلوريدات [76]

II 6.2. أنواع الأترنجيت Ettringite : [77]

هناك ثلاثة أنواع من الأترنجيت داخل الخرسانة هي:

1- الأترنجيت الأولي:

يتم تشكيله في اللحظات الأولى من تمييه الإسمنت تحت عمل الكبريتات الموجودة ضمن مركبات الإسمنت في مادة الجبس - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - حيث يتفاعل هذا الأخير مع ثالث ألومينات الكالسيوم C_3A بوجود الماء ليعطي الأترنجيت الأولي - $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ - . هو الأكثر شيوعا وهو على شكل إبر وجوده أمر عادي ولا يعتبر من مشاكل الخرسانة لا يسبب توسعات في جسمها. ثم يتفاعل ويتحلل ليعطي أحادي الكبريت $(\text{monosulfate})\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

2- إترنجيت ثانوي:

يتشكل عندما تتصلب الخرسانة. إذا كانت الكبريتات من أصل داخلي، فإن الأترنجيت الثانوي يكون مستقرا وليس له زيادة حجمية تذكر، أما إذا كانت الكبريتات من أصل خارجي، فإن هذا الأترنجيت يشكل حجما إضافيا في جسم الخرسانة يؤدي في الأخير إلى تحطيمه.

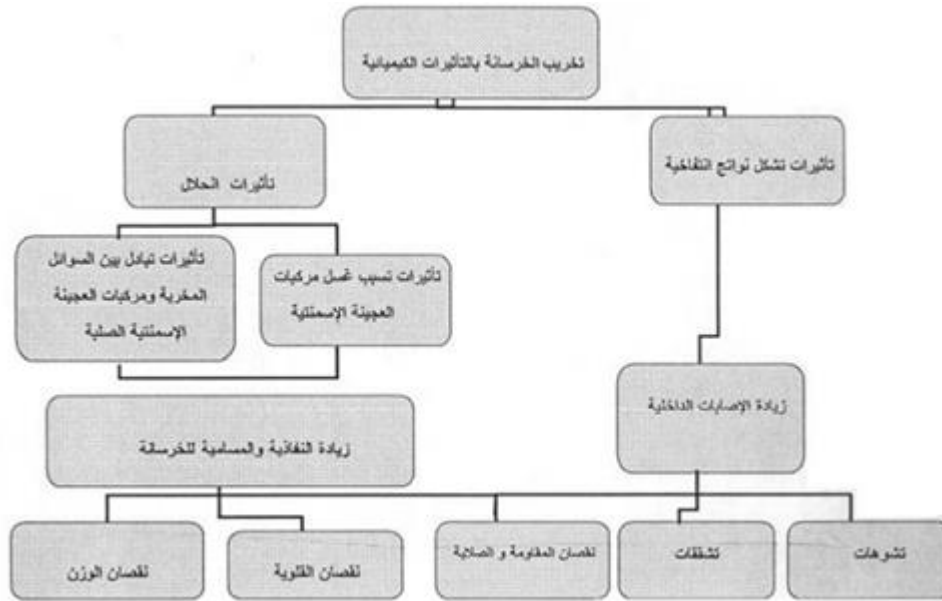
3- إترنجيت مؤجل:

يتشكل عندما تتصلب الخرسانة، وعند وجود الكبريتات الداخلية، من المحتمل أن يشكل حجما إضافيا عواقبه غير مرغوب فيها، وذلك بأن يولد ضغوطا داخلية في الخرسانة، والتي يمكن أن تكون كبيرة بما فيه الكفاية لتسبب تشققات، ويتكون عادة في الخرسانات التي يغيب فيها الأترنجيت الأولي. ولتشكيل هذا النوع من الأترنجيت لا بد من تحقيق العديد من الشروط، سواء من حيث المكونات الخرسانية والتركيبية الإسمنتية، أو حرارة ورطوبة الوسط المحيط، وهو ما يفسر ندرته.

* صورة الكترونية لعجينة الإسمنت:



الصورة II.5 تمثيل البنية الداخلية لمركبات الإسمنت [78]



الشكل 20.II آلية التخریب الكيميائي في الخرسانة [79]

II 7.2 أسباب تلف وتدهور الخرسانة عموماً:

مما تقدم يمكن القول أنه توجد أسباب عديدة تؤدي في العموم إلى تدهور الخرسانة وتلفها يمكن تصنيفها إلى ما يلي

1 - أسباب داخلية:

وهي كل الأسباب المرتبطة بالمواد الداخلة في الخلطة الخرسانية مثل ماء الخلط وكذلك عدم نقاوة الرمال المستعملة أو وجود الطين أو عناصر ضارة بهذه المكونات، كل تلك الأسباب من شأنها أن توجد تفاعلات ضارة غير متوقعة تؤدي في النهاية إلى تلف الخرسانة.

2- أسباب خارجية:

وهي كل الأسباب المرتبطة بالوسط المحيط بالخرسانة وما يحتويه من مواد ضارة تؤدي إلى:

1- مهاجمة كيميائية مثل الكبريتات والكلوريدات للخرسانة.

2 - ماء البحر ومياه المجاري

4- المخلفات الصناعية .

3- أسباب انشائية [62]:

تعود الأسباب التي تزيد من حدوث التآكل في المنشآت الخرسانية إلى:

1- عدم كفاية الدراسة الأولية في التصميم الإنشائي للمنشأة، وعدم إتباع المواصفات القياسية لتصميم وتنفيذ الخرسانة المسلحة خصوصا في حساب الأحمال المعرض لها المبنى وعدم اختيار نظام إنشائي لنقل الأحمال بطريقة صحيحة أو على الأقل من نسبة حديد التسليح، وإهمال الظروف المحيطة بالمنشأة، مثل منسوب المياه الجوفية ووجود الأملاح في التربة.

2- إهمال في طريقة التنفيذ في كامل أجزاء المنشأة مثل تصميم الخلطات الخرسانية وعدم استعمال المعدات الصحيحة في خلط وصب ودك الخلطة الخرسانية وإهمال اختبار الجودة للخرسانة وقلة كفاءة الشدة الخشبية أو فكها قبل وصول مقاومة الخرسانة إلى مستوى مناسب وإهمال معالجة فواصل الصب أو إهمال الغطاء الخرساني المناسب حسب أجزاء المنشأة.

3- قصور وإهمال في مكونات الخرسانة مثل استعمال حصويات غير متدرجة وتحتوي على أملاح ومواد عضوية، واستعمال إسمنت غير معروف المصدر منتهي الصلاحية، ثم استعمال مياه غير صالحة للخلطات أو وجود المياه في براميل بها زيوت وشحوم ومواد عضوية.

4- إهمال في عزل الماء والرطوبة حيث إن الإهمال في الأسطح ودورات المياه والأساسات عند ارتفاع منسوب المياه الجوفية ثم احتوائها على نسبة عالية من الكلوريدات أو الأملاح الضارة التي تتسرب بواسطة الخاصية الشعرية إلى داخل الخرسانة ثم تصل إلى حديد التسليح فينتسب تآكل بدرجة عالية وعدم تماسك الغطاء الخرساني في المنشأة خاصة في الأساسات.

5- هناك مؤثرات تؤثر سلبا على المنشأة لم تؤخذ في الحسبان عند التصميم مثل وجود الغازات الضارة الموجودة بكثرة في الأجواء الصناعية أو تلف الأرضيات من جراء استخدام المواد.

4 - أسباب أخرى تؤثر على معدل تلف الخرسانة [45]:

1- حركة المياه الجوفية.

2- درجة حرارة المياه الجوفية.

3- تذبذب منسوب المياه الجوفية (دورات بلل وجفاف).

4- البخار خلال سطح الخرسانة.

5- التآكسد والكربنة.

6- أسباب بيولوجية.

II 8.2. مقاومة الخرسانة للتلف

يمكن تصنيف أهم المقاومات التي توصف الخرسانة بأنها تتحملها مع الزمن كما يلي:

- 1- المقاومة للنفذية والامتصاص.
- 2- المقاومة لصدأ الحديد.
- 3- المقاومة لتأثير الكيماويات.
- 4- المقاومة لماء البحر ومياه المجاري.
- 5- المقاومة للعوامل الجوية.
- 6- المقاومة للحريق.
- 8- المقاومة للتآكل.

II 9.2. المسامية والنفذية و الامتصاص:

ينبغي عدم الخلط بين الامتصاص Absorption والنفذية Permeability والمسامية Porosity فالامتصاص هو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها وهو غير مرتبط بالنفذية ويؤدي الامتصاص إلى انتفاخ الخرسانة كما يؤدي إلى تفتتها عند تعرضها لدورات التجمد والذوبان وهي مشبعة بالماء.

أما النفذية فهي الخاصية التي بواسطتها يمكن تسرب أى سائل خلال الخرسانة. وهذه السوائل تقلل من عمر الخرسانة لأن وصول الرطوبة إلى صلب التسليح يؤدي إلى الصدأ ودخول الأحماض والأملاح يؤدي إلى تدهور الخرسانة. كما أن نفذية الخرسانة قد تعنى فى بعض الأحوال عدم أداء المنشأ لوظيفته كما فى حالة الخزانات المحتوية على سوائل والمنشآت تحت الأرض ففى مثل هذه المنشآت تصبح عدم نفذية الخرسانة خاصية مطلوبة وهامة كمقاومتها للأحمال . وكثيرا من الأبحاث أنجزت حول دراسة آثار التشققات التي تصيب الخرسانة على مدى نفذيتها، مهما كانت أسباب ومصادر هذه التشققات، سواء كانت مصادر ميكانيكية أو حرارية، فإن كل هذه الدراسات دلت على أن وجود هذه التشققات يزيد من النفذية.

بينما نجد أن المسامية هي وجود مسام أو فجوات داخل المادة الصلبة وقد تكون هذه المسام متصلة عن طريق أنابيب دقيقة أو مسارات شعرية أو قد تكون هذه المسام منفصلة عن بعضها. [63]

إن التركيب الداخلي لعجينة الإسمنت يحتوى على مسام دقيقة نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تصاحب إمالة الإسمنت والماء. إذن فالخرسانة بطبيعتها مادة مسامية ولكي تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلا بد

من اتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة. وعلى ذلك فالمسام المحدودة العدد المعزولة عن بعضها البعض لن تؤدي إلى نفاذ الماء أو الهواء كما هو موضح في شكل II.11. [45]

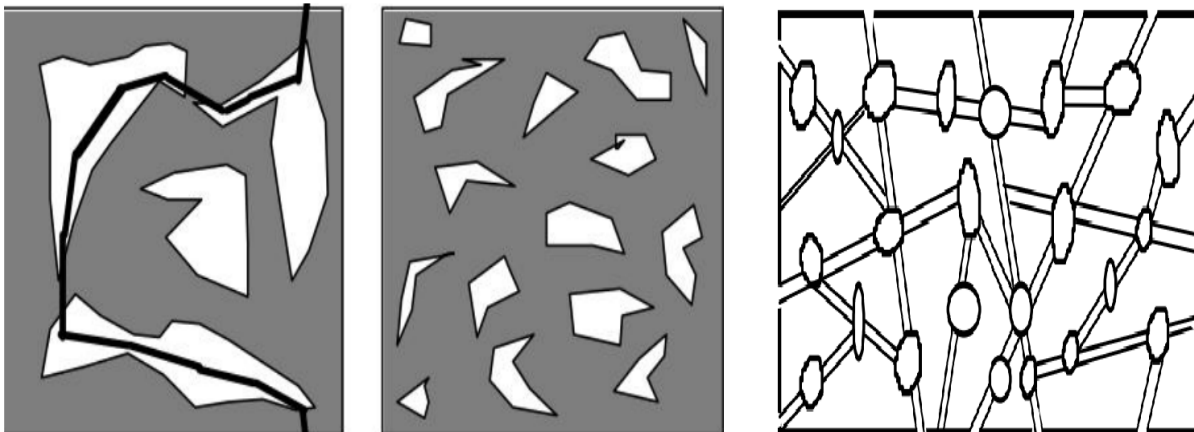
أنواع المسامية الداخلية

يوجد ثلاثة أنواع من المسام يمكن تمييزها كما يلي:

أ - المسام الهوائية ومنها الصغير جداً وهو عادة ما يتم تكوينه صناعياً داخل الخرسانة عن طريق إضافات الهواء المحبوس لزيادة القابلية للتشغيل وتحسين المقاومة للصقيع. ومنها المسام الهوائية الكبيرة غير المنتظمة وهي تنشأ عادة عن عيوب الصب والدمك للخلطة الخرسانية والمسام الهوائية يتراوح قطرها من 0.01 إلى 0.2 مم.

ب - المسام الجيلاتينية: وهي أدق وأصغر أنواع المسام على الإطلاق حيث يبلغ قطرها من $10 \times 0.5 \times 10^{-6}$ مم إلى $10 \times 10 \times 10^{-6}$ مم وتتكون بعد عملية الإماهة حيث تتصلد العجينة الإسمنتية مكونة جسماً صلباً متجانساً. هذا الجسم الصلب به نسبة عالية من الفراغات الداخلية.

ج - المسام الشعرية : بعد خلط الإسمنت مع الماء مباشرة يحدث تكثف لحبيبات الإسمنت والماء ويسمى الماء الموجود في الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعري Eau capillaire حتى يحدث له تفاعل كامل مع الإسمنت ويترك مكانه خالياً مكوناً المسام الشعرية التي تعتبر أكثر أنواع المسام والتي تحدد درجة المسامية الكلية للخرسانة. والمسام الشعرية ذات قطر يتراوح من 0 مم إلى $10 \times 10 \times 10^{-6}$ مم أي أنها وسط بين المسام الجيلاتينية والمسام الهوائية.



مسامية ضعيفة و نفاذية عالية

مسامية عالية ونفاذية شبه معدومة

مسامية عالية و نفاذية عالية

الشكل II.21 يوضح أشكال المسامية و أنواع النفاذية في الخرسانة [45, 63]

II 10.2. 10.2 II. تآكل الحديد:

II.10.2.1 تعريف تآكل الحديد أو الصدأ

يعرف الصدأ أو تآكل المعادن بأنه التلف (الجزئي أو الكلي) الذي يصيب العنصر سواء من حيث المظهر أو الأداء، إذن هو التفاعل الضار للعناصر الموجودة في الوسط المحيط مع المعدن الذي يسبب تدهور خواصه إثر التفاعلات الكيميائية أو الكهروكيميائية. [80] والتآكل الكيميائي يحدث بسبب تفاعل المعدن مع الوسط دون ظهور تيار كهربائي والتآكل الكهروكيميائي يحدث نتيجة لظهور تيار كهربائي نتيجة للتفاعل بين المعدن والالكترونات المحيطة به في الجو الرطب وفي الماء العذب وماء البحر والأحماض والقلويات والمحاليل الملحية في الأراضي. إن صدأ الحديد الكيميائي في الماء أو الجو الرطب يطلق عليه اسم التآكسد لأن الناتج هو أكسيد الحديد [81]

II.10.2.2 أسباب حدوث تآكل الحديد وصداه:

في أغلب الأحيان يرجع سبب حدوث التآكل وصدأ حديد التسليح إلى عنصرين مهمين هما:

- 1- عندما تكون طبقة الخرسانة المحيطة بالليف أو القضيب الحديدي ضعيفة وفي بعض الحالات معدومة عندها يصبح هذا الأخير معرضاً للعوامل الخارجية من رطوبة وأكسوجين وغيرها من العوامل والعناصر التي تحتم تفاعله معها فيتكون الصدأ ويتآكل الليف أو القضيب الحديدي.
- 2- عندما تكون قاعدية الخرسانة المحيطة بالألياف إلى الحد الذي ينخفض فيه الأس الهيدروجيني إلى 10 أو أقل، ففي هذه الحالة تصبح الطبقة الحامية القلوية غير متزنة وتنكسر مما يجعل التيار الكهربائي يسرى في الليف ومن ثم يبدأ الصدأ. [45] وفقد القاعدية يحدث نتيجة لعامل أو أكثر وقد سبق ذكرها.

II.10.2.3 آلية التآكل الحديدي:

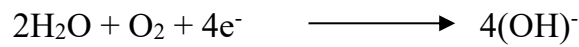
تآكل الحديد هو عملية كهروكيميائية [82] تحدث عند السطح الفاصل بين صلب التسليح والخرسانة وتحتاج إلى عامل مؤكسد (الأكسجين) ورطوبة وتيار من الإلكترونات يسرى من قطب موجب إلى قطب سالب في المعدن ويجب توفر الوسط الذي ينقل التيار الكهربائي من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائي به أملاح ذائبة. وتحدث في هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيميائية تمر بعدة مراحل أهمها [45]:

1- يتغير التركيب الكيميائي للإسمنت ضمن كتلة الخرسانة نتيجة عملية الكربنة بشكل مستمر من الطبقة السطحية باتجاه الداخل. في البداية يتم تخريب طبقة التغطية، نتيجة الكربنة أو نتيجة عوامل أخرى.

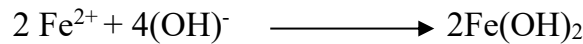
2- يتأكسد الحديد عند ملامسته للماء معطياً أيونات الحديد (Fe⁺⁺) حسب التفاعل:



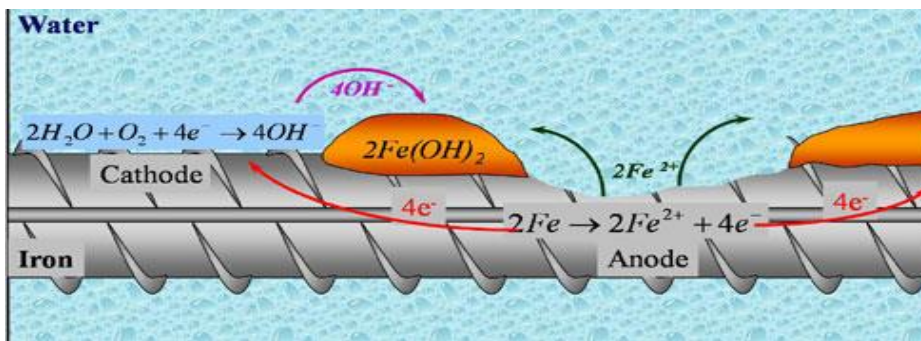
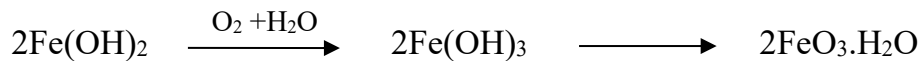
3- تنتقل الالكترونات المتولدة من التفاعل السابق ($4e^-$) حيث تتفاعل مع الأوكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيد (OH) حسب التفاعل:



4- عند تقابل نواتج التفاعلين -أيونات الحديد مع أيونات الهيدروكسيد- يترسب هيدروكسيد الحديد الثنائي وفقاً للتفاعل [83]:



5- يتأكسد هيدروكسيد الحديد الثنائي الناتج بفعل الأوكسجين والماء إلى هيدروكسيد الحديد الثلاثي تفاعلاً ثانوياً- الذي يتحلل مكوناً صدأ الحديد (أكسيد الحديد) طبقاً للتفاعل [83]:



الشكل 22.ii يوضح آلية التآكل الحديد

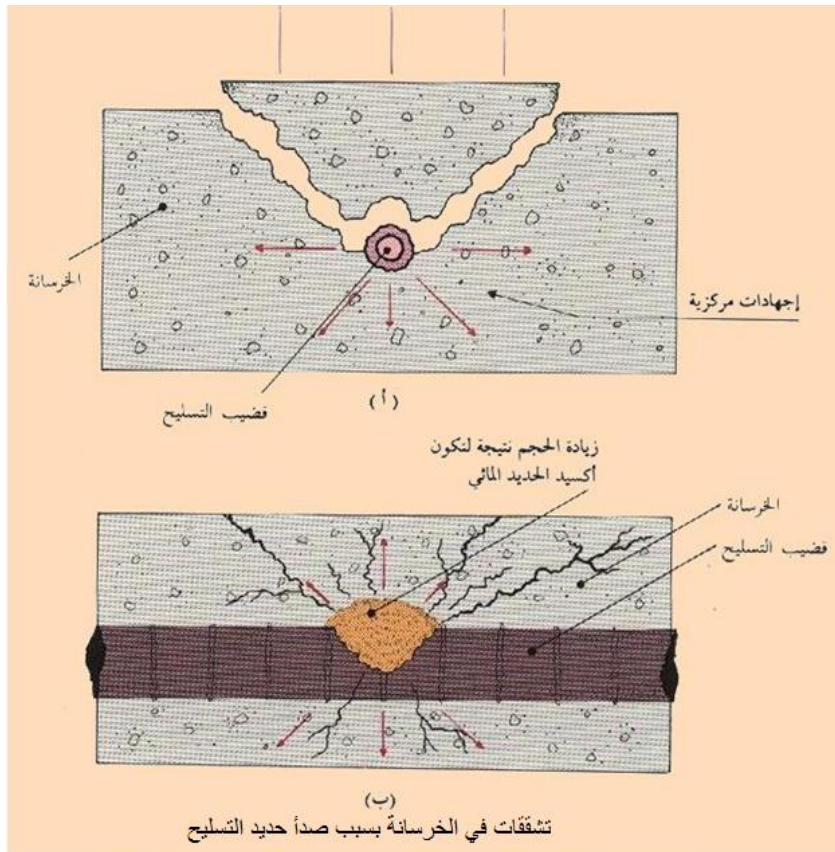
6- نتيجة أكسدة حديد التسليح تتشكل مواد جديدة حجمها يزيد بمقدار 2-6 مرة عن حجم المواد الأساسية المكونة لها، مما يؤدي إلى تولد إجهادات شد في الخرسانة تزيد عن مقاومته مما يؤدي إلى تولد شقوق في طبقة التغطية، تكون عادة موازية لقضبان التسليح .

7- تشكل الشقوق يؤدي إلى زيادة دخول المواد الضارة وبالتالي زيادة سرعة الأكسدة مما يؤدي إلى تخریب طبقة التغطية وانسلاخها، وتخریب التماسك بين حديد التسليح والخرسانة ومن ثم فقدان مقاومة المقطع الخرساني.

8- يعتبر أكسيد الحديد الناتج شديد الامتصاص للماء وضعيف الالتصاق بالحديد، وبذلك تسهّلزالتة بالذوبان البطيء تاركاً سطح الحديد ليصبح يتكون صدأ جديد.

* يمكن عن طريق قياس التيار الكهربائي ألياف الحديد الصدئة معرفة الصدأ في الألياف التي يصعب الكشف عنها، وهذا يساعد على تحديد درجة خطورة المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ.

* وهيدروكسيد الحديد الناتج يزيد حجمه عن حجم الليف الأصلي زيادة كبيرة مما يؤدي إلى تولد إجهادات انفصالية عالية حول ألياف التسليح تؤدي إلى شقوق طولية موازية للألياف وعند زيادة الصدأ عن ذلك تبدأ الخرسانة السطحية في التساقط.



الشكل 23. II يوضح آلية التشقق في الخرسانة بفعل صدأ التسليح [60]

1.3.10.2.II الحديد المغمور داخل مركبات إسمنتية جيدة:

تقوم العجينة الإسمنتية بدور الواقي أو الحامي للحديد من التآكل وذلك راجع لأمرين:

- 1- تقوم العجينة الإسمنتية بتكوين طبقة قلووية كثيفة تمنع حدوث التآكل أو تجعل معدلات تآكله بطيئة جدا (أقل من $0.1 \mu m$ في السنة) [61]، وكأنه مغمور في محلول قلوي. وهذا راجع إلى أن الخرسانة المحيطة بالأسلاك أو الألياف الحديدية قاعدية ذات أس هيدروجيني (PH) يتراوح من 12 إلى 14 كما قدمنا، وعند هذه القيمة للأس الهيدروجيني فإن التفاعلات الكيميائية التي تحدث على سطح ألياف التسليح تؤدي إلى ظروف تصبح

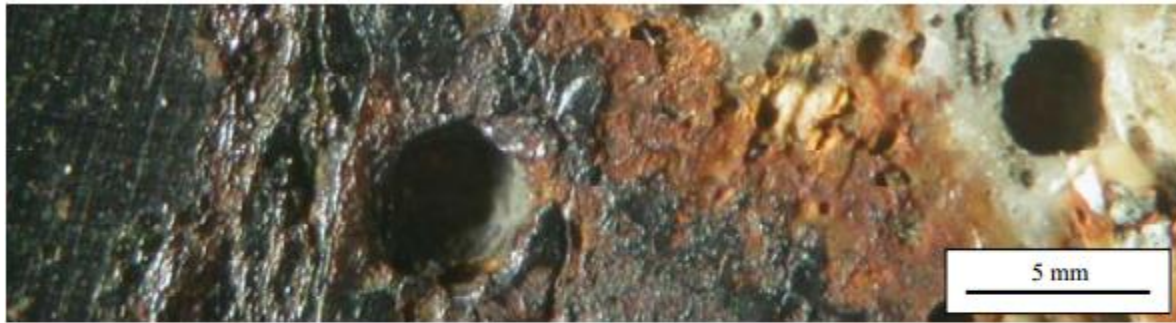
فيها التفاعلات الكهروكيميائية المؤدية إلى الصدأ غير ممكنة [45]، كما تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين طبقة رقيقة جداً من نواتج الصدأ - مثل أكسيد الحديد الثلاثي Fe_2O_3 - فتلتصق بسطح الليف وتمنع حدوث صدأ الحديد - [61]، وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بالألياف التسليح هي سبب حماية هذه الألياف، وعملياً فإن هذه الحماية فعالة لمدة طويلة إلا إذا أُفقدت هذه القاعدية نتيجة أملاح أو أحماض تتغلغل في الخرسانة أو نتيجة للتحويل الكربوني للخرسانة السطحية كما رأينا سابقاً.

2- يعتبر الغطاء الخرساني أو الإسمنتي المحيط بالألياف الحديدية حاجزاً يمنع وصول الرطوبة والأملاح وكل المواد الضارة إلى سطح الألياف الحديدية. لهذا فإن تآكل الحديد وصداه يحدث نتيجة تكسر هذا الحاجز المانع، حيث يبدأ التآكل بتكوين نقرة صغيرة في السلك ثم تزداد هذه النقرة ويحدث اتحاد بينها وبين الأوكسجين الجوي مما يكوّن الصدأ العام. [81]

II.2.3.10.2 الحديد المغمور داخل مركبات إسمنتية متآكلة: [61]

إن طبيعة وتركيب طبقة الأكسيد الناتج عن التآكل الملاحظ على التسليح المغطى بالخرسانة المنهارة تختلف قليلاً عن المحصل عنها في الحديد المعرض للهواء الطلق. فقد دلت بعض الأبحاث على أن الخرسانة الموجودة في جو بحري وذات معامل E/C أكبر من 0.7 فقد سمحت بتكوين طبقة أكثر سماً من الصدأ حيث بلغت mm 0.75. أما عن طبيعة هذه المركبات الناتجة حول الحديد المغمور داخل خرسانة منهارة، فقد دلت كثير من الأبحاث على أنه يمكن أن نميز منطقتين بينيتين بين التسليح والخرسانة المنهارة، فنقول أن طبيعة المواد المتشكلة في الطبقة الأولى - قرب الحديد- (هي منطقة النواتج الكثيفة (CPD) couche de produits denses) فهي لا تحتوي إلا على حديد على شكل أوكسي- هيدروكسيد حديدية (oxy-hydroxyde) وبعض الأثار عناصر رخاميات المغنيتيت marbrures de magnétite، أما الطبقة الثانية فهي طبقة الأوساط المتحولة milieu transformé (MT) وهي متشكلة داخل شبكة الفراغات الإسمنتية فقد دلت آلية الكشف الابتدائي بواسطة EDX على أن كمية الحديد تتناقص بسرعة على حساب التركيبة الإسمنتية مثل الكالسيوم والسيلسيوم.

في هذه المنطقة نجد أن أوكسي- هيدروكسيد الحديد (oxy-hydroxyde de fer) غير متبلورة جيداً.



الشكل II.24 يوضح مختلف الطبقات المحيطة بالتسليح داخل الخرسانة المنهارة [61]

II 11.2.11. تجارب وتقنيات الديمومة:

يمكن أن نحصر تقنيات تجارب ديمومة الخرسانة في المشاهدات الضوئية macroscopiques والإلكترونية microscopiques. [55] وبعض التجارب الأخرى:

II.11.2.1. المشاهدات الضوئية macroscopiques:

تتمثل في المشاهدة العينية بالعين المجردة وكذلك بالمجهر الضوئي، ومنها: مراقبة تغيرات اللون والحجم والشكل وغير ذلك.

II.11.2.2. المشاهدات الإلكترونية microscopiques:

- المجهر الإلكتروني الماسح (SEM أو MEB) وEDS : يُستخدم المجهر الإلكتروني الماسح (SEM/MEB) لتحليل البنية المجهرية للخرسانة، حيث يوفر صورًا عالية الدقة لسطح العينة، مما يسمح بدراسة شكل وتوزيع البلورات والمسام والمركبات المختلفة داخل المادة.

أما جهاز التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDS)، فهو مدمج عادة مع المجهر الإلكتروني، ويُستخدم لتحديد التركيب العنصري للموضعي للنقاط أو المناطق المرصودة على العينة، ما يساعد على التعرف على طبيعة المركبات المعدنية وغير المعدنية الموجودة في الخرسانة.

- الحيود بالأشعة السينية (XRD أو DRX): تُستخدم تقنية الحيود بالأشعة السينية (XRD/DRX) لتحديد التركيب المعدني البلوري للمواد الصلبة. وتعتمد على تحليل نمط الحيود الناتج عن تفاعل الأشعة السينية مع الشبكات البلورية في العينة، مما يمكّن من التعرف على المركبات الكيميائية المتبلورة، مثل الإترنجيت، الكالسيت، الكلنكر، وغيرها من المركبات الموجودة في الخرسانة.

3.11.2.II التجارب الأخرى:

* التغير في الكتلة الحجمية: قد تظهر زيادة في الحجم نتيجة اكتساب كتلة، بينما يحصل ضياع للمادة نتيجة تفتت مما يحدث سقوط عنيف للكتلة. [84]

* التمدد: وهو العامل الذي يظهر دون شك مقدار الانتفاخ، ولا يمكن قياسه إلا على العينات الملاطية المجهزة لقياسات الانكماش.

* انتشار الصوت: قياس سرعة انتشار الصوت يسمح بتقييم تطورات الخواص الميكانيكية للخرسانة دون تحطيم. لأن السرعة مرتبطة بالمعامل الديناميكي. انخفاض هذا المعامل يفسر التدهور في جسم الخرسانة.

* معامل امتصاص الماء: هو المعامل الذي يعطي فكرة عن مقدار الفراغات داخل جسم الخرسانة، اذن هو يسمح بالتعرف على الخرسانة الأكثر ديمومة.

* مقاومة الشد والضغط: تظهر قياسات الخواص الميكانيكية للخرسانة والملاط، خصوصا عند تعرضها للأوساط العدوانية.

12.2 II أنواع المياه في الواحات وظاهرة صعود المياه:

لاحظنا مما سبق مدى تأثير محيط الخرسانة على ديمومتها، وأن أخطر هذه التأثيرات هو احتوى تلك الأوساط المحيطة على الأملاح الضارة خاصة الكربونات والكلوريدات والكبريتات. وتزداد خطورة إذا كانت رطبة.

إن منطقة الواحات الواقعة في الجنوب الجزائري وخاصة ولايتي ورقلة والوادي تحتوي على مجموعة متنوعة من المياه يمكن أن تكون وسطا أو جزءا من وسط يحيط بالخرسانة فما هي أنواع المياه التي تحتويها هذه المناطق وما هي تركيبها الكيميائية؟

إن هذه المنطقة تعاني أيضا من ظاهرة أرقت كل الأطراف المعنية والسلطات العمومية، إنها ظاهرة صعود المياه التي باتت في كل مكان من بينها المجمعات السكنية التي تحوي بنايات مختلفة، لا شك أنها أثرت على مادة بناء هذه المنشآت التي في الغالب ما كانت مبنية بمواد جبسية محلية، أو بمادة الخرسانة، فما هو تاريخ ظهور هذه المشكلة وما هي أسبابها وما هي أهم العناصر الكيميائية التي تحملها هذه المياه؟ وما هو الأخطر منها على خرسانة رمل الكثبان المدروسة؟

II 13.2. أنواع المياه الموجودة في الواحات:

نستطيع تقسيمها من حيث تواجدها إلى قسمين مياه سطحية ومياه جوفية، والمقصود بالجوفية هنا المياه التي لا يمكن رؤيتها فوق سطح الأرض إلا بعد استخراجها بالآلات الميكانيكية، على عكس المياه السطحية التي نقصد بها المياه التي نراها فوق السطح مباشرة وتكون جارية أو راكدة.

أ- مياه جوفية: ونستطيع تقسيمها إلى قسمين:

* المياه الصالحة للشرب: وهي موجهة لتزويد المواطنين بهذه المادة، عادة ما تكون مستخرجة من أعماق (200م -250م)، في أغلبها باردة.

* مياه السقي: وهي مياه موجهة لسقي المحاصيل الزراعية بهذه المناطق عادة ما تكون مستخرجة من أعماق (30م -50م) في أغلبها باردة.

ب- ومياه سطحية والمتمثلة في:

• مياه الصرف الصحي قبل المعالجة:

• مياه الصرف الصحي بعد التصفية .

ج- المياه الصاعدة.

II 14.2. تعريف ظاهرة صعود المياه:

نستطيع أن نعرفها كظاهرة، على أنها غمر وطفو كميات من الماء على وجه الأرض ناتجة عن ارتفاع مناسب مياه الطبقة السطحية.

II 15.2. التعريف بمشكل صعود المياه:

ينص أكثر المختصين على أن هذا المشكل يكمن في عدم التوازن بين حجم المياه المنتجة والمستعملة ومياه التصريف[85]. في ظل غياب أماكن خاصة بالصرف الصحي طبيعية أو صناعية.

وهو ما يسمى بالانقطاع في النظام الهيدروليكي المغلق. حيث أن هذا النظام تتميز به المناطق الجافة والمقصود به أن الحوض يتكون من قاعدة نفوذ. حيث أن المياه تسحب من الطبقة السطحية وتصرف فيها من جديد. [85]، ويمكن تصنيف طرق استغلال المياه إلى نظامين رئيسيين : النظام التقليدي والنظام الحديث.

1.15.2.II النظام التقليدي:

كان مصدر المياه هو الوديان أو الطبقات السطحية، ترمى هذه المياه بعد الاستعمال المنزلي في الحفر الصحية غير النظامية. وبعد الاستعمالات لمختلف الأنشطة الحضرية ترمى في مناطق بعيدة عن المجال الحضري بكل ما تحتويه من فضلات ونفايات. إن الكمية غير المتبخرة من هذه المياه تواصل حركتها لتصل إلى طبقة المياه السطحية خلال فترة زمنية طويلة، فهناك توازن بين المياه المنتجة والمياه المصرفة، فهذا النظام يعمل في حلقة مغلقة بصيبيب محدود، لهذا بقي مستوى منسوب المياه ثابتاً. ولم تظهر أي مشكل على السطح [85, 86].

2.15.2.II النظام الحديث:

بعد التطور الكبير الذي شهدته هذه المناطق في جميع المجالات تضاعف استغلال الطبقة السطحية عن طريق تمرير الآبار المجهزة بمجموعة مضخات ومحركات، إضافة إلى تضاعف امتصاص النباتات للمياه فتقلص حجم المياه في الطبقة السطحية وانخفض منسوب المياه في الكثير من الواحات. مما اضطر إلى استغلال الطبقة العميقة، لكن هذا الاستغلال تترتب عنه نوع آخر من اختلال التوازن، حيث أن الضخ الكبير ضم إلى حلقة المياه الملوثة التي لا تدخل إلى الأعماق وغير مصرفة لخارج الحوض الهيدرولوجي فهي ترجع إلى الطبقة السطحية التي ترفع من حجم مياهها بشكل كبير، إلى أن طفا على السطح وغمر المزارع والغيطان وأثر على العمران. [86].

II 16.2. تاريخ مشكل صعود المياه:

تاريخ مشكل صعود المياه يرجع إلى سنوات عديدة، ولناخذ ولاية الوادي كنموذج من الواحات الجزائرية، حيث برز مشكل صعود المياه بشكل واضح ومتفاقم استحال تجنبه، ابتداء من الأمطار الغزيرة لعام 1969 [87] ، حيث كان الماء متواجدا على بعد 2 إلى 3 أمتار تحت مستوى قعر الغيطان فأصبح 1 متر ثم تزايد وانتهى بالطفو على سطح اليابسة وبالتالي غرق الغيطان وموت النخيل. [86]

II 17.2. مراحل مشكل صعود المياه:

نلخص تاريخ المشكل في مرحلتين

II 1.17.2. المرحلة الأولى:

استغلال الماء انتقل إلى طبقة الميبوبالوسين (المركب النهائي) لأجل احتياجات مياه الشرب وسقي المساحات المزروعة بالخضر والنخيل [88]، التنقيب الأول المنجز بالوادي كان عام 1956 عمق الطبقة 500 - 250 متر [87] صبيب التنقيب يصل بين 30-80 لتر/ ثانية. لكن نظام التصريف لم يتغير.

إن المياه الزائدة المستخرجة ترمي بدورها في الحفر الصحية غير النظامية والتي تلتحق بالطبقة السطحية. وأهمل التعامل مع مشكل الصرف الصحي [89]

أما بعد 1970 فإنه في كل عام ينجز تنقيب جديد في الطبقة نفسها. والصرف بقي نفسه في نفس الطبقة وبنفس الكيفية.

II.2.17.2 المرحلة الثانية:

نظرا للاحتياجات المتزايدة لمياه الشرب بمدينة الوادي تم استغلال طبقة الأبيان (القاري المتداخل) حيث أجري تنقيب أنجز عام 1987 بعمق 1200 متر صبيبه مقدر ب 100 لتر/ثانية بدرجة حرارة مقدر ب 57 درجة مئوية، ثم تنقيان آخران منجزان بالوادي والصحن البري، هذا الوضع الجديد أيضا لم يتبع بأي تغيير في نظام الصرف واستمر رمي المياه في الحفر الصحية غير النظامية. بشكل آخر نستطيع القول انطلقنا من نظام أين الطبقة السطحية مغذية للطبقة السطحية، إلى نظام جديد فيه ثلاث طبقات مغذية لطبقة سطحية واحدة هذه التغذية العظيمة للطبقة السطحية تشرح مباشرة صعود المياه التدريجي. [86]

II.18.2. أسباب مشكلة صعود المياه:

إن مشكل صعود المياه لا شك أنه خطر طال عدة جوانب منها بيئية وصحية وعمرانية مما استدعى القيام بعدة دراسات كان عليها الإجابة أولا على سؤال مهم. هو ما هي أسباب صعود المياه.

لقد حاول العديد من الباحثين الإجابة عن هذا التساؤل من خلال تحديد مجموعة من الأسباب، من بينها ا:

II.18.2. الأسباب الطبيعية:

أ تشبع الطبقة بواسطة مياه الأمطار :

تتحرك مياه الطبقة السطحية وسط عمق يصل إلى 25 متر في الجنوب، وبعض الأمتار في الشمال من المنطقة. هذه الطبقة مياهها مغذاة بمياه الأمطار، أما الأمطار التي سقطت على العرق الشرقي الكبير عام 1969 ساهمت بشكل كبير في رفع مستوى منسوب الطبقة السطحية [86, 87].

ب الطبوغرافيا:

إن طبيعة الأرض الرملية وكذلك طبوغرافيا سطحها خاصة الانحدار، إذ أرض وادي سوف شبه مستوية تنعدم تقريبا إلى ميول طبيعية إذ لا يتعدى الميل في أكثر حالاته 2 %، هذا ما صعب خلق شبكة صرف صحي بإمكانها أن تحل محل الحفر الصحية، بالإضافة إلى انعدام مصبات طبيعية مثل الوديان وغيرها. مما جعل المياه المصرفة في الحفر الصحة تطفو على السطح.

II.2.18.2 الأسباب البشرية:

أ - التركيز العالي للسكان: حيث بعد الاستقلال واستقرار الأوضاع نزحت كثير من العائلات من الريف إلى الحواضر، هذا ما أدى إلى نشوء تجمعات سكانية كبيرة، تجسد في مدينة متطاولة تزيد عن 40 كلم طولاً تلاحمت فيها البلديات المتجاورة من قمار، نغزوت، كوينين، الواد، البيضاء، الرباح، احتاجت إلى مضاعفة كميات المياه المستهلكة ، فالطبقة السطحية لم تعد كافية لوحدها تسد متطلبات السكان من مياه الشرب، الاستغلال المنزلي، الصناعة والزراعة، لهذا تم الانتقال للمركب النهائي ثم القاري المتداخل.[86]

ب- إفراط في استهلاك المياه:

جل القوانين الدولية تكفل للمواطنين التزويد بالمياه الشروب، من هذا المنطلق تم إيصالها إلى جميع المواطنين وتجمعاتهم السكانية، لقد كان التزويد بالمياه الشروب في ولاية الوادي متوفراً خلال 24 ساعة، كما أنه لا توجد عدادات المياه عبر كامل الإقليم لمراقبة كميات المستهلكة من طرف كل مسكن، هذا الأمر دفع بالسكان إلى الإفراط في الاستهلاك لعدم إدراك قيمة هذا المورد كونه مجانياً هذا ما جعل المواطنين يسرفون في استغلال هذه المادة حتى أن بعضهم استغلها في السقي بدل الحاجيات الأخرى.

ج- الصرف الصحي:

كما قدمنا فإن ولاية الوادي تنعدم بها شبكة صرف صحي ماعدا في مقر الولاية، الشيء الذي اضطر السكان إلى اتخاذ حفر تصل أعماقها إلى طبقات المياه السطحية لصرف فائض المياه هناك، الأمر الذي فاقم من عملية صعود المياه، بالإضافة إلى الكميات الكبيرة للمياه المصروفة حيث اثبتت العديد من الدراسات أن نسبة استهلاك الماء الفعلية من القيمة المستخرجة لا تتجاوز 20% في حين أن 80% الباقية تصرف هدراً. وهذا ما زاد أيضاً من تطور مشكلة صعود المياه.

II.2.18.3 أسباب زراعية:

من المعلوم أن ولاية الوادي أصبحت من الولايات التي تنصدر ولايات الوطن في المنتوج الفلاحي، وهذا المنتج كله مسقياً بالمياه الجوفية ولا يعتمد على مياه الأمطار كما هو الحال في بعض الولايات الأخرى، إن نسبة المساحة المسقية قدرت في إحصائيات 1999 - 2000 بـ 43% ، وهي اليوم تقارب 70%، يعني أكثر من نصف أراضي الولاية مسقية على تربة رملية بمعنى درجة عالية للنفذية هذا ما زاد من حدة مشكلة صعود المياه.[86, 87]

II 19.2. آثار مشكلة صعود المياه:

II 19.2.1. أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الزراعي:

أكبر مشكلة مست القطاع الزراعي جراء صعود المياه هي الغيطان. حيث إن مكان الغوط الذي اختاره أهل سوف لزراعة نخيلهم هو قاع منخفض لا يبعد عن الماء إلا قليلا وجوانبه مرتفعة عبارة عن كثبان ممزوجة بين الرمل والحجارة. وتوضع فوق هذه الكثبان مصدات للرياح من جريد النخيل وعصيه أيضا وهكذا حتى ارتفاع تلك الكثبان [90]، فبعد ظهور مشكل الصعود كان أول المتضرر هي الغيطان وذلك لقربها من الطبقة المائية السطحية. حيث كان عددها أكثر من 3015 غوط متضرر من أصل 9462 غوط بالمنطقة حسب إحصاء 1998 [91]، أي بنسبة تقارب الثلث.



الصورة II.6 : آثار ظاهرة صعود المياه على الجانب الزراعي [92]

II 19.2.2. أثر مشكلة صعود المياه على الجانب العمراني:

معظم المباني بالمنطقة هي مبان منجزة بالمواد المحلية المعالجة بطريقة تقليدية، وكذلك بعض المباني من الخرسانة المسلحة، لقد أثرت ظاهرة صعود المياه على هذه المباني تأثيرا واضحا، حيث بدت عليها آثار أماكن رطوبة ويقع بيضاء عبارة عن أملاح، لقد لوحظ هذا على كلا النوعين من البناءات.

هذا ما يفسر تغلغل وصعود المياه للأجسام المبنية عبر الامتصاص بالخاصية الشعرية أو النفاذية نظرا لأن المواد الجبسية لا تتوفر على الكمامة اللازمة، كما أن الخرسانة التي قد بنيت بها المساكن الحديثة، تعاني من هذه الظاهرة أيضا، وهذا راجع إلى تفاعل العناصر الكيميائية الذائبة والمتحللة في الماء مع مكونات هذه التركيبية الخرسانية من إسمنت وركام، حيث تصل هذه المياه المحملة بالعناصر الضارة مثل الكبريتات والكاربون وغيرها، إلى قلب الجسم الخرساني أو الجبسي، وحيث أن المنطقة حارة صيفا باردة شتاء وجافة في كل الفصول، فإن تلك المياه بإمكانها التبخر أو على الأقل جزء منها، في فترات معينة خاصة عندما تصل درجة

الحرارة إلى ذروتها في فصل الصيف - حوالي 70°، إن خروج تلك المياه لا شك سيخلف تلك الأملاح والعناصر الذائبة وبتراكيز كبيرة بإمكانها أن تتفاعل مع مكونات الأجسام المذكورة .

هذه التفاعلات بإمكانها العمل على تهري وتدهور الجسم الخرساني أو الجبسي بمجموعة من التفاعلات متسلسلة تحدثنا عنها في فصل الديمومة.

يصل عدد المساكن القديمة التي يستعمل في بنائها الجبس الذي يتآكل بفعل الرطوبة التي يسببها مشكل صعود المياه حوالي 6533 مسكن [86, 87]، علاوة عن المباني الخرسانية، هذا الأمر الذي جعلنا ندرس مدى تأثير نوعية وتركيبية المياه الصاعدة على نوع خرسانة الرمل المدرسة.



الصورة II.7 : توضح بعض مظاهر صعود المياه وتأثيرها على العمران . [31]



الصورة II.8 : يوضح تدهور بعض المباني الجبسية نتيجة صعود المياه [31]

3.19.2.II أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي:

تعتبر الأمراض المتنقلة عن طريق المياه من الأسباب الرئيسية للإصابات والتي تستلزم التصريح الإجباري، رغم التراجع المسجل خلال السنوات الأخيرة لبعض منها. إلا أنه تم تسجيل عام 2005 حوالي 85 حالة مرض بحمي التيفويد في بعض البلديات بالخصوص بلديتي الوادي، الرقيبة، حيث تم التحكم فيها بعد التعرف على مصدر العدوى (الجرثوم المسبب) في بعض صوندات السقي بمنطقة هبة. إن الأمراض المتنقلة عن طريق المياه لازالت تشكل صعوبات للصحة العمومية بالرغم أنها في طريق الزوال وتتطلب عناية خاصة لمراقبتها ومكافحتها للقضاء عليها نهائياً باتخاذ كل الإجراءات الوقائية لتجنيد كل الوسائل المادية والبشرية المتواجدة للبرنامج المسطر للعينة الولائية للأمراض المتنقلة عن طريق المياه، عبر تنشيط وتحريك مكاتب حفظ الصحة بالبلديات باعتبارهم أدوات فعالة لنظافة المحيط على مستوى البلديات. إن التنسيق ما بين مختلف القطاعات يجب أن يتحسن وتتوزع فيه المهام التي تمكن من تجنب الأخطار والقضاء نهائياً على هذه الأمراض شريطة أن يتجسد فعلياً في الميدان، وهذا الشيء ممكن إذا أخذ بعين الاعتبار وباهتمام الجميع، فمن بين العوامل الرئيسية في بقاء هذه الأمراض هي:

- قدم وتآكل قنوات المياه الصالحة للشرب والغياب التام للصيانة في بعض البلديات.
- تدهور نظافة الوسط الراجع إلى غياب شبكة صرف المياه، ومعالجة المياه القذرة.
- مشكل صعود المياه و تزايد السكن غير اللائق. [86]



الصورة 9.II: يوضح بعض أثر صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي [31]

4.19.2.II أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الزراعي:

في زمن ليس بالبعيد كانت واحات الجنوب قبلة للسياح للتمتع بجوها النقي الجميل وطبيعتها الصحراوية الساحرة فورقلة ولاية البترول والقصور العتيقة، ووادي سوف مدينة ألف قبة وقبة ومدينة الغوط أو ما يسمى بالهرم المقلوب [93] الذي صنف من الأثار العالمية سنة 2009، لقد كانت هذه الواحات قبلة لكثير من السياح القادمين من أنحاء العالم، أما اليوم وبعد تدهور حالة لقصور بورقلة وتلاشي الغوط وصعود المياه بهذه الواحات، حيث تحولت تلك الغيطان إلى مستنقعات، بدل أن تعطي تمرا مفيدا وهواء نقياً، أصبحت تبعث روائح كريهة ومقر للحيوانات المتشردة والحشرات الضارة، وبالإضافة لأسباب أخرى تقلص عدد السياح إلى أن كاد ينعدم، لقد أثر هذا أيضا سلبا على الجانب الاقتصادي. [92]

20.2 II. تحاليل المياه الصاعدة [94]:

الجدول 17.II تحاليل المياه الصاعدة [94].

N° du Point d'eau	Ca ++ [mg/l]	Mg ++ [mg/l]	NH4 + [mg/l]	Cl - [mg/l]	SO4 -- [mg/l]	HCO3- [mg/l]	NO3 - [mg/l]	NO2 - [mg/l]	F - [mg/l]	TUR [NTU]	R s [mg/l]	TAC [mg/l]	TH [mg/l]	COND [micro S/cm]	Sal [‰]	TDS [mg/l]	pH
G08	589.18	48.61	0.24	439.62	1600.00	34.16	16.70	0.32	1.35	0.21	7440	28	1670	2170	1.3	1240	8.12
G12	641.28	228.4	0.26	1418.1	1500.00	197.6	1.50	0.03	1.71	5.18	12120	162	2540	6020	3.8	3680	7.36
G81	549.10	58.33	0.20	460.89	2100.00	32.94	15.80	0.08	1.64	0.15	7280	27	1610	3420	2.0	1973	8.20
P17	224.45	58.33	0.15	496.34	1100.00	35.38	2.30	0.10	0.57	1.38	3620	29	800	5000	3.0	2950	7.69
H80	488.98	432.6	0.31	404.16	2300.00	48.80	28.10	0.01	1.56	0.08	7540	40	3000	3450	2.0	2050	7.67
H90	617.23	274.6	0.29	1425.2	1500.00	69.54	16.30	0.01	1.40	0.49	12620	57	2670	6440	4.0	3980	7.76
D01	733.46	29.17	0.00	910.20	1876.00	52.46	16.46	0.01	1.61	0.80	4760	43	1950	5010	3.0	2940	7.71
D03	641.28	97.22	0.04	398.03	1773.00	183.0	46.49	0.00	1.34	1.15	4020	150	2000	3770	2.3	2270	7.80
D05	725.45	291.6	0.02	406.00	1746.00	158.6	57.56	0.02	0.67	0.54	3940	130	3010	3750	2.2	2180	7.42
D09	625.25	167.7	0.01	355.98	1600.00	85.40	62.94	2.16	1.49	0.81	4280	70	2250	2720	0.8	1166	7.71
D14	601.20	131.2	0.04	423.33	898.00	61.00	49.74	0.00	1.52	0.64	4040	50	2040	3920	2.3	2270	7.95
D18	617.23	104.5	0.15	1640.2	3363.00	51.24	64.65	0.05	1.83	0.26	6980	42	1970	7270	4.5	4390	7.43
D20	637.27	75.35	0.10	588.22	3373.00	420.0	47.81	0.01	1.51	0.21	5060	103	1900	5110	3.1	3010	7.31
D37	440.88	267.3	0.00	863.00	1344.00	768.6	10.79	0.07	0.74	0.33	3700	63	2200	3690	2.2	2150	7.78
D38	773.54	92.36	0.08	1013.0	1006.00	1305.0	56.79	0.02	1.65	0.31	5420	107	2310	4390	2.5	2710	7.45
D51	757.51	38.89	0.07	344.06	1907.00	101.2	97.19	2.84	1.44	1.93	5760	83	2050	4120	2.4	2350	7.57
D52	541.08	279.5	0.00	523.00	1055.00	512.4	18.70	0.01	1.57	0.89	3340	42	2500	4430	2.7	2710	7.65
D56	464.93	155.5	0.22	400.00	1703.00	109.8	85.96	0.12	1.34	1.05	3620	90	1800	3660	2.2	2140	7.50

الجدول 18.II تعريف بمواقع المياه الصاعدة التي تم تحاليلها. [94]

Propriétaire / Localisation	N° du Point	Propriétaire / Localisation	N° du
BELAID (TIKSIBTE)	G08	Ecole nouvelle Tiksept ouest	D09
GHARBI A. MADJID (KUIKINE)	G12	CM Tksept Est	D14
Station d'essence BEN BARDI (WAZITENE)	G81	CM Ghendire Omar	D18
P.P (DAWYA)	P17	Hôtel Louss	D20
BEYA ALI (ROUTE TRIFAWI)	H80	CFPA 3	D37
MAAMRA MESSAOUD (CHOOT)	H90	CM Bachir DjabAlah	D38
Château d'eau chott	D01	Ecole Maragni Kalifa Sahane 1	D51
CM Tksept Nord	D03	DHW	D52
Parc Wilaya	D05	Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	D56

II 21.2. ملاحظة حول العناصر المكونة لطبقة المياه الصاعدة :

من الواضح أن تركيبة المياه الصاعدة الموضحة في الجدول تحوي عناصر تشكل خطرا على الأجسام الإسمنتية الموجودة حولها، خاصة حمض كلور الماء HCl وحمض الكبريت H₂SO₄. فهي تؤثر على هذه الأجسام بتفاعلها معها ثم تؤثر على ما تحويه من تسليح أو الياف معدنية. وقد لاحظنا ذلك في الفصل السابق.

II 22.2. مواصفات ماء الحفظ :

تنص قواعد البناء على أن المواصفات اللازمة للماء المخصص لحفظ الخرسانة بعد صبها، أن يكون مطابقا لمياه الخلط المنصوص عليها وفق القواعد

NF EN 1008 أو NF P 18-303 [102]

الجدول 19.II المواصفات اللازمة للماء المخصص لحفظ الخرسانة بعد صبها

العنصر	pH	Cl ⁻	So ⁴⁻⁻	Na ₂ O	P ₂ O ₅	NO ³⁻	Pb ²⁺	Zn ²⁺	الدهون	اللون
Mg/l	< 4	>4500	>2000	>1500	>100	>100	>100	>100	>لا تكون أثار مرئية	>اصفر مبيض

وقد تفصل خطورة بعض المواد على النحو التالي :

جدول 20.II خصائص الماء الطبيعي وتعريف درجة بعض العناصر الخطورة [95]

الخصائص	درجة الخطورة		
	ضعيفة -faible-	عالية- élevé -	عالية جدا -trés élevé-
pH	6.5-5.5	5.5-4.5	>4.5
CO ₂ (mg/l)	15-30	30-60	>60
Ammonium NH ₄ ⁺ (mg/l)	15-30	30-60	>60
Magnesium Mg ²⁺ (mg/l)	100-300	300-1500	>1500
Sulfate SO ₄ ⁻ (mg/l)	200-600	600-3000	>3000

جدول 21.II خصائص التربة وتحديد درجة الخطورة [95]

الخصائص	درجة الخطورة	
	faible - ضعيفة - -	- élevé - عالية -
-Acidité- الحموضة	>20	-
Sulfate SO ⁴⁻ (mg/Kg)	2000-5000	>5000

جدول 22.II أنواع الإسمنت المستعمل حسب خطورة التربة والماء [95]]

درجة الخطورة	تركيز السيلفات		نوع الاسمنت
	في التربة mg SO ⁴⁻ /Kg	في الماء mg SO ⁴⁻ /l	
مهملة - -négligeable	< 2000	< 200	CP ordinaire
- faible - ضعيفة -	2000-5000	200-600	CPS ciment pouzzolanique de haut-fourneau (35-85% laitier)
-fort- عالية	Plus de 5000	600-3000	CPS ciment de haut- fourneau (Plus de 70% laitier)
-très fort- عالية جدا	-	Plus de 3000	Ciment permétallur – giquefouilloux

الخلاصة:

إن السعي نحو تطوير تركيبة خرسانية ذات خصائص ميكانيكية مرتفعة يمثل خطوة أساسية في تحسين أداء المواد الإنشائية، غير أن هذا المعيار وحده لا يكفي لضمان ديمومة الخرسانة على المدى الطويل. فالمتانة الفعلية تعتمد على عوامل أخرى جوهرية، من أبرزها قدرة الخرسانة على مقاومة الظروف البيئية المحيطة، وتأقلمها مع العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تتعرض لها في موقع الاستخدام.

تُعد المركبات الكيميائية العدوانية الموجودة في البيئة المحيطة—وخاصة أيونات الكلوريد (Cl^-)، والكبريتات (SO_4^{2-})، وثاني أكسيد الكربون—(CO_2) من أهم العناصر التي تهدد ديمومة الخرسانة، لما لها من قدرة على التفاعل مع المركبات الناتجة عن إماهة الإسمنت، مما يؤدي إلى تدهور تدريجي في البنية المجهرية للخرسانة وفقدان خواصها الميكانيكية مع مرور الزمن.

تختلف استجابة الخرسانة تجاه هذه العوامل باختلاف نوعها وجودتها، ومدى الالتزام بإجراءات التصنيع والمعالجة، حيث تؤدي العناية الجيدة أثناء الخلط، الصب، والمعالجة إلى تقوية البنية الداخلية للخرسانة، وتقليل نفاذيتها، مما يعزز من مقاومتها للهجمات الكيميائية. وبناءً عليه، فإن تقييم ديمومة الخرسانة لا يتم فقط عبر الاختبارات الميكانيكية التقليدية، بل يشمل أيضاً تجارب متخصصة لمحاكاة تأثير الظروف البيئية القاسية.

في السياق الجغرافي الخاص بالصحراء الجزائرية، ولا سيما في المناطق الواحية، تبرز ظاهرة صعود المياه كإحدى المشكلات البيئية المؤثرة على المنشآت الخرسانية. تنشأ هذه الظاهرة نتيجة تفاعل معقد بين عوامل طبيعية (كارتفاع منسوب المياه الجوفية)، وأخرى بشرية وزراعية (مثل الإفراط في الري وغياب أنظمة تصريف فعالة). وتُعد المياه الجوفية والسطحية في هذه المناطق محملةً بأملاح ومركبات كيميائية تؤثر بشكل مباشر على ديمومة المواد الإنشائية، إذ تؤدي إلى تشققات، وتآكل حديد التسليح، وضعف عام في الأداء البنيوي.

وقد أظهرت التحاليل الكيميائية أن المياه السطحية الناتجة عن صعود المياه غالباً ما تحتوي على تركيزات مرتفعة من الكبريتات والكلوريدات، وهو ما يُشكل تهديداً حقيقياً للخرسانة، خصوصاً تلك المصنوعة من رمال غير تقليدية، كرمال آبار البترول. لذا، فإن دراسة طبيعة هذه المياه ومكوناتها أمر بالغ الأهمية لتقييم أخطارها ووضع استراتيجيات فعالة لتحسين ديمومة الخرسانة في مثل هذه الظروف العدوانية.

الفصل الثالث:

خصائص المواد المستعملة

وصياغة خرسانة الرمل

III. 1. مدخل :

الخرسانة هي مركب مكون من عدة مواد (رمل، حصى، اسمنت، ماء، محسنات...الخ)، وفي ظل غياب معيار عالمي موحد لتعريف خرسانة الرمل بصفة عامة والخرسانة الحاوية على رمل ناتج عن النفايات الصناعية أو رمل آبار البترول بصفة خاصة، توجهت العديد من الدراسات والأبحاث نحو هذا المجال باعتباره بديلاً واعداً وذو جدوى تقنية واقتصادية وبيئية.

تُظهر نتائج هذه الدراسات أن دمج هذه الأنواع من الرمال غير التقليدية – مثل الرمل المستخرج من مخلفات الصناعة أو الحفر البترولي – في الخلطات الخرسانية قد يُحسن من بعض الخصائص الميكانيكية والديمومة، خاصة عند استخدامها ضمن إضافات أو مركبات داعمة مختارة بعناية.[96] هذا التوجه البحثي لا يهدف فقط إلى استغلال موارد غير مستعملة، بل يسهم أيضاً في تقليل الأثر البيئي للخرسانة التقليدية، مما يجعلها أقرب إلى مفهوم "الخرسانة الصديقة للبيئة"، القادرة على التكيف مع تحديات الاستدامة واستخدام المياه بشكل أكثر كفاءة.

III. 2. خصائص المواد المستعملة :

في إطار هذا البحث، تم اختيار رمل آبار البترول، المتوفر بكميات كبيرة في المناطق النفطية جنوب الجزائر، لا سيما في حقل حاسي مسعود، بهدف تقييم إمكانياته في تحسين أداء خرسانة الرمل. كما تم اقتراح دمج مع الرمال المحلية المحيطة، والتي تتمثل غالباً في رمال الكتبان، لتحسين خواص الخليط الناتج. وقد تم اعتماد إسمنت من نوع CEM I 42.5 N SR3 LH ، المصنوع في منطقة بسكرة والمعروف بمقاومته للكبريتات، والمستعمل بصفة واسعة في انحاء الوطن، قصد إعداد تركيبة خرسانية تعتمد على مواد محلية تشمل رمل الحفر النفطي ورمل الكتبان، بهدف الوصول إلى خلطة فعالة تقنياً ومتوازنة بيئياً.

III. 3. الرمل :

يُعد الرمل من المواد الأساسية في صناعة الخرسانة، ويُمكن أن يكون طبيعياً أو صناعياً (معاد التدوير). أما الرمل الطبيعي، فهو ناتج عن التفكك التدريجي للصخور تحت تأثير عوامل التعرية الطبيعية، مثل الرياح والمياه الجارية، ويتوفر غالباً على شكل رمل الكتبان أو رمل الأنهار أو الرمل الصحراوي. ويُعتبر رمل الكوارتز الطبيعي من أكثر الأنواع استخداماً بفضل استقراره الكيميائي ومقاومته للحرارة العالية[97]، غير أن بعض أنواع الرمال قد تحتوي على شوائب ضارة مثل المواد الطينية، الأملاح الذائبة، الجبس، أو المواد العضوية المتحللة، ما يجعلها غير ملائمة للاستعمال في البناء. لذا، يجب ألا تتجاوز نسبة هذه الشوائب 3% بالنسبة للرمل الطبيعي، وأقل من 5% بالنسبة للرمل الناتج عن التكسير أو المعاد تدويره، وذلك حسب المواصفات الفرنسية (NFP 18-301، NFP 18-101).[98].

من جهة أخرى، يُمكن الحصول على الرمل الصناعي أو المعاد تدويره من مصادر غير تقليدية، مثل بقايا عمليات التكسير الميكانيكي للصخور، أو نواتج معالجة النفايات الصناعية، أو كمادة ثانوية ناتجة عن عمليات صناعية مختلفة. من بين هذه المصادر الحديثة نجد رمل آبار البترول، والذي يُستخرج بكميات كبيرة أثناء عمليات حفر الآبار النفطية. هذا النوع من الرمل، الذي غالبًا ما يتم التخلص منه كنفاية صناعية، يتمتع بخصائص فيزيائية وحبيبية مميزة تسمح بإعادة توظيفه في المجال الإنشائي، وخاصة في صناعة الخرسانة المستدامة والصدقية للبيئة. ويجدر التنويه إلى أن تصنيف الرمال عادة ما يُقسم إلى نوعين رئيسيين: "الرمل الطبيعي" و"الرمل الصناعي أو المعاد تدويره"، مع ضرورة احترام المواصفات والمعايير التقنية التي تضمن صلاحيتها للاستعمال في الخرسانة، بغض النظر عن مصدرها. إذ أن جودة الرمل تقاس بمدى توافقه مع المتطلبات الفنية، من حيث التدرج الحبيبي، النظافة، وانخفاض نسبة المواد الضارة التي قد تؤثر على خواص الخرسانة ومتانتها.

تشير بعض التقارير إلى أن الاستهلاك العالمي من الرمل الطبيعي بلغ حوالي 48.3 مليار طن سنة 2015، ما يعكس الضغط الكبير على الموارد الطبيعية [99]. لذلك، أصبح من الضروري البحث عن مصادر بديلة وأكثر استدامة، خاصة تلك المتوفرة محليًا ولم تُستغل بالشكل الكافي.

وفي هذا السياق، اقترحت هذه الدراسة توظيف رمل آبار البترول المستخرج من منطقة حاسي مسعود بولاية ورقلة كمصدر بديل واعد للرمال في تحضير الخرسانة. هذا المصدر، على الرغم من توفره بكثرة في الجنوب الجزائري، لم يحظَ بالاهتمام البحثي الكافي في السابق، ولم يُدرس بعمق من حيث إمكانية توظيفه بشكل مباشر أو بعد معالجته بالمزج مع أنواع أخرى من الرمال مثل رمل الكثبان. [100]

1.3.III الرمل الطبيعي:

يُعد الرمل الطبيعي من المواد الأساسية في صناعة البناء، ويُستخرج بصفة رئيسية نتيجة لتفكك الصخور الطبيعية تحت تأثير عوامل التعرية المختلفة، مثل الرياح والمياه الجارية. ويُعرف هذا النوع من الرمل بكونه ملائمًا للبناء، خاصة في حال كان نظيفًا وخاليًا من الشوائب.

في الجزائر، وعلى الرغم من محدودية توفر هذا النوع من الرمل في بعض المناطق، إلا أنه يُستخرج من عدة مصادر طبيعية نذكر من بينها:

- **رمال الشواطئ البحرية:** وهي الرمال المتواجدة على السواحل، وتتميز بتركيبها المتجانسة نتيجة حركة الأمواج المستمرة.
- **رمال الأودية:** وهي التي تترسب عند مجاري الأودية بعد أن تحملها المياه من المرتفعات. غالبًا ما تكون مختلطة بالأتربة والطين، وتحتاج إلى معالجة أولية لإزالة الطبقات غير الصالحة قبل استخدامها في البناء.

- رمال الصحارى :تنتشر في المناطق الواسعة ذات التربة الرملية، وتحتوي على حبيبات دقيقة، لكنها قد تفتقر إلى الخصائص المثلى اللازمة لأعمال البناء دون تعديل أو تحسين [101]

وقد استُخدمت أنواع متعددة من الرمل الطبيعي في الجزائر بحسب المناطق، منها رمال منطقة قاسي الطويل بولاية الأغواط، والتي استُعملت في مشاريع بناء محلية، وكذلك رمال منطقة قعدة بولاية البيض. كما أظهرت الدراسات أن رمل منطقة العسيلة بولاية ورقلة يُستخدم على نطاق واسع نظرًا لتوفره وسهولة استخراجها، كما أن رمل منطقة حاسي ببح بولاية إليزي ورمل منطقة واد الرتام يتم استغلاله أيضًا، وهو معروف بنعومته. ولقد اخترنا في دراستنا هذه الرمل النهري لمنطقة واد الرتام بولاية المغير لإستعماله كشاهد .

III.3.2 رمل الكثبان:

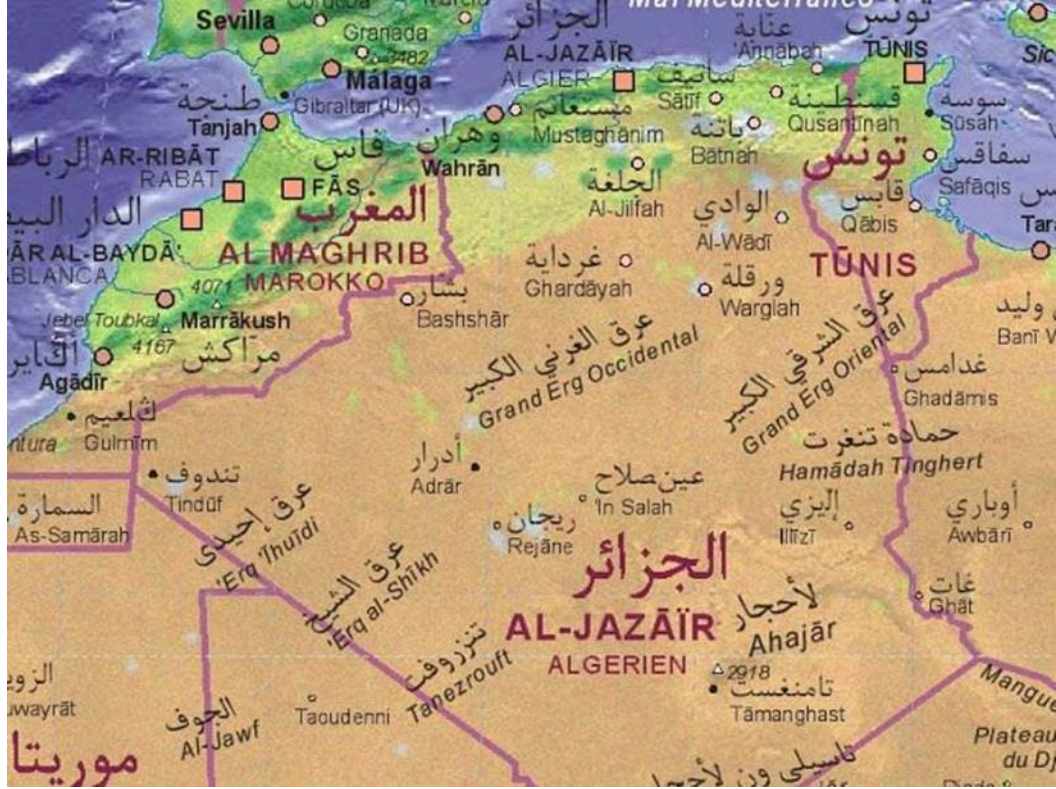
تُعد رمال الكثبان من أبرز التحديات البيئية التي تواجه العديد من الدول العربية، وعلى رأسها الجزائر، نظرًا لما تسببه من مشكلات كظاهرة التصحر والزحف الرملي، الذي يهدد البنى التحتية كالمباني والطرق، فضلًا عن تأثيره على الأراضي الزراعية والمراعي الطبيعية. وقد أدى هذا الواقع إلى ترسيخ نظرة سلبية تجاه رمال الكثبان، حيث يُنظر إليها على أنها مادة ترابية جافة وعديمة الفائدة، تعكس قساوة البيئة الصحراوية التي نشأت فيها. لكن من منظور أكاديمي، يفرض علينا هذا الطرح تساؤلًا مهمًا: أليست هناك إمكانية لاستغلال هذا المورد الطبيعي الضخم في مجالات تخصصنا المختلفة؟ عند تحليل الخصائص الكيميائية لرمال الكثبان، بالإضافة إلى دراسة شكلها الحبيبي ولونها، يمكن اعتبارها مصدرًا واعدًا للمواد الأولية، خصوصًا في ظل الطلب المتزايد على السيليكا في مجالات متعددة مثل الصناعات الإلكترونية الدقيقة، الطاقة الشمسية (الخلايا الكهروضوئية)، التعدين، والهندسة بمختلف فروعها، المدنية منها والميكانيكية. وترتبط هذه الإمكانيات بمحتواها العالي من السيليكا وخواصها المورفولوجية. [103]

تندرج دراستنا الحالية ضمن الجهود الرامية إلى تحسين أداء الخرسانة المنتجة باستعمال رمال الكثبان، كما تهدف إلى إعادة الاعتبار لهذه المادة وتأمينها داخل الاقتصاد الجزائري، تحديدًا في قطاع البناء والأشغال العامة، لما له من أثر اقتصادي وبيئي ملحوظ. وتجدر الإشارة إلى أن ارتفاع الطلب على رمال البناء وعجز المحاجر والمقالع المحلية عن تغطية هذا الطلب، شكّل دافعًا قويًا لدراسة إمكانية إدماج رمال الكثبان في الخلطات الخرسانية.

III.3.3 أماكن التوزيع:

تتركز الكثبان الرملية بالجزائر في المناطق الجنوبية، لا سيما في العروق الكبرى كـ"العرق الشرقي الكبير" و"العرق الغربي الكبير"، بالإضافة إلى الواحات المنتشرة في الصحراء. وتنتشر هذه الرمال في مساحات شاسعة تُعرف محليًا بـ"الصحون"، أو في ارتفاعات رملية تُسمى "السيوف". وتمتاز هذه الكثبان بحركتها المستمرة،

حيث تنقل الرياح حبيباتها من مكان لآخر، مشكّلة تضاريس رملية متغيرة. ويغطي هذا النوع من التضاريس حوالي 60% من الصحراء الجزائرية، خاصة في جنوبها الشرقي.



صورة 1.III موقع العروق والواحات الجزائرية .

في إطار هذه الدراسة، تم اعتماد رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود بولاية ورقلة كموضوع للتحليل والتقييم، من خلال دمج بنسب متفاوتة مع رمل آبار البترول، وذلك بهدف دراسة تأثير هذا المزج على الخصائص المختلفة للخرسانة. كما استُخدم رمل الكثبان أيضاً كعينة مقارنة (شاهد) للتحقق من فعالية رمل الآبار المحسن.

4.3.III رمل آبار البترول:

هو نوع من الرمل يُستخرج كنتيجة ثانوية أثناء عمليات الحفر في حقول النفط، ويُعد من المواد غير التقليدية التي يمكن أن تُدرس كبديل محتمل في مجال البناء، خاصة في المناطق التي تتوفر فيها هذه المادة بكثرة. يختلف تركيبه وخصائصه الفيزيائية والكيميائية تبعاً لطبيعة الطبقات الجيولوجية المخترقة، وعمق الحفر، ونوع المواد المستعملة أثناء عملية الحفر، كزيوت الحفر أو الطين. وقد يحتوي هذا الرمل على نسب متفاوتة من الشوائب المعدنية وآثار من الزيوت، إلا أن هذه النسب لا تكون دائماً عالية؛ بل يمكن أن تكون منخفضة أو محدودة في كثير من الحالات، مما يسمح بإمكانية معالجته بطرق بسيطة ليصبح مناسباً للاستعمال في تحضير الخلطات الخرسانية أو في تطبيقات هندسية أخرى. وتكمن أهمية هذا المورد في كونه متوفراً محلياً، مما يساهم في تقليل

الاعتماد على المواد المستوردة ويعزز من مبدأ الاستدامة بإعادة استخدام نفايات صناعية بطريقة مفيدة واقتصادية.



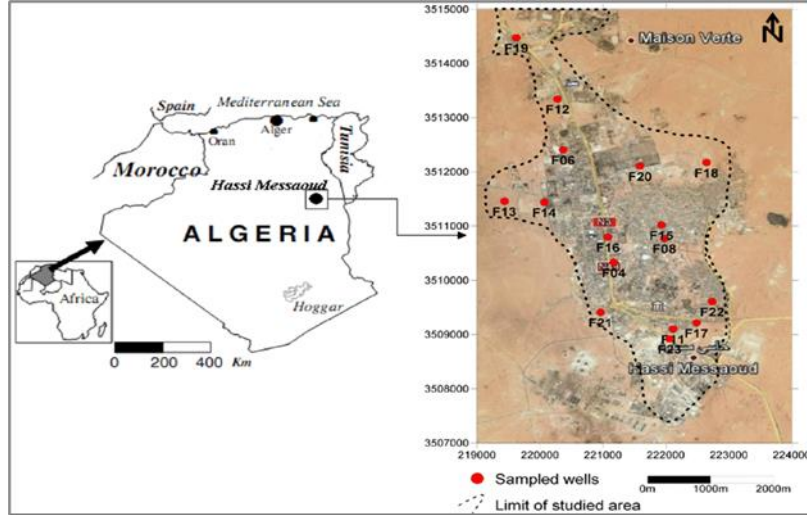
صورة 2.III رمل آبار البترول.

تُظهر الصورة III.2 كومة من الرمل المستخرج من آبار البترول في بيئة صحراوية. يظهر الرمل بدرجات لونية مختلفة، مما يدل على تباين في التركيب ودرجات التلوث. وتشير المعدات الثقيلة الظاهرة في الصورة إلى وجود عمليات مستمرة للاستخراج أو النقل أو المعالجة. وتبدو التضاريس المحيطة جافة، مع وجود حبيبات دقيقة وخشنة، قد تشمل بقايا من مواد الحفر. أما اللون الداكن لبعض أكوام الرمل، فيشير إلى وجود مركبات هيدروكربونية أو ملوثات عضوية. ويُعدّ هذا النوع من الرمل عادةً منتجًا ثانويًا ناتجًا عن حفر آبار النفط، ويتطلب معالجات خاصة قبل استخدامه في تطبيقات البناء.

إن اختلاط رمل الكثبان الرملية (SDH) مع رمل آبار البترول (SPP) أثناء عمليات الاستخراج والجمع – كما هو موضح في الصورة 2.III – يُعدّ ظاهرة حتمية ناتجة عن التواجد الطبيعي المشترك لهذين النوعين من الرمال. وغالبًا ما يُترسّب رمل آبار البترول فوق رمل الكثبان، مما يؤدي إلى اختلاط كميات متفاوتة من رمل الكثبان به أثناء الجمع. ومع ذلك، تبقى النسبة الدقيقة لهذا الخليط غير معروفة، مما يطرح تساؤلات جوهرية بشأن تأثيره على خصائص رمل آبار البترول، لا سيما فيما يتعلق بقدرته على الاحتفاظ بالزيت.

لذلك، تم اختيار نسب محددة من رمل الكثبان (10%، 20%، 30%، و40%) لدراسة تأثيرها بشكل منهجي على محتوى الزيت وخصائص الخليط الأخرى. وكما هو موضح في الجدول 3، تشير النتائج إلى أن إضافة رمل الكثبان لا تؤدي فقط إلى خفض محتوى الزيت – وهو عامل بالغ الأهمية لتحسين أداء الخرسانة

والحد من الآثار السلبية للزيت المتبقي – بل تُحسّن أيضًا من خصائص رئيسية أخرى مثل تقليل النفاذية وتعزيز التماسك في الخليط. تُبرز هذه النتائج أن إضافة رمل الكثبان ليست مجرد ناتج عرضي لعملية الاستخراج، بل تمثل استراتيجية واعدة لتحسين الخصائص. فهي توفر مقاربة فعالة ومستدامة لتحسين أداء مواد البناء، بما يضمن متانة أفضل للخرسانة وسلامة إنشائية طويلة الأمد. [104،105]



صورة 3.III خريطة توضح موقع الدراسة.

في هذه الدراسة سنتناول رمل الآبار البترولية لمنطقة حاسي مسعود والرمل المجاور له (رمل الكثبان) لنفس المنطقة وكذلك خليط بينهم بنسب متفاوتة وكذلك الرمال الطبيعية التي سنستعملها كشاهد وهي رمال منطقة واد الرتام التابعة لولاية المغير وسنعرض بعض نتائج التجارب المجرات على كل نوع.

5.3.III طرق التعرف على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل:

هناك العديد من التجارب المجراة للتعرف على خصائص الرمل منها:

- التحليل الكيميائي للتعرف على العناصر المكونة لهذه المادة.
- الدراسة الفيزيائية لتحديد التدرج الحبيبي وحجم وشكل حبيبات الرمل.
- معامل امتصاص حبيبات الرمل.
- معامل نقاوة الرمل.
- الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة.
- المجهر الإلكتروني MEB لوصف التركيبة الداخلية للحبيبات الرملية.
- التحليل الكيميائي الطيفي بالأشعة السينية المشتتة للطاقة EDS والتي تستخدم لتحديد التركيب العنصري للمواد ونسبة العناصر الكيميائية.
- التحليل بحيود الأشعة السينية DRX لتوفير المعلومات حول البنية البلورية للمواد وتحديد الأطوار البلورية.

III. 4. الخصائص الكيميائية والفيزيائية للرمال المدروسة:

1.4.III الخصائص الكيميائية

بينت التحاليل الكيميائية للرمال المدروسة أنها تحتوي على عدة عناصر وبنسب مختلفة تبينها الجداول أدناه.

الجدول 1.III يبين النسب المئوية للمكونات الكيميائية في الرمل محل الدراسة.

المكونات الكيميائية (%)	رمل آبار البترول SPP	رمل كثبان حاسي مسعود SDH	رمل طبيعي لواد الرتام SOR
%SiO ₂	82.30	95.21	95.37
%Al ₂ O ₃	6.20	0.95	0.94
%Fe ₂ O ₃	2.70	0.28	0,89
%CaO	2.10	0.91	0.81
%MgO	1.50	0.53	0.38
%SO ₃	0.50	0.15	-
%K ₂ O	0.80	-	0,43
%Na ₂ O	1.30	-	0.09
Composés Organiques	5.04	-	-
Teneur en argile	1.30	-	-
%Perte au Feu	1		0.61

وقد أظهرت المعالجة الكيميائية بالتجربة التحليلية EDS النتائج المبينة في الجدول 2.III النسب المئوية لبعض العناصر الكيميائية في الرمال محل الدراسة. علما ان هذه التجارب التحليلية أجريت بالأرضية التقنية في التحاليل الفيزيائية والكيميائية (PTAPC) بجامعة باتنة التابعة لمركز كرابس (CRAPC) .

الجدول 2.III يبين النسب المئوية للعناصر الكيميائية في الرمل محل الدراسة.

العناصر الكيميائية (%)	رمل آبار البترول SPP		رمل كثبان حاسي مسعود SDH	
	النسبة الوزنية (Weight %)	النسبة الذرية (Atomic%)	النسبة الوزنية (Weight %)	النسبة الذرية (Atomic%)
C	17.80	25.70	-	-
O	52.10	56.40	53.73	61.42
F	2.20	2.00	-	-
Cl	0.20	0.10	-	-
Al	1.50	1.00	0.50	0.56
Si	21.20	13.10	44.54	37.25
S	0.80	0.40	0.06	0.10
K	0.40	0.20	-	-
Na	0.96	0.26	-	-
Ca	1.70	0.80	0.65	0.32
Fe	1.00	0.30	0.20	0.10
Ba	1.00	0.10	-	-
Mg	0.90	0.31	0.32	0.25

الجدول 3.III يبين محتوى الزيت المُحدد بواسطة التقطير في عينات رمل آبار البترول

Test N°	100%SP P	90%SPP + 10% SDH	80%SPP + 20% SDH	70%SPP + 30% SDH	60%SPP + 40% SDH
Retort Weight (Empty) 50 ml (g)	267.00	265.1 6	266.45	266.32	266.17
Retort Weight +Sample (g)	346.82	329.56	334.40	333.66	336.45
Retort Weight + Dried Cuttings (g)	342.05	323.97	330.55	330.30	333.76
Gradient Cylinder Weight (Empty) (g)	65.03	58.18	58.18	58.17	58.16
Gradient Cylinder Weight + Condensate (g)	72.08	63.70	63.25	62.54	61.43

Distillation

Volume of water (cc)	3.00	3.00	2.80	2.50	2.00
Masse of Condensate (g)	7.05	5.52	5.07	4.37	3.27
Masse of Oil (g)	4.05	2.52	2.27	1.87	1.27
Masse of Wet Cutting Sample (g)	79.82	64.40	67.95	67.34	70.28
Masse of Dry Cutting (g)	75.05	58.81	64.10	63.98	1.88
% Oil On Cuttings Dry Weight (%)	5.40	4.28	3.54	2.92	1.81
% Oil On Cuttings Wet Weight (%)	5.07	3.91	3.34	2.78	1.01

Results

OOO %	5.07	3.91	3.34	2.78	1.01
-------	------	------	------	------	------

تشير النتائج إلى أن النسبة المئوية الكتلية للزيت في العينات الخمس هي على التوالي: 3.91%، 5.07%، 3.34%، 2.78%، و1.01%. ووفقاً للمعيار الفرنسي **AFNOR X31-210**، الذي يُنظّم محتوى الهيدروكربونات في التربة الملوثة، فإن الحد المقبول هو 5%. وبالتالي، فإن العينة الأولى تتجاوز هذا الحد المسموح به [106-109]. أما باقي العينات، فتُظهر محتوى أقل من الزيت، وهو ما يُعزى إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهيدروكربونات البترولية، مثل اللزوجة وخصائص الالتصاق. [110]

بناءً عليه، يصبح من الضروري تطبيق معالجة لتقليل محتوى الزيت في عينة الرمل المذكورة المرتبطة بالعينة الأولى، وذلك عبر عملية التثبيت/التصلب. وتُعد هذه المعالجة ضرورية للحيلولة دون تلوث التربة

[112]، [111]

في هذه الدراسة، تم التطرق إلى معالجة أخرى مماثلة للأولى، وتتمثل في استخدام هذا الرمل كمادة أولية لإنتاج الخرسانة دون اللجوء إلى استعمال سيليكات الصوديوم. وتكمن أهمية هذا الخيار في أن سيليكات الصوديوم تُنتج راسباً غير قابل للذوبان عند وجود معادن ثقيلة. علاوة على ذلك، فإن تفاعلها مع الكاتيونات متعددة التكافؤ، مثل الكالسيوم، يؤدي إلى تكوين طبقة غير منفذة حول الجسيمات الصلبة [113، 114]، وهو سلوك يتأثر بالطبيعة الكيميائية للمركبات البترولية، ولا سيما تفاعلاتها الكارهة للماء مع الأسطح المعدنية. [115-117]

وقد تم اتخاذ قرار عدم استخدام سيليكات الصوديوم استناداً إلى عاملين: أولاً، ارتفاع تكلفة سيليكات الصوديوم، في حين أن الهدف هو إنتاج خرسانة منخفضة التكلفة. ثانياً، التحاليل المنجزة أظهرت أن الرمل المدروس لا يحتوي على كميات معتبرة من المعادن الثقيلة [119]، [118] كما أجريت تجارب كيميائية على هذه العينة من الرمل، وتم التحقق من مدى تأثير إضافة رمل الكثبان في تقليل نسبة الزيت الموجودة في رمل آبار البترول [121]، [120].

الجدول 4.III يبين نتائج تحليل ثلاث عينات من رمل آبار البترول للكشف عن المعادن الثقيلة

Element	Abbreviation	Obtained Values		
		SPP 05%	SPP 10%	SPP 15%
Total Chromium	Cr(mg/kg)	0.04	0.01	0.08
Manganese	Mn(mg/kg)	0.25	0.20	0.33
Iron	Fe(mg/kg)	12.94	8.19	7.28
Nickel	Ni(mg/kg)	0.01	<0.01	<0.01
Copper	Cu(mg/kg)	0.29	0.18	0.07
Zinc	Zn(mg/kg)	0.16	0.52	0.80
Arsenic	As(mg/kg)	<0.01	0.02	0.04
Selenium	Se(mg/kg)	<0.01	<0.001	<0.001
Cadmium	Cd(mg/kg)	<0.001	<0.01	0.003
Barium	Ba(mg/kg)	0.81	0.07	0.05
Lead	Pb(mg/kg)	0.01	0.05	<0.01

تشير النتائج المعروضة في الجدول 4.III، والمتعلقة بتحليل تركيز المعادن الثقيلة والتي أُجريت في مركز البحث والتنمية (CRD) بولاية بومرداس، باستخدام تقنية التحليل الطيفي للكتلة بالبلازما المقترنة (ICP-MS)، إلى دراسة تأثير محتوى الزيت على تركيز المعادن الثقيلة في عينات من الرمل المستخرج من عملية حفر آبار النفط في منطقة حاسي مسعود. وقد شملت الدراسة عينات بزيت مختلفة المحتوى: 5%، 10%، و15%.

أظهر عنصر الكروم تراكيز منخفضة تتراوح بين 0.01 إلى 0.08 ملغ/كغ، مما يشير إلى تراكم طفيف مع زيادة محتوى الزيت. في المقابل، أظهر الحديد سلوكًا معاكسًا، حيث انخفض تركيزه بشكل ملحوظ من 12.94 ملغ/كغ في العينة ذات 5% زيت إلى 7.28 ملغ/كغ في العينة ذات 15% زيت، مما قد يدل على تفاعل بين الحديد ومركبات الزيت يؤدي إلى ترسيبه أو تقليل وجوده في الرواسب [108]، [109]، [113]، [114]

أما النحاس، فقد سجل انخفاضًا كبيرًا من 0.29 ملغ/كغ إلى 0.07 ملغ/كغ مع زيادة محتوى الزيت، مما قد يعكس تفاعله القوي مع مكونات الزيت. وعلى النقيض، أظهر الزنك منحى تصاعديًا من 0.16 ملغ/كغ إلى 0.80 ملغ/كغ، مما يشير إلى إمكانية تراكمه في بيئات مشبعة بالزيت. في حين بقيت تراكيز النيكل والسيلينيوم والكادميوم منخفضة وغير مؤثرة بيئيًا [108]، [109]، [113]، [114]. وبالنسبة لعنصر الباريوم، فقد سجل انخفاضًا واضحًا من 0.81 ملغ/كغ في العينة ذات 5% زيت إلى 0.05 ملغ/كغ في العينة ذات 15%، وهو ما قد يعكس تفاعلًا سلبيًا مع الزيت، حيث قد تصبح قدرته على الارتباط في البيئات الغنية بالزيت أقل. أما الرصاص فقد أظهر تذبذبًا طفيفًا في التراكيز بين 0.01 و 0.05 ملغ/كغ، مما يشير إلى ثبات تركيزه بغض النظر عن محتوى الزيت [108]، [109]. بصفة عامة، توضح النتائج وجود تباين ملحوظ في كيفية تأثر بعض المعادن الثقيلة بمحتوى الزيت، حيث تزداد أو تنقص التراكيز نتيجة التفاعلات الكيميائية الممكنة بين المعادن الثقيلة ومركبات النفط. ومع ذلك، تبقى تراكيز المعادن الثقيلة في هذه العينات من الرمل ضمن الحدود المقبولة دوليًا، ولا تشكل خطرًا بيئيًا [113]، [114]

2.4.III الخصائص الفيزيائية:

1.2.4.III الكتلة الحجمية:

الهدف منها هو معرفة نوع الركام المستعمل وكثافته وكذا معرفة الأحجام والكتل التي تدخل في تركيب الخرسانة، وهي معرفة بالقواعد NFP 18-301 والمرجع [122].

1.1.2.4.III الكتلة الحجمية الظاهرية:

هي النسبة بين وزن العينة الكلي على الحجم الكلي وتعطى بالعلاقة:

$$P_{app} = \frac{M_T}{V_T} \dots \dots \dots (1. III)$$

P_{app} = الكتلة الحجمية الظاهرية.

M_T = وزن العينة الكلي.

V_T = حجم العينة الكلي.

2.1.2.4.III الكتلة الحجمية المطلقة:

وهي النسبة بين وزن الحبيبات الصلبة على حجم الحبيبات الصلبة وتعطى بالعلاقة:

$$P_{ab} = \frac{M_s}{V_s} \dots \dots \dots (2. III)$$

P_{ab} = الكتلة الحجمية المطلقة.

M_s = وزن الحبيبات الصلبة.

V_s = حجم الحبيبات الصلبة.

والجدول الموالي يعرض النتائج المتحصل عليها.

الجدول III. 5 الكتلة الحجمية المطلقة والحجمية الظاهرية والمطلقة لرمل الآبار البترولية (SPP) ورمل الكثبان المجاور لمنطقة حاسي مسعود (SDH) ورمل طبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR) وبعض التركيبات المختلفة بمختلف النسب.

النوع	الكتلة الحجمية الظاهرية (kg/m ³)	الكتلة المطلقة (kg/m ³)
رمل الآبار البترولية (SPP)	1538±3	2000±2
رمل الكثبان المجاور (SDH)	1540±6	2620±5
الرمل الطبيعي لواد الرتام (SOR)	1582±4	2488±1
90% رمل (SPP) + 10% رمل (SDH)	1510±2	2065±3
80% رمل (SPP) + 20% رمل (SDH)	1533±3	2127±4
70% رمل (SPP) + 30% رمل (SDH)	1474±1	2184±6
60% رمل (SPP) + 40% رمل (SDH)	1439±5	2248±3

2.2.4.III معامل امتصاص الماء (Coefficient d'absorption d'eau):

يعرف بواسطة القاعدة NFP 18-555 [123]، هذه التجربة تحسب المسامية الداخلية في الحبيبات وهي تعرف بكونها النسبة بين الوزن الرطب للعينة على الوزن الجاف [124] وتعطى بالعلاقة

$$A_b = \left[\frac{M_a - M_s}{V_s} \right] \times 100 \quad (3. III)$$

A_b = معامل امتصاص الماء (%).

M_a = كتلة العينة قبل التجفيف.

M_s = كتلة العينة بعد التجفيف وقبل الوصول إلى 105 °C

V_s = حجم العينة

وكانت النتائج كما يلي:

الجدول III. 6. النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء A_b

معامل امتصاص الماء (% A_b)	نوع الرمل
0.05	رمل الآبار البترولية (SPP)
0.091	رمل الكتبان المجاور (SDH)
0.082	الرمل الطبيعي لواد الرتام (SOR)
0.054	90% رمل (SPP) + 10% رمل (SDH)
0.058	80% رمل (SPP) + 20% رمل (SDH)
0.062	70% رمل (SPP) + 30% رمل (SDH)
0.066	60% رمل (SPP) + 40% رمل (SDH)

نلاحظ أن قدرة إمتصاص حبيبات الرمال الطبيعية للماء ضعيفة ونلاحظ أيضا أن حبيبات رمل آبار البترول تمتاز بقدرة إمتصاص جد ضعيفة وبالتالي يمكننا القول أن هذه الأنواع من الرمال مقبولة.

3.2.4.III المكافئ الرملي (Equivalent de Sable):

يعرف بواسطة القاعدة NFP 18-598 [125]، الهدف منه هو تحديد نسبة الغضار والمواد العالقة الموجودة في الرمل لمعرفة ما مدى نقاوة وصلاحية استعماله في الخرسانة والملاط.

بعد القيام بالتجارب وجدنا النتائج المدونة في الجدول التالي :

الجدول III . 7 النسب المئوية للمكافئ الرملي (ES).

نوع الرمل	المكافئ الرملي (ES) %
رمل الآبار البترولية (SPP)	80.50 %±1.5
رمل الكثبان المجاور (SDH)	98 %±0.5
الرمل الطبيعي لواد الرتام (SOR)	77 %±1.5
90% رمل (SPP) + 10% رمل (SDH)	82.25 %±1
80% رمل (SPP) + 20% رمل (SDH)	84.00 %±1.5
70% رمل (SPP) + 30% رمل (SDH)	85.75 %±1
60% رمل (SPP) + 40% رمل (SDH)	87.50 %±0.5

تظهر نتائج اختبار المكافئ الرملي أن معظمها أعطت معامل $ES < 80\%$ وهو ما يؤكد على انخفاض محتوى الدقائق الطينية , مع الإشارة الى أن القيم القريبة من 80% مثل رمل آبار البترول قد تعكس وجود نسب ضئيلة منها دون ان تكون مهيمنة . [126]

4.2.4.III التدرج الحبيبي (Analyse granulométrique):

يقصد بتجربة التدرج الحبيبي فصل المقاسات المختلفة من الركام بعضها عن بعض أي تعيين التوزيع الحجمي لحبيبات الركام ويكون ذلك باستعمال التحليل بالغريلة بواسطة مجموعة من الغرابيل مرتبة حسب مقاس فتحاتها وموضوعة فوق بعضها البعض بحيث يكون أكبرها مقاساً إلى الأعلى، هذه التجربة تمكنا من حساب مختلف النسب لمقاييس الحبيبات المكونة للعينة المدروسة وتعرف هذه التجربة بواسطة القاعدة NFP 18-560 [127].

سندرس حالات من العينات ذات نسب مختلفة من كلا النوعين من الرمل المأخوذ من منطقة حاسي مسعود. وبعض الرمال الطبيعية من مناطق أخرى.

- العينة الأولى : رمل الآبار البترولية (SPP)
- العينة الثانية: رمل الكثبان المجاور (SDH)
- العينة الثالثة: الرمل الطبيعي لواد الرتام (SOR).
- العينة الرابعة: 90% رمل (SPP) + 10% رمل (SDH)
- لعينة الخامسة: 80% رمل (SPP) + 20% رمل (SDH)
- لعينة السادسة: 70% رمل (SPP) + 30% رمل (SDH)
- لعينة السابعة: 60% رمل (SPP) + 40% رمل (SDH)

إن القاعدة تنص على أن الوزن الأصغر المستعمل في العينة يكون يحقق العلاقة التالية: [128]، [129]

$$M \geq 0.2Dm \quad (4. III)$$

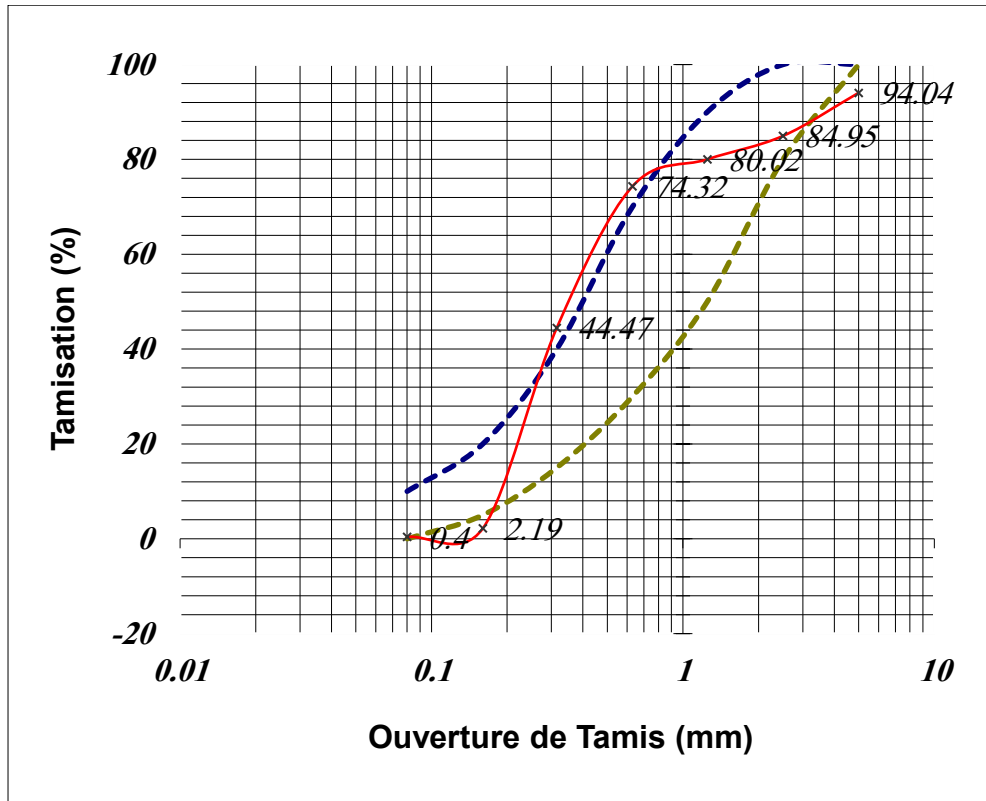
حيث:

$M =$ وزن العينة ب كلف

$D_{max} =$ القطر الأعظمي للحبيبات مأخوذ ب ملم

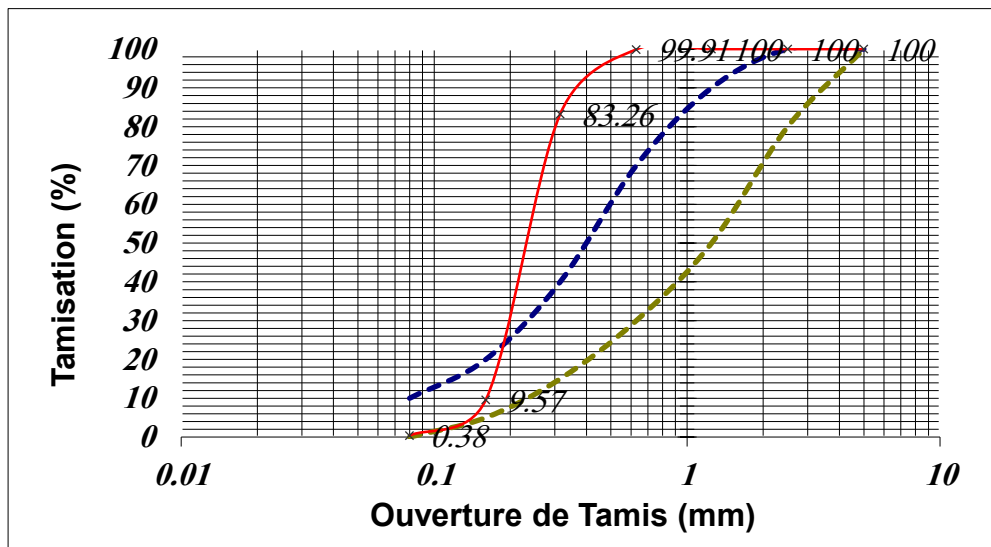
استعملنا في هذه التجربة 2 كلف من الرمل إذ هي القيمة العلمية [129] فكانت النتائج كما هو موضح في المنحنيات:

- العينة الأولى : رمل الآبار البترولية (SPP)



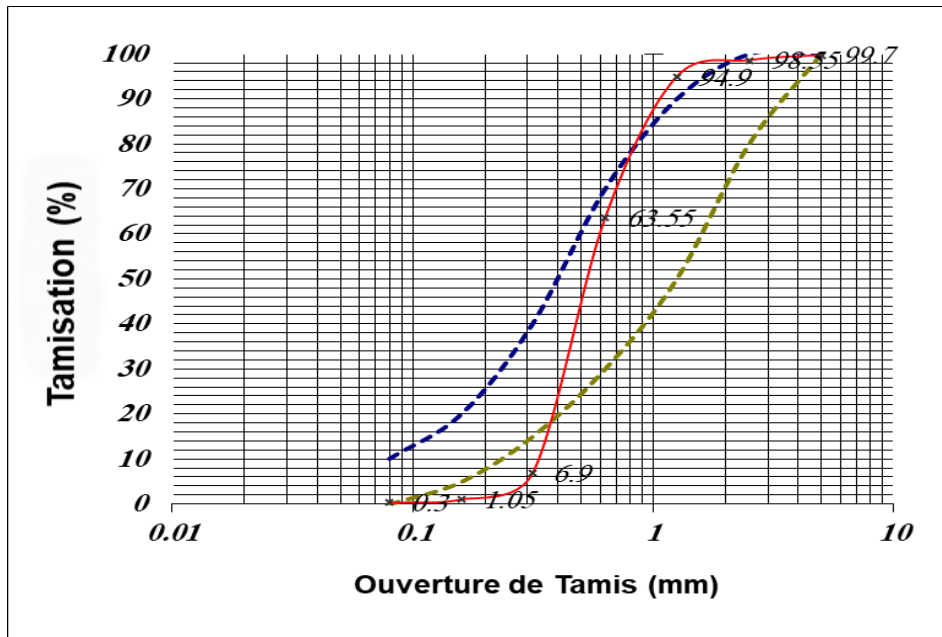
الشكل III. 1: منحنى التدرج الحبيبي للعينة الأولى رمل آبار البترول (SPP)

- العينة الثانية: رمل الكثبان المجاور لمنطقة حاسي مسعود (SDH)



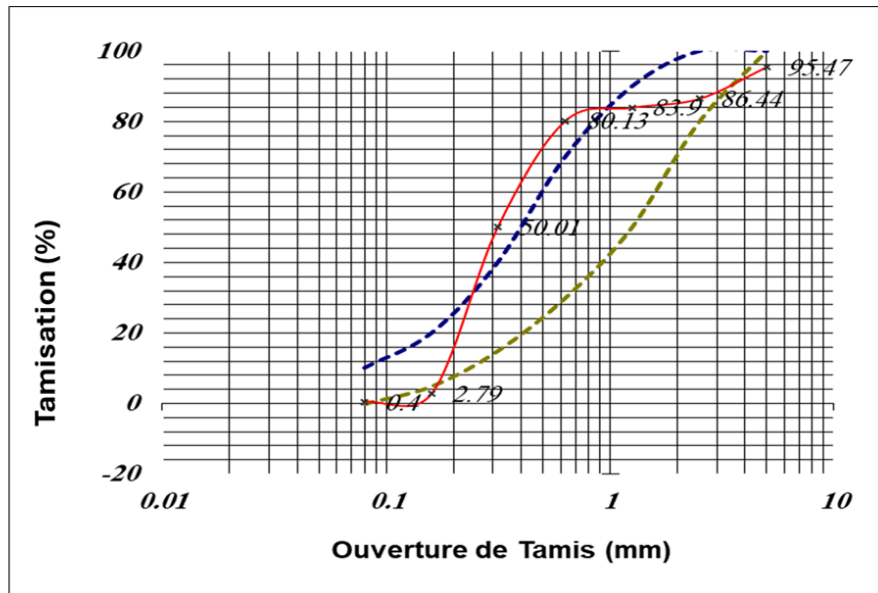
الشكل III. 2: منحنى التدرج الحبيبي للعينة الثانية رمل الكثبان المجاور لمنطقة حاسي مسعود (SDH)

- العينة الثالثة : رمل طبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR)



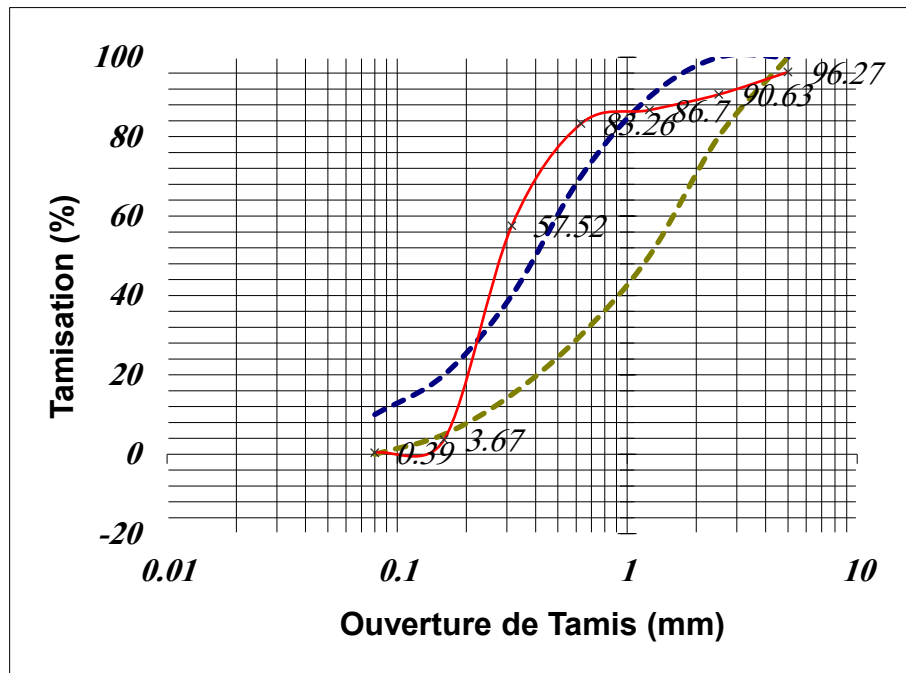
الشكل III 3: منحى التدرج الحبيبي للعينة الثالثة رمل طبيعي لمنطقة واد الرتام(SOR)

- العينة الرابعة: 90% رمل آبار البترول (SPP) + 10% رمل الكثبان المجاور (SDH)



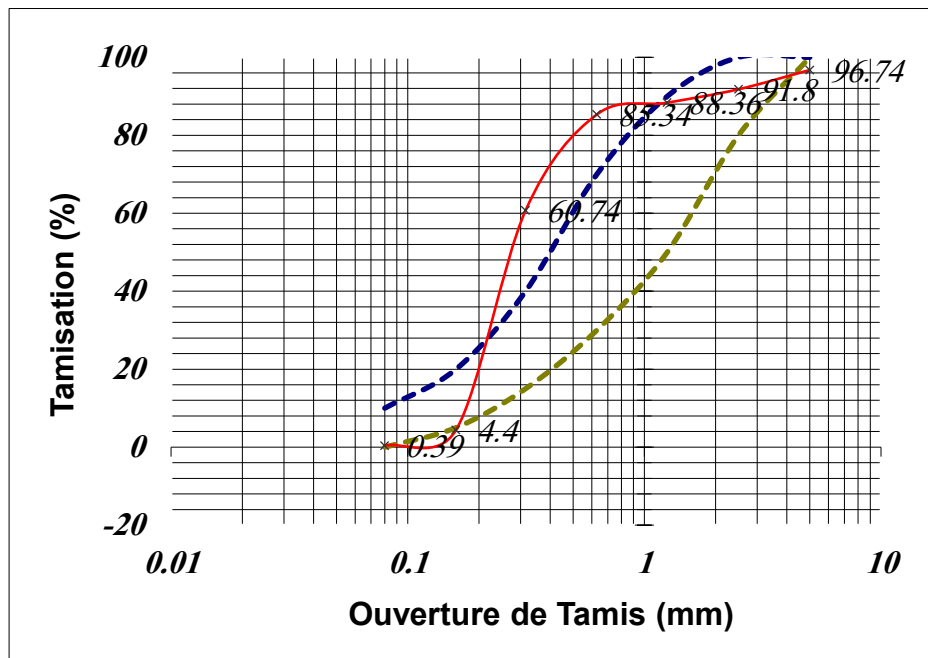
الشكل III 4: منحى التدرج الحبيبي للعينة الرابعة 90% رمل آبار البترول + 10% (SPP) رمل الكثبان المجاور (SDH)

- العينة الخامسة: 80 % رمل آبار البترول (SPP) + 20 % رمل الكثبان المجاور (SDH)



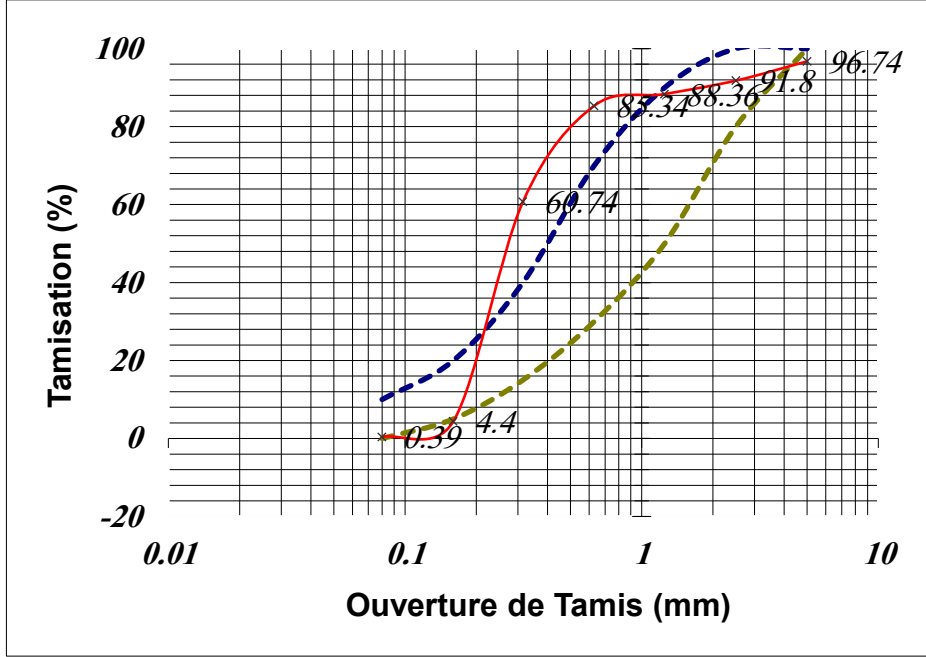
الشكل III 5. : منحنى التدرج الحبيبي للعينة الرابعة 80% رمل آبار البترول (SPP) + 20% رمل الكثبان المجاور (SDH)

- العينة السادسة: 70 % رمل آبار البترول (SPP) + 30 % رمل الكثبان المجاور (SDH)



الشكل III 6. : منحنى التدرج الحبيبي للعينة الرابعة 70% رمل آبار البترول (SPP) + 30% رمل الكثبان المجاور (SDH)

- العينة السابعة: 60% رمل آبار البترول (SPP) + 40% رمل الكثبان المجاور (SDH)



الشكل: III. 7. منحنى التدرج الحبيبي للعينة الرابعة 60% رمل آبار البترول 40% (SPP) + رمل الكثبان المجاور (SDH)

5.2.4.III معيار النعومة (Module de finesse):

ويتم تقييمه بواسطة معيار يسمى المقياس، حيث يساوي مجموع النسب المئوية للمتبقري المجمع للمناخل القياسية الستة (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5) مقسوماً على 100.

ويعبر معيار النعومة عن الحجم المتوسط لحبيبات الركام وهو لا يدل على مدى تدرج الركام من عدمه، ويستخدم معيار النعومة في بعض طرق تصميم الخلطات الخرسانية ومن أجل الرمل نستطيع تعريف ثلاث مجالات لمعايير النعومة للرمل حيث [101]:

- المجال A المفضل المستعمل في الخرسانة أو الملاط بين 2.2 – 2.8.
- المجال B رمل تميل حبيباته إلى الدقة بين 1.8 – 2.2.
- المجال C رمل تميل حبيباته إلى الخشونة بين 2.8 – 3.2.

$$Mf = \frac{\sum Rc}{100} \dots \dots \dots (5. III)$$

Rc : المتبقري المجمع ب (%) للغرابيل (38 إلى 23)

إذا معيار النعومة لكل عينة وبعد الحساب هو:

الجدول 8.III.: معيار النعومة لكل عينة

العينة	معامل النعومة Mf
العينة الأولى: رمل الآبار البترولية (SPP)	2.20
العينة الثانية: رمل الكثبان المجاور (SDH)	1.07
العينة الثالثة: الرمل الطبيعي لواد الرتام (SOR)	2.35
العينة الرابعة: 90% رمل الآبار البترولية (SPP) + 10% رمل الكثبان المجاور (SDH)	2.01
العينة الخامسة: 80% رمل الآبار البترولية (SPP) + 20% رمل الكثبان المجاور (SDH)	1.82
العينة السادسة: 70% رمل الآبار البترولية (SPP) + 30% رمل الكثبان المجاور (SDH)	1.73
العينة السابعة: 60% رمل الآبار البترولية (SPP) + 40% رمل الكثبان المجاور (SDH)	1.63

- **بالنسبة للعينة الأولى:** التي تحتوي على رمل آبار البترول ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf الذي يساوي 2.20 نستنتج أن هذا الرمل حجمه متوسط وذو تدرج حبيبي مقبول لأنه موجود في المجال B بين 1.8 – 2.2، وقريب جدا من المجال A وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده داخل هذا المجال في نقاط عديدة ويخرج في بعض النقاط، وقد يحتاج إلى تصحيح طفيف لتحسين التدرج الحبيبي.

- **بالنسبة للعينة الثانية:** التي تحتوي على رمل الكثبان المجاور ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf التي تساوي 1.07 نستنتج أن هذا الرمل دقيق جدا وذو تدرج حبيبي ضيق لغياب العناصر ما بين 0.63 إلى 5 مم، وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده خارج كل المجالات، ولاستعمال هذا الرمل يتطلب ذلك القيام بتصحيح ونقترح التصحيح برمل الآبار البترولية.

- **بالنسبة للعينة الثالثة:** التي تحتوي على رمل طبيعي لمنطقة واد الرتام ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf التي تساوي 2.35 نستنتج أن هذا الرمل متوسط الخشونة حيث أنه يدخل في المجال A للمنحنى المرجعي

- **بالنسبة للعينة الرابعة:** التي تحتوي على نسبة 90% من الأبار البترولية+ نسبة 10% من رمل الكثبان المجاور ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.01 نستنتج أن المزج قلل معامل النعومة قليلاً، مما يجعل الرمل بين التدرج المتوسط والدقة وذو تدرج حبيبي موجود في المجال B رمل تميل حبيباته إلى الدقة بين 1.8 – 2.2، حيث نلاحظ انه عند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده يدخل في المجال للمنحنى المرجعي في بعض النقاط ويخرج منه في بعض النقاط الأخرى.

- **بالنسبة للعينة الخامسة:** التي تحتوي على نسبة 80% من الأبار البترولية+ نسبة 20% من رمل الكثبان المجاور ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 1.82 نستنتج أن التدرج الحبيبي أصبح أدق مما هو عليه في العينة السابقة، وهذا الرمل ذو تدرج حبيبي موجود في المجال B رمل تميل حبيباته إلى الدقة بين 1.8 – 2.2، حيث نلاحظ انه عند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده يدخل في المجال للمنحنى المرجعي في بعض النقاط ويخرج منه في بعض النقاط الأخرى.

- **بالنسبة للعينة السادسة:** التي تحتوي على نسبة 70% من الأبار البترولية + نسبة 30% من رمل الكثبان المجاور ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 1.73 نستنتج أن المزج يُظهر انخفاضاً إضافياً في معامل النعومة، مما يشير إلى زيادة في الحبيبات الدقيقة بحيث هذا الرمل ذو تدرج حبيبي خارج المجال B بقليل ، حيث نلاحظ انه عند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده يدخل في المجال للمنحنى المرجعي في بعض النقاط ويخرج منه في بعض النقاط الأخرى لذا هذه العينة من الرمل غير مقبولة وسنستثنيها من الإستعمال في تجارب الخرسانة.

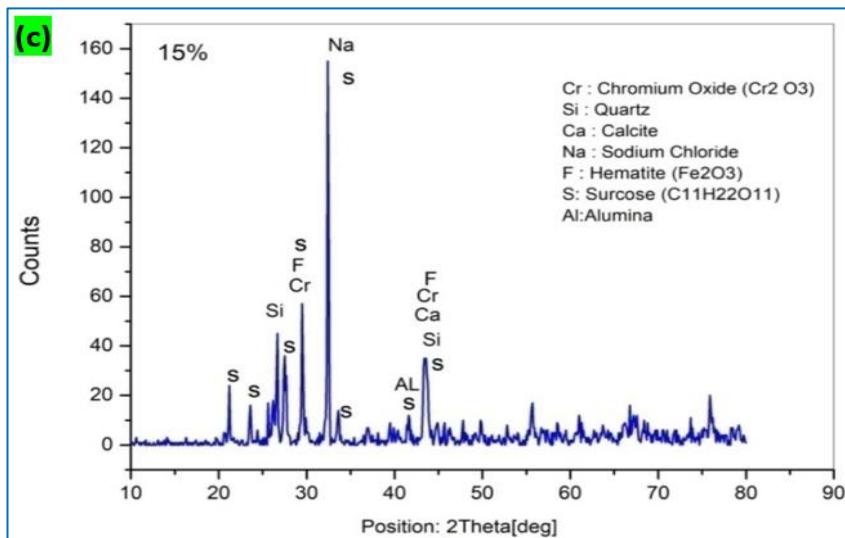
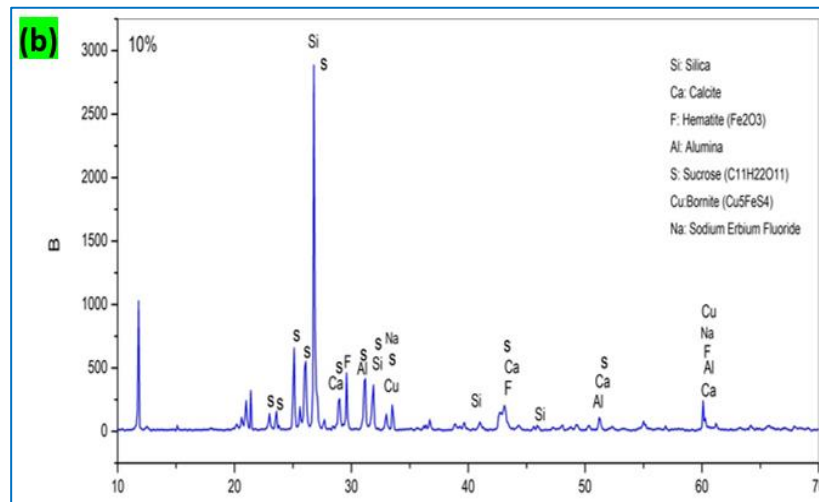
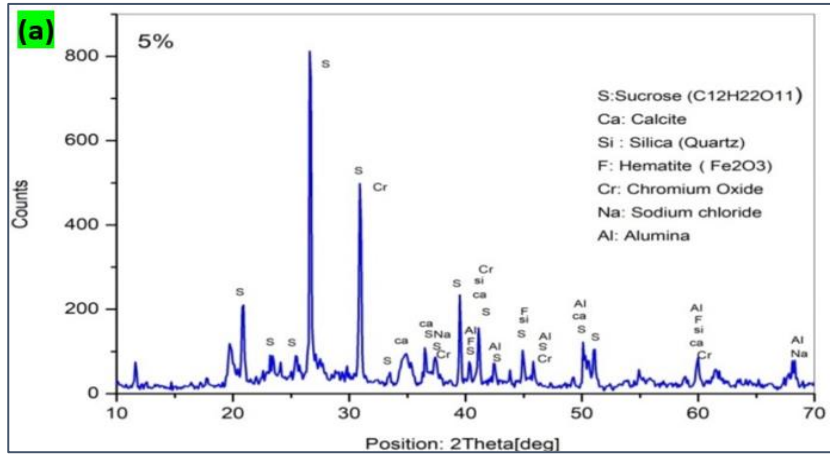
- **بالنسبة للعينة السابعة:** التي تحتوي على نسبة 60% من الأبار البترولية+ نسبة 40% من رمل الكثبان المجاور ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 1.63 نستنتج أن هذا الرمل أصبح أدق مع هذه النسبة من المزج مما يشير إلى زيادة في الحبيبات الدقيقة بحيث هذا الرمل ذو تدرج حبيبي خارج المجال B ، حيث نلاحظ انه عند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده يدخل في المجال للمنحنى المرجعي في بعض النقاط ويخرج منه في نقاط كثيرة أخرى لذا هذه العينة من الرمل غير مقبولة وسنستثنيها أيضاً من الإستعمال في تجارب الخرسانة.

III. 5. المشاهدة الإلكترونية والمعالجة بالأشعة:

III.5.1 التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD):

وقد أجريت على عينات من رمل أبار البترول ورمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود بولاية ورقلة والرمل الطبيعي لواد الرتام لولاية المغير بحيث مقاستها أقل من 0.08 ملم. قمنا بها في مخبر الفيزياء بجامعة الوادي..

• رمل آبار البترول (SPP)



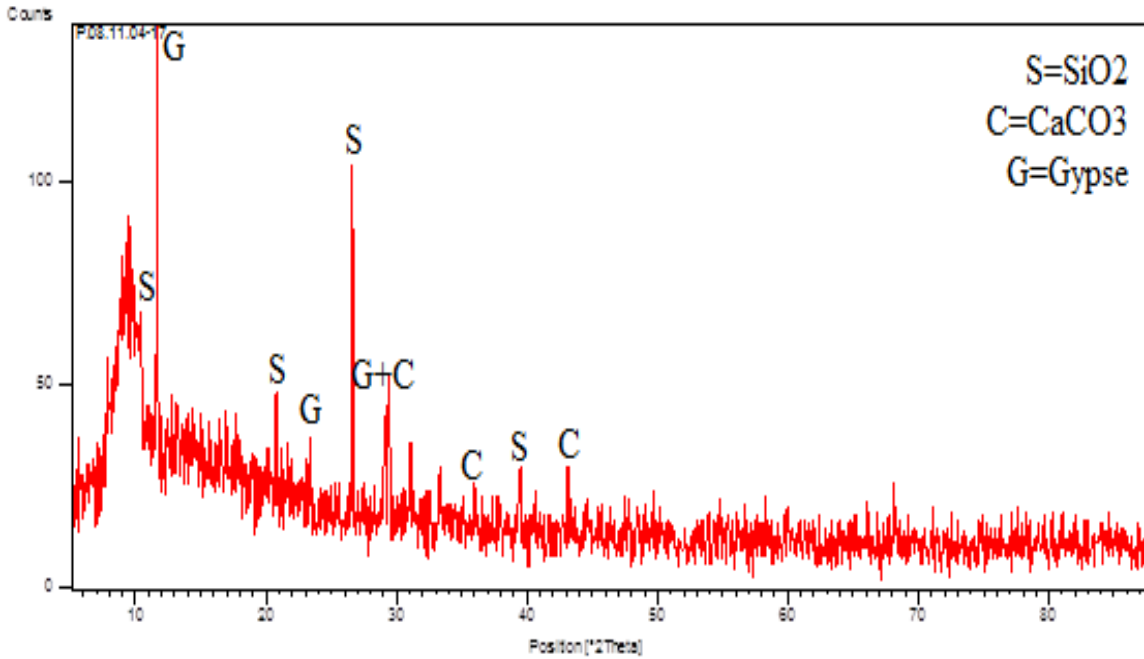
الشكل III. 8. تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) لحبيبات الرمل المستخرجة من آبار النفط عند نسب زيت

مختلفة: (a) 5%، (b) 10%، (c) 15%

أظهر التحليل بالأشعة السينية، الذي يُعد ضروريًا لتوصيف المواد البلورية دقيقة الحبيبات، تركيبة الرمال المستخرجة من آبار النفط في منطقة حاسي مسعود. تم تحليل عينات ملوثة بنسب مختلفة من الزيت: 5%، 10%، و15% (الشكل 8.III). وتتكوّن الرمال أساسًا من السيليكات، مثل SiO_2 ، مع الكوارتز باعتباره المعدن السائد، بينما تلعب العناصر الأخرى دورًا ثانويًا. وتُظهر الأكاسيد مثل الهيماتيت (أكسيد الحديد الثلاثي) كثافة عالية، كما تساهم أكسيد الألمنيوم (الألومينا) وكبريتيد النحاس - الذي يُعد من الخامات الأساسية للنحاس - في الكثافة الكلية.

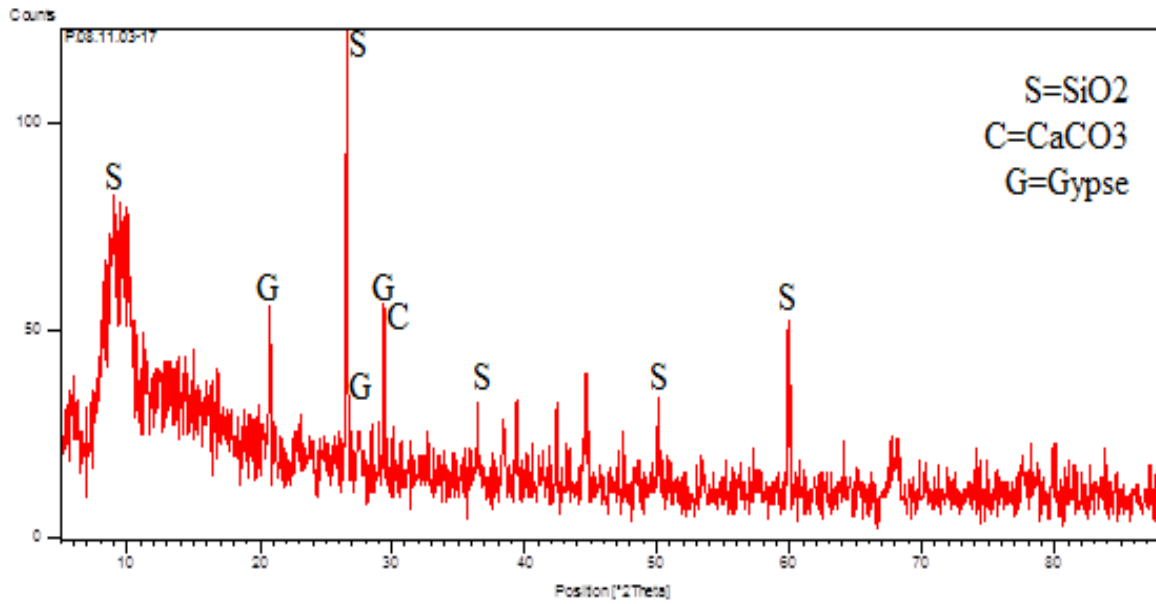
تشير الدراسات [130، 131] إلى أن غياب الصخور أو الأحجار الكربوناتيّة النشطة، مثل الدولوميت أو المغنيسيت، في الركام الناعم، يدل على تركيبة كيميائية مستقرة للرمل المدروس، مما يجعله مناسبًا لإنتاج الملاط أو الخرسانة دون حدوث تفاعلات قلووية. كما هو موضح في الشكل 8.III، يتكوّن الرمل معدنيًا من مواد تشمل السكروز، وهو مركب عضوي قد يتفاعل بشكل سلبي عند استخدامه في إنتاج الملاط أو الخرسانة، وذلك بحسب أبو سيف [131، 132]. بالإضافة إلى ذلك، يُظهر الشكل 8.III التباعد التقريبي للطبقات حول الاتجاه البلوري (001)، ويمكن التعبير عن القيم المذكورة كما يلي: $15.63 (2\theta = 5.65^\circ)$. ويتأثر تركيب العينة بشكلها ونسبة الزيت المستخدمة في سائل الحفر.

• رمل الكثبان (SDH)



الشكل III. 9. منحنى المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل الكثبان [31]

رمل طبيعي لواد الرتام : (SOR)



الشكل III. 10. منحنى المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل وادي الرتم [31]

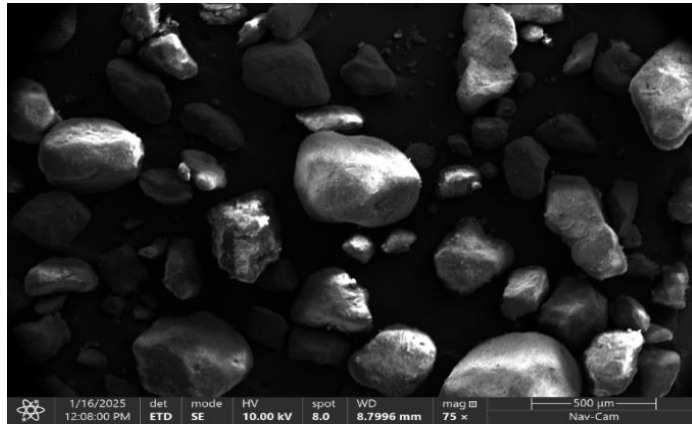
أظهرت نتائج تحليل حيود الأشعة السينية (DRX) لكل من رمل الكثبان والرمل الطبيعي المستخرج من وادي الرتام) للأشكال III.9 و III.10 أن تركيبهما المعدني يتكوّن في الأساس من السيليكا (SiO_2) ،

حيث يُعدّ الكوارتز المكوّن المعدني السائد في بنيتهما. كما تم رصد تواجد بعض المركّبات الثانوية مثل كربونات الكالسيوم (CaCO_3) والجبس، إلى جانب كميات ضئيلة من معادن طينية أخرى. وتُشير الدراسات الواردة في المرجع [133] إلى أن غياب الصخور أو الحجارة الكربونية النشطة – كالدولومايت والمغنيسيت – داخل مكونات الركام الناعم، يعكس استقراراً كيميائياً لتركيبه الرمل، مما يجعله مناسباً لاستخدامه في إنتاج الخرسانة أو الملاط دون التعرّض لخطر التفاعل القلوي القلوي. كما تُظهر الأشكال III.9 و III.10 عدم وجود مواد عضوية أو شوائب ضارة داخل التركيب المعدني للرمل، وهي عناصر قد تؤدي إلى تأثيرات سلبية في حال استخدامها في تصنيع الملاط أو الخرسانة، وفق ما أشار إليه أبو سيف. [133].

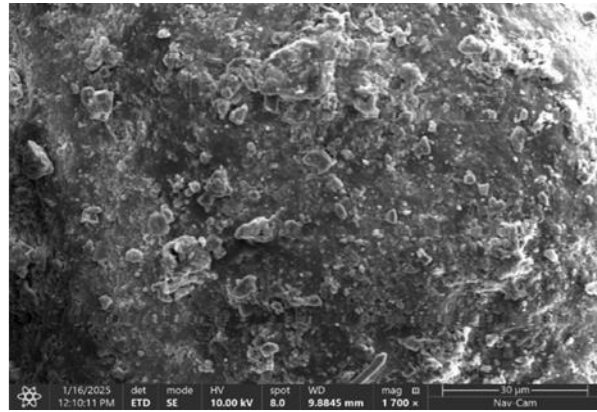
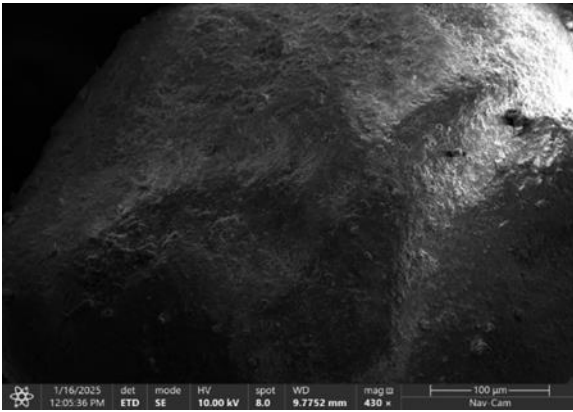
2.5.III الملاحظة المجهرية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (MEB):

قمنا بها في مركز البحث العلمي والتقني في التحاليل الفيزيائية والكيميائية - CRAPC - الكائن مقره في جامعة الحاج لخضر باتنة.

• رمل آبار البترول – حاسي مسعود – (SPP)



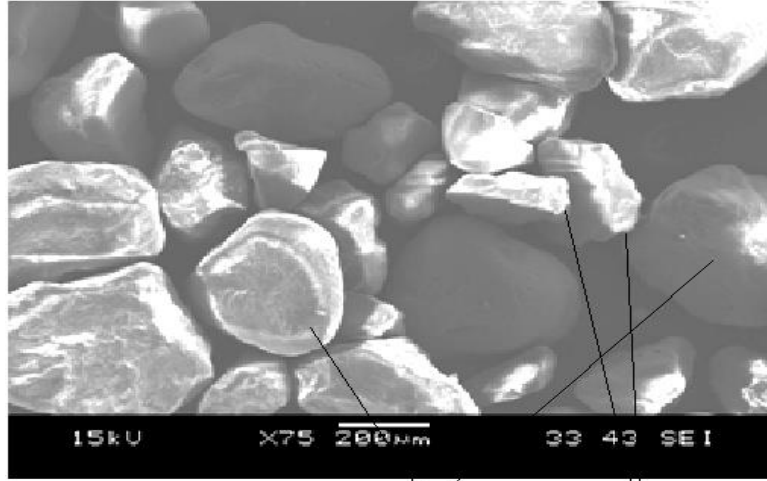
حبيبات رمل مختلفة الشكل والحجم



سطح حبيبة الرمل خشن وغير متجانس وبه نتوءات

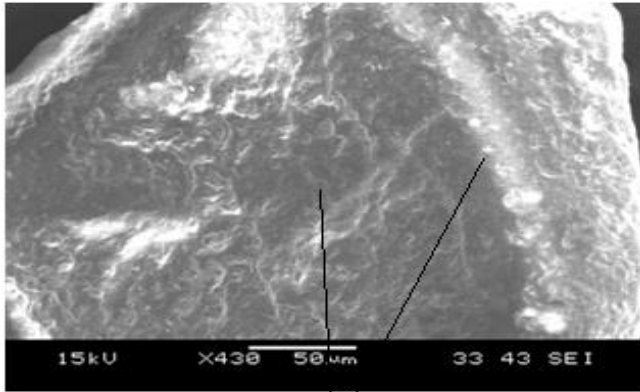
الصورة III. 4. مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل آبار البترول

• رمل الكتبان (SD)

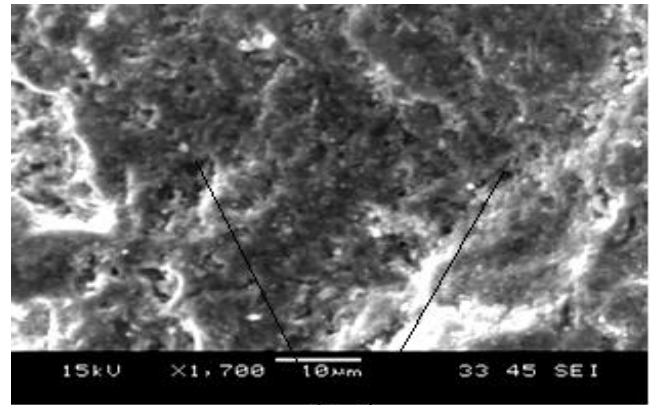


حببيات دائرية

حببيات مسطحة



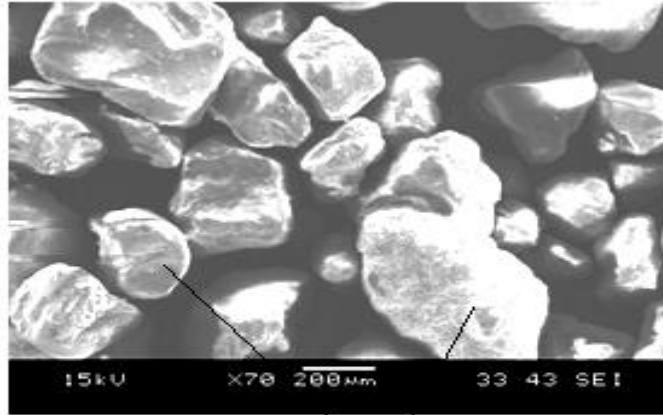
سطح غير أملس به نتوءات



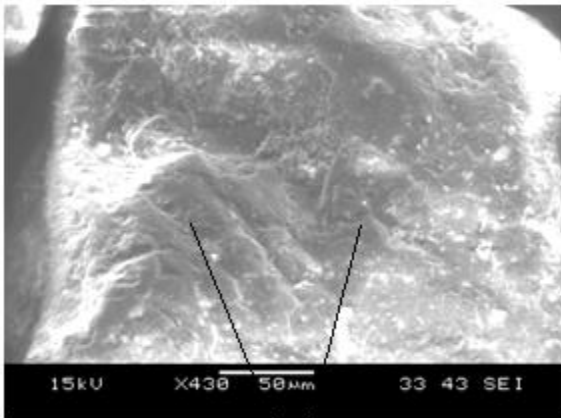
سطح به مسامات

الصورة III.5 مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكتبان

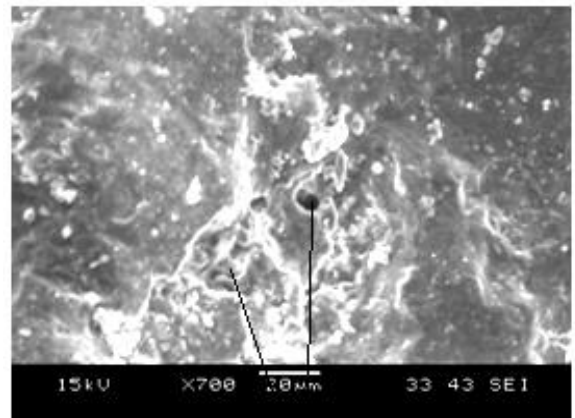
- الرمل الطبيعي لواد الرتم (SOR) :



حبيبات رمل مختلفة الشكل والحجم



حبيبات رمل ذات سطح خشن



حبيبات رمل بها مسامات

الصورة III. 6. مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB للرمل النهري لوادي الرتام

أظهرت الصور الملتقطة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) لمختلف أنواع الرمال مجموعة من الخصائص المورفولوجية المهمة، تمثلت فيما يلي:

- أشكال الحبيبات: تبيّن وجود تنوع واضح في أشكال الحبيبات، حيث لوحظت حبيبات شبه كروية، وأخرى ذات شكل مكعب، بالإضافة إلى حبيبات غير منتظمة الشكل، بعضها مدبب الحواف وأخرى ذات أطراف ملساء.

- **سطح الحبيبات**: أظهرت الصور أن سطح معظم الحبيبات ليس أملساً، بل يتميز بخشونة واضحة وتضاريس سطحية متفاوتة.
- **البنية الداخلية**: لوحظ أيضاً أن بعض الحبيبات تحتوي على فراغات ومسامات داخلية، ما يشير إلى إمكانية تأثيرها على الخواص الفيزيائية والميكانيكية عند استخدامها في الخلطات الإسمنتية.

III. 6. الإسمنت:

الإسمنت ciment هو رابط مائي ضروري مصنّع غير عضوي له خاصية التفاعل مع الماء وتكوين عجينة لدنة قادرة عند تصلبها على ربط الرمل والحصى والحجارة التي تخطط بها، وبذلك يتشكل الملاط Mortier والخرسانة Béton المقاومان لتأثير العوامل الطبيعية والماء تأثيراً مديداً. يعد الإسمنت من أهم مواد البناء، ويرجع تصلبه إلى التفاعلات الكيماوية القائمة على تمييه Hydratation سيليكات الكلسيوم و ألوميناته وكبريتاته التي يتركب منها. وأنواعه كثيرة أشهرها وأكثرها انتشاراً «الإسمنت البورتلندي».

1.6.III اسمنت من نوع CEM I 42.5 N SR3 LH :

هو الاسمنت المستعمل في هذه الدراسة وهو أسمنت متواجد في السوق المحلي ومصنوع من طرف مصنع شركة العسكرية بولاية بسكرة الجزائر.

نتائج التجارب المجرات على هذا النوع من الاسمنت بخصوص الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة والمعطاة من طرف المصنع الهي كالتالي :

$$\rho_{ab} = 3.15 \text{ g/cm}^3 \quad \text{الكتلة الحجمية المطلقة:}$$

$$\rho_{ap} = 1.062 \text{ g/cm}^3 \quad \text{الكتلة الحجمية الظاهرية:}$$

وفيما يلي نتطرق الى بعض التحارب:

1.1.6.III المساحة السطحية للإسمنت Surface spécifique:

هي خاصية فيزيائية تحدد نعومة الاسمنت فبقدر ما يكون الاسمنت مطحون أكثر فبقدر ما تكون المساحة النوعية السطحية أكبر، وتعتبر النعومة من أهم الخواص التي تؤثر على العناصر التالية:

- نسبة التفاعل الكيميائي
- تطور المقاومة
- كمية الإسمنت الضرورية لتغليف مجمل حبيبات الركام (الرمل، الحصى) لدعم الترابط بين كل الحبيبات.

وتقاس بالمقارنة مع اسمنت مرجعي محدد السطح الذي هو معروف، فهو يعرف حجم تمرير الهواء عبر مسحوق الاسمنت على مساحة من هذا المسحوق هو أكثر أهمية، والوقت الذي يستغرقه للهواء بالمرور عبر مسحوق طويلة. في الظروف القياسية، على مساحة محددة تتناسب مع \sqrt{t} . لاختبار ما يسمى بـ "بلين".

سطح بلين (NFP 15-442) محددة تعطى بالمعادلة التالية:

$$SSB = \frac{k\sqrt{e^3}\sqrt{t}}{\rho(1-e)\sqrt{\eta}} \dots\dots\dots (6. III)$$

t : زمن مرور الهواء عبر طبقة المسحوق بالثانية.

η : لزوجة الهواء عند درجة الحرارة المجرات فيها التجربة.

ρ : الكتلة الحجمية المطلقة بـ g/cm^3 .

K : ثابت الجهاز.

e : النفاذية.

تم قياس المساحة السطحية للإسمنت من نوع (CEM I 42.5 N SR3 LH) في مخبر مطحنة الإسمنت، وكانت قيمتها $SSB = 3247 g/cm^2$

III.2.1.6 زمن التصلب:

يتفاعل الاسمنت كيميائيا مع الماء ثم بعد مرور ساعة أو أكثر يبده العجين في إظهار شيء من التماسك الأولي نعبه عنه بزمن بداية التصلب. هذا الوقت المنقضي بين بداية خلط الماء مع الاسمنت و بداية التصلب يسمى اصطلاحا زمن التصلب وهو مهم بالنسبة لعملية تشغيل الخرسانة (خلطها، تحميلها، رفعها، ضخها، وكذلك هزها).

يختلف زمن التصلب على حسب نوعية الاسمنت ونعومته وكمية الماء ودرجة الحرارة ولذلك نقوم بتحديدته على عجين قياسي معد حسب نسبة الماء المثالية و في درجة حرارة محددة بـ 20 درجة مئوية وباستعمال جهاز فيكا Vicat محمول بالإبرة بعد زمن بداية التصلب يتواصل التماسك حتى يصبح العجين عبارة عن كتلة واحدة هذا ما نسميه نهاية زمن التصلب.

ويكون عموما زمن التصلب أكثر من 90 دقيقة بالنسبة للإسمنت العادي في درجة حرارة 20 درجة مئوية. أما بالنسبة للإسمنت المستعمل في الدراسة (CEM I 42.5 N SR3 LH) فحسب البطاقة التقنية [134] فإن :

الزمن الابتدائي للتصلب : 180 دقيقة

الزمن النهائي للتصلب : 320 دقيقة

3.1.6.III الخصائص الكيميائية:

التحليل الكيميائي للإسمنت معطى مسبقا في البطاقة التقنية لنوع الاسمنت على حسب النسب المئوية المشكلة لهذه المادة النتائج معطاة في الجدول التالي [134]:

الجدول III. 9.: التحليل الكيميائي للإسمنت (CEM I 42.5 N SR3 LH).

القيمة	الخصائص الكيميائية	
$3 \geq$	Perte au feu	التحليل الكيميائي %
2.6-2.2	Teneur en sulfates (SO ₃)	
$3.5 \geq$	Teneur en Oxyde de magnésium (Mgo)	
$0.04 \geq$	Teneur en chlorures (CL)	
$0.75 \geq$	Résidu insoluble	
60	C ₃ S	مكونات الكلانكير %
$3 \geq$	C ₃ A	
$20 \geq$	C ₄ AF+2C ₃ A	

وكذلك تحليل كيميائي ومعدني آخر للإسمنت المستخدم معطى من طرف المصنع وهو موضح في الجدول التالي:

الجدول III. 10. التحليل الكيميائي والمعدني للإسمنت (CEM I 42.5 N SR3 LH)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	PAF
19.98	3.90	4.77	62.81	2.94	2.32	0.04	0.49	0.02	1.96

Alite	Belite	Aluminate-cubic	Aluminate-ortho	Ferite	Periclase	Ca-Langbini	Gypsum	Hemihydrate	Calcite
19.98	3.90	4.77	62.81	2.94	2.32	0.04	0.49	0.02	1.96

نلاحظ أن الإسمنت المستخدم يحتوي على نسب كبيرة من الكلس والسيليس.

القلويات = Na₂O + 0.658 K₂O = 0.36% وهي اقل من 0.60% وبالتالي لا يوجد أي خطر من

فعل القلويات [31]

III.4.1.6 مقاومة الضغط:

يُميّز الإسمنت بمقاومته للضغط بعد يومين وبعد سبعة أيام وبعد ثمانية وعشرين يوماً من لحظة إعداد الخلطة، ويتم ذلك على مواد اختباريه من ملاط نظامي وعينات خراسانية ذات مواصفات خاصة تنص عليها المقاييس الدولية والحكومية وتتبع في ذلك طرائق اختبار فيزيائية و ميكانيكية محددة [101،135] .

ويمتاز الاسمنت المستخدم في هذه الدراسة بمقاومة ضغط حسب [134]

- مقاومة الضغط في 2 يوم 18 ميجاباسكال

- مقاومة الضغط في 28 يوم 54 ميجاباسكال

5.1.6.III المعامل الهيدروليكي Indice d'hydraulicité:

المعامل الهيدروليكي أو معامل فيكا Vicat، الذي يعرف بالنسبة أو الكسر الحامض من مكونات الاسمنت على القاعدي منها .

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{MgO + CaO} = 0.36 \dots \dots \dots (7.III)$$

الإسمنت المستخدم $I = 0.36 > 0.5$ إذن الإسمنت محايد. [136]

III 7. الماء:

تكمن أهمية الماء في مايلي :

1. الماء ضروري لكي يتم التفاعل الكيماوي بين الاسمنت والماء.
2. وهو ضروري أيضا لكي تمتصه الحبيبات المستعملة في الخرسانة.
3. يعطي الماء الخليط المؤلف من الركام الخشن والناعم والاسمنت درجة مناسبة من اللبونة تساعده على التشغيل والتشكيل.
4. بوجود الماء يمكن خلط مقدار أكبر من الحبيبات بنفس الكمية من الأسمنت.
5. إن الماء يعطي حجماً للخرسانة يتراوح ما بين 15-20 %.
6. يضيع جزء من الماء الموجود في خلطة الخرسانة أثناء عملية التبخر.
7. إن الماء ضروري لعمليات إيناع الخرسانة أثناء تصلبها.

النسبة المائية الإسمنتية E/C:

هي النسبة بين وزن الماء الحر المخصص للتفاعل (عدا عن الماء الذي تمتصه الحبيبات) إلى وزن الأسمنت في الخلطة. ولضبط نسبة الماء في الخلطة أهمية بالغة وعليها تتوقف قوة الخلطة ومسميتها وانفصالها ومقدرتها على مقاومة العوامل الجوية من برودة وحرارة وتآكل حيث ان كثرة الماء تضعف الخرسانة وتسبب الانفصال والتميع والمسامية وقلة الدوام والاهتراء وقلة التماسك والضعف والتفتت والانكماش والتشقق.

1.7.III خواص الماء المستعمل في الخرسانة:

1. يكون الماء المستعمل في خلط ومعالجة الخرسانة خاليا من المواد الضارة مثل الزيوت والشحوم والأملاح والأحماض والقلويات والمواد العضوية والفلين والمواد الناعمة سواء كانت هذه المواد ذائبة أو معلقة وخلافها من المواد التي يكون لها تأثير عكسي على الخرسانة من حيث قوة الكسر والمتانة.
2. يعتبر الماء الصافي الصالح للشرب صالحا لخلط الخرسانة وإيناعها.
3. يسمح باستعمال الماء غير الصالح للشرب في حالة عدم توفر الماء الصالح للشرب على أن لا يزيد تركيز الشوائب فيه عن نسب معينة تحددها المواصفات.

2.7.III التركيبة الكيميائية للماء المستخدم:

الجدول 11.III : التركيبة الكيميائية للماء المستعمل.

الملوحة	pH	HCO ³⁻	SO ⁴⁻	NO ³⁻	Cl ⁻	Na ⁺⁺	K ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
2787	7.79	122	752	14.3	756	538	29	126	243

III 8. صياغة خرسانة الرمل:

بعد اختيار المواد الداخلة في تركيبة الخرسانة ومعرفة كل خصائصها، نبحت على نسبة تركيز كل مركب من أجل الوصول إلى صياغة خرسانة ذات تشغيلية مقبولة ومقاومة عالية

III 1.8 صياغة وتخضير الملاط النظامي:

الملاط النظامي [137]: معرف حسب القاعدة EN 196-1 [138] وهو عبارة عن خليط من الإسمنت والماء والرمل كل من هذه المكونات يخضع لشروط نظامية منصوص عليها. فالرمل المستخدم هو رمل نظامي يجب أن يكون موفيا للشروط المنصوص عليها في النظام (CEN EN 196-1) هذا الرمل تجاري يباع في أكياس من البلاستيك ذات وزن $g \pm 5$ 1350 .

يتم خلط هذه الكمية من الرمل مع $g \pm 450$ 2 من الإسمنت و $g \pm 225$ 1 من الماء إذا يكون المعامل E/C يساوي 0.5. وقبل الشروع في تجارب التشغيلية والزمن الابتدائي للتصلب أو تجارب الانكماش، يخلط هذا المزيج لمدة 4 دقائق [137] وفقا للشروط التي تملئها القاعدة:

نبدأ أولا بوضع الماء في حاوية آلة الخلط ثم نتبعها بالإسمنت ونشغل مباشرة المحرك بسرعة بطيئة.

وبعد 30 ثانية من الخلط نبدأ بوضع الرمل بصفة تدريجية لمدة 30 ثانية أخرى، ثم نشغل المحرك بسرعه القصوى لمدة 30 ثانية إضافية.

نوقف آلة الخلط لمدة دقيقة ونصف. حيث نجمع الملاط الملصق بجدران آلة الخلط وندفعه إلى الداخل.

نشغل بعد ذلك آلة الخلط بسرعتها القصوى لمدة 60 ثانية.

وكملاحظة يستعمل هذا الملاط من أجل تحديد بعض خصائص الإسمنت وخاصة المقاومة [139].

2.8.III صياغة خرسانة الرمل محل الدراسة والعادية (الشاهد):

من أجل الحصول على تركيبة لخرسانة الرمل محل الدراسة والعادية التي سنستعملها كشاهد، نأخذ تركيز من الاسمنت والرمل كما هو منصوص عليه في الملاط النظامي أي نأخذ مقدار من الاسمنت وثلاث مقادير من الرمل، أما نسبة الماء فتحدد بواسطة تجربة التشغيلية. التي تجرى بالجهاز Maniabilimètre أو طاوله الاهتزاز الخاص بها من أجل الحصول على ملاط مرن كما وهو موصى به حسب المواصفات.

3.8.III تجربة التشغيلية:

قبل تصلب الخرسانة توضع في قوالب، عملية الوضع هذه يجب أن تكون سهلة لربح الوقت من ناحية ولتفادي التشوهات الناتجة عن الصب التي يصعب معالجتها لاحقاً. ونقول إن الخرسانة أكثر تشغيلية إذا كانت عملية صبها في القوالب أكثر سهولة [140].

لذا تهدف هذه التجربة لقياس الوقت اللازم لسيلان كمية من الخرسانة أو الملاط ثم الاستدلال بهذا الزمن على نوعية الملاط ثم الحكم على التشغيلية ومن ثم تحديد نسبة الماء المناسبة للتشغيلية المقبولة إذ أن الخرسانة الطازجة تصنف حسب التشغيلية إلى أربعة أصناف : خرسانة صلبة، خرسانة مرنة، خرسانة مرنة جداً، خرسانة مائعة [126]. وهي موصى به حسب [141] NFP 18-452 و [142] NF P 15-437.

الجهاز المستعمل:

الجهاز المستخدم يُعرف باسم **maniabilimètre LCL (Laboratoire Central Lesage) B**، وهو يتكون من صندوق معدني متوازي المستطيلات بأبعاد (7.5 سم × 7.5 سم × 15 سم)، موضوع على دعائم مطاطية، ومزود بهزاز وحاجز قابل للإزالة.

يمثل الزمن (t) الذي يستغرقه الملاط للتدفق مؤشراً على درجة قوامه؛ فكلما كان الزمن أقصر، دلّ ذلك على أن الملاط أكثر سيولة أو أكثر قابلية للتشغيل، ومن هنا جاء اسم الجهاز. [143,140,65]



الصورة 7.III : جهاز تجربة التشغيلية

مبدأ التجربة:

في هذا الاختبار، يُعبّر عن قوام الملاط (أو قابلية تشغيله) من خلال الوقت الذي يستغرقه للتدفق تحت تأثير الاهتزاز الذي يولده الجهاز المستخدم. فكلما كان الملاط أكثر لزوجة وأقل سيولة، زاد الزمن اللازم لتدفقه، مما يدل على قوام أكثر تماسكا وأقل مرونة. وعلى العكس، فإن انخفاض هذا الزمن يشير إلى ملاط أكثر سيولة وأسهل في التشغيل والتوزيع. لذا، يُعد هذا المعيار أداة فعالة لقياس سلوك الملاط أثناء الاستخدام، مما يسمح بتقييم مدى توافقه مع متطلبات العمل الميداني أو ظروف الصب الخاصة، كما أنه يساعد على ضبط نسب الخلط للوصول إلى خصائص تشغيلية مثالية في تطبيقات ال7خرسانة أو التلبيس

الجدول 12.III تصنيف الخرسانة وفق التشغيلية

المدة (ثانية)	تصنيف الخرسانة وفق التشغيلية
$t \geq 40$	خرسانة متماسكة
$20 < t \leq 30$	خرسانة مرنة
$10 < t \leq 20$	خرسانة مرنة جدا
$t \leq 10$	خرسانة مائعة

بعد الانتهاء من تنفيذ التجربة وفقاً للمنهجية المحددة مسبقاً، تم جمع وتحليل البيانات التجريبية، مما أتاح لنا التوصل إلى النتائج التالية التي تعكس سلوك العينة المدروسة تحت الظروف التجريبية المعتمدة

الجدول 13.III نتائج تجربة التشغيلية

الزمن	E/C	التركيبية
32 ± 2 ثا	0.55	العينة الأولى: رمل الآبار البترولية (SPP)
31 ± 2 ثا	0.60	العينة الثانية: رمل الكتبان المجاور (SDH)
24 ± 2 ثا	0.55	العينة الثالثة: الرمل الطبيعي لواد الرتام (SOR)
30 ± 2 ثا	0.55	العينة الرابعة: 90% رمل الآبار البترولية (SPP) + 10% رمل الكتبان المجاور (SDH)
29 ± 2 ثا	0.55	العينة الخامسة: 80% رمل الآبار البترولية (SPP) + 20% رمل الكتبان المجاور (SDH)

تشير نتائج التشغيلية إلى أن جميع الخلطات الخرسانية المصنّعة تندرج تقريباً ضمن فئة الخرسانة ذات القوام اللدن، وذلك استناداً إلى المعايير المنصوص عليها في المواصفة الأوروبية ENV 206 [144]. وتجدر الإشارة إلى أنه كان من الممكن تحسين سلوك خلطة SPP وخلطة SDH بشكل أفضل عبر استخدام إضافات كيميائية (مثل الملدّات) للحفاظ على بقائهما ضمن النطاق المرن في كافة الحالات التجريبية. ومع ذلك، ونظراً لعدم وصول زمن الانسياب عتبة 40 ثانية، فقد ارتئي عدم اللجوء إلى استخدام الملدّات في هذه المرحلة.

وعليه فإن التركيبة للخرسانة للرمل محل الدراسة والرمل الشاهد تؤخذ كما يلي :

4.8.III تركيبة الخرسانة المدروسة:

* تركيبة خرسانة الرمل محل الدراسة والرمل الشاهد

الجدول 14.III تركيبة خرسانة الرمل محل الدراسة والرمل الشاهد

المعامل E/C	الإسمنت	الرمل	المركبات
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	SPP
0.60	جزء واحد	3 أجزاء	SDH
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	SOR
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	90%SPP+10% SDH
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	80%SPP+20%SDH

5.8.III تحضير وشكل العينة:

في أعقاب تحديد التركيبة المثلى لكل من خرسانة الرمل موضوع الدراسة وخرسانة الرمل المرجعية، تم الشروع في إعداد عملية الخلط والصب للعينات المخصصة للتحليل، حيث تم اعتماد أبعاد عينات الاختبار بـ (160×40×40 مم). أما فيما يخص إعداد العجينة الإسمنتية، فقد تم اتباع الخطوات التالية:

- تم خلط الرمل (S) لوحده لمدة 30 ثانية .
- إدخال الإسمنت (C) ثم الخلط لمدة 60 ثانية .
- إضافة الماء تدريجياً أثناء الخلط للمجموعة (S+C+E) ثم الخلط لمدة 4 دقائق .

أما صب الخلطة في القوالب فقد تم على مرحلتين، حيث مُلئت كل طبقة على حدة، مع تعريضها للاهتزاز لمدة دقيقة واحدة باستخدام جهاز الاهتزاز بسرعة تقارب 60 اهتزازة في الدقيقة، ومن ارتفاع يبلغ حوالي 15 مم ± 0.3 مم، كما هو موضح في المرجع [135]. عقب عملية الصب، تُركت العينات في الهواء في ظروف مخبرية

مضبوطة بدرجة حرارة ثابتة عند حوالي (25°م) ورطوبة نسبية تقدر بـ 65%. بعد مرور 24 ساعة، تم فك القوالب وغُمرت العينات في الماء لمدة 28 يومًا عند درجة حرارة (25°م ± 2).

تم إعداد ست (6) عينات لكل فترة زمنية من أعمار الخرسانة المدروسة، والتي تشمل الأعمار التالية: 28، 90، و180 يومًا.

6.8.III طرق التجارب للعينات الخرسانية:

تنقسم التجارب المطبقة على العينات الخرسانية إلى فئتين رئيسيتين حسب طبيعتها وتأثيرها على العينة

1- التجارب المتلفة:

هي اختبارات يتم فيها تحميل العينة حتى الفشل أو الكسر الكامل، ولا يمكن استرجاعها أو استخدامها مجددًا بعد إجراء التجربة. تُستخدم هذه الطريقة لتقييم الخصائص الميكانيكية للخرسانة، وغالبًا ما تُجرى على عينات معيارية صُممت خصيصًا لهذا الغرض.

أمثلة على التجارب المتلفة:

- تجربة قياس مقاومة الضغط
- تجربة قياس مقاومة الانحناء

2- التجارب غير المتلفة:

هي تجارب لا تُحدث ضررًا ملحوظًا في العينة، وتُستخدم لتقييم بعض الخصائص الفيزيائية أو الميكانيكية دون التأثير على سلامة الهيكل الخرساني.

أمثلة على التجارب غير المتلفة:

- تجربة قياس الكتلة الحجمية الطازجة
- تجربة قياس الكتلة الحجمية الصلبة
- تجربة قياس الانكماش
- تجربة قياس سرعة الموجات فوق الصوتية
- تجربة قياس إمتصاص الماء
- تجربة قياس التغير في الكتلة (فقدان الكتلة – اكتساب الكتلة)

في هذه الدراسة، تم اعتماد التجارب المتلفة في معظم الحالات لقياس الخصائص الميكانيكية للعينة، مثل مقاومة الضغط والانحناء. في المقابل، أستخدمت التجارب غير المتلفة لتقييم بعض الخصائص الفيزيائية مثل الانكماش، الامتصاص، التغير في الكتلة، وسرعة الموجات الصوتية، دون التسبب في تلف العينة.

1.6.8.III تجربة الكتلة الحجمية :

يُعد اختبار الكتلة الحجمية خطوة أساسية في تقييم خصائص خرسانة الرمل في حالتها الطازجة والمتصلبة.

بالنسبة لخرسانة الرمل الطازجة، يتم تحديد الكتلة الحجمية من خلال ملء وعاء معروف الحجم (V) م3 بعينة خرسانية على طبقتين، حيث تُدمك كل طبقة باستخدام الهزاز لمدة 30 ثانية. بعد ذلك، يُسوَّى السطح باستخدام مسطرة حديدية لضمان دقة القياس. ثم يُوزن الوعاء بعد ملئه لتسجيل كتلته الإجمالية (Mt) كغ، وتُحسب الكتلة الحجمية باستخدام المعادلة: (1)

$$\rho_{mf} = \frac{Mt - Mr}{V} \dots\dots\dots (08. III)$$

حيث:

- ρ_{mf} : الكتلة الحجمية الطازجة (كغ/م3)
- Mt : الكتلة الكلية للوعاء المملوء (كغ)
- Mr : الكتلة الفارغة للوعاء (كغ)
- V : حجم الوعاء (م3)

أما بالنسبة لخرسانة الرمل المتصلبة، فيتم تنظيف العينة جيداً لإزالة أية شوائب، وتُسجل كتلته (M) كغ. ثم تُقاس أبعادها (الطول، العرض، والارتفاع) بدقة لحساب الحجم. (V) م3 بعد ذلك، تُحسب الكتلة الحجمية باستخدام المعادلة: (2)

$$\rho_{md} = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (09. III)$$

حيث:

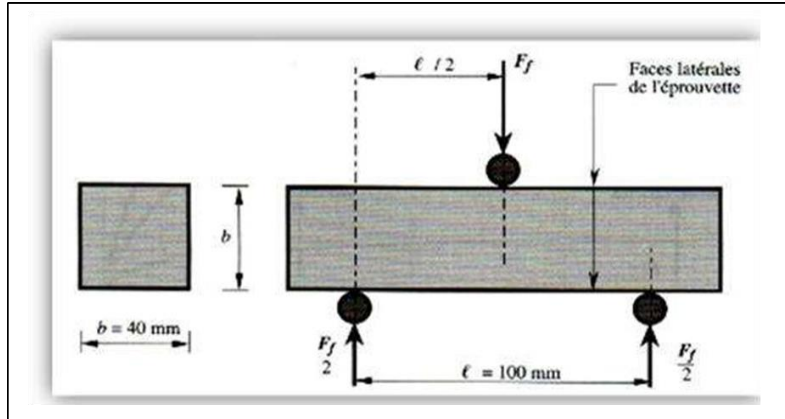
- ρ_{md} : الكتلة الحجمية المتصلبة للعينة (كغ/م3)
- M : الكتلة العينة المتصلبة (كغ)
- V : حجم العينة (م3)

2.6.8.III تجربة مقاومة الانحناء:

تُجرى تجربة مقاومة الانحناء على عينات خرسانية ذات مقطع مربع الأبعاد 4×4 سم وطول كلي 16 سم، حيث يُثبت الجسم الخرساني على دعامتين أسطوانيتين سفليتين تفصل بينهما مسافة 10 سم. يُطبق الحمل عبر دعامة علوية أسطوانية تتحرك بشكل عمودي نحو مركز العينة، وذلك باستخدام آلة مخصصة تعمل وفق نظام الانحناء ثلاثي النقاط. (flexion en trois points).

يتم تشغيل الآلة بطريقة تضمن تحميل العينة تدريجيًا حتى لحظة الكسر، وتقرأ قيمة الحمولة مباشرة من الجهاز، سواء رقميًا أو عبر شاشة عرض مدمجة. وتندرج هذه التجربة ضمن اختبارات المقاومة الميكانيكية الأساسية، وتجرى وفقًا للمعيار الأوروبي. [138].

يُوضح الشكل التخطيطي. III 11 المرفق المبدأ العام لعمل آلة اختبار الانحناء، كما يبرز ترتيب الدعامات وتوزيع الحمل على العينة أثناء الاختبار.



الشكل 11.III يوضح آلية التحطيم بالانحناء

التجربة تجرى بواسطة آلة التحطيم الخاصة بتجربة الانحناء لعينة من خرسانة الرمل أو الملاط ذات أبعاد $(160 \times 40 \times 40)$ ملم، قدرة هذه الآلة على التحطيم تصل إلى 15KN إذ تطبق تقريباً 3 KN/min. صورة الجهاز موضح في الملحق 2.

مقاومة الانحناء تحسب بالعلاقة التالية:

$$R_f = \frac{150 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \dots \dots \dots (10. III)$$

R_f : مقاومة الانحناء ب (MPa)

F_f : قوة تحطم العينة عند الانحناء

1 : البعد بين المسندين ب (mm)

b : جزء العينة الذي يساوي 40 mm

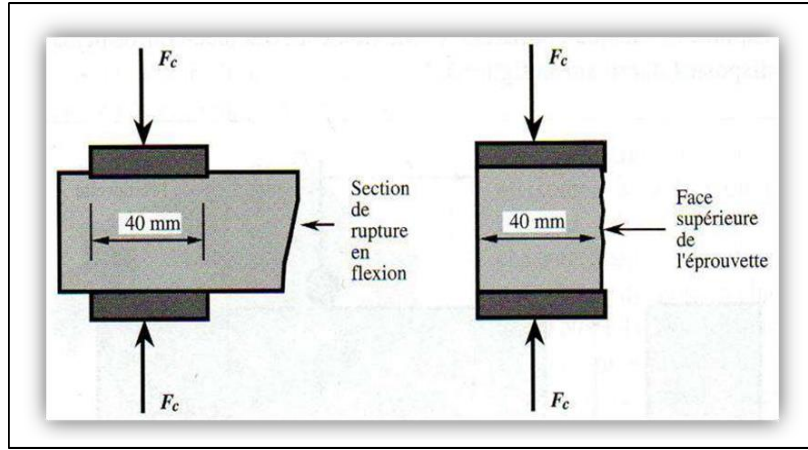
L : طول العينة الكلي . [128]

3.6.8.III تجربة مقاومة الضغط:

تُعد تجربة مقاومة الضغط من بين التجارب الأساسية لتقييم الأداء الميكانيكي للخرسانة، وتُجرى وفقاً لما تنص عليه المواصفة الأوروبية [138]. تتم هذه التجربة على نصف العينة الناتج عن تجربة الانحناء، والذي يكون ذا مقطع مربع أبعاده 40×40 مم.

يُوضع الجزء المخصص للاختبار بين صفيحتين معدنيتين صلبتين داخل آلة الضغط المخصصة للمواد الصلبة (presse de compression)، حيث تُراعى شروط التموضع الدقيقة؛ إذ تُثبت العينة بحيث تبتعد الصفيحتان عن الحواف الجانبية بمقدار 1 سم، ضماناً لتوزيع منتظم للحمولة وتفاذي تركّز الإجهادات. يُظهر الشكل III. 12 التوضيح التخطيطي لطريقة وضع العينة داخل الجهاز أثناء الاختبار.

تُطبّق القوة تدريجياً حتى الوصول إلى نقطة الانهيار، وتُسجّل قيمة الحمولة القصوى لتُستخدم لاحقاً في حساب مقاومة الضغط للعينة، مما يساهم في تقييم جودة الخلطة ومدى صلاحيتها للاستخدام في التطبيقات الإنشائية.



الشكل III.12 يوضح آلية التحطيم بالضغط

التجربة أجريت بواسطة آلة التحطيم الخاصة بتجربة الضغط وهي من نوع CONTROLS قدرة هذه الآلة على الضغط تصل إلى 1500kN وبواسطة سرعة انتقال منتظمة ومستمرة. صورة الجهاز موضحة في الملحق.

مقاومة الضغط تحسب بالعلاقة التالية:

$$R_c = \sigma_c / b^2 \dots \dots \dots (11. III)$$

Rc : مقاومة الضغط ب (MPa)

σ_c : قوة تحطم العينة عند الضغط ب (N)

b : جزء العينة الذي يساوي 40 mm [128]

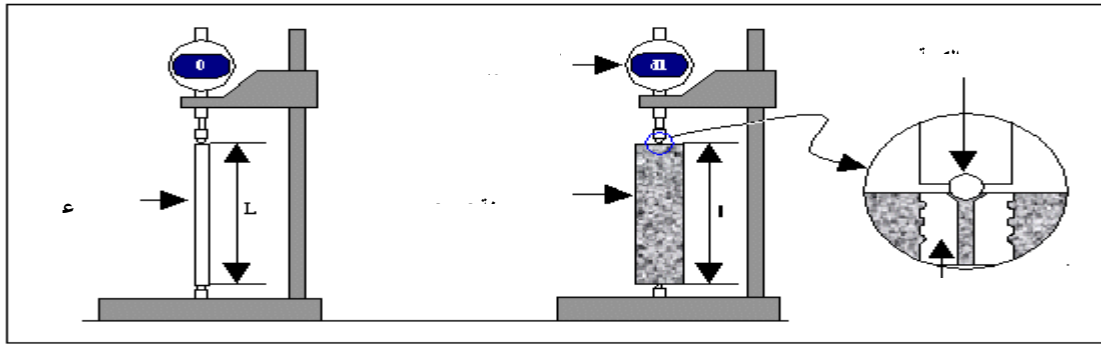
III.4.6.8 تجربة الانكماش (Essai de rétrait)

تُعد تجربة الانكماش من الاختبارات الأساسية لتقييم التغيرات الحجمية التي تطرأ على الخرسانة أثناء مراحل المعالجة أو بعد التصليب، وخاصة في ظروف الجفاف. وتُجرى هذه التجربة وفقاً للمواصفات الفرنسية NF P 15-433 [145].

تُحضّر العينات لهذا الاختبار بأبعاد قياسية، حيث يكون المقطع العرضي مربعاً (4×4 سم) والطول الكلي 16 سم. ولضمان دقة القياسات، تُثبّت صمولتان معدنيتان (douilles métalliques) في كل من السطح العلوي والسفلي للعينة، توضع عليهما كرتان فولاديتان (sphères en acier) تعملان كنقاط مرجعية لقياس الطول.

بعد التهيئة، تُوضع العينة داخل جهاز رقمي لقياس الانكماش من نوع Rétrocontrôle ، حيث يُضبط أولاً على طول ابتدائي مرجعي، ثم يُتابع بدقة تغير الطول مع مرور الزمن. يوفّر هذا الجهاز نتائج فورية وموثوقة لقياس مدى انكماش الخرسانة الطولي نتيجة فقدان الرطوبة أو التغيرات البيئية.

يُوضح الشكل التخطيطي III.13 طريقة عمل الجهاز وموقع العينة داخله، بينما توجد صورة واقعية للجهاز مرفقة في الملحق. تُكرّر هذه التجربة على عدد من العينات لضمان موثوقية النتائج، وغالباً ما يتم تتبع تطور الانكماش على مدى فترات زمنية مختلفة (مثل 2، 7، 14، 21، 28 وحتى 60 يوماً).



الشكل III.13 يوضح آلة الانكماش

الانكماش يحسب بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (12. III)$$

ϵ : الانكماش ب ($\mu\text{m}/\text{m}$)

ΔL : التغيير في الطول ب (mm)

L_0 : الطول الابتدائي للعينة (mm)

ملاحظة:

– عدد العينات المختارة للقيام بكل تجربة كان ست عينات.

III.5.6.8 تجربة امتصاص الماء (الخاصية الشعرية) :

تُعتبر تجربة امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية من أهم الوسائل التي تُستخدم لتقييم قدرة الخرسانة على امتصاص الماء عبر المسام والفراغات الداخلية. وهي تُعطي مؤشرًا مباشرًا على درجة نفاذية الخرسانة، وبالتالي على كتامتها وجودتها الهيكلية، حيث إن ارتفاع معدل الامتصاص غالبًا ما يرتبط بوجود شبكة مسامية غير محكمة قد تسهل تسرب المواد الضارة مثل الكبريتات أو الكلوريدات، ما يؤدي إلى تدهور الخرسانة مع مرور الزمن. [63, 103]

يتم إجراء هذه التجربة وفقًا لتوصيات دليل AFPC-AFREM [146] ، وقد طُبِّقت في هذا العمل على عينات من خرسانة الرمل.

مبدأ التجربة:

تعتمد التجربة على قياس كمية الماء الممتصة من قبل العينة الخرسانية الجافة عندما يتم غمر جزء منها في الماء وترك الجزء الآخر مغطى بغطاء بلاستيكي من الجهات الخمسة ومعرضًا للهواء. تُسجَّل الزيادة في الكتلة بمرور الزمن، ما يسمح بحساب كل من:

- معدل امتصاص الماء المرتبط بالزمن والوزن.
- معدل الامتصاص المتعلق بمساحة السطح المغمور.

خطوات تنفيذ التجربة: [147]

- 1- تُجفف العينة الخرسانية تمامًا حتى تصل إلى وزن ثابت.
- 2- تُوضع على دعامتين أفقيتين بحيث يُغمر أسفلها في الماء على ارتفاع 2 مم تقريبًا ، مع بقاء الجزء العلوي مكشوفًا للهواء.
- 3- يُتابع قياس الكتلة الممتصة من الماء عند فترات زمنية محددة 6 دقائق، 12 دقيقة، 30 دقيقة، 1 ساعة، 4 ساعات، 8 ساعات، 24 ساعة، و48 ساعة.

يُمكن تقدير حجم الفراغات المفتوحة داخل الخرسانة عن طريق حساب كمية الماء الممتصة بعد غمر العينة جزئياً، حيث إن الماء يتخلل المسام المتصلة بفعل الخاصية الشعرية. يُعد هذا الامتصاص مؤشراً غير مباشر على نسبة المسامية المفتوحة ودرجة نفاذية الخرسانة.

ويتم حساب معامل الامتصاص المرتبط بالوزن والزمن وفق العلاقة التالية [149] :

$$Ac\% = \left(\frac{Msat - Msec}{Msec} \right) \times 100 \dots \dots \dots (13. III)$$

حيث :

AC : معامل الامتصاص

MSAT : كتلة العينة بعد الامتصاص

MSEC : كتلة العينة الجافة

ويحسب معامل الامتصاص المتعلق بالزمن ومساحة العينات مغمورة في الماء أيضاً بالعلاقة: [63] :

$$Ca\% = \left(\frac{Msat - Msec}{S\sqrt{t}} \right) \dots \dots \dots (14. III)$$

Ca : معامل الامتصاص (كغ/م²)

Msat : كتلة العينة بعد الامتصاص (كغ)

Msec : كتلة العينة الجافة (كغ)

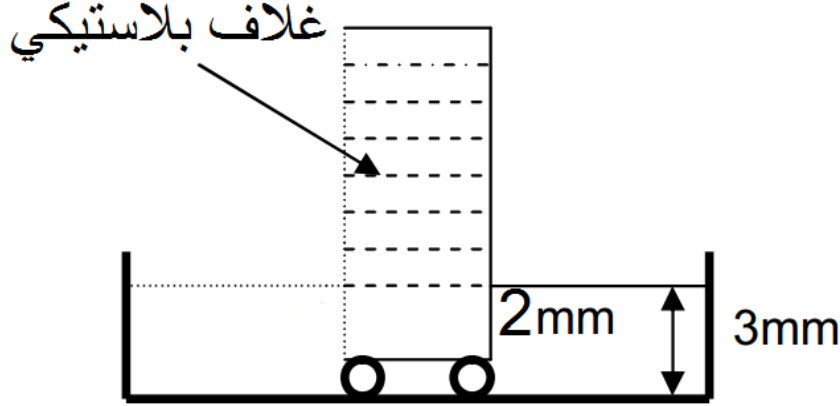
S : مساحة سطح العينة (م²)

t : الزمن بوحدة الساعات (في حالتنا t = 72 ساعة)

وقد تم القياس كما يلي:

بالنسبة للعينات المرجعية (الشاهد)، فقد تم حفظها في الماء مباشرة لمدة 28 يوم بعد إزالة القوالب، ثم تُركت في الهواء الطلق دون تعريضها لأي وسط عدواني، وذلك من أجل ضمان ظروف معالجة طبيعية خالية من المؤثرات الكيميائية الخارجية.

أما العينات المعرّضة للوسط العدواني، فقد تم غمرها في المحلول المخصص للتجربة لمدة 152 يوم حتى يكتمل عمرها ستة أشهر كاملة، وبعد انقضاء هذه المدة، تم سحبها لإجراء الاختبارات المطلوبة.



الشكل 14.III رسم تخطيطي يوضح تجربة امتصاص الماء بالخاصية الشعيرية [149]

6.6.8.III تجربة إنتشار الموجات فوق الصوتية (Essai ultrasonique):

يُعد هذا الاختبار غير المتلف من الوسائل المهمة جداً، إذ يُتيح الكشف في الوقت ذاته عن عدة خصائص للملاط المتصلب، مثل: درجة التراص (الكثافة)، ومعدل التشققات، والأضرار الناتجة عن التجمد أو تفاوت درجات الحرارة، وغيرها.

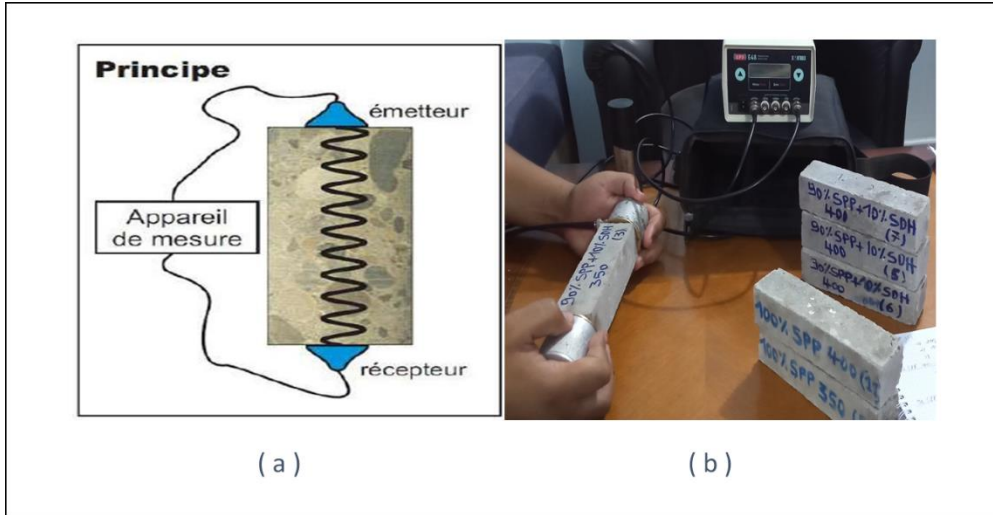
يتم هذا الاختبار وفقاً للمعيار (NF EN 12504-4 (2005)، ويعتمد على قياس السرعة الطولية لانتقال الموجات الصوتية داخل الملاط باستخدام جهاز يحتوي على وحدة قياس ورأسين، أحدهما للإرسال والآخر للاستقبال.

توجد طريقتان لقياس سرعة الموجات الصوتية:

- القياس السطحي؛

- القياس بالنفاذ (أو بالشفافية).

وتُعد الطريقة الثانية (القياس بالنفاذ) الأفضل، حيث تقوم على الضغط على رأسي القياس على وجهي العينة (إما في الاتجاه الطولي أو العرضي)، مع استخدام معجون موصل لتسهيل انتقال الموجات الصوتية. ويجب أن يكون سطح العينة أملس ونظيف بقدر كافٍ لضمان جودة القياس (انظر الشكل.III.15).



الشكل 15.III تجربة الأمواج فوق الصوتية (a) مبدأ التجربة (b) الجهاز المستخدم

بمجرد تشغيل الجهاز، يمكننا قراءة زمن انتشار الموجة بوحدة الميكروثانية. (μs)
ثم تُحسب سرعة الانتشار باستخدام المعادلة التالية:

$$V = \frac{S}{t} 10^6 \dots \dots \dots (15. III)$$

حيث:

V : سرعة انتشار الموجات (متر/ثانية)

S : المسافة بين رأسي الجهاز (متر)

t : زمن الانتشار (الثانية)

ملاحظة :

بما أن الجهاز يعطي الزمن بوحدة الميكروثانية، يجب تحويل الزمن إلى الثانية عند إدخاله في المعادلة

(1 ميكروثانية = 10^{-6} ثانية).

الخلاصة:

يُعالج هذا الفصل الجوانب الأساسية المتعلقة بتوصيف المواد الأولية الداخلة في تركيبة الخرسانة، مع التركيز على طبيعة الرمل المستخدم، وخصائصه الفيزيائية، ومدى ملاءمته للاستعمال في الخرسانة، إلى جانب عرض مبررات اختيار التركيبة الإسمنتية ونسبة الماء إلى الإسمنت (E/C) المعتمدة في هذا البحث.

• تقييم الخصائص الفيزيائية لرمل الكثبان الصحراوية

أظهرت التجارب المخبرية المجراة على رمل الكثبان الصحراوية أن هذا النوع من الرمل يتميز بدقة حبيبية عالية (texture fine) ومعامل نعومة منخفض (Module de Finesse)، مما يجعله غير مناسب للاستعمال كمكون رئيسي في الخرسانة بمفرده. ضعف التدرج الحبيبي ونسبة الحبيبات الدقيقة العالية يؤديان إلى زيادة المساحة السطحية الفعالة، وهو ما يتطلب كمية كبيرة من العجينة الإسمنتية لتغليف الحبيبات وضمان التماسك، الأمر الذي قد ينعكس سلبيًا على خصائص الخرسانة الطازجة والمتصلدة، مثل القابلية للتشغيل والانكماش والنفذية.

وبناءً على هذه المعطيات، يُوصى باستخدام رمل الكثبان بنسبة محدودة عند خلطه مع أنواع أخرى من الرمال ذات خواص أكثر ملاءمة، وذلك بهدف تحسين التدرج الحبيبي الكلي دون التأثير المفرط على أداء الخرسانة.

• خصائص رمل آبار البترول (منطقة حاسي مسعود)

بينت الاختبارات أن رمل آبار البترول المستخرج من منطقة حاسي مسعود يتمتع بخصائص تدرج حبيبي جيدة، ومعامل نعومة مقبول يندرج ضمن النطاق الموصى به في المواصفات التقنية للرمل المستخدم في الخرسانة (عادةً بين 2.3 و 3.1). كما أن الكثافة الظاهرية لهذا الرمل وقابليته المحدودة لامتصاص الماء تجعل منه مرشحاً واعداً ليكون بديلاً جزئياً أو كلياً عن الرمال الطبيعية المستنزفة.

ومع أن الخصائص الجيدة لهذا الرمل تعزز من قابليته للاستخدام في الخلطات الخرسانية، إلا أن تحسين أدائه يمكن أن يتحقق بشكل أفضل عند مزجه بنسب صغيرة من رمل خشن نسبياً لزيادة التماسك الداخلي وتحسين قابلية التشغيل، إلا أن هذا الخيار غير متاح اقتصادياً في ضوء بُعد مواقع التوريد.

• التبرير الاقتصادي والتقني لاستخدام مزيج SDH-SPP

نظراً للقيود الاقتصادية المرتبطة بجلب أنواع رمال أخرى ذات حبيبات خشنة من مناطق بعيدة، فقد تم التركيز في هذا البحث على اعتماد رمل آبار البترول كمصدر أساسي للرمل، سواء بمفرده أو مخلوطاً بنسب صغيرة من رمل الكثبان (10% أو أقل). هذا التوجه يجمع بين الجدوى الاقتصادية وتلبية المعايير التقنية الدنيا لتكوين خلطة خرسانية قابلة للتنفيذ.

- خصائص الإسمنت المستخدم

تم اعتماد إسمنت بورتلاندي من النوع CEM I 42.5 N SR3 LH، والمصنَّع من قبل شركة "البسكرية للإسمنت" (ولاية بسكرة). يتميز هذا الإسمنت بمقاومة محسنة للكبريتات، وهو من النوع منخفض حرارة الإماهة (faible chaleur d'hydratation)، مما يجعله ملائمًا للعمل في البيئات الحارة والمناطق المعرضة للهجوم الكبريتي، مثل المناطق الصحراوية. كما أن بطء تفاعل الإماهة يسمح بتطور متدرج في مقاومة الخرسانة، مما يُحسن من خصائصها طويلة الأمد.

- مصدر الماء ونسب المكونات

الماء المستخدم في عمليات الخلط والمعالجة هو ماء صالح للشرب، مأخوذ من شبكة مخبر الهندسة المدنية بالجامعة، ما يضمن توافقه مع المعايير الدولية لماء خلط الخرسانة.

فيما يخص التركيبة، فقد تم اعتماد النسبة التقليدية للملاط الإسمنتي: جزء واحد من الإسمنت إلى ثلاثة أجزاء من الرمل (1:3). أما نسبة الماء إلى الإسمنت فقد حُدِّدت وفق نتائج تجارب القابلية للتشغيل (workability) كما يلي:

0.6 لخلطات تحتوي على رمل الكثبان الصحراوية بسبب ارتفاع قدرة الامتصاص وميلها إلى زيادة اللزوجة.

0.55 لخلطات رمل آبار البترول والمخلوطة، بما يحقق توازنًا بين قابلية التشغيل والكثافة الطازجة.

الفصل الرابع:

مختلف سلوك الخرسانة

المدرسة

الفصل الرابع : مختلف سلوك الخرسانة المدروسة

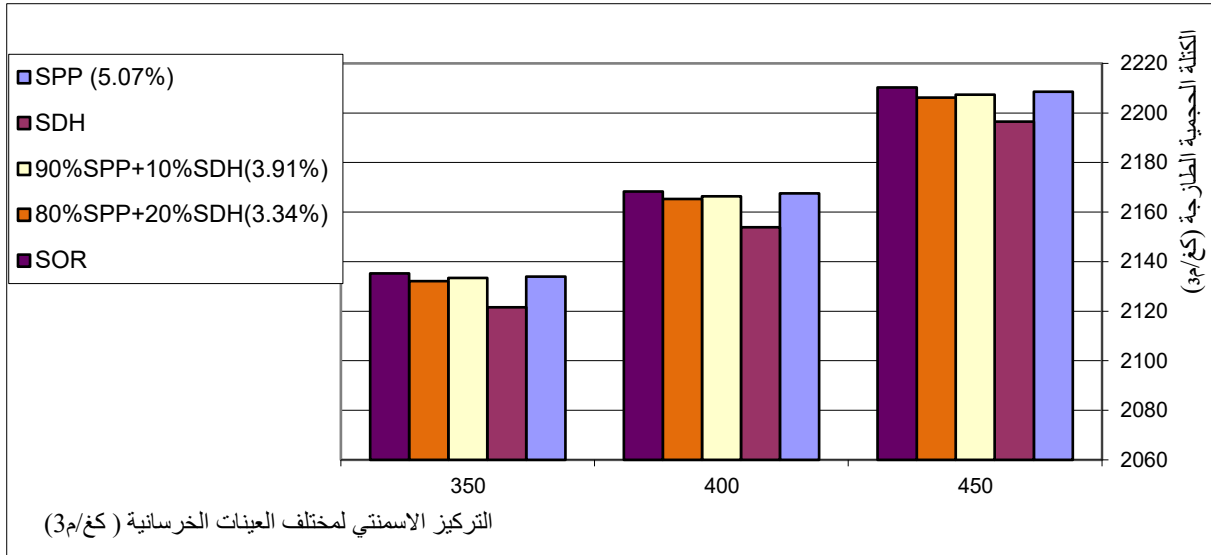
IV. 1. مدخل:

تُعد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية من أبرز السمات التي تُميز مادة معينة عن غيرها من المواد أو المركبات المشابهة. وبعد أن تم التعريف بخرسانة الرمل، واستعراض خلفية موجزة حول تاريخها وخصائصها العامة، بالإضافة إلى تحديد التركيبة المثلى المعتمدة في هذه الدراسة، يُخصص هذا الفصل لعرض الخصائص الميكانيكية لخرسانة الرمل.

سُركز على الكتلة الحجمية الطازجة والكتلة الحجمية المتصلبة عند أعمار مختلفة هي: 1، 7، 28 و60 يوماً ومقاومة الضغط والانحناء في الأعمار التالية: 7، 28، 60، 90 و180 يوماً. كما سيتم تحليل تطور الانكماش خلال فترات المعاينة: 2، 7، 14، 21، 28 و60 يوماً. إضافة إلى ذلك، تم إجراء اختبارات لقياس سرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية في الخرسانة. وأخيراً، يتناول هذا الفصل أيضاً سلوك خرسانة الرمل ودرجة ديمومتها عند تعرّضها إلى وسط عدواني حامضي، حيث تم تتبع التغيرات في الكتلة الحجمية، النفاذية، إلى جانب ملاحظات بصرية ومجهرية إلكترونية تم تسجيلها خلال فترة التعرض.

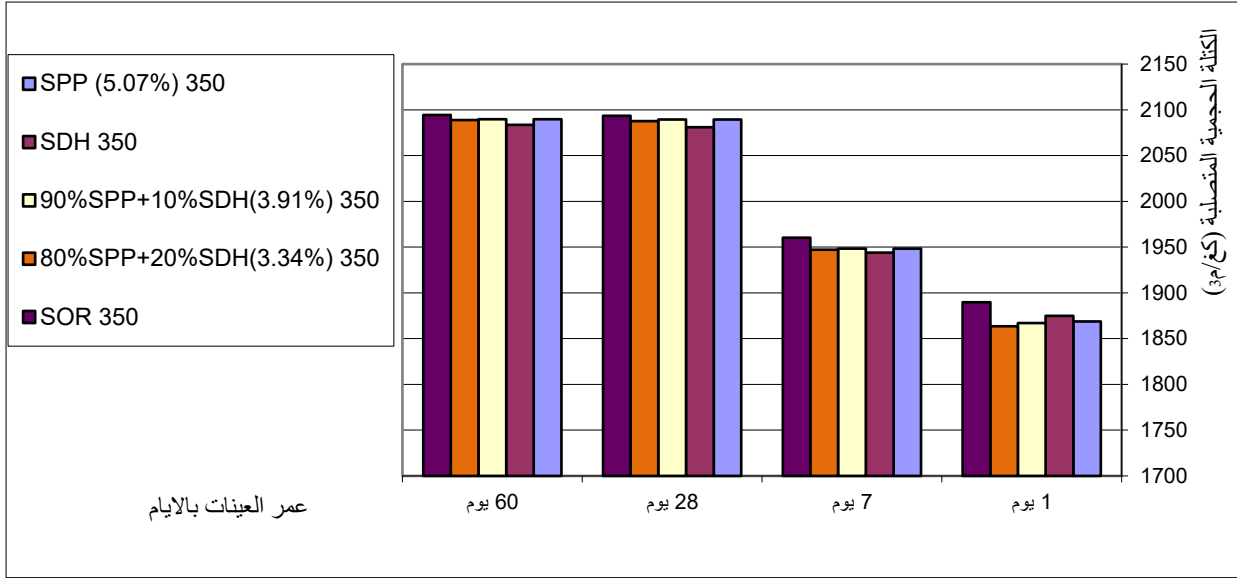
IV. 2. نتائج الكتلة الحجمية:

IV. 2.1 نتائج الكتلة الحجمية الطازجة:

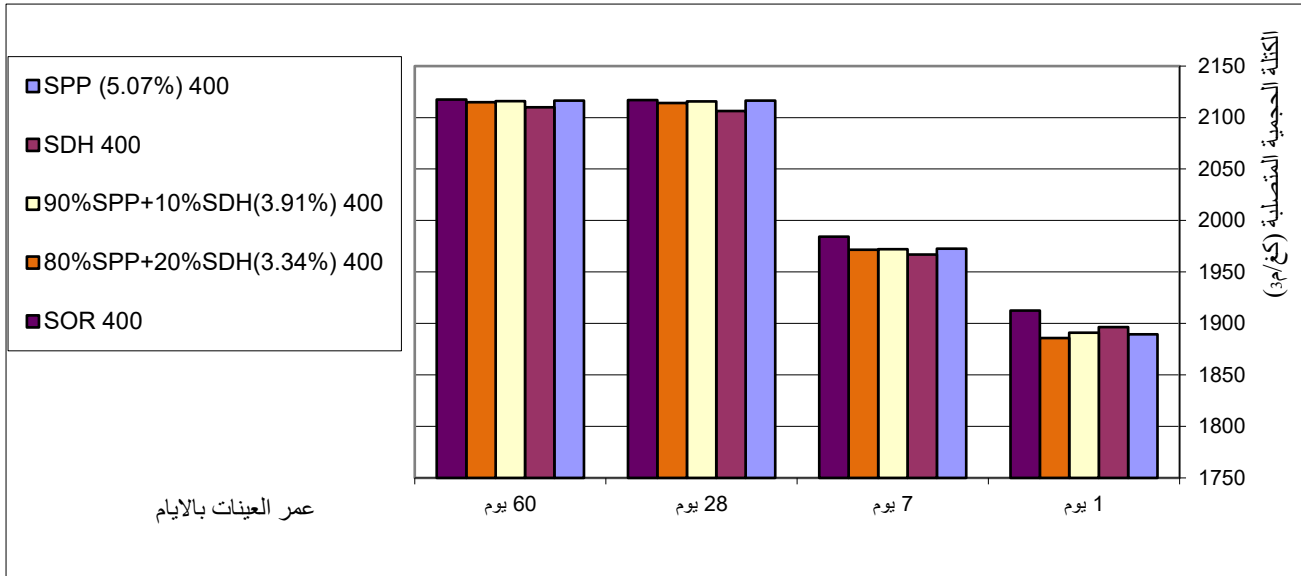


الشكل 1.IV نتائج الكتلة الحجمية الطازجة لخرسانة الرمل المختلفة حسب التركيز الاسمنتي

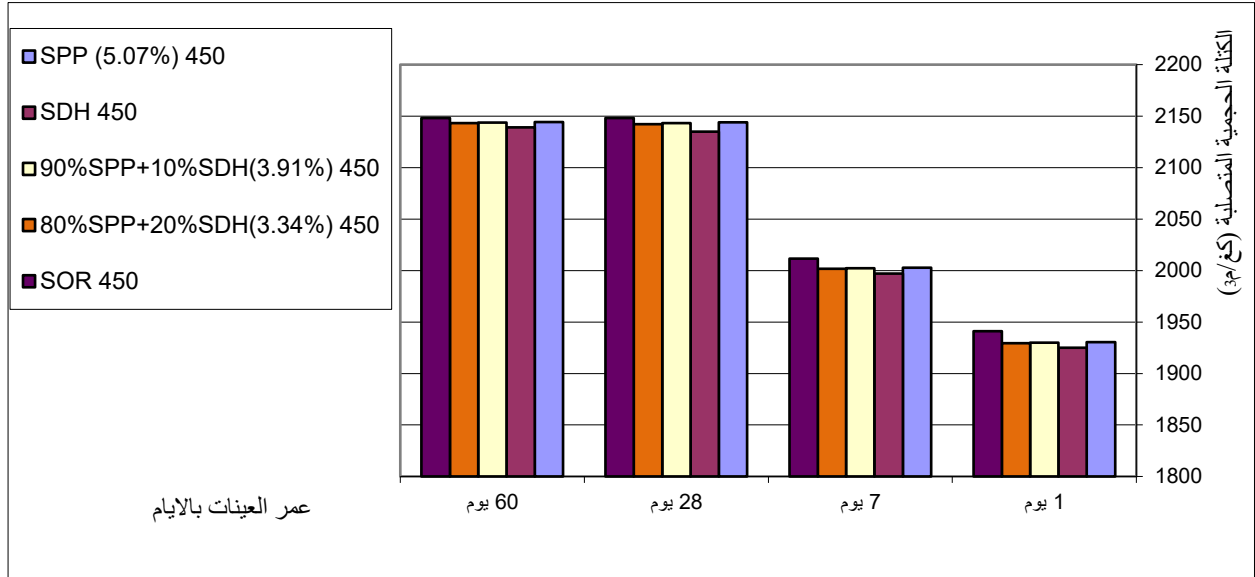
2.2.IV نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة:



الشكل 2.IV نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة لخرسانة الرمل المختلفة حسب العمر للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³



الشكل 3.IV نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة لخرسانة الرمل المختلفة حسب العمر للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³



الشكل 4.IV نتائج الكتلة الحجمية المتصلبة لخرسانة الرمل المختلفة حسب العمر للتركيز الاسمتي 450 كغ/م³

3.2.IV مناقشة نتائج الكتلة الحجمية الطازجة والمتصلبة:

تشير النتائج المخبرية إلى أن الخصائص الكثافية لخرسانة الرمل المدروسة، سواء في حالتها الطازجة أو المتصلدة، أظهرت أداءً ثابتاً ومتوازناً عبر مختلف التركيبات ونسب الإسمنت، مع تفوق واضح لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) بنسبته الكاملة أو عند خلطه بنسب متفاوتة مع رمل الكتبان الصحراوية (SDH).

أولاً: الكثافة الطازجة وتأثير نوع الرمل

سجلت خرسانة SPP أعلى القيم في الكثافة الطازجة، بلغت 2208.6 كغ/م³ عند تركيز إسمتي 450 كغ/م³، تليها خلطات 90% SPP + 10% SDH (2207.4 كغ/م³) و 80% SPP + 20% SDH (2206.2 كغ/م³). هذا التدرج الطفيف يؤكد أن خصائص SPP الفيزيائية (مثل التدرج الحبيبي الجيد والكثافة الظاهرية المرتفعة) هي المسيطر الفعلي على بنية الخلطة [204]، بينما يظل تأثير رمل الكتبان محدوداً ضمن هذه النسب.

تجدر الإشارة إلى أن رمل الكتبان يتميز بكثافة ظاهرية متقاربة، لكنه يمتلك مسامية ونفاذية عاليتين نسبياً، بالإضافة إلى قدرة امتصاص مرتفعة للماء [205]. إلا أن نسب الدمج المحدودة (10-20%) لم تكن كافية لإحداث اضطراب في توزيع العجينة الإسمنتية أو لخفض الكثافة الطازجة بشكل ملحوظ، مما يدل على اندماج فعال للمواد داخل الخلطة.

أما الرمل الطبيعي (SOR) فقد سجل كثافة طازجة تقارب 2210.3 كغ/م^3 عند تركيز 450 كغ/م^3 ، وهي أعلى بقليل من خرسانة SPP ، إلا أن محدودية توفر هذا الرمل في بعض المناطق تجعل من SPP خيارًا محليًا واعدًا وأكثر استدامة [206] .

ثانيًا: تطور الكثافة المتصلدة مع الزمن والتركيز الإسمنتي

عند دراسة الكثافة المتصلدة على مدى 1، 7، 28، و60 يومًا، أظهرت جميع التركيبات المعتمدة على SPP (نقي أو مخلوط) تطورًا ثابتًا ومتصاعدًا في الكثافة. بلغت الكثافة المتصلدة لخرسانة SPP عند تركيز 450 كغ/م^3 ما يقارب 1930.49 كغ/م^3 في اليوم الأول، لترتفع إلى 2144.16 كغ/م^3 في اليوم 60، بنسبة تطور تقارب 11%. ويُعزى هذا التحسن إلى استمرار تفاعلات الإماهة وتكوين مركبات CSH التي تملأ الفراغات وتحسن التراص الداخلي [165] .

سلوك مشابه سُجل في خلطات 90% و 80% من SPP ، حيث كانت القيم النهائية في اليوم 60 قريبة جدًا (2143.65 و 2143.15 كغ/م^3 على التوالي). هذا يدل على أن رمل آبار البترول يُساهم بفعالية في الحفاظ على تماسك الخلطة حتى مع وجود رمل كثباني بنسبة بسيطة.

من ناحية أخرى، أظهرت خرسانة SDH كثافة متصلدة أقل عبر الأعمار كافة، مما يعكس أثر النفاذية العالية وقدرة الامتصاص الكبيرة، وهو ما يقلل من فعالية ترصّ العجينة [205] . أما الرمل النهري فقد تفوق نسبيًا في كل الأعمار، حيث بلغ 2148.20 كغ/م^3 في اليوم 60 عند تركيز 450 كغ/م^3 .

ثالثًا: أثر التركيز الإسمنتي

عند الانتقال من تركيز 450 إلى 400 ثم 350 كغ/م^3 ، سجلت كل التركيبات انخفاضًا تدريجيًا في الكثافة الطازجة والمتصلدة. غير أن الانخفاض لم يكن خطيًا تمامًا، خاصة في الخلطات الغنية بـ SPP ، ما يشير إلى قدرة هذا الرمل على تعويض جزئي عن نقصان كمية العجينة الإسمنتية بسبب خواصه التراصية الجيدة [204] .

مثلًا، في حالة SPP:

- الكثافة في اليوم 60 عند $450 \text{ كغ/م}^3 = 2144.16 \text{ كغ/م}^3$
- عند $400 \text{ كغ/م}^3 = 2116.52 \text{ كغ/م}^3$
- عند $350 \text{ كغ/م}^3 = 2089.66 \text{ كغ/م}^3$

الانخفاض كان منتظمًا لكنه محدود نسبيًا، مما يدل على توازن الخلطة.

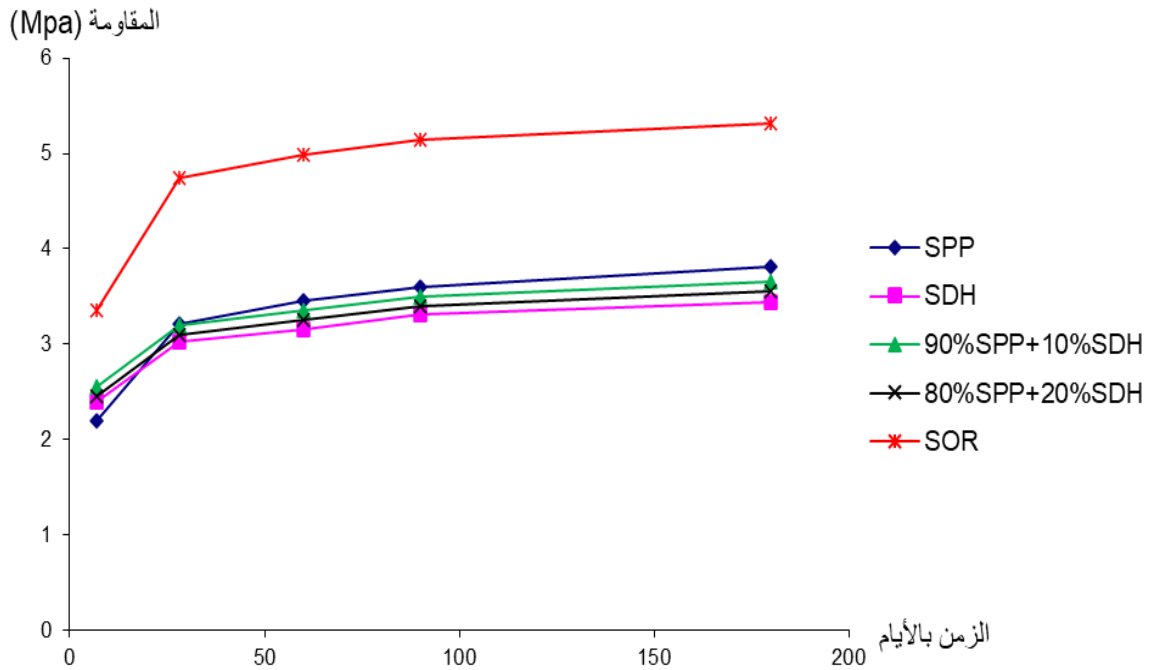
ختاماً نستطيع القول أن النتائج تُبرز أهمية رمل آبار البترول كبديل محلي فعال ومستقر في الأداء سواء في الحالة الطازجة أو المتصلدة. كما أن دمجها بنسب معتدلة مع رمل الكثبان لا يؤدي إلى تدهور الخصائص الكثافية للخرسانة. بل على العكس، يسمح بالحفاظ على الكثافة ضمن حدود مقبولة وفق المعايير العالمية [206] ، مع تحسين الاستفادة من الموارد المحلية.

لذلك، يُعد SPP خياراً مستداماً وعملياً في إنتاج خرسانة ذات أداء مستقر، خاصة في المناطق الصحراوية أو الصناعية حيث يتوفر هذا المورد بكثرة.

IV. 3. نتائج مقاومة الانحناء:

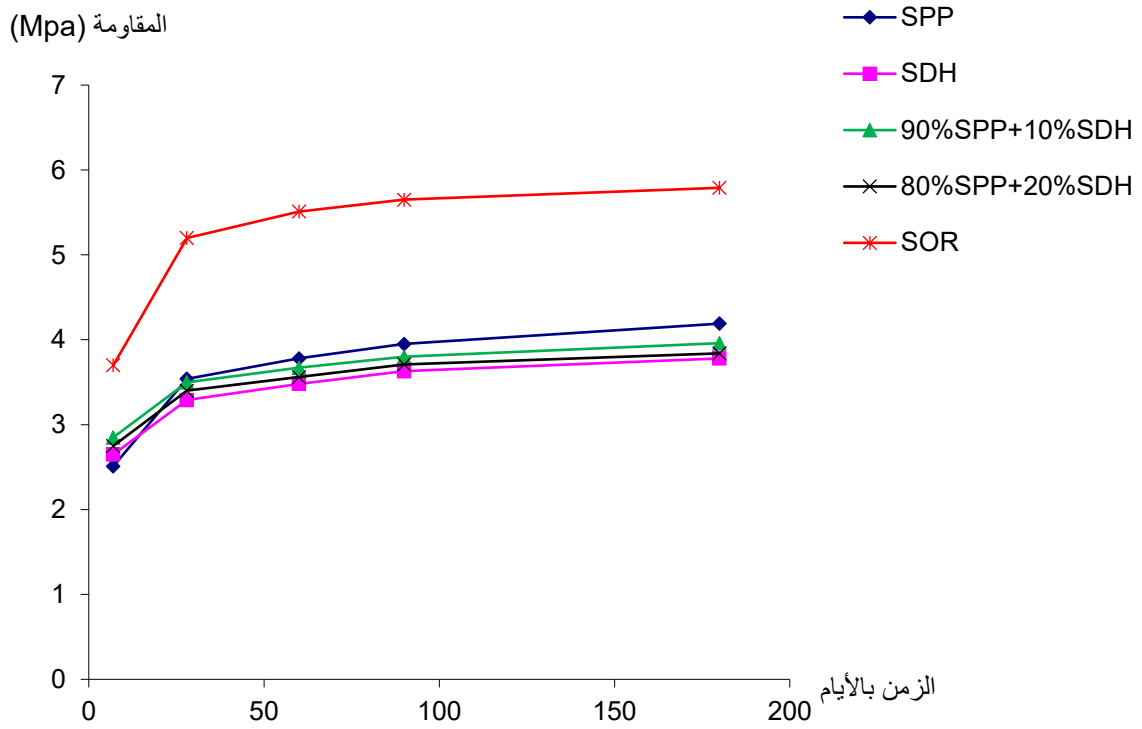
IV. 1.3. تأثير نوع وتركيبية الرمل:

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³

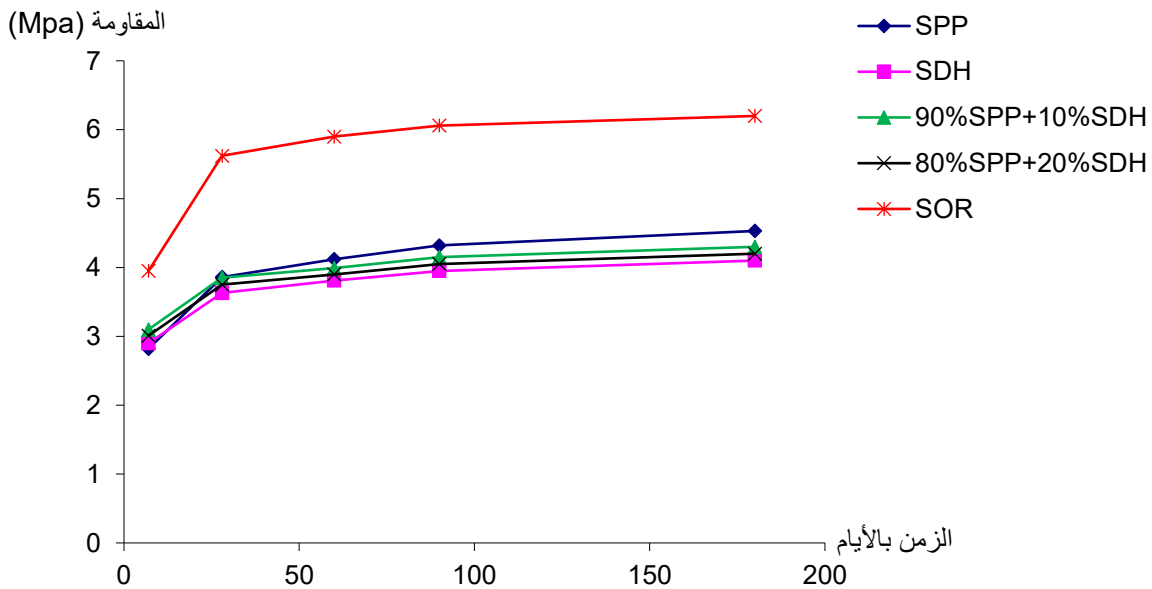


الشكل 5.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي

350كغ/م³

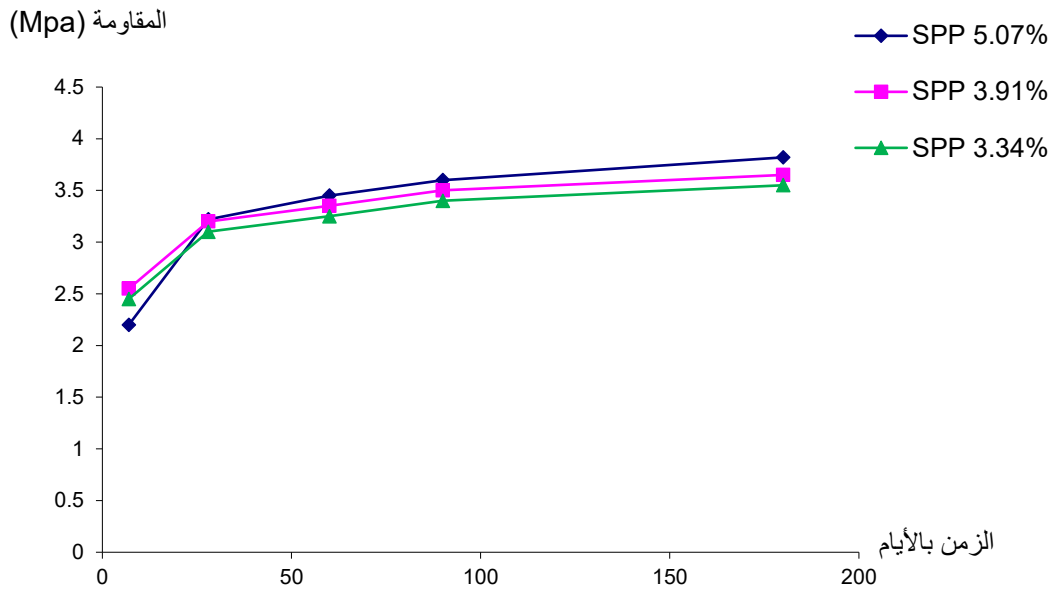


الشكل 6.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³

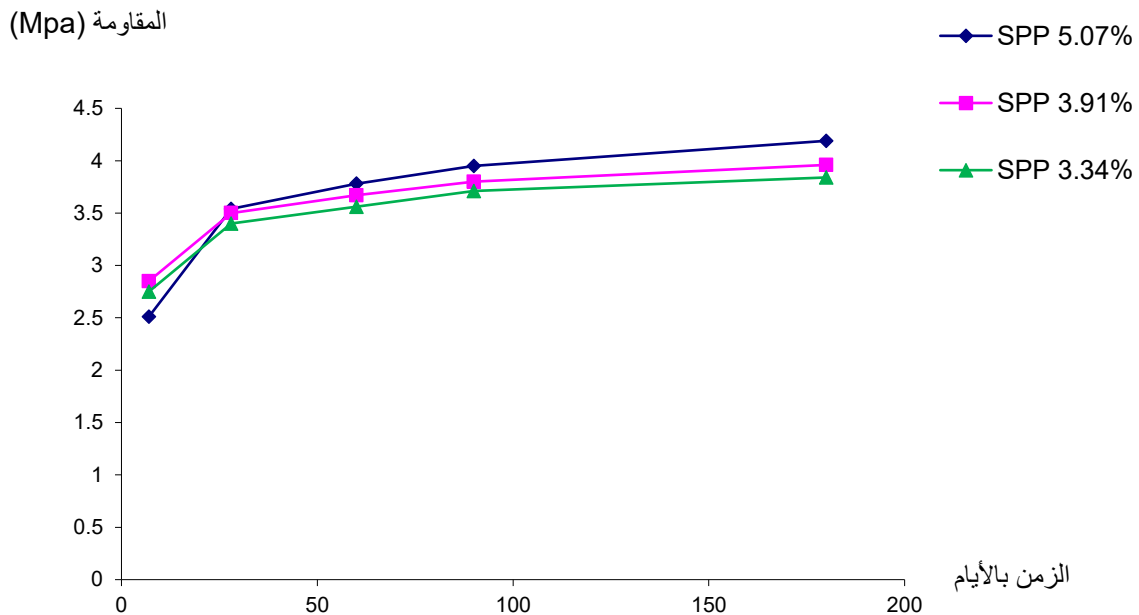


الشكل 7.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 450كغ/م³.

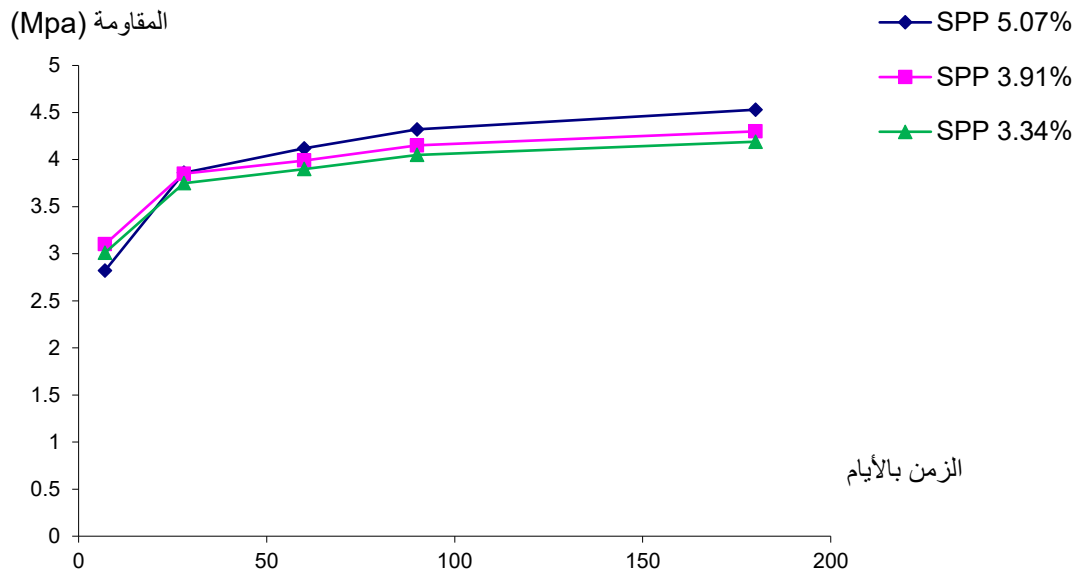
2.3.IV تأثير محتوى الزيت في الرمل:



الشكل 8.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل أبار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³



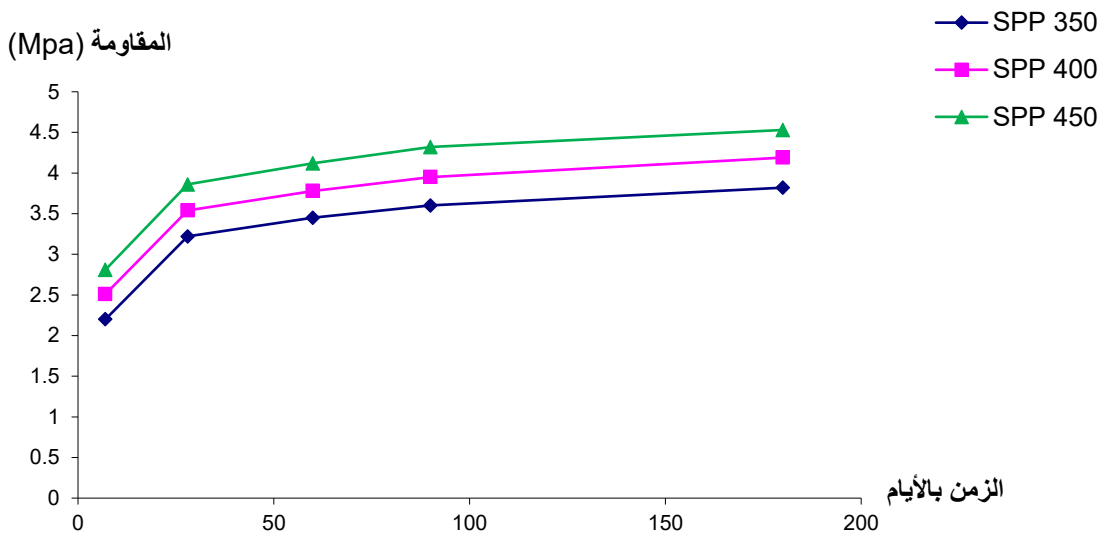
الشكل 9.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل أبار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³



الشكل 10.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمنتي 450كغ/م³

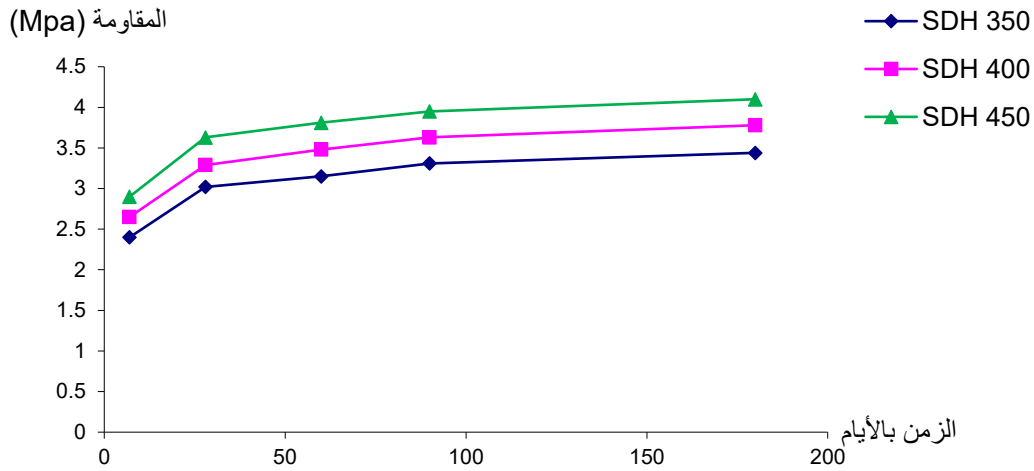
3.3.IV تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه:

1.3.3.IV رمل آبار البترول (SPP) :



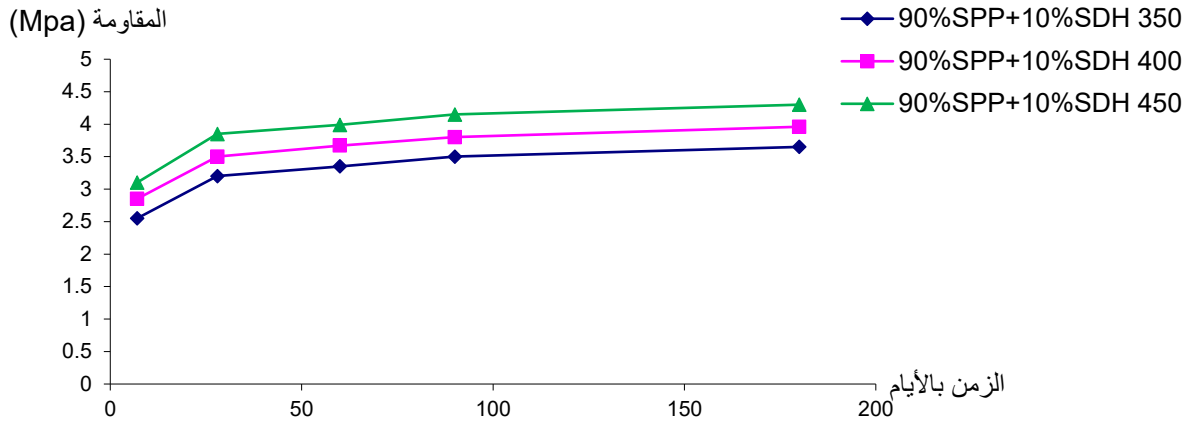
الشكل 11.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول حسب تركيز الاسمنت

2.3.3.IV رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود (SDH) :



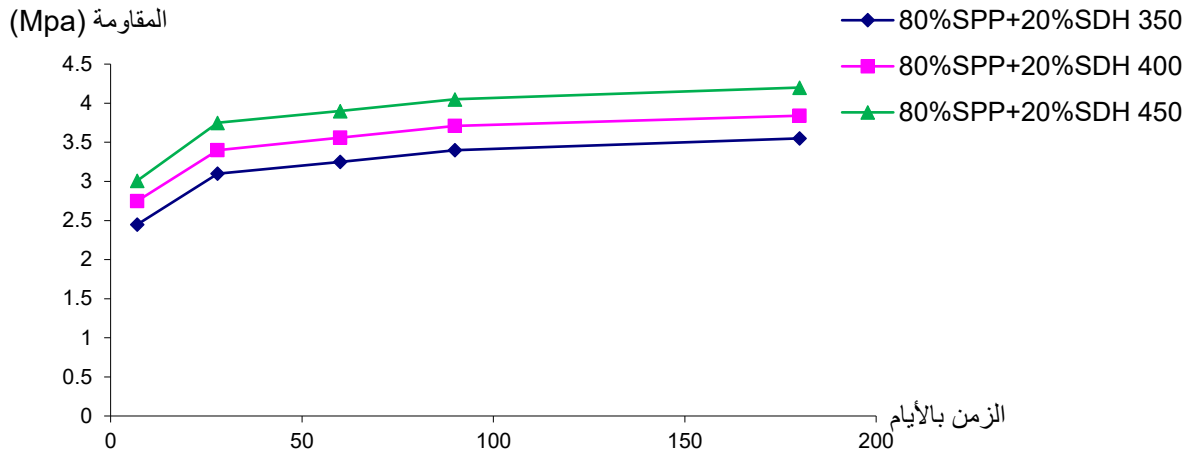
الشكل 12.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود حسب تركيز الاسمنت

3.3.3.IV الرمل المخلوط 90% رمل آبار البترول (SPP) + 10% رمل الكثبان المجاور (SDH) :



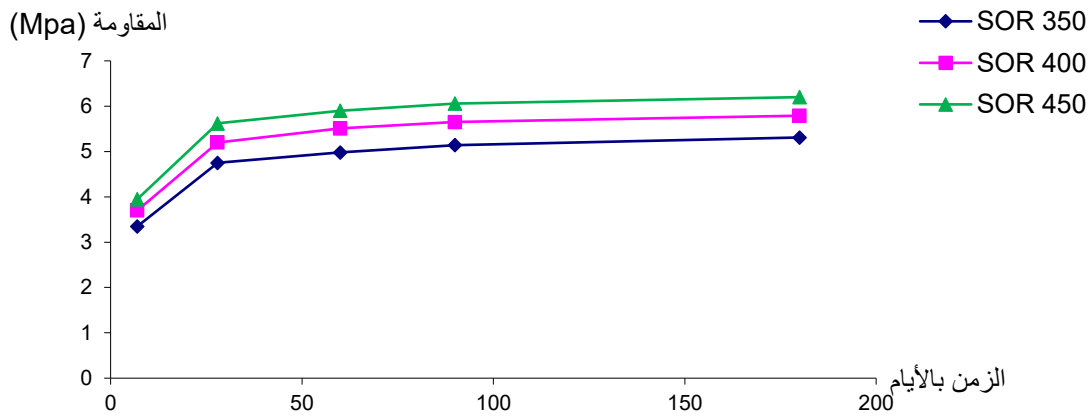
الشكل 13.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل المخلوط 90% رمل آبار البترول (SPP) + 10% رمل الكثبان المجاور (SDH) حسب تركيز الاسمنت

4.3.3.IV الرمل المخلوط 80 % رمل آبار البترول (SPP)+20% رمل الكثبان المجاور (SDH) :



الشكل 14.IV منحني نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل المخلوط 80 % رمل آبار البترول (SPP) + 20 % رمل الكثبان المجاور (SDH) حسب تركيز الاسمنت

5.3.3.IV الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR) :



الشكل 15.IV منحني نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل النهري لمنطقة واد الرتام (SOR) حسب تركيز الاسمنت

4.3.IV مناقشة نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المختلفة :

إن الهدف المرجو من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير نوع الرمل وتركيبته وخصائصه على مقاومة الخرسانات المختلفة للانحناء مع التركيز على خرسانة رمل ابار البترول وبعد الحصول على النتائج ومقارنتها مع بعضها فإنه تبين لنا حسب :

أ - تأثير نوع وتركيبية الرمل

. أظهرت نتائج مقاومة الانحناء أن خرسانة الرمل الطبيعي (SOR) سجلت أعلى القيم عمومًا، تليها خرسانة رمل آبار البترول النقي (SPP) ، ثم تركيبات المزج (90% SPP + 10% SDH) و (80% SPP + 20% SDH)، في حين سجلت خرسانة رمل الكثبان (SDH) أقل مقاومة للانحناء. يشير هذا الترتيب المتسق عبر التراكيز الثلاثة إلى أن نوع وتدرج الرمل يلعبان دورًا جوهريًا في الاستجابة للانحناء. فرمل الوديان يتميز بتدرج حبيبي ممتاز وصلابة سطحية تساعد على تماسك واسع مع العجينة الإسمنتية [150]. أما رمل الكثبان، الذي يحتوي على نسبة عالية من الحبيبات الدقيقة قطرها أكثر من 0.16 مم ، فإن مساميته العالية وغياب الحبيبات المتوسطة أو الخشنة أدت إلى ضعف ملحوظ في الأداء [151]

وقد أظهرت دراسة حديثة أن تحسين التدرج الحبيبي وزيادة النسبة المتدرجة بين الحبيبات يؤدي إلى رفع كثافة التعبئة وتقليل الفراغات، مما يعزز المتانة والقوة [152] بالنظر إلى خلطات SPP المختلطة، فقد أدت إضافة 10-20% من رمل الكثبان إلى تحسّن طفيف في مقاومة الانحناء عند الأعمار القصيرة (7 و 28 يومًا)، لكن دون تطور ملموس في الأعمار الطويلة (60-180 يومًا). وهذا يدل على أن فقط تعديل النسبة دون السيطرة على الفراغات الدقيقة لا يحقق أداء مستدامًا [153]

ب - تأثير محتوى الزيت في الرمل

تُظهر النتائج علاقة طردية عكسية بين نسبة الزيت في الرمل ومقاومة الانحناء. فالرمل الذي يحتوي على 5.07% زيت (SPP) أدى إلى انخفاض مقاومة الانحناء مقارنة بالرمل المخلوط (3.91% و 3.34% زيت). يعود هذا إلى أن الزيت يشكل طبقة فاصلة تعيق تماسك العجينة مع سطح الحبيبات، وتمنع تطور الروابط الميكانيكية والكيميائية بشكل مثالي [154]. وقد أظهرت دراسات حديثة أن وجود الزيت أو المواد الهيدروكربونية على سطح الرمل يقلل من قدرة الترابط ويضعف بنية الجيل C-S-H المتكون [155].

ومع ذلك، عند ارتفاع التركيز الإسمنتي إلى 450 كغ/م³، تمكنت العجينة الإسمنتية الغنية من تجاوز تأثير الزيت عبر تغليف الحبيبات بشكل أفضل، مما يفسر التحسن النسبي في مقاومة خرسانة SPP النقية في هذه الحالة [156].

ج - تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه

التحليل المقارن بين التراكيز (350، 400، و450 كغ/م³) يُظهر أن تأثير الزيت أكثر حدة عند تركيز إسمنتي منخفض. فعند 350 كغ/م³، تكون كمية العجينة الإسمنتية محدودة، ولا تستطيع تعويض ضعف الالتصاق بسبب الزيت، مما يؤدي إلى مقاومة انحناء ضعيفة [157]. بالمقابل، عند 450 كغ/م³، يصبح النظام غنياً بالعجينة، وتتحسن قدرة المادة على ربط الحبيبات، حتى في وجود الزيت، بشرط أن لا تكون نسبته مفرطة.

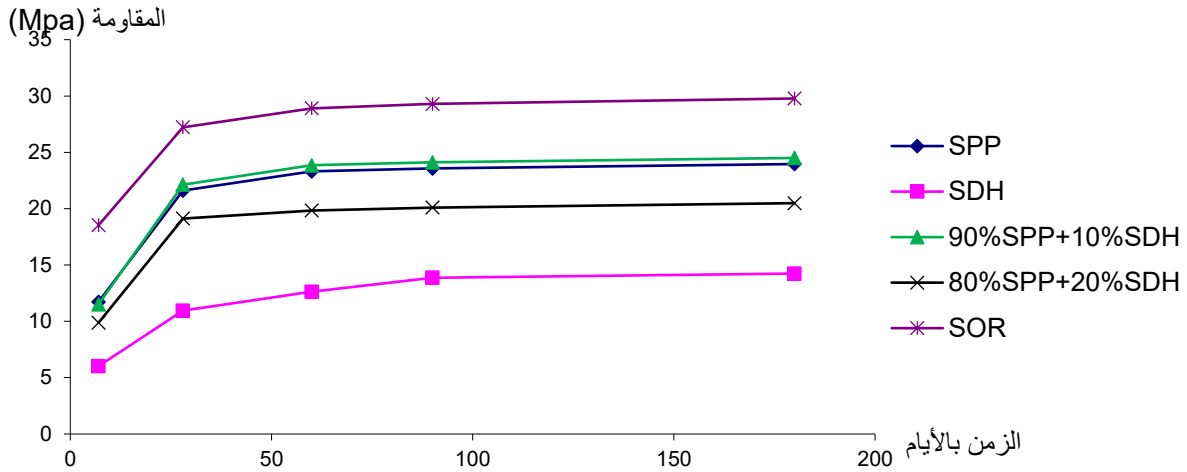
في الخلطات ذات النسبة المنخفضة من الزيت (3.34%–3.91%)، فإن الأداء يكون أكثر استقراراً عند التراكيز المتوسطة، لكنه لا يسجل طفرات كبيرة عند 450 كغ/م³، مما يدل على أن العامل المحدد هنا لم يعد الزيت فقط، بل أصبح أيضاً مرتبطاً بخصائص رمل الكثبان المدرج في الخلطة، خاصة من حيث النعومة والفراغات المجهرية [158]. تشير الدراسة إلى أن رمل آبار البترول يمكن أن يكون مادة ملائمة للخرسانة إذا ما استعمل ضمن شروط معينة. فعند التركيز الإسمنتي العالي (450 كغ/م³)، يمكن للعجينة الإسمنتية أن تعالج نسب الزيت العالية عبر التغليف والارتباط الجيد، مما يحقق مقاومات ميكانيكية محترمة. أما عند التركيزات المنخفضة، فيُفضل استعمال رمل مخلوط بنسبة زيت أقل، لكن مع تحسين التدرج الحبيبي لتفادي المسامية الزائدة.

وبالتالي، فإن التحكم في نسبة الزيت المتبقية، والتدرج الحبيبي للرمل، والتركيز الإسمنتي، يمثل ثلاثة متكاملة تُحدد نجاح استخدام رمل آبار البترول في التطبيقات الخرسانية. ويمكن الاستفادة من هذا النوع من الرمال بطريقة اقتصادية وبيئية بشرط المعالجة المسبقة والتصميم الجيد للخلطة [159].

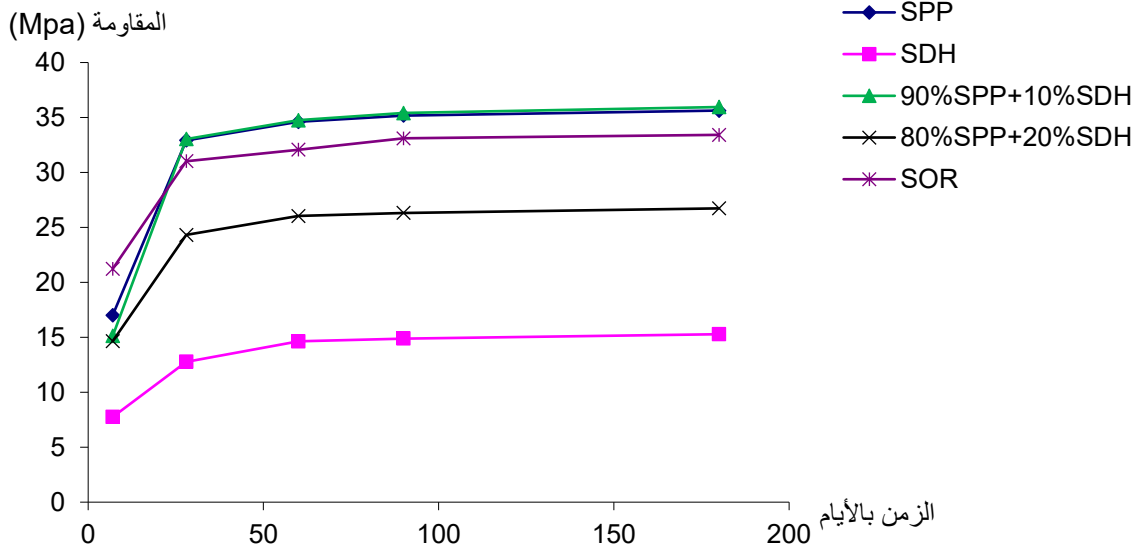
IV. 4. نتائج مقاومة الضغط:

1.4.IV تأثير نوع وتركيبية الرمل:

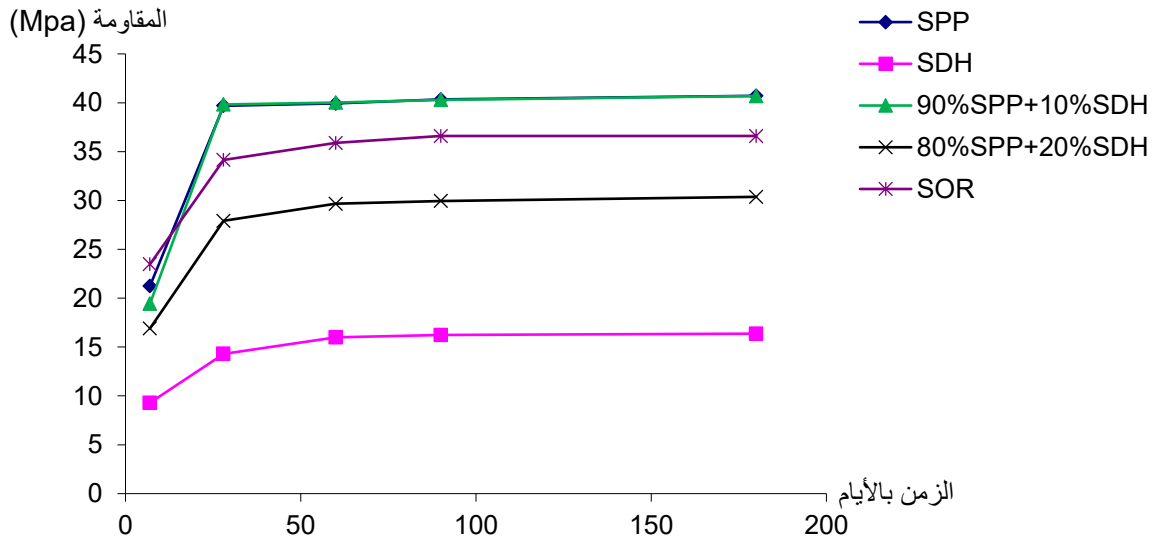
- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³



الشكل 16.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 350كغ/م³

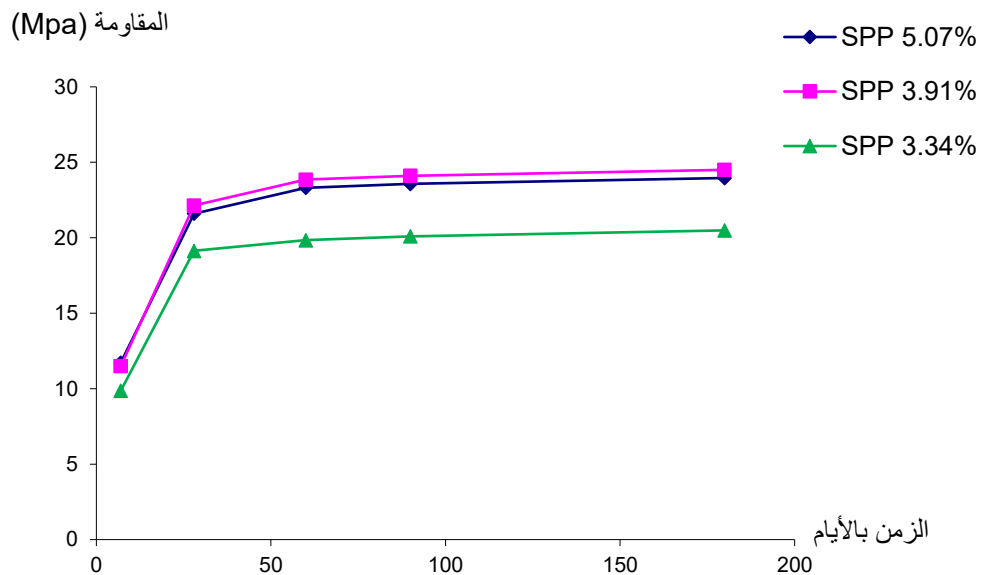


الشكل 17.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 400كغ/م³

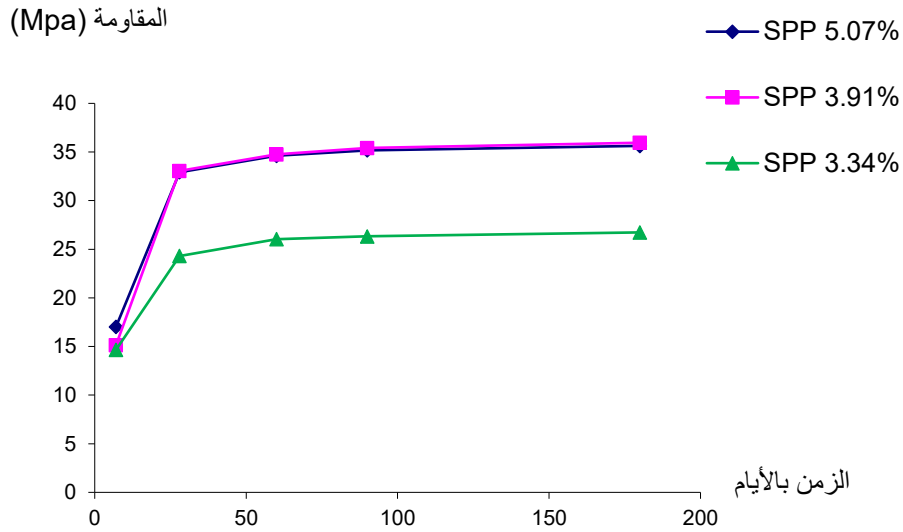


الشكل 18.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع و تركيبة الرمل للتركيز الاسمطي 450كغ/م³

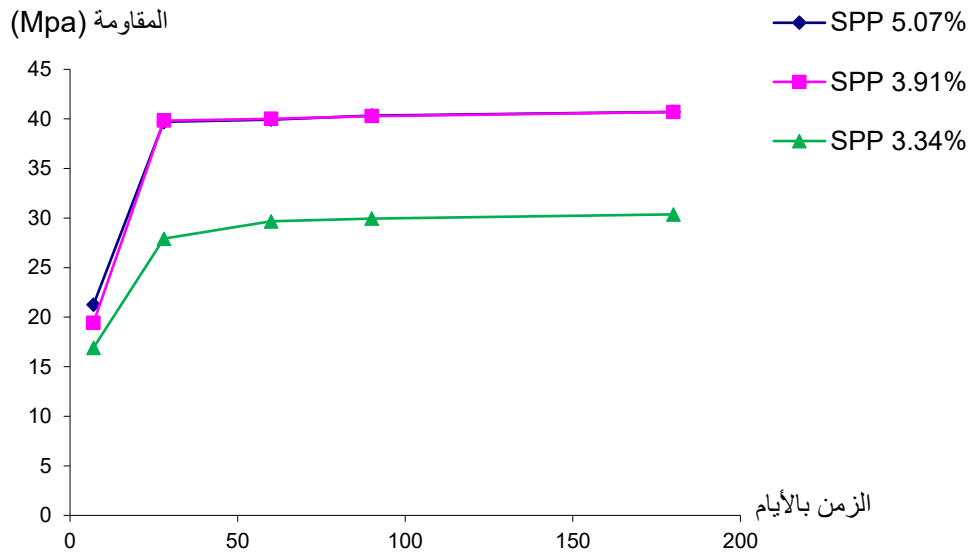
2.4.IV تأثير محتوى الزيت في الرمل:



الشكل 19.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمطي 350كغ/م³



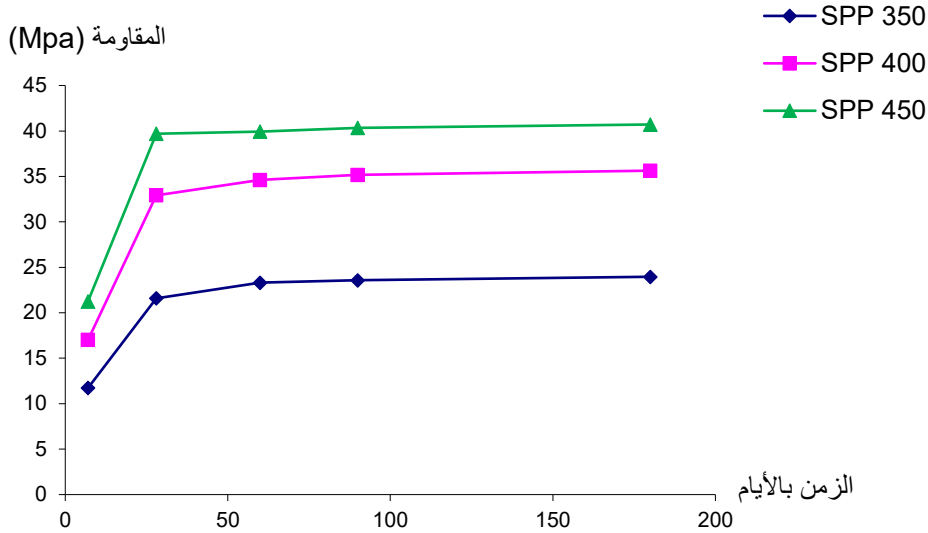
الشكل 20.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمطي 400كغ/م³



الشكل 21.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل ابار البترول حسب محتوى الزيت للتركيز الاسمطي 450كغ/م³

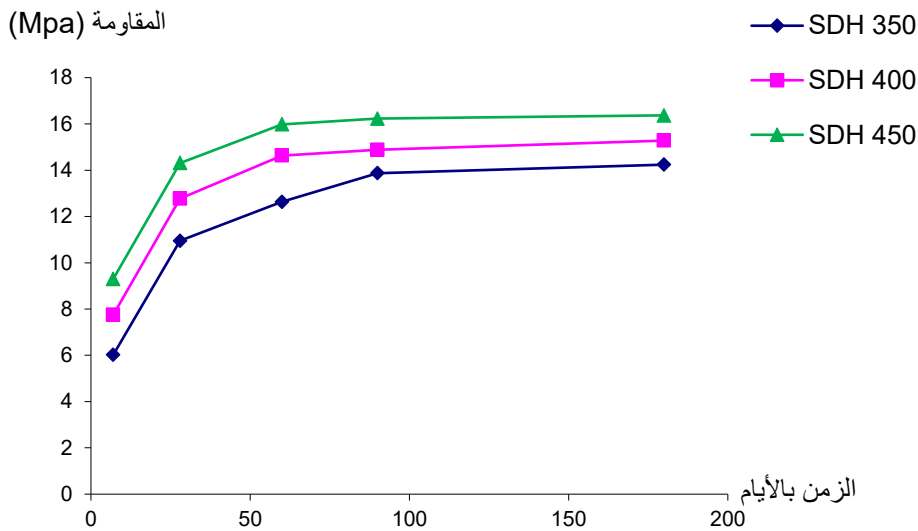
3.4.IV تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه:

1.3.4.IV رمل آبار البترول (SPP) :



الشكل 22.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول حسب تركيز الاسمنت

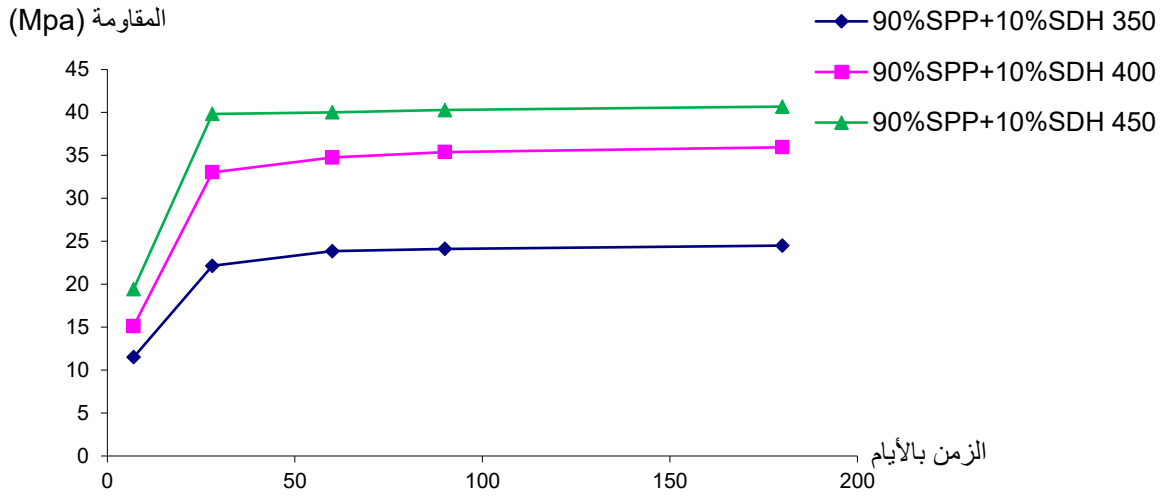
2.3.4.IV رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود (SDH) :



الشكل 23.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل الكثبان لمنطقة حاسي مسعود حسب تركيز

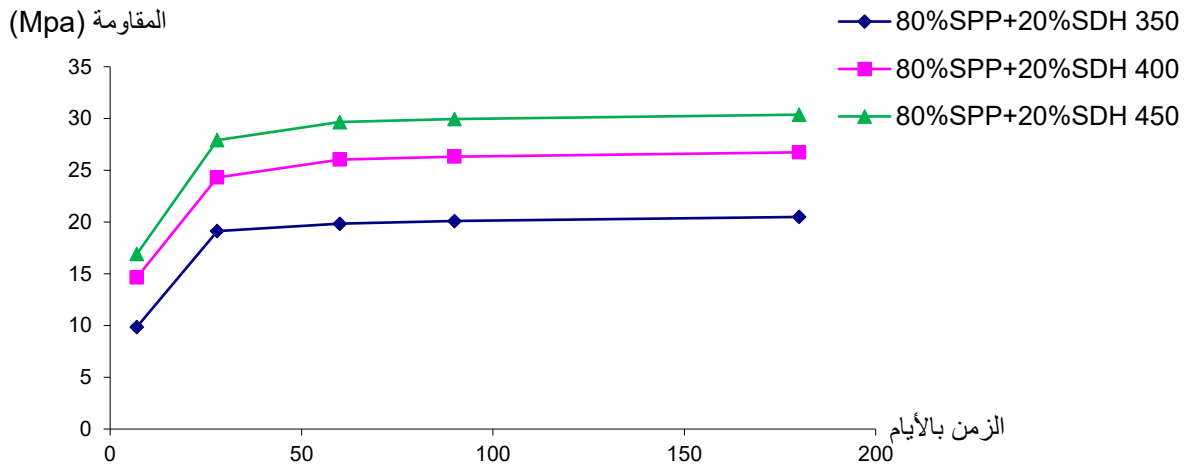
الاسمنت

3.3.4.IV الرمل المخلوط 90 % رمل آبار البترول (SPP) + 10 % رمل الكثبان المجاور (SDH) :



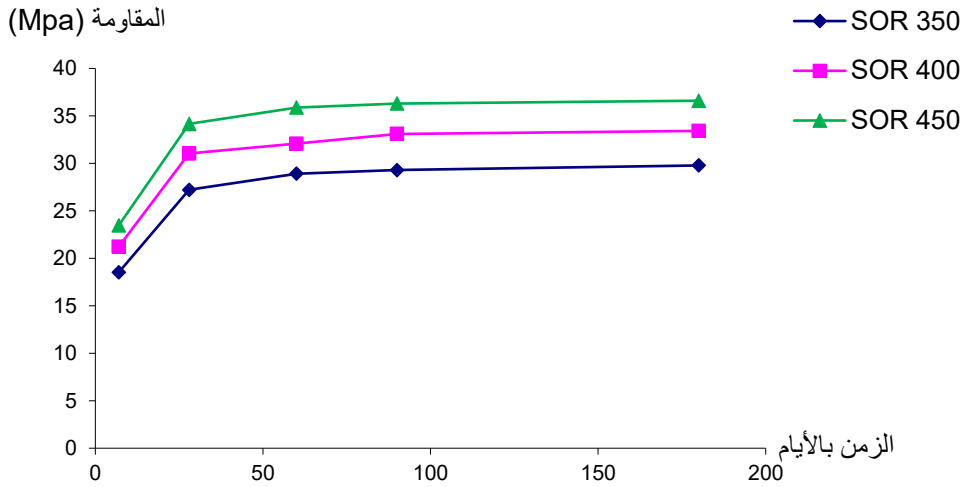
الشكل 24.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المخلوط 90 % رمل آبار البترول (SPP) + 10 % رمل الكثبان المجاور (SDH) حسب تركيز الاسمنت

4.3.4.IV الرمل المخلوط 80 % رمل آبار البترول (SPP) + 20 % رمل الكثبان المجاور (SDH) :



الشكل 25.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المخلوط 80 % رمل آبار البترول (SPP) + 20 % رمل الكثبان المجاور (SDH) حسب تركيز الاسمنت

5.3.4.IV الرمل الطبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR) :



الشكل 26.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل النهري لمنطقة واد الرتام (SOR) حسب تركيز الاسمنت

4.4.IV مناقشة نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المختلفة :

إن الهدف المرجو من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير نوع الرمل وتركيبته وخصائصه على مقاومة الخرسانات المختلفة للضغط مع التركيز على خرسانة رمل ابار البترول وبعد الحصول على النتائج ومقارنتها مع بعضها البعض فإنه تبيّن لنا حسب :

أ - تأثير نوع وتركيبية الرمل

أظهرت النتائج أن نوع الرمل وتركيبته لهما تأثير حاسم على تطور مقاومة الضغط للخرسانة. فقد سجّل رمل أبار البترول (SPP) أعلى القيم بشكل عام، خاصة عند التركيزات 400 و450 كغ/م³، حيث تجاوزت مقاومة الضغط 40 ميغاباسكال بعد 180 يومًا. هذا يعكس جودة التدرج الحبيبي والانضغاطية العالية لهذا النوع من الرمل [160]. أما رمل الكتبان الصحراوية (SDH) فقد أظهر مقاومة ضغط متدنية نسبيًا في جميع الأعمار، مما يعزى إلى ضعف التدرج الحبيبي وارتفاع نسبة الحبيبات الناعمة جدًا، ما يقلل من تماسك المزيج الخرساني [161].

أما الخلطات الثنائية (90% SPP + 10% SDH) و(80% SPP + 20% SDH)، فقد أبانت عن نتائج وسطية بين SPP و SDH. عند نسبة 10% من SDH، بقي الأداء قريباً من SPP النقي، في حين سجل انخفاضاً ملحوظاً عند نسبة 20%، خاصة عند التركيز 400 كغ/م³، مما يبرز ضرورة تحديد النسبة المثلى عند استخدام رمل الكتبان لتفادي تدهور الخصائص الميكانيكية [162].

من جهة أخرى، أظهر الرمل الطبيعي (SOR) أداءً مستقرًا ومتوازنًا، إذ تجاوزت مقاومة الضغط 33 ميغاباسكال بعد 180 يومًا عند التركيز 400 و450 كغ/م³. ورغم أنه لم يتفوق على SPP، إلا أنه حافظ على أداء أفضل من SDH وخلائطه، مما يجعله مادة مرجعية مناسبة من حيث الثبات والموثوقية [163].

ب - تأثير محتوى الزيت في الرمل

تشير نتائج مقاومة الضغط إلى أن وجود الزيت ضمن رمل آبار البترول (SPP) بنسبة تقديرية تقارب 5% لم يؤثر سلبًا على تطور مقاومة الخرسانة بشكل مباشر. بل على العكس، حافظ هذا الرمل على أداء ميكانيكي ممتاز خاصة في التركيزات العليا (400 و450 كغ/م³)، حيث تجاوزت مقاومة الضغط 35 ميغاباسكال بعد 28 يومًا ووصلت إلى أكثر من 40 ميغاباسكال بعد 180 يومًا [160]. هذا يعكس أن الكمية البسيطة من الزيت قد تكون موزعة على سطح الحبيبات دون أن تشكل طبقة عازلة تمنع الترابط بين العجينة الأسمنتية والركام، خصوصًا إذا تم الخلط الجيد والدمك الكافي [163]. ومع ذلك، يجب الإشارة إلى أن الزيت الموجود في الرمال قد يؤدي في بعض الحالات إلى انخفاض طفيف في مقاومة الانضغاط الأولية (خلال الأيام الأولى)، وهو ما لوحظ بشكل نسبي عند التركيز 350 كغ/م³، مما قد يعود إلى تأخر في الإماهة بسبب الطبقة العضوية الرقيقة [164]. أما في الخلطات التي تحتوي على نسب عالية من رمل الكتبان (SDH) إلى جانب SPP، فإن التأثيرات التداخلية للزيت وضعف التدرج الحبيبي قد تُصعب التفسير الدقيق لكل عامل على حدة [165].

بشكل عام، يمكن القول إن وجود الزيت بنسبة منخفضة لم يكن له تأثير سلبي واضح في سياق هذه الدراسة، وهو ما يتماشى مع بعض الدراسات التي وجدت أن النسب المحدودة من الملوثات العضوية لا تعيق دائمًا خصائص الخرسانة متى توفرت ظروف خلط ومعالجة جيدة [161].

ج - تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه

أظهرت النتائج أن زيادة تركيز الإسمنت من 350 إلى 450 كغ/م³ كان لها تأثير مباشر وإيجابي على مقاومة الضغط لجميع أنواع الرمل المستخدمة. فعلى سبيل المثال، عند استخدام رمل آبار البترول (SPP)، ارتفعت المقاومة بعد 28 يومًا من 21.6 ميغاباسكال إلى 39.7 ميغاباسكال مع زيادة التركيز الإسمنتي من 350 إلى 450 كغ/م³، أي ما يعادل تحسناً بنسبة تفوق 83%. وتكرر هذا الاتجاه التصاعدي أيضًا مع باقي التركيبات، مما يدل على أن رفع محتوى الإسمنت يوفر كمية أكبر من العجينة الإسمنتية التي تحيط بالركام وتملأ الفراغات، مما يعزز ترابط المكونات داخل الخلطة الخرسانية [160].

غير أن العلاقة بين التركيز الإسمنتي والمقاومة ليست خطية دائماً؛ ففي بعض الحالات، مثل خرسانة الرمل الطبيعي (SOR)، لوحظت زيادة مقاومة طفيفة نسبياً بين التركيزين 400 و450 كغ/م³ (من 31.03 إلى 34.15 ميغاباسكال فقط بعد 28 يوماً)، مما يشير إلى احتمال الوصول إلى حد تشبع المقاومة عند مستوى معين من الإسمنت [161]. كما أن التدرج الحبيبي الجيد والمسامية المنخفضة في رمل الوديان قد ساهمت في تحقيق مقاومة جيدة حتى دون الحاجة إلى كميات إسمنت عالية [163].

أما بالنسبة للخلطات التي تحتوي على رمل الكثبان (SDH)، فقد ظلت المقاومة منخفضة نسبياً حتى مع ارتفاع التركيز، ما يعكس أن ضعف التدرج الحبيبي وارتفاع نسبة الحبيبات الدقيقة يعوق الاستفادة الخلطة من زيادة محتوى الإسمنت، نظراً لزيادة سطح التماس المطلوب لتغليفه مما يستهلك عجينة إسمنتية أكبر دون مردود واضح في المقاومة [166].

وبناءً على هذه النتائج، يمكن القول إن رفع التركيز الإسمنتي يُعد خياراً فعالاً لتحسين مقاومة الخرسانة، بشرط أن يقترن بتركيبة رمل ذات جودة حبيبية مناسبة تسمح باستغلال كامل لقدرات الإسمنت دون هدر أو تشبع [167].

من خلال تحليل نتائج مقاومة الضغط للخرسانة الرملية عبر أعمار مختلفة (من 7 إلى 180 يوماً) وتراكيز إسمنتية متعددة (350، 400، 450 كغ/م³)، يمكن استخلاص عدة استنتاجات محورية:

أولاً، نوع الرمل وتركيبته كان له تأثير جوهري على أداء الخرسانة. حيث تفوق الرمل الطبيعي (SOR) في جميع الأعمار بفضل تدرجه الحبيبي الجيد وانخفاض نسبة الحبيبات الدقيقة، مما ساهم في تحسين الدمك وتقليل المسامية وزيادة التلاصق بين العجينة الإسمنتية والركام [160]. في المقابل، أظهر رمل آبار البترول (SPP) نتائج جيدة أيضاً، خاصة عند التركيزات الإسمنتية العالية، غير أن احتواءه على نسبة من المواد الدهنية قلل من تفاعلية سطح الحبيبات مع العجينة الإسمنتية، وهو ما انعكس سلباً على تطور المقاومة المبكر [163].

ثانياً، تركيبة الرمل المختلط (بنسبة 10% و20% من رمل الكثبان SDH المضاف إلى رمل آبار البترول) أظهرت تبايناً واضحاً. فعند نسبة 10%، استُفيد من تحسين التدرج الحبيبي بدون أن تؤثر سلباً حبيبات الكثبان الناعمة على الالتصاق، مما أدى إلى مقاومة تضاهي تلك المسجلة برمل آبار البترول النقي. أما عند نسبة 20%، فقد بدأت التأثيرات السلبية للتركيبية الحبيبية غير المتوازنة تظهر بوضوح، مضغفة بذلك المقاومة، خاصة في الأعمار المبكرة والمتوسطة [166].

ثالثاً، ارتفاع التركيز الإسمنتي من 350 إلى 450 كغ/م³ أدى إلى زيادات معتبرة في مقاومة الضغط لجميع الأنواع، إلا أن الاستفادة من هذا الارتفاع لم تكن موحدة. فعلى سبيل المثال، بينما سجل رمل آبار البترول زيادات معتبرة بين 350 و450 كغ/م³، فإن الزيادة كانت محدودة نسبياً في حالة الرمل النهري، مما يدل على اقتراب هذا الأخير من نقطة الإشباع الإسمنتي التي لا تؤدي فيها الزيادة في العجينة إلى زيادة مقابلة في المقاومة [161].

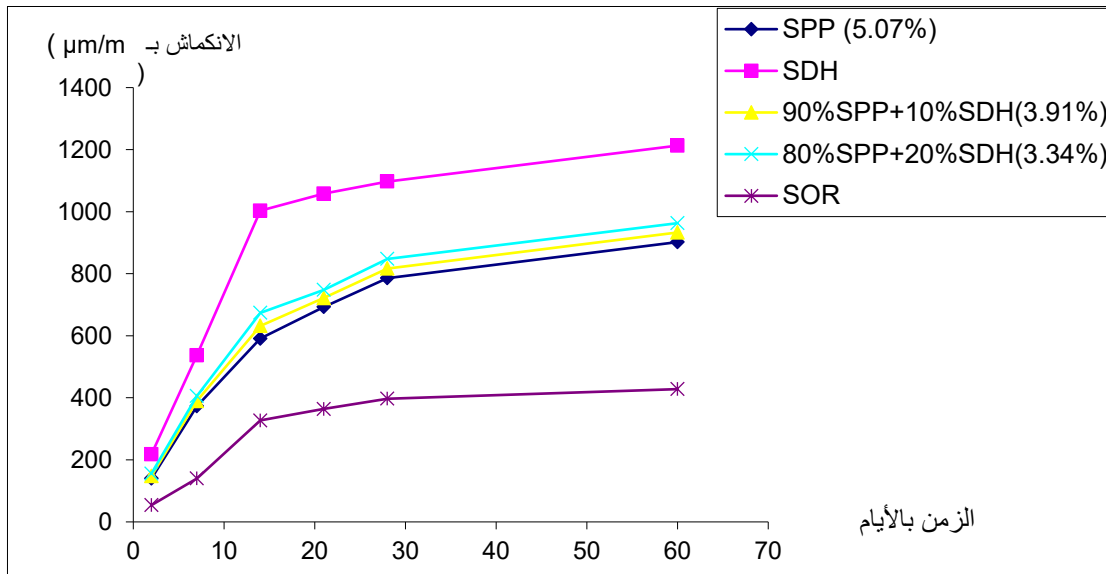
بالمقابل، في حالة رمل الكثبان الصحراوية، لم تؤدّ الزيادة في التركيز الإسمنتي إلى تحسين جوهري في الأداء، وهو ما يعزى إلى ضعف التدرج وارتفاع نسبة الحبيبات الناعمة التي تستهلك الإسمنت دون فائدة بنيوية فعلية [167].

ختامًا، يمكن القول إن الأداء المثالي يتحقق عند موازنة نوع الرمل وجودته الحبيبية مع التركيز الإسمنتي المناسب. كما أن المعالجة الدقيقة للرمل (يغسل الشوائب الزيتية وتحسين التدرج) يمكن أن ترفع أداء رمال ذات خصائص أولية ضعيفة لتقترب من أداء الرمل النهري، مما يفتح آفاقًا لاستخدام مواد محلية بديلة ومستدامة في صناعة الخرسانة دون التضحية بالخواص الميكانيكية.

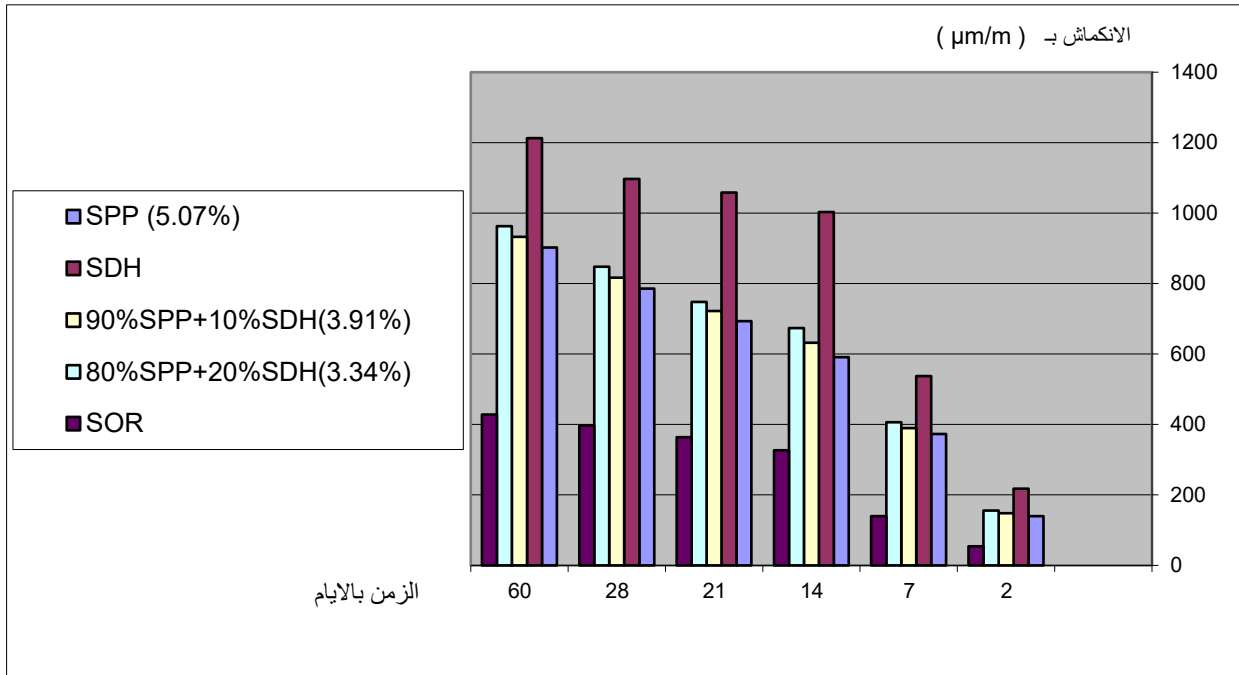
5. IV. نتائج تجربة الانكماش:

1.5.IV تأثير نوع وتركيبه وخصائص الرمل حسب التركيز الاسمنتي:

- نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

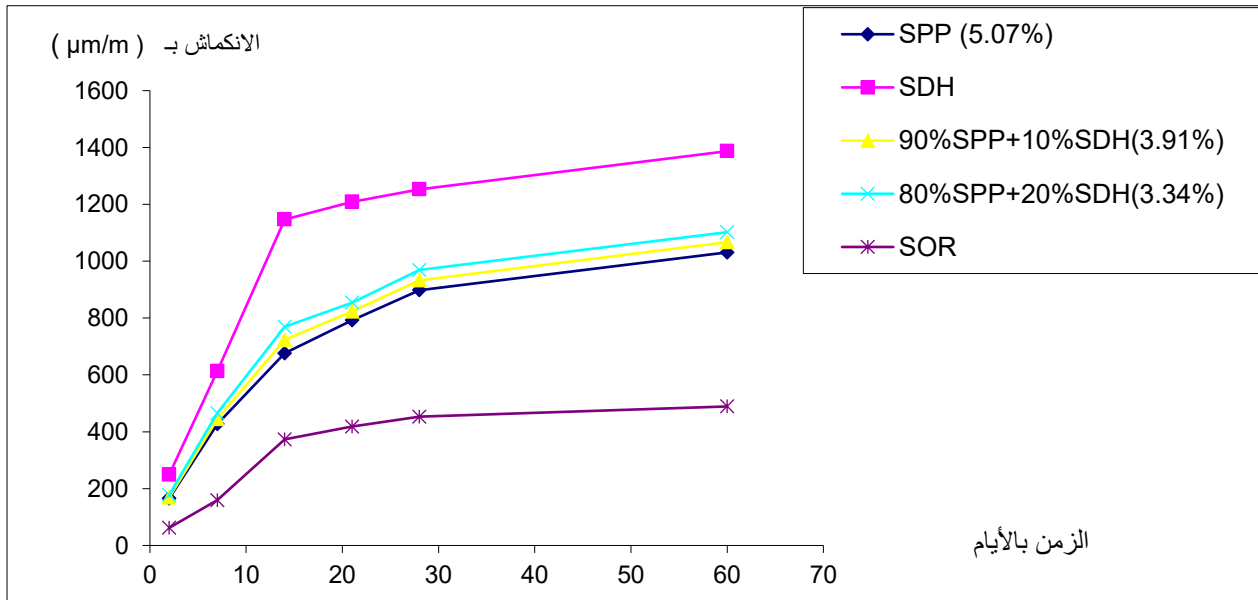


الشكل 27.IV منحنى تطور الانكماش حسب الزمن لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

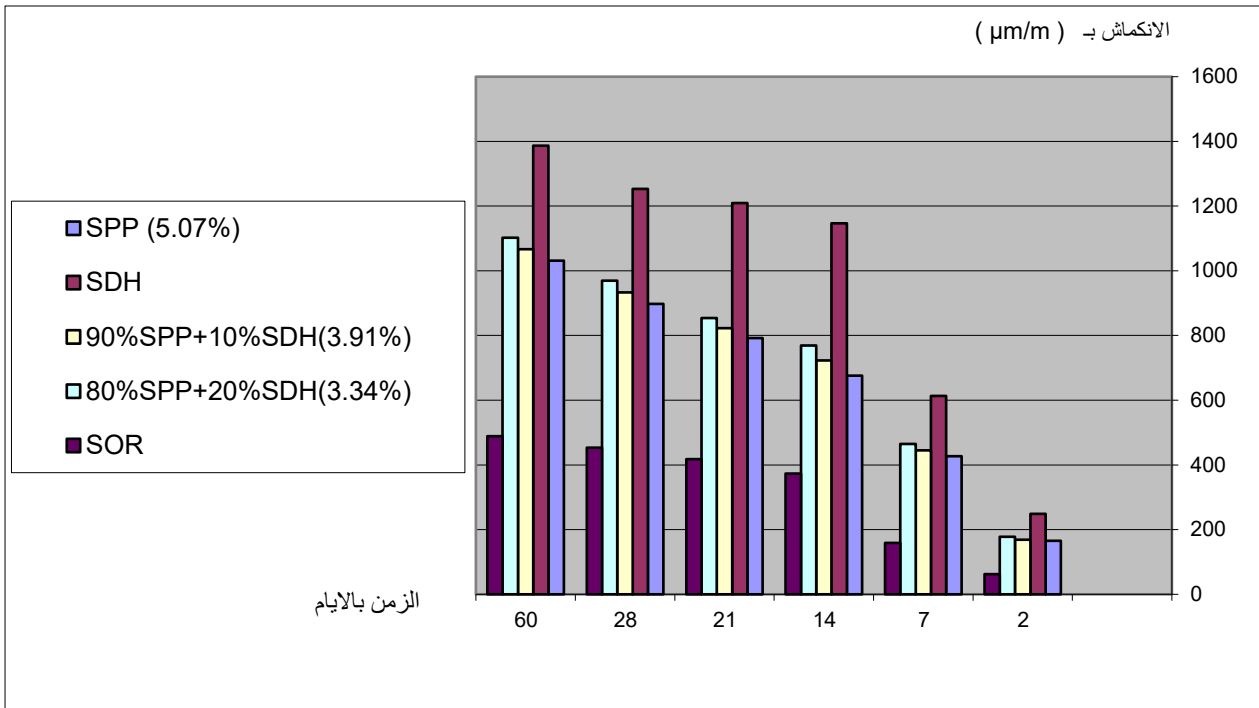


الشكل 28.IV نتائج الانكماش بعد 60 يوم لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

• نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

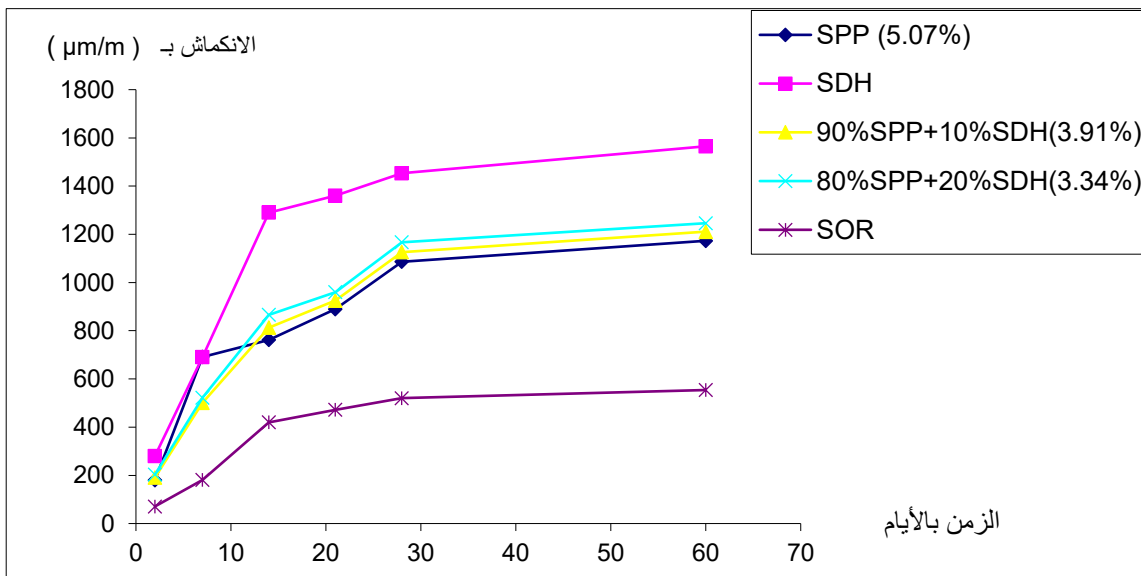


الشكل 29.IV منحنى تطور الانكماش حسب الزمن لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

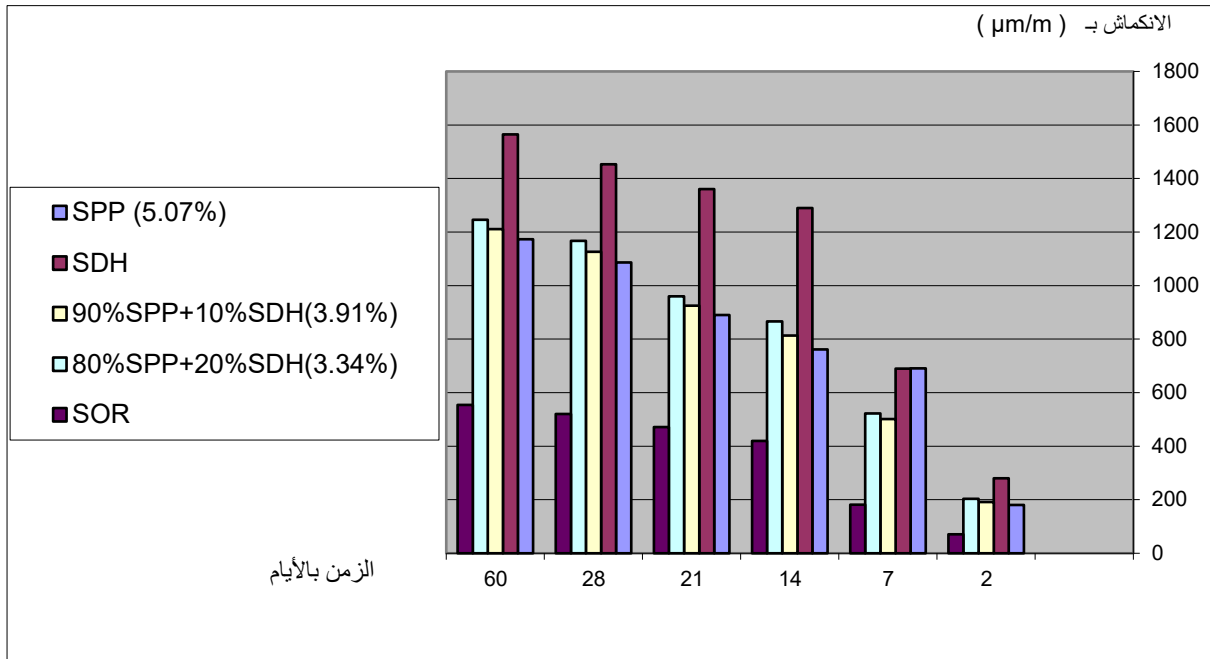


الشكل 30.IV نتائج الانكماش بعد 60 يوم لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

• نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

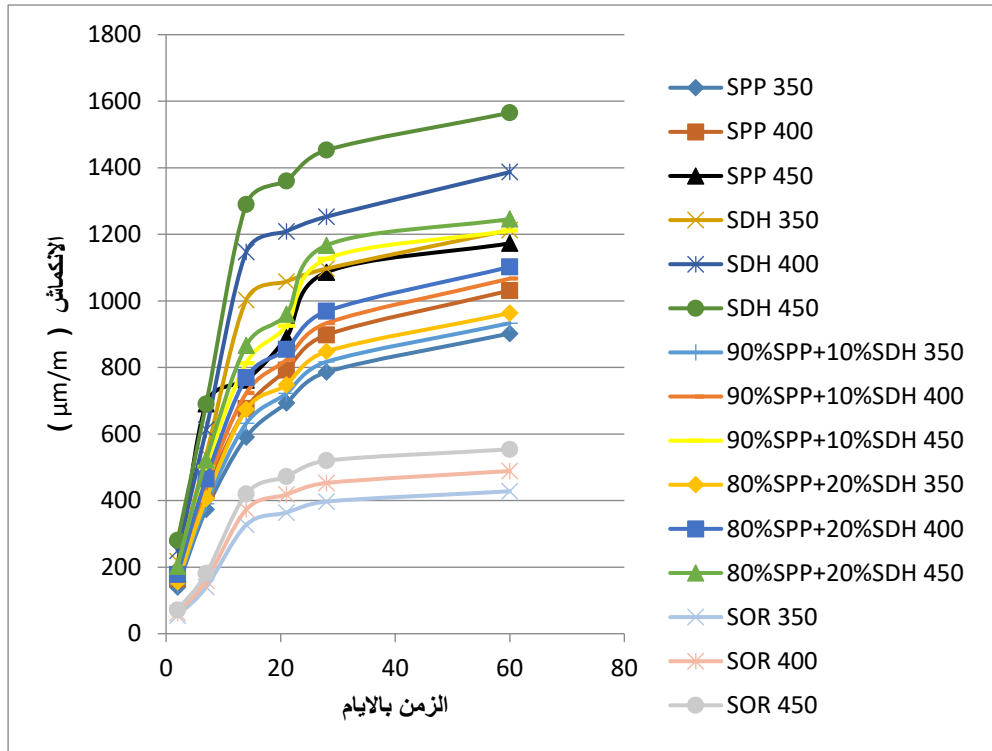


الشكل 31.IV منحنى تطور الانكماش حسب الزمن لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³



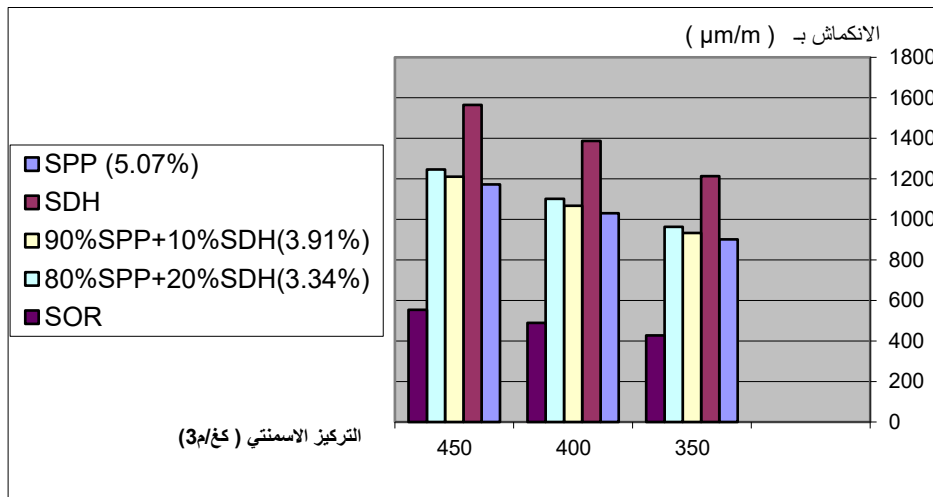
الشكل 32.IV نتائج الانكماش بعد 60 يوم لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبته وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

• نتائج الانكماش لمختلف التركيبات الخرسانية حسب تغير الزمن



الشكل 33.IV محنى تطور الانكماش حسب الزمن لمختلف التركيبات الخرسانية

• مقارنة نتائج الانكماش في 60 يوم لمختلف التركيبات الخرسانية حسب التركيز الاسمنتي



الشكل 34.IV نتائج مقارنة الانكماش في 60 يوم لمختلف التركيبات الخرسانية حسب كل تركيز اسمنتي

2.5.IV مناقشة نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المختلفة :

إن الهدف المرجو من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير نوع الرمل وتركيبته وخصائصه على انكماش الخرسانات المختلفة مع التركيز على خرسانة رمل آبار البترول وبعد الحصول على النتائج ومقارنتها مع بعضها البعض فإنه تبين لنا حسب :

أ - تأثير نوع وتركيبية الرمل

لتحليل تأثير نوع وتركيبية الرمل على انكماش الخرسانة، تم اعتماد تركيز إسمنتي قدره 450 كغ/م³ كمثال مرجعي، مع ثبات باقي المعاملات. سجلت خرسانة الرمل الطبيعي (SOR) أدنى انكماش بلغ 520 ميكرون/متر، بفضل تدرجها الحبيبي الجيد، وانخفاض الحبيبات الدقيقة، مما حدّ من المساحة السطحية وساهم في تقليل الجفاف وانكماش العجينة الإسمنتية [160].

سجلت خرسانة رمل آبار البترول (SPP) انكماشاً مقداره 1086 ميكرون/متر، وهو أقل بنسبة 25.26% من خرسانة رمل الكتبان (SDH) التي بلغت 1453 ميكرون/متر. ويرجع هذا التحسن إلى التدرج الحبيبي الجيد لرمل SPP، والذي قلّل من الفجوات الدقيقة ورفع الكثافة الحبيبية العامة مقارنة بـ SDH الذي يحتوي على أكثر من 85% من الحبيبات الناعمة (قطر ≈ 0.16 مم)، ما يزيد الحاجة للماء ويرفع معدلات الجفاف [168,169].

أما التركيبات الرملية المختلطة فقد سجلت انكماشاً متوسطاً بلغ 1126 ميكرون/متر لـ (10% SPP + 90% SDH) و1166 ميكرون/متر لـ (20% SDH + 80% SPP). وقد حافظت هذه التركيبات على بعض خصائص رمل الآبار، لكن أثر رمل الكتبان ظهر بوضوح كلما زادت نسبته في الخليط. وعليه، يتضح أن ترتيب التركيبات من حيث تقليل الانكماش هو:

$SDH < (80\% SPP + 20\% SDH) < (90\% SPP + 10\% SDH) < SPP < SOR$ ، مما يؤكد أن التركيبية الحبيبية للرمل عامل حاسم في مقاومة الانكماش [170].

ب - تأثير محتوى الزيت في الرمل

وفقاً للنتائج التحليلية، بلغ محتوى الزيت على سطح رمل آبار البترول المستخدم في هذه الدراسة حوالي 5.07% بالنسبة للتركيبية النقية (100% SPP)، بينما انخفضت هذه النسبة إلى 3.91% و3.34% في التركيبتين المخلوطتين بـ 10% و20% من رمل الكتبان (SDH) على التوالي. رغم أن وجود الزيت على سطح الحبيبات يمكن أن يُضعف من التلاصق بين العجينة الأسمنتية والحبيبات الرملية، كما أشار إليه بعض الباحثين [171]، إلا أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت المستخدم تلعب دوراً حاسماً في تحديد مدى هذا التأثير.

في حالتنا هذه، يُعتبر الزيت المستخدم — وفقاً للتحاليل التي أُجريت عليه من قِبل مخبر الشركة الوطنية للحفر، والتي تجدون نسخة منها في الملحق — زيتاً ذا لزوجة منخفضة (1.9 cP)، وكثافة خفيفة (0.828 g/cm³)، بالإضافة إلى درجة حموضة معتدلة (pH = 7.2)، مع نسبة شوائب لا تتجاوز 0.12%. وتشير هذه الخصائص إلى أن هذا النوع من الزيوت لا ينتمي إلى الزيوت الثقيلة أو المشبعة، والتي غالباً ما تُحدث تأثيراً كبيراً على خصائص الخلطة الأسمنتية، ولا سيما فيما يتعلق بالانكماش أو ضعف الالتصاق البيئي [173,172].

وبالتالي، يمكن القول إن تأثير الزيت في هذه الحالة يظل محدوداً نسبياً، خاصة عند خلطه برمل نظيف ذي خواص ملائمة مثل رمل الكتبان، وهو ما يبرر سلوك الانكماش المقاس في التركيبات المخلوطة مقارنة بالرمل الغير مخلوط.

بحيث أظهرت النتائج أن الخرسانة ذات النسبة الأعلى من الزيت (SPP) سجّلت انكماشاً قدره 1086 ميكرون/متر، بينما الخرسانة بالرمل المخلوط ذات نسبة الزيت الأقل سجّلت قيمة أعلى نسبياً بلغت 1126 و1166 ميكرون/متر. وهذا يشير إلى أن انخفاض نسبة الزيت وحده لم يكن كافياً لتحسين الأداء، وذلك بسبب تدهور التدرج الحبيبي الناتج عن إدخال رمل الكتبان، مما أدى إلى ارتفاع الانكماش الكلي رغم انخفاض محتوى الزيت. وبالتالي فإن العلاقة بين محتوى الزيت والانكماش ليست خطية، بل تتأثر بعوامل أخرى مثل التركيب الحبيبي ودرجة الامتصاص وسطح التلامس بين الرمل والعجينة الإسمنتية [161].

ج - تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه

تُظهر البيانات أن التركيزات الإسمنتية المنخفضة (350 و400 كغ/م³) أدت إلى قيم انكماش أدنى مقارنة بتركيز 450 كغ/م³ في أغلب الخلطات، رغم ما قد يبدو من تناقض. فعلى سبيل المثال، في خرسانة SPP، كانت القيم: 1086، 898، و786 ميكرون/متر على التوالي. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بأن التركيز العالي من الإسمنت يُنتج عجينة إسمنتية أكبر حجماً، ما يزيد من المساحة المعرضة للجفاف ويُسرّع من فقدان الماء، وبالتالي يرفع من معدلات الانكماش الذاتي [175,174].

تجدر الإشارة إلى أن كل الخلطات استخدمت نسبة ماء/إسمنت ثابتة قدرها 0.55، باستثناء SDH التي تطلبت 0.60 بسبب طبيعتها الدقيقة. كما أن نوع الإسمنت المستخدم هو CEM I 42.5 N SR3 LH، وهو إسمنت بطيء الإماهة ومقاوم للكبريتات، ما قد يساهم في تقليل تطور الانكماش في المدى البعيد [176]. رغم ذلك، فإن جميع القيم المسجلة في تركيز 450 كغ/م³ تجاوزت الانكماش المعياري الموصى به (1000µm/m) حسب المواصفة P15-433N، وهو ما يتطلب الانتباه لتحسين ظروف المعالجة والرطوبة لتفادي التجاوزات في التطبيقات العملية [148].

من خلال جمع المؤثرات الثلاثة، يتضح أن الانكماش الخرساني لا يرتبط بعامل واحد فقط، بل هو نتيجة تفاعلية بين نوع الرمل، نسبة الزيت، وتركيز الإسمنت. فعلى سبيل المثال، رمل الكتبان (SDH) يتميز بتدرج

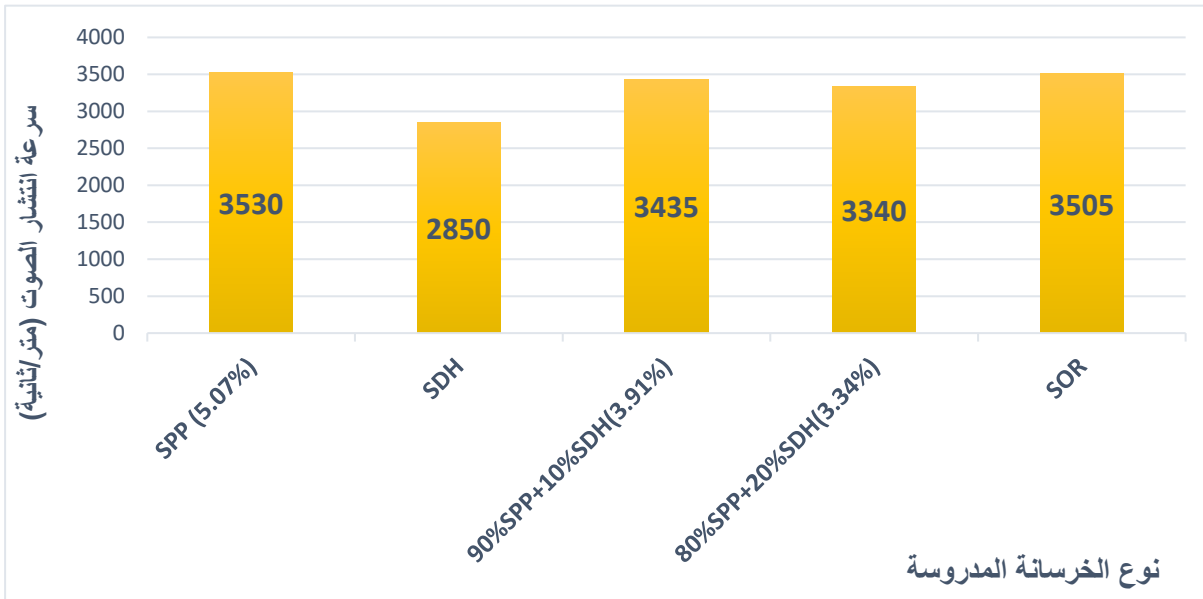
حبيبي ضعيف واحتواء عالٍ على الحبيبات الدقيقة، ما يُسهم في رفع الانكماش حتى في تركيزات إسمنت منخفضة. بالمقابل، فإن رمل أبار البترول (SPP) يمتلك خصائص حبيبية أفضل، لكنه يتأثر جزئياً بوجود الزيت. أما التركيبات المخلوطة، فتعكس نتائج وسطية ناتجة عن توازن بين التدرج الحبيبي ونسبة الزيت.

وبالتالي، فإن تأثير أحد العوامل يُضخّم أو يُخفّف بحسب شروط التفاعل مع العاملين الآخرين. فالرمل الحسن التدرج قد يُقلّل من أثر الزيت، بينما الإسمنت العالي التركيز قد يُضاعف أثر التدرج السيئ أو الزيت، خاصةً في ظل ظروف المعالجة غير المثالية. هذا التكامل التفاعلي يقتضي معالجة متعددة الأبعاد لتحسين الأداء الخرساني في التطبيقات البيئية والهندسية المختلفة [177,178].

IV. 6. تجربة الاموج الصوتية:

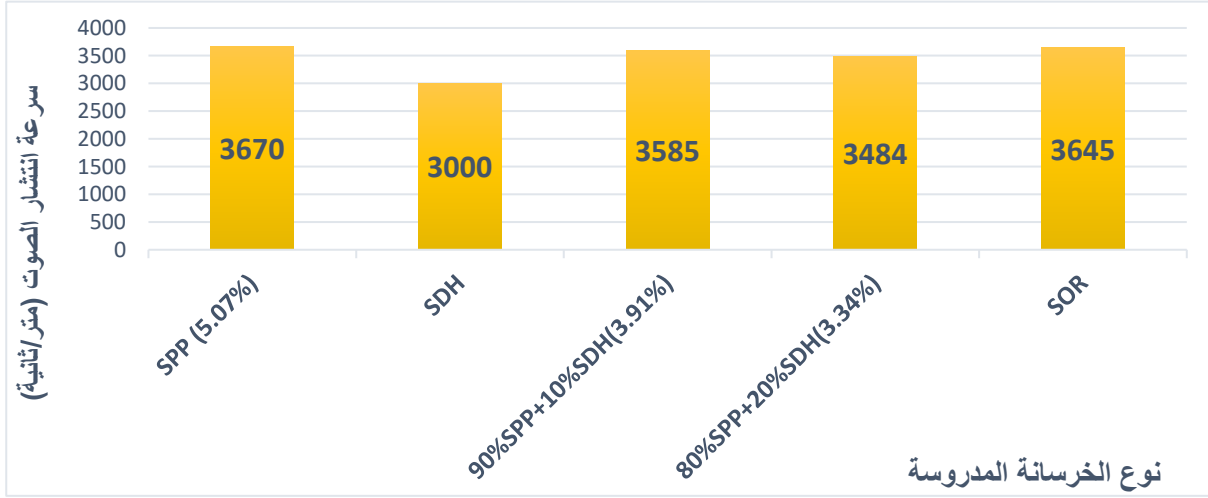
1.6.IV تأثير نوع وتركيبه وخصائص الرمل حسب التركيز الاسمطي:

- نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمطي 350 كغ/م³



الشكل IV.35 نتائج سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمطي 350 كغ/م³

- نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³



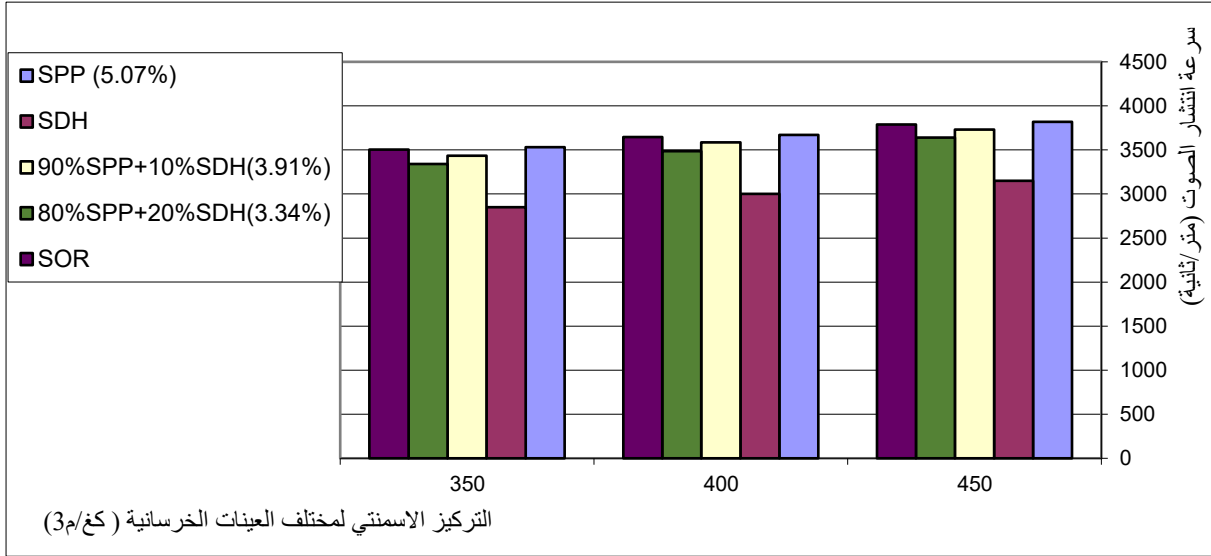
الشكل 36.IV نتائج سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

- نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³



الشكل 37.IV نتائج سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

- مقارنة نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لمختلف تركيبات خرسانة الرمل حسب التركيز الاسمنتي



الشكل 38.IV نتائج مقارنة سرعة انتشار الصوت لخرسانة الرمل المختلفة حسب التركيز الاسمنتي

2.6.IV مناقشة نتائج تجربة الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل المختلفة :

إن الهدف المرجو من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير نوع الرمل وتركيبته وخصائصه على سرعة انتشار الصوت للخرسانات المختلفة مع التركيز على خرسانة رمل ابار البترول وبعد الحصول على النتائج ومقارنتها مع بعضها البعض فإنه تبين لنا حسب:

أ - تأثير نوع وتركيبية الرمل

تلعب طبيعة الرمل دورًا حاسمًا في تحديد خصائص الخرسانة، وهو ما ينعكس بوضوح في تباين سرعات الموجات المسجلة بين العينات المختلفة:

الخرسانة المصنعة من رمل آبار البترول (SPP) أظهرت أعلى سرعة انتشار (3820 م/ثا عند 450 كغ/م³)، وهو ما يدل على كثافة داخلية عالية وبنية ميكانيكية قوية بفضل التدرج الحبيبي الجيد وانخفاض المسامية [180,179].

الخرسانة المصنعة من رمل الكثبان الصحراوية (SDH) سجّلت أقل السرعات (3150 م/ثا عند 450 كغ/م³)، بسبب ضعف التدرج الحبيبي، وارتفاع نسبة الحبيبات الدقيقة، ما يؤدي إلى زيادة الفراغات الداخلية وتشتت مسار الموجات [182,181].

الخرسانة ذات الرمل الطبيعي (SOR)، المستعملة كعينة مرجعية، أظهرت سرعة موجية تبلغ 3790 م/ثا عند نفس تركيز الإسمنت، وهي نتيجة مرتفعة تُعزى إلى الخصائص الجيدة لهذا الرمل من حيث الشكل الكروي

للحبيبات، وتدرجها المتوسط، وامتصاصها المعتدل للماء. تُعتبر هذه النتيجة مؤشراً على كفاءة هذا النوع من الرمل كمادة مرجعية مطابقة للمعايير الدولية [183].

العينات المخلوطة (SPP + SDH) أظهرت أداءً متوسطاً، يُعزى إلى التوازن بين تدرج SPP وحبيبات SDH الدقيقة، حيث تراوحت السرعات من 3340 إلى 3730 م/ثا حسب التركيب والتركيز.

الخلاصة : يظهر أن أداء SPP قريب من الرمل الطبيعي SOR، بل ويتفوق عليه بنسبة 0.79% عند أعلى تركيز، ما يدل على جدوى استخدامه كبديل محلي قابل للمنافسة. بالمقابل، يبقى رمل الكثبان ضعيف الأداء دون تحسين أو تعديل.

ب - تأثير محتوى الزيت في الرمل

يُعد وجود الزيت في رمل آبار البترول من العوامل الفيزيائية البارزة التي تؤثر بشكل مباشر على خواص الخرسانة الناتجة، وخصوصاً من حيث الكثافة، سرعة انتشار الموجات فوق الصوتية، ومسامية العجينة الإسمنتية. في هذه الدراسة، استُخدمت ثلاث فئات من الخرسانة تحوي نسباً متفاوتة من رمل آبار البترول (SPP) المصنّف بوجود نسبة زيت تبلغ 5.07%، تمثل: الخرسانة (100% SPP)، وخالطت تحتوي على 90% و80% من هذا الرمل ممزوجة بـ 10% و20% من رمل الكثبان الصحراوية (SDH) على التوالي، مع انخفاض تدريجي لمحتوى الزيت إلى 3.91% ثم 3.34%.

تشير النتائج إلى أن زيادة نسبة الزيت ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتحسّن سرعة الموجات فوق الصوتية، حيث سجّلت الخرسانة ذات 100% SPP أعلى سرعة (3820 م/ثا عند تركيز 450 كغ/م³)، بينما انخفضت السرعة تدريجياً في العينات ذات 90% SPP (3730 م/ثا) ثم 80% SPP (3640 م/ثا) عند نفس تركيز الإسمنت. يُعزى هذا التحسّن إلى دور الزيت في تقليل الامتصاص السطحي للماء على حبيبات الرمل، ما يقلل كمية الماء الحر داخل العجينة الإسمنتية، ويؤدي إلى انخفاض في المسامية الكلية وتحسن في ترابط الهيكل الداخلي للخرسانة، مما يُعزز انتقال الموجات بشكل أسرع وأكثر كفاءة [165,184].

علاوة على ذلك، يُساهم وجود الزيت كغشاء رقيق حول الحبيبات في تحسين توزيع الجسيمات الدقيقة وتسهيل عملية الدمك أثناء الخلط، وهو ما يعزّز تشكيل مصفوفة إسمنتية أكثر تماسكاً، خاصة عند نسب الزيت الأعلى (5.07%). ومع ذلك، فإن الانخفاض في سرعة الموجات عند تقليل نسبة الزيت إلى 3.34% في العينة التي تحتوي على 80% فقط من SPP، يشير إلى فقدان جزئي لهذه التأثيرات الإيجابية، نتيجة ارتفاع محتوى رمل الكثبان المعروف بمساميته العالية وتدرجه السيء [186,185].

ورغم هذه المزايا، فإن التأثير طويل المدى للزيت لا يخلو من التحديات. حيث حدّرت بعض الدراسات من أن تغلغل الزيت على سطح الحبيبات قد يشكل طبقة عازلة تعيق تفاعل الأسمنت مع الماء، مما قد يؤثر سلباً على تطور بنية الهيدرات ومتانة الخرسانة بمرور الزمن [161,187]. غير أن نتائج هذه الدراسة أظهرت أن

الخرسانة المحتوية على 100% SPP لم تتأثر سلبًا، بل حافظت على مقاومة انضغاط مرتفعة حتى بعد 180 يومًا ، بما في ذلك بعد التعرض لوسط حمضي، مما يدل على أن الزيت الموجود لم يكن كافيًا لتعطيل تفاعلات الإماهة الجوهرية داخل العجينة. أما فيما يتعلق بمقاومة الانحناء، فقد سُجل انخفاض نسبي مقارنة بمقاومة الضغط، الأمر الذي يمكن تفسيره بتأثير الزيت على المنطقة الانتقالية البينية (zone de transition interfaciale)، والتي تُعد حساسة لأي شوائب سطحية، ما قد يُضعف الربط بين العجينة والإجهادات الداخلية غير المركزية [160,188].

بالتالي، فإن الزيت يُظهر تأثيرًا مركبًا: إيجابي على الكثافة والدمك وسرعة الموجات في المدى القصير، ومتملاً لبعض الآثار السلبية في المدى الطويل، خاصة في الحالات التي لا يتم فيها تصميم الخلطة بطريقة تأخذ بعين الاعتبار خصائص الزيت وتفاعلاته مع الأسمنت والماء.

ج - تأثير تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل وخصائصه

أظهرت النتائج تطورًا طرديًا لسرعة الموجات مع ارتفاع تركيز الإسمنت في جميع العينات، وهو ما يعكس:

- دور الإسمنت في ملء الفراغات الدقيقة وتحسين تماسك العجينة الخرسانية [189].
- تعزيز الكثافة العامة للخرسانة، مما يسهل انتقال الموجات فوق الصوتية عبرها.

مثال على ذلك:

في SPP: السرعة زادت من 3530 إلى 3820 م/ثا بين 350 و450 كغ/م³.

في SDH: زادت من 2850 إلى 3150 م/ثا.

في SOR: زادت من 3505 إلى 3790 م/ثا.

من ثم نستنتج أن تأثير تركيز الإسمنت واضح وثابت، ويُعد عاملاً حاسماً لتعويض ضعف نوعية الرمل في بعض الحالات، كما في حالة SDH. ومع ذلك، تبقى الاستجابة القصوى في SPP وSOR، مما يعكس قدرة هذين النوعين على الاستفادة الكاملة من زيادة تركيز الإسمنت.

وكخلاصة شاملة عند جمع العوامل المؤثرة الثلاثة، يتضح أن:

الخرسانة المصنعة من رمل أبار البترول (SPP) تُظهر أفضل توازن بين الكثافة، سرعة الموجات، واستجابة

لزيادة الإسمنت، ما يجعلها مادة واعدة كبديل للرمل الطبيعي، خاصة في المناطق ذات الموارد المحدودة

[189,190,180].

الخرسانة بالرمل الطبيعي (SOR) تؤدي أداءً ممتازًا وتقارب نتائجها تلك الخاصة بـ SPP، مع ميزة إضافية

في دعم معالجة الخرسانة بفضل امتصاص الماء المتوسط، ما يجعلها الخيار الأمثل عند توفرها.

الخرسانة برمل الكثبان الصحراوية (SDH) تُعاني من ضعف في الأداء الميكانيكي وسرعة الموجات، حتى مع زيادة تركيز الإسمنت، ما يدل على حاجتها إلى تحسينات تركيبية أو استخدام جزئي فقط ضمن خلطات محسنة.

الخلطات المخلوطة (SPP + SDH) تمثل حلاً وسطاً، يمكن من خلاله التحكم في الكلفة والأداء، بشرط ضبط نسب الخلط بدقة.

ومن ثم نستنتج ان رمل آبار البترول (SPP)، رغم وجود الزيت، أثبتت فعاليته بديلاً للرمل النهري في تحسين انتقال الموجات فوق الصوتية، خاصة عند رفع تركيز الإسمنت. أما رمل الكثبان، فلا يُنصح باستخدامه منفرداً، ويمكن إدخاله بنسب محدودة لا تتجاوز 20%.

IV. 7. الديمومة:

يُعد تجاهل تأثير البيئة المحيطة من أبرز الأسباب التي تؤدي إلى تدهور الخرسانة قبل بلوغ عمرها التصميمي. ففي الوقت الذي تُصمم فيه المنشآت لتحمل الأحمال والإجهادات المختلفة بدقة من خلال تحديد الأبعاد المناسبة للأساسات، غالباً ما يُغفل تأثير العوامل الخارجية مثل عدوانية التربة أو وجود مياه جوفية محملة بمواد كيميائية ضارة قد تؤثر سلباً على الخرسانة ومكونات الأساس.

وبعد التوصل إلى نتائج ميكانيكية مرضية لكل من الخرسانة المرجعية وخرسانة رمل آبار البترول المدروسة، أصبح من الضروري دراسة أدائها في البيئات العدوانية، التي غالباً ما تُصادف في المناطق الجافة أو الصحراوية. ولتقييم هذا الجانب، وقع الاختيار على بيئة تُحاكي ظروف المياه الجوفية الصاعدة، باعتبارها من أكثر الأوساط العدوانية تأثيراً على الخرسانة. وكما تبين في الفصل الرابع، فإن هذه المياه غالباً ما تحتوي على نسب مرتفعة من شوارد ضارة مثل الكلوريد (Cl^-) والكبريتات (SO_4^{2-})، وهما من أكثر المكونات الكيميائية تسبباً في تدهور الخرسانة.

IV. 1.7. الوسط الحافظ:

تم إنشاء وسط تجريبي لمحاكاة تأثير هذه المياه، عبر استخدام حمض كلور الماء (HCl) لتمثيل شوارد الكلور، وحمض الكبريت (H_2SO_4) لتمثيل شوارد الكبريتات. ووفقاً للبيانات المسجلة في منطقة وادي سوف، بلغ أقصى تركيز لأيونات الكلوريد في المياه الصاعدة حوالي 1640.23 mg/l، في حين بلغ تركيز الكبريتات 3373 mg/l ولتسريع ظهور التأثيرات خلال مدة التجربة، اعتمدت تراكيز مكافئة تعادل خمسة أضعاف هذه القيم، حيث قُدِّر تركيز الكلوريد بنحو 8201.15 mg/l، والكبريتات بنحو 16865 mg/l، وقد نتج عن ذلك وسطاً شديد الحموضة بلغت فيه قيمة الأس الهيدروجيني (pH) حوالي 1.

وقد تم استخدام هذا الوسط لحفظ عينات الخرسانة المرجعية وخرسانة رمل أبار البترول بهدف تقييم مدى تحملها لهذه الظروف القاسية. كما تم تجديد المحلول الحمضي كل 14 يوماً لضمان ثبات التركيز طوال فترة التجربة وعدم تأثر النتائج بالتفاعل الكيميائي بين المحلول والخرسانة.

2.7.IV آلية التنفيذ:

تم إعداد العينات الخرسانية وفق الطريقة المعتمدة مسبقاً، مع استخدام نوع من الإسمنت المقاوم للأملاح، وخصوصاً الكبريتات، وهو CEM I 42.5 N SR3 LH وبعد عملية الصب، خضعت العينات للمعالجة في الماء لمدة 28 يوماً، طبقاً للمعايير المعمول بها، قبل نقلها إلى المحلول الحمضي المحاكي لبيئة المياه الجوفية الصاعدة.

تلت ذلك سلسلة من اختبارات الديمومة بهدف دراسة سلوك هذه الخرسانة وتحديد مدى قدرتها على مقاومة الأوساط العدوانية.

من أهم أسباب تدهور حالة الخرسانة وعدم ديمومتها إلى العمر الافتراضي لها هو عدم الانتباه إلى تأثير الوسط الخارجي المحيط بالمنشأة في الوقت الذي تقوم فيه هذه الأخيرة بدورها الإنشائي زيادة على تعرضها لتأثيرات هذا الوسط. مثلاً قمنا بالحسابات والأبعاد اللازمة للأساسات والإجهادات التي تتعرض لها لكن نهمل تأثير الوسط الموضوع في من عدوانية التربة، وربما وجود طبقة مائية تحمل عناصر عدوانية مضرّة بهيكل الأساس والخرسانة عموماً.

وبعد تحصلنا على مختلف النتائج الميكانيكية السابقة لمختلف خرسانة رمل الشاهد وخرسانة رمل ابار البترول محل الدراسة، التي كانت جد مقبولة نتطرق إلى جانب آخر هو مدى مقاومة هذا النوع من الخرسانة للأوساط العدوانية التي يمكن أن تصادفنا في الحياة العامة.

لمعرفة تأثير بعض هذه الأوساط العدوانية خاصة في المناطق الصحراوية والجافة على خرسانة رمل ابار البترول والخرسانة الشاهد، قمنا باختيار الوسط العدواني الأشهر وهو الأماكن التي تحتوي على طبقة المياه الصاعدة، وبعد دراستنا في الفصل الثالث لمكونات مختلف المياه التي يمكن أن تصادفنا في الحياة العامة تبين أن المياه الصاعدة هي أكثرها احتواء على العناصر الضارة وأن من أخطرهما: هي شوارد الكلور Cl^- وشوارد الكبريت -السلفات- SO_4^{--} .

3.7.IV التجارب الخاصة بديمومة الخرسانة:

1.3.7.IV تجربة التغير في الكتلة الحجمية :

تهدف هذه التجربة إلى تتبع التغيرات التي تطرأ على الكتلة الحجمية لعينات الخرسانة المصنوعة من أنواع الرمل المدروسة، عند غمرها في وسط عدواني يتكوّن من مزيج حمض كلور الماء وحمض الكبريت. تم إجراء عملية الوزن باستخدام ميزان إلكتروني عالي الدقة (0.01 غرام)، حيث جرى تسجيل وزن كل عينة قبل الغمر في المحلول، ثم إعادة وزنها بشكل دوري بعد الغمر.

استمرت المتابعة المنتظمة أسبوعياً، حيث يتم وزن العينات وتسجيل التغيرات، مع إعادتها إلى المحلول الحافظ، والذي يُجدد كل 14 يوماً لضمان ثبات التركيز الكيميائي، خاصة في حال حدوث تغير ناتج عن التفاعل مع الخرسانة.

تم حساب نسبة التغير في الكتلة باستخدام المعادلة التالية: [95]

$$PM\% = [(M1-M2) / M1] \times 100$$

M1 : وزن العينة بعد القولبة.

M2 : وزن العينة بعد الغمر في مختلف المواعيد.

النتائج بعد فترة الغمر:

عند انتهاء فترة الغمر المحددة بستة أشهر، تم جمع النتائج المتعلقة بسلوك العينات الخرسانية في الوسط الحمضي المحاكي.

وقد صنّفت النتائج إلى نوعين رئيسيين:

- النتائج المسجلة أثناء فترة الغمر (اكتساب الكتلة):

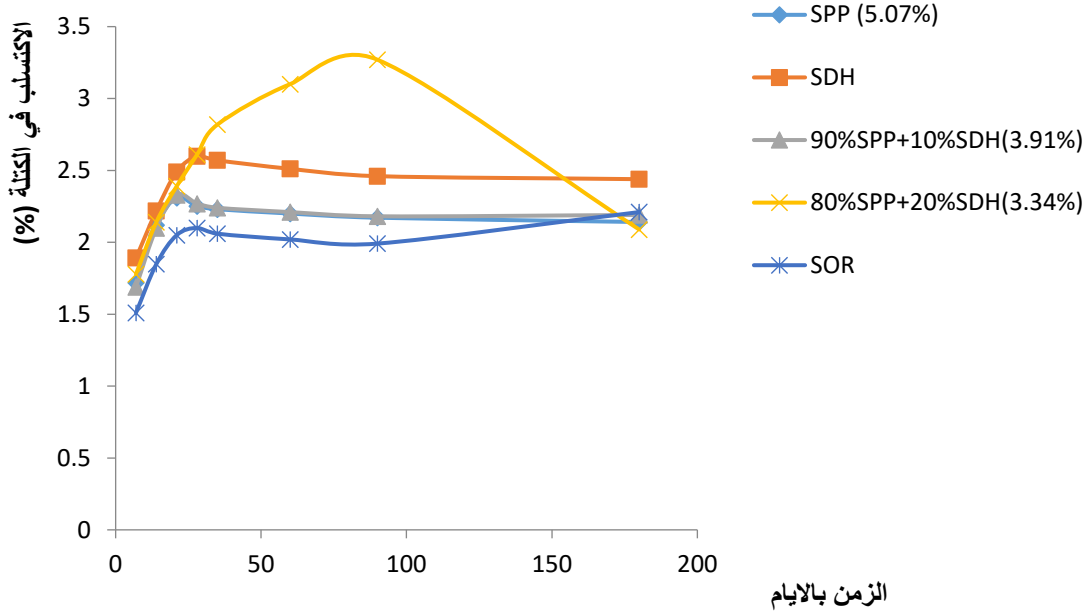
القياسات التي تم تدوينها بشكل دوري خلال فترة التجربة، مثل التغيرات في الكتلة الحجمية أو أي مظاهر سطحية واضحة، بهدف متابعة تطور التأثيرات على الخرسانة تحت تأثير الوسط العدواني.

- النتائج المسجلة بعد إزالة الترسبات الملحية (فقدان الكتلة):

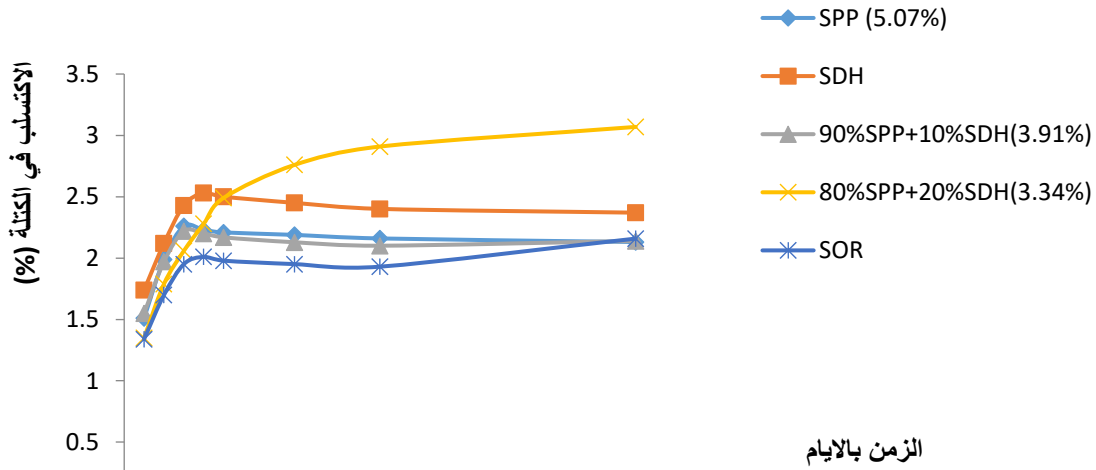
بعد انتهاء فترة الغمر، تم تنظيف العينات من الطبقة الملحية المتكونة على سطحها نتيجة التفاعلات الكيميائية مع المحلول. ثم أُعيد فحص العينات وتوثيق التغيرات النهائية التي طرأت عليها بشكل دقيق.

1.1.3.7.IV نتائج تغيير الكتلة الحجمية المدونة أثناء الغمر (إكتساب الكتلة) :

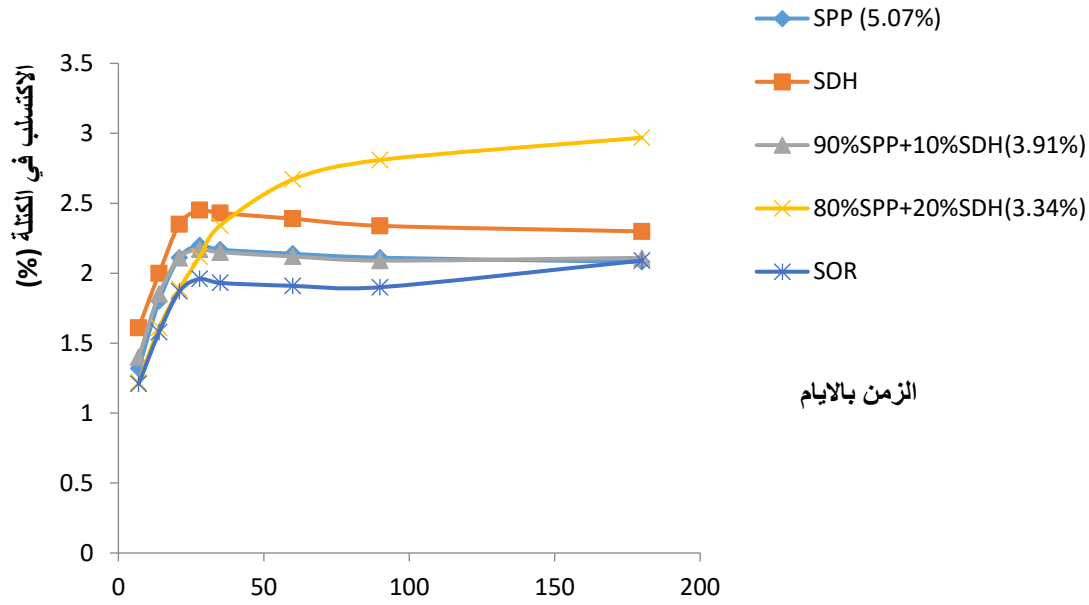
1- بعد كل مدة زمنية معينة:



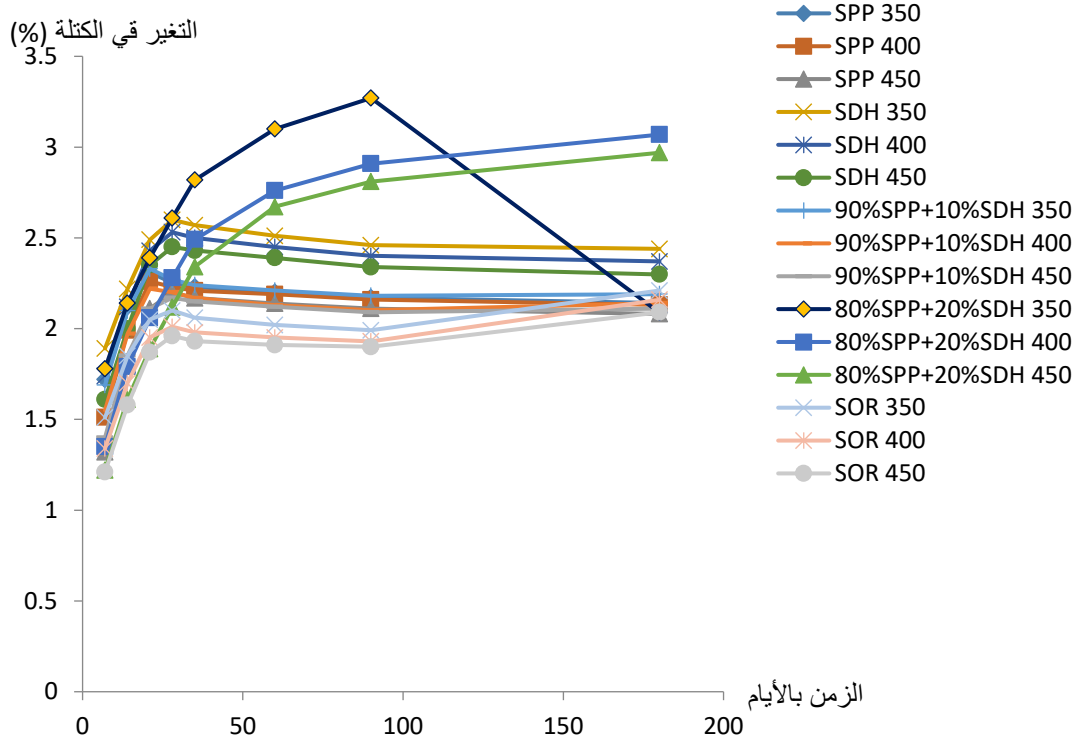
الشكل 39.IV منحني تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 350 كغ/م3



الشكل 40.IV منحني تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 400 كغ/م3

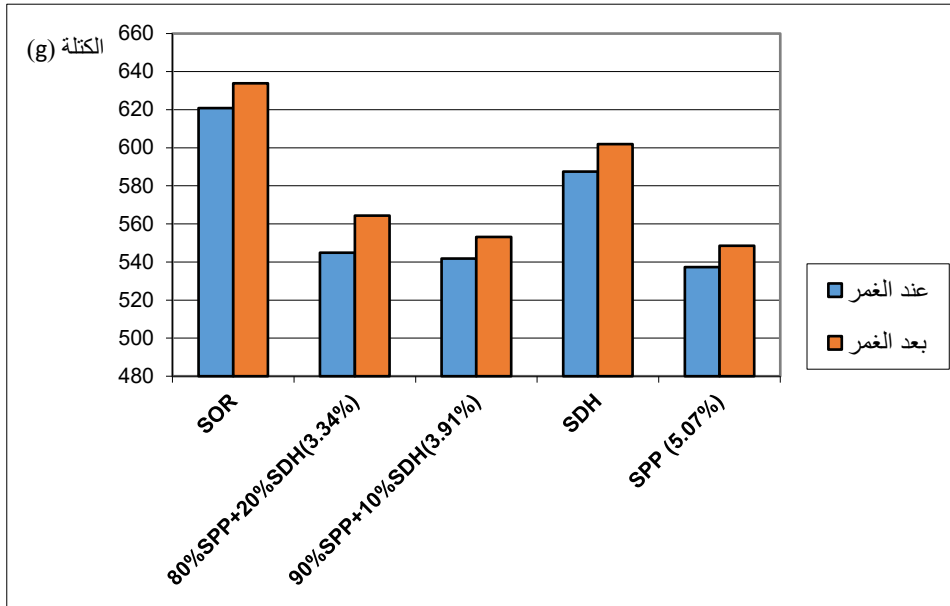


الشك 41.IV منحى تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمى 450 كغ/م³

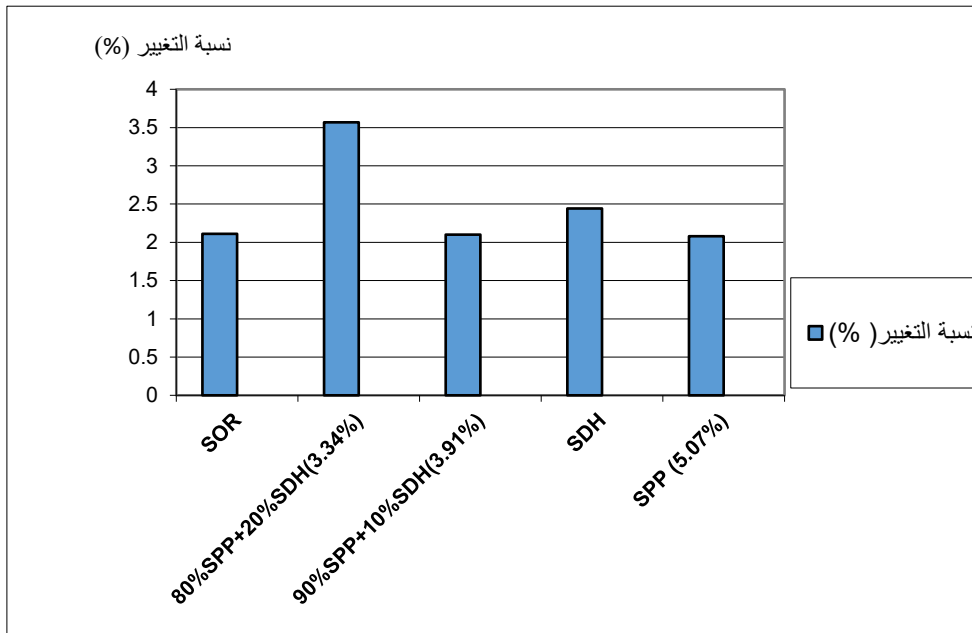


الشك 42.IV منحى تطور نسبة اكتساب الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب كل التركيز الاسمى

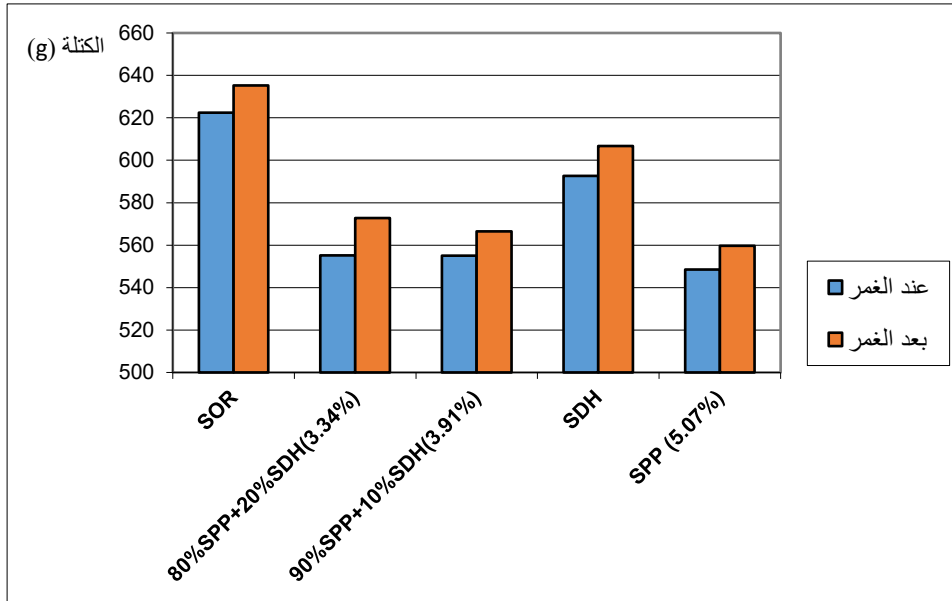
2- بعد مدة 180 يوم دون إخراج:



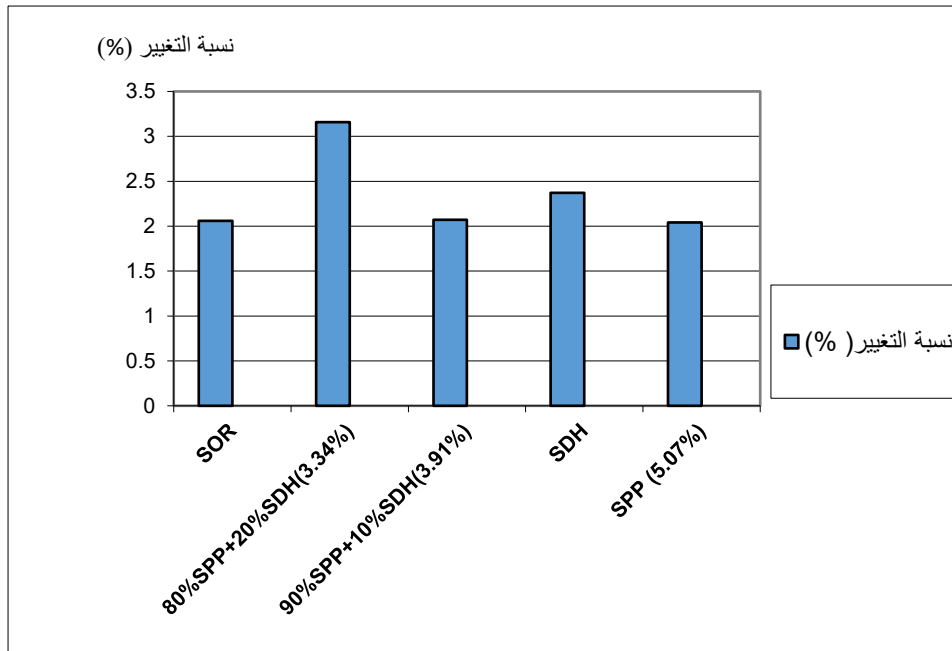
الشكل IV.43 نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمطي 350



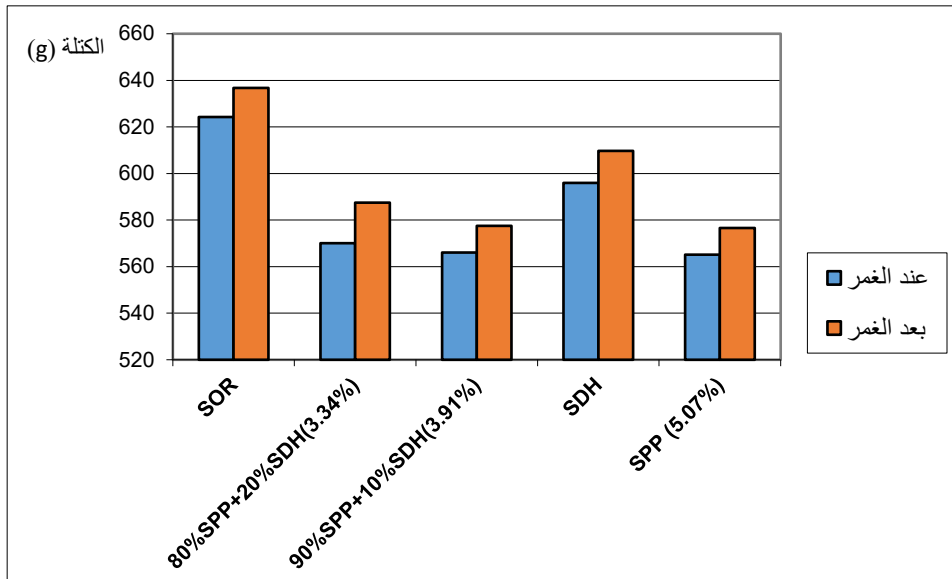
الشكل IV.44 نسبة إكتساب الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمطي 350



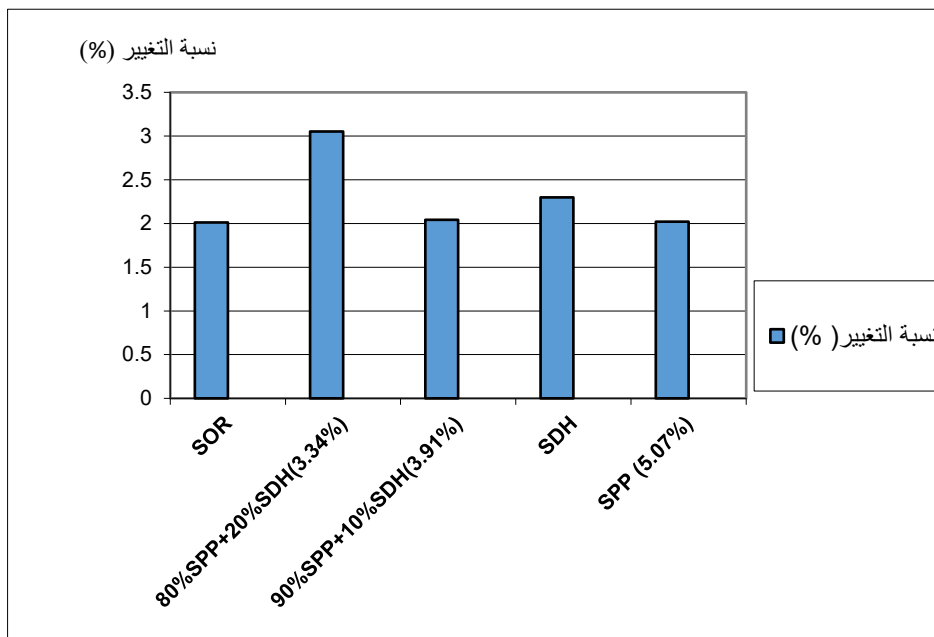
الشكل IV.45 نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمطي 400



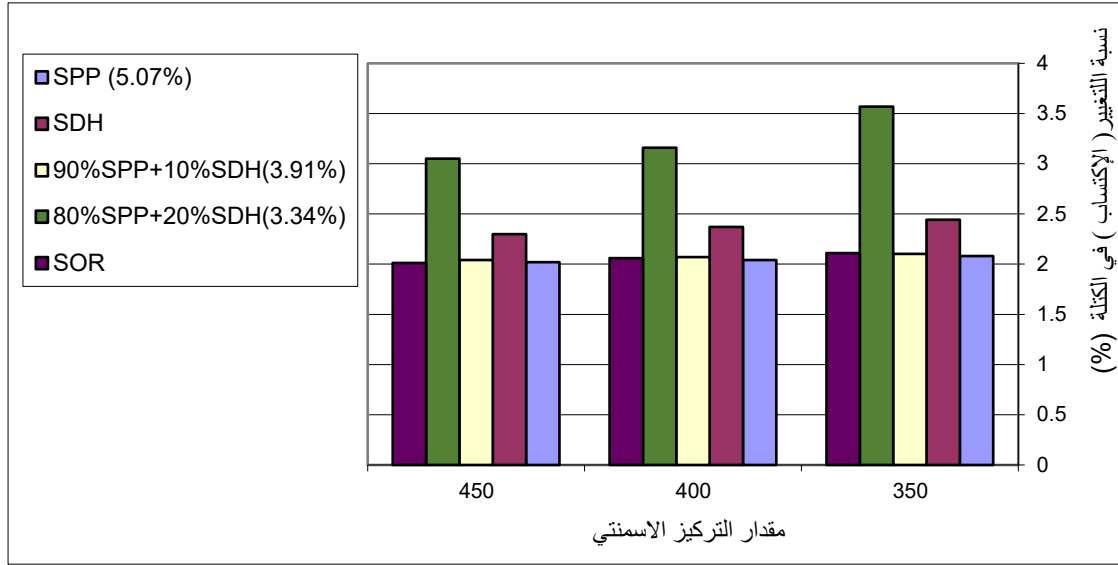
الشكل IV.46 نسبة إكتساب الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمطي 400



الشكل IV.47 نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450



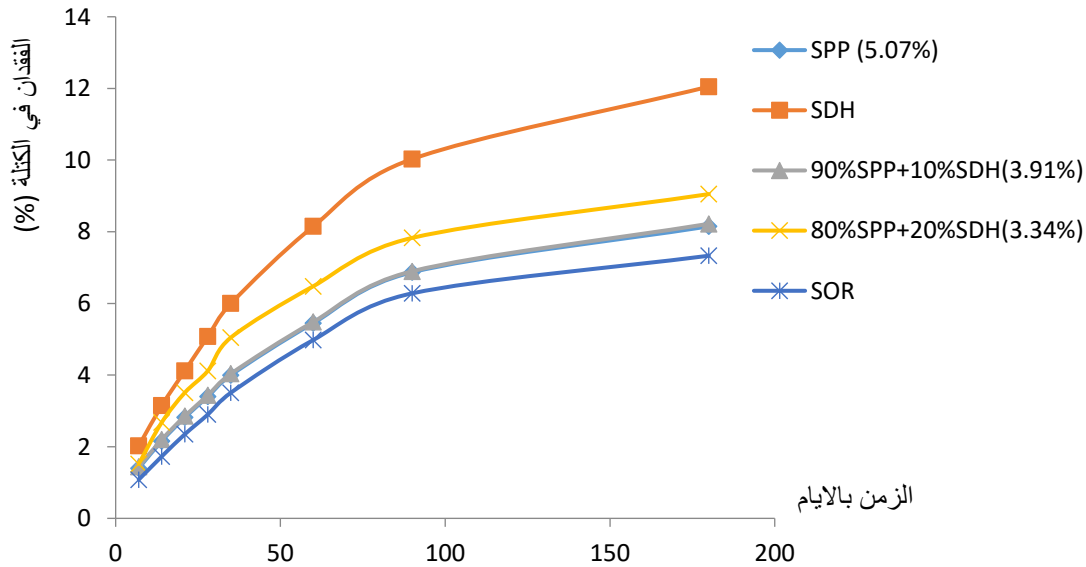
الشكل IV.48 نسبة إكتساب الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450



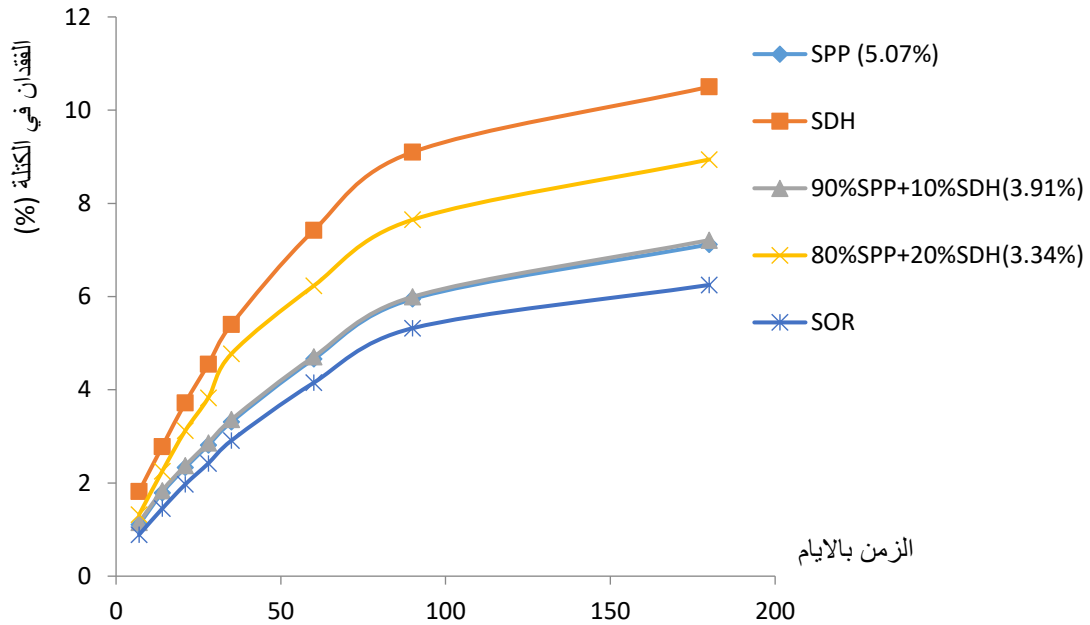
شكل 49.IV مقارنة نسبة تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي

2.1.3.7.IV نتائج تغير الكتلة الحجمية المدونة أثناء الغمر (فقدان الكتلة) :

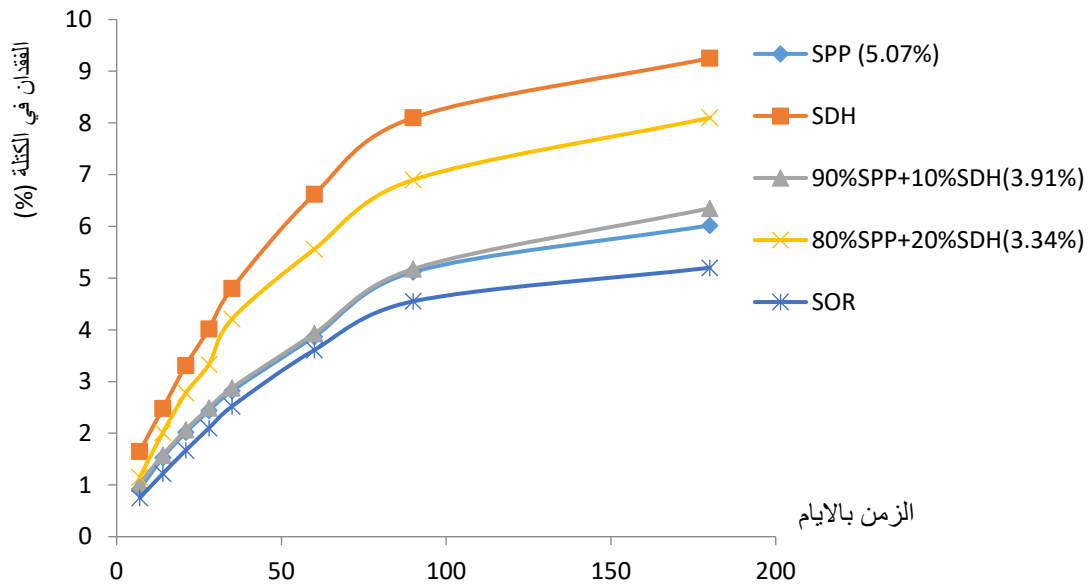
1- بعد كل مدة زمنية معينة:



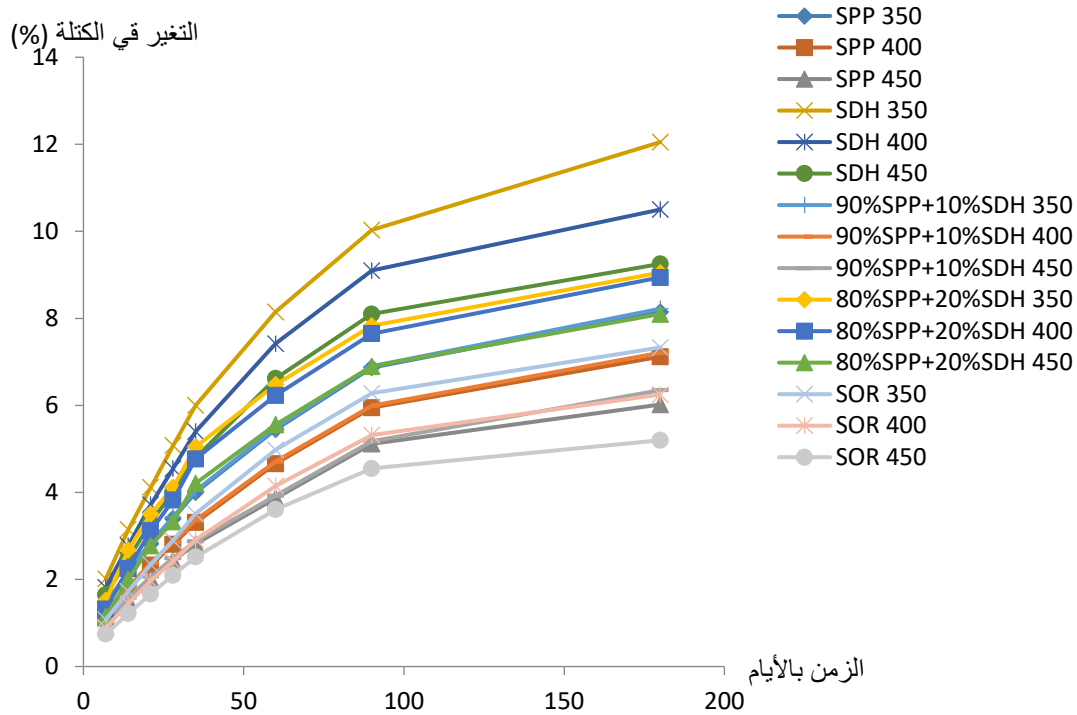
الشكل 50.IV منحني تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمنتي 350 كغ/م³



الشكل 51.IV منحنى تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمطي 400 كغ/م³

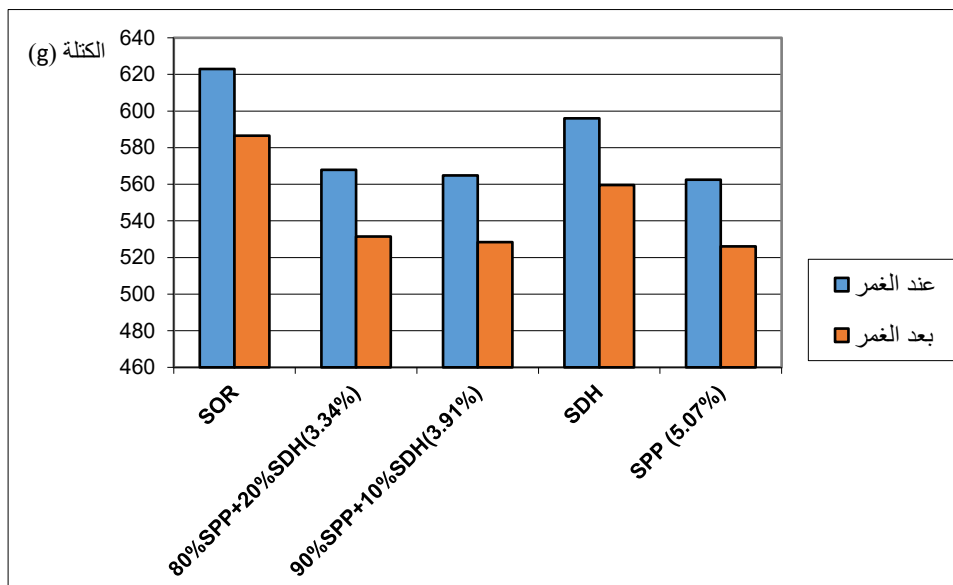


الشكل 52.IV منحنى تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب التركيز الاسمطي 450 كغ/م³

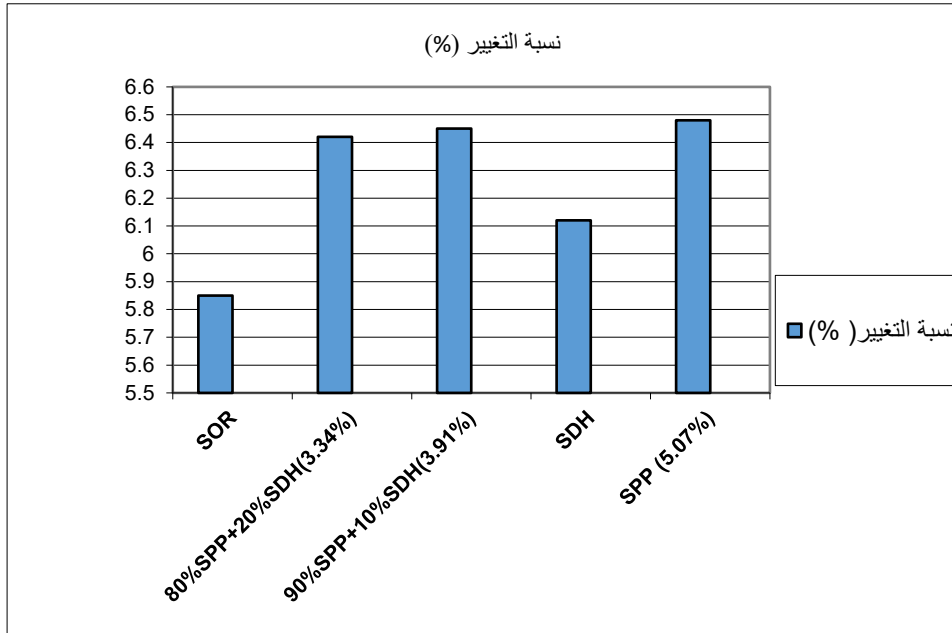


الشكل 53.IV منحني تطور نسبة فقدان الكتلة لمختلف الخرسانات الرملية حسب كل التراكيز الاسمنية

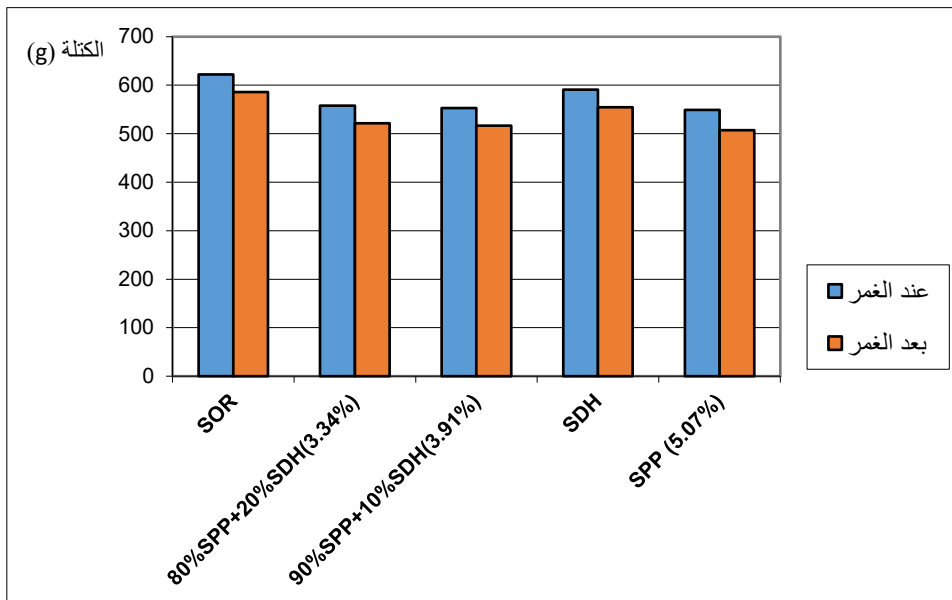
2- بعد مدة 180 يوم دون إخراج:



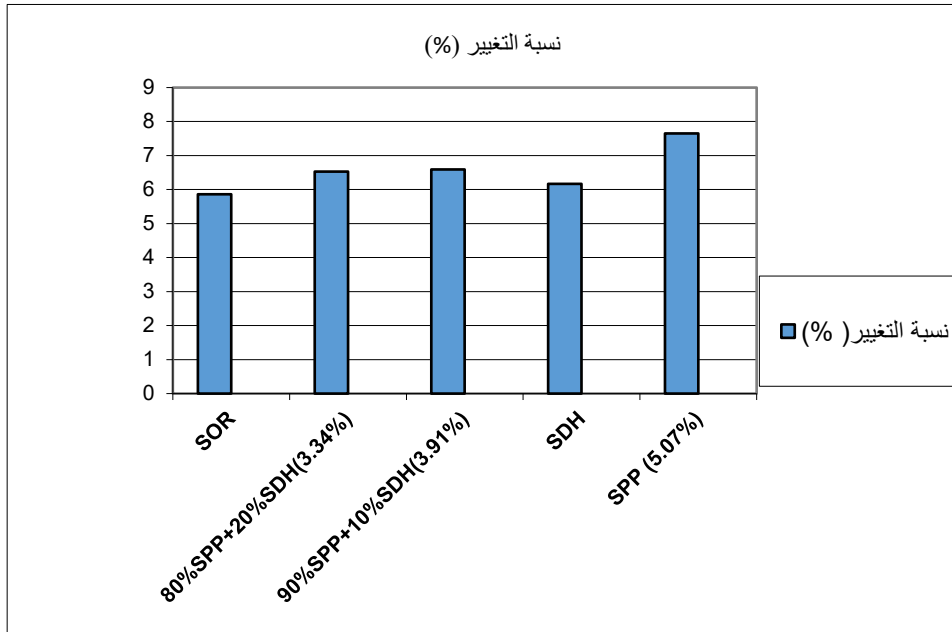
الشكل 54.IV نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 350



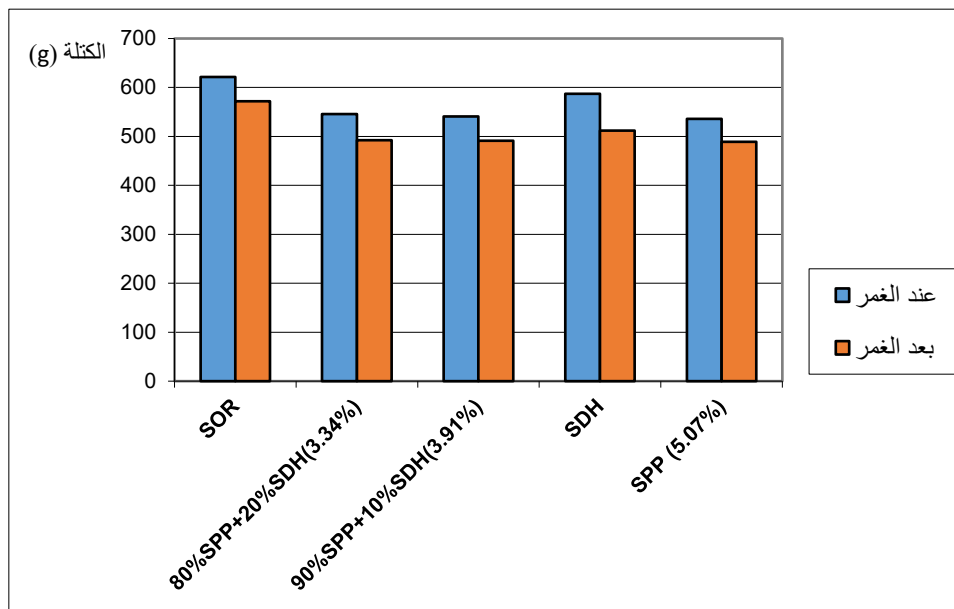
الشكل 55.IV نسبة فقدان الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 350



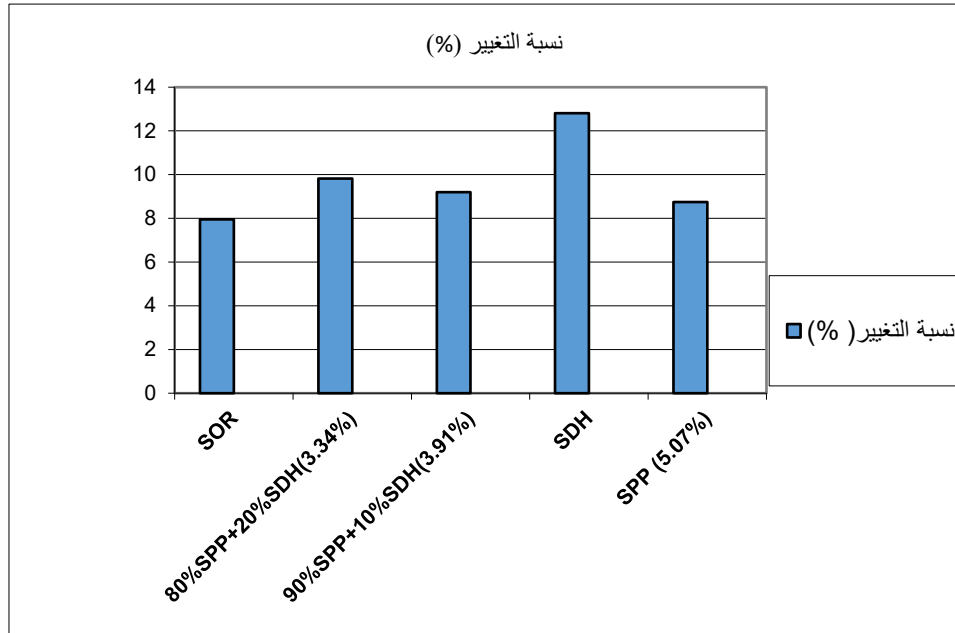
الشكل 56.IV نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 400



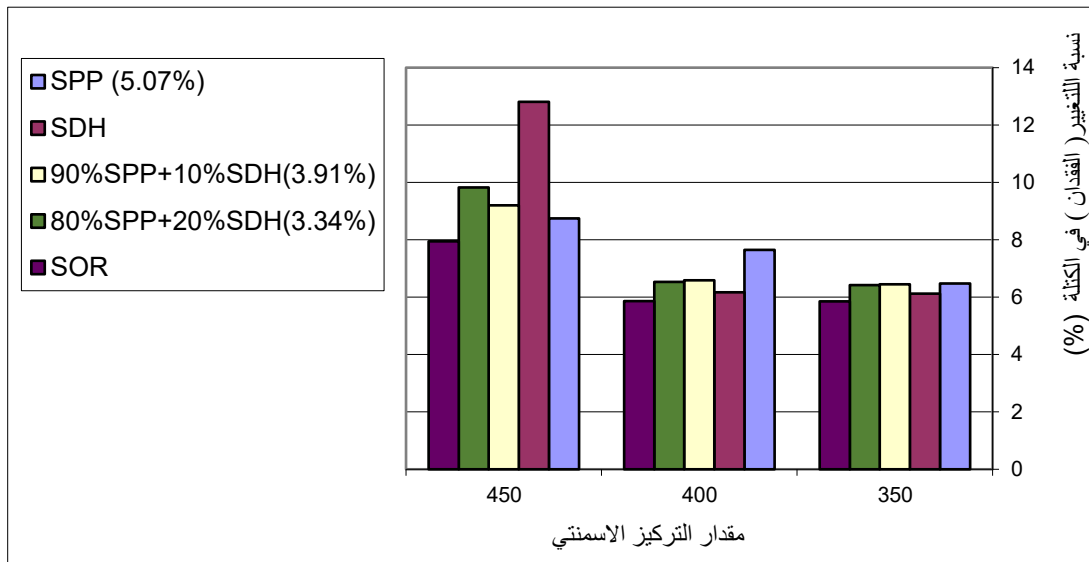
الشكل 57.IV نسبة فقدان الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 400



الشكل 58.IV نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمنتي 450



الشكل 59.IV نسبة فقدان الكتلة لمختلف العينات الخرسانية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمطي 450



الشكل 60.IV مقارنة نسبة تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لمختلف الخرسانات الرملية بعد 180 يوم حسب التركيز الاسمطي

3.1.3.7.IV مناقشة نتائج تجربة تغيير الكتلة :

تتعرض الخرسانة عند غمرها في أوساط عدوانية حمضية، خاصةً تلك الحاوية على حمض الكلور وحمض الكبريت (السلفات)، إلى سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تؤثر على بنيتها الفيزيائية والميكانيكية. وتتمثل أبرز هذه التغيرات في ما يسمى بـ"تغيير الكتلة"، والذي ينقسم إلى مرحلتين متعاقبتين: المرحلة الأولى هي اكتساب الكتلة نتيجة امتصاص المحلول الحمضي داخل بنية الخرسانة، والمرحلة الثانية هي فقدان الكتلة الناتج عن إزالة الرواسب السطحية بعد التنظيف وذوبان مكونات إسمنتية بفعل التآكل الكيميائي.

في هذه الدراسة، تم اعتماد طريقتين للتعرض للمحلول بالنسبة لكل حالة :

1 - بالنسبة لزيادة وزن العينات نقسم هذه الحالة الى جزئين :

* الجزء الأول متعلق بالتعرض الزمني المتقطع لعينات خرسانية الرمل المختلفة بإختلاف أنواعها وتركيباتها وخصائصها وأيضاً تركيزها الاسمنتي وهي كالتالي (رمل أبار البترول بنسبة زيت تساوي 5.07 % ورمل الكتبان ورمل النهري لواد الرتام ورمل مخلوط بين 90% من رمل ابار البترول و10 % من رمل الكتبان وبنسبة زيت تساوي 3.91 % ورمل مخلوط بين 80% من رمل ابار البترول و20 % من رمل الكتبان وبنسبة زيت تساوي 3.34 %) داخل محلول حمضي متكون من حمض الكبريت وحمض الكلور وذلك عبر مدد زمنية وهي كل 7 ايام ثم تزيد إدخال وإخراج ثم إدخال وإخراج وهكذا دواليك حتى نصل الى 180 يوماً . في هذا الجزء لاحظنا أن كل العينات اكتسبت وزناً إضافياً حسب كل مدة زمنية معينة وكلما زاد التركيز الاسمنتي قل الوزن المكتسب بحيث إكتسبت العينة الخرسانية لرمل أبار البترول (SPP) نسبة 2.14 % من وزنها الأصلي خلال 180 يوم من التعريض المتقطع بالنسبة للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³ أما بالنسبة للتركيز 400 و450 كغ/م³ فكانت نسبة الاكتساب على التوالي 2.13 % و 2.08 % وكان نفس الشيء بالنسبة لمختلف العينات ،أما كمقارنة لنسبة الاكتساب لعينة (SPP) مع مختلف العينات الأخرى عند التعريض المتقطع فكانت متفوقة عليهم بقله الاكتساب لجميع التراكيز الاسمنتية بنسب متفاوتة بين 2.24 % و 12.22 % بالنسبة للتركيز الإسمنتي 350 كغ/م³ وبين 0.42 % و 30.56 % بالنسبة للتركيز 400 كغ/م³ وبين 0.43 % و 29.91 % بالنسبة للتركيز 450 كغ/م³ .

* الجزء الثاني متعلق بالتعرض المستمر لمدة 180 يوماً متواصلة لنفس العينات المذكورة سابقاً بالنسبة لهذا الجزء لاحظنا أن كل العينات اكتسبت وزناً إضافياً أيضاً ولكن هذه العينات كان اكتسابها اقل من اكتساب التعريض المتقطع باستثناء عينات رمل الكتبان (SDH) وعينات الرمل المخلوط (80%SPP+20%SDH) التي كان اكتسابها اكثر وهذا راجع لتدرجهما الحبيبي السيئ ومساميتهما الكبيرة.

- يعود هذا التغيير في زيادة الكتلة في كل العينات إلى اكتسابها كمية من الماء مما أدى إلى تشبعها من

جهة[55]

ومن جهة أخرى إلى تفاعل بعض مكونات طبقات الإسمنت الخارجية أهمها هيدروكسيد الكالسيوم (Ca(OH)_2 -البرتلانديت) مع المركبات الحمضية الموجودة في وسط الحفظ والمتمثلة في شوارد (Cl^- و SO_4^{--}) وذلك بتكوين طبقة ملحية خارجية تترسب بالتدريج مكونة مادة صلبة بيضاء هي الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) وكلوريد الكالسيوم (CaCl_2) تكون هي سبب زيادة وزن العينات، وذلك راجع إلى أن بعض من المادة الإسمنتية تفاعلت مع هذه الأحماض واكتسبت منها كتلة زائدة ، هذه المادة المكتسبة بعد تفاعلها تتحول من الحالة السائلة - حالة المحلول الحمضي - إلى حالة صلبة - حالة الملح المترسب على سطح العينات.

- وتم ملاحظة إختلاف نسبة زيادة الكتلة بين عينات خرسانة الرمل المختلفة وهذا مرده إلى الإختلاف في نسب المركبات الكيميائية المكونة بينهم ، فرمل أبار البترول (SPP) يحتوي على 2.10 % من عنصر الكالسيوم (Ca) المكون لأهم الأكاسيد وهو أكسيد الكالسيوم (CaO)، ورمل الكثبان (SDH) على 0.91 % ، والرمل النهري لواد الرتام الذي يحتوي بدوره على 0.81 % من نفس العنصر وكمقارنة لهذه النسب نجد أن رمل أبار البترول متفوق عليهم جميعا وللعلم ان أكسيد الكالسيوم (CaO) يتحد مع الشوارد المكونة للمحلول العدوانى وهي SO_4^{--} و Cl^- فيشكل تلك المواد المترسبة فالأول SO_4^{--} عند اتحاده مع CaO وبوجود الماء يعطي الجبس والثاني يعطي كلوريد الكالسيوم وكلها رواسب بيضاء تتموضع على سطح العينات كما شاهدناه ، فكلما كانت نسبة أكسيد الكالسيوم أكثر كان الناتج من هذه المواد أكثر، وبالتالي الزيادة في الكتلة [31].

وقد يتبادر إلى الذهن أن نسبة الكالسيوم في رمل أبار البترول تظهر أكثر مما عليه في الرمال الأخرى ، فكيف يكون فقدان الكتلة في خرسانة رمل أبار البترول أقل منها في خرسانة رمل الكثبان وخرسانة رمل واد الرتام ؟ نقول رغم أن رمل أبار البترول يحتوي على نسبة أكثر من CaO ، إلا أن الطبيعة المغلقة أو الملوثة لسطحه، وضعف الامتصاص، وذوبانية نواتج التفاعل كلها تؤدي إلى عدم تفاعل فعلي كبير مع الأحماض، وبالتالي تسجل الخرسانة أدنى اكتساب للكتلة مقارنة بالرمال الأخرى ، وأيضا ليس كل CaO الموجود في الرمل يكون بالضرورة نشط كيميائياً أو قادر على التفاعل بسهولة مع الأحماض. والسبب أن:

- CaO قد يكون داخل البنية البلورية الصلبة للرمل (مثلاً في معادن مدمجة)، وليس حرّاً على السطح.
- أو قد يكون مغلفاً بطبقة من الزيت أو الشوائب العضوية

وبالتالي الحمض لا يستطيع الوصول اليه بسهولة كبيرة فالتفاعل يكون محدود والترسب قليل وإكتساب الوزن يكون منخفضاً وقد وجد مثل هذا العديد من الباحثين منهم [165,160] .

2 - أما في الحالة الثانية المتعلقة بفقدان الوزن فقد تم تقسيم هذه الحالة أيضا الى جزئين حسب طريقة التعريض الزمني.

* الجزء الأول متعلق بالتعريض الزمني المتقطع لعينات خرسانية الرمل المختلفة بإختلاف أنواعها وتركيباتها وخصائصها وأيضا تركيزها الاسمنتي داخل محلول حمضي عبر مدد زمنية وهي كل 7 ايام ثم تزيد إدخال وإخراج ثم إدخال إخراج وهكذا دواليك حتى نصل الى 180 يوما . في هذا الجزء لاحظنا أن كل العينات فقدت وزن معين حسب كل مدة زمنية معينة وكلما زاد التركيز الاسمنتي قل الوزن المفقود بحيث فقدت العينة الخرسانية لرمل آبار البترول (SPP) نسبة 8.15 % من وزنها الأصلي خلال 180 يوم من التعريض المتقطع بالنسبة للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³ أما بالنسبة للتركيز 400 و 450 كغ/م³ فكانت نسبة الفقدان على التوالي 7.12 % و 6.02 % وكان نفس الشئ بالنسبة لمختلف العينات ،أما كمقارنة لنسبة الفقدان لعينة (SPP) مع مختلف العينات الأخرى عند التعريض المتقطع فكانت متفوقة عليهم بقلة الفقدان لجميع التراكيز الاسمنتية بنسب متفاوتة بين 0.86 % و 32.37 % بالنسبة للتركيز الإسمنتي 350 كغ/م³ وبين 1.26 % و 32.20 % بالنسبة للتركيز 400 كغ/م³ وبين 5.20 % و 34.93 % بالنسبة للتركيز 450 كغ/م³ باستثناء عينة (SOR) التي كانت الأقل فقدا للوزن متفوقة على عينة رمل آبار البترول بنسب تساوي 0.10.05 % , 12.23 % , 13.62 % عند التراكيز الاسمنتية 350 و 400 و 450 على التوالي .

* الجزء الثاني متعلق بالتعريض المستمر لمدة 180 يوما متواصلة لنفس العينات المذكورة سابقا بالنسبة لهذا الجزء لاحظنا أن كل العينات فقدت وزن معين أيضا ولكن هذه العينات كان فقدانها للوزن اقل من فقدانها للوزن عند التعريض المتقطع بالنسبة للتراكيز الاسمنتية 350 و 400 باستثناء التركيز 450 الذي أعطى فقدان أكبر .
- يعود هذا التغير في نقصان الكتلة في كل العينات إلى مايلي :

عند غسل العينات وتنظيفها من الطبقة الملحية فقد أفقدها نسبة من الوزن، ومرده إلى أن بعض كتلة العينة المتمثلة في المركبات الإسمنتية الموجودة على سطحها والمتمثلة في عناصر البورتلانديت $Ca(OH)_2$ خصوصا وبعض العناصر الأخرى عموما والتي تفاعلت مع الأحماض الخارجية لتعطي مادة جديدة ملحية تختلف عن تلك المركبات في الطبيعة الكيميائية والفيزيائية فلونها أبيض غير لون الإسمنت وطبيعتها الكيميائية غير طبيعة الإسمنت وعند إزالتها بالتنظيف ينقص من وزن العينة، ثم عند إعادة هذه العينة للوسط الحمضي من جديد ستعود التفاعلات فينقص من وزن المادة الإسمنتية المذكورة للتحويل إلى ذلك الملح من جديد وهكذا دواليك. وقد وجد نحو هذا كل من [79]

- وتم ملاحظة إختلاف نسبة نقصان الكتلة بين عينات خرسانة الرمل المختلفة وهذا مرده إلى الإختلاف في مقدار التأثير الذي قام به المحلول الحمضي من خلال التفاعل مع بعض مكونات طبقات الإسمنت الخارجية أهمها هيدروكسيد الكالسيوم $(Ca(OH)_2 -$ البرتلانديت) مع كل نوع من العينات المختلفة وهذا ما بينته نتائج نسبة الاكتساب للوزن التي تدل على نسبة التغلغل والإختراق للمحلول الحمضي فكلما زاد التغلغل والإختراق زاد إكتساب للوزن ومن ثم فقدان أكثر للوزن بعد الغسل على حسب كل عينة وهذا ما وجدته الباحث [79,165]

الخلاصة:

- خرسانة رمل أبار البترول بتركيز إسمنتي 450 كغ/م³ قدمت أداءً ممتازاً في مقاومة الضغط وتحمل التعريض العدوانية، رغم فقدانها نسبياً للكتلة، مما يدل على فعالية هذه المادة في التطبيقات الهندسية المستدامة.
- الخلطات التي تحتوي على رمل كثبان أظهرت نتائج مقبولة، لكنها أقل استقراراً من SPP، خاصة في التركيزات المنخفضة.
- التعريض المستمر يمثل بيئة أكثر عدوانية تُسرّع التدهور، في حين أن التعريض المتقطع يمنح مؤشرات واضحة على قدرة الخرسانة على استيعاب الاختراقات ثم تعزيز بنيتها لاحقاً.
- كلما زاد تركيز الإسمنت، زادت تفاعلية العجينة مع المحلول، مما يؤدي إلى فقد ظاهري في الكتلة، لكنه غالباً ما يقابل بتحسين ميكانيكي داخلي، بدليل ارتفاع مقاومة الضغط في هذه الحالات.

4.1.3.7.IV طبيعة الرواسب الملحية المتكونة على العينات :

خلال فترة الغمر في المحاليل الحمضية ومتابعة التغيرات في الكتلة، تم رصد تشكل طبقة بيضاء ذات مظهر ملحي على أسطح العينات الخرسانية. وبعد إزالة هذه الطبقة وتحليل مكوناتها لتحديد طبيعتها الكيميائية، تبين أن هذه الرواسب تتكوّن أساساً من:

• الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

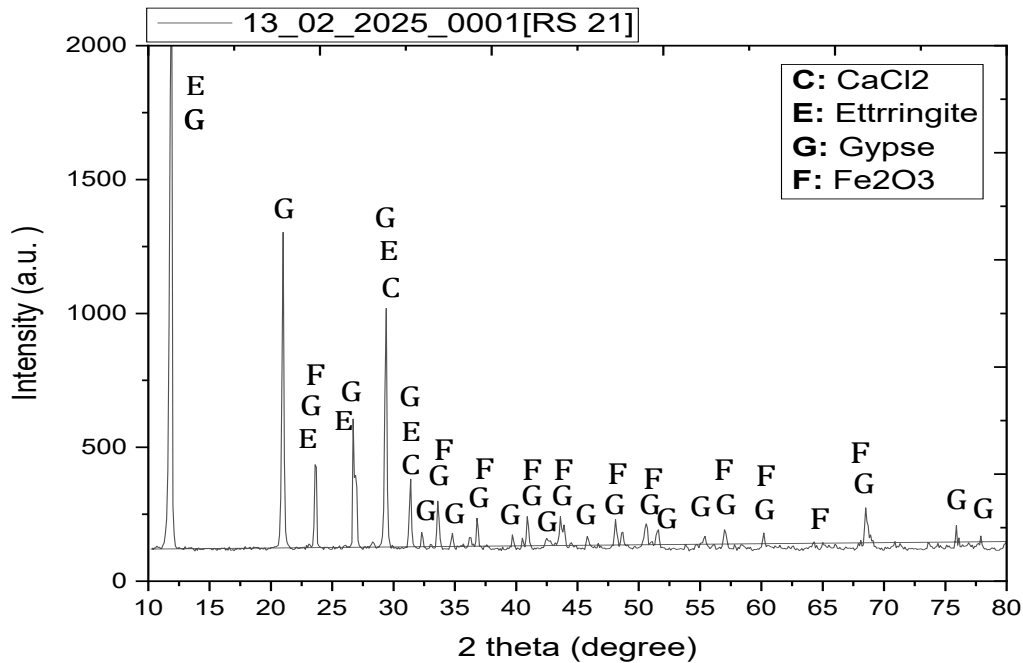
• الإترنجيت ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)

• كلوريد الكالسيوم (CaCl_2)

• أكسيد الحديد (Fe_2O_3)

وقد دعمت تحاليل حيود الأشعة السينية (XRD/DRX) هذه النتائج، حيث أظهرت المنحنيات الطيفية لأفضل العينات وجود الأطوار البلورية المطابقة للمركبات المذكورة، مما يؤكد نشوء هذه المركبات كنتيجة للتفاعلات الكيميائية بين مكونات الخرسانة والوسط العدواني.

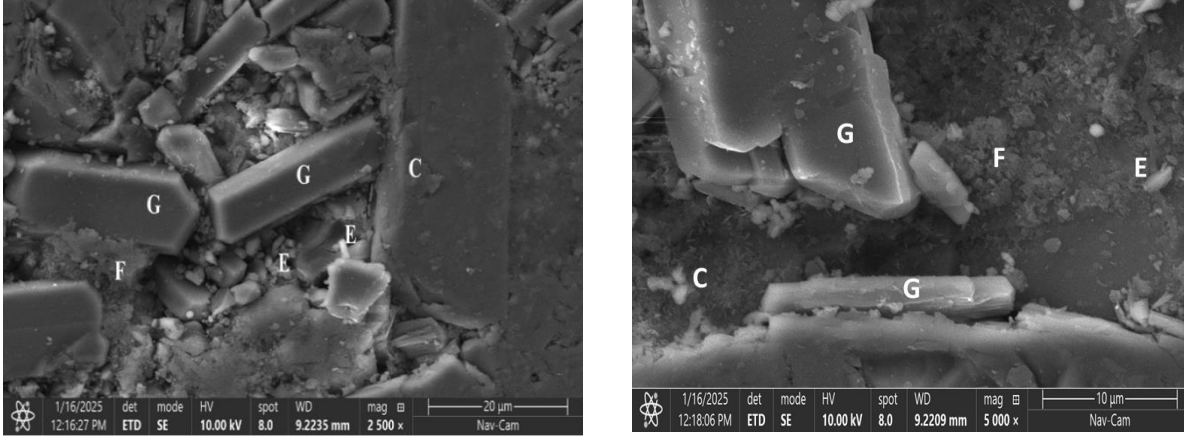
بالنسبة لعينات خرسانة رمل آبار البرول (SPP) بتركيز 450 كغ/م³ :



الشكل 61.IV منحنى المعالجة بأشعة DRX للرواسب الملحية على العينة (SPP) بتركيز 450 كغ/م³

* وهذا ايضا ما وجدناه من خلال المشاهدات الإلكترونية لهذه الرواسب:

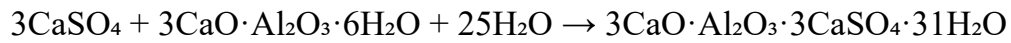
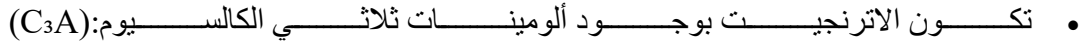
بالنسبة لعينات خرسانة رمل آبار البرول (SPP) بتركيز 450 كغ/م³ :



الصورة 1.IV المشاهدات الماسح الإلكتروني MBE الرواسب الملحية لعينات SPP 450

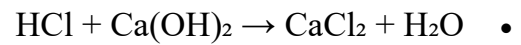
كشفت صور المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) عن وجود أجسام ذات شكل شبه مستطيل، بحدود منتظمة تشبه الأشكال الهندسية، وقد تم التعرف عليها على أنها بلورات الجبس. كما لوحظ وجود تراكيب بيضاء مستديرة وأخرى طويلة على هيئة عصي دقيقة، وهي مؤشرات على تشكل مادة الإترنجيت، وهو ما أشار إليه أيضًا المرجع [207].

يرجع ظهور هذه المركبات إلى تفاعلات كيميائية بين كل من حمض الكبريت (الممثل لأيون السلفات) وحمض الهيدروكلوريك مع هيدروكسيد الكالسيوم ونواتج إماهة الإسمنت، ما أدى إلى تكوّن مركبات مؤكدة ظهرت في تحاليل XRD. يمكن تمثيل هذه التفاعلات كما يلي:



وقد يكون الجبس المتكون أيضًا ناتجًا عن تفاعل حمض السلفات مع عنصر الكالسيوم الموجود في الرمال المستعملة ضمن الخلطة الخرسانية.

أما كلوريد الكالسيوم، فقد نشأ من تفاعل حمض كلور الماء مع هيدروكسيد الكالسيوم، كما يلي:

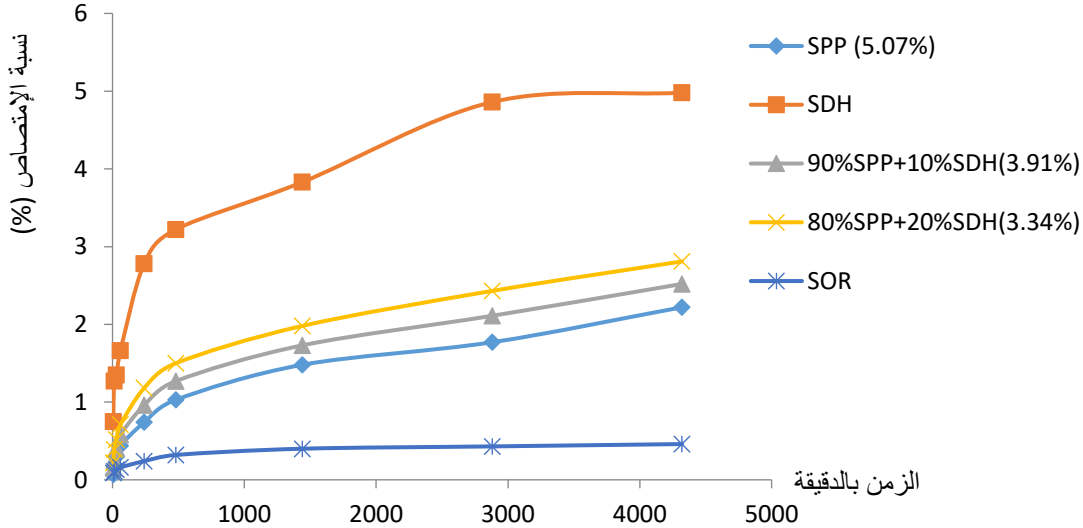


وهذه التفاعلات والمركبات الناتجة تم تأكيدها كذلك من قبل عدة دراسات سابقة مثل [63, 74, 207, 208]

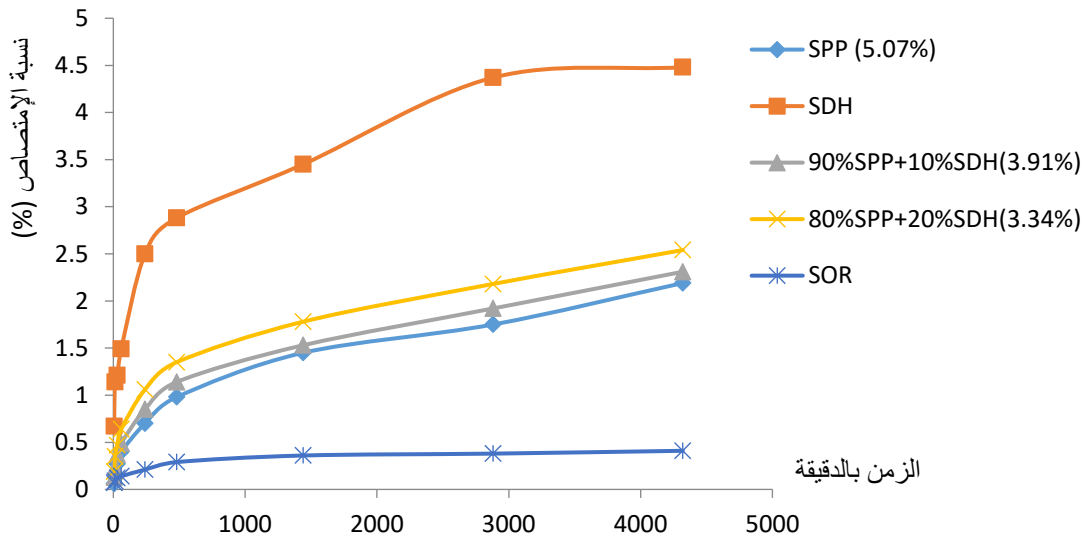
2.3.7.IV تجربة امتصاص الماء :

1.2.3.7.IV نتائج تجربة إمتصاص الماء المتعلقة بالوزن والزمن :

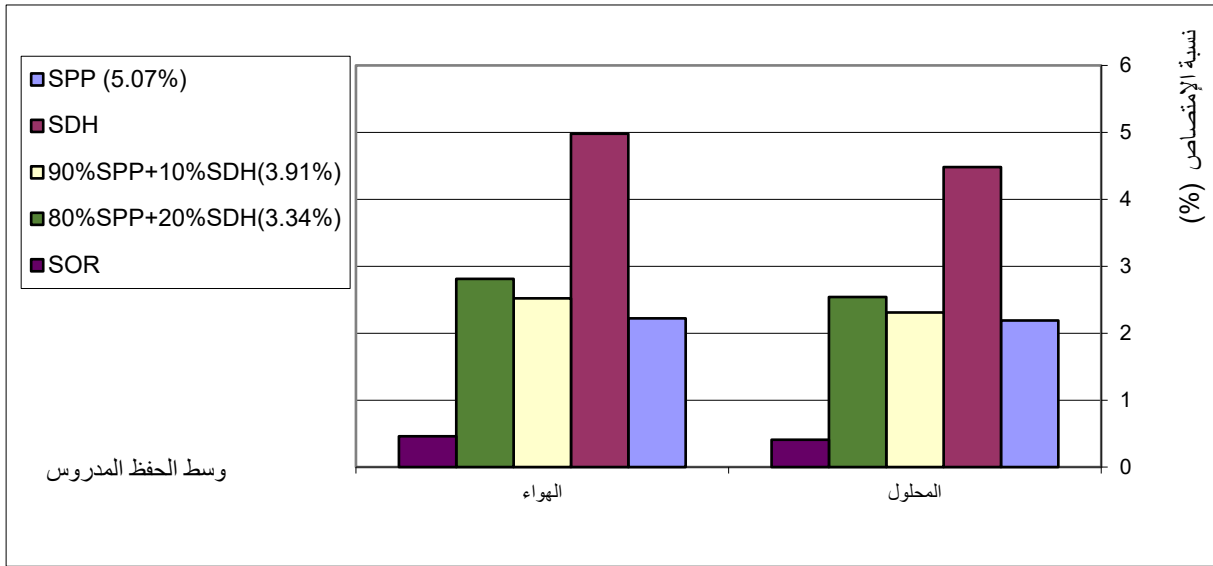
بالنسبة للتركيز الاسمني 350 كغ/م³



الشكل 62.IV منحني بياني يُظهر تطور نسبة امتصاص الماء عبر الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي

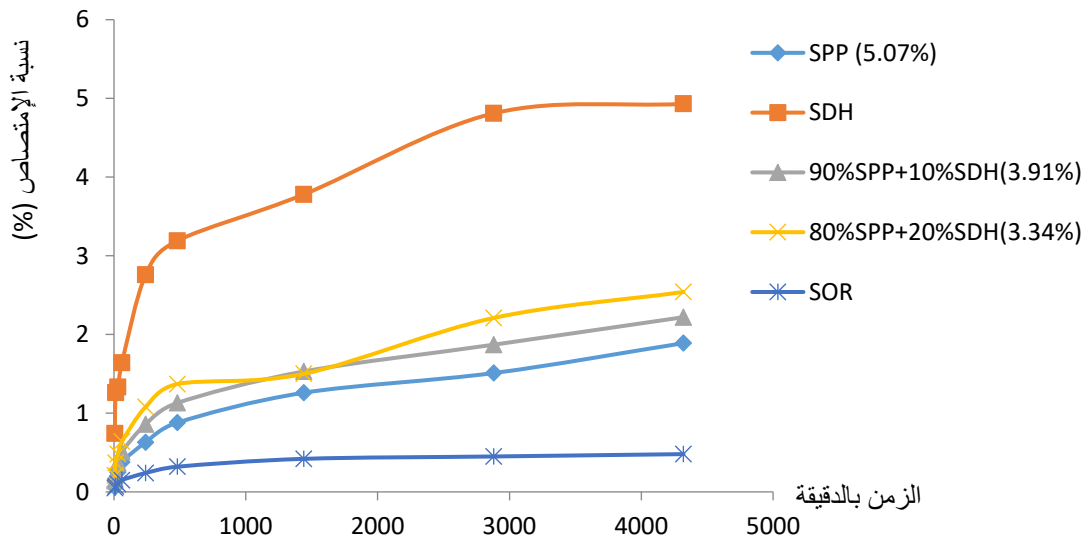


الشكل 63.IV منحني بياني يُبرز تطور نسبة امتصاص الماء مع مرور الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.

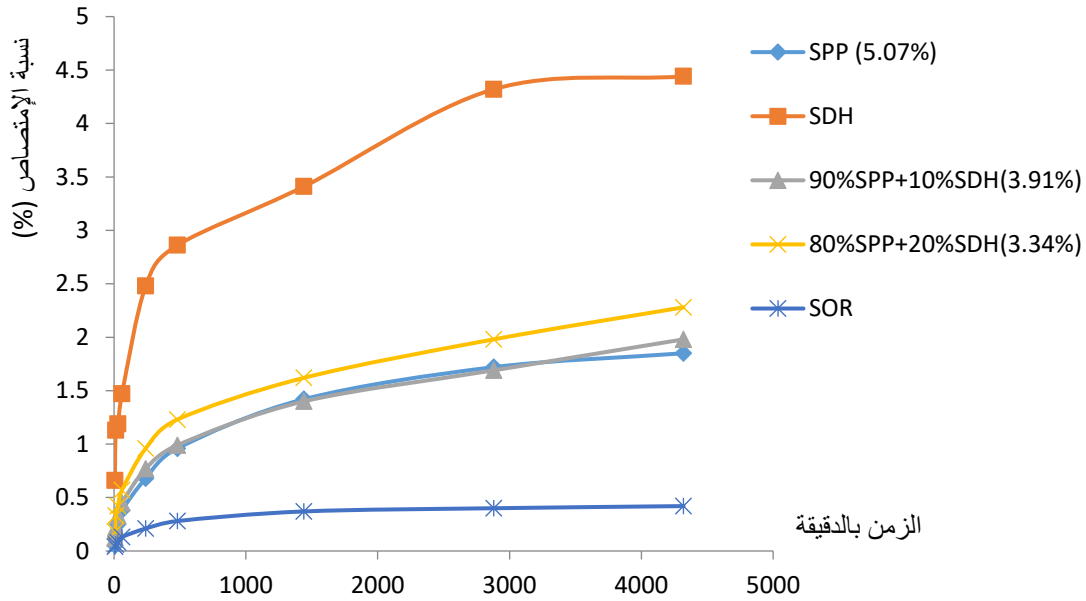


الشكل 64.IV يوضح مقارنة بين نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.

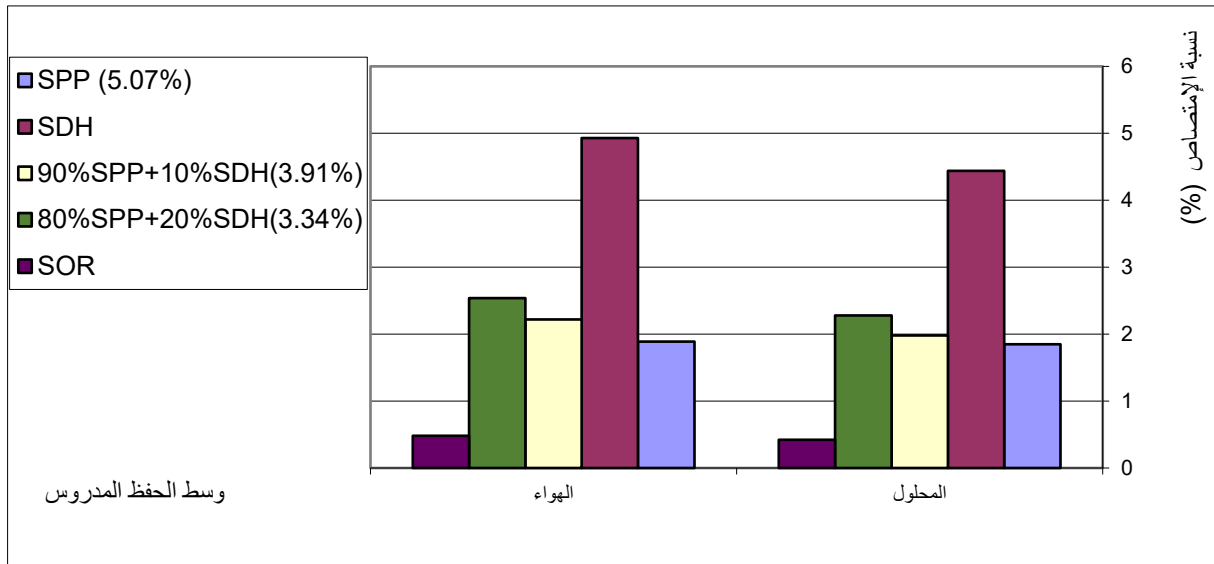
بالنسبة للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³



الشكل 65.IV منحنى بياني يُظهر تطور نسبة امتصاص الماء عبر الزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي

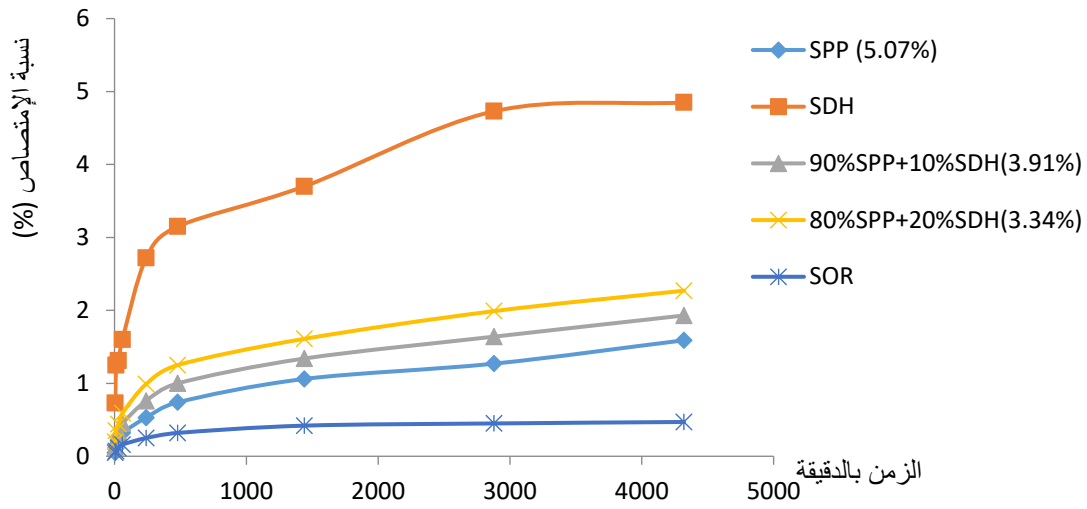


الشكل 66.IV منحنى بياني يُبرز تطور نسبة امتصاص الماء مع مرور الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.

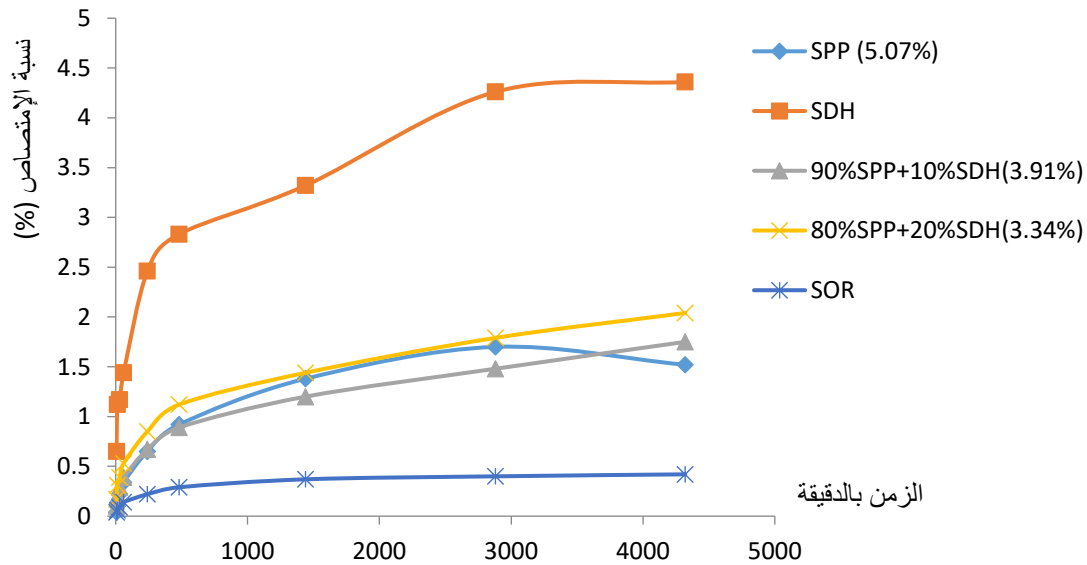


الشكل 67.IV يوضح مقارنة بين نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.

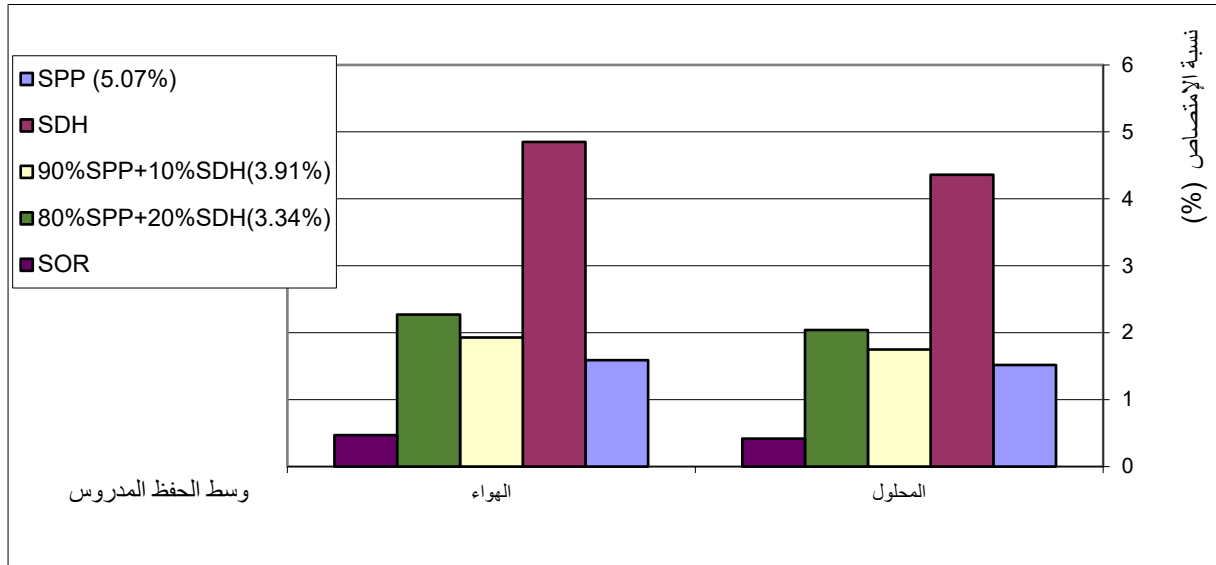
بالنسبة للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³



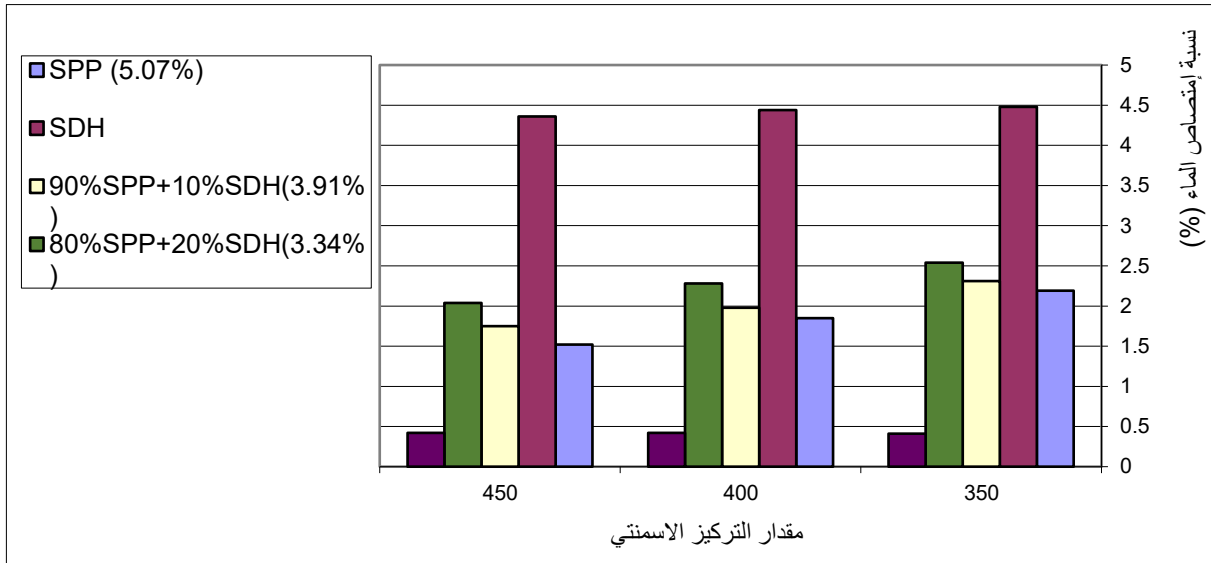
الشكل 68.IV منحنى بياني يُظهر تطور نسبة امتصاص الماء عبر الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي



الشكل 69.IV منحنى بياني يُبرز تطور نسبة امتصاص الماء مع مرور الزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.



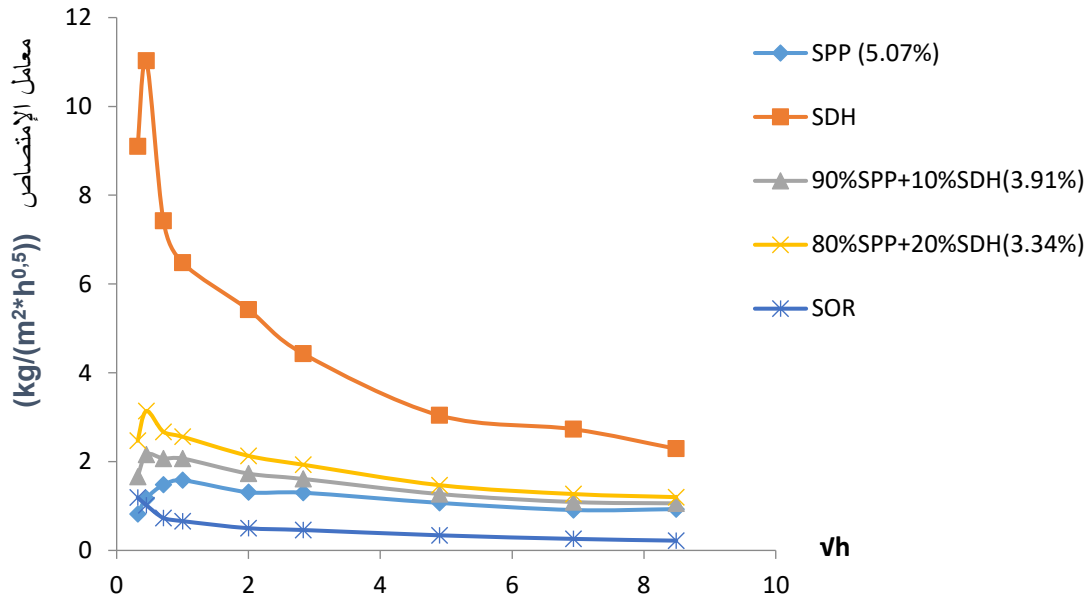
الشكل 70.IV يوضح مقارنة بين نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.



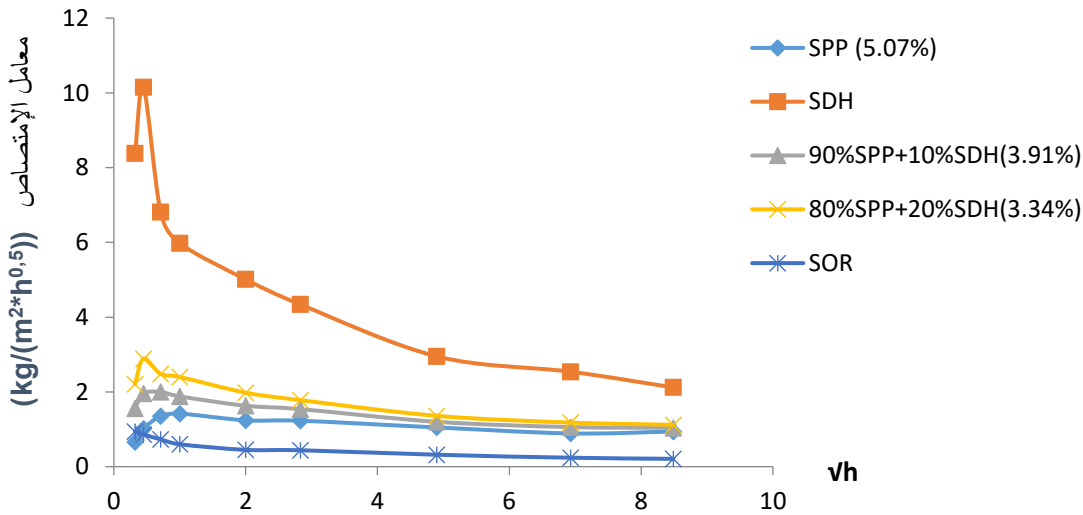
الشكل 71.IV يعرض مقارنة في نسب امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة بعد تعريضها لمدة 72 ساعة لوسط حمضي عدواني، وذلك باختلاف التراكيز الإسمنتية المستخدمة في الخلط.

2.2.3.7.IV نتائج تجربة إمتصاص الماء المتعلقة بالمساحة والزمن :

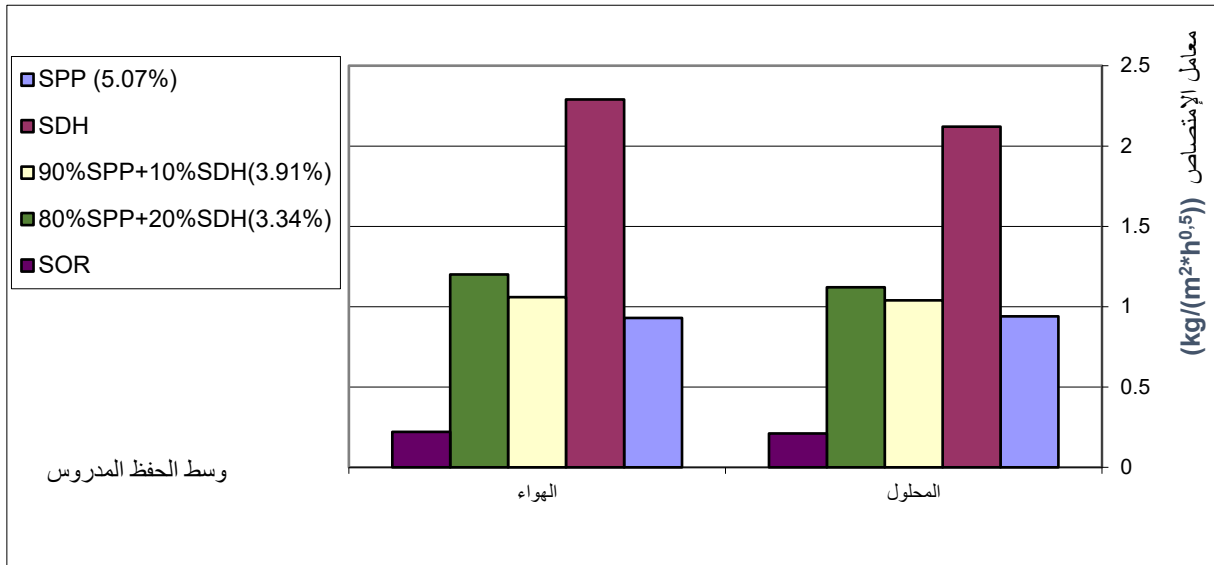
بالنسبة للتركيز الاسمطي 350 كغ/م³



الشكل 72.IV منحنى بياني يُظهر تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي

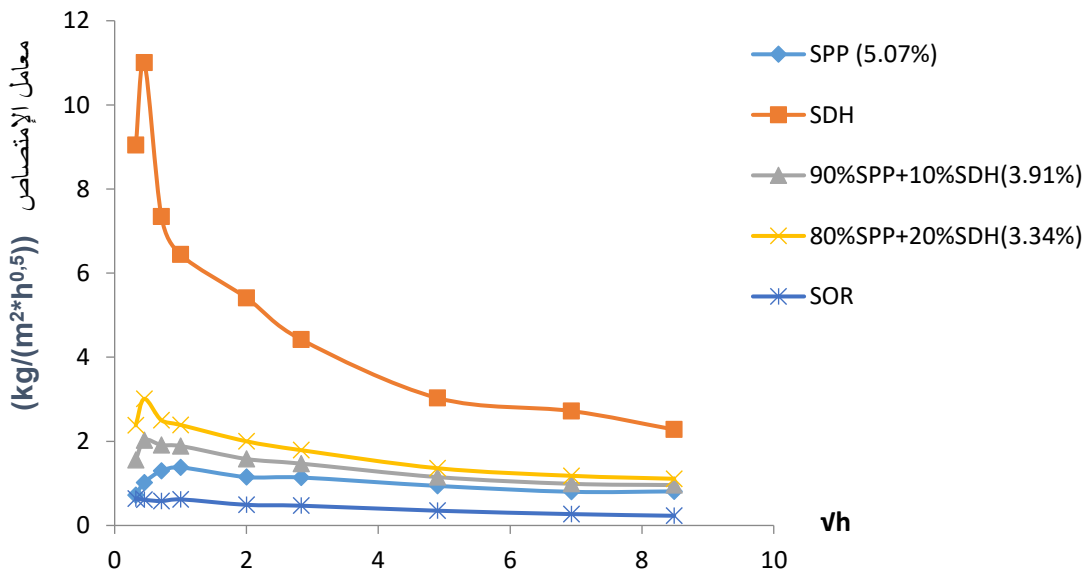


الشكل 73.IV منحنى بياني يُبرز تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.

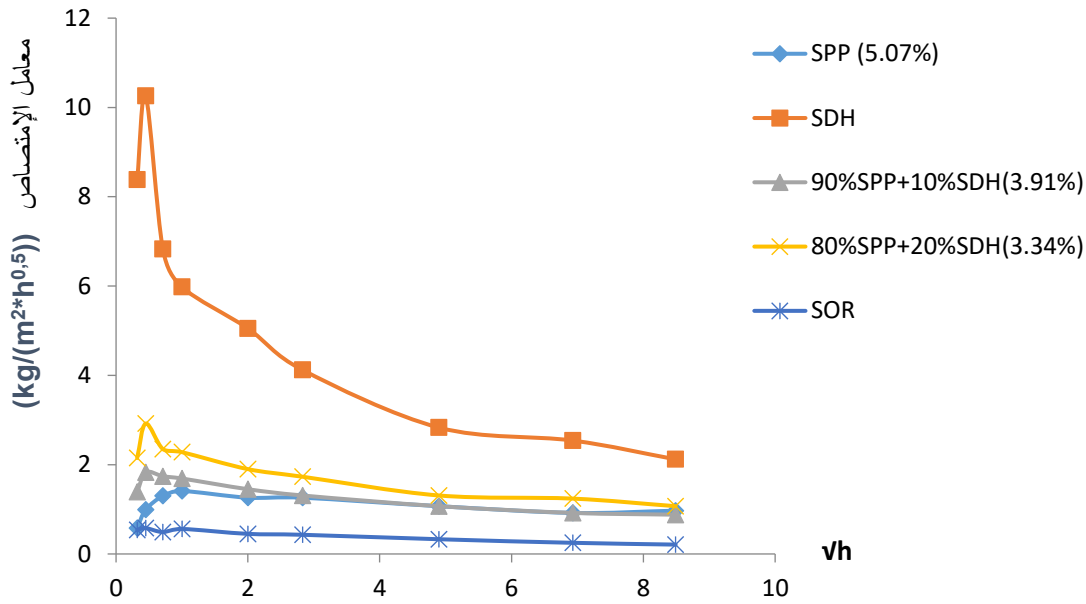


الشكل 74.IV يوضح مقارنة بين معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.

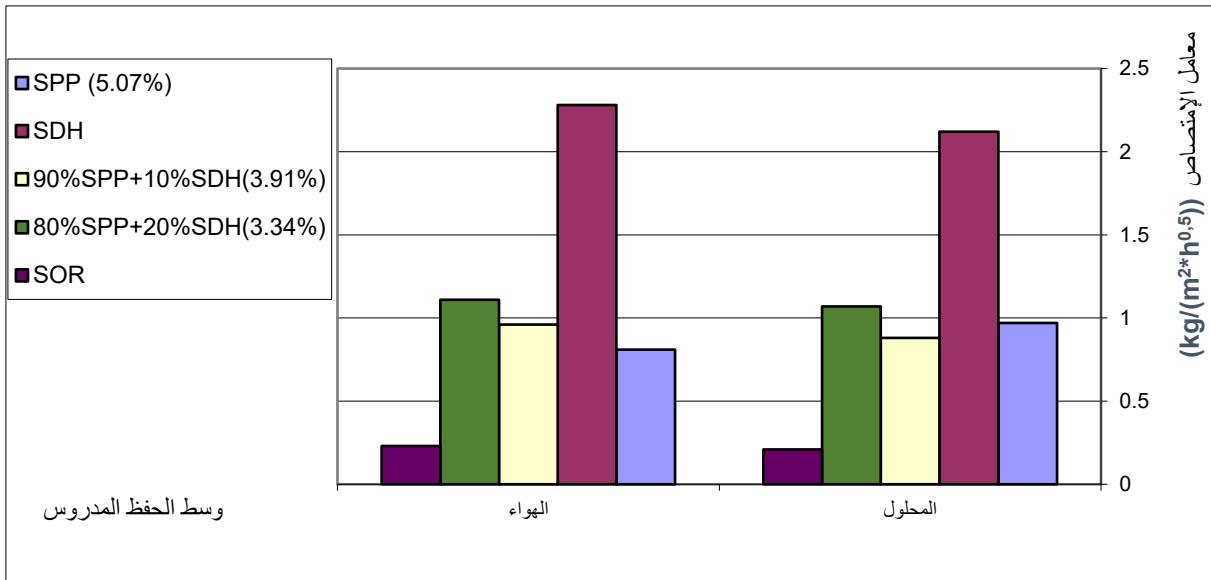
بالنسبة للتركيز الاسمطي 400 كغ/م³



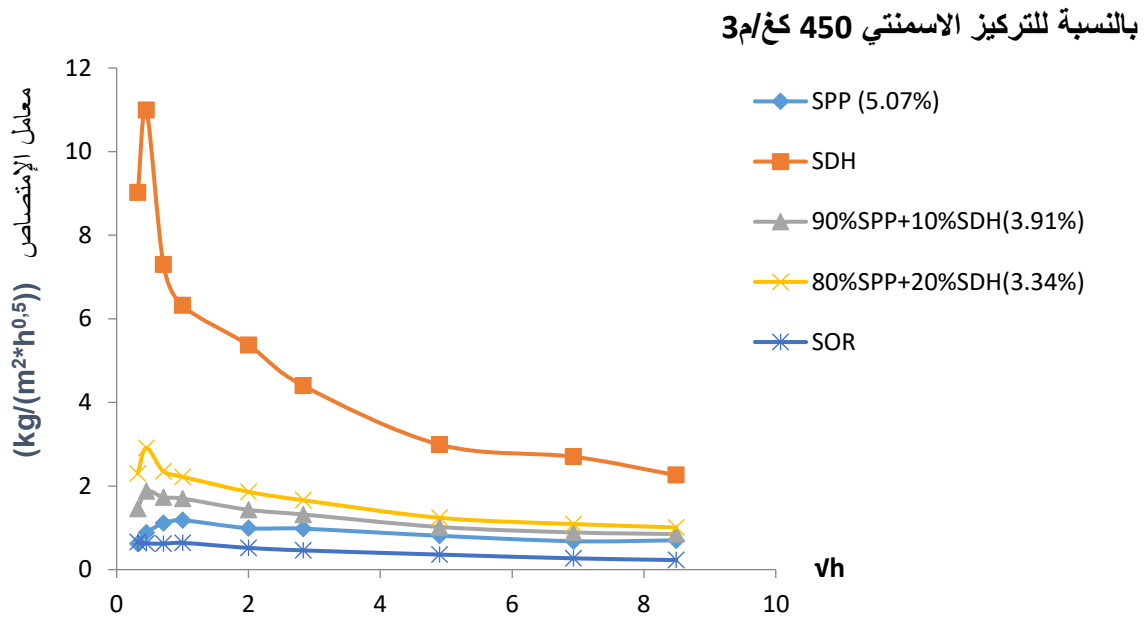
الشكل 75.IV منحنى بياني يُظهر تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي



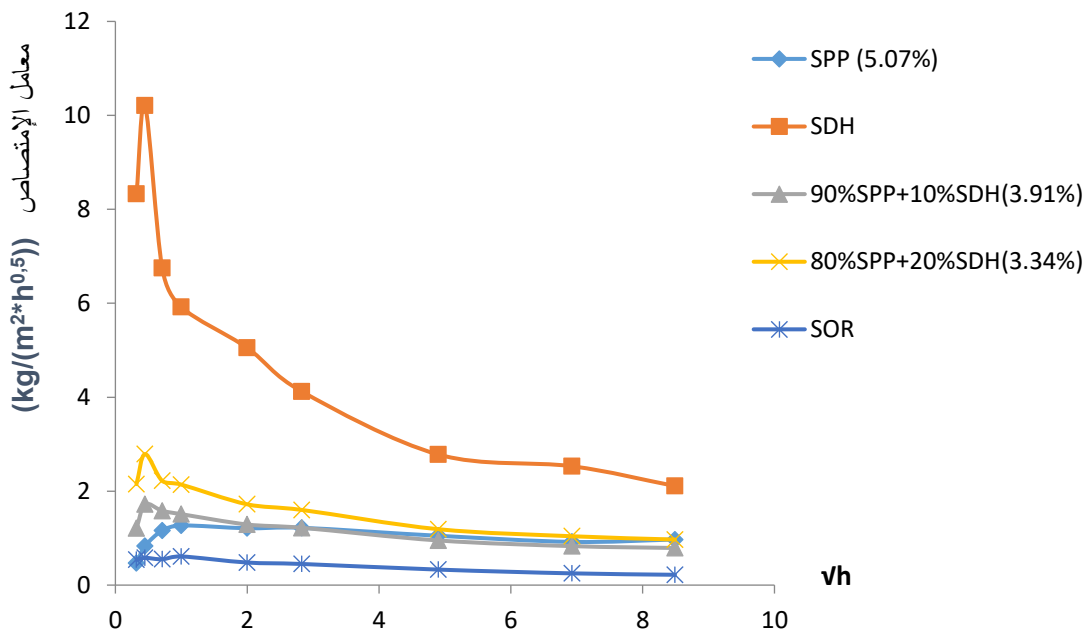
الشكل 76.IV منحنى بياني يُبرز تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.



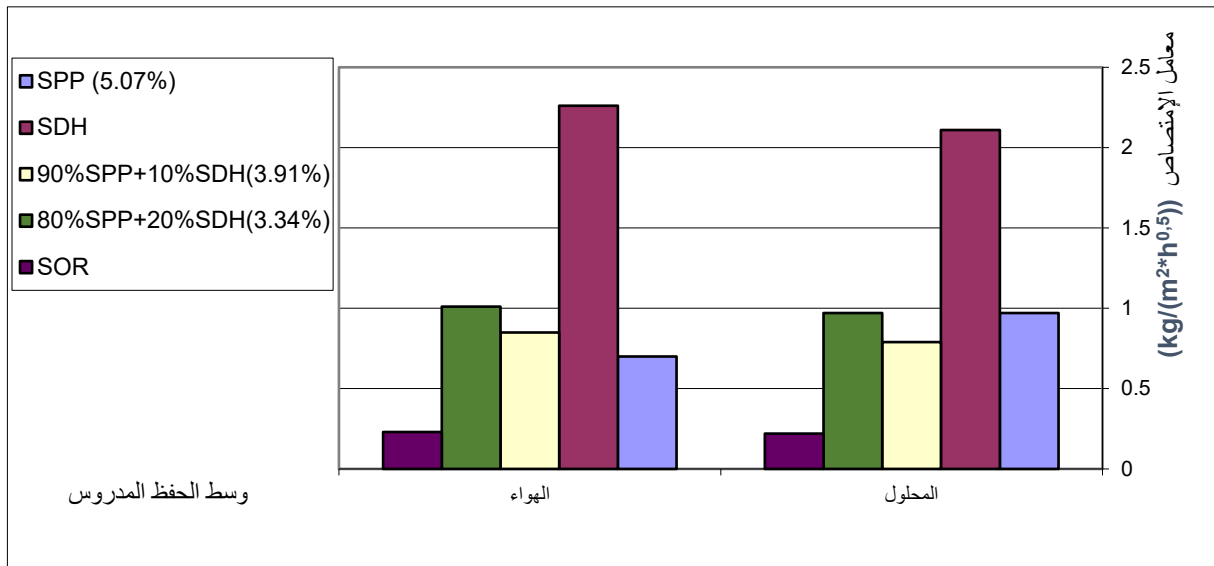
الشكل 77.IV يوضح مقارنة بين معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.



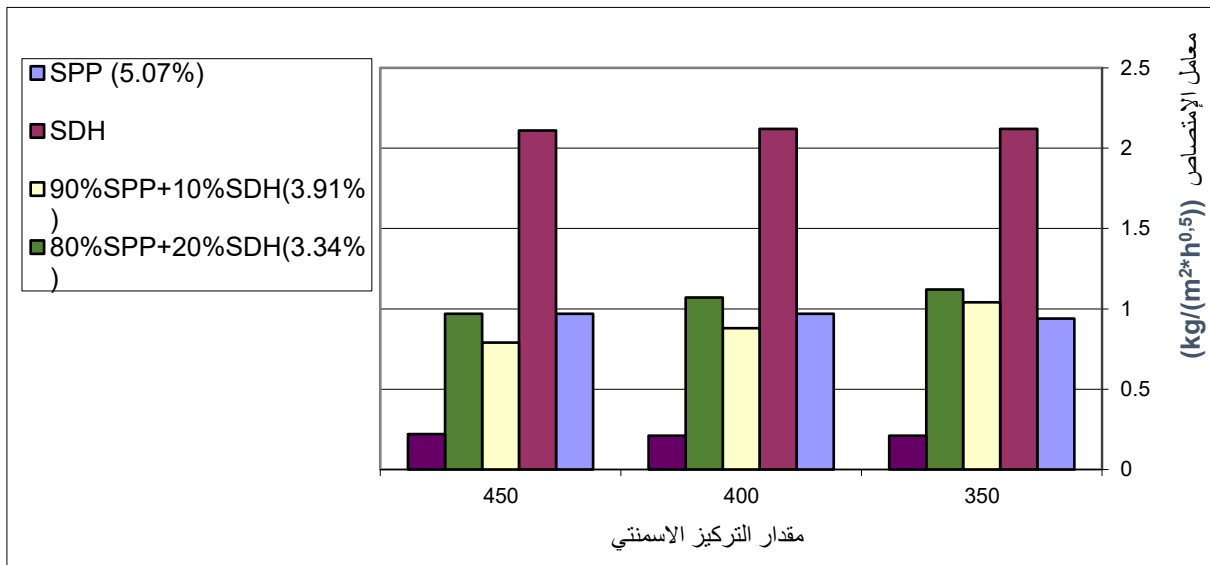
الشكل 78.IV منحنى بياني يُظهر تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل قيد الدراسة مقارنةً بخرسانة الرمل المرجعي، وذلك تحت ظروف الحفظ الهوائي



الشكل 79.IV منحنى بياني يُبرز تطور معامل امتصاص الماء عبر الجذر التربيعي للزمن لعينات الخرسانة المصنّعة من الرمل محل الدراسة والرمل المرجعي، وذلك أثناء تعرّضها لظروف الحفظ في محلول حمضي عدواني.



الشكل 80.IV يوضح مقارنة بين معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة، بعد حفظها لمدة 72 ساعة في وسطين مختلفين: هوائي وآخر محلول حمضي عدواني.



الشكل 81.IV يعرض مقارنة في معامل امتصاص الماء لمختلف عينات الخرسانة بعد تعريضها لمدة 72 ساعة لوسط حمضي عدواني، وذلك باختلاف التراكيز الإسمنتية المستخدمة في الخلط.

3.2.3.7.IV مناقشة نتائج تجربة إمتصاص الماء :

تُلاحظ من خلال المنحنى 58.IV ، الذي يُوضح التغيّر في نسبة الامتصاص لخرسانة رمل آبار البترول والرمال الأخرى عند التركيز الإسمنتي 350 كغ/م³، والمتعلّق بالعينات المُحفوظة في الوسط الهوائي (الشاهد)، أن عينة رمل آبار البترول (SPP) قد سجّلت نسبة امتصاص تُقدّر بـ 2.22%، وهي أقل من العينات الأخرى بنسب متفاوتة، باستثناء عينة الرمل الطبيعي (SOR) التي سجّلت أقل نسبة امتصاص تُقدّر بـ 0.46% أما بالنسبة للنتائج المتعلّقة بنفس التركيز والموضحة في المنحنى 59.IV ، والخاصة بالعينات المُحفوظة في الوسط الحمضي (المحلول)، فقد سجّلت عينة رمل آبار البترول (SPP) نسبة امتصاص تُساوي 2.19%، وهي كذلك أقل من العينات الأخرى بنسب متفاوتة، وإن كانت هذه الفروقات أقل مما في الوسط الهوائي، باستثناء عينة الرمل الطبيعي (SOR) التي سجّلت نسبة امتصاص بلغت 0.41%.

أما فيما يخص نتائج المنحنى 61.IV عند التركيز 400 كغ/م³ والمتعلّقة بالعينات المُحفوظة في الوسط الهوائي، فقد سجّلت عينة رمل آبار البترول (SPP) نسبة امتصاص تُقدّر بـ 1.89%، وهي كذلك أقل من بقية العينات، باستثناء الرمل الطبيعي (SOR) الذي سجّل نسبة امتصاص بـ 0.48% وعند النظر إلى نتائج المنحنى 62.IV ، للعينات ذات التركيز نفسه والمحفوفة في الوسط الحمضي، نجد أن نسبة الامتصاص لعينة رمل آبار البترول (SPP) بلغت 1.85%، وهي أقل من باقي العينات، باستثناء الرمل الطبيعي (SOR) بنسبة 0.42%.

أما نتائج المنحنى 64.IV عند التركيز 450 كغ/م³ والمتعلّقة بالعينات المُحفوظة في الوسط الهوائي، فقد أظهرت أن عينة رمل آبار البترول (SPP) سجّلت نسبة امتصاص تُقدّر بـ 1.59%، وهي كذلك أدنى من باقي العينات، باستثناء الرمل الطبيعي (SOR) بنسبة 0.47% وبالنسبة للعينات ذات التركيز نفسه والمحفوفة في المحلول الحمضي والمتعلقة بالمنحنى 65.IV ، فقد سجّلت عينة رمل آبار البترول (SPP) نسبة امتصاص تُقدّر بـ 1.52%، وكانت أيضاً أقل من باقي العينات، باستثناء الرمل الطبيعي (SOR) بنسبة 0.42%.

كما يُبيّن المنحنى 60.IV ، الخاص بالمقارنة بين العينات المُحفوظة في الهواء (كشاهد) وتلك المُغمورة في المحلول، عند تركيز إسمنتي 350 كغ/م³، أنّ نسبة الامتصاص في الهواء كانت دائماً أعلى. فقد سجّلت عينة رمل آبار البترول (SPP) التي تحتوي على نسبة زيت تبلغ 5.07% فرقاً قدره 0.03%، أما الخرسانة التي تحتوي على رمل الكتبان (SDH) فكان الفرق 0.50% وفي حالة العينات التي تحتوي على رمل مخلوط (SPP 90% + SDH 10%) بنسبة زيت 3.91%، و (SPP 80% + SDH 20%) بنسبة زيت 3.34%، فقد بلغ الفرق على التوالي 0.21% و 0.27% أما الخرسانة المحتوية على الرمل الطبيعي (SOR) ، فقد بلغ الفرق 0.05%.

وينطبق نفس النمط على المنحنى 63.IV عند التركيز 400 كغ/م³، حيث كانت نسب الامتصاص في الهواء أعلى من المحلول سجّلت عينة SPP فرقاً قدره 0.04%، و SDH فرقاً قدره 0.49%، بينما كانت الفروقات في

الرُّكام المخلوط (90% و80%) من SPP على التوالي 0.24% و0.26%، والرمل الطبيعي (SOR) فرقاً قدره 0.06%.

وفيما يخص المنحنى 66.IV عند تركيز 450 كغ/م³، فقد كانت نتائج الامتصاص في الهواء أعلى من المحلول كما في السابق. سجّلت عينة SPP فرقاً قدره 0.07%، و SDH فرقاً قدره 0.49%، في حين بلغت الفروقات في الخلطات (90% و80% SPP) على التوالي 0.18% و0.23%، أما الرمل الطبيعي (SOR) فكان الفرق 0.05%.

الملاحظ على النتائج المتحصل عليها في تجربة امتصاص الماء بالخاصية الشعرية أن هناك تمايزاً بين نتائج كل تركيبة من تركيبات الخرسانة المدروسة وسنناقش هذا حسب :

أ - تأثير نوع وتركيبه وخصائص الرمل

أظهرت النتائج أن نوع الرمل وتركيبته المعدنية والحبيبية يُشكلان عاملاً حاسماً في تحديد سلوك الخرسانة من حيث امتصاص الماء. فقد تميزت خرسانة رمل آبار البترول (SPP) بأداء أفضل مقارنةً بتركيبات الرمل الأخرى، وخاصة رمل الكتبان (SDH) الذي يمتاز بنسبة عالية من الحبيبات الدقيقة (أكثر من 90 < 0.16 % مم)، مما يزيد من مساحة التماس مع العجينة الإسمنتية ويرفع المسامية الشعرية. أما الرمل النهري (SOR) ، فكان الأفضل من حيث الانخفاض المطلق في الامتصاص، نظراً لتدرجه الجيد ونعومة سطحه وكروية حبيباته، إلا أن SPP اقترب منه كثيراً في النتائج، وتفق على جميع الخلطات الرملية الأخرى.

يُشير هذا إلى أن التدرج الحبيبي المتوازن والمسامية المعتدلة لرمل SPP مكّنته من تحقيق خصائص فيزيائية ملائمة للحد من امتصاص الماء، حتى ضمن بيئة عدوانية (محلول حمضي) [191 , 192].

ب - تأثير محتوى الزيت في الرمل

خلافًا للتوقعات التقليدية، فإن زيادة محتوى الزيت في رمل آبار البترول (SPP) لم تؤدّ إلى تدهور في أداء الخرسانة، بل على العكس، سجّلت الخرسانة المعتمدة على رمل SPP ذو المحتوى الزيتي الأعلى (5.07%) أقل نسبة امتصاص للماء مقارنةً بالخلطات الرملية الأخرى التي احتوت على نسب زيت أقل (3.91% و3.34%) ضمن تركيبة رمل مخلوط (SPP+SDH).

يُعزى هذا إلى أن وجود الزيت على سطح الحبيبات قد يكوّن طبقة شبه كارهة للماء تمنع التغلغل السريع للماء ضمن المسام الشعرية الدقيقة. كما أن الزيت قد يملأ جزئياً بعض الفراغات المجهرية دون أن يُضعف الترابط الهيكلي الكلي عند هذا التركيز [193 , 194 , 198].

إضافة إلى ذلك، فإن التفاعل البنيوي السلبي بين رمل الكتبان الناعم والإسمنت في الخلطات المخلوطة قد رفع المسامية الكلية مقارنةً بـ SPP.

بالتالي، لا يمكن تقييم أثر محتوى الزيت على امتصاص الماء بشكل خطي، بل يجب فهمه ضمن سياق تراكمي يشمل الخصائص الحبيبية ونوع الرمل وهيكل الخلطة ككل.

ج - تأثير إختلاف تركيز الاسمنت وتفاعله مع نوع الرمل والمحلول الحمضي

أكدت النتائج المبينة في المنحنى 67.IV أن زيادة تركيز الإسمنت من 350 إلى 450 كغ/م³ أدت إلى انخفاض ملحوظ في امتصاص الماء، بالنسبة لجميع أنواع الخرسانة، بما في ذلك خرسانة رمل آبار البترول ، ويعود ذلك إلى أن تركيز الإسمنت المرتفع يسهم في إنتاج عجينة أكثر كثافة وأفضل قدرة على ملء المسام الدقيقة، مما يحسّن مقاومة الاختراق الشعري للماء، ويُقلل من التأثير بالوسط الحمضي العدوانى [195 , 196].

وقد لوحظ وجود فرق ملموس بين نتائج الامتصاص للعينات المُعالَجة في الهواء وتلك المعرضة للمحلول الحمضي، حيث كانت قيم الامتصاص عمومًا أقل في الخرسانات ذات التركيز الإسمنتي الأعلى. ويُعزى ذلك إلى دور الإسمنت في تعزيز البنية الداخلية للخرسانة، من خلال تحسين الكثافة وتقليل المسامية، لا سيما عند تفاعله مع رمل يمتاز بتركيبية حبيبية مناسبة مثل رمل آبار البترول (SPP).

ويبدو أن هذا الانخفاض في الامتصاص يعود إلى تأثير المحاليل العدوانية التي أحدثت تفاعلات كيميائية داخل الخرسانة، مما أدى إلى تكوين منتجات جديدة دقيقة قامت بسد بعض المسام المجهرية والفراغات المتوفرة في البنية الشعرية للخرسانة، فساهم ذلك في الحد من قدرة الخرسانة على امتصاص الماء. ومن بين أبرز هذه التفاعلات ما ينتج عن تفاعل مركب البرتلانديت $Ca(OH)_2$ – الناتج من إماهة الإسمنت – مع أيونات الكلوريد، مما يؤدي إلى تكوين كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ ، أو مع شوارد الكبريتات، مما يُنتج الجبس $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$ [197, 76].

وقد أشار عدد من الباحثين إلى أن مثل هذه التفاعلات قد تلعب دورًا مزدوجًا في البيئة العدوانية، حيث تُسبب من جهة تحولات في بنية الخرسانة، لكنها من جهة أخرى قد تساهم مؤقتًا في غلق المسارات الشعرية الدقيقة وتقليل النفاذية.

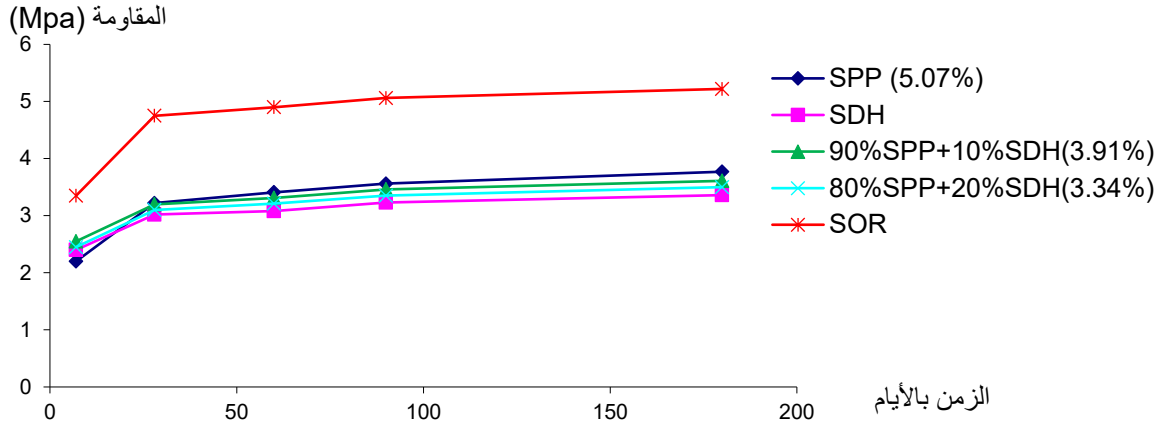
من جهة أخرى، أظهرت نتائج اختبار الامتصاص الشعري (حسب المنحنيات 68.IV إلى 77.IV) أن معامل الامتصاص لجميع العينات بقي ضمن قيم منخفضة، سواء تلك المحفوظة في الهواء أو المعالجة في المحلول الحمضي، حيث لم تتجاوز 2.29 كغ/م². أما خرسانة رمل آبار البترول فقد سجلت أقل القيم، إذ لم يتجاوز معامل امتصاصها الشعري 1 كغ/م². هذه القيمة تُعد أدنى من تلك المسجلة عادة في الخرسانة العادية، والتي حُدد متوسط معامل امتصاصها بنحو 2.75 كغ/م² بحسب Roux وآخرين [Roux et al., 1995].

ويمكن تفسير هذه النتائج بأن خرسانة الرمال المدروسة، وبالأخص تلك المحتوية على رمل آبار البترول، تُظهر خصائص ميكانيكية وهيكلية جيدة مكنتها من مقاومة الوسط العدوانى دون أن تتعرض لتلف داخلي أو تشققات أو تشوهات بنيوية. وقد أشارت نتائج مماثلة إلى هذا الاتجاه في دراسات سابقة [103].

3.3.7.IV المقاومة الميكانيكية لخرسانة الرمل المختلفة :

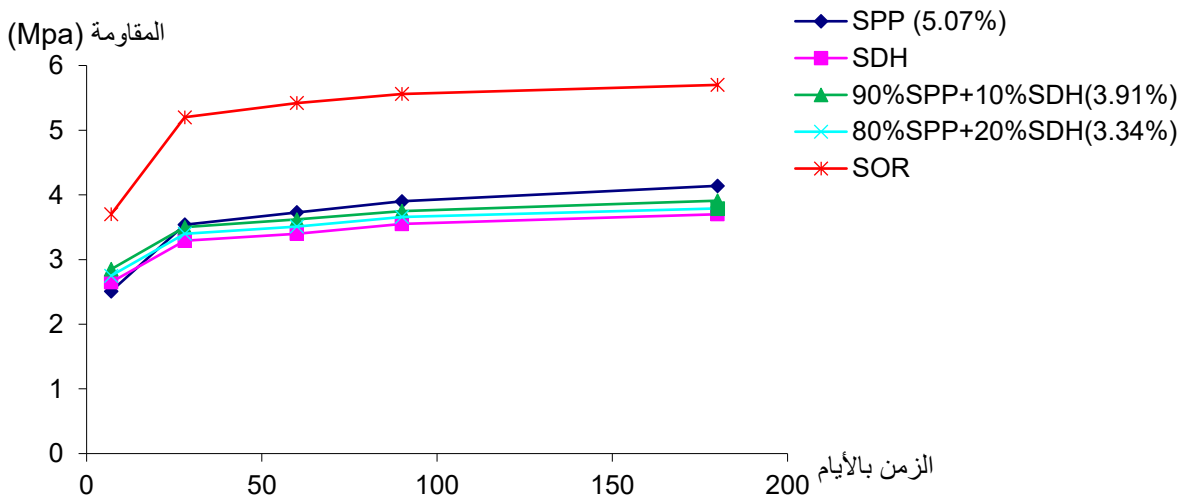
1.3.3.7.IV مقاومة الانحناء:

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المحفوظة في المحلول الحمضي حسب تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³



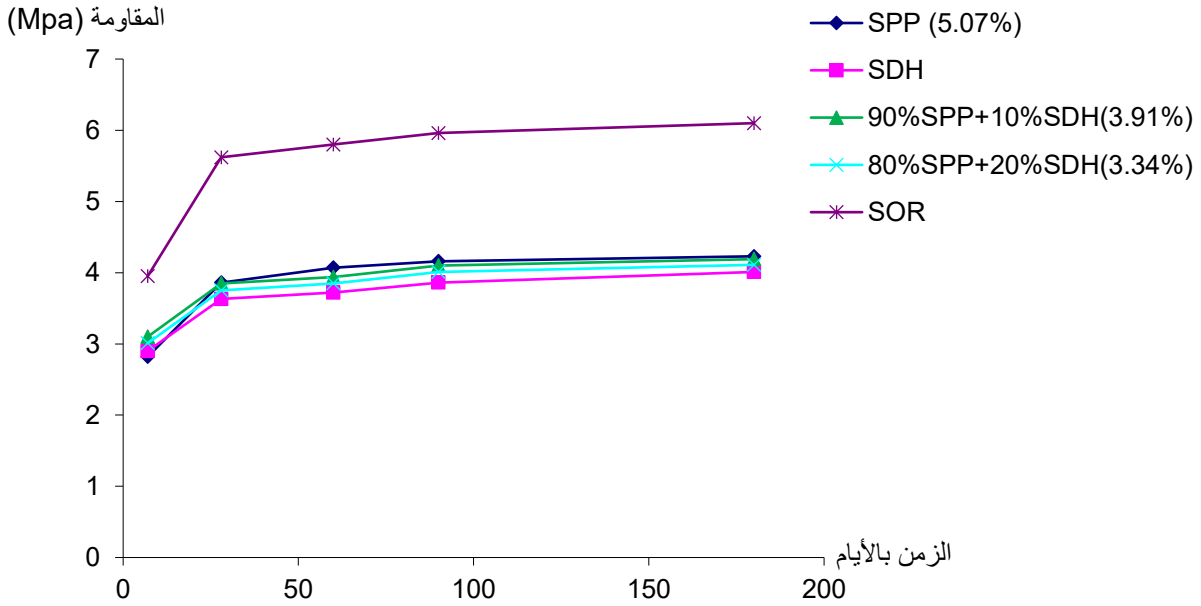
الشكل 82.IV منحنى بياني يُبرز تطور مقاومة الانحناء عبر الزمن لخرسانة رمل آبار البترول للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المحفوظة في المحلول الحمضي حسب تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³



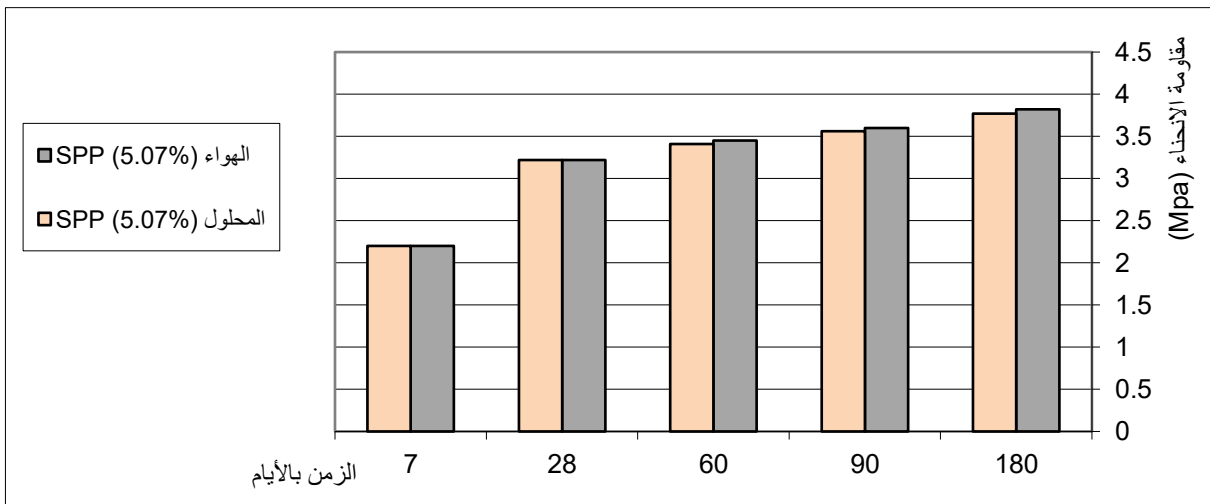
الشكل 83.IV منحنى بياني يُبرز تطور مقاومة الانحناء عبر الزمن لخرسانة رمل آبار البترول للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوظة في محلول حمضي عدواني

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المحفوظة في المحلول الحمضي حسب تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³



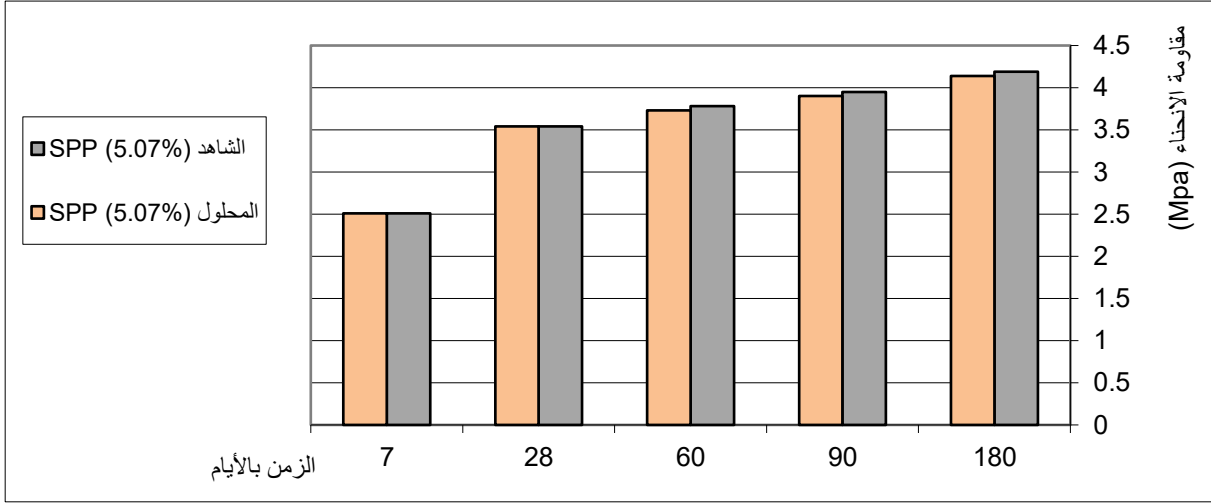
- الشكل 84.IV منحني بياني يُبرز تطور مقاومة الانحناء عبر الزمن لخرسانة رمل آبار البترول للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوفة في محلول حمضي عدواني

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول المحفوظة في محلول حمضي وفي الهواء، وفق تركيز إسمنتي قدره 350 كغ/م³



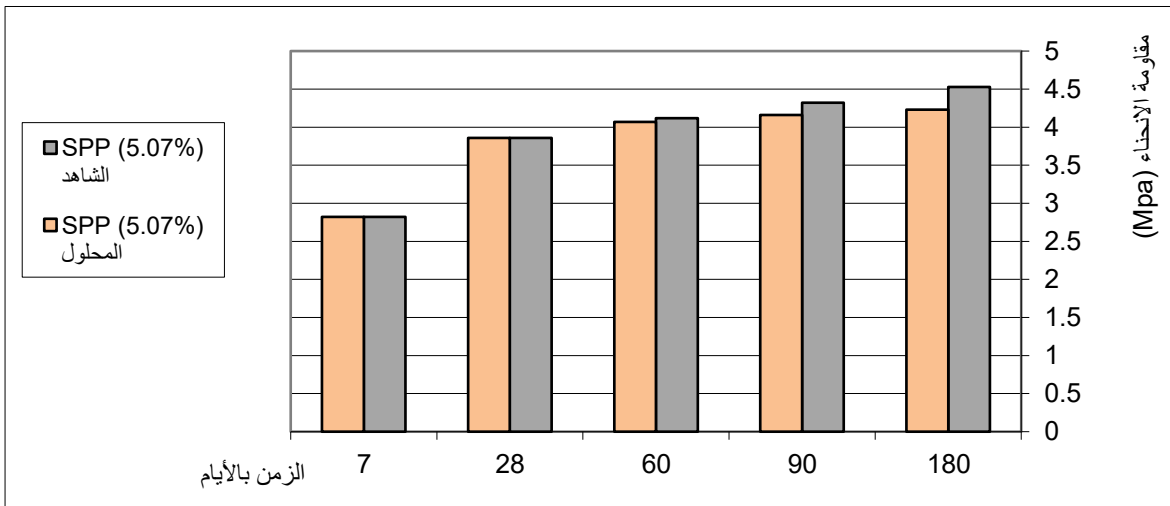
- الشكل 85.IV يُبرز مقارنة مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) ذات تركيز إسمنتي 350 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول المحفوظة في محلول حمضي وفي الهواء، وفق تركيز إسمنتي قدره 400 كغ/م³

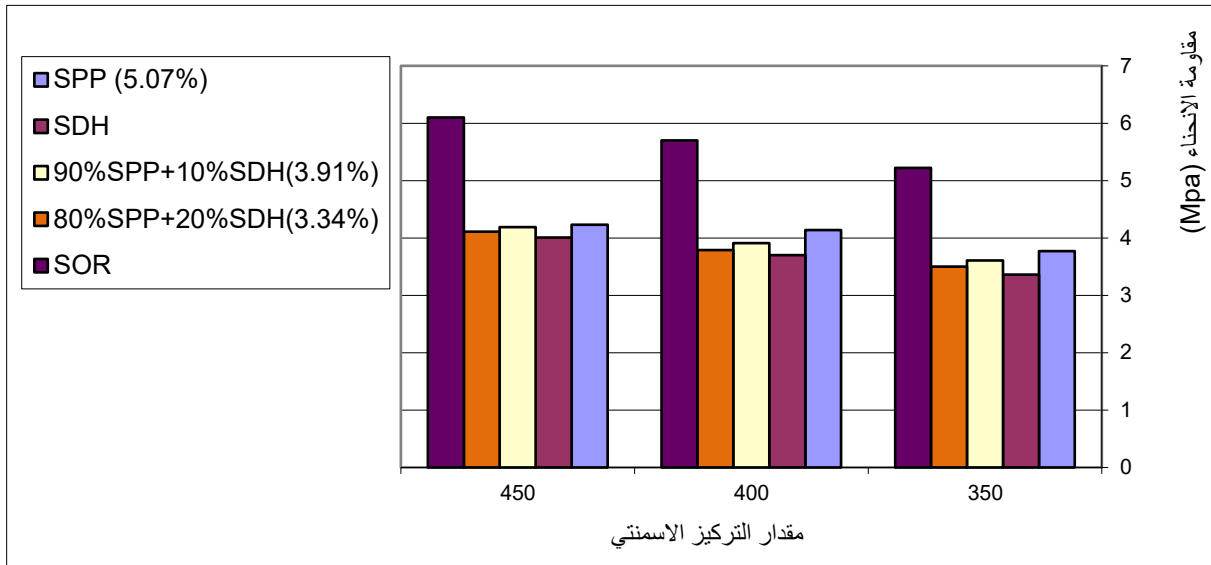


الشكل 86.IV يُبرز مقارنة مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن

- نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول المحفوظة في محلول حمضي وفي الهواء، وفق تركيز إسمنتي قدره 450 كغ/م³



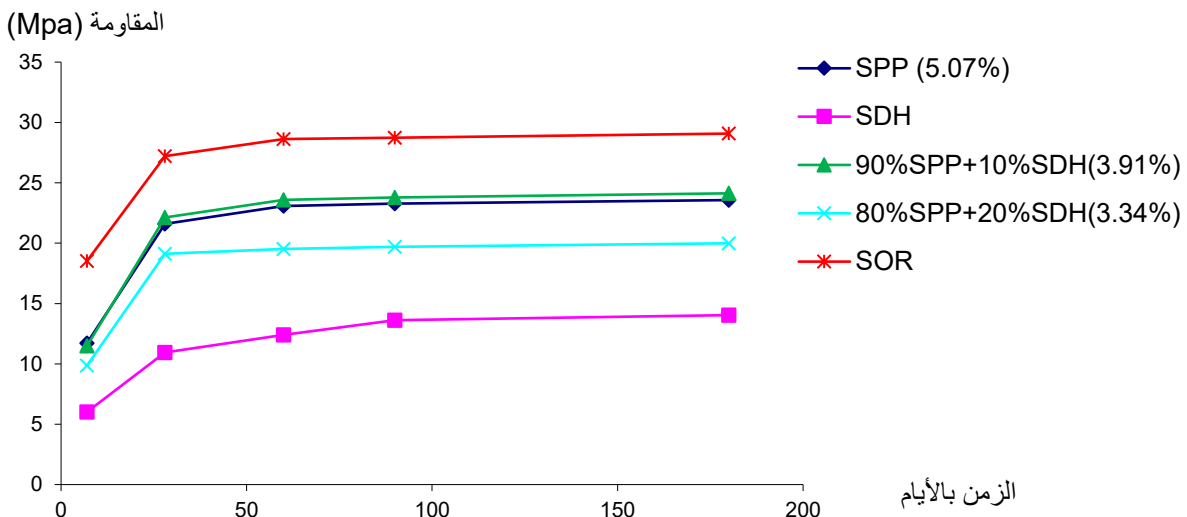
الشكل 87.IV يُبرز مقارنة مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدواني عبر الزمن



الشكل 88.IV يُظهر مقارنة بين مقاومة الانحناء لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) والخرسانات المرجعية الأخرى حسب تركيز الإسمنت عند عمر 180 يوماً

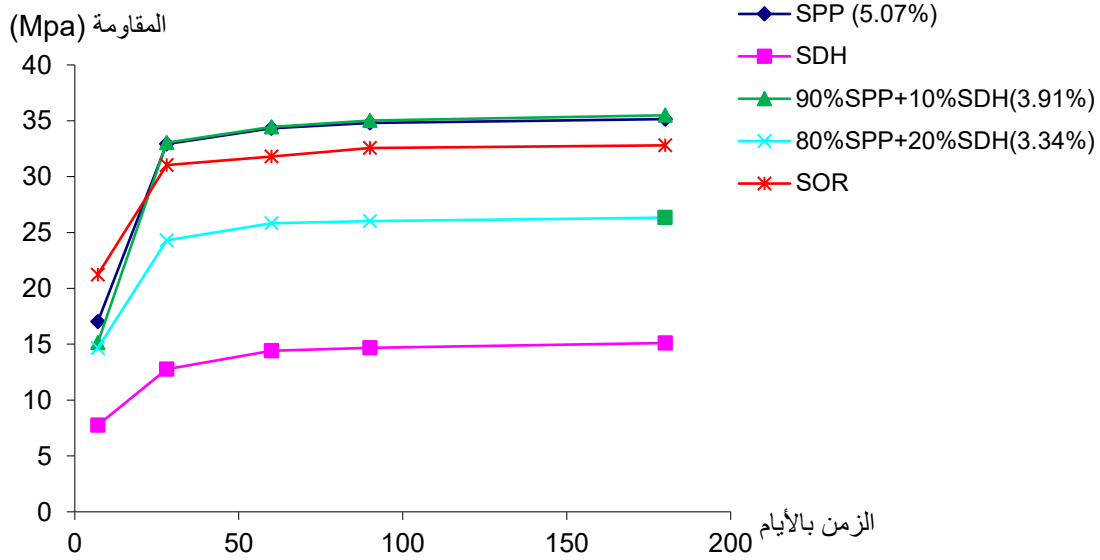
2.3.3.7.IV مقاومة الضغط:

- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المحفوظة في المحلول الحمضي حسب تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م3



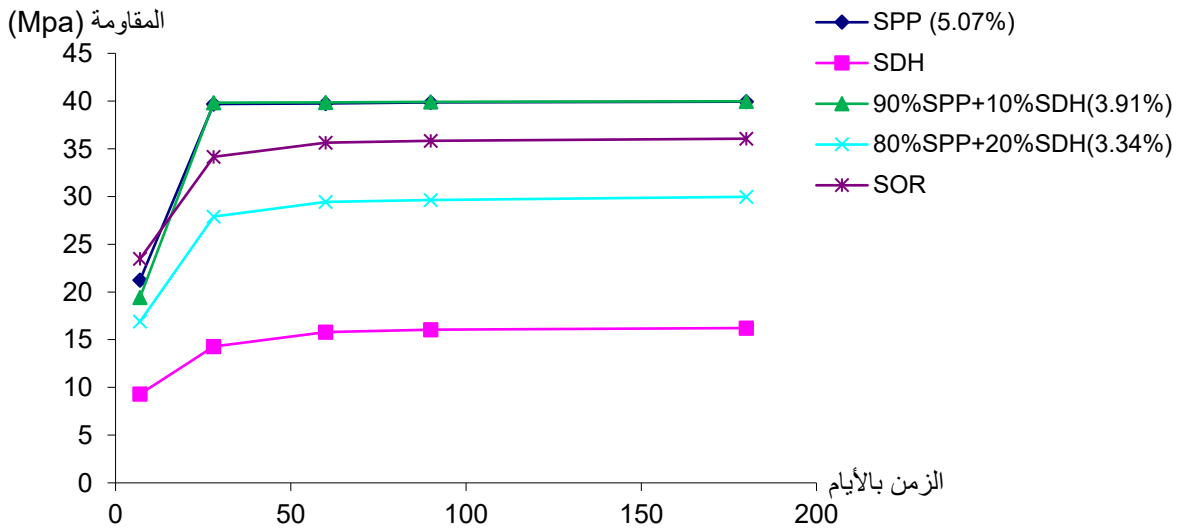
الشكل 89.IV منحنى بياني يُبرز تطور مقاومة الضغط عبر الزمن لخرسانة رمل آبار البترول للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م3 مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوطة في محلول حمضي عدواني

- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المحفوظة في المحلول الحمضي حسب تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³



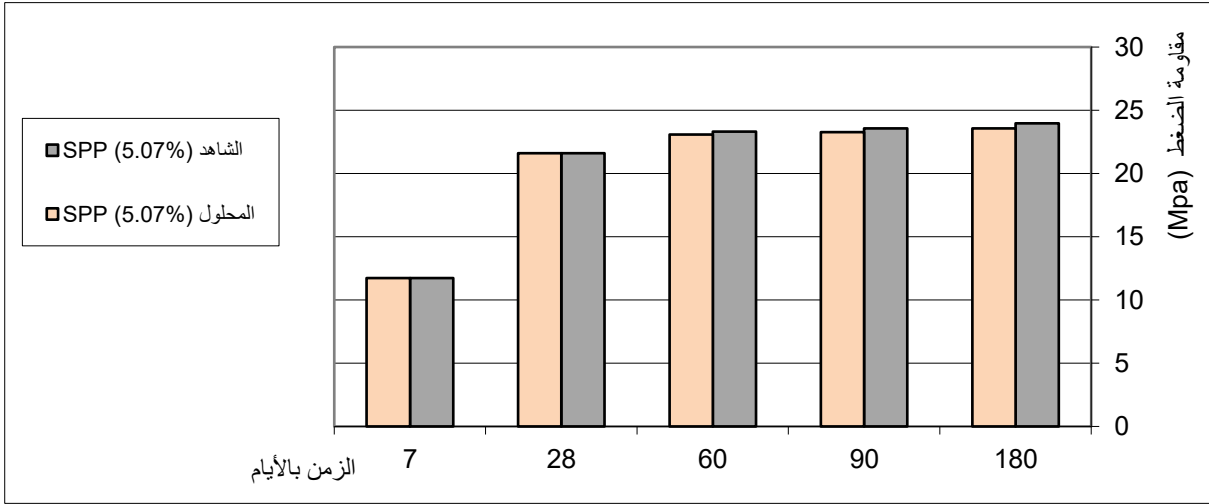
- الشكل 90.IV منحنى بياني يُبرز تطور مقاومة الضغط عبر الزمن لخرسانة رمل آبار البترول للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوطة في محلول حمضي عدواني

- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المحفوظة في المحلول الحمضي حسب تركيبة الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³



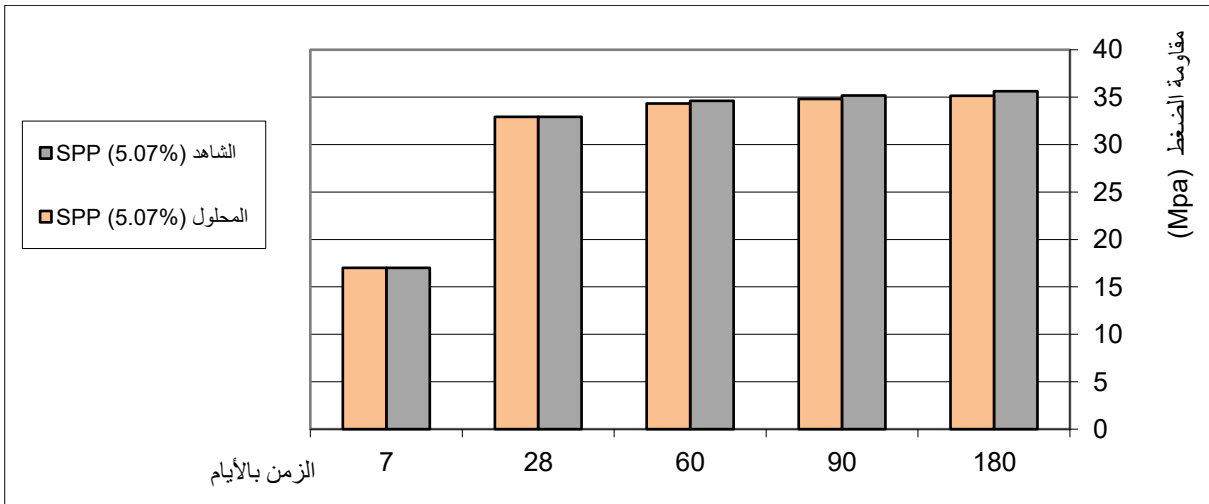
- الشكل 91.IV منحنى بياني يُبرز تطور مقاومة الضغط عبر الزمن لخرسانة رمل آبار البترول للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ مقارنة بأنواع أخرى من الرمل والمحفوطة في محلول حمضي عدواني

- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول المحفوظة في محلول حمضي وفي الهواء، وفق تركيز إسمنتي قدره 350 كغ/م³



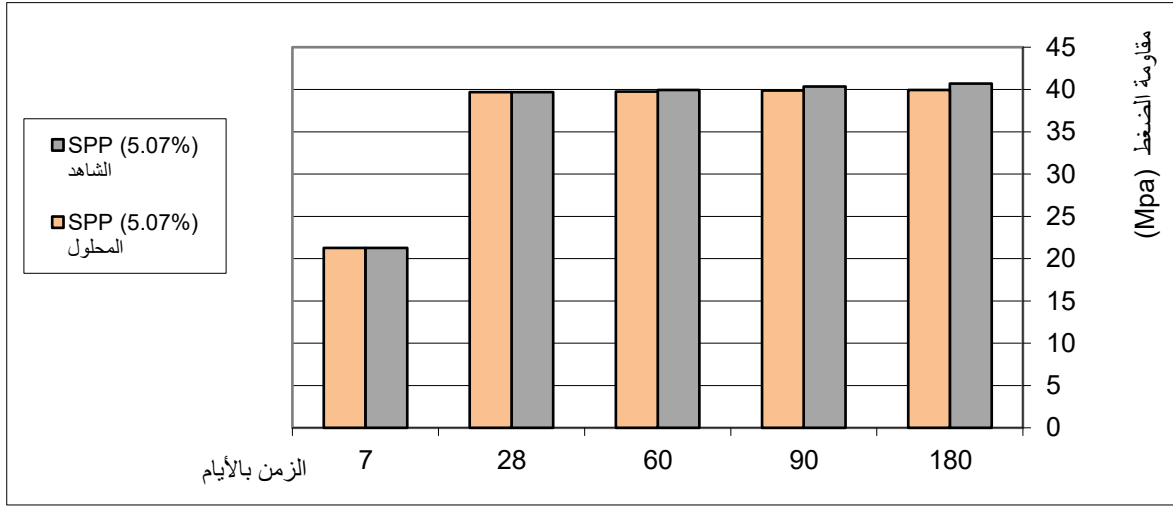
الشكل 92.IV يُبرز مقارنة مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) ذات تركيز إسمنتي 350 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدوانى عبر الزمن

- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول المحفوظة في محلول حمضي وفي الهواء، وفق تركيز إسمنتي قدره 400 كغ/م³

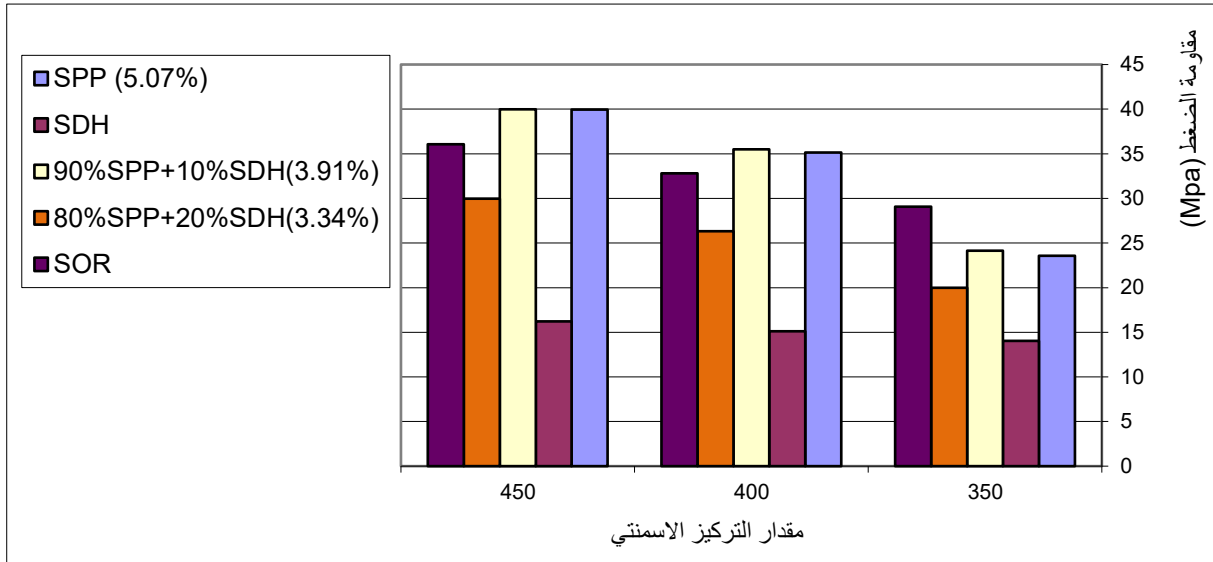


الشكل 93.IV يُبرز مقارنة مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدوانى عبر الزمن

- نتائج مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول المحفوظة في محلول حمضي وفي الهواء، وفق تركيز إسمنتي قدره 450 كغ/م³



الشكل 94.IV يُبرز مقارنة مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³ بين وسط الحفظ الهوائي والوسط الحمضي العدوانية عبر الزمن



الشكل 95.IV يُظهر مقارنة بين مقاومة الضغط لخرسانة رمل آبار البترول (SPP) والخرسانات المرجعية الأخرى حسب تركيز الإسمنت عند عمر 180 يوما

3.3.3.7.IV مناقشة نتائج المقاومة الميكانيكية (الانحناء والضغط) :

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى تأثير مقاومتي الضغط والانحناء للخرسانة المحتوية على أنواع مختلفة من الرمل عند تعريضها لمياه صاعدة غنية بالشوارد العدوانية، خصوصًا شاردة الكلور (Cl⁻) وشاردة الكبريتات (SO₄²⁻). وقد أُجريت التجربة بمقارنة نتائج العينات الموضوعة في وسط عادي (هواء) مع تلك المعرضة لمحلول عدواني يحاكي المياه الجوفية الصاعدة، مكوّن من حمض كلور الماء (HCl) بتركيز 8201.17 ملغ/ل وحمض الكبريتيك (H₂SO₄) بتركيز 16866.67 ملغ/ل، ودرجة حموضة (pH=1).

- نتائج المقاومة الميكانيكية:

أظهرت النتائج أن الانخفاضات المسجلة في مقاومتي الضغط والانحناء كانت طفيفة، كما يلي:

• مقاومة الانحناء:

- تركيز 350 كغ/م³: هبوط بنسبة 1.31%
- تركيز 400 كغ/م³: هبوط بنسبة 1.19%
- تركيز 450 كغ/م³: هبوط بنسبة 6.62%

• مقاومة الضغط:

- تركيز 350 كغ/م³: هبوط بنسبة 1.63%
- تركيز 400 كغ/م³: هبوط بنسبة 1.35%
- تركيز 450 كغ/م³: هبوط بنسبة 1.89%

وهذا بعد 180 يومًا من التعريض للمحاليل العدوانية.

- تفسير الانخفاضات – التفاعلات الكيميائية:

رغم أن هذه الانخفاضات لا تُعد كبيرة، إلا أنها ناتجة عن تفاعلات بين شوارد الكلور والكبريتات مع مركبات الخرسانة. وهي كالتالي :

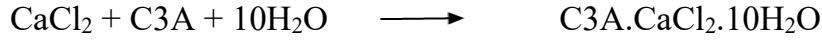
• تفاعلات شاردة الكلور: (Cl⁻)

تتفاعل شاردة الكلور القادمة من HCl مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج عن إمهاء الإسمنت

(Ca(OH)₂)، لتكوين كلوريد الكالسيوم (CaCl₂) ، وفق التفاعل:

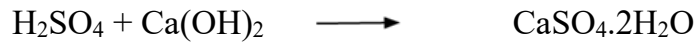


هذا الكلوريد (CaCl_2) غير مستقر، وخصوصاً في وجود الكبريتات، ويتفاعل مع مركب ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A) الموجود في الإسمنت، لينتج مادة الإترنجيت (Ettringite)، وهي مادة يمكن أن تُضعف الخرسانة إذا تشكلت بشكل مفرط:



• تفاعلات شاردة الكبريتات: (SO_4^{2-})

تتفاعل شاردة الكبريتات مع هيدروكسيد الكالسيوم ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) فيتكون الجبس: ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)



كما يمكن أن تتفاعل هذه الشاردة مع مركب C-S-H المحتوي على الألمنيوم لتكوين الإترنجيت.



- مقاومة الإسمنت المستعمل لهذه التفاعلات :

• الإسمنت المستخدم في هذه الدراسة من نوع CEM I 42.5 N SR3 LH، وهو مقاوم للكبريتات، ويحتوي على نسبة منخفضة من C_3A . هذه الخاصية تفسر عدم تدهور الخرسانة بشكل ملحوظ رغم تعرضها لهذه التفاعلات.

• بالإضافة إلى ذلك، فإن تراكيز الشوارد العدوانية، رغم كونها مُضاعفة بخمس مرات لتمثيل الظروف القاسية، لم تكن كافية لإحداث ضرر كبير في المدى القصير.

- ملاحظات سطحية وعامة:

• لوحظ وجود طبقة بيضاء رقيقة على سطح العينات المعالجة بالوسط العدوانية، ويُرجَّح أنها مكونة من الجبس وكلوريد الكالسيوم.

• هذه الطبقة الجديدة أضعف من المركبات الأصلية الناتجة عن الإماهة مثل C-S-H وهيدروكسيد الكالسيوم، مما أدى جزئياً إلى الانخفاض الطفيف في المقاومة.

• الجدير بالذكر أن جميع العينات أبدت سلوكاً مشابهاً، مما يدل على أن نوع الرمل لم يكن له تأثير مباشر في هذه التفاعلات، أو أن هذا التأثير كان محدوداً.

- مقارنة بالدراسات السابقة:

- توصلت دراسات سابقة إلى نتائج مختلفة؛ على سبيل المثال، سجّل عصام ملحم [79] انخفاضاً في مقاومة الخرسانة المحفوظة في وسط عدواني تراوح بين %24.7 إلى %34.2.
- في المقابل، أشارت بن سكران [148] إلى أن المياه الصاعدة قد تُحسن أحياناً من مقاومة الضغط والانحناء، مما يُظهر أن ديمومة الخرسانة في هذه البيئات تتأثر بنوعية الإسمنت والناتج السطحية المتكونة.

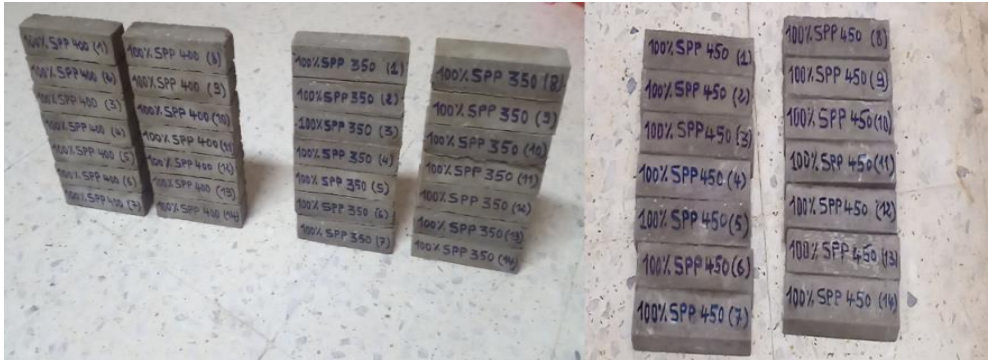
4.3.7.IV المشاهدات البصرية :

وهي مقسمة إلى قسمين :

1.4.3.7.IV مشاهدات ضوئية :

كانت المشاهدات بالعين المجردة:

* العينات التي حفظت في المحلول:



الصورة 2.IV العينات الشاهد التي لم تحفظ في الوسط العدواني

الملاحظات:

- لم يُلاحظ أي تغيير في شكل أو لون العينات التي لم تُغمر بالمحلول

العينات التي حفظت في الوسط العدواني:



الصورة 3.IV العينات التي حفظت في الوسط العدواني



الصورة 4.IV. مشاهدة بصرية لجوانب العينات المتأثرة بوسط عدواني

- ظهرت على جميع العينات طبقة من الملح الأبيض.
- احتفظت العينات بشكلها العام دون ظهور تآكل في الجوانب، خلافاً لما كان متوقعاً.
- لوحظ ازدياد ملحوظ في حجم بعض العينات، حيث تراوح سمك الزيادة بين 0.6 و 1 ملم.
- تتكون الطبقة البيضاء من قشور ملحية مترابطة ومتراكبة فوق بعضها البعض .

2.4.3.7.IV مشاهدات إلكترونية :

بعد غمر مختلف العينات المصنوعة من المادة الإسمنتية CEM I 42.5 N SR3 LH لمدة 180 يوماً في محلول مركب من حمضي الهيدروكلوريك (HCl) والكبريتيك (H_2SO_4)، تم تحضير هذا الوسط العدواني بتراكيز تضاعف خمس مرات التراكيز المسجلة في طبقة المياه الصاعدة بمنطقة وادي سوف. بلغت تراكيز الأحماض في المحلول النهائي كما يلي: 8201.15 ملغ/ل لحمض HCl و 16865 ملغ/ل لحمض H_2SO_4 ، مع قيمة pH تساوي 1.

بعد هذه المعالجة، تم تسجيل الملاحظات التالية من خلال الفحص الإلكتروني (MEB) :

ملاحظة: تم اعتماد الرموز التالية للدلالة على بعض المركبات والمكونات المميزة التي ظهرت في الصور أو المشاهدات المجهرية:

E: الإترنجيت (Ettringite)

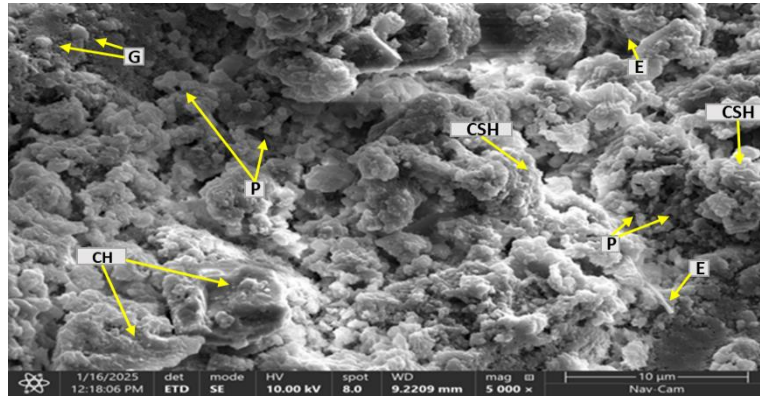
G: الجبس (Gypse)

CH: هيدروكسيد الكالسيوم (hydroxyde de calcium)

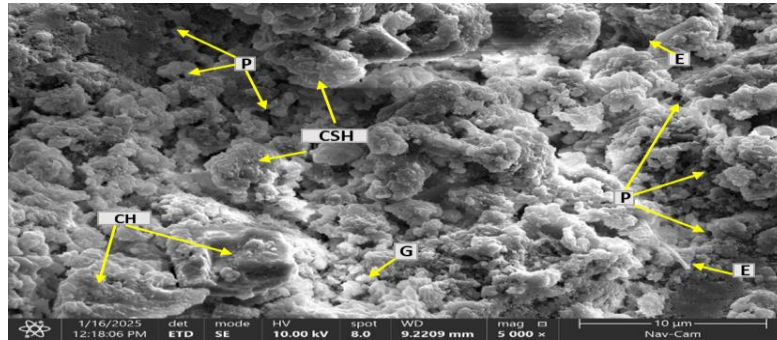
CSH: سيليكات الكالسيوم المماهة (Silicate de calcium hydraté)

P: الفراغات أو المسامات (pores)

- بالنسبة لعينات خرسانة رمل آبار البترول SPP التي حفظت في الهواء

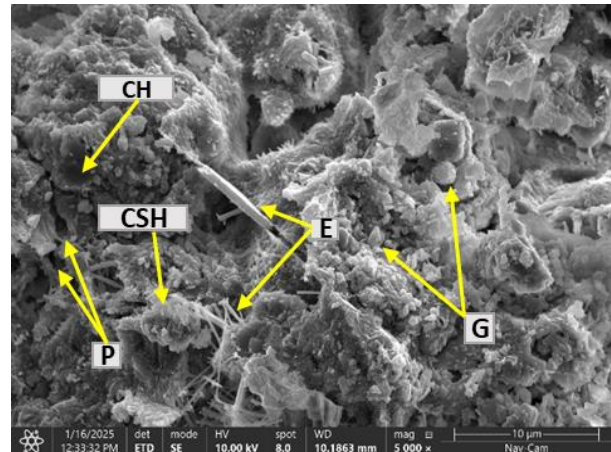
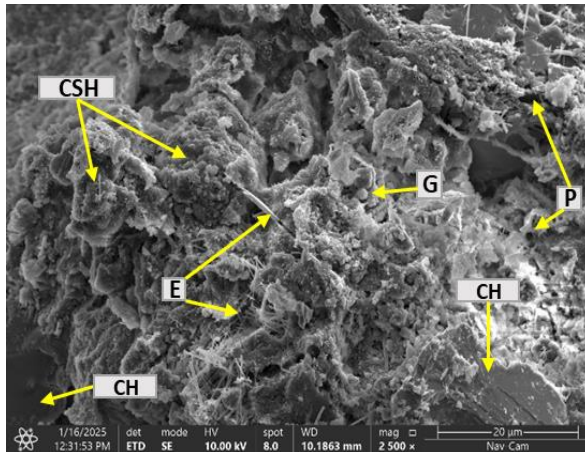
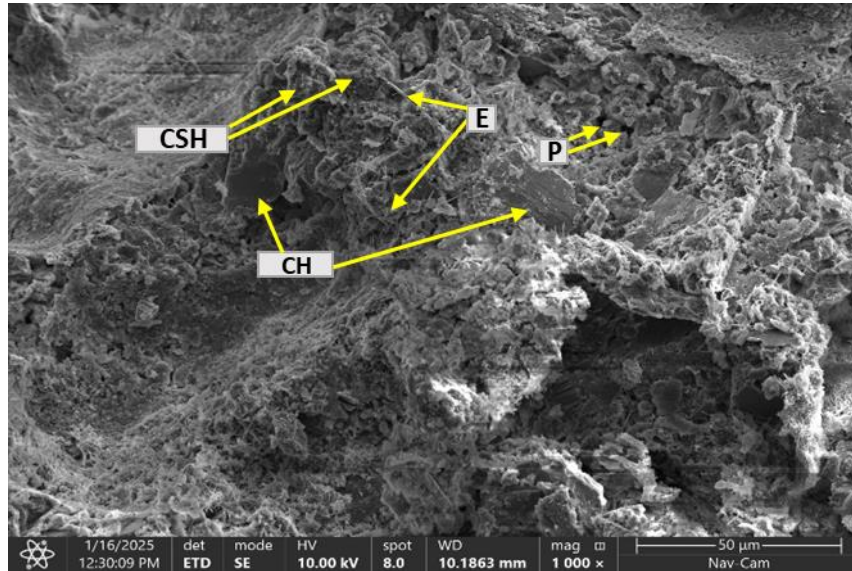


الصورة 5.IV البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 400 كغ/م³ تم تصويرها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) بعد حفظها في الهواء (كوسط شاهد)

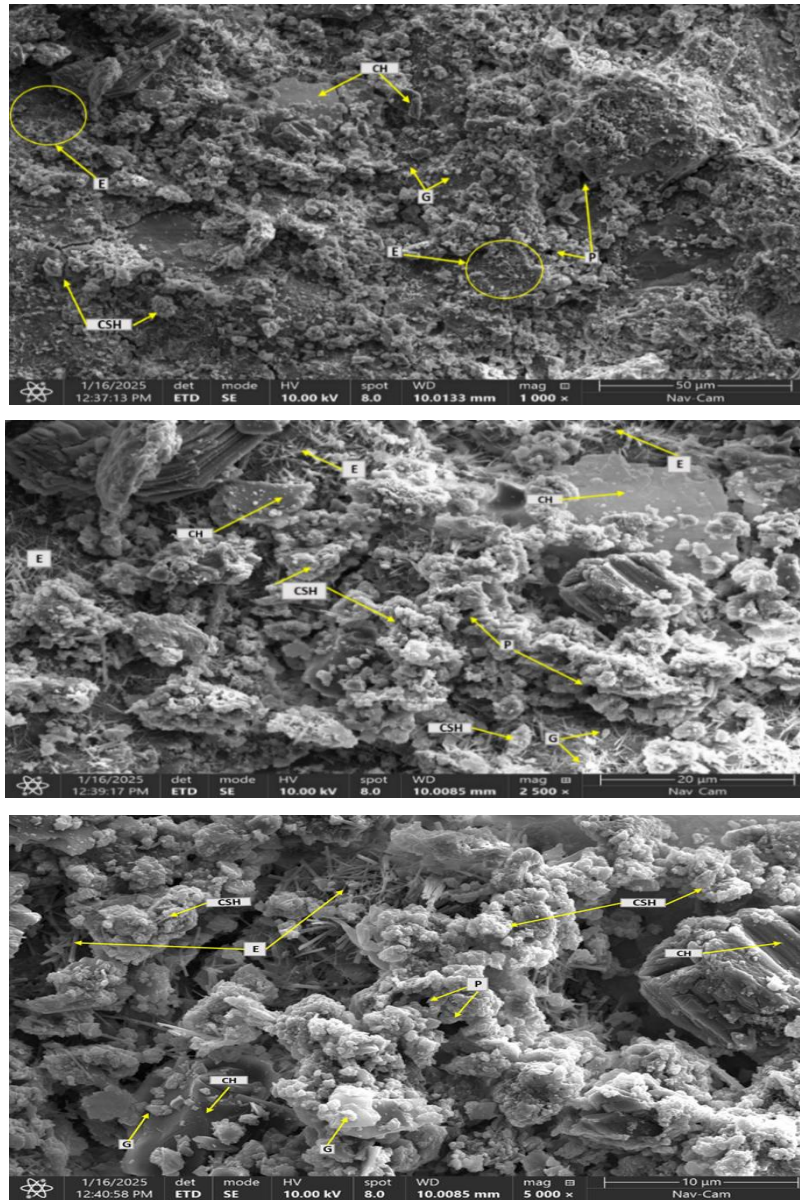


الصورة 6.IV. البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 450 كغ/م³ تم تصويرها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) بعد حفظها في الهواء (كوسط شاهد)

- بالنسبة لعينات خرسانة رمل آبار البترول SPP التي حفظت في المحلول الحمضي



الصورة 7.IV. توضح الصور البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل آبار البترول بتركيز إسمنتي 400 كغ/م³ تم تصويرها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) بعد حفظها في المحلول الحمضي (كوسط عدواني)



الصورة 8.IV توضح الصور البنية المجهرية لعينة خرسانية مكونة من رمل أبار البترول بتركيز إسمنتي 450 كغ/م³ تم تصويرها بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) بعد حفظها في المحلول الحمضي (كوسط عدواني)

ملاحظات من المشاهدات الإلكترونية :

أظهرت المشاهدات المجهرية بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) للصور IV.5 و IV.6 تقارباً نسبياً في البنية المجهرية بين العينات المرجعية (المحفوظة في وسط هوائي)، رغم اختلاف التركيز الإسمنتي بين 400 و 450 كغ/م³، حيث بدت الأطوار المعدنية الأساسية (C-S-H، البورتلنديت، الإترنجيت) متشابهة نسبياً في التوزيع والمظهر العام، مع تفاوت طفيف في الكثافة وتماسك العجينة الإسمنتية ناتج عن زيادة المحتوى الإسمنتي.

بالمقابل، تم رصد تباين واضح عند مقارنة العينات المرجعية بتلك المعالجة في وسط عدواني (حمض الكبريت و حمض الكلور)، حيث أظهرت هذه الأخيرة تغيرات ملموسة في البنية المجهرية من حيث نوع وكمية المنتجات الثانوية. فقد لوحظ في بعض الصور IV.7 و IV.8 تشكل بلورات جبسية (Gypsum) في المسامات، واختفاء جزئي أو تحلل لهيدروكسيد الكالسيوم (Portlandite)، إلى جانب تزايد موضعي في بلورات الإترنجيت الثانوية، التي ظهرت على هيئة عصيات دقيقة غير منتظمة.

كما كشفت الصور عن وجود بعض الفقاعات الهوائية والمسامات الدقيقة، خصوصاً في العينات الأقل دمغاً، وهي سمة تكررت بدرجة متفاوتة في الصور المجهرية، وتُعزى غالباً إلى ضعف الاهتزاز أثناء الصب. بالإضافة إلى ذلك، تم تسجيل ترسبات ملحية محدودة في بعض العينات، دون تأثير بنيوي كبير، في حين أظهرت العينات المرجعية تلاحماً جيداً بين حبيبات الرمل والعجينة الإسمنتية، يُشير إلى بنية أكثر استقراراً في غياب العوامل العدوانية.

بوجه عام، تؤكد هذه الملاحظات أن تأثير الوسط العدواني ينعكس مباشرة على نوعية وتوزيع الأطوار المعدنية الثانوية الناتجة عن تفاعل الإسمنت، خاصة عند التركيز الإسمنتي المنخفض، حيث بدت ملامح التدهور أوضح نسبياً مقارنة بالعينات ذات التركيز العالي التي احتفظت بدرجة أعلى من التماسك البنيوي والصلابة المجهرية.

3.4.3.7.IV مناقشة المشاهدات الإلكترونية :

تبرز النتائج المجهرية لعينة الخرسانة المصنوعة من رمل آبار البترول بعد 28 يوماً من المعالجة المائية فروقاً دقيقة لكنها دالة عند مقارنة حالتها التركيبية الإسمنتيين 400 و 450 كغ/م³، في وسطين مختلفين: هوائي (شاهد) وعدواني (حمض الكبريت و حمض الكلور). يظهر في حالة التركيز الإسمنتي 400 كغ/م³ أن العينة المرجعية المحفوظة في وسط هوائي تحتفظ ببنية مجهرية مقبولة تتكون أساساً من أطوار C-S-H المترسبة حول الحبيبات، بالإضافة إلى كميات معتدلة من البورتلنديت (Ca(OH)₂) وإبر الإترنجيت المنتشرة في الفراغات، ما يؤكد استمرار الإماهة رغم بطئها نظراً لطبيعة الإسمنت المستخدم من النوع المقاوم للسلفات ببطء إمامة (CEM I 42.5N SR3 LH). بالمقابل، تُظهر العينة المطروحة في الوسط الحمضي بداية تآكل موضعي، تمثل في

ذوبان جزئي للبورتلنديت وتكوّن بلورات الجبس داخل البنية المسامية، بالإضافة إلى ظهور بعض الشقوق الدقيقة المرتبطة بتكوّن الإترنجيت الثانوي، لا سيما في وسط حمض الكبريت، كما بيّنته دراسات مماثلة [199][200].

وفي حالة التركيز الإسمنتي الأعلى (450 كغ/م³)، لوحظ تماسك بنيوي أكبر في العينة المرجعية، حيث بدت كثافة C-S-H أكثر وضوحاً، مع ترسيب داخلي أفضل لبلورات البورتلنديت، وغياب شبه تام للتشقّق، وهو ما ينسجم مع ما أكدته Poon و Kou [201] بشأن العلاقة الطردية بين محتوى الإسمنت وتحسين المقاومة ضد الهجوم الحمضي. أما العينة المعرضة لوسط عدواني في هذا التركيز فقد أظهرت تحللاً أقل حدة مقارنة بنظيرتها ذات 400 كغ/م³، حيث بقيت بنية الـ C-S-H مستقرة نسبياً، ولم يُرصد إلا تفكك طفيف للبورتلنديت، مع تشكل محدود للجبس، وهو ما يعكس دور التركيز الإسمنتي الأعلى في تعزيز قدرة الخرسانة على التفاعل الدفاعي، عن طريق توفير كمية أكبر من الأطوار القلوية القادرة على معادلة الشوارد الحمضية الداخلة [201][202].

من جهة أخرى، فإن الإسمنت المقاوم للسلفات المستخدم يتميز بنسبة منخفضة من أومينات ثلاثي الكالسيوم (C₃A)، ما يحدّ من تكوّن الإترنجيت الثانوي المفرط، حتى في حال تسرب الكبريتات إلى داخل البنية، وبالتالي يُقلل من فرص التشقّق الداخلي الناجم عن التمدد، كما ورد في دراسات متخصصة [202]. كما يمكن أن يُعزى الأداء الإيجابي المسجل في جميع العينات إلى طبيعة الرمل المستخدم (رمل آبار البترول)، الذي أظهر توافقاً جيداً مع الوسط القلوي ومقاومة مقبولة للهجوم الحمضي، وهي نتائج تتماشى مع ما أوضحه Patil و Ghorpade [203] من إمكانية استخدام هذا النوع من الرمل في الخرسانة مع الحفاظ على خصائص ميكانيكية وديمومة جيدة.

بالمجمل، تُظهر النتائج أن الفارق في المقاومة بين العينات الهوائية وتلك المعرضة للأحماض، في كلا التركيزين، لم يكن كبيراً بحيث بقية كل العينات محافظة على شكلها وقوامها العام مما يدل على فعالية التركيب المستخدمة، سواء من حيث نوع الإسمنت أو نوع الرمل، مع تأكيد دور التركيز الإسمنتي الأعلى في تحسين استقرار البنية المجهرية في الأوساط العدوانية.

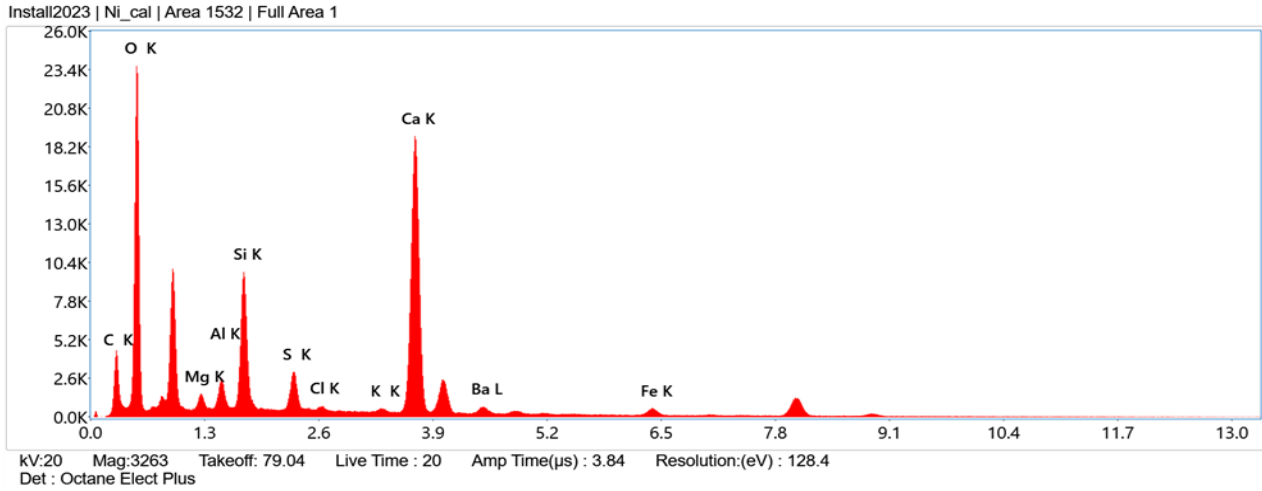
5.3.7.IV الاختبار بالأشعة:

لفهم تأثير المعالجة والتعرض للوسط العدواني على البنية الدقيقة للخرسانة، تم استخدام تقنيتي EDS و XRD لتحليل تأثير تركيز الإسمنت ووسط الحفظ على التركيب العنصري والبلوري.

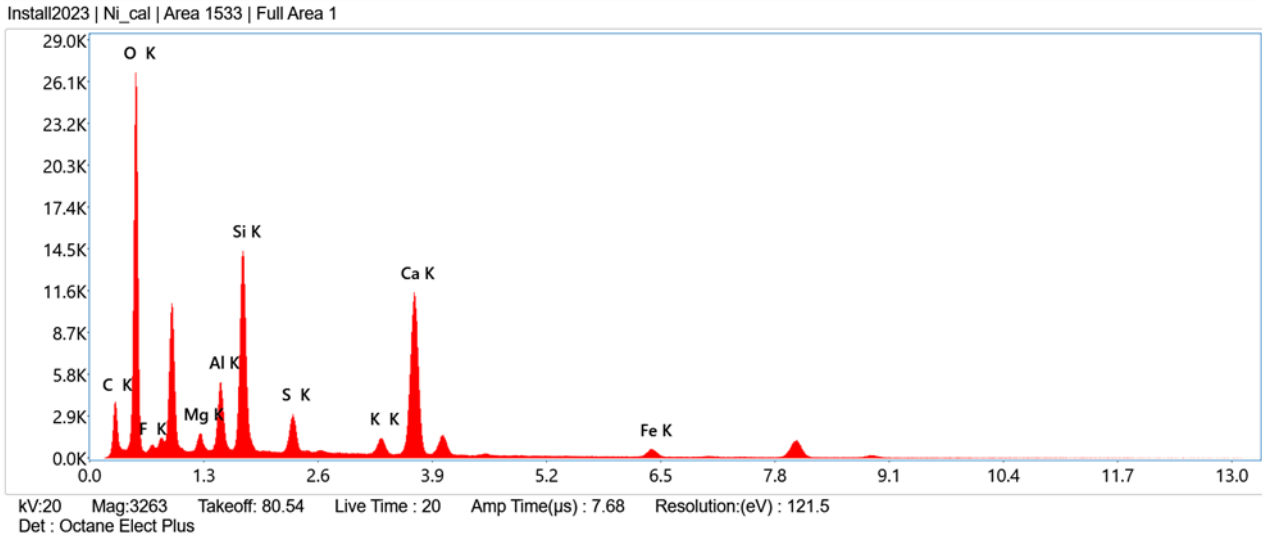
1.5.3.7.IV تحليل طيف الأشعة السينية الناتجة عن الإلكترونيات (EDS):

أظهرت نتائج التحليل لعينات خرسانة رمل آبار البترول حسب الوسط والتركيز الاسمنتي أنها تحتوي على العناصر الموضحة على المنحنيات التالية :

- في الوسط الهوائي :

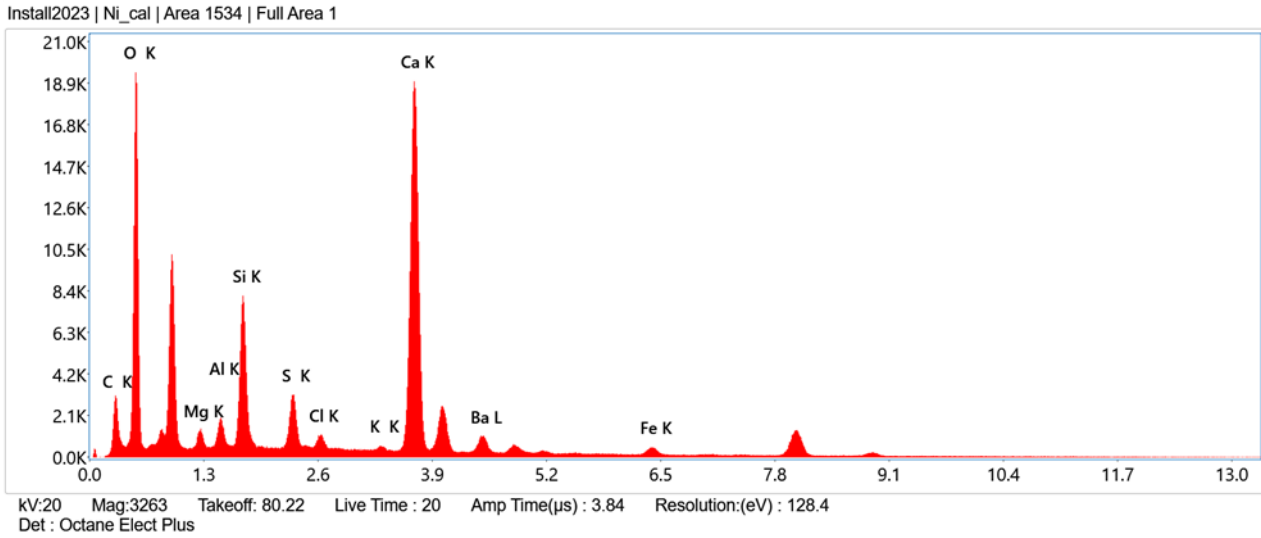


الشكل 96.IV يُظهر منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³، حُفظت في الهواء لمدة 180 يومًا.

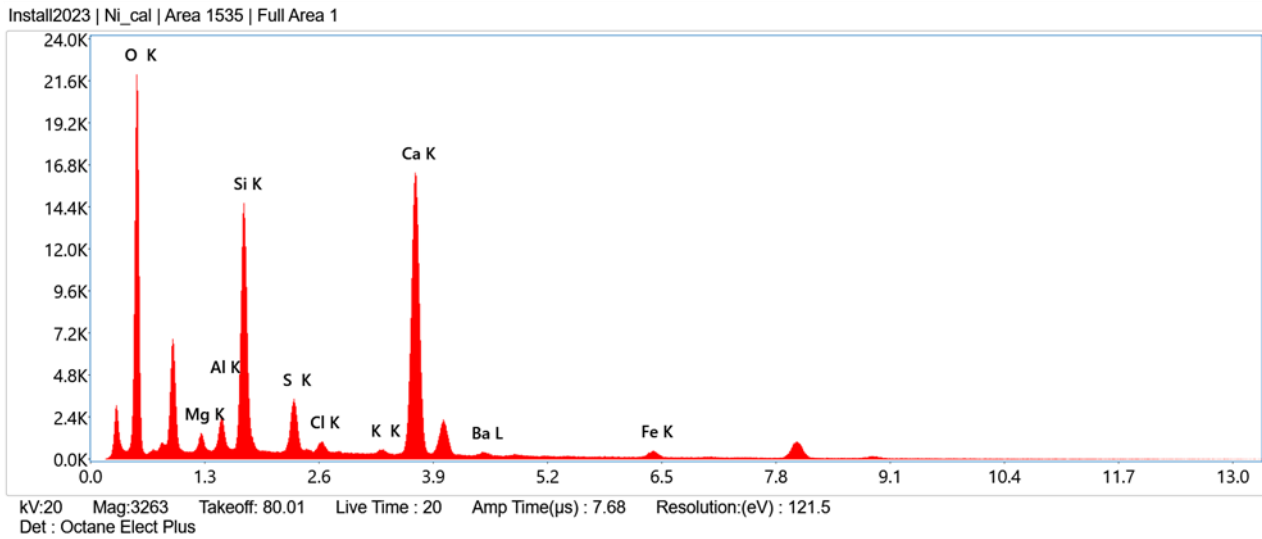


الشكل 97.IV يُظهر منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في الهواء لمدة 180 يومًا.

- في الوسط الحمضي العدواني :



الشكل 98.IV يظهر منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 400 كغ/م³، حُفظت في محلول عدواني لمدة 180 يوماً.



الشكل 99.IV يُظهر منحنى تحليل EDS لعينة خرسانية ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في محلول عدواني لمدة 180 يوماً.

أظهرت منحنيات نتائج تحليل EDS لعينات خرسانة رمل آبار البترول حسب مايلي :

1 - حسب وسط الحفظ:

• العينات المحفوظة في الهواء:

أظهرت محتوى مرتفعاً من الكربون، خاصة عند تركيز 450 كغ/م³، ما يدل على احتمالية تعرضها لعملية كربنة تدريجية بفعل CO₂ في الهواء.

كانت نسب السيليكون جيدة في العينتين، مع تفوق طفيف عند التركيز الأعلى، مما يعكس وجود جيل C-S-H الناضج نسبياً.

نسبة الكالسيوم بقيت معتدلة، مما قد يشير إلى وجود برتلانديت غير متحلل، أو توازن بين الذوبان والترسيب.

انخفاض الكبريت والكلور في العينات الهوائية يؤكد عدم وجود مصادر عدوانية تؤدي إلى تشكل أطوار جديدة كالإترنجيت أو الجبس.

الاستنتاج: الوسط الهوائي سمح باستقرار نسبي في التكوين الكيميائي، مع مؤشرات على كربنة سطحية وزيادة النضج الميكروي للبنية، خاصة مع زيادة تركيز الإسمنت.

• العينات المعرضة لمحلول عدواني (HCl + H₂SO₄):

ظهرت زيادة واضحة في نسبة الكالسيوم، خاصة في تركيز 400 كغ/م³، ما قد يشير إلى ذوبان بعض أطوار C-S-H أو البورتلانديت ثم إعادة ترسيب الكالسيوم على شكل جبس أو أطوار ثانوية.

ارتفاع الكبريت والكلور بشكل ملحوظ، يعكس تغلغل الشوارد العدوانية وتفاعلها مع المركبات الكلسية.

العينة ذات تركيز 450 كغ/م³ حافظت على نسبة مرتفعة من السيليكون والأوكسجين، وهو مؤشر على ثبات نسبي للجيل C-S-H رغم الوسط العدواني.

انخفاض نسبة الكربون في الوسط الحمضي مقارنة بالهواء، قد يدل على تحلل أطوار الكربونات تحت تأثير الحموضة.

الاستنتاج: الوسط الحمضي أدى إلى تدهور نسبي للبنية الكيميائية، لكن الخرسانة ذات التركيز الإسمنتي الأعلى أبدت مقاومة أفضل لتسرب الشوارد وتحلل الجيل الإسمنتي.

2 - حسب وسط الحفظ تركيز الإسمنت (400 مقابل 450 كغ/م³):• عند التركيز 400 كغ/م³:

زادت نسب الكالسيوم عند التعرض للمحلول، وانخفضت نسب السيليكون.

يشير هذا إلى تفكك جزئي لأطوار C-S-H تحت تأثير الحموضة، مع بقاء أطوار كلسية غير فعالة.

• عند التركيز 450 كغ/م³:

احتفظت العينات بنسبة أعلى من السيليكون حتى بعد التعرض للمحلول.

تشير النتائج إلى مقاومة ميكانيكية وكيميائية أفضل، نتيجة وجود نسبة أعلى من الإسمنت، وبالتالي

جيل C-S-H أكثر كثافة.

الاستنتاج: تركيز الإسمنت الأعلى وقّر شبكة رابطة أكثر تماسكاً، ما قلل من النفاذية ورفع مقاومة التدهور في

الوسط العدواني.

خلاصة :

من خلال تحليل منحنيات EDS، يُستنتج أن كل من تركيز الإسمنت ووسط الحفظ يلعبان دورًا حاسمًا في استقرار الخرسانة على المستوى الكيميائي والميكروي. فالعينات المحفوظة في الهواء أظهرت استقرارًا نسبيًا، مع بعض دلالات الكربنة السطحية. أما العينات المعرضة للمحاليل العدوانية، فقد أظهرت تأثيرًا واضحًا من خلال ارتفاع الكبريت والكلور وانخفاض الكربون.

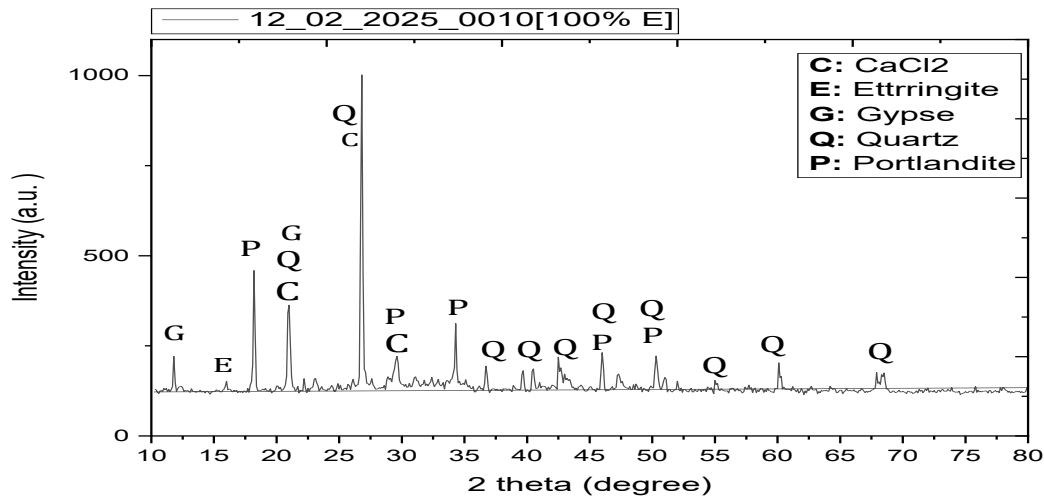
كما برز بوضوح أن الخرسانة ذات التركيز الإسمنتي الأعلى (450 كغ/م³) كانت أكثر قدرة على مقاومة التحلل، حيث احتفظت بنسبة أعلى من السيليكون والأوكسجين، ما يعكس صلابة في بنيتها الجبلية. في حين أن الخرسانة ذات التركيز المنخفض (400 كغ/م³) بدت أكثر عرضة لفقدان العناصر الرابطة وتشكل أطوار غير مرغوبة مثل الجبس أو الأملاح الثانوية.

هذه النتائج تعزز فكرة أن الدمج بين رمل آبار البترول وتركيز إسمنتي كافٍ يمكن أن ينتج خرسانة مستقرة، شريطة التحكم في ظروف المعالجة والتعرض.

2.5.3.7.IV الحيود بالأشعة السينية (DRX):

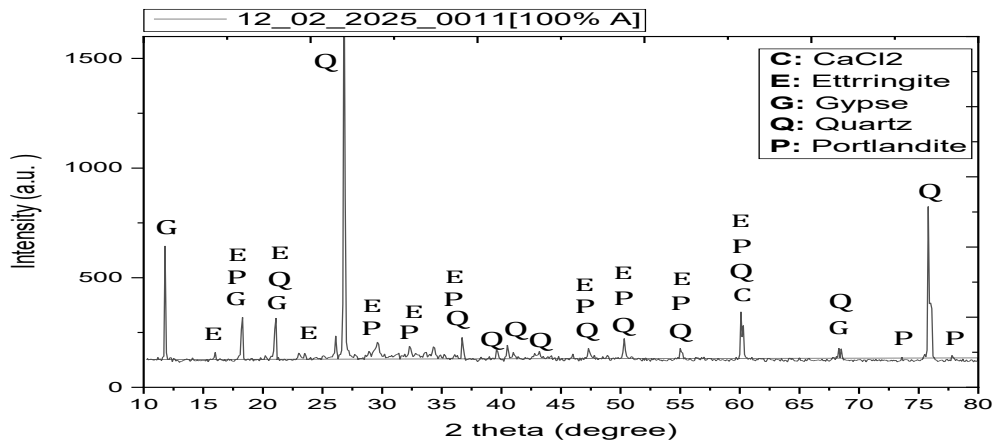
أظهرت نتائج تحليل DRX لعينات خرسانة رمل آبار البترول ذات التركيز الإسمنتي 450 كغ/م³، حسب وسط الحفظ، الأطوار البلورية الناتجة عن التفاعلات، وساعدت في تحديد كيفية توزيع المركبات المتبلورة داخل البنية الخرسانية.

• في الوسط الهوائي :



الشكل 100.IV يُظهر منحنى تحليل DRX لعينة خرسانية SPP ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في الهواء لمدة 180 يومًا.

• في الوسط الحمضي العدواني :



الشكل 101.IV يُظهر منحنى تحليل DRX لعينة خرسانية SPP ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، حُفظت في محلول عدواني لمدة 180 يومًا.

أظهر منحني DRX لعينة خرسانة مصنّعة برمل آبار البترول (SPP) ، ذات تركيز إسمنتي 450 كغ/م³، ومحفوظة في محلول عدواني مكوّن من حمض الكبريت وحمض الهيدروكلوريك لمدة 180 يومًا حسب الشكل 102، وجود و تطور في مجموعة من الأطوار البلورية المتنوعة التي تعكس التغيرات المعدنية التي طرأت على العجينة الإسمنتية في هذا الوسط الشديد العدوانية مقارنة بالعينة الشاهد حسب الشكل 101.

- الأطوار البلورية الملاحظة:

• الكوارتز (Q):

ظهر بشكل واضح وقوي في عدة مواقع، وهو يمثل المكوّن السيلييسي في رمل آبار البترول.

ثباته العالي في المنحنى دليل على استقرار الركام وعدم تدهوره، حتى بعد فترة طويلة من الغمر في وسط حمضي قوي، مما يُبرز مقاومته الكيميائية الممتازة.

• الإترنجيت (E) والجبس (G):

ظهرت قمم مميزة لهما في عدة مواقع، ما يشير إلى تفاعل الشوارد العدوانية (SO_4^{2-} و Cl^-) مع المركبات الكلسية في العجينة.

تكوّن هذه الأطوار أمر متوقع في بيئة حمضية، وهي ناتجة عن تفاعل الكبريتات والكلور مع الألومينات والكالسيوم.

رغم أن هذه الأطوار قد تكون تمديدية في بعض الظروف، إلا أن ظهورها لا يعني بالضرورة تدهورًا كليًا، بل يمكن أن يكون نتيجة توازن ديناميكي في التفاعلات داخل بنية الخرسانة.

• البورتلانديت (P):

استمر ظهوره في المنحنى رغم الظروف الحامضية، وهو مؤشر إيجابي على وجود فائض من $Ca(OH)_2$ لم يذُب كليًا، نتيجة التركيز الإسمنتي المرتفع.

هذا يعكس قدرة الخرسانة جزئيًا على مقاومة الذوبان وتحمل بعض التأثيرات الكيميائية.

• كلوريد الكالسيوم (C):

رُصد بشكل محدود، ويدل على تفاعل الكالسيوم الحر مع شوارد الكلور، وهو تفاعل طبيعي في وجود HCl، لكنه لم يكن مهيمًا في التركيب النهائي حسب شدة القمم.

الاستنتاجات العامة:

- تُظهر الخرسانة سلوكًا متوازنًا تحت تأثير وسط عدواني حاد، مع بعض التغيرات البلورية الطبيعية المتوقعة، دون أن يشير التحليل إلى انهيار كامل في التركيب.
 - الركام الرملي (رمل آبار البترول) أثبت استقرارًا ممتازًا، ما يدعم قابليته للاستخدام في بيئات صعبة إذا تم ضبط التركيبة والإضافات بشكل جيد.
 - تكوّن الإترنجيت والحبس هو جزء من التفاعل الطبيعي في بيئة غنية بالكبريتات والكلور، ويجب التعامل معه عبر تحسين الحماية السطحية والحد من النفاذية، وليس كعيب جوهري في الرمل أو التركيبة.
 - بقاء البورتلانديت يعكس أن التركيز الإسمنتي العالي قد منح الخرسانة هامشًا إضافيًا من الصمود أمام الهجوم، ثم باقي المكونات عند نفاد هذا الأخير .
- أما وجود الإترنجيت فهو دليل تفاعل أجزاء من مكونات الخرسانة المتمثلة في سيليكات الكالسيوم CSH مع الكبريتات وفق ما قدمنا سابقًا من معادلات .

الخلاصة:

يُشير تحليل XRD إلى أن الخرسانة المصنوعة من رمل آبار البترول وبتريز إسمنتي 450 كغ/م³ استطاعت الحفاظ على جزء معتبر من أطوارها البلورية الأساسية، رغم ظروف الحفظ القاسية. وقد لعب التريز الإسمنتي المرتفع دورًا مهمًا في تعزيز استقرار البنية الكيميائية، بينما أظهر الرمل سلوكًا مقاومًا لافتًا للتدهور. وبذلك، فإن هذه النتائج لا تُدين الخرسانة، بل تدعو إلى تحسين بعض الجوانب الوقائية مثل النفاذية والمعالجة السطحية، بما يسمح بتوسيع مجال استخدام رمل آبار البترول في بيئات عدوانية.

الخلاصة العامة

والتوصيات

الخلاصة العامة والتوصيات:

في ظل تزايد التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة باستهلاك الموارد الطبيعية، ومع تراجع توفر الرمال الصالحة للبناء، برزت الحاجة إلى إيجاد بدائل محلية مستدامة ذات مردودية تقنية ومردود بيئي مقبول. ومن هذا المنطلق، جاءت هذه الدراسة بعنوان: "دراسة ديمومة خرسانة رمل آبار البترول"، سعياً إلى تقييم الإمكانيات الفيزيائية، الميكانيكية، والدوامية لهذا النوع من الرمل الصناعي غير التقليدي، عند استخدامه كركام في إنتاج خرسانة خالية من الحصى، مع مقارنته بأنواع أخرى من الرمال، في مقدمتها الرمل النهري ورمل الكثبان الصحراوية.

1 الأهداف المحورية للدراسة

تمثلت الأهداف الأساسية فيما يلي:

- اختبار خصائص الخرسانة المعتمدة على رمل آبار البترول (SPP) من حيث قابلية التشغيل، الكثافة، الإنكماش، الامتصاص الشعري، ومقاومتي الضغط والانحناء.
- دراسة سلوك هذه الخرسانة في بيئة عدوانية تحاكي المياه الجوفية الصاعدة، الغنية بأيونات الكلور والكبريتات.
- مقارنة الأداء مع خلطات تحتوي على رمل الكثبان (SDH)، والرمل الطبيعي (SOR)، وكذلك خلطات مركبة بنسبة 10% و20% من رمل الكثبان.
- فهم الآليات المجهرية والكيميائية وراء تفاعلات التحلل أو الاستقرار، من خلال تحاليل MEB، EDS، وDRX.

2 أهم النتائج المتحصل عليها

- من حيث قابلية التشغيل والكثافة:
- أظهرت الخلطات المعتمدة على رمل آبار البترول قابلية تشغيل متوسطة ومستقرة.
- الكثافة الطازجة والمتصلبة كانت قريبة جداً من الرمل النهري ومرتفعة نسبياً مقارنة بالرمل الكثباني، مما يعكس بنية مدمجة.
- فيما يخص مقاومة الضغط والانحناء:
- سجلت خرسانة SPP أداءً ميكانيكياً جيداً ومتفوقاً على خلطات SDH والمركبة، وقريباً من أداء SOR، خاصة عند التركيز الإسمنتي 450 كغ/م³ حيث حققت مقاومة ضغط بلغت 39.94 ميغاباسكال في الوسط الحمضي مقابل 40.71 ميغاباسكال في الوسط الهوائي، ومقاومة انحناء بلغت 4.23 ميغاباسكال في الوسط الحمضي مقابل 4.53 ميغاباسكال في الوسط الهوائي.

حتى بعد 180 يومًا من التعرض لمحلول عدواني حامضي، لم تتجاوز نسبة الانخفاض 6.62% في مقاومة الانحناء، و1.89% في مقاومة الضغط وهي قيم تُعد منخفضة مقارنة بالدراسات السابقة.

- فيما يتعلق بالانكماش الذاتي والجفاف:

• أظهرت نتائج الانكماش أن قيم الانكماش ازدادت بارتفاع التركيز الإسمنتي، حيث بلغت:

• 786 $\mu\text{m}/\text{m}$ عند التركيز 350 $\text{كغ}/\text{م}^3$

• 898 $\mu\text{m}/\text{m}$ عند التركيز 400 $\text{كغ}/\text{م}^3$

• 1086 $\mu\text{m}/\text{m}$ عند التركيز 450 $\text{كغ}/\text{م}^3$

وعلى الرغم من هذا الارتفاع، تبقى القيمة المسجلة عند التركيز 450 $\text{كغ}/\text{م}^3$ ضمن الحد المعياري المقبول الموصى به في المواصفات NF P15-433 ($1000 \mu\text{m}/\text{m}$)، مع فارق محدود.

بالمقارنة، كان انكماش خرسانة SPP أعلى من خرسانة SOR المعتمدة على رمل الوديان، لكنه أقل بوضوح من الخرسانات الأخرى المحتوية على رمل الكثبان

- بالنسبة للإمتصاص الشعري للماء:

- كانت قيم الإمتصاص الشعري لعينة SPP هي الأقل بعد عينة SOR، ولم تتجاوز 1 $\text{كغ}/\text{م}^2$ ، في حين تراوحت باقي القيم للعينات الأخرى بين 1.5 و 2.29 $\text{كغ}/\text{م}^2$.
- أظهرت نتائج الإمتصاص الشعري أيضًا أن خرسانة SPP تحتفظ بمسامية شعرية معتدلة، وتُظهر مقاومة مقبولة لاختراق الماء.

- نتائج التحاليل المجهرية والفيزيائية:

- أظهرت صور المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) وجود بنية مجهرية متماسكة في خرسانة SPP، خاصة عند التركيز العالي، مع كثافة مرتفعة لبلورات C-S-H وانخفاض في تشققات الإترنجيت الثانوي.
- كشفت تحاليل DRX وEDS عن وجود منتجات ثانوية كالإترنجيت والجبس في العينات المتعرضة للأحماض، لكن بكميات غير مؤثرة بنيويًا.
- سُجلت ترسبات سطحية ملحية بيضاء (CaCl_2 ، $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) دون تأثير ملحوظ على القوام العام للعينات.

3 المناقشة العامة والتفسير العلمي

- دور التركيب الحبيبي للرمل: رمل آبار البترول يتميز بتدرج حبيبي متوازن، وملمس خشن نسبيًا، مما يعزز من تماسكه مع العجينة الإسمنتية، ويُقلل من المسامية الشعرية، وهو ما يُفسر انخفاض الامتصاص وارتفاع المقاومة الميكانيكية مقارنةً برمل الكتبان.
- أثر محتوى الزيت: وجود نسبة زيت تصل إلى 5% لم يُضعف الخواص الميكانيكية كما كان متوقعًا، بل ساهم في تكوين طبقة كارهة للماء تقلل من تغلغل الرطوبة، خاصة في المسام الدقيقة.
- أهمية نوعية الإسمنت المستخدم: ساهم استعمال إسمنت CEM I 42.5 N SR3 LH المقاوم للكبريتات في تقليص التفاعلات السلبية مع الشوارد العدوانية، بفضل انخفاض محتوى C_3A ، مما خفف من تكون الإترنجيت الثانوي ومنع التمدد الداخلي.
- تأثير تركيز الإسمنت: كلما زاد تركيز الإسمنت، زادت كثافة العجينة، وارتفع ترسيب C-S-H، وانخفض الامتصاص، وتحسنت الديمومة في البيئات العدوانية، كما هو موثق في منحنيات الامتصاص والصور المجهرية.

4 الاستنتاجات النهائية

- يُمكن استخدام رمل آبار البترول كبديل واعد للرمل الطبيعي في إنتاج خرسانة ذات ديمومة عالية، خصوصًا إذا استُخدم بتركيز إسمنتي مناسب، وبشروط تحضيرية جيدة.
- بالرغم من احتوائه على شوائب زيتية، أثبت رمل SPP توافقًا هيكليًا وكيميائيًا مع العجينة الإسمنتية، سواء في وسط هوائي أو عدواني.
- الخرسانة المنتجة أظهرت مقاومة جيدة للهجوم الحمضي، كما حافظت على بنيتها دون تشوهات سطحية أو تآكل مرئي.
- تم التحقق من جميع النتائج التجريبية عبر وسائل تحليل متقدمة (EDS، MEB، DRX)، مما يمنح الدراسة مصداقية تجريبية وهيكلية.

5 آفاق البحث والتوصيات المستقبلية

- توسيع نطاق البحث ليشمل تأثير دورات الجفاف والرطوبة، أو التجميد والذوبان.
- دراسة تأثير زمن المعالجة المطول في تحسين أداء الخرسانة المحتوية على رمل آبار البترول.
- تجربة هذا النوع من الخرسانة في تطبيقات ميدانية (أساسات، قنوات صرف، أرضيات معرضة للرطوبة).
- إمكانية تطوير معايير تقنية جزائرية لاعتماد هذا النوع من الرمل في الخرسانة، خاصة في المناطق الجنوبية.

قائمة المصادر والمراجع

- [1] **Aggarwal Y, Siddique R.** Microstructure and properties of concrete using bottom ash and waste foundry sand as partial replacement of fine aggregates. *Constr Build Mater* 2014;54:210–23. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.051>.
- [2] **Cavalli MC, Chen D, Chen Q, Chen Y, Cannone Falchetto A, Fang M, et al.** Review of advanced road materials, structures, equipment, and detection technologies. *J Road Eng* 2023;3:370–468. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2023.12.001>.
- [3] **Walach D, Dybel P, Sagan J, Gicala M.** Environmental performance of ordinary and new generation concrete structures—a comparative analysis. *Environ Sci Pollut Res* 2019;26:3980–90. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3804-2>.
- [4] **Hamza C, Bouchra S, Mostapha B, Mohamed B.** Formulation of ordinary concrete using the dreux-gorisse method. *Procedia Struct Integr* 2020;28:430–9. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.050>.
- [5] **Kursula K, Mistri A, Illikainen M, Perumal P.** Utilization of fine concrete waste as a lightweight aggregate via granulation : Technical and environmental assessment. *J Clean Prod* 2024;434:139938. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139938>.
- [6] **Xiao J, Zhang H, Hu X, Ding T, Xiao X.** Impact assessment of river sand resource shortage under different policy scenarios in China. *Low-Carbon Mater Green Constr* 2023;1:1–13. <https://doi.org/10.1007/s44242-023-00015-5>.
- [7] **Wang J, Hassan MS, Alharthi M, Arshed N, Hanif I, Saeed MI.** Inspecting non-linear behavior of aggregated and disaggregated renewable and non-renewable energy consumption on GDP per capita in Pakistan. *Energy Strateg Rev* 2022;39:100772. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100772>.
- [8] **Kumar S, Silori R, Kumar SS (2023)** Insight into the perspectives of waste foundry sand as a partial or full replacement of fine aggregate in concrete. *Total Environ Res Themes* 6:100048. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100048>
- [9] **Zerig T, Aidoud A, Belachia M, Djedid T, Abbas M (2023)** Combined sand eco-mortar reinforced with polyethylene Terephthalate: Behavior and optimization using RSM method. *Constr Build Mater* 404:133160. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133160>
- [10] **Zerig T, Belachia M, Aidoud A, Meftah N, Djedid T, Abbas M (2024)** Statistical analysis using the RSM approach of the physical behavior of green polymerized eco-mortar. *J Clean Prod* 450:141858. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141858>
- [11] **Boudlal O, Djemai M, Hamza A, Khattaoui M (2017)** Valorisation de nouveaux matériaux naturels et recyclés dans la construction routière en Algérie. *Bull Eng Geol Environ* 76:523–535. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0948-5>
- [12] Colloque annuel de la Société d'Anthropologie de Paris 1842 e réunion scientifique . *Bull Mem Soc Anthropol Paris* 2017;29:S9–33. <https://doi.org/10.1007/s13219-016-0174-5>.
- [13] **Adeola AO, Akingboye AS, Ore OT, Oluwajana OA, Adewole AH, Olawade DB et al (2022)** Crude oil exploration in Africa: socio economic implications, environmental impacts, and mitigation strategies. *Environ Syst Decis* 42:26–50. <https://doi.org/10.1007/s10669-021-09827-x>
- [14] **Dongmo AK, Ymefack MN, Mwebi Ekengoue C, Amey KB, Fotie Lele R, Bishweka BC (2020)** Caractérisation granulaire et valorisation des sables d'altération des massifs granitiques de la carrière d'exploitation artisanale de sable de Nepenet (Bafoussam Cameroun) [Granular characterization and valorization of the weathering sands of the granit. *Int J Innov Appl Stud* 31:189–198

- [15] **Kebaili N, Kebaili M, Djouhri M.** Etude des propriétés d' un nouveau béton bitumineux à base de sable de dunes pour les routes du sud d ' Algérie. 2018.
- [16] **Goual MS, Belmecheri OH.** Etude d ' un d co mposit te à ba ase de sable de dun ne , Cime ent et granul g ats en billes de pol lystyrè ène exp pansé 2015. [https:// doi. org/ 10. 13140/ RG.2. 1. 2777. 8402.](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2777.8402)
- [17] **Bedadi L, Bentebba MT** (2017) Characteristics of Sand of the Oueds in the Region of Oued Righ (Oued N'SA, Oued M'ZAB and Oued Rtem) in the Making of Concrete in the Arid Regions. Energy Procedia 119:733–741. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. egypro. 2017.07.135](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.135)
- [18] **Mani M, Bouali MF, Kriker A, Hima A** (2021) Experimental characterization of a new sustainable sand concrete in an aggressive environment. Frat Ed Integrita Strutt 15:50–64. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.55.04>
- [19] **Nadezhda M. ULYASHEVA., et al.** (2020). “ Development of the drilling mud composition for directional wellbore drilling considering rheological parameters of the fluid ” Journal of Mining Institute. 2020. Vol. 244. P. 454-461 ., DOI: 10.31897/PMI.2020.4.8
- [20] <https://ar.m.wikipedia.org/wiki/البئر>
- [21] **Khodja.M** " les fluide de forage" Thèse de Doctorat ,Université Toulouse, France 2008
- [25] http://www.syr_res.com/article/1481.htm
- [26] **Bou khalfa.z ,tordjemani.y"** Etude de Methode de traitement des boues de forage cosideration environnementale " Mémoire de Master, université M'hamed Bougara de Boumerdes Algérie, 2017.
- [27] drilling...<upstream < www.gea.com
- [28] **Salim Dhequir,** ES TPS Progineer chez Miswaco.
- [30] **Ivica Kisić., et al.** (2009). " The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops " Geoderma ,15 March 2009, Pages 209-216 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.041>
- [32] **SOUICI Ikram,** Élaboration et caractérisation des bétons de sable à base des fillers et sables recyclés, Thèse de Doctorat , Université 8 Mai 1945 Guelma, 2025..
- [33] **BENTATA A."** Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2004.
- [35] **LOGBI A.** "Effet de l'incorporation des ajouts minéraux sur les propriétés physico-mécaniques du béton", Thèse de magister, ENP, Algérie, 1999.
- [36] **LAYACHI G.** "Influence du rapport E/C et du mode de cure sur les propriétés physico mécaniques et de transfert d'humidité des mortiers de ciment durcis ", Mémoire de magister, université AMAR Telidji à Laghouat, Algérie, 2006.
- [37] **BOUHNİK B.** "Contribution a la valorisation du sable de dune dans la formulation du béton destiné aux ouvrages hydrauliques en milieux sahariens", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2007.
- [38] **HACHANA A."** Etude des Bétons à base des agrégats de démolition", Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie, 2007.
- [39] **HADJI N, DRIF A.** "Influence des granulats sur les qualités du béton", P.F.E, ENP, Algérie, 2005.

- [40] **Chadli Mounira., et al.** (2023), " Effect of Dune Sand on the Properties of Reactive Powder Concrete Reinforced with Metal Fibers" *Revue des Composites et des Matériaux Avancés-Journal of Composite and Advanced Materials* Vol. 33, No. 2, April, 2023, pp. 111-119 Journal homepage: <http://iieta.org/journals/rcma>, <https://doi.org/10.18280/rcma.330206>
- [41] **BENGOUCHA F Z.** "Amélioration des propriétés de mortier à base de sable de dunes Avec ajout (sable granulé de haut fourneaux)", P.F.E, ENTP, Algérie, 2005.
- [42] **Belferrag, Allaoua** (2016), "Contribution à l'amélioration des propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de sable de dunes" thesis, Université Mohamed Khider - Biskra
- [43] **KETTAB R.** "Contribution à la valorisation du sable de dunes", Thèse de doctorat, ENP, Algérie, 2007.
- [46] **CHAOUCH A.**"Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes", Thèse de magister, ENP, Algérie, 1993.
- [47] **GUENOUN R.** "Etude et formulation d'un béton de sable de dune", P.F.E, ENP, Algérie, 2003.
- [48] **NAFA A, BATATA A.** "Béton de sable de concassage", P.F.E, ENP, Algérie, 1989.
- [49] **SALHI K.**"Etude de l'influence de l'ajout du sable de dune et le laitier granulé finement broyés au ciment sur la stabilité de béton", Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie, 2007.
- [50] **DREUX G, FESTA J.** "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Edition Eyrolles, Huitième Edition, 1998.
- [52] **Guendouz M, Debieb F, Kadri E.**" Formulation et caractérisation d'un béton de sable à base de déchets plastiques " HAL Id: hal-01167754 <https://hal.science/hal-01167754v1> Submitted on 24 Jun 2015
- [53] **ADAM, M.** "propriétés des bétons"; centre de recherches interuniversitaire sur le béton université SHERBROOKE; édition EYROLLES.
- [54] NF EN 206-1
- [55] **Rissel Khelifa, M.** " Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants. Architecture, aménagement de l'espace. Université d'Orléans, 2009. Français.
- [56] **Ait-Tahar, K.** "Mode de rupture par flexion des poutres composites en béton de fibres". *Annales de l'I.T.B.T.P.* 4, 11-17. 2001.
- [57] **BARON,J.** "La Durabilité Des Bétons", Presses De l'École nationale des Pontset chaussées, 1992.
- [58] **MELAIS, F. Z. ACHOURA, D.**"Formulation et propriétés des bétons de sable renforcé de fibres de polypropylène". XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29au 31 Mai 2011.
- [59] **AMARNI, L.**" Durabilité des éléments en Bétons Armé en milieu agressif Corrosion des Armatures", Mémoire de magister, université Tizi- Ouzou , Algérie, 2012.

- [61] **Bruno, H.** "Comportement à la corrosion des armatures dans un béton carbonaté. Influence de la chimie de la solution interstitielle et d'une barrière de transport" École doctorale matériaux de Lyon, 2005.
- [63] **MELAIS, F. Z.** "durabilité des bétons de sable fibres dans les différents milieux agressifs « effets de la nature des fines d'ajouts et fibres »". Thèse de doctorat 3ème Cycle. Université Badji Mokhtar - Annaba. 2016.
- [64] **Jonathan, MAI-NHU.** "Corrosion des armatures du béton : couplage carbonatation/chlorures en présence de cycles hydriques". Université Toulouse 2013
- [65] **Logbi, A. Kriker, A. Snisna, Z.** Effects of Mineral Additions on Durability and Physico-Mechanical Properties of Mortar. AIP Conference Proceedings 1814, 020032; doi: 10.1063/1.4976251. 2017
- [66] Technologie, "LA CORROSION DES ARMATURES DES BÉTONS ARMÉS ET PRÉCONTRAINTS", NOVEMBRE 2008.
- [67] **Thanos, D. John, C. Clement, Kevin J. Folliard, R. and Michael, D.A. Thomas,** "Laboratory and Field Evaluations of External Sulfate Attack in Concrete" Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. 2011.
- [69] **Neville, A.M.** "Properties of Concrete", Long Man Group Limited, London, Fourth Edition. 2005
- [70] **Soroka, I. Abayneh, M.**, "Effect of Gypsum on Properties and Internal Structure of PC past" "Cement and Concrete Research", Vol. 16, No. 4, pp 495-504, 1986.
- [71] **Dauzères, A.** « Etude expérimentale et modélisation des mécanismes physico-chimiques des interactions béton-argile dans le contexte du stockage géologique des déchets radioactifs », thèse de doctorat, Université de Poitiers. 2010. 272p.
- [72] **Santhanam, M. Cohen, M.D. Olek, J.** «Mechanism of sulfate attack: a fresh look, Part 2. Proposed mechanisms», Cement and Concrete Research, Vol 33. 2003. p 341–346.
- [73] **Demene, Z. Azzouz, L. Goual, M.S.** "Durabilité de mortiers à base de ciments Algériens vis-à-vis du sulfate de magnésium (MgSO₄) et effet de sable de dune sur le taux de chute de résistance", Colloque CMEDIMAT 2005, 06 -07 Décembre 2005. p 8.
- [74] **Kaid N, Ayed K, Abidelah A, Khelafi H, Kerdal D.,** "ETUDE DE LA DURABILITE DES MORTIERS POUZZOLANIQUES FACE AUX MILIEUX AGRESSIFS". "SICZS_2010" Symposium International sur la Construction en Zone Sismique. Université Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie), 26 – 27 octobre 2010
- [75] **VERBECK, G.J.** and laboratory studies, "the sulphate resistance of concrete", PCA Research Department Bulletin; 1968
- [76] **BENSEKRANE, K.** "Durabilité des ouvrages en béton destinés à l'évacuation des eaux usées dans la vallée de OUARGLA", Mémoire de magister, université KASDI Merbah Ouargla; 2012.

[77] Collection technique Cimbéton "Guide de prescription des ciments pour des constructions durables," Centre D'informations sur le ciment et ses applications .2009 .

[82] **Tarek, D.** " Effet de la substitution du sable de rivière par du sable de carrière sur la durabilité des bétons à base de différents ciments algériens dans des environnements chimiques " Thèse de l' Université de Biskra, 2020

[83] **Abdelkader, N.** "La corrosion des aciers dans le béton à l'état passif et par carbonatation : Prise en compte des courants galvaniques et des défauts d'interface acier – béton" , Thèse de l' Université de toulouse, 2010.

[84] **KAID, N** ".Etude de La Durabilité des mortiers Pouzzolaniques face aux milieux agressifs, "SICZS_2010" Symposium International sur la Construction en Zone Sismique" Université Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie), 26 – 27 octobre 2010 .

[87] **MILOUDI, A** ".Mécanismes et remèdes de phénomène de la remontée des eaux dans la région d'Oued Souf Mémoire Magister " ,MAGISTER , Université de Ouargla 2008.

[92] **KHECHANA, S.** "Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien)" Thèse de doctorat.universitebadjimokhtarannaba. 2014 .

[95] **Houst, y.**" la durabilité de béton " journal suisse des entrepreneurs .38 .20/09/1985

[98] Afnor "Essais physico-mécaniques sur les bétons et mortiers", 1981-1997.

[99] **Bouaziz. A, Hamzaoui.R, Rezigue. S, Bennabi. A** "Valorisation du sable de dune dans les formulations des mortiers et des bétons ."31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S. Cachan, 29 au 31 mai 2013.

[101] **CHERAIT Y, NAFA Z.** "Eléments de matériaux de construction et essais", Collection : le livre de génie civil, Direction de la publication universitaire de Guelma, 2007.

[102] NF P18-303

[103] **Tafraoui, A.** Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental. Algérie. Application aux nouveaux bétons. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, France.2009.

[104] **Ahmad J, Majdi A, Deifalla AF, Qureshi HJ, Saleem MU, Qaidi SMA, et al.** Concrete Made with Dune Sand: Overview of Fresh, Mechanical and Durability Properties. Materials (Basel) 2022;15. <https://doi.org/10.3390/ma15176152>.

[105] **Qureshi MU, Alsaidi M, Aziz M, Chang I, Rasool AM, Kazmi ZA.** Use of reservoir sediments to improve engineering properties of dune sand in oman. Appl Sci 2021;11:1–13. <https://doi.org/10.3390/app11041620>.

- [106] **Mu F, Ma Z, Lang L, Zhang Z, Dong J, Li J shan, et al.** Solidification/stabilization of Pb-contaminated soil by using low-carbon binder derived from dehydrated waste concrete powders and GGBS. *Dev Built Environ* 2024;17:100357. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100357>.
- [107] **Pereira LB, Sad CMS, Castro EVR, Filgueiras PR, Lacerda V.** Environmental impacts related to drilling fluid waste and treatment methods: A critical review. *Fuel* 2022;310. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122301>.
- [108] **Peiffert C, Cuney M.** Application des tests de lixiviation (NF X31-210) à des roches granitiques. *Environnement, Ingénierie & Développement* 1996; N°2-2ème. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.619>.
- [109] **Hébrard-Labit C, Meffray L.** Comparaison de méthodes d'analyse des Éléments Traces Métalliques ETM et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP sur les sols et les végétaux. *Rapp Rech Du Cent d'études Sur Les Réseaux, Les Transp l'urbanisme Les Constr Publiques (CERTU)* 2004:120.
- [110] **Wayo DDK, Irawan S, Satyanaga A, Kim J, Bin Mohamad Noor MZ, Rasouli V.** Filter Cake Neural-Objective Data Modeling and Image Optimization. *Symmetry (Basel)* 2024;16:1–17. <https://doi.org/10.3390/sym16081072>.
- [111] **Araka PP, Okparanma RN, Ayotamuno JM.** Diagnostic screening of organic contaminant level in solidified/stabilized pre-treated oil-based drill cuttings. *Heliyon* 2019;5:e02644. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02644>.
- [112] **Abbas AH, Aissa AS, Mohamed K, Farad S, Messaoud H.** Solidification/Stabilization Treatment for organic oil immobilization in Algerian Petroleum Drill Cuttings: Optimization and Acceptance Tests for Landfilling. *Arch Environ Prot* 2022;48:95–105. <https://doi.org/10.24425/aep.2022.140770>.
- [113] **Korça B, Demaku S.** Evaluating the presence of heavy metals in the vicinity of an industrial complex. *Polish J Environ Stud* 2020;29:3643–9. <https://doi.org/10.15244/pjoes/116071>.
- [114] ENVP9250386A. Arrêté du 18 décembre 1992 relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installations nouvelles 1993. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000727013>.
- [115] **Wayo DDK, Irawan S, Satyanaga A, Abbas G.** Modelling and Simulating Eulerian Venturi Effect of SBM to Increase the Rate of Penetration with Roller Cone Drilling Bit. *Energies* 2023;16. <https://doi.org/10.3390/en16104185>.

- [116] **Zhao Q, Liao C, Jiang E, Yan X, Su H, Tian L, et al.** Dual-purpose elemental sulfur for capturing and accelerating biodegradation of petroleum hydrocarbons in anaerobic environment. *Water Res X* 2025;26:100290. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100290>.
- [117] **Elayaperumal S, Sivamani Y, Bhattacharya D, Lahiri D, Nag M.** Eco-friendly biosurfactant solutions for petroleum hydrocarbon cleanup in aquatic ecosystems. *Sustain Chem Environ* 2025:100207. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2025.100207>.
- [118] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Lignes directrices sur la gestion des matières résiduelles et des sols contaminés traités par stabilisation et solidification Lignes directrices sur la gestion des matières résiduelles et des sols contaminés traités par stabilisation et solidification Ver. 2021.
- [119] **Irawan S, Wayo DDK, Satyanaga A, Kim J.** Global Genetic Algorithm for Automating and Optimizing Petroleum Well Deployment in Complex Reservoirs. *Energies* 2024;17:1–14. <https://doi.org/10.3390/en17092151>.
- [120] **Kaced MM.** Le potentiel shale gas en Algérie. *Journées d'études Tight Shale Reserv* 2013:1–20.
- [121] **Wayo DDK, Irawan S, Satyanaga A, Kim J.** Data-Driven Fracture Morphology Prognosis from High Pressured Modified Proppants Based on Stochastic-Adam-RMSprop Optimizers; tf.NNR Study. *Big Data Cogn Comput* 2023;7. <https://doi.org/10.3390/bdcc7020057>.
- [122] Afnor "Essais physico-mécaniques sur les bétons et mortiers", 1981-1997.
- [123] NFP 18-555
- [124] NF EN 934-2+A1
- [125] NFP 18-598
- [126] GORISSE, F. "Essais et contrôle des bétons", Edition Eyrolles, Paris, 1978.
- [127] NFP 18-560 .
- [128] **PHOUMMAVONG, V.** "Matériaux de construction expériences", Cours en ligne, Agence universitaire de la Francophonie. Montréal, Canada, 2006.
- [129] CTC Centre. "Correction des sables par analyse granulométrique", Algérie, 2006.
- [130] **Abu Seif ESS.** Performance of cement mortar made with fine aggregates of dune sand, Kharga Oasis, Western Desert, Egypt: An experimental study. *Jordan J Civ Eng* 2013;7:270–84.

- [131] **Adnan M, Xiao B, Ali MU, Xiao P, Zhao P, Wang H, et al.** Heavy metals pollution from smelting activities: A threat to soil and groundwater. *Ecotoxicol Environ Saf* 2024;274:116189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116189>.
- [132] **Meftah N, Hani A.** Characterization of Algerian dune sand as a source to metallurgical-grade silicon production. *Mater Today Proc* 2022;51:2105–8. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.366>.
- [133] **Abu Seif, E.S.** Performance of cement mortar made with fine aggregates of dune sand, Kharga oasis, western desert, Egypt: an experimental study. *Jordan Journal of Civil Engineering* 7, 270-284.2013
- [134] SPA BC. Fiche technique de cimenterie de Biskra-Algeria. CEM I 42,5 N SR3 LH n.d. <https://blanc.biskriaciment.com/telechargement-fiche-technique/>.
- [136] **EMILE, O.**"Technologie des matériaux de construction Tome 1", Entreprise Moderne d'Edition, Paris, 1978.
- [137] **Kriker,A. Debicki, G. Bali, A. Khenfer, M.M and Chabanni, M**".Mechanical properties of date palmfibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate", *Cement Concrete Comp.* 27, 554–564 .2005.
- [138] EN 196-1
- [140] **DUPAIN, R. LANCHON, R. ST-ARROMAN J-C.**"Granulats sols ciments et bétons (caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire)", Edition casteilla-25, Paris, 1995.
- [141] NFP 18-452
- [142] NF P 15-437
- [143] **Makhaly, BA** ."Identification géotechnique de matériaux concassés-types en corps de chaussées et évaluation de leur qualité", Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Géosciences, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 2008.
- [144] ENV206
- [145] NF P 15-433
- [146] AFPC-AFREM, 1997
- [147] **Jian, L.** "Etude expérimentale de la perméabilité relative des matériaux cimentaires et simulation numérique du transfert d'eau dans le béton". Autre. Thèse de doctorat Ecole Centrale de Lille Français, 2011.
- [148] P15-433N. (1994). Méthodes d'essais des ciments. AFNOR

- [149] **Abdou, K.** " Influence des fibres métalliques sur les variations dimensionnelles et pondérales d'une matrice cimentaire" Thèse de doctorat Université Mentouri- Constantine. 2007 .
- [150] **Lokuge, W., Sanjayan, J., & Setunge, S.** (2015). Effect of particle size distribution on the properties of cement mortar. *Soil and Sediment Contamination*, 24(1), 38–49.
- [151] **Mucha, A.** (2014). Influence of sand grading and surface texture on mortar cohesion. *International Journal of GEOMATE*, 7(2), 1025–1030.
- [152] **Chang, Y., & Chao, K.** (2024). Review on granular packing models and their effects on durability and strength of concrete. *Geotechnics*, 14(1), 77–92.
- [153] **Liu, Z., Wang, H., & Yu, Y.** (2022). Effects of fine particle additions on strength development of concrete. *Cement and Concrete Research*, 157, 106823.
- [154] **Rahman, M., & Usman, M.** (2020). Residual oil in recycled sand and its influence on cement hydration. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120872.
- [155] **Hassan, A. et al.** (2023). Interaction between hydrocarbons and cementitious matrix: Surface chemistry perspective. *Materials Chemistry and Physics*, 293, 126911.
- [156] **Xie, Y., & Zhao, T.** (2022). Effect of cement content on oil-contaminated concrete strength. *Construction and Building Materials*, 320, 126204.
- [157] **Zhang, Y. et al.** (2021). Cement dosage compensation in low-adherence aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 117, 103899.
- [158] **Bouziyani, T. et al.** (2020). The effect of particle packing and oil content on sand concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 24(12), 1996–2012.
- [159] **Kim, J., & Lee, M.** (2023). Eco-efficient use of petroleum sand in concrete: A performance-based approach. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 12(3), 287–305.
- [160] **Neville, A.M.** (2011). *Properties of Concrete*, 5th ed., Pearson Education.
- [161] **Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M.** (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 4th ed., McGraw-Hill.
- [162] **Al-Otaibi, M.** (2008). "Recycling of Waste Glass as Aggregate in Concrete: Durability and Microstructure." *Construction and Building Materials*, 22(7), 1456–1461.
- [163] **Siddique, R.** (2008). *Waste Materials and By-Products in Concrete*, Springer.
- [164] **Al-Jabri, K., et al.** (2012). "Effect of Using Waste Oil on Properties of Concrete." *Construction and Building Materials*, 29, 284–290.
- [165] **Almusallam, A. A., Khan, F. M., & Dulaijan, S. U.** (2003). Effect of oil contamination on the properties of fresh and hardened concrete. *Construction and Building Materials*, 17(6–7), 311–318. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(03\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(03)00032-3)
- [166] **Tang, W.C., & Zhao, Y.Y.** (2015). "Effects of Fineness of Sand on the Mechanical Properties of Concrete." *Construction and Building Materials*, 87, 13–19..
- [167] **Aïtcin, P.-C.** (2000). *High Performance Concrete*, E & FN Spon.
- [168] **Al-Salami et al.** (2022). Effects of Fine Particles on Concrete Shrinkage. *Journal of Materials in Civil Engineering*.

- [169] **Zain, M. F. M. et al.** (2020). Influence of Aggregate Gradation on Concrete Behavior. *Construction and Building Materials*.
- [170] **Afroz, S. et al.** (2023). Utilization of Oil Well Sand in Concrete. *Journal of Cleaner Production*.
- [171] **Tayeh, B. A., et al.** (2018). Effect of oil contamination on the compressive strength of concrete made with contaminated fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 170, 58–64.
- [172] ACI Committee 555. (2001). Removal and Reuse of Hardened Concrete. ACI 555R-01. American Concrete Institute.
- [173] **Benaissa, A., & Mesbah, H. A.** (2020). Effect of petroleum-contaminated sand on the properties of mortar and concrete: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 187, 106780.
- [174] **Nasir, A., Al-Salami, M. et al.** (2023). Characterization of Oil-Contaminated Sands for Concrete Applications. *Materials Today: Proceedings*
- [175] **Lura, P. et al.** (2011). Effect of Cement Content on Autogenous Shrinkage. *Cement and Concrete Research*
- [176] **Taylor, H. F. W.** (1997). *Cement Chemistry*. Thomas Telford.
- [177] **Bentz, D. P. et al.** (2019). Multifactorial Effects on Concrete Shrinkage. *Materials and Structures*.
- [178] **Migunthanna, S. et al.** (2023). Integrated View on Shrinkage Mechanisms. *Case Studies in Construction Materials*
- [179] **Neville, A. M.** (2012). *Properties of Concrete*, 5th ed., Pearson.
- [180] **Kheder, G. F.** (2011). "Effect of Aggregate Type on Ultrasonic Pulse Velocity." *Construction and Building Materials*.
- [181] **Hadidi, M., & Mohammadi, M.** (2014). "Effect of Fine Aggregate Grading on Concrete Performance." *Iranian J. of Civil Engineering*.
- [182] **Kowsalya, M. et al.** (2024). "Microstructural Assessment of Desert Sand Concrete." *J. of Construction Eng. and Management*.
- [183] **Hooton, R. D., & Thomas, M. D. A.** (2002). "Use of River Sands in Concrete." *ACI Materials Journal*.
- [184] **Kou, S. C., & Poon, C. S.** (2009). Properties of Concrete with Recycled Aggregates and Light Oil Coating. *Cement and Concrete Composites*.
- [185] **Dhir, R. K., & Jones, M. R.** (1996). Concrete Durability Related to Aggregate Cleanliness. *Magazine of Concrete Research*.
- [186] **Muntohar, A. S., & Liao, H. J.** (2011). Effect of Oil Contamination on Strength of Concrete. *Journal of Civil Engineering Research*.
- [187] **Chini, A. R., Muszynski, L. C., & Ellis, B. S.** (1999). Effect of Waste Oil on Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*.

- [188] Alexander, M. G., & Mindess, S. (2005). *Durability of Concrete: Design and Construction*. CRC Press.
- [189] Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete*, 2nd ed., Prentice Hall.
- [190] Tan, Y., et al. (2020). "Oil-Contaminated Sands in Concrete Production." *Construction and Building Materials*.
- [191] Wang, Y., Li, J., Zhang, F., & Liu, H. (2021). Effect of fine aggregate characteristics on the pore structure and durability of concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 121450.
- [192] Ghafouri, R., & Motamedi, M. (2023). Impact of aggregate type on permeability and durability performance of concrete. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2170–2178.
- [193] Almusallam, A. A., Khan, F. M., & Dulaijan, S. U. (2020). Effect of petroleum contamination on concrete properties and microstructure. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(3), 04020013.
- [194] Chen, L., Wang, S., & Li, K. (2022). Surface modification of aggregates to control concrete permeability in oil-affected environments. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133578.
- [195] Siddique, N. A., & Rana, S. (2023). Effect of cement content on water absorption and acid resistance of concrete with various aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 136, 104919.
- [196] Zhang, J., Liu, B., & Yang, M. (2020). Cement dosage optimization in durable concrete exposed to aggressive environments. *Materials and Structures*, 53(3), 45.
- [197] STEOPOE, A. "La durabilité du béton", édition eyrolles, paris 1970
- [198] Djaafar S., et al. (2025). " Exploring the Properties of Eco-Friendly Concrete Made from Oil Well Sand: A Comparative Study with Other Natural Sand Concretes" *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* <https://doi.org/10.1007/s40996-025-01835-0>
- [199] Zhao, Y., Wu, Y., Wang, Y., & Shi, C. (2021). *Acid attack resistance of concrete: A review*. *Construction and Building Materials*, 306, 124873. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124873>
- [200] Sadrumontazi, A., et al. (2021). *Microstructural investigation of acid-attacked concrete using SEM/EDS and XRD*. *Construction and Building Materials*, 288, 122983. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122983>
- [201] Kou, S. C., & Poon, C. S. (2022). *Durability performance of concrete with different cement contents exposed to acid attack*. *Cement and Concrete Composites*, 130, 104482. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104482>

- [202] **Scrivener, K., & Snellings, R.** (2023). *Sulphate-resisting cements: Mechanisms and long-term performance*. Cement and Concrete Research, 167, 107075. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107075>
- [203] **Ghorpade, V. G., & Patil, D. D.** (2020). *Feasibility study on the use of oil-well sand in concrete*. Journal of Cleaner Production, 274, 122979. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122979>
- [204] **Zhao, W., Chen, H., Zhou, X., & Liu, T.** (2020). Effect of sand type and proportion on fresh and hardened properties of concrete. Construction and Building Materials, 241, 118015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.118015>
- [205] **Ali, M. M., Hassan, A. M., & Al-Ansari, N.** (2021). Evaluation of dune sand as construction material in arid regions. Journal of Building Engineering, 42, 102415. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102415>
- [206] United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. Nairobi, Kenya: UNEP. Retrieved from <https://www.unep.org/>
- [207] **Qian Huang, Chong Wang, Qianpu Zeng, Changhui Yang, Chaoqun Luo, Kai Yang**"Deterioration of mortars exposed to sulfate attack under electrical field", Construction and Building Materials"Volume 117, 1 August 2016, Pages 121-128.
- [208] **BENKADDOUR, M. KAZI AOUAL, F. SEMCHA, A.** "Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle" «Revue Nature et Technologie. n° 01/Juin 2009. Pages 63 à 73.

المراجع بالعربية :

- [22] **زماي، الأيرادات النفطية في الاقتصاد الكلي (النمو الاقتصادي)**، دراسة حالة الجزائر جامعة، أبي بكر بالقائد، تلمسان.
- [23] **إ. حداد، ن. القصاب، م. شهاب**، مشاكل الحفر في المنطقة الوسطى وطرق معالجتها الجامعة السورية الخاصة، كلية هندسة البترول، 2017.
- [24] **أبو بكر أحمد عبد الواحد الحاج وآخرون**، دراسة تأثير جودة خواص سائل الحفر عن عمليات الحفر الجو في جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، 2015.
- [29] **د. ياسين صالح كريم**، تقنيات حفر الآبار جامعة تكريت العراق.
- [31] **ماني محمد**، المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي والتعزيز بالألياف، أطروحة، دكتوراه، جامعة ورقلة، الجزائر، 2019.
- [34] **عبد الفتاح القاصي**. "ميكانيك التربة"، دار الكتاب العلمي، مصر، 2006.
- [44] **المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني** "خواص واختبار المواد 104 مدن " المملكة العربية السعودية.
- [45] **محمود إمام تكنولوجيا الخرسانة** " قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة، جامعة المنصورة، مصر سنة 2002.
- [51] **مجلة المهندس** " الشروخ الخرسانية أسبابها وعلاجها" العدد 4 , 1996.
- [60] **عبد الحميد كيخيا**، "محاضرات لطلاب ماجستير التأهيل والتخصص"، جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية.

- [62] عودة محمد الأغا، "التآكل في المنشآت وأثاره السلبية"، 2006، (S.E.) 10، *O. Al Agha, J. Al-AqsaUnv.*
- [68] خالد حسن حاوي، المعهد التقني بابل، تأثير هجوم املاح الكبريتية على الخرسانة، مجلة جامعة بابل/ العلوم الهندسية / العدد 3 / المجلد 66: 2014
- [78] زينب حسن، محاضرات تكنولوجيا الخرسانة، جامعة الكوفة.
- [79] عصام ملحم، بسام حنا، مقاومة الخرسانة على الضغط وتأثيرها في مقاومة الأوساط، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية- المجلد الرابع والعشرون- العدد الأول 20 -، 2008.
- [80] المهندس محمد، زكريا مشاعيل " إجازة في الهندسة الميكانيكية " المهندس إباد العبود، تحت إشراف، الدكتور مازن عزيزي جامعة حلب كلية الهندسة الميكانيكية علم المواد الهندسية 2012م.
- [81] ليث يوسف يعقوب، زحل عبد الزهرة كباش، وموفق محمد صالح، تقييم مقاومة التآكل للحديد المستخدم في تقوية الخرسانة الكونكريتية في اوساط مائية مختلفة، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 2، 2011.
- [85] اسيا ليفة، "الموارد المائية بالجنوب الجزائري وظاهرة صعود المياه حالة وادي سوف" ، *IntrenationalJurnal of Environmentwatre Issn* 2013. 2052-3408
- [86] عبد اوي جيهان ريم، مشكلة صعود المياه وآثارها على البيئة بإقليم وادي سوف، مذكرة ماجستير، إشراف، بولحواش علاوة، كلية علوم الأرض والجغرافيا والتهيئة العمرانية، جامعة منتوري قسنطينة، 2006.
- [88] صلاح الدين بن محمد السعيد بن زيوش، "ظاهرة صعود المياه وتأثيرها على ثروة النخيل في الجزائر"، الشجرة المباركة، 2010 .
- [89] محسن زوبيدة، "إشكالية الماء الشروب في ولاية ورقلة"، مجلة الباحث جامعة ورقلة عدد 09 / 2011.
- [90] محمد ماني ، الغزف المعروف في طريقة قسمة أعواط وتراب سُوف ، مطبعة مزوار ، عن مديرية الثقافة لولاية الوادي ، الوادي ، 2015 م .
- [91] مديرية الري لولاية الوادي إحصاء 1998
- [93] علي بوصبيح ، الغوط الهود أو الهرم المقلوب ، مطبعة مزوار ، عن مديرية الثقافة لولاية الوادي ، الوادي ، 2015 م .
- [94] الوكالة الوطنية للموارد المائية ANRH الفرع الجهوي ورقلة.
- [96] العسراوي غادة. سمكري مأمون ، دراسة التشوهات و اشكال الانهيار للأعمدة المدعمة بألياف الكربون ،مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، ج 11 ، عدد 1 ، 2005
- [97] هاشم نعمه طعمه، دراسة و تحسين مقاومة انضغاط الخرسانة الحاوية على نسب عالية من الأملاح، مجلة التقني، بغداد، المجلد 21، العدد 4، 2004.
- [100] خالد حسن حاوي المعهد التقني بابل، مجلة جامعة بابل / العلوم الهندسية/ العدد 4 / المجلد 64 : 2015
- [135] حسان العشي، عبد الفتاح الخطيب . " الإسمنت " كلية الهندسة - جامعة عين شمس معمل خواص واختبار المواد.
- [139] عماد محمد حمادة"الخرسانة" مقالة من موقع "مركز المدينة للعلوم الهندسية" جوان 2009

الملاحق

نتائج تجربة التدرج الحبيبي

العينة الأولى 100% رمل آبار البترول لمنطقة حاسي مسعود (SPP)

جدولنتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأولى :

المار المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب (g) Rc	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
94.04	5.96	119.25	38	5
84.95	15.05	301.13	35	2.5
80.02	19.98	399.77	32	1.25
74.32	25.68	513.82	29	0.63
44.47	55.53	1111.08	26	0.315
2.19	97.81	1956.22	23	0.16
0.40	99.60	1992.00	20	0.08
0.10	99.90	1997.94	/	Fond

- العينة الثانية 100% رمل الكثبان المجاور لرمال الآبار لمنطقة حاسي مسعود (SDH)

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية :

المرات المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
100	0	0	38	5
100	0	0	35	2.5
100	0	0	32	1.25
99.91	0.09	1.80	29	0.63
83.26	16.74	334.80	26	0.315
9.57	90.43	1808.60	23	0.16
0.38	99.63	1992.50	20	0.08
0.10	99.90	1997.90	/	Fond

- العينة الثالثة : 100% رمل طبيعي لمنطقة واد الرتام (SOR).

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة :

المرات المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
99.69	0.31	6	38	5
98.54	1.46	29	35	2.5
94.92	5.08	102	32	1.25
63.56	36.44	729	29	0.63
6.89	93.11	1862	26	0.315
1.03	98.97	1976	23	0.16
0.32	99.68	1994	20	0.08
0.02	99.99	1999.8	/	Fond

- العينة الرابعة : 90% رمل (SPP) + 10% رمل (SDH) .

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة

المرات المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
95.47	4.53	90.51	38	5
86.44	13.56	270.94	35	2.5
83.90	16.1	321.69	32	1.25
80.13	19.87	397.02	29	0.63
50.01	49.99	998.85	26	0.315
2.79	97.21	1942.35	23	0.16
0.40	99.60	1992.05	20	0.08
0.10	99.90	1997.90	/	Fond

- العينة الخامسة : 80% رمل (SPP) + 20% رمل (SDH) .

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة

المرات المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
96.27	3.73	74.59	38	5
90.63	9.37	187.46	35	2.5
86.70	13.30	265.95	32	1.25
83.26	16.74	334.82	29	0.63
57.52	42.48	849.57	26	0.315
3.67	96.33	1926.70	23	0.16
0.39	99.61	1992.10	20	0.08
0.11	99.89	1997.80	/	Fond

- العينة السادسة : 70% رمل (SPP) + 30% رمل (SDH) .

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة السادسة

المرار المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب (g) Rc	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
96.74	3.26	65.27	38	5
91.80	8.20	164.02	35	2.5
88.36	11.64	232.71	32	1.25
85.34	14.66	293.20	29	0.63
60.74	39.26	785.22	26	0.315
4.40	95.60	1911.93	23	0.16
0.39	99.61	1992.15	20	0.08
0.11	99.89	1997.70	/	Fond

- العينة السابعة : 60% رمل (SPP) + 40% رمل (SDH) .

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة السابعة

المرار المجمع ب T(%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب (g) Rc	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
97.20	2.80	55.94	38	5
92.97	7.03	140.59	35	2.5
90.03	9.97	199.46	32	1.25
87.42	12.58	251.57	29	0.63
63.96	36.04	720.88	26	0.315
5.14	94.86	1897.17	23	0.16
0.39	99.61	1992.20	20	0.08
0.12	99.88	1997.60	/	Fond

نتائج مقاومة الانحناء:

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
0.27±3.82	0.29±3.60	0.33±3.45	0.36±3.22	0.79±2.20	SPP (5.07%)
0.35±3.44	0.46±3.31	0.43±3.15	0.60±3.02	0.78±2.40	SDH
0.28±3.65	0.57±3.50	0.31±3.35	0.36±3.20	0.68±2.55	90% SPP +10% SDH (3.91%)
0.57±3.55	0.56±3.40	0.36±3.25	0.28±3.10	0.63±2.45	80% SPP +20% SDH (3.34%)
0.29±5.31	0.28±5.14	0.33±4.98	0.32±4.75	0.36±3.35	SOR

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
0.27±4.19	0.33±3.95	0.39±3.78	0.58±3.54	0.67±2.51	SPP (5.07%)
0.61±3.78	0.68±3.63	0.49±3.48	0.64±3.29	0.68±2.65	SDH
0.33±3.96	0.29±3.80	0.28±3.67	0.55±3.50	0.53±2.85	90% SPP +10% SDH (3.91%)
0.30±3.84	0.29±3.71	0.56±3.56	0.31±3.40	0.52±2.75	80% SPP +20% SDH (3.34%)
0.30±5.79	0.32±5.65	0.34±5.51	0.31±5.20	0.35±3.70	SOR

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
0.30±4.53	0.31±4.32	0.25±4.12	0.29±3.86	0.53±2.82	SPP (5.07%)
0.36±4.10	0.35±3.95	0.48±3.81	0.37±3.63	0.39±2.90	SDH
0.30±4.30	0.27±4.15	0.33±3.99	0.27±3.85	0.29±3.10	90% SPP +10% SDH (3.91%)
0.31±4.20	0.34±4.05	0.33±3.90	0.27±3.75	0.30±3.01	80% SPP +20% SDH (3.34%)
0.38±6.20	0.40±6.06	0.46±5.90	0.41±5.62	0.37±3.95	SOR

نتائج مقاومة الضغط:

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
0.74±23.96	0.83±23.57	1.30±23.31	1.45±21.6	1.56±11.73	SPP (5.07%)
2.02±14.24	1.96±13.87	2.60±12.63	2.76±10.95	2.99±6.02	SDH
0.96±24.50	1.24±24.11	1.55±23.85	1.66±22.14	2.39±11.50	90% SPP +10% SDH (3.91%)
1.34±20.49	1.25±20.10	1.49±19.84	1.64±19.13	2.73±9.87	80% SPP +20% SDH (3.34%)
2.50±29.78	2.65±29.30	2.88±28.91	2.58±27.22	2.66±18.53	SOR

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
35.63±2.79	35.17±2.89	34.61±2.92	32.92±3.27	17.01±2.85	SPP (5.07%)
15.28±2.50	14.88±2.57	14.63±2.54	12.77±2.75	7.75±2.03	SDH
35.95±2.46	35.40±2.93	34.75±2.82	33.04±3.13	15.12±1.89	90% SPP +10% SDH (3.91%)
26.73±1.30	26.32±1.16	26.04±1.32	24.31±1.45	14.65±2.21	80% SPP +20% SDH (3.34%)
33.42±2.88	33.1±2.89	32.07±2.86	31.03±2.81	21.23±2.39	SOR

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
40.71±1.76	40.34±1.79	39.93±1.80	39.70±1.84	21.26±1.49	SPP (5.07%)
16.37±2.17	16.23±2.19	15.98±2.17	14.31±2.46	9.30±2.48	SDH
40.69±1.76	40.29±1.81	40.02±1.95	39.83±2.03	19.44±1.51	90% SPP +10% SDH (3.91%)
30.37±2.31	29.95±1.17	29.66±1.29	27.91±1.51	16.91±2.19	80% SPP +20% SDH (3.34%)
36.60±2.02	36.31±2.27	35.88±2.2	34.15±2.79	23.48±2.31	SOR

نتائج الانكماش:

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه الرمل للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

60 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	28 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	21 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	14 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	7 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	2 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	الأيام العينة
10±902	19±786	23±693	16±591	21±373	±140 14	SPP (5.07%)
10±1213	13±1097	8±1058	7±1003	10±537	5±218	SDH
12±933	15±817.25	8±722	13±632	11±390	9±148	90% SPP +10% SDH (3.91%)
10±963	13±848	8±748	5±674	10±406	6±156	80% SPP +20% SDH (3.34%)
10±428	13±397	8±364	5±327	10±140	5±54	SOR

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه الرمل للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

60 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	28 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	21 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	14 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	7 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	2 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	الأيام العينة
14±1031	14±898	11±792	12±676	19±427	11±165	SPP (5.07%)
14±1387	14±1253	13±1209	12±1147	10±613	8±249	SDH
14±1067	14±933	13±823	12±723	10±445	5±169	90% SPP +10% SDH (3.91%)
14±1102	14±969	13±854	12±769	14±465	9±178	80% SPP +20% SDH (3.34%)
14±489	14±453	13±418	12±373	10±159	8±62	SOR

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية الرمل للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

60 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	28 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	21 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	14 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	7 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	2 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	الأيام العينة
15±1173	13±1086	35±890	30±762	70±691	10±180	SPP (5.07%)
15±1565	13±1453	35±1360	30±1290	70±690	10±280	SDH
15±1211	13±1126	22±925	30±813	21±501	10±191	90% SPP +10% SDH (3.91%)
15±1246	13±1167	20±960	16±866	17±522	10±203	80% SPP +20% SDH (3.34%)
15±554	13±520	16±472	23±420	15±181	10±71	SOR

نتائج تجربة سرعة إنتشار الأمواج الصوتية :

جدول نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل

للتتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

م/ثا	السرعة العينة
35	SPP (5.07%)
28	SDH
34	90% SPP +10% SDH
33	80% SPP +20% SDH
35	SOR

جدول نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

م/ثا	السرعة	العينة
3670	SPP (5.07%)	
3000	SDH	
3585	90% SPP +10% SDH	
3485	80% SPP +20% SDH (3.34%)	
3645	SOR	

جدول نتائج سرعة انتشار الأمواج الصوتية لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

م/ثا	السرعة	العينة
3820	SPP (5.07%)	
3150	SDH	
3730	90% SPP +10% SDH	
3640	80% SPP +20% SDH (3.34%)	
3790	SOR	

نتائج تجارب الديمومة:

- نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة): النتائج المدونة أثناء الغمر.

1 - بعد كل مدة زمنية معينة

جدول نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 350 كغ/م³ بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام
8.150	6.870	5.450	4.001	3.400	2.819	2.161	1.399	0	SPP (5.07%)
12.050	10.030	8.150	6.000	5.080	4.120	3.150	2.021	0	SDH
8.221	6.898	5.484	4.040	3.438	2.856	2.200	1.442	0	90% SPP +10% SDH (3.91%)
9.051	7.829	6.480	5.050	4.120	3.510	2.681	1.520	0	80% SPP +20% SDH (3.34%)
7.331	6.281	4.980	3.510	2.901	2.349	1.730	1.081	0	SOR

جدول نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 400 كغ/م³ بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام
7.120	5.949	4.660	3.310	2.811	2.330	1.790	1.110	0	SPP (5.07%)
10.501	9.100	7.420	5.400	4.550	3.720	2.781	1.820	0	SDH
7.211	5.995	4.709	3.361	2.859	2.374	1.834	1.156	0	90% SPP +10% SDH (3.91%)
8.941	7.649	6.231	4.771	3.829	3.121	2.251	1.320	0	80% SPP +20% SDH (3.34%)
6.249	5.321	4.151	2.910	2.420	1.970	1.449	0.890	0	SOR

جدول نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 450 كغ/م³ بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام
6.020	5.119	3.869	2.820	2.439	2.019	1.530	0.921	0	SPP (5.07%)
9.251	8.101	6.620	4.800	4.019	3.311	2.480	1.650	0	SDH
6.350	5.177	3.927	2.878	2.492	2.067	1.577	1.030	0	90% SPP +10% SDH (3.91%)
8.100	6.900	5.559	4.210	3.330	2.780	2.011	1.151	0	80% SPP +20% SDH (3.34%)
5.200	4.551	3.609	2.520	2.099	1.671	1.219	0.750	0	SOR

2 - بعد مدة 180 يوم متواصلة

جدول نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 350 كغ/م³ بـ (%):

نسبة التغير في الكتلة	الكتلة بعد الغمر (g)	الكتلة عند الغمر (g)	العينة
6.48	525.99	562.44	SPP (5.07%)
6.12	559.58	596.03	SDH
6.45	528.43	564.88	90% SPP +10% SDH (3.91%)
6.42	531.46	567.91	80% SPP +20% SDH (3.34%)
5.85	586.56	623.01	SOR

جدول نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 400 كغ/م³ بـ (%):

العينة	الكتلة عند الغمر (g)	الكتلة بعد الغمر (g)	نسبة التغير في الكتلة
SPP (5.07%)	548.97	506.97	7.65
SDH	591.04	554.59	6.17
90% SPP +10% SDH (3.91%)	552.96	516.51	6.59
80% SPP +20% SDH (3.34%)	558.11	521.66	6.53
SOR	622.25	585.8	5.86

جدول نتائج تغير الكتلة (فقدان الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبية وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 450 كغ/م³ بـ (%):

العينة	الكتلة عند الغمر (g)	الكتلة بعد الغمر (g)	نسبة التغير في الكتلة
SPP (5.07%)	536.07	489.16	8.75
SDH	587.13	511.92	12.81
90% SPP +10% SDH (3.91%)	540.93	491.16	9.20
80% SPP +20% SDH (3.34%)	545.93	492.32	9.82
SOR	621.21	571.82	7.95

• نتائج تغير الكتلة (إكتساب الكتلة): النتائج المدونة أثناء الغمر.

1 - بعد كل مدة زمنية معينة

جدول نتائج تغير الكتلة (إكتساب الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 350 كغ/م³ بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام
2.141	2.171	2.200	2.230	2.251	2.310	2.120	1.720	0	SPP (5.07%)
2.439	2.460	2.511	2.570	2.599	2.490	2.219	1.891	0	SDH
2.190	2.181	2.210	2.240	2.269	2.330	2.099	1.690	0	90% SPP +10% SDH (3.91%)
2.089	3.270	3.100	2.819	2.610	2.390	2.141	1.779	0	80% SPP +20% SDH (3.34%)
2.210	1.991	2.020	2.060	2.100	2.050	1.849	1.510	0	SOR

جدول نتائج تغير الكتلة (إكتساب الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمتي 400 كغ/م³ بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام
2.131	2.160	2.189	2.209	2.229	2.260	1.990	1.511	0	SPP (5.07%)
2.370	2.401	2.450	2.500	2.531	2.429	2.120	1.740	0	SDH
2.140	2.101	2.129	2.169	2.200	2.220	1.971	1.550	0	90% SPP +10% SDH (3.91%)
3.069	2.909	2.760	2.491	2.280	2.059	1.790	1.350	0	80% SPP +20% SDH (3.34%)
2.159	1.930	1.951	1.979	2.010	1.951	1.700	1.340	0	SOR

جدول نتائج تغير الكتلة (إكتساب الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام
2.081	2.111	2.139	2.169	2.199	2.111	1.801	1.320	0	SPP (5.07%)
2.299	2.339	2.390	2.430	2.450	2.350	1.999	1.610	0	SDH
2.110	2.090	2.120	2.150	2.170	2.110	1.851	1.400	0	90% SPP +10% SDH (3.91%)
2.969	2.810	2.671	2.341	2.119	1.889	1.610	1.220	0	80% SPP +20% SDH (3.34%)
2.090	1.900	1.910	1.931	1.960	1.870	1.579	1.210	0	SOR

2 - بعد مدة 180 يوم متواصلة

جدول نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³ بـ (%):

نسبة التغير في الكتلة	الكتلة بعد الغمر (g)	الكتلة عند الغمر (g)	العينة
2.081	548.54	537.36	SPP (5.07%)
2.441	601.85	587.51	SDH
2.101	553.14	541.76	90% SPP +10% SDH (3.91%)
3.570	564.29	544.84	80% SPP +20% SDH (3.34%)
2.110	633.89	620.79	SOR

جدول نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³ بـ (%):

العينة	الكتلة عند الغمر (g)	الكتلة بعد الغمر (g)	نسبة التغير في الكتلة
SPP (5.07%)	548.55	559.74	2.040
SDH	592.66	606.71	2.371
90% SPP +10% SDH (3.91%)	555.03	566.52	2.070
80% SPP +20% SDH (3.34%)	555.18	572.72	3.159
SOR	622.45	635.27	2.060

جدول نتائج تغير الكتلة (اكتساب الكتلة) لخرسانة الرمل حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³ بـ (%):

العينة	الكتلة عند الغمر (g)	الكتلة بعد الغمر (g)	نسبة التغير في الكتلة
SPP (5.07%)	565.16	576.58	2.021
SDH	595.98	609.69	2.300
90% SPP +10% SDH (3.91%)	566.01	577.56	2.041
80% SPP +20% SDH (3.34%)	570.07	587.46	3.051
SOR	624.21	636.76	2.011

نتائج تجربة امتصاص الماء المتعلقة بالوزن والزمن:

المقارنة بين العينات الشاهد والعينات المحفوظة في المحلول :

جدول نسبة امتصاص الماء لعينات الخرسانة المدروسة المحفوظة في الهواء (الشاهد) والعينات المحفوظة في المحلول :

العينة	الزمن بالدقائق	0	6	12	30	60	240	480	1440	2880	4320
الشاهد(350) + SPP (5.07%)	0	0.07	0.15	0.30	0.44	0.74	1.03	1.48	1.77	2.22	
في المحلول(350) + SPP (5.07%)	0	0.06	0.13	0.27	0.40	0.70	0.98	1.45	1.75	2.19	
الشاهد(400) + SPP (5.07%)	0	0.06	0.13	0.25	0.38	0.63	0.88	1.26	1.51	1.89	
في المحلول(400) + SPP (5.07%)	0	0.05	0.12	0.25	0.38	0.68	0.96	1.42	1.72	1.85	
الشاهد(450) + SPP (5.07%)	0	0.05	0.11	0.21	0.32	0.53	0.74	1.06	1.27	1.59	
في المحلول(450) + SPP (5.07%)	0	0.04	0.10	0.22	0.34	0.65	0.92	1.38	1.70	1.52	
الشاهد(350) + SDH	0	0.75	1.27	1.35	1.66	2.78	3.22	3.83	4.86	4.98	
في المحلول(350) + SDH	0	0.67	1.14	1.21	1.49	2.50	2.88	3.45	4.37	4.48	
الشاهد(400) + SDH	0	0.74	1.26	1.33	1.64	2.76	3.19	3.78	4.81	4.93	
في المحلول(400) + SDH	0	0.66	1.13	1.19	1.47	2.48	2.86	3.41	4.32	4.44	
الشاهد(450) + SDH	0	0.73	1.25	1.31	1.60	2.72	3.15	3.70	4.73	4.85	
في المحلول(450) + SDH	0	0.65	1.12	1.17	1.44	2.46	2.83	3.32	4.26	4.36	
الشاهد(350) + 90% SPP +10% SDH (3.91%)	0	0.15	0.27	0.41	0.58	0.96	1.27	1.73	2.11	2.52	
في المحلول(350) + 90% SP +10% SDH (3.91%)	0	0.13	0.23	0.37	0.49	0.85	1.14	1.53	1.92	2.31	
الشاهد(400) + 90% SPP +10% SDH (3.91%)	0	0.14	0.25	0.37	0.51	0.86	1.13	1.53	1.87	2.22	
في المحلول(400) + 90% SPP +10% SDH (3.91%)	0	0.12	0.22	0.33	0.45	0.77	0.99	1.40	1.69	1.98	
الشاهد(450) + 90% SPP +10% SDH (3.91%)	0	0.12	0.23	0.33	0.45	0.76	1.00	1.34	1.64	1.93	
في المحلول(450) + 90% SPP +10% SDH (3.91%)	0	0.10	0.20	0.29	0.39	0.67	0.89	1.20	1.48	1.75	
الشاهد(350) + 80% SPP +20% SDH (3.34%)	0	0.22	0.39	0.52	0.71	1.18	1.50	1.98	2.43	2.81	
في المحلول(350) + 80% SPP +20% SDH (3.34%)	0	0.19	0.35	0.47	0.64	1.06	1.35	1.78	2.18	2.54	

2.54	2.21	1.50	1.37	1.08	0.64	0.48	0.37	0.21	0	80% SPP +20% SDH (3.34%) +(400) الشاهد
2.28	1.98	1.62	1.23	0.96	0.57	0.42	0.33	0.18	0	80% SPP +20% SDH (3.34%) +(400) في المحلول

2.27	1.99	1.61	1.25	0.99	0.59	0.44	0.35	0.20	0	80% SPP +20% SDH (3.34%) +(450) الشاهد
2.04	1.79	1.44	1.12	0.85	0.53	0.39	0.31	0.17	0	80% SPP +20% SDH (3.34%) +(450) في المحلول

0.46	0.43	0.40	0.32	0.24	0.16	0.13	0.11	0.09	0	SOR +(350) الشاهد
0.41	0.38	0.36	0.29	0.21	0.14	0.12	0.09	0.07	0	في المحلول SOR +(350)

0.48	0.45	0.42	0.32	0.24	0.15	0.10	0.07	0.05	0	SOR +(400) الشاهد
0.42	0.40	0.37	0.28	0.21	0.13	0.08	0.06	0.04	0	في المحلول SOR +(400)

0.47	0.45	0.42	0.32	0.25	0.16	0.11	0.07	0.05	0	SOR +(450) الشاهد
0.42	0.40	0.37	0.29	0.22	0.14	0.09	0.06	0.04	0	في المحلول SOR +(450)

نتائج تجربة امتصاص الماء المتعلق بالزمن والمساحة:

المقارنة بين العينات الشاهد والعينات المحفوظة في المحلول :

جدول نتائج معامل إمتصاص الماء لجميع العينات الخرسانة المدروسة المحفوظة في الهواء (الشاهد) والعينات المحفوظة

في المحلول:

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجزر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
------	------	-----	------	---	---	------	------	------	---	-------------------------------------

0.93	0.91	1.07	1.30	1.31	1.58	1.48	1.17	0.82	0	الشاهد SPP (5.07%) +(350)
0.94	0.89	1.05	1.23	1.24	1.42	1.35	1.02	0.66	0	في المحلول SPP (5.07%) +(350)

0.81	0.80	0.94	1.14	1.15	1.38	1.30	1.02	0.72	0	الشاهد SPP (5.07%) +(400)
0.97	0.92	1.07	1.26	1.26	1.41	1.30	0.99	0.58	0	في المحلول SPP (5.07%) +(400)

0.70	0.68	0.81	0.98	0.99	1.18	1.11	0.88	0.62	0	الشاهد SPP (5.07%) +(450)
0.97	0.92	1.05	1.22	1.21	1.27	1.16	0.83	0.47	0	في المحلول SPP (5.07%) +(450)

2.29	2.73	3.04	4.43	5.42	6.48	7.42	11.03	9.10	0	الشاهد SDH +(350)
2.12	2.54	2.95	4.34	5.01	5.98	6.81	10.15	8.38	0	في المحلول SDH +(350)

2.28	2.72	3.03	4.42	5.41	6.44	7.34	11.00	9.04	0	الشاهد SDH +(400)
2.12	2.54	2.83	4.12	5.05	5.98	6.833	10.26	8.38	0	في المحلول SDH +(400)

2.26	2.70	2.99	4.40	5.37	6.32	7.30	10.99	9.02	0	الشاهد SDH +(450)
2.11	2.53	2.78	4.12	5.05	5.92	6.75	10.21	8.33	0	في المحلول SDH +(450)
1.06	1.09	1.27	1.61	1.73	2.07	2.07	2.16	1.66	0	الشاهد 90% SPP +10% SDH (3.91%) +(350)
1.04	1.06	1.20	1.54	1.63	1.88	2.000	1.96	1.56	0	المحلول 90% SPP +10% SDH (3.91%) +(350)

0.96	0.99	1.15	1.47	1.58	1.89	1.91	2.03	1.56	0	الشاهد 90% SPP +10% SDH (3.91%) +(400)
0.88	0.92	1.07	1.31	1.45	1.69	1.74	1.83	1.39	0	المحلول 90% SPP +10% SDH (3.91%) +(400)

0.85	0.89	1.02	1.32	1.43	1.70	1.73	1.88	1.46	0	الشاهد 90% SPP +10% SDH (3.91%) +(450)
0.79	0.83	0.95	1.22	1.29	1.51	1.58	1.72	1.21	0	المحلول 90% SPP +10% SDH (3.91%) +(450)

1.20	1.27	1.47	1.93	2.13	2.56	2.67	3.14	2.47	0	الشاهد 80% SPP +20% SDH (3.34%) +(350)
1.12	1.18	1.36	1.78	1.98	2.40	2.48	2.89	2.21	0	المحلول 80% SPP +20% SDH (3.34%) +(350)

1.11	1.18	1.36	1.79	2.00	2.39	2.50	3.01	2.38	0	الشاهد 80% SPP +20% SDH (3.34%) +(400)
1.07	1.24	1.31	1.73	1.90	2.28	2.35	2.92	2.15	0	المحلول 80% SPP +20% SDH (3.34%) +(400)

1.01	1.09	1.24	1.66	1.86	2.22	2.35	2.91	2.30	0	الشاهد 80% SPP +20% SDH (3.34%) +(450)
0.97	1.04	1.19	1.60	1.72	2.14	2.222	2.79	2.15	0	المحلول 80% SPP +20% SDH (3.34%) +(450)

0.22	0.26	0.34	0.46	0.50	0.66	0.73	1.02	1.19	0	الشاهد SOR +(350)
0.21	0.24	0.32	0.44	0.45	0.60	0.73	0.86	0.94	0	المحلول SOR +(350)

0.23	0.27	0.35	0.47	0.49	0.62	0.58	0.61	0.64	0	الشاهد SOR +(400)
0.21	0.25	0.33	0.43	0.45	0.56	0.49	0.58	0.54	0	المحلول SOR +(400)

0.23	0.27	0.36	0.46	0.52	0.64	0.62	0.63	0.66	0	الشاهد SOR +(450)
0.22	0.25	0.33	0.45	0.48	0.61	0.55	0.58	0.54	0	في المحلول SOR +(450)

المقاومة الميكانيكية:

مقاومة الانحناء:

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
3.77±0.21	3.56±0.25	3.41±0.24	3.22±0.36	2.20±0.79	SPP (5.07%)
3.36±0.44	3.23±0.61	3.08±0.34	3.02±0.60	2.40±0.78	SDH
3.61±0.22	3.46±0.54	3.31±0.26	3.20±0.36	2.55±0.68	90% SPP +10% SDH (3.91%)
3.50±0.45	3.35±0.54	3.21±0.31	3.10±0.28	2.45±0.63	80% SPP +20% SDH (3.34%)
5.22±0.30	5.06±0.27	4.90±0.35	4.75±0.32	3.35±0.36	SOR

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب نوع وتركيبه الرمل

للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
4.14±0.31	3.90±0.32	3.73±0.27	3.54±0.58	2.51±0.67	SPP (5.07%)
3.70±0.40	3.55±0.39	3.40±0.36	3.29±0.64	2.65±0.68	SDH
3.91±0.23	3.75±0.19	3.62±0.22	3.50±0.55	2.85±0.53	90% SPP +10% SDH (3.91%)
3.79±0.22	3.66±0.23	3.51±0.48	3.40±0.31	2.75±0.52	80% SPP +20% SDH (3.34%)
5.70±0.56	5.56±0.40	5.42±0.32	5.20±0.31	3.70±0.35	SOR

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب نوع وتركيبه الرمل

للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
4.23±0.21	4.16±0.37	4.07±0.20	3.86±0.29	2.82±0.53	SPP (5.07%)
4.01±0.56	3.86±0.43	3.72±0.26	3.63±0.37	2.90±0.39	SDH
4.19±0.32	4.1±0.42	3.94±0.40	3.85±0.27	3.10±0.29	90% SPP +10% SDH (3.91%)
4.11±0.34	4.01±0.27	3.85±0.31	3.75±0.27	3.01±0.30	80% SPP +20% SDH (3.34%)
6.10±0.38	5.96±0.40	5.80±0.26	5.62±0.41	3.95±0.37	SOR

مقاومة الضغط:

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب نوع وتركيبه وخصائص الرمل

للتركيز الاسمنتي 350 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
23.57±0.72	23.28±0.90	23.08±1.32	21.6±1.45	11.73±1.56	SPP (5.07%)
14.04±2.16	13.63±1.86	12.41±2.58	10.95±2.76	6.02±2.99	SDH
24.13±0.85	23.78±1.15	23.59±1.48	22.14±1.66	11.50±2.39	90% SPP +10% SDH (3.91%)
19.99±1.42	19.69±1.35	19.51±1.43	19.13±1.64	9.87±2.73	80% SPP +20% SDH (3.34%)
29.08±2.39	28.73±2.59	28.62±2.89	27.22±2.58	18.53±2.66	SOR

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب نوع وتركيبية الرمل

للتركيز الاسمنتي 400 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
35.15±2.97	34.81±2.84	34.32±2.93	32.92±3.27	17.01±2.85	SPP (5.07%)
15.11±2.74	14.67±2.64	14.42±2.51	12.77±2.75	7.75±2.03	SDH
35.49±2.78	35.01±2.69	34.44±3.02	33.04±3.13	15.12±1.89	90% SPP +10% SDH (3.91%)
26.33±1.23	26.01±1.07	25.82±1.37	24.31±1.45	14.65±2.21	80% SPP +20% SDH (3.34%)
32.80±2.78	32.57±3.08	31.80±2.82	31.03±2.81	21.23±2.39	SOR

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب نوع وتركيبية الرمل

للتركيز الاسمنتي 450 كغ/م³

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 60 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في يوم 7 (MPa)	العينة
39.94±1.64	39.87±1.95	39.74±1.80	39.70±1.84	21.26±1.49	SPP (5.07%)
16.22±2.21	16.05±2.09	15.80±2.35	14.29±2.46	9.30±2.48	SDH
39.98±1.64	39.91±1.74	39.86±2.08	39.83±2.03	19.44±1.51	90% SPP +10% SDH (3.91%)
29.97±2.35	29.62±1.08	29.44±1.38	27.91±1.51	16.91±2.19	80% SPP +20% SDH (3.34%)
36.06±1.87	35.84±2.21	35.64±2.15	34.15±2.79	23.48±2.31	SOR

الموقع الذي أخذ منه عينات رمل آبار البترول.



التجارب الفيزيائية للرمل



وثيقة طلب مساعدة



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي



Faculté de Technologie

كلية التكنولوجيا

الى السيد : مدير مركز البحث
والتنمية / سوناطراك (CRD)
بومرداس

الموضوع : طلب مساعدة

تحية طيبة وبعد
في إطار التعاون العلمي بين الجامعات والمؤسسات الوطنية، يشرفنا أن نلتبس منكم
مساعدة طالب الدكتوراه:
الاسم واللقب : سالمى جعفر
سنة : ثانية دكتوراه - شعبة : الهندسة المدنية - تخصص : مواد في الهندسة المدنية -
الموسم الجامعي : 2023/2022.
بغنوان " دراسة ديمومة خرسانة رمل الآبار البترولية "
وذلك باجراء بعض التجارب المخبرية المتمثلة في : التحاليل والكشف عن المعادن
الثقيلة (Métaux lourds) لعينات من الرمل، وذلك من اجل إنجاز وإتمام أطروحته.
تحت إشراف الأستاذ: محمد ماني / جامعة الوادي

تقبلوا منا فائق التقدير والاحترام


الوادي في : 2023/07/16
عميد كلية التكنولوجيا



مراحل التقطير (حساب نسبة الزيت) لرمل آبار البترول.






وثيقة متعلقة بتحليل نسبة الزيت في عينة رمل آبار البترول.



AVA Algérie
Drilling Fluids & Services
A Newpark Company

Bureau d'Alger
14, rue A. Les Cèdres
Hydra-Alger ALGERIE
Tel : +213 (0) 21 90 31 88
Fax : +213 (0) 21 90 81 28
E-mail : ava@algeria@newpark.com

Silège social
Zone Industrielle N°3 B.P. 581
Hassi Messaoud ALGERIE
Tel : +213 (0) 29 73 27 17 (L-G)
Fax : +213 (0) 29 73 15 51
E-mail : ava@algeria@newpark.com






TP-130
DER-03
08/08/2023

API DISTILLATION SAMPLE TEST


	Dryer Solids Measurement					
		1st @ 100% SDH	2nd @ 90% SDH + 10% SP	3rd @ 80% SDH + 20% SP	4th @ 70% SDH + 30% SP	5th @ 60% SDH + 40% SP
Retort Weight (Empty) 50ml (g)	A	267,00	265,16	266,45	266,32	266,17
Retort Weight + Sample (g)	B	346,82	329,56	334,40	333,66	336,45
Retort Weight + Dried Cuttings (g)	E	342,05	323,97	330,55	330,30	333,76
Gradient Cylinder Weight (Empty) (g)	C	65,03	58,18	58,18	58,17	58,16
Gradient Cylinder Weight + Condensate (g)	D	72,08	63,70	63,25	62,54	61,43
Volume of Water (cc)	V	3,00	3,00	2,80	2,50	2,00
Mass of Condensate (g)		7,05	5,52	5,07	4,37	3,27
Mass of Oil (g)		4,05	2,52	2,27	1,87	1,27
Mass of Wet Cuttings Sample (g)	MW	79,82	64,40	67,95	67,34	70,28
Mass of Dry Cuttings (g)	MD	75,05	58,81	64,10	63,98	67,59
% Oil On Cuttings/Dry weight (%)	%BF	5,40	4,28	3,54	2,92	1,88
% Oil On Cuttings/wet weight (%)		5,07	3,91	3,34	2,78	1,81
Accuracy Test		1,03	1,00	1,02	1,01	1,01

SH/ Supervisor :

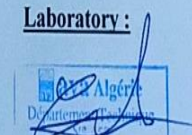


Tecnicier Forage
Djelloul GUERFI

Rig : TP#130 :



Laboratory :



وثيقة متعلقة بتحليل كيميائي لعينة رمل آبار البترول.

National Drilling Company – Laboratory Unit

Technical Laboratory Report

Analysis of Oil Residue in Petroleum Well Sand

1. Sample Information:

- Sample type: Sand containing traces of drilling oil
- Sampling method: Manual – provided by the requesting party

2. Laboratory Test Results:

<u>Property</u>	<u>Measured Value</u>	<u>Unit</u>	<u>Test Method</u>
Apparent oil type	Diesel OBM (light diesel oil)	-	FTIR + GC-MS analysis
Dynamic viscosity @40°C	1.8	cP	ASTM D445
Kinematic viscosity @40°C	1.9	cSt	ASTM D445
Density @15°C	0.828	g/cm ³	ASTM D4052
Acid number	0.05	mg KOH/g	ASTM D664
Estimated pH	7.2	-	Aqueous extract
Solid impurity content	0.12	%	Fine filtration + drying
Color and odor	Light brown – diesel-like odor -		Visual and olfactory exam

3. Technical Conclusion:

The test results indicate the presence of a light diesel oil (OBM) with **very low viscosity** and low density. The low acid number (0.05 mg KOH/g) and an almost neutral estimated pH (~7.2) indicate **chemical stability** and absence of active acidic compounds. The solid impurity content is very low (0.12%), with no significant metallic or organic contaminants detected.

Report Approval:

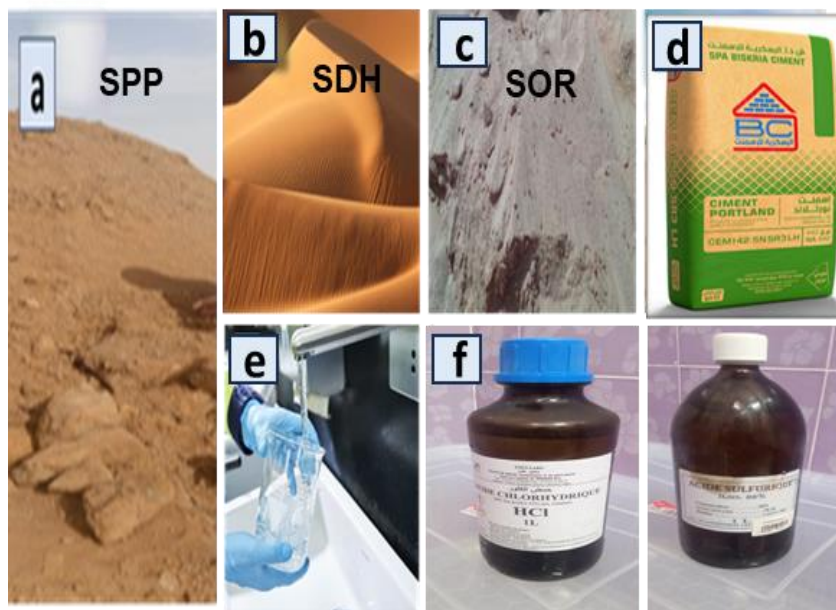
Stamp and Signature: ...



الأدوات المستعملة.



المواد المستعملة.



مختلف العينات.



معالجة العينات.



التجارب الفيزيائية والميكانيكية.



تجارب الديمومة.





SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5N SR3 LH RÉSISTANT AU SULFATE A FAIBLE CHALEUR D'HYDRATATION

Un ciment gris à haute résistance aux environnements agressifs et à faible chaleur d'hydratation (LH - Low Heat), pour tous vos travaux dans les milieux à haute teneur en sulfates. Il convient également aux travaux de bétonnage massif et continu par temps chaud qui nécessite un Ciment dégageant moins de Chaleur.

CEM I 42.5N SR3 LH :

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).



DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions demandant de hautes résistances aux environnements agressifs, pour travaux à la mer, il est utilisé tout au long de l'année, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes:

- ▶ Béton armé en milieux agressifs : eau de mer, eaux séléniteuses, pures ou industrielles.
- ▶ Ouvrage d'art massifs (ponts, barrages, murs de soutiennement...).
- ▶ Béton routier : béton extrudé pour glissières de sécurité, de cunettes.
- ▶ Béton pour les stations d'épuration.
- ▶ Béton pour les milieux salés.



APPLICATIONS RECOMMANDEES

- ▶ Stations et bassins d'épuration.
- ▶ Environnement marin.
- ▶ Ouvrages agricoles.
- ▶ Travaux de bétonnage massif des fondations.
- ▶ Travaux en Milieu à forte concentration des chlorures et les sulfures.



Produit conçu et fabriqué sous un Système de Management de la Qualité certifié ISO 9001 par AFAQ-AFNOR.



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	50k X1	X7	+ X5 + X4	+ 25 L

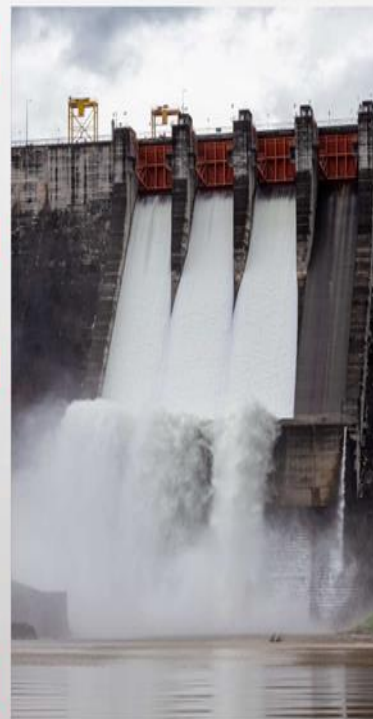
	Ciment	Sable Correcteur 0/1mm	Sable (sec) 0/4mm	Eau (litres)
Mortier de briquetage	50k X1	X6	+ X9	+ 35 L
Mortier de finitions	50k X1	X9	+ X6	+ 35 L

Remarque: un bidon =10 litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu	< 3
Teneur en sulfates (SO3)	2.2 – 2.6
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl-)	< 0.04
Résidu insoluble	≤ 0.75
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur
C3S	60
C3A	< 3
C4AF + 2 C3A	< 20
Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	26.5
Expansion à chaud (mm)	< 1
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	180
Fin de prise	320

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	18
28 jours (MPa)	54



CONSIGNES DE SÉCURITÉ

PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adaptés dans vos chantiers:



Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algérie

Tel: (+213) 0560 753 424
Fax: (+213) 033 62 73 92

www.biskriaciment-dz.com
contact@biskriaciment-dz.com



f in @ Biskria Ciment

01/2023