



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية العلوم التطبيقية

قسم الري والهندسة المدنية

أطروحة تخرج لنيل شهادة

دكتوراه علوم

فرع: الري والهندسة المدنية

تخصص: هندسة المواد

من إعداد: ماني محمد

تحت عنوان:

المساهمة في تحسين خصائص خرسانتة رمل الكتيان

بواسطة النصحيح الحبيبي والتعزيز بالألياف

أعضاء اللجنة:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر -أ-	ببة أحمد عبد الحفيظ
مشرفا ومقررا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	كريكر عبد الواحد
مناقشا	جامعة لغواط	أستاذ محاضر -أ-	بلعيدي اكرم صلاح الدين
مناقشا	جامعة لغواط	أستاذ محاضر -أ-	بن عابد بن شاعة
مدعو	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر -أ-	بالفراق علاوة

2019/2018

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين القائل في محكم التنزيل (وَإِذْ تَأَذَّنَ رَبُّكُمْ لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ) والصلاة والسلام على اشرف المرسلين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم. الذي علمنا انه (من لا يشكر الناس لا يشكر الله).

الشكر لله الذي وفقني لإتمام هذا العمل المتواضع .

ثم الشكر إلى كل من رافقني في مسيرتي العلمية إلى ان أنجزت هذا العمل وأخص بالذكر سماحة الأستاذ الدكتور عبد الواحد كريكور الذي رافقني في مسيرتي الجامعية إلى هذه الساعة فله مني جزيل الشكر والعرفان.

كما اتوجه بخالص الشكر إلى لجامعتي قاصدي مرياح بورقلة وجامعة الشهيد حم لخضر بالوادي خاصة قسمي الري والهندسة المدنية بهما.

والشكر موصول لكل من قدم لي يد المساعدة من قريب أو بعيد وأعانني على طلب العلم والمعارف.

ولا يسعني إلا ان اتقدم بالشكر و التقدير إلى لجنة المناقشة الذين بلا شك سوف تكون لملاحظاتهم وتصويباتهم الأثر الكبير على نوعية هذا البحث.

الاهداء

اهدي هذا العمل إلى الوالدين الكريمين وإلى الزوجة والأبناء والإخوة والأصدقاء .
إلى كل السالكين طريق العلم والمعرفة
الذين جعلوا الكتاب أنيس والقلم رفيق
إلى كل الكتّاب والباحثين والدارسين، الذين أناروا دروب الإنسانية بجهودهم العلمية .

المساهمة في تحسين خصائص خرسانة
رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي
والتعزيز بالألياف.

المخلص:

تعاني الكثير من مناطق الجنوب الجزائري من مشكل تكدس رمال الكثبان على المنشآت خاصة الطرق جراء ظاهرة زحف الرمال، مما سبب العديد من المشاكل على مختلف الأصعدة، بالإضافة إلى التكلفة الباهظة والمستمرة لإزالة هذه الأكوام من التراب على هذه المنشآت . إلى جانب هذا تعاني هذه المناطق وغيرها من القطر الجزائري مشكل ندرة الرمال الطبيعية الصالحة للبناء، لهذا ارتأينا استعمال رمال الكثبان كبديل ولو جزئيا في البناء للتقليل من هذه الظواهر والمشاكل المترتبة عليها .

وفي سياق هذه الفكرة، أنجزت العديد من الأعمال والأبحاث التي تؤكد في مجملها إمكانية استخدام رمل الكثبان كأحد المكونات في إنشاء الخرسانة لكن بشرط التصحيح الحبيبي وذلك بتعزيزه بالألياف المعدنية من أجل التقليل من ظاهرة الانكماش حتى يكون الرمل صالحا لصنع الخرسانة.

ويهدف هذا العمل إلى المساهمة في التصحيح الحبيبي لرمال الكثبان وتحسين بعض خصائص لخرسانة رمل الكثبان بتعزيزها بالألياف المعدنية.

فقد حصلنا على تحسن معتبر في مقاومة الضغط أما مقاومة الانحناء فقد فاقت نسبة التحسن النصف مقارنة بالخرسانة الشاهد وتحسنت حالة الانكماش عند إضافة الألياف، وقد لاحظنا أنه إذا اعتني بهذه الخرسانة عند صبها فإن لها ديمومة معتبرة.

الكلمات المفتاحية: رمل الكثبان، الألياف المعدنية، الديمومة، خرسانة، الإضافات، التثمين .

Abstract: A lot of areas of south Algeria suffer of problem of the accumulation of sand on constructions because of the phenomenon of sand encroachment ,which cause many problems, in addition to the expensive cost to remove this sand on these facilities. Besides the these areas and other regions in Algeria suffer of the problem of the scarcity of natural sand suitable for building, we decided to use this as an alternative to sand dunes and if partially in construction to reduce these phenomenon and problems arising from them.

In the context of this idea, many business and research which confirm its entirety the possibility of using sand dunes as one of the ingredients in the creation of concrete completed but only particleboard correction and it boosted his mineral fiber in order to reduce the phenomenon of deflation until the sand is valid for the manufacture of concrete.

This work aims to contribute to the correction of granular sand dunes and improve the rheological properties of concrete sand dunes by the promoting mineral fiber.

We have obtained a significant improvement in the pressure resistance, while the resistance to bending has exceeded half the improvement rate compared to the control concrete and improved shrinkage when adding fibers, and we have noticed that if taken care of this concrete when pouring, it has considerable durability.

Key words: sand dunes, mineral fiber, durability, concrete, additions, valuation

الفهـ رس

الفصل الأول: عموميات حول الألياف عموميات وخرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية
المطلب الأول: عموميات حول الألياف

1	1.I مدخل
1	2.I دور الألياف
1	3.I فعل الألياف في المركبات الإسمنتية
3	4.I الخصائص الفيزيائية للألياف
3	5.I الخصائص الميكانيكية للألياف
4	6.I اصناف الألياف المستعملة لتقوية مواد البناء
4	1.6.I الألياف الصناعية
7	2.6.I الألياف الزجاجية
8	3.6.I الألياف الطبيعية
10	4.6.I الألياف المعدنية
12	7.I ألياف أخرى

المطلب الثاني: عموميات حول خرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

13	1..2.I مدخل
13	2..2.I تاريخ خرسانة الرمل
15	3..2.I خرسانة الرمل في الجزائر
17	4..2.I تركيبية خرسانة الرمل
18	5..2.I مكونات خرسانة الرمل
18	1.5..2.I الإسمنت
18	2.5..2.I الركام
20	3.5..2.I الماء
21	4.5..2.I Les adjuvants: المحسنات
22	5.5..2.I Les ajouts المواد المضافة
22	6..2.I صياغة خرسانة الرمل
23	1.6..2.I مبدأ صياغة خرسانة الرمل
23	7..2.I الخرسانة المدعمة بالألياف
24	8..2.I مكونات وصياغة خرسانة الألياف المعدنية
24	1.8..2.I مكونات خرسانة الألياف المعدنية
25	2.8..2.I ميزات خرسانة الألياف المعدنية
25	3.8..2.I صياغة خرسانة الألياف المعدنية
26	4.8..2.I تأثيرات خواص الألياف على الخرسانة
30	9..2.I عملية وآلية تحطم خرسانة الألياف
30	1.9..2.I العملية الميكانيكية للألياف المعدنية داخل الخرسانة
30	2.9..2.I آلية تحطم خرسانة الألياف
31	10..2.I الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف المعدنية
31	1.10..2.I سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط
32	2.10..2.I مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط
33	3.10..2.I سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الشد
33	4.10..2.I سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الانحناء
36	11..2.I الانكماش والزحف

36	1.11..2.I الانكماش
40	2.11..2.I الزحف
41	12..2.I المقاومة ضد الحرائق

الفصل الثاني: ديمومة خرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

43	1 . II مدخل
43	2.II تعريف الديمومة
43	3.II تصلب الخرسانة - اماهة الإسمنت -
46	4.II تآكل الإسمنت المتصلب
46	1.4.II العناصر الكيميائية الضارة
47	2.4.II عمل العناصر الكيميائية الضارة
47	3.4.II آلية التفاعل بين العناصر الضارة والخرسانة
47	5.II تدهور الخرسانة
47	1.5.II - فعل ثاني أكسيد الكربون - الكربنة-
53	2.5.II فعل الكلوريدات
58	3.5.II فعل السيلفات " الكبريتات "
63	6.II انواع الترنجيت Ettringite
65	7.II أسباب تلف وتدهور الخرسانة عموماً
66	8.II مقاومة الخرسانة للتلف
67	9.II المسامية والنفذية والامتصاص
68	10.II تآكل الحديد
68	1.10.II تعريف تآكل الحديد أو الصدأ
68	3.10.II آلية التآكل الحديد
72	11.II تجارب وتقنيات الديمومة
73	12- II أنواع المياه في الواحات وظاهرة صعود المياه
73	13- II أنواع المياه الموجودة في الواحات
74	14- II تعريف ظاهرة صعود المياه
74	15- II التعريف بمشكل صعود المياه
74	16- II تاريخ مشكل صعود المياه
74	17- II مراحل مشكل صعود المياه
75	18- II أسباب مشكلة صعود المياه
76	19- II آثار مشكلة صعود المياه
76	19- II 1: أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الزراعي
77	19- II 2: أثر مشكلة صعود المياه على الجانب العمراني
79	19- II 3: أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي
80	19- II 4: الآثار على الجانب السياحي
80	20- II تحاليل المياه الصاعدة
83	21- II ملاحظة حول العناصر المكونة لطبقة المياه الصاعدة
83	22- II مواصفات ماء الحفظ
84	الخلاصة

الفصل الثالث: خصائص المواد المستعمل وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

86	1.III مدخل
----	------------

86	2.III خصائص المواد المستعملة
86	3.III الرمل
86	1.3.III رمل الكثبان
89	2.3.III الرمل الطبيعي
91	3.3.III طرق التعرف على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل
91	4.III الخصائص الكيميائية والفيزيائية لرمال المدروسة
91	1.4.III الخصائص الكيميائية
92	2.4.III الخصائص الفيزيائية
92	1.2.4.III الكتلة الحجمية
92	2.2.4.III معامل امتصاص الماء
93	3.2.4.III المكافئ الرملي
94	4.2.4.III التدرج الحبيبي
100	5.2.4.III معامل النعومة
102	5.III - المشاهدة الضوئية والإلكترونية والمعالجة بالأشعة
102	1.5.III - المشاهدة بالمجهر الضوئي وآلية RAMAN
107	2.5.III - تجربة الأشعة السينية (DRX)
108	3.5.III -مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB
112	6.III الإسمنت
112	1.6.III اسمنت من نوع CPJ CEM II / A 42.5
114	2.6.III اسمنت من نوع CEM I 42.5 (CRS)
115	7.III الماء
116	8.III الألياف
117	1.8.III الخصائص الميكانيكية للألياف المستعملة
117	9.III صياغة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف
117	1.9.III صياغة وتحضير الملاط النظامي:
118	2.9.III صياغة خرسانة الرمل العادية (الشاهد)
120	3.9.III تجربة التشغيلية
122	4.9.III تركيبة الخرسانة المدروسة
124	4.9.III تحضير وشكل العينة
125	5.9.III طرق التجارب على العينات
125	1.5.9.III تجربة التحطيم بالانحناء
126	2.5.9.III تجربة التحطيم بواسطة الضغط
127	3.5.9.III تجربة تجربة الانكماش
128	4.5.9.III تجربة امتصاص الماء(الخاصية الشعرية)
129	الخلاصة

الفصل الرابع: مختلف سلوك الخرسانة المدروسة

131	IV - 1 مدخل
131	IV - 2 طرق التجارب
131	IV - 3 نتائج مقاومة الانحناء
131	IV - 1.3 رمل منطقة ورقلة
131	IV - 1-3-1 تأثير تركيبة الرمل

132	2.1.3.IV تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل
135	2.3.IV رمل منطقة الوادي
135	1. 2.3.IV تأثير تركيبة الرمل
136	2.2.3.IV تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل
139	3-3 IV مناقشة نتائج مقاومة الانحناء خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية
141	IV - 4 نتائج تجربة الضغط
141	IV . 1.4 رمال منطقة ورقلة
141	IV - 1-4 1. تأثير تركيبة الرمل
142	IV . 2.1.4 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل
145	IV . 2 . 4 رمل منطقة الوادي
145	IV . 1.2.4 تأثير تركيبة الرمل
146	IV . 2.2.4 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل
149	IV - 5 مناقشة نتائج مقاومة الضغط خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية
152	IV نتائج الانكماش
152	IV -6-1 تأثير تركيبة الرمل
152	IV -6-2 تأثير الألياف
156	IV . 3. 6 مناقشة نتائج الانكماش خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية
160	IV 7. الديمومة
160	IV 1.7 وسط الحفظ
160	IV 2.7 آلية العمل المتبعة
161	IV . 8 التجارب الخاصة بديمومة الخرسانة
161	IV 1.8 التغيير في الكتلة الحجمية
161	IV 1.1.8 نتائج الكتلة الحجمية
166	IV 2.1.8 مناقشة نتائج التغيير في الكتلة
168	IV 2.8 طبيعة النواتج الملحية - الرواسب على العينات -
172	IV 3.8 تجربة امتصاص الماء (الخاصية الشعرية)
172	IV 1. 3.8 نتائج تجربة امتصاص الماء
179	IV 2. 3.8 مناقشة نتائج تجربة امتصاص الماء
182	IV 4.8 المقاومة الميكانيكية
182	IV 1.4.8 مقاومة الانحناء
184	IV 2.4.8 مقاومة الضغط
187	IV 3.4.8 مناقشة نتائج مقارنة مقاومة الانحناء والضغط لخرسانة الرمل المختلفة
189	IV 5.8 المشاهدات البصرية
189	IV 1 .5.8 مشاهدات ضوئية
190	IV 2 .5.8 مشاهدات الكترونية
194	IV 3 .5.8 استنتاجات من المشاهدات الإلكترونية
195	IV 6.8 الاختبار بالأشعة
196	الخلاصة

فهرس الأشكال

الفصل الأول

- 2 الشكل 1.I فعل الألياف في سد شقوق المركبات الإسمنتية
- 10 الشكل I. 2 أشكال ألياف الحديد
- 10 الشكل I. 3 يوضح المقاطع العرضية للألياف المعدنية
- 26 الشكل I. 4 منحني تحديد النسبة S/G المثلى
- 27 الشكل I. 5 منحني التشغيلية بدلالة نسبة الألياف الفولاذية
- 29 الشكل I. 6 منحني تأثير نسبة الحبيبات على التشغيلية
- 32 الشكل I. 7 سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط بدلالة الحجم ونوع الألياف
- 33 الشكل I. 8 كيفية تأثير تركيز الألياف على مقاومة الضغط
- 34 الشكل I. 9 منحني التشوه بدلالة الإجهاد للخرسانة لوحدها والخرسانة بمختلف أطوال الألياف
- 35 الشكل I. 10 كيفية تأثير تركيز الألياف على مقاومة الانحناء
- 37 الشكل I. 11 الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1%
- 37 الشكل I. 12 الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5%
- 38 الشكل I. 13 تأثير كمية الألياف على الانكماش
- 39 الشكل I. 14 العلاقة بين الانكماش وضياع وزن العينة
- 39 الشكل I. 15 العلاقة بين الانكماش كمية الألياف
- 40 الشكل I. 16 تأثير طبيعة الألياف على الانكماش
- 41 الشكل I. 17 مختلف تشوهات الضغط لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1%
- 41 الشكل I. 18 مختلف تشوهات الضغط لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5%

الفصل الثاني

- 48 شكل II. 1 التغيرات الحاصلة في كميات البورتلانديت وكربونات الكالسيوم أثناء التفاعل
- 49 الشكل II. 2 يوضح آلية كربنة الإسمنت البورتلاندي
- 49 الشكل II. 3 يوضح نموذج للخرسانة أثناء الكربنة
- 52 الشكل II. 4 تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت E/C على عمق طبقة الكربنة خلال الزمن
- 53 الشكل II. 5 يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت على عمق الكربنة بدلالة الزمن
- 55 الشكل II. 6 شكل التآكل بفعل لكلوريدات
- 56 الشكل II. 7 تآكل حديد التسليح في الخرسانة
- 62 الشكل II. 8 يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت ونسبة C3A فيه على نسبة تآكل الخرسانة.
- 63 الشكل II. 9 مقاومة الملاط بخبث الأفران لفعل الكلوريدات
- 65 الشكل II. 10 آلية التخریب الكيمياء في الخرسانة
- 68 الشكل II. 11 يوضح أشكال المسامية وأنواع النفاذية في الخرسانة
- 69 الشكل II. 12 يوضح آلية التآكل الحديد
- 70 الشكل II. 13 يوضح آلية التشقق في الخرسانة بفعل صدأ التسليح
- 72 الشكل II. 14 يوضح مختلف الطبقات المحيطة بالتسليح داخل الخرسانة المنهارة

الفصل الثالث

- 88 الشكل III. 1 أشكال تواجد رمال الكتبان في الطبيعة .
- 95 الشكل III. 2 منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأول 100% رمل الكتبان
- 96 الشكل III. 3 منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية 100% رمل الكتبان وادي سوف
- 96 الشكل III. 4 منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة: 100% رمل طبيعي حاسي بحبح

- الشكل III.5 5. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة: 100% رمل طبيعي وادي سوف عسيلة
- الشكل III.6 6. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة: 100% رمل طبيعي وادي الرتم
- الشكل III.7 7. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة السادسة: 100% رمل المحاجر
- الشكل III.8 8. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة السابعة: 50% رمل ورقلة +50% رمل طبيعي حاسي بحبح
- الشكل III.9 9. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثامنة: 40% رمل ورقلة +60% رمل طبيعي حاسي بحبح
- الشكل III.10 10. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة التاسعة: 40% رمل وادي سوف +60% رمل طبيعي عسيلة
- الشكل III.11 11. منحى تجربة التدرج الحبيبي للعينة العاشرة: 40% رمل وادي سوف +60% رمل واد الرتم
- الشكل III.12 12. منحى أشعة رامان لحبيبات رمل الكثبان البيضاء
- الشكل III.13 13. منحى أشعة رامان لحبيبات رمل واد الرتم
- الشكل III.14 14. منحى أشعة رامان لحبيبات رمل عسيلة
- الشكل III.15 15. منحى المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل الكثبان
- الشكل III.16 16. منحى المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل وادي الرتم
- الشكل III.17 17. تجربة التشغيلية
- الشكل III.18 18. يوضح آلية التحطيم بالانحناء
- الشكل III.19 19. يوضح آلية التحطيم بالضغط
- الشكل III.20 20. يوضح آلة الانكماش
- الشكل III.21 21. رسم تخطيطي يوضح تجربة امتصاص الماء بالخاصية الشعرية

الفصل الرابع

- الشكل IV.1 1. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل
- الشكل IV.2 2. منحى مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.3 3. منحى مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.4 4. منحى مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.5 5. منحى مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.6 6. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (SD 100%)
- الشكل IV.7 7. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل بالألياف للتركيبية (SAH 50%+SDO 50%)
- الشكل IV.8 8. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية SAH 60%+SDO 40%
- الشكل IV.9 9. منحى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل.
- الشكل IV.10 10. منحى نتائج تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .
- الشكل IV.11 11. منحى نتائج تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.
- الشكل IV.12 12. منحى تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .
- الشكل IV.13 13. منحى تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.
- الشكل IV.14 14. منحى تأثير تركيز ونوع الألياف على مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SDE 100%)
- الشكل IV.15 15. منحى نتائج تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SAR 60%+SDE 40%)
- الشكل IV.16 16. منحى تأثير تركيز ونوع الألياف على مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة SA 60%+SD 40%
- الشكل IV.17 17. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل
- الشكل IV.18 18. منحى مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.19 19. منحى مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.20 20. منحى مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.21 21. منحى مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل
- الشكل IV.22 22. منحى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (SDO 100%)

- الشكل 23.IV منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية %50SDO+50%SAH 145
- الشكل 24.IV منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (%40 SDO+60%SAH) 145
- الشكل 25.IV منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل 146
- الشكل 26.IV منحني مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 146
- الشكل 27.IV منحني مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 147
- الشكل 28.IV منحني مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 147
- الشكل 29.IV منحني مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 148
- الشكل 30.IV منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للتركيبية (100%SDE) 148
- الشكل 31.IV منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للتركيبية 40% SDE+60% SAR 149
- الشكل 32.IV منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للتركيبية 40%SDE+60%SAA 149
- الشكل 33.IV منحني نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 152
- الشكل 34.IV منحني نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 153
- الشكل 35.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 153
- الشكل 36.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 154
- الشكل 37.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 154
- الشكل 38.IV منحني نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية لمختلف تركيبية رمل الكثبان 155
- الشكل 39.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية %50SDO+50%SAH 155
- الشكل 40.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية %40SDO+60%SAH 156
- الشكل 41.IV بنية خرسانة بالرمل محتوي على حصي 157
- الشكل 42.IV منحني نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 100%SD 162
- الشكل 43.IV منحني نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينة (40%SDE+60% SAR) 162
- الشكل 44.IV منحني نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينة 40%SDE+60%SAA 163
- الشكل 45.IV منحني نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل المختلفة 163
- الشكل 46.IV نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 100%SD بعد 180 يوم 164
- الشكل 47.IV نسبة تغير الكتلة لعينات خرسانة الرمل للعينات 100%SD بعد 180 يوم 164
- الشكل 48.IV نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60% SAR بعد 180 يوم 165
- الشكل 49.IV نسبة تغير الكتلة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60% SAR بعد 180 يوم 165
- الشكل 50.IV نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60% SAA بعد 180 يوم 166
- الشكل 51.IV نسبة تغير الكتلة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60% SAA بعد 180 يوم 166
- الشكل 52.IV منحني المعالجة بأشعة X للرواسب على العينات 100%SDE 169
- الشكل 53.IV منحني المعالجة بأشعة X للرواسب على العينات 40%SDE+60% SAR 169
- الشكل 54.IV منحني المعالجة بأشعة X للرواسب على العينات 40%SDE+60% SAA 170
- الشكل 55.IV منحني يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن 172
- الشكل 56.IV منحني يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في المحلول بدلالة الزمن 173
- الشكل 57.IV منحني تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان وواد الرتم المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن 173
- الشكل 58.IV منحني تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان وواد الرتم المحفوظة في المحلول بدلالة الزمن 174
- الشكل 59.IV منحني تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان ورمل عسيلة المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن 174
- الشكل 60.IV منحني تغيرات نسبة الامتصاص في عينات خرسانة رمل الكثبان ورمل عسيلة المحفوظة في المحلول بدلالة الزمن 175

- الشكل IV. 61. منحني نسبة امتصاص الماء لعينات الخرسانة المدروسة الشاهد المحفوظة في الهواء والعينات المحفوظة في المحلول 175
- الشكل IV. 62. منحني تغيرات نسبة الامتصاص حسب المساحة في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن 176
- الشكل IV. 63. منحني نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في المحلول 176
- الشكل IV. 64. منحني تغيرات نسبة امتصاص الماء حسب المساحة لعينات خرسانة رمل واد الرتم المحفوظة في الهواء 177
- الشكل IV. 65. منحني نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل واد الرتم المحفوظة في المحلول 177
- الشكل IV. 66. منحني تغيرات نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل عسيلة المحفوظة في الهواء 178
- الشكل IV. 67. منحني نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل عسيلة المحفوظة في المحلول 178
- الشكل IV. 68. منحني نسبة الامتصاص لعينات الخرسانة المدروسة الشاهد المحفوظة في الهواء والعينات المحفوظة في المحلول 179
- الشكل IV. 69. منحني نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل الغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل 182
- الشكل IV. 70. مقارنة نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل الكثبان المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد 182
- شكل IV. 71. مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات SAR 40%+SDE 60% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد 183
- الشكل IV. 72. مقارنة مقاومة الانحناء للعينات SAA 60%+SDE 40% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد 183
- الشكل IV. 73. منحني نتائج مقاومة الانحناء لكافة خرسانات الرمل المدروسة المغمورة داخل المحلول 184
- الشكل IV. 74. منحني نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل الغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل 185
- الشكل IV. 75. مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات SDE 100% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد 185
- الشكل IV. 76. مقارنة مقاومة الضغط للعينات SAR 60%+SDE 40% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد 186
- الشكل IV. 77. مقارنة مقاومة الضغط للعينات SAA 60%+SDE 40% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد 186
- الشكل IV. 78. منحني يوضح نتائج مقاومة الضغط لكافة خرسانات الرمل المدروسة 187
- الشكل IV. 79. منحني يوضح تأثير أشعة X على عينات خرسانة رمل الكثبان SDE 100% 195
- الشكل IV. 80. منحني يوضح تأثير أشعة X على عينات خرسانة الرمل SAR 60%+SDE 40% 195
- الشكل IV. 81. منحني يوضح تأثير أشعة X على عينات خرسانة الرمل SAR 60%+SDE 40% 196

فهرس الجداول

الفصل الأول

- جدول I.1. معاملات نحافة بعض أنواع الألياف 3
- جدول I.2. الخصائص الميكانيكية لألياف الأميونت 5
- جدول I.3. الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية 5
- جدول I.4. الخصائص الميكانيكية لألياف البوليمار 6
- جدول I.5. خصائص بعض الألياف الصناعية 7
- جدول I.6. الخصائص الميكانيكية لألياف الزجاجية 8
- جدول I.7. الخصائص الفيزيائية لألياف النباتية الأكثر شيوع 9
- جدول I.8. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لبعض لألياف النباتية الأخرى 9
- جدول I.9. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Bekaert 11
- جدول I.10. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Novatex 12
- جدول I.11. الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Ruban en fonte 12
- الجدول I. 12. نتائج تجربة التدرج الحبيبي لبعض المناطق 19
- الجدول I. 13. نتائج معامل النعومة لبعض المناطق 19
- الجدول I. 14. نتائج تجربة الكتلة الحجمية ومعامل الامتصاص لبعض المناطق 20
- الجدول I. 15. مكونات بعض خرسانة الألياف المعدنية 24
- الجدول I. 16. مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط 32

الفصل الثاني

- 44 الجدول 1.II المركبات الرئيسية للاسمنت البورتلاندي
44 الجدول 2.II المركبات الكيميائية للاسمنت البورتلاندي
81 الجدول II. 3 تحاليل المياه الصاعدة
83 الجدول 4.II المواصفات اللازمة للماء المخصص لحفظ الخرسانة بعد صبها
83 جدول II. 5 خصائص الماء الطبيعي وتعريف درجة بعض العناصر الخطورة
84 جدول II. 6 خصائص التربة وتحديد درجة الخطورة
84 جدول II. 7 أنواع الإسمنت المستعمل حسب خطورة التربة والماء

الفصل الثالث

- 91 الجدول 1.III يبين النسب المئوية للمكونات الكيميائية في كل الرمال.
92 الجدول 2.III يبين النسب المئوية لبعض العناصر الكيميائية في كل الرمال.
93 الجدول 3.III الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة للرمل الطبيعي ورمل الكثبان
93 الجدول 4.III النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء A_b
94 الجدول 5.III النسب المئوية للمكافئ الرملي ES
101 الجدول 16.III معيار النعومة لكل عينة
113 الجدول 17.III التحليل الكيميائي للاسمنت CPJ CEM II / A 42.5 عين التوتة
114 الجدول 18.III الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لإسمنت للاسمنت CPJ CEM II / A 42.5 عين التوتة
115 الجدول 19.III الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لاسمنت (CRS) CEM I 42.5 مصنع عين التوتة
115 الجدول 20.III الخصائص الكيميائية لاسمنت (CRS) CEM I 42.5 مصنع عين التوتة
116 الجدول 21.III التركيبية الكيميائية للماء المستعمل
117 الجدول 22.III الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف المعدنية المستعملة
118 الجدول 23.III رموز مختلف التركيبية الخرسانية المدروسة
121 الجدول 24.III صنف الخرسانة بدلالة التشغيلية
121 الجدول 25.III نتائج تجربة التشغيلية
122 الجدول 26.III تركيبة خرسانة الرمل الشاهد
122 الجدول 27.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الأول SDO 100%
123 الجدول 28.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثانية SDE 100%
123 الجدول 29.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثالثة SAH 50% SDO+50%
123 الجدول 30.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الرابعة SAH 40%SDO+60%
123 الجدول 31.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الخامسة SAR 40%SDE+60%
124 الجدول 32.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة السادسة SAA 40%SDE+60%
124 الجدول III. 33 الكتلة الحجمية لخرسانة الألياف المنجزة ب (Kg/m³)

فهرس الصور

الفصل الأول

- 2 الصورة 1.I تأثير الألياف في مقاومة قوى القص وزيادة المتانة.
2 الصورة 2.I تأثير الألياف في مقاومة قوى القص وزيادة المتانة.

الفصل الثاني

- 64 الصورة II.1 تمثيل البنية الداخلية لمركبات الإسمنت
- 77 الصورة II.2 آثار ظاهرة صعود المياه على الجانب الزراعي
- 78 الصورة II.3 توضح بعض مظاهر صعود المياه وتأثيرها على العمران
- 78 الصورة II.4 يوضح تدهور بعض المباني الحسبية نتيجة صعود المياه
- 79 الصورة II.5 يوضح بعض أثر صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي

الفصل الثالث

- 87 الصورة III.1 موقع العروق والواح الجرائية .
- 90 الصورة III.2 منطقة مجرى واد الرتم
- 104 الصورة III.3 مشاهدات حبيبات رمل الكثبان بالمجهر الضوئي
- 104 الصورة III.4 مشاهدات حبيبات رمل واد الرتم بالمجهر الضوئي
- 104 الصورة III.5 مشاهدات حبيبات رمل عسيلة بالمجهر الضوئي
- 109 الصورة III.6 - مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكثبان منطقة قمار - الوادي -
- 110 الصورة III.7 - مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكثبان منطقة واد الرتم
- 111 الصورة III.8 - مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكثبان منطقة عسيلة
- 117 الصورة III.9 شكل الألياف المعدنية المستعملة في الدراسة

الفصل الرابع

- 173 الصور IV.1 لمشاهدات الماسح الإلكتروني MEB للعينات 100%SDE
- 174 الصور IV.2 لمشاهدات الماسح الإلكتروني MEB للعينات 40%SDE+60% SAR
- 174 الصور IV.3 لمشاهدات الماسح الإلكتروني MEB للعينات 40%SDE+60% SAA
- 192 الصورة IV.4 العينات الشاهد التي لم تحفظ في الوسط العدواني
- 192 الصورة IV.5 العينات التي حفظت في الوسط العدواني
- 193 الصورة IV.6 جوانب من العينات التي حفظت في الوسط العدواني
- 194 الصورة IV.7 توضح صور الماسح الإلكتروني MEB بالنسبة للعينات خرسانة رمل الكثبان 100%SDE
- 195 شكل IV.8 يوضح صور الماسح الإلكتروني MEB بالنسبة للعينات خرسانة خرسانة 40%SDE+SAR60%
- 196 شكل IV.9 يوضح صور الماسح الإلكتروني MEB بالنسبة للعينات خرسانة 40%SDE+SAA60%

المقدمة العامة

المقدمة العامة

إن أهمية اللبناء والمباني للإنسان لا تقل أهمية عن الماء والغذاء لذا كان لزاما عليه أن يطور تلك المواد التي يحتاجها لهذا التشييد ومن المواد التي اتسع انتشارها منذ عهد كمادة للبناء نجد الخرسانة التي تعتبر خليطا مركبا من نسب مدروسة من ركام وماء و رابط يربط حبيبات هذا الركام بعضها ببعض .

يحتل الركام حوالي الثلثين من جسم هذه الخرسانة فهو مكون أساسي لها، والركام يتكون عموما من حصى ورمل، إذا الحاجة لهذين المادتين هي الحاجة إلى البناء وحيث أن هذه المواد غير متجددة في الطبيعة وأن جلبها من مواطنها يسبب مشاكل عديدة فإن جل العالم يعاني من مشكل قلة و جلب هاتين المادتين .

إن القواعد العالمية للبناء اليوم تشترط شروطا جد مهمة على نوعيات الرمال المستعملة كركام للخرسانة، وأغلب هذه الشروط لا تتوفر إلا في رمال الوديان ورمال شواطئ البحار وهي في تناقص مستمر من جهة وتسبب مشاكل بيئية من جهة أخرى.

وأمام هذا المشكل وهذه الندرة بالغة الأهمية في هذه المادة، فإن بعض الأماكن من العالم وخاصة الصحراء والواحات الجزائرية تعاني من مشكل ندرة مواد الركام التي يتطلب أحيانا جلبها ونقلها من أماكن بعيدة، وبالمقابل فإن هذه المناطق تتميز بوفرة كثبان الرمال التي تسبب مشاكل بيئية عديدة منها زحف الرمال وتغطية الطرقات ودفن المناطق المزروعة. هناك عدة أبحاث تمت على المستوى الوطني والعالمي تدرس استعمال هذه الرمال في الخرسانة التي اصطلح عليها بخرسانة الرمل وقد ميزت الخرسانة التي استعمل فيها رمل الكثبان بهذا الاسم "خرسانة رمل الكثبان"، إلا أن هذه الرمال تعاني من مشكل النعومة . والسؤال الذي يطرح نفسه هو ما مدى إمكانية تشمين هذه المادة واستعمالها في البناء وما هي العوامل التي تمكننا من إيجاد حلول لهذا المشكل الذي يعاني منه رمل الكثبان في الواحات الجزائرية.

وعليه في هذا البحث حاولنا المشاركة في الإجابة عن السؤال السابق وذلك باستغلال رمال الكثبان في إنشاء خرسانة الرمل وإضافة رمال الواد كمحسن لهذه المادة من جهة .
ومن جهة قمنا بتعزيز هذه الخرسانة بالألياف المعدنية لتفادي هذا الضعف الملحوظ للمقاومة في الأجواء الحارة والجافة تحسبا لظهور مشاكل التشقق والانكماش وقمنا بمحاولة الكشف عن مدى جدواها وديمومتها من خلال عدة دلائل وتجارب تكشف عن ذلك.

لأنه حسب عدة أبحاث سابقة منها مذكرتنا في الماجستير تبين أن الخرسانة العادية ضعيفة المقاومة في الأجواء الحارة والجافة كما هو الحال في مناطق الواحات من وطننا الجزائر.

وقد قسّمنا عملنا هذا إلى ستة فصول تطرقنا في الفصل الأول إلى عموميات حول مختلف الألياف المستعملة في تعزيز وتدعيم الخرسانة بصفة عامة وإلى الألياف المعدنية بصفة خاصة .

وفي الفصل الثاني تطرقنا إلى جمع المعلومات حول خرسانة الرمل قصد تحديد الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المادة والمواد المركبة لها وإلى معرفة بعض تركيبات هذه الخرسانة وخرسانة الرمل المعززة بالألياف. وأما الفصل الثالث فقد جمعنا فيه بعض المعلومات والدلائل حول ديمومة الخرسانة قصد التعرف على سلوك خرسانة رمل الكثبان المدروسة مع الوسط المحيط بها في الظروف البيئية والمناخية الحارة والجافة للوحدات الجزائرية. وقد تناولنا في الفصل الرابع أنواع المياه الموجودة في مناطق الواحات وما تعانيه هذه الأخيرة من ظواهر سلبية ناتجة عن هذه المياه وكيفية تأثيرها على البناء وديمومته. وبالنسبة للفصل الخامس فقد عالجت فيه خصائص المواد المستعملة في هذا البحث وصياغة خرسانة الرمل الشاهد وخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية. أما الفصل السادس فقد تناولنا فيه مختلف سلوك خرسانة الرمل الشاهد وخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية، من انحناء وشد ودراسة لظاهرة الانكماش . ومختلف التجارب الخاصة بديمومة خرسانة رمل الكثبان المعززة بالألياف المعدنية.

وفي الأخير نقدم خلاصة عامة على خصائص خرسانة رمل الكثبان ومدى جدوى إدخال رمال الواد والألياف المعدنية عليها في الظروف البيئية الموجودة في الواحات الجزائرية وذلك اعتمادا على ما تحصلنا عليه من نتائج.

**الفصل الأول: عموميات حول الألياف
وخرسانة الرمل وخرسانة الألياف
المعدنية**

الفصل الأول: عموميات حول الألياف وخرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

1.I المطلب الأول: عموميات حول الألياف

1.1.I مدخل:

يسمى المزيج المكون من الرمل والحصى (الركام) والماء والمادة الرابطة (الإسمنت) بالخرسانة، أما إذا أضفنا إليها كميات من الحديد من أجل الزيادة في تحملها لإجهادات الشد فتسمى خرسانة مسلحة، فالخرسانة لوحدها لا تستطيع تحمل هذا النوع من الإجهادات، وفي بعض الأحيان نضيف أليافا ذات طبيعة مختلفة فتسمى خرسانة الألياف، أو نصلح عليها بالخرسانة المعززة وهي اليوم الأكثر استعمالا في مجال البناء . [1]

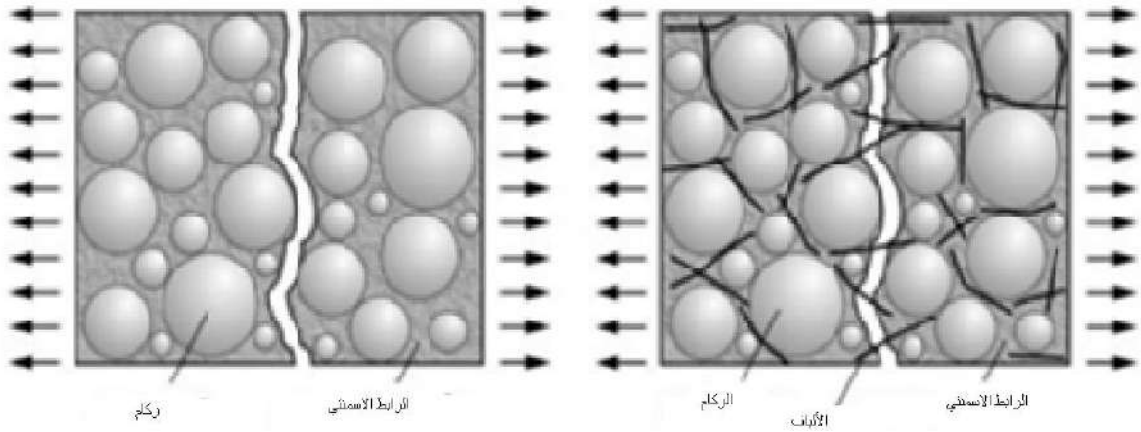
يتعلق أساسا استعمال الألياف داخل التركيبات الخرسانية (الخرسانة أو خرسانة الرمل أو الملاط) كعنصر مقوّ وفعال بمدى تأقلم الخصائص الفيزيائية والكميائية لهذه الألياف مع العناصر المكونة لتلك التركيبات المختلفة . وذلك دون تجاهل العامل الاقتصادي (الثمن)، الذي يلعب دورا هاما، خاصة في الحالات التي يكون فيها سعر الألياف المعدنية أكثر نسبيا من سعر حديد التسليح.

2.1.I دور الألياف:

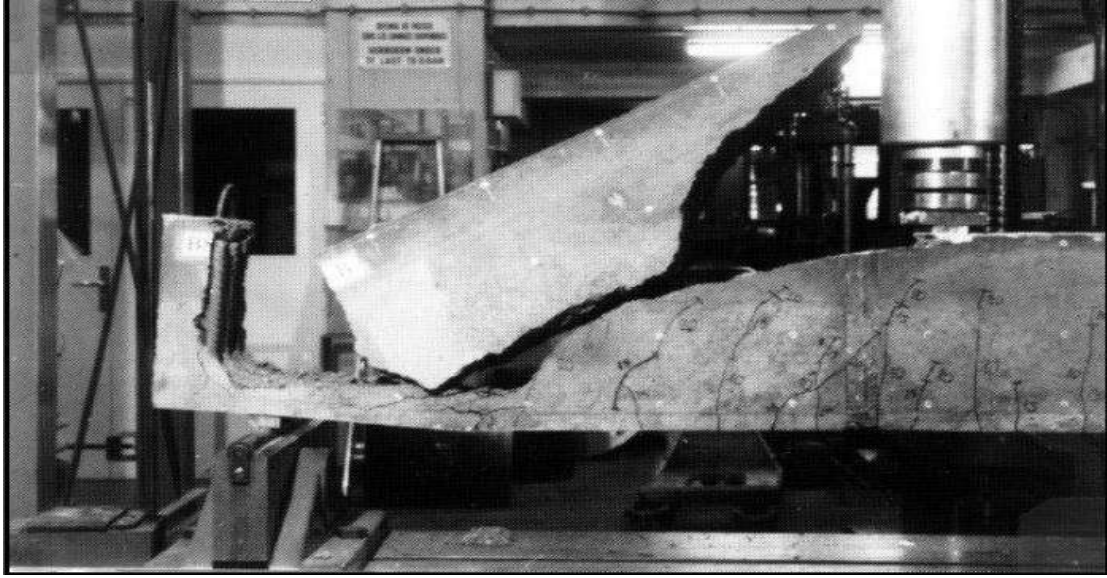
إن الهدف الأساسي من زيادة الألياف للخلطات الإسمنتية هو التقليل من الشقوق الناجمة عن القوى الداخلية أو الخارجية [2]، كما أن حديد التسليح يلعب دورا مماثلا حيث يمكن اعتباره أليافا معدنية طويلة. وللألياف القصيرة عموما سرعة الانتشار والخلط، ونشير إلى أنه إذا كان معامل ليونة هذه الأخيرة أكبر من معامل ليونة الخرسانة فإن هذه الأخيرة تتحمل جزءا من الحمولات وهذا مما يزيد من مقاومة الخرسانة للشد. وكلما زادت النسبة (الطول/القطر) كلما زادت مقاومة الخرسانة للانحناء وتجدر الإشارة إلى أن الزيادة التي تفوق 100 في النسبة المذكورة سابقا فإن ذلك يؤدي إلى ضعف الانتشار وبالتالي سوء التشغيلية [3]، كما أن للألياف دورا مهما في التقليل من الانكماش [4] ويزيد من نسبة مقاومتها للتواء إذ يمكن القول أن الألياف داخل الخرسانة تحسن من خصائصها الميكانيكية [5] .

3.1.I فعل الألياف في المركبات الإسمنتية:

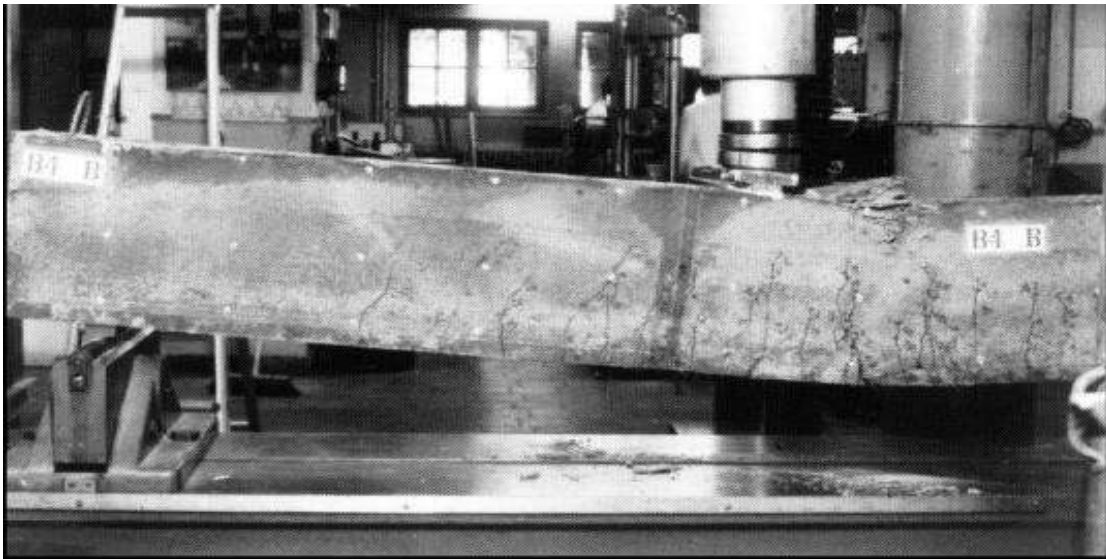
تنص مجمل الأبحاث على أن إدخال الألياف في الخلطات الإسمنتية ينتج عنه مجموعة من الأفعال أهمها: جبر ما تعانيه هذه الخلطات من تشققات نتيجة أنواع الانكماش المختلفة، أو نتيجة الإجهادات الخارجية، كما أنها تحول دون تمدد واتساع هذه التشققات، حيث تتموضع على حافتيه فتقوم بدور الماسك، الذي لا يسمح بتلك الحركات التي من شأنها تشكيل هذه التشققات كما هو موضح في الشكل 1.I، كما أنها تقوم بالزيادة في متانة الأجسام الإسمنتية [6] التي تمتاز بالهشاشة، فهي تحولها من أجسام هشة ضعيفة المقاومة للإجهادات التي يترتب عليها التحطيم المفاجئ، إلى أجسام بإمكانها الزيادة في التحمل ثم إعطاء مجال أوسع قبل الكسر، كما هو موضح في الصورة I.2.



الشكل 1.I فعل الألياف في سد شقوق المركبات الإسمنية [7]



الصورة 1.I تأثير الألياف في مقاومة قوى القص وزيادة المتانة. [6]



الصورة 2.I تأثير الألياف في مقاومة قوى القص وزيادة المتانة. [6]

I. 4.1 الخصائص الفيزيائية للألياف:

I. 1.1.4 معامل النحافة: يعرف على أنه النسبة الهندسية لطول الليف على سمكه ونرمز له بـ (L/d) ، ونستطيع أن نقول أن مدى ترابط مكونات الخرسانة مع الألياف يتناسب مع هذا المعامل فكل ما زاد معامل النحافة زادت قدرة عمل الألياف [5].

وهذه معاملات نحافة بعض أنواع الألياف مبينة في الجدول:

جدول 1.I معاملات نحافة بعض أنواع الألياف [5]:

معامل النحافة	نوع الليف
100-50	ألياف صناعية
100-25	ألياف معدنية
1400-1200	ألياف غير متبلورة
1700-140	ألياف البولي بروبيلين
400-150	ألياف الكربون

I. 1.2.4 قيمة المقاومة المتبقية:

الألياف في الخرسانة توفر مقاومة أفضل نحو التشوهات الناتجة عن اللانحناء . حيث أنه عند ظهور أول التشققات فإن الألياف تقوم بدور الماسك لأطراف الخرسانة فلا تتركها تهوي أمام هذا الإجهاد ثم إن الألياف تقوم بحكم ترابطها مع مكونات الخرسانة بإعطاء جهد إضافي لهذه الأخيرة يسمى اصطلاحاً " قيمة المقاومة المتبقية" La valeur de résistance résiduelle [5].

I. 1.3.4 توزيع الجهدات الميكانيكية:

من أهم الفوائد الرئيسية لإضافة الألياف داخل الخرسانة هي توزيع الإجهادات الميكانيكية التي تتلقاها هذه الأخيرة من الداخل أو الخارج لكامل الجسم الخرساني . فالألياف لها خاصية امتصاص الطاقة المتمثلة في الإجهادات وإعادة توزيعها من جديد على كامل مركبات الهيكل الخرساني وهو ما يصطلح عليه " توزيع الإجهادات الميكانيكية " La distribution des contraintes mécaniques [5].

I. 5.1.1 الخصائص الميكانيكية للألياف:

تعتمد الخصائص الميكانيكية للألياف أساساً على إجهاد الشد ومعامل اللبونة والتشوه عند التمزق والديمومة .
إجهاد الشد: ونعني به قوة الشد العمودية على مقطع الليف .

معامل اللبونة: ونعني به ما مدى استطالة العنصر عند عملية الشد ونحصل عليه من تجربة الشد (تشوه - إجهاد) التشوه عند التمزق: ونعني به الاستطالة النهائية لليف بعد تطبيق قوة الشد النهائية عليه .

الديمومة: ونعني بها ما مدى مقاومة المادة في أوساط مختلفة وقد تكون عدوانية . [8]

إن اختلاف طبيعة وشكل الألياف، يجعل من خصائصها مختلفة الواحدة عن الأخرى. وحسب الأهداف المرجوة يمكننا التمييز بين الألياف التي تمتلك مقاومة عالية (الألياف الزجاجية، المعدنية، الكربونية...الخ) وهي في المجمل ألياف صناعية والألياف التي تمتلك مقاومة ضعيفة (الألياف النباتية، البروبيلية، الحيوانية). وهي في المجمل ألياف طبيعية .

I. 6.1 أصناف الألياف المستعملة لتقوية مواد البناء:

تصنف الألياف المستعملة لتقوية مواد البناء حسب مصدر المادة المكونة لها منها ما هو طبيعي ومنها ما هو صناعي، ومنهم من يصنفها حسب كميات طلبها وتواجدها في الأسواق [5] وهو في الحقيقة لم يخرج عن التصنيف الأول فيذكر أربعة أصناف وهي :

- 1- الألياف الصناعية
- 2- الألياف الزجاجية
- 3- الألياف الطبيعية
- 4- الألياف المعدنية

I. 6.1.1 الألياف الصناعية:

أكثر الألياف الصناعية مستمدة من البوليمرات العضوية الناتجة عن صناعة البتروكيماويات نذكر من بين الألياف الصناعية الأكثر استعمالا لتقوية مواد البناء والأشغال العمومية ما يلي: الألياف البروبيلية والأميونتية والكربونية.

أ- ألياف الأميونت:

تتكون ألياف الأميونت أساسا من سيليكات الهيدرات المغنيزية التي تنسجم تماما مع عجين الإسمنت، ولها مقاومة عالية للشد ومعامل مرونة مرتفع كما هو موضح في الجدول (2.I) . لذا فإن هذا النوع متواجد بكثرة في الأسواق. لا يستعمل هذا النوع من الألياف لتسليح الملاط أو الخرسانة لأنه صعب النشر والخلط وتحتاج لكميات كبيرة من الماء للخلط [9].

يستعمل هذا النوع من الألياف بكثرة في صناعة القوالب والأنابيب ومواد العزل الحراري والوقاية من النار وصفائح الأسقف وتكسية الجدران.

من جهة أخرى، فإن استعمال هذا النوع من الألياف لتقوية الإسمنت لم يعد يجد إقبالا كبيرا بل أنه صار محظورا من طرف العديد من الأنظمة المطبقة نظرا لتهديده لصحة الإنسان.

- الخصائص الميكانيكية لألياف الأميونت:

جدول 2.I الخصائص الميكانيكية لألياف الأميونت [10 و 11]:

أميونت	نوع الليف
0.002-0.0002	القطر (mm)
5	الطول (mm)
3-2.6	الكتلة الحجمية (g/cm ³)
300 - 100	مقاومة التحطم (MPa)
150-80	معامل الليونة E (GPa)

ب- الألياف الكربونية:

هناك العديد من أنواع الألياف الكربونية - حسب شروط الإنتاج - ولكننا سنذكر الثلاث أنواع الأكثر شيوعاً في الأسواق:

1- ألياف كربونية عالية المقاومة H.R.

2- ألياف ذات مقياس متوسط I.M

3- ألياف ذات مقياس عال H.M

تمتاز بمقاومتها الكبيرة للتآكل وكذلك مقاومة القلويات [8]، شديدة الهشاشة مما يجعل عملية خلطها مع الخرسانة سهلة كما نذكر أن الخرسانة المزودة بهذه الألياف لها ديمومة مهمة جداً مع مقاومة عالية لاجهادات الانحناء والقص وهي تحمي من العيوب التي تسببها الزلازل . [9 و 10 و 12 و 13] والجدول (3.I) يوضح بعض الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية .

- الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية:

جدول 3.I الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية [10،12]:

H.M.	H.R.	نوع الليف
8	8	القطر (mm)
1.81	1.75	الكتلة الحجمية (g/cm ³)
2800	5000-3000	مقاومة الشد (MPa)
220	400	معامل الليونة E (GPa)

ج- ألياف البوليمار:

في الأصل هي ألياف بلاستيكية وتنقسم إلى ثلاث عائلات أساسية:

- بوليأמיד 6.6 (PA6.6): ويمثل هذا الصنف أكثر أنواع البلاستيك وله مقاومة ضعيفة ضد الأحماض المعدنية [14].

- **كلوريد الفينيل (PVC):** وهو عبارة عن مادة ترموبلاستيكية، تنتج من بلمرة كلوريد الفينيل. ولهذا النوع من الألياف مقاومة عالية ضد الأحماض والقواعد [14].

- **بولي بروبيلين (PP):** وهو عبارة عن مادة ترموبلاستيكية مشكلة من سلسلة خطية مكونة من مكرر البروبيلين له أقطار صغيرة جدا [15]. ولهذا النوع من الألياف كذلك مقاومة عالية ضد الأحماض والقواعد كما يساعد الخرسانة على مقاومة أفعال الجليد وكذا مقاومة الخرسانة للاختراق من طرف المواد الكيميائية والمياه ومقاومة الصدمات ونظرا لدقة أقطاره فهو سهل الانتشار داخل الخرسانة مما يكسبها أسطحاً جيدة [12 و 14].

نذكر أن معامل اللبونة لهذه الأنواع من الألياف له نفس قيمة معامل اللبونة للخرسانة. كما أن التلاحم (Adhérence) بين هذه الألياف والخرسانة يعتبر ضعيفا نسبيا نظرا لحالة سطحها.

وعلى عكس من ذلك، نذكر أيضا أن لهذه الألياف (PVC،PP) مقاومة جيدة تجاه الأحماض والأملاح والقواعد الموجودة في الخرسانة.

ومن هذا، فلقد أجريت العديد من الدراسات الحديثة على خرسانة مقواة بهذا النوع من الألياف وبينت أن هذا الأخير له خصائص ميكانيكية مماثلة لخرسانة مقواة بالألياف الزجاجية [9 و 11]. والجدول (4.I) يوضح بعض الخصائص الميكانيكية لألياف البوليماز .

- الخصائص الميكانيكية لألياف البوليماز [10]:

جدول 4.I الخصائص الميكانيكية لألياف البوليماز [10]:

نوع بوليماز	معامل اللبونة { GPa} E	مقاومة الشدة { MPa}
PA6.6	3	90
PVC	2.5	50
PP	5	40

وقد لخص [16] خصائص بعض الألياف الصناعية في ما يلي:

- جدول 5.I خصائص بعض الألياف الصناعية [16]:

نوع الليف	القطر المكافئ	الكثافة النسبية	مقاومة الشد	معامل اليوتنة	نسبة استطالة الانتعاش	درجة حرارة الاشتعال	درجة حرارة التحلل	نسبة امتصاص الماء
Acrylique	5-17	1,16-1,18	200-1000	14000-19000	7,5-50	-	220-235	1,0-2,5
Aramide I	12	1,44	2900	62000	4,4	élevée	480	4,3
Aramide II (module élevé)	10	1,44	2340	120000	2,5	élevée	480	1,2
Carbone I	8	1,6-1,7	2480-3030	380000	0,5-0,7	élevée	400	nul
Carbone II	9	1,6-1,7	3445-4000	230000	1,0-1,5	élevée	400	nul
Carbone III	10-13	1,6-1,7	480-795	27000-35000	2,0-2,4	élevée	400	3-7
Carbone IV	9-18	1,8-2,15	1515-3100	150000-480000	0,5-1,1	élevée	500	nul
Nylon	23	1,14	1000	5200	20	-	200-220	2,8-5
Polyester	10-80	1,34-1,39	220-1100	17000	12-150	590	255	0,4
Polyéthylène	25-1000	0,92-0,96	80-600	5000	3-80	-	135	nul
Polypropylène	20-200	0,90-0,91	140-700	3400-4800	15	590	165	nul

Carbone I = à base de polyacrylonitrile, module élevé.

Carbone II = à base de polyacrylonitrile, résistance à la traction élevée.

Carbone III = basé sur un angle isotropique élevé, usage général.

Carbone IV = basé sur un angle mésophase à haute performance

I. 2.6.1.1 الألياف الزجاجية :

يصنع الزجاج من الكلس والسليس وعادة ما يتميز الزجاج بهشاشة عالية لا تمكن من استعماله في كل المجالات [17]، لذا صنعت الألياف الزجاجية المتواجدة في السوق على شكل ملفوف أو أسلاك مقصودة صغيرة قطرها لا يتجاوز عشرات من الميكرونات [18]، ولها مقاومة معتبرة للصدمات والحرائق لذا فهي تستعمل في تحسين خصائص الخرسانة العادية وكذلك الخرسانة عالية المقاومة . [9 و 12]

الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف الزجاجية تتراجع عبر الزمن وذلك بسبب فعل تآكل المواد القاعدية المكونة للاسمنت لاحتكاكها بالألياف الزجاجية التي تسبب تشققات.

من أجل هذا فالأبحاث الجديدة استطاعت استحداث نوع جديد من هذه الألياف (نوع S) ذات مقاومة لهذا النوع من التآكل. يوضح الجدول (6.I) بعض خصائص الألياف الزجاجية الأكثر استعمالاً:

- الخصائص الميكانيكية للألياف الزجاجية:

- جدول 6.I الخصائص الميكانيكية للألياف الزجاجية [10]:

S	R	E	نوع الليف
2.54	2.55	2.54	الكتلة الحجمية (g/cm^3)
4900	4400	3400	مقاومة الشد σ (MPa)
87	86	73	معامل الليونة E (GPa)

S: ألياف زجاجية مقاومة للقواعد ، R: ألياف زجاجية مقاومة للتآكل، E: ألياف زجاجية عادية

I. 6.1. 3 الألياف الطبيعية: في الغالب ما يكون مصدرها نباتيا

يستعمل هذا النوع من الألياف، مثله مثل باقي الأنواع السالفة الذكر، في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة حتى تزيد من مقاومتها للشد والتشوه، حيث يلعب هذا النوع من الألياف دور المدعم ضد خاصية الهشاشة التي تتميز بها الخرسانة.

ويعود استعمال الألياف النباتية في البناءات إلى الزمن الذي كانت تقوى فيه القوالب بالقصب.

ويذكر أن الجبس هو أول مادة بناء تم تقويتها باستعمال الألياف النباتية، وأنجزت العديد من المنشآت بالجبس المقوى بالألياف النباتية مثل ألياف النخيل والحلفاء كما هو موجود في القصور العتيقة .

وحاليا عرف عالمنا تطورا كبيرا في مجال تقوية الخرسانة بالألياف النباتية خاصة بعد اكتشاف خطر استعمال الألياف الأميونتية على صحة الإنسان حيث ظهرت دراسات مفادها تعويض هذه الأخيرة بالألياف النباتية.

- وقد لاحظ الباحث Cook من خلال البحث [19] أن الألياف النباتية تعطي نتائج ميكانيكية وفيزيائية حسنة على المدى القريب ومن أهم سلبيات هذا النوع من الألياف هو تأكلها في الأوساط الإسمنتية على المدى الطويل .

- وقد لاحظ خنفر [20] عندما قام بدراسة ديمومة الإسمنت المدعم بألياف السليلوز وبعد حفظها في أوساط مختلفة أن طاقة الانهيار تتناقص في بعض الأوساط كما أن معامل الليونة ومقاومة الانحناء تتناقص في أوساط أخرى .

أقسام الألياف النباتية:

وحسب مصدر الألياف النباتية نستطيع تقسيمها إلى أربعة أقسام (الألياف الورقية، الجذوع، الخشبية، والسطحية):

1- **الألياف الورقية:** ويتم الحصول عليها من أوراق الأشجار المتناثرة والنباتات مثل السيزال حيث يتم غسلها وتجفيفها، وأثبتت بعض الدراسات (Nilsson، Ayyar) مدى فعالية هذا الألياف [14].

2- **ألياف الجذوع:** ويتم الحصول عليها من جذوع النبات كمثال قصبات ديكوني ليدونس وتدعى بنبات الألياف حيث يوجد الليف تحت اللحاء مباشرة او القشرة الخارجية للقصبه وتتواجد على شكل حزم تعطي القوة والمتانة إلى القصبه، ولها دور كبير في زيادة صلابة الخرسانة. كما يتم تصنيعها على شكل حبال [14].

3- الألياف الخشبية: ويتم الحصول عليها من طحن الأشجار مثل الخيزران أو القصب. وعادة ما تكون هذه الألياف قصيرة. وأثبتت بعض الدراسات مدى فعالية هذه الألياف [14].

4- الألياف السطحية: وهي عبارة عن القشور التي تحيط بجذوع الأشجار خاصة الأشجار المثمرة أو أشجار الحبوب، حيث تعتبر هذه الأخيرة الأكثر أهمية في صناعة الألياف السطحية، ونذكر منها أشجار القطن وجوز الهند حيث أعطت هذه الأخيرة أحسن نتائج المقاومة ضد الانحناء [14].

ونذكر هنا أن الألياف التي يتم الحصول عليها من النخيل والتي تحيط بالجذع تدخل أيضا ضمن هذا النوع من الألياف والجدول (7.I) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية للألياف النباتية الأكثر شيوعا.

الخصائص الفيزيائية للألياف النباتية الأكثر شيوعا:

جدول 7.I الخصائص الفيزيائية للألياف النباتية الأكثر شيوعا [10 و 21]:

الليف	القطر (mm)	الكثافة (g/cm ³)	نسبة الماء في الحالة الطبيعية (%)	امتصاص الماء بعد 5 دقائق (%)	امتصاص الماء حتى التشبع (%)
-	-	1.5	-	-	-
سيزال	-	1.37	-	89.3	92
-	0.3-0.08	1.07-0.75	14.44-10.97	67.92	250-190
جوز الهند	-	1.2	-	-	-
-	-	1.17	-	43.2	80.40
-	0.53-0.11	1.00-0.67	15.85-11.44	28-22	135-85

الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لبعض الألياف النباتية الأخرى:










جدول 8.I الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لبعض الألياف النباتية الأخرى [10]:

الليف	الكثافة (g/cm ³)	مقدار التحطم (%)	مقاومة الشد (MPa)	معامل الليونة E (GPa)
القطن	1.6-1.5	8.0-7.0	597-587	12.6-5.5
الجوت	1.3	1.5-1.8	773-393	26.5
اللين	1.5	3.2-2.7	1035-345	27.6
القنب	-	1.6	690	-
الرامي	-	3.8-3.6	938-400	128-61.4
نخيل التمر	1.08-0.51	17.4 -7.5	290 -170	5.25 -2.1

I. 4.6.1 الألياف المعدنية:

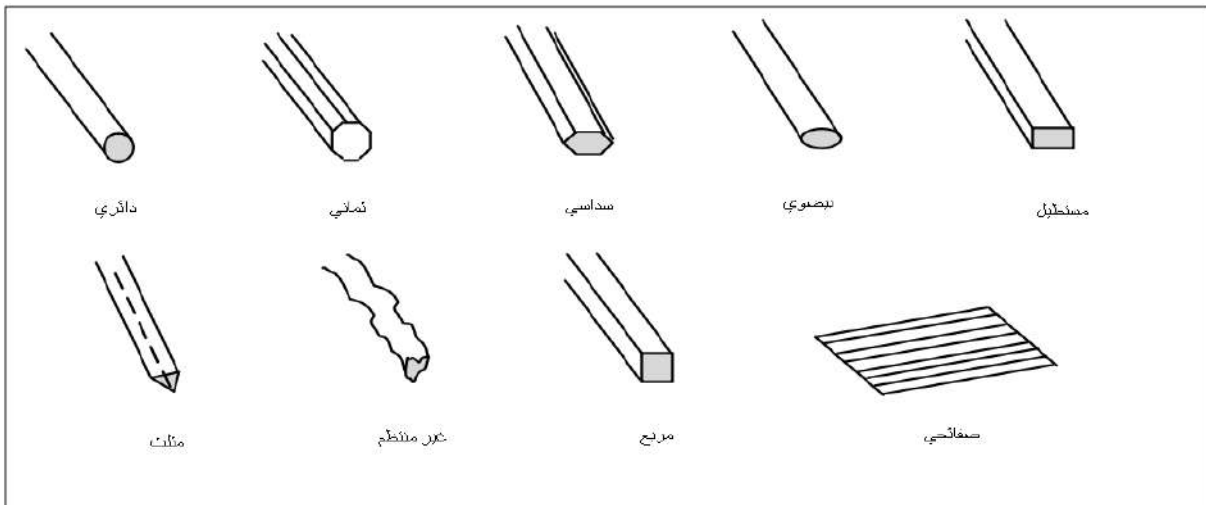
الألياف المعدنية هي الألياف الأكثر تداولاً وبيعاً في الأسواق نظراً لتواجدها في أشكال وأبعاد متعددة ومناسبة حسب الحاجة إليها هذه الألياف لها معامل مرونة مقدر بـ 210 GPa وكتلة حجمية مقدرة بـ 7.85 t/m^3 ومقاومة للشد تقدر من $1-2 \text{ GPa}$ وأطوال تمتد بين $6.4-76 \text{ mm}$ [12].
إن النسبة المئوية الحجمية للألياف المعدنية داخل الخرسانة يتراوح ما بين $0.3-3\%$. كما أن التغيير في النسبة المئوية الحجمية لهذه الألياف في الخرسانة والتغيير في طولها وشكلها أتاح المجال للعديد من الدراسات.

أشكال ألياف الحديد:

الألياف ذات نهايات متموجة	الألياف ذات نهايات مسطحة	الألياف ذات نهايات محكوفة
		
الألياف حلزونية	الألياف مكسفة	الألياف متموجة
		
الألياف محكوفة	الألياف غير منتظمة	الألياف ذات أشكال أخرى
		

الشكل (I. 2) أشكال ألياف الحديد [5]

- المقاطع العرضية للألياف المعدنية:



أحيانا تستدعي الحاجة لاستخدام ألياف غير قابلة للصدأ أو مقاومة للتآكل. إذ أن الهدف المرجو منها هو إضافة تحسينات على الخرسانة، كمقاومة الشد والانحناء، والزيادة من الليونة التي لها آثار إيجابية ضد الصدمات كما تستعمل ألياف الفولاذ في المناطق النشطة زلزاليا. وانطلاقا من هذه الإيجابيات أسس لإنجاز: السطوح والمنشآت المقولبة كالأوتاد وأرضيات المطارات وتغطية الأنفاق والجدران الساندة والخرسانة عالية المقاومة ومن أجل الوصول إلى تلاحم وتوافق جيد بين الألياف والخرسانة، ظهر لنا العديد من أنواع هذه الألياف المعدنية مختلفة الشكل والحالة السطحية.

وهنا نذكر أنواع الألياف المعدنية الأكثر استعمالا:

أ- الألياف Fibraflex (حديد غير متبلور):

ويأتي هذا النوع من الألياف على شكل صفائح معدنية ذات طول يتراوح بين 5 إلى 30 ملم، وعرض يتراوح بين 1 إلى 1.6 ملم وسمك مقدر ببضع ميكرونات. نذكر أن هذا النوع سهل الاندماج مع الخرسانة حيث يمكن بسهولة صبها أو رشها. ويضفي الكروم في سبائك هذه الألياف مقاومة عالية للتآكل، ومقاومة عالية للشد يمكن أن تصل إلى 1400 MPa [9 و 11].

ب- الألياف Harex:

صمم هذا النوع من الألياف خصيصا لاستعماله في تسليح طبقات حماية الأسقف (Chape) حيث يحسن من جودتها. ويحصل على هذا النوع من عملية الخراطة المعدنية. وللنوع الملفوف من هذه الألياف مقاومة عالية للشد تصل إلى 700 MPa [9 و 11].

ج - الألياف Dramix :

هذه الألياف المتشابكة فيما بينها تمت صنعها من طرف (Bekaert)، وتتواجد متلاصقة على شكل صفائح مما يجعلها سهلة الاندماج في الخرسانة نظرا لانحلال المادة اللاصقة في ماء الخلط وهي ذات عكفات في نهاياتها حيث يتطور عمل هذه العكفات تدريجيا ليصبح عبارة عن رابط يبذل طاقة بفعل احتكاكه مع مكونات الخرسانة. نذكر أن العناصر القصيرة من هذا النوع من الألياف يستعمل في خرسانة الرش [9 و 11]. والجدول (9.I) يوضح الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Bekaert

جدول 9.I الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Bekaert [9 و 11]:

الألياف	القطر (mm)	الطول (mm)	مقاومة الشد (MPa)
Bekaert de chez Dramix	0.8-0.4	60-25	1100

د- الألياف Euro -steel:

وهي عبارة عن ألياف معدنية متشابكة ذات مقاومة وصلابة عاليتين حيث أن نسبة الكربون فيها أقل من 0.15%. الحد الأعلى لإجهاد الشد لهذا النوع من الألياف يقارب 1400 MPa [9 و 11].

هـ - الألياف Novatex:

صمم هذا النوع من الألياف المعدنية لتقوية عناصر الخرسانة ثلاثية الأبعاد. ولهذا النوع أيضا انتشار جيد داخل التركيبة الخرسانية مما يجعلها سهلة التحضير والخلط.

تصنع هذه الألياف فقط من الحديد ذو المقاومة العالية [9 و 11]. وكما تتميز أشكالها بما يلي:

- سهولة الانتشار في تركيبة الخرسانة.

- تعطي تلاحما مميزا مع الخرسانة.

- لا تغير من الخصائص الانسيابية للخرسانة.

- تأخذ نفس اتجاه التلبس بحيث لا تظهر على السطح.

والجدول (10.I) يوضح الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Novatex .

الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Novatex.

جدول 10.I الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Novatex [9 و 11]:

الألياف	القطر (mm)	الطول (mm)	مقاومة الشد (MPa)
Novatex	0.7	30	1150

و- الألياف Pont-à-Mousson (غير متبلورة):

يتم الحصول على هذا النوع من الألياف المعدنية عن طريق التبريد المفاجئ، مما يعطيها تركيبة غير بلورية (زجاجية) تكون عاملا أساسيا في مقاومة التآكل.

إن تحضير هذا النوع من الألياف لا يسبب مشكلا بالنسبة للخرسانة إذا كان تركيزه أقل من 0.75 % . ويمكن أن تصل نسبة الألياف إلى 1 % في خرسانة الرمل [9 و 11] والجدول (11 .I) يوضح الخصائص الميكانيكية

والفيزيائية لألياف Ruban en fonte .

الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Ruban en fonte.

جدول 11.I الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لألياف Ruban en fonte [9 و 11]:

الألياف	الطول (mm)	مقاومة الشد (MPa)
Ruban en fonte	60-45-15-30	200

I. 5.6.1 ألياف أخرى:

إن الحاجة الدائمة لبلوغ الفعالية التقنية القصوى للخرسانة جعل من الأبحاث لا تتوقف من أجل إيجاد الشكل والطبيعة المثلى للألياف، ولهذا استعملت العديد من الألياف من أجل تقوية مواد البناء سواء كانت هذه الألياف ذات طبيعة نباتية أو معدنية.

نذكر من بين هذه الألياف، ألياف السيراميك التي عرفت نجاحا كبيرا خاصة في مجال صناعة الأفران

والتجهيزات الثانوية. [10]

المطلب الثاني : تركيبة خرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

1.2.I مدخل :

تعتبر كمية رمل الكثبان الكبيرة المتواجدة في وطننا مادة سهلة الحصول ولكن يبقى مجال استعمالها محدودا جدا، لذا فكر كثير من الباحثين في استغلال هذه المادة في البناء، حيث طوروا خرسانة الرمل التي تستعمل رمل الكثبان، وتعدى ذلك إلى استغلالها في مكونات مركبات مواد البناء إذ أجريت بعض التجارب على استعمال رمل الكثبان كمواد إضافية داخلية في تركيبة الإسمنت وقد تحصلوا على الكثير من النتائج المرضية. [22]

تتميز خرسانة الرمل عن الخرسانة العادية باحتوائها على نسبة رمل كبيرة مع غياب أو قلة نسبة الحصى (Gravillons). كما أن خرسانة الرمل تختلف كذلك عن الملاط بكونها تحتوي على نسبة تركيز أعلى للإسمنت علاوة على مجالات استعمالها.

إن استعمال خرسانة الرمل عوضا عن الخرسانة العادية قد يشكل أحيانا عاملا إيجابيا من الناحية الاقتصادية عندما تكون هناك سهولة للحصول على الرمل كونه أقل ثمنا من الحصى [23].

في حين أن استعمال خرسانة الرمل يمكن أن يسبب مشكل الانكماش والتشققات، من أجل هذا فإن خرسانة الرمل تعزز في أيامنا هذه بواسطة ألياف مختلفة أهمها : الألياف الزجاجية والمعدنية والكربونية.

تعتبر عملية مزج الألياف مع خرسانة الرمل أو الملاط إجراء حديثا باستثناء ألياف الأميونت التي يعود تاريخ استعمالها في الملاط إلى مطلع القرن العشرين. حيث تمت هذه التجربة من طرف HATSCHEK سنة 1901 تحت اسم (الأميونت الإسمنتي) وعرفت العديد من التطبيقات الميدانية.

تسمح الألياف الممزوجة بالخرسانة من الحد من التشققات. كما أن حديد التسليح يلعب دورا مماثلا لهذه الألياف، كونه عبارة عن ألياف طويلة.

إن الألياف بخصائصها الهندسية الخاصة (قصيرة، رقيقة، متقطعة) لها إيجابية سهولة الانتشار داخل الخرسانة أو الملاط بصفة منتظمة، وبذلك تخلق شبكة موحدة أكثر فعالية من التسليح العادي تجاه التشققات، مما يؤدي إلى الحصول على منشآت من الخرسانة أو الملاط أكثر ديمومة.

إن خرسانة الألياف فتحت منذ العديد من السنين مجال أبحاث جديده هدفها تعويض التسليح العادي للخرسانة بالألياف. لكن لم يتحقق هدف هذه الأبحاث لكون خرسانة الألياف بتركيز ضعيف أعطت نتائج مقاومة ميكانيكية ضعيفة، وأما إذا كانت بتركيز كبير من الألياف أثر ذلك على التكلفة [24].

2.2.I تاريخ خرسانة الرمل:

يعتبر الرومان أول من استعمل الخرسانة في التاريخ و ذلك منذ الفى عام تقريبا و قد استعملت في معظم مبانيهم لسهولة تشكيلها وإمكان تنفيذها [25].

في عام 1817 كان المهندس الشاب لويس فيكات يعمل على الخصائص الهيدروليكية (المائية) لخليط "الرماد البركاني الجيري"، وكان هو أول من استطاع تحديد نسب الحجر الجيري والسيليكيا المطلوبة للحصول على خليط معين يمكن بعد حرقه عند درجة حرارة معينة وسحقه إنتاج رابط هيدروليكي يصلح للتطبيقات الصناعية، ألا وهو

الإسمنت. وبالرغم من أن هذا الاكتشاف يعود إليه، إلا أنه لم يسجل براءة اختراع عند قيامه بنشر نتائج بحث، وفي عام 1824 تمكن جوزيف أسبين J. Aspdin الاسكتلندي من إدخال التحسينات على تركيبة الإسمنت التي طورها لويس فيكات، فحصل على براءة اختراع لنوع من الإسمنت بطيء التصلب، أطلق عليه اسم بورتلاند لما يحمله من تشابه مع أحد أنواع الصخور الموجودة في منطقة بورتلاند بجنوب إنجلترا [26 و 27]

بدأت تدخل الخرسانة في تشييد المنازل في الفترة الزمنية 1850-1880 م، حيث كان البيت الذي بناه البريطاني وليام وليكنسون عام 1854 م أول بيت مصنوع من الخرسانة المسلحة بالعالم ثم بني آخر في فرنسا سنة 1855. [27] وفي عام 1875 م بنى المهندس الميكانيكي وليام وارد أول منزل خرسانة مسلحة في أمريكا، ولجعله مقبولاً اجتماعياً شيده بحيث يكون مشابهاً للبناء الحجري.

وأقيم أول مصنع للإسمنت في فرنسا عام 1864 في بلغنيسرمير، وفي عام 1868 بدأت لافارچ في إنتاج الإسمنت في نيل بإقليم الأرديش ((أردشي)).

وفي سنة 1904 تم نشر 43 براءة اختراع في الخرسانة المسلحة من طرف الأكاديميات البريطانية، 15 منها فرنسية و 14 منها ألمانية والباقي من دول مختلفة من العالم [27].

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 والإسمنت. [28]

وفي 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 وجير 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) [28].

وفي نفس السياق أنجزت في مصر سنة 1869 منارة بور سعيد بخرسانة رمل البحر والجير بطول قدره 52 متر. وقد نقل POITEVIN تقنيته إلى الولايات المتحدة الأمريكية حيث أنجز بين سنتي 1871 و 1872 جسر بخرسانة الرمل ببروكلين. [28]

وخلال عشرية 1970 - 1980 قلصت السلطات العمومية الفرنسية من رخص استغلال مواقع استخراج الحصى في مجاري الأنهار وبسبب مشاكل بيئية عويصة ناتجة عن استخراج الحصى وكذلك 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، مما أدى إلى بروز مشروع سابلوكريت (Sablocrete) في بداية التسعينات [29].

وفي نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بدأ ظهور الخرسانة التي تستعمل الحصى ذا 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 قيد الاستخدام شاهدة على مدى صمود هذه الخرسانة.

3.2.I خرسانة الرمل في الجزائر :

أما في الجزائر قدر الطلب على الحصباء خاصة من قطاع الأشغال العمومية والبناء 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 وترميم 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 [29].

أمام هذه الوفرة في رمل المحاجر الذي سيصبح مسببا مشكلا بيئيا إن لم نجد طريقة علمية اقتصادي للتخلص منه، وكذلك تعاني الجزائر كغيرها من دول العالم العربي من مشكلة تكس وتتحرك رمال الكثبان (Sable de dune) الموجود في الصحراء ، والذي بدوره يشكل مشكلا بيئيا متمثل في التصحر وغير ذلك، وحيث أنه توجد ندرة في الحصى.

توجهت الأبحاث الأكاديمية إلى محاولة حل هذه المعادلات وذلك باستغلال هذه الرمال - رمال المحاجر والكثبان - في صناعة نوع من الخرسانة يقلل من استعمال الحصى من جهة ويستهلك قدرا من هذا الفائض في هاتين المادتين.

لقد قامت عدة دراسات تجريبية ونظرية جادة برهنت على نجاعة هذه الفكرة وقد طبق جزء منها على أرض الواقع من ذلك الدراسات التي تمت تحت إشراف منصور [29] أثبتت إمكانية صناعة عوارض سكك الحديد في المصنع الموجود في بني صاف بخرسانة الرمل، حيث أن استعمال خرسانة الرمل عوض الخرسانة العادية يمكن من استعمال رمل المحاجر (Sable de concassage) بدلا عن الرمل الذي يستعمل حاليا وهو رمل البحر الذي يؤدي استعماله إلى مشاكل بيئية عويصة، وبينت الدراسات أن الخصائص الميكانيكية للعوارض المصنوعة بخرسانة الرمل في نفس المستوى مثل العوارض المصنوعة بالخرسانة العادية. نظرا لانطلاق مشاريع تجديد وتوسيع 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 وبيئيا [29].

ونظرا للتواجد الكبير لرمل الكثبان في الجنوب الجزائري ونقص الحصى بصفة عامة، فقد قام كل من المركز الوطني للدراسات والأبحاث الخاصة بالمنشآت (CNERIB) والمدرسة الوطنية المتعددة التقنيات بعدة أبحاث على خرسانة الرمل أهمها التي أجريت من طرف المهندسين CHELGOUM.F و LOUATI.M والمهندسين

CHIKHI.H و OUCHERIF.N والمهندسين CHAID.A و GUESSOUM.A [30].

وقد قام المهندسان الأولان بدراسة على رمل كثبان لمنطقة الجلفة (صنف 0.63/0 مم) الذي أعطى نفاذية مقدرة بـ 45%.

حيث تحصل على مقاومة مقاربة 100 بار والتي تعتبر ضعيفة. ليأتي بعده المهندسان الثانيان للقيام بتحسين هذه المقاومة بواسطة الإضافات لتصل المقاومة إلى 210 بار في 28 يوما. وقد قام المهندسان الأخيران بدراسة على الزحف لأعمدة من خرسانة الرمل معرضة لأحمال متفاوتة والتي أعطت نتائج ضعيفة [30].

وفي نفس الصدد وأمام ندرة الحصى قامت عدة جامعات أخرى بدراسات مختلفة حول إيجاد حلول لهذه الظاهرة من ناحية ومحاولة استغلال رمل الكثبان من ناحية أخرى ومن أهم هذه الدراسات تلك التي قامت بها جامعة ورقلة وتحت إشراف كريكر عبد الواحد وبن طبة محمد الطاهر وفي إطار تثمين الموارد الطبيعية في المناطق الصحراوية قامت عدة أبحاث حول إمكانية استعمال رمل الكثبان في مجال الإنشاء كأعمال السادة: BELFERRAG ALLAOUA [11] و BENTATA AISSA [31] و BARKAT ABDEREZZAK و [32] BOUHNİK BRAHIM [33].

وقد قام مخبر تثمين الموارد الطبيعية في المناطق الصحراوية والجافة بإقامة ملتقيات وطنية ودولية في هذا الصدد كان الهدف منها هو التعريف بهذه الأبحاث وتثمينها. [34]

أما في جامعة بسكرة والمتمثلة في أبحاث السادة: SALHI KAMEL [35] حول إمكانية استغلال رمل الكثبان كمحسن للإسمنت أو التي قام بها السيد: HACHANA ABDELKRIM [36] إذ كان الهدف الرئيسي من خلال دراسته لهذا المشروع هو إظهار مدى إمكانية الاستعمال الجزئي أو الكلي لحبيبات (بقايا الخرسانة والأجر الناتجة عن الهدم) كبديل للحبيبات الطبيعية في صناعة الخرسانة مما يؤدي به إلى تعويض جزئي أو كلي لحبيبات الحصى النادرة.

وقد قامت جامعة " تولوز TOULOUSE " الفرنسية بعدة أبحاث حول رمال الكثبان وإمكانية استغلالها في البناء في الجزائر منها ما قام به الباحث طفراوي أحمد [37] حول رمال الكثبان في الجنوب الغربي الجزائري. مصر: نذكر أن خرسانة الرمل استخدمت لبناء كاسر الأمواج في مصر بسبب الافتقار إلى الحصى. كما أنجزت منارة بورسعيد سنة 1869 كما ذكرنا ذلك سابقا. [11 و 28].

أما عن خرسانة الألياف المعدنية، فيرى بعض الباحثين أن الخرسانة المدعمة بالألياف المعدنية أسست لأول مرة في 1874 من طرف (BERAD) بكاليفورنيا (الو.م.ا)، حيث اقترح إضافة حبيبات من حديد لخلطة الخرسانة بهدف الحصول على قطع فنية.

* وضع WEAKLY (الو.م.ا) في سنة 1912 عينة فيها أسلاك من الحديد أنجزها بسلكين لغرض توسيط حلقة من أجل تأمين تلاحم دائم بينها وبين الخرسانة [11،9].

* اقترح الألماني (KLEINLOGEL) في 1920 إضافة حجم نسبي من جزيئات كبيرة من الحديد داخل الخرسانة من أجل إنتاج كتلة خرسانية تكون خصائصها تقارب كتلة من الحديد من أجل خراطنها ونحتها.

* وبعد سنوات من ذلك وفي 1927 بكاليفورنيا قدم السيدان (MARTIN et MEISCHE-SMITH) مقترح خلط صفائح أو أسلاك من الحديد مع الخرسانة من أجل صنع نوعية جيدة من الأنابيب [11].

* ان فكرة تحسين شكل الألياف بهدف الزيادة في احتمالية إدخاله في الخلطة الخرسانية فكرة قديمة، حيث اقترح في سنة 1933 السيد (ETHERIDGE) تدعيم الخرسانة بألياف على شكل حلقات مختلفة الأقطار والأبعاد من أجل التحسين من المقاومة ضد التشققات وإعفاء الخرسانة المستعملة في بناء خطوط السكة الحديدية [11].

* الكثير من الإجراءات ظهرت في العديد من البلدان في السنوات الموالية، من بينها في إنجلترا سنة 1943 من طرف CONSTANTINESCO وفي الولايات المتحدة الأمريكية في 1954 استحدثت هذه الإجراءات نظرة خاصة، إذ ان عوامل التقوية التي نصت عليها في تلك الفترة هي نفسها المستعملة اليوم في خرسانة الألياف المعدنية حيث ان استعمال هذه الألياف زاد من مقاومة التشققات الحاصلة في الخرسانة وقد نصح باستعمال الخرسانة المسلحة والمدعمة بالألياف المعدنية في أرضية المطارات وأساسات الآلات الكبيرة وغيرها [11].

أما في الجزائر فقد قامت عدة ابحاث وتطبيقات حول هذا الموضوع، فقد انجزت العديد من الأبحاث والعوارض بخرسانة الألياف المعدنية، ولا زالت الأبحاث قائمة في هذا الصدد حيث تقوم العديد من الجامعات بأعمال لإيجاد صيغ جادة لتثمين بعض الموارد المحلية كرمال الكنابان وحل بعض المشاكل البيئية كتكديس بقايا مواد البناء والمواد البلاستيكية والعجلات، ومحاولة التوفيق بين خرسانة الرمل وتعزيزها بالألياف، فهذه جامعة ورقلة ومبرها قد تقدمت خطوات جديرة بالذكر في هذا المجال منها أعمال [38] A. Belferrag, A. Kriker, وأعمال [39] A. Kriker, G. Debicki, وأعمال [40] A. Belferrag, A. Kriker and M.E. Khenfer, وأعمال [41] M.E. Khenfer, F. Merzoug, B. Setti, K. Ezziane, وجامعة تزي وزو في أعمال [5] Djebali Saïd وجامعة عنابة في أعمال Fatma Fatma Zohra MELAIS , Djamel ACHOURA وArabi-Nourredine [42 و 43 و 17].

4.2.I تركيبة خرسانة الرمل :

تعتبر خرسانة الرمل حسب القاعدة NF P 18-500 [44]، خليطا مكونا من عدة مواد بناء متنوعة هي الحصى ذو الأقطار الصغيرة والإسمنت، والرمل، والماء، زيادة على المحسنات والإضافات وفي بعض الحالات ألياف للتقوية.

كما ان الاختلاف الرئيسي بين خرسانة الرمل والخرسانة الكلاسيكية يكمن في اختلاف التركيب الحبيبي إذ ان خرسانة الرمل يجب أن لا يتعدى فيها قطر الحبيبات 5 ملم ($d \geq 5$ ملم) كما يجب أن لا تتعدى النسبة الكتلية G/S واحد.

على عكس الخرسانة العادية التي تستخدم حبيبات من نوع 15/0 و 25/0 وكمية إسمنت تقدر من 250 إلى 400 كغ لكل متر مكعب من الخرسانة مع أن النسبة G/S محصورة عموما حسب DREUX بين 2.2 إلى 2 بالنسبة للخرسانة العادية [16].

إن غياب الحبيبات الكبيرة (أكثر من 5 ملم) في خرسانة الرمل يجعلها تحتوي على نسبة عالية من المسامات لذا نحتاج في كثير من الحالات إلى زيادة الإضافات الدقيقة (الحشو) لملأ ذلك الفراغ بين حبيبات الرمل، لضمان متانة وكتامة هذه الخرسانة.

وحيث أن كل الأبحاث العلمية في هذا المجال، تسعى إلى إيجاد واستصدار نوع من هذا الخليط، يستعمل فيه المواد المحلية لكل منطقة لخفض ثمنها، وتكون ذات أوصاف تمتاز بالديمومة والبقاء من أجل جعل هذه المواد المركبة لهذا الخليط مطابقة لمواصفات قانونية عالمية أو محلية تتضمن تلك الأوصاف المدروسة. في هذا البحث سندرس هذه المواد وهذا الخليط طبقاً للقاعدة المنصوص عليها: (AFNOR). من أجل الوصول إلى تراكيب تتوفر فيها الأهداف المرجوة من بقاء وديمومة ومقاومة... الخ.

5.2.I مكونات خرسانة الرمل:

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

5.1.2.I الإسمنت :

إن الإسمنت المستعمل في صناعة خرسانة الرمل يجب أن يكون متوافقاً مع القواعد NF P15-301 [45]. وتركيز الإسمنت يجب أن يكون مقارباً لتركيزه في الخرسانة العادية (300 - 400 Kg/m³). وفي العموم فإن تركيز خرسانة الرمل من الإسمنت أعلى منه في الخرسانة العادية وهذا ما استنتجته [28] لأن تركيز الإسمنت متعلق بقطر الحبيبات.

5.2.2.I الركام :

هو مصطلح أو اسم يطلق على المادة الحبيبية الناتجة في الغالب من الصخور، تكون متدرجة الحجم من حبيبات رملية صغيرة إلى حصى وحبيبات كبيرة، ويعتبر الركام الجسم العام للخرسانة وهو يشكل من 60 - 80 % من حجمها الكلي، وهو معرف حسب القواعد NF P 18-540 [46]. وللركام عدة ادوار مهمة داخل الخرسانة تجعله ذا أهمية بالغة منها :

1 الركام هو المكون الأساسي لجسم الخرسانة، وبالتالي هو الذي يستطيع أن يقاوم مختلف الإجهادات التي تتعرض لها. وكذلك يقاوم مختلف العوامل الجوية من حرارة وبرودة وجفاف ورطوبة... الخ.

2 هو المادة الأقل تكلفة في الخرسانة.

3 يساعد الركام على خفض التغيرات الحجمية - مثل الانكماش - الناتجة من الماء وتصلب العجينة الإسمنتية وغيرها. وكذلك من تأثير الرطوبة على الخرسانة.

5.1.2.2.I 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 واستعمال هذه البقايا وبالتالي إيجاد مصدر آخر للركام.

من أجل إيجاد أو تكوين خرسانة الرمال، نشير إلى أنه من بين أهم العوامل التي تأخذ بعين الاعتبار عامل النقاوة، إذ أن استعمال رمال غير نقية ينجم عنه خرسانة ضعيفة المقاومة. [47،38].

ومن الملاحظ أن رمال الكثبان مواد ذات نوعية سيئة في مجالات الإنشاء لأنها غير قابلة للترسيب ولها نسبة فراغات كبيرة كما تمتاز حبيباتها بعدم الاستمرار في الغالب واستعمالها سواء مع الروابط الهيدروكربونية (الزفت الصرف، المميع، كوت باك) أو الروابط الهيدروليكية (الإسمنت) يعطي خصائص ميكانيكية ناقصة (الاستقرارية، الترسيب، مقاومة الضغط، مقاومة الشد) لذا تصبح معالجتها ضرورية من أجل تحسين خواصها الميكانيكية وإعطائها استقرارية مرضية [48].

وقد أجريت عدة تجارب على أنواع مختلفة من الرمل حسب مناطق توأجدها نذكر منها :
- تجربة التدرج الحبيبي التي أعطت النتائج التالية [48]:

الجدول I. 12 نتائج تجربة التدرج الحبيبي لبعض المناطق

قطر الغربال mm	0.08	0.125	0.16	0.315	0.63	1.25	2.5	5	نسبة المجمع المار%
القولية	1.46	9.57	18.27	27.13	99.76	100	100	100	
الوادي	0.65	9.12	65.59	91.42	99.46	100	100	100	
بسكرة	1.58	6.89	-	83.84	99.37	100	100	100	
حاسي بحبح	0.57	4.34	68.67	92.71	99.30	99.91	99.98	100	
عين الصفراء	0.01	2.72	54.23	95.86	99.95	99.97	99.99	100	

- معامل النعومة الذي أعطى النتائج التالية :

الجدول I. 13 نتائج معامل النعومة لبعض المناطق

المنطقة	معامل النعومة
بوسعادة	0.83
حاسي بحبح	0.73
أم الزبد	1.18
توقرت	1.38
ورقلة	1.38
تمسين	1
الحمراية	1.17
مرفى	0.99
لاهورت	1.18
الوادي	1.2

- تجربة الكتلة الحجمية ومعامل الامتصاص التي أعطت النتائج التالية :

الجدول I. 14 نتائج تجربة الكتلة الحجمية ومعامل الامتصاص لبعض المناطق

المنطقة	الكتلة الحجمية المطلقة (kg/m ³)	معامل الامتصاص (%)
بوسعادة	2419	0.44
حاسي بحبح	2416	0.46
أم الزبد	2480	0.32
توقرت	2455	0.36
ورقلة	2486	0.30
تمسين	2470	0.36
الحمراية	2412	0.41
مرفى	2496	0.42
لاهورت	2445	0.36
الوادي	2423	0.39

I.3.2.5 الماء :

الماء المستخدم في خرسانة الرمل يجب أن يكون متوافقا مع القواعد NF P18-303 [49]، ويجب أن يحقق شرط النقاوة كغيره من مركبات الخلطة الخرسانية، كما أن النسبة الداخلة في الخلطة يجب أن تدرس مسبقا، حيث أن الزيادة من هذه المادة في خلطة الخرسانة وبعد خروج الكميات الزائدة عن التفاعلات مخلفة مكانها فراغات من شأنها أن تسبب ضعف المقاومة هذا من جهة، وهذه الفراغات من جهة أخرى ستكون عرضة لدخول الماء وما يحمله من مواد ضارة بالخرسانة مما يسبب تفاعلات بين المركبات الإسمنتية وهذه العناصر الدخيلة وهذا بلا شك سيفقد من ديمومتها [50]، وأما نقصان هذه المادة أي الماء فهو يقلل من انحلالية الخلطة مما يعني بقاء بعض الحبيبات من الإسمنت دون تفاعل أي بعض حبيبات الرمل لا يتسنى لها التماسك، وهذا ما يقلل أيضا من المقاومة [51].

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 وصعبة التشغيل وبالتالي تكون التشغيلية ضعيفة مما يستدعي إضافة كمية أكبر من الماء وهذه الإضافة ستؤثر على الخصائص الميكانيكية الأخرى على النحو الذي ذكرنا، ولهذا يصبح من الضروري الاستعانة ببعض الإضافات والمحسنات للتقليل من قيمة المعامل E/C من أجل رفع المقاومة [52].

- 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 وصبها في مكانها المحدد.

5.4.2.I Les adjuvants : المحسنات

خرسانة الرمل تحتاج إلى بعض المواد المحسنة بمختلف أشكالها كغيرها من أنواع الخرسانة، هذه المحسنات المستعملة في الخلطات الخرسانية أغلبها مركبات كيميائية محايدة لا تدخل في تفاعلات مع مركبات الإسمنت. تضيف المحسنات أو المواد المساعدة لمسة فيزيائية واقتصادية معتبرة على الخرسانة، مثل التحسين في التشغيلية الذي نحصل عليه من الملدنات بأنواعها، وبالتالي التقليل من الماء الذي تعتبر زيادته من أهم عوامل ضعف المقاومة، كما تمكن هذه المحسنات من استعمال الخرسانة في ظل ظروف صعبة كوجود المياه أو الحرارة الشديدة وغيرها، كما أنها تسمح باستعمال أنواع أخرى من المواد في الخرسانة. وهي منصوص عليها بالقواعد NF EN 934-2 و A1 [53]. وهي أنواع عديدة منها ما هو مسرع للتصلب ومنها ما هو مبطن [54] ومنها ما يربط الخرسانة القديمة بالحديثة وغيرها.

4.5.1.2.I دور المميغات او الملدنات :

تعتبر التشغيلية أحد أهم خصائص الخرسانة الطازجة، حيث تتعلق أساساً بتركيز الماء المستخدم [33]. 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 عائقاً أمام الحصول على خرسانة ذات تشغيلية جيدة بالباحثين، منذ زمن قديم، إلى استخدام عناصر كيميائية عضوية إضافية تساعد في جعل الخرسانة أكثر تشغيلية وذلك دون التقليل من نسبة الدمك [30].

ويجب أن تتوفر في المحسنات عدة شروط أهمها [55] :

- 1- يجب أن لا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة أو حديد التسليح.
- 2- أن تتناسب الفوائد الناتجة من استخدام الإضافات مع الزيادة في التكاليف.
- 3- يجب عدم إضافة كلوريد الكالسيوم أو الإضافات التي أساسها من الكلوريدات بتاتاً إلى الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الإجهاد أو الخرسانة التي بها معادن مدفونة.
- 4- يجب التأكد من مدى ملاءمة وفعالية أى من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.

5- إذا استخدم نوعان أو أكثر من الإضافات في نفس الخلطة الخرسانية فيلزم أن تتواجد معلومات كافية لبيان مدى تداخلهما والتأكد من مدى توافقهما وعدم تفاعلها.

6- يراعى أن سلوك الإضافات يختلف باختلاف نوع الإسمنت.

5.5.2.I المواد المضافة (Les ajouts):

هي مواد تضاف إلى ماء الخلط أو إلى الخرسانة مباشرة أثناء أو قبل عملية الخلط تكون في غالبها مشابهة في خواصها الفيزيائية والكيميائية إلى الإسمنت وبوجود الماء أي عند إماهتها نحصل تقريبا على نفس نتائج إماهة الإسمنت [29].

5.5.1.2.I 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) عال 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 الإسمنت في الخلطة الخرسانية [29]. هو عبارة عن بقايا مساحيق الصخور الصلبة المكسرة والمطحونة، بعضها يكون له دور فيزيائي حيث يقوم بملء الفراغات الدقيقة بين حبيبات الرمل الذي بدوره يملأ الفراغات الموجودة بين حبيبات الحصى في الخرسانة العادية ومثيلاتها فيخلق استمرارا أو امتداد حبيبيا من شأنه إعطاء كتامة عالية للخرسانة. كما يمكن أن تلعب بعض الأنواع من الحشو Filler دورا كيميائيا حيث تتفاعل مع الماء لتعمل عمل الإسمنت، حيث أكد كثير من الباحثين منهم [56+57] على إمكانية استبدال جزء من الإسمنت المحسوب في الخلطة الخرسانية بنسب من الإضافات التي هي عبارة عن مساحيق حشو Filler، مثل البوزولان وفضلات المحاجر التي في الغالب ما تكون ذات طبيعة كلسية.

5.5.2.2.I 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 [16].

5.5.3.2.I الألياف Fibres :

ويستعمل هذا النوع من المحسنات كمادة مقوية داخل الخلطة الخرسانية بهدف التحسين من مقاومة الخرسانة للشد والانحناء والتقليل من ظاهرة الانكماش [58].

6.2.I صياغة خرسانة الرمل :

تعتمد عملية تركيب الخرسانة أساسا 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 والإسمنت والماء.

ونظرا للإمكانيات المحدودة التي تقدمها الطرق العادية في تركيب الخرسانة، توسعت جملة المكونات التي تدخل في تركيب الخرسانة بواسطة الإضافات والمحسّنات.

ومن بين أهم أنواع الخرسانة الجديدة ذات التركيبة الخاصة، نذكر خرسانة الرمل (المتميّزة 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 للإسمنت والماء) على مواد حشو كلسية *Fillers calcaires* ومحسّنات انسيابية *Adjuvant rhéologique* بطريقة تسمح بتحديد تركيز الإسمنت لجعله مماثلا للتركيز في الخرسانة العادية.

6.1.2.I مبدأ صياغة خرسانة الرمل :

بخلاف الملاط، تحتوي خرسانة الرمل على تركيز للإسمنت يقارب التركيز الموجود في الخرسانة العادية (من 300 إلى 400 kg/m^3). لكن وجود الحصى ذات الأقطار الصغيرة (قطر $\geq 5mm$) هو ما يميز خرسانة الرمل عن الخرسانات العادية، وليس هناك مانع من إضافة الحصى بشرط الحفاظ على النسبة الكتلية $G/S < 1$. ويفضل تقنية ملء فراغات الرمل بواسطة مواد الحشو الكلسية الأقل من ($80 \mu m$)، أصبحت الزيادة في تركيز الإسمنت 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.

7.2.I الخرسانة المدعمة بالألياف :

1.7.2.I أنواع خرسانة الألياف :

عموما خرسانة الألياف مكونة من إسمنت وماء وحصى بنسب محدودة وألياف، وبحسب أنواع الليف نستطيع أن نصنف الخرسانة إلى :

1.1.7.2.I خرسانة الألياف العادية : وهي تشمل نوعا واحدا من الألياف قد يكون نباتيا أو معدنيا أو غيرهما. وهذه الألياف قد تختلف في الخلطة الواحدة أو النوع الواحد في الطول والشكل والسمك إلى غير ذلك من الخصائص الفيزيائية المتعلقة بالليف. ولكن يبقى نوع الليف واحدا. وتسمى الخرسانة نسبة إليه فنقول خرسانة الألياف المعدنية أي التي استعملت فيها ألياف من المعادن غالبا ما تكون الحديد، ونقول خرسانة الألياف النباتية والتي استعملت فيها أنواع الألياف النباتية... الخ.

2.1.7.2.I خرسانة الألياف المختلطة **Béton de fibre hybride** :

وتسمى أيضا "خرسانة الألياف الهجينة"، في هذا النوع من الخرسانة نستعمل نوعين أو أكثر من الألياف قد تختلف اختلاف كليا في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والهندسية، يرجع هذا التنوع في الألياف إلى عدة اعتبارات من شأنها تحسين خصائص هذا النوع من الخرسانة، ونذكر منها [59]:

- 1- إذا استعملنا نوعين من الألياف أحدهما ذو مقاومة عالية للشد وأكثر صلادة، والثاني له معامل مرونة كبير ومتانة عالية، فإن الناتج وهو خرسانة ألياف يقلل فيها النوع الأول من الألياف من التشققات الأولية ويزيد من المقاومة القصوى لها، أما النوع الثاني فإنه سيزيد من المتانة ويقلل من التشققات اللاحقة.
- 2- يكون الاختلاف في طول نوعي الألياف المستعملة، يمكن الليف الأطول من ربط ومنع انتشار التشققات الكبيرة، بينما يقوم النوع الآخر الأقل طولاً بمنع انتشار وسريان الشقوق وكذلك ربط وضم الشقوق الشعرية الصغيرة.
- 3- الاختلاف في أنواع الألياف يعني الاختلاف في مدى ديمومتها، حيث أن الألياف ذات الديمومة الأطول تعطي زيادة في انواع مقاومات الخرسانة ومتانتها، أما الأقل ديمومة فهي تضمن الأداء الجيد للخرسانة الطازجة أثناء النقل والصب.

8.2.I مكونات وصياغة خرسانة الألياف المعدنية :

1.8.2.I مكونات خرسانة الألياف المعدنية :

غالبا ما تكون خرسانة الألياف المعدنية غنية بالرمل، أما الركام الخشن يكون بنسب ضعيفة، وهي ذات تركيز من الإسمنت يتراوح بين 300-500 Kg/m³ أما تركيز الألياف المعدنية مرتبط ومعتد على المقاومة المطلوبة. وهو يعوض ما غاب من الحصى والركام الخشن، في بعض الحالات كما هو الحال في الخرسانة العادية نحتاج إلى بعض المحسنات والإضافات حسب ما تقتضيه الحاجة إلى ذلك [5].

والجدول (15.I) يوضح بعض التركيبات لخرسانة الألياف المعدنية بتشغيلية عادية:

الجدول 15. I مكونات بعض خرسانة الألياف المعدنية [11 و24]:

الكمية ب Kg/m ³				المكونات
التركيبية 4 [24]	التركيبية 3 [24]	التركيبية 2 [24]	التركيبية 1 [24]	
100	78	54	100	الألياف
430	425	360	400	الإسمنت
170	191	200	176	الماء
43	/	/	/	Fumée de silice
10.6	4.25	16	5	ملدنات
497	894	1275	1012	رمل 1
497	/	/	/	رمل 2
765	832	/	777	حصى
/	/	225	/	filler
/	/	210	/	microfiller
0.87	1.01	/	0.86	(G + F)/S
0.40	0.45	0.55	0.45	E/C

رمل 1 : رمل طبيعي من 5/0 ملم ، رمل 2 : كلكار 4 ملم

2.8.2.I ميزات خرسانة الألياف المعدنية :

نستطيع أن نصنف مميزات خرسانة الألياف المعدنية إلى صنفين هما : الجانب التقني والجانب الاقتصادي.

أ- الجانب التقني :

- استخدام الخرسانة المسلحة بالألياف مفيد بالدرجة الأولى في السيطرة على التشققات المختلفة وعلى التحطيم المفاجئ.

- انتشار الألياف في كل الاتجاهات يجعل الخرسانة ذات تعزيز ثلاثي الأبعاد.

- تعطي الألياف للخرسانة قوة إضافية تسمى (القوة المتبقية)، وتظهر هذه القوة خاصة في الانحناء فلا تكسر العينة مباشرة بل تكسبها قوة تماسك جديدة تطيل مدى تماسكها.

- الطاقة امتصاص عالية.

- زيادة في قوة القص.

ب- الجانب الاقتصادي :

الفوائد الاقتصادية الرئيسية لخرسانة الألياف المعدنية هي:

- الحد من استعمال اليد العاملة في الورشات خاصة عمال حديد التسليح، مما يعني انخفاض التكلفة في البناء.

- إمكانية استعمال مواد محلية بديلة عن مواد البناء الكلاسيكية، كما هو الحال في دراستنا هذه.

- إمكانية الاستفادة من تصاميم جديدة للمباني لا تسمح بها الخرسانة العادية. [5]

3.8.2.I صياغة خرسانة الألياف المعدنية :

إن صياغة خرسانة الألياف المعدنية (BFM) يجرنا إلى التحسين في مكوناتها، أي التحسين في الهيكلة الحبيبية لهذه الأخيرة وذلك حسب التشغيلية المرجوة [24].

جل طرق صياغة خرسانة الألياف المعدنية تجريبية، وتعتمد أساسا على العديد من الدراسات التي تعطي توصيات مفيدة ولكنها غير كافية، وذلك راجع لاختلاف تركيبة خرسانة الألياف المعدنية حسب الاستعمال المرجو [24].

ومن ضمن هذه الطرق التجريبية المستعملة نذكر طريقة الباحث MOENS، حيث حدد القيمة $(V_f \cdot 1/d)$ بمعامل يأخذ بعين الاعتبار أبعاد الحبيبات [9 و 11 و 60] :

$$V_f \cdot \frac{l}{d} < C_m \dots \dots \dots (1.1)$$

$$C_m = \sum V_{ij} \cdot C_{dij} \dots \dots \dots (1.2)$$

حيث : V_f : نسبة حجم الألياف.

l/d : مقدار طول الليف على قطره.

V_{ij} : حجم مقطع من الحبيبات ذات أقطار تتراوح بين d_i و d_j

C_{dij} : معامل تفاعل المقطع d_{ij} للحبيبات مثل :

$$C_{d_{ij}} = 1.72 \ln \left(\frac{d_j}{d_i} \right) \dots \dots \dots (1.3)$$

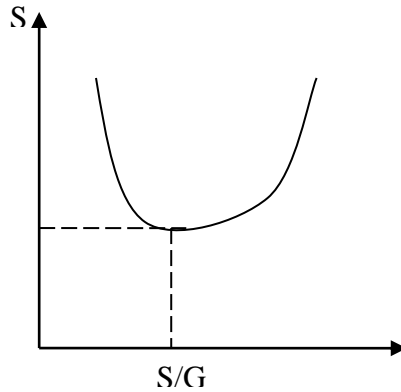
- نذكر من بين الطرق التجريبية أيضا لصياغة خرسانة الألياف المعدنية، تلك الطريقة التي طورت منذ عشرات السنين، وتتعلق بطريقة BARON-LESAGE كما ذكر [24]، حيث عرفت هذه الأخيرة استعمالا واسعا في تحسين الهيكيلية الحبيبية للخراسانات العادية والتي عدلت لتتوافق مع خرسانة الألياف المعدنية من طرف PIERRE ROSSI [24].

الطريقة المنتهجة من طرف (PIERRE ROSSI) [24] تأسست على فرضيتين أساسيتين دقتت وضبطت بالتجارب :

- 1- يثبت المعامل E/C في البداية، الخرسانة الأكثر تشغيلية هي الأكثر دمكا وهيكلها الحبيبي أمثل.
- 2- لا يتعلق التركيز الأمثل للحبيبات لا بطبيعة ولا بحجم عجينة الإسمنت (ماء + إسمنت) تطبيق هذه الطريقة على تركيبة خرسانة الألياف المعدنية يحتاج إلى فرضية ثالثة.
- 3- إدخال الألياف المعدنية لا يغير من الفرضيتين السابقتين.

* يتحقق عمليا تركيب خرسانة الألياف المعدنية بإتباع ثلاث مراحل :

- 1- المعامل E/C ونسبة الألياف مثبتان من البداية.
- 2- نقوم بتغيير النسبة S/G ونحدد التشغيلية من أجل كل قيمة لهذه النسبة، والذي يسمح برسم المنحنى (التشغيلية والنسبة S/G)، من أجل تحديد النسبة S/G للتشغيلية المثلى [24].



الشكل I. 4. منحنى تحديد النسبة S/G المثلى [24]

3- انطلاقا من الفرضية الثانية فإن كمية الماء والإسمنت مضبوطتان (بالنقصان أو بالزيادة) أما المعامل E/C يبقى ثابتا من أجل الحصول على التشغيلية المثالية المرجوة، وإلا فإننا سنحتاج إلى بعض الإضافات من أجل ضبط هذه التشغيلية المطلوبة.

4.8.2.I تأثيرات خواص الألياف على الخرسانة :

أ- تشغيلية خرسانة الألياف :

إن وجود الألياف داخل التركيبة الخرسانية يلعب دور الحبيبات ذات الشكل الممدد، حيث يمكن لهذا الشكل الخاص أن يحدث احتكاكات غير مرغوب فيها تؤدي إلى رفع مقدار المسامية مما يحدث تغييرا في الترتيب الذي كانت

عليه الحبيبات، ويسبب هذا الاضطراب في الهيكلة الحبيبية إلى نقصان في التشغيلية والدمك الذي تنجم عنه انحلالية ضعيفة.

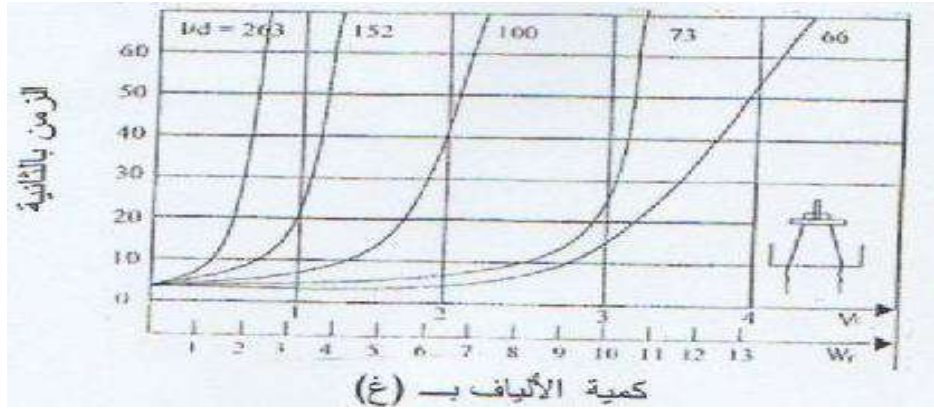
ومن بين العوامل المؤثرة على انحلالية خرسانة الألياف نذكر ما يلي :

- أبعاد الليف والشكل (L/d).

- تركيز الألياف.

- التدرج الحبيبي للخليط.

وقد قام الباحث EDGINGTON [62] بدراسة التشغيلية بالنسبة لألياف فولاذية فكانت النتائج كالتالي [60] :



الشكل I. 5 منحنى التشغيلية بدلالة نسبة الألياف الفولاذية

ونلاحظ من خلال الشكل أن التشغيل يتأثر كثيرا بكمية الألياف وشكلها الهندسي حيث كلما زادت كمية الألياف أو

النسبة (L/d) نقص التشغيل. [61 و 59]

ب- تأثير الشكل الهندسي للألياف :

تتفق كل الدراسات على أنه كلما كان المقدار L/d للألياف كبيرا كلما كان تشابكها كبيرا، ويؤدي هذا إلى صعوبة خلطها وينعكس ذلك سلبا على التشغيلية والانتشار.

وقد بين الباحثان: MANGAT و SWAMY [61] أن النسبة (L/d) إذا كانت أكبر من 100 تؤدي إلى خطر تشابك الألياف وبالتالي تصعب عملية استعمال الخرسانة [60].

وفي نفس السياق، فإنه كلما كانت الألياف قصيرة كلما كانت نسبة التشابك أقل. ومنه يمكننا أن نعالج نقص الانحلالية والانتشار بإضافة نسبة عالية من الألياف القصيرة ذات القطر الصغير في الخرسانة ونسبة صغيرة من الألياف الطويلة ذات القطر الكبير.

ومن جهة أخرى، يلعب الشكل الهندسي للألياف دورا هاما حيال انحلالية الخرسانة، وذلك حسب شكل الألياف الذي يمكن أن يكون: اسطوانيا أو مسطح، معكوبا أو بدون عكفة، ذات قطر وطول كبيرين أو صغيرين. حيث تتأثر الانحلالية سلبا أو إيجابا بكل تلك العوامل.

كما تلعب الألياف دور ماسك للخرسانة وطارد للشقوق الناتجة عن عدة عوامل.

ج- تأثير تركيز الألياف :

كل الدراسات الحالية لاحظت وجود نقص ملحوظ في التشغيلية متى كان تركيز الألياف المدرج داخل خليط الخرسانة كبيرا.

في نفس السياق هناك دراسة قام بها EDINGTON [62] تشير إلى أنه إذا فاق تركيز الألياف المعدنية النسبة 2% فسيؤدي هذا إلى الإخلال بتشغيلية الخليط.

واندرجت في هذا الصدد عدة دراسات هدفها التقليل من نسبة الألياف داخل الخرسانة، نذكر منها العلاقة التجريبية التي أسسها الباحثان LIM و LEE [63] والتي تأخذ بعين الاعتبار أكبر قطر للحبيبات:

$$V_f < \frac{B}{\frac{L}{d} - 16} \times 1.08 \left(1 - \frac{D_{\max}}{32.5} \right) \dots \dots \dots (1.4)$$

V_f : التركيز الحجمي للألياف.

L et d : طول وقطر الليف

B : معامل متعلق بخلط الخرسانة ثابت يعطى 1.8

D_{\max} : أكبر قطر للحبيبات يعطى ب ملم

وفي نفس السياق، نذكر علاقة تعطي الحد الأعظمي المسموح به لنسبة الألياف داخل الخرسانة.

$$\frac{V_f \times L_f}{d_f} < 3 \dots \dots \dots (1.5)$$

V_f : التركيز الحجمي للألياف.

L et d : طول وقطر الليف

د- تأثير توجيه الألياف :

ان دور الألياف في تحسين خصائص الخرسانة يتعلق أساسا بتوجيه هذه الأخيرة داخل التركيبة. حيث تتحكم تقنيات إعداد الخلطة في كيفية توجيه الألياف. كذلك تظهر الشقوق في العينة عمودية على اتجاه قوة الشد بواسطة الانحناء، ومنه نميز حالتين لتموضع الألياف بالنسبة للشقوق :

* التشكيلة التي بها الألياف مصطفة عموديا بالنسبة للشقوق هي التشكيلة المثلى والألياف تكون في هذه الحالة جد فعالة.

* التشكيلة التي بها الألياف مصطفة موازية بالنسبة للشقوق هي التشكيلة الرديئة والألياف تكون في هذه الحالة غير فعالة.

وقد درس كل من الباحثين BONZEL و SHMIDT وذكر DEBICKI [64] أن تأثير توجيه الألياف في الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف وقد خلصوا إلى ما يلي :

- أن درجة توجيه الألياف تتعلق أساسا بكمية الإسمنت وبحجم الحصى الكبير وبنسبة الألياف الحديدية وبانحلالية الخرسانة وطول نقل هذه الأخيرة (الترسبات) أثناء عملية الدمك.

- ان خصائص الخرسانة المتصلبة يمكن تحسينها بإضافة الألياف فقط بطريقة عمودية بالنسبة لإجهاد الضغط أو متوازية بالنسبة لإجهاد الشد.
- وفي الحالات المثلى لتوجيه الألياف، تصل نسبة زيادة مقاومة الضغط إلى 15% ومقاومة الانحناء إلى 90%.

أما في الحالات التي يكون فيها توجيه الألياف بصفة عشوائية فإن المقاومات لا تكون أحسن من المقاومات في الخرسانة العادية.

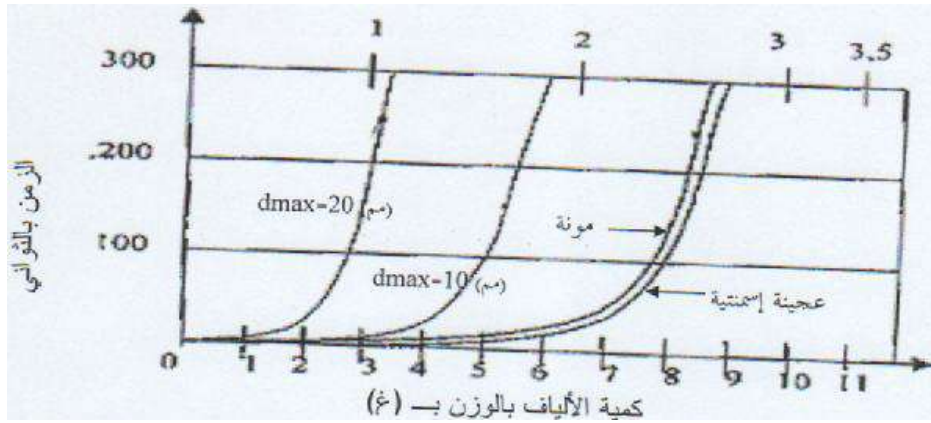
هـ - تأثير التدرج الحبيبي للخليط :

تلعب التركيبة الحبيبية لخليط ما دورا أساسيا في تشغيلية الخرسانة المدعمة بالألياف، ويتفق جل الباحثين بأن التشغيلية تتناقص مع زيادة نسبة الألياف في التركيبة الخرسانية، وذلك دون أن ننسى تأثير أبعاد الحبيبات على الخليط.

ومن هذا، لاحظ الباحثان SWAMY و MANAGAT [61] أن نسبة الألياف التي يجب أن تضاف إلى خرسانة الرمل أو الملاط هي أكبر منها في الخرسانة العادية من أجل الحصول على تشغيلية جيدة، كما تنقص نسبة الألياف عندما تكون نسبة الحبيبات الكبيرة أكثر.

وقد نقل ELIE-ABSI [65] وأكد أن الألياف تنتظم بطريقة أفضل مع الخرسانات التي تحتوي على حبيبات دقيقة ($L_f > 4D_{max}$).

وبين الباحثان أنه عند زيادة نسبة الحبيبات التي لها أبعاد أكبر من 5 مم في الخلطة يحدث نقصان كبير في التشغيلية كما وهو موضح في الشكل 6.I [60]



الشكل 6.I منحنى تأثير نسبة الحبيبات على التشغيلية

حسب الشكل نلاحظ أن التشغيلية في مختلف المركبات الإسمنتية المستعملة المدعمة بالألياف الفولاذية ولها معامل $100 = 1/d$ يتأثر بنوعية الخلطات المستعملة أي كلما كانت أقطار الركام كبيرة كلما قل التشغيل [59+60].

9.2.I عملية وآلية تحطم خرسانة الألياف :

1.9.2.I العملية الميكانيكية للألياف المعدنية داخل الخرسانة:

تهدف الرابطة بين الألياف المعدنية والخرسانة إلى منع حصول تلك التشققات الصغيرة (Micro-Fissures) التي عادة ما تظهر في الخرسانة العادية [4]، وفي خرسانة الألياف المعدنية نستطيع استعمال ألياف دقيقة (Microfibres) (ذات طول لا يزيد عن 5 مم) بهدف التحسين في القدرة الحاملة والليونة في المنشآت. لكن في المقابل لا يحسن هذا الإجراء من المقاومة [24].

توجد هناك مجموعتان كبيرتان من الألياف المعدنية تتميز عن بعضها البعض بعملها الميكانيكي.

- ألياف تعمل بتلاحمها، لها شكل صفائحي تعطي من خلاله مساحة سطحية نوعية مهمة، لكنها لا تتميز بالليونة، مهمتها التقليل من التشققات بواسطة الاحتكاك.
- ألياف تعمل من أجل الربط، ذات شكل اسطواني من الحديد اللدن. تتميز بسلوكها اللين، تزداد جودتها بوجود عكفات على رؤوسها أو تموجات على طولها الكلي.

2.9.2.I آلية تحطم خرسانة الألياف :

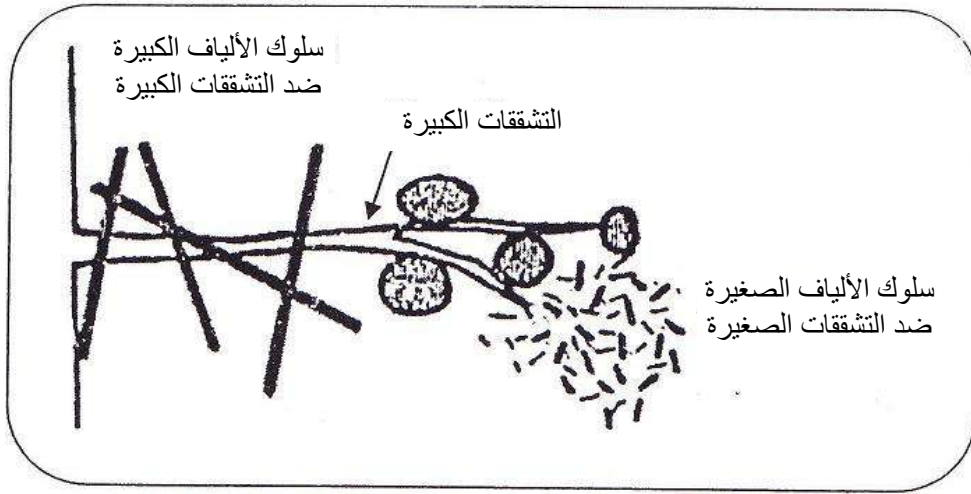
نستطيع تمييز ثلاث مراحل من عملية التحطيم بالانحناء لعينة من الخرسانة ذات حجم شكلي :

- المرحلة الأولى : تشققات صغيرة (microfissurations) تظهر في كل العينة.
- المرحلة الثانية : تبدأ تلك التشققات الصغيرة بالاتحاد لتشكل تشققا أو عددا من التشققات، ويتم في هذه المرحلة تحديد مكان التشقق.
- المرحلة الثالثة : وفيها ينحل أحد الشقوق أو عدد منها مما يؤدي إلى التحطم الكلي للعينة. ويمكن في هذه المرحلة أن تساهم الألياف المعدنية في عدم انتشار الشقوق، وذلك على النحو التالي :
- في مرحلة التشققات الصغيرة : تساهم الألياف المعدنية خاصة الصغيرة منها في هذه المرحلة في تجميع (خياطة) التشققات الصغيرة حيث تعيق عملية تحديدها، نلاحظ إذن زيادة في المقاومة والمرونة على مستوى العينة (كأحد أهم الخصائص).
- في مرحلة انتشار التشققات الكبيرة : وهنا أيضا تساهم الألياف المعدنية في تجميع التشققات والحد من ظاهرة انتشارها. وبعد عملية ظهور التشققات، تقوم الألياف المعدنية بدور استعادة الإجهادات (Reprise des efforts) موفرة بذلك قدرة حاملة وليونة أكبر للعينة.

يتضح من خلال أغلب الحالات السابقة، أن الشكل الهندسي الأمثل للألياف المعدنية التي يجب استعمالها، مختلف باختلاف نوع الشقوق الصغيرة أو الكبيرة. لذا نستطيع أن نميز ونقول أنه :

إذا كانت الشقوق صغيرة، يجب استعمال ألياف صغيرة الحجم كثيرة العدد. وفي حالة التشققات الكبيرة يجب أن يكون طول الليف كبيرا بالقدر اللازم لأجل ضمان توزيع صحيح لها داخل هيكل العينة، وكذا مساهمتها في تجميع التشققات الكبيرة، حيث تلعب الألياف هنا دور التسليح في الخرسانة المسلحة، ولو أن آلية الربط تختلف. وتستعمل

الألياف المعدنية ذات الطول الكبير بنسب أقل من الألياف القصيرة، حتى لا تؤثر سلبا على التشغيلية، وهذا موضح في الصورة I. 3.



الصورة I. 3. دور الألياف في التحكم في الشقوق [66]

I.2.10 الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف المعدنية :

إذا رجعنا إلى الأبحاث المتعلقة بالسلوك الميكانيكي لخرسانة الألياف المعدنية، نلاحظ أن هنالك العديد من النتائج والمعلومات المحققة من طرف الباحثين هي على العموم مشتتة أي أن النتائج المحققة أو المقدمة مختلفة عن بعضها نظرا للتغيير في المعاملات (E/C ، G/S ، وطريقة الخلط) ومختلف أنواع وأبعاد وأشكال الألياف. وسنعرض فيما يلي بعض الدراسات التي أجريت على غرار العديد من الدراسات الأخرى، وسنحاول إعطاء نتائج حول إجهادات التحطم الناتجة عن الضغط والانحناء لخرسانة الألياف المعدنية.

I.10.2.1 سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط :

مقاومة الخرسانة للضغط في العموم هي خاصية مميزة نستطيع من خلالها تأمين و ضمان كل المقاومات الأخرى. وهي القرينة الأولى المصنفة لجودة الخرسانة، وأن الصفات الأخرى للخرسانة جميعها تتحسن مع تحسن هذه الأخيرة. [67]

فيما يتعلق بسلوك خرسانة الألياف المعدنية في مقاومة الضغط هناك عدة دراسات أجريت، منها ما أثبتت أن زيادة الألياف في الخرسانة يحسن من مقاومتها للضغط وفي المقابل أثبتت عدة دراسات أخرى عكس ذلك، والتي نذكر منها ما يلي:

- استنتج الباحثون LE MAOU، HARROUCHE، ROSSI [68] أن مقاومة الضغط لخرسانة الألياف المعدنية هي أقل منها في الخرسانة العادية (بدون ألياف).

- وقد أثبت ELIE ABSI [65] بعد اطلاعه على عدة دراسات تمت على مستوى CEBTP بفرنسا من طرف مجموعة من الباحثين، بأن سلوك خرسانة الألياف تجاه الضغط يتراجع عن الخرسانة الشاهدة بدلالة نوع وحجم

الألياف المستعملة كما هو موضح في الشكلين 17.I و 18.I، حيث يبين هذا الشكل أن مقاومة الضغط في الخرسانة المدعمة بالألياف أقل منها في الخرسانة العادية إذا كان توزيع الألياف توزيعا عشوائيا. - وتابع ABSI [65] أبحاثه حيث وجد باحثون آخرون أثبتوا أن تأثير إدخال الألياف المعدنية في الخرسانة قد حسن من مقاومة الضغط على ما كانت عليه في الخرسانة العادية (التجربة أجريت على عينة اسطوانية $H=32cm$ و $\phi = 16 cm$) في هذه الحالة مقاومة الضغط متعلقة بالإجهاد الأعظمي التخيلي الناتج عن القوى الأعظمية المطبقة على المقطع.

وهذا ما وجده أيضا F. Setti و K. Ezziane و B. Setti و F. Merzoug [41] حيث أثبتوا أن إدخال الألياف المعدنية على الخرسانة يزيد من مقاومتها للضغط، والجدول أدناه يوضح نتائج مقاومة الضغط لخرسانة مدعمة بالألياف المعدنية:

2.10.2.I مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط :

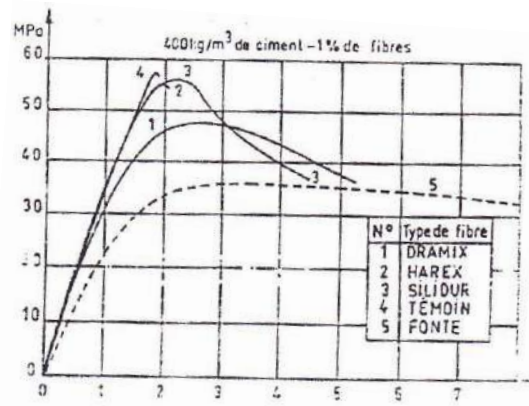
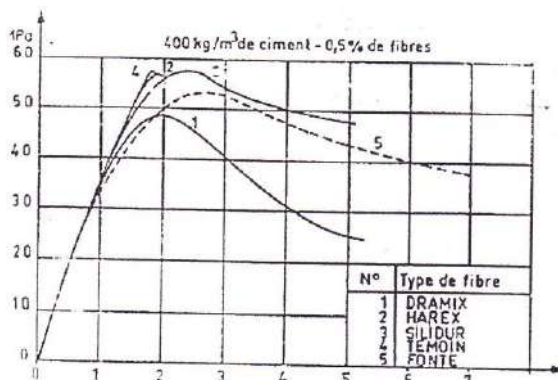
الجدول 16. I مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط [11]

مقاومة الضغط في 28 يوم (MPa)	المركبات				
	الألياف (% الحجم)	المحسن (الإسمنت %)	الماء l/m^3	المعامل G/S	الإسمنت K/m^3
40.90	%0	%0	200	0.92	400
48.60(+19%)	0.3% E2	1% مميح	200	0.92	400
48.10(+18%)	0.3% E0	1% مميح	200	0.92	400
47.50(+16%)	0.5% E0	1% مميح	200	0.92	400

E2: ألياف Eurosteel ذات رأسين.

E0: ألياف Eurosteel المموجة.

من خلال هذه النتائج الموضحة في الجدول نلاحظ أن مقاومة الضغط لخرسانة الألياف المعدنية أكثر من مقاومة الضغط في الخرسانة العادية (الشاهد).

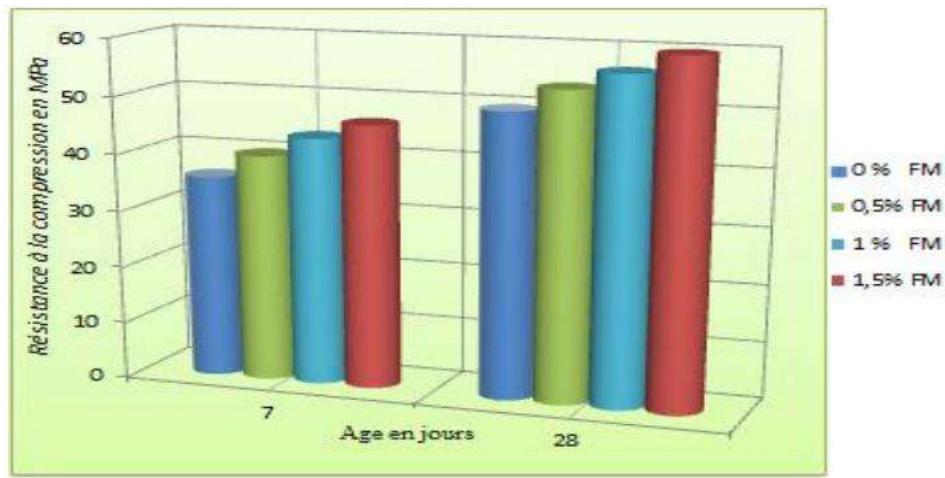


الشكل 7.I سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط بدلالة الحجم ونوع الألياف [11]

- ومن جهة أخرى، أثبتت دراسات موازية متعلقة بالخرسانة العادية وخرسانة الألياف المعدنية أن هناك زيادة طفيفة في الإجهادات العظمى للضغط بدلالة زيادة الألياف. حيث ذكر محمود إمام أن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط [6].

- وقد استنتج AIT TAHAR [69]، بعد القيام بدراسات تجريبية، أن مقاومة الضغط لا تتأثر كثيرا بوجود الألياف، حيث وجد أنه عند زيادة 1% من الألياف تزداد مقاومة الضغط بـ 21.7%، وعند زيادة حجم 2% فإن المقاومة تزداد بنسبة 39%، وعند زيادة 3% فإن المقاومة ازدادت بنسبة 52% مقارنة بالخرسانة العادية. وبالنسبة إلينا وفي استعمالاتنا الحالية، فإننا ننظر إلى هذه الزيادة بأنها معتبرة، حيث ارتفعت المقاومة عند زيادة نسبة 3% من الألياف إلى أكثر من النصف.

والشكل 8.I يوضح كيفية تأثير تركيز الألياف على مقاومة الضغط.



الشكل 8.I كيفية تأثير تركيز الألياف على مقاومة الضغط [41]

3.10.2.I سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الشد :

من بين مشاكل الخرسانة ضعفها تجاه مقاومة الشد، وهنا تلعب الألياف المعدنية دورها في التقوية والزيادة من هذه المقاومة حيث تقوم بلحم ولأم التشققات الكبيرة الناتجة عن الشد ولكن هذه التجربة صعبة التنفيذ نظرا لصعوبة تمرکز الحمولة لهذا يلاحظ عموما سلوك الخرسانة في الشد من خلال الانحناء [60]

- وتجدر الإشارة أن جل الباحثين يستعملون تجربة الشد غير المباشر (الشد بواسطة الانحناء).

أجمع العديد من الباحثين على أن سلوك خرسانة الألياف المعدنية والخرسانة العادية أثناء مرحلة ظهور التشققات الأولية الناجمة عن الشد أحادي المحور هو نفسه تقريبا.

4.10.2.I سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الانحناء :

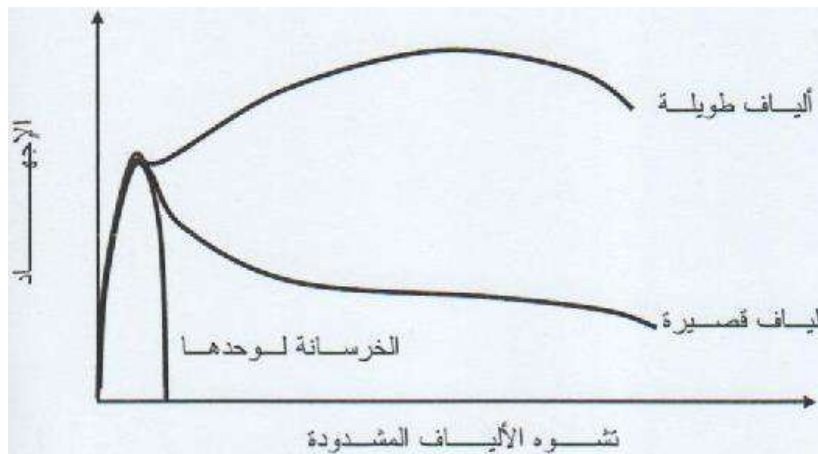
عموما يكون إدخال الألياف المعدنية على الخرسانة، بغية تحسين مقاومتها تجاه الشد (الشد بواسطة الانحناء) والتقليل من ظهور الشقوق، كما يعطي زيادة في المرونة [5]. وانطلاقا من هذا ظهرت العديد من الأبحاث التي

تثبت في مجملها إيجابية إدخال الألياف المعدنية في تحسين خصائص الخرسانة، ونذكر من بين هذه الدراسات ما يلي :

وجد الباحث [41] F. Setti ومن معه أنه عند زيادة نسب من الألياف الحديدية (0.5- 1.5 %) قد حسنت مقاومة الانحناء إلى أكثر من 40%.

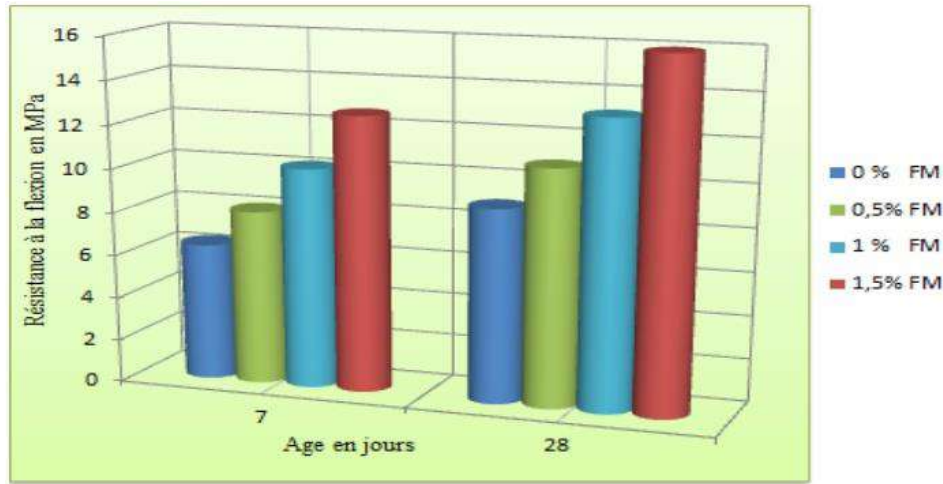
كما لاحظ أيضا BELFERRAG A [11+16] أن الزيادة في نسب الألياف الحديدية من شأنه الزيادة في مقاومة الانحناء.

ونقل [60] أن الباحث GRAM لاحظ أنه عند استعمال ألياف قصيرة من السيزال في النسيج الإسمنتي، في هذه الحالة ظهر تشوه كبير للمركب وعلى العكس استعمال نسبة 4% من نفس الألياف لكن في هذه المرة تكون طويلة سمحت له بملاحظة مقاومة انحناء جد عالية للمركب بالنسبة للنسيج الإسمنتي لوحده، وهذا مصحوب بتشققات وتشوه كبير عند الانهيار [60]. والشكل 9.I يوضح منحنى التشوه بدلالة الإجهاد للخرسانة لوحدها والخرسانة بمختلف أطوال الألياف.



الشكل 9. I. منحنى التشوه بدلالة الإجهاد للخرسانة لوحدها والخرسانة بمختلف أطوال الألياف [70].

- استنتج الباحث AIT-TAHAR [69] بعد القيام بالعديد من الدراسات التجريبية، بأن مقاومة الشد بواسطة الانحناء تزداد بزيادة نسبة الألياف المدخلة في التركيبة الخرسانية. وهذا ما لاحظته [41] حيث وجد النتائج المبينة في الشكل 10.I.



الشكل 10.I كيفية تأثير تركيز الألياف على مقاومة الانحناء [41]

- وقد ذكر ELIE ABSI [65] أنه بعد اطلاعه على عدة دراسات تمت على مستوى CEBTP، بأن هناك تحسنا معتبرا في خصائص التركيبة خاصة في معامل المرونة (المجال المرن)، بعد ظهور التشقق الأول عند إضافة الألياف. والجدول أدناه يوضح مقاومة الانحناء لخرسانة الألياف.

الجدول 17. I يوضح مقاومة الانحناء لخرسانة الألياف [6]

مقاومة الانحناء في 28 يوم (MPa)	المركبات				
	الألياف (% الحجم)	المحسن (% الإسمنت)	الماء /m ³	المعامل G/S	الإسمنت K/m ³
3.70	%0	%0	200	0.92	400
5.70 (+54%)	0.3% E2	1% مميح	200	0.92	400
5.30 (+43%)	0.3% E0	1% مميح	200	0.92	400
5.30 (+43%)	0.5% E0	1% مميح	200	0.92	400

E2: ألياف Eurosteel ذات رأسين.

E0: ألياف Eurosteel المموجة.

نلاحظ من خلال هذه النتائج أن هناك تحسنا في مقاومة الانحناء لخرسانة الألياف المعدنية مقارنة بالخرسانة العادية، وتمثل هذه النتائج مدى فعالية الألياف المعدنية في تحسين خصائص الخرسانة والتقليل من الهشاشة (Fragilité) وكذلك التحسين في المرونة.

وبعد عدة تجارب أجريت قام بها AIT-TAHAR استنتج ما يلي [69]:

- إضافة الألياف المعدنية الحديدية للتركيبية يسمح بزيادة القوى التي تولد التشقق الأول من 12.5 إلى 50% والتشقق داخل الكتلة 12.5%.
- لحظة التشقق تزداد بنسبة 20%.
- قيم مقاومة الشد بواسطة الانحناء ومعامل التشوه الطولي لخرسانة الألياف تزداد بمقدار كاف.
- مقاومة كبيرة في التشقق الأول، وتأخر في انتشار التشققات الأخرى. وتحسن مقاومة التحطيم الكلي مقارنة بالخرسانة العادية.

11.2.I الانكماش والزحف :

يعود أصل حدوث ظاهرتي الانكماش والزحف إلى عجينة الإسمنت، وتظهر هاتان الخاصيتان أكثر في الخرسانات التي تحتوي على تركيز للإسمنت يتراوح من 350 إلى 400 كلغ في المتر المكعب. حيث يمكن في هذا النوع من الخرسانة تقليص قيمة الانكماش أو الزحف بالتقليل من كمية عجينة الإسمنت، أي الزيادة في نسبة الحصى.

لكن في أيامنا هذه هناك تقنيات جديدة يمكن تطبيقها، ويتعلق الأمر بإدخال الألياف المعدنية في التركيبة، حيث يكمن لهذه الأخيرة أن تساهم إيجابياً في التقليل من ظاهرتي الزحف والانكماش.

1.11.2.I الانكماش :

تتعلق دراسة ظاهرة الانكماش في الخرسانة بدراسة وتحليل التشوهات التي تطرأ على هذه الأخيرة بدلالة الزمن فقط، أي دون تعرضها لقوى خارجية أخرى (الانكماش الحر). حيث يمكننا هنا التمييز بين نوعين من التشوهات: ذات أصل حراري وذات أصل هدروليكي [71].

ونذكر عموماً أن الانكماش (سواء كان قبل أو بعد التصلب النهائي) في الخرسانة المدعمة بالألياف يكون أقل منه في الخرسانة العادية. وفيما يلي سوف نقوم بذكر بعض العوامل التي تؤثر على الانكماش في الخرسانة المدعمة بالألياف.

أ- تأثير كمية الألياف على الانكماش:

جل الدراسات التي قام بها الباحثون تثبت في مجملها التأثير الإيجابي للألياف حيال هذه الظاهرة.

- ذكر جاهت حسين مرزا وفيصل فؤاد وفا [72]: أنه تم صب ثمانية عينات مستطيلة الشكل بأبعاد 30X600X900 مم وبمقاومة انضغاط تراوحت ما بين 23 إلى 84 MPa، وقد تم تبريد ماء خلط وركام بعض العينات إلى 10 درجات مئوية وقويت بعض العينات بألياف حديدية وبروبيلينية بنسب مختلفة ومن ثم مراقبة الانكماش للندن لهذه العينات عن طريق تسجيل كمية الفاقد من الماء ومعدل التبخر ورصد التشقق الناتج، وتم تدوين تلك النتائج في جدول أعدت مسبقاً لهذا الغرض. وقد اتضح من خلال الدراسة أن تبريد مكونات الخرسانة قبل الخلط إلى 10 درجات مئوية يؤدي إلى تأخر زمن حدوث التشقق الناتج عن الانكماش بمتوسط قدره 41 دقيقة، كما تبين أن إضافة الألياف سواء الحديدية أو البروبيلينية يؤدي إلى تقليل مساحات التشقق - الناتج عن الانكماش كما ذكر سابقاً - في بعض العينات واختفائها نهائياً من عينات أخرى حسب نسبة الألياف المضافة

ونوعها. وقد وجد أن تقوية بعض العينات بالألياف الحديدية بنسبة 1% من الحجم يؤدي إلى اختفاء التشققات في حالة الخرسانة عادية المقاومة (23- 40 MPa) وبنسبة 1.5% من الحجم في حالة الخرسانة عالية المقاومة (41 - 84 MPa) ومن ناحية أخرى نسب الألياف البروبيلينية المطلوبة لمنع التشققات هي 0.2%، 0.25%، 0.35%، 0.50%، 0% من الحجم للخرسانة ذات المقاومة 23، 40، 60، 84 MPa على التوالي [72].

- وجد الباحثان MANAGAT و AZARI [73] تراجعاً في نسبة الانكماش تقدر بـ 35% وذلك باستعمال كمية من الألياف الفولاذية التي تقدر بـ 3% بأطوال 22.5 ملم في خرسانة ذات التركيبة :
(E = 0.58، G = 1.2، S = 2.5، C=1)

وقد اقترح هذان الباحثان معادلة نظرية خاصة بالتشوه الناجم عن الانكماش، والتي تنص على ما يلي :

$$\varepsilon_{bf} = \varepsilon_{bc} (1 - 2.45 \mu V_f l / d) \dots \dots \dots (2.6)$$

ε_{bf} : التشوه الناجم عن الانكماش في خرسانة الألياف.

ε_{bc} : التشوه الناجم عن الانكماش في الخرسانة العادية.

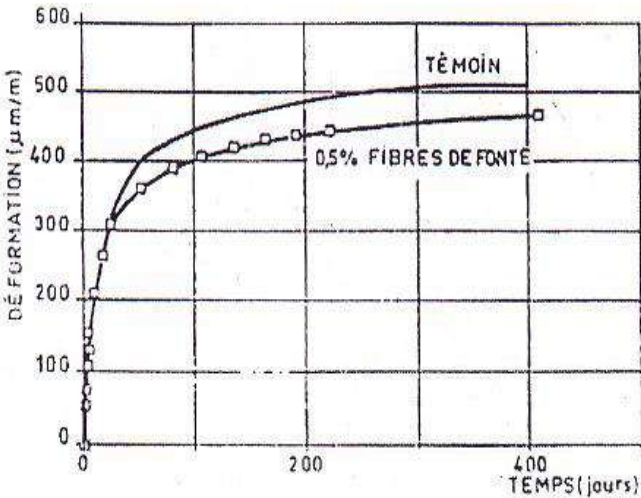
μ : معامل يمثل العلاقة بين الألياف والتركيبة، ويتعلق بنوع الألياف والمواد التي تدخل في التركيبة.

V_f : حجم الألياف.

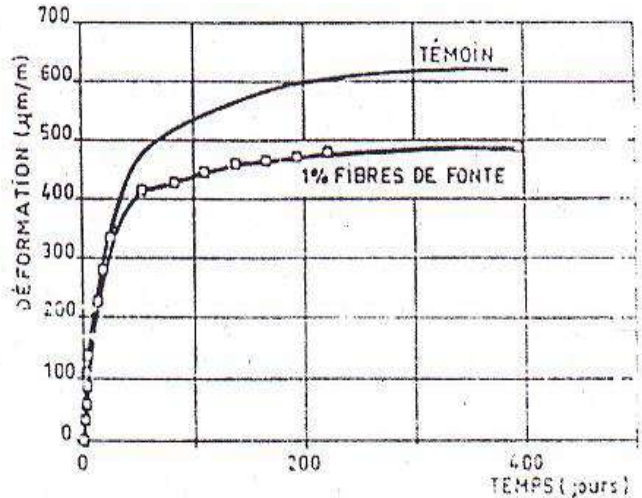
L و d : طول وقطر الليف على الترتيب.

- ومن جهة أخرى كشف الباحث [61] SWAMY أن تواجد الألياف الفولاذية له تأثير خفيف على الانكماش الحر (انخفاض بنسبة 20%)، في حين لاحظ أن هناك تحسناً ملحوظاً في الانكماش المقتعل (Retrait empêché) يصل إلى نسبة 50%.

ومن بين التجارب الأخرى التي أنجزت، نذكر منها تلك التي أجريت على خرسانة الألياف المعدنية بحديد الصلب أو الزهر والتي بينت تأثير الألياف على الانكماش الجاف (الانكماش بعد التصلب)، والذي بدأ أقل من الانكماش في الخرسانة العادية ذات نفس التركيبة [16 + 11] والأشكال 11.I و 12.I توضح ذلك.



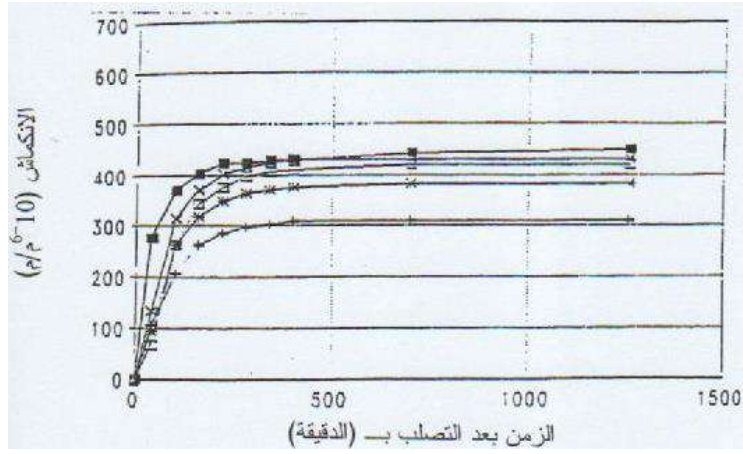
الشكل 12.I الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5%



الشكل 11.I الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1%

يتضح من خلال المنحنيات أعلاه أنه كلما زادت نسبة الألياف في الخرسانة كلما نقص الانكماش مقارنة بالخرسانة العادية من جهة ومقارنة بين منحني الخرسانة المدعمة بالألياف من جهة أخرى حيث أن منحني الخرسانة التي تحوي النسبة 0.5 % من الألياف كانت قيمة الانكماش فيه أكثر من منحني الخرسانة التي تحوي على 1% من هذه الأخيرة وهذا ما يثبت أن لكمية الألياف دخلا كبيرا في التقليل من ظاهرة الانكماش.

- قام السيد HOUGET VERONIQUE [74] بدراسة على ألياف البولي بروبيلان ذات الطول 19 ملم وذلك بكميات مختلفة من الألياف (500-900-1500-2000 غ/م³) والنتائج موضحة في الشكل 13.I [60]:

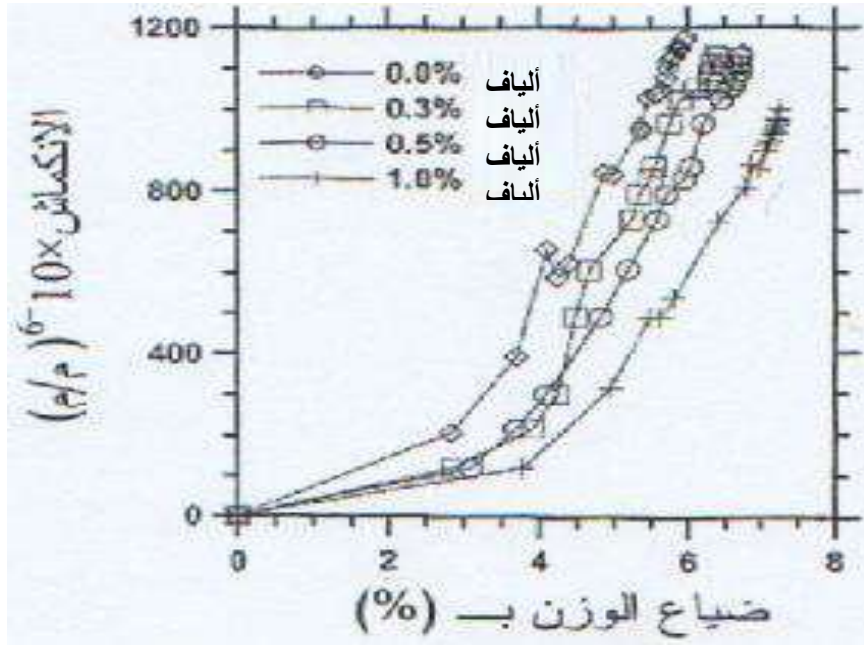


■ الخرسانة الشاهدة — 500 غ/م³ * 900 غ/م³ □ 1500 غ/م³ / 2000 غ/م³

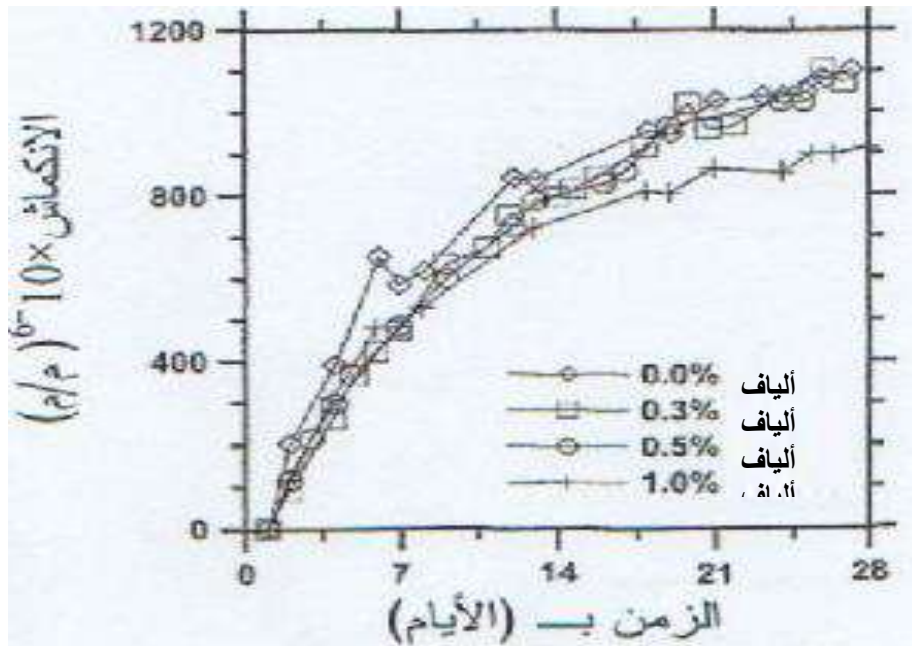
الشكل 13.I تأثير كمية الألياف على الانكماش [60]

لاحظ من خلال هذا المنحنى بأن عملية اختيار الكمية المثلى للألياف تلعب دورا مهما في التقليل من نسبة انكماش خرسانة الألياف مقارنة بانكماش الخرسانة الشاهد (العادية).

أما الباحثان W-JASON WEISS و BYOUNGGEON KIN [75] قاما بدراسة الانكماش على مونه من الإسمنت المعزز بألياف فولاذية طولها 13 ملم وكميات حجميه مختلفة (0%، 0.3%، 1%) فاستنتجا بأنه كلما زادت كمية الألياف قل الانكماش وكذلك بأن الانكماش له علاقة طردية مع نقص وزن العينات [60].



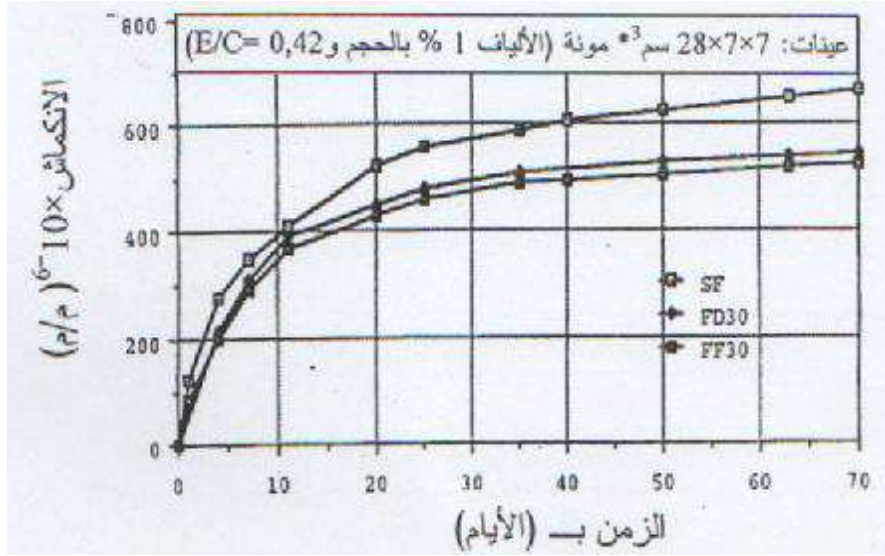
الشكل 14.I العلاقة بين الانكماش وضياع وزن العينة



الشكل 15.I العلاقة بين الانكماش كمية الألياف [60]

ب- تأثير طبيعة وطول الألياف :

نقل [60] أن التجارب التي قام بها الباحث حسن هوارى على عينات من المونه المعززة بألياف مختلفة الطبيعة وهي ألياف فولاذية وألياف من الحديد الزهر لهما طول 30 ملم والخرسانة لوحدها أظهرت أن الانكماش يتأثر بطبيعة الألياف كما هو موضح في الشكل 16.I [60] :



الشكل 16.I تأثير طبيعة الألياف على الانكماش [60]

وقد أثبتت التجارب التي قام بها BELFERRAG ALLAOUA [16 و 11 و 76] أن طول الليف له تأثير على الانكماش إذ وجد في نفس التركيبة الخرسانية وبنفس النسبة المئوية من الألياف أن الخرسانة التي تحتوي على الليف الطويل ذي الطول 6 سم الانكماش فيها كان أقل من الخرسانة التي تحتوي على نفس النسبة ولكن بطول 3 سم.

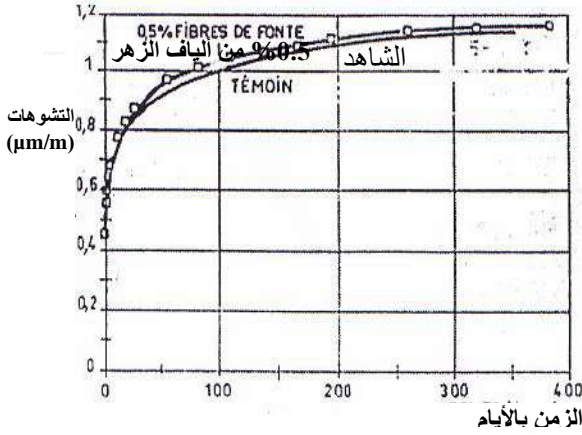
2.11.2.I الزحف :

تتعلق دراسة ظاهرة الزحف في الخرسانة بدراسة وتحليل التشوهات التي تطرأ على هذه الأخيرة عبر الزمن عندما تكون معرضة لقوى خارجية دائمة.

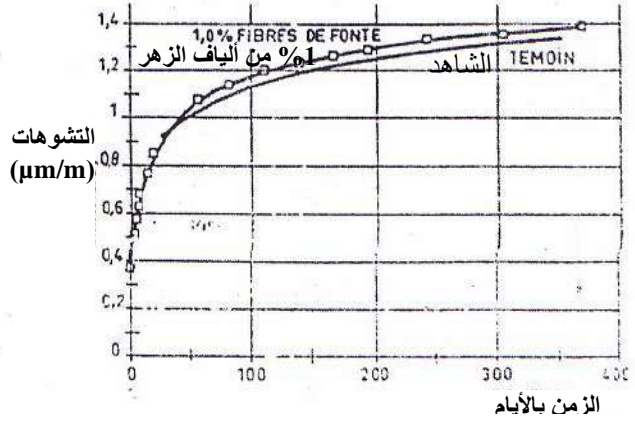
هناك عدة تجارب أجريت في هذا الصدد تثبت في مجملها أن الألياف المعدنية ليس لها تأثير كبير على الزحف مقارنة بالخرسانة العادية، ومن بين هذه التجارب نستطيع ذكر ما يلي :

- ما توصلت إليه الباحثة MALOU MALIKA [77] أن تأثير القوى المطبقة على عينات من الخرسانة أعطى نتائج مقبولة للزحف لبعض الألياف التي طولها 5 ملم. وأوعزت ذلك إلى دور الألياف في ضم الشقوق العلوية لعارضة طولها 120 cm. ولكنها تبقى قليلة مقارنة بفعل الألياف في مقاومة الانحناء.

- وأوضحت بعض التجارب التي أجريت على خرسانة مدعمة بالألياف المعدنية من الحديد الصلب بتركيز 0.5% و1% أن التشوهات المختلفة الناتجة من قوى الضغط بقيت متقاربة مقارنة بالخرسانة العادية، أي أن تواجد الألياف لم يكن له التأثير الكبير على الزحف [16 و 11].



الشكل 18.I مختلف تشوهات الضغط
لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة
0.5% [11]



الشكل 17.I مختلف تشوهات الضغط
لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة
1% [11]

12.2.I المقاومة ضد الحرائق :

إن الحاجة لهياكل ومنشآت لها سلوك إيجابي حيال الحرائق أضحت مطلباً أساسياً في أيامنا هذه، وذلك راجع للعدد الكبير من حوادث الحرائق التي حصلت والتي تسببت في كثير من الحالات إلى الانهيار الكلي للمنشآت مخافة بذلك أضراراً بشرية ومادية كبيرة.

وتجدر الإشارة إلى أن عدد الأبحاث التي أجريت في خصوص مقاومة خرسانة الألياف للحرائق لا زال محتشماً، ولذلك لا نستطيع أن نطلق حكماً نهائياً في خصوص إيجابية أو سلبية الألياف المعدنية في مقاومة الخرسانة للحرائق.

لذلك فإن المشكل مازال مطروحاً خاصة في الأماكن والمقاطع التي بها تشققات. مع هذا فإن خرسانة الألياف المعدنية أظهرت نتائج مقبولة مقارنة مع أنواع أخرى من الخرسانة بألياف مختلفة.

الخلاصة :

يكمّن دور الألياف المضافة للخرسانة في مساعدتها على تحسين خصائصها الميكانيكية وخاصة مقاومة الانحناء. كما تلعب الألياف داخل الخرسانة دوراً مهماً وهو الحد من التشققات أو غلقها. هناك العديد من أنواع الألياف المستعملة في مجال البناء وهي مقسمة إلى قسمين كبيرين: طبيعية (كالنباتية والحيوانية) وصناعية (كالمعدنية والكاربونية).

- تختلف خصائصها حسب المصدر من ناحية وحسب الحاجة إليها من ناحية أخرى .
- تتواجد الألياف بأشكال هندسية مختلف فمنها المتموج ومنها ذو العكفات وأخرى بشكل ابري وأخرى بشكل صفحي .
- منها الطويل والقصير ومنها ذو السمك المعبر عنه بالماكروماتر ومنها ما يقاس بالسنتيمتر .
- عموماً الألياف النباتية تحسن من الخصائص الميكانيكية للخرسانة على المدى القصير ولكنها تعاني من مشكل الديمومة .

- يختلف تأثير الألياف على خصائص الخرسانة حسب مادة صنع هذه الألياف فمنها المقاوم للأحماض ومنها المقاوم للقواعد... الخ .
- من خلال هذا الفصل أيضا نستطيع أن نستخلص ما يلي :
- 1- أن استعمال خرسانة الرمل و الخرسانة المدعمة بالألياف المعدنية في مجال الإنشاء قديم جدا.
 - 2- أن النسبة G/S والنسبة E/C لهما تأثير كبير ومباشر على خصائص الخرسانة.
 - 3- خرسانة الرمل لها مزايا تؤهلها أن تكون بديلا ممتازا للخرسانة العادية.
 - 4- صياغة خرسانة الألياف المعدنية تتأثر بالشكل الهندسي للألياف وتركيزها وكذلك التدرج الحبيبي للخليط.
 - 5- الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف المعدنية تتأثر بالشكل الهندسي للألياف وتركيزها.
 - 6- انكماش وزحف خرسانة الألياف المعدنية يتأثر بتركيز الألياف حيث كلما زادت كمية الألياف نقص الانكماش والزحف.

**الفصل الثاني: ديمومة خرسانة الرمل
وخرسانة الألياف المعدنية وأوساط
الحفظ**

الفصل الثاني: ديمومة خرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية وأوساط الحفظ

1. II 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 لآخر 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. II تعريف الديمومة:

الديمومة هي تحمل الخرسانة للظروف التي صُممت من أجلها [6] 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 والكربونية والتأثيرات الكيميائية الخارجية عند وجود الأيونات العدوانية مثل الكلوريدات، الكبريتات وغاز الكربونيك والعديد من الغازات والسوائل ذات الأصل الطبيعي أو الصناعي. [78]

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 [79] والمراجع FD P18-011 [50]. 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.

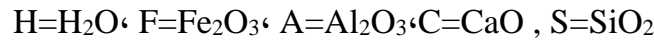
3. II تصلب الخرسانة - إماهة الإسمنت -

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 تخاط 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 كيمأوي الإسمنت حيث يرمز لكل أكسيد بحرف واحد:



الجدول 1.II المركبات الرئيسية للإسمنت البورتلاندي [69]

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 2.II المركبات الكيميائية للإسمنت البورتلاندي [69]

أسماء العناصر	الصيغة الكيميائية	النسبة المئوية التقريبية %
السيليكات	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

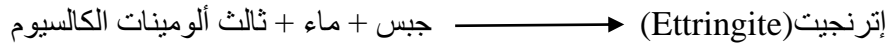
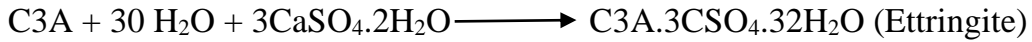
- هنالك نوعان من تفاعل مركبات الإسمنت مع الماء، الأول والذي يعتبر التفاعل الحقيقي لعملية الإماهة وهو الإضافة المباشرة لجزيئات الماء إلى الإسمنت والثاني هو التحمل بالماء.

- 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

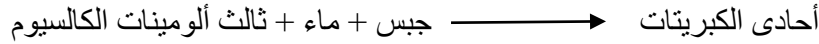
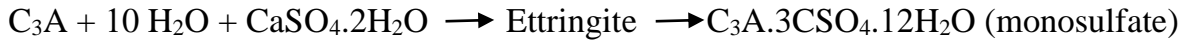
ألومينات حديد رباعي الكالسيوم (C₄AF) تبدأ بالتفاعل مع الماء أولاً حيث تؤثر على مسلك التفاعلات الكيميائية في الأوقات المبكرة من عملية الإماهة وأن التفاعل يستمر بوجود الماء، أما السيليكات فإنها تؤثر على التفاعلات الكيميائية في المرحلة التالية.

- سيليكات 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 سيليكات الكالسيوم المتميئة. إن سيليكات الكالسيوم تشكل حوالي 75% من وزن الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي لذا فإنها تشكل الجزء الأعظم من عجينة الإسمنت في أي مرحلة من مراحل عملية الإماهة.

II.3.1 إماهة ألومينات ثلاثي الكالسيوم C₃A:

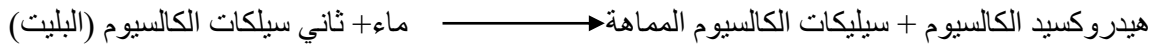
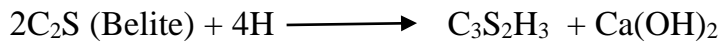
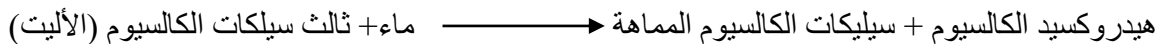
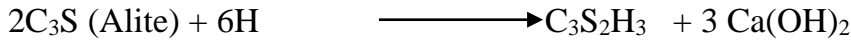


يترسب الترنجيت ويكون مركب غير مستقر ويتحول إلى كبريتات أحادية بالتدرج وهي المنتج النهائي لإماهة الإسمنت البورتلاندي.



II.3.2 - إماهة سيليكات الكالسيوم:

يعتبر المركبان C₂S و C₃S من المركبات الإسمنتية المسؤولة عن إعطاء المقاومة النهائية لهيكل عجينة الإسمنت. إن إماهة السيليكات تنحصر في تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم C₃S وثاني سيليكات الكالسيوم C₂S والتي تنتج مجموعة من هيدرات سيليكات الكالسيوم متشابهة في التكوين، ولكنها تتفاوت في نسبة الكالسيوم/السيليكا ومحتوى الماء المتحد كيميائياً. كذلك فإن تفاعل C₂S أبطأ من C₃S مما يجعل C₂S مسؤولاً عن المقاومة المتأخرة و C₃S مسؤولاً عن المقاومة المبكرة. يمكن توضيح عملية إماهة السيليكات بالمعادلات التالية:



3.3.II - إماهة مركب C_4AF

أما مركب C_4AF فهو مركب خامل نوعا ما وأكثر استقرارا 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 تآكل الإسمنت المتصلب

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

هذه المحاليل تصل عن طريق الامتناسخ بالخاصية الشعرية إلى الأسطح الحرة لعناصر الخرسانة، يتبخر الماء وتترسب 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 " [80].

II.4.1 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 آثارها المحتملة فيزيائيا، فإنها تحوي أيونات حمضية أو قاعدية وشواردها العدوانية قد تشكل خطرا على الخرسانة.

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

- الأوساط الحيوية - بيولوجية -: إن التخمر البكتيري سواء كان هوائيا أو لا هوائيا وكذلك الفطريات من شأنها أن تؤدي إلى تكوين أحماض قد تتفاعل سلبا مع الخرسانة كما قدمنا سابقا. [80]

II.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. [42]

- 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. [80]

II.4.3 آلية التفاعل بين العناصر الضارة والخرسانة:

- الانحلال: إن التحلل الجزئي 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 تدهور الخرسانة:

II.5.1 - 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 H_2CO_3 وفقا للعلاقة التالية [81]:



1.1.5.II آلية انهيار الخرسانة بفعل الكربنة:

تمر عملية الكربنة بمراحل عديدة من أهمها [82]:

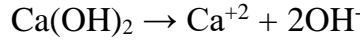
- 1- وجود CO_2 في الوسط المحيط بالخرسانة.
- 2- دخول CO_2 خلال كتلة الخرسانة ذات المسامات المملوءة بالهواء حيث أن أبعادها عادة ما تكون $10NM <$ أما أبعاد ذرات ثاني أكسيد الكربون $CO_2 = 0.23NM$ ، حيث أن $(1N = 10^{-9} m)$.
- 3- تحول CO_2 من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة (بوجود الرطوبة) في فراغات الخرسانة .
- 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.



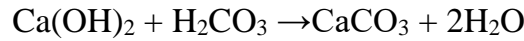
في هذه الحالة يكون H_2CO_3 في حالة توازن مع الكربونات CO_3^{2-}

- 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 ماءات الكالسيوم $Ca(OH)_2$ في الفراغات المملوءة بالسوائل كما يلي:

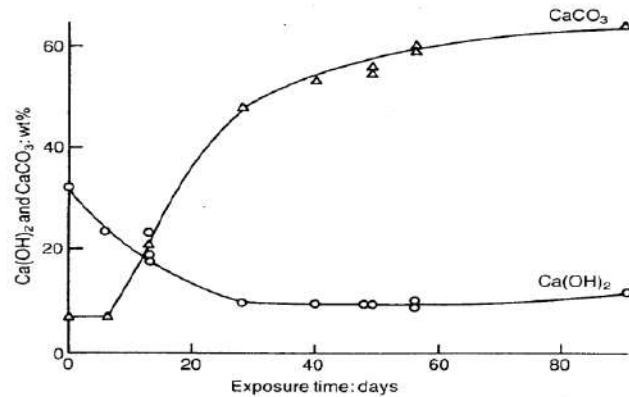


- 5- تتفاعل $Ca(OH)_2$ مع حمض الكربونات H_2CO_3 وتتشكل كربونات الكالسيوم كما يلي [82]:



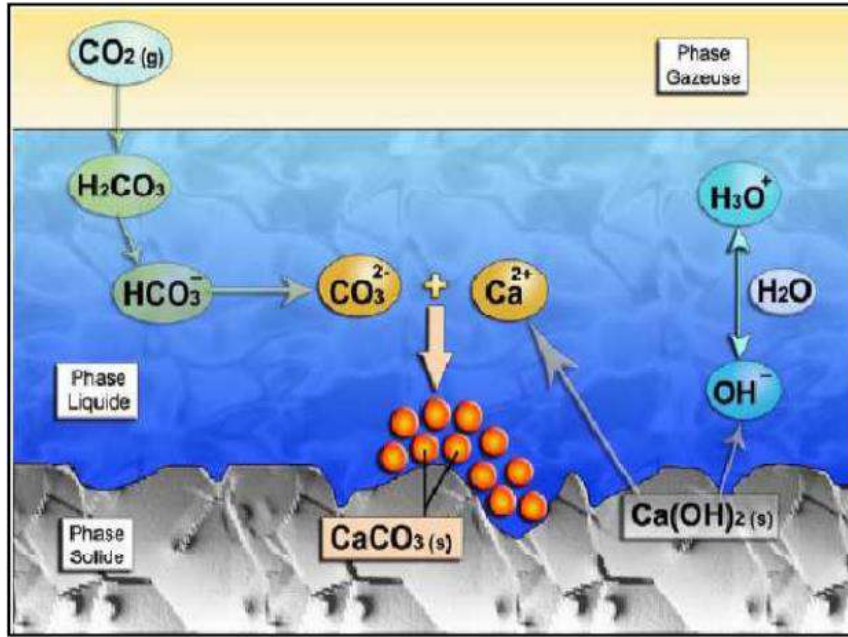
PH=12.6

PH<9



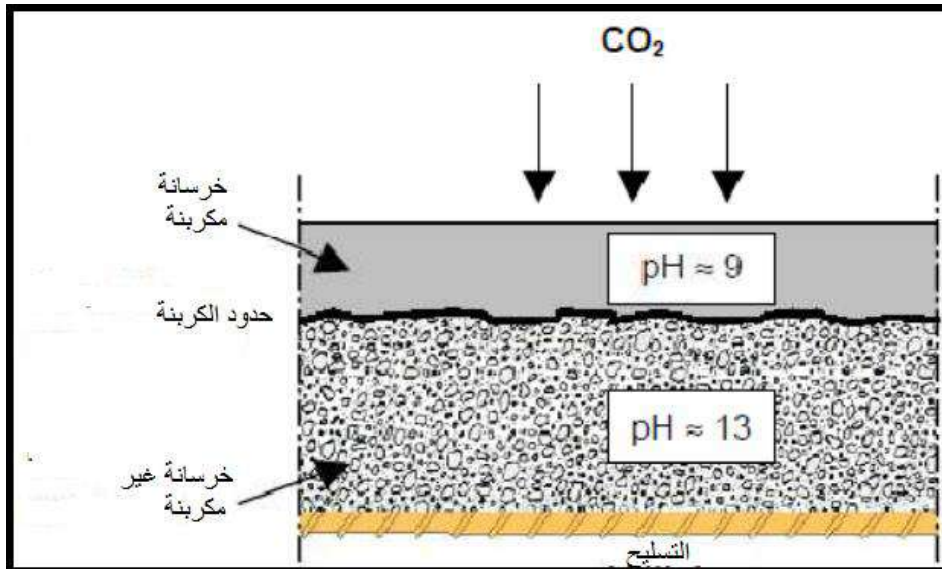
شكل 1.II التغيرات الحاصلة في كميات البورتلانديت وكربونات الكالسيوم أثناء التفاعل [83]

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



الشكل 2.II يوضح آلية كربنة الإسمنت البورتلاندي [81]

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.



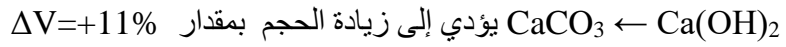
الشكل 3.II يوضح نموذج للخرسانة اثناء الكربنة [81]

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 و سلبي في الخرسانة المسلحة. [82]

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 تركيبة 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 (CO_2 ، SO_2) والرطوبة يتحول الوسط المحيط إلى وسط حامضي وتبدأ عملية أكسدة

حديد التسليح. [84]

- الكربنة يمكن أن تعبر عن الشيوخوخة 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.

II.2.1.5 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، [83]. حيث نميز ثلاث مناطق متباينة على النحو التالي:

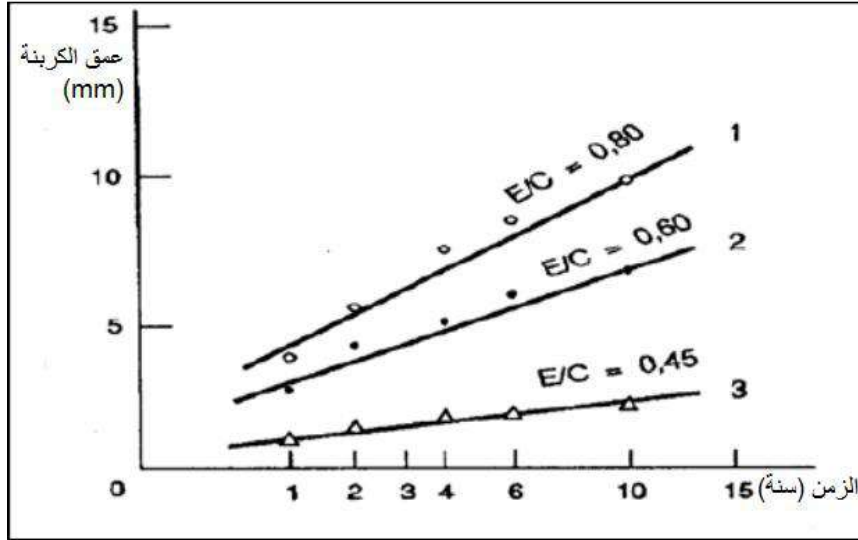
- 1- منطقة قد تمت كربنتها تماما حيث غابت كل مركبات الإسمنت.
- 2- منطقة مختلطة حيث تزداد نواتج الكربنة وتقل نواتج إمارة الإسمنت.
- 3- منطقة سليمة لم تتعرض لعملية الكربنة فكل مركباتها هي مركبات إمارة الإسمنت [83].

ملاحظة: نستطيع اكتشاف مقدار الكربنة بالكشف بمحلول الفينول فتالين، 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.

II.3.1.5 العناصر المؤثرة في الكربنة:

عملية كربنة الخرسانة تتأثر بعوامل عديدة من أهمها:

- 1- تركيز CO₂ والمواد الضارة في الوسط المحيط: بشكل عام يكون تركيز CO₂ في الوسط المحيط في حدود 0,03% من حجم الهواء وبالتالي 600mr\m³ 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 CO₂ 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 II.4.



الشكل 4.II تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت E/C على عمق طبقة الكربنة خلال الزمن [81]

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 البطينة المتصلب. [84]

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 $\varphi=100\%$

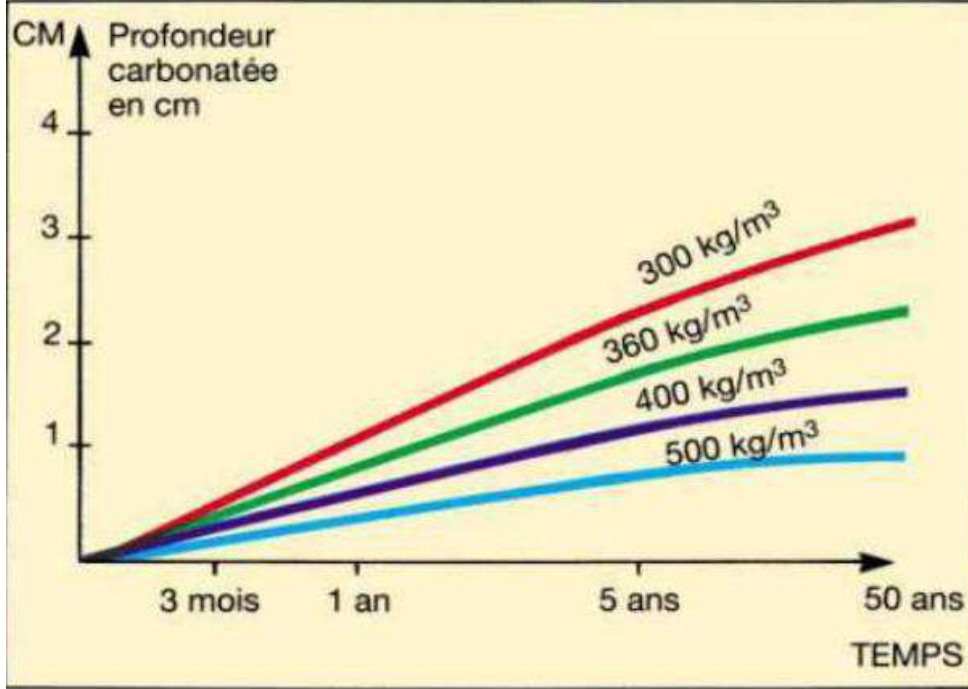
- إن جزيئات الماء H_2O المتشكلة نتيجة الكربنة تتبخر بسرعة عالية، لذلك فإنها لا تؤثر على عملية الكربنة.

- 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 والمنحنى يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت على عمق الكربنة.



الشكل 5.II يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت على عمق الكربنة بدلالة الزمن [81].

2.5.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. [84]

1.2.5.II آلية تدهور الخرسانة بفعل الكلوريدات:

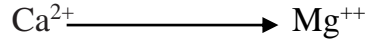
عموما نستطيع أن نتحدث عن آليتين لتدهور الخرسانة بفعل الكلوريدات:

1- الانهيار بواسطة تبادل الشوارد:

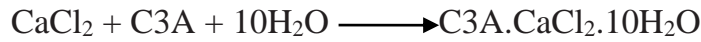
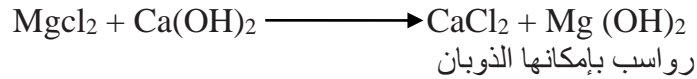
عندما تدخل شوارد الكلوريدات في الخرسانة تحت تأثير تدرج التركيز، تأخذ في الانتشار داخل الجسم الخرساني يعبر عن هذا الانتشار بمصطلح " معامل انتشار أيونات الكلوريدات" وهو مقدار أساسي لديمومة الخرسانة. [43] حيث تمر هذه الآلية بالمراحل التالية:

1- تتحد معظم أملاح الكلوريدات مع ماءات الكالسيوم Ca(OH)_2 الموجود في الإسمنت البورتلاندى لتكون كلوريد الكالسيوم CaCl_2 القابل للذوبان وبالتالي يتسرب إلى خارج الخرسانة مكوناً مترسبات بيضاء على السطح مع حدوث فراغات بالخرسانة. وتكوّن كلوريد الكالسيوم بدرجة تركيز عالية يؤدي إلى التلف الشديد لسطح الخرسانة [6]:

مثال حالة كلوريد المغنزيوم:



استبدال

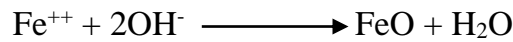


2- المركب الناتج غير مستقر في وجود الكبريتات ويعطي المادة الترنجيتية $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$. التي تعتبر تآكلاً في الخرسانة عندها تصبح ايونات الكلوريدات بإمكانها الاتصال المباشر أو شبه المباشر بالحديد فتهاجمه وتسبب تآكله ببطء شديد.

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

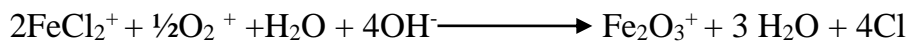
4 - فيتخلل ايون الكلوريد بين أجزاء الحصىات ويؤثر سلباً على مكوناتها.

4- كما أن الحديد المنحل يتآكل عند اتحاد شحنة موجبة أثناء الانحلال الأيوني متزامناً مع وجود أيون سالب في وسط الخرسانة تاركة الأكسوجين، فعندما يزداد الأكسجين 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 سلباً بدرجة الحموضة PH من 12 – 14 عند ذلك تنشط ايونات الكلوريدات فتهاجم الحديد من خلال أكاسيد الحديد ويتحول أيون الحديد في وجود الكلوريدات إلى حالة معقدة نظراً لاختلاف المؤثرات الخارجية والتي ينتج عنها الصدأ.

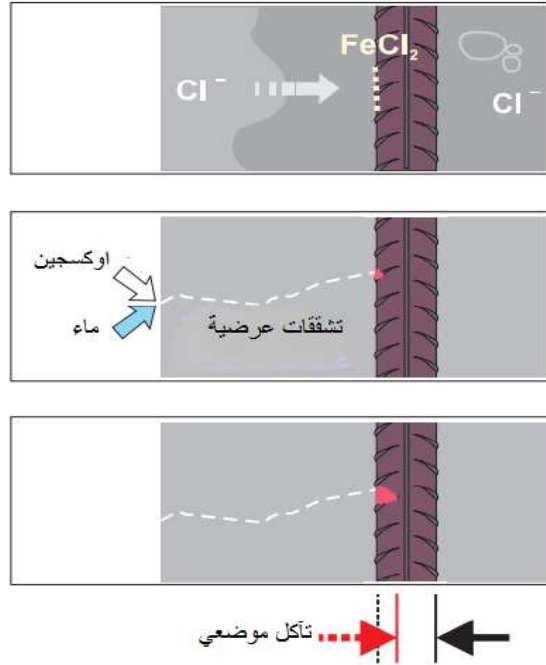
6- وينتج عن ذلك هيدروكسيد الحديد، الذي يتحول إلى انتفاخات خارجية في الحديد:



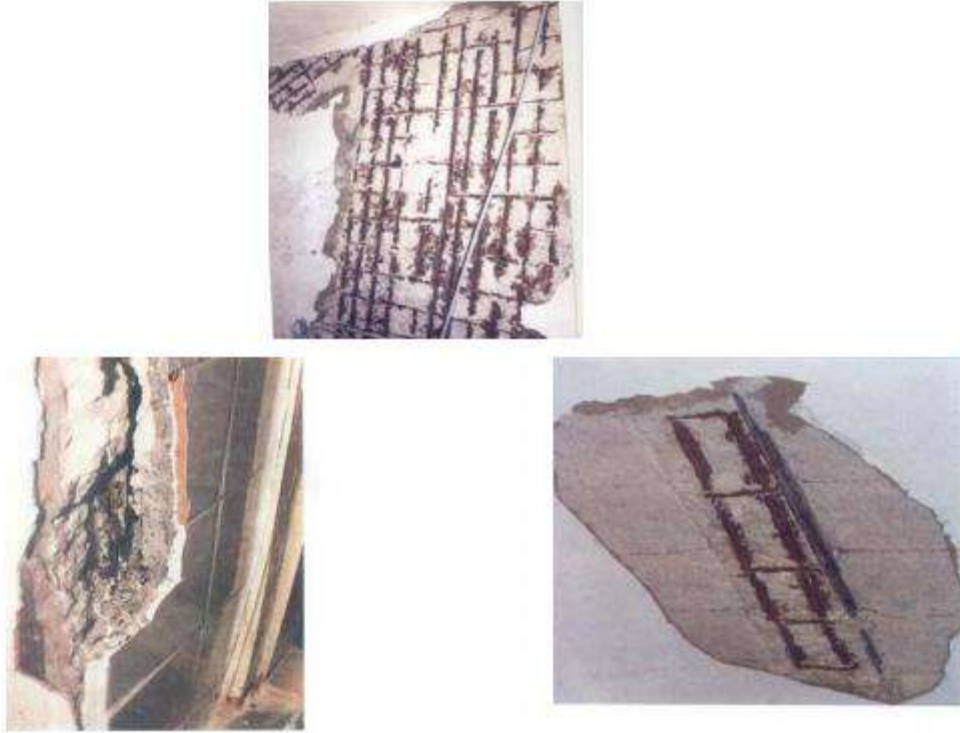
يؤثر هذا الناتج على كلوريد الحديد المتواجد على سطح الحديد الخارجي مسببا تآكلا موضعيا يزداد بزيادة درجة الحموضة PH بنسبه عالية فتتكون نتوءات وبثور بنية اللون تسمى الصدأ وهو التآكل أو الانهيار السائد. [84]
العتبة الحرجة:

العتبة الحرجة تمثل اللحظة التي تكون فيها النسبة $[Cl^-]/[OH^-]$ 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. [85]

إن التغيير الطفيف لـ PH يحدث تغييرا كبيرا في تركيز OH^- (بالتالي في التركيز الحرج للكلور). في الخرسانة المركبة (ذات PH أقل من 9) حتى ولو كان التركيز ضعيفا بالكلوريد يمكن حدوث بداية تآكل. [86]



الشكل 6.II شكل التآكل بفعل لكلوريدات [87]



الشكل 7.II تآكل حديد التسليح في الخرسانة [84]

2 الانهيار بواسطة تآكل السطح:

ظاهرة تدهور وتآكل سطح الخرسانة ترجع إلى التكرار المتوالي لظاهرة التجمد /ذوبان 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 - ويضعف من تدهور السطح.
- الضغط الإسموزي الناشئ من الاختلافات في تراكيزات 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.2.5.2 انتقال الكلوريدات:

باختلاف الأوساط المحيطة بالخرسانة تختلف أشكال التحولات الكيميائية:

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

- بالنسبة للمنشآت المغمورة وتعرض 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 المتأكلة "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 العوامل المؤثر في عملية التآكل:

1- النسبة E/C

نسبة (الماء إلى الإسمنت E/C) [82] (- 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 [6]

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 يجعل 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. [6]

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 CI- مرتفعاً) 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 عينة الإسمنت مما يؤدي إلى اتصال الفجوات الداخلية وزيادة النفاذية [6]

* حرارة الجو: وكذلك حرارة الجو قد تؤدي لتبخر كميات من الماء المقطرة 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.3.5.3.5 فعل السيلفات " الكبريتات ":

ان هجوم الكبريتات معقد جدا لان مصدر الكبريتات يمكن أن يكون خارجياً أو داخلياً ويمكن أن يكون كيميائي في الطبيعة بسبب تغيير منتج الهدرجة، أو فيزيائياً بسبب حالة التغيير في محلول الكبريتات النافذ [88]، 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 [6 و 88]. 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 عينة 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 وسلفو 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 عينة الإسمنت المتصلبة. [89] من شأنها تكوين بعض التشققات نتيجة زيادة الحجم ويظهر لون ابيض على سطح الخرسانة [90+91].

II.3.5.1.3.5 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 $2\text{H}_2\text{O}$ و CaSO_4

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. [82]

توجد ثلاث ميكانيزمات لتشكيل حمض الكبريتات من SO_2 :

التأكسد تحت تأثير O_3 و H_2O_2 .

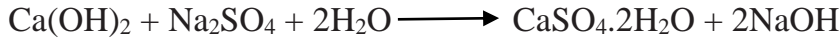
التأكسد تحت تأثير O_2 وبوجود Fe, Mn.

التأكسد تحت تأثير O_2 وبالعلاقة مع درجة PH للسائل.

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

حالة كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 :

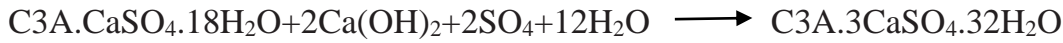
1- المرحلة الأولى من التفاعل:



2- المرحلة الثانية من التفاعل: [50]

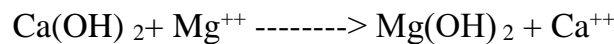
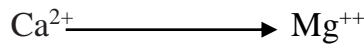
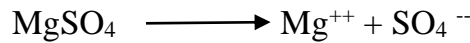


3- المرحلة الثالثة من التفاعل: [50]

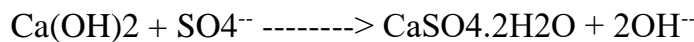


حالة كبريتات المغنيزيوم MgSO_4 :

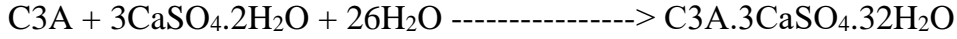
تعتبر كبريتات المغنيزيوم من أخطر أنواع الكبريتات لأنها يحتوي على شاردة مزدوجة Mg^{2+} والتي يقع تبادل بينها وبين شاردة الكالسيوم Ca^{2+}



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

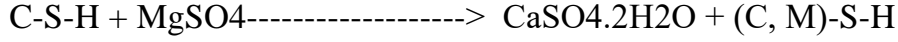


شوارد + الجبس - زيادة في الحجم- >----- شوارد الكبريتات + هيدروكسيد الكالسيوم - مادة صلبة-



(تمدد وزيادة في الحجم)

ومن جهة اخرى:



(مركب ذو تماسك ضعيف)

عندما يتم استهلاك كل البورتلانديت المتمثل في هيدروكسيد الكالسيوم لتشكيل الجبس وكبريتات المغنيزيوم، إذن المركب الإسمنتي C-S-H يتحلل وفقا للتفاعل:: [92] ،



* إذن تبادل Mg^{2+} مع Ca^{2+} يؤدي إلى:

1- تشكيل هيدروكسيد المغنيزيوم $Mg(OH)_2$ والذي من شأنه أن يبطن مؤقتاً اختراق الكبريتات.

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

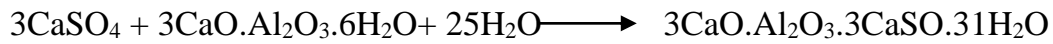
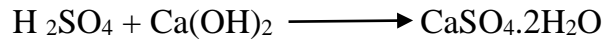
3- تبلور الاترنجيت ettringite غير المستقر في وجود سلفات المغنيزيوم.

4- تفاعل تشكيل الجبس [93]

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

6- أظهرت بعض الدراسات [94] أن حفظ الخرسانة شهرين في محل $MgSO_4$ له تأثير كبير على متانتها ويقلل من مقاومتها الميكانيكية.

حالة حمض الكبريت: [95]



إن وجود أملاح الكبريتات بنسب عالية يؤثر سلبا 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 وبنسبة أقل من % 3.5 وبالتالي التقليل من الحاجة

لمادة الجبس التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة مادة Ettringite، ومادة الجبس هي المسؤولة عن تكوين الكبريتات.

إن التأثير الضار للكبريتات الداخلية يظهر في الأعمار المبكرة ابتداء 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) [89]

II.3.5.2.3.5. حياضية الخرسانة عند تأثير SO_2 :

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

* وفي حال حدوث الحياضية، 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 الحياضية بالمقارنة مع CO_2 قليل نسبياً وذلك لأن 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 الحياضية وتوقف جميع عمليات الكربنة وذلك في مراحل متقدمة، في حال كون الخرسانة كثيفة 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 (مساميته).

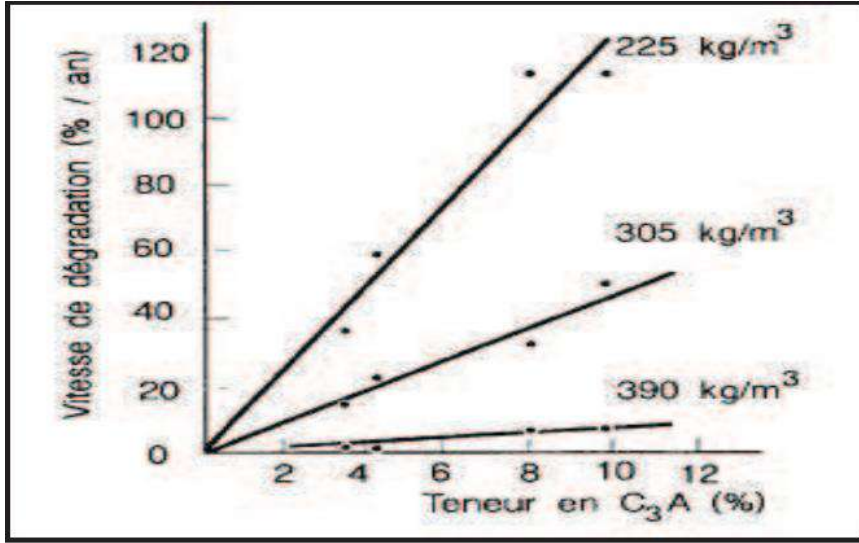
* أيضاً فإن نسبة الكبريتات تتعلق باتجاهات البناء ونسبة تعرضه للأمطار والهواء، حيث أن وجود الأمطار يؤدي إلى غسل الطبقة السطحية (وانحلال الجبس) وبالتالي تتشكل فراغات جديدة..... إلخ. أيضاً فإن الأمطار الحامضية التي تتشكل في الأجواء الملوثة بالغازات لها تأثير واضح على تشكيل الكبريتات وبشكل عام يمكن القول:

* غاز SO_2 لا يؤدي إلى أضرار كبيرة على الخرسانة بشكل عام. [6]

II.3.5.3.3.5. العوامل المؤثرة على فعل الكبريتات في الخرسانة:

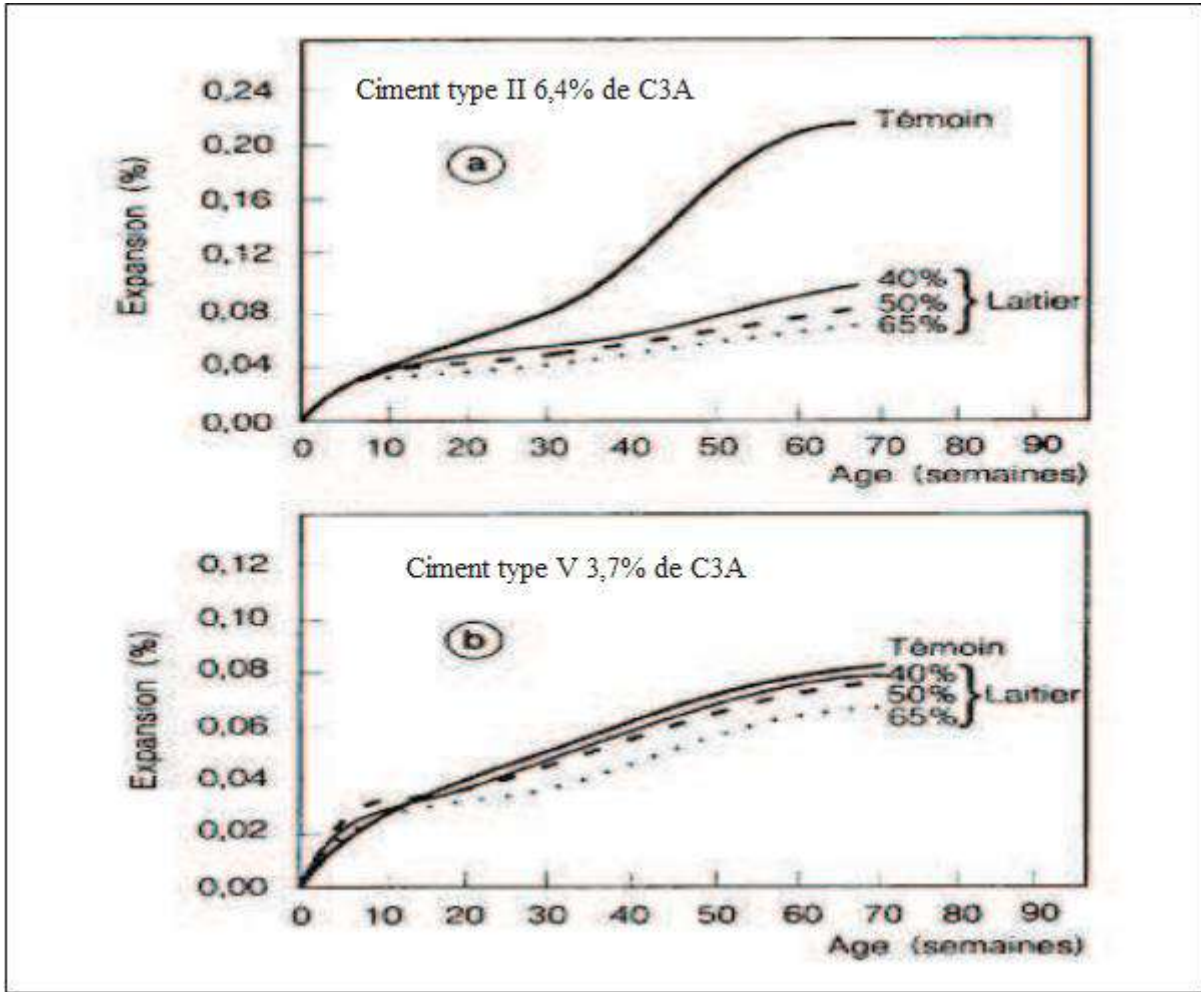
1 * تركيز الإسمنت كما رأينا فعله على الكربنة، فإن الخلطات الخرسانية ذات التركيز الأكبر من الإسمنت تكون أكثر كتامة من غيرها.

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



الشكل 8.II يوضح كيفية تأثير تركيز الإسمنت ونسبة C_3A فيه على نسبة تآكل الخرسانة. (خرسانة 16 سنة داخل محلول Na_2SO_4 ذي تركيز 10% [96])

*3 **فعل الإضافات:** أثبتت التجارب أن زيادة بعض المحسنات للإسمنت خاصة خبث الأفران فإنه يقلل من تآكل الخرسانة [96] وكذلك إضافة البوزولان فهي تقلل من الفعل الضار الكبريتات على الخرسانة. [43]



الشكل 9.II مقاومة الملاط بخبث الأفران لفعل الكلوريدات [97]

6.II انواع الترنجيت Ettringite: [98]

هناك ثلاثة أنواع من الترنجيت داخل الخرسانة هي:

1- الإترنجيت الأولي: Ettringite

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 الإترنجيت 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 $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (monosulfate).

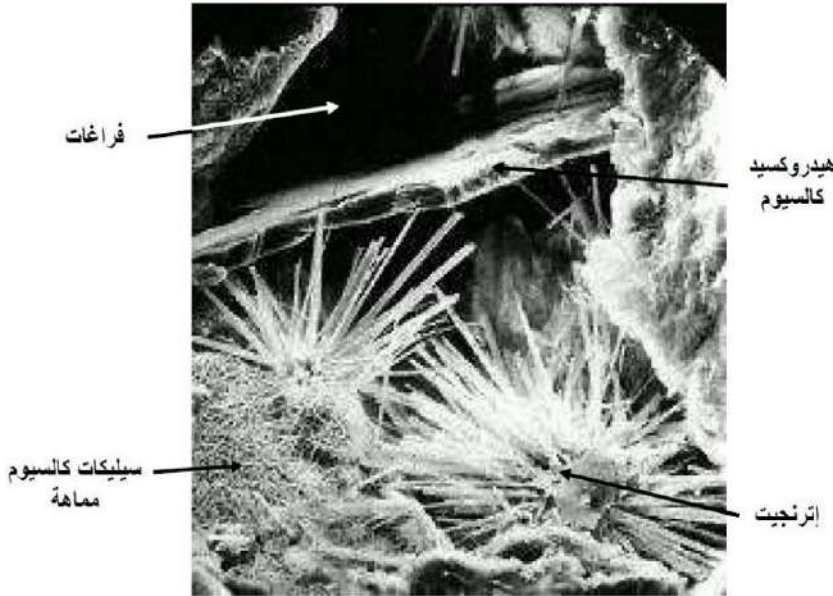
2- إترنجيت ثانوي:

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

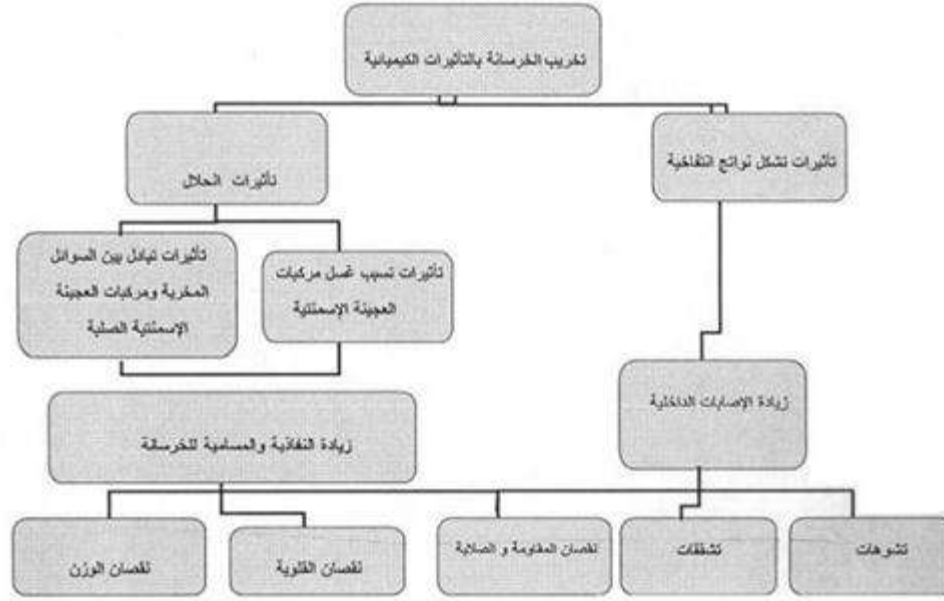
3- إترنجيت مؤجل:

يتشكل عندما تتصلب الخرسانة، وعند وجود الكبريتات الداخلية، من المحتمل أن يشكل حجما إضافيا له عواقبه غير المرغوب 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 الإترنجيت الأولي. ولتشكيل هذا النوع من الإترنجيت لا بد من تحقيق العديد من الشروط، سواء من حيث المكونات الخرسانية والتركيبة الإسمنتية، أو حرارة ورطوبة الوسط المحيط، وهو ما يفسر ندرته.

* صورة الكترونية للعجينة الإسمنت:



الصورة 1.II تمثيل البنية الداخلية لمركبات الإسمنت [99]



الشكل 10.II آلية التخریب الكيميائي في الخرسانة [67]

7.II 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

3- المخلفات الصناعية

3- أسباب انشائية [84]:

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 خصوصاً 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 المنشأ مثل تصميم الخلطات الخرسانية وعدم استعمال المعدات الصحيحة في خلط وصب ودك الخلطة الخرسانية وقلة كفاءة الشده الخشبية وإهمال اختبار الجودة للخرسانة وقلة كفاءة الشده الخشبية أو فكها قبل وصول مقاومة الخرسانة إلى مستوى مناسب وإهمال معالجة فواصل الصب أو إهمال الغطاء الخرساني المناسب حسب أجزاء المنشأ.

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 فيتسبب تآكل بدرجة عالية وعدم تماسك الغطاء الخرساني في المنشأ خاصة في الأساسات.

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

4 - اسباب أخرى تؤثر على معدل تلف الخرسانة [6]:

1- حركة المياه الجوفية.

2- درجة حرارة المياه الجوفية.

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

4- البخار خلال سطح الخرسانة.

5- التأكسد والكربنة.

6- أسباب بيولوجية.

8.II مقاومة الخرسانة للتلف

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

1- المقاومة للنفاذية والامتصاص.

2- المقاومة لصدأ الحديد.

3- المقاومة لتأثير الكيمائيات.

4- المقاومة لماء البحر ومياه المجاري.

5- المقاومة للعوامل الجوية.

6- المقاومة للحريق.

8- المقاومة للتآكل.

9.II المسامية والنفاذية والامتصاص:

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

أما النفاذية 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 نفاذية 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 نفاذية الخرسانة خاصية مطلوبة وهامة كمقاومتها للأحمال وأكثر. وكثيراً من الأبحاث أنجزت حول دراسة آثار التشققات التي تصيب الخرسانة على مدى نفاذيتها، مهما كانت أسباب ومصادر هذه التشققات، سواء كانت مصادر ميكانيكية أو حرارية، فإن كل هذه الدراسات دلت على أن وجود هذه التشققات يزيد من النفاذية.

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. [43]

إن التركيب الداخلي لعجينة الإسمنت يحتوى على مسام دقيقة نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تصاحب إماهة 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 فى شكل II.11. [6]

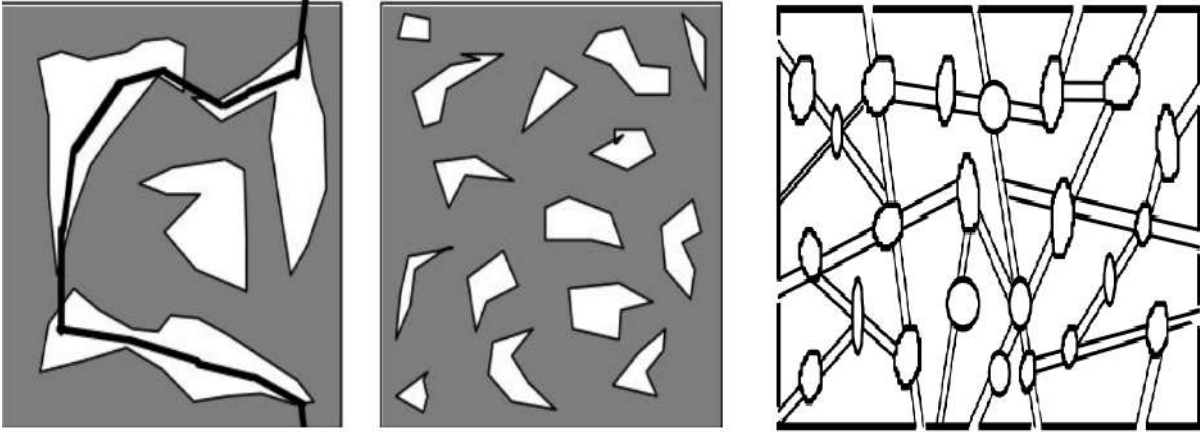
أنواع المسامية الداخلية

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 10×10^{-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 فى الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعرى 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 10×10^{-6} مم أى أنها وسط بين المسام الجيلاتينية والمسام الهوائية.



مسامية ضعيفة ونفاذية عالية

مسامية عالية ونفاذية شبه معدومة

مسامية عالية ونفاذية عالية

الشكل 11.II يوضح أشكال المسامية و أنواع النفاذية في الخرسانة [6+ 43]

10.II تآكل الحديد:

1.10.II 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. [100] 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 أوكسيد الحديد [101]

2.10.II - 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 وتتكسر مما يجعل التيار الكهربائي يسرى في الليف ومن ثم يبدأ الصدأ. [6] وفقد القاعدية يحدث نتيجة لعامل أو أكثر وقد سبق ذكرها.

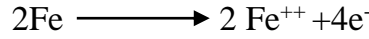
3.10.II آلية التآكل الحديدي:

تآكل الحديد هو عملية كهروكيميائية [102] 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

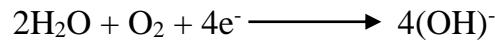
ويجب توفر الوسط الذي ينقل التيار الكهربى من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائي به أملاح ذائبة. وتحدث فى هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيميائية تمر بعدة مراحل أهمها [6]:

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.

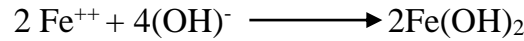
2- يتأكسد الحديد عند ملامسته للماء معطياً أيونات الحديد (Fe⁺⁺) حسب التفاعل:



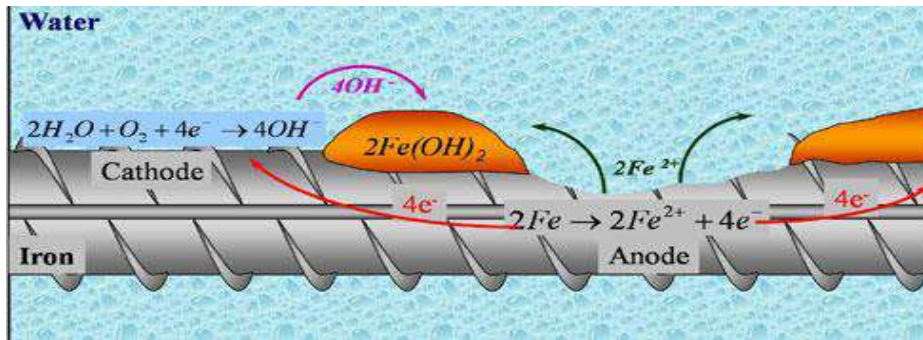
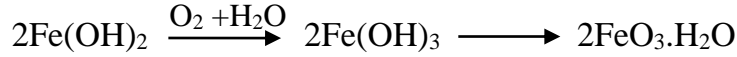
3- تنتقل الإلكترونات المتولدة من التفاعل السابق (4e⁻) حيث تتفاعل مع الأكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيد (OH⁻) حسب التفاعل:



4- عند تقابل نواتج التفاعلين -أيونات الحديد مع أيونات الهيدروكسيد- يترسب هيدروكسيد الحديد الثنائي وفقاً للتفاعل [103]:



5- يتأكسد هيدروكسيد الحديد الثنائي الناتج بفعل الأكسجين والماء إلى هيدروكسيد الحديد الثلاثي تفاعل ثانوى- الذى يتحلل مكوناً صدأ الحديد (أكسيد الحديد) طبقاً للتفاعل [103]:



الشكل 12.II يوضح آلية التآكل الحديد

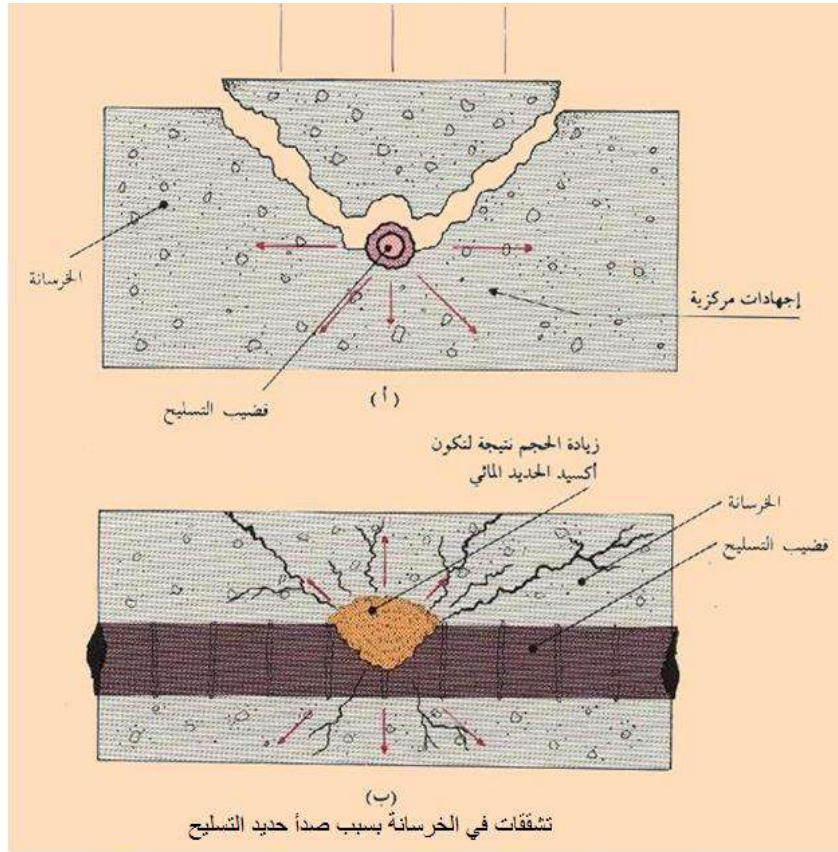
6- نتيجة أكسدة حديد التسليح تتشكل مواد جديد حجمها يزيد بمقدار 2-6 مرة عن حجم المواد الأساسية المكونة لها، مما يؤدي إلى تولد إجهادات شد في الخرسانة تزيد عن مقاومته مما يؤدي إلى تولد شقوق في طبقة التغطية، تكون عادة موازية لقضبان التسليح .

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 تسهل إزالته بالذوبان البطيء تاركاً سطح الحديد ليسمح بتكون صدأ جديد.

* يمكن عن طريق قياس التيار الكهربائي في 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 13.II يوضح آلية التشقق في الخرسانة بفعل صدأ التسليح [82]

1.3.10.II الحديد المغمور داخل مركبات إسمنتية جيدة:

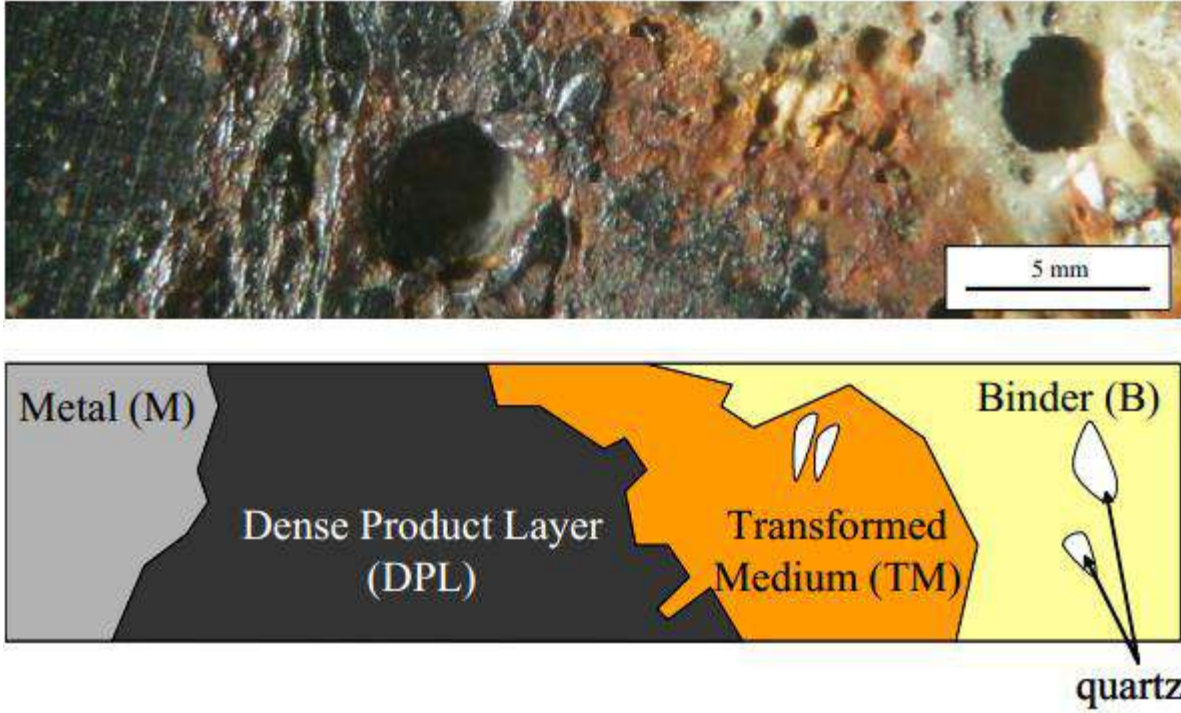
تقوم العجينة الإسمنتية بدور الواقي أو الحامي للحديد من التآكل وذلك راجع لأمرين:

1- تقوم العجينة الإسمنتية بتكوين طبقة قلبية كثيفة تمنع حدوث التآكل أو تجعل معدلات تآكله بطيئة جدا (أقل من $0.1 \mu\text{m}$ في السنة) [83]، 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 [6]، 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 - [83]، وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بالألياف التسليح هي سبب حماية هذه الألياف، وعملياً فإن هذه الحماية فعالة لمدة طويلة إلا إذا فقدت 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 نفرة صغيرة في السلك ثم تزداد هذه النفرة ويحدث اتحاد بينها وبين الأوكسجين الجوي مما يكوّن الصدأ العام. [101]

II.3.10.2.3 الحديد المغمور داخل مركبات إسمنتية متآكلة: [83]

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 سمكا من الصدأ حيث بلغت 0.75 mm . 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 الآثار 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 14.II يوضح مختلف الطبقات المحيطة بالتسليح داخل الخرسانة المنهارة [83]

11.II تجارب وتقنيات الديمومة:

يمكن أن نحصر تقنيات تجارب ديمومة الخرسانة في المشاهدات الضوئية *macroscopiques* والإلكترونية *microscopiques*. [50] وبعض التجارب الأخرى:

1.11.II - المشاهدات الضوئية *macroscopiques*: تتمثل في المشاهدة العينية بالعين المجردة وكذلك بالمجهر الضوئي، ومنها: مراقبة تغيرات اللون والحجم والشكل وغير ذلك.

2.11.II - المشاهدات الإلكترونية *microscopiques*:

* المجهر الإلكتروني MEB وEDS: وهو جهاز يكشف عن كيفية تواجد المواد داخل جسم الخرسانة وعن شكلها العام حيث يمكن أن نميز نوعها.

* المعالجة بأشعة X - DRX: حيث تكشف هذه الآلية عن التعرف على العناصر والمركبات الكيميائية المكونة لجسم المادة عن طريق منحنيات خاصة.

3.11.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. [104]

* 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.

II- 12 أنواع المياه في الواحات وظاهرة صعود المياه:

لاحظنا مما سبق مدى تأثير محيط الخرسانة على ديمومتها، وأن أخطر هذه التأثيرات 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 جسيمة 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 الكتبان المدروسة؟

II- 13 أنواع المياه الموجودة في الواحات:

نستطيع تقسيمها من حيث توажدها 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:

أ- مياه الصرف الصحي قبل المعالجة:

ب- مياه الصرف الصحي بعد التصفية .

ج- المياه الصاعدة.

II- 14- 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- التعريف بمشكل صعود المياه:

ينص أكثر المختصين على أن هذا المشكل يكمن في عدم التوازن بين حجم المياه المنتجة والمستعملة ومياه التصريف [105]. 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. [105] نعم هناك طريقتان لاستغلال المياه، إحداها تسمى النظام التقليدي والأخرى النظام الحديث.

II- 15-1 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 بصبيب محدود، لهذا بقي مستوى منسوب المياه ثابتا. ولم تظهر أي مشكل على السطح [105 و106].

II- 15-2 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. [106].

II- 16- 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 استحالت تجنبه، ابتداء من الأمطار الغزيرة لعام 1969 [107] ، 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. [106]

II- 17- مراحل مشكل صعود المياه: نلخص تاريخ المشكل في مرحلتين

II- 17-1 المرحلة الأولى: استغلال الماء انتقل إلى طبقة الميبوباليوسين (المركب النهائي) لأجل احتياجات مياه الشرب وسقي المساحات المزروعة بالخضر والنخيل [108]، التنقيب الأول المنجز بالوادي كان عام 1956 عمق الطبقة 500- 250 متر [107] صبيب التنقيب يصل بين 30-80لتر/ 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 [109] أما بعد 1970 فإنه في كل عام ينجز تنقيب جديد في الطبقة نفسها. والصرف بقي نفسه في نفس الطبقة وبنفس الكيفية.

II-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 صيبه مقدر ب 100 لتر/ثانية بدرجة حرارة مقدرة 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. [106]

II-18 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. نعم لقد حاول العديد من الباحثين الإجابة عن هذا التساؤل بحصر الأسباب في أمور منها:

II-18-1 الأسباب الطبيعية :

أ- تشبع الطبقة بواسطة مياه الأمطار :

تتحرك مياه الطبقة السطحية وسط عمق يصل إلى 25 متر في الجنوب، وبعض الأمطار 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 [107 و 106].

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 الصحية تطفو على السطح.

II-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 متطاوله تزيد عن 40 كلم طولاً تلاحمت فيها البلديات المتجاورة من قمار، تغزوت، 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. [106]

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 متوفرا 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 مجانيا 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 تتعدم 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 هدرا. وهذا ما زاد أيضا من تطور مشكلة صعود المياه.

II - 18 - 3 - أسباب زراعية:

من المعلوم أن ولاية الوادي أصبحت من الولايات التي تنصدر ولايات الوطن في المنتوج الفلاحي، إن ما يميز هذا المنتج كونه مسقيا 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 للنفاذية هذا ما زاد من حدة مشكلة صعود المياه. [106 و 107]

II - 19 - آثار مشكلة صعود المياه:

II - 19 - 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 كتبان ممزوجة بين الرمل والحجارة. وتوضع فوق هذه الكتبان مصدات للرياح من جريد النخيل وعصيه أيضا وهكذا حتى ارتفاع تلك الكتبان [110]، 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 [111]، أي بنسبة تقارب الثلث.



الصورة II.2 آثار ظاهرة صعود المياه على الجانب الزراعي [112]

II- 19 - 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 وبقع بيضاء عبارة عن أملاح، لقد لوحظ هذا على كلا النوعين من البناءات.

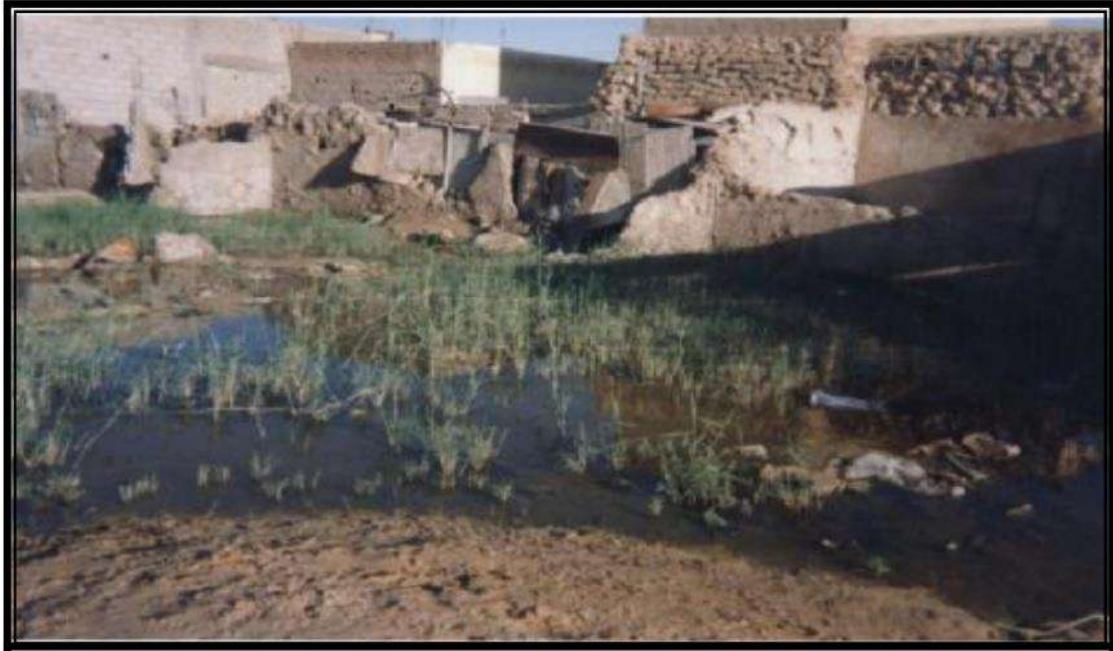
هذا ما يفسر تغلغل وصعود المياه للأجسام المبنية عبر الامتصاص بالخاصية الشعرية أو النفاذية نظرا لأن المواد الجبسية لا تتوفر على الكتامة اللازمة، كما أن الخرسانة التي قد بنيت بها المساكن الحديثة، تعاني من هذه الظاهرة أيضا، وهذا راجع إلى تفاعل العناصر الكيميائية الذائبة والمتحللة في الماء مع مكونات هذه التركيبة 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 [106 و107]، علاوة عن المباني الخرسانية، هذا الأمر الذي جعلنا ندرس مدى تأثير نوعية وتركيبه المياه الصاعدة على نوع خرسانة الرمل المدرسة.



الصورة II.3 توضح بعض مظاهر صعود المياه وتأثيرها على العمران



الصورة II.4 يوضح تدهور بعض المباني الجبسية نتيجة صعود المياه.

II- 19- 3 أثر مشكلة صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي

تعتبر الأمراض المنتقلة عن طريق المياه من الأسباب الرئيسية للإصابات والتي تستلزم التصريح الإجمالي، 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، الرقية، حيث تم التحكم فيها بعد التعرف على مصدر العدوى (الجرثوم المسبب) في بعض صوندات السقي بمنطقة هبة. إن الأمراض المنتقلة عن طريق المياه لازالت تشكل صعوبات للصحة العمومية بالرغم أنها في طريق الزوال وتتطلب عناية خاصة لمراقبتها ومكافحتها للقضاء عليها نهائيا باتخاذ كل الإجراءات الوقائية لتجنيد كل الوسائل المادية والبشرية المتواجدة للبرنامج المسطر للعينة الولاية للأمراض المنتقلة 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 نهائيا على هذه الأمراض شريطة أن يتجسد فعليا 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 .

- تزايد السكن غير اللائق. [106]



الصورة II.5 يوضح بعض أثر صعود المياه على الجانب الصحي والبيئي

II- 19- 4 الآثار على الجانب السياحي:

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 [113] الذي صنف من الآثار 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. [112]

II- 20 تحاليل المياه لشبكة الصرف الصحي:

II- 20 تحاليل المياه المساعدة [114]:

II - 21 تحاليل المياه الصاعدة:

الجدول II. 3. تحاليل المياه الصاعدة [114].

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	228.47	0.26	1418.12	1500.00	197.64	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	432.63	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	274.65	0.29	1425.21	1500.00	69.54	16.30	0.01	1.40	0.49	12620	57	2670	6440	4.0	3980	7.76
G37	561.12	170.14	0.16	850.87	2300.00	113.46	48.60	0.13	1.25	0.15	8580	93	2100	4130	2.5	2410	7.57
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	183.00	46.49	0.00	1.34	1.15	4020	150	2000	3770	2.3	2270	7.80
D05	725.45	291.66	0.02	406.00	1746.00	158.60	57.56	0.02	0.67	0.54	3940	130	3010	3750	2.2	2180	7.42
D09	625.25	167.70	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	131.20	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	104.51	0.15	1640.23	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	420.00	47.81	0.01	1.51	0.21	5060	103	1900	5110	3.1	3010	7.31
D37	440.88	267.36	0.00	863.00	1344.00	768.60	10.79	0.07	0.74	0.33	3700	63	2200	3690	2.2	2150	7.78
D38	773.54	92.36	0.08	1013.00	1006.00	1305.40	56.79	0.02	1.65	0.31	5420	107	2310	4390	2.5	2710	7.45
D39	641.28	99.65	0.06	366.32	869.00	402.60	49.15	0.02	1.49	0.49	4120	33	2010	3330	1.9	1915	7.70
D51	757.51	38.89	0.07	344.06	1907.00	101.26	97.19	2.84	1.44	1.93	5760	83	2050	4120	2.4	2350	7.57
D52	541.08	279.51	0.00	523.00	1055.00	512.40	18.70	0.01	1.57	0.89	3340	42	2500	4430	2.7	2710	7.65
D56	464.93	155.55	0.22	400.00	1703.00	109.80	85.96	0.12	1.34	1.05	3620	90	1800	3660	2.2	2140	7.50

الجدول II 3. 2. تعريف بمواقع المياه الصاعدة التي تم تحاليلها [114].

Propriétaire / Localisation	N° du Point	Propriétaire / Localisation	N° du
BELAID (TIKSIBTE)	G08	Ecole nouvelle Tiksept ouest	D09
GHARBI A. MADJID (KUININE)	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 Djab Alah	D38
APC BAYADA	G37	Ecole Mouhamed Serouti	D39
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 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 H_2SO_4 . 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 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 [49]

الجدول II.4 المواصفات اللازمة للماء المخصص لحفظ الخرسانة بعد صبها

العنصر	PH	cl-	So4--	Na2O	P2O5	NO3-	Pb2+	Zn2+	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 II. 5 خصائص الماء الطبيعي وتعريف درجة بعض العناصر الخطورة [115]

الخصائص	درجة الخطورة		
	faible - ضعيفة - -	élevé - عالية -	trés - عالية جدا - -élevé
PH	6.5-5.5	5.5-4.5	>4.5
CO2 (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 6.II خصائص التربة وتحديد درجة الخطورة [115]

الخصائص	درجة الخطورة	
	عالية - élevé -	ضعيفة - faible -
الحموضة -Acidité-	-	>20
Sulfate SO ₄ ²⁻ (mg/Kg)	>5000	2000-5000

جدول 7.II أنواع الإسمنت المستعمل حسب خطورة التربة والماء [115]

درجة الخطورة	تركيز السيلفات		نوع الاسمنت
	في التربة mg So ₄ ²⁻ /Kg	في الماء mg So ₄ ²⁻ /l	
مهملة - négligeable -	< 2000	< 200	CP ordinaire
ضعيفة - faible -	2000-5000	200-600	CPHS ciment pouzzolanique de haut-fourneau (35-85% laitier)
عالية - fort -	Plus de 5000	600-3000	CPHS ciment de haut-fourneau (Plus de 70% laitier)
عالية جدا - très fort -	-	Plus de 3000	Ciment permétallur - gique fouilloux

الخلاصة:

إن تحديد تركيبة خرسانية من شأنها أن تعطي مادة ذات خصائص ميكانيكية عالية، غير كاف لوحده لضمان ديمومة هذه المادة، إنما يجب مراعاة عدة أمور منها مدى متانتها ومقاومتها وكيفية تأقلمها مع محيطها الخارجي التي أنشئت فيه.

إن العناصر الكيميائية المتمثلة في الكلور CI والكبريتات SO والكربون C الموجودة في الوسط الخارجي يمكن أن تسبب خطر على خرسانة الألياف المعدنية من خلال تفاعلها مع النواتج الإسمنتية ومن ثم التفاعل مع الألياف المعدنية.

يعتبر هجوم وتفاعل هذه العناصر على أنواع الخرسانة نسبيا يختلف من جسم خرساني إلى آخر، وذلك راجع إلى عدة اعتبارات أهمها جودة هذه الخرسانة ومدى الاعتناء بها أثناء صنعها.

هناك العديد من أنواع التجارب التي يمكن من خلالها التدليل على ديمومة الخرسانة وبقائها.

توجد في مناطق الواحات في الصحراء الجزائرية عدة أنواع من المياه أهمها المياه الجوفية والمياه السطحية، هذان النوعان حين لم يجد الإنسان استعمالهما خلقا مشكلا من أهم المشاكل التي تعاني منها هذه المناطق، نعم إنها ظاهرة صعود المياه، ومن أهم أسباب هذه الظاهرة هي تلك الأسباب الطبيعية والزراعية والبشرية، ومن آثار

مشكلة صعود المياه تلك التأثيرات السلبية على الجانب الزراعي وعلى الجانب العمراني والبيئي وغيرها، عندها تعرفنا على طبيعة ومختلف العناصر المركبة لهذه الأنواع من المياه. ومن الملاحظ أن المياه السطحية الناتجة عن ظاهرة صعود المياه تحتوي على عدة مركبات تؤثر سلباً على ديمومة الخرسانة والإنشاءات.

**الفصل الثالث : خصائص المواد
المستعملة وصياغة خرسانة الرمل
بالألياف المعدنية**

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعملة وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

1.III مدخل:

كل أنواع الخرسانة الموجودة اليوم في العالم مكونة من عدة مواد أهمها الرمل والحصى والإسمنت والماء، مع بعض المحسنات ومدعمة في بعض الحالات بمجموعة من الإضافات مثل الألياف التي لها ديمومة جيدة. [116] ونظرا لعدم وجود صيغ عالمية موحدة، فإن خرسانة الرمل بالألياف هي محل أبحاث ودراسات يهدف مجملها إلى جعل هذه الأخيرة مادة صناعية عالمية.

2.III خصائص المواد المستعملة:

ارتأينا في هذه الدراسة استعمال رمل الكثبان الموجود بكثرة خاصة في الجنوب الجزائري وتحسين خصائصه بالرمل الطبيعي المتواجد والمتداول وهو في الغالب من رمل الوديان ونوعين من الإسمنت CEM II /A42.5 و CEM I 42.5(CRS) لمنطقة عين التوتة والألياف المعدنية المتواجدة في السوق وذلك من أجل الحصول على صيغة لتحسين رمل الكثبان وبأقل تكلفة.

3.III الرمل :

نحصل عليه نتيجة تفتت الصخور الطبيعية بفعل الرياح وجريان الماء كما يمكن أن نحصل عليه اصطناعيا بسحق خبث الأفران العالية ولتحضير الخرسانة يستعمل الرمل الطبيعي الكوارتز ورمل الكثبان واللذان يجب أن يكونا خاليين من المواد المتفاعلة مثل الأملاح والجبس [117] والأحماض والمواد القلوية وكذلك الشوائب العضارية والعضوية حيث يجب أن لا تزيد هذه النسبة عن 3% للرمل الطبيعي و 5% للرمل المنتج عن السحق، وهو معرف حسب المواصفات القياسية بالقواعد NFP18-301 ، (NFP18- 101) [118].

نستطيع تقسيم الرمل أيضا إلى نوعين هما ما يصطلح عليه "الرمل الطبيعية" و "رمل الكثبان". إن الرمال الصالحة للبناء نقصد بها كل الرمال المطابقة للمواصفات والقواعد المنصوص عليها مباشرة دون تصحيحات أو تعديلات تدخل عليها وعلى الخرسانة الناتج عنها .

تجدر الإشارة في هذا الجانب إلى الندرة التي تعاني منها الجزائر من هذه المادة وكل الوطن العربي [119] ، وقد اورد [120] ان الاستهلاك العالمي للركام الطبيعي سيكون حوالي 48.3 بليون طن بعد عام 2015 . لذا حاولنا استغلال أنواع من هذه المادة موجودة في الأسواق ، وحاولنا أيضا البحث عن موارد جديدة منها فكان اختيارنا لرمل منطقة واد الرتم هو مقترحنا الجديد حيث لم يتطرق لدراسة واكتشاف هذه المنطقة من قبل. منطقة واد الرتم تابعة اداريا لولاية الوادي وهي مجاورة لثلاث ولايات أخرى هي ورقلة والجلفة وبسكرة .

1.3.III رمل الكثبان :

إن أكبر مشكل تسببه رمال الكثبان في الوطن العربي عموما والجزائر خصوصا هو ظاهرة التصحر وزحف الرمال التي تغزو كل المنشآت من طرقات ومبان وكذلك المزارع والمراعي الطبيعية .

هذا المشكل هو الذي جعلنا ننظر إلى رمال الكثبان على أنها مادة ترابية جافة جفاف منطقتها ، وأنها مادة سلبية لا حاجة لنا بها. والسؤال الذي يطرح نفسه علينا كأكاديميين على مختلف تخصصاتنا ، ألا يمكننا استغلال هذه المادة الضخمة في الحياة العامة كل في مجال عمله ؟

إن الدارس لطبيعة رمال الكثبان الكيميائية ولشكل حبيباتها وإلى لونها يمكن أن ينظر إليها على أنها مصدر لا ينضب تقريبا من المواد التي يشكل توفيرها مخاوف للباحثين والمهتمين في مختلف المجالات مثل الالكترونيات الدقيقة، والطاقة الشمسية (الخلايا الضوئية)، والتعدين، والهندسة المدنية، والهندسة الميكانيكية. ترتبط هذه النظرة بجدوى الأبحاث والتطبيقات وعملياتها بمحتوى السيليكا وحجم وشكل وطبيعة حبيباتها [37] .

إن دراستنا الحالية تعتبر مساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل الكثبان من جهة ، ومن جهة ثانية هي جزء من المساهمة في تثمين مادة الكثبان الرملية في الجزائر عموما ، في مجال أشغال الهندسة المدنية ذات الأهمية الاقتصادية والبيئية الكبيرة بالنسبة للميزانية. كما أن الطلب المتزايد على رمال البناء في البلاد وعدم قدرة المحاجر والمقالع المحلية على توفير الكميات اللازمة منه ، أدت بنا إلى دراسة جدوى دمج هذا النوع من الرمال في الخرسانة .

أماكن التواجد : تقع الكثبان الرملية في الجزائر عادة في الجنوب ممثلة في العروق خاصة العرق الشرقي والعرق الغربي الكبيران وفي الواحات الجزائر، في مساحات واسعة تسمى محليا (الصحون) أو في مرتفعات تسمى الكثبان (السيوف) ، تتميز هذه الرمال بحركتها شبه الدائمة ، حيث تنقل الرياح حبيباتها فتضعها في أماكن مختلفة مشكلة تلك الارتفاعات . والكثبان الرملية في الجنوب الشرقي تشغل 60 ٪ من سطح الصحراء الجزائرية.



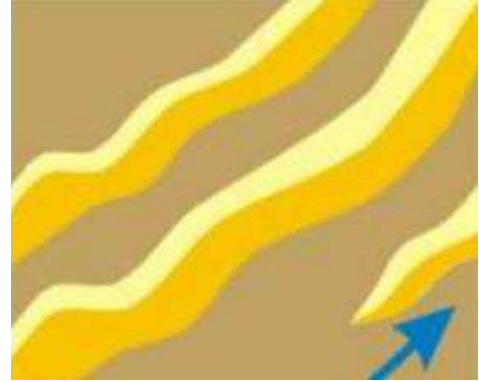
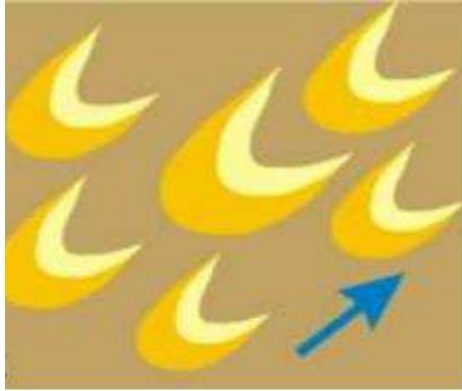
صورة 1.III موقع العروق والواحات الجزائرية .

أشكال تواجدها : توجد الكثبان الرملية عموماً في ثلاثة أشكال [121]

- الكثيب : هو على شكل هلال، محدب إلى مهب الريح. ينشأ نتيجة تكس الرمل التي تحملها التيارات الرملية والرياح .

- الكثبال الطويلة والمستعرضة : وهي رواب طويلة من الرمل موازية لاتجاه الرياح تفصلها أغوار (منخفضات)، وقد أطلق مصطلح سيوف في منطقة سوف على هذا النوع من الكثبان الرملية، إلا أن استعمال كلمة "سيف" تطلق الآن في سوف على جميع أنواع الكثبان.

- الكثبال الهلالية : وهي كثبان منفردة على شكل هلال رأسها في اتجاه حركة الرياح وتتكون هذه الكثبان في أرض مستوية نسبياً وعارية، مثل منطقة الشطوط شمال سوف [122] والصورة توضح بعض هذه الأشكال :



الشكل 1.III أشكال تواجد رمال الكثبان في الطبيعة .

1.1.3.III التركيبة الرملية :

يرجع أصل التكوينات الرملية في المناطق الصحراوية إلى حبيبات الكوارتز التي تفتتت عن الصخور النارية والرسوبية ، ويعود تكوين هذه الرمال إلى الزمن الجيولوجي الرابع [112 و 123] .

وقد ذكر [37] عموماً حبيبات رمال الكثبان يتراوح حجمها من 5 ملم إلى 0.064 ملم حسب Pettijohn . و 2 ملم إلى 0.02 ملم حسب Folk، وهي في الغالب بين 5 إلى 0.08 ملم حسب Weydert .

ويتكون الرمل من المعادن المختلفة، مثل السيليكا SiO_2 والسيليكات والكربونات والطين (السيليكات هي الأسرة الأكثر وفرة في الطبيعة، وهو ما يمثل 90% من كتلة القشرة الأرضية).. [37] .

III.3.2 الرمل الطبيعي :

كما هو الحال في رمال الكثبان فإن الرمل الطبيعي الصالح للبناء ، نحصل عليه نتيجة تفتت الصخور الطبيعية بفعل الرياح وجريان الماء ، وهو موجود في بعض المناطق من الجزائر ، حيث تعاني هذه الأخيرة ندرة حادة من هذه المادة .

يمكن أن نحصل عليه من عدة أماكن منها :

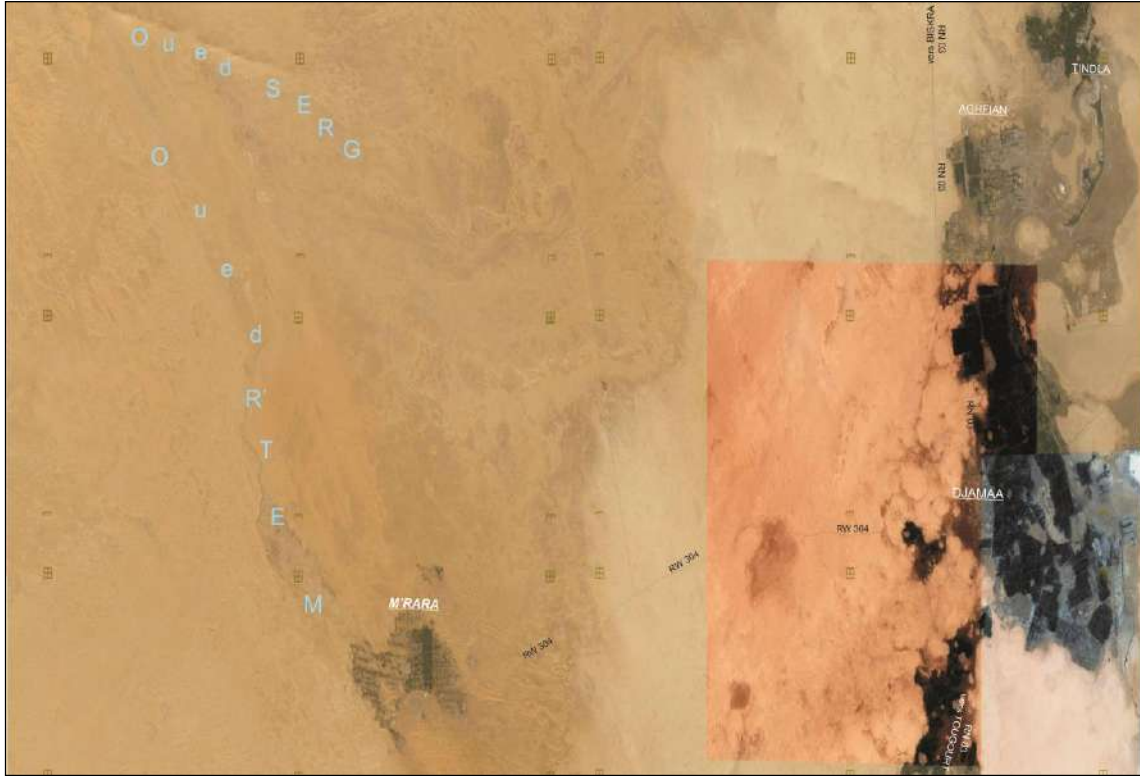
- 1- رمال البحر : هي الرمال الموجودة على شواطئ البحار.
 - 2- رمل الوديان : هي الرمال التي تكون في مجاري الوديان بعد أن تحمل هذه الأخيرة وتذهب حملتها ، تستقر في قاعها طبقات من التراب قد تكون بعد إزالة طبقات الطين والغضار ، صالحة للبناء .
 - 3- مساحات أرضية واسعة : قد تكون بعض المناطق تحتوي على مساحة شاسعة من التراب المحتوية على ركام ذي مواصفات خاصة بالبناء مثل مرملة جامعة والبعاج وغيرها ... الخ . [71] .
- والرمال الطبيعية التي تمت عليها الدراسة موجودة كلها في منطقة الواحات الجزائرية حيث استعملنا رمال حاسي ببحج الموجودة جهة ولاية ورقلة ورمال منطقة عسيلة الموجودة جهة ولاية الوادي وهي رمال مشهورة يتم العمل بها حالياً، وقد استعملنا رمل منطقة أخرى غير معروفة رغم أنها تقع في مكان استراتيجي يشمل كل تلك الجهة الآ وهو رمل وادي الرتم لذا وجب التعريف بهذه المنطقة وهذه الرمال.

III.3.2.1 رمال واد الرتم :

منطقة واد الرتم :

تقع منطقة واد الرتم في الشمال الغربي من ولاية الوادي يحدها :

- من الشمال بلدية أم الطيور من ولاية الوادي والنسبا ورئس الميعاد من ولاية بسكرة
 - من الجنوب سيدي سليمان ولحجيرة من ولاية ورقلة
 - من الغرب ام العدم ولاية الجلفة
 - من الشرق جامعة وتندلة وسيدي عمران ولاية الوادي
- وهو يبعد عن مقر ولاية الوادي حوالي 180 كلم .



صورة 2.III منطقة مجرى واد الرتم .

2.3.III جيولوجية المنطقة [111]:

يتميز وادي الرتم بمجراه المستقيم مع وجود عدد قليل من الانحناءات ، ويبلغ محليا عرض السهل الفيضي له عدة مئات من الأمتار. ويمتد الوادي على مساحة طوبوغرافية مستوية ، تقطعها تضاريس على شكل قباب ذات سطح جبسي - كلسي. وقد سمحت الاستطلاعات الأولية الجيولوجية والمورفولوجية التي أجريت على طول مجرى وادي الرتم بتحديد الخصائص الرئيسية للأسطح التي أنشأها الوادي في مجراه.

تعد البيئة التي يتواجد فيها وادي الرتم بيئة استراتيجية ، خاصة عند نهاية مجراه ، ونخص بالذكر ارتفاع مناطق حاسي بكرم وتوردن ، والتي يعبر فيها الوادي تشكيلات عصر الايوسين إلى طبيعة الصخور ذات الطبيعة الجبسية - الكلسية. وفي المنحدر صنعت المياه هضبة عملاقة من الأراضي القارية. العصر الحديث.

وتتنمي هذه المجموعة إلى أحواض قديمة مغلقة والتي تكونت عليها تشكيلات حصوية ذات أحجام خشنة أين يغلب عليها أساسا الشكل التكتلي أو حتى الصخرية .

وفي محطته الأخيرة ، يصب وادي الرتم - انطلاقا من ضواحي البلدة القديمة إلى غاية المرارة - في حوض واسع وهو نادر المناطق الضيقة ، ويعد موضعا لعمليات الحت النهرية.

التشكيلات الصخرية التي تم تحديدها يمكن ملاحظتها في كل مكان وهذا راجع لقلّة الغطاء النباتي ، وهي ذات لون احمر وأرجواني وأبيض ، ومتقاربة الشكل والحجم عند الرؤية الأولية بالعين المجردة.

III.3. طرق التعرف على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للرمل:

هناك العديد من التجارب المجرى للتعرف على خصائص الرمل منها :

- التحاليل الكيميائية 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 .
- الملاحظات بواسطة المجهر الضوئي والفحص الإلكتروني بألية RAMAN .
- المجهري الالكتروني MEB لوصف التركيبة الداخلية للحبيبات الرملية.
- التحليل الكيميائي بمطياف الأشعة السينيةDRX لتوفير المعلومات الكمية على أنواع العناصر المكونة للبنية الحبيبية .

III.4 الخصائص الكيميائية والفيزيائية الرمال المدروسة :

III.4.1 الخصائص الكيميائية: بينت التحاليل الكيميائية للرمل المدروسة أنها تحتوي على عدة عناصر وبنسب مختلفة تبينها الجداول أدناه .

الجدول III.1 يبين النسب المئوية للمكونات الكيميائية في كل الرمال.

العناصر	رمل الكثبان الوادي SDE	رمل عسيلة SAA	رمل واد الرتم SAR
%SiO ₂	96.42	94,42	95.37
%Al ₂ O ₃	0.92	0.81	0.94
%Fe ₂ O ₃	0.24	0,99	0,89
%CaO	0.92	1.21	0.81
%MgO	0.51	0.41	0.38
%SO ₃	0.12	0.37	-
%K ₂ O	-	0,59	0,43
%Na ₂ O	-	0,1	0.09
%Perte au Feu	0.95	0.8	0,61

وقد أظهرت المعالجة الكيميائية بتجربة cromatografia ionica النتائج المبينة في الجدول III.2 النسب المئوية لبعض العناصر الكيميائية في كل الرمال . علما ان هذه التجارب أجريت بمخبر علوم المياه - ISSTEG- المدمج ضمن جامعة قابس بالجمهورية التونسية.

الجدول 2.III يبين النسب المئوية لبعض العناصر الكيميائية في كل الرمال.

العناصر الكيميائية (mg/g)	رمل الكثبان الوادي SDE	رمل واد الرتم SAR
F	0.004	0
Cl	0.128	0.089
NO3	0.015	0.009
Br	0.006	0.002
SO4	2.351	1. 629
PO4	0.625	0.429
Na	0.257	0.0281
K	0.061	0.064
Mg	8.624	7.291
Ca	52.624	31.183

2. 4.III الخصائص الفيزيائية :

1. 2. 4.III الكتلة الحجمية :

الهدف منها هو معرفة نوع الركام المستعمل وكتافته وكذا معرفة الأحجام والكتل التي تدخل في تركيب الخرسانة، وهي معرفة بالقواعد [118] NFP 18-301.

1. 1. 2. 4.III - الكتلة الحجمية الظاهرية: (Masse volumique apparente)

هي النسبة بين وزن العينة الكلي على الحجم الكلي .

2. 1. 2. 4.III - الكتلة الحجمية المطلقة: (Masse volumique absolue)

وهي النسبة بين وزن الحبيبات الصلبة على حجم الحبيبات الصلبة .

والجدول الموالي يعرض النتائج المتحصل عليها :

الجدول 3.III الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة للرمل الطبيعي ورمل الكثبان

النوع	الكتلة الحجمية الظاهرية (Kg/m ³)	الكتلة الحجمية المطلقة (Kg/m ³)
رمل الكثبان عين البيضاء SDO	1521±5	2612±4
رمل الكثبان قمار الوادي SDE	1540±3	2620±2
الرمل الطبيعي حاسي بحبح SAO	1668±6	2608±5
الرمل الطبيعي واد الرتم SAR	1585±4	2500±1
الرمل الطبيعي عسيلة SAA	1582±2	2488±2
رمل المحاجر	1453.36±1	2056.4±5
50% الرمل الطبيعي SAO + 50% رمل الكثبان SDO	1594.5±3	2610±4
الرمل الطبيعي 60% + رمل الكثبان 40%	1609.2±2	2609.6±6

III.4.2.2 معامل امتصاص الماء: (coefficient d'absorption d'eau):

يعرف بواسطة القاعدة [124] NFP 18-555 ، هذه التجربة تحسب المسامية الداخلية في الحبيبات وهي تعرف بكونها النسبة بين الوزن الرطب للعينة على الوزن الجاف [53] .

وكانت النتائج كما يلي :

والجدول 3.III يبين النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء A_b .

الجدول 4.III النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء A_b

نوع الرمل	معامل امتصاص الماء A_b (%)
رمل الكثبان عين البيضاء SDO	0.086
رمل الكثبان قمار الوادي SDE	0.091
الرمل الطبيعي حاسي بحبح SAO	0.08
الرمل الطبيعي واد الرتم SAR	0.171
الرمل الطبيعي عسيلة SAA	0.082
رمل المحاجر	0.751

نلاحظ أن قدرة امتصاص حبيبات الرمل للماء جد ضعيفة وهي تقريبا مهملة إذن يمكننا القول أن هذه الأنواع من الرمل مقبولة

III.4.2.3 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 وصلاحيته استعماله في الخرسانة والملاط. بعد القيام بالتجارب وجدنا النتائج المدونة في الجدول التالي :

الجدول 5.III النسب المئوية للمكافئ الرملي ES

المكافئ الرملي ES (%)	تركيبة الرمل
83 %±1	الرمل الطبيعي حاسي بحبح SAO
80.09 %±1.5	الرمل الطبيعي واد الرتم SAR
77 %±1.5	الرمل الطبيعي عسيلة SAA
98 %±1	رمل الكثبان لمنطقة عين البيضاء (SD)
95 %±1	رمل الكثبان لمنطقة قمار (SD)
85 %±0.5	50 % SA + 50 SD
87%±0.5	40 % SA + 60 SD

كل الاختبارات أعطت معامل $ES < 75$ ومع ذلك ، نلاحظ الغياب شبه التام للدقائق الطينية [126]

III.4.2.4 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 بالغزيلة بواسطة مجموعة من الغراييل مرتبة حسب مقاس فتحاتها وموضوعة فوق بعضها البعض بحيث يكون أكبرها مقاسا إلى الأعلى هذه التجربة تمكننا من حساب مختلف النسب لمقاييس الحبيبات المكونة للعينة المدروسة وتعرف هذه التجربة بواسطة المواصفات NFP 18-560 [127]، وقد قمنا بدراسة العديد من الخلطات الرملية حيث أخذنا عينات رمل الكثبان واضفنا لها نسبة 10 % في كل مرة من الرمال الطبيعية حتى استقر العمل على العينات الموضح في هذه الدراسة.

سندرس عشر حالات من العينات ذات نسب مختلفة من كل الأنواع المختارة من الرمل بالإضافة إلى رمل المحاجر المأخوذ من منطقة حاسي مسعود.

- العينة الأول : 100% رمل الكثبان ورقلة .
- العينة الثانية : 100% رمل الكثبان وادي سوف .
- العينة الثالثة : 100% رمل طبيعي حاسي بحبح .
- العينة الرابعة : 100% رمل طبيعي عسيلة .
- العينة الخامسة : 100% رمل طبيعي واد الرتم.
- العينة السادسة : 100% رمل المحاجر.

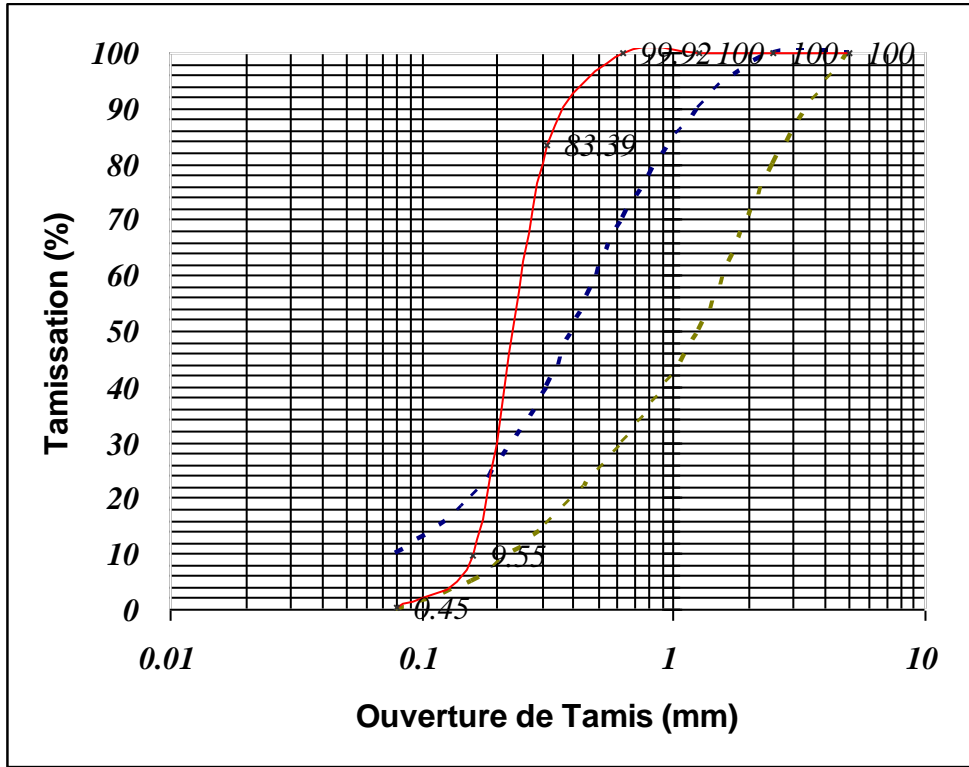
- العينة السابعة: 50% رمل الكثبان ورقلة +50% رمل طبيعي حاسي بحبح .
 - العينة الثامنة: 40% رمل الكثبان ورقلة +60% رمل طبيعي بحبح .
 - العينة التاسعة: 40% رمل الكثبان الوادي +60% رمل طبيعي عسيلة .
 - العينة العاشرة : 40% رمل الكثبان الوادي +60% رمل طبيعي واد الرتم .
- إن القاعدة تنص على أن الوزن الأصغري المستعمل في العينة يكون محققا العلاقة التالية [128 و 129] :

$$M \geq 0.2 D_{max} \dots \dots \dots (3.5)$$

حيث :

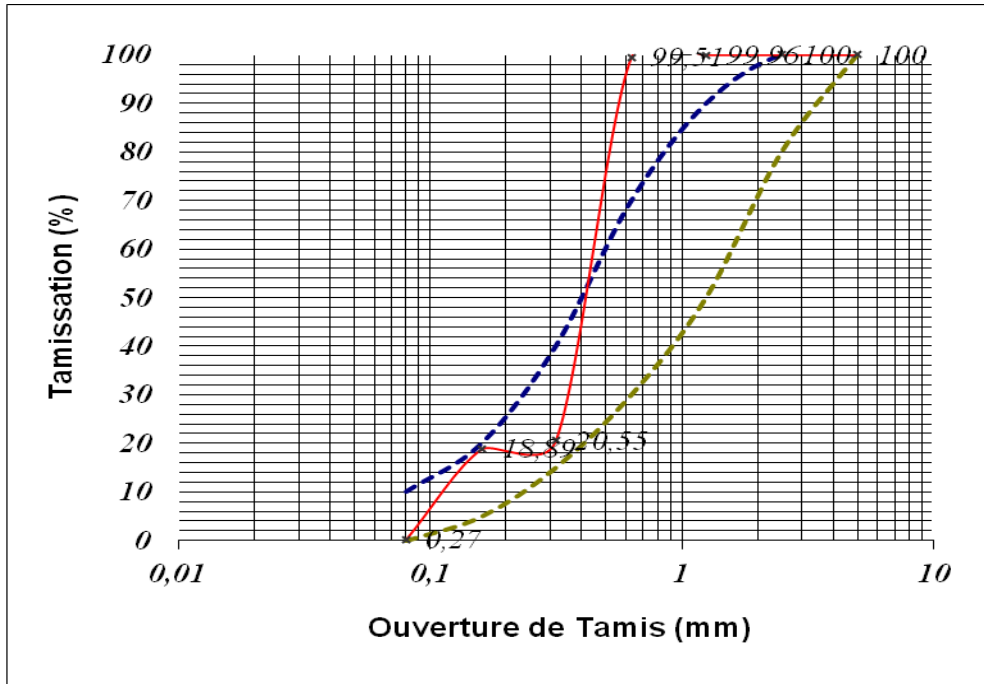
M : وزن العينة ب كغ
 Dmax : القطر الأعظمي للحبيبات مأخوذ ب ملم .
 استعملنا في هذه التجربة 2كغ من الرمل إذ هي القيمة العملية [129] فكانت النتائج كما هو موضح في المنحنيات:

- العينة الأولى 100% رمل الكثبان ورقلة

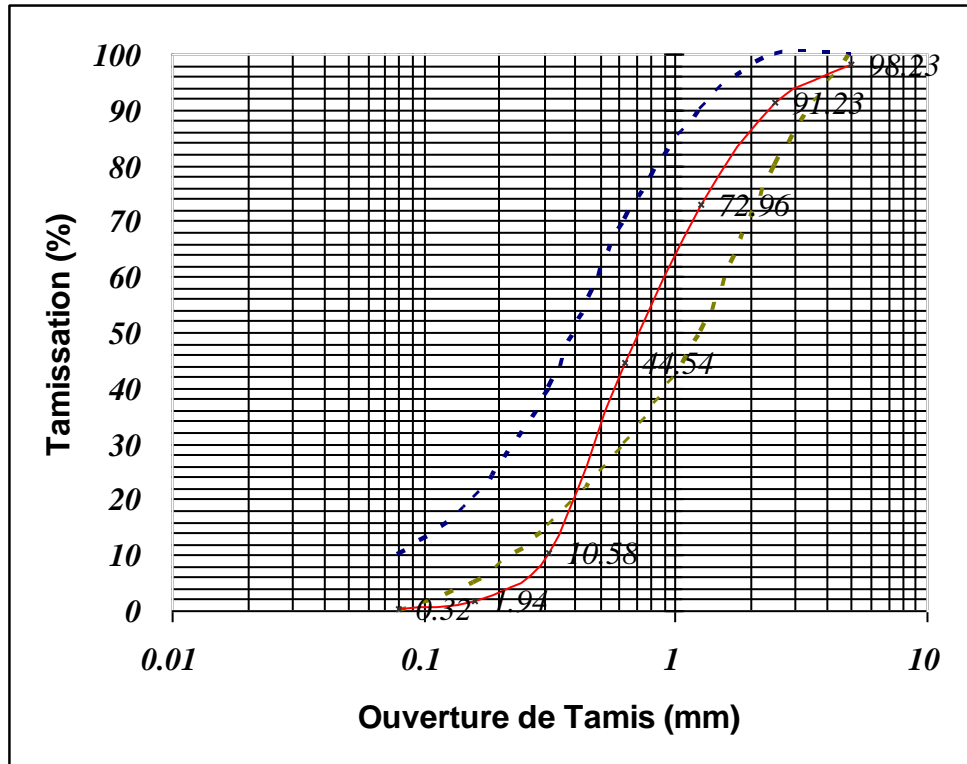


الشكل 2.III منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأولى 100% رمل الكثبان

الملاحظ أن هذا الرمل دقيق لأنه يحتوي على حبيبات أقل من 0.63 mm .
 - العينة الثانية 100% رمل الكثبان وادي سوف

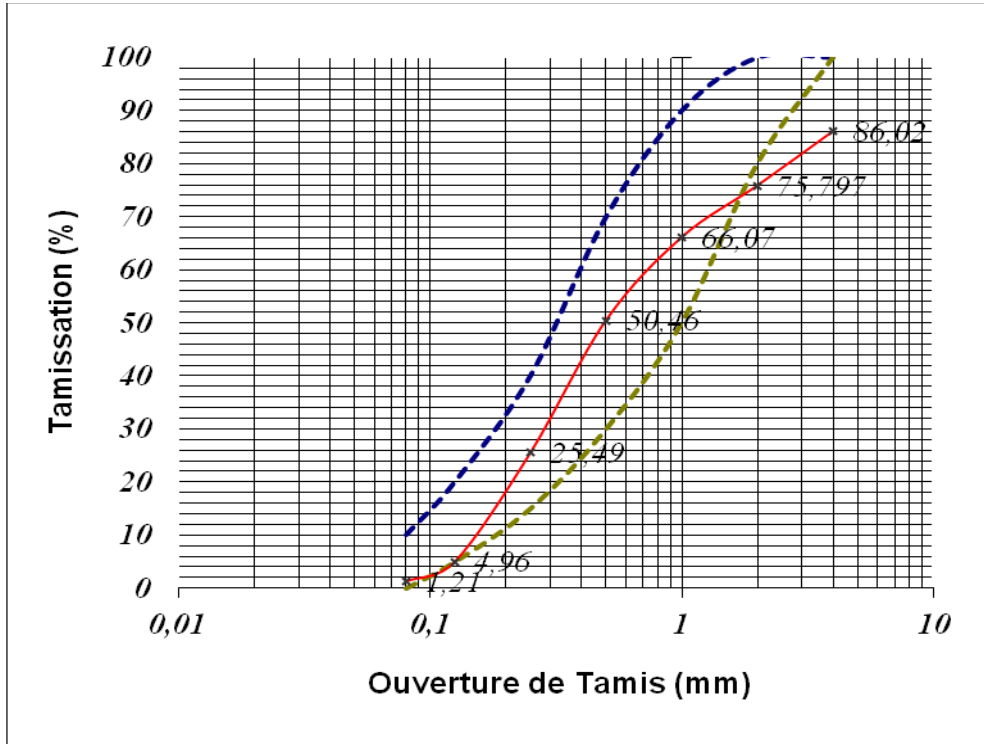


الشكل 3.III منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية 100% رمل الكثبان وادي سوف
 الملاحظ أن هذا الرمل دقيق لأنه يحتوي على حبيبات أقل من 0.63 mm.
 - العينة الثالثة : 100% رمل طبيعي حاسي بحبح .



الشكل 4.III منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة : 100% رمل طبيعي حاسي بحبح
 الملاحظ أن منحني هذا الرمل داخل المجال المرجعي وأنه يحتوي على تدرج حبيبي جيد.

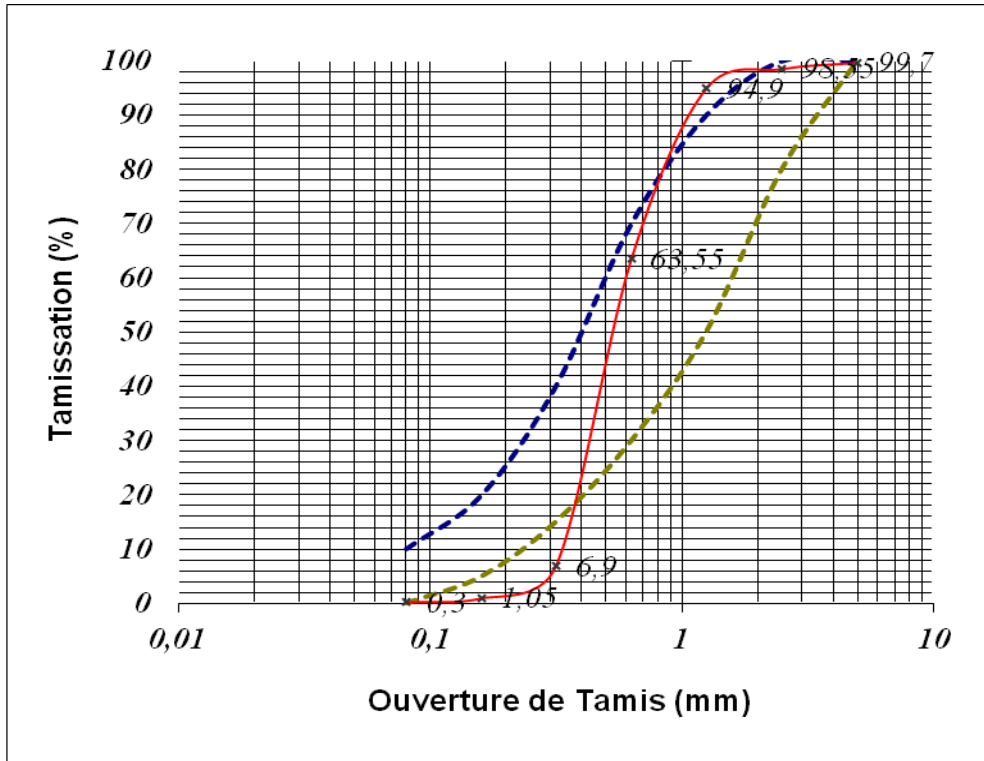
- العينة الرابعة : 100% رمل طبيعي وادي سوف عسيلة .



الشكل 5.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة : 100% رمل طبيعي وادي سوف عسيلة

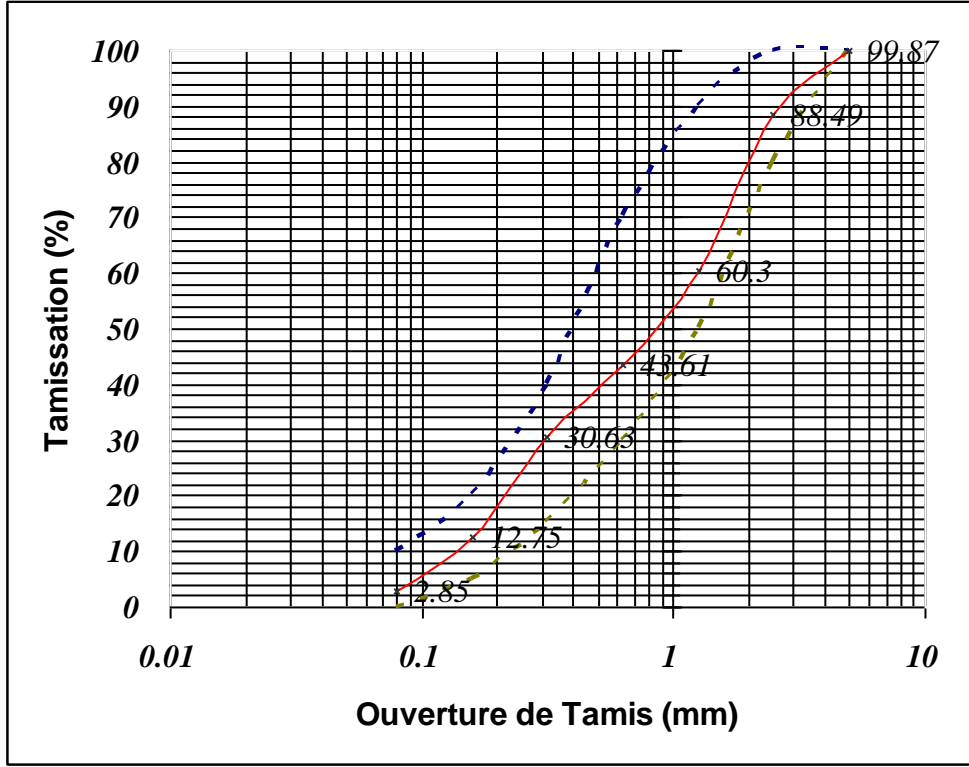
الملاحظ أن منحنى هذا الرمل داخل المجال المرجعي وأنه يحتوي على تدرج حبيبي جيد.

- العينة الخامسة : 100% رمل طبيعي وادي الرتم .



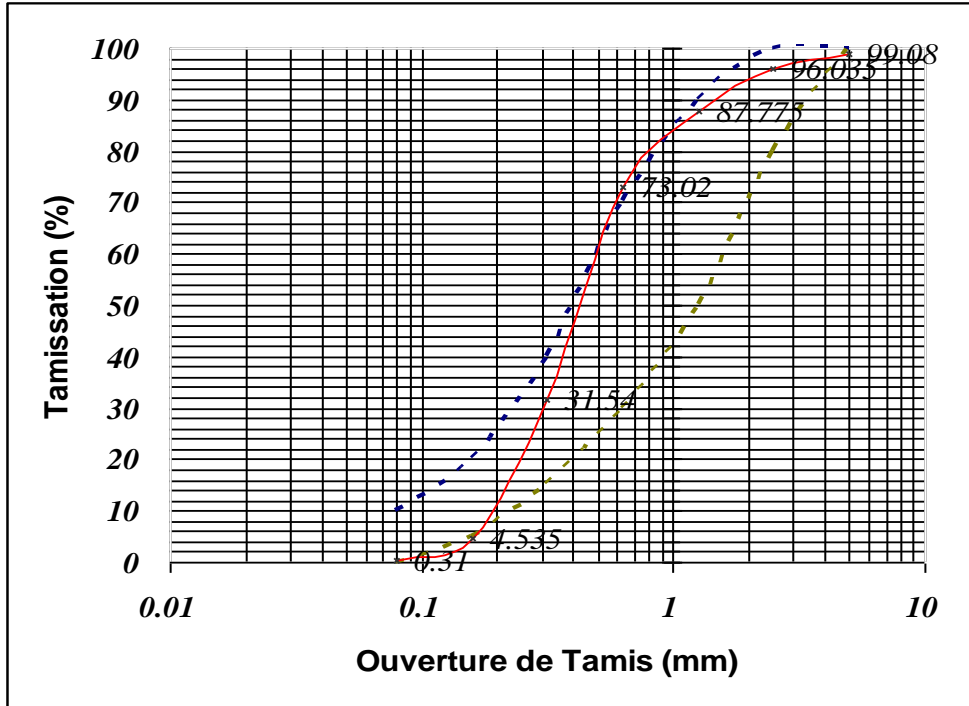
الشكل 6.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة : 100% رمل طبيعي وادي الرتم

الملاحظ أن منحنى هذا الرمل داخل المجال المرجعي وأنه يحتوي على تدرج حبيبي جيد.
- العينة السادسة : 100% رمل المحاجر.



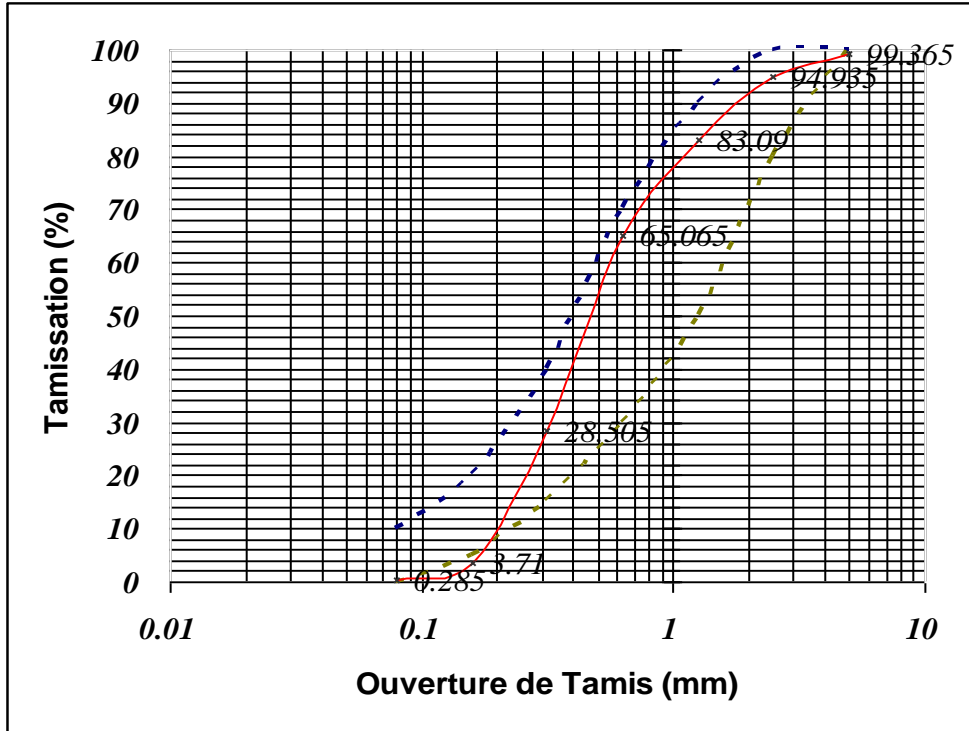
الشكل 7.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة السادسة : 100% رمل المحاجر

الملاحظ أن منحنى هذا الرمل داخل المجال المرجعي وأنه يحتوي على تدرج حبيبي جيد.
- العينة السابعة : 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح

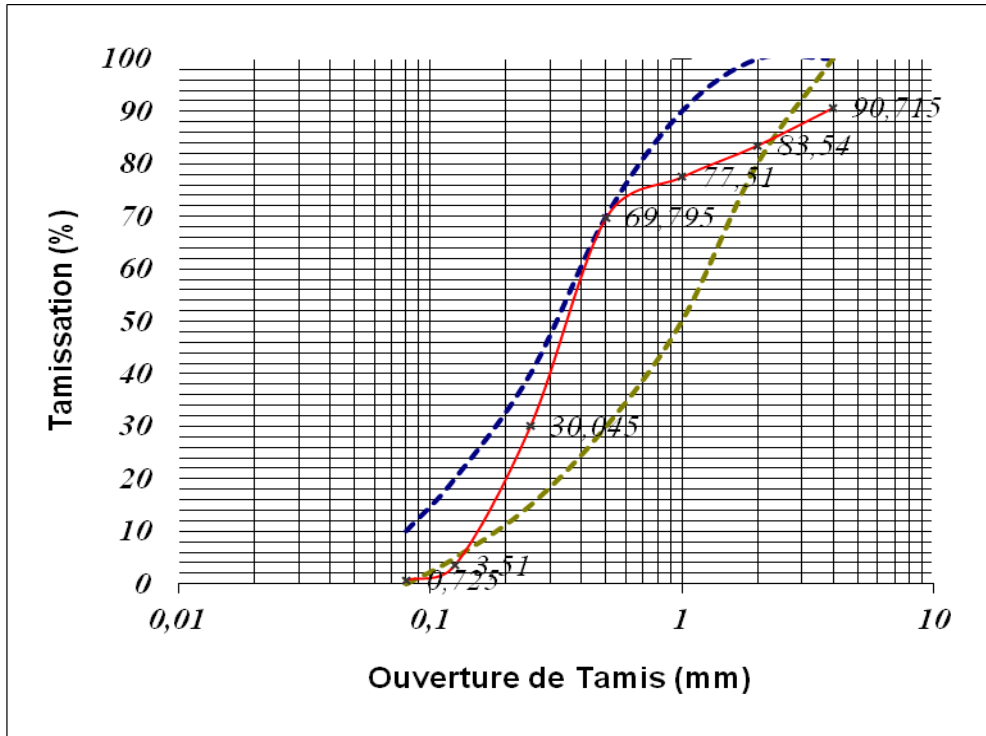


الشكل 8.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة السابعة: 50% رمل ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح

الملاحظ أن منحنى هذا الرمل داخل المجال المرجعي وأنه يحتوي على تدرج حبيبي جيد.
- العينة الثامنة : 40% رمل الكثبان ورقلة +60% رمل طبيعي حاسي بحبح

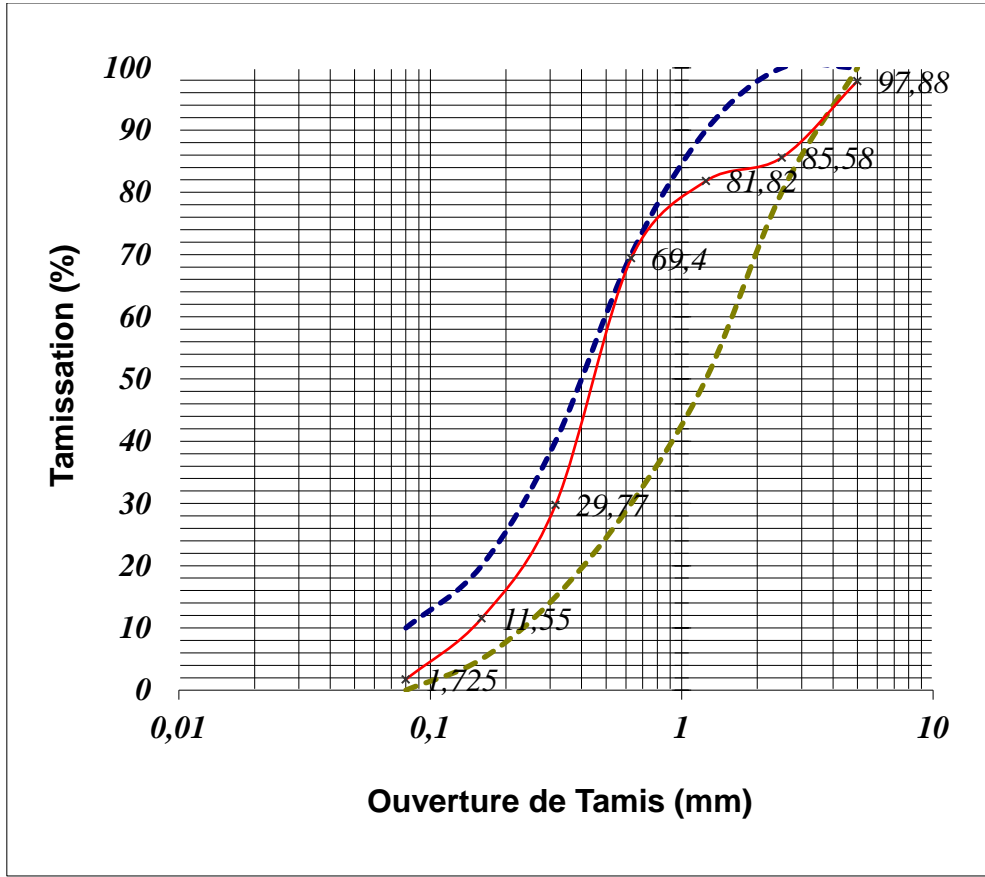


الشكل 9.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثامنة : 40% رمل ورقلة +60% رمل طبيعي حاسي بحبح
الملاحظ أن منحنى هذا الرمل داخل المجال المرجعي وأنه يحتوي على تدرج حبيبي جيد.
- العينة التاسعة : 40% رمل الكثبان وادي سوف +60% رمل طبيعي عسيلة



الشكل 10.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة التاسعة : 40% رمل وادي سوف +60% رمل طبيعي عسيلة

- العينة العاشرة : 40% رمل الكثبان وادي سوف +60% رمل واد الرتم



الشكل 11.III منحني تجربة التدرج الحبيبي للعينة العاشرة : 40% رمل وادي سوف +60% رمل واد الرتم

5. 2. 4.III معامل النعومة: (Module de finesse)

ويتم تقييمه بواسطة معيار يسمى المقياس، حيث يساوي مجموع النسب المئوية للمتبقري المجمع للمناخل القياسية السنة (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 [71]:

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.

$$Mf = \frac{\sum Rc}{100} \dots\dots\dots(3.6)$$

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

إذا معيار النعومة لكل عينة وبعد الحساب هو:

الجدول 16.III معيار النعومة لكل عينة

العينة	معامل النعومة M_f
العينة الأولى : 100% رمل الكثبان ورقلة	1.0714
العينة الثانية : 100% رمل الكثبان وادي سوف	1.61
العينة الثالثة : 100% رمل طبيعي حاسي بحبح .	2.8
- العينة الرابعة : 100% رمل طبيعي عسيلة .	2,91
- العينة الخامسة : 100% رمل طبيعي وادي الرتم.	2.35
- العينة السادسة : 100% رمل المحاجر	2.64
العينة السابعة : 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح	2.08
العينة الثامنة : 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح	2.25
التاسعة : 40% رمل الكثبان وادي سوف + 60% رمل طبيعي عسيلة	2.45
العاشرة : 40% رمل الكثبان وادي سوف + 60% رمل طبيعي واد الرتم	2.24

- بالنسبة للعينة الأولى التي تحتوي على نسبة رمل الكثبان 100% لمنطقة عين البيضاء بورقلة ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 1.0714 نستنتج أن هذا الرمل دقيق جدا وذو تدرج حبيبي ضيق لغياب العناصر ما بين 0.315 إلى 5 مم ، وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي مع المنحنى المتحصل عليه نجده خارج كل المجالات، ولاستعمال هذه المادة يتطلب ذلك القيام بتصحيح حبيبي كما نص عليه العديد من الباحثين [71 و 36] نقترح التصحيح بالرمل الطبيعي لمنطقة حاسي بحبح .

- وأما بالنسبة للعينة الثانية التي تحتوي على نسبة رمل الكثبان 100% لمنطقة قمار بالوادي ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 1.61 نستنتج أن هذا الرمل دقيق 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 هذه المادة يتطلب ذلك القيام بتصحيح حبيبي نقترح تصحيحه بالرمل الطبيعي واد الرتم وعسيلة .

- وأما بالنسبة للعينة الثالثة التي تحتوي على نسبة رمل طبيعي 100% لمنطقة حاسي بحبح ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.8 نستنتج أن هذا الرمل متوسط حيث أنه يدخل في المجال A للمنحنى المرجعي ونقترح أن يكون هو المادة المصححة لرمل الكثبان لمنطقة ورقلة .

- وأما بالنسبة للعينة الرابعة التي تحتوي على نسبة رمل طبيعي 100% لمنطقة عسيلة ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.91 نستنتج أن هذا الرمل خشن حيث أنه يدخل في المجال C للمنحنى المرجعي ونقترح أن يكون هو المادة المصححة لرمل الكثبان لمنطقة الوادي .

- وأما بالنسبة للعينة الثالثة التي تحتوي على نسبة رمل طبيعي 100% لمنطقة واد الرتم ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.35 نستنتج أن هذا الرمل متوسط حيث أنه يدخل في المجال B للمنحنى المرجعي ونقترح أن يكون هو المادة المصححة لرمل الكثبان لمنطقة الوادي .

- وأما بالنسبة للعيينة السادسة التي تحتوي على نسبة رمل المحاجر 100% ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.64 نستنتج أن هذا الرمل متوسط حيث أن هذه القيمة مقبولة لأنها تدخل في المجال A 2.2-2.8. ولكن التصحيح به أعطي منحني لا يتوافق تماما مع المجال للمنحنى المرجعي حيث أنه يدخل المجال في بعض النقاط ويكون خارج المجال في بعض النقاط الأخرى.

- بالنسبة للعيينة السابعة التي تحتوي على نسبة 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.08 نستنتج أن هذا الرمل تقريبا متوسط يميل إلى الدقة وذو تدرج حبيبي مقبول إذ أنه موجود في المجال B رمل تميل حبيباته إلى الدقة بين 1.8 – 2.2، وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي A مع المنحنى المتحصل عليه نجده داخل هذا المجال، وبالتالي نقترح هذه العينة كأحد التصحيحات.

- بالنسبة للعيينة الثامنة التي تحتوي على نسبة 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.2533 نستنتج أن هذا الرمل متوسط وذو تدرج حبيبي مقبول ، وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي A مع المنحنى المتحصل عليه نجده داخل هذا المجال، ونقترح هذه العينة كأحد التصحيحات [129].

- بالنسبة للعيينة التاسعة التي تحتوي على نسبة 40% رمل الكثبان الوادي + 60% رمل طبيعي عسيلة ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.45 نستنتج أن هذا الرمل متوسط وذو تدرج حبيبي مقبول ، وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي A مع المنحنى المتحصل عليه نجده داخل هذا المجال، ونقترح هذه العينة كأحد التصحيحات [129].

- بالنسبة للعيينة العاشرة التي تحتوي على نسبة 40% رمل الكثبان الوادي + 60% رمل طبيعي واد الرتم ومن خلال قيمة معامل النعومة M_f التي تساوي 2.24 نستنتج أن هذا الرمل متوسط وذو تدرج حبيبي مقبول ، وعند مقارنة المجال للمنحنى المرجعي A مع المنحنى المتحصل عليه نجده داخل هذا المجال، ونقترح هذه العينة كأحد التصحيحات [129].

III. 5 - المشاهدة الضوئية والإلكترونية والمعالجة بالأشعة:

III. 5. 1 - المشاهدة بالمجهر الضوئي وآلية RAMAN :

نظرا لعدم انتشار هذه الآلية بشكل واسع في الكشف وفحص مركبات مواد البناء المختلفة، بالرغم من أهميتها ودقتها إذ أنها تعطي لمحة شبه واضحة عن العناصر الكيميائية المركبة للمادة وكذلك صورتها المكبرة ضوئيا. فإننا ارتأينا التعريف ولو بشيء وجيز عن هذه الآلية الطيفية.

تعريفه: مطياف رامان هو جهاز يختص بدراسة أنماط الاهتزاز الجزيئي قليلة التردد ، وتعتمد هذه الآلية على ظاهرة التبعثر غير المرن للضوء على الجزيئات، والتي تعرف باسم تبعثر رامان.

ونستطيع القول أن أفعال رامان هي تأثيرات متبادلة تحدث أساسا بين الحقل الكهربائي لإشعاع وحيد الموجة (عادة Laser) والمادة ، تنشأ عنها تغيرات على استقطاب جزيئاتها يترتب عنها ظهور أطيف للانتشار نطلق عليها اسم (أطيف رامان للانتشار أو التشتت)

خصائص أساسية لأطيف رامان :

أولا : يكون الإشعاع الوارد للعينة يكون وحيد الموجة أي نابع من حزمة ليزر حيث تسمح شدة تركيز الحزمة ومونوكروماتية الإشعاع بإحداث ظاهرة التشتت.

ثانيا : في مطيافية رامان لا يشترط في الجزيئات الخاضعة للدراسة أن تكون مستقطبة إذ أنه حتى في حالة الجزيئات التناظرية والتي لا تتوفر على ثنائي قطب كهربائي تسمح الإشعاعات الضوئية الواردة بالتأثير على الجزيئات وتغيير توزيعها الإلكتروني فتتولد بذلك ثنائية القطبية غير دائمة على مستوى كل جزيء.

ثالثا : الدوران والاهتزاز في مطيافية رامان بواسطة ثنائي القطب المتشكل يحول الإشعاع جزءا من طاقته لإحداث تغيرات في حالة الدوران أو الاهتزاز.

1* المعالجة بآلية RAMAN :

المعالجة بآلية RAMAN هي معالجة بالمجهر الضوئي تسمح بإعطاء نتيجتين مختلفتين ومفيدتين :

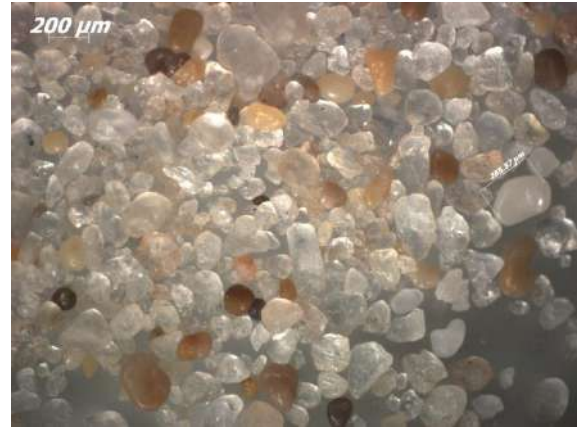
1- تحليل المجهر الضوئي التقليدي الذي يعطي نظرة عن شكل ولون الحبيبات وأبعادها وعن طبيعة سطحها مع الصور .

2- عن طريق تأثير الأشعة RAMAN. حيث تكشف لنا عن طبيعة المواد ومركباتها ، وذلك ببعث أشعة عبارة عن أمواج ، ثم استقطاب ما تعكسه هذه المواد للتدليل على نوعيتها . [83]

*2 مشاهدات المجهر الضوئي : تمت هذه التجربة في مركز تنمية التكنولوجيات المتطورة -CDTA- الكائن

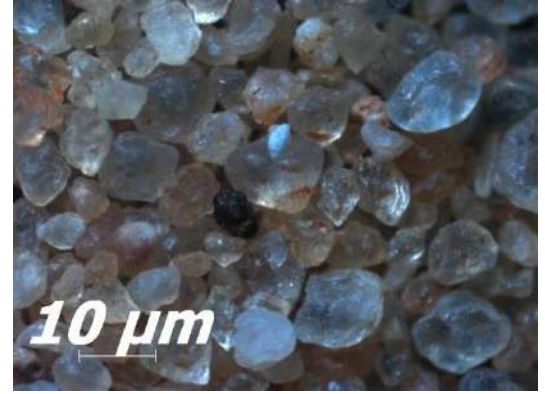
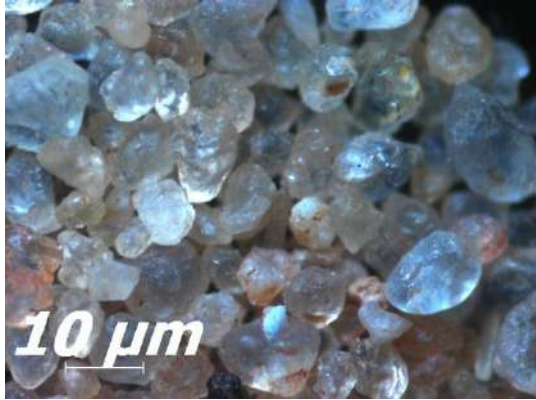
مقره باب حسن بالجزائر العاصمة.

مشاهدات حبيبات رمل الكتبان



الصورة 3.III مشاهدات حبيبات رمل الكتبان بالمجهر الضوئي

مشاهدات حبيبات رمل وادي الرتم



الصورة 4.III مشاهدات حبيبات رمل واد الرتم بالمجهر الضوئي

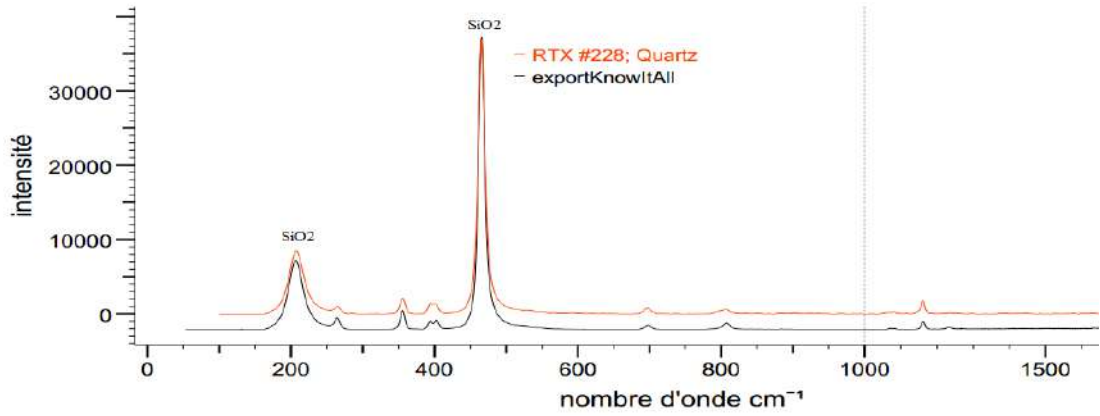
مشاهدات حبيبات رمل عسيلة



الصورة 5.III مشاهدات حبيبات رمل عسيلة بالمجهر الضوئي

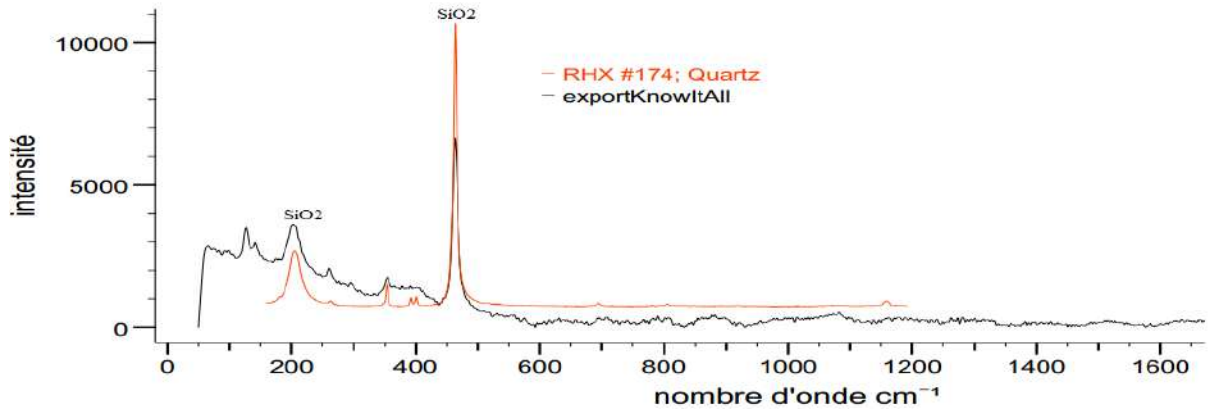
*3 - نتيجة المعالجة بأشعة RAMAN :

* حبيبات رمل الكتبان - البيضاء -



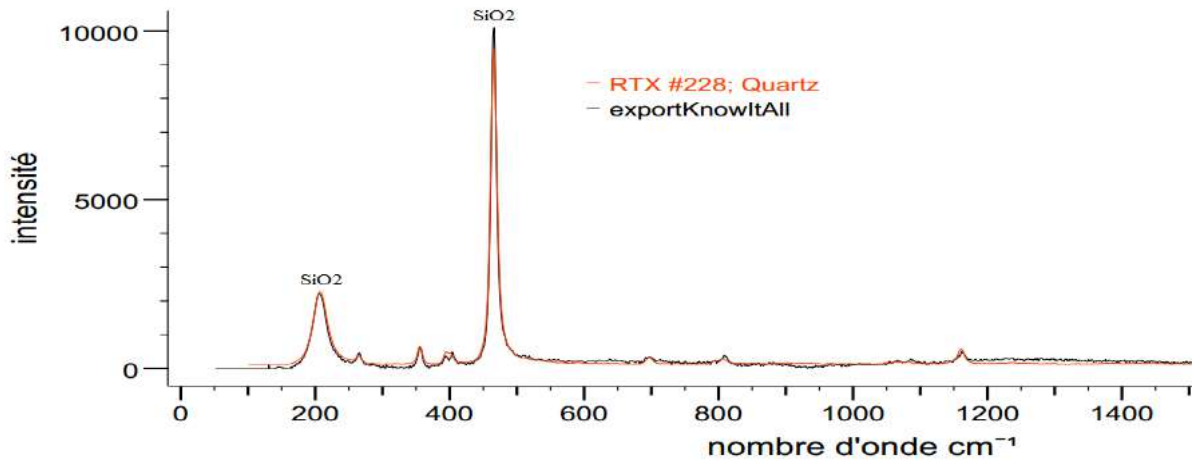
الشكل 12.III منحنى أشعة رامان لحبيبات رمل الكتبان البيضاء

* حبيبات رمل واد الرتم



الشكل 13.III منحنى أشعة رامان لحبيبات رمل واد الرتم

* حبيبات رمل عسيلة



الشكل 14.III منحنى أشعة رامان لحبيبات رمل عسيلة

III. 5. 1.1 مناقشة نتائج المشاهدة بالمجهر الضوئي وآلية RAMAN:

رمل واد الرتم

- أظهرت الصورة الضوئية بواسطة المجهر الضوئي لحبيبات رمل واد الرتم ، عدة أمور منها :
 - قطر الحبيبات : حبيبات ذات أقطار مختلفة تتراوح ما بين 450 um إلى أجزاء صغيرة جدا .
 - الشكل : الحبيبات تأخذ أشكالاً مختلفة منها شبه كروي ومنها الاسطواني ومنها غير منتظم الشكل .
 - اللون : أظهرت الصورة الضوئية ثلاثة ألوان متميزة هي :
 - البرتقالي المحمر: هو اللون الغالب على العينة إذ يمثل حوالي 90% منها ، وبعد معالجته بالأشعة وآلية RAMAN تبين أنه ذو تركيبة سيليسية SiO_2 .
 - الأبيض: يمثل حوالي 7% من العينة ، وقد تبين أنه ذو تركيبة كيميائية صيغتها $CaCO_3$ وهو معروف بـكربونات الكالسيوم .
 - الأسود : يمثل حوالي 3% من العينة ، والذي أعطى بعد معالجته نفس تركيبة الحبيبات البرتقالية أي التركيبة الكيميائية SiO_2 .

رمل عسيلة

- أظهرت الصورة الضوئية بواسطة المجهر الضوئي لحبيبات رمل عسيلة ، عدة أمور منها :
 - قطر الحبيبات : حبيبات ذات أقطار مختلفة تتراوح ما بين 500 um إلى أجزاء صغيرة جدا .
 - الشكل : الحبيبات تأخذ أشكالاً مختلفة منها شبه كروي ومنها الاسطواني ومنها غير منتظم الشكل .
 - اللون : أظهرت الصورة الضوئية ثلاثة ألوان متميزة هي :
 - البرتقالي المحمر: هو اللون الغالب على العينة إذ يمثل حوالي 82% منها ، وبعد معالجته بالأشعة وآلية RAMAN تبين أنه ذو تركيبة سيليسية SiO_2 .
 - الأبيض : يمثل حوالي 13% من العينة ، وقد تبين أنه ذو تركيبين كيميائيتين صيغتهما $CaCO_3$ وهو المعروف بـكربونات الكالسيوم وكذلك $CaSO_4.H_2O$ وهو المعروف بالجبس .
 - أسود المحمر : يمثل حوالي 5% من العينة ، والذي أعطى بعد معالجته نفس تركيبة الحبيبات البرتقالية أي التركيبة الكيميائية SiO_2 .

رمل الكتبان

- أظهرت الصورة الضوئية بواسطة المجهر الضوئي لحبيبات رمل الكتبان ، عدة أمور منها :
 - قطر الحبيبات : حبيبات ذات أقطار مختلفة تتراوح ما بين 350 um إلى أجزاء صغيرة جدا .
 - الشكل : الحبيبات تأخذ أشكالاً مختلفة منها شبه كروي ومنها الاسطواني ومنها غير منتظم الشكل .
 - اللون : أظهرت الصورة الضوئية ثلاثة ألوان متميزة هي :
 - الأبيض : هو اللون الغالب على العينة إذ يمثل حوالي 85% منها ، وبعد معالجته بالأشعة وآلية RAMAN تبين أنه ذو تركيبة سيليسية SiO_2 .

- البرتقالي : يمثل حوالي 10% من العينة ، وقد تبين أنه ذو تركيبة كيميائية صيغتها CaCO_3 وهو معروف بـكربونات الكالسيوم .

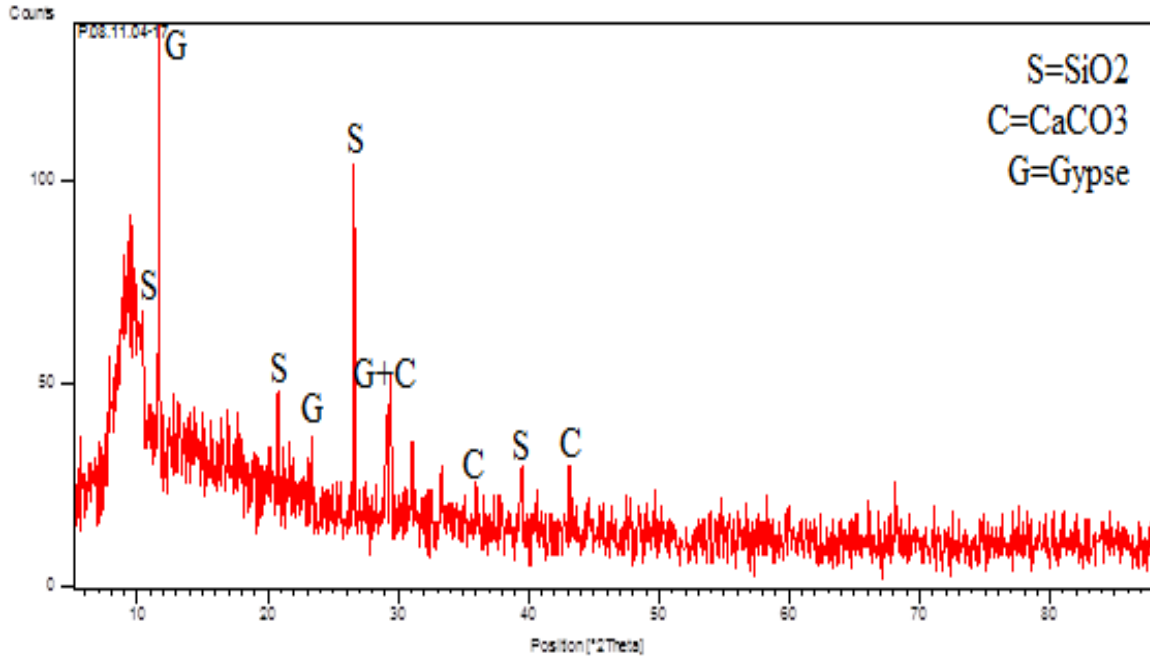
- الأسود المحمر : يمثل حوالي 5% من العينة ، والذي اعطى بعد معالجته نفس تركيبة الحبيبات البرتقالية أي التركيبة الكيميائية CaCO_3 .

وهذه العينات تحتوي على نسب من كربونات الحديد .

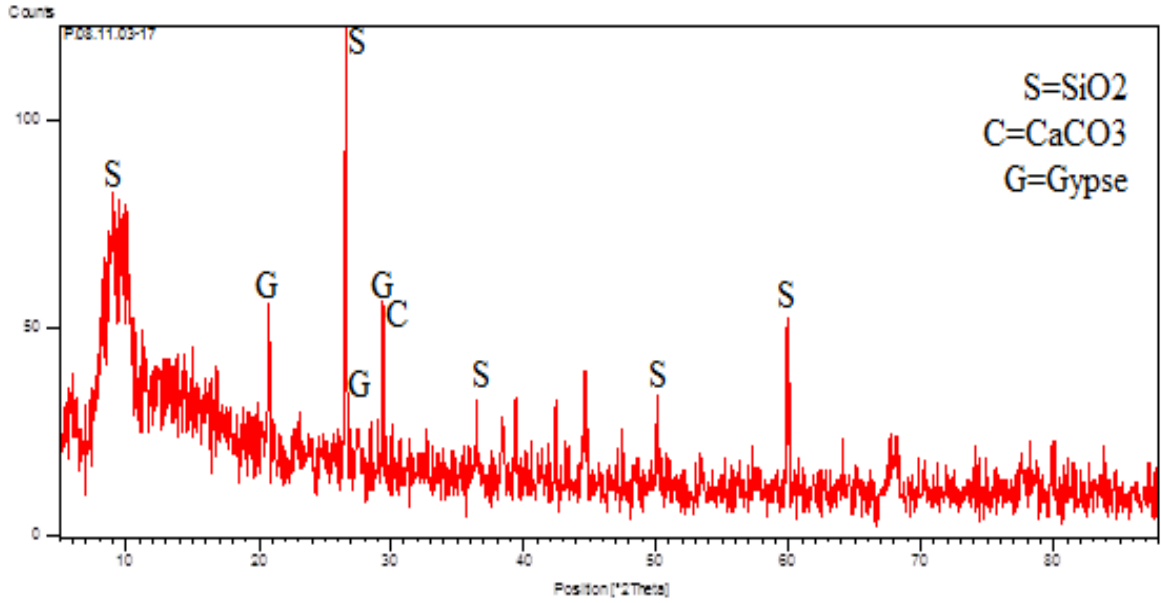
III.5.2 - تجربة الأشعة السينية (DRX) :

وقد أجريت على عينات من رمل الكتبان والرمل الطبيعي واد الرتم لمنطقة الوادي مقاستها أقل من 0.08 ملم. قمنا ببعضها في المركز الوطني لتنمية التكنولوجيات المتطورة -CDTA- الكائن مقره باب حسن بالجزائر العاصمة، وبعضها في مخبر الفيزياء بجامعة الوادي..

رمال الكتبان قمار - الوادي -



الشكل 15.III منحنى المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل الكتبان



الشكل 16.III منحنى المعالجة بأشعة X لحبيبات رمل وادي الرتم

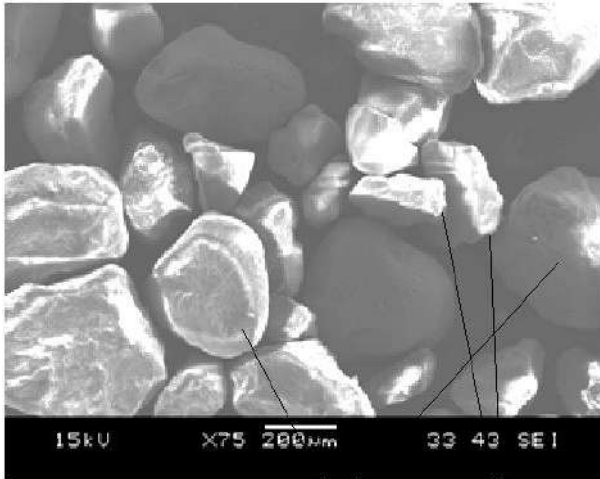
توضح المعالجة بالأشعة السينية -DRX- لرمل الكثبان والرمل الطبيعي لواد الرتم الشكلان (15.III و 16.III) أن طبيعتها من السيليكات SiO_2 بشكل أساسي إذ أن الكوارتز المعدن الرئيسي لتركيبها، وبشكل ثانوي تتواجد بعض العناصر مثل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ والجبس مع آثار من المعادن الطينية الأخرى. ووفقاً لـ [130] فإن عدم وجود آثار لصخور أو حجارة كربونية نشطة مثل الدولومايت أو المغنيسيت في الركام الناعم يعني أن الرمال التي تمت دراستها لها تركيبة مستقرة كيميائياً ، وقادرة على إنتاج الملاط أو الخرسانة دون تفاعل قلوي قلوي.

كما يبين الشكلان (15.III و 16.III) عدم وجود مواد ضارة في التركيب المعدني للرمل خاصة المواد العضوية، والتي تتفاعل سلبياً عند استخدامها في صنع الملاط أو خرسانة حسب ما ذكره أبو سيف [130].

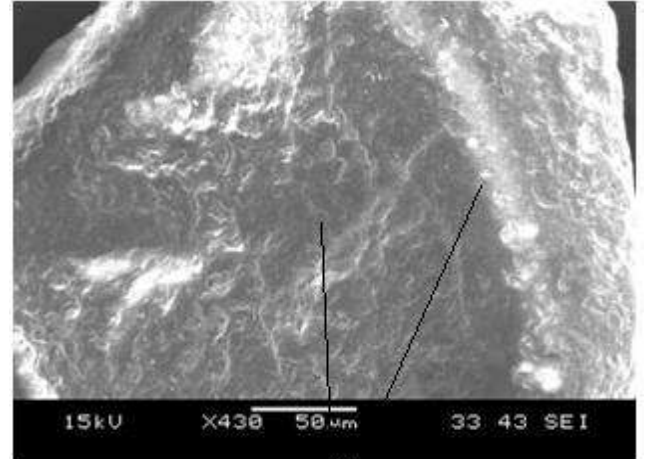
III. 5. 3-مشاهدة الماسح الإلكتروني MEB :

قمنا ببعضها في المركز الوطني لتنمية التكنولوجيات المتطورة -CDTA- الكائن مقره باب حسن بالجزائر العاصمة، وبعضها في مخبر جامعة بسكرة .

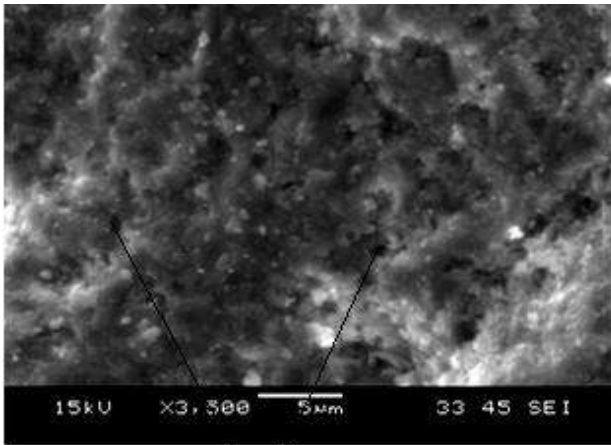
- رمل الكثبان منطقة قمار - الوادي -



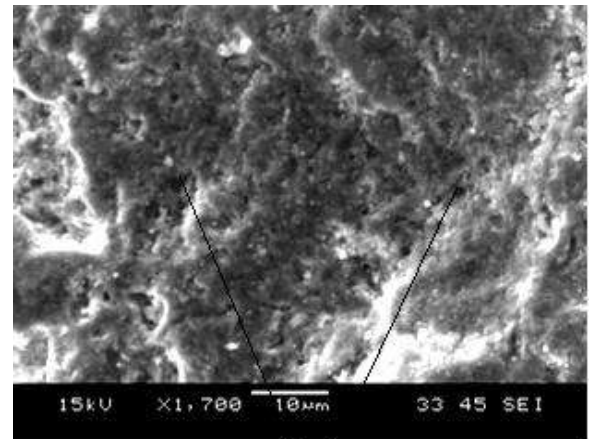
حببات دائرية
حببات صفيحية



سطح غير أملس به نتوءات



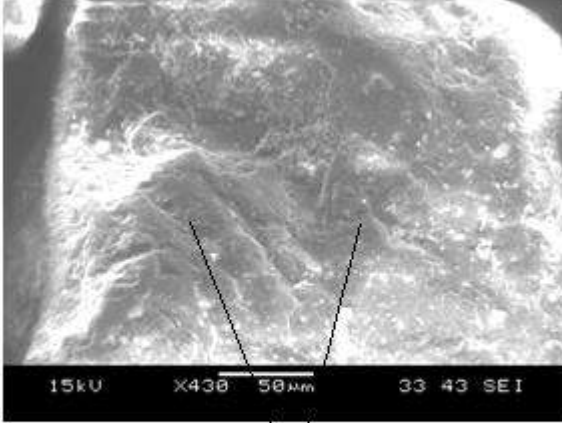
مسامات بسطح الحبيبة



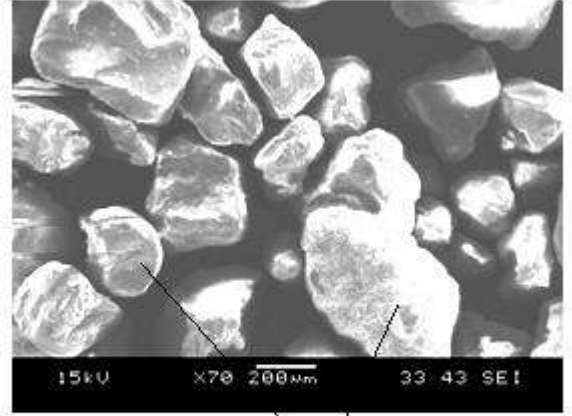
سطح به مسامات

الصورة III 6. - مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكثبان منطقة قمار - الوادي -

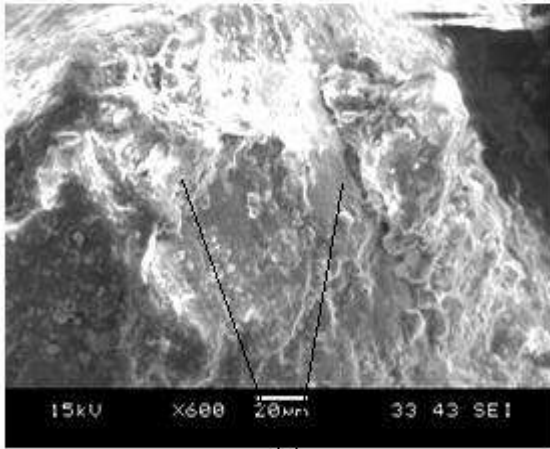
الرمل الطبيعي لواد الرتم :



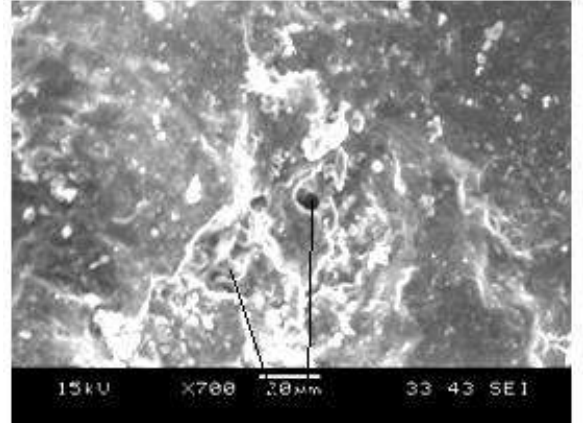
حببيات رمل ذات سطح خشن



حببيات رمل مختلفة الشكل والحجم



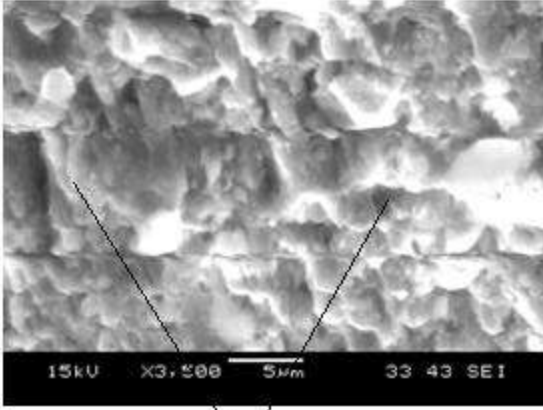
حببيات رمل سطحها غير متجانس



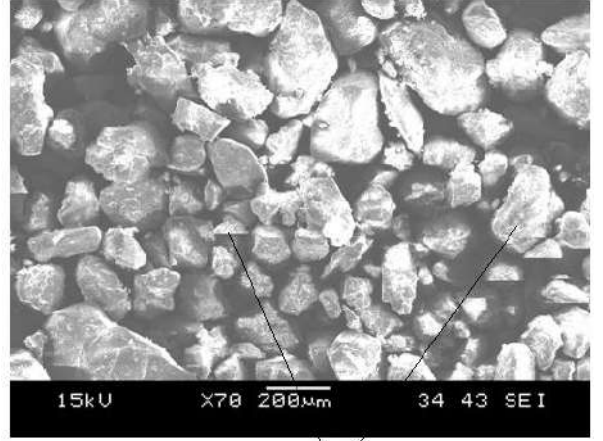
حببيات رمل بها مسامات

الصورة III 7 - مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكثبان منطقة واد الرتم

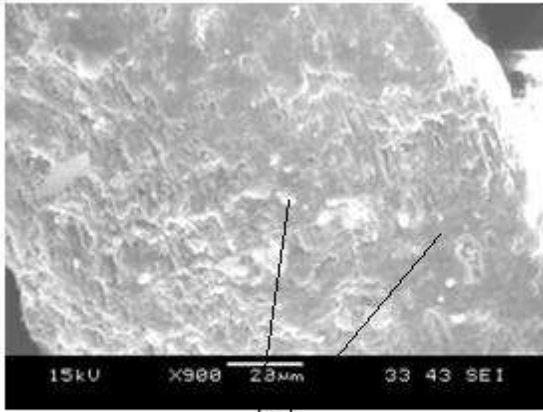
الرمل الطبيعي عسيلة :



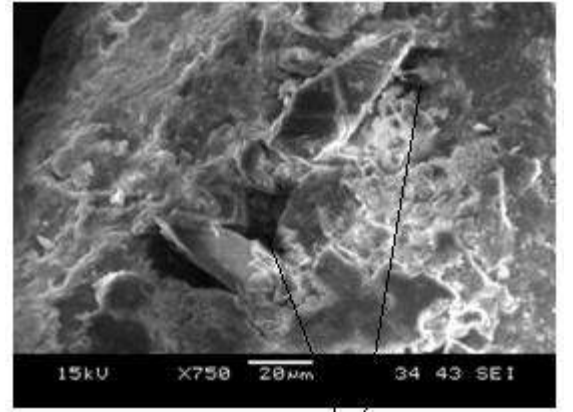
حببيات رمل سطحها خشن



حببيات رمل مختلفة الشكل والحجم



حببيات رمل سطحها غير متجانس



حببيات رمل سطحها به مسامات

الصورة 8.III - مشاهدة المجهر الإلكتروني MEB لرمل الكتبان منطقة عسيلة

- أظهرت الصورة الإلكترونية بواسطة المجهر الإلكتروني MEB لكل أنواع الرمال ، عدة أمور منها :
- شكل الحبيبات : توجد عدة أشكال للحبيبات منها شبه الكروي والمكعب وذو الشكل غير المنتظم مدبب الرؤوس والشكل غير المنتظم أملس الأطراف .
- سطح الحبيبات : يظهر السطح على أنه غير أملس إنما هو خشن ذو تضاريس.
- تحتوي بعض الحبيبات بداخلها على فراغات ومسامات .

III. 6 الإسمنت Ciment : هو رابط مائي مصنع 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. يعد الإسمنت من أهم مواد البناء، ويرجع تصلبه إلى التفاعلات الكيماوية القائمة على تمييه Hydratation سيليكات الكالسيوم وألوميناته وكبريتاته التي يتركب منها. وأنواعه كثيرة أشهرها وأكثرها انتشاراً «الإسمنت البرتلندي»

الإسمنت المستعمل في الدراسة : في الدراسة استعملنا نوعين من الإسمنت

III. 6. 1 اسمنت من نوع CPJ CEM II / A 42.5 : متواجد في السوق المحلي مصنوع من طرف مصنع الإسمنت بعين التوتة .

نتائج التجارب المجراة على هذا النوع من الإسمنت بخصوص الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة معطاة مسبقا في البطاقة التقنية لنوع الإسمنت [131] .

الكتلة الحجمية المطلقة : $\rho_{ab} = 3034 \text{ Kg/m}^3$

الكتلة الحجمية الظاهرية : $\rho_{ab} = 2120 \text{ Kg/m}^3$

وفيما يلي نتطرق إلى بعض التحارب :

III. 6. 1.1 المساحة السطحية للإسمنت : Surface spécifique

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

نسبة التفاعل الكيماوي

تطور المقاومة

كمية الإسمنت الضرورية لتغليف مجمل حبيبات الركام (الرمل، الحصى) لدعم الترابط بين كل الحبيبات.

المساحة السطحية للإسمنت المستعمل (اسمنت عين التوتة) مقاسه في مخبر مطحنة الإسمنت أعطى

$$3859 \text{ cm}^2/\text{g}$$

III. 6. 1. 2 زمن التصلب :

يتفاعل الإسمنت كيميائيا مع الماء ثم بعد مرور ساعة أو أكثر يبدأ العجين في إظهار شيء من التماسك الأولي نعب عنه بزم من بداية التصلب . هذا الوقت المنقضي بين بداية خلط الماء مع الإسمنت وبداية التصلب يسمى اصطلاحا زمن التصلب وهو مهم بالنسبة لعملية تشغيل الخرسانة (خطها، تحميلها، رفعها، ضخها، وكذلك هزها)

يختلف زمن التصلب على حسب نوعية الإسمنت ونعومته وكمية الماء ودرجة الحرارة ولذلك نقوم بتحديدده على عجين قياسي معد حسب نسبة الماء المثالية وفي 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 عموماً زمن التصلب أكثر من 90 دقيقة بالنسبة للإسمنت العادي في درجة حرارة 20 درجة مئوية. أما بالنسبة للإسمنت المستعمل في الدراسة (إسمنت عين التوتة) فحسب البطاقة التقنية فإن [131] :

الزمن الابتدائي للتصلب : 128 دقيقة

الزمن النهائي للتصلب : 184 دقيقة

III. 1.6. 3. الخصائص الكيميائية :

التحليل الكيميائي للإسمنت معطى مسبقاً في البطاقة التقنية لنوع الإسمنت على حسب النسب المئوية المشكلة لهذه المادة النتائج معطاة في الجدول التالي :

الجدول 17.III التحليل الكيميائي للإسمنت CPJ CEM II / A 42.5 عين التوتة

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PAF
21.90	5.73	3.13	60.18	1.85	2.29	0.19	0.83	4.07

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

القلويات $Na_2O + 0.658K_2O = 0.736 < 0.6\%$ ولكن لا يوجد أي خطر من فعل القلويات لأنها ليست من الحجر الجيري دولوميت .

III. 1.6. 4. مقاومة الضغط :

يُميّز الإسمنت بمقاومته للضغط بعد يومين وبعد سبعة أيام وبعد ثمانية وعشرين يوماً من لحظة إعداد الخلطة، ويتم ذلك على مواد اختبارية من ملاط نظامي وعينات خرسانية ذات مواصفات خاصة تنص عليها المقاييس الدولية والحكومية وتتبع في ذلك طرائق اختبار فيزيائية وميكانيكية محددة [71 و 133] .

III. 1.6. 5. المعامل الهيدروليكي Indice d'hydraulicité :

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

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{MgO + CaO} = 0.44 \dots \dots \dots (3.8)$$

الإسمنت المستخدم $I = 0.44 < 0.5$ إذن الإسمنت محايد . [134]

والجدول (9.III) يلخص بعض الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لإسمنت مصنع عين التوتة مجراة في المخبر التابع للمصنع:

الجدول 18.III الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لإسمنت CPJ CEM II / A 42.5 عين التوتة

<p>الكتلة الحجمية المطلقة : $\rho_a = 2120 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ الكتلة الحجمية الظاهرية : $\rho_b = 3043 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ المساحة السطحية النوعية : $\text{SSB} = 3895 \text{ (g/cm}^2\text{)}$ بدء التصلب : 128 دقيقة نهاية التصلب : 184 دقيقة</p>	<p>الخصائص الفيزيائية</p>
<p>$R_{c28} = 48.24 \pm 2.89$ $R_{c7} = 37.61 \pm 2.77\text{MPa}$ $R_{c2} = 22.27 \pm 2.24$ $R_{t28} = 08.48 \pm 0.52$ $R_{t7} = 07.11 \pm 0.43$ $R_{t2} = 04.97 \pm 0.41$</p>	<p>الخصائص الميكانيكية (Mpa)</p>

III. 2.6 اسمنت من نوع (CRS) CEM I 42.5 :

اسمنت (CRS) CEM I 42.5: وهو اسمنت مقاوم للكبريتات يحتوى هذا النوع من الإسمنت على نسبة منخفضة من ألومينات ثلاثي الكالسيوم ويتصف بقدرة أكبر على مقاومة الكبريتات بسبب مكوناته [135] ، أو بسبب العمليات المستخدمة في صناعته، لذلك فهو يستخدم في الحالات التي تتطلب مقاومة عالية للكبريتات وهو متواجد في السوق المحلي مصنوع من طرف مصنع الإسمنت عين التوتة وهو مطابق للقواعد: NA 442 000. [136] و [137]: NA 433:2002

III. 2.6 نتائج التجارب المجراة على هذا النوع من الإسمنت معطاة مسبقا في البطاقة التقنية لنوع الإسمنت [138]

الجدول 19.III الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لاسمنت (CRS) CEM I 42.5 مصنع عين التوتة

بدء التصلب : 60 دقيقة الإنكماش : خلال 28 يوم > 1000 $\mu\text{m} / \text{m}$	الخصائص الفيزيائية
Rc28 = 52.5N/mm ² Rc2 = 10	الخصائص الميكانيكية (Mpa)

الخصائص الكيميائية :

الجدول 20.III الخصائص الكيميائية لاسمنت (CRS) CEM I 42.5 مصنع عين التوتة

الإسمنت	SO3 (si C3A ≤ 3%)	≤ 3,5%
	SO3 (si C3A ≤ 5%)	≤ 2,5%
	PAF	≤ 3%
	Rés.Ins	≤ 0,75%
	MgO	≤ 4%
الكلنكر	C3A	≤ 5%
	C4AF+2(C3A)	≤ 20%

7.III : الماء :

أهمية الماء:

1. الماء ضروري لكي يتم التفاعل الكيماوي بين الإسمنت والماء.
2. وهو ضروري أيضا لكي تمتصه الحبيبات المستعملة في الخرسانة.
3. يعطي الماء الخليط المؤلف من الركام الخشن والناعم والإسمنت درجة مناسبة من اللبونة تساعد على التشغيل والتشكيل.
4. بوجود الماء يمكن خلط مقدار أكبر من الحبيبات بنفس الكمية من الإسمنت.
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 المائبة الإسمنتية E/C:

هي النسبة بين وزن الماء الحر المخصص للتفاعل (عدا عن الماء الذي تمتصه الحبيبات) إلى وزن الإسمنت في الخلطة. ولضبط نسبة الماء في الخلطة أهمية بالغة وعليها تتوقف قوة الخلطة ومساميتها 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 والتقشر 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 [49] 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.
4. يحظر استعمال الماء غير الصالح للشرب في خلط وإيناع الخرسانة إلا بعد أن يثبت مخبريا بأن مقاومة مكعبات الملاط (Mortar) الذي جرى خلطه بالماء غير الصالح للشرب تساوي على الأقل (90) % من مقاومة نظيراتها والتي جرى تحضيرها باستعمال ماء صالح للشرب وذلك عند عمر (7) أيام و (28) يوما وحسب المواصفات التقنية اللازمة .
5. يجرى تصميم الخلطة الخرسانية في المختبر باستعمال نفس الماء غير الصالح للشرب والذي سيجرى استخدامه في الخلطات الخرسانية بالموقع [139].

2.7.III التركيبة الكيميائية للماء المستعمل:

الجدول 21.III التركيبة الكيميائية للماء المستعمل

الملوحة	PH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺⁺	K ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
2799	7.75	124	755	14.5	755	536	31	125	242

8.III الألياف :

الألياف المستعملة في هذه الدراسة هي ألياف معدنية متواجدة في الأسواق بأبعاد وأشكال مدروسة خصيصا لاستعمالها في تحسين خصيصا الخرسانة، وقد استعملنا نوعين من هذه المادة وهما **Hoked و Irregular** المصنوعين من الحديد اللين، حيث يسمح الشكل الهندسي لهما بإعطاء الخرسانة مقاومة أكثر. تم جلبهما من المؤسسة **Granitex Nouveaux Produits** بفرع تونس حيث تحصلنا على النوع المتموج وكمية متواضعة من النوع ذي العكفات كما استعنا بنفس المؤسسة **Granitex Nouveaux Produits** من فرعها بالجزائر حيث تحصلنا على كمية أخرى من هذا النوع كي يتسنى لنا إكمال الدراسة والصورة 9.III تبين شكل الألياف المعدنية المستعملة.



ألياف معدنية متموجة



ألياف معدنية ذات عكفت

الصورة 9.III شكل الألياف المعدنية المستعملة في الدراسة

III.8.1 الخصائص الميكانيكية للألياف المستعملة :

- الكتلة الحجمية المطلقة:

هي في العموم نفسها الكتلة الحجمية المطلقة للحديد اللين التي تعطى بـ $\rho_a = 7850 \text{ Kg/m}^3$

- الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف المعدنية المستعملة :

وتلخص في الجدول التالي حسب البطاقة التقنية [12]:

الجدول 22.III الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف المعدنية المستعملة

النوع الثاني ذي العكفات	النوع الأول المتموج	الخصائص
mm 30	mm 45	الطول
mm 0.5	mm 1	القطر
ذو عكفات	متموج	الشكل
MPa 800 – 600	MPa 1100 – 800	إجهاد التحطم عند الشد

III.9 صياغة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف:

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.

إذ تعتبر عملية التحسين بالألياف للخرسانة مرحلة مهمة وضرورية في علم هندسة المواد. ولا تقتصر عملية الصياغة على إضافة نسبة من الألياف فقط بل يجب مراعاة عوامل أخرى من أهمها التشغيلية، إذ أن إضافة هذه المادة في الخرسانة يحدث تغيراً في التدرج الحبيبي العام للركام وبالتالي التأثير على التشغيلية [134].

III.9.1 صياغة وتحضير الملاط النظامي :

الملاط النظامي [140]: معرف حسب القاعدة EN 196-1 [141] وهو عبارة عن خليط من الإسمنت والماء والرمل كل من هذه المكونات يخضع لشروط نظامية منصوص عليها. فالرمل المستخدم هو رمل نظامي يجب أن

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعملة وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

يكون موافيا الشروط المنصوص عليها في النظام (CEN EN 196-1) هذا الرمل تجاري يباع في أكياس من البلاستيك ذات وزن $g \pm 1350$.

يتم خلط هذه الكمية من الرمل مع $g \pm 450$ من الإسمنت و $g \pm 225$ 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 [140] 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 الملتصق 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].

III.2.9 صياغة خرسانة الرمل العادية (الشاهد):

من أجل الحصول على تركيبة لخرسانة الرمل العادية التي سنستعملها كشاهد ، نأخذ تركيزا من الإسمنت والرمل كما هو منصوص عليه في الملاط النظامي أي نأخذ مقدارا من الإسمنت وثلاث مقادير من الرمل، أما نسبة الماء فتحدد بواسطة تجربة التشغيلية. التي تجرى بالجهاز Maniabilimètre الخاص بها من أجل الحصول على ملاط مرن كما هو موصى به حسب المواصفات .

ملاحظة :

I- قبل عرض التجارب والنتائج نعرف بالرموز التالية :

F1 : ليف طوله 45 ملم وقطره 1 ملم شكله متموج

F2 : ليف طوله 30 ملم وقطره 0.5 ملم شكله ذو عكفات

الجدول III.23 رموز مختلف التركيبية الخرسانية المدروسة

الرمز	التركيبية الخرسانية
%100SDO	برمل الكتبان ورقلة 100%
%100SDE	برمل الكتبان الوادي 100%
%50SDO+%50SAH	تحتوي على 50% رمل الكتبان ورقلة 50% رمل طبيعي حاسي بحبح
40%SDO+60%SAH	تحتوي على 40% رمل الكتبان ورقلة و 60% رمل طبيعي حاسي بحبح
40%SDE+60%SAA	تحتوي على 40% رمل الكتبان الوادي و 60% رمل طبيعي عسيلة
40%SDE+60%SAR	تحتوي على 40% رمل الكتبان الوادي و 60% رمل طبيعي واد الرتم
100%SDO+1%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 100% رمل الكتبان ورقلة+ الليف المتموج بنسبة 1 %.

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعملة وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

100%SDO+1%F1.5	المدعمة بالألياف محتوية على 100% رمل الكثبان ورقلة+ الليف المتموج بنسبة 1.5 %.
100% SDO+1%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 100% رمل الكثبان ورقلة + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.
100%SDO +1.5%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 100% رمل الكثبان ورقلة+ الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.
50%SDO+50%SAH+1%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح . + الليف المتموج بنسبة 1 %.
50%SDO+50%SAH +1.5%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.
50%SDO+50%SAH +1%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.
50%SDO+50%SAH +1.5%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.
40%SDO+60%SAH+1%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف المتموج بنسبة 1 %.
40%SDO+60%SAH +1.5%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.
40%SDO+60%SAH +1%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.
40%SDO+60%SAH +1.5%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.
40%SDE+60%SAA+1%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان الوادي + 60% رمل طبيعي عسيلة + الليف المتموج بنسبة 1 %.
40%SDE+60%SAA+1.5%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان الوادي + 60% رمل طبيعي عسيلة + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.
40%SDE+60%SAA+1%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان الوادي + 60% رمل طبيعي عسيلة + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.
40%SDE+60%SAA+1.5%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكثبان الوادي + 60% رمل طبيعي عسيلة. + الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.

40%SDE+60% SAR+1%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكتبان الوادي + 60% رمل طبيعي الرتم + الليف المتموج بنسبة 1 %.
40%SDE+60% SAR +1.5%F1	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكتبان الوادي + 60% رمل طبيعي طبيعي الرتم + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.
40%SDE+60% SAR+1%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكتبان الوادي + 60% رمل طبيعي طبيعي الرتم + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.
40%SDE+60% SAR+1.5%F2	المدعمة بالألياف محتوية على 40% رمل الكتبان الوادي + 60% رمل طبيعي طبيعي الرتم + الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.

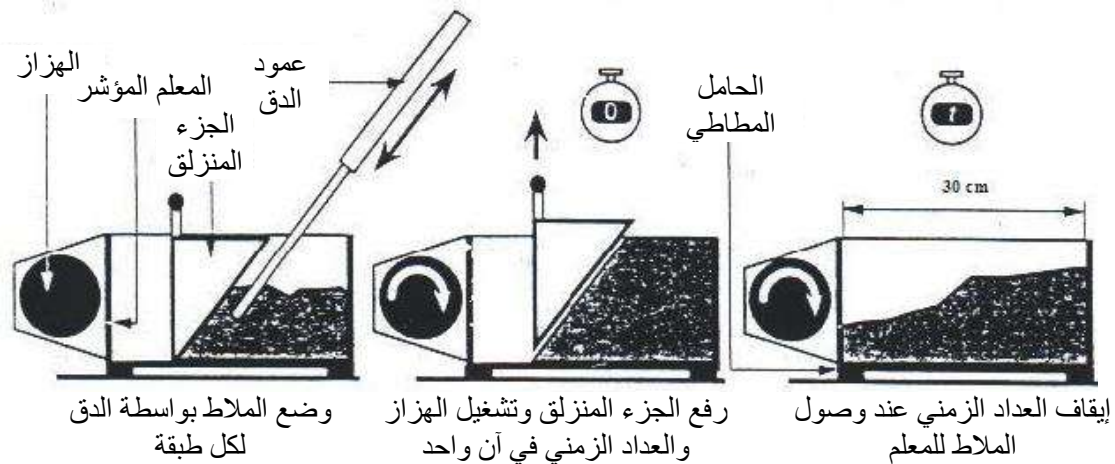
III. 3.9 تجربة التشغيلية :

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 أن الخرسانة أكثر تشغيلية إذا كانت عملية صبها في القوالب أكثر سهولة [142].

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 [143] NFP 18-452 و [144] NF P 15-437.

الجهاز المستعمل :

ويسمى الجهاز بالـ Maniabilimètre كما ذكرنا سابقاً وكما هو موضح في الشكل (III.17)، حيث يتكون من علبة متوازية الأضلاع ذات الأبعاد 15 x 15 x 30 سم موضوعة على حوامل من المطاط، وهو مجهز بهزاز وجزء منزلق يعطي إشارة انطلاق الهز عند سحبه. كما نحتاج في هذه التجربة إلى خلط منتظم من أجل تكوين الخرسانة أو الملاط المراد إجراء التجربة عليه.



الشكل III.17 تجربة التشغيلية [145]

الجدول 24.III صنف الخرسانة بدلالة التشغيلية

المدة بالثانية	صنف الخرسانة حسب التشغيلية
$t \geq 40$	خرسانة صلبة
$20 < t \leq 30$	خرسانة مرنة
$10 < t \leq 20$	خرسانة مرنة جدا
$t \leq 10$	خرسانة مائعة

وبعد إجراء التجربة تحصلنا على النتائج التالية :

الجدول 25.III نتائج تجربة التشغيلية

الزمن	E/C	التركيبية
2 ± 30.5 ثا	0.6	100% SDO
2 ± 27 ثا	0.55	100%SDE
2 ± 25 ثا	0.55	50% SDO+50% SAH
2 ± 25 ثا	0.55	40%SDO+60% SAH
2 ± 25 ثا	0.55	40%SDE+60% SAR
2 ± 23 ثا	0.55	40%SDE+60% SAA

إذا كل الخرسانة من النوع المرن حسب قواعد ENV206.[146] ملاحظة : كان من المستحسن استعمال إضافات في التركيبة SDO 100% وذلك للبقاء في المجال المرن في كل الحالات ولكن مادامت لم تصل القيمة إلى 40 ثا فضلنا عدم استعمال الملدن . وعليه فان التركيبة للخرسانة الرمل الشاهد تؤخذ كما يلي :

III. 4.9 تركيبة الخرسانة المدروسة:

* تركيبة خرسانة الرمل الشاهد

الجدول III.26 تركيبة خرسانة الرمل الشاهد

المعامل E/C	الإسمنت	الرمل	المركبات
0.6	جزء واحد	3 أجزاء	100% SDO
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	100%SDE
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	50% SDO+50% SAH
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	40%SDO+60% SAH
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	40%SDE+60% SAR
0.55	جزء واحد	3 أجزاء	40%SDE+60% SAA

* خرسانة الرمل المدعمة بالألياف

وللحصول على الصياغة الحسنة لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف نبقى على النسبة E/C ثابت كما هي عليه في تركيبة خرسانة الرمل العادية .

أي أنه من أجل التركيبة المشتملة على نسبة رمل الكثبان 100% (E/C = 0.6)

ومن أجل التركيبة المشتملة على رمل الكثبان 50% + 50% رمل طبيعي (E/C = 0.55)

ومن أجل التركيبة المشتملة على 40% رمل الكثبان لكلا النوعين + 60% رمل طبيعي لكل الأنواع (E/C =)

(0.55)

أما بالنسبة لكمية الألياف المستعملة فمقدرة ب1% و1.5% من الكتلة الحجمية لوحد متر مكعب من الألياف كما هو منصوص عليه ثم ينقص حجم هذه الكتلة من الألياف من حجم الرمل المستعمل لأن الألياف تعتبر من هذا الجانب حبيبات تعوض حبيبات الرمل أو الحصى .

وهذه تركيبة العينات المستعملة في الدراسة للمتر المكعب الواحد من الخرسانة :

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعملة وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

* العينة الأول SDO 100%:

الجدول 27.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الأول SDO 100%

نسبة الألياف	الرمل (Kg)	الإسمنت (Kg)	الماء ب (l)	الألياف (Kg)	E/C	زمن السيلاّن للمتموج	زمن السيلاّن للليف المعكوف
بدون ليف	1382.61	460.86	276.52	-	0.6	-	-
%1	1356.49	452.16	271.3	78.5	0.6	32.5±2ثا	33±2ثا
%1.5	1343.43	447.81	268.686	117.75	0.6	33±2ثا	34.5±2ثا

* العينة الثانية SDE 100%:

الجدول 28.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثانية SDE 100%

نسبة الألياف	الرمل (Kg)	الإسمنت (Kg)	الماء ب (l)	الألياف (Kg)	E/C	زمن السيلاّن للمتموج	زمن السيلاّن للليف المعكوف
بدون ليف	1396.63	465.54	279.32	-	0.6	-	-
%1	1370.41	456.80	274.08	78.5	0.6	32±2ثا	32.6±2ثا
%1.5	1357.31	452.43	271.462	117.75	0.6	32.8±2ثا	34±2ثا

* العينة الثالثة 50% SDO+50% SAH

الجدول 29.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثالثة 50% SDO+50% SAH

نسبة الألياف	الرمل (Kg)	الإسمنت (Kg)	الماء ب (l)	الألياف (Kg)	E/C	زمن السيلاّن للليف المتموج	زمن السيلاّن للليف المعكوف
بدون ليف	1392.39	464.13	255.27	-	0.55	-	-
%1	1366.29	455.43	250.48	78.5	0.55	26.5±2ثا	28±2ثا
%1.5	1353.24	451.08	248.094	117.75	0.55	27.5±2ثا	29±2ثا

* العينة الرابعة 40% SDO+60% SAH

الجدول 30.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الرابعة 40% SDO+60% SAH

نسبة الألياف	الرمل (Kg)	الإسمنت (Kg)	الماء ب (l)	الألياف (Kg)	E/C	زمن السيلاّن للليف المتموج	زمن السيلاّن للليف المعكوف
بدون ليف	1392.39	464.13	255.27	-	0.55	-	-
%1	1366.29	455.43	250.48	78.5	0.55	26.5±2ثا	28±2ثا
%1.5	1353.24	451.08	248.094	117.75	0.55	27±2ثا	29.5±2ثا

* العينة الخامسة 40%SDE+60%SAR:

الجدول III.31 تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الخامسة 40%SDE+60%SAR

نسبة الألياف	الرمل (Kg)	الإسمنت (Kg)	الماء ب (l)	الألياف (Kg)	E/C	زمن السيولان للليف المتموج	زمن السيولان للليف المعكوف
بدون ليف	1392.39	464.13	255.27	-	0.55	-	-
1%	1366.29	455.43	250.48	78.5	0.55	26.5±2ثا	28.5±2ثا
1.5%	1353.24	451.08	248.094	117.75	0.55	27.5±2ثا	29.5±2ثا

* العينة السادسة 40%SDE+60%SA:

الجدول III.32 تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة السادسة 40%SDE+60%SA

نسبة الألياف	الرمل (Kg)	الإسمنت (Kg)	الماء ب (l)	الألياف (Kg)	E/C	زمن السيولان للليف المتموج	زمن السيولان للليف المعكوف
بدون ليف	1392.39	464.13	255.27	-	0.55	-	-
1%	1366.29	455.43	250.48	78.5	0.55	26±2ثا	28±2ثا
1.5%	1353.24	451.08	248.094	117.75	0.55	26.3±2ثا	28.5±2ثا

والكتلة الحجمية لخرسانة الألياف المنجزة في هذه الدراسة كانت نتائجها كما هو موضح في الجدول :

الجدول III.33 الكتلة الحجمية لخرسانة الألياف المنجزة ب (Kg/m³)

اليف %	100%SDO	100%SDE	50%SDO+50%SAH	40%SDO+60%SAH	40%SDE+60%SAR	40%SDE+60%SA
0%	2120	2141.5	2135	2135	2135	2135
1%	2172.37	2193.87	2164.19	2164.19	2164.19	2164.19
1.5%	2198.56	2220	2190.39	2190.39	2190.39	2190.39

نلاحظ من هذا الجدول أن الكتلة الحجمية للخرسانة تزداد بزيادة نسبة الألياف المعدنية المستعملة وهذا أمر طبيعي وواضح إذ أن الكتلة الحجمية للألياف المعدنية أكبر من الكتلة الحجمية للرمل .

III.4.9 تحضير وشكل العينة :

بعد الحصول على الصياغة المثلى لخرسانة رمل الكثبان المدعمة بالألياف المعدنية قمنا بالتحضير لعملية الخلط والصب للعينات اللازم دراستها حيث كانت بالأبعاد التالية (160×40×40 ملم) أما العجينة فتم تحضيرها بالطريقة التالية :

تم خلط الرمل (S) لوحده لمدة 30 ثانية .

إدخال الإسمنت (C) ثم الخلط لمدة 60 ثانية .

إدخال الألياف المعدنية (F) مرحليا مع الخلط لضمان تجانس الخليط (S+C+F) .

إضافة الماء تدريجيا أثناء الخلط للمجموعة (S+C+F+E) ثم الخلط لمدة 4 دقائق .

* ملء القالب يكون عبر طبقتين مع هز كل طبقة عند ملئها لمدة دقيقة وبوتيرة 60 هزة في هذه المدة من ارتفاع

. [133] mm 0.3 ± mm 15

* تترك العينة في الهواء الحر وفي شروط (T= 25° و HR = 65) ثم ينزع القالب بعد 24 ساعة وتغمس

العينات في الماء لمدة 28 يوم في درجة حرارة (T= 25 ± 2°) . عدد العينات كان ستة 6 عينات لكل مرحلة

زمنية من عمر الخرسانة والأعمار المدروسة هي (180،90،28 يوما) .

III.5.9 طرق التجارب على العينات:

هناك نوعان من طرق التجارب التي تجرى على الخرسانة ، منها ما هو متلف ومحطم لهيكلها ، فلا يمكننا في

هذا النوع من التجارب الحصول على النتائج إلا بعد تحطيم الجسم كاملا وعادة ما يكون على عينات نظامية

أعدت مسبقا لذلك ، وتسمى التجارب التحطيمية ، ومنها ما هو غير ذلك اي أنه لا يتلف الجسم بكامله وإنما

يتعرض لجزء منه ، أو أنه لا يترك أثرا على الإطلاق ، وتسمى التجارب غير التحطيمية أو غير المتلفة .

التجارب على العينات : كل التجارب كانت من النوع التحطيمي، ما عدى تجربتي الامتصاص والتغير في الكتلة.

III.5.9.1 تجربة التحطيم بالانحناء :

تتم تجربة الانحناء على عينات لها مقطع مربع 4×4 سم وطول 16 سم ، البعد بين المسندين 10 سم كما يتم تنفيذ

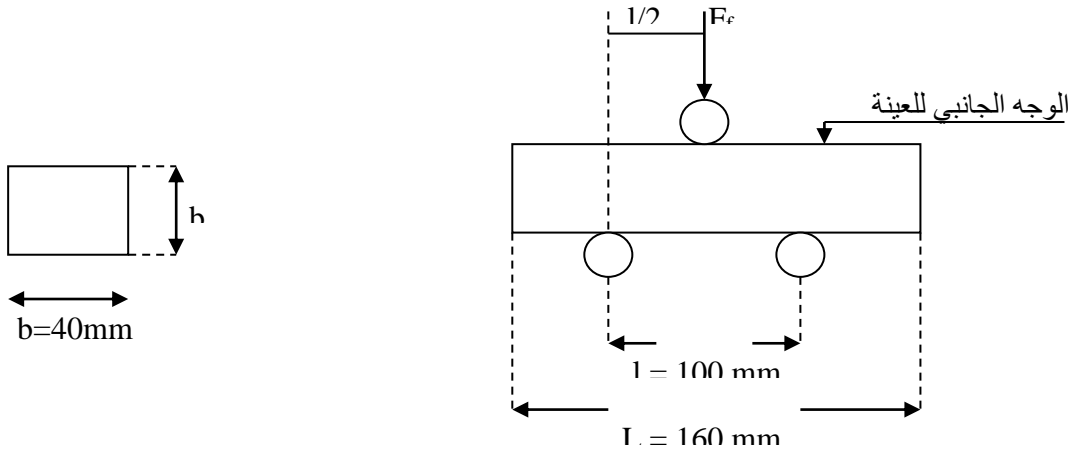
هذه العملية بواسطة آلة الانحناء بثلاث نقاط، الآلة مزودة بمسندين أسطوانيين من الأسفل ثابتين تستند عليهما

العينة ومسند علوي اسطواني كذلك مطبق وسطهما متحرك بواسطة محرك الآلة ليطبق القوة على العينة وتقرأ

الحمولة مباشرة من الآلة .

هذه التجربة منصوص عليها حسب القاعدة EN 196-1 [147] والشكل III. 18 هو عبارة عن شكل تخطيطي

لآلة التحطيم بواسطة الانحناء .



الشكل III. 18. يوضح آلية التحطيم بالانحناء

التجربة تجرى بواسطة آلة التحطيم الخاصة بتجربة الانحناء لعيينة من خرسانة الرمل أو الملاط ذات أبعاد (160×40×40 ملم) ، قدرت هذه الآلة على التحطيم تصل إلى 10KN إذ تطبق تقريبا 2.67 KN/min .
صورة الجهاز موضح في الملحق .
مقاومة الانحناء تحسب بالعلاقة التالية :

$$R_f = \frac{150.F_f.l}{b^3} \dots\dots\dots(4.1)$$

R : مقاومة الانحناء ب (MPa)

F_f : قوة تحطم العينة عند الانحناء

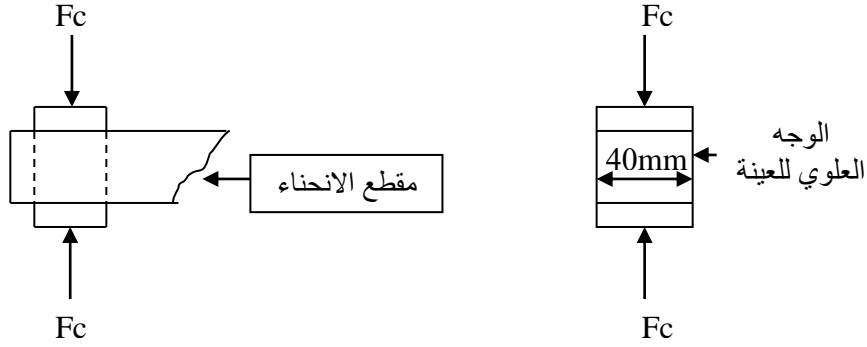
l : البعد بين المسندين ب (mm)

b : جزء العينة الذي يساوي 40 mm

L : طول العينة الكلي . [148]

III. 5.9. 2. تجربة التحطيم بواسطة الضغط :

هذه التجربة منصوص عليها حسب القاعدة EN 196-1 [147]. وتكون بواسطة جهاز ضغط المواد الصلبة وتكون على نصف العينة هذا النصف المتأني من تجربة تحطيم العينة بالانحناء بمقطع ذي أبعاد 40x40 mm توضع هذه العينة ما بين صفيحتين معدنيتين صلبتين حيث تتموضع هذه الأخيرة على بعد 1 cm من الحواف الجانبية كما هو موضح في الشكل III. 19.



الشكل III 19. يوضح آلية التحطيم بالضغط

التجربة تجرى بواسطة آلة التحطيم الجامعية الخاصة بتجربة الضغط 12 MP من نوع Oehlgass قدرت هذه الآلة على الضغط تصل إلى 120 kN وبواسطة سرعة انتقال منتظمة ومستمرة. صورة الجهاز موضحة في الملحق .

$$Rc = \sigma_c / b^2 \dots\dots\dots(4.2)$$

Rc : مقاومة الضغط ب (MPa)

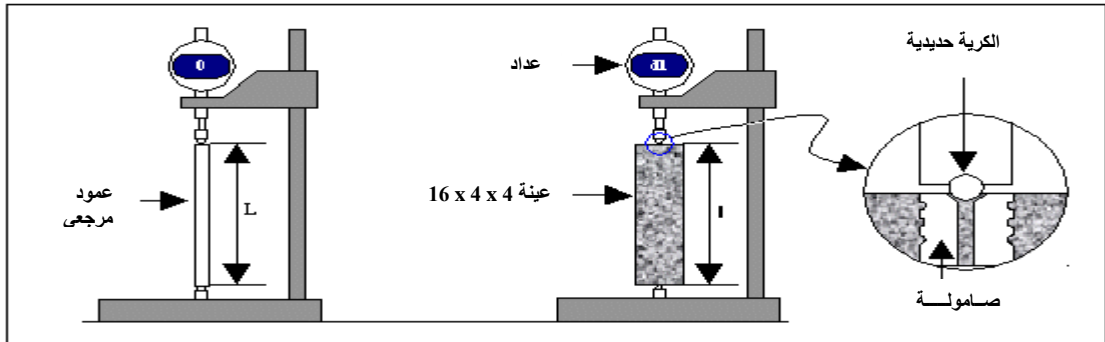
σ_c : قوة تحطم العينة عند الضغط ب (N)

b : جزء العينة الذي يساوي 40 mm [148]

III 3.5.9 تجربة الانكماش :

تتم تجربة الانكماش على عينات لها مقطع مربع 4×4 cm وطول 16 cm مزودة في سطوحها العلوية والسفلي بصمولتين توضع عليهما كريتان حديديتان وتدخل العينة وهي على هذا الحال إلى جهاز رقمي يقيس الطول مباشرة اعتبارا من طول ابتداء يضبط عليه ، هذا الجهاز من النوع : *Rétrocontrôle* كما هو موضح في الملحق والشكل III 20 يمثل شكلا تخطيطيا لجهاز قياس الانكماش .

هذه التجربة منصوص عليها حسب القاعدة NF P 15-433 . [149]



الشكل III 20 يوضح آلة الانكماش

ملاحظة :

– عدد العينات المختارة للقيام بكل تجربة كان ستة عينات .

III.5.9.4 تجربة امتصاص الماء(الخاصية الشعرية) :

تجربة امتصاص الماء بواسطة الخاصية الشعرية هي التجربة التي تعطينا معلومات عن قدرات امتصاص الماء من طرف الخرسانة. حيث أنها تتضمن قياس كتلة الماء التي تم امتصاصها من قبل العينة [43] . يتم تنفيذ التجربة بناء على توصيات AFPC-AFREM ، [162] على عينات خرسانة الرمل . وهي من أهم مميزات الخرسانة بصفة عامة ، التي تدلل على مدى كثامة المادة من عدمه ، ونستطيع القول أنها تعطي لمحة عن الفراغات والمسامات داخل الجسم الخرساني ، حيث أن امتصاص الخرسانة لكثير من الماء قد يؤدي لحدوث عدد من المشاكل داخل الجسم الخرساني ، منها المساعدة على دخول المواد الضارة [37] وتجربة امتصاص الماء تجرى كما يلي [163] :

أخذ العينات وهي جافة .

توضع على مسندين حاملين .

تغمر بقدر 2mm .

ويبقى الجزء العلوي في الهواء الطلق .

يقاس الوزن خلال الزمن كما يلي ، في 6 د ، 12 د ، 30 د ، 1 سا ، 4 سا ، 8 سا ، 24 سا ، 48 سا .

يحسب حجم الفراغات من خلال حساب وزن الماء الممتص .

ويحسب معامل الامتصاص المتعلق بالوزن والزمن بالعلاقة [157] :

$$AC\% = (M_{SAT} - M_{SEC} / M_{SEC}) \times 100$$

AC : معامل الامتصاص

M_{SAT} : كتلة العينة بعد الامتصاص

M_{SEC} : كتلة العينة الجافة

ويحسب معامل الامتصاص المتعلق بالزمن ومساحة العينات مغمورة في الماء أيضا بالعلاقة: [43] :

$$Ca\% = (MSAT - MSEC / A)$$

Ca : معامل الامتصاص (kg/m^2)

MSAT : كتلة العينة بعد الامتصاص (Kg)

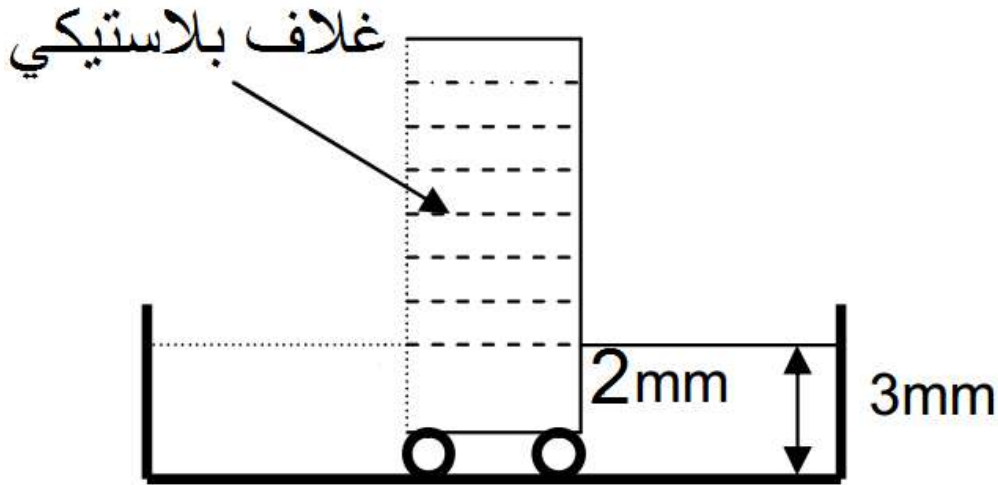
MSEC : كتلة العينة الجافة (Kg)

A : مساحة سطح العينة (m^2)

وقد تم القياس كما يلي :

- بالنسبة للعينات التي استعملت كشاهد ، حفظت في الماء بعد نزع القالب ، وبقيت في الهواء حيث لم توضع في الوسط العدواني .

- بالنسبة للعينات التي وضعت في الوسط العدواني ، تم نزع العينات بعد ما استوفت مدة ستة أشهر داخل المحلول



الشكل 21.III رسم تخطيطي يوضح تجربة امتصاص الماء بالخاصية الشعرية [157]

الخلاصة :

نستخلص من هذا المحور ما يلي :

من خلال التجارب المجرى على رمل الكثبان لمنطقة ورقلة نستنتج أنه رمل دقيق معامل نعومته ضعيف لا يرقى لاستعماله في الخرسانة لوحده إلا إذا استعملنا معه بعض المحسنات .
رمل الكثبان لمنطقة الوادي رمل دقيق معامل نعومته ضعيف يمكن استعماله في الخرسانة إذا استعملنا معه بعض المحسنات .

الرمل الطبيعي لمنطقة حاسي السائح وكذلك عسيلة ووادي الرتم أعطت معاملات نعومة جيدة .
لتحسين خصائص رمل الكثبان اقترحنا أن يكون بالرمل الطبيعي بنسب 50 % من كلا النوعين للتركيب الأولى و 40 % من رمل الكثبان و 60 % من الرمل الطبيعي في التركيبة المتبقية وقد أعطتنا جميعها معاملات نعومة مقبولة .

تجارب النقاوة دلت على أن كل الرمال نقية .

أظهرت المشاهدات المجهرية لهذه الرمال أن العينات تتكون أساساً من كوارتز (SiO_2) على شكل حبيبات مستديرة أو شبه مستديرة. كما تم الكشف عن وجود أكاسيد الحديد (Fe_2O_3)

الإسمنت المستعمل مجلوب من منطقة عين التوتة وهو نوعان إسمنت بورتلندي عادي من نوع

CPJ CEM II / A 42.5 وإسمنت مضاد للكبريتات من نوع CEM I 42.5 (CRS)

الماء المستعمل هو ماء صالح للشرب من حنفية مخبر الهندسة المدنية بالجامعة .

الألياف المعدنية المستعملة نوعان هما **Hoked** و **Irregular** المتموجة وذات العكفات المصنوعان من الحديد اللين، حيث يسمح الشكل الهندسي لهما بإعطاء الخرسانة مقاومة أكثر.

تركيبية خرسانة الرمل العادية التي سنستعملها كشاهد، نأخذ تركيزا من الإسمنت وثلاثة من الرمل كما هو منصوص عليه في الملائم النظامي أي نأخذ مقدارا من الإسمنت وثلاث مقادير من الرمل، أما نسبة الماء فحددت من خلال تجربة التشغيلية بمقدار E/C مساوي ل 0.6 في رمل الكثبان و 0.55 بالنسبة للمزيج .

الصياغة المقترحة لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف جاءت كما يلي : نبقى على النسبة E/C ثابتة كما هي عليه في تركيبية خرسانة الرمل العادية أما بالنسبة لكمية الألياف المستعملة فمقدرة ب 1% و 1.5% من الكتلة الحجمية لواحد متر مكعب من الألياف كما هو منصوص عليه ثم ينقص حجم هذه الكتلة من الألياف من حجم الرمل المستعمل لأن الألياف تعتبر من هذا الجانب حبيبات تعوض حبيبات الرمل أو الحصى .

الفصل الرابع : مختلف سلوك الخرسانة المدروسة

الفصل الرابع : مختلف سلوك الخرسانة المدروسة

1.IV مدخل :

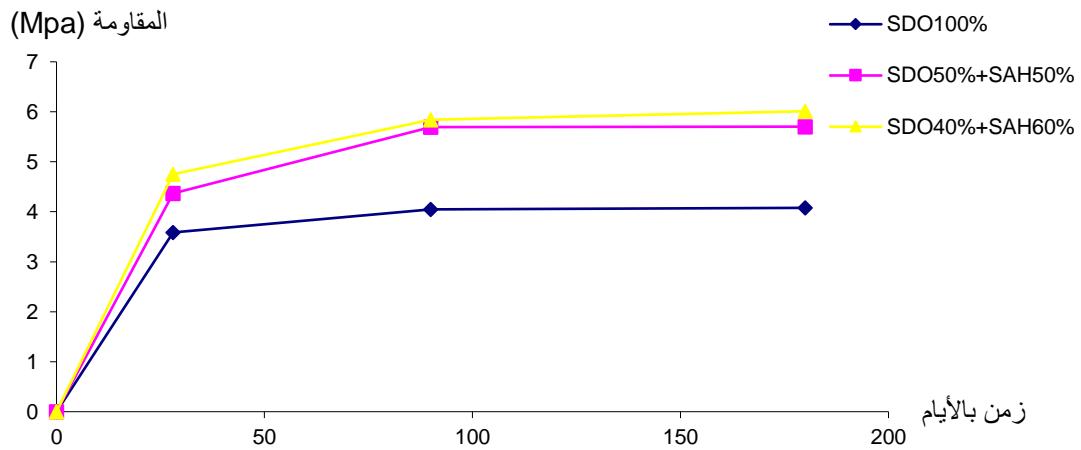
تعد الخصائص الميكانيكية لمادة ما أهم الخصائص التي تميزها عن الكثير من المواد وعن مثيلاتها من المركبات وبعد تعريف خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية وإعطاء نبذة عن تاريخها وخصائصها ومعرفة التركيبة المثلى لهذه المادة المقترحة في الدراسة. ففي هذا الفصل سنتطرق إلى الخصائص الميكانيكية لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية وبالتحديد إلى مقاومة الضغط ومقاومة الشد في الأيام 28 و 90 و 180، كما سنقوم بدراسة ظاهرة الانكماش في الأيام 2 و 7 و 14 و 28 و 60 ، وكذلك سنعرض بعض سلوك الخرسانة وديمومتها عند تعرضها لوسط حامضي عدواني وتتمثل هذه السلوكات في التغير في الكتلة الحجمية والنفاذية وبعض المشاهدات البصرية ضوئية والكترونية .

3.IV نتائج مقاومة الانحناء :

1.3.IV * رمل منطقة ورقلة :

1.1.3.IV تأثير تركيبة الرمل :

* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

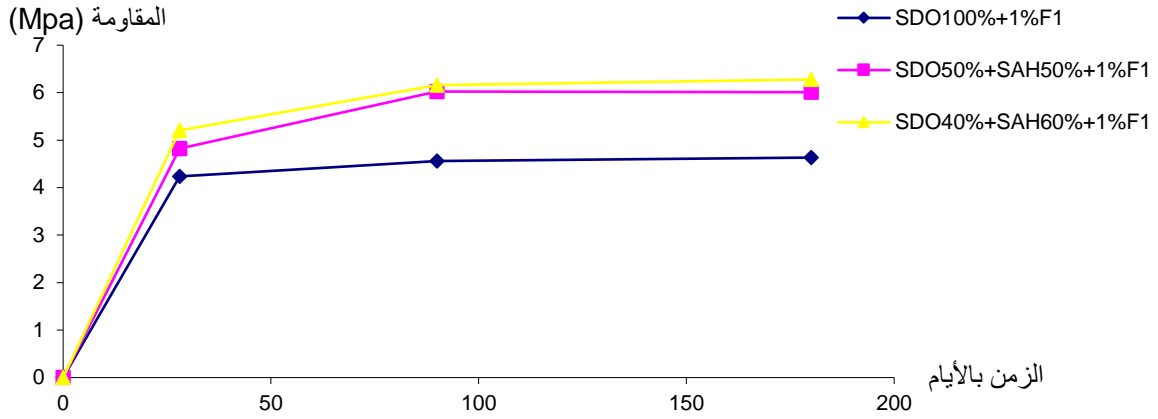


الشكل 1.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

* نلاحظ من خلال نتائج التجارب المجرأة على العينات التي تحتوي فقط على كميات مختلفة من الرمل أن مقاومة الانحناء قد تتحسن كلما كانت نسبة الرمل الطبيعي أكثر وذلك خلال كل الفترات الزمنية التي أجريت فيها التجارب .

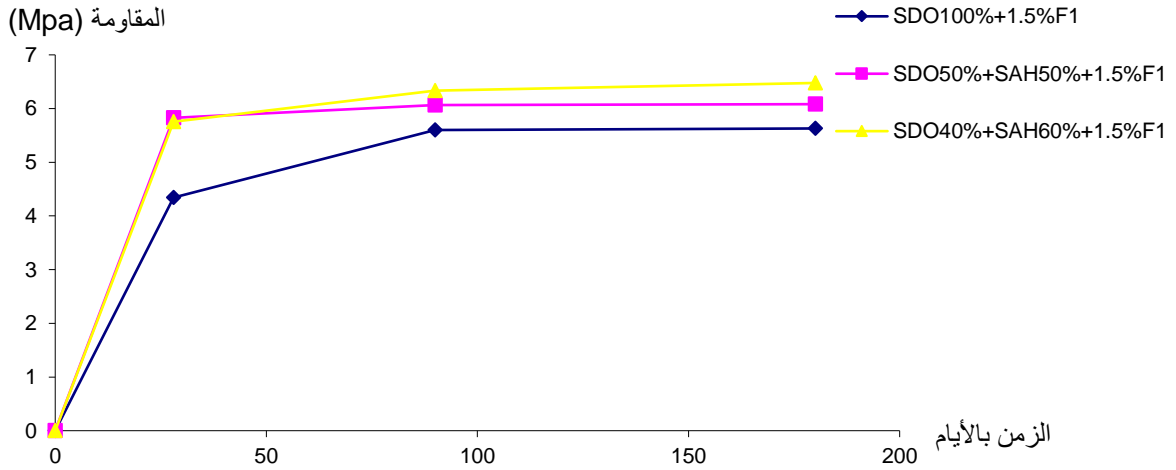
2.1.3.IV تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .



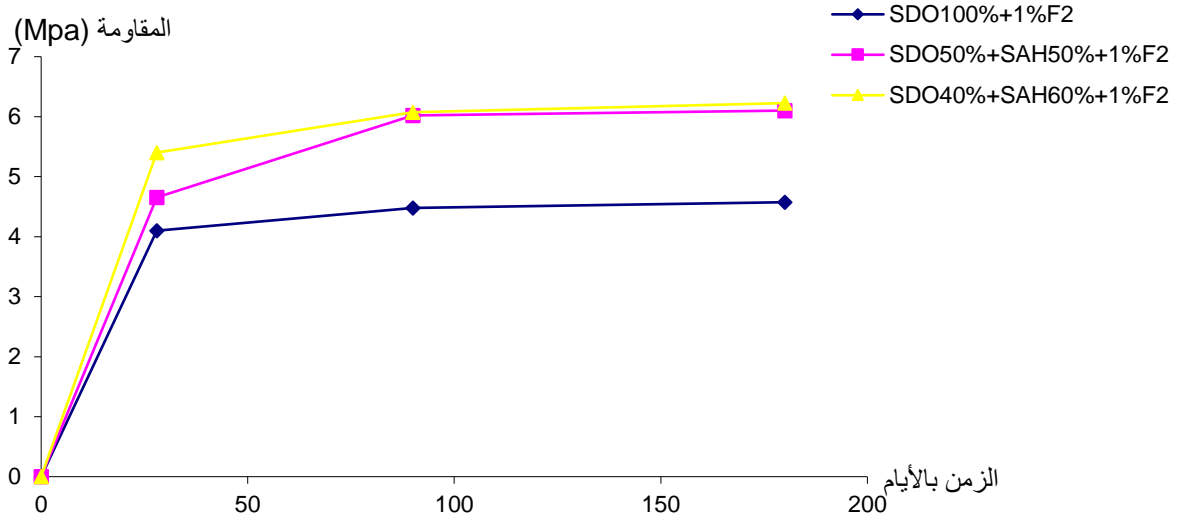
الشكل 2.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.



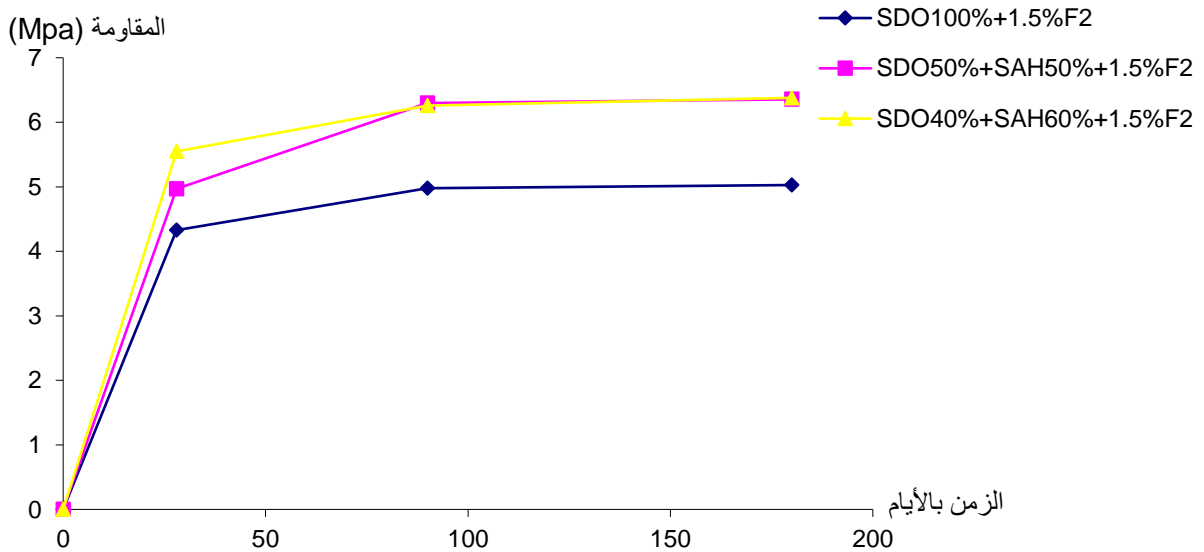
الشكل 3.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .



الشكل 4.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

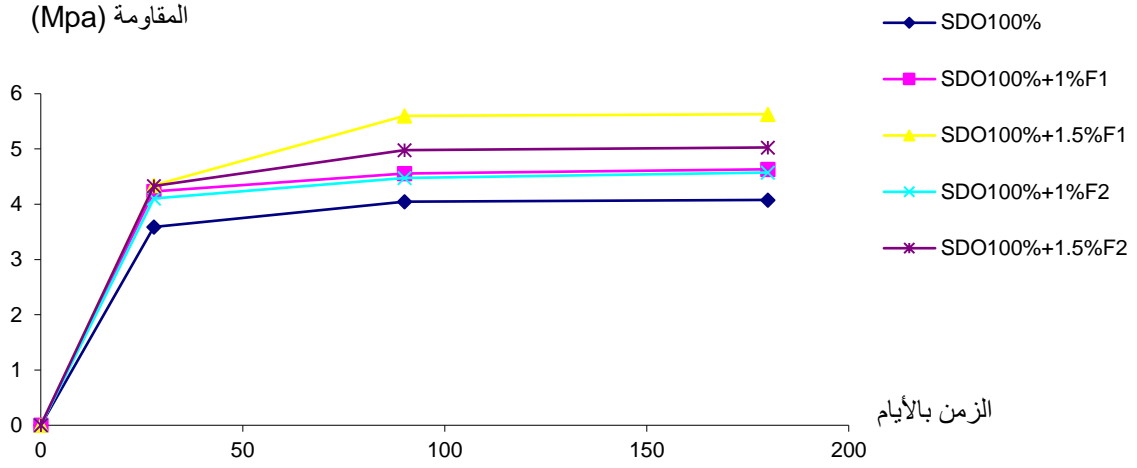
* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.



الشكل 5.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

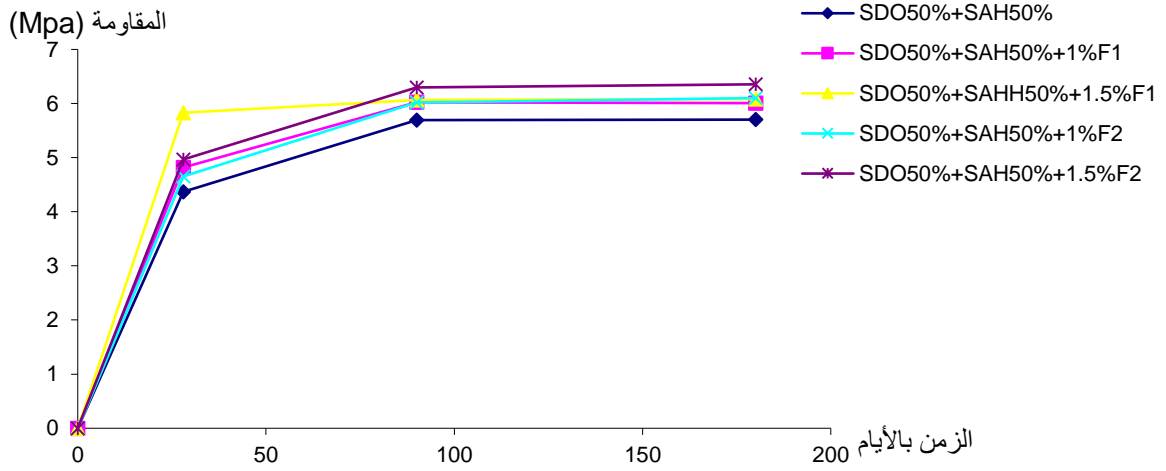
3.1.3.IV تأثير تركيز ونوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة SDO100%



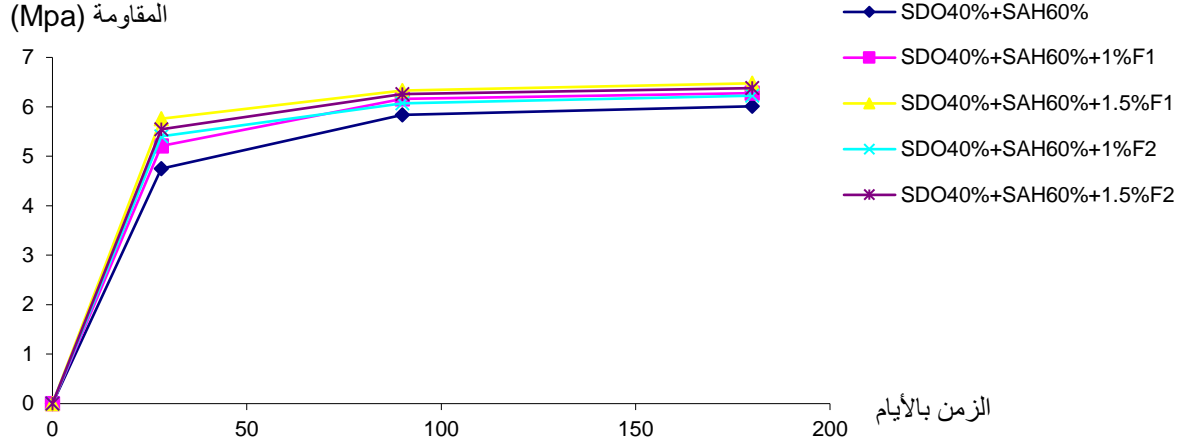
الشكل IV. 6. منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (SD 100%)

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (50%SDO+50% SAH)



الشكل IV. 7. منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل بالألياف للتركيبية (50%SDO+50% SAH)

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعيينة (40%SDO+60%SAH)

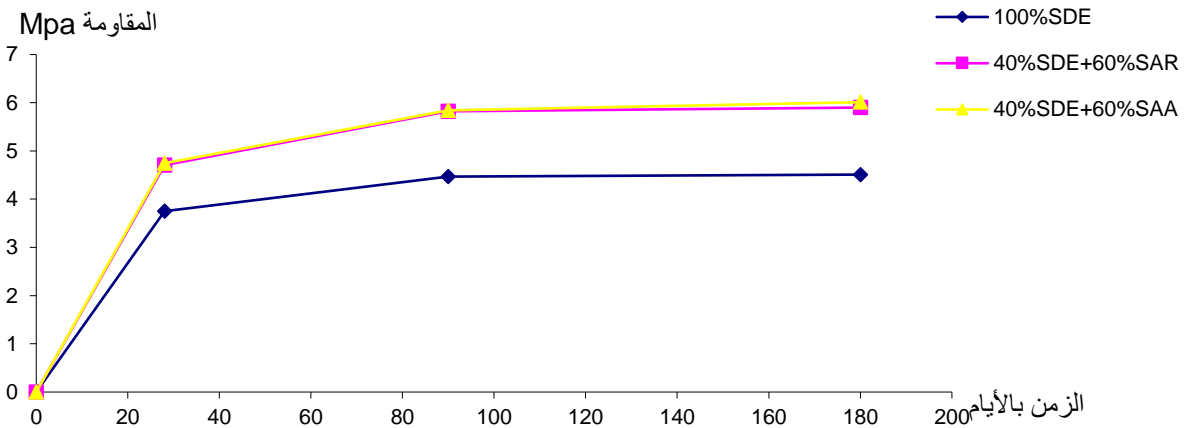


الشكل 8.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية 40%SDO+60%SAH

2.3.IV رمل منطقة الوادي :

1. 2.3.IV تأثير تركيبة الرمل :

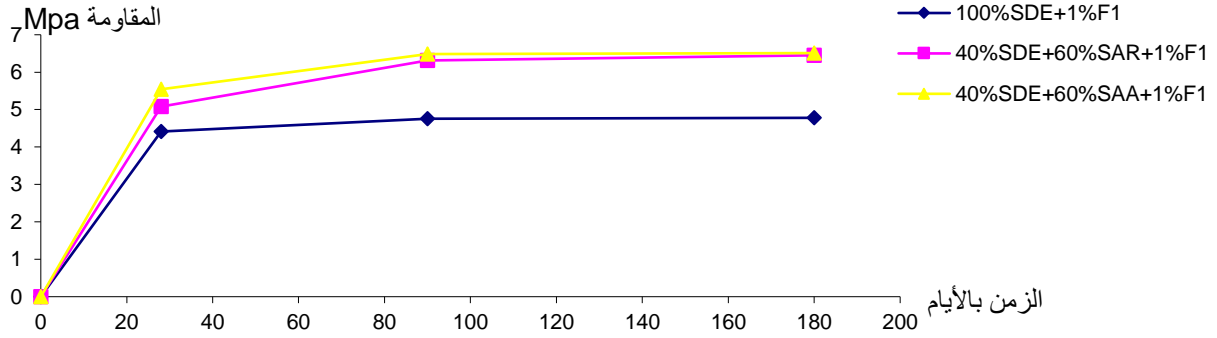
* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل



الشكل 9.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل.

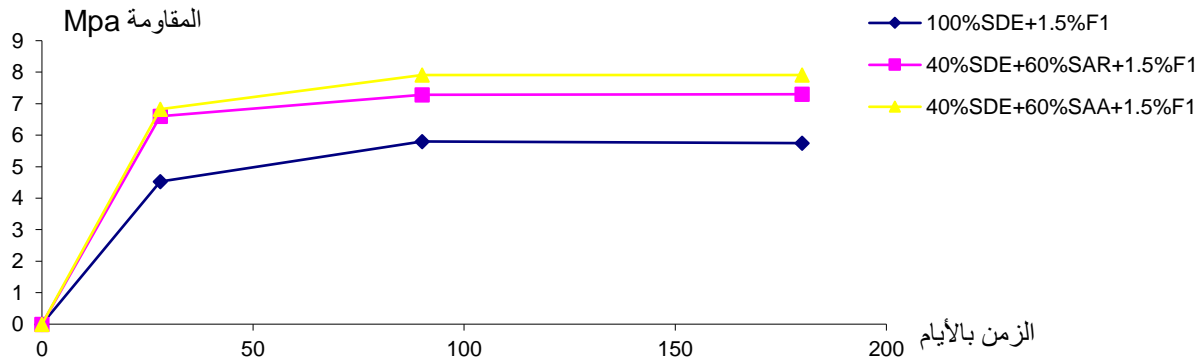
2.2.3.IV تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل.



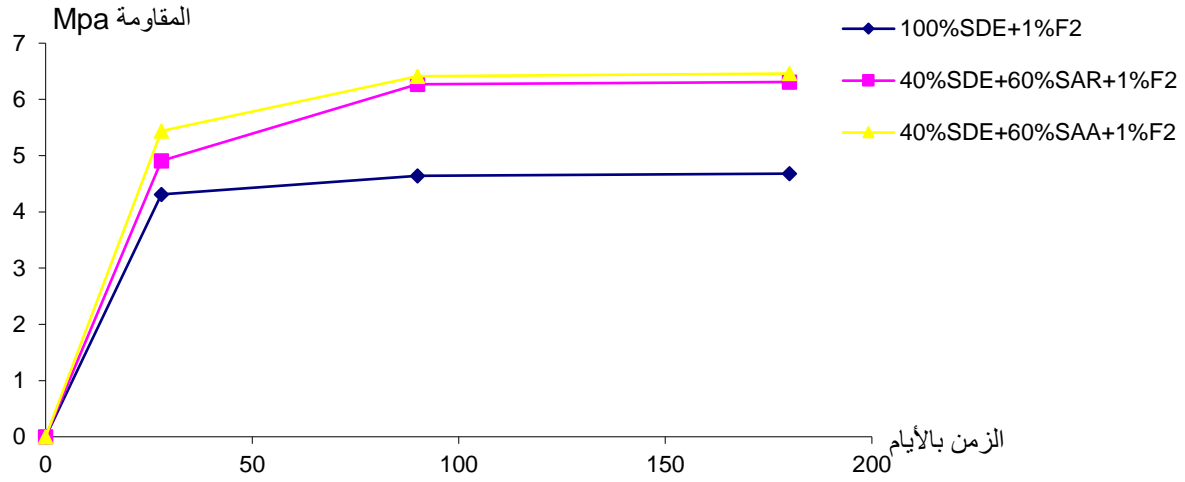
الشكل 10.IV منحنى نتائج تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .

* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل



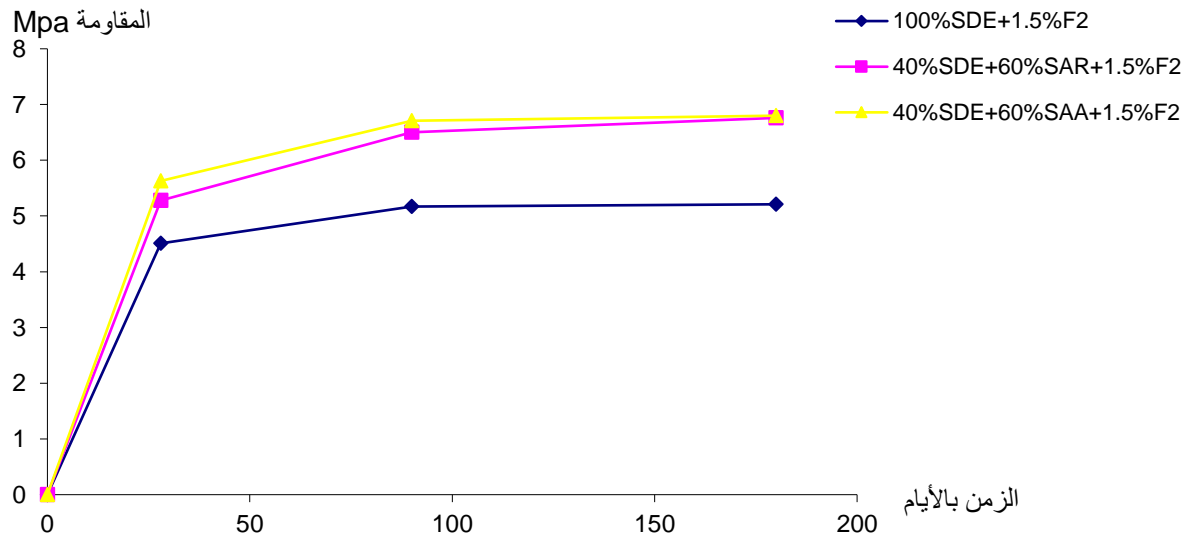
الشكل 11.IV منحنى نتائج تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.

* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل .



الشكل 12.IV منحنى تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .

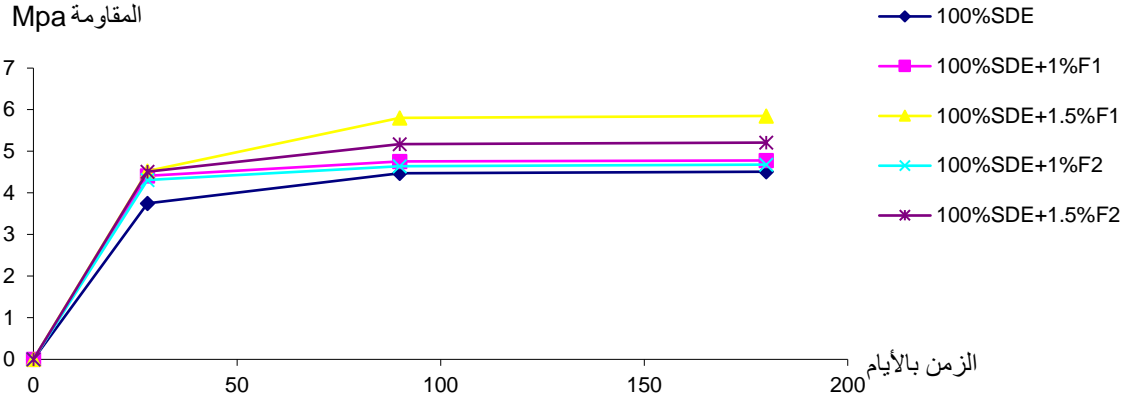
* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل



الشكل 13.IV منحنى تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.

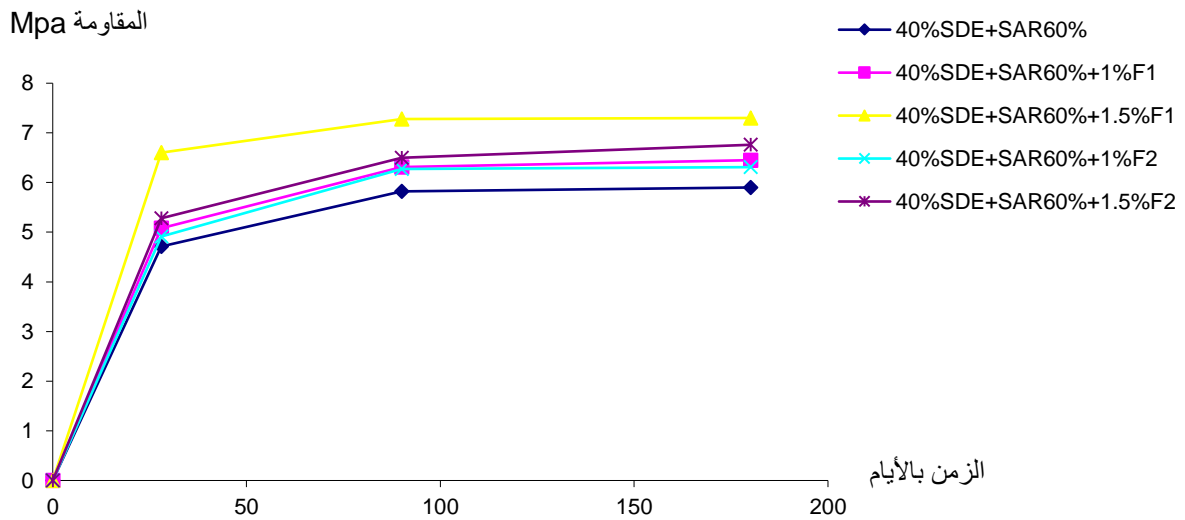
2.3.IV 3 تأثير تركيز ونوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SDE100%)



الشكل 14.IV منحنى تأثير تركيز ونوع الألياف على مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SDE100%)

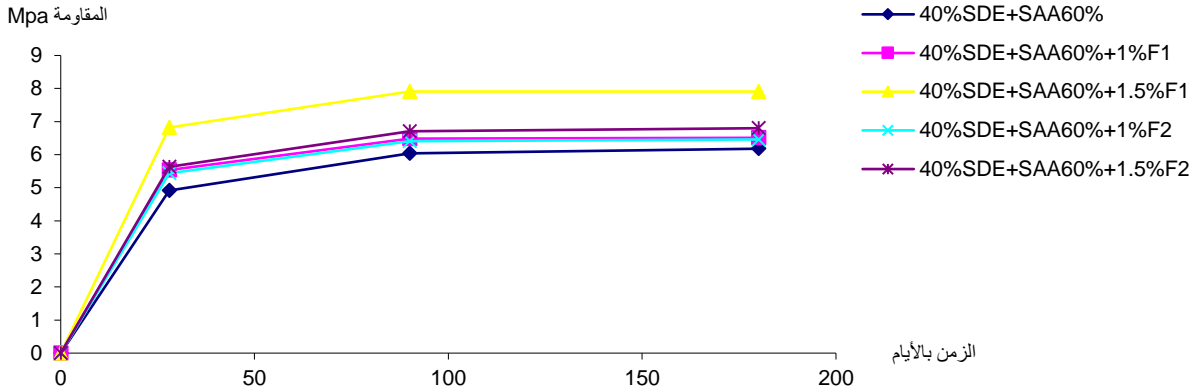
* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (40% SDE+60% SAR)



الشكل 15.IV منحنى نتائج تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة

(40% SDE+60% SAR)

* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (40%SD+60%SA)



الشكل 16.IV منحنى نتائج تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينه (40% SD+60%SA)

* نلاحظ من خلال نتائج التجارب المجرأة على مختلف تركيبات خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية أن هذه الأخيرة وبنوعها قد ساهمت في الزيادة من مقاومة الانحناء كما أنه كلما زادت كمية الألياف زادت المقاومة .

3.3.IV مناقشة نتائج مقاومة الانحناء خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية :

إن الهدف المرجو من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير إدخال المحسنات المدروسة على خرسانة رمل الكثبان، وبعد الحصول على النتائج ومقارنتها بعضها مع البعض من جهة وحسب المحسن المقترح من جهة أخرى فإنه تبين لنا حسب :

أ - تأثير تركيبة الرمل

عند استعمال الرمل الطبيعي كمحسن لخرسانة رمل الكثبان وبالنسبتين المختلفتين 50% رمل طبيعي + 50% رمل الكثبان و 40% رمل الكثبان + 60% رمل طبيعي لكل انواع الرمل ، لمسنا من خلال النتائج تحسنا مقبولا في مقاومة الانحناء وصل إلى نسبة 21 % بالنسبة للتركيبه 50%SAH+50%SDO و 30 % بالنسبة للتركيبه 40%SDO+60%SAH مقارنة ب الخرسانة SDO 100% خلال 28 يوما من عمر الخرسانة. وقد وصل إلى 25.6 % في الخرسانة 40% SDE+60% SAR ووصل إلى 31.2% في الخرسانة 40% SDE+60%SAA

إن هذا التحسن راجع إلى كون أن التدرج الحبيبي لرمل الكثبان كان ضيقا حيث أن قطر الحبيبات كان محصورا بين القيمتين 0.63 و 0.08 ملم ومعظم الحبيبات كانت ذات قطر 0.315 ملم مما يجعل مساحتها النوعية - السطحية- كبيرة جدا أي ذات مسامات كبيرة مما يؤدي إلى ضعف التراصية وعند التحسين بالرمل الطبيعي سيتسع المجال الحبيبي ويصبح التدرج من 0.08 إلى 5 ملم وتكون تقريبا الفراغات بين الحبيبات قد امتلأت بعضها ببعض مما يقلل من الفراغات أي من مساحة السطوح النوعية وبالتالي الزيادة في التراصية ومنه الزيادة في مقاومة الانحناء .

وهذا ما وجده كل من KETTAB و GUENOUN [48] حيث وجدا أنه عند تحسين رمل الكثبان بنسبة 10% من رمل المحاجر كانت نسبة التحسن في مقاومة الشد بواسطة الانحناء 10.5% وعند تحسين رمل الكثبان بنسبة 50% من رمل المحاجر كانت نسبة التحسن في هذه المقاومة تصل إلى حوالي 60% .

ب- تأثير الألياف :

أما عند استعمالنا للألياف المعدنية كمحسن للتركيبات السابقة وبنوعين مختلفين هما:
- المتموج ذو الطول 4.5 سم وقطر 1 مم وبالنسبتين المختلفتين 1% و 1.5% فأظهرت نتائج مقبولة لمقاومة الانحناء حيث وصلت نسبة التحسين في 28 يوما إلى 13.8% للتركيبية 1%F1+50%SAH+50%SDO أما التركيبية 1%F1+60%SAH+40%SDO فكان التحسين بنسبة 22.9%، مقارنة بالتركيبية 1%F1+100%SDO.

ووصلت نسبة التحسين في 28 يوما إلى 15.19% للتركيبية 1%F1+60%SAR+40%SDE أما التركيبية 1%F1+60%SAA+40%SDE فكان التحسين بنسبة 25.62%، مقارنة بالتركيبية 1%F1+100%SDE. أما نسبة التحسين للتركيبية 1.5%F1+50%SAH+50%SDO فكانت 34% وفي التركيبية 1.5%F1+60%SAH+40%SDO كان التحسين بنسبة 32.5%، مقارنة بالتركيبية 1.5%F1+100%SDO وقد بلغت نسبة التحسين للتركيبية 1.5%F1+60%SAR+40%SDE إلى 45.69% وفي التركيبية 1.5%F1+60%SAA+40%SDE إلى 50.55%، مقارنة بالتركيبية 1.5%F1+100%SDE

- ذو العكفات ذو الطول 3 سم وقطر 0.5 مم وبالنسبتين المختلفتين 1% و 1.5% فأظهرت نتائج مقبولة لمقاومة الانحناء حيث وصلت نسبة التحسين في 28 يوما إلى 13.4% للتركيبية 1%F2+50%SAH+50%SDO أما التركيبية 1%F2+60%SAH+40%SDO فكان التحسين بنسبة 31.7%، مقارنة بالتركيبية 1%F2+100%SDO.

ووصلت نسبة التحسين في 28 يوما إلى 13.92% للتركيبية 1%F2+60%SAR+40%SDE أما التركيبية 1%F1+60%SAA+40%SDE فكان التحسين بنسبة 26.21%، مقارنة بالتركيبية 1%F1+100%SDE.

أما نسبة التحسين للتركيبية 1.5%F2+50%SAH+50%SDO فكانت 14.8% وفي التركيبية 1.5%F2+60%SAH+40%SDO كان التحسين بنسبة 28.16%، مقارنة بالتركيبية 1.5%F2+100%SDO.

ووصلت نسبة التحسين في 28 يوما إلى 17.07% للتركيبية 1.5%F2+60%SAR+40%SDE أما التركيبية 1.5%F1+60%SAA+40%SDE فكان التحسين بنسبة 24.83%، مقارنة بالتركيبية 1.5%F1+100%SDE.

- وعند مقارنة كل نتائج التجارب السابقة تبين أن التركيبية المثلى للتحسين مقارنة بخرسانة رمل الكثبان ورقلة الشاهد (100%SDO) كانت التركيبية 1.5%F1+50%SAH+50%SDO حيث كان التحسين بنسبة 62.5%.

- وعند مقارنة كل نتائج التجارب السابقة تبين أن التركيبية المثلى للتحسين مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد (100% SDE) كانت التركيبية 1.5%F1+60%SAA+40%SDE حيث كان التحسين بنسبة 81.86%.

- لدراسة هذه النتائج ومن ما تبين انه عند تحطيم العينات الشاهدة لاحظنا التحطم المباشر للعيينة أما عند تحطيم العينات المحتوية على الألياف لاحظنا قبل الانهيار ظهور تشققات تزداد بزيادة القوة حتى الوصول إلى التحطم إن التحطم في خرسانة الألياف لا نقصد به انفصالا جزئيا للعيينة عن بعضها كما وهو الحال في الخرسانة الخالية من الألياف إنما نقصد به فقط ظهور شق واضح بالعين المجردة أما العينة فتبقى متماسكة لا تنفصل.

هذا ما يعني أن للألياف دورا مهما في مقاومة الانحناء وضم التشققات، إذ أنها تمسك العينة حال الانهيار وتجعلها مرنة أي لها مجال إضافي لدن قبل تحطيمها وهذا راجع إلى الارتباط الحاصل بين الخرسانة والألياف من جهة وإلى مقاومة الألياف للقطع من جهة أخرى، وقد لوحظ أنه عند زيادة كمية الألياف بنسبة 0.5% فإنه تزداد مقاومة الانحناء للخرسانة المشتملة على كلا النوعين من الألياف بنسبة معتبرة مما يؤكد ما ذكرنا من أن زيادة نسبة من الألياف داخل الخرسانة بإمكانها تحسين مقاومة الانحناء .

إن طول الليف يزيد من مقاومة الانحناء حيث يتضح ذلك من النتائج المقدمة في التركيبات المختلفة لخرسانة الرمل وذلك راجع إلى أن طول الألياف يساعد على تماسك وضم الشقوق مهما كان طولها بالنسبة لطول الليف، حيث أن الليف يلعب دور الماسك وكلما كان طوله كبيرا حوى أكبر عدد ممكن من التشققات.

وكما ذكرنا في المحور الأول فقد لاحظ الباحث GRAM عند استعماله أليافا قصيرة من السيزال في نسيج إسمنتي حيث ظهر في هذه الحالة تشوه كبير للمركب وعلى العكس استعمل أليافا طويلة من السيزال وبنفس النسبة سمحت له بملاحظة مقاومة جد عالية للانحناء [60].

وقد استنتج الباحث AIT-TAHAR [69] بعد القيام بالعديد من الدراسات التجريبية، بأن مقاومة الشد بواسطة الانحناء تزداد بزيادة نسبة الألياف المدخلة في التركيبة الخرسانية ، وهذا ما لاحظته أيضا Saloua Melais وباحثون آخرون [150] و [16] .

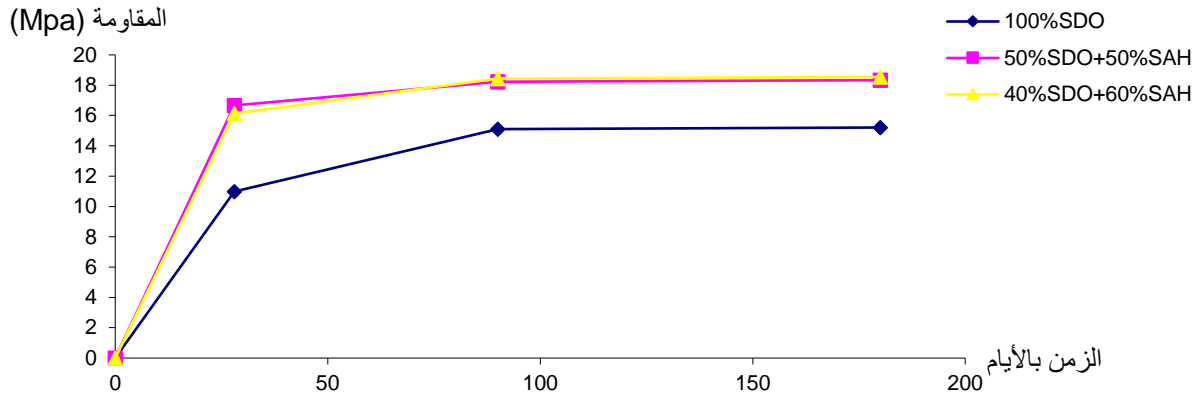
واستنتج AIT-TAHAR [69] بعد عدة تجارب قام بها أن قيم مقاومة الشد بواسطة الانحناء ومعامل التشوه الطولي لخرسانة الألياف يزداد بمقدار كاف.

IV. 4 نتائج مقاومة الضغط :

IV . 1.4 رمال منطقة ورقلة:

IV . 1.1.4 تأثير تركيبة الرمل :

* نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

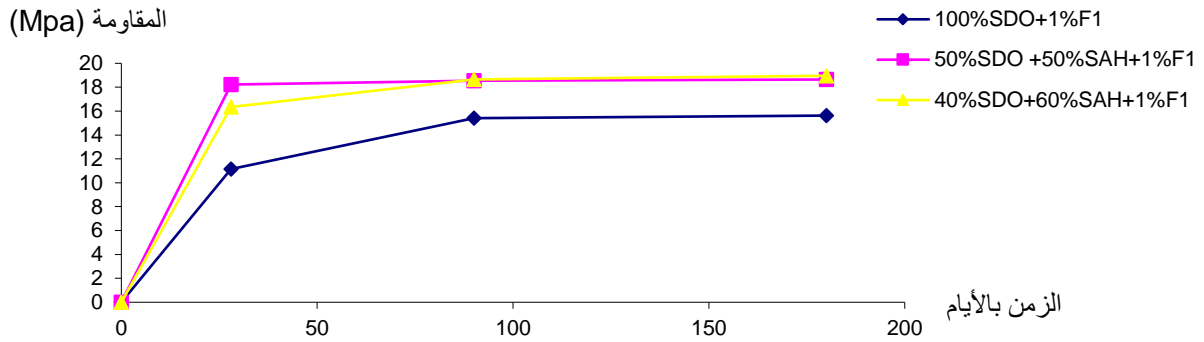


الشكل 17.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

* نلاحظ من خلال نتائج التجارب المجرأة على العينات التي تحتوي فقط على كميات مختلفة من الرمل أن مقاومة الضغط قد تتحسن كلما كانت نسبة الرمل الطبيعي أكثر وذلك خلال كل الفترات الزمنية التي أجريت فيها التجارب.

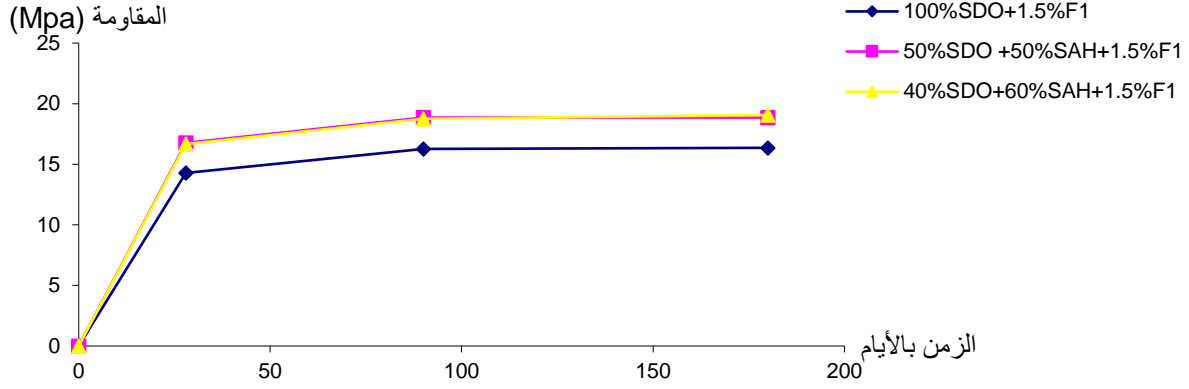
IV . 1.2.4 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل .



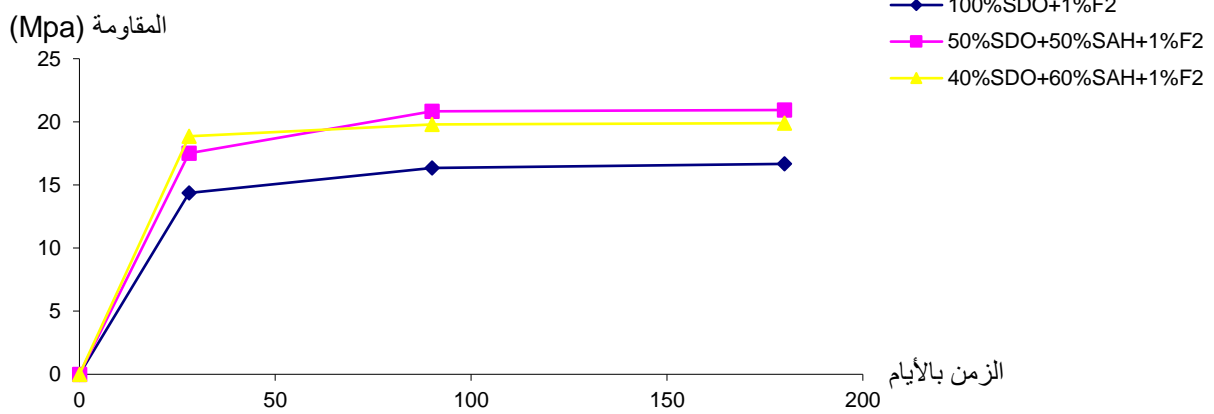
الشكل 18.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل



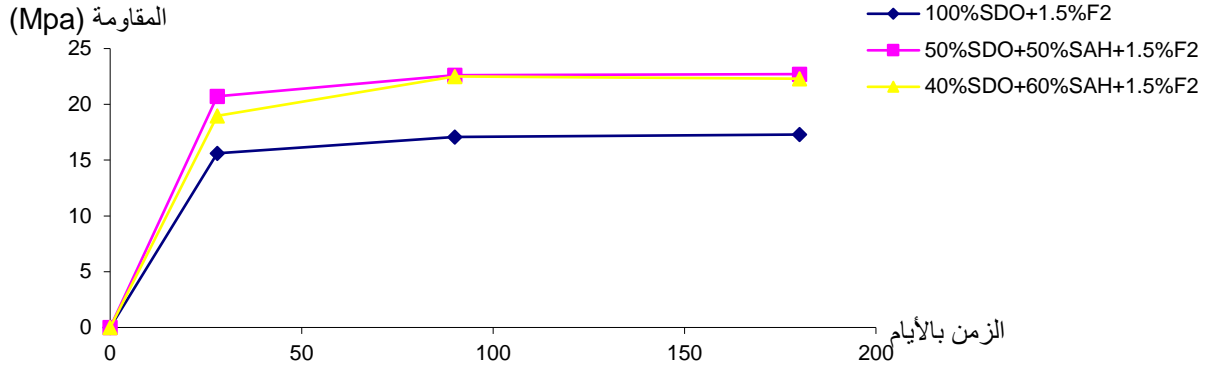
الشكل 19.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل .



الشكل 20.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

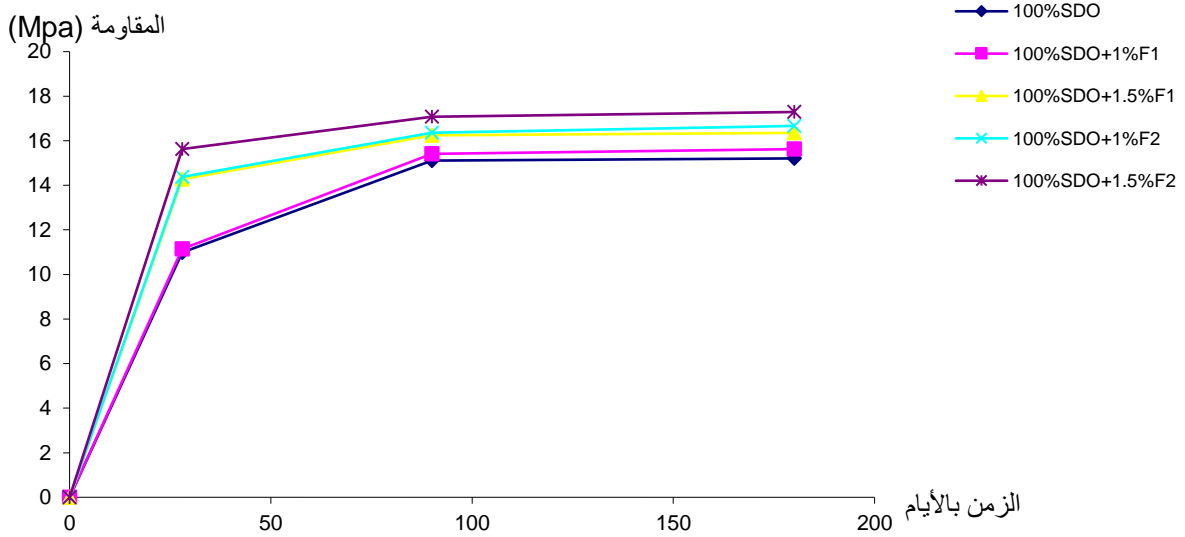
* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل.



الشكل 21.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

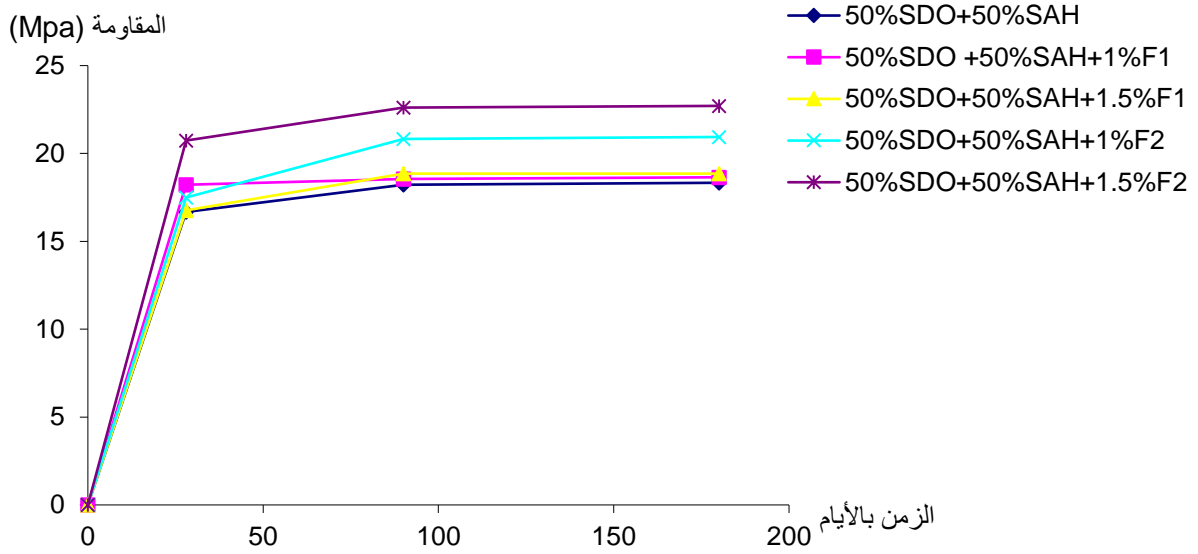
IV . 1.3.4 تأثير تركيز ونوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة (100%SDO)



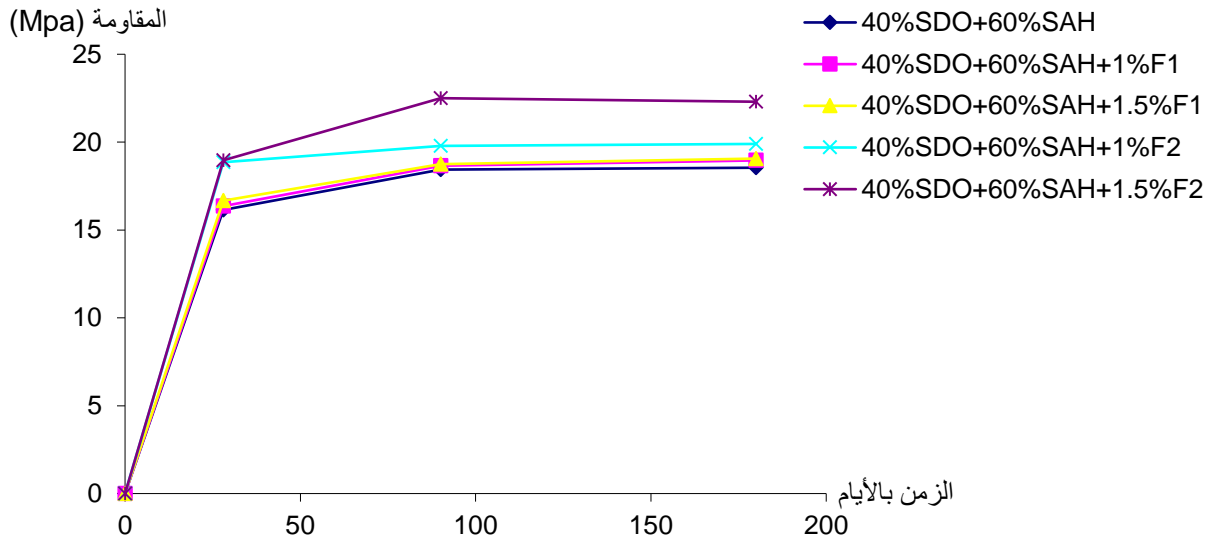
الشكل 22.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (100%SDO)

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة
%50SDO+50%SAH



الشكل 23.IV منحنى نتائج منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية %50SDO+50%SAH

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة SDO+60%SAH %40

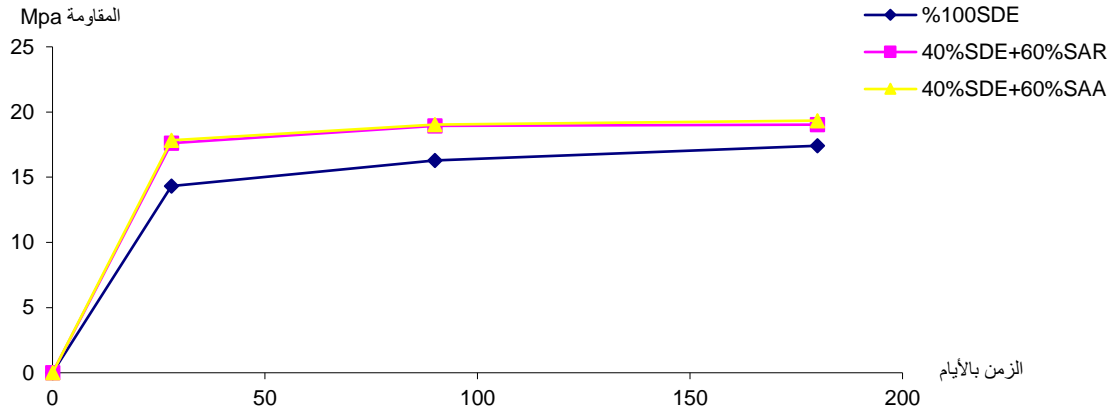


الشكل 24.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (%40 SDO+60%SAH)

2.4.IV * رمل منطقة الوادي :

2.1.4.IV تأثير تركيبة الرمل :

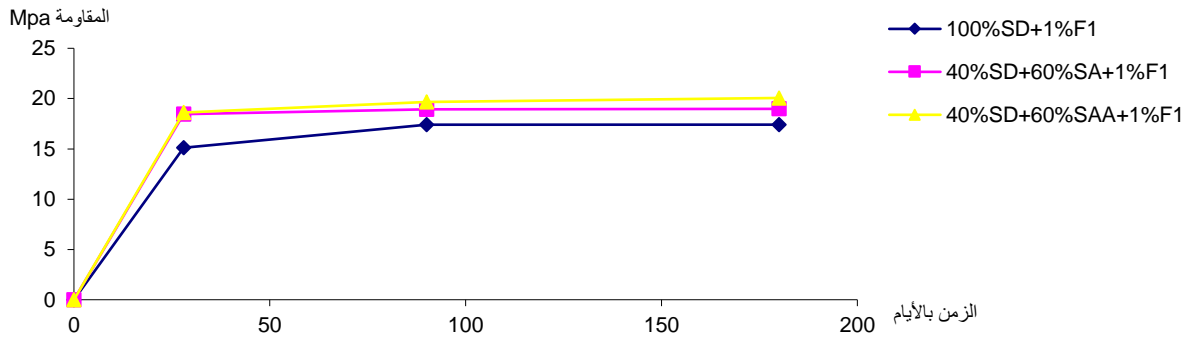
* نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :



الشكل 25.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

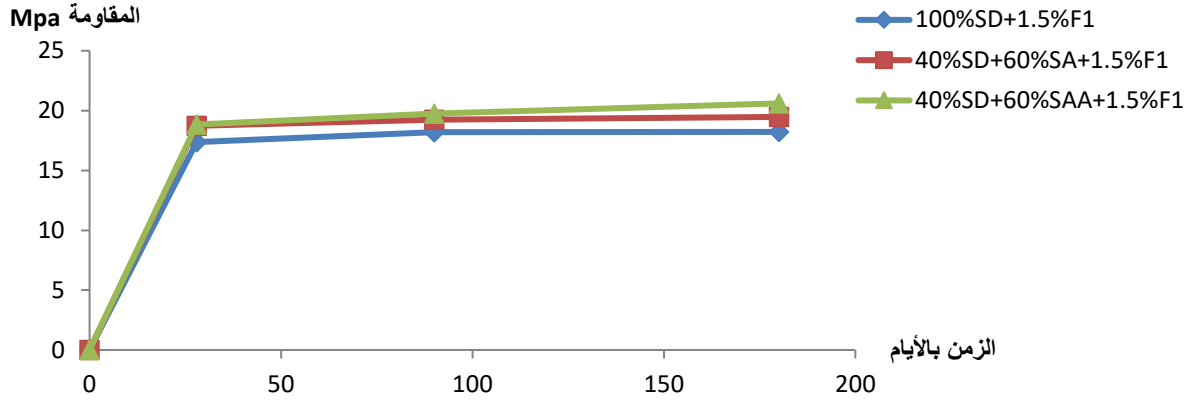
IV . 2.2.4 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل .



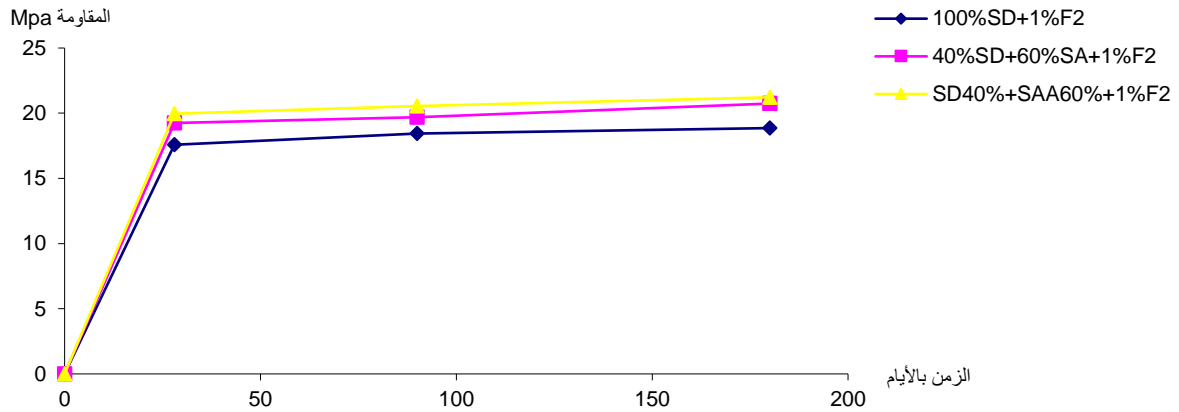
الشكل 26.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل



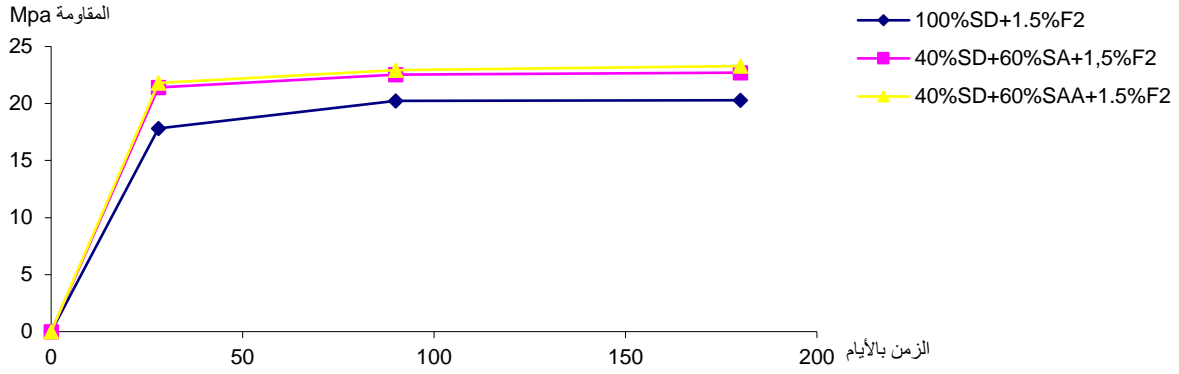
الشكل 27.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل .



الشكل 28.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

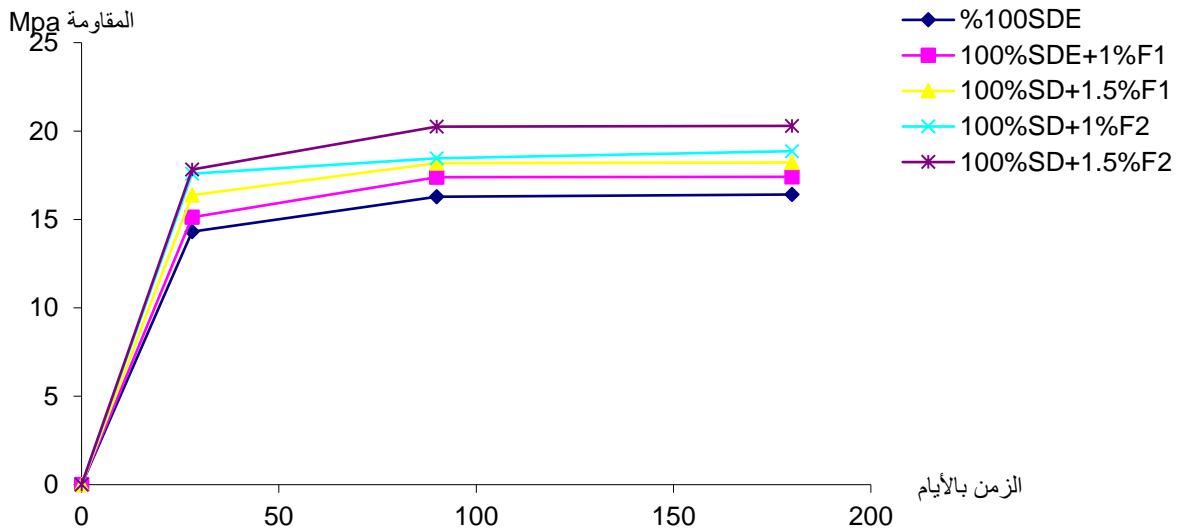
* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف الخرسانات .



الشكل 29.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

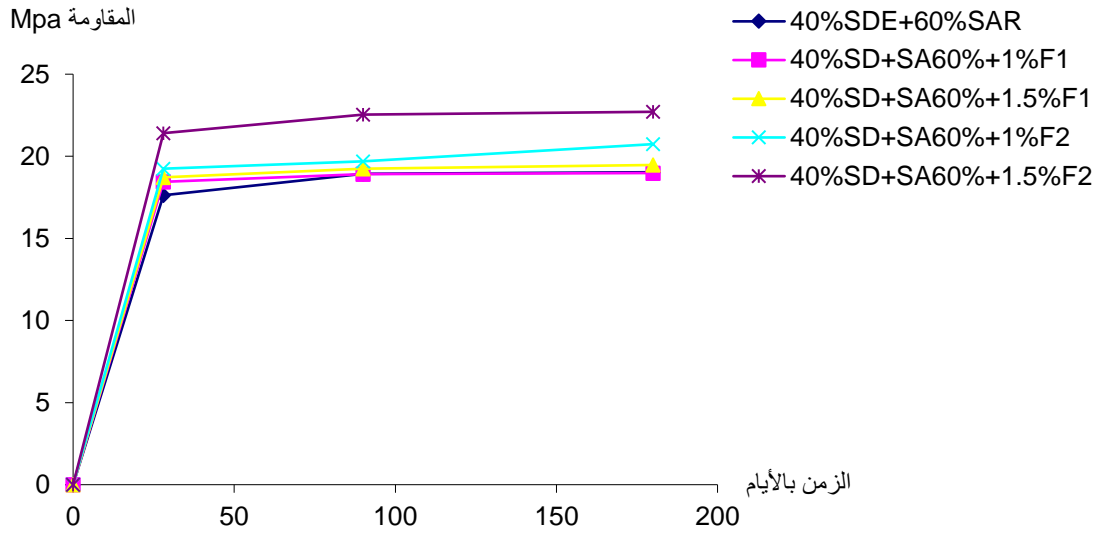
IV . 2.3.4 تأثير تركيز ونوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة (100%SDE)



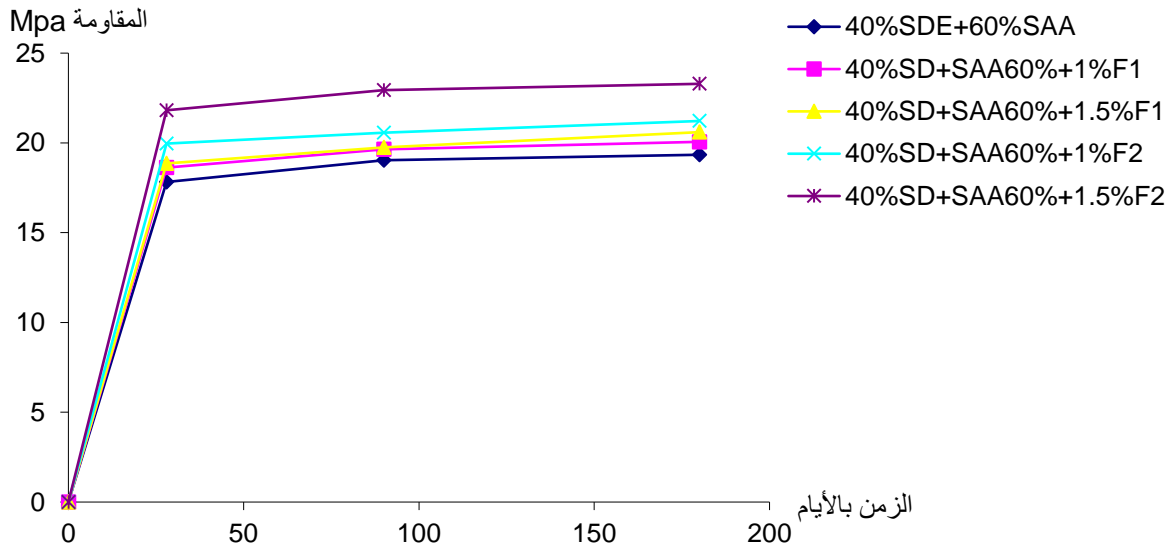
الشكل 30.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للتركيبية (100%SDE)

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة :SDE+60% SAR40%



الشكل 31.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للتركيبية 40% SDE+60% SAR

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة : 40%SDE+60%SAA



الشكل 32.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للتركيبية 40%SDE+60% SAA

IV . 5 مناقشة نتائج مقاومة الضغط خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية :

تعتبر مقاومة الضغط المقاومة المرجعية التي نعتمد عليها ونميز بها أنواع الخرسانة بعضها من بعض ولذا وجب الاعتناء بها ودراستها وبعد إدخال مجموعة من المحسنات على خرسانة رمل الكثبان وبنسب متفاوتة كما قدمنا كانت النتائج كما يلي :

أ- تأثير الألياف :

تفاوتت نسب التحسن في مقاومة الضغط لجميع التركيبات مقارنة مع الخرسانة الشاهد (خرسانة رمل الكثبان) $100\%SDO+1\%F1$ و $100\%SDE$ خاصة على المدى البعيد إذ أن نسبة التحسن في التركيبة $100\%SDO+1\%F1$ عند مقارنتها ب $100\%SDO$ لم تتجاوز النسبة 1.42% بعد مرور 28 يوماً، أما التركيبة $100\%SDE+1\%F1$ عند مقارنتها ب $100\%SDE$ فقد بلغت نسبة التحسن بها حوالي 5.66% .

ما عدا التركيبة $100\%SDO+1.5\%F1$ فقد تحسنت بحوالي 29.8% خلال 28 يوماً ولم نلاحظ نسبة تحسن تذكر في هذا النوع بعد هذه النسبة مقارنة بالخرسانة الشاهد في الأيام 90 و 180 ، أما التركيبة $100\%SDE+1.5\%F1$ فقد تحسنت بنسبة 21.45% .

وقد لاحظنا تحسناً جيداً بالنسبة للتركيبة $100\%SDO+1.5\%F2$ إذ أنه بلغت النسبة 42.17% خلال 28 يوماً وعلى العموم فإنه وبالنسبة للتركيبات الخاصة برمل الكثبان فإن التحسن الملحوظ كان في النسبة 1.5% من الألياف ذات العكفات بطول 30 ملم وبدرجة أقل في الألياف من النوع المتموج بطول 45 ملم وبنفس النسبة.

- والشيء نفسه ملاحظ بالنسبة للتركيبات المحتوية على النسبتين المتساويتين 50% من رمل الكثبان و 50% الرمل الطبيعي إذ إننا لم نسجل تحسناً يذكر بين جميع النسب حيث كان التحسن في أمثل حالته لم يتجاوز 9% مما عليه الخرسانة الشاهد ما عدا في التركيبتين ($50\%SDO+50\%SAH+1\%F2$) و 50% $SD+50\%SA+1.5\%F2$) المشتملتين على الليف من النوع الثاني (قصير 30ملم ذي عكفات) حيث كانت نسبة التحسن حوالي 24% مقارنة بالخرسانة الشاهد ($50\%SDO+50\%SAH$)

- والشيء نفسه ملاحظ بالنسبة للتركيبات المحتوية على النسبتين المختلفتين من رمل الكثبان والرمل الطبيعي إذ إننا لم نسجل تحسناً يذكر بين جميع النسب حيث كان التحسن في أمثل حالته لم يتجاوز 3% مما عليه الخرسانة الشاهد ما عدا في التركيبتين ($40\%SDO+60\%SAH+1\%F2$) و ($40\%SDO+60\%SAH+1.5\%F2$) المشتملتين على الليف من النوع الثاني (قصير 30ملم ذي عكفات) حيث كانت نسبة التحسن حوالي 17% مقارنة بالخرسانة الشاهد ($40\%SDO+60\%SAH$) أما التركيبات $40\%SDE+60\%SAR+1.5\%F2$ فقد تحسنت بنسبة 49.54% وكذلك $40\%SDE+60\%SAA+1.5\%F2$ فقد تحسنت بقدر 52.48% .

- وفي العموم نلاحظ أن نسبة التحسن على المدى المتوسط 90 أو البعيد 180 يوماً تقريباً لا تكاد تذكر مقارنة بالخرسانات الشاهدة .

ومن مقارنة كل النتائج المتحصل عليها فإن كل التركيبات المشتملة على الألياف من النوع الأول (الطويل 45 ملم) فإن مقاومتها للضغط تتحسن بنسبة تقريباً ضعيفة أما التحسن فراجع لكون هذه الألياف من النوع الطويل أي أن طولها أكبر من سمك وارتفاع العينة فمفروض عليها تقريباً اتجاه شبه موحد وهو الاتجاه العمودي على محور القوة الضاغطة ، وعند تطبيق هذه القوة تظهر شقوق موازية لمحور هذه الأخيرة وكون الألياف عمودية عليها أي على محور القوة أو على الأقل غير موازية لها فإن هذه الألياف تعمل على ضم هذه الشقوق وبالتالي الزيادة من مقاومة الضغط .

أما بالنسبة إلى التركيبات المشتملة على النوع الثاني من الألياف هو (ذي العكفات بطول 30 ملم) فكان التحسن واضحا فهو زيادة على ما قد رأينا بالنسبة لليف السابق من كونه يساعد على ضم الشقوق الموازية لمحور القوة الضاغطة عند تموضعه عموديا أو شبه عمودي فهذا النوع وبحكم أنه أقل قطرا وأقصر طولاً فهو عند وضعه داخل الخرسانة يكون شبكة متداخل من الألياف تأخذ اتجاهات متباينة منها ما هو عمودي على القوة الضاغطة كما هو الحال في النوع السابق ومنها ما هو مواز لهذه القوة ومنها ما هو غير ذلك وهذا التشابك يزيد عند مخالطته لعجينة الإسمنت من مقاومتها للضغط ، بالإضافة إلى وجود بعض الألياف بصفة عمودية أي بوضعية موازية لمحور القوة وبحكم أن مقاومة الضغط للحديد وألياف التسليح هي أكبر منها في الخرسانة فهذا ما يزيد من المقاومة للضغط . رغم ان بعض الباحثين يصرحون أن الألياف في الاتجاه الموازي للقوة يضعف من مقاومتها للضغط، فقد لاحظنا أن الاتجاه العشوائي لتموضع الألياف يمكنه أن يزيد من هذه المقاومة.

ب - تأثير تركيبة الرمل

- أما عند مقارنة الخرسانات الشاهدة ذوات التركيبات المختلفة وبدون ليف فإننا نلاحظ في العموم ان الخرسانة المحسنة بالرمل الطبيعي وبالنسبتين المختلفتين تقريبا نسبة التحسين متساوية مقارنة بالخرسانة الشاهد أي خرسانة رمل الكتبان الصافية، ويرجع كون أن التركيبتين المحسنتين بالرمل الطبيعي كانت نتائجهما متساوية تقريبا إلى أن الفرق في النسبة كان قليلا فهو لا يتعدى 10 % مما جعل هذه التركيبات تعطي نتائج متقاربة هذا من جهة، أما إذا قورنتا بالخرسانة الشاهد-خرسانة رمل الكتبان- فنلاحظ أن التحسن كان مقبولا حيث بلغت نسبة التحسن 18.1 % وهذا راجع إلى كون أن خرسانة رمل الكتبان 100% تحتوي على فراغات كبيرة أي مسامية كبيرة ناتجة عن نعومة رمل الكتبان وكذلك نسبة الانكماش العالية التي تسببها هذه النعومة وبالتالي الشقوق حيث أن الانكماش وكما ذكرنا سابقا هو وبغض النظر عن نوعه في الأخير عبارة عن خروج الماء من العينة وعند خروجه سيترك خلفه فراغات بأشكال مختلفة – متقطعة أو مستمرة – وبالتالي ضعف التراصية وتصبح الخرسانة عبارة عن إسفنجية ان صح التعبير وبالتالي عند ما نطبق قوة الضغط فان هذه الأخيرة لن تبدي مقاومة عالية، ومقارنة مع الخرسانة المحتوية على النسب المختلفة من الرمل الطبيعي فان هذه الأخيرة تحتوي على رمل نعومته أقل مما يقلل من المسامات من جهة ومن الانكماش من جهة أخرى وبالتالي تكون المقاومة أحسن منها في خرسانة رمل الكتبان .

- ولهذا يجب الاعتناء بالركام اعتناء لائقا وهذا ما لاحظته [151] إذ قال : أنه من الواضح أنه يجب إعطاء أهمية كبيرة لاختيار الركام حسب خصائصه الفيزيائية والميكانيكية

- وهذا ما ذكره أيضا [152] إذ قال : يشكل الركام الهيكل العام للخرسانة، وعادة ما يلعب الركام الأقل تشوها من عجينة الإسمنت دور الكابح أو المقلل للتشققات الناجمة عن الانكماش داخل الخلطة الخرسانية، كما يحسن من مقاومة الخرسانة.

- وأما بالنسبة للألياف فهذا ما لاحظته BELFERRAG A في بحثه [11+153] إذ أنه تحقق من أن الألياف المعدنية داخل خرسانة الرمل تزيد من مقاومة الضغط وهذا ما وجدته أيضا Saloua Melais ومن معها في بحثهم [150] وكذلك K. Holschemacher [154] وقد خلص إلى مثل هذا Setti ومن معه [41] .

- وقد وجد Yazici S و Inan G و Tabak V [155] أن تأثير إدخال الألياف المعدنية في الخرسانة قد زاد من مقاومة الضغط مقارنة بالخرسانة العادية ، وأكد ELIE ABSI [65] على وجود باحثين آخرين أثبتوا ذلك أيضا (التجربة أجريت على عينة اسطوانية H=32cm و $\phi = 16$ cm) في هذه الحالة مقاومة الضغط متعلقة بالإجهاد الأعظمي التخيلي الناتج عن القوى الأعظمية المطبقة على المقطع.

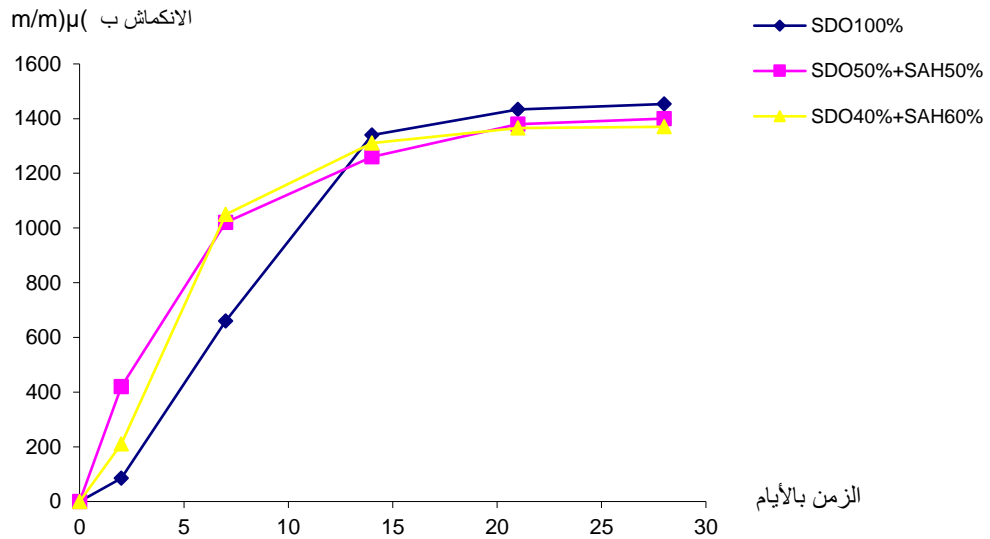
- واستنتج الباحث AIT TAHAR [69]، بعد القيام بدراسات تجريبية، أن مقاومة الضغط لا تتأثر كثيرا بوجود الألياف، حيث وجد أنه عند زيادة 1% من الألياف تزداد مقاومة الضغط بـ 21.7% ، وعند زيادة حجم 2% فإن المقاومة تزداد بنسبة 39%، وعند زيادة 3% فإن المقاومة ازدادت بنسبة 52% مقارنة بالخرسانة العادية.

6. IV نتائج الانكماش :

تمت الدراسة فقط على رمال منطقة ورقلة .

1. 6. IV تأثير تركيبة الرمل :

* نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

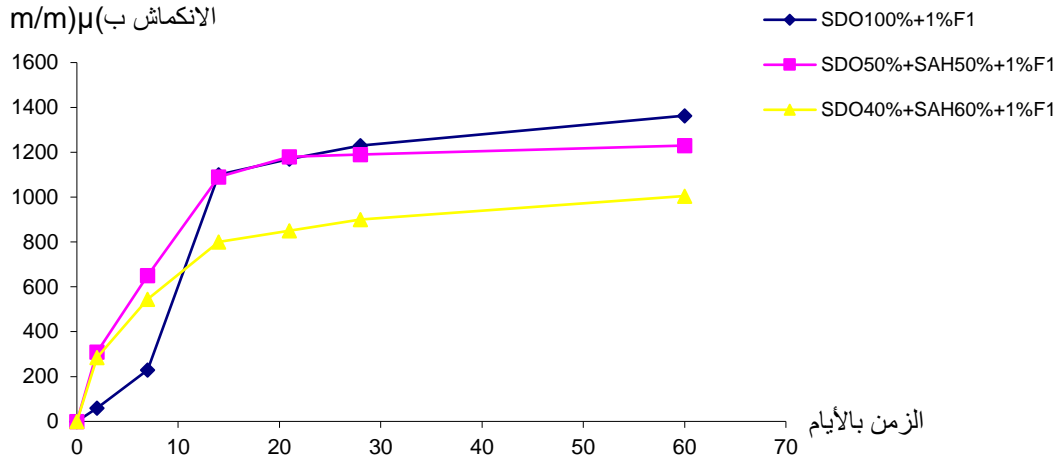


الشكل 33.IV منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل :

2. 6. IV تأثير الألياف :

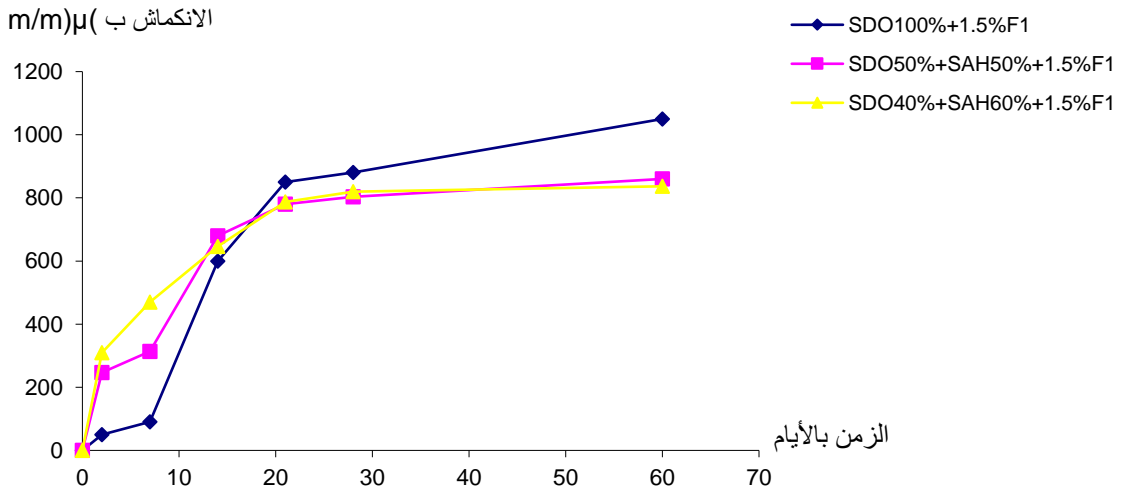
1.2. 6. IV تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .



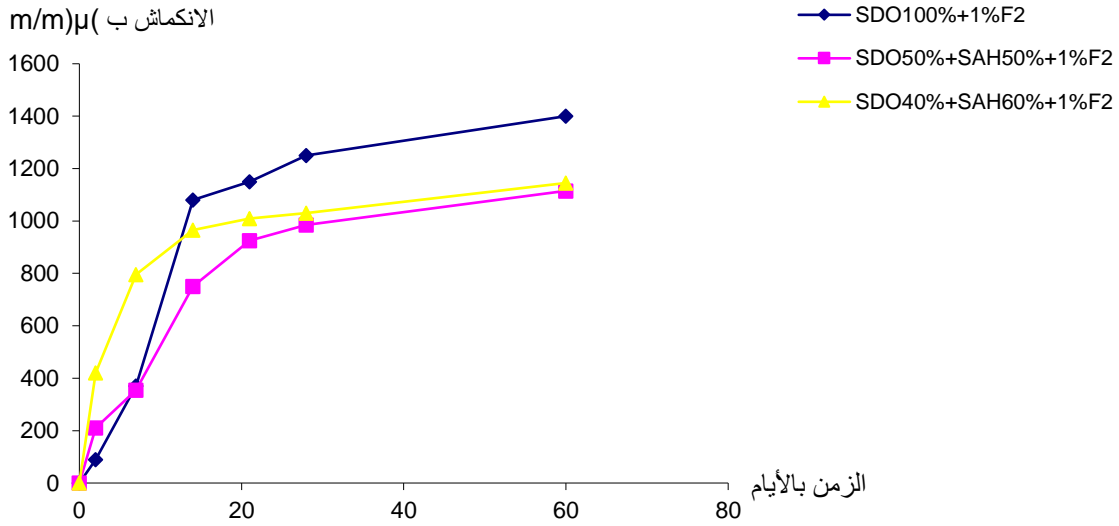
الشكل 34.IV منحني نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .



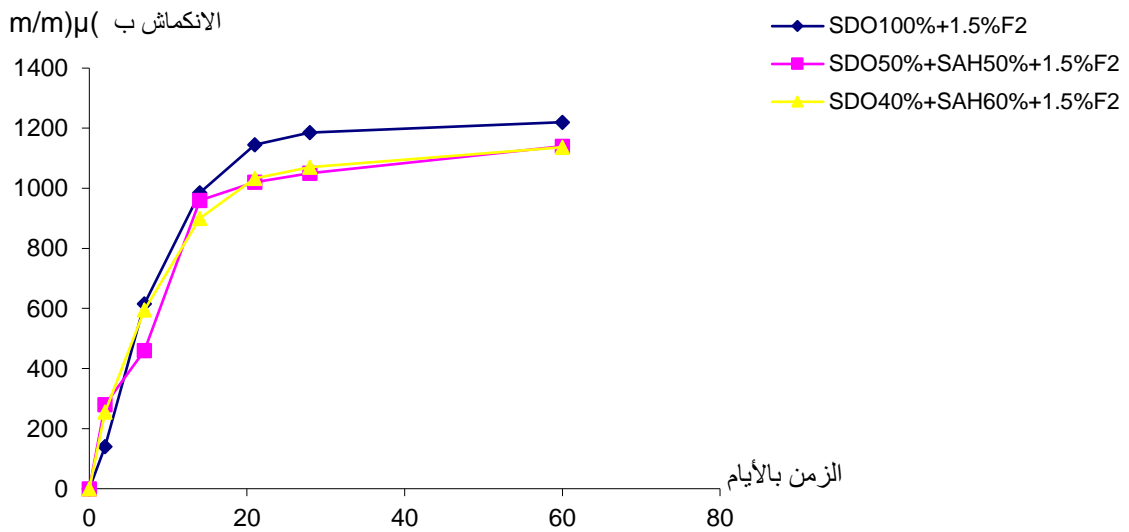
الشكل 35.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

* تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .



الشكل 36.IV منحنى الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

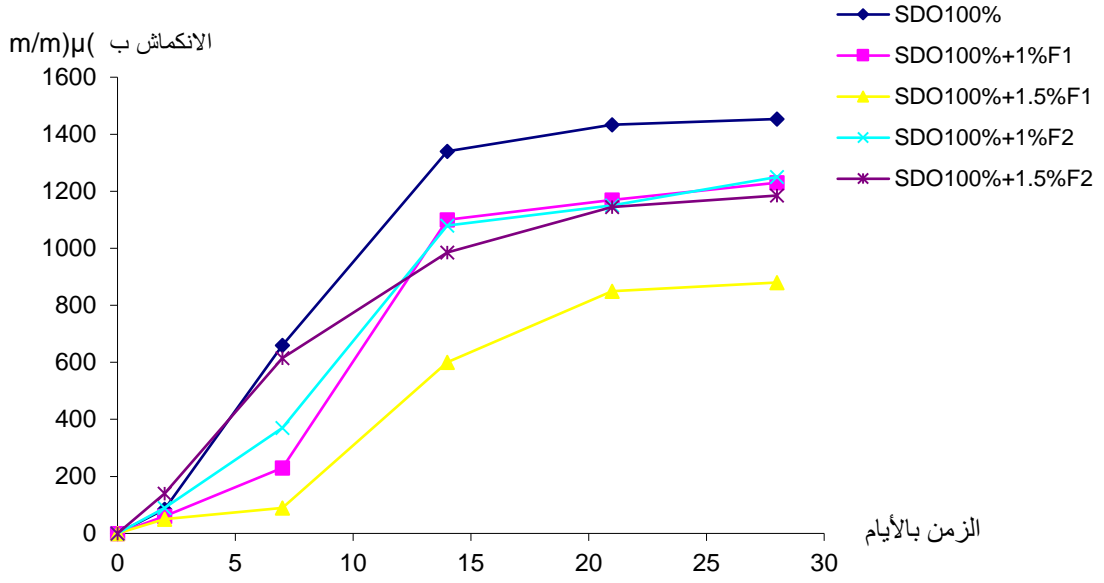
* تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .



الشكل 37.IV منحنى الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

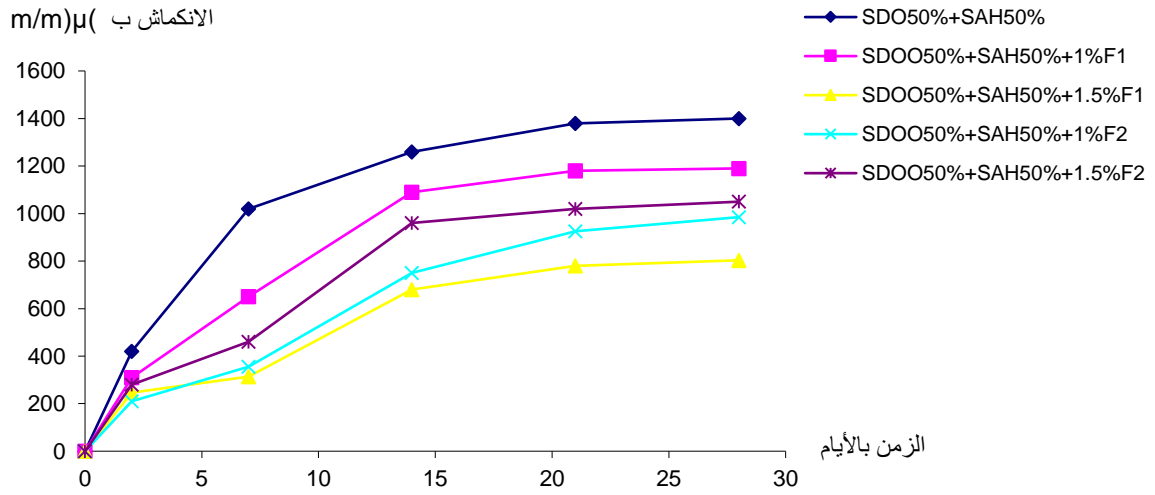
IV 6. 2.2 تأثير تركيز ونوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج الانكماش لخرسانة الرمل للعينة (SDO100%)



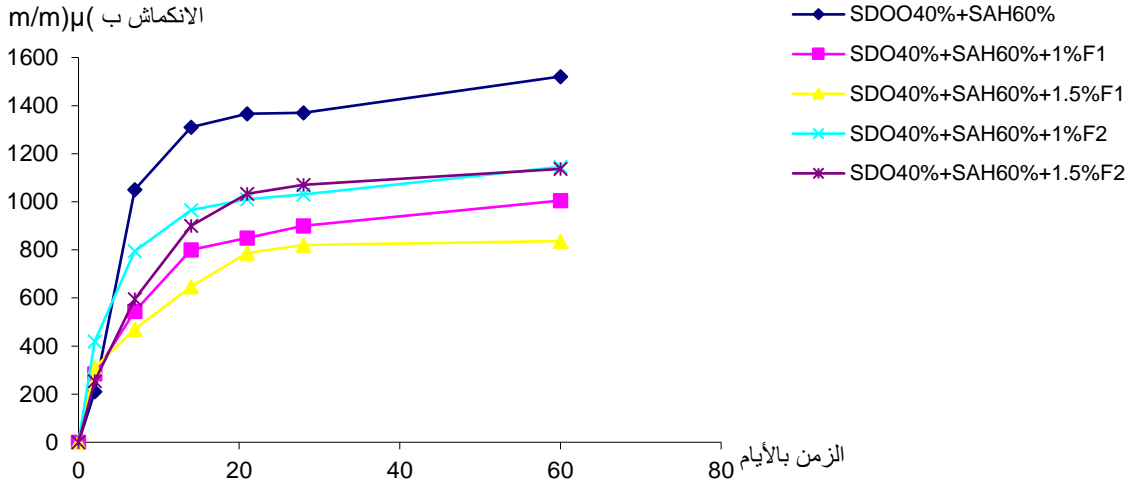
الشكل 38.IV منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية لمختلف تركيبة رمل الكثبان

* تأثير تركيز ونوع الألياف على نتائج الانكماش لخرسانة الرمل للعيينة %50SDO+50%SAH



الشكل 39.IV منحنى الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية %50SDO+50%SAH

* تأثير تركيز ونوع الألياف على الانكماش لخرسانة الرمل للعيينة %40SDO+60%SAH



الشكل 40.IV منحني الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية SDO40%+60%SAH

IV 3. 6 مناقشة نتائج الانكماش خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية :

أ - تأثير تركيبة الرمل :

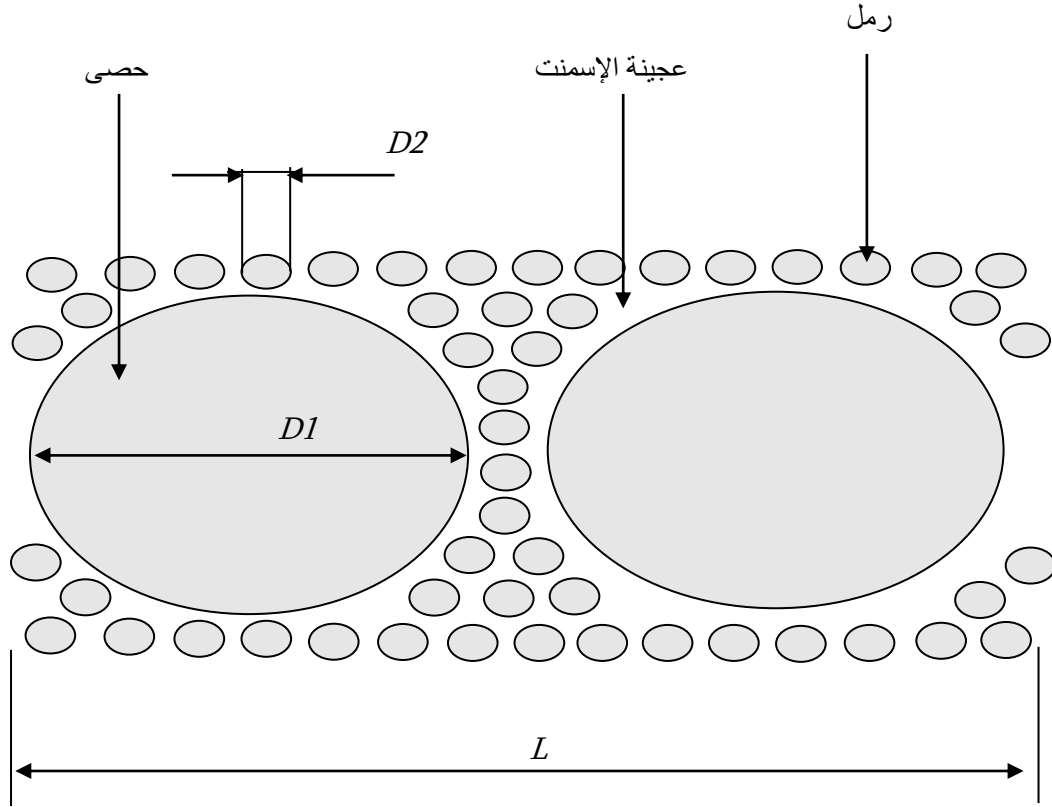
ان التحسن - التقليل - الملاحظ في الانكماش بين عينات خرسانة الرمل المرجعية المكونة من النسبتين المختلفتين من أنواع الرمل وبين الخرسانة الشاهد 100% رمل الكثبان إذ تحسنت التركيبية SDO40%+60%SAH بنسبة 3.67% أما التركيبية SDO40%+60%SAH فقد تحسنت بنسبة 6% تقريبا مقارنة بالتركيبية SDO 100% في 28 يوما.

ويرجع هذا التحسن إلى التركيبية الحبيبية في كل نوع إذ أن الخرسانة المشتملة على النسبتين المختلفتين SDO40%+60%SAH والتركيبية SDO40%+60%SAH كانت نسبة الانكماش تقريبا متساوية نظرا لقرب تساوي النسبتين وبدورهما ومقارنتهما مع الخرسانة الشاهد SDO 100% فإننا نرجع هذا التحسن إلى كون ان الخرسانة المكونة من SDO 100% تكون حبيبات الرمل بها متساوية الأقطار تقريبا من جهة وهذا ما يفسره ضيق منحني التدرج الحبيبي لرمل الكثبان إذ أنه محصور بين القطرين 0.16 و 0.63 ملم أي في ثلاث غرابيل تقريبا ومن جهة أخرى فان هذه الحبيبات تقريبا النسبة الغالبة منها (90%) ذات قطر 0.16 ملم أي ذات أقطار صغيرة مما يجعل المساحة السطحية التي ستشغلها عجينة الإسمنت كبيرة وبما أن الانكماش يكون في عجينة الإسمنت الرابطة بين الحبيبات فهذا ما يفسر نسبة الارتفاع العالية في التركيبية الخرسانة الشاهد SDO 100%.

وبما أن العينات المختلطة تمتلك تدرجا حبيبيا واسعا بالإضافة إلى الحبيبات الرملية ذات الأقطار المعتبرة (5ملم) ومن أجل إظهار تأثير هذه الحبيبات على الانكماش ارتأين تحليل المخطط الموضح في الشكل 41. IV ولتكن D1 و D2 أبعاد الحصى (الحبيبات الرملية الكبيرة) والرمل المشكل للخرسانة على الترتيب.

يحدث الانكماش في الفراغات (العجينة) التي تربط الحبيبات مثنى مثنى كما ذكرنا .

إذا فرضنا أن حبيبات الرمل الصغيرة هي الوحيدة المستعمل (كما في حالة رمل الكثبان) فإن الانكماش $L\Delta$ في المسافة L سيكون محصلة مجموع الانكماشات الحاصلة بين كل حبيبات الرمل ، وأما في حالة وجود حصاتين في المسافة L (كما هو موضح في الشكل) يجعل من الانكماش لا يحصل إلا في المسافة $L-2D1$. حيث سينقص الانكماش الكلي بذلك الفارق ومنه نستنتج أو نفسر كيف تناقص الانكماش في الخرسانة ذات التركيبين مقارنة بالخرسانة الشاهد ومن هنا أيضا تتضح أهمية استعمال الحصى الكبير في التقليل من ظاهرة الانكماش .



الشكل IV. 41. بنية خرسانة بالرمل محتوي على حصى [151]

ب - تأثير الألياف :

- أما ما لمسناه من نتائج عند استعمالنا للألياف المعدنية إذ تحسنت التركيبة $100\%SDO$ مقارنة بالتركيبة $100\%SDO+1\%F1$ وذلك عند إضافة كمية من الألياف تقدر ب 1% كانت نسبة التحسن تقارب 15.37% أما عند إضافة كمية مقدرت ب 1.5% أي التركيبة $(100\%SDO+1.5\%F1)$ كانت نسبة التحسن تقارب 39.5% وذلك خلال 28 يوما وتقريبا هذه النتائج نفسها سجلت عند استعمالنا ومقارنتنا للتركيبات $(100\%SDO+1.5\%F2)$ و $(100\%SDO+1\%F2)$ مقارنة مع التركيبة $SDO 100\%$.

- أما ما لمسناه من نتائج عند استعمالنا للألياف المعدنية في التركيبة $50\%SDO+50\%SAH$ مقارنة بالتركيبة $50\%SDO+50\%SAH+1\%F1$ وذلك عند إضافة كمية من الألياف تقدر ب 1% كانت نسبة التحسن تقارب 15% أما عند إضافة كمية مقدرت ب 1.5% أي التركيبة $50\%SDO+50\%SAH+1.5\%F1$ كانت نسبة التحسن تقارب 42.6% خلال 28 يوما وتقريبا هذه النتائج نفسها سجلت عند استعمالنا ومقارنتنا للتركيبات

مقارنة مع التركيبة $50\%SDO+50\%SAH + 1.5\%F2$ و $50\%SDO+50\%SAH + 1\%F2$ مقارنة مع التركيبة $50\%SDO+50\%SAH$

- أما ما لمسناه من نتائج عند استعمالنا للألياف المعدنية في التركيبة $40\%SDO+60\%SAH$ مقارنة بالتركيبة $40\%SDO+60\%SAH + 1\%F1$ وذلك عند إضافة كمية من الألياف تقدر ب 1 % كانت نسبة التحسن تقارب 34.3% أما عند إضافة كمية مقدر ب 1.5% أي التركيبة $40\%SDO+60\%SAH + 1.5\%F1$ كانت نسبة التحسن تقارب 25.5% وتقريبا هذه النتائج نفسها سجلت عند استعمالنا ومقارنتنا للتركيبات $40\%SDO+60\%SAH + 1.5\%F2$ و $40\%SDO+60\%SAH + 1\%F2$ مقارنة مع التركيبة $40\%SDO+60\%SAH$.

* ان هذا التحسن راجع إلى أن الألياف تلعب دورا مشابها لدور الحصى من جهة وإلى ربط التشققات الحاصلة بين حبيبات الرمل على مستوى عجينة الإسمنت من جهة أخرى وذلك على طول الليف وقد لاحظنا تحسنا بلغ القيمة 15.37% عند إضافة نسبة من الألياف تقدر ب 1% لخرسانة رمل الكثبان أما عند إضافتنا النسبة 1.5% فوصل التحسن نسبة 42.6% وهذا مع باقي التركيبات المرجعية الأخرى $50\%SDO+50\%SAH$ و $40\%SDO+60\%SAH$ فانه عند الزيادة في نسبة الليف يقل الانكماش وهذا ما يظهر دور الألياف داخل الخلطة الخرسانية حيث أن الزيادة في نسبة الليف تقلل من الانكماش.

أما ما لاحظناه من تغير في الانكماش في نفس التركيبة وب نفس نسبة الألياف فهو راجع إلى نوع الليف - ذي العكفات او المتموج - فلاحظنا أن التحسن الأمثل كان في النوعية المتموجة وذلك راجع إلى درجة التلاحم العالية بين الألياف والخرسانة حيث أن تلك التموجات تحدث تماسكا بين كل موجة وموجة وتمنع الانزلاقات المحتملة أو بعبارة أخرى الحركات الناتجة عن خروج الماء والمسبب للشقوق بينما النوع ذو العكفات فان التلاحم بينه وبين الخرسانة يكون على مستوى الرأس في العكفات بدرجة أولى وبدرجة أقل على باقي طول الليف لهذا تكون نسبة تحسن الانكماش في الخرسانة المدعمة بالألياف المتموجة إذا تساوت نسب الألياف أحسن منها إذا كانت مدعمة بالألياف ذات العكفات.

وهذا ما ذكره الدكتوران وجاهت حسين مرزا وفيصل فؤاد وفا [72] : إذ تبين لهما أن إضافة الألياف سواء الحديدية أو البروبيلينية يؤدي إلى تقليل مساحات التشقق في بعض العينات واختفائها نهائياً من عينات أخرى حسب نسبة الألياف المضافة ونوعها. وقد وجد أن تقوية بعض العينات بالألياف الحديدية بنسبة 1% من الحجم يؤدي إلى اختفاء التشققات في حالة الخرسانة عادية المقاومة (23- 40 MPa) [46]

كما وجد ARABI NOURREDINE تحسنا عند استعماله نسبيا مختلفة - 0.5 ، 1 ، 1.5 ، 2 ، 2.5 - من الياف الزجاج [17] وهذا ما توصل إليه أيضا كل من الباحثين SWAMY و STAVRIDES، حيث تؤكد من أن ألياف الحديد تسببت في تراجع الانكماش بنسبة 20% . [16+11] وكذلك وجد حسن شمس الدين حسن وسالم طيب يوسف عندما اضافا نسبة 1% من الألياف الفولاذية ان نسبة التحسن قد بلغت 59% [156]. وهذا ما وجده

أيضا Abdou Kamel [157] ، وجد الباحثان MANAGAT و AZARI تراجعاً في نسبة الانكماش تقدر بـ 35% وذلك باستعمال كمية من الألياف الفولاذية التي تقدر بـ 3% بأطوال 22.5 ملم في خرسانة ذات التركيبة :
(E = 0.58, G = 1.2, S = 2.5, C=1) [11+16]

وقد سبق وأن وجد BELFERRAG [11+16] و BENTATA [31] . نتائج مقاربة لهذا أما BELFERRAG فقد لاحظ تحسن الانكماش عند إدخال ألياف ذات طول 40 مم وقطر 0.28 ملم على خرسانة رمل الكثبان بنسبة من 26 إلى 33% وكذلك استنتج BENTATA دور الحصى في التركيبة الخرسانية وذلك بعد ما قام بخمسة أنواع من التجارب على الخرسانة بنسب مختلف من رمل الكثبان والرمل الطبيعي (التجارب كانت على خرسانة عادية).

وحسب قواعد الانكماش NF P 15-433 [158] فإنه من أجل الملاط النظامي مصنوع من نوع الإسمنت CPJ-CEMII/ A42.5 فيجب ان لا تتعدى قيمة الانكماش المقدار 1000 (µm/m) في 28 يوماً وهذا ما نلاحظه تقريبا في التركيبات المشتملة على النسب المختلف للألياف فانه تحصلنا على نتائج مقاربة إلى هذه القيمة إذا أخذنا بعين الاعتبار عوامل الحفظ من درجة حرارة ورطوبة إذ أن قواعد الانكماش تنص على أن تكون شروط الحفظ في رطوبة نسبية تقدر بـ (5±5%) ودرجة حرارة (2±20 °) أما ما توفر لدينا من شروط حفظ في مخبر الهندسة المدنية بالجامعة فالرطوبة قدرت بـ (3±40%) أما الحرارة بـ (5±30 °) فهذه العوامل أثرت على قيمة الانكماش التي تحصلنا عليها فالنتائج كانت وخاصة في التركيبات ذات نوعية الرمل المختلطة تتراوح بين 900 إلى 1070 (µm/m) أما في التركيبة المحتوية على رمل الكثبان 100% وبالنسب المختلفة لكل النوعين من الألياف فكانت النتائج تتراوح بين 880 إلى 1250 (µm/m) .

IV 7. الديمومة :

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. مثلا 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 مضررة بهيكل الأساس والخرسانة عموما .

وبعد تحصيلنا لمختلف النتائج الميكانيكية السابقة لخرسانة رمل الكتبان المدعمة بالألياف ، 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 الكتبان المعززة بالألياف المعدنية ، قمنا باختيار الوسط العدواني الأشهر وهو الأماكن التي تحتوي على طبقة المياه الصاعدة ، وبعد دراستنا في الفصل الرابع لمكونات مختلف المياه التي يمكن أن تصادفنا في الحياة العامة تبين أن المياه الصاعدة هي أكثرها احتواء على العناصر الضارة وأن من أخطرها : هي شوارد الكلور Cl^- وشوارد الكبريت -السلفات- SO_4^{--} .

IV 1.7. وسط الحفظ :

حاولنا محاكاة طبقة المياه الصاعدة بأخذ تركيز شاردي الكلور والسلفات :

- اخترنا حمض كلور الماء HCl كممثل لشاردة الكلور Cl^- وحمض السلفات H_2SO_4 كممثل لشاردة الكبريت SO_4^{--} .

- كان أعلى تركيز مسجل في طبقات المياه الصاعدة لمنطقة وادي سوف بالنسبة لشوارد الكلور Cl^- هو $1640.23mg/l$ أما شوارد الكبريتات SO_4^{--} هو $3373 mg/l$.

- قمنا بمضاعفة تركيزهما إلى ثلاثة أضعاف ، لنتمكن من إيجاد التأثيرات في آجال الدراسة . فكان التركيز حمض كلور الماء HCl $4920.7 mg/l$ وتركيز H_2SO_4 $10120 mg/l$. وعند قياس مقدار حامضية هذا الوسط وجدنا أن قيمة $PH=1.32$.

- جعلناهما كوسط لحفظ عينات خرسانة رمل الكتبان المعززة بالألياف لمعرفة مدى مقاومتها لمثل هذه الأوساط .
- بعد غمس العينات ، ومتابعة تغيرات أوزانها ، قمنا بتجديد المحاليل كل 14 يوما ، لضمان الحفاظ على التركيز وعدم نقصانه جراء تفاعله مع الخرسانة .

IV 2.7. آلية العمل المتبعة :

- قمنا بصب أنواع العينات المدروسة سابقا بالطريقة المذكورة .

- بما أن نتائج تفاعل العناصر الضارة مع مركبات الإسمنت البرتلاندي العادي $CEMII$ محسومة من قبل إذ أن هذا الأخير لا يقاوم الكلوريدات ولا الكبريتات ، فقد استعملنا إسمنتا ثانيا مضادا للأملاح وخاصة الكبريتات ألا وهو $CEMI$.

- بعد الصب حفظت العينات في الماء لمدة 28 يوما كما هو منصوص عليه. ثم وضعت في المحلول الحمضي المكون من حمض كلور الماء وحمض الكبريت ممزوجين معا محاكاة لطبقة المياه الصاعدة .
وبعدها قمنا بتجارب الديمومة كما يلي :

IV . 8 التجارب الخاصة بديمومة الخرسانة :

1.8.IV التغير في الكتلة الحجمية :

مبدأ التجربة هو متابعة التغيرات في الكتلة بمرور الوقت لعينات خرسانة الرمل المدروسة والمغمورة داخل وسط الحفظ العدوانى المتمثل في حمض كلور الماء وحمض الكبريت .
يتم الوزن بواسطة ميزان الكتروني دقيق (0.01 غ) .
يتم وزن العينات قبل غمسها في المحلول وبعده ، وبقيت في المتابعة حيث أنه في كل اسبوع نقوم بالوزن وتدوين النتائج ، مع اعادة وضعها في محلول تم تجديده في كل 14 يوما نظرا لإمكانية تغير التركيز .
ثم حساب التغير في الكتلة وفق المعادلة التالية [95]:

$$PM\% = [(M1-M2)/M1] \times 100$$

M1 : وزن العينة بعد القولية .

M2 : وزن العينة بعد الغمر في مختلف المواعيد.

بعد مدة الدراسة المخصص للغمر في المحلول والمقدرت بـ 6 أشهر، نكون قد تحصلنا على النتائج.

* هناك نوعان من النتائج:

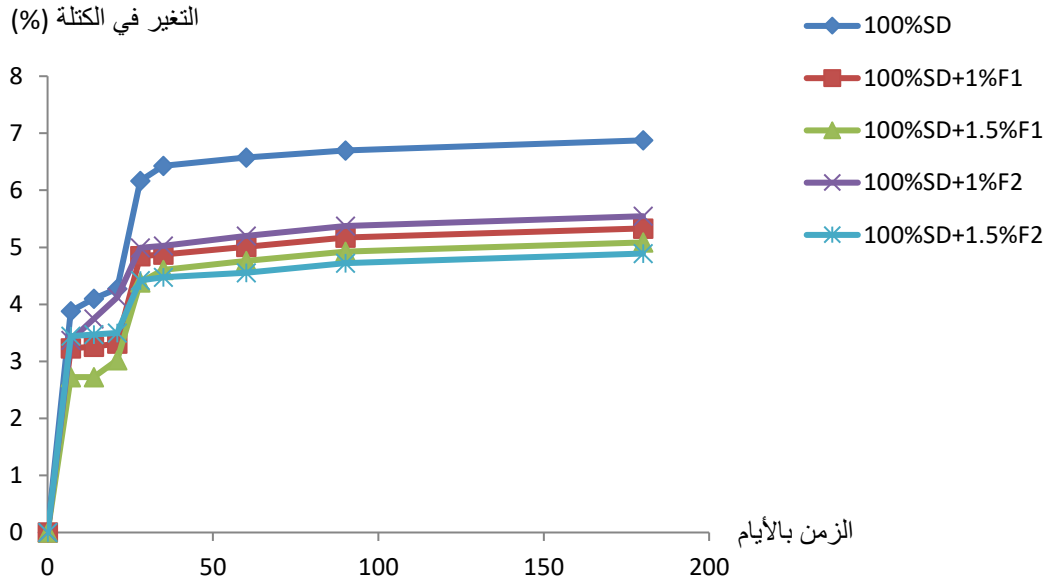
1 - النتائج المدونة أثناء الغمر.

2- النتائج المدونة بعد إزالة الطبقة الملحية.

1.1.8.IV نتائج الكتلة الحجمية :

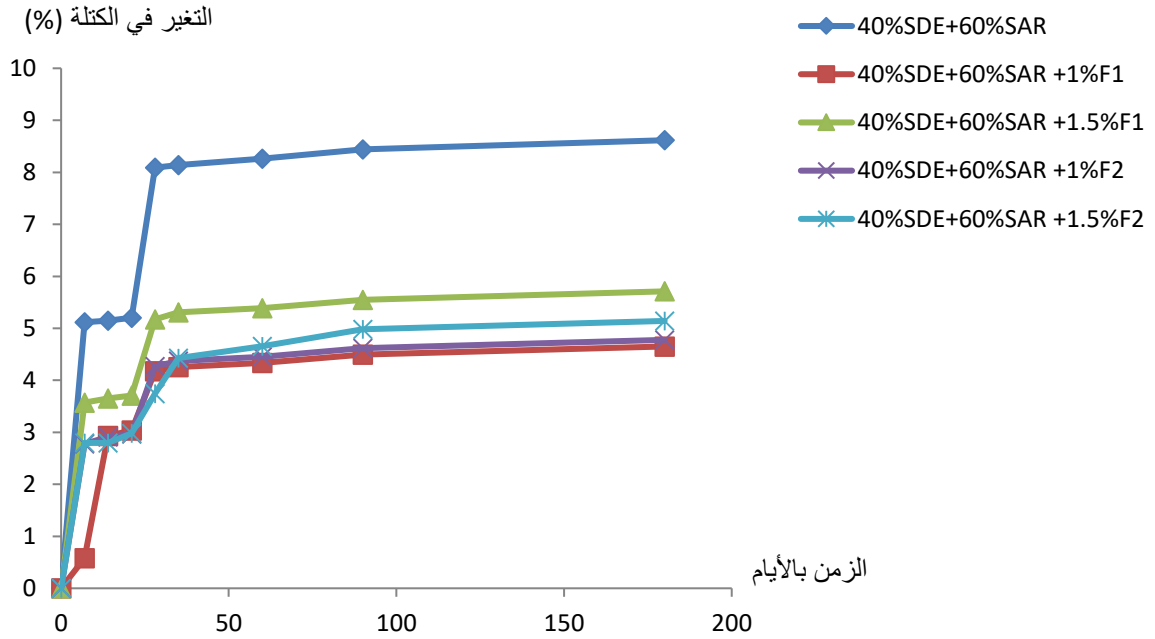
1.1.1.8.IV النتائج المدونة أثناء الغمر.

* بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات $SD \geq 100\%$:



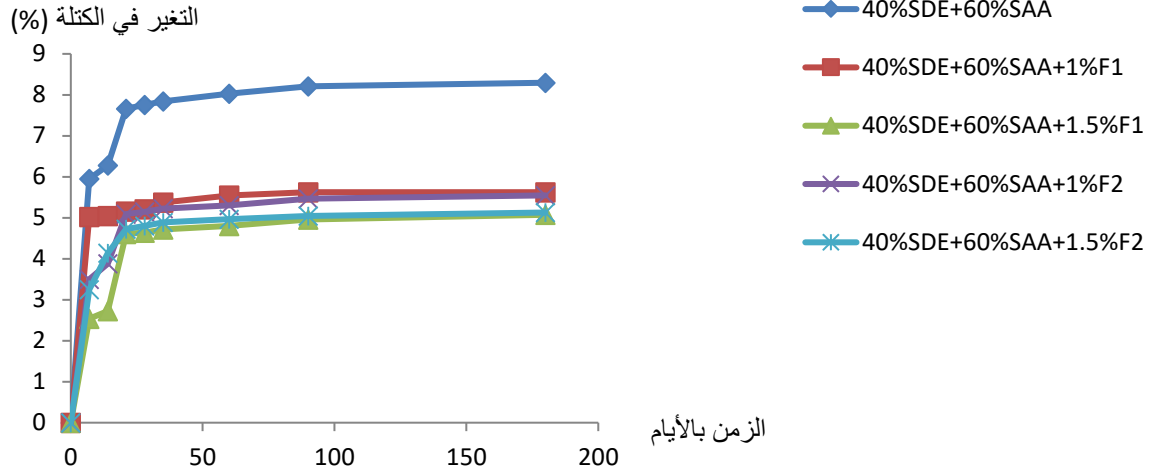
الشكل IV. 42. منحنى نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 100%SD

* بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAR :



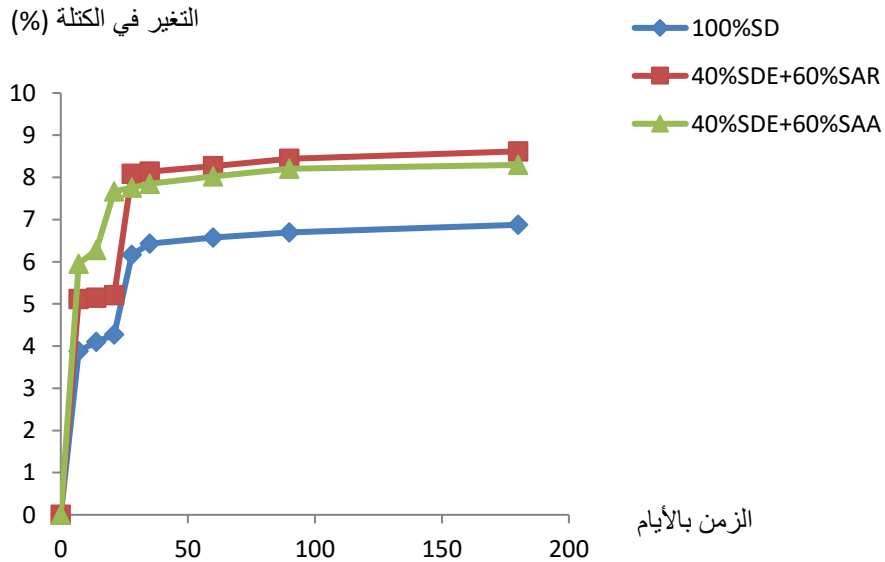
الشكل IV. 43. منحنى نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعيينة (40%SDE+60%SAR)

* بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAA :



الشكل IV. 44. منحنى نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAA

* مقارنة مختلف نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل المختلفة :

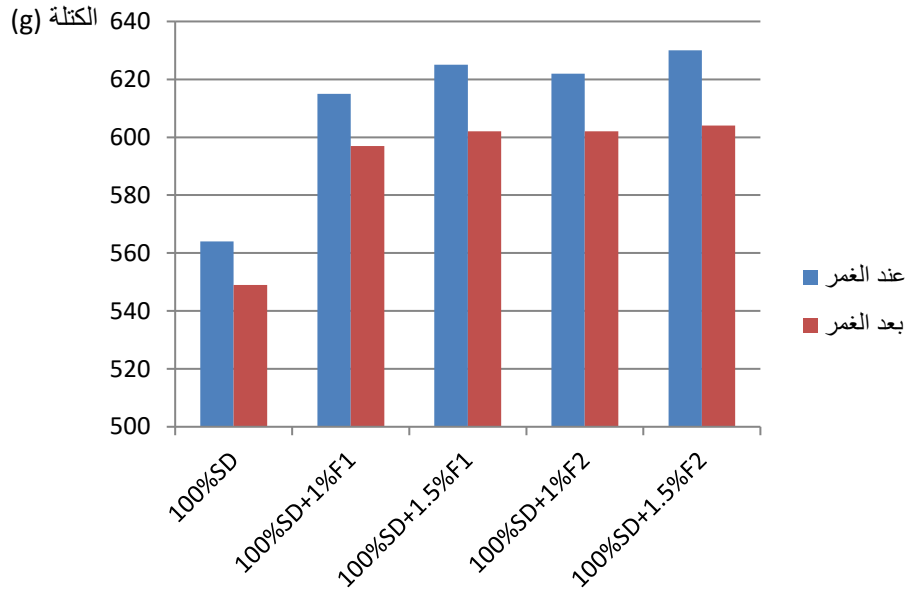


الشكل IV. 45. منحنى نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل المختلفة

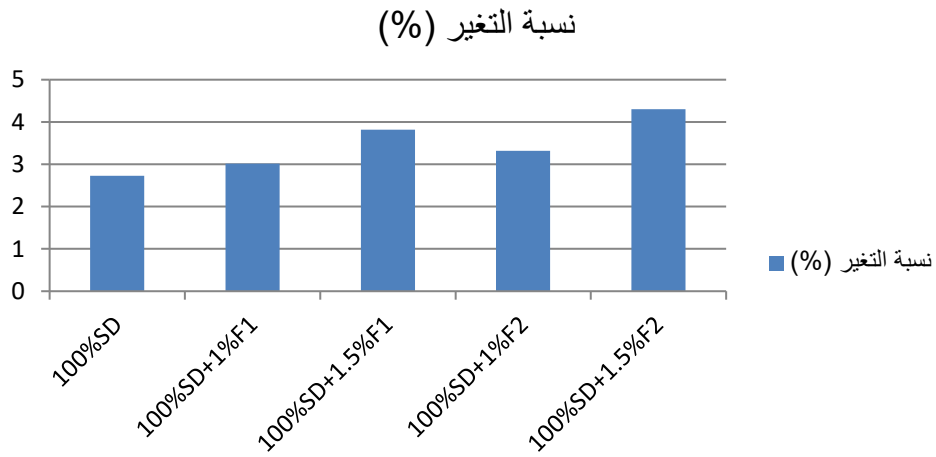
IV.2.1.1.8 النتائج المدونة بعد إزالة الطبقة الملحية:

بعد إزالة الطبقة المترسبة على مختلف عينات خرسانة الرمل المحفوظة في الوسط العدواني ولمدة 180 يوماً سجلنا نتائج الكتلة قبل غمر العينات وبعده فكانت على النحو التالي :

بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات 100%SD :

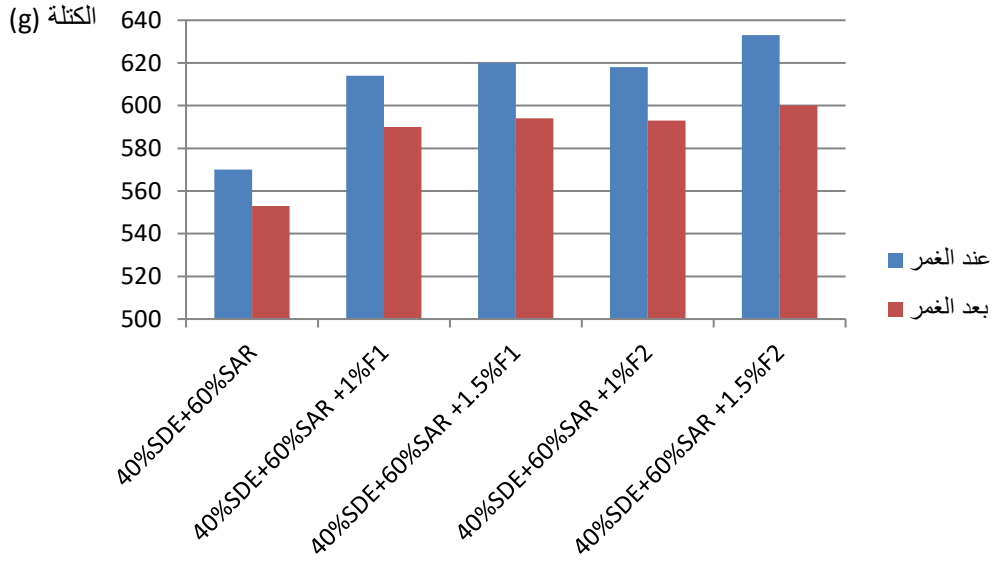


الشكل IV. 46. نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 100%SD بعد 180 يوما

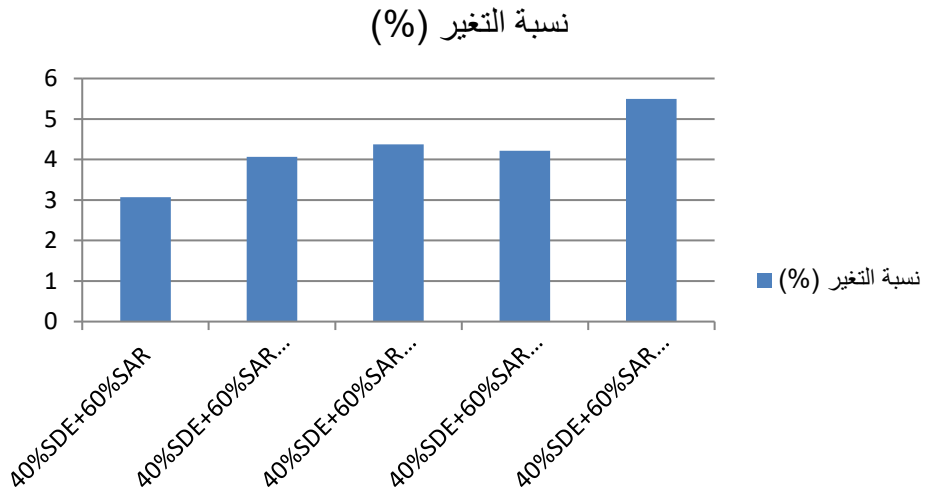


الشكل IV. 47. نسبة تغير الكتلة لعينات خرسانة الرمل للعينات 100%SD بعد 180 يوما

* بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAR :

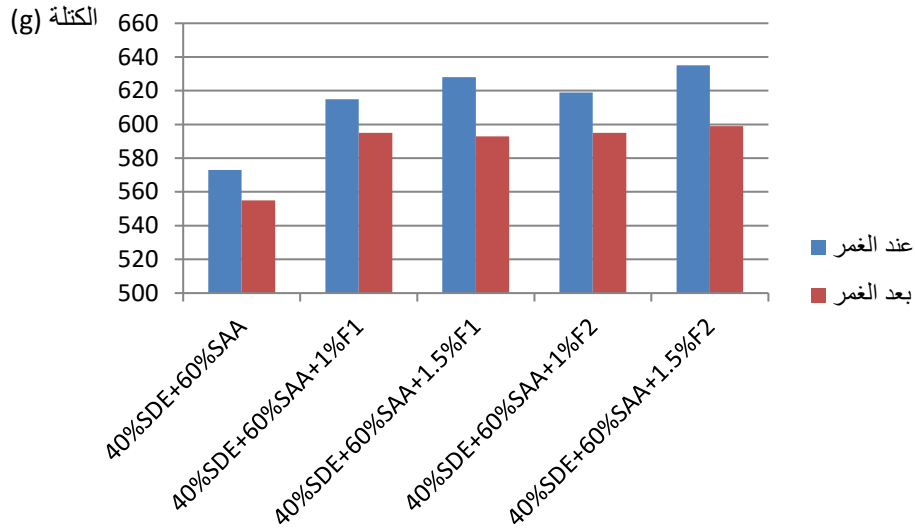


الشكل IV. 48. نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAR بعد 180 يوما

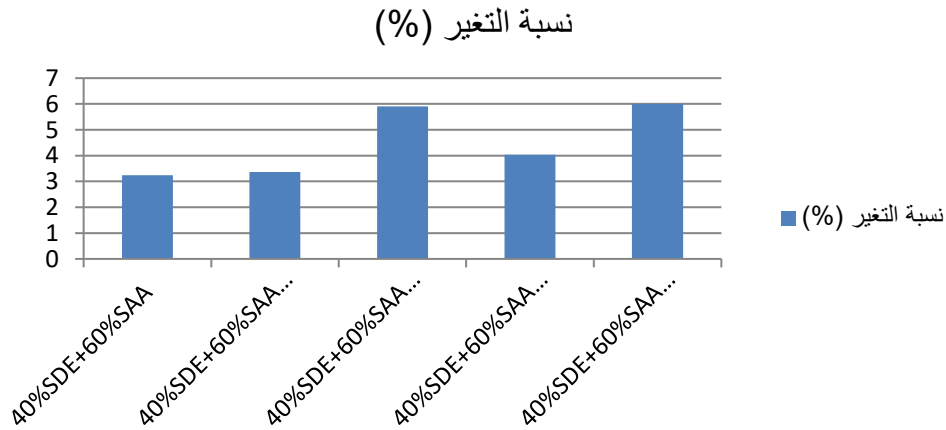


الشكل IV. 49. نسبة تغير الكتلة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAR بعد 180 يوما

* بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAA :



الشكل IV. 50 نتائج تغير الكتلة بالنسبة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAA بعد 180 يوما



الشكل IV. 51 نسبة تغير الكتلة لعينات خرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAA بعد 180 يوما

IV. 2.1.8 مناقشة نتائج التغير في الكتلة:

لاحظنا من خلال النتائج السابقة أنه يمكن تقسيمها إلى قسمين زيادة في وزن العينات التي لم تجر لها عملية التنظيف ، والنقصان في العينات التي أجريت عليها عمليات التنظيف.

* - بالنسبة لزيادة وزن العينات لاحظنا أن عينات خرسانة الرمل بدون ألياف كانت أكثر العينات التي اكتسبت وزنا إضافيا حيث أن نسبة الزيادة في خرسانة الكثبان كانت 6.9% من وزنها الحقيقي خلال 180 يوما وكذلك عينات الخرسانة الرملية المحتوية على مزيج من الرمل كانت النسبة فيهما متقاربة فالزيادة في العينة 40%SDE+60%SAA كانت 8.29% أما العينة 40%SDE+60%SAR فكانت نسبة الزيادة 8.61%.

أما خرسانة الرمل بالألياف فقد كانت نسبة زيادة الكتلة فيها أقل مما هي عليه في الخرسانة بدون ألياف فقد سجلنا أعلى نسبة زيادة في التركيبة الخرسانية $1.5F1 + 60\%SAR + 40\%SDE$ بنسبة تقدر بـ 5.71% أما باقي النسب فهي مقاربة لها حيث لم تنقص عن النسبة 4.65% في التركيبة $40\%SDE + 60\%SAR + 1F1$.

- يعود هذا التغير في زيادة كتلة كل العينات إلى اكتسابها كمية من الماء مما أدى إلى تشبعها من جهة [50]
 - وترجع زيادة الوزن كذلك إلى تفاعل بعض مكونات طبقات الإسمنت الخارجية المتمثلة في 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 بالتدرج مكونة مادة صلبة بيضاء هي الجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ وكوريد الكالسيوم $CaCl_2$ تكون هي سبب زيادة وزن العينات، وذلك راجع إلى أن بعض 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.

- وقد لاحظنا اختلاف نسبة زيادة الكتلة بين عينات خرسانة الرمل بدون ألياف فمرده إلى اختلاف نسب المركبات الكيميائية المكونة لمختلف أنواع الرمال ، فرمال الكتبان SDE التي تحتوي على نسبة الكالسيوم Ca منخفضة 0.92% مقارنة برمل عسيلة الذي يحتوي على 1.21% ، فهذا العنصر الكيميائي Ca يتحد مع العناصر المكونة للمحلول العدوانى وهي SO_4^{--} و Cl^- فيكون تلك المواد المترسبة فالأول SO_4^{--} عند اتحاده مع الكالسيوم Ca وبوجود الماء يعطي الجبس والثاني يعطي كلوريد الكالسيوم وكلها رواسب بيضاء تتموضع على سطح العينات كما شاهدناه ، فكلما كانت نسبة الكالسيوم أكثر كان الناتج من هذه المواد أكثر، وبالتالي الزيادة في الكتلة.

- وقد يتبادر إلى الذهن أن نسبة الكالسيوم في رمال وادي الرتم تظهر أقل - 0.81% أو 31.183 mg/g - مما عليه في رمال الكتبان - 0.92% أو 52.624 mg/g - ، فكيف تكون زيادة الكتلة في خرسانة الرمل برمل وادي الرتم أكثر منها في خرسانة رمل الكتبان ؟ نقول أن نسبة الكالسيوم في رمال وادي الكتبان أغلبها متحدة مع الكبريتات مكونة مادة الجبس مسبقا فقد كانت رمال الكتبان تحتوي على هذه المادة بدليل أن عنصر الكبريت - السيلفات SO_4^{--} - قد كان على شكل آثار - 1.629 mg/g - أو شبه معدوم في رمل واد الرتم أما في رمل الكتبان فكان بنسبة معتبرة - 2.351 mg/g - أما نسبة الكالسيوم في واد رتم فتكون غير مرتبطة بالكبريتات - السيلفات SO_4^{--} - هذا ما جعلها تتفاعل مع السيلفات الموجودة في المحلول مكونا مادة جبس جديدة تؤدي إلى الزيادة في الكتلة.

- وقد وجد مثل هذا العديد من الباحثين منهم [67] . و[50] و[159] أما [157] فقد كانت نسبة الزيادة عنده تصل إلى أكثر من 6%

- أما ما هو ملاحظ من فرق بين نسبة الزيادة في الكتلة للعينات التي لا تحتوي على ألياف مقارنة بالعينات التي تحتوي على ألياف فمرده لكون أن الألياف قد عوضت نسبة من حجم الرمال التي تحتوي على العناصر الكيميائية التي بإمكانها التفاعل مع العناصر الضارة في وسط الحفظ وخاصة الكالسيوم فتكون نسبة النواتج أقل وبالتالي الزيادة في الكتلة ستكون أقل.

- ويتضح هذا جليا في الاختلاف الحاصل بين عينات خرسانة الرمل المعززة بالألياف والمعدة برمل الكثبان - 100%SD - وخرسانة الرمل الممزوجة برمل عسيلة - 40SDE+60%SAA % - حيث كانت نسبة الزيادة في العينات التي بها نسبة 1% من الألياف أكثر من التي تحتوي على 1.5% منه كما هو مبين في الأشكال 47.IV و 49.IV و 51.IV.

* أما عند غسل العينات وتنظيفها من الطبقة الملحية فقد أفقدها نسبة من الوزن، ومردده 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 [67]

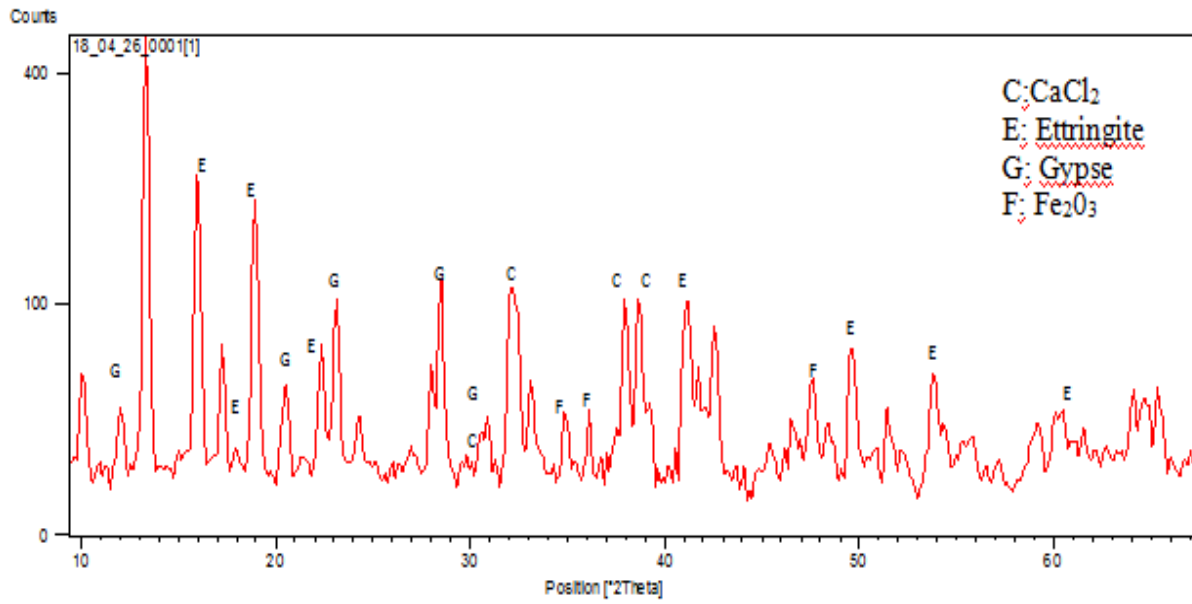
- وقد لاحظ [50] عند مقارنته بين نوعين من الإسمنت العادي CEM I و CEM II المقاوم للأملاح أن تأثير حمض الكبريت على الإسمنت الثاني CEM II كان أكثر من الإسمنت الأول CEM I .

* ومن خلال دراسة نسب فقدان الوزن للنوع الواحد من خرسانة الرمل فقد لاحظنا تباينا واضحا في نسب هذا النقصان فالعينات التي تشتمل على الألياف المعدنية كانت نسبة النقصان فيها أكثر بعد إزالة الطبقة الملحية ، ففي العينات التي لا تشتمل على الألياف كانت نسبة النقصان تتراوح بين 2.7% إلى 3.24% أما التي تحتوي على ألياف وبنسبة 1% فقد تراوحت النسبة بين 3.6% إلى 4.21% أما التي تحتوي على 1.5% فقد تراوحت نسبة النقصان في وزن العينات بين 3.82% إلى 6.01%، ويرجع هذا التفاوت إلى كون الألياف قد أثرت في هذا النقصان فوجودها العشوائي داخل جسم الخرسانة جعل بعضها في الحواف ربما يكون في بعض الحالات الليف على السطح مباشرة غير مغطى بالعجينة الإسمنتية او يكون مغطى بكميات صغيرة وعند وضع هذه العينات داخل الوسط العدواني المعد للحفاظ فإن التفاعلات بين هذه المادة الحديدية والعناصر الضارة ستكون مباشرة مما يؤدي إلى صدا الألياف واطمئنانها شيئا فشيئا وهذا ما أنقص وزن هذه العينات المشتملة على نسب مختلفة من الألياف الحديدية وكلما كانت النسبة منها داخل الخرسانة الرملية أكثر كانت نسبة النقصان أكثر كما بينته الأشكال (50.IV و 52. IV و 54. IV) وهذا ما وجدته [50] و [101]

2.8.IV طبيعة النواتج الملحية - الرواسب على العينات - :

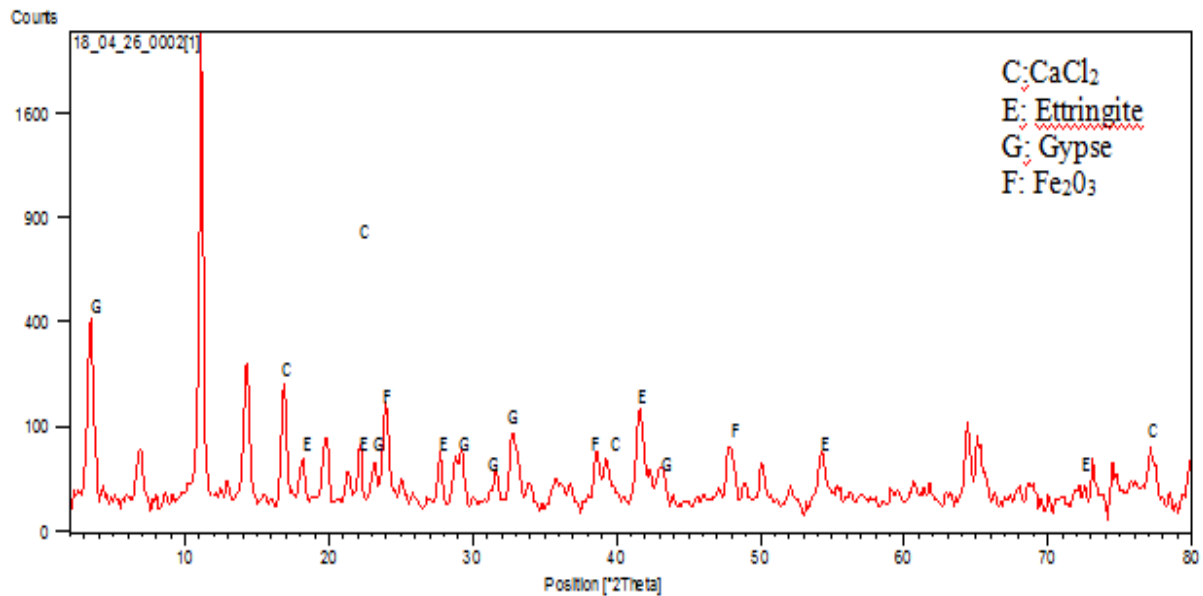
بعد غمر العينات في المحاليل الحمضية وأثناء مراقبتنا لتغيرات الكتلة لاحظنا تشكل طبقة ملحية بيضاء على أسطح العينات ، وبعد إزالتها وتحليلها للكشف عن طبيعتها تبين أنها ذات طبيعة جبسية $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ وإترنجيت $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ وكلوريدات الكالسيوم $CaCl_2$ وأكسيد الحديد FeO_3 .
* وقد أكدت نتائج DRX ما ذهبنا إليه حيث تحصلنا على المنحنيات المرفقة:

بالنسبة لعينات خرسانة الرمل 100%SDE:



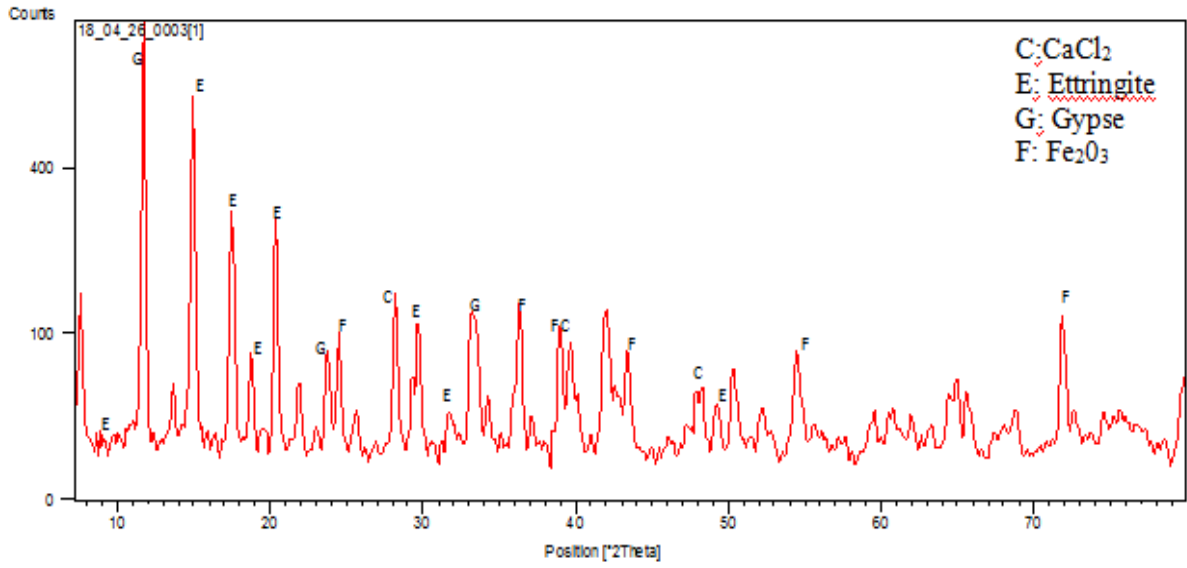
الشكل 52.IV منحنى المعالجة بأشعة X للرواسب على العينات 100%SDE

بالنسبة لعينات 40%SDE+60%SAR



الشكل 53.IV منحنى المعالجة بأشعة X للرواسب على العينات 40%SDE+60%SAR

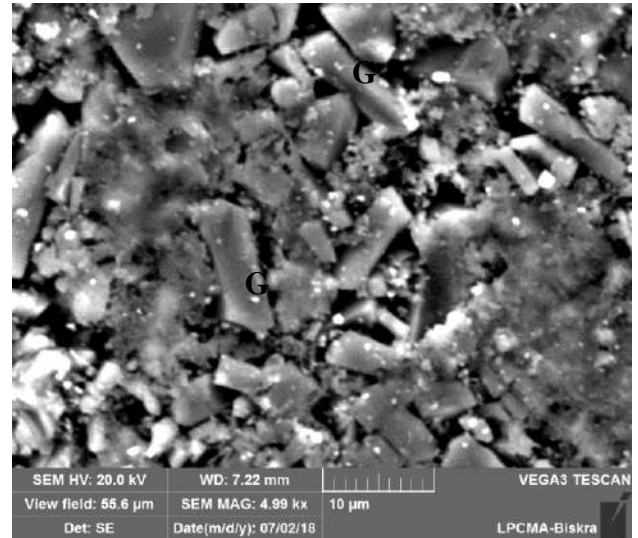
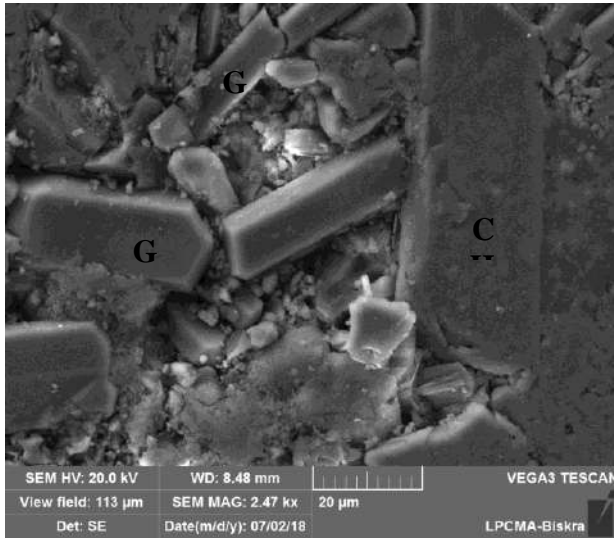
بالنسبة لعينات 40%SDE+60%SAA



الشكل 54.IV منحنى المعالجة باشعة X للرواسب على العينات 40%SDE+60% SAA

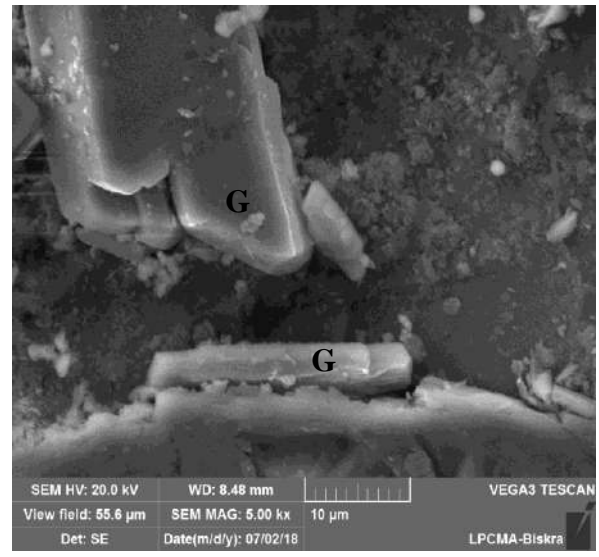
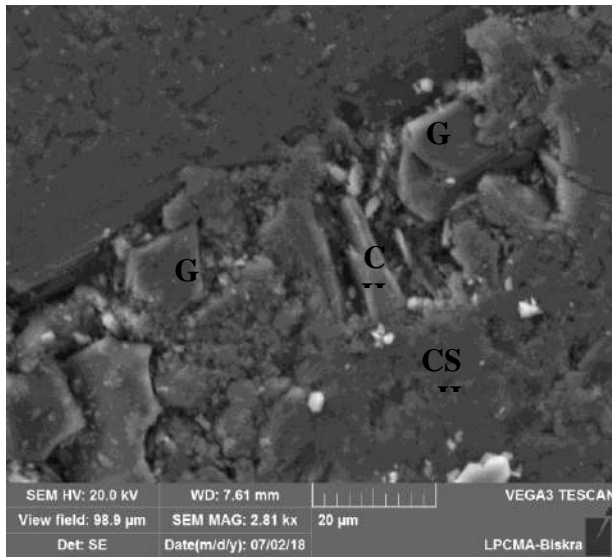
* وهذا ايضا ما وجدناه من خلال المشاهدات الإلكترونية لهذه الرواسب:

بالنسبة لعينات خرسانة الرمل 100%SDE



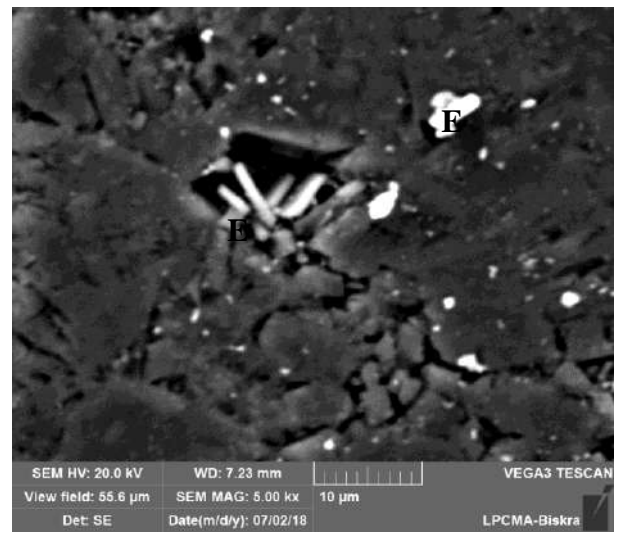
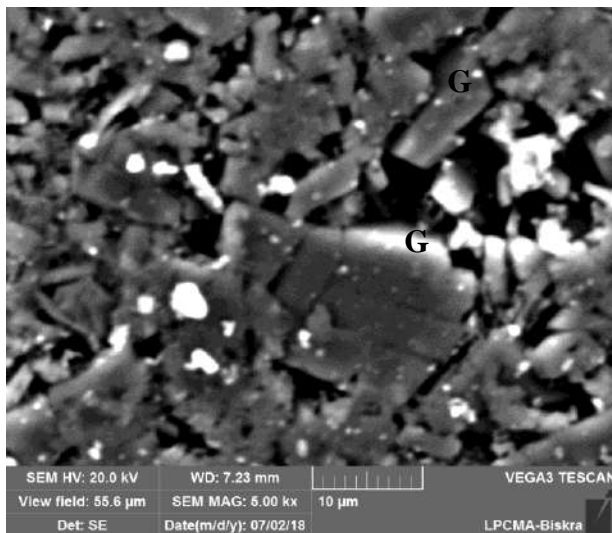
الصور 1.IV لمشاهدات المسح الإلكتروني MBE للعينات 100%SDE

بالنسبة لعينات 40%SDE+60%SAR



الصور 2.IV لمشاهدات الماسح الإلكتروني MBE للعينات 40%SDE+60%SAR

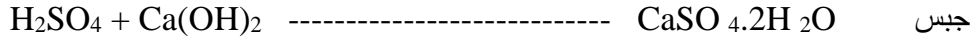
بالنسبة لعينات 40%SDE+60%SAA



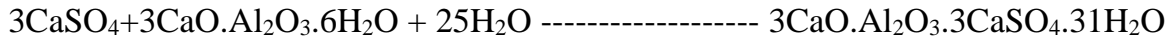
الصور 3.IV لمشاهدات الماسح الإلكتروني MBE للعينات 40%SDE+60%SAA

أظهرت نتائج المشاهدة بالماسح الإلكتروني EMB أن هناك أجساما شبه مستطيلة حوافها بشكل أجسام هندسية شبه منتظمة إنها كميات الجبس كما لاحظنا كميات قليلة مستديرة الشكل بيضاء وأخرى على شكل عصيات طويلة نسبيا إنه الإترنجيت ، وهذا ما وجدته [160]

وقد حصل هذا نتيجة تفاعل حمض السيلفات وحمض كلور الماء مع هيدروكسيد الكالسيوم ونواتج إمهاء الإسمنت فأعطى تلك المركبات المسجلة في منحنيات الكشف بأشعة X وفق معادلات التفاعل التالية:

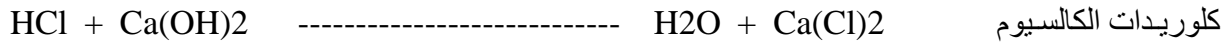


وهذا قد تحول إلى ترنجيت بوجود اليمينات ثلاثي الكالسيوم C_3A وفق المعادلة:



وقد يكون تواجد الجبس من خلال تفاعل حمض السيلفات مع عنصر الكالسيوم الموجود في الرمال المستخدمة في خلط الخرسانة.

أما كلوريدات الكالسيوم فقد نتجت من خلال التفاعل:

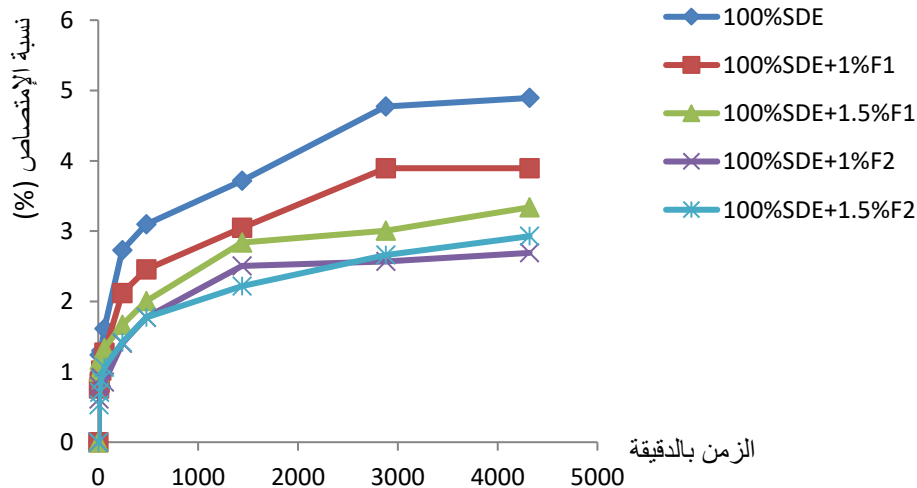


وهذا ما وجدته كل من [104] و [161] و [43] و [160] .

IV. 3.8. 1 نتائج تجربة امتصاص الماء

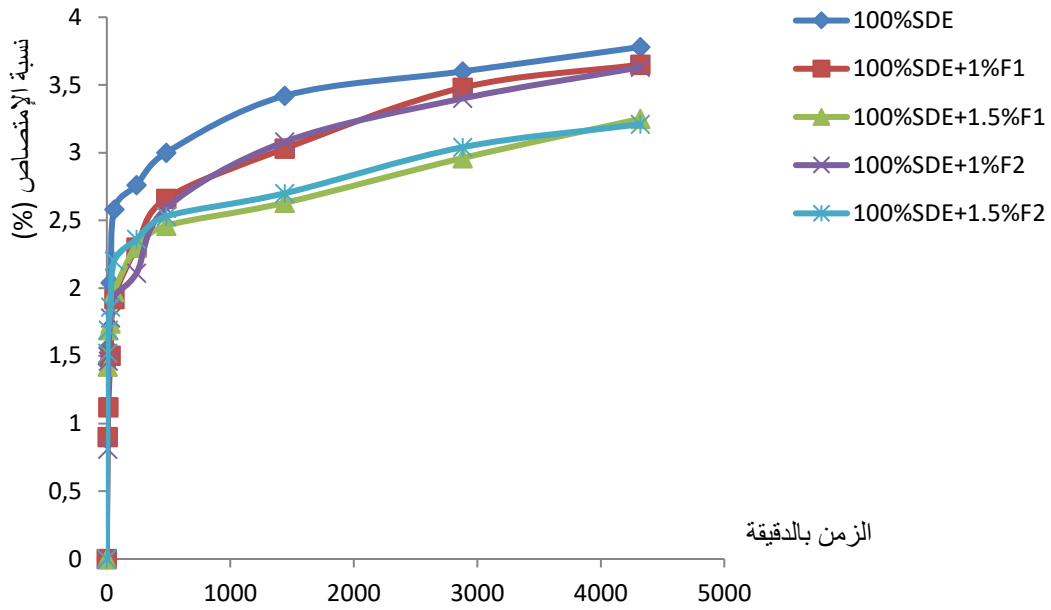
* نتائج تجربة امتصاص الماء المتعلقة بالوزن والزمن:

بالنسبة لعينات رمل الكثبان:



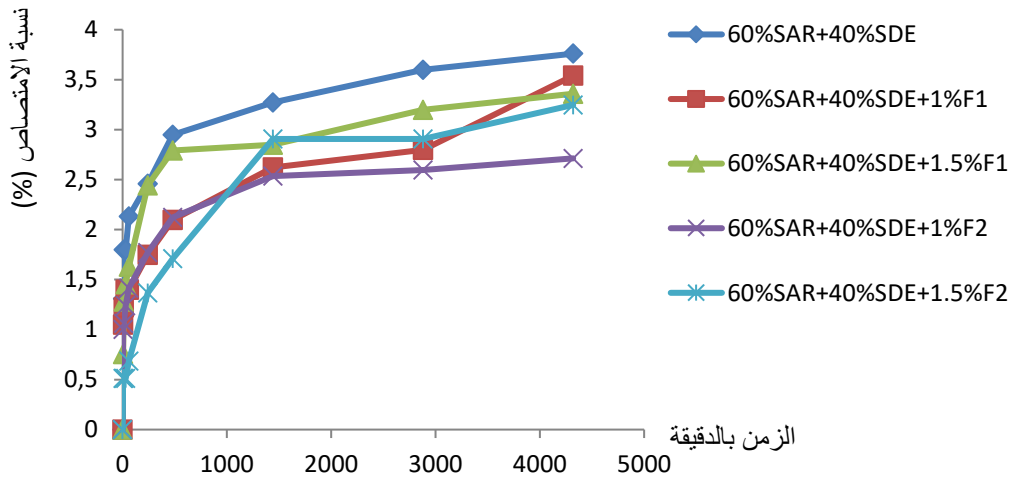
منحنى 55.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في الهواء بدلالة

الزمن

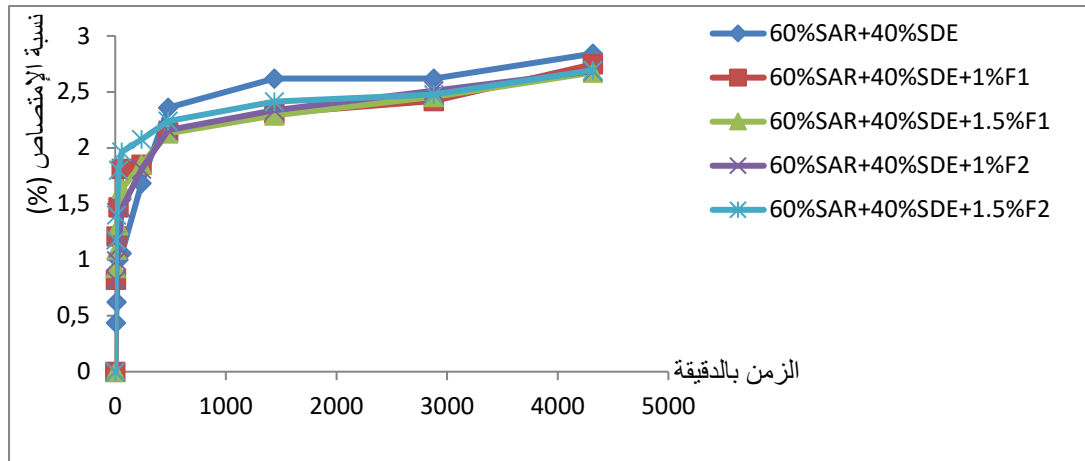


منحنى 56.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في المحلول بدلالة الزمن

بالنسبة لعينات رمل واد الرتم:

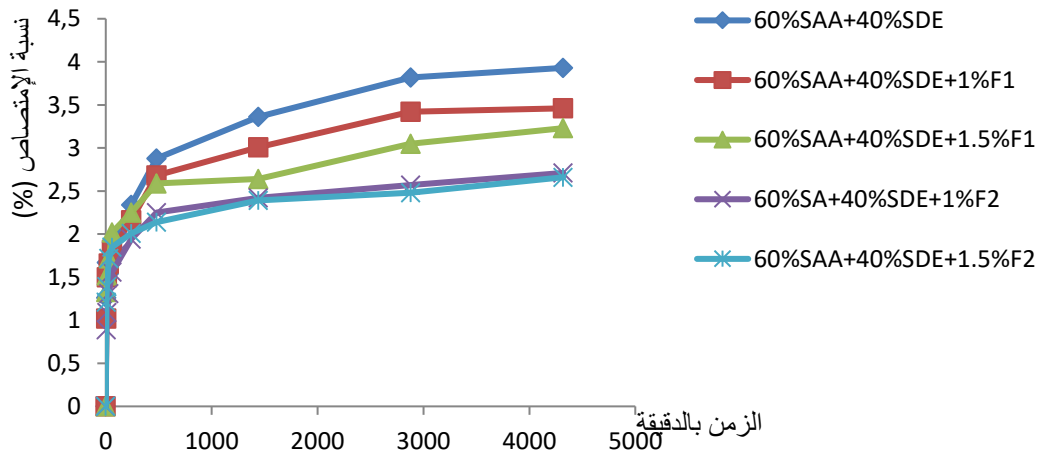


منحنى 57.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان وواد الرتم المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن

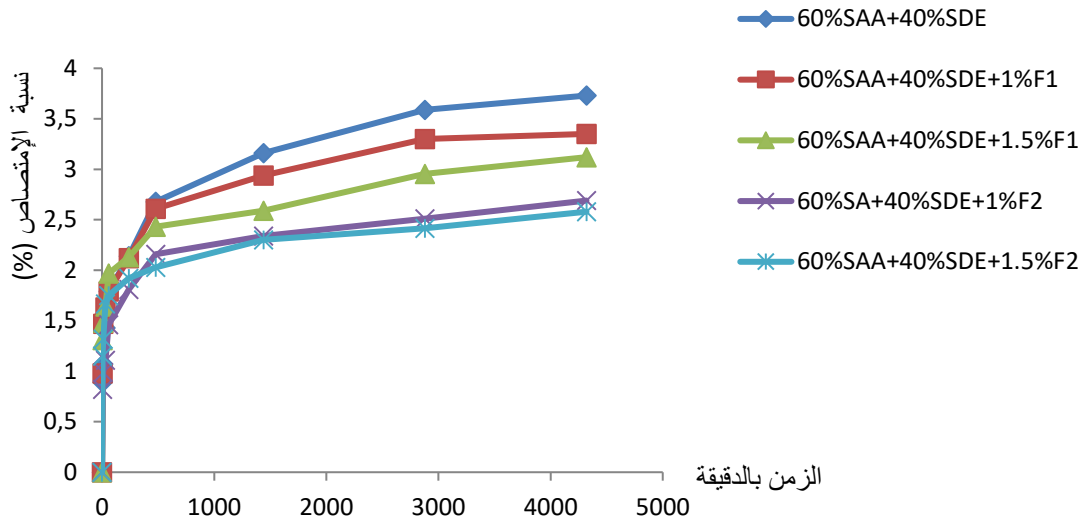


منحنى 58.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان وواد الرتم المحفوظة في المحلول بدلالة الزمن

بالنسبة لعينات رمل عسيلة:



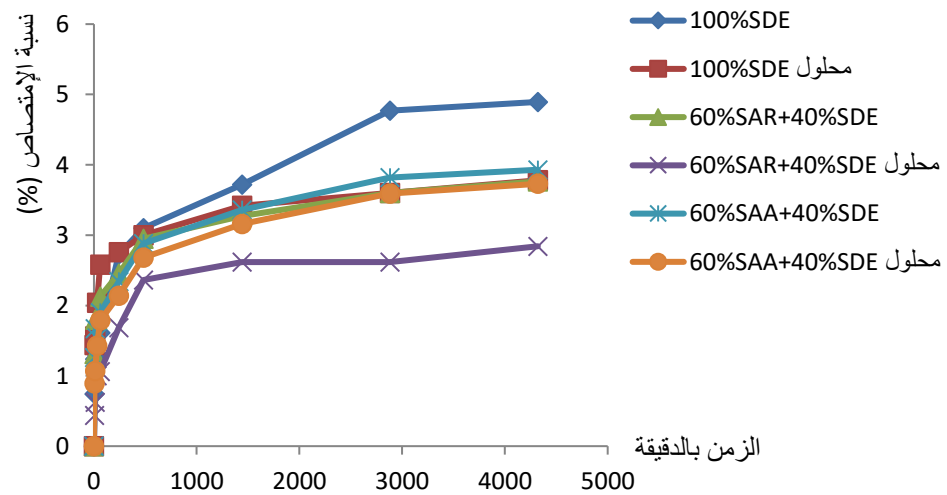
منحنى 59.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان ورمل عسيلة المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن



منحنى 60.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان ورمل عسيلة المحفوظة في المحلول بدلالة الزمن

المقارنة بين العينات الشاهد والعينات المحفوظة في المحلول :

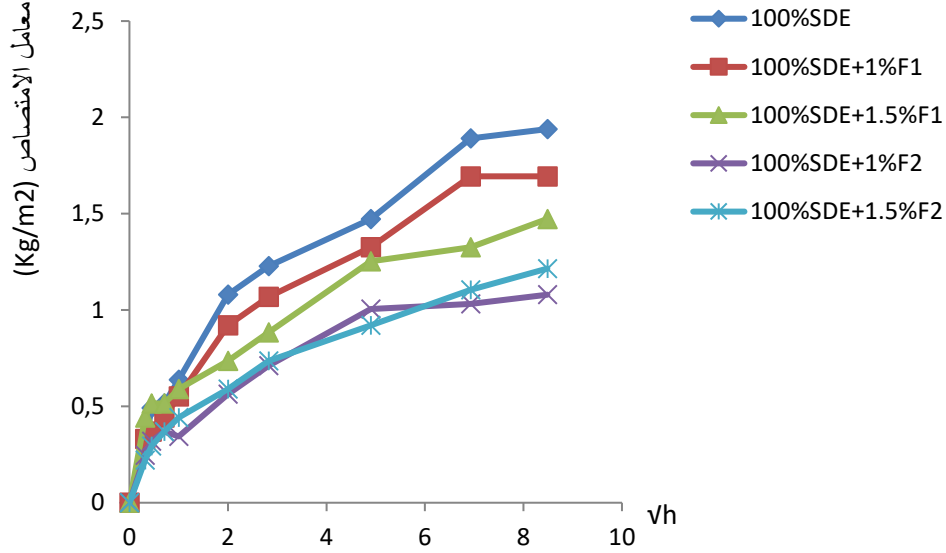
المقارنة بين العينات الشاهد المحفوظة في الهواء والعينات المحفوظة في المحلول موضحة في الجدول



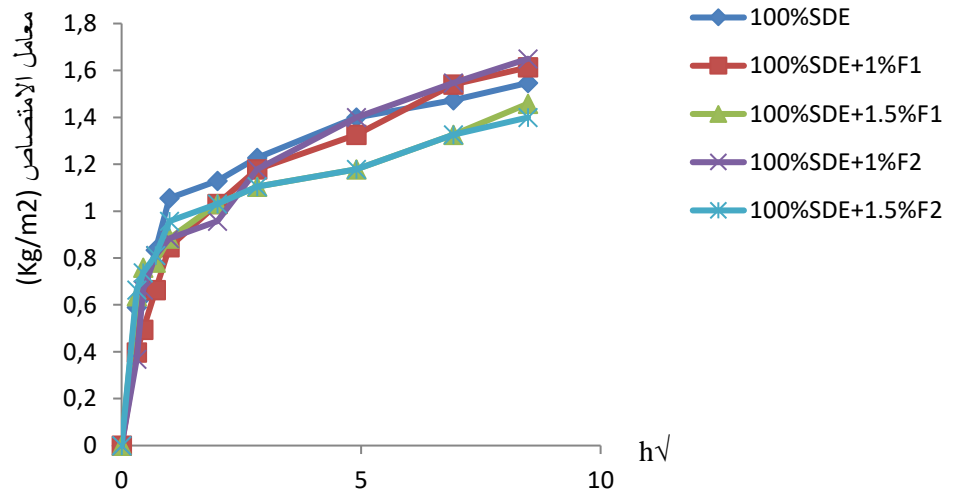
منحنى 61.IV يوضح نسبة امتصاص الماء لعينات الخرسانة المدروسة الشاهد المحفوظة في الهواء والعينات المحفوظة في المحلول

** نتائج تجربة امتصاص الماء المتعلق بالزمن والمساحة:

بالنسبة لعينات رمل الكثبان:

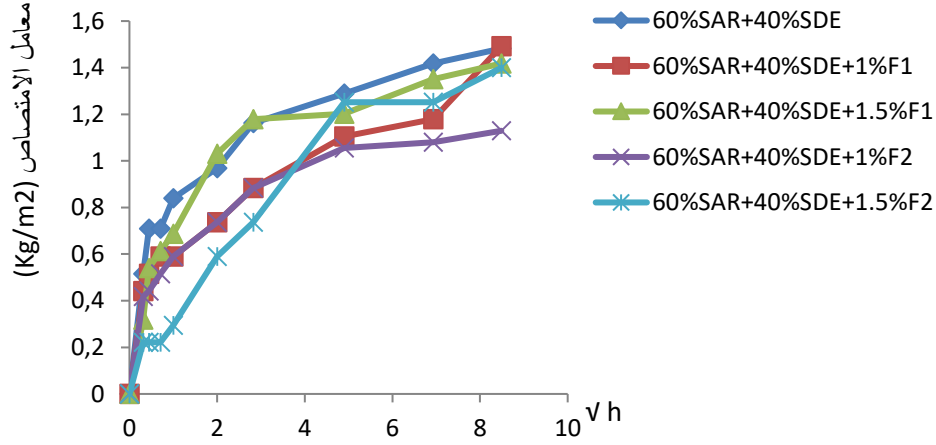


منحنى 62.IV يوضح تغيرات نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في الهواء بدلالة الزمن

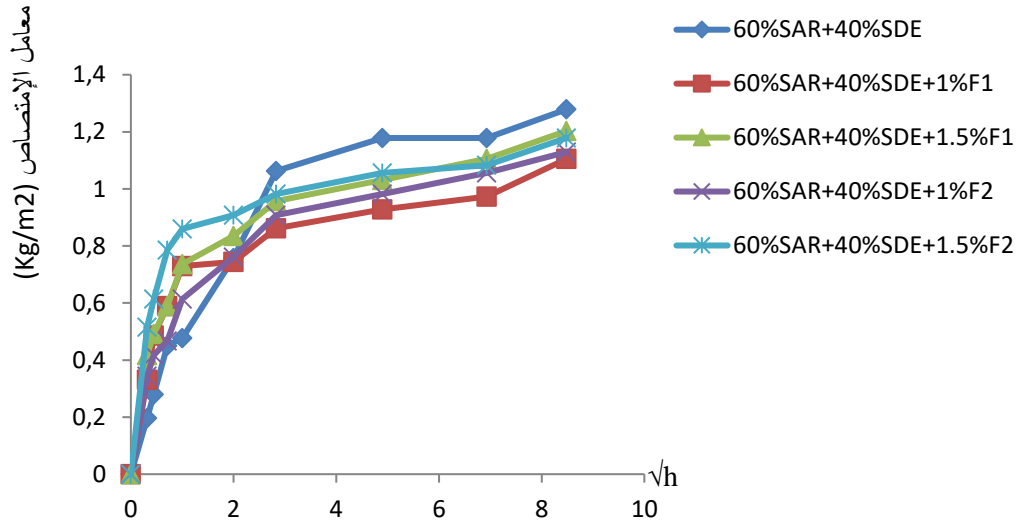


منحنى 63.IV نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في المحلول

بالنسبة لعينات رمل واد الرتم:

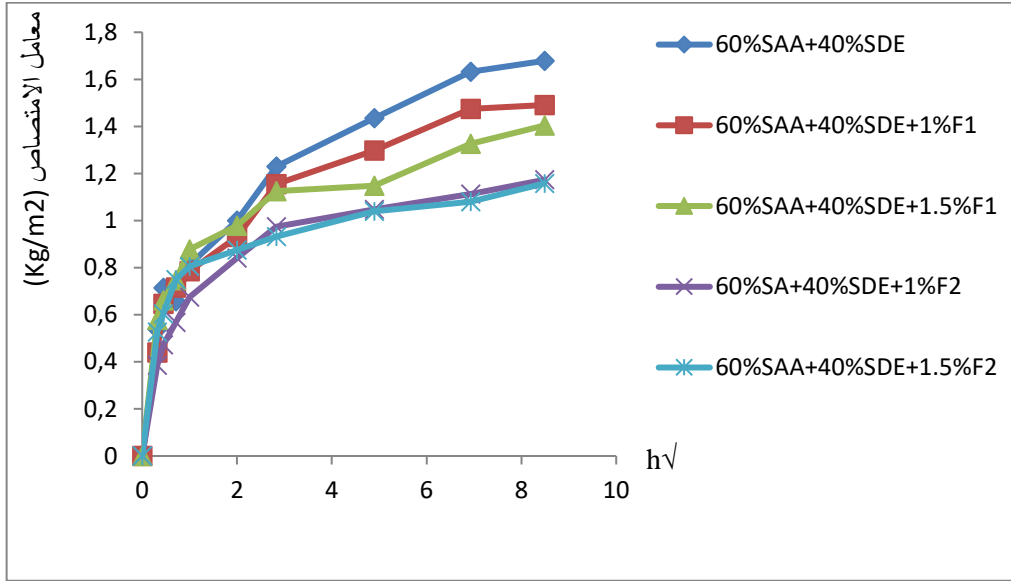


منحنى 64.IV تغيرات نسبة امتصاص الماء حسب المساحة لعينات خرسانة رمل واد الرتم المحفوظة في الهواء

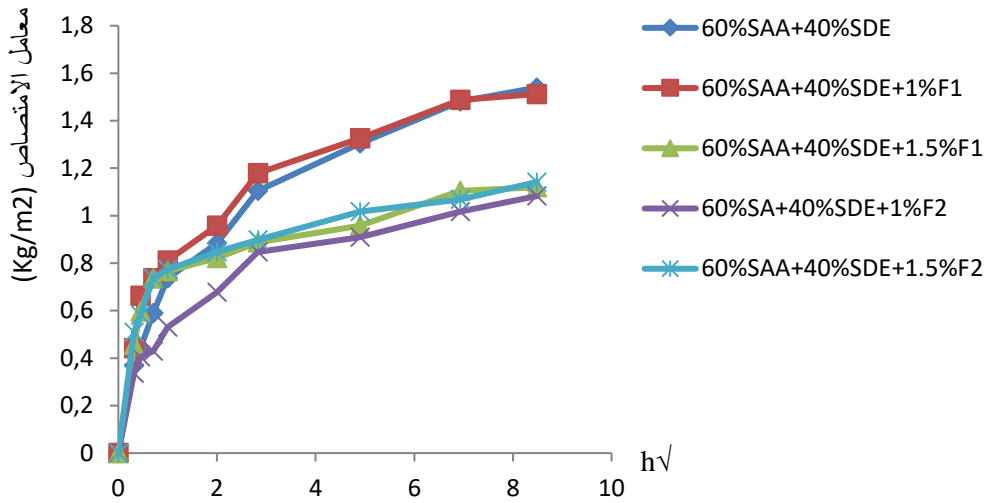


منحنى جدول 65. IV نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل واد الرتم المحفوظة في المحلول

بالنسبة لعينات رمل عسيلة:



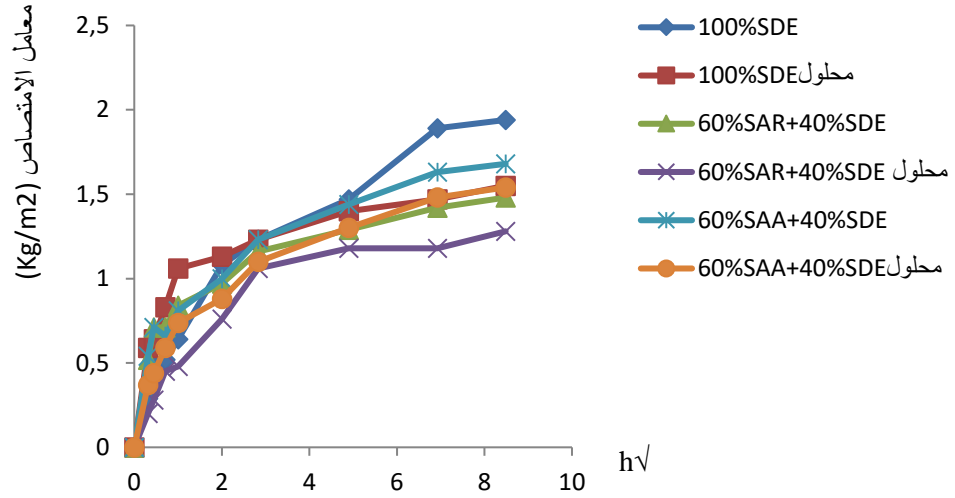
منحنى 66.IV تغيرات نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل عسيلة المحفوظة في الهواء



منحنى 67.IV نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل عسيلة المحفوظة في المحلول

المقارنة بين العينات الشاهد والعينات المحفوظة في المحلول :

المقارنة بين العينات الشاهد المحفوظة في الهواء والعينات المحفوظة في المحلول موضحة في الجدول



منحنى 68.IV يوضح نسبة امتصاص الماء لعينات الخرسانة المدروسة الشاهد المحفوظة في الهواء والعينات المحفوظة في المحلول

IV. 3.8. 2. مناقشة نتائج تجربة امتصاص الماء:

نلاحظ من خلال المنحنى 55.IV الذي يوضح التغير في نسبة الامتصاص لخرسانة رمل الكثبان أن العينات التي لا تحتوي على الألياف قد كانت نسبة الامتصاص بها أكبر من تلك التي تحتوي على ألياف حيث كانت النسبة بينهما تقارب 25.38 % بالنسبة للعينات التي تحتوي على 1% من الألياف . وقد قدرت بـ 46.40% بالنسبة للعينات التي تحتوي على 1.5% من الألياف.

ثم إن الخرسانة التي تحتوي على 1% من الألياف كانت نسبة الامتصاص بها أيضا أكبر من التي تحتوي على 1.5% فقد سجلنا نسبة في الفرق بينهما تتراوح بين 10.15% إلى 16.7%.

ونفس الشيء يقال بالنسبة للعينات التي حفظت في المحلول وإن تغيرت نسب الفروق فقد لاحظنا من خلال المنحنى 56.IV أن خرسانة رمل الكثبان بدون ليف كانت نسبة الامتصاص بها أكبر من غيرها . فقد بلغت حوالي 4% بين الخرسانة بدون ليف والخرسانة التي تحتوي على 1% من كلا نوعي الألياف أما بالنسبة للعينات التي تحوي 1.5% من الألياف فقد بلغت حوالي 15.95%.

والشيء نفسه يسجل من خلال المنحنى 57.IV الذي يوضح التغير في نسبة الامتصاص لخرسانة الرمل الممزوج بين رمل الكثبان ورمل وادي الرتم إذ أن العينات التي لا تحتوي على الألياف قد كانت نسبة الامتصاص بها أكبر من تلك التي تحتوي على ألياف حيث كانت النسبة بينهما ما بين 34.28% إلى 38.74% بالنسبة للعينات التي تحتوي على 1% من الألياف. أما بالنسبة للعينات التي تحتوي على 1.5% من الألياف فقد كانت النسبة بينها تتراوح بين 11.90% إلى 15.69%.

ونفس الشيء يقال بالنسبة للعينات التي حفظت في المحلول في المنحنى 58.IV وإن تغيرت نسب الفروق فقد لاحظنا أن خرسانة الرمل الممزوج بين رمل الكثبان ورمل وادي الرتم بدون ليف كانت نسبة الامتصاص بها أكبر من غيرها فقد بلغت حوالي 5%.

أما المنحنى 59.IV الذي يوضح التغير في نسبة الامتصاص لخرسانة الرمل الممزوج بين رمل الكثبان ورمل عسيلة فقد لاحظنا أن العينات التي لا تحتوي على الألياف قد كانت نسبة الامتصاص بها أيضا أكبر من تلك التي تحتوي على ألياف حيث كانت النسبة بينهما تقارب 13.58% إلى 45% بالنسبة للعينات التي تحتوي على نوع 1% من الألياف ، أما التي تحتوي على 1.5% منه فقد كانت النسبة تتراوح بين 21.67% إلى 47.74% .

وقد سجلنا أيضا بالنسبة للعينات التي حفظت في المحلول من خلال المنحنى 60.IV إن تغيرت نسب الفروق في امتصاص الماء لخرسانة الرمل الممزوج بين رمل الكثبان ورمل عسيلة بدون ليف كانت نسبة الامتصاص بها أكبر من غيرها فقد بلغت حوالي 11.34 إلى 45.13% بالنسبة للعينات التي تحتوي على نوع 1% من الألياف ، اما التي تحتوي على 1.5% من فقد كانت النسبة تتراوح بين 44.57% إلى 49.2%.

وقد لاحظنا من منحنى المقارنة بين العينات المحفوظة في الهواء والتي اتخذت كشاهد وبين العينات التي وضعت في المحلول أن نسبة امتصاص العينات التي حفظت في الهواء كانت أكثر في كل تركيبات خرسانة الرمل المحفوظة في المحاليل الحامضة العدوانية ففي العينة الخاصة برمل الكثبان سجلنا فرقا في النسبة يقدر بـ 29.36%، وبالنسبة للتركيبات الخرسانية التي بها رمل وادي الرتم فقد كانت نسبة الفرق تقدر بـ 32.39% أما بالنسبة للعينة التي تحتوي على رمل عسيلة فقد كان الفرق 5.36%.

الملاحظ على النتائج المتحصل عليها في تجربة امتصاص الماء بالخاصية الشعرية أن هناك تمايزا بين نتائج كل تركيبات الخرسانة المدروسة .

فبالنسبة لعينات خرسانة رمل الكثبان SDE 100% يرجع ذلك التمايز إلى كون خرسانة رمل الكثبان تحتوي على نسبة عالية من الفراغات والمسامات نظرا لدقة ونعومة حبيبات رمل الكثبان ما يخلق مسالك كثيرة ومختلفة داخل جسم الخرسانة تمكن من دخول كميات كبيرة من المياه لتملأ تلك الفراغات والمسامات.

أما العينات التي تحتوي على نسب من الألياف المعدنية وهي المادة الصماء الكتيمة عديمة النفاذية فإن هذه الأخيرة قد عوضت حجما من الحبيبات التي تحوي فراغات بإمكانها استيعاب قدر زائد من المياه الممتصة. وهذا ما يؤكد الفرق المسجل في نسبة الامتصاص بين خرسانة الألياف التي تحتوي على 1% والتي تحتوي على 1.5% من الألياف إذ أن العينات التي تحتوي على قدر أكبر من الألياف كانت نسبة الامتصاص بها أقل وقد كان ذلك واضحا جليا في تركيبات خرسانة رمل الكثبان SDE 100% إذ سجلنا فرقا في الامتصاص عاليا كما قدمنا.

ونفس الشيء نلاحظه تقريبا بالنسبة لعينات الخرسانة الممزوج بين رمل الكثبان ورمل وادي الرتم SAR+40% SDE 60% فقد كانت العينات التي لا تحتوي على اليف قد تمكنت من امتصاص كميات أكبر من الماء أما التي بها الألياف فقد كانت نسبها أقل والأمر يرجع كما ذكرنا إلى تعويض حجم الرمال ذات المسامات بألياف معدنية كتيمة لا مسامات بها مما يقلل من قيمة إجمالي الفراغات والمسام في جسم الخرسانة.

إن عينات الخرسانة الممزوجة بين رمل الكثبان ورمل عسيلة 60%SAA+40%SDE أيضا بينت ما ذهبنا إليه.

وقد وجد نحو هذا مجموعة من الباحثين منهم [164] الذي وجد أن نسبة امتصاص خرسانة الرمل العادية أكثر من الخرسانة المحتوية على ألياف.

وقد تخالف بعض النتائج المتحصل عليها في دراستنا هذه ظاهر بعض ما ذكرناه من كون الألياف تنقص من نسبة الامتصاص كما هو مسجل في خرسانة رمل الكثبان الممزوجة برمل واد الرتم فقد كانت نسبة امتصاص العينات المحتوية على 1.5% من الألياف بنوعها أكثر من التي تحوي على 1% من الألياف . وهذا راجع إلى أن طريقة تواجد الألياف المعدنية داخل خرسانة الرمل هو بشكل انتشار عشوائي غير منتظم فليس له اتجاه معين ولا زاوية ميل في اتجاه ما ولا مسافات محدودة ومعلومة بين كل ليف وآخر مما يخلق بين الليف والآخر تلامس تنعدم فيه المادة الرابطة الإسمنتية هذا التلامس سيكون بلا شك يحوي فراغا قد يزداد هذا الفراغ أو يقل حجمه حسب وضعية الألياف المتلامسة بعضها إلى بعض من جهة وحسب نوع الليف من جهة أخرى فالليف المتموج قد يصادف وضعية تموج من ليف آخر ولا يكون بينهما رابط اسمنتي وهذا على طول الليف مما يخلق مسارات يمكن ان تساعد على امتصاص كميات أكبر من الماء ، فالألياف تخلق فيما بينها أو ما بينها وبين الخرسانة طرق تسهل من تسرب المياه. وهذا ما وجدته وأكدته بعض الباحثين من أمثال [157] والمرجع [156] حيث وجدوا أن الخرسانة التي تحتوي على ألياف قد كانت نسبة الامتصاص بها أكبر من الخرسانة التي لا تحتوي على ألياف .

أما ما لاحظنا من تغير في نسبة الامتصاص بالنسبة للعينات المحفوظة في المحاليل العدوانية والمتمثلة في حمض كلور الماء وحمض الفوسفات مقارنة بالعينات المحفوظة في الهواء، فمرده لفعل تلك المحاليل التي خلقت تفاعلات كيميائية بين الخرسانة والوسط العدواني مما اوجد بعض المواد الجديدة الدقيقة التي سدت بعض تلك المسام والفراغات الموجودة في جسم الخرسانة مما قلل من نسبة الامتصاص.

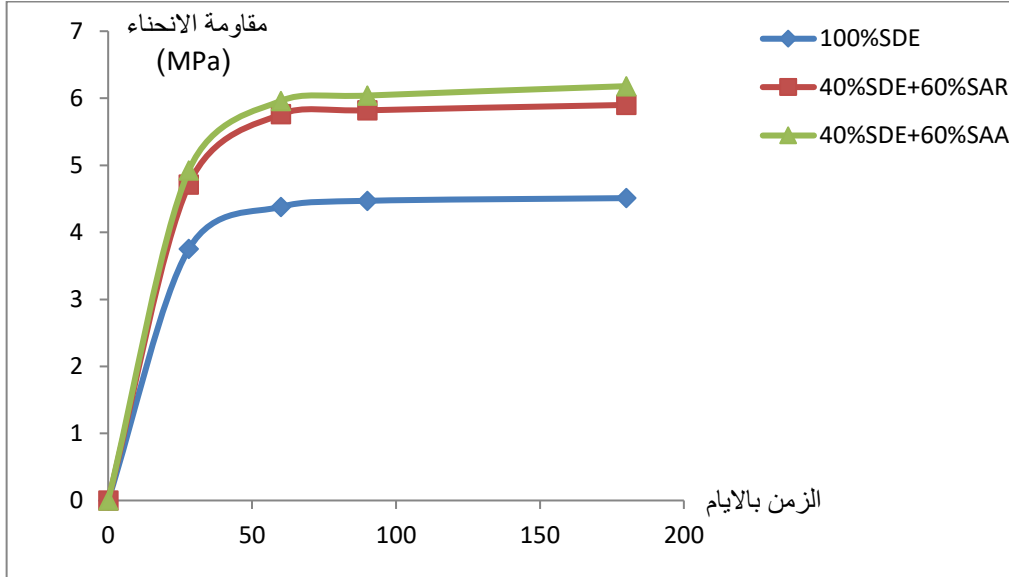
إن هذه المواد قد نتجت في الغالب من تفاعل البرتلانديت $Ca(OH)_2$ الذي تحويه الخرسانة مع الكلور فأعطى المركب الأبيض $CaCl_2$ وقد يكون الجبس الناتج عن تفاعل البرتلانديت مع حمض الكبريت. وهذا ما وجدته [97] و[165]

لقد أظهرت نتائج امتصاص الماء بالخاصية الشعرية وبحساب معاملها بوحدة المساحة والجذر التربيعي للزمن أن معامل الامتصاص في كل العينات سواء المحفوظة في الهواء أو في المحلول العدواني أن معامل الامتصاص بها منخفض إذ لم يتعد 2% وهذه القيمة تعتبر أقل مما عليه الخرسانة العادية التي نص عليها [Roux et al, 1995] بأن معامل امتصاصها يقدر بـ 2.75 Kg/m^2 ، وهذا راجع كون خرسانة الرمال المدروسة هي خرسانة جيدة وأن تلك التي تعرضت للوسط العدواني قد قاومت هذا الوسط فلم تتأثر داخليا ولم تحصل لها تشوهات وفراغات على مستوى قلب الخرسانة. وقد وجد نحو هذا [37]

4.8.IV المقاومة الميكانيكية :

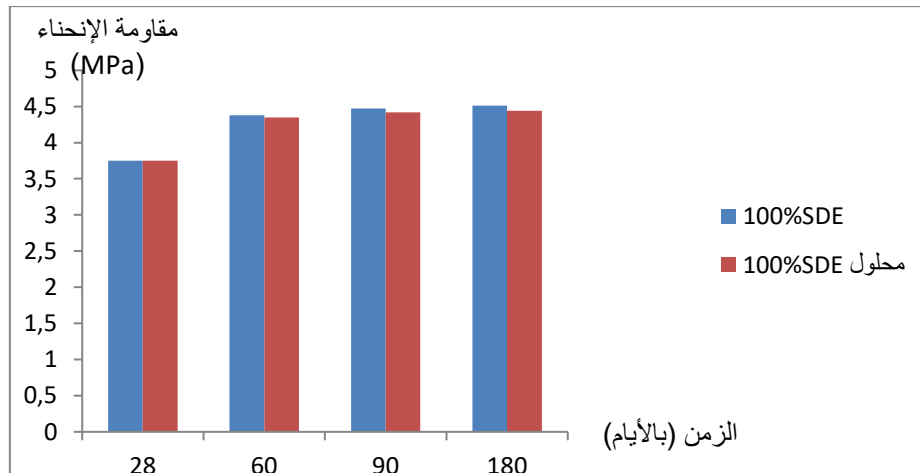
1.4.8.IV مقاومة الانحناء :

* نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل



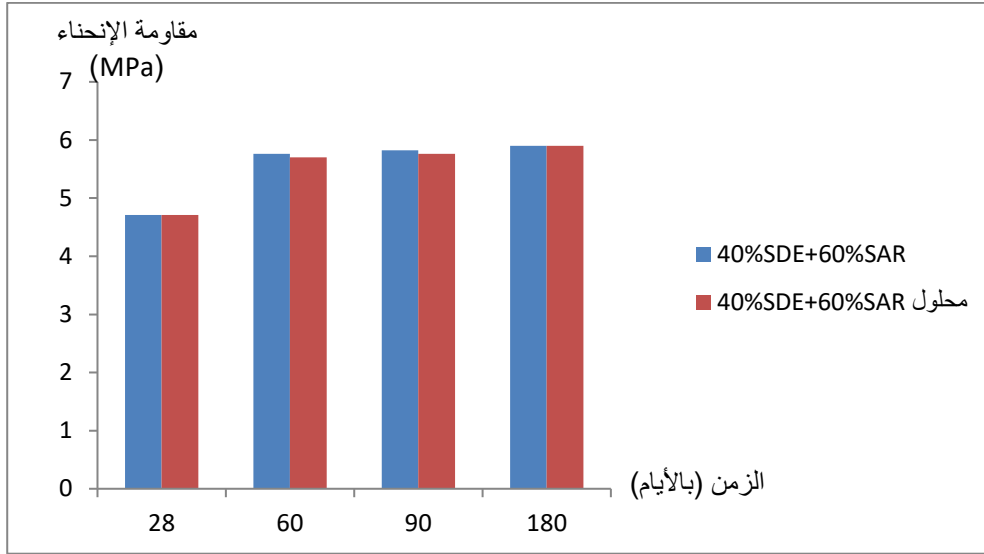
الشكل منحنى 69.IV نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل

* مقارنة نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل الكثبان المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد



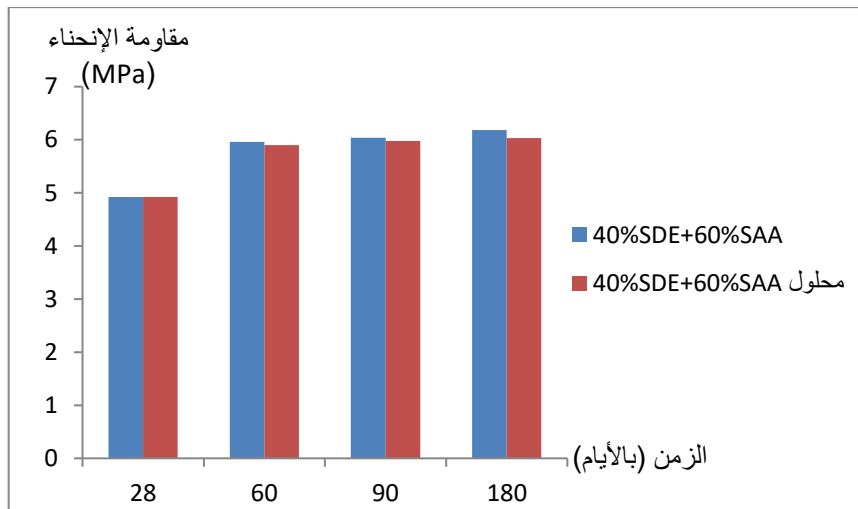
الشكل IV. 70 مقارنة نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل الكثبان المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

* مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات 60%SAR+%40 SDE المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد



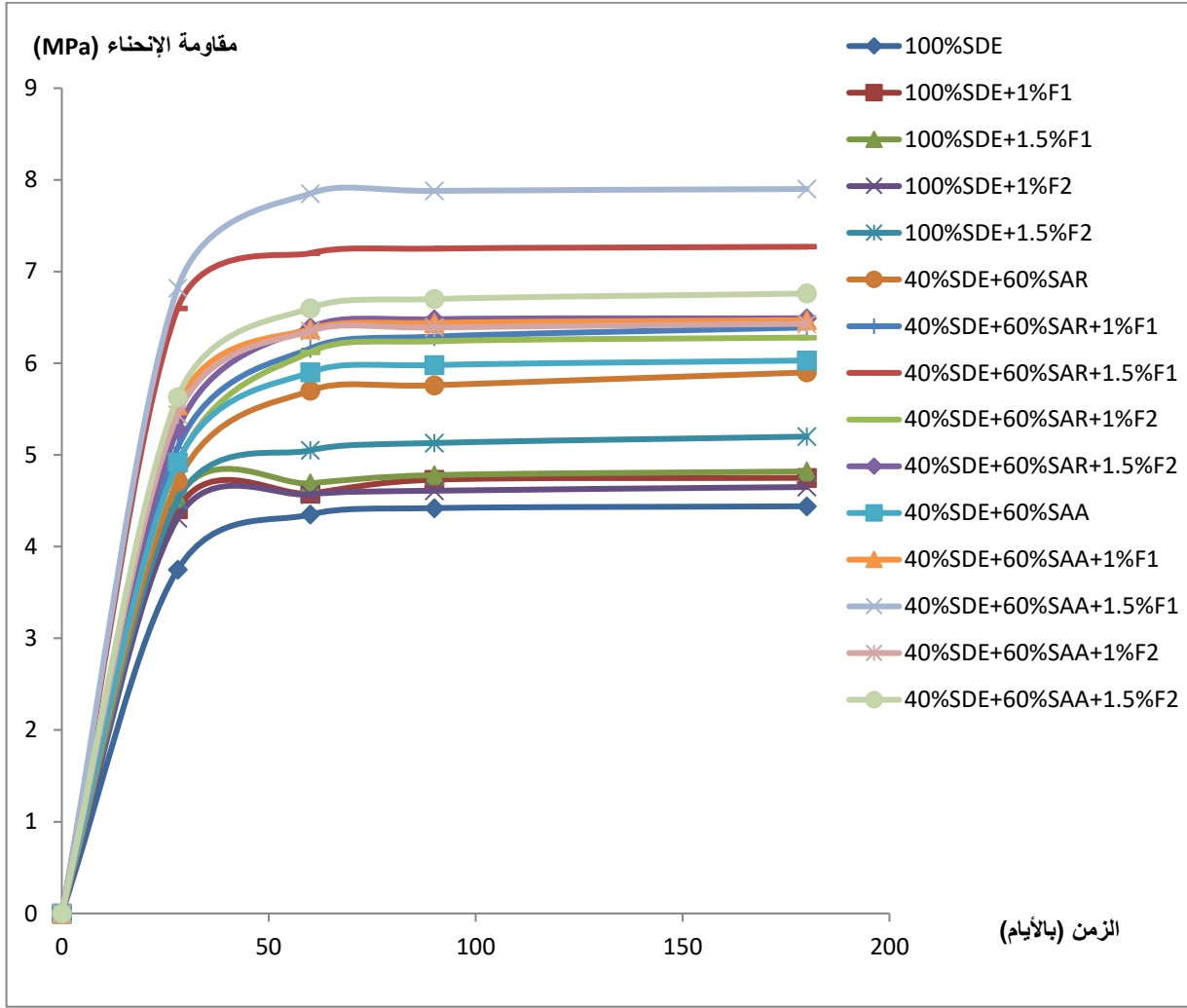
شكل IV. 71 مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات 60%SDE+%40 SAR المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

* مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات 40%SDE+60%SAA المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد



الشكل IV. 72 مقارنة مقاومة الانحناء للعينات 40%SDE+60%SAA المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

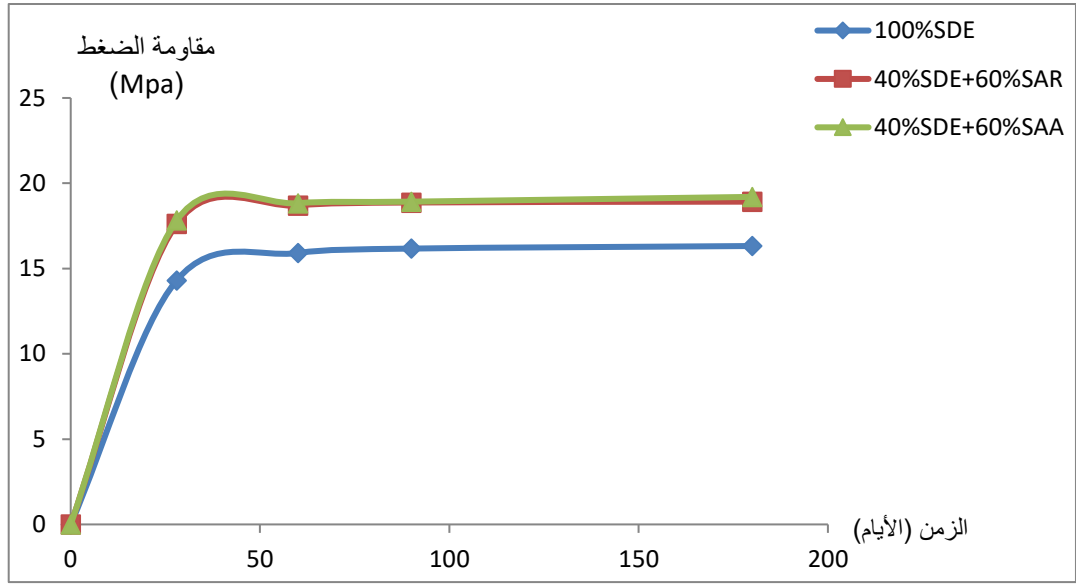
* نتائج مقاومة الانحناء لكافة خرسانات الرمل المدروسة المغمورة داخل المحلول:



الشكل 73.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لكافة خرسانات الرمل المدروسة المغمورة داخل المحلول:

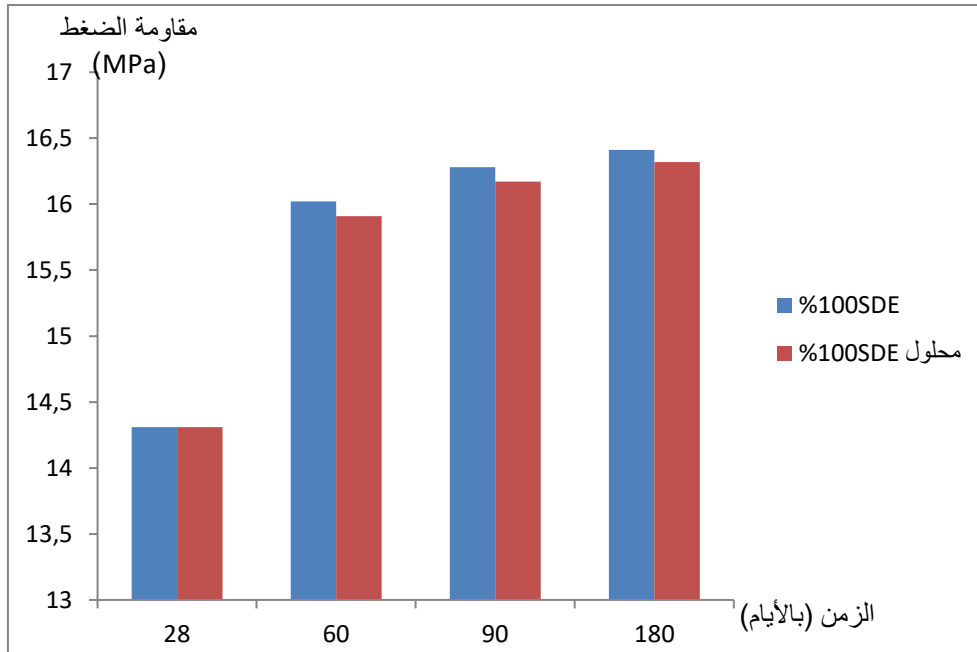
IV. 2.4.8 * مقاومة الضغط :

* نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل



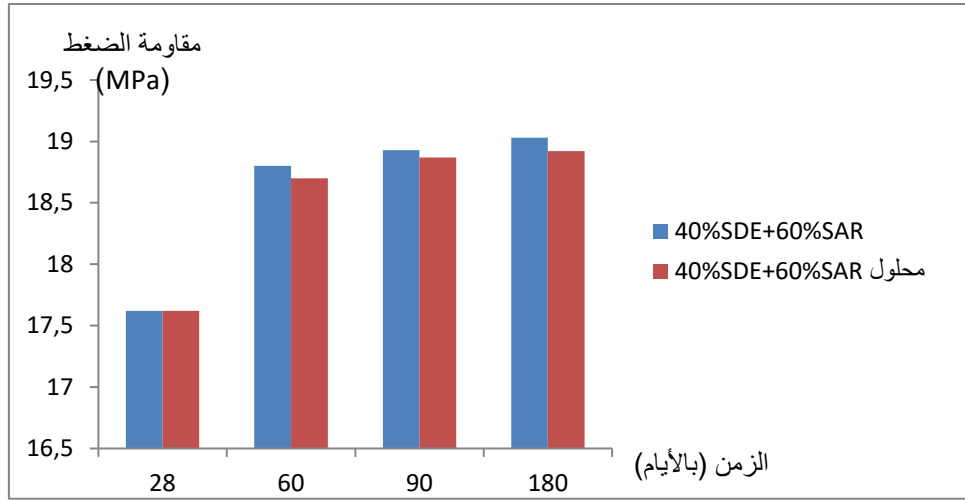
الشكل 74.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل

* مقارنة نتائج مقاومة الضغط لعينات خرسانة رمل الكثبان 100%SDE المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد



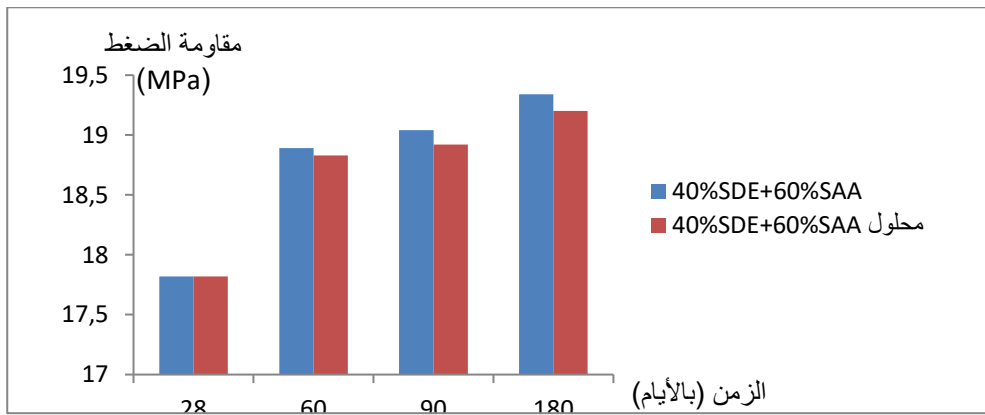
الشكل 75.IV مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات 100% SDE المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

* مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات 40%SDE+60%SAR المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد



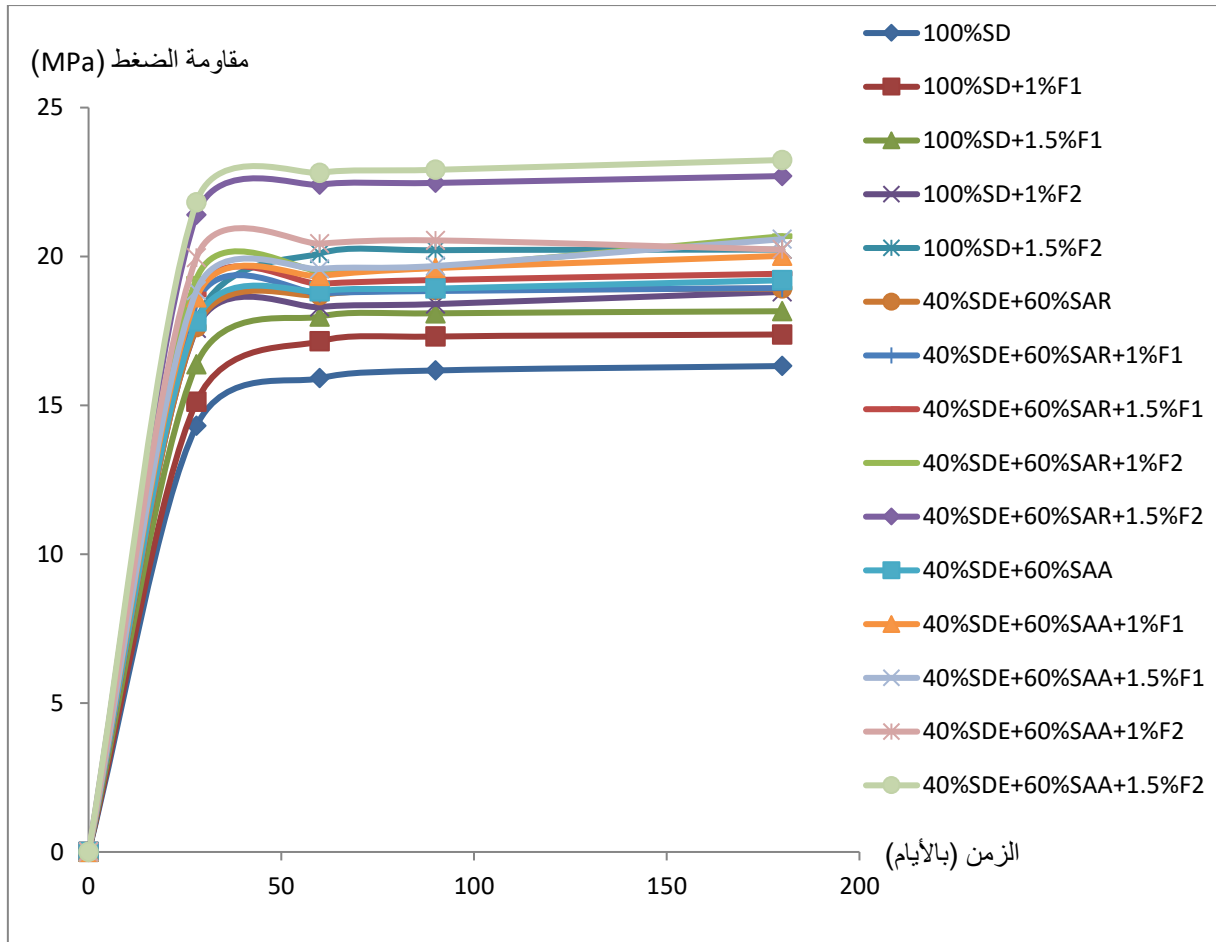
الشكل IV.76 مقارنة مقاومة الضغط للعينات 40% SDE+60% SAR المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

* مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات 40% SDE+SAA60% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد



الشكل IV.77 مقارنة مقاومة الضغط للعينات 40% SDE+SAA60% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

* نتائج مقاومة الضغط لكافة خرسانات الرمل المدروسة:



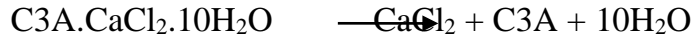
محنى IV. 78 يوضح نتائج مقاومة الضغط لكافة خرسانات الرمل المدروسة

IV. 3.4.8 مناقشة نتائج مقارنة مقاومة الانحناء والضغط لخرسانة الرمل المختلفة :

إن الهدف المرجو من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير مقاومة الضغط والانحناء بالمياه الصاعدة المحتوية على عناصر عدوانية خاصة شاردة الكلور وشاردة الكبريتات، وبعد الحصول على النتائج ومقارنتها بعضها مع البعض تبين لنا :

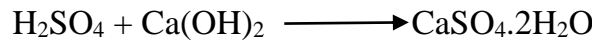
أنه لم يحصل تغير معتبر يذكر على مقاومة الانحناء والضغط لخرسانات الرمل المختلفة إذ أن المقاومة في كلا الوسطين وسط الحفظ العادي وهو الهواء ووسط الحفظ العدواني المتمثل في محلول حمض كلور الماء HCl ذي التركيز 4920.7 mg/l و H_2SO_4 ذي التركيز 10120 mg/l وذي $PH = 1.32$ حيث أنه لم تتجاوز نسبة الهبوط في مقاومة الانحناء 2.49% ، أما مقاومة الضغط فنسبة الهبوط في المقاومة لم تتعد 0.73%. خلال 180 يوماً.

إن هذا الهبوط المسجل وإن كان ضئيلا لا يؤبه له ، يرجع إلى التفاعل الحاصل بين مختلف الخرسانات المدروسة وشاردتي الكلور Cl^- و SO_4^- حيث تتفاعل الشاردة الأولى Cl^- مع نواتج إمارة الإسمنت $- Ca(OH)_2$ - ومع CSH يعطي كلوريدات الكالسيوم ثم الاترنجيت وفق المعادلات التالية :



إن هذا المركب الناتج في الحقيقة هو غير مستقر في وجود الكبريتات ويعطي المادة الترنجيتية $C3A.3CaSO_4.32H_2O$ التي تعتبر تآكلا في الخرسانة .

أما الشاردة الثانية SO_4^- فيعطي تفاعلها مع البرتلانديت $- Ca(OH)_2$ - مادة الجبس ثم تفاعلها مع CSH الذي يحتوي على AI ليعطي الإترنجيت وفق المعادلة التالي:



إن الملاحظ على هذه التفاعلات هو تفاعلها مع المركب $3CaO.Al_2O_3$ هو أحد مركبات الإسمنت الأساسية إذ هو $C3A$ ألومينات ثلاثي الكالسيوم ، وهذا العنصر يعتبر من المكونات القليلة للإسمنت المستعمل في التجربة - CEMI 42.5 - المقاوم للكبريتات وهو مصنوع لهذا الغرض . [6]

ثم إن ضعف التراكيز المستعملة للعناصر العدوانية والتي تحاكي طبقة المياه الصاعدة وإن كنا قد استعملنا تركيزا مضاعفا بثلاث مرات فإن النواتج الإسمنتية تبقى مقاومة زمتا أطول لهذه العناصر العدوانية الخارجية.

نعم إن الملاحظ على العينات المحفوظة في الأوساط العدوانية قد اكتسبت طبقة رقيقة بيضاء بالتأكيد هي نواتج هذه التفاعلات وقد علمنا أن طبيعتها الكيميائية هي جيسية وكلوريدات الكالسيوم.

إن هذه الطبقة لا شك أن مقاومتها للانحناء أو الضغط هي أقل من مقاومة المادة الناتجة عن إمارة الإسمنت وهي هيدروكسيد الكالسيوم أو البرتلانديت وكذلك CSH هذا ما أنقص من قيمة المقاومتين الانحناء والضغط.

* في بعض الحالات بقيت المقاومة تقريبا على حالها، ثم إن كل العينات أبدت نفس السلوك مما يفسر أن الرمال المستعملة في هذه الخلطات لم تتدخل في التفاعلات الكيميائية مع المحاليل العدوانية إلا نادرا.

إن مثل هذه النتائج قد تحصل عليها كثير من الباحثين [161] و [43] و [97] و [50] حيث وجد عصام ملحم [46] أن نسبة المقاومة للعينات المحفوظة في الوسط العدوانية قد تناقصت بقيم تتراوح بين 24.7% إلى

34.2%.

لكن الباحثة بن سكران [97] لاحظت أن المياه الصاعدة كان لها تأثير إيجابي على مقاومة الضغط والانحناء هذا يعني أن الديمومة في مثل هذه المياه تتحكم فيها نوعية الإسمنت ونوعية المواد التي تتشكل على السطح.

IV. 5.8 المشاهدات البصرية :

وهي مقسمة إلى قسمين :

IV. 5.8. 1 مشاهدات ضوئية :

كانت المشاهدات بالعين المجردة:

* العينات التي حفظت في المحلول:



الصورة IV. 4 العينات الشاهد التي لم تحفظ في الوسط العدواني

الملاحظات:

* العينات التي لم تحفظ في المحلول بقيت على حالها لم يتغير شكلها ولا لونها.

العينات التي حفظت في الوسط العدواني:



الصورة IV. 5 العينات التي حفظت في الوسط العدواني



الصورة IV. 6 جوانب من العينات التي حفظت في الوسط العدواني

- كلها ظهرت عليها طبقة من الملح الأبيض .
- بقيت محافظة على شكلها العام حيث لم يظهر تآكل في الجوانب كما هو متوقع.
- لاحظنا زيادة واضحة في الحجم لبعض العينات يتراوح سمكها بين 0.5 إلى 1 ملم .
- إن الطبقة الملحية البيضاء هي عبارة عن طبقات قشرية متموضعة فوق بعضها البعض.

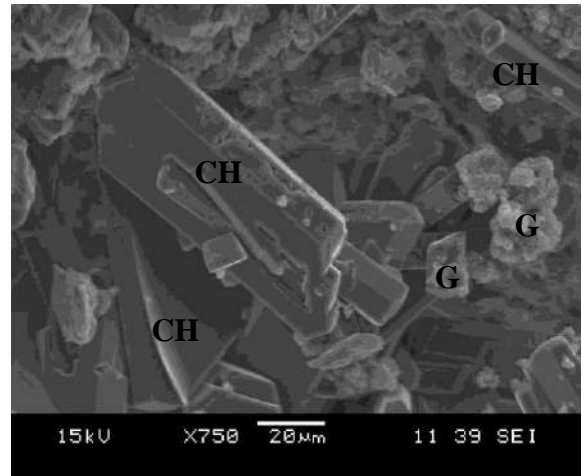
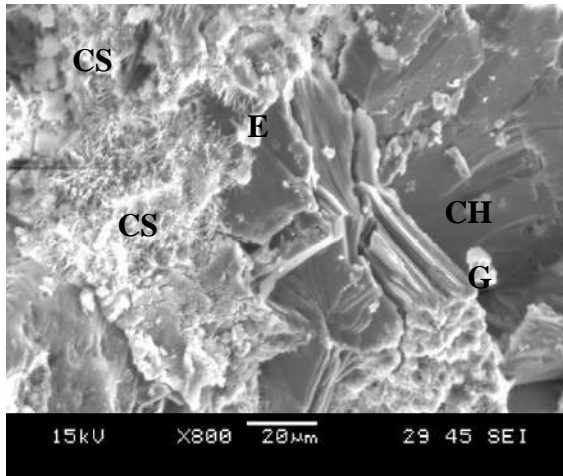
IV. 5.8. 2 مشاهدات الكترونية :

بعد غمس مختلف العينات المصنوعة من المادة الإسمنتية CEM I / 42.5 لمدة 180 يوما في محلول مركب من حمضي HCl و H₂SO₄ بتركيز تحاكي ما هو موجود في طبقة المياه الصاعدة لمنطقة وادي سوف في ثلاثة أضعاف حيث كان تركيز المحاليل على التوالي هو حمض كلور الماء HCl ذو التركيز 4920.7 mg/l و H₂SO₄ ذو التركيز 10120 mg/l وذو PH = 1.32 . وبعد مزجها ، نلاحظ المشاهدات الإلكترونية التالية:

ملاحظة : رمزنا لبعض المركبات والمكونات الواضحة في المشاهدات بالرموز التالية:

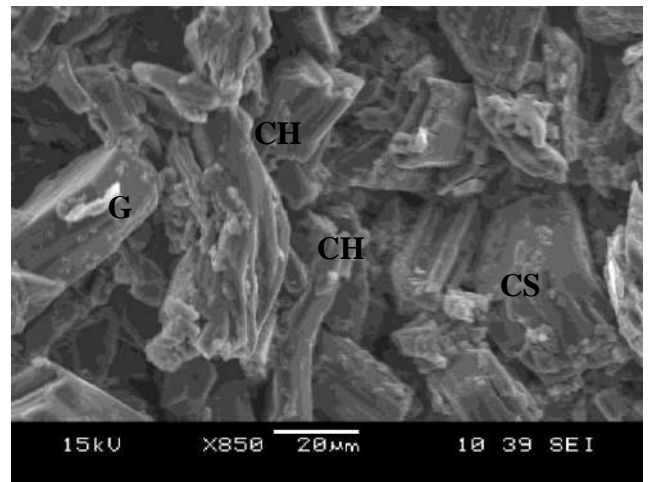
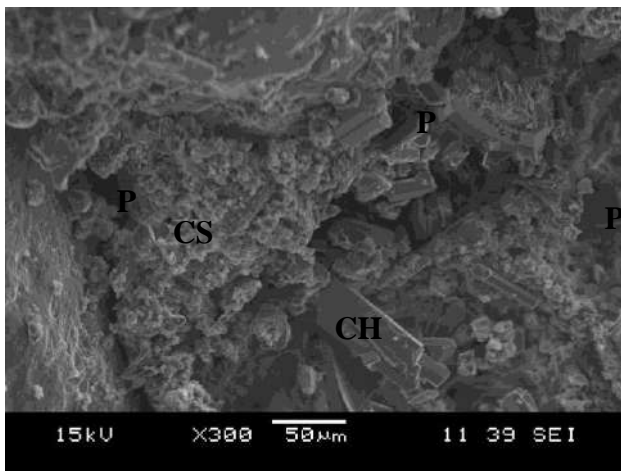
E : الاترنجيتُ ttringite ، G : الجبس ، CH : هيدروكسيد الكالسيوم ، CSH : سيليكات الكالسيوم
المماهة ، P : فراغات أو مسامات.

* بالنسبة للعينات خرسانة رمل الكثبان 100SDE%



خرسانة رمل الكثبان 100SDE%

خرسانة رمل الكثبان 100SDE%

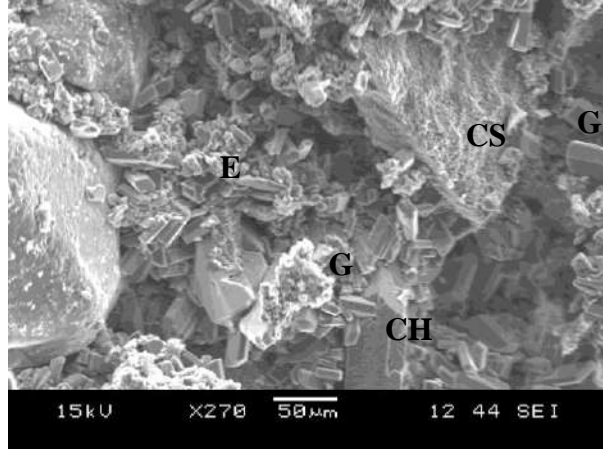
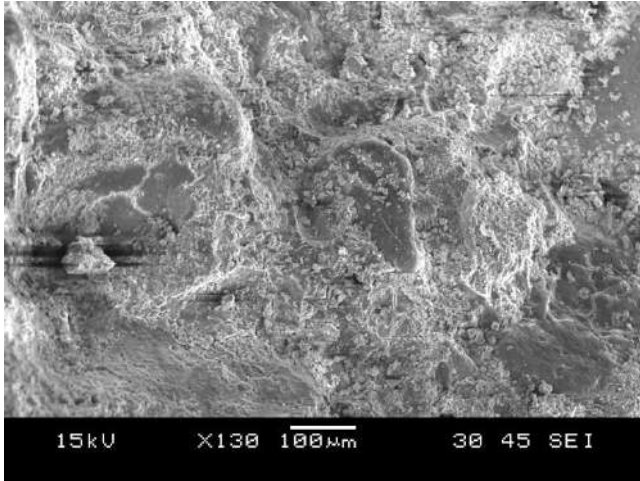


خرسانة رمل الكثبان 100SDE%

خرسانة رمل الكثبان 100SDE%

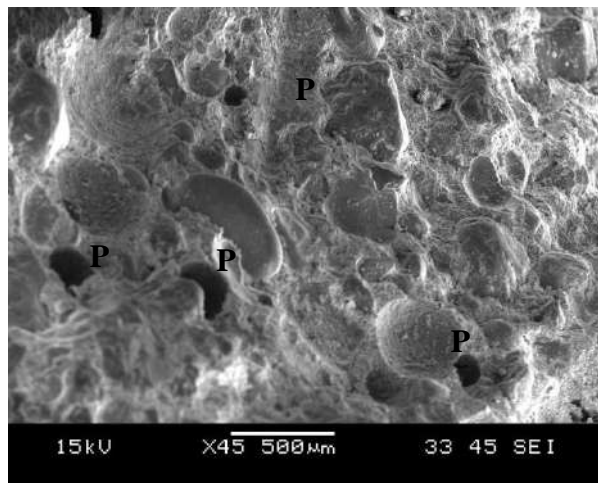
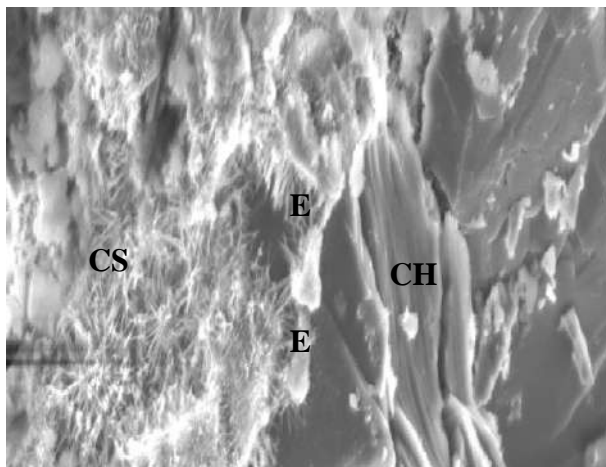
الصورة IV. 7 توضح صور الماسح الإلكتروني MBE بالنسبة للعينات خرسانة رمل الكثبان 100SDE%

- بالنسبة للعينات خرسانة %40SDE+SAR60%



خرسانة %40SDE+SAR60%

خرسانة %40SDE+SAR60%

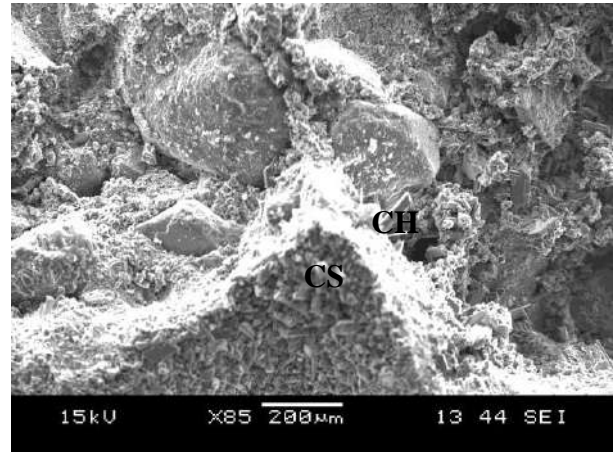
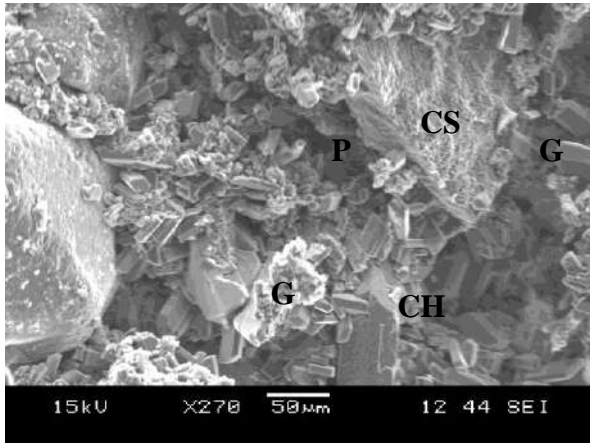


خرسانة %40SDE+SAR60%

خرسانة %40SDE+SAR60%

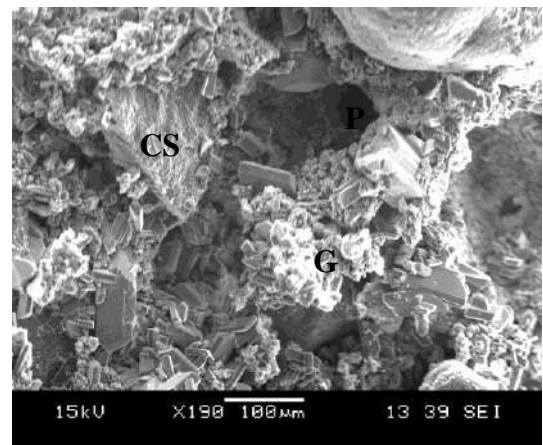
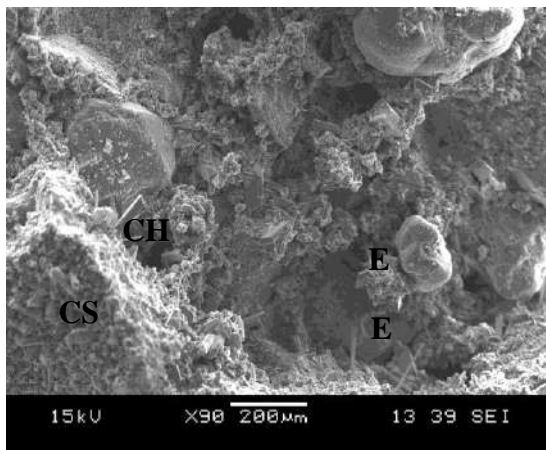
الصورة IV. 8 توضح الماسح الإلكتروني MBE بالنسبة للعينات خرسانة %40SDE+SAR60%

- بالنسبة للعينات خرسانة الرمل %40SDE+SAA60%



خرسانة رمل %40SDE+SAA60%

خرسانة رمل %40SDE+SAA60%



خرسانة %40SDE+SAA60%

خرسانة %40SDE+SAA60%

الصورة IV.9 توضح صور الماسح الإلكتروني MBE بالنسبة للعينات خرسانة %40SDE+SAA60%

ملاحظات من المشاهدات الإلكترونية : يتضح من المشاهدات الإلكترونية أن:

- جميع المشاهدات الإلكترونية بالماسح الإلكتروني MEB لمختلف التركيبات أعطت نتائج وصور متقاربة إذ أننا لم نكد نميز تركيبة تختلف عن التركيبية الأخرى من حيث الأشكال الواضحة في الصور
- هناك وجود بعض من فقاعات الهواء - المسامات - وإن كانت قليلة الصورة IV.9 و IV.8 ويرجع ذلك ربما إلى عملية الهز غير الكافية t هي عبارة عن خرسانة رمل غير مهتزة ذات مسامية.
- وجود Ettringite في شكل عصيات في بعض الأماكن وهو قليل مقارنة بباقي العناصر الأخرى ووجوده أمر طبيعي غير ضار .

- وجود هيدروكسيد الكالسيوم portlandite الصورة IV.9 و IV.8 و IV.7

- وجود بعض من التشكيلات الجبسية الصورة IV.9 و IV.8

- وجود بعض من الأملاح في بعض الصور.

- يتضح من بعض الصور مدى التلاحم بين حبيبات الرمل والعجينة الإسمنتية

- تكشف بعض الصور عن بعض المسامات الدقيقة الموجودة داخل الجسم الخرساني.

IV.5.8.3 استنتاجات من المشاهدات الإلكترونية:

بعد تحليل المجهر الإلكتروني الماسح لعيناتنا يمكننا أن نستنتج أن:

* كشف المسح المجهر الإلكتروني وجود بعض المسامات داخل العينات الخرسانية المختلفة ، وبما أن الخرسانة جسم طبيعي غير متجانس مكون من عدة مركبات كيميائية متباينة ناتجة عن تفاعلات حاصلة بوجود الماء وفي اوساط هوائية أو مائية فإن وجود هذه الفراغات سيكون حتماً أمراً طبيعياً لعدم تجانس المنشأ أو المكون الأصلي للخرسانة. وربما يرجع وجود هذه المسامات للهز غير الكافي للخرسانة.

* كشف المسح المجهر الإلكتروني وجوداً طبيعياً لـ ettringite وسيليكات الكالسيوم المماهة CSH وهيدروكسيد الكالسيوم portlandite CH وهي في الحقيقة نواتج إماهة الاسمنت.

* وجود كل هذه المركبات في عينات الخرسانة يدل على انها في حالتها الطبيعية وأنها لم تتعرض لدرجات عالية من التلف وخاصة وجود هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH) .

* كميات الترنجيت الظاهرة في الصور هي أمر طبيعي ، إذ أن مصدره داخلي وهو إحدى مراحل إماهة الإسمنت. [50]

* ترسب كميات من الأملاح على سطح العينات هذه الأملاح ظهرت في الماسح الإلكتروني على شكل بقع صغيرة وهي عبارة عن مواد جبسية وكلوريدات الكالسيوم. كما دلت عليه معالجاته الكيميائية المنفردة.

[50] و [160]

* العينات تتفاعل أسطحها بعد التعرض للكبريتات والكلوريدات ولكن ما زالت العجينة الإسمنتية في حالة جيدة.

* هذا ما يفسر أن الخرسانة لم تتفاعل بطريقة عدوانية مع الكبريتات بشكل كبير وسريع، وهذا راجع لاستخدامنا

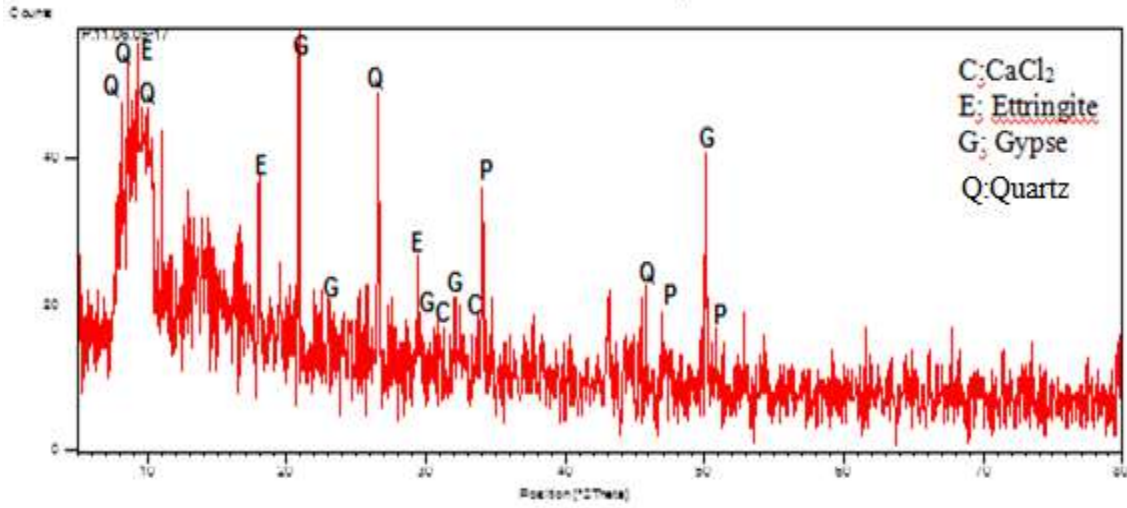
إسمنتاً مقاوماً للكبريتات CEM I CRS . وهذا ما وجدته [50] و [103]

* عموماً ببقية كل العينات محافظة على شكلها وقوامها العام .

IV. 6.8 الاختبار بالأشعة :

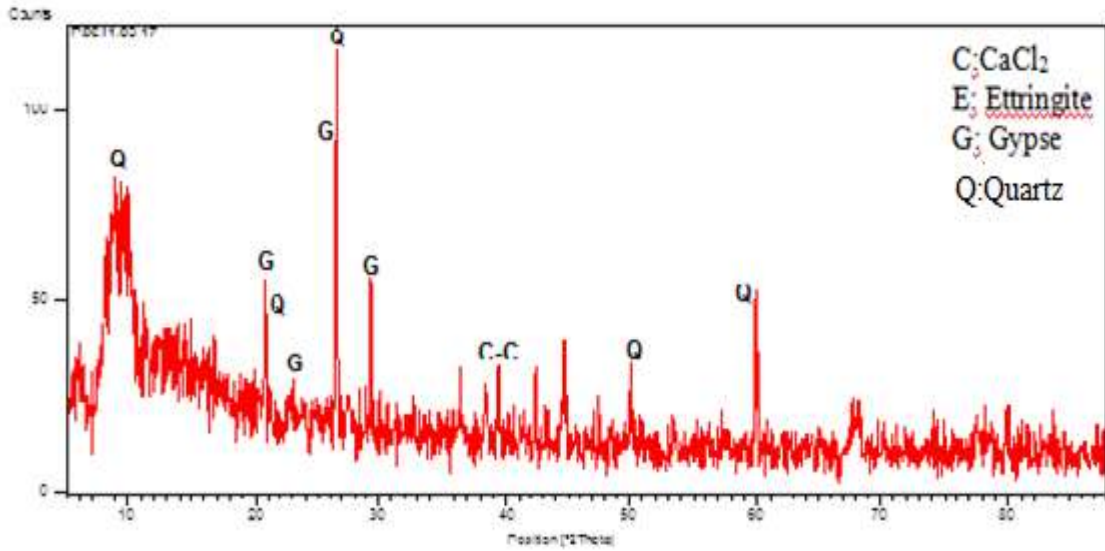
أشعة X (DRX) : أظهرت نتائج المعالجة بأشعة X لمختلف خرسانات الرمل أنها تحتوي على العناصر الموضحة على المنحنيات.

* بالنسبة لعينة خرسانة رمل الكثبان 100% SDE



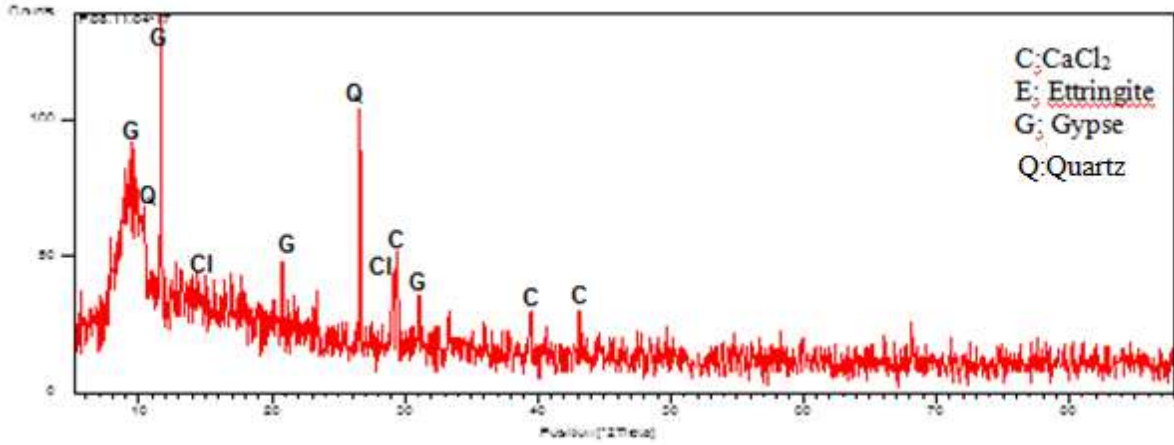
الشكل IV. 79 منحنى يوضح تأثير أشعة X على عينات خرسانة رمل الكثبان 100% SDE

* بالنسبة لعينة خرسانة الرمل من نوع 60% SAR+40% SDE



الشكل IV. 80 منحنى يوضح تأثير أشعة X على عينات خرسانة الرمل 60% SAR+40% SDE

* بالنسبة لعينة خرسانة الرمل من نوع 60% SAR+40% SDE



الشكل IV. 81 منحنى يوضح تأثير أشعة X على عينات خرسانة الرمل 60% SAR+40% SDE * أظهرت المخططات أطياف المعالجة بأشعة X أن مختلف خرسانات الرمل التي تم حفظها في المحلول الحمضي العدوانى أنها تحتوي على العديد من العناصر أبرزها لكوارتز - Quartz - الذي أصله من الرمال المستعملة في الخلطات الخرسانية كما أظهرت وجود مركب كلوريدات الكالسيوم $CaCl_2$ وأظهرت أيضا وجود الجبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. إن وجود $CaCl_2$ في جسم الخرسانة يدل على دخول عنصر الكلور Cl الموجود في الوسط العدوانى ليتفاعل مع الكالسيوم الموجود في الخرسانة وأول مؤهل من مكونات الخرسانة التي يمكنها أن تتفاعل مع هذا العنصر هو البرتلانديت $CaOH$ ، 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 سابقا من معادلات .

الخلاصة :

نستنتج من هذه الدراسة ما يلي :

- * إضافة الرمل الطبيعي الخاص بالبناء لمنطقة حاسي السائح إلى رمل الكثبان بنسبة 50% و 60 % بإمكانه تحسين مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل ما بين 21 % إلى 30 % خلال 28 يوما من عمر الخرسانة.
- * إضافة الألياف المعدنية ذات العكفات وذات الطول 3 سم القطر 0.5 ملم بإمكانه تحسين مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل بنسبة 31.7% خلال 28 يوما.
- * إضافة الألياف المعدنية المتموجة ذات الطول 4.5 سم القطر 1 ملم بإمكانه تحسين مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل بنسبة 34% خلال 28 يوما .

* عند مقارنة كل نتائج التجارب تبين أن التركيبة المثلى للتحسين مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد كانت التركيبة (40% رمل كثبان +60% رمل طبيعي + 1.5% الألياف المعدنية المتموجة) حيث كان التحسين بنسبة 62.5% لمقاومة الانحناء خلال 28 يوما.

* أن زيادة نسبة من الألياف داخل الخرسانة بإمكانها تحسين مقاومة الانحناء .

* أن طول الليف يزيد من مقاومة الانحناء .

* تحسنت مقاومة الضغط عند إضافة النسبتين (SA60%+SA50%) من الرمل الطبيعي إلى رمل الكثبان تحسنا مقبولا بلغ النسبة 18.1 مقارنة بالخرسانة الشاهد (خرسانة رمل الكثبان)

* عند إضافة الألياف المعدنية وبالنسبة للتركيبات الخاصة برمل الكثبان فإن التحسن الملحوظ في مقاومة الضغط كان في النسبة 1.5% من الألياف ذات العكفات بطول 30ملم إذ بلغ 42.17% وبدرجة أقل في الألياف من النوع المتموج بطول 45 ملم وبنفس النسبة إذ بلغ التحسن النسبة 29.8% خلال 28 يوما في أحسن حالاته .

* وعند مقارنة كل نتائج التجارب تبين أن التركيبة المثلى للتحسين في مقاومة الضغط مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد كانت التركيبة (50% رمل كثبان +50% رمل طبيعي + 1.5% الألياف المعدنية ذات العكفات) حيث قارب التحسين النسبة 80%

* أن زيادة نسبة من الألياف داخل الخرسانة بإمكانها تحسين مقاومة الضغط.

* أن نوع الليف يؤثر على مقاومة الضغط.

* إضافة الرمل الطبيعي الخاص بالبناء لمنطقة حاسي السائح إلى رمل الكثبان بنسبة 50% و 60% بإمكانه تحسين - تقليل - الانكماش لخرسانة الرمل ما بين 3.67% إلى 6% خلال 28 يوما من عمر الخرسانة.

* إضافة الألياف المعدنية ذات العكفات وذات الطول 3 سم القطر 0.5 ملم بالنسبتين 1% و 1.5% بإمكانه تحسين - تقليل - الانكماش لخرسانة الرمل بنسبة 15.37% و 39.5% على التوالي .

* إضافة الألياف المعدنية المتموجة ذات الطول 4.5 سم القطر 1 ملم بالنسبتين 1% و 1.5% بإمكانه تحسين الانكماش لخرسانة الرمل بنسبة 15% و 42.5% على التوالي .

* عند مقارنة كل نتائج الانكماش تبين أن التركيبة المثلى للتحسين مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد كانت التركيبة (50% رمل كثبان +50% رمل طبيعي + 1.5% الألياف المعدنية المتموجة) حيث كان التحسين بنسبة 44.7% .

* أن زيادة نسبة من الألياف داخل الخرسانة بإمكانها تحسين الانكماش.

* إن خرسانة رمل الكثبان وخرسانة رمل الكثبان الممزوج بالرمل الطبيعية والمصنوعة بإسمنت مضاد للكبريتات عند حفظها داخل الأوساط العدوانية قد أعطت نتائج مرضية من ناحية تغير وزن العينات وكمية الامتصاص.

* إن خرسانة رمل الكثبان وخرسانة رمل الكثبان الممزوج بالرمل الطبيعية والمصنوعة بإسمنت مضاد للكبريتات عند حفظها داخل الأوساط العدوانية وبعد الكشف الإلكتروني على مكوناتها تبين أنها محافظة على

بنيته الأولى وإن التفاعلات الحاصلة بين الأوساط العدوانية وخرسانة الرمل كانت ضعيفة وأعطت مواد جديدة متمثلة في الجبس وكلوريدات الكالسيوم.

الخلاصة العامة و التوصيات

الخلاصة العامة و التوصيات

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو محاولة استغلال رمال الكثبان المتواجدة في الوطن الجزائري بكثرة وخاصة في منطقة الجنوب وذلك في مجالات الإنشاء المختلفة ، وذلك كبديل لرمال الوديان او رمال البحر غير المتجددة والتي يشكل استعمالها مشاكل بيئية يصعب ان لم نقل يستحيل حلها ، وبعد الاطلاع على العديد من الأبحاث التطبيقية التي قام بها مجموعة من الباحثين على خرسانة الرمل و التي زودتنا بمعلومات كبيرة على مختلف خصائص هذه التركيبة الخرسانية .

* و كنقطة للانطلاق قمنا بانجاز عدة تجارب على المواد المستعملة بغية التعرف على نوعيتها .

الرمال المستعملة في هذه الدراسة هي الرمال الطبيعية المجلوبة من بقايا الوديان بالإضافة الى رمال الكثبان وحسب الملاحظات المستوحاة من التجارب فان كل الانواع صالحة لإنتاج خرسانة الرمل ما عدا تجربة الغريلة التي أعطت نتائج بعيدة بالنسبة لرمال الكثبان .

* حاولنا تصحيح نتائج الغريلة بالنسبة لرمل الكثبان وذلك باستعمال لرمال الواد كمحسن لها فوجدنا ان النسبة المثل هي 60 % من الرمال الطبيعية المجلوبة من الواد و 40 % من رمال الكثبان وغير بعيد عن هذه النسبة فان النسبتين من الخليط لهاتين المادتين 50 % رمل طبيعي و 50 % رمل كثبان أعطت نتائج مقبولة عموما .

* وتحسبا لمشاكل الانكماش التي تعاني منها خرسانة الرمل وخاصة عندما استعملنا رمل الكثبان أضفنا كميات بنسبة 1% و 1.5% من الألياف المعدنية النظامية بنوعين نوع به عكفات طوله 3 سم وعرضه 0.5 سم ونوع متموج طوله 4 سم وعرضه 1 ملم .

* إدخال هذه النسب من الرمال الطبيعية و الألياف على خرسانة الرمل حسن من خصائصها .

* فإدخال الرمال و بالنسبتين المختلفتين 60% و 50% من الرمل الطبيعي أعطت تحسنا جيدا لمقاومتي الانحناء والضغط مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد فكل ما كانت نسبة الرمل الطبيعي أكثر كانت نسبة التحسن أكبر.

* إدخال هذه الألياف أثر على خصائص الخرسانة فتحصلنا على النتائج التالية:

- عملية إضافة الألياف المعدنية بكميات و أنواع مختلفة له تأثير ايجابي على خصائص الخرسانة.
- طول الألياف المعدنية يؤثر على مقاومة الانحناء حيث كلما زاد طول الليف زادت مقاومة الانحناء .
- كمية الألياف المعدنية المضافة لها تأثير على مقاومة الانحناء و مقاومة الضغط حيث كلما زادت كمية الألياف زادت المقاومة .

* بعد دراسة الانكماش لهذه الأنواع من الخرسانات في الأجواء الجافة والحارة استنتجنا ما يلي :

- أن إضافة الرمال الطبيعية إلى رمال الكثبان واستعمالهما كركام لخرسانة الرمل يقلل من الانكماش.

- إضافة الألياف الى خرسانة الرمل يقلل كثيرا من ظاهرة الانكماش .
- نسبة الألياف المضافة الى خرسانة الرمل لها تأثير مباشر على ظاهرة الانكماش حيث كلما زادت نسبة الألياف قلت ظاهرة الانكماش .
- * نظرا لكثرة انتشار الأوساط العدوانية التي من الممكن أن تضر بخرسانة الرمل وخاصة في المناطق الحارة والجافة التي تعاني عموما من ظواهر طبيعية تزيد من عدوانية الأوساط المحيطة بالخرسانة خاصة ظاهرة صعود المياه. فقد قمنا بدراسة بعض تجارب ديمومة خرسانة الرمل وذلك من خلال محاكاة طبقة المياه الصاعدة في وادي سوف. وقد أعطت دراسة الديمومة نتائج ايجابية عموما حيث أن :
- خرسانة الرمل المصنوعة بإسمنت مقاوم للكبريتات أبدت مقاومة فعالة امام هذه الأوساط العدوانية. فلم يتغير شكلها وبقيت محافظة على قوامها.
- التغير في الكتلة لم يكن كبيرا ثم إن ذلك التغير في الوزن أكسب الخرسانة طبقة عازلة تقي الجسم الخرساني من تغلغل المواد الضارة.
- إن كمية الماء الممتصة بواسطة الخاصية الشعرية كانت قليلة في كل الأنواع وفي جميع أوساط الحفظ مقارنة بالخرسانات الشاهدة لبعض الباحثين الآخرين.
- إن الكشف بالأشعة السينية DRX و الفحص بالماسح الإلكتروني MB كشف عن حالة الخرسانة الجيدة وإن كانت محفوظة في الأوساط العدوانية.
- مقاومة الضغط والانحناء لم تتغير عموما في كلا النوعين المحفوظ في الظروف العادية كشاهد والمحفوظ في الوسط العدواني.
- ومن خلال هذه النتائج المتحصل عليها , نقترح محاور جديدة للبحث يمكن من خلالها استغلال هذه الأخيرة قصد تطويرها وتحسينها وهذا بهدف الوصول الى تعميم استعمال هذه الثروة الطبيعية الهائلة من رمال الكثبان المتواجدة بالجنوب في مجال الإنشاءات في جميع ربوع الوطن .
- *** نمذجة القوانين الخاصة بالمقاومة والتشوهات لهذا النوع من الخرسانات .
- *** تفعيل هذا النوع من الأبحاث وذلك بإنجاز منشآت ولو تجريبية على أرض الواقع .
- *** العمل على إدخال مواد أخرى كإضافات لمحاولة التقليل من كمية الإسمنت.
- *** يجب مراقبة وإجراء التجارب المنصوص عليها عند استعمال المواد اللازمة لصناعة خرسانة الرمل .
- وكنتيجة لهذا البحث نتمنى أن نكون قد ساهمنا في تثمين الرمال بصفة عامة ورمال الكثبان بصفة خاصة لأنها الموجودة بكثرة في بلدانا وذلك باستعمالها في مجالات الإنشاء المختلفة .
- وفي الأخير أملنا أن نكون قد وفقنا في عملنا هذا الى حد ما و نأمل أن يتواصل البحث في هذا المجال والاهتمام به أكثر.

المراجع

المراجع

- [1] **AKCHICHE, H.** "Contribution à la modélisation du retrait et de fluage de béton et mortier renforcé par les fibres de palmier dattier dans les régions désertiques", Thèse de magister, université de Ouargla, Algérie, 2007.
- [2] **ABQ.** "Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton". Association béton Québec. 36p. 2005. http://betonabq.org/pdf/aDocument_Fibres.pdf
- [3] **BEAUDOIN, J.J.** "Béton renforcé de fibres", Institut de recherche en construction (IRC), Conseil National de recherche, Canada, 1982.
- [4] **G. Maucuit-Lecomte, A. Vavel.** "nouvelles performances des bétons" . centre d'information sur le ciment et ses applications. 2006 .
- [5] **Djballi, S .** "caractérisation des éléments de Structures en bétons de Fibres métallique , Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi - Ouzou, 2013.
- [7] **Müller, H.S., Haist, M., 2009. Concrete.** In "Structural concrete Textbook on behaviour, design and performance", Volume 1, fib Bulletin 51, pp. 95-149
- [8] **KRIKER, A.** "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés de béton et mortier renforcés par ces fibres en climats chaud et sec", Thèse de doctorat d'état, ENP, Algérie, 2005.
- [10] **MOKHTARI, A.** "Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques de béton renforcés de fibres végétales de palmier dattier", Thèse de magister, université de Ouargla, Algérie, 2006.
- [11] **BELFERRAG, A.** "Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2006.
- [12] **FICHE DE QUALITE.** "Fibres de renforcement", SIKA, Egypte, 2003.
- [13] **BACKELANDT, A.** "Etude des mécanismes d'adhésion à l'interface résine / Ciment en vue de la répartition des ouvrages de génie civil", Thèse de doctorat, INSAL, France, 2005.
- [15] **Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan** "Fiber reinforcement OF concrete structures" ,University of Rhode Island September, URITC PROJECT NO. 536101 .2002
- [16] **BELFERRAG, A.** "Intitulé Contribution à l'amélioration des propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de sable de dunes", Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 2016.
- [17] **Arabi, N** "contribution à l'étude du comportement mécanique du composite ciment - verre et durabilité des fibres de verre ", Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba, Algérie, 2006.
- [18] **Baron, J. Ollivier, J. P.** Les bétons, bases et données pour leur formulation. Edition Eyrolles, Paris. 1996
- [19] **COOK, D.J.** "*Concrete and cement composites reinforced with natural fibers*", PROC, Sympon fibrous concrete, Australie 1980.
- [20] **KHENFER, M.M.** "Caractérisation et microstructure des ciments renforcés de fibres de cellulose", Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées 224, réf 4236, 2000.

- [21] **BLEDZKI, A.K. GASSAN J.** "*Composites reinforced with cellulose based fibers*", Prog. Polym. Sci, Elsevier, Allemagne, 1999.
- [22] **GUETTALA, S.** "Etude de l'influence de l'ajout du sable de dune finement broyé au ciment, sur la stabilité de béton", Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie, 2007.
- [23] **AL- SHAMSI K, ALI S.** "compressive strength and deformations of modified sand concrete" ISSN 1814-3296. Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, випуск - 1(99) . 2013.
- [24] **ROSSI P.** "Les bétons de fibre métalliques", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1998.
- [25] **Reed, P. Schoonees, K. Salmond, J.** "Historic concrete structures in New Zealand: overview, maintenance and management. Department of Conservation, Wellington, 2008.
- [26] **Kurdowski, W.,** "Cement and Concrete Chemistry".Springer Science Business Media B.V. 2014.
- [27] **Gu, X. Jin, X. Zhou, Y.** "Basic Principles of Concrete Structures". Springer-Verlag Berlin Heidelberg and Tongji University Press. 2016.
- [28] Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, "Béton de sable, Caractéristiques et pratiques d'utilisation", France, 1994.
- [30] **CHAOUCH, A.**"Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes", Thèse de magister, ENP, Algérie, 1993.
- [31] **BENTATA, A.** "Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2004.
- [32] **BARKAT, A.** "Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2006.
- [33] **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.
- [35] **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.
- [36] **HACHANA, A.** "Etude des Bétons à base des agrégats de démolition", Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie, 2007.
- [37] **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.
- [38] **Belferrag, A. Kriker, A. Abboudi, S. and Tié-Bi, S.** "Effect of granulometric correction of dune sand and pneumatic waste metal fibers on shrinkage of concrete in arid climates", J. Clean. Prod. 112, 3048–3056 .2016.
- [39] **Kriker,A. Debicki ,G. Bali,A. Khenfer, M.M. and Chabanni,M.** "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate, Cement Concrete Comp". 27, 554– 564. 2005.

- [40] **Belferrag, A. Kriker, and Khenfer, M.E.** "Improvement of the compressive strength of mortar in the arid climates by valorization of dune sand and pneumatic waste metal fibers", *Constr. Build. Mater.* 40, 847–853.2013.
- [41] **Setti,F. Ezziane,K. Setti,B. Merzoug, F.** "etude du comportement des poutres en beton renforce de fibres metalliques sous chargement monotone croissant". colloque international «reduction du risque sismique» chlef les 10 et 11 octobre 2012.
- [42] **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.
- [43] **MELAIS, F. Z.** "durabilite des betons de sable fibres dans les differents milieux agressifs « effets de la nature des fines d'ajouts et fibres »" . Thèse de doctorat 3ème Cycle. Université Badji Mokhtar - Annaba. 2016.
- [44] NF P 18-500
- [45] NF P15-301
- [46] NF P 18-540
- [48--29]**KETTAB, R.** "Contribution à la valorisation du sable de dunes", Thèse de doctorat, ENP, Algérie, 2007.
- [49] NF P18-303
- [50] **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.
- [51] **Vieira, M. Concrete, in: Gonçalves, M.C., Margarido, F.** (Eds.)," *Materials for Construction and Civil Engineering*. Springer, Switzerland, pp. 185-236. 2015.
- [53] NF EN 934-2+A1
- [54] **Neville, A. M.**" Propriétés des bétons". Editions Eyrolles, Paris. 2000.
- [56] **Ehsan, M. Waiching, T. and Hongzhi, C.** "Chloride Diffusion and Acid Resistance of Concrete Containing Zeolite and Tuff as Partial Replacements of Cement and Sand" . *Materials*, 10, 372; doi:10.3390/ma10040372.2017
- [57] **LOGBI, A.** "Effet de l'incorporation des ajouts minéraux sur les propriétés physico-mécaniques du béton", Thèse de Magister, l'ENP- Alger .Juin 1999.
- [59] **Kamran, M. Nemati.** "Durability of Concrete" ;CM425 Concrete Technology; University of Washington. 2015 .
- [61] **Swamy, R.N. Stavrides, H.** Influence of fibre reinforcement on restrained shrinkage and cracking. *ACI Journal* 76(3), 443-60.1979.
- [62] **Edgington, J. Hannant, D.J. Williams, R.I.T.** " Steel fiber reinforced concrete". Current Paper CP69074, Building Research Establishment, Garston, Watford, 1974 .

- [63] **Lim, T.Y. Paramsivam, P. Lee, S.L.** " Bending behaviour of steel fiber concrete beams". ACI, Structural journal 84, 524-536. 1987.
- [64] **Debicki, G.** "Contribution à l'étude du rôle de fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères de résistances et la fissuration des matériaux". Thèse de doctorat. Université de Lyon.1988.
- [65] **Absi, E.** " Bétons de fibres", synthèse des études et recherches réalisées au C.E.B.T.P. Annales de L'I.T.B.T.P. 520, 85-127. 1994.
- [66-] **CASANOVA, P.** " Béton renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure. Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées" . Thèse de doctorat, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées 1996.
- [68]**Rossi, P. Harrouche, N. Le Maou, F.b.** "Comportement mécaniques des Bétons de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et précontraint", Annales de L'I.T.B.T.P. série matériaux 479, 167-182. 1989.
- [69] **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.
- [70] **MOKHTARI, F.** "Contribution à l'étude des composites à base de liants Pouzzolaniques et de bambou", Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, 1991.
- [71] **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.
- [73]**Managat, P.S. Azzari, M.** Shrinkage of steel fiber reinforced cement composite. Material and structures 21, 163-171. 1988.
- [74] **VERONIQUE, H.** "Etude des caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des composites ciments-fibres organiques " Thèse doctorat , Lyon, 1992
- [75] **Byounggeon, K. Jason Weiss, W.** "Using acoustic emission to quantify damage in restrained fiber-reinforced cement mortars" Cement and Concrete Research Volume 33, Issue 2, February 2003, Pages 207-214.
- [76] **BENAISSA, I.** " béton de sable fibré projeté pour panneau 3D" .Thèse de doctorat .Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 2015.
- [77] **MALOU, M.** "Influence de l'introduction de Fibres Métalliques sur le Comportement Différé d'une Matrice Cimentaire. Caractérisation - Comportement monotone - Microstructure" . Thèse de doctorat. Université Mentouri-Constantine. 2007 .
- [78] **ADAM, M.** "propriétés des bétons"; centre de recherches interuniversitaire sur le béton université SHERBROOKE; édition EYROLLES.
- [79] NF EN 206-1

- [80] **BARON, J.** "La Durabilité Des Bétons", Presses De l'École nationale des Ponts et chaussées, 1992.
- [81] **AMARNI, L.** " Durabilité des éléments en Bétons Armé en milieu agressif Corrosion des Armatures", Mémoire de magister, université Tizi- Ouzou , Algérie, 2012.
- [83] **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.
- [85] **Jonathan, MAI-NHU.** "Corrosion des armatures du béton : couplage carbonatation/chlorures en présence de cycles hydriques ".Université Toulouse 2013
- [86] **Logbi, A. Kriker, A. Snisna, Z.** Effects of Mineral Additions on Durability and PhysicoMechanical Properties of Mortar . AIP Conference Proceedings 1814, 020032; doi: 10.1063/1.4976251 .2017
- [87] **Technologie,** "LA CORROSION DES ARMATURES DES BÉTONS ARMÉS ET PRÉCONTRAINTS" , NOVEMBRE 2008.
- [88] **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.
- [90] **Neville, A.M.** "Properties of Concrete", Long Man Group Limited, London, Fourth Edition. 2005
- [91] **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.
- [92] **Dauzères, A.** « Etude expérimentale et modélisation des mécanismes physicochimiques des interactions béton-argile dans le contexte du stockage géologique des déchets radioactifs », thèse de doctorat, Université de Poitiers. 2010. 272p.
- [93] **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.
- [94] **Demene, Z. Azzouz, L. Goual, M.S.** "Durabilité de mortiers a 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.
- [95] **KAID,N. AYED,K. ABIDELAH,A. KHELAFI, H. KERAL, 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
- [96] **VERBECK,G.J. and laboratory studies,** "the sulphate resistance of concrete",PCA Research Department Bulletin; 1968 .
- [97] **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.

- [98] **Collection technique Cimbéton** "Guide de prescription des ciments pour des constructions durables " Centre D'informations sur le ciment et ses applications .2009 .
- [102] **Tarek, D.** " Etude de l'effet de la corrosion des armatures sur la durabilité des ouvrages en béton armé " Mémoire Magister . Université Mohamed Khider – Biskra.2012 .
- [103] **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.
- [104] **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 .
- [107] **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.
- [112] **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. universite badji mokhtar annaba. 2014 .
- [115] **Houst, y.** " la durabilité de béton " journal suisse des entrepreneurs .38 .20/09/1985
- [118] **Afnor** "Essais physico-mécaniques sur les bétons et mortiers", 1981-1997.
- [119] **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.
- [121] **Chavaillon, J.**" Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara Nord Occidental (de Colomb-Béchar à Reggane)". Edition du CNRS, Paris 1964, p. 394.
- [124] NFP 18-555
- [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, 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
- [131] Fiche de Qualité .Ciment CPJ – CEM II / 42.5A. Conformément à la norme NA 442, Edition, 2008.

- [132] NFP 15-442
- [134] **EMILE, O.** "Technologie des matériaux de construction Tome 1", Entreprise Moderne d'Edition, Paris, 1978.
- [135] Centre D'informaton Sur Le Cimente Et Ses Application ", Guide de prescription des ciments pour des constructions durables ".
- [136] NA 442 000 .
- [137] NA 433 :2002
- [140] **Kriker, A. Debicki, G. Bali, A. Khenfer, M.M and Chabanni, M.** "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate", Cement Concrete Comp. **27**, 554–564 .2005.
- [141] EN 196-1
- [142] **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.
- [143] NFP 18-452
- [144] NF P 15-437
- [145] **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.
- [146] ENV206
- [147] EN 196-1
- [148] **PHOUMMAVONG, V.** "Matériaux de construction expériences", Cours en ligne, Agence universitaire de la Francophonie. Montréal, Canada, 2006.
- [149] NF P 15-433
- [150] **Melais, S. Melais, F Z & Achoura, D.** "Influence de la nature et du dosage en fibres sur le comportement physicomécanique des bétons de sable à base de fillers de laitier granulé". Rev. Sci. Technol., Synthèse 30: 91-102 .2015.
- [151] **BEDARD, C. BALLIVY, G. AITCIN, P.** "Rôle des caractéristiques physico-mécaniques des granulats sur la résistance en compression de bétons a très haute résistance", Bulletin de Géologie de l'Ingénieur et de l'environnement, Volume 30, N° : 1, Paris, 1984.
- [152] **VILLARD, P.**" Bétons et Mortiers", Cours et Travaux dirigés de matériaux (Module 3) (Département GC, Université de Grenoble - 1ème Année) - Version Juin 2004 .

- [153] **Belferrag, A. Kriker, A. and Khenfer, M.E.**, Improvement of the compressive strength of mortar in the arid climates by valorization of dune sand and pneumatic waste metal fibers, *Constr. Build. Mater.* **40**, 847–853.2013.
- [154] **Holschemacher, K. Mueller, T. and Ribakov, Y.** "Effect of steel fibres on mechanical properties of highstrength concrete", *Mater. Design.* **31**, 2604–2615 .2010.
- [155] **Yazici, S. Inan, G. and Tabak, V.**" Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC", *Constr. Build. Mater.* **21**, 1250–1253 .2007.
- [157] **Abdou, K.** " Influence des fibres métalliques sur les variations dimensionnelles et pondérales d'une matrice cimentaire" Thèse de doctorat Université Mentouri- Constantine. 2007 .
- [158] NF P 15-433
- [159] **Benabed, B. Azzouz, L. Kadri, Belaidi, A. Soualhi, H.** " Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes "Département de génie civil, Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie, XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012 .
- [160] **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.
- [161] **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.
- [162] AFPC-AFREM, 1997
- [163] **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.
- [164] **Chafi, N .** Matrice cimentaire renforcée de fibres Valorisation des sous produits (Polystyrène, copeaux d'acier et copeaux de bois). Thèse de magister . Université Mentouri Constantine.2005
- [165] **STEOPOE, A.** "La durabilité du béton", édition eyrolles, paris 1970

المراجع بالعربية:

- [6] **محمود إمام،** تكنولوجيا الخرسانة" قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة، جامعة المنصورة ، مصر ، 2002 .
- [9] **مائي محمد،** المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي و التعزيز بالألياف المعدنية، مذكرة ماجستير ،جامعة قاصدي مرباح - ورقلة ، 2010 .
- [29] **بللة نبيل .** "المعالجة الحرارية لخرسانة الرمل"، مذكرة مجيستير جامعة محمد بوضياف وهران، الجزائر ، 2005.
- [34] اشغال الملتقى الوطني بجامعة ورقلة 21-21- فيفري 2013 .
- [47] **جديد محسن البصيري** "أنقاض البناء ... المشكلة والحل" مجلة العمران العربي إصدار 1997م

- [52] المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني " خواص واختبار المواد 104 مدن" المملكة العربية السعودية
- تكنولوجيا الخرسانة" قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة, جامعة المنصورة, مصر 2002 [55] محمود إمام
- [58] ماني محمد، كريك عبد الواحد ، بالفراق علاوة " المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي و التعزيز بالألياف المعدنية" ، حوليات العلوم و التكنولوجيا ،جامعة قاصدي مرباح - ورقلة ، ديسمبر 2010 .
- [60] مرخوفي ع . "المساهمة في دراسة خصائص وتشوهات خرسانة ألياف النخيل في المناطق الجافة و الحارة"، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة ، 2004.
- [67] عصام ملحم، بسام حنا ، مقاومة الخرسانة على الضغط وتأثيرها في مقاومة الأوساط ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية- المجلد الرابع والعشرون- العدد الأول 20 - ، 2008 .
- [72] علي عبد الكريم التركي" الانكماش اللدن للخرسانة المسلحة بالألياف " رسالة جامعية , جامعة الملك عبد العزيز, 1416 هـ
- [82] عبد الحميد كيخيا ، "محاضرات لطلاب ماجستير التأهيل والتخصص" ، جامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية .
- [84] عوده محمد الأغا ، " التآكل في المنشآت و آثاره السلبية" ، 2006، *O. Al Agha, J. Al-Aqsa Univ., 10 (S.E.)*
- [89] خالد حسن حاوي ، المعهد التقني بابل ، تأثير هجوم املاح الكبريتية على الخرسانة ، مجلة جامعة بابل/ العلوم الهندسية / العدد 3 / المجلد 66 : 2014
- [99] زينب حسن ، محاضرات تكنولوجيا الخرسانة ، جامعة الكوفة .
- [100] المهندس محمد، زكريا مشاعيل " إجازة في الهندسة الميكانيكية " المهندس إيد العبود، تحت إشراف ، الدكتور مازن عزيزي جامعة حلب كلية الهندسة الميكانيكية علم المواد الهندسية 2012م .
- [101] ليث يوسف يعقوب ، زحل عبد الزهرة كباش، و موفق محمد صالح ، تقييم مقاومة التآكل للحديد المستخدم في تقوية الخرسانة الكونكريتية في اوساط مائية مختلفة ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 29، العدد 2 ، 2011 .
- [105] اسيا ليفة ، "الموارد المائية بالجنوب الجزائري وظاهرة صعود المياه حالة وادي سوف" ، *Intrenational Jurnal of Environment watre Issn* 2013. 2052-3408
- [106] عبداوي جيهان ريم ، مشكلة صعود المياه و آثارها على البيئة بإقليم وادي سوف ، مذكرة ماجستير ، إشراف، بولحواش علاوة، كلية علوم الأرض و الجغرافيا و التهيئة العمرانية ، جامعة منتوري قسنطينة، 2006.
- [108] صلاح الدين بن محمد السعيد بن زيوش ، "ظاهرة صعود المياه وتأثيرها على ثروة النخيل في الجزائر" ، الشجرة المباركة، 2010 .
- [109] محسن زوييدة ، "إشكالية الماء الشروب في ولاية ورقلة" ، مجلة الباحث جامعة ورقلة عدد 09 / 2011 .
- [110] محمد ماني ، العرف العُرف المعروف في طريقة قسمة أغواط و تراب سُوف ، مطبعة مزوار، عن مديرية الثقافة لولاية الوادي ، الوادي ، 2015 م .
- [111] مديرية الري لولاية الوادي إحصاء 1998
- [113] علي بوصبيح ، الغوط الهود أو الهرم المقلوب ، مطبعة مزوار، عن مديرية الثقافة لولاية الوادي ، الوادي ، 2015 م .
- [114] الوكالة الوطنية للموارد المائية ANRH الفرع الجهوي ورقلة.
- [116] العسراوي غادة. سمكري مأمون ، دراسة التشوهات و اشكال الانهيار للأعمدة المدعمة بألياف الكربون ،مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، ج 11 ، عدد 1 ، 2005

- [117] هاشم نعمه طعمه، دراسة و تحسين مقاومة انضغاط الخرسانة الحاوية على نسب عالية من الأملاح، مجلة التقني، بغداد، المجلد 21، العدد 4، 2004.
- [120] خالد حسن حاوي المعهد التقني بابل، مجلة جامعة بابل / العلوم الهندسية/ العدد 4/ المجلد 64 : 2015
- [122] حليس يوسف، الموسوعة النباتية لمنطقة سوف، مطبعة الوليد بالوادي، الجزائر 2007.
- [123] الأخضر مرابط، حساسية الصحراء المنخفضة وانعكاسات التدخل البشري مقارنة منطقتي واد ريغ وواد سوف الأسباب والنتائج، مذكرة مقدمة لنيل درجة الماجستير في التهيئة الفيزيائية.
- [133] حسان العش، عبد الفتاح الخطيب . " الإسمنت " كلية الهندسة - جامعة عين شمس معمل خواص واختبار المواد.
- [138] البطاقة التقنية للإسمنت، CEM I (CRS) 42.5 ، عين التوتة.
- [139] عماد محمد حمادة "الخرسانة" مقالة من موقع "مركز المدينة للعلوم الهندسية" جوان 2009
- [153] ريم حافظ "دراسة السلوك الميكانيكي للبيتون المقوى بالإضافة الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المستهلكة بالسيارات"، مذكرة دكتوراة، اشراف عفيف رحمة، جامعة دمشق سوريا، 2015.
- [156] حسن شمس الدين حسن، سالم طيب يوسف "الانكماش للخرسانة عالية المقاومة الحاوية على غبار فولاذية السليكا والياف" The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.12, No.4,2012 Dr. salim T.

الملاحق

نتائج تجربة التدرج الحبيبي

- العينة الأولى 100% رمل الكثبان ورقلة

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأولى 100% رمل الكثبان ورقلة :

المار المجمع ب T (%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع Rc (g) ب	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
100	0	0	38	5
100	0	0	35	2.5
100	0	0	32	1.25
99.92	0.08	1.6	29	0.63
83.39	16.61	332.2	26	0.315
9.55	90.45	1809	23	0.16
0.45	99.55	1991	20	0.08
0.1	99.9	1998	/	Fond

- العينة الثانية 100% رمل الكثبان وادي سوف

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية 100% رمل الكثبان وادي سوف :

المار المجمع ب T (%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع Rc (g) ب	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
100	0	0	38	5
100	0	0	35	2.5
99.96	0.036	0.72	32	1.25
99.51	0.491	9.82	29	0.63
20.55	79.45	1589	26	0.315
18.89	81.11	1622.2	23	0.16
0.27	99.73	1994.6	20	0.08
0.12	99.88	1997.6	/	Fond

- العينة الثالثة : 100% رمل طبيعي حاسي بحبح .

جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة : 100% رمل طبيعي حاسي بحبح

المار المجمع ب T (%)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع Rc (g) ب	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
98.23	1.77	35.4	38	5
91.23	8.77	175.4	35	2.5
82.96	27.04	540.8	32	1.25
44.74	55.26	1105.2	29	0.63
10.58	89.42	1788.4	26	0.315
1.94	98.06	1961.2	23	0.16
0.32	99.68	1993.6	20	0.08
0.01	99.99	1999.8	/	Fond

- العينة الرابعة : 100% رمل طبيعي وادي سوف عسيلة .
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة : 100% رمل طبيعي وادي سوف عسيلة

المار المجمع ب T (%)	نسبة المتبقي المجمع Rc (%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	فتحات الغربال ب (mm)
86,02	13,98	279,6	4
75,797	24,203	484,06	2
66,07	33,93	678,6	1
50,46	49,54	990,8	0.5
25,49	74,51	1490,2	0.25
4,96	95,04	1900,8	0.125
1,21	98,79	1975,8	0.08
0.01	99.99	1999,8	Fond

- العينة الخامسة : 100% رمل طبيعي وادي الرتم .
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة : 100% رمل طبيعي وادي الرتم

المار المجمع ب T (%)	نسبة المتبقي المجمع Rc (%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب (mm)
99.7	0.3	06	38	5
98.55	1.45	29	35	2.5
94.90	5.1	102	32	1.25
63.55	36.45	729	29	0.63
6.90	93.1	1862	26	0.315
1.05	98.95	1976	23	0.16
0.3	99.7	1994	20	0.08
0.01	99.99	1999.8	/	Fond

- العينة السادسة : 100% رمل المحاجر .
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة السادسة : 100% رمل المحاجر

المار المجمع ب T (%)	نسبة المتبقي المجمع Rc (%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب (mm)
99.87	0.13	2.6	38	5
88.49	11.51	230.2	35	2.5
60.3	39.7	794	32	1.25
43.61	56.39	1127.8	29	0.63
30.63	69.37	1387.4	26	0.315
12.75	87.25	1745	23	0.16
2.85	97.15	1943	20	0.08
0.04	99.96	1999.2	/	Fond

- العينة السابعة : 50% رمل الكثبان ورقلة + 50% رمل طبيعي حاسي بحبح
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة السابعة : 50% رمل الكثبان + 50% رمل طبيعي

المار المجمع ب	نسبة المتبقي المجمع Rc (%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب (mm)
T (%)				
99.08	0.92	18.4	38	5
96.035	3.965	79.3	35	2.5
87.775	12.225	245.1	32	1.25
73.02	26.98	539.6	29	0.63
31.36	68.64	1372.8	26	0.315
4.535	95.465	1909.3	23	0.16
0.31	99.69	1993.8	20	0.08
0.02	99.98	1999.6	/	Fond

- العينة الثامنة : 40% رمل الكثبان ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثامنة : 40% رمل ورقلة + 60% رمل طبيعي حاسي بحبح

المار المجمع ب	نسبة المتبقي المجمع Rc (%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب (mm)
T (%)				
99.365	0.635	12.7	38	5
94.935	5.065	101.3	35	2.5
83.09	16.91	338.2	32	1.25
65.065	34.935	698.7	29	0.63
28.505	71.495	1429.9	26	0.315
3.71	96.29	1925.8	23	0.16
0.285	99.715	1994.3	20	0.08
0.03	99.97	1999.4	/	Fond

- العينة التاسعة : 40% رمل الكثبان وادي سوف + 60% رمل طبيعي عسيلة
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة التاسعة : 40% رمل وادي سوف + 60% رمل طبيعي عسيلة

المار المجمع ب	نسبة المتبقي المجمع Rc (%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	فتحات الغربال ب (mm)
T (%)			
90,715	9,285	185.76	4
83,54	16,46	329.2	2
77,51	22,49	449.8	1
69,795	30,205	604.1	0.5
30,045	69,955	1399.1	0.25
3,51	96,49	1929.8	0.125
0,725	99,275	1985.5	0.08
0.02	99.98	1999.6	Fond

- العينة العاشرة : 40% رمل الكثبان وادي سوف +60% رمل واد الرتم
جدول نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة العاشرة : 40% رمل وادي سوف +60% رمل واد الرتم

المار المجمع ب	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نوع الغربال	فتحات الغربال ب(mm)
T (%)				
97,88	2,12	20	38	5
85,58	14,42	140	35	2.5
81,82	18,18	520	32	1.25
69,4	30,6	604.1	29	0.63
29,77	70,23	1020	26	0.315
11,55	88,45	1700	23	0.16
1,725	98,275	1930	20	0.08
0.04	99.96	1997.4	/	Fond

نتائج مقاومة الانحناء :

رمل منطقة ورقلة

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.12±4.08	0.13±4.05	0.16±3.59	100% SDO
0.37±5.70	0.37±5.69	0.147±4.37	50% SDO+50% SAH
0.16±6.01	0.44±5.84	0.47±4.75	40%SDO+60% SAH

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل.

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.12±4.63	0.25±4.56	0.087±4.23	%100SDO+1%F1
0.07±6.01	0.37±6.02	0.307±4.82	50% SDO +50% SAH+1%F1
0.049±6.28	0.29±6.16	0.67±5.21	%40SDO+60%SAH+1%F1

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.18±5.63	0.39±5.6	0.147±4.34	%100SDO+1.5%F1
0.085±6.08	0.27±7	0.13±5.83	50% SDO +50% SAH+1.5%F1
0.11±6.48	0.15±6.33	0.247±5.76	%40SDO+60%SAH+1.5%F1

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل .

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.15±4.57	0.19±4.48	0.14±4.10	%100SDO+1%F2
0.24±6.10	0.49±6.02	0.65±4.65	50% SDO +50% SAH+1%F2
0.11±6.23	0.27±6.07	0.28±5.40	%40SDO+60%SAH+1%F2

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.06±5.03	0.11±4.98	0.127±4.33	%100SDO+1.5%F2
0.07±6.36	0.23±6.3	0.2±4.97	50% SDO +50% SAH+1.5%F2
0.15±6.38	0.3±6.26	0.26±5.55	%40SDO+60%SAH+1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة %100SDO

الإجهاد في يوم 180(MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.12±4.08	0.13±4.05	0.16±3.59	%100SDO
0.12±4.63	0.25±6.45	0.087±4.24	%100SDO+1%F1
0.18±5.63	0.39±5.6	0.147±4.34	%100SDO+1.5%F1
0.15±4.57	0.19±4.48	0.14±4.10	%100SDO+1%F2
0.065±5.03	0.11±4.98	0.127±4.33	%100SDO+1.5%F2

جدول نتائج تركيز ونوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (50%SDO+50% SAH)

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.37±5.70	0.37±5.69	0.147±4.37	50%SDO+50%SA
0.07±6.01	0.37±6.02	0.307±4.82	50%SDO+50%SAH+1%F1
0.085±6.78	0.27±6.61	0.13±5.83	50%SDO+50%SAH+1.5%F1
0.24±6.10	0.49±6.02	0.65±4.65	50%SDO+50%SAH+1%F2
0.07±6.36	0.23±6.3	0.2±4.97	50%SDO+50%SAH+1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبية (40%SDO+60% SAH)

الإجهاد في يوم 180(MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
0.16±6.01	0.44±5.84	0.47±4.75	40%SDO+60%SAH
0.49±6.28	0.29±6.16	0.67±5.21	40%SDO+60%SAH +1%F1
0.11±6.48	0.15±6.33	0.247±5.76	40%SDO+60%SAH +1.5%F1
0.11±6.23	0.27±6.07	0.285±5.40	40%SDO+60%SAH +1%F2
0.1±56.38	0.3±6.26	0.263±5.55	40%SDO+60%SAH +1.5%F2

رمل منطقة الوادي

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.14±4.51	0.18±4.47	0.2±3.75	100%SDE
0.17±5.90	0.14±5.82	0.17±4.71	40%SDE+60% SAR
0.21±6.18	0.32±6.04	0.41±4.92	40%SDE+60% SAA

تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل.

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.31±4.78	0.21±4.76	0.1±4.41	100%SDE+1%F1
0.12±6.45	0.16±6.31	0.27±5.08	40%SDE+60% SAR+1%F1
0.2±6.51	0.23±6.48	0.61±5.54	40%SDE+60% SAA+1%F1

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.28±5.75	0.2±5.8	0.17±4.53	100%SDE+1.5%F1
0.14±7.3	0.21±7.28	0.11±6.6	40%SDE+60% SAR+1.5%F1
0.45±7.91	0.13±7.91	0.247±6.82	40%SDE+60% SAA+1.5%F1

جدول نتائج مقاومة الانحناء للخرسانة المدعمة بالألياف بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل .

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.65±4.68	0.7±4.64	0.9±4.31	100%SDE+1%F2
0.36±6.31	0.2±6.27	0.5±4.91	40%SDE+60% SAR+1%F2
0.21±6.46	0.47±6.41	0.31±5.44	40%SDE+60% SAA+1%F2

جدول نتائج مقاومة الانحناء للخرسانة المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.31±5.21	0.13±5.17	0.17±4.51	100%SDE+1.5%F2
0.17±6.76	0.03±6.5	0.23±5.28	40%SDE+60% SAR+1.5%F2
0.12±6.80	.051±6.71	.041±5.63	40%SDE+60% SAA+1.5%F2

تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:
جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SDE100%)

الإجهاد في يوم 180(MPa)	الإجهاد في 90 يوم (MPa)	الإجهاد في 28 يوم (MPa)	العينة
0.14±4.51	0.18±4.47	0.2±3.75	100%SDE
0.31±4.78	0.21±4.76	0.1±4.41	100%SDE +1%F1
0.28±5.75	0.2±5.8	0.17±4.53	100%SDE +1.5%F1
0.65±4.68	0.7±4.64	0.9±4.31	100%SDE +1%F2
0.31±5.21	0.13±5.17	0.17±4.51	100%SDE +1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (40% SDE+60% SAR)

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.17±5.90	0.14±5.82	0.17±4.71	40% SDE+60% SAR
0.12±6.45	0.16±6.31	0.27±5.08	40%SDE+60% SAR+1%F1
0.14±7.3	0.21±7.28	0.11±6.6	40%SDE+60% SAR+1.5%F1
0.36±6.31	0.2±6.27	0.5±4.91	40%SDE+60% SAR+1%F2
0.17±6.76	0.03±6.5	0.23±5.28	40%SDE+60% SAR+1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية (40%SD+60%SA)

الإجهاد في يوم 180(MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم (MPa)28	العينة
0.21±6.18	0.32±6.04	0.41±4.92	40% SDE+60% SAA
0.2±6.51	0.23±6.48	0.61±5.54	40%SDE+60% SAA+1%F1
0.45±7.91	0.13±7.91	0.247±6.82	40%SDE+60% SAA+1.5%F1
0.21±6.46	0.47±6.41	0.31±5.44	40%SDE+60% SAA+1%F2
0.12±6.80	.051±6.71	.041±5.63	40%SDE+60% SAA+1.5%F2

نتائج مقاومة الضغط :

رمال منطقة ورقلة:

تأثير تركيبة الرمل :

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.67±15.21	1.83±15.10	2.4±10.99	100%SDO
1.67±18.33	4±18.23	4.6±16.67	50%SDO+50%SAH
2.33±18.54	±18.442.5	2.1±16.15	40%SDO+60%SAH

تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
2±15.63	3.33±15.42	1.8±11.15	100%SDO+1%F1
2.16±18.65	1.66±18.54	3.8±18.23	50%SDO+50%SAH+1%F1
1.66±18.96	2.16±18.65	3.2±16.35	40%SDO+60%SAH+1%F1

جدول مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
3.16±16.35	2±16.25	2.16±14.27	100%SDO+1.5%F1
2.16±18.85	4±18.85	16.773.83±	50%SDO+50%SAH+1.5%F1
1.5±19.06	2±18.75	4.67±16.67	40%SDO+60%SAH+1.5%F1

جدول مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
2.67±16.67	4.16±16.35	4±14.38	100%SDO+1%F2
2.16±20.94	3.33±20.83	3±17.5	50%SDO+50%SAH+1%F2
1.83±19.9	2.66±19.79	3.83±18.85	40%SDO+60%SAH+1%F2

جدول مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.66±17.29	2.33±17.08	3±15.63	100%SDO+1.5%F2
2.66±22.71	4±22.60	4±20.73	50%SDO+50%SAH+1.5%F2
1.66±22.29	4±22.5	3.33±18.96	40%SDO+60%SAH+1.5%F2

تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:
جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة 100%SDO

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.67±15.21	1.83±15.10	1.83±10.99	100%SDO
2±15.63	3.33±15.42	3.33±11.15	100%SDO+1%F1
3.16±16.35	2±16.25	2±14.27	100%SDO+1.5%F1
2.66±16.67	4.16±16.35	4.16±14.38	100%SDO+1%F2
1.66±17.29	2.33±17.08	2.33±15.63	100%SDO+1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية 50%SDO+50%SAH

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.66±18.33	4±18.23	4.66±16.67	50%SDO+50%SAH
2.16±18.65	1.67±18.54	3.8±18.23	50%SDO+50%SAH+1%F1
2.16±18.85	4±18.85	3.83±16.77	50%SDO+50%SAH+1.5%F1
1.5±20.94	3.33±20.83	3±17.5	50%SDO+50%SAH+1%F2
2.66±22.71	4±22.60	4±20.73	50%SDO+50%SAH+1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبية 40%SDO+60%SAH

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
2.33±18.54	2.5±18.44	16.15±2.16	40%SDO+60%SAH
1.66±18.96	2.16±18.65	3.16±16.35	40%SDO+60%SAH+1%F1
1.5±19.06	2±18.75	67±16.64	40%SDO+60%SAH+1.5%F1
1.83±19.9	2.66±19.79	3.83±18.85	40%SDO+60%SAH+1%F2
1.66±22.29	4±22.5	3.33±18.96	40%SDO+60%SAH+1.5%F2

* رمل منطقة الوادي :

تأثير تركيبية الرمل :

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبية الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.07±16.41	1.63±16.28	1.42±14.31	100%SDE
1.54±19.03	2.41±18.93	2.6±17.62	40%SDE+60%SAR
1.63±19.34	1.87±19.04	2.53±17.82	40%SDE+60%SAA

تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.84±17.41	2.34±17.39	1.45±15.12	100%SDE+1%F1
2.60±18.98	1.67±18.92	2.6±18.44	40%SDE+60% SAR+1%F1
1.53±20.06	2.16±19.65	2.9±18.62	40%SDE+60% SAA +1%F1

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
2.06±19.52	3.1±19.21	1.98±17.38	100%SD+1.5% F1
1.86±19.47	2.52±19.25	2.14±18.72	40%SD+60% SAR+1.5% F1
1.8±20.02	2.15±19.75	2.87±18.85	40%SD+60% SAA+1.5% F1

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.43±18.86	2.06±18.45	2.7±17.58	100%SDE+1%F2
2.19±20.74	2.14±19.70	1.84±19.25	40%SDE+60% SAR+1%F2
3.02±21.22	2.52±20.56	2.44±19.96	40%SDE+60% SAA +1%F2

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.66±20.29	1.74±20.24	1.92±17.83	100%SDE+1.5% F2
2.66±22.71	2.36±22.53	2.5±21.40	40%SDE+60% SAR+1.5% F2
1.66±23.29	1.85±22.94	1.49±21.82	40%SDE+60% SAA +1.5% F2

تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.07±16.41	1.63±16.28	1.42±14.31	100%SDE
1.84±17.41	2.34±17.39	1.45±15.12	100%SDE+1%F1
2.06±19.52	3.1±19.21	1.98±17.38	100%SD+1.5% F1
1.43±18.86	2.06±18.45	2.7±17.58	100%SDE+1%F2
1.66±20.29	1.74±20.24	1.92±17.83	100%SDE+1.5% F2

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبية 40%SDE+60%SAR

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.54±19.03	2.41±18.93	2.6±17.62	40%SDE+60%SAR
2.60±18.98	1.67±18.92	2.6±18.44	40%SDE+60%SAR+1%F1
1.86±19.47	2.52±19.25	2.14±18.72	40%SD+60%SAR+1.5%F1
2.19±20.74	2.14±19.70	1.84±19.25	40%SDE+60%SAR+1%F2
2.66±22.71	2.36±22.53	2.5±21.40	40%SDE+60%SAR+1.5%F2

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبية 40%SDE+60%SAA

الإجهاد في يوم 180 (MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	العينة
1.63±19.34	1.87±19.04	2.53±17.82	40%SDE+60%SAA
1.53±20.06	2.16±19.65	2.9±18.62	40%SDE+60%SAA +1%F1
1.8±20.02	2.15±19.75	2.87±18.85	40%SD+60%SAA+1.5%F1
3.02±21.22	2.52±20.56	2.44±19.96	40%SDE+60%SAA +1%F2
1.66±23.29	1.85±22.94	1.49±21.82	40%SDE+60%SAA +1.5%F2

نتائج الانكماش :

تأثير تركيبة الرمل :

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
%100SDO		5±85	10±660	5±1340	8±1433	13±1453.33	10±1570
50%SDO+50%SAH		5±420	10±1020	12±1260	13±1380	14±1400	14±1470
40%SDO+60%SAH		10±210	70±1050	30±1310	35±1366.67	13±1370	15±1521

تأثير الألياف :

تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل :

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
100%SDO+1%F1		4±60	10±230	70±1100	10±1170	70±1230	27±1363
50%SDO+50%SAH+1%F1		5±310	7±650	60±1090	30±1180	20±1190	40±1230
40%SDO+60%SAH+1%F1		5±285	5±545	10±800	9±850	10±900	10±1005

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
100%SDO+1.5%F1	5±50	6±90	10±600	9±850	8±880	10±1050	
50%SDO+50%SAH+1.5%F1	3±246	5±313	6±680	7±780	7±803.33	5±866	
40%SDO+60%SAH+1.5%F1	5±310	10±470	4±646.67	17±786.67	40±820	26±836.67	

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل :

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
100%SDO+1%F2	8±90	5±370	10±1080	10±1150	12±1250	15±1400	
50%SDO+50%SAH+1%F2	3±210	5±355	6±750	5±925	55±985	35±1115	
40%SDO+60%SAH+1%F2	5±420	45±795	9±965	10±1010	10±1030	12±1145	

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل :

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
100%SDO+1.5%F2	5±140	5±615	55±985	75±1045	5±1085	5±1220	
50%SDO+50%SAH+1.5%F2	10±280	5±460	10±960	11±1120	10±1050	12±1140	
40%SDO+60%SAH+1.5%F2	5±255	5±595	20±900	13±1033	20±1070	36±1136.67	

تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:
جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل للعينة (100%SDO)

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
100%SDO	5±85	10±660	5±1340	8±1433	13±1453.33	10±1570	
100%SDO+1%F1	4±60	10±230	70±1100	10±1170	70±1230	27±1363	
100%SDO+1.5%F1	5±50	6±90	10±600	9±850	8±880	10±1050	
100%SDO+1%F2	8±90	5±370	10±1080	10±1150	12±1250	15±1400	
100%SDO+1.5%F2	5±140	5±615	55±985	75±1145	5±1185	5±1220	

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل للعينة 50%SDO+50%SAH :

العينة	الأيام	2	7	14	21	28	60
50%SDO+50%SAH	5±420	10±1020	12±1260	13±1380	14±1400	14±1470	
50%SDO+50%SAH+1%F1	5±310	7±650	60±1090	30±1180	20±1190	40±1230	
50%SDO+50%SAH+1.5%F1	3±246	5±313	6±680	7±780	7±803.33	5±866	
50%SDO+50%SAH+1%F2	3±210	5±355	6±750	5±925	55±985	35±1115	
50%SDO+50%SAH+1.5%F2	10±280	5±460	10±960	11±1020	10±1050	12±1140	

جدول نتائج الانكماش لخرسانة الرمل للعيبة SDO+60%SAH %

60	28	21	14	7	2	الأيام	العيبة
15±1521	13±1370	35±1366.67	30±1310	70±1050	10±210	40%SDO+60%SAH	
10±1005	10±900	9±850	10±800	5±545	5±285	40%SDO+60%SAH+1%F1	
26±836.67	40±820	17±786.67	4±846.67	10±470	5±310	40%SDO+60%SAH+1.5%F1	
12±1145	10±1030	10±1010	9±965	45±795	5±420	40%SDO+60%SAH+1%F2	
36±1136.67	20±1070	13±1033	20±900	5±595	5±255	40%SDO+60%SAH+1.5%F2	

نتائج تجارب الديمومة:

نتائج الكتلة الحجمية : النتائج المدونة أثناء الغمر.

* بالنسبة لخرسانة الرمل للعينات 100%SD

جدول نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل للعينات 100%SD بـ (%)

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام	السنة
6,875	6,697	6,573	6,430	6,163	4,275	4,097	3,883	0	100%SD	
5,331	5,169	5,008	4,873	4,846	3,311	3,258	3,231	0	100%SD+1%F1	
5,085	4,924	4,763	4,602	4,388	3,020	2,725	2,725	0	100%SD+1.5%F1	
5,545	5,371	5,197	5,023	4,994	4,123	3,745	3,368	0	100%SD+1%F2	
4,891	4,724	4,557	4,474	4,418	3,501	3,473	3,445	0	100%SD+1.5%F2	

جدول نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAR بـ (%)

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام	العيبة
8,617	8,440	8,264	8,140	8,087	5,205	5,146	5,117	0	40%SDE+60% SAR	
4,650	4,492	4,333	4,254	4,175	3,038	2,93	0,580	0	40%SDE+60% SAR +1%F1	
5,711	5,548	5,386	5,305	5,164	3,708	3,654	3,573	0	40%SDE+60% SAR +1.5%F1	
4,777	4,615	4,453	4,372	4,264	2,9689	2,915	2,780	0	40%SDE+60% SAR +1%F2	
5,142	4,983	4,654	4,425	3,746	2,981	2,796	2,796	0	40%SDE+60% SAR +1.5%F2	

جدول نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل للعينات 40%SDE+60%SAA بـ (%)

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام	العيبة
8,295	8,205	8,025	57,84	7,754	7,664	6,281	5,951	0	40%SDE+60% SAA	
5,624	5,624	5,54	5,376	15,21	5,155	55,04	85,01	0	40%SDE+60% SAA+1%F1	
5,073	4,960	4,798	4,717	4,636	14,6	32,72	2,534	0	40%SDE+60% SAA+1.5%F1	
5,546	5,465	45,30	5,223	5,142	5,088	83,87	3,500	0	40%SDE+60% SAA+1%F2	
5,128	5,047	4,967	4,886	4,806	4,725	54,13	3,248	0	40%SDE+60% SAA+1.5%F2	

* مقارنة مختلف نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل المختلفة :
جدول نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل المختلفة بـ (%):

180	90	60	35	28	21	14	7	0	الأيام العينة
6,875	6,697	6,573	6,430	6,163	4,275	4,097	3,883	0	100% SDE
8,617	8,440	8,264	8,140	8,087	5,205	5,146	5,117	0	40% SDE+60% SAR
8,295	8,205	8,025	57,84	7,754	7,664	6,281	5,951	0	40% SDE+60% SAA

جدول نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل للعينات 100% SD بـ (%)

نسبة التغير في الكتلة	الكتلة بعد الغمر (g)	الكتلة عند الغمر (g)	
2,73	549	564	SD%100
3,01	597	615	SD+1%F1%100
3,82	602	625	SD+1.5%F1%100
3,32	602	622	SD+1%F2%100
4,30	604	630	SD+1.5%F2%100

جدول نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل للعينات 40% SDE+60% SAR بـ (%)

نسبة التغير في الكتلة	الكتلة بعد الغمر (g)	الكتلة عند الغمر (g)	
3,07	553	570	40% SDE+60% SAR
4,07	590	614	40% SDE+60% SAR +1% F1
4,38	594	620	40% SDE+60% SAR +1.5% F1
4,22	593	618	40% SDE+60% SAR +1% F2
5,5	600	633	40% SDE+60% SAR +1.5% F2

جدول يوضح نتائج تغير الكتلة لخرسانة الرمل للعينات 40% SDE+60% SAA بـ (%)

نسبة التغير في الكتلة	الكتلة بعد الغمر (g)	الكتلة عند الغمر (g)	
3,24	555	573	40% SDE+60% SAA
3,36	595	615	40% SDE+60% SAA+1% F1
5,90	593	628	40% SDE+60% SAA+1.5% F1
4,03	595	619	40% SDE+60% SAA+1% F2
6,01	599	635	40% SDE+60% SAA+1.5% F2

* نتائج تجربة امتصاص الماء المتعلقة بالوزن والزمن:

بالنسبة لعينات رمل الكثبان:

جدول نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في الهواء

4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	
4,89	4,77	3,72	3,1	2,73	1,61	1,3	1,24	0,74	0	100%SDE
3,9	3,9	3,05	2,46	2,12	1,27	1,02	0,85	0,76	0	100%SDE+1%F1
3,34	3,01	2,84	2	1,67	1,34	1,17	1,17	1	0	100%SDE+1.5%F1
2,69	2,57	2,51	1,77	1,41	0,86	0,92	0,79	0,61	0	100%SDE+1%F2
2,93	2,66	2,22	1,77	1,42	1,06	0,89	0,71	0,53	0	100%SDE+1.5%F2

جدول نسبة امتصاص الماء في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في المحلول :

4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	
3,78	3,6	3,42	3	2,76	2,58	2,04	1,56	1,44	0	100%SDE
3,65	3,48	3,03	2,66	2,3	1,92	1,5	1,12	0,9	0	100%SDE+1%F1
3,25	2,96	2,63	2,46	2,3	1,97	1,74	1,69	1,42	0	100%SDE+1.5%F1
3,63	3,4	3,08	2,59	2,11	1,94	1,78	1,46	0,81	0	100%SDE+1%F2
3,21	3,04	2,7	2,53	2,36	2,2	1,86	1,69	1,52	0	100%SDE+1.5%F2

بالنسبة لعينات رمل واد الرتم:

جدول نسبة امتصاص الماء لعينات خرسانة رمل الكثبان و واد الرتم المحفوظة في الهواء:

4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	
3,76	3,6	3,27	2,95	2,46	2,13	1,8	1,8	1,31	0	60% SAR+40% SDE
2,8	2,8	2,62	2,1	1,75	1,4	1,4	1,22	1,05	0	60% SAR+40% SDE+1% F1
3,36	3,2	2,85	2,79	2,44	1,63	1,45	1,28	0,76	0	60% SAR+40% SDE+1.5% F1
2,71	2,6	2,54	2,12	1,77	1,42	1,24	1,06	1	0	60% SAR+40% SDE+1% F2
3,25	2,91	2,91	1,71	1,37	0,68	0,51	0,51	0,51	0	60% SAR+40% SDE+1.5% F2

جدول نسبة امتصاص الماء لعينات خرسانة رمل الكثبان و واد الرتم المحفوظة في المحلول:

4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	
2,84	2,618	2,618	2,36	1,683	1,0586	1	0,623	0,436	0	60% SAR+40% SDE
2,75	2,42	2,31	2,14	1,85	1,81	1,47	1,21	0,824	0	60% SAR+40% SDE+1% F1
2,67	2,45	2,29	2,13	1,85	1,64	1,31	1,09	0,928	0	60% SAR+40% SDE+1.5% F1
2,69	2,51	2,34	2,16	1,81	1,46	1,11	0,99	0,817	0	60% SAR+40% SDE+1% F2
2,69	2,47	2,41	2,24	2,08	1,96	1,8	1,4	1,178	0	60% SAR+40% SDE+1.5% F2

بالنسبة لعينات رمل عسيلة:

جدول نسبة امتصاص الماء لعينات خرسانة رمل الكثبان و رمل عسيلة المحفوظة في الهواء:

4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	الشاهد
3,93	3,82	3,36	2,88	2,34	1,9	1,54	1,67	1,26	0	60% SAA+40% SDE
3,46	3,42	3,01	2,68	2,16	1,82	1,66	1,5	1,02	0	60% SAA+40% SDE+1% F1
3,23	3,05	2,64	2,59	2,25	2,02	1,72	1,52	1,33	0	60% SAA+40% SDE+1.5% F1
2,71	2,57	2,42	2,25	1,94	1,56	1,31	1,09	0,89	0	60% SA+40% SDE+1% F2

2,66	2,48	2,39	2,14	2,01	1,85	1,72	1,39	1,21	0	60%SAA+40%SDE+1.5%F2
جدول نسبة امتصاص الماء لعينات خرسانة رمل الكثبان و رمل عسيلة المحفوظة في المحلول:										
4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	
3,73	3,589	3,16	2,68	2,14	1,79	1,43	1,07	0,89	0	60%SAA+40%SDE
3,35	3,3	2,94	2,61	2,12	1,79	1,63	1,47	0,98	0	60%SAA+40%SDE+1%F1
2,5	2,46	2,13	1,98	1,83	1,71	1,64	1,33	1,02	0	60%SAA+40%SDE+1.5%F1
2,57	2,42	2,16	2,01	1,61	1,26	1,02	0,96	0,8	0	60%SAA+40%SDE+1%F2
2,58	2,417	2,3	2,03	1,92	1,75	1,67	1,32	1,15	0	60%SAA+40%SDE+1.5%F2

المقارنة بين العينات الشاهد والعينات المحفوظة في المحلول :

جدول نسبة امتصاص الماء لعينات الخرسانة المدروسة الشاهد المحفوظة في الهواء و العينات المحفوظة في المحلول :

4320	2880	1440	480	240	60	30	12	6	0	
4,89	4,77	3,72	3,1	2,73	1,61	1,3	1,24	0,74	0	100%SDE
3,78	3,6	3,42	3	2,76	2,58	2,04	1,56	1,44	0	محلول 100%SDE
3,76	3,6	3,27	2,95	2,46	2,13	1,8	1,8	1,31	0	60%SAR+40%SDE
2,84	2,62	2,62	2,36	1,68	1,06	1	0,62	0,44	0	محلول 60%SAR+40%SDE
3,93	3,82	3,36	2,88	2,34	1,9	1,54	1,67	1,26	0	60%SAA+40%SDE
3,73	3,59	3,16	2,68	2,14	1,79	1,43	1,07	0,89	0	محلول 60%SAA+40%SDE

** نتائج تجربة امتصاص الماء المتعلق بالزمن والمساحة:

بالنسبة لعينات رمل الكثبان:

جدول نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في الهواء

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,94	1,89	1,47	1,23	1,08	0,64	0,52	0,49	0,29	0	100%SDE
1,69	1,69	1,33	1,07	0,92	0,55	0,44	0,37	0,33	0	100%SDE+1%F1
1,47	1,33	1,25	0,88	0,74	0,59	0,52	0,52	0,44	0	100%SDE+1.5%F1
1,08	1,03	1,01	0,71	0,56	0,34	0,37	0,32	0,25	0	100%SDE+1%F2
1,22	1,1	0,92	0,74	0,59	0,44	0,37	0,29	0,22	0	100%SDE+1.5%F2

جدول نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل الكثبان المحفوظة في المحلول

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,55	1,47	1,4	1,23	1,13	1,06	0,83	0,64	0,59	0	100%SDE
1,61	1,54	1,33	1,18	1,03	0,85	0,66	0,49	0,4	0	100%SDE+1%F1
1,46	1,33	1,18	1,1	1,03	0,88	0,78	0,76	0,64	0	100%SDE+1.5%F1
1,65	1,55	1,4	1,18	0,96	0,88	0,81	0,66	0,37	0	100%SDE+1%F2
1,4	1,33	1,18	1,1	1,03	0,96	0,81	0,74	0,66	0	100%SDE+1.5%F2

بالنسبة لعينات رمل واد الرتم:

جدول نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل واد الرتم المحفوظة في الهواء

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,48	1,42	1,29	1,16	0,97	0,84	0,71	0,71	0,52	0	60%SAR+40%SDE
1,49	1,18	1,1	0,88	0,74	0,59	0,59	0,52	0,44	0	60%SAR+40%SDE+1%F1
1,42	1,35	1,2	1,18	1,03	0,69	0,61	0,54	0,32	0	60%SAR+40%SDE+1.5%F1
1,13	1,08	1,06	0,88	0,74	0,59	0,52	0,44	0,42	0	60%SAR+40%SDE+1%F2
1,4	1,25	1,25	0,74	0,59	0,29	0,22	0,22	0,22	0	60%SAR+40%SDE+1.5%F2

جدول نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل واد الرتم المحفوظة في المحلول

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,28	1,18	1,18	1,06	0,76	0,48	0,45	0,28	0,2	0	60% SAR+40% SDE
1,1	0,97	0,93	0,86	0,74	0,73	0,59	0,49	0,33	0	60% SAR+40% SDE+1% F1
1,2	1,1	1,03	0,96	0,83	0,74	0,59	0,49	0,42	0	60% SAR+40% SDE+1.5% F1
1,13	1,06	0,98	0,91	0,76	0,61	0,47	0,42	0,34	0	60% SAR+40% SDE+1% F2
1,18	1,08	1,06	0,98	0,91	0,86	0,79	0,61	0,52	0	60% SAR+40% SDE+1.5% F2

بالنسبة لعينات رمل عسيلة:

جدول نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل عسيلة المحفوظة في الهواء

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,68	1,63	1,44	1,23	1	0,81	0,66	0,71	0,54	0	60% SAA+40% SDE
1,49	1,47	1,3	1,15	0,93	0,78	0,72	0,65	0,44	0	60% SAA+40% SDE+1% F1
1,4	1,33	1,15	1,13	0,98	0,88	0,75	0,66	0,58	0	60% SAA+40% SDE+1.5% F1
1,17	1,11	1,05	0,97	0,84	0,68	0,57	0,47	0,39	0	60% SA+40% SDE+1% F2
1,16	1,08	1,04	0,93	0,88	0,81	0,75	0,6	0,53	0	60% SAA+40% SDE+1.5% F2

جدول نسبة امتصاص الماء حسب المساحة في عينات خرسانة رمل عسيلة المحفوظة في المحلول

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,54	1,48	1,30	1,1	0,88	0,74	0,59	0,44	0,37	0	60% SAA+40% SDE
1,51	91,4	1,33	1,18	0,96	0,81	0,74	0,66	0,44	0	60% SAA+40% SDE+1% F1
1,12	11,1	0,96	0,89	0,82	0,77	0,74	0,6	0,46	0	60% SAA+40% SDE+1.5% F1
1,08	21,0	0,91	0,85	0,68	0,53	0,43	0,41	0,34	0	60% SA+40% SDE+1% F2
1,14	71,0	1,02	0,9	0,85	0,77	0,74	0,58	0,51	0	60% SAA+40% SDE+1.5% F2

المقارنة بين العينات الشاهد والعينات المحفوظة في المحلول :

جدول نسبة امتصاص الماء لعينات الخرسانة المدروسة الشاهد المحفوظة في الهواء و العينات المحفوظة في المحلول :

8,49	6,93	4,9	2,83	2	1	0,71	0,45	0,32	0	الجذر التربيعي للزمن (\sqrt{h})
1,94	1,89	1,47	1,23	1,08	0,64	0,52	0,49	0,29	0	100% SDE
1,55	1,47	1,4	1,23	1,13	1,06	0,83	0,64	0,59	0	100% SDE محلول
1,48	1,42	1,29	1,16	0,97	0,84	0,71	0,71	0,52	0	60% SAR+40% SDE
1,28	1,18	1,18	1,06	0,76	0,48	0,45	0,28	0,2	0	60% SAR+40% SDE محلول
1,68	1,63	1,44	1,23	1	0,81	0,66	0,71	0,54	0	60% SAA+40% SDE
1,54	1,48	1,3	1,1	0,88	0,74	0,59	0,44	0,37		60% SAA+40% SDE محلول

المقاومة الميكانيكية :

مقاومة الانحناء :

جدول نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل

180	90	60	28	0	
4,51	4,47	4,38	3,75	0	%100SDE
5,9	5,82	5,76	4,71	0	%40SDE+60% SAR
6,18	6,04	5,96	4,92	0	%40SDE+SAA60%

جدول مقارنة نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة رمل الكثبان المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

180	90	60	28	
4,51	4,47	4,38	3,75	%100SDE
4,44	4,42	4,35	3,75	محلول %100SDE

جدول مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات 60% SAR+%40SDE المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

180	90	60	28	
5,9	5,82	5,76	4,71	%40SDE+60% SAR
5,9	5,76	5,7	4,71	محلول %40SDE+60% SAR

جدول مقارنة نتائج مقاومة الانحناء للعينات %40SDE+60% SAA المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

180	90	60	28	
6,18	6,04	5,96	4,92	%40SDE+60% SAA
6,03	5,98	5,9	4,92	محلول %40 SDE+60% SAA

جدول نتائج مقاومة الانحناء لكافة خرسانات الرمل المدروسة المغمورة داخل المحلول:

180	90	60	28	
4,44	4,42	4,35	3,75	%100SDE
4,75	4,73	4,58	4,41	%100SDE+1%F1
4,82	4,78	4,69	4,53	%100SDE+1.5%F1
4,65	4,61	4,57	4,31	%100SDE+1%F2
5,2	5,13	5,05	4,51	%100SDE+1.5%F2
5,9	5,76	5,7	4,71	%40SDE+SAR60%
6,39	6,29	6,16	5,08	%40SDE+SAR60%+1%F1
7,27	7,25	7,2	6,6	%40SDE+SAR60%+1.5%F1
6,28	6,24	6,12	4,91	%40SDE+SAR60%+1%F2
6,49	6,48	6,39	5,28	%40SDE+SAR60%+1.5%F2
6,03	5,98	5,9	4,92	%40SDE+SAA60%
6,47	6,44	6,37	5,54	%40SDE+SAA60%+1%F1
7,9	7,88	7,85	6,82	%40SDE+SAA60%+1.5%F1
6,43	6,39	6,35	5,44	%40SDE+SAA60%+1%F2
6,76	6,7	6,6	5,63	%40SDE+SAA60%+1.5%F2

* مقاومة الضغط :

جدول نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المغمورة في المحلول حسب تركيبة الرمل

180	90	60	28	0	
16.32	16.17	15.91	14.31	0	%100SDE
18.92	18.87	18.70	17.62	0	%40SDE+60%SAR
19.2	18.92	18.83	17.82	0	%40SDE+SAA60%

جدول مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات رمل الكثبان SDE100% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

180	90	60	28	
16.41	16.28	16.02	14.31	100%SDE
16.32	16.17	15.91	14.31	محلول 100%SDE

جدول مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات SAR+60% SDE+40% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

180	90	60	28	
19.03	18.93	18.8	17.62	%40SDE+60%SAR
18.92	18.87	18.7	17.62	%40SDE+60%SAR(محلول)

جدول مقارنة نتائج مقاومة الضغط للعينات SAR+60% SDE+40% المحفوظة داخل المحلول مع الشاهد

180	90	60	28	
19.34	19.04	18.89	17.82	%40SDE+60%SAA
19.2	18.92	18.83	17.82	%40SDE+60%SAA(محلول)

جدول نتائج مقاومة الضغط لكافة خرسانات الرمل المدروسة

180	90	60	28	0	
16.32	16.17	15.91	14.31	0	%100SDE
17.38	17.31	17.15	15.12	0	%100SDE+1%F1
18.16	18.09	17.98	16.38	0	%100SDE+1.5%F1
18.81	18.4	18.3	17.58	0	%100SDE+1%F2
20.23	20.21	20.1	17.83	0	%100SDE+1.5%F2
18.92	18.87	18.7	17.62	0	%40SDE+SAR60%
18.94	18.84	18.76	18.44	0	%40SDE+SAR60%+1%F1
19.42	19.21	19.08	18.72	0	%40SDE+SAR60%+1.5%F1
20.68	19.64	19.52	19.25	0	%40SDE+SAR60%+1%F2
22.7	22.47	22.41	21.4	0	%40SDE+SAR60%+1.5%F2
19.2	18.92	18.83	17.82	0	%40SDE+SAA60%
20.02	19.61	19.34	18.62	0	%40SDE+SAA60%+1%F1
20.58	19.68	19.58	18.85	0	%40SDE+SAA60%+1.5%F1
20.23	20.54	20.43	19.96	0	%40SDE+SAA60%+1%F2
23.24	22.91	22.81	21.82	0	%40SDE+SAA60%+1.5%F2



الصورة توضح الطاولة التي تم بها الهز في مخبر جامعة ورقلة.



صورة توضح أشكال القوالب المستعملة .



صورة آلة التحطيم بالانحناء



صورة آلة التحطيم بالضغط



صورة جهاز قياس الإنكماش

CENTRE DE DEVELOPPEMENT
DES TECHNOLOGIES AVANCEES

Cité de 29 Août 1956
B.P. 17 Baba Hassen
18033 Alger

Tel : +213 (0) 21 36 10 18/40
36 10 53 - 36 10 75 - 36 05 71
Fax : +213 (0) 21 36 10 39
Site Web : WWW.CDTA.DZ

Compte BNA N° : 0310859500001137544
AGENCE : CDE GUYANA
Matricule Fiscale : 486020001135001
Article d'imposition : 16530303000



مركز تنمية التكنولوجيات المتطورة

حتر 20 أوت - 1956
بابا حسن - الجزائر

تلسب 17 - بلالهنسن

Alger le: 14/06/2017

FACTURE

FACTURE N° : 81/S.B.C/CDTA/2017
Relative au V/REF : Devis du 14/06/2017.

CLIENT :
MANI Mohamed.

Qté	Désignation	Prix Unitaire	Montant HT
04	DRX	2 500,00	10 000,00

TOTAL HT 10 000,00
TVA 19% 1 900,00
TOTAL TTC 11 900,00

Facture arrêtée à la somme de : Onze mille neuf Dinar Algérien.



Chef de Service Budget et Comptabilité

(Signature)
رئيسة مصلحة الميزانية والمحاسبة

Mode de paiement : Espèces.



SCIMAT

SOCIETE DES CIMENTS DE AIN TOUTA FILIALE DU GROUPE GICA

SPA AU CAPITAL SOCIAL DE 2.250.000 000 DA
CERTIFIEE ISO 9001 :2008 & ISO 14001 :2004

CIMENT POUR TRAVAUX DANS LES MILIEUX FORTEMENT AGRESSIF

CPA-CEM I 42.5 ES

TYPE ET COMPOSITION DU CIMENT

Désignation :

Ciment pour travaux en milieux fortement agressifs.

Identification :

CPA-CEM I 42,5 ES

Composition :

- ✓ Clinker : au moins 97%.
- ✓ Ajouts : la proportion de constitutions secondaires est limitée à 03%.

Conditionnement :

- ✓ Vrac : camion 20T / wagon 50T
- ✓ Sac : de 50 Kg

SPECIFICATIONS MECANQUES ET PHYSIQUES

Le ciment CPA- CEM I 42.5 ES de l'ERCE répond aux exigences de la norme NA 433 :2002

Caractéristiques Physiques :

- ✓ Temps de début de prise mesuré sur pâte pure ≥ 60 minutes.
- ✓ Retrait à 28 jours d'âge sur mortier normal $\leq 1000 \mu\text{m} / \text{m}$.
- ✓ Stabilité mesurée sur éprouvette de pâte pure $\leq 05 \text{ mm}$.

Caractéristiques Mécaniques :

Les résistances mécaniques à la compression font apparaitre une valeur moyenne des résultats à 28 jour voisine de $52,5 \text{ N} / \text{mm}^2$.

Les valeurs limitées garanties sont : $\geq 10,0 \text{ N} / \text{mm}^2$ à 02 jours.
 $\geq 40,0 \text{ N} / \text{mm}^2$ à 28 jours.

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Ciment	SO3 (si C3A ≤ 3%)	≤ 3,5%
	SO3 (si C3A ≤ 5%)	≤ 2,5%
	PAF	≤3,0%
	Rés.Ins	≤0,75%
	MgO	≤4,0%
Clinker	C3A	≤5,0%
	C4AF+2(C3A)	≤20,0%

Emplois Habituels

Le ciment **CPA-CEM I 42,5 ES** est adapté aux travaux en milieux fortement agressif*. Il convient pour :
Travaux de fondation souterrains, d'assainissement, en contact avec sols et eau c
Pour plus de détail se référer à la norme NA 778.

Environnement

Pour préserver notre environnement :

- ✓ Eviter de déverser de ciment en quantité importante dans les égouts et dans les eaux de surface
- ✓ Eviter les envolées de poussières du ciment lors de sa manipulation par l'utilisation de moyen approprié

Sécurité

Le ciment n'est pas classé comme préparation dangereuse néanmoins :

- ✓ Eviter le contact prolongé avec la peau et les yeux.
- ✓ Utiliser des gants, des lunettes appropriées et des masques anti-poussière.

Tenir hors de portée des enfants.

RECOMMANDATION ET CONSEILS D'UTILISATION

Mise en œuvre

- ✓ Pour les travaux sous la pluie, par temps chaud, par grand vent ou par temps de gel utiliser des adjuvants normalisés et appropriés.
- ✓ Les coulées doivent être régulières et continues par couches de faible épaisseur.
- ✓ La hauteur de chute du béton ne doit pas dépasser 1 mètre de hauteur, de façon à éviter toute ségrégation. Au-delà de cette hauteur il est indispensable de prévoir l'utilisation d'une goulotte d'amenée à hauteur convenable, ou d'une cheminée d'alimentation.
- ✓ Adapter la vibration du béton à sa consistance pour obtenir une compacité optimale sans ségrégation
- ✓ Veiller respecter des temps de prise lors de la livraison du béton frais.

Préparation

- ✓ Quelque soit les moyens choisis pour le dosage, (grand seau, petit seau, brouette, etc.), il est impératif qu'ils restent identiques pour chaque ingrédient.
- ✓ Les surfaces destinées à recevoir le mortier ou le béton doivent être bien nettoyées et humidifiées.
- ✓ S'assurer de la propreté des constituants entrant dans le mélange, à savoir le sable et les granulats.
- ✓ S'assurer que l'eau de gâchage est propre, claire et exempte des matières nocives. De préférence utiliser de l'eau potable.
- ✓ Le dosage des différents constituants doit être respecté en fonction des applications.
Le rapport eau/ciment doit être le plus faible possible, compatible avec une bonne rhéologie du béton frais ($E/C \approx 0,5$).

Durcissement

- ✓ Protéger l'ouvrage par temps de gel.
- ✓ Réaliser une cure du béton par arrosage en temps chaud.

Eviter le décoffrage prématuré

Stockage

Pour conserver les propriétés du ciment, le stocker à l'abri des intempéries et notamment l'humidité :

- ✓ Sac : entreposage sur des palettes en bois, la hauteur des sacs déposés ne doit pas dépasser le nombre de 10.
- ✓ Vrac : stockage dans des silos étanches.

Contrôle de la Qualité

La fabrication du ciment **CPA-CEM I 42 .5 ES** par l'ERCE est soumise au contrôle stricte et continu de la qualité. Nos laboratoires exercent en continu ce contrôle de la qualité du produit ainsi que les essais de conformité aux normes en vigueur.