جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية العلوم وعلوم المادة
قسم الري والهندسة المدنية

مذكرة تخرج

لنيل شهادة الماجستير

فرع: الري والهندسة المدنية
تخصص: هندسة المواد
من إعداد: ماني محمد
تحت عنوان:

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

نوقشت في: 2010/11/28

أعضاء اللجنة:

بوقطاية حمزة	أستاذ التعليم العالي	جامعة ورقلة	رئيس
بن طبة محمد الطاهر	أستاذ محاضر	جامعة ورقلة	ممتحن
بوطوطاو جمال	أستاذ محاضر	جامعة ورقلة	ممتحن
كريكر عبد الواحد	أستاذ محاضر	جامعة ورقلة	مؤطر

2011/2010

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

المـــقدمة العـــامـــة

المقـــدمة العـامـــــة

إن تطوير مواد البناء منذ القدم كان الشغل الشاغل ومن المواد التي شاع استعمالها منذ زمن كمادة بناء نجد الخرسانة وهي الخليط المركب من نسب مدروسة من ركام وماء ورابط يربط حبيبات الركام بعضها مع بعض .

يعتبر الركام الهيكل العام لجسم الخرسانة وهو مكون أساسا من حصى ورمل , فالحاجة إليهما هي الحاجة إلى البناء وبما أنهما عناصر غير متجددة في الطبيعة فان جل العالم يعاني من مشكل قلت وجلب هذين المادتين .

أن الرمل المستعمل في الإنشاء أغلبه مجلوب من الوديان أو من شواطئ البحار وهو الرمل الذي تتوفر فيه الشروط المنصوص عليها في علم البناء وهو في تناقص مستمر .

وأمام هذه الندرة من هذه المادة والوفرة الملحوظ التي تقابلها لرمال الكثبان في وطننا عموما وفي الجنوب خصوصا, هناك عدة أبحاث أقيمة على مستوى وطني وعالمي تعنا بدراسة خرسانة الرمل وبالخصوص خرسانة الرمل برمل الكثبان إلا أن هذه الرمال تعاني من مشكل النعومة . والسؤال الذي يطرح نفسه هو ما مدى إمكانية تثمين هذه المادة واستعمالها في البناء وما هي العوامل التي تمكننا من إيجاد حلول لهذا المشكل الذي يعاني منه رمل الكثبان .

وعليه في هذا البحث حاولنا المشاركة في الإجابة على السؤال السابق وذلك باستغلال رمال الكثبان في إنشاء خرسانة الرمل و إضافة 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 .

لأنه حسب عدة أبحاث سابقه تبين أن الخرسانة العادية ضعيفة المقاومة في الأجواء الحارة والجافة كما هو الحال في مناطق الجنوب من وطننا .

وقد قسمنا عملنا هذا الى أربعة فصول تطرقنا في الفصل الأول الى عموميات حول مختلف الألياف المستعملة في تعزيز وتدعيم الخرسانة بصفة عامة والى الألياف المعدنية بصفة خاصة .
وفي الفصل الثاني تطرقنا الى جمع المعلومات حول خرسانة الرمل قصد تحديد الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لهذا المادة والمواد المركبة لها والى معرفة بعض تركيبات هذه خرسانة وخرسانة الرمل المعززة بالألياف.

وما الفصل الثالث فقد عالجنا فيه خصائص المواد المستعمل في هذا البحث وصياغة خرسانة الرمل الشاهد وخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية .

وبالنسبة للفصل الرابع فقد تناولنا فيه مختلف سلوك خرسانة الرمل الشاهد وخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية . من انحناء وشد و دراسة لظاهرة الانكماش .

وفي الأخير نقدم خلاصة عامة على خصائص خرسانة رمل الكثبان ومدى جدوا إدخال رمال الواد والألياف المعدنية عليها وذلك اعتمادا على ما تحصلنا عليه من نتائج .

الفـهـــــــــــرس

الفصل الأول : عموميات حول الألياف

1.I مدخل 1
2.I الخصائص الميكانيكية الألياف 1
3.I مختلف أنواع الألياف المستعملة لتقوية مواد البناء 2
1.3.I ألياف الأميونت 2
2.3.I الألياف الزجاجية 3
3.3.I الألياف الكربونية 3
4.3.I ألياف البوليمار 4
5.3.I الألياف النباتية 5
6.3.I الألياف المعدنية 7
7.3.I ألياف أخرى 12

الفصل الثاني : تركيبة الخرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

1.II مدخل 13
2.II تاريخ خرسانة الرمل 13
3.II استعمالات خرسانة الرمل في العالم 15
1.3.II الإتحاد السوفيتي 15
2.3.II خرسانة الرمل في فرنسا 16
3.3.II خرسانة الرمل في الخليج العربي 16
4.3.II خرسانة الرمل في الشمال الإفريقي 16
4.II مكونات وصياغة خرسانة الرمل 19
1.4.II مدخل 19
2.4.II مبدأ تركيبة الخرسانة 19
5.II مكونات خرسانة الرمل 23
1.5.II الاسمنت 23
2.5.II الرمل 23
3.5.II الماء 25
4.5.II الاضافات : Les adjuvants 25
1.4.5.II دور المميعات او الملدنات 26
5.5.II المواد المضافة (Les ajouts) 26
6.II صياغة خرسانة الرمل : 27
1.6.II مبدأ صياغة خرسانة الرمل 27
2.6.II بعض طرق صياغة خرسانة الرمل : 28
7.II خصائص خرسانة الرمل : 33
1.7.II خصائص خرسانة الرمل قبل التصلب : 33
2.7.II خصائص خرسانة الرمل بعد التصلب : 36
8.II مزايا وميادين استعمال خرسانة الرمل : 45
1.8.II التشغيليةL’ouvrabilité 45
2.8.II نوعية المظهر Qualité d’aspect: 46
3.8.II التجانس و التماسك Homogénéité-Cohésion: 46
4.8.II مصدر محلي للمواد الأولية: 46
9.II الخرسانة المدعمة بالألياف المعدنية : 47

1.9.II نبذة تاريخية عن خرسانة الألياف المعدنية : 47
2.9.II مكونات وصياغة خرسانة الألياف المعدنية : 49
10.II عملية وآلية تحطم خرسانة الألياف : 54
1.10.II العملية الميكانيكية للألياف المعدنية داخل الخرسانة: 54
2.10.II آلية تحطم خرسانة الألياف 54
11.II الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف المعدنية : 56
1.11.II سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط : 56
2.11.II مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط 57
3.11.II سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الشد 58
4.11.II سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الانحناء 58
5.11.II تأثير توجيه الألياف 59
12.II الانكماش والزحف : 60
1.12.II الانكماش : 60
2.12.II الزحف : 64
13.II الديمومة 65
14.II المقاومة ضد الحرائق : 66
الخلاصة : 66

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعمل وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

1.III مدخل 67
2.III خصائص المواد المستعملة 67
1.2.III الرمل 67
III. 2.2 الاسمنت 78
3.2.III: الماء 81
III. 4.2 الألياف 82
III. 3 الخصائص الميكانيكية للألياف المستعملة 82
III. 4 صياغة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف 83
1.4.III صياغة وتحضير الملاط النظامي : 83
2.4.III صياغة خرسانة الرمل العادية (الشاهد) 84
III. 3.4 تجربة التشغيلية 85
4.4.III صياغة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف 86
5.4.III تحضير وشكل العينة : 87
الخلاصة 88

الفصل الرابع : مختلف سلوك الخرسانة المدروسة

1-IV مدخل 90
2-IV طرق التجارب 90
IV- 2- 1 تجربة التحطيم بالانحناء 90
IV- 2- 2 تجربة التحطيم بواسطة الضغط 91
IV- 2-3 تجربة الانكماش 92
IV- 3 نتائج مقاومة الانحناء 93
IV 3-1 تأثير تركيبة الرمل 93

IV 2-3 تأثير الألياف 94
IV- 3-3 مناقشة نتائج مقاومة الانحناء خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية 99
IV- 4 نتائج تجربة الضغط 100
IV - 1-4 تأثير تركيبة الرمل 100
IV - 2-4 تأثير الألياف 101
IV- 3-4 مناقشة نتائج مقاومة الضغط خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية 106
IV 5 نتائج الانكماش 108
IV -5-1 تأثير تركيبة الرمل 108
IV -5-2 تأثير الألياف 108
الخلاصة 116

فهرس الأشكال

الشكل (I .1) أشكال ألياف الحديد 9

الشكل (I .2) يوضح المقاطع العرضية للألياف المعدنية 9

الشكل II.1 تأثير النسبة $\frac{G}{S}$ على خصائص الخرسانة 20

الشكل II .2 تأثير النسبة E/C على المسامية 22

الشكل II .3 تأثير النسبة E/C على مقاومة الانحناء 22

الشكل II .4 تأثير النسبة E/C على مقاومة الضغط 23

الشكل II .5 تأثر المسامية بمعامل النعومة 34

الشكل II .6 تأثير بعد الحبيبات ألأصغري d على مسامية الخرسانة باستعمال حجمين مختلفين D من الرمل 34

الشكل II .7 التراصية بدلالة تركيز الاسمنت 35

الشكل II .8 التشغيلية بدلالة النعومة، تأثير مقدار الدقائق 36

الشكل II .9 الانكماش الكلي 43

الشكل II .10 الزحف الكلي 44

الشكل II .11 منحنى توزيع المسامية بدلالة قطر الفراغات 44

الشكل II .12 منحنى تحديد النسبة S/G المثلى 51

الشكل II .13 منحنى التشغيلية بدلالة نسبة الألياف الفولاذية 52

الشكل II .14 منحنى تأثير نسبة الحبيبات على التشغيلية 54

الشكل II.15 سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط بدلالة الحجم ونوع الألياف 57

الشكل II.16 منحنى التشوه بدلالة الإجهاد للخرسانة لوحدها و الخرسانة بمختلف أطوال الألياف 58

الشكل II. 17 الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1% 62

الشكل II.18 الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5% 62

الشكل II.19 تأثير كمية الألياف على الانكماش 62

الشكل II.20 العلاقة بين الانكماش وضياع وزن العينة 63

الشكل II.21 العلاقة بين الانكماش كمية الألياف 63

الشكل II.22 تأثير طبيعة الألياف على الانكماش 64

الشكل II.23 مختلف تشوهات الضغط لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1% 65

الشكل II.24 مختلف تشوهات الضغط لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5% 65

الشكل III.1 الأداة المستعملة في تجربة المكافئ الرملي 70

الشكل III.2 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأول 100% رمل الكثبان 72

الشكل III.3 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية 100% رمل طبيعي 73

الشكل III.4 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالث 100% رمل المحاجر 74

الشكل III.5 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة 50% رمل الكثبان +50% رمل طبيعي 75

الشكل III.6 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة 40% رمل الكثبان +60% رمل طبيعي 76

الشكل III.7 تجربة التشغيلية 84

الشكل IV .1 يوضح آلية التحطيم بالانحناء 89

الشكل IV .2 يوضح آلية التحطيم بالضغط 90

الشكل IV-3 يوضح آلة الانكماش 91
الشكلIV.4 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل 93
الشكلIV.5 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 93
الشكل IV.6 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1لمختلف تركيبات الرمل 94
الشكلIV.7 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 95
الشكل IV.8 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2لمختلف تركيبات الرمل 95
الشكلIV.9 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمـــل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (SD100%) 96
الشكل IV.10 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (50%SD+50% SA) 97
الشكل IV.11 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD40%+SA60% 97
الشكلIV. 12 منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل 100
الشكلIV.13 منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 101
الشكل IV.14منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1لمختلف تركيبات الرمل 101
الشكلIV.15منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 102
الشكل IV.16منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 102
الشكلIV.17 منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (100%SD) 103
الشكل IV. 18 منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (%SD50%+SA50) 104
الشكل IV.19منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (%SD40%+SA60) 104
الشكلIV.20 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 107
الشكلIV.21 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 108
الشكلIV.22 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 108
الشكلIV.23 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 109
الشكلIV. 24 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 109
الشكلIV.25 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية لمختلف تركيبة رمل الكثبان 110
الشكلIV. 26 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD50%+SA50% 111
الشكلIV.27 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD40%+SA60% 111
الشكلIV .28 بنية خرسانة بالرمل محتوي على حصى 113

قائمة الجداول

جدول I.1 الخصائص الميكانيكية لألياف الأميونت 2
جدول I.2 الخصائص الميكانيكية لألياف الزجاجية 3
جدول I.3 الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية 4
جدول I.4 الخصائص الميكانيكية لألياف البوليمار 5
جدول I.5 الخصائص الفيزيائية لألياف النباتية الأكثر شيوع 6
جدول I.6 الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لبعض لألياف النباتية الأخرى 7
جدول I.7 الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Bekaert 10
جدول I.8 الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Novatex 11
جدول I.9 الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Ruban en fonte 12

الجدول II.1 يوضح صيغة خرسانة الرمل في مصنع بني صاف 18
الجدول II .2 يعطي المقدار الأدنى من الإسمنت بدلالة D 21
الجدول II .3 نتائج تجربة التدرج الحبيبي لبعض المناطق 24
الجدول II .4 نتائج معامل النعومة لبعض المناطق 24
الجدول II .5 نتائج تجربة الكتلة الحجمية و معامل الامتصاص لبعض المناطق 25
الجدول II .6 أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل 32
الجدول II .7 أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل قام بها بعض المغاربة 32
الجدول II .8 يوضح التدرج الحبيبي للرمل المستعمل في تركيبات خرسانة رمل بعض المغاربة 33
الجدول II .9 التراصيه العظمى بدلالة Dmax 35
الجدول II .10 نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات CHAOUCH لخرسارة الرمل 37
الجدول II .11 نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات GUENOUN لخرسارة الرمل 37
الجدول II .12 نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيبات KETTAB لخرسارة الرمل 38
الجدول II .13 نتائج مقاومة الشد لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال CHAOUCH 38
الجدول II .14 نتائج مقاومة الشد لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال GUENOUN 39
الجدول II .15 نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخراسانية 40
الجدول II .16 نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال CHAOUCH 40
الجدول II.17 نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال BATATA و NAFA 40
الجدول II .18 أهم أنواع الانكماش 42
الجدول II .19 مكونات بعض خرسانة الألياف المعدنية 50
الجدول II .20 تركيب خرسانة الألياف الحديدية للباحث SWAMY 51
الجدول II .21 مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط 57
الجدول II .22 يوضح مقاومة الانحناء لخرسانة الألياف 59

الجدول III.1 النسب المئوية للمكونات الكيميائية للرمل الطبيعي و رمل الكثبان 68
الجدول III.2 الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة للرمل الطبيعي و رمل الكثبان 69
الجدول III.3 النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء Ab 69
الجدول III.4 النسب المئوية للمكافئ الرملي ES 70
الجدول III.5 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأول 100% رمل الكثبان 72
الجدول III.6 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية 100% رمل طبيعي 73
الجدول III.7 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة 100% رمل المحاجر 74

الجدول III.8 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة 50% رمل الكثبان +50% رمل طبيعي 75
الجدول III.9 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة 40% رمل الكثبان +60% رمل طبيعي 76
الجدول III.10 معيار النعومة لكل عينة 77
الجدول III.11 التحليل الكيميائي للاسمنت 79
الجدول III.12 الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لإسمنت مصنع عين التوتة 80
الجدول III.13 التركيبة الكيمائية للماء المستعمل 81
الجدول III.14 الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف المعدنية المستعملة 83
الجدول III.15 صنف الخرسانة بدلالة التشغيلية 85
الجدول III.16 نتائج تجربة التشغيلية 85
الجدول III.17 تركيبة خرسانة الرمل الشاهد 85
الجدول III.18 تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الأول 100% رمل الكثبان 86
الجدول III.19 تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثانية 50% رمل الكثبان+ 50%رمل طبيعي 86
الجدول III.20 تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثالثة 40% رمل الكثبان+ 60%رمل طبيعي 87
الجدول III. 21 الكتلة الحجمية لخرسانة الألياف المنجزة ب(Kg/m3) 87

الجدول IV. 1 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل 92
الجدول IV. 2 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل. 93
الجدول IV. 3 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 94
الجدول IV. 4 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 94
الجدول IV. 5 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 95
الجدول IV .6 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمـــل للعينة (SD100%) 96
الجدول IV .7 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (50% SD+50% SA) 96
الجدول IV.8 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (40%SD+60%SA) 97
الجدول IV. 9 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل 99
الجدول IV. 10 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 100
الجدول IV. 11 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 101
الجدول IV. 12 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 101
الجدول IV. 13 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 102
الجدول IV .14 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمـــل للعينة (SD100%) 103
الجدول IV. 15 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD50%+SA50% 103
الجدول IV. 16 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD40%+SA60% 104
الجدول IV. 17 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل 107
الجدول IV. 18 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 108

الجدول IV. 19 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل 108
الجدولIV. 20 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 109
الجدول IV. 21 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل 109
الجدولIV .22 نتائج الانكماش لخرسانة الرمـــل للعينة (SD100%) 110
الجدولIV .23 نتائج الانكماش لخرسانة الرمـــل للعينة SD50%+SA50% 110
الجدولIV .24 نتائج الانكماش لخرسانة الرمـــل للعينة SD40%+SA60% 111

الفصل الأول : عموميات حول الألياف

الفصل الأول : عموميات حول الألياف

1.I مدخل :

أصبحت خرسانة الألياف أكثر استعمالا في مجال البناء، ونطلق اسم الخرسانة على الخليط المكون من الماء والركام (الرمل والحصى) والاسمنت بنسب ملائمة. ونسمي خرسانة مسلحة، الخرسانة المضاف إليها كمية من الحديد بغية توازن إجهادات الشد التي لا تستطيع الخرسانة لوحدها مقاومتها، وفي بعض الأحيان نضيف ألياف ذات طبيعة مختلفة التي تعطي خرسانة نصطلح عليها بالخرسانة المقواة. [1]

إن استعمال الألياف كعنصر مقوي داخل تركيبة معينة، يتعلق أساسا بمدى تأقلم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لهذه الأخيرة مع مكونات التركيبة (خرسانة، خرسانة الرمل، ملاط). 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.

إن الدور المرجو من الألياف هو التقليل من الشقوق الناجمة عن القوى الداخلية أو الخارجية، كما أن حديد التسليح يلعب دورا مماثلا حيث يكمن 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 [2].

2.I الخصائص الميكانيكية الألياف :

تعتمد الخصائص الميكانيكية للألياف أساسا على إجهاد الشد ومعامل الليونة والتشوه عند التمزق والديمومة .

إجهاد الشد : ونعني به قوة الشد العمودية على مقطع الليف .

معامل الليونة : ونعني به ما مدى استطالة العنصر عند عملية الشد و نحصل عليه من تجربة الشد (تشوه –إجهاد)

التشوه عند التمزق : ونعني به الاستطالة النهائية لليف بعد تطبيق قوة الشد النهائية عليه .

الديمومة : ونعني به ما مدى مقاومة المادة في أوساط مختلفة وقد تكون عدوانية . [3]

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 .

3.I مختلف أنواع الألياف المستعملة لتقوية مواد البناء :

نذكر من بين الألياف الأكثر استعمالا لتقوية مواد البناء والأشغال العمومية ما يلي:

الألياف البروبيلية والأميونتية والزجاجية والكربونية والنباتية والمعدنية.

1.3.I ألياف الأميونت:

تتكون ألياف الاميونت أساسا من سيليكات الهيدرات المغنزية التي تنسجم تماما مع عجين الاسمنت، ولها مقاومة عالية للشد ومعامل مرونة مرتفع كما هو موضح في الجدول(**1.I**) . لذا فان هذا النوع متواجد بكثرة في الأسواق. لا يستعمل هذا النوع من الألياف لتسليح الملاط او الخرسانة لأنه صعب النشر والخلط وتحتاج لكميات كبيرة من الماء للخلط [4].

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

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

- الخصائص الميكانيكية لألياف الأميونت:

جدول **1.I** الخصائص الميكانيكية لألياف الأميونت [5, 6]:

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

2.3.I الألياف الزجاجية :

الألياف الزجاجية شديدة الهشاشة متواجدة في السوق على شكل ملفوف أو أسلاك مقصوصة. لها مقاومة معتبر للصدمات والحرائق ل ذا فهي تستعمل فتحسين خصائص الخرسانة العادية وكذلك الخرسانة عالية المقاومة . **[7,4]**

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 (**2.I**) بعض خصائص الألياف الزجاجية الأكثر استعمالا :

- الخصائص الميكانيكية لألياف الزجاجية :

- جدول **2.I** الخصائص الميكانيكية لألياف الزجاجية [5] :

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

S : الياف زجاجية مقاومة للقواعد , **R** : الياف زجاجية مقاومة للتأكل , **E :** الياف زجاجية عادية

3.3.I الألياف الكربونية:

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

1 - ألياف كربونية عالية المقاومة H.R.
2 - ألياف ذات مقياس متوسط I.M
3 - ألياف ذات مقياس عالي H.M

تمتاز بمقومتها الكبير للتآكل , شديدة الهشاشة مما يجعل عملية خلطها مع الخرسانة سهلة كما نذكر أن الخرسانة المزودة بهذه الألياف لها ديمومة مهمة جدا مع مقاومة عالية لاجهادات الانحناء والقص وهي تحمي من العيوب التي تسببها الزلازل . **[8,7,5,4]** و الجدول (3.I) يوضح بعض الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية .

- الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية :

جدول **3.I** الخصائص الميكانيكية لألياف الكربونية [7,5]:

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

4.3.I ألياف البوليمار:

في الأصل هي ألياف بلاستيكية وتنقسم الى ثلاث عائلات أساسية :

- **بوليأميد 6.6 (PA6.6)** : ويمثل هذا الصنف أكثر أنواع البلاستيك وله مقاومة ضعيفة ضد الأحماض المعدنية[3].

- **كلوريد الفينيل (PVC) :** وهو عبارة عن مادة ترموبلاستيكية، تنتج من بلمرة كلوريد الفينيل. ولهذا النوع من الألياف مقاومة عالية ضد الأحماض والقواعد[3].

- **بولي بروبيلين (PP) :** وهو عبارة عن مادة ترموبلاستيكية مشكلة من سلسلة خطية مكونة من مكرر البروبيلين له أقطار صغيرة جدا . ولهذا النوع من الألياف كذلك مقاومة عالية ضد الأحماض والقواعد كما يساعد الخرسانة على مقاومة أفعال الجليد وكذا مقاومة الخرسانة للاختراق من طرف المواد الكميائية والمياه ومقاومة الصدمات ونظرا لدقة أقطاره فهو سهل الانتشار داخل الخرسانة مما يكسبها أسطح جيدة[7,3] .

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

وعلى عكس من ذلك، نذكر أيضا أن لهذه الألياف (PP, PVC) 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 [6,4] .والجدول (4.I) يوضح بعض الخصائص الميكانيكية لألياف البوليمار .

- الخصائص الميكانيكية لألياف البوليمار [5]:

جدول **4.I** الخصائص الميكانيكية لألياف البوليمار [5]:

نوع بوليمار	**معامل الليونة E (GPa)**	**مقاومة الشد(MPa)**
PA6.6	3	90
PVC	2.5	50
PP	5	40

5.3.I الألياف النباتية :

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.

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

و يذكر أن الجبس هو أول مادة بناء تم تقويتها باستعمال الألياف النباتية، وأنجزت العديد من المنشئات 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 **[9]** أن الألياف النباتية تعطي نتائج ميكانيكية و فيزيائية حسنة على المدى القريب ومن أهم سلبيات ه ذا النوع من الألياف هو تأكلها في الأوساط الإسمنتية على المدى الطويل .
- وقد لاحظ خنفر **[10]** عندما قام بدراسة ديمومة الاسمنت المدعم بألياف السليلوز وبعد حفظها في أوساط مختلفة أن طاقة الانهيار تتناقص في بعض الأوساط كما أن معامل الليونة و مقاومة الانحناء تتناقص في أوساط أخرى .

أقسام الألياف النباتية:

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

1- **الألياف الورقية** : ويتم الحصول عليها من أوراق الأشجار المتناثرة والنبتات مثل السيزال حيث يتم غسلها وتجفيفها ، وأثبتت بعض الدراسات (AYYAR, NILSSON) مدى فعالية هذا الألياف**[3].**

2- ألياف الجذوع: ويتم الحصول عليها من جذوع النبات كمثال قصبات ديكوني ليدونس وتدعى بنبتات الألياف حيث يوجد الليف تحت اللحاء مباشرة او القشرة الخارجية للقصبة وتتواجد على شكل حزم تعطي القوة والمتانة الى القصبة ، ولها دور كبير في زيادة صلابة الخرسانة.كما يتم تصنيعها على شكل حبال[3].

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

4- ألألياف 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[3].

ونذكر هنا أن الألياف التي يتم الحصول عليها من النخيل والتي تحيط بالجذع تدخل أيضا ضمن هذا النوع من الألياف و الجدول (5.I) يوضح بعض الخصائص الفيزيائية لألياف النباتية الأكثر شيوع .

الخصائص الفيزيائية لألياف النباتية الأكثر شيوع :

جدول **5.I** الخصائص الفيزيائية لألياف النباتية الأكثر شيوع [11,5]:

الليف	**القطر(mm)**	**الكثافة**(g/cm^3)	**نسبة الماء في الحالة الطبيعية (%)**	**امتصاص الماء بعد 5 دقائق(%)**	**امتصاص الماء حتى التشبع(%)**
سيزال	-	1.5	-	-	-
	-	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 و الفيزيائية لبعض لألياف النباتية الأخرى :

جدول **6.I** الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لبعض لألياف النباتية الأخرى[5]:

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

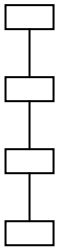
6.3.I الألياف المعدنية :

الألياف المعدنية هي الألياف الأكثر تداولا وبيعا في الأسواق نظرا لتواجدها في أشكال و أبعاد متعددة ومناسبة حسب الحاجة إليها هذه الألياف لها معامل مرونة مقدر بـ 210 (GPa) وكتلة حجميه مقدرة بـ 7.85 (t/m^3) ومقاومة للشد تقدر من 1-2 (GPa) وأطوال تمتد بين 6.4 -76 mm [7].

إن النسبة المئوية الحجميه للألياف المعدنية داخل الخرسانة يتراوح مابين 0.3- 3**(%)**. كما أن التغيير في النسبة المئوية الحجمية لهذه الألياف في الخرسانة والتغيير في طولها وشكلها أتاح المجال للعديد من الدراسات.

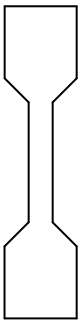
- أشكال ألياف الحديد[7] :

Hocked

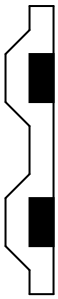


Double Duoforu

Ordinary

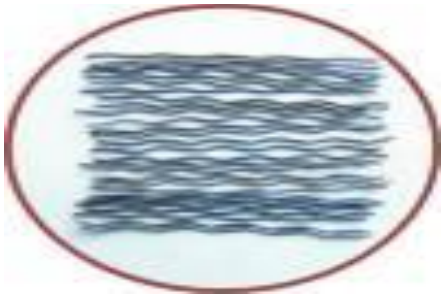


Peddled



Indented

Attaight

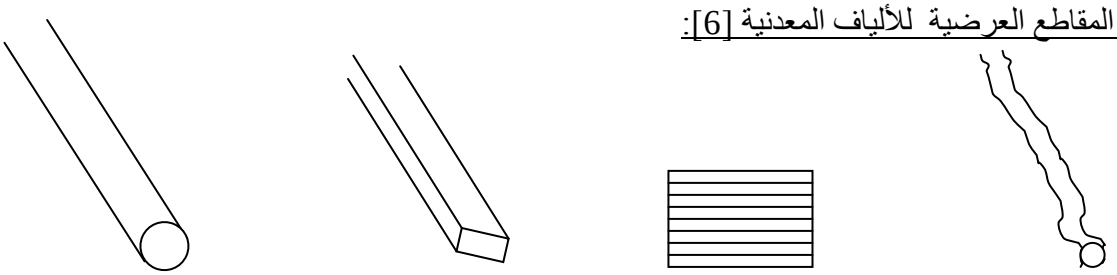


Irregular

Enlarged ends

الشكل (I .1) أشكال ألياف الحديد

- المقاطع العرضية للألياف المعدنية [6]:



الشكل**I .2** يوضح المقاطع العرضية للألياف المعدنية [6]

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 الايجابيات أسس لإنجاز : السطوح والمنشئات 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 أنوع هذه الألياف المعدنية مختلفة الشكل والحالة السطحية. **[12]**
وهنا نذكر أنواع الألياف المعدنية الأكثر استعمالا:

1.6.3.I 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 **[6,4]** .

2.6.3.I 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 **[6,4]** .

3.6.3.I الألياف Dramix :

هذه الألياف المتشابكة فيما بينها تمت صناعتها 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 **[6,4]**.و الجدول (**7.I**) يوضح الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Bekaert

الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Bekaert:

جدول **7.I** الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Bekaert **[6,4]**:

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

4.6.3.I 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 **[6,4]**.

5.6.3.I الألياف Novatex :

صمم هذا النوع من الألياف المعدنية للتقوية عناصر الخرسانة ثلاثية الأبعاد. ولهذا النوع أيضا إنتشار جيد داخل التركيبة الخراسانية مما يجعلها سهلة التحضير والخلط.

تصنع هذه الألياف فقط من الحديد ذو المقاومة العالية**[6,4]**. وكما تتميز أشكالها بما يلي :

- سهولة الانتشار في تركيبة الخرسانة.
- تعطي تلاحم مميز مع الخرسانة.
- لا تغير من الخصائص الانسيابية للخرسانة.
- تأخذ نفس اتجاه التلبيس بحيث لا تظهر على السطح.

و الجدول (**8.I) يوضح** الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Novatex .

الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Novatex.

جدول **8.I** الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Novatex **[6,4]**:

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

6.6.3.I الألياف Pont-à-Mousson (غير متبلورة):

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

إن تحضير هذا النوع من الألياف لا يسبب مشكل بالنسبة للخرسانة إذا كان تركيزه أقل من 0.75 %. ويمكن أن تصل نسبة الألياف إلى 1% في خرسانة الرمل **[6,4] و** الجدول (**I. 9**) يوضح الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Ruban en fonte .

.الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Ruban en fonte

جدول **9.I** الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية لألياف Ruban en fonte **[6,4]**:

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

7.3.I 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. **[5]**

الخلاصة :

هناك العديد من أنواع الألياف المستعمل في مجال البناء وهي مقسمة الى قسمين كبيرين : طبيعية (كالنباتية والحيوانية) وصناعية (كالمعدنية و الكربونية) .

- تختلف خصائصها حسب المصدر من ناحية وحسب الحاجة إليها من ناحية أخرى .
- تتواجد الألياف بأشكال هندسية مختلف فمنها المتموج ومنها ذي العكفات وأخر بشكل ابري وأخرى بشكل صفحت .
- منها الطويل والقصير ومنها ذي السمك المعبر عنه بالماكروماتر ومنها ما يقاس بالسنتمتر .
- عموما ألألياف النباتية تحسن من الخصائص الميكانيكية للخرسانة على المدى القصير ولكنها تعاني من مشكل الديمومة .
- يختلف تأثير ألألياف على خصائص الخرسانة حسب مادة صنع ه ذه ألألياف فمنها المقاوم للأحماض ومنها المقاوم للقواعد ...الخ .

الفصل الثاني : تركيبة الخرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

الفصل الثاني : تركيبة خرسانة الرمل وخرسانة الألياف المعدنية

II .1 مدخل :

تعتبر كمية رمل الكثبان الكبيرة المتواجدة في وطننا مادة سهلة الحصول ولكن يبقى مجال استعمالها محدود 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 داخلة في تركيبة الاسمنت، وقد تحصلوا على الكثير من النتائج المرضية. [13]

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 أقل للاسمنت 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.

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 أهما : الألياف الزجاجية والمعدنية والكربونية.

تعتبر عملية مزج الألياف مع خرسانة الرمل أو الملاط إجراءا 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 منشئات من الخرسانة أو الملاط أكثر ديمومة.

إن خرسانة الألياف فتحت منذ العديد من السنين مجال أبحاث جدية 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 [14].

II.2 تاريخ خرسانة الرمل:

تعتبر خرسانة الرمل أقدم من الخرسانة العادية حسب POITEVIN، حيث ذكر أن أصل خرسانة الرمل يعود إلى السنوات 1850 – 1875 تحت اسم (الخرسانة المتكتلة Béton Aggloméré) والمتكونة أساسا من الرمل والماء والاسمنت. [15]

في سنة 1853 قام المهندس الفرنسي COIGNT بإنجاز بنايات اقتصادية بخرسانة تراكم (Béton Agglomére) التي تعتبر أصل خرسانة الرمل والتي تتكون من خليط بدون حجارة،من رمل رماد بركاني لمسحوق الفحم و تربة غضارية محروقة و جير طبيعي وماء .هذه الخرسانة استعملت في عدة إنجازات من بينها منزل كبير من خرسانة مقولبة رقم 72 شارع شارل ميشال في باريس.

وقد ذكر POITEVIN أيضا 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) [15].

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

الصورة 1.II منارة بور سعيد [15]

وقد نقل POITEVIN تقنيته إلى الولايات المتحدة الأمريكية حيث أنجز بين سنتي 1871 و 1872 جسر بخرسانة الرمل ببروكلين. [15]

وخلال عشرية 1970 - 1980 قلصت السلطات العمومية الفرنسية من رخص استغلال مواقع استخراج الحصى في مجاري الأنهار و بسبب مشاكل بيئية عويصة ناتجة عن استخراج الحصى و كذلك لأن رمل المحاجر موجود بكميات كبيرة وزائدة عن الحاجة، لهذا ظهرت الحاجة لخرسانة تقلص من استعمال الحصى وتستهلك

الكميات الزائدة من الرمل ألا وهي خرسانة الرمل التي لها بعض الخصائص المماثلة للخرسانة. التقليدية، مما أدى إلى بروز مشروع سابلوكريت (Sablocrete) في بداية التسعينات [16].

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

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

3.II استعمالات خرسانة الرمل في العالم :

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

1.3.II الإتحاد السوفيتي :

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

ولقد قام NICOLAS DE ROCHEFIELD سنة 1918 بتجربة سحق خليط من الرمل و الكلينكر بنسبة متساوية و بعد ذلك كون بها خلطة خراسانية مكونة بنسبة 1 من المسحوق و 3 من الرمل ، وكانت مقاومة هذه الخرسانة مساوية لمقاومة خرسانة الرمل المكونة من 2/3 رمل و 3/1 إسمنت. ولقد قام ROBINDER سنة 1954 بتطوير هذه التجربة حيث اقترح سحق جزء من الرمل مع الاسمنت ثم الهز أثناء عملية الصب مما يؤدي إلى الحصول على خرسانة عالية الكتامة وذات تجانس أعظمي[15].

والصورة (**2. II**) توضح ميترو الأنفاق (Saint-Petersbourg) الذي استعمل فيه طبقة رقيقة من خرسانة الرمل مسبقة الصنع.

الصورة 2.II ميترو الأنفاق (Saint-Petersbourg) [15]

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

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

2.3.II خرسانة الرمل في فرنسا :

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

لكن بخلاف تجارب الاتحاد السوفيتي التي استدعت سحق الرمل من أجل الحصول على خرسانة ذات كتامة ومقاومة عاليتين

فإن التجارب في فرنسا كان هدفها تصحيح التدرج الحبيبي للرمل وذلك بإضافة بعض المحسنات (Filler).

ونتيجة لهذه التجارب تم صدور مستندات وتوصيات من طرف مراكز وجمعيات علمية (CEBTP, LCPC) كانت قاعدة انطلاق أبحاث هدفها تطوير الاستعمال الأمثل للرمل في الخرسانة. ومن ثم تم إنجاز العديد من المنشآت من طرقات وعمارات تجريبية بين 1989 و 1993[15].

3.3.II خرسانة الرمل في الخليج العربي:

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

استخدمت خرسانة الرمل في هذه المناطق في إنجاز الأساسات والجدران الساندة والأسقف. مع العلم أنه كان مثل الملاط حيث كان المقدار الحجمي S/C يساوي 3/1، وكثافته حوالي 2.15. ولم يتم الانتباه إلى التشققات الكبيرة الناتجة إلا بمقارناتها بالخرسانة العادية الموضوعة والمنجزة في نفس الشروط [15].

4.3.II خرسانة الرمل في الشمال الإفريقي :

الجزائر : في الجزائر قدر الطلب على الحصباء خاصة من قطاع الأشغال العمومية و البناء سنة 2002 بـ 80 مليون m^3 أمام عرض قدر بـ 30 مليون متر مكعب وذلك من أجل إنجاز مشروع الطريق السيار شرق غرب ، وطريق الهضاب العليا و ترميم 10000 كلم من الطرقات سنويا، مما سينتج كميات زائدة عن الحاجة من رمل المحاجر الذي لا يستعمل كثيرا في الخرسانة العادية ، وهذا حسب اليومين الدراسيين لوزارة الأشغال العمومية 22-2002/12/21 حول استغلال أنواع الحصى انطلاقا من المحاجر الصخرية **[16]**.

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

أثبتت الدراسات التجريبية و النظرية التي تمت تحت إشراف منصوري **[16]** 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 و هو رمل البحر الذي يؤدي استعماله إلى مشاكل بيئية عويصة، و بينت الدراسات أن الخصائص الميكانيكية للعوارض المصنوعة بخرسانة الرمل في نفس المستوى مثل العوارض المصنوعة بالخرسانة العادية.نظرا لانطلاق مشاريع تجديد و توسيع شبكة سكك الحديد عبر نواحي عديدة من القطر الوطني مما سيؤدي إلى إنتاج مكثف لهذه العوارض ، لهذا استعمال خرسانة الرمل يمكن أن يؤدي إلى فائدة كبيرة اقتصاديا و بيئيا **[16]**. والصورة (3.II) توضح العوارض بخرسانة الرمل لمصنع بني صاف والجدول (**1.II**) يعطي صيغة خرسانة الرمل في هذا المصنع .

الصورة 3.II العوارض بخرسانة الرمل مصنع بني صاف [16]

الجدول **1.II** يوضح صيغة خرسانة الرمل في مصنع بني صاف **[16]** :

المكونات	الكمية
الاسمنت	Kg/m^3 392
رمل المحاجر	Kg/m^3 1485
الإضافات	**%** 3
الدقائق	Kg/m^3 215
الماء	l/m^3 201

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 GUESSOUM.A و CHAID.A **[17]**.
وقد قام المهندسين الأوليين بدراسة على رمل كثبان لمنطقة الجلفة (صنف 0.63/0مم) الذي أعطى نفاذية مقدرة بـ 45 %.

حيث تحصل على مقاومة مقاربة 100 بار والتي تعتبر ضعيفة. ليأتي بعده المهندسين الثانيين للقيام بتحسين هذه المقاومة بواسطة الإضافات لتصل المقاومة إلى 210 بار في 28 يوما. وقد قام المهندسين الأخيرين بدراسة على الزحف لأعمدة من خرسانة الرمل معرضة لأحمال متفاوتة والتي أعطت نتائج ضعيفة **[17]** .

وفي نفس الصدد وأمام ندرة الحصى قامت عدت جامعات أخرى بدراسات مختلفة حول إيجاد حلول لهذه الظاهرة من ناحية ومحاولة استغلال رمل الكثبان من ناحية أخرى ومن أهمها هذه الدارسات تلك التي قامت بها جامعة

ورقلة وتحت إشراف كريكر عبد الواحد و بن 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 [6] وBENTATA AISSA[18] و BARKAT ABDEREZZAK **[19]** وBOUHNIK BRAHIM [20] .

أما في جامعة بسكرة والمتمثلة في أبحاث السادة : SALHI KAMEL **[21]** حول إمكانية استغلال رمل الكثبان كمحسن للاسمنت او التي قام بها السيد : HACHANA ABDELKRIM **[22]** إذ كان الهدف الرئيسي من خلال دراسته لهذا المشروع هو إظهار مدى إمكانية الاستعمال الجزئي أو الكلي لحبيبات (بقايا الخرسانة و الأجر الناتجة عن الهدم) كبديل للحبيبات الطبيعية في صناعة الخرسانة مما بوادي به الى تعويض جزاء أو كل لحبيبات الحصى النادرة .

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. [6 و 15].

4.II مكونات وصياغة خرسانة الرمل :

1.4.II مدخل:

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

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

2.4.II مبدأ تركيبة الخرسانة:

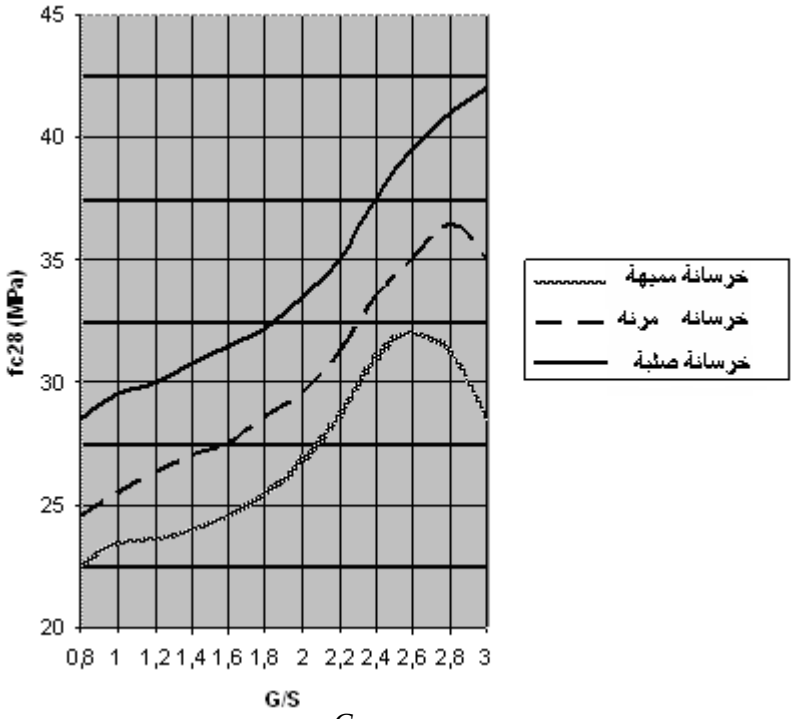
ان الاختلاف الرئيس بين خرسانة الرمل و الخرسانة الكلاسيكية يكمن في اختلاف التركيب الحبيبي إذ ان خرسانة الرمل يجب ان لا يتعد فيها قطر الحبيبات 5 ملم (d≤5 ملم) كما يجب ان لا تتعد النسبة $\frac{G}{S}$ واحد. على عكس الخرسانة العادية التي تستخدم حبيبات من نوع 15/0 و 25/0 و كمية أسمنت تقدر من 250 الى 400 كغ لكل متر مكعب من الخرسانة مع أن النسبة $\frac{G}{S}$ محصورة عموما حسب DREUX بين 2.2 الى 2.8 بالنسبة للخرسانة العادية [6].

$$2 \le \frac{G}{S} \le 2.8 \quad \text{..... (2.1)}$$

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

ان هذه النسبة **G/S** (G كمية الحصى , S كمية الرمل) لها تأثير في التراصية (La compacité) التي تعرف على أنها النسبة الحجمية بين حجم الحبيبات الصلبة Vs على الحجم الكلي Vt $c = \frac{v_s}{v_t}$.

والتي هي من أهم خواص خرسانة الرمل إذ تتعلق مباشرة بالمقاومة .إن مبدأ تحسين التراصية من وجهة نظر التركيب الحبي يخضع لمبدأ بسيط : و هو أن أكبر العناصر تخلق فراغات كبيرة يمكن ملؤها بالرمل ،كما أن فراغات الرمل تملأ بالمواد الدقيقة وهي الإسمنت مع العلم أن الكمية اللازمة من الإسمنت للحصول على تراصية جيدة متطابقة مع الكمية التي تضمن المتانة (في حالة الخرسانة العادية). **[18]** و الشكل 1.II يوضح تأثير النسبة $\frac{G}{S}$ على خصائص الخرسانة :



الشكل **1.II** تأثير النسبة $\frac{G}{S}$ على خصائص الخرسانة **[23]**

لكننا إذا كنا نبحث عن قيمة قطر صغيرة للحبيبات (أقل من 16 مم)، ففي هذه الحالة ومن أجل الحفاظ على تراصية عظمى، فإنه يجب الزيادة في تركيز المواد الدقيقة (الاسمنت). وهذا ما يترجم بعلاقة CHAUVIN التي تنص على مقدار الدقائق معطى حسب استعمال الخرسانة[6]:

$$c = \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

$$c = \frac{700}{\sqrt[5]{D}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

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

الجدول**II .2** يعطي المقدار الأدنى من الإسمنت بدلالة D [15]

النوع	**القطر الأعظمي للرمل D**	**تركيز الاسمنت** $c = \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$	**تركيز الاسمنت** $c = \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$
خرسانة	31.5/0	251	220
	22.5/0	268	375
	16/0	287	400
	8/0	330	460
ملاط	6.3/0	380	480
	3/0	401	560
	1/0	550	700

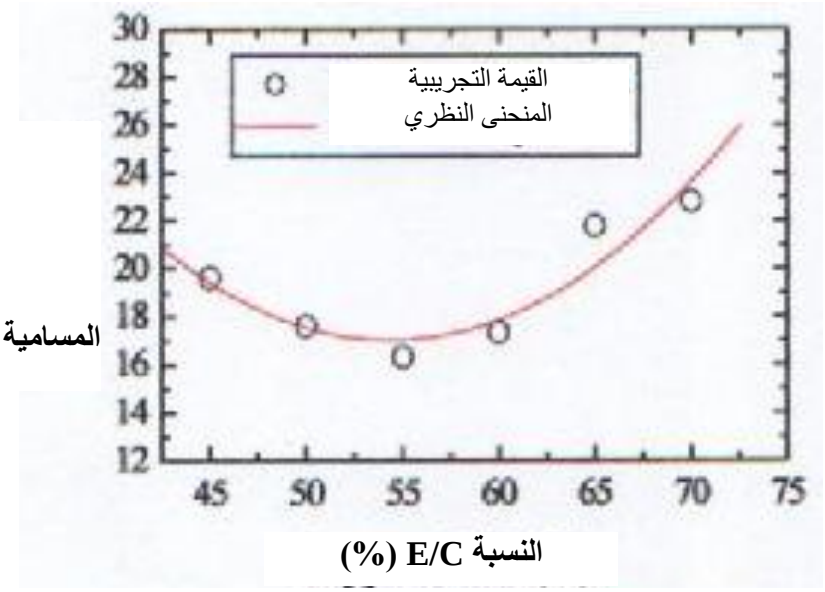
في حالة خرسانة الرمل يحدد امتداد التدرج الحبيبي من الأعلى بـ 5 مم مع غياب الحبيبات الكبيرة. لذلك يظهر جليا أن الخليط (إسمنت + رمل) يعطي مسامية كبيرة مقارنة بالخرسانة العادية، مما يستدعي إدخال إضافات (Filler) لغرض إغلاق المسامات التي تنتج عن الرمل، وبعدها نقوم بضمان صلابة الخليط وذلك بإضافة الاسمنت بتركيز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

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

1. 2.2.4.II تأثير النسبة E/C على المسامية :

قبل الحديث على تأثير النسبة E/C على المسامية يجب معرفة مفهوم المسامية إذ أنها تعرف **[24]** بالنسبة الحجمية بين حجم الفراغات Vv على الحجم الكلي Vt ونكتب $n = \frac{v_v}{v_t}$.

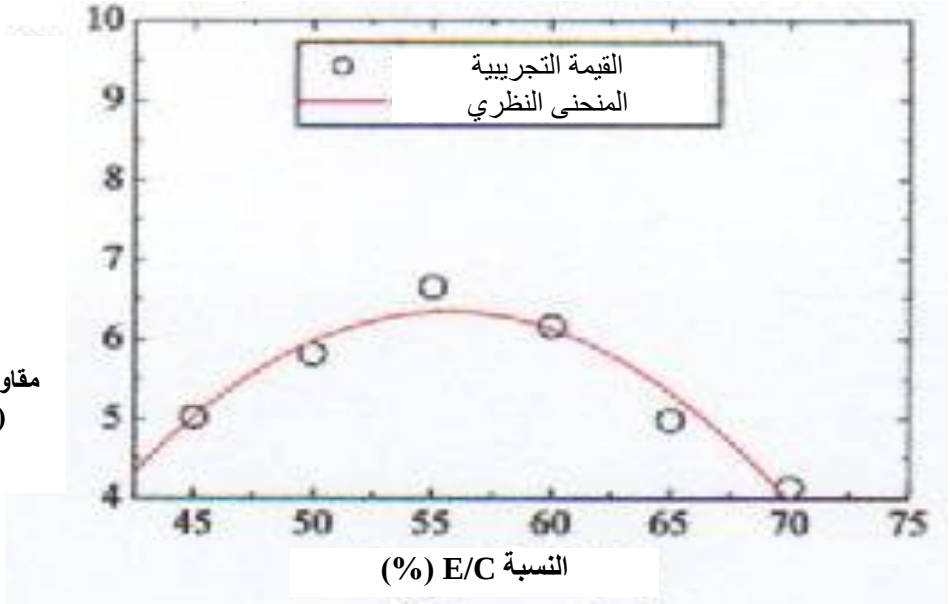
إن النسبة E/C لها تأثير كبيرة على خصائص الخرسانة، ومن ذلك تأثيرها المباشر على المسامية كما أكد هذا السيد: LOGBI ABDELAZIZ **[25]** ،ونذكر مثال على ذلك الدراسة التي قام بها LAYCHI GUELMINE **[26]**والتي تبين أن المسامية تبلغ قيمتها المثلى (الدنيا) عند النسبة E/C تساوي 0.55 ، والتي تكون فيها نسبة الماء وتركيز الاسمنت قد عنيت بدراسة جيدة، حيث أن الزيادة في هذه النسبة، الذي يعني زيادة كمية الماء مخلفة عند خروجها مسامات تكون كثيرة وفي بعض الحالات تكون متصلة ببعضها البعض مما يشكل أخطار مختلفة أهمها دخول عناصر غريبة إلى قلب الخرسانة من ناحية وضعف التراصية من ناحية أخرى. أما نقصان هذه النسبة فينتج عنه عدم التفاعل الكلي لكمية الاسمنت، مما يؤدي إلى عدم تلاحم كل مركبات الخرسانة (الركام)، وهذا يخلف فراغات بين حبيبات هذا الأخير وبالتالي زيادة المسامية والتي ينتج عنها كما ذكرنا ضعف الخصائص الميكانيكية. والمنحنى أدناه يوضح تأثير النسبة E/C على المسامية :



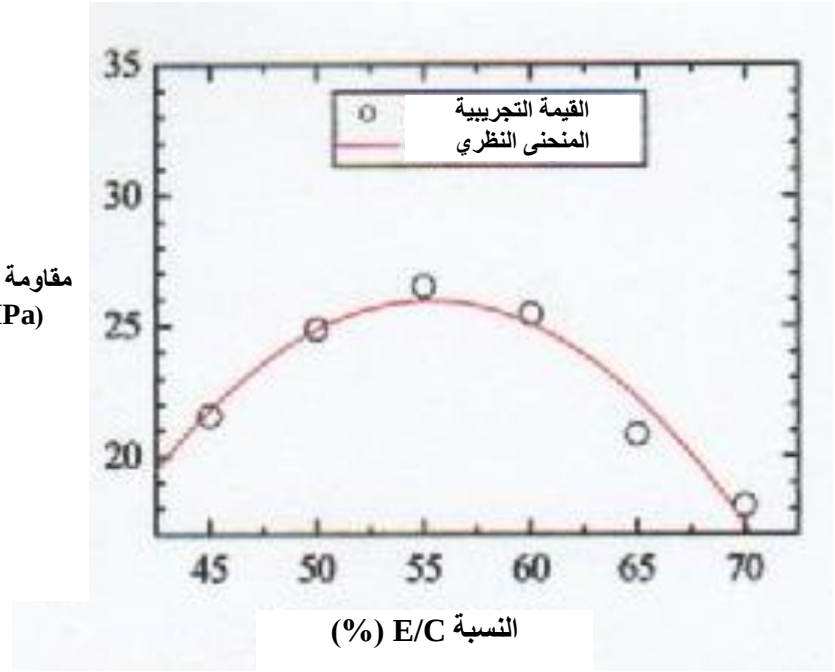
الشكل**II 2.** تأثير النسبة E/C على المسامية **[26]**

II.2.2.4. تأثير النسبة E/C على المقاومة :

يأتي تأثير ه ذه النسبة على المقاومة من كون هذه النسبة عند زيادتها مما يعني زيادة الماء عن الحاجة كما ذكرنا سابقا وعند خروجه يخلف فرغات (مسامات) هذه الأخيرة تؤثر على جسم الخرسانة حيث يكون شبه مجوف وهذا مما يجعله سهل للانضغاط والانكسار **[25]** والمنحنيات التالية توضح مقدار تأثير النسبة E/C على مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء حسب الدراسة التي قام بها **[26]**:



الشكل**II 3.** تأثير النسبة E/C على مقاومة الانحناء **[26]**



الشكل**II .4** تاثير النسبة E/C على مقاومة الضغط **[26]**

وقد لاحظ الكثير من الدارسين أن كل العلاقات و النظريات التي تعرض طرق صياغة الخرسانة تهتم اهتماما بالغا بكمية الماء اللازمة للخلط وكمية الاسمنت المستعملة وبالتالي الاهتمام بالنسبة E/C التي لها التأثير المباشر والكبير على خصائص الخرسانة **[27]**.

5.II مكونات خرسانة الرمل:

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

1.5.II الاسمنت :

إن الاسمنت المستعمل في صناعة خرسانة الرمل يجب أن يكون متوافقا مع القواعد NF P15-301. وتركيز الاسمنت يجب أن يكون مقاربا لتركيزه في الخرسانة العادية (300- 400 Kg/m^3).

وفي العموم فان تركيز خرسانة الرمل من الاسمنت أعلى منه في الخرسانة العادية وهذا ما استنتجه **[15]** لأن تركيز الاسمنت متعلق بقطر الحبيبات .

2.5.II الرمل :

ليس هناك أي شروط وضعت على أصل الرمال المستخدمة في الخرسانة ، سواء كانت رمال الوديان او الكثبان او المحاجر أو المواد المسترجعة من بقايا هدم الطرقات والمباني لاستعمالها كحبيبات حصوية في صناعة الخرسانة, حيث أن نقل هده المواد إلى أماكن التفريغ يطرح عدة مشاكل (تخصيص مساحات التخزين, تكاليف

معتبرة, تشويه للبيئة) لذا يجب إيجاد إمكانية لإعادة تقييم و استعمال هذه البقايا وبالتالي إيجاد مصدر أخر للركام.
من أجل إيجاد أو تكوين خرسانة الرمال، نشير أنه من بين أهم العوامل التي تأخذ بعين الاعتبار عامل النقاوة ، إذ أن استعمال رمال غير نقية ينجم عنه خرسانة ضعيفة المقاومة. **[28,22]** .

ومن الملاحظ أن رمال الكثبان مواد ذات نوعية سيئة في مجالات الإنشاء لأنها غير قابلة للترصيص ولها قدرة حمل ضعيفة ونسبة فراغات كبيرة كما تمتاز حبيباتها بعدم الاستمرار في الغالب واستعمالها سواء مع الروابط الهيدروكربونية (الزفت الصرف, المميع , كوت باك) أو الروابط الهيدروليكية (الاسمنت) يعطي خصائص ميكانيكية ناقصة (الاستقرارية , الترصيص, مقاومة الضغط , مقاومة الشد) لذا تصبح معالجتها ضرورية من أجل تحسين خواصها الميكانيكية وإعطائها استقرارية مرضية **[29]**.

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

- تجربة التدرج الحبيبي التي أعطت النتائج التالية **[29]**:

الجدول **II .3** نتائج تجربة التدرج الحبيبي لبعض المناطق

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

- معامل النعومة الذي أعطى النتائج التالية **[27]**:

الجدول **II .4** 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
لاهوت	1.18
الوادي	1.2

- تجربة الكتلة الحجمية ومعامل الامتصاص التي أعطت النتائج التالية **[27]**:

الجدول **II .5** نتائج تجربة الكتلة الحجمية و معامل 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
لاهوت	2445	0.36
الوادي	2423	0.39

3.5.II الماء :

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

نذكر أن الماء المستخدم في خرسانة الرمل يجب أن يكون متوافقا مع القواعد NF P18-303. وبما أن قطر الحبيبات التي تدخل في تركيب خرسانة الرمل يكون أقل أو يساوي 5 مم، فإن السطوح النوعية تكون أكبر،مما يجعل الخلطة الخراسانية الطازجة جافة جدا وصعبت التشغيل وبالتالي تكون التشغيلية ضعيفة مما يستدعي إضافة كمية أكبر من الماء وهذه الإضافة ستؤثر على الخصائص الميكانيكية الأخرى ، ولهذا يصبح من الضروري الاستعانة ببعض الإضافات والمحسنات للتقليل من قيمة المعامل E/C من أجل رفع المقاومة**[30]**.

- 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.

4.5.II الاضافات : Les adjuvants

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

1.4.5.II دور المميعات او الملدنات :

تعتبر التشغيلية أحد أهم خصائص الخرسانة الطازجة، حيث تتعلق أساسا بتركيز الماء المستخدم **[20]**. ونذكر هنا الآثار السلبية لزيادة نسبة الماء في الخرسانة :

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

أدت هذه السلبيات التي وقفت عائقا أمام الحصول على خرسانة ذات تشغيلية جيدة بالباحثين، منذ زمن قديم، إلى استخدام العناصر الكيمياء العضوية التي تساعد في جعل الخرسانة أكثر تشغيلية وذلك دون التقليل من نسبة الدمك**[30]** .

5.5.II المواد المضافة (Les ajouts):

هي مواد تضاف الى ماء الخلط أوالى الخرسانة مباشرة أثناء أو قبل عملية الخلط تكون في غالبها مشابه في خواصها الفيزيائية و الكيمائية الى الاسمنت وبوجود الماء أي عند اماهتها نحصل تقريبا على نفس نتائج اماهة الاسمنت [16].

1.5.5.II الحشو Filler :

يتواجد هذا النوع من المحسنات على عدة أشكال معدنية وصناعية وطبيعية، حيث يستخدم في سد الفراغات الناجمة عن الرمل في الخرسانة وذلك من أجل الحفاظ على اندماج (Compacité) عالي لهذه الأخيرة عن طريق خلق امتداد حبيبي مستمر. وهذا ما يعطي دفعا إيجابيا من الناحية التقنية، حيث يزيد في مقاومة الخرسانة للشد، ومن الناحية الاقتصادية، حيث يقود إلى التقليل من تركيز الاسمنت في الخلطة الخراسانية **[16]**.

2.5.5.II الحصى الصغير Gravillons :

يستعمل الحصى 0/15 كأحد المحسنات في خرسانة الرمل شريطة أن لا تتجاوز النسبة G/S الواحد، وذلك لغرض التحسين في بعض الخصائص الميكانيكية والانسيابية كالمقاومة والتشغيلية والانكماش الخ **[12]** .

3.5.5.II الألياف Fibres :

ويستعمل هذا النوع من المحسنات كمادة مقوية داخل الخلطة الخراسانية بهدف التحسين من مقاومة الخرسانة للشد والتقليل من ظاهرة الانكماش**[12]**.

6.II صياغة خرسانة الرمل :

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

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

ومن بين أهم أنواع الخرسانة الجديدة ذات التركيبة الخاصة، نذكر خرسانة الرمل (المتميزة بدقة الحصى والانحلالية)، التي تعرف مرحلة تشكيل جد خاصة.

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

1.6.II مبدأ صياغة خرسانة الرمل :

بخلاف الملاط ، تحتوي خرسانة الرمل على تركيز للإسمنت يقارب التركيز الموجود في الخرسانة العادية (من 300 إلى 400 kg/cm^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 $G/S < 1$.

وبفضل تقنية ملء فراغات الرمل بواسطة مواد الحشو الكلسية الأقل من (80 µm)، أصبحت الزيادة في تركيز الاسمنت ممكنة، حيث ساعد ذلك في الحصول على نسبة للتراصية عالية، وذلك بإنشاء امتداد حبيبي مستمر.

وتستعمل عادة مواد الحشو ذات الطابع الكلسي نظرا لمفعولها الجيد تجاه المواد القاعدية. ويستوجب التواجد الكبير للجسيمات الدقيقة إلى استعمال كبير لماء الخلط، مما يستدعي وجود مخفض للماء (Réducteur d'eau) من أجل رفع أداء الخرسانة والتقليل من التشوهات المختلفة.

2.6.II بعض طرق صياغة خرسانة الرمل :

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

- ❖ الخصائص الميكانيكية.
- ❖ التشغيلية.

2.6.II. 1 الطريقة النظرية لصياغة خرسانة الرمل :

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

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

وتعطى علاقة Caquot كما يلي :

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

حيث :

V : حجم الفراغات داخل الخليط الحبيبي.

V_0 : ثابت تجريبي محصور بين 0.7 و 0.8.

d : قطر أصغر حبيبة في الامتداد الحبيبي.

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

وكانت هذه العلاقة بمثابة تغير في مجال صياغة الخرسانة وكانت قاعدة أبحاث لكثير من الباحثين على غرار FAURY و BOLOMEY و DREUX في طرقهم للصياغة الخرسانة العادية. كما استخدمت هذه العلاقة لصياغة خرسانة الرمل من أجل تحديد نسب مختلف المركبات داخل الخلطة مع بعض التغيرات المعتبر لهذه الحالة الخاصة[15].

وفي ما يلي سنعطي طريقة حساب كل تركيز :

*** تركيز الدقائق في خرسانة الرمل :**

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

1. **العناصر الدقيقة :** وهو القسم الذي يحتوي على حبيبات ذات أبعاد أقل من 80 µ m والتي تمثل الاسمنت والإضافات الدقيقة وجزء من الرمل.
2. **العناصر المتبقية :** وهو القسم الذي يحتوي على حبيبات ذات أبعاد محصورة بين 80 µ m و D_{max} والمتمثل في الجزء المتبقي من الرمل زيادة على الإضافات التي يتجاوز قطرها 80 µ m.

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

$$Ps = V = 0.75(0.08 / D_{\max})^{1/5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.5)$$

Ps(V) : مسامية الرمل المحصور بين 80 µ m و D_{max}.

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

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

وعند قيامه ببعض التبسيطات في العلاقة استنتج CAQUOT أن قيمة حجم مجموع العناصر الدقيقة (الأقل من 80 µm) وقيمة حجم الفراغات المترتبة عنها متساويان. وبعبارة أخرى فإن حجم الفراغات المتبقية في الخليط ككل يساوي حجم مجموع الإضافات[15].

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

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

ويتبين من خلال هذه العلاقة أن تركيز الإضافات يتعلق بحجم الحبيبات الكبيرة، ويتضح جليا أنه كلما كان قطر الحبيبات الكبيرة أصغر كلما زاد تركيز الإضافات[15].

*** تركيز الماء في خرسانة الرمل :**

وبعد القيام بتحسين الهيكل الحبيبي، والخلوص إلى أن تراصية جيدة تقود إلى مسامية ضعيفة حيث لا يتأتي ذلك بسهولة، لذلك قام CAQUOT بأبحاث أخرى تتعلق بالتراصية توصل بها إلى صياغة جديدة إنطلاقا من علاقة المسامية السابقة، حيث سلم أن مسامية الهيكل الحبيبي تنقسم إلى مجموع حجم الماء + حجم الفراغات.واصطلح على أن تكون علاقة المسامية كما يلي[15] :

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

e : مجموع حجم الماء.

v : مجموع حجم الفراغات.

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

$$d = (60/(f))mm \times \rho \text{.....(2.8)}$$

f : المساحة السطحية معطاة بـ cm^2/g

ρ : الكتلة الحجمية للعناصر معطاة بـ g/cm^3

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

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

حيث :

k : ثابت محصور بين 0.2 و 0.25[15].

*** تركيز الرمل في خرسانة الرمل :**

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

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

في النهاية بقي أن نشير إلى أن حجم الرمل المحسوب في العلاقة يمثل كل العناصر ذات الأبعاد الأكبر من 80 µm، سواء كانت من الرمل أو من أجزاء الدقائق الإضافية. [15]

II.2.6. 2. الطريقة التجريبية لصياغة خرسانة الرمل :

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

ونستخدم في هذه الطريقة تركيز ثابت للاسمنت. حيث أن هذه الأخيرة مستوحاة من الطريق ـ ة المسماة BARON-LESAGE وأنها تعتمد على خلطات متعددة لحساب التشغيلية بواسطة الجهاز الخاص بها وحساب الكتلة الحجمية الظاهرية[15].

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

مختلف مراحل الصياغة :

II.2.6. 2 .1 صياغة خرسانة الرمل بدون إضافات :

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

*** تركيز الاسمنت :**

يفرض علينا الشرط المهم و الملزم استعمال تركيز أصغري للاسمنت في المتر المكعب للخرسانة وذلك حسب نوع المنشأة المراد بنائها ودرجة خطورة الوسط, ولهذا سنعمل على مدى هذه الدراسة بتركيز ثابت للاسمنت C (Kg/m^3) [15].

*** تركيز الماء :**

وسنكتفي في هذه المرحلة من الصياغة بأخذ قيمة تقريبية لتركيز الماء E (l/m^3) حسب الخبرة فمثلا 220 لتر من الماء من أجل 350 Kg أو 250 لتر من الماء من أجل 400 Kg [15].

*** تركيز الرمل :**

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

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

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

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

*** ضبط التشغيلية ومردود الصياغة:**

بعد الحصول على صياغة خرسانة الرمل وتحديد :

- التشغيلية المقابلة لهذه الصياغة بواسطة جهاز التشغيلية.
- مقدار الكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقة للخرسانة المنجزة.

يجب تصحيح الصياغة بواسطة المعادلة التكرارية التالية :

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

حيث يمثل MVAT و MVAR كل من الكتلة الحجمية الظاهرية النظرية والكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقية على الترتيب[15].

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

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

II.6.2. 2 .2 صياغة خرسانة الرمل باستعمال الإضافات :

وفي هذا الجزء سنقوم بإضافة بعض الدقائق المحسنة والوصول إلى التركيز الأمثل لها، مع الحفاظ على معامل E/C ثابت. من أجل ذلك يجب القيام بعدة خلطات (من 5 إلى 6) تحتوي تراكيز مختلفة من هذه الدقائق المحسنة ولكن دون الخروج على المجال المنصوص عليه لاستعمالها، حيث إن إدخال هذه الدقائق من شأنه الزيادة في تراصية الخرسانة، وذلك بملئها للفراغات. [15]

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

من أجل كل خلطة نقوم بحساب زمن السيلان (للتشغيلية) والكتلة الحجمية الظاهرية الحقيقية MVAR ونقارنها بالكتلة الحجمية الظاهرية النظرية MVAT. وإذا استلزم الأمر نقوم بتصحيح تركيز الرمل بواسطة العلاقة التالية[15] :

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

ويوضح الجدول (**6.II**) بعض الأمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل. **[17,6]** .

الجدول **II .6** أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل

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

و هذه بعض التركيبات لخرسانة الرمل قام بها بعض المغاربة يوضحها الجدول (**II .7**) **[31]**:

الجدول **II .7** أمثلة لتراكيب مختلفة لخرسانة الرمل قام بها بعض المغاربة **[31]**

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

حيث عرف الرمل الدقيق و الخشن بالجدول **8. II**

الجدول II .8 يوضح التدرج الحبيبي للرمل المستعمل في تركيبات خرسانة رمل بعض المغاربة **[31] :**

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

7.II خصائص خرسانة الرمل :

نستطيع تقسيمها الى نوعين من الخصائص قبل وبعد التصلب :

1.7.II خصائص خرسانة الرمل قبل التصلب :

II. 1.1.7 التراصية Compacité :

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

توصل الباحث CAQUOT حسب ما نص عليه **[15]**، بعد إجراء تجارب على خرسانة، إلى علاقة رياضية بين المسامية، داخل كومة حبيبية، تتميز بقطر d للعناصر الدقيقة وقطر D للعناصر الكبيرة (أنظر العلاقة (2.14)):

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

P_0 : ثابت تجريبي.

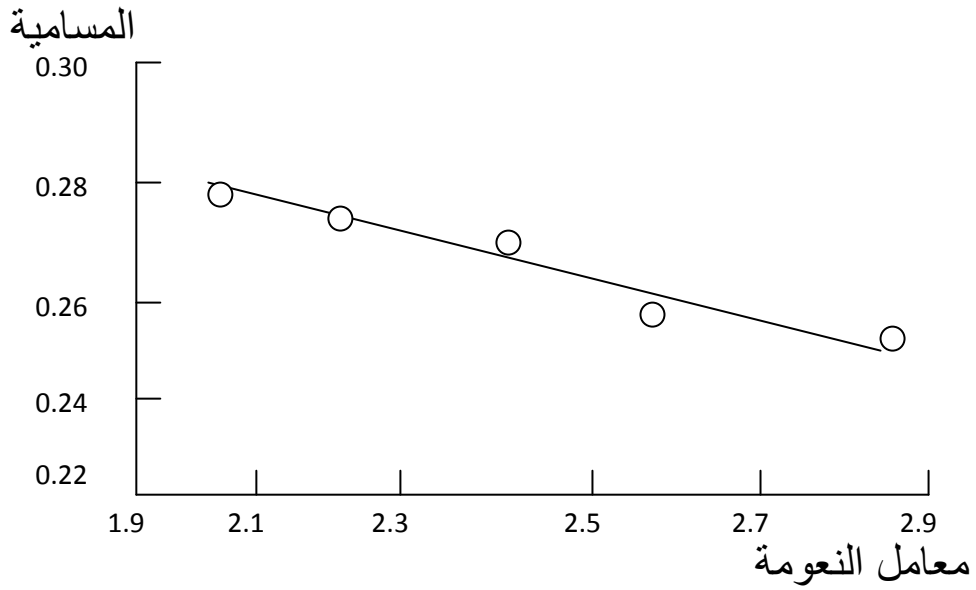
d : قطر العناصر الدقيقة.

D : قطر العناصر الكبيرة.

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

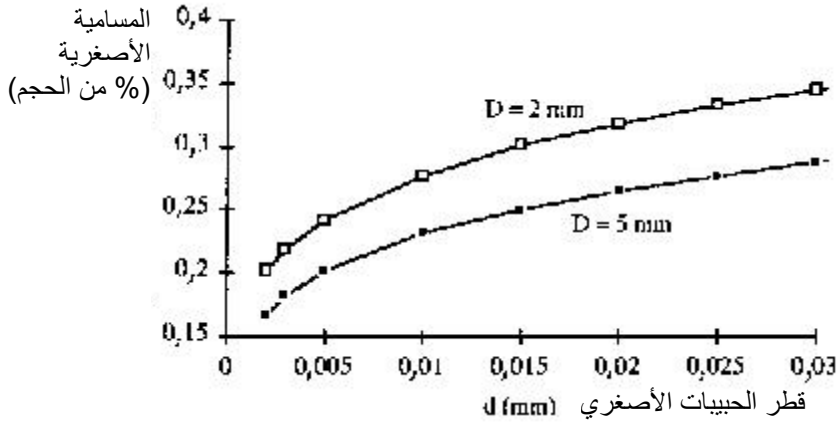
من المعلوم أن قطر الحبيبات في خرسانة الرمل يكون $D \geq 5$ مم ، لذلك فإنه من الواضح أن الخليط، رمل – اسمنت، يكون ذات مسامية عالية مقارنة بخرسانة عادية. حيث تسبب الزيادة في السطوح النوعية في خرسانة الرمل إلى الزيادة في المسامية، أي أنه كلما زاد معامل النعومة (Module de finesse) كلما نقصت المسامية (أنظر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

في ظل هذه الشروط، يصبح من الضروري اللجوء إلى استعمال حشو ذو حبيبات مشابهة لحبيبات الاسمنت، وذلك من أجل سد جزء من فراغات الرمل، بهدف الحد من الزيادة في تركيز الاسمنت **[15,6]**.والمنحنى التالي يوضح تغير المسامية بدلالة معامل النعومة :



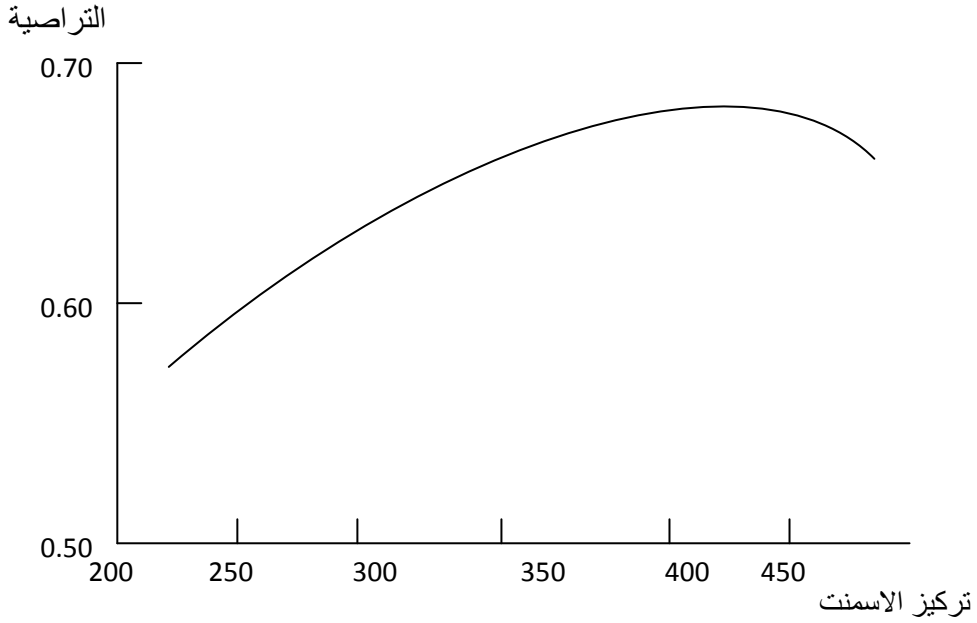
الشكلII .5 تأثر المسامية بمعامل النعومة [6]

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



الشكلII .6 تأثير بعد الحبيبات ألأصغري d على مسامية الخرسانة باستعمال حجمين مختلفين D من الرمل **[15]**

والمنحنى التالي يوضح تغير التراصية بدلالة تركيز الاسمنت **[31]** :



الشكلII .7 التراصية بدلالة تركيز الاسمنت[31]

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

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

الجدول **II .9** التراصيه العظمى بدلالة **Dmax[31]**

القطر الأعظمي	Dmax = 5mm	Dmax = 12.5mm	Dmax = 20mm
التراصيه	0.75	0.79	0.805

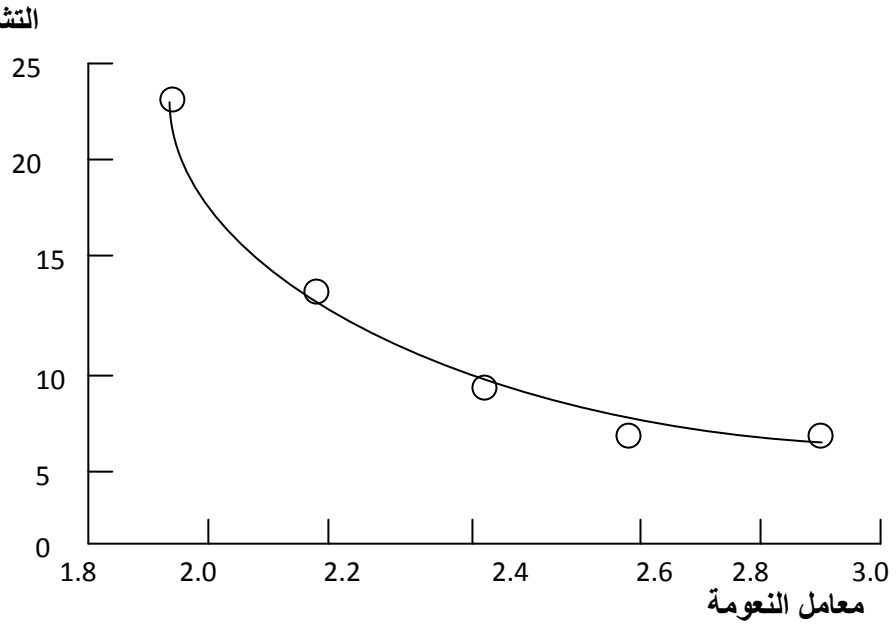
2.1.7.II التشغيلية Maniabilité :

تعتبر التشغيلية أحد الخصائص الفيزيائية النوعية للخرسانة ، وذلك إذا أهملنا شروط الاستعمال الخاصة **[32]**.

وتنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة **[33]** كما تعرّف على أنها سهولة الخلط للخرسانة الطازجة وتجانسها وسهولة قولبتها.

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

إضافة إلى ذلك فإنَّ التركيب الحبيبي يلعب دور كبير في الحاجة للماء حيث أنه كلما كان الرمل غني بالعناصر الكبيرة كلما كانت الحاجة للماء أقل أي تتحسن التشغيلية وهو ما يترجم في العلاقة بين معامل النعومة و التشغيلية في الشكل**[16]** .



الشكلII .8 التشغيلية بدلالة النعومة، تأثير مقدار الدقائق[15]

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

2.7.II خصائص خرسانة الرمل بعد التصلب :

1.2.7 .II الخصائص الميكانيكية:

تعتبر المقاومة الميكانيكية أحد أهم الخصائص في الخرسانة. لذلك فإنه من الضروري، أن تؤخذ كل من مقاومة الكسر والشد والضغط بعين الاعتبار أثناء الدراسة. وفي العادة تعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث أن مقاومة الركام كبيرة جدا بالنسبة لمقاومة العجينة , ولذلك فان انهيار الخرسانة التقليدية يكون دائما في العجينة ويمر الشرخ حول الركام ,فإذا أمكننا إنتاج عجينة ذات مقاومة عالية جدا تقترب من مقاومة الركام فإننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة والتي يكون الانهيار فيها مفاجئ حيث يمر الشرخ بالركام وليس حوله . **[33]**

1.1.2.7 .II مقاومة الضغط :

إن مقاومة الضغط هي أهم خواص الخرسانة المتصلبة على الإطلاق وهي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها. ومقاومة الضغط هي المقاومة الأم للخرسانة حيث ان معظم الخواص و المقاومات الأخرى مثل الشد والانحناء والقص تتحسن وتزيد بزيادة هذه مقاومة والعكس صحيح**[19]**.

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

* أعمال CHAOUCH [17] التي أجراها على أربعة أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول(**10.II**).

الجدول **10. II** نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيباتCHAOUCH [17] لخرسانة الرمل

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

* أعمال GUENOUN[34] التي أجراها على ستة أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول(**11.II**) .

الجدول **11. II** نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيباتGUENOUN [34] لخرسانة الرمل

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

* أعمال KETTAB [29] التي أجرتها على ثلاث أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول(**12.II**)

الجدول **II .12** نتائج مقاومة الضغط لبعض تركيباتKETTAB [29] لخرسانة الرمل

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

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

II. 2.1.2.7 مقاومة الشد :

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

* أعمال CHAOUCH [17]، الذي أجراها على أربع أنواع من خرسانة الرمل فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (**13.II**)[17] :

الجدول **II .13** نتائج مقاومة **الشد** لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال CHAOUCH [17]

	التركيز ب Kg/m^3				**مقاومة الشد في 28 يوم ب(bar)**			
	الأنواع				**الأنواع**			
	1	2	3	4	1	2	3	4
الاسمنت	350	400	350	300	10.25	15.67	11.50	10.67
رمل الكثبان	1505	1420	1470	1560				
الماء	245	280	280	240				
E/C	0.7	0.7	0.8	0.8				

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

* أعمال GUENOUN [34+29] التي أجراها على ستة أنواع من الخرسانة فكانت النتائج كما هو موضح في الجدول(**II. 14**)

الجدول **II .14** نتائج مقاومة **الشد** لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال GUENOUN [34+29]

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

2.2.7.II المرونة:

يعرف معامل المرونة على أنه الميل لمنحنى التشوه العام مع الإجهاد و يعبر عنه بالعلاقة **[20]**:

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

حيث :

E : معامل المرونة

σ_{cj} : اجهاد الضغط المطبق يعطى ب MPa

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

وهذه بعض نتائج أبحاث معامل مرونة لبعض تركيبات خرسانة الرمل :

* وجد مجموعة من الباحثين PENPC أصحاب كتاب [15] التي أجروها على ثلاث أنواع من الخرسانة فكانت نتائج معامل المرونة كما هو موضح في الجدول (**II. 15**)

الجدول **II .15** نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال [15]

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

- كما وجد CHAOUCH [17] في أعماله نتائج معامل المرونة كما وهو مبين في الجدول **II .16** :

الجدول **II .16** نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال CHAOUCH [17]

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

- كما وجد BATATA و NAFA[35] في أعمالهما نتائج معامل المرونة كما وهو مبين في الجدول **II .17**

الجدول **II .17** نتائج معامل المرونة لبعض التركيبات الخراسانية لأعمال BATATA و NAFA[35]

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

3.2.7.II الانكماش: Le retrait :

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

نذكر أن الانكماش الحراري يحدث قبل التصلب , الانكماش اللدن (التبخر), انكماش الاماهة بعد التصلب **[17]**.

1 -**الانكماش الحراري :**

تتولد أثناء عملية التصلب المبكرة حرارة ناتجة من التفاعل الكيميائي بين الماء والإسمنت . وغالباً ما تعالج العناصر المسبقة الصنع بالبخار Steam Curing وهذه المعالجة الحرارية تولد كمية كبيرة من الحرارة خلال الخرسانة . وعند ما تبرد الخرسانة وتنكمش تبدأ الاجهادات الحرارية في الظهور والنمو خاصة إذا كان التبريد غير منتظم خلال العنصر . وقد يحدث إجهاد الشد الحراري شروخاً دقيقة جداً يقدر أن يكون لها أهمية إنشائياً. ولكن ذلك بوجد أسطحاً ضعيفة داخل الخرسانة ، كما أن انكماش الجفاف العادي يؤدي إلى توسيع هذه الشروخ بعد ربط العناصر مسبقة الصنع **[27]**.

2 -**الانكماش اللدن:**

تحدث نتيجة التبخر السريع للماء من سطح الخرسانة وهي لدنه أثناء تصلدها. وهذا التبخر السريع يتوقف على عوامل كثيرة أهمها درجة الحرارة وسرعة الشمس المباشرة تجعل معدل التبخر أعلى من معدل طفو الماء على سطح الخرسانة **[37,36]** .

وتكون شروخ الانكماش اللدن عادة قصيرة وسطحية وتظهر في اتجاهين عكسيين في آن واحد . وفي حالة عناصر المنشآت سابقة الصب التي تصنع في أماكن مغلقة وتعالج جيداً فلا يخشى من خطورة شروخ الانكماش اللدن لصغرها **[37,36]** .

3 -**انكماش الجفاف** :

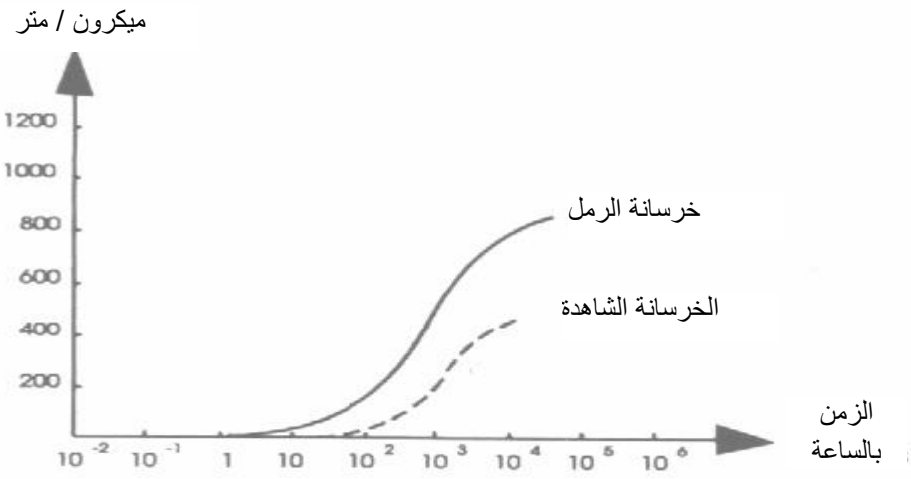
وينجم هذا النوع من الانكماش بسبب ظاهرة خروج الماء إلى المحيط الخارجي نتيجة قوى الشد الداخلية والخاصية الشعرية، وهو غير منتظم في كل العينة إذ أن الجوانب تكون أسرع تأثرا بهذا النوع من الانكماش من داخلها. ويتحكم حجم العينة في سرعة هذه الظاهرة **[26]**.

والجدول (**18.II**) يلخص أهم أنواع الانكماش **[38] :**

الجدول **II .18** أهم أنواع الانكماش

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

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



الشكلII .9 الانكماش الكلي. [15]

هذه النظرة قد دعمت من طرف بعض الباحثين على غرار: MEROUANI.Z و BATATA.A **[35]**، الذين وجدوا في بعض دراساتهم التجريبية أن القيمة النهائية للانكماش لخرسانة رمل الكثبان ذات التركيبة :

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

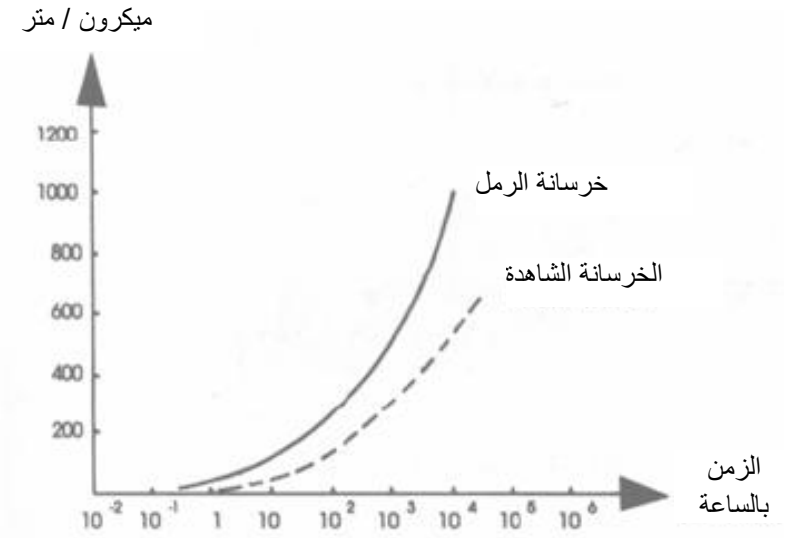
بأن قيمة الانكماش كانت كبيرة حيث بلغت قيمة 1.5 مم/م مقارنة بالقواعد التي تنص عليها قوانين الخرسانة العادية التي يجب أن لا تتعدى فيها قيمة الانكماش 0.3 إلى 0.5 مم/م.

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

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

4.2.7.II الزحف Le fluage:

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



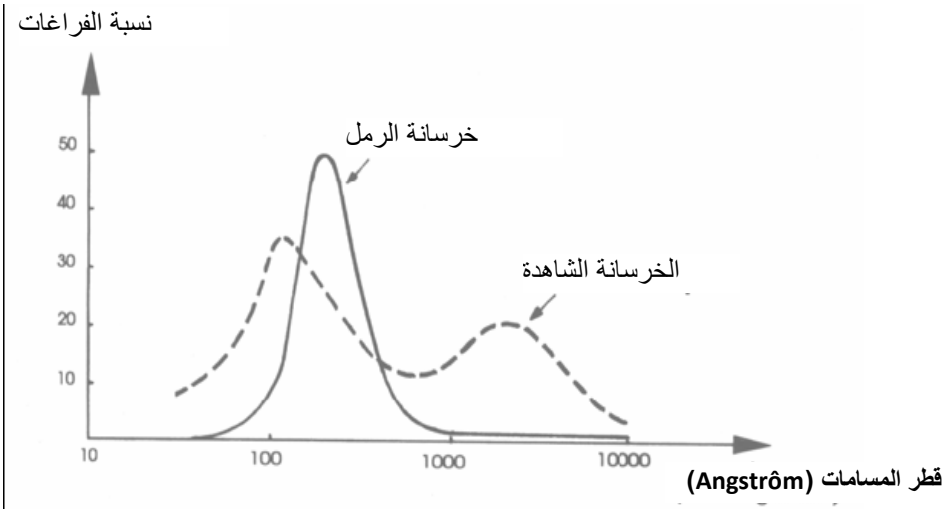
الشكلII .10 الزحف الكلي**[15]**

وهذا ما أثبتته أبحاث CHAOUCH [17] و BATATA و NAFA [35] أن معامل المرونة لخرسانة رمل الكثبان يساوي أقل بكثير من معامل الليونة في الخرسانة العادية الذي يتراوح بين : (25 إلى 45 GPa) كما قدمنا سابقا .

5.2.7.II الديمومة: (Durabilité)

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

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



الشكلII .11 منحنى توزيع المسامية بدلالة قطر الفراغات[15]

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

6.2.7.II الخاصية الشعرية :

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

7.2.7.II النفاذية :(La perméabilité):

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

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

8.II مزايا وميادين استعمال خرسانة الرمل :

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

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

1.8.II التشغيلية L’ouvrabilité :

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

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

- خرسانة الرمل تضمن تغليفًا جيدا لحديد التسليح و لو كان التسليح كثيفا جدا أو معقدا. أو كان الرج (Vibration) مستحيلا .

- مسافة ضخ عالية (Pompabilité)

2.8.II نوعية المظهر Qualité d'aspect:

نتيجة لسهولة استعمالها و تركيبها الحبي الصغير يمكننا أن نحصل بواسطة خرسانة الرمل على فعل معماري (Effets architectoral) متنوع و مدهش و فتان :
ذي مظهر شديد الملاسة مثل الرخام ،مظهر دقيق الحصى ،مظهر متكامل و إنتاجية وفية لقوالب دقيقة جدا، مع انعدام العيوب المظهرية خاصة الناتجة عن تحلل الخرسانة.

3.8.II التجانس و التماسك Homogénéité-Cohésion:

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

4.8.II مصدر محلي للمواد الأولية:

- الرمل الفائض:

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

- ندرة الحصباء :

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

- البيئة :

الأثر البيئي بدأ يؤخذ أكثر فأكثر في الحسبان لأن الاقتلاع الكبير للحصى الذي يوجد بكميات ليست متجددة يمس بالتوازن البيئي . فقد نقلت جريدة أخر ساعة الجزائرية في عددها الصادر في 2010/01/27 [39]
((حيث تحولت العديد من المناطق بولاية بومرداس خلال السنوات الأخيرة ،إلى مناطق خصبة لعصابات النهب و السرقة التي تفننت في استنزاف كميات هائلة من الرمال،مما ينذر بوقوع كارثة بليغة بالأراضي الفلاحية المحاذية لتلك الشواطئ و الأودية،و التي بدأت مساحاتها في تقلص مستمر)) كما أضافت نفس الجريدة وفي نفس الموضوع تسريحات للسيد قائد الأركان بالمجموعة الولائية ببومرداس" موسى مختار " فقالت ((و للإشارة و حسب قائد الأركان بالمجموعة الولائية ببومرداس" موسى مختار " فان ظاهرة نهب الرمال تبقى متفشية بصورة كبيرة بمختلف شواطئ الولاية رغم ما اتخذ من إجراءات أمنية ووقائية لحماية ثرواتنا من ظاهرة السرقة هذه ، فقد تم سد كل المنافذ المؤدية إلى الشواطئ بحيث سجلت ذات المصالح في هذا الشأن و منذ بداية السنة الجارية أكثر من 200 قضية تورط فيها أكثر من 146 شخصا و أودع 99 منهم الحبس بمختلف مراكز التربية.كما حجزت خلالها

مصالح الدرك الوطني 92 مركبة وضعت في الحظيرة إلى غاية صدور حكم قضائي بشأنها و 570 متر مكعب من الرمال،إضافة إلى رمال الوديان التي أضحت هي الأخرى مستهدفة من قبل المافيا حيث تم حجز 40 متر مكعب منها خاصة بوادي سيباو المتواجد ببلدية بغلية أقصى شرق ولاية بومرداس.)) وعند تفسير هذا الكلام نجد أنه في مدة 27 يوم تم قبض 570 متر مكب أي بمعدل 21.1 متر مكعب يوميا من هذا شواطئ فقط .

- خفض ثمن التكلفة:

نظرا لخصائص خرسانة الرمل يمكن خفض التكلفة عن طريق:

- اقتصاد في المادة .
- ربح في إنتاجية الورشة و زيادة في الفاعلية و سرعة الإنتاج.
- خفض التكلفة الاجتماعية للإنجاز عن طريق تسهيل العمل.

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

- العمارات :

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

- الطرقات :

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

- الترميم:

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

9.II الخرسانة المدعمة بالألياف المعدنية :

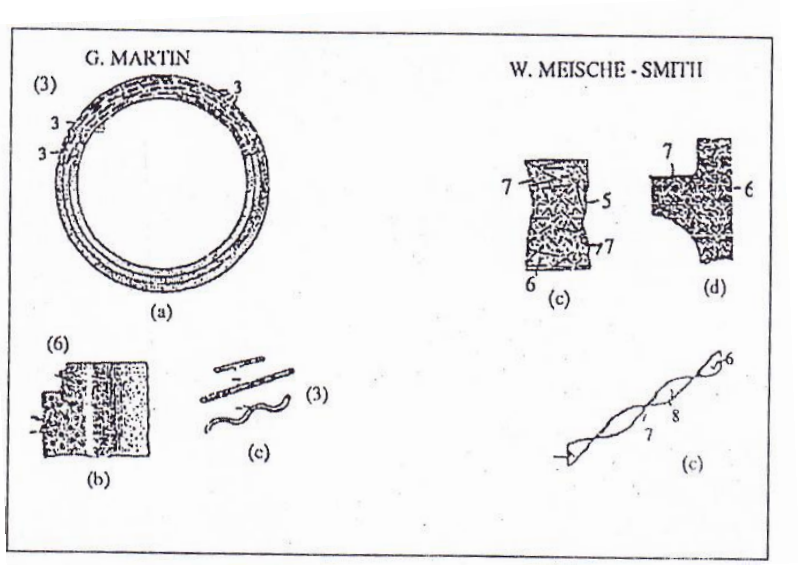
1.9.II نبذة تاريخية عن خرسانة الألياف المعدنية :

يرى بعض الباحثين أن الخرسانة المدعمة الألياف المعدنية أسست لأول مرة في 1874 من طرف (BERAD) بكاليفورنية (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 [6,4] .

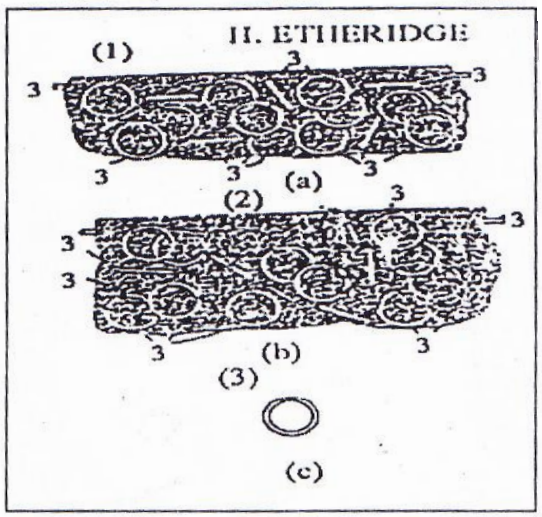
* اقترح الألماني (KLEINLOGEL) في 1920 إضافة حجم نسبي من جزيئات كبيرة من الحديد داخل الخرسانة من أجل إنتاج كتلة خراسانية تكون خصائصها تقارب كتلة من الحديد من أجل خراطتها ونحتها.

* وبعد سنوات من ذلك و في 1927 بكاليفورنية قدم السيدين (MARTIN et MEISCHE-SMITH) مقترح خلط صفائح أو أسلاك من الحديد مع الخرسانة من أجل صنع نوعية جيدة من الأنابيب [6]. و الصورة II .4 توضح مقترح الاختبارات المنجزة من طرف MARTIN و MEISCHE-SMITH .



الصورة II .4 الاختبارات المنجزة من طرف MARTIN و MEISCHE-SMITH[6]

ان فكرة تحسين شكل الألياف بهدف الزيادة في احتمالية إدخاله في الخلطة الخراسانية 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 وإعياء الخرسانة المستعملة في بناء خطوط السكة الحديدية[6] وفيما يلي الصورة II .5 توضح الاختبارات المنجزة من طرف ETHERIDGE

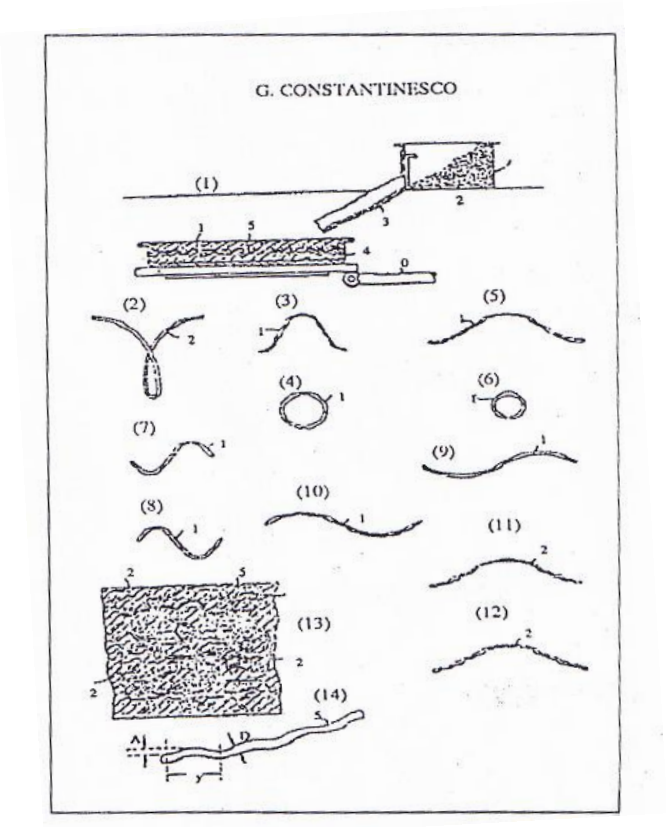


الصورة II .5 الاختبارات المنجزة من طرف ETHERIDGE[6]

الكثير من الإجراءات ظهرت في العديد من البلدان في السنوات الموالية , من بينها في انجليترا سنة 1943 من طرف CONSTANTINESCO وفي الولايات المتحدة الأمريكية في 1954 استحقت هذه الإجراءات نظرة خاصة, إذ ان عوامل التقوية التي نصت عليها في تلك الفترة هي نفسها المستعمل 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[6].

و الصورة II .6 توضح الاختبارات المنجزة من طرف CONSTANTINESCO



الصورة II .6 الاختبارات المنجزة من طرف CONSTANTINESCO[6]

2.9.II مكونات وصياغة خرسانة الألياف المعدنية :

1.2.9.II مكونات خرسانة الألياف المعدنية :

غالبا ما تكون خرسانة الألياف المعدنية غنية بالرمل, وذات تركيز من الاسمنت يتراوح بين 300- 500 Kg/m^3 , وتركيز من الألياف المعدنية مرتبط ومعتمد على المقاومة المطلوبة .

والجدول(**19.II**) يوضح بعض التركيبات لخرسانة الألياف المعدنية بتشغيلية عادية [14 و 6]:

الجدول **II .19 مكونات بعض خرسانة الألياف المعدنية :**

المكونات	الكمية ب Kg/m^3			
	التركيبة 1[14]	**التركيبة 2**[14]	**التركيبة 3**[14]	**التركيبة 4** [14]
الألياف	100	54	78	100
الاسمنت	400	360	425	430
الماء	176	200	191	170
Fumée de silice	/	/	/	43
ملدنات	5	16	4.25	10.6
رمل 1	1012	1275	894	497
رمل 2	/	/	/	497
حصى	777	/	832	765
filler	/	225	/	/
microfiller	/	210	/	/
(G + F)/S	0.86	/	1.01	0.87
E/C	0.45	0.55	0.45	0.40

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

2.2.9.II صياغة خرسانة الألياف المعدنية :

ان صياغة خرسانة الألياف المعدنية يجرنا الى التحسين في مكوناتها، أي التحسين في الهيكلة الحبيبية لهذه الأخيرة وذلك حسب التشغيلية المرجوة **[14]**.

حسب المعلومات المنقولة، فإن 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 **[14]**.

ومن ضمن هذه الطرق التجريبية المستعملة نذكر ما يلي :

- توصل الباحث SWAMY **[40]** باستعمال تركيز حجمي 1% من الألياف الحديدية، إلى هبوط بمقدار 10 إلى 30 cm في خرسانة لها التركيبة المدونة في الجدول أدناه **[41,6,4]** :

الجدول **II .20 تركيب خرسانة الألياف الحديدية للباحث**SWAMY

المركبات	الكمية ب Kg
اسمنت	0.7
حصى	2.25
الرماد المتطاير	0.3
رمل	1.8
ماء	0.4

- نذكر من بين الطرق التجريبية أيضا لصياغة خرسانة الألياف المعدنية ، تلك الطريقة التي طورت منذ عشرات السنين، وتتعلق بطريقة BARON-LESAGE كما ذكر **[14]** ، حيث عرفت هذه الأخيرة استعمالا واسعا في تحسين الهيكلية الحبيبية للخراسانات العادية والتي عدلت لتتوافق مع خرسانة الألياف المعدنية من طرف PIERRE ROSSI **[14]**.

الطريقة المنتهجة من طرف (PIERRE ROSSI) **[14]** تأسست على فرضيتين أساسيتين دققت وضبطت بالتجارب :

1- يثبت المعامل E/C في البداية , الخرسانة الأكثر تشغليه هي الأكثر دمكا وهيكلها الحبيبي أمثل.

2- لا يتعلق التركيز الأمثل للحبيبات لا بطبيعة ولا بحجم عجينة الاسمنت (ماء +اسمنت)

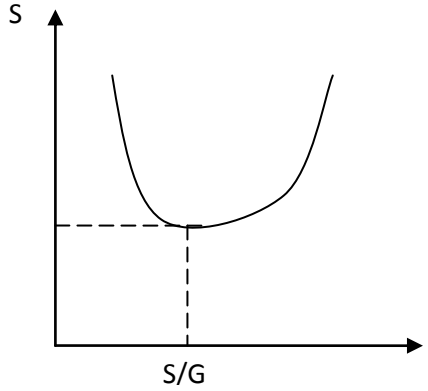
تطبيق هذه الطريقة على تركيبة خرسانة الألياف المعدنية يحتاج الى فرضية ثالثة .

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**[14]**.



الشكلII .12 منحنى تحديد النسبة S/G المثلى[14]

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

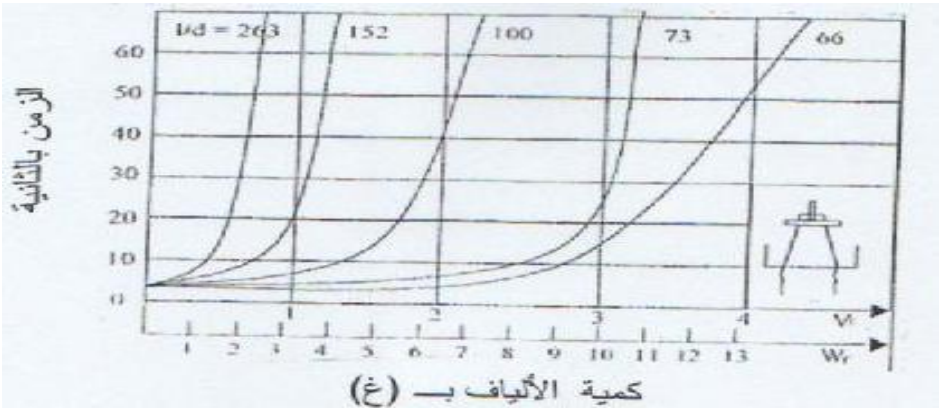
3.2.9.II تشغيلية خرسانة الألياف :

إن وجود الألياف داخل التركيبة الخراسانية يلعب دور الحبيبات ذات الشكل الممدد، حيث يمكن لهذا الشكل الخاص أن يحدث احتكاكات غير مرغوب فيها تؤدي إلى رفع مقدار المسامية مما يحدث تغيير في الترتيب الذي كانت عليه الحبيبات، ويسبب هذا الاضطراب في الهيكلة الحبيبية إلى نقصان في التشغيلية و الدمك الذي تنجم عنه انحلالية ضعيفة.

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

- أبعاد الليف والشكل (L/d) .
- تركيز الألياف .
- التدرج الحبيبي للخليط .

وقد قام الباحث EDGINGTON **[42]** بدراسة التشغيلية بالنسبة لألياف فولاذية فكانت النتائج كالتالي**[41]** :



الشكلII .13 منحنى التشغيلية بدلالة نسبة الألياف الفولاذية

ونلاحظ من خلال الشكل ان التشغيل يتأثر كثيرا بكمية الألياف وشكلها الهندسي حيث كلما زادت كمية الألياف أو النسبة (L/d) نقص التشغيل . **[41]**

4.2.9.II 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 وSWAMY **[40]** ان النسبة (l/d) إذا كانت أكبر من 100 تؤدي الى خطر تشابك الألياف وبالتالي تصعب عملية استعمال الخرسانة **[41]**.

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: اسطواني أو مسطح، معكوف 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.

5.2.9.II تأثير تركيز الألياف :

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

في نفس السياق هناك دراسة قام بها EDINGTON [42] في المدة الأخيرة تشير الى 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، والتي نذكر منها العلاقة التي استنتجها:

- الباحث MOENS حيث حدد القيمة ($V_f.1/d$) بمعامل يأخذ بعين الاعتبار أبعاد الحبيبات **[41,6,4]** :

$$Vf.\frac{l}{d} < Cm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.16)$$

حيث $$Cm = \sum Vij.Cdij \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.17)$$

Vf : 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

Cd_{ij}: معامل تفاعل المقطع d_{ij} للحبيبات مثل :

$$Cd_{ij} = 1.72 \ln\left(d_j.d_i\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.18)$$

- العلاقة التجريبية التي أسسها الباحثان LIM و LEE **[43]** والتي تأخذ بعين الاعتبار أكبر قطر للحبيبات:

$$V_f < \frac{B}{\frac{L}{d} - 16} \times 1.08\left(1 - \frac{D_{\max}}{32.5}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.19)$$

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.

$$\frac{V_f \times L_f}{d_f} < 3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.20)$$

V_f : التركيز الحجمي للألياف .

L et d : طول وقطر الليف

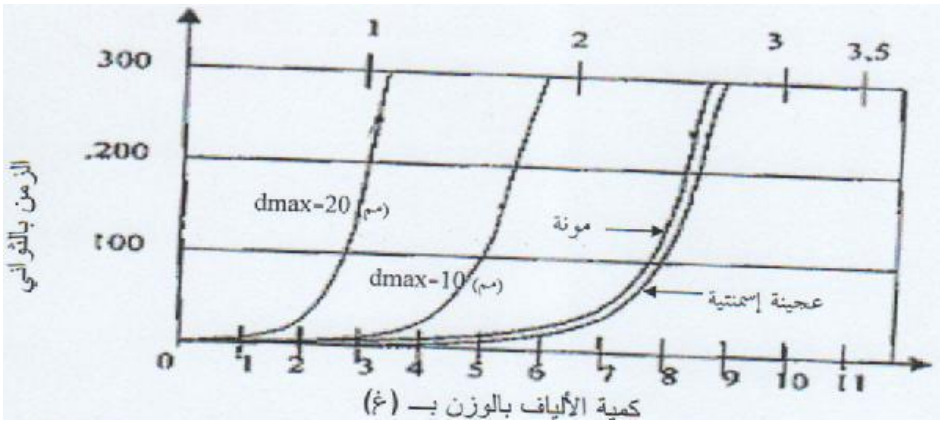
6.2.9.II تأثير التدرج الحبيبي للخليط :

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

ومن هذا، لاحظ الباحثان SWAMY و MANAGAT **[40]** 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 **[6 و41]** عن الباحث ELIE-ABSI أنه أكد 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 **[41]**



الشكلII .14 منحنى تأثير نسبة الحبيبات على التشغيلية

حسب الشكل نلاحظ أن التشغيلية في مختلف المركبات الإسمنتية المستعملة المدعمة بالألياف الفولاذية ولها معامل l/d = 100 يتأثر بنوعية الخلطات المستعملة أي كلما كانت أقطار الركام كبيرة كلما قل التشغيل**[41]**.

10.II عملية وآلية تحطم خرسانة الألياف :

1.10.II العملية الميكانيكية للألياف المعدنية داخل الخرسانة:

تهدف الرابطة بين الألياف المعدنية والخرسانة على منع حصول تلك التشققات الصغيرة (Micro-Fissures) التي عادة ما تظهر في الخرسانة العادية، وفي خرسانة الألياف المعدنية نستطيع استعمال ألياف دقيقة (Microfibres) (ذات طول لا يزيد عن 5 مم) بهدف التحسين في القدرة الحاملة والليونة في المنشئات. لكن في المقابل لا يحسن هذا الإجراء من المقاومة **[14]**.

توجد هناك مجموعتين كبيرتين 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.

2.10.II آلية تحطم خرسانة الألياف :

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

- المرحلة الأول : تشققات صغيرة (microfissurations) تظهر في كل العينة.
- المرحلة الثانية : تبدءا تلك التشققات الصغير 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.

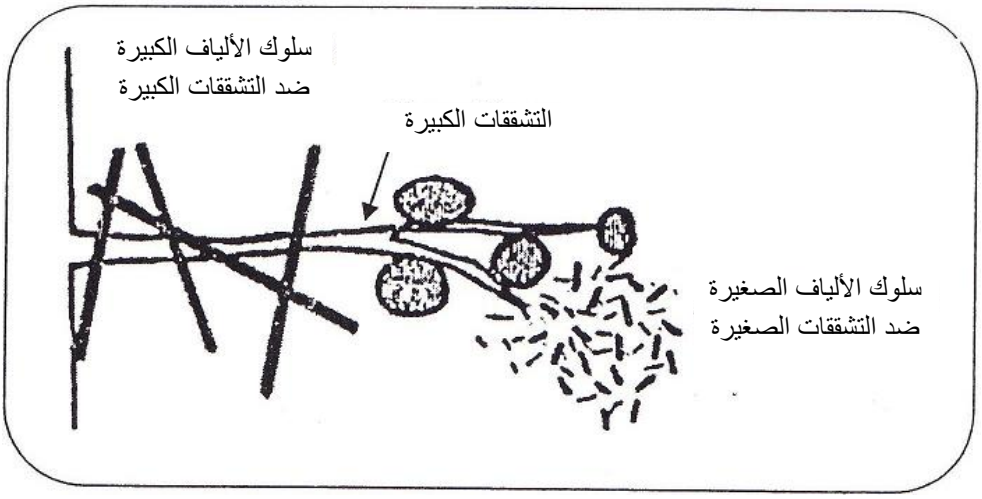
ويمكن في هذه المرحلة أن تساهم الألياف المعدنية في عدم انتشار الشقوق، وذلك على النحو التالي :

- 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 الاجهادات (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 II .7** .



الصورة II .7 دور الألياف في التحكم في الشقوق [14,6]

11.II الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف المعدنية :

إذا رجعنا الى الأبحاث المتعلقة بالسلوك الميكانيكي لخرسانة الألياف المعدنية، نلاحظ أن هنالك العديد من النتائج والمعلومات المحققة من طرف الباحثين هي على العموم مشتتة أي ان 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 الناجم عن الضغط والانحناء لخرسانة لألياف المعدنية .

1.11.II سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط :

مقاومة الضغط في العموم هي خاصية مميزة نستطيع من خلالها تأمين و ضمان كل المقاومات الأخرى.

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

- استنتج الباحثون ROSSI,HARROUCHE,LE MAOU كما نقل**[6]** ان مقاومة الضغط لخرسانة الألياف المعدنية هي أقل منها في الخرسانة العادية (بدون ألياف).

- وقد نقل**[6]** أن ELIE ABSI أثبت 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 الشكل 15.II ، حيث يبين هذا الشكل أن مقاومة الضغط في الخرسانة المدعمة بالألياف أقل منها في الخرسانة العادية إذا كان توزيع الألياف توزيع عشوائيا .

- وتابع ELIE ABSI أبحاثه حيث وجد باحثين آخرين أثبتوا أن تأثير إدخال الألياف المعدنية في الخرسانة على مقاومة الضغط أكبر من الخرسانة العادية (التجربة أجريت على عينة اسطوانية H=32cm و $\varphi = 16$ cm)
في هذه الحالة مقاومة الضغط متعلقة بالإجهاد الأعظمي التخيلي الناتج عن القوى الأعظمية المطبقة على المقطع.
والجدول أدناه يوضح نتائج مقاومة الضغط لخرسانة مدعمة بالألياف المعدنية:

2.11.II مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط :

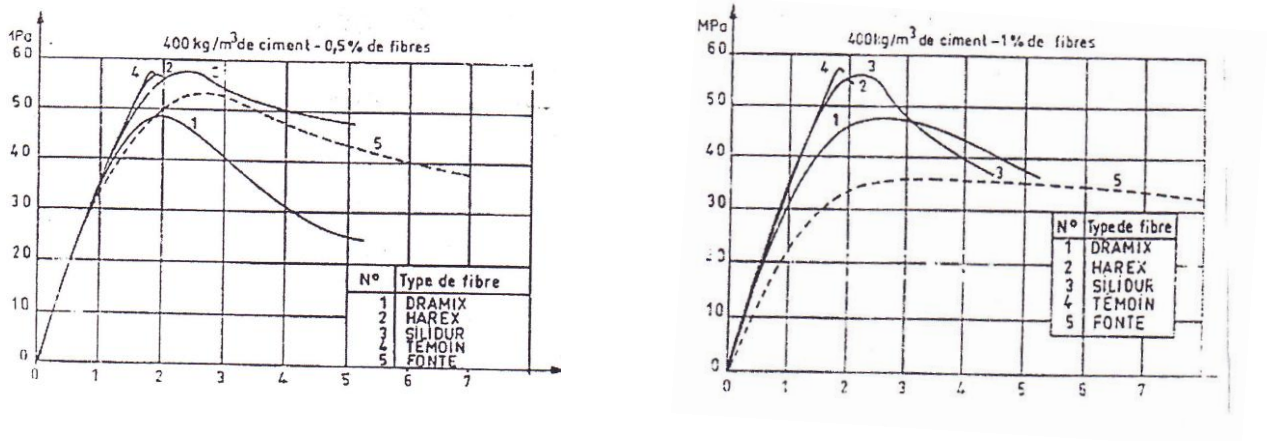
الجدول **II .21 مقاومة خرسانة الألياف المعدنية للضغط [6]**

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
(%19+)48.60	0.3% E2	%1 مميع	200	0.92	400
(%18+)48.10	0.3% E0	%1 مميع	200	0.92	400
(%16+)47.50	0.5% E0	%1 مميع	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 15.II **سلوك خرسانة الألياف المعدنية تجاه الضغط بدلالة الحجم ونوع الألياف[6]**

- ومن جهة أخرى، أثبتت دراسات موازية متعلقة بالخرسانة العادية وخرسانة الألياف المعدنية أن هناك زيادة طفيفة في الاجهادات العظمى للضغط بدلالة زيادة الألياف.

-وقد ذكر **[6] أن** الباحث AIT TAHAR استنتج، 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.

3.11.II 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 تمركز الحمولة لهذا يلاحظ عموما سلوك الخرسانة في الشد من خلال الانحناء**[41]**

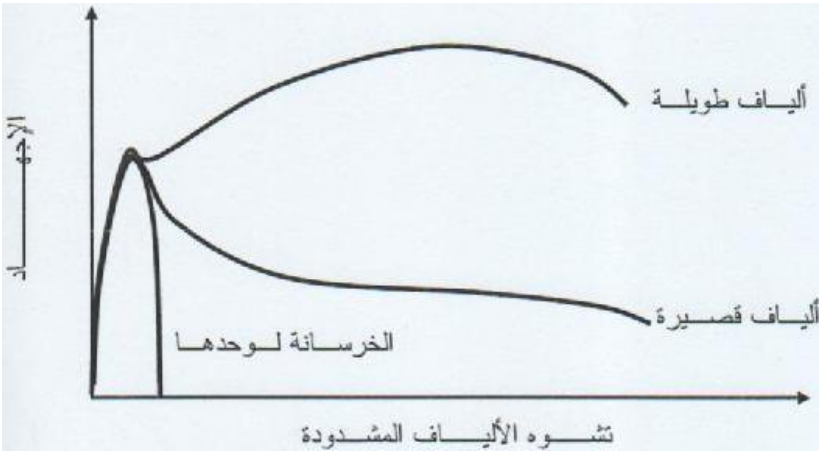
- وتجدر الإشارة أن جل الباحثين يستعملون تجربة الشد غير المباشر (الشد بواسطة الانحناء).

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.

4.11.II 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. 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 :

نقل**[44]** أن الباحث GRAM لاحظ انه عند استعمال ألياف قصيرة من السيزال في النسيج الأسمنتي , 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**[44]**.والشكل 16.II يوضح منحنى التشوه بدلالة الإجهاد للخرسانة لوحدها والخرسانة بمختلف أطوال الألياف .



الشكل 16.II منحنى التشوه بدلالة الإجهاد للخرسانة لوحدها و الخرسانة بمختلف أطوال الألياف **[44]**.

- استنتج الباحث AIT-TAHAR كما ذكر **[6]**بعد القيام بالعديد من الدراسات التجريبية، بأن مقاومة الشد بواسطة الانحناء تزداد بزيادة نسبة الألياف المدخلة في التركيبة الخراسانية.

- وقد ذكر نفس المصدر أن الباحث ELIE ABSI أثبت بعد اطلاعه على عدة دراسات تمت على مستوى CEBTP، بأن هناك تحسين معتبر في خصائص التركيبة خاصة في معامل المرونة (المجال المرن)، بعد ظهور التشقق الأول عند إضافة الألياف. والجدول أدناه يوضح مقاومة الانحناء لخرسانة الألياف.

الجدول **II .22** يوضح مقاومة الانحناء لخرسانة الألياف **[6]**

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

E2: ألياف Eurosteel ذات رأسين.

E0: ألياف Eurosteel المموجة.

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

وبعد عدة تجارب أجريت قام بها AIT-TAHAR استنتج ما يلي**[6]** :

- إضافة الألياف المعدنية الحديدية للتركيبة يسمح بزيادة القوى التي تولد التشقق الأول من 12.5 الى 50**%** و التشقق داخل الكتلة 12.5 **%**.
- لحظة التشقق تزداد بنسبة 20 **%**.
- قيم مقاومة الشد بواسطة الانحناء ومعامل التشوه الطولي لخرسانة الألياف يزداد بمقدار كافي.
- مقاومة كبيرة في التشقق الأول، وتأخر في إنتشار التشققات الأخرى. وتحسن مقاومة التحطيم الكلي مقارنة بالخرسانة العادية.

5.11.II 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 للتشقق هي التشكيلة المثلى والألياف تكون في هذه الحالة جد فعالة .

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

درس كل من الباحثين BONZEL و SHMIDT كما نقل [6] عن DEBICKI أن تأثير توجيه الألياف في الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف وقد استخلاصا ما يلي :

- أن درجة توجيه الألياف تتعلق أساسا بكمية الاسمنت وبحجم الحصى الكبير وبنسبة الألياف الحديدية وبانحلالية الخرسانة وطول نقل هذه الأخيرة (الترسبات) أثناء عملية الدمك.
- ان خصائص الخرسانة المتصلبة يمكن تحسنها بإضافة الألياف فقط بطريقة عمودية بالنسبة لإجهاد الضغط أو متوازية بالنسبة لإجهاد الشد.
- وفي الحالات المثلى لتوجيه الألياف، تصل نسبة زيادة مقاومة الضغط الى 15**%** ومقاومة الانحناء الى 90 **%** .

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

12.II الانكماش والزحف :

يعود أصل حدوث ظاهرتي الانكماش والزحف إلى عجينة الاسمنت، وتظهر هاتيتن الخاصيتين أكثر في الخرسانات التي تحتوي على تركيز للأسمنت 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 الاسمنت، 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 إيجابيا في التقليل من ظاهرتي الزحف و الانكماش.

1.12.II 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 و ذات أصل هدروليكي **[45]**.

ونذكر عموما 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 العوام التي تؤثر على الانكماش في الخرسانة المدعمة بالألياف .

تأثير كمية الألياف :

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

- ذكر جاهت حسين مرزا و فيصل فؤاد وفا **[46]** :أنه تم صب ثمانية عينة مستطيلية الشكل بأبعاد 30X600X900 مم وبمقاومة انضغاط تراوحت ما بين 23 الى 84 MPa ، وقد تم تبريد ماء خلط وركام بعض العينات الى 10درجات مئوية وقويت بعض العينات بأليف حديدية وبروبيلينية بنسب مختلفة ومن ثم مراقبة الانكماش اللدن 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 الى 10 درجات مئوية الى تأخر زمن حدوث التشقق الناتج عن الانكماش بمتوسط قدره 41 دقيقة ، كما تبين أن إضافة الألياف سواء الحديدية أو البروبيلينية يؤدي الى تقليل مساحات التشقق - الناتج عن الانكماش كما ذكر سابقا - 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 الى 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**[46]**.

- وجد الباحثان MANAGAT و AZARI **[47]** تراجع في نسبة الانكماش تقدر بـ 35% وذلك باستعمال كمية من الألياف الفولاذية التي تقدر بـ 3 % بأطوال 22.5 ملم في خرسانة ذات التركيبة :

(C=1 ,S = 2.5 ,G = 1.2 , E = 0.58)

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

$$\varepsilon_{bf} = \varepsilon_{bc}\left(1 - 2.45\mu.V_f.l/d\right).....(2.21)$$

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

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

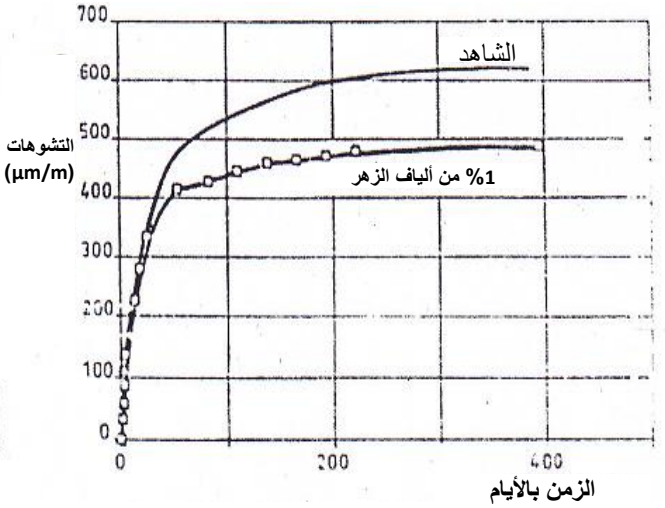
μ : معامل يمثل العلاقة بين الألياف والتركيبة، ويتعلق بنوع الألياف والمواد التي تدخل في التركيبة.

V_f : حجم الألياف.

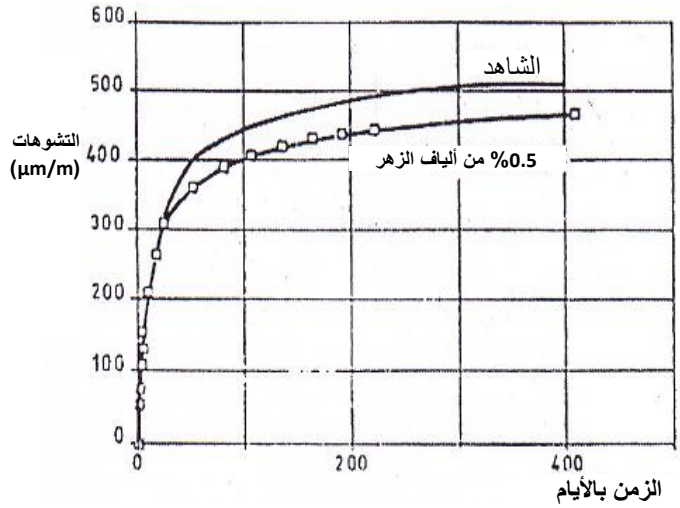
L و d : طول وقطر الليف على الترتيب.

- ومن جهة أخرى كشف الباحث SWAMY **[40]** أن تواجد الألياف الفولاذية له تأثير خفيف على الانكماش الحر (انخفاض بنسبة 20%)، في حين لاحظ أن هناك تحسن ملحوظ في الانكماش المفتعل (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 بدا أقل من الانكماش في الخرسانة العادية ذات نفس التركيبة[6] والأشكال II.17 و II.18 توضح ذلك .



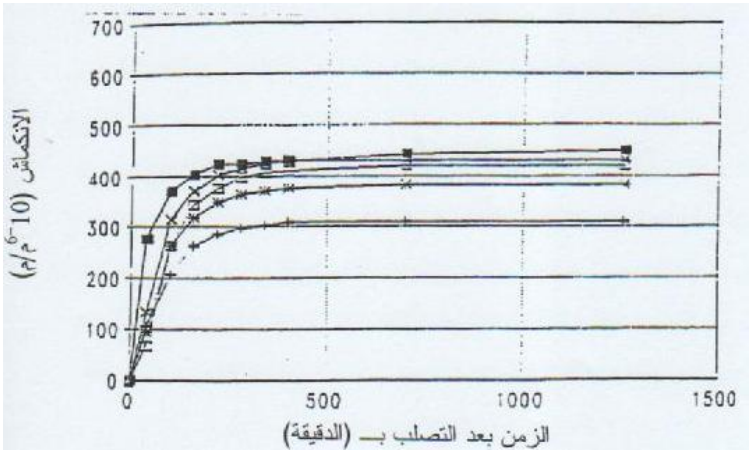
الشكل II. 17 الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1%



الشكل II.18 الانكماش بعد التصلب لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5%

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

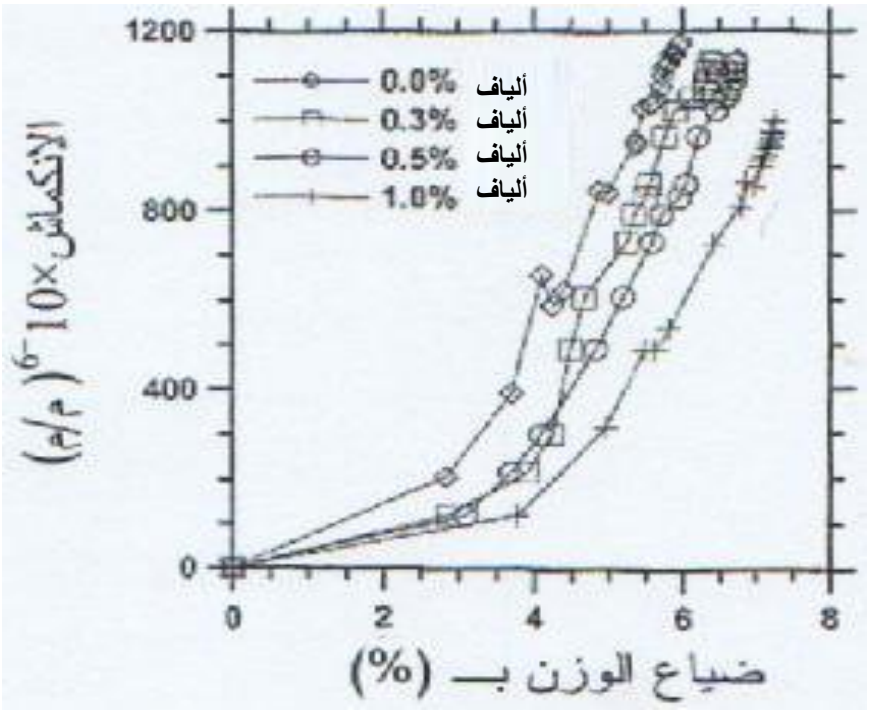
- قام السيد HOUGET VERONIQUE **[48]** بدراسة على ألياف البولي بروبلان ذات الطول 19ملم وذلك بكميات مختلفة من الألياف (500-900-1500-2000 غ/م^3) والنتائج موضحة في الشكل التالي **[41]**:



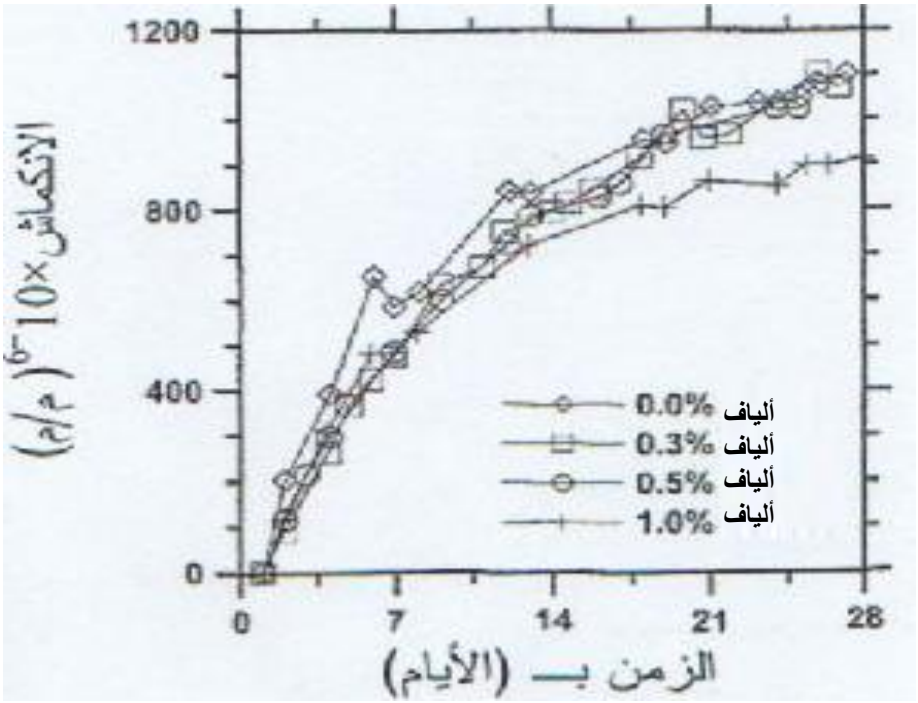
الشكل II.19 تأثير كمية الألياف على الانكماش **[41]**

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 BYOUNGGEON KIN وW-JASON WEISS **[49]** قاما بدراسة الانكماش على مونه من الاسمنت المعزز بألياف فولا ذية طولها 13 ملم وبكميات حجميه مختلفة (0%, 0.3%, 1%) فاستنتجا بأنه كلما زادت كمية الألياف قل الانكماش وكذلك بأن الانكماش له علاقة طردية مع نقص وزن العينات **[41]**.



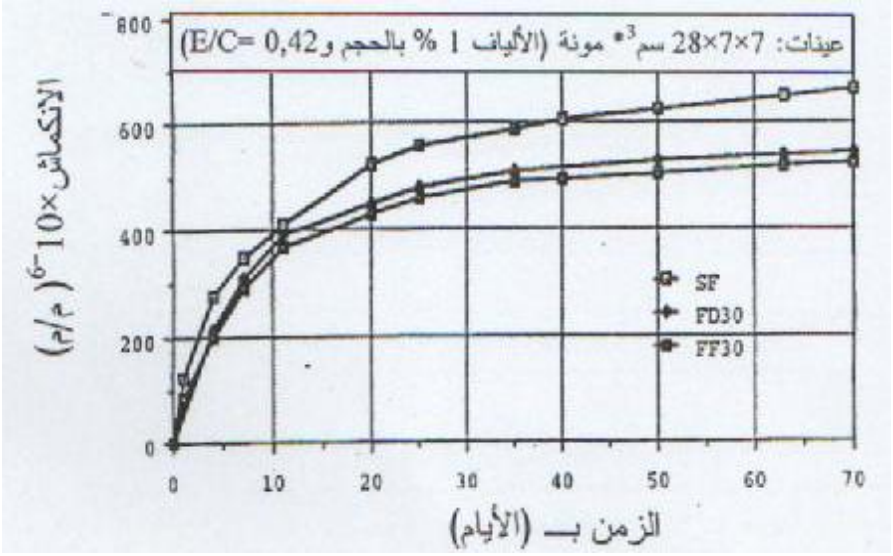
الشكل II.20 **العلاقة بين الانكماش وضياع وزن العينة**



الشكل II.21 **العلاقة بين الانكماش كمية الألياف [41]**

تأثير طبيعة وطول الألياف :

نقل **[41]** أن التجارب التي قام السيد حسن هواري على عينات من المونه المعززة بألياف مختلفة الطبيعة وهي ألياف فولاذية وألياف من الحديد الزهر لهما طول 30 ملم و الخرسانة لوحدها أظهرت أن الانكماش يتأثر بطبيعة الألياف كما هو موضح في الشكل **[41]** :



الشكل II.22 تأثير طبيعة الألياف على الانكماش **[41]**

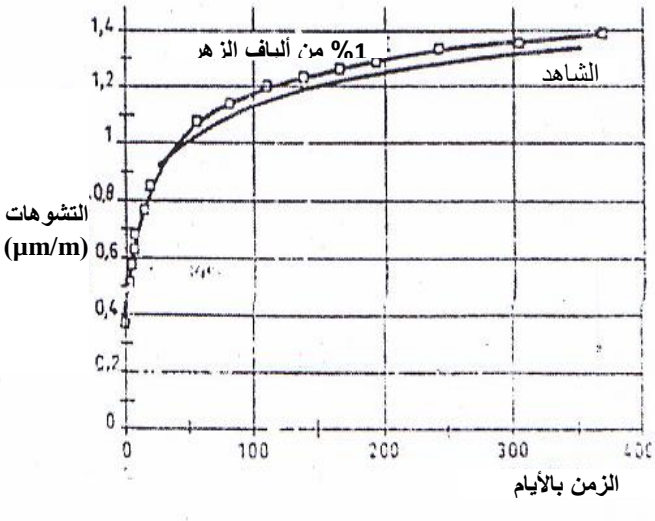
وقد أثبتت التجارب التي قام بها BELFERRAG ALLAOUA **[6]** أن طول الليف له تأثير على الانكماش إذ وجد في نفس التركيبة الخراسانية وبنفس النسبة المئوية من الألياف أن الخرسانة التي تحتوي على الليف الطويل ذي الطول 6 سم الانكماش فيها كان أقل من الخرسانة التي تحتوي على نفس النسبة ولكن بطول 3سم .

2.12.II الزحف :

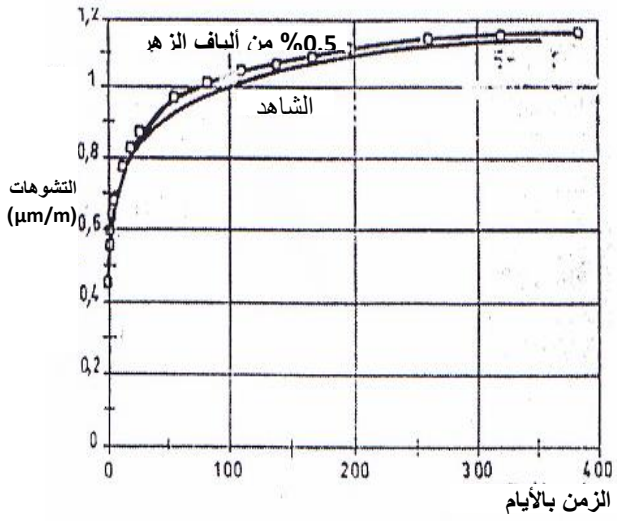
تتعلق دراسة ظاهرة الزحف في الخرسانة بدراسة وتحليل التشوهات التي تطرأ على هذه الأخيرة عبر الزمن عندما تكون معرضة لقوى خارجية دائمة.

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 :

- أوضحت بعض التجارب التي أجريت على خرسانة مدعمة بالألياف المعدنية من الحديد الصلب بتركيز 0.5% و 1% (أنظر الشكل) أن التشوهات المختلفة الناتجة من قوى الضغط بقيت متقاربة مقارنة بالخرسانة العادية، أي أن تواجد الألياف لم يكن له التأثير الكبير على الزحف**[6]**.



الشكل II.23 مختلف تشوهات الضغط لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 1%**[6]**



الشكل II.24 مختلف تشوهات الضغط لخرسانة بدون وبألياف من الزهر بنسبة 0.5%**[6]**

13.II الديمومة :

إن امتلاك الخرسانة لخصائص ميكانيكية عالية لا يعني بالضرورة أنها تملك ديمومة كبيرة، حيث تساهم كل من، المتانة والمقاومة قصيرة المدى والمقاومات النوعية في 28 يوما إلى جانب عامل تكيف الخرسانة مع محيطها الخارجي في تحديد تركيبها.

يعتبر عامل تآكل الألياف المعدنية في خرسانة الألياف العامل الوحيد الجديد الذي يؤثر في الديمومة على خلاف الخرسانة العادية.

ومن ضمن العديد من التجارب التي أجريت على خرسانة الألياف المعدنية في هذا الصدد نذكر ما يلي :.

- نقل **[14]** أن الباحثان DUBOIS و NOUGUIER توصلا سنة 1989 إلى إنجاز طريقة تجريبية استنتجوا من خلالها أنه بغض النظر عن الأوساخ التي تؤثر على الجانب الجمالي للمنشآت، فإن تآكل الألياف المعدنية ليس له أي تأثير كبير على ديمومة خرسانة الألياف المعدنية.

- وفي نفس سياق الفكرة ، اتضح أثناء القيام بأعمال طرقات (كيبيك، كندا)، أنه لا وجود لظاهرة تآكل الألياف الحديدية في الشقوق المفتوحة التي تصغر عن 0.30 ملم، وذلك بعد مدة 8 سنوات من الانجاز رغم استعمال الأملاح المضادة للثلوج.

- و نقل **[14]** أن الباحث BAKKER بين سنة 1988 بعد ملاحظات قام بها على عدة مبان، أنه لا وجود لعلاقة مباشرة بين انحلال الشقوق ودرجة التآكل، عندما لا يزيد عرض هذه الشقوق عن 0.3 إلى 0.4 ملم.

وبصفة عامة يمكن القول أن استعمال الألياف في الخرسانة يعمل على التقليل من ظاهرة الشقوق، ومنه الزيادة في المقاومة ضد التآكل، ومن ثم الزيادة في الديمومة.

14.II المقاومة ضد الحرائق :

إن الحاجة لهياكل ومنشآت لها سلوك إيجابي حيال الحرائق أضحى مطلبا أساسيا في أيامنا هذه، وذلك راجع للعدد الكبير من حوادث الحرائق التي حصلت والتي تسببت في كثير من الحالات إلى الانهيار الكلي للمنشآت مخلفة بذلك أضرارا بشرية ومادية كبيرة.

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

لذلك فإن المشكل مازال مطروحا 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 :

من خلال هذا المحور نستطيع أن نستخلص ما يلي :

1 - ان استعمال خرسانة الرمل والخرسانة 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 بديل ممتاز للخرسانة العادية .
4 - صياغة خرسانة الألياف المعدنية تتأثر بالشكل الهندسي للألياف و تركيزها وكذلك التدرج الحبيبي للخليط .
5 - الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف المعدنية تتأثر بالشكل الهندسي للألياف و تركيزها .
6 - انكماش و زحف خرسانة الألياف المعدنية يتأثر بتركيز ألألياف حيث كلما زادت كمية الألياف نقص انكماش و زحف .

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعمل وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدن

الفصل الثالث : خصائص المواد المستعمل وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية

خصائص المواد المستعمل وصياغة خرسانة الرمل بالألياف المعدنية :

1.III مدخل:

إن الخرسانة والخرسانة المدعمة بالألياف هي مركبات مكونة من عدة مواد (رمل، حصى، إسمنت، ماء، محسنات ...الخ) ومدعمة بمجموعة من الإضافات مثل الألياف.

ونظرا لعدم وجود صيغ عالمية موحدة، فإن خرسانة الرمل بالألياف هي محل أبحاث ودراسات يهدف مجملها إلى جعل ه ذه الأخيرة مادة صناعية عالمية.

2.III خصائص المواد المستعملة:

ارتأينا في ه ذه الدراسة استعمال رمل الكثبان الموجود بكثرة خاصة في الجنوب الجزائري وتحسين خصائصه بالرمل الطبيعي المتواجد والمتداول وهو في الغالب من رمل الوديان واسمنت CPA لمنطقة عين التوتة والألياف المعدنية المتواجدة في السوق وذلك من أجل الحصول على صيغة لتحسين رمل الكثبان وبأقل تكلفة.

1.2.III الرمل :

نحصل عليه نتيجة تفتت الصخور الطبيعية بفعل الرياح وجريان الماء كما يمكن أن نتحصل عليه اصطناعيا بسحق خبث الأفران العالية ولتحضير الخرسانة يستعمل الرمل الطبيعي الكوارتز ورمل الكثبان واللذان يجب أن يكونا خاليين من المواد المتفاعلة مثل الأملاح والأحماض والمواد القلوية وكذلك الشوائب الغضارية 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) **[50]** كل أنواع الرمل يمكن استعمالها في خرسانة الرمل بشرط واحد من شأنه أن يقيد هذا الاستعمال ألا وهو النقاوة (la propreté)

- في هذه الدراسة سنتناول رمل الكثبان لمنطقة عين البيضاء (ولاية ورقلة) والرمل الطبيعي لمنطقة حاسي السائح ورمل المحاجر لمنطقة حاسي مسعود .

وسنعرض بعض نتائج التجارب المجرات بين كلا النوعين .

1.1.2.III التحليل الكيميائي :

الجدول يبين النسب المئوية للمكونات الكيميائية في كلا الرمليين[18].

الجدول III.1 النسب المئوية للمكونات الكيميائية للرمل الطبيعي و رمل الكثبان

النسب المئوية للمكونات	رمل الكثبان	الرمل الطبيعي
% $Fe\ 2O_3$ - $AL_2\ O_3$	0,25	0,67
% SO_4 Ca	2,05	1,03
Insoluble	95,36	95,98
% Nacl	trace	trace
% Perte au Feu	1,16	0,67
% Eau de constitution	1,16	0,67

III. 2.1.2 الكتلة الحجمية :

الهدف منها هو معرفة نوع الركام المستعمل وكثافته وكذا معرفة الأحجام والكتل التي تدخل في تركيب الخرسانة، وهي معرفة بالقواعد[50] NFP 18-301.

1- الكتلة الحجمية الظاهرية: (Masse volumique apparente)

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

$$\rho_{app} = \frac{M_T}{V_T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.1)$$

ρ_{app} : الكتلة الحجمية الظاهرية .

M_T : وزن العينة الكلي.

V_T : حجم العينة الكلي .

2- الكتلة الحجمية المطلقة: (Masse volumique absolue)

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

$$\rho_{ab} = \frac{M_S}{V_S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.2)$$

ρ_{ab} : الكتلة الحجمية المطلقة .

M_s : وزن الحبيبات الصلبة.

V_s : حجم الحبيبات الصلبة.

و الجدول الموالي يعرض النتائج المتحصل عليها :

الجدول 2.III الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة للرمل الطبيعي و رمل الكثبان

النوع	**الكتلة الحجمية الظاهرية**(Kg/m^3)	**الكتلة الحجمية المطلقة**(Kg/m^3)
رمل الكثبان :	1521	2612
الرمل الطبيعي	1668	2608
الرمل المحاجر	1453.36	2056.4
الرمل الطبيعي50% + رمل الكثبان 50 %	1594.5	2610
الرمل الطبيعي60% + رمل الكثبان 40 %	1609.2	2609.6

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

يعرف بواسطة القاعدة [50] NFP 18-555 , هذه التجربة تحسب المسامية الداخلية في الحبيبات وهي تعرف بكونها النسبة بين الوزن الرطب للعينة على الوزن الجاف وتعطى بالعلاقة[53] :

$$A_b = \left(\frac{M_a - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.3)$$

A_b : معامل امتصاص الماء (%) .

M_a : كتلة العينة قبل التجفيف .

M_s : كتلة العينة بعد التجفيف وقبل الوصول الى 105°

وكانت النتائج كما يلي :

و الجدول 3.III يبين النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء A_b .

الجدول 3.III النسب المئوية لمعامل امتصاص الماء A_b

نوع الرمل	**معامل امتصاص الماء** A_b (%)
رمل الكثبان	0.086
رمل الطبيعي	0.08
رمل المحاجر	0.751

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

4.1.2.III المكافئ الرملي :(Equivalent de sable):

يعرف بواسطة القاعدة NFP 18-598, الهدف منه هو تحديد نسبة الغضار والمواد العالقة الموجودة في الرمل لمعرفة ما مدى نقاوة وصلاحية استعماله في الخرسانة و الملاط.

مبدأ التجربة:

يتضمن هذا الاختبار:

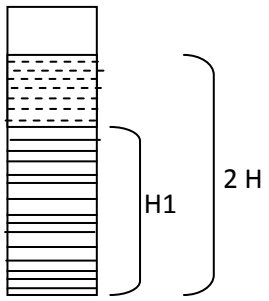
- غمس وزن محدد من الرمل في محلول floculant.
- بعدها نقوم بالإثارة والرج بواسطة الجهاز لمدة 30 ث.
- نقوم بتسوية العينة ثم نتركها لمدة 20 دقيقة .
- ثم نقيس ارتفاعات الرواسب .

*طبقة سفلى تمثل الرمل الصافي ارتفاعها (H1) .

* طبقة علية تمثل الرمل مع الشوائب ارتفاعها (H2) .

المكافئ الرملي يعطى عن طريق :

$$Es = \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$



الشكلIII الأداة المستعملة في تجربة المكافئ الرملي.1

بعد القيام بالتجارب وجدنا النتائج المدونة في الجدول التالي :

الجدول III.4 النسب المئوية للمكافئ الرملي ES

تركيبة الرمل	المكافئ الرملي ES (%)
رمل طبيعي (SA)	83 %
رمل الكثبان(SD)	98 %
5O % SA + 50 SD	85 %
40 % SA + 60 SD	87%

كل الاختبارات أعطت معامل ES > 80 ومع ذلك ، نلاحظ الغياب شبه التام للدقائق الطينية [32]

5.1.2.III التدرج الحبيبي : (Analyse granulométrique)

يقصد بتجربة التدرج الحبيبي فصل المقاسات المختلفة من الركام بعضها عن بعض أي تعيين التوزيع الحجمي لحبيبات الركام ويكون ذلك باستعمال التحليل بالغربلة بواسطة مجموعة من الغرابيل 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.و تعرف ه ذه التجربة بواسطة المواصفات[50] NFP 18-560 .

سندرس خمس حالات من العينات ذات نسب مختلفة من كلا النوعين من الرمل بالإضافة الى رمل المحاجر المأخوذ من منطقة حاسي مسعود.

- العينة الأول : 100% رمل الكثبان .
- العينة الثانية : 100% رمل طبيعي .
- العينة الثالثة : 100% رمل المحاجر.
- العينة الرابعة : 50% رمل الكثبان +50% رمل طبيعي .
- العينة الخامسة : 40% رمل الكثبان +60% رمل طبيعي .

ان القاعدة تنص على أن الوزن الأصغري المستعمل في العينة يكون يحقق العلاقة التالية [52,51] :

$$M \geq 0.2\ Dmax \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.5)$$

حيث :

M : وزن العينة ب كغ

Dmax : القطر ألأعظمي للحبيبات مأخوذ ب ملم .

استعملنا في ه ذه التجربة 2كغ من الرمل إذ هي القيمة العملية **[52]** فكانت النتائج كما يلي:

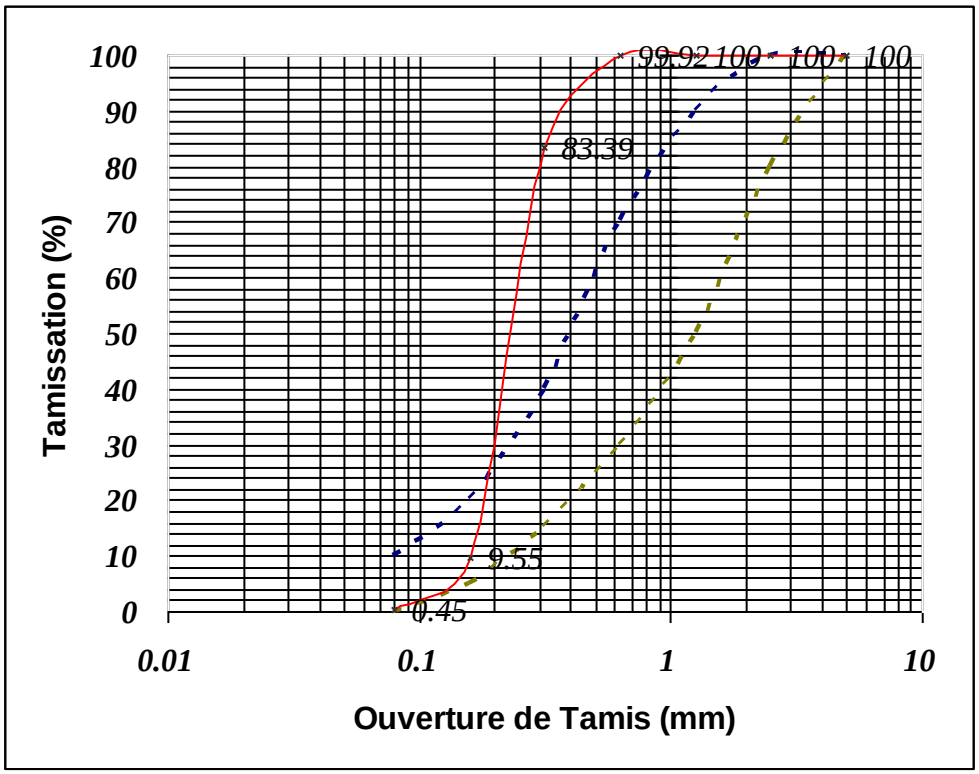
الجدول أدناه يوضح بعض النتائج المتوسطة للعينات:

- العينة الأول 100% رمل الكثبان

الجدول III.5 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأول 100% رمل الكثبان:

فتحات الغربال ب(mm)	نوع الغربال	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المار المجمع ب T (%)
5	38	0	0	0
2.5	35	0	0	0
1.25	32	0	0	0
0.63	29	1.6	0.08	99.92
0.315	26	332.2	16.61	83.39
0.16	23	1809	90.45	9.55
0.08	20	1991	99.55	0.45
Fond	/	1998	99.9	0.1

الشكل III.2 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الأول 100% رمل الكثبان



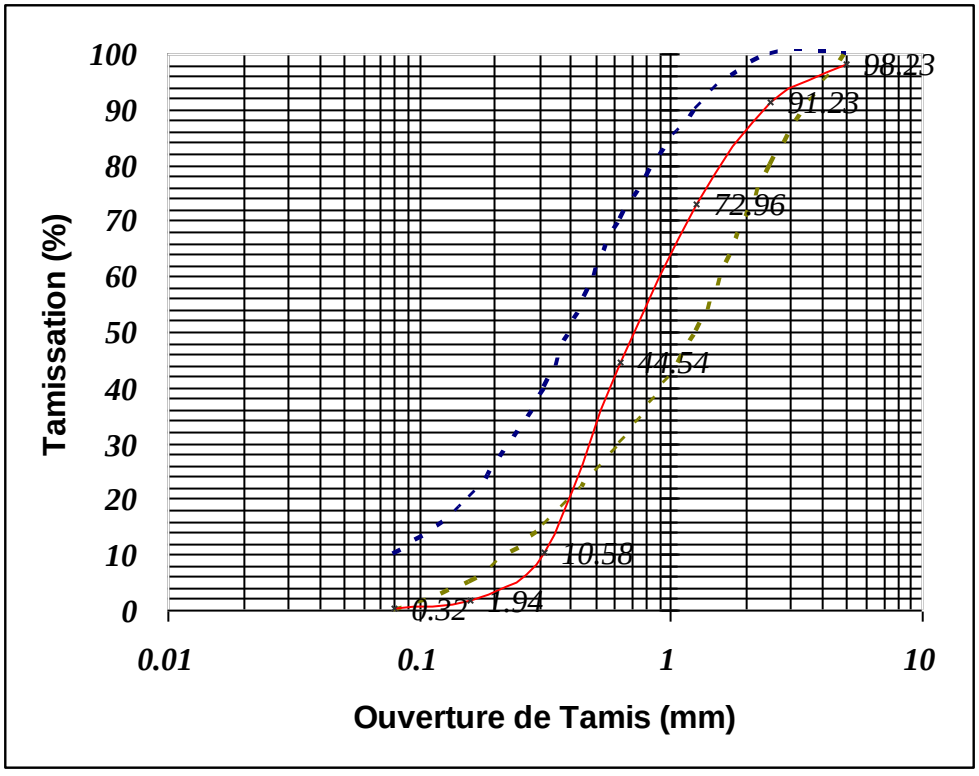
الملاحظ أن ه ذا الرمل دقيق لأنه يحتوي على حبيبات أقل من 0.63 mm **[53]**.

- العينة الثانية : 100% رمل طبيعي .

الجدول III.6 نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية : 100% رمل طبيعي

فتحات الغربال ب(mm)	نوع الغربال	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المار المجمع ب T (%)
5	38	35.4	1.77	98.23
2.5	35	175.4	8.77	91.23
1.25	32	540.8	27.04	82.96
0.63	29	1105.2	55.26	44.74
0.315	26	1788.4	89.42	10.58
0.16	23	1961.2	98.06	1.94
0.08	20	1993.6	99.68	0.32
Fond	/	1999.8	99.99	0.01

الشكل III.3 منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثانية : 100% رمل طبيعي

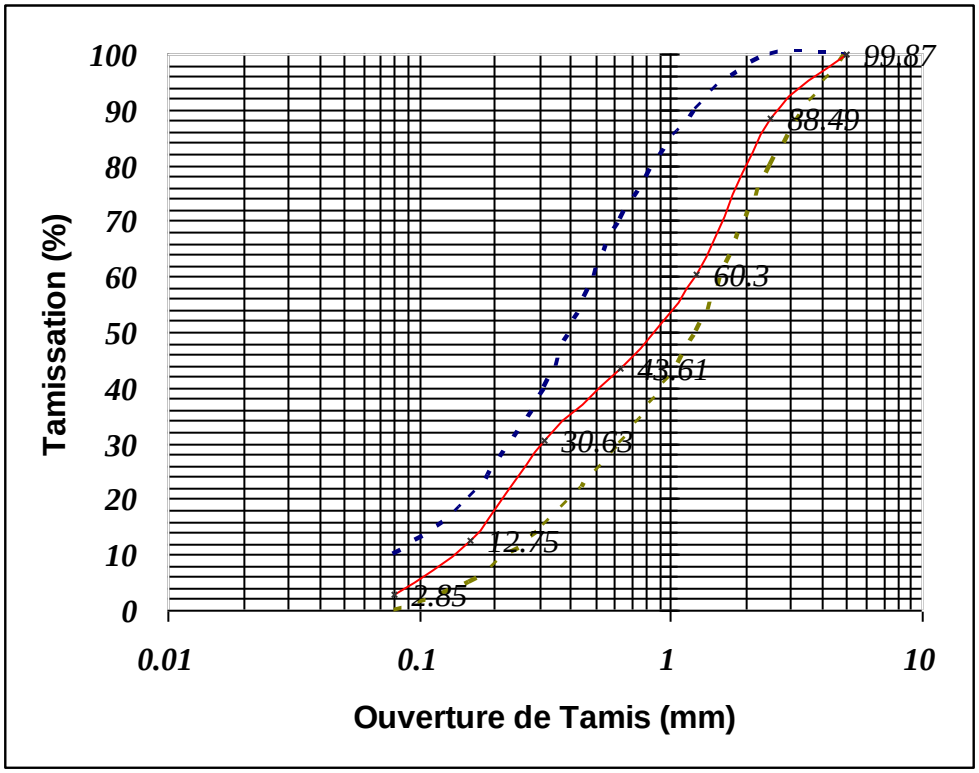


- العينة الثالثة : 100% رمل المحاجر.

الجدول 7.III نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة : 100% رمل المحاجر

فتحات الغربال ب(mm)	نوع الغربال	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المار المجمع ب T (%)
5	38	2.6	0.13	99.87
2.5	35	230.2	11.51	88.49
1.25	32	794	39.7	60.3
0.63	29	1127.8	56.39	43.61
0.315	26	1387.4	69.37	30.63
0.16	23	1745	87.25	12.75
0.08	20	1943	97.15	2.85
Fond	/	1999.2	99.96	0.04

الشكل 4.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الثالثة : 100% رمل المحاجر

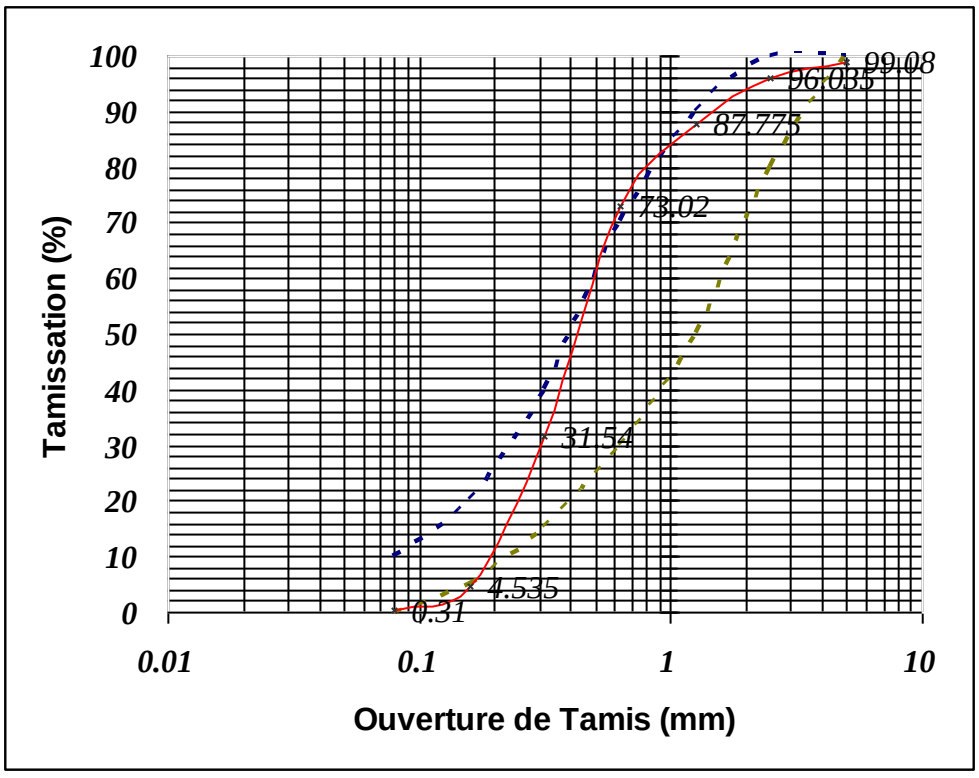


- العينة الرابعة : 50% رمل الكثبان +50% رمل طبيعي

الجدول 8.III نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة : 50% رمل الكثبان +50% رمل طبيعي

فتحات الغربال ب(mm)	نوع الغربال	المتبقي المجمع ب Rc (g)	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المار المجمع ب T (%)
5	38	18.4	0.92	99.08
2.5	35	79.3	3.965	96.035
1.25	32	245.1	12.225	87.775
0.63	29	539.6	26.98	73.02
0.315	26	1372.8	68.64	31.36
0.16	23	1909.3	95.465	4.535
0.08	20	1993.8	99.69	0.31
Fond	/	1999.6	99.98	0.02

الشكل 5.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الرابعة : 50% رمل الكثبان +50% رمل طبيعي

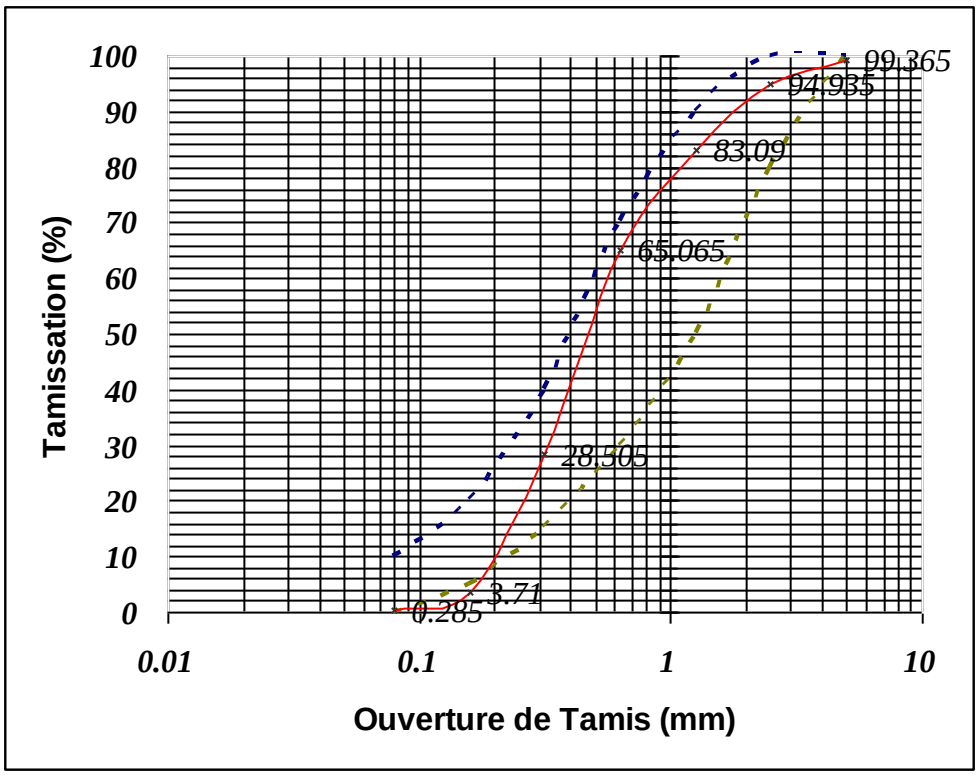


- العينة الخامسة : 40% رمل الكثبان +60% رمل طبيعي

الجدول 9.III نتائج تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة : 40% رمل الكثبان +60% رمل طبيعي

فتحات الغربال ب(mm)	نوع الغربال	المتبقي المجمع Rc (g) ب	نسبة المتبقي المجمع Rc(%)	المار المجمع ب T (%)
5	38	12.7	0.635	99.365
2.5	35	101.3	5.065	94.935
1.25	32	338.2	16.91	83.09
0.63	29	698.7	34.935	65.065
0.315	26	1429.9	71.495	28.505
0.16	23	1925.8	96.29	3.71
0.08	20	1994.3	99.715	0.285
Fond	/	1999.4	99.97	0.03

الشكل 6.III منحنى تجربة التدرج الحبيبي للعينة الخامسة : 40% رمل الكثبان +60% رمل طبيعي



6.1.2.III معيار النعومة**: (Module de finesse)**

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

ويعبر معيار النعومة عن الحجم المتوسط لحبيبات الركام وهو لا يدل على مدى تدرج الركام من عدمه، ويستخدم معيار النعومة في بعض طرق تصميم الخلطات الخراسانية ومن أجل الرمل نستطيع تعريف ثلاث مجالات لمعاير النعومة للرمل حيث **[45]**:

- 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.

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

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

إذا معيار النعومة لكل عينة وبعد الحساب هو :

الجدول III.10 معيار النعومة لكل عينة

العينة	الأولى	الثانية	الثالثة	الرابعة	الخامسة
معامل النعومة Mf	1.0714	2.8	2.64	2.08	2.2533

- بالنسبة للعينة الأولى التي تحتوي على نسبة رمل الكثبان 100% ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf 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 **[45]** نقترح التصحيح بالرمل الطبيعي .

- وأما بالنسبة للعينة الثانية التي تحتوي على نسبة رمل طبيعي 100% ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf 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.

- وأما بالنسبة للعينة الثالثة التي تحتوي على نسبة رمل المحاجر 100% ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf 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 منحنى لا يتوافق تماما مع المجال للمنحنى المرجعي حيث أنه يدخل المجال في بعض النقاط ويكون خارج المجال في بعض النقاط الأخرى.

- بالنسبة للعينة الرابعة التي تحتوي على نسبة رمل الكثبان 50% + رمل طبيعي 50% ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf 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 للعينة الخامسة التي تحتوي على نسبة رمل الكثبان 40% + رمل طبيعي 60% ومن خلال قيمة معامل النعومة Mf 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**[52]**.

III. 2.2الاسمنت : الإسمنت ciment رابط مائي ضروري مصنّع غير عضوي له خاصة التفاعل مع الماء وتكوين عجينة لدنة قادرة عند تصلبها على ربط الرمل والحصى والحجارة التي تخلط بها، وبذلك يتشكل الملاط Mortier والخرسانة Béton المقاومان لتأثير العوامل الطبيعية والماء تأثيراً مديداً. يعد الإسمنت من أهم مواد البناء، ويرجع تصلبه إلى التفاعلات الكيماوية القائمة على تمييه Hydratation سيليكات الكلسيوم و ألومينياته وكبريتاته التي يتركب منها. وأنواعه كثيرة أشهرها وأكثرها انتشاراً «الإسمنت البرتلندي»

الاسمنت المستعمل هو اسمنت من نوع CPJ CEM II / A 42.5 متواجد في السوق المحلي مصنوع من طرف مصنع الاسمنت بعين التوتة .

نتائج التجارب المجرات على هذا النوع من الاسمنت بخصوص الكتلة الحجمية الظاهرية والمطلقة معطاة مسبقا في البطاقة التقنية لنوع الاسمنت**[54]** .

الكتلة الحجمية المطلقة : ρ_{ab} =3034 Kg/m^3

الكتلة الحجمية الظاهرية : ρ_{ab} = 2120 Kg/m^3

وفيما يلي نتطرق الى بعض التحارب :

1.2.2.IIIالمساحة السطحية للاسمنت : Surface spécifique

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

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

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

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

$$SSB = \frac{k\sqrt{e^3}\sqrt{t}}{\rho(1-e)\sqrt{\eta}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.7)$$

t : زمن مرور الهواء عبر طبقة المسحوق بالثانية .

η : لزوجة الهواء عند درجة الحرارة المجرات فيها التجربة .

ρ : الكتلة الحجمية المطلقة ب g/cm^3 .

K : ثابت الجهاز .

e : النفاذية .

المساحـــة السطحيـــة للاسمنت المستعمل (اسمنت عين التوتة) مقاســـه في مخبر مطحنـــــة الاسمنت أعطى $3859\ cm^2/g$

2.2.2.III زمن التصلب :

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

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

ويكون عموما زمن التصلب أكثر من 90 دقيقة بالنسبة للاسمنت العادي في درجة حرارة 20 درجة مئوية. أما بالنسبة للاسمنت المستعمل في الدراسة (اسمنت عين التوتة) فحسب البطاقة التقنية فإن**[54]** :

الزمن الابتدائي للتصلب : 128 دقيقة

الزمن النهائي للتصلب : 184 دقيقة

3.2.2.III الخصائص الكيمائية :

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

الجدول 11.III التحليل الكيميائي للاسمنت

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	PAF
21.90	5.73	3.13	60.18	1.85	2.29	0.19	0.83	4.07

نلاحظ أن الأسمنت المستخدمة يحتوي على نسب كبيرة من الكلس والسيليس.

القلويات = $Na2O + 0.658K2O = 0.736 < 0.6$ ٪ ولكن لا يوجد أي خطر من فعل القلويات لأنهم ليسوا من الحجر الجيري دولوميت .

4.2.2.III مقاومة الضغط :

يُميَّز الإسمنت بمقاومته للضغط بعد يومين وبعد سبعة أيام وبعد ثمانية وعشرين يوماً من لحظة إعداد الخلطة، ويتم ذلك على مواد اختباريه من ملاط نظامي وعينات خراسانية ذات مواصفات خاصة تنص عليها المقاييس الدولية والحكومية وتتبع في ذلك طرائق اختبار فيزيائية و ميكانيكية محددة **[45+55]** .

5.2.2.III المعامل الهدروليكي Indice d' hydraulicité :

المعامل الهدروليكي أو معامل فيكا Vicat ،الذي يعرف بالنسبة او الكسر الحامض من مكوات الاسمنت على القاعدي منها .

$$I = \frac{SiO2 + Al2O3}{MgO + CaO} = 0.44 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.8)$$

الأسمنت المستخدم $I = 0.44 < 0.5$ إذن الاسمنت محايد . **[56]**

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

الجدول 12.III الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لإسمنت مصنع عين التوتة

الخصائص الفيزيائية	الكتلة الحجمية المطلقة : $\rho_a = 2120$ (kg/m^3) الكتلة الحجمية الظاهرية : $\rho_b = 3043$ (kg/m^3) المساحة السطحية النوعية : SSB = 3895 (g/cm^2) بدء التصلب : 128 دقيقة نهاية التصلب : 184 دقيقة
الخصائص الميكانيكية (Mpa)	Rc28 = 48.24 ± 2.89 Rc 7 = 37.61 ± 2.77MPa Rc2 = 22.27 ± 2.24 Rt28 = 08.48 ± 0.52 Rt7 = 07.11 ± 0.43 Rt2 = 04.97 ±0.41

3.2.III: الماء :

أهمية الماء:

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

النسبة المائية الإسمنتية E/C:

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

1.3.2.III خواص الماء المستعمل في الخرسانة:

1. يكون الماء المستعمل في خلط ومعالجة الخرسانة خاليا من المواد الضارة مثل الزيوت والشحوم والأملاح والأحماض والقلويات والمواد العضوية والفلين والمواد الناعمة سواء كانت هذه المواد ذائبة أو معلقة وخلافها من المواد التي يكون لها تأثير عكسي على الخرسانة من حيث قوة الكسر والمتانة.

2. يعتبر الماء الصافي الصالح للشرب صالحا لخلط الخرسانة وإيناعها.

3. يسمح باستعمال الماء غير الصالح للشرب في حالة عدم توفر الماء الصالح لشرب 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) يوم وحسب المواصفات التقنية اللازمة .

5. يجرى تصميم الخلطة الخراسانية في المختبر باستعمال نفس الماء غير الصالح للشرب والذي سيجرى استخدامه في الخلطات الخراسانية بالموقع**[57]**.

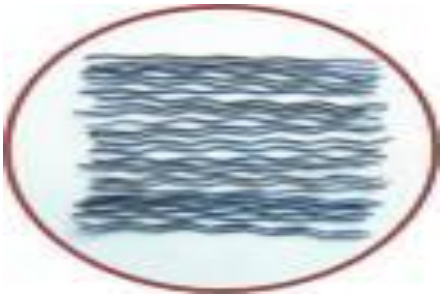
2.3.2.III التركيبة الكيمائية للماء المستعمل:

الجدول 13.III **التركيبة الكيمائية للماء المستعمل**[18]

الملوحة	PH	$HCO3^-$	$SO4^-$	$NO3^-$	Cl^-	Na^{++}	K^{++}	Mg^{++}	Ca^{++}
2799	7.75	124	755	14.5	755	536	31	125	242

III. 4.2 الألياف :

الألياف المستعملة في هذه الدراسة هي ألياف معدنية متواجد في الأسواق بأبعاد وأشكال مدروسة خصيصا لاستعمالها في تحسين خصيصا الخرسانة، وقد استعمالنا نوعين من ه ذه المادة وهما **Irregular** و **Hoked** المصنوعين من الحديد اللين، حيث يسمح الشكل الهندسي لهما بإعطاء الخرسانة مقاومة أكثر. تم جلبهم 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 و الصورة 1.III تبين شكل الألياف المعدنية المستعملة. انظر الملحق الصورة 1.III تبين الشكل الحقيقي الألياف المعدنية المستعملة.



ألياف معدنية متموجة

ألياف معدنية ذات عكفت

الصورة 1.III شكل الألياف المعدنية المستعملة

III. 3 الخصائص الميكانيكية للألياف المستعملة :

- الكتلة الحجمية المطلقة:

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

- الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف المعدنية المستعملة :

وتلخص في الجدول التالي حسب البطاقة التقنية[7]:

الجدول III.14 الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للألياف المعدنية المستعملة

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

III. 4 صياغة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف:

بعد اختيار المواد الداخلة في تركيبة الخرسانة ومعرفة كل خصائصها، نبحث 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 تغير في التدرج الحبيبي العام للركام وبالتالي التأثير على التشغيلية[56].

1.4.III صياغة وتحضير الملاط النظامي :

الملاط النظامي [57]: معرف حسب القاعدة EN 196-1 وهو عبارة عن خليط من الاسمنت والماء والرمل كل من هذه المكونات يخضع لشروط نظامية منصوص عليها. فالرمل المستخدم هو رمل نظامي يجب أن يكون يوفي الشروط المنصوص عليها في النظام (CEN EN 196-1) هذا الرمل تجاري يباع في أكياس من البلاستيك ذات وزن g1350 ± g5 .

يتم خلط هذه الكمية من الرمل مع g450 ± g2 من الاسمنت و g225 ±g1 من الماء إذن يكون المعامل E/C يساوي 0.5. وقبل الشروع في تجارب التشغيلية والزمن الابتدائي للتصلب أو تجارب الانكماش، يخلط هذا المزيج لمدة 4 دقائق[57] وفق للشروط التي تمليها القاعدة :

- نبدأ أولا بوضع الماء في حاوية آلة الخلط ثم نتبعها بالاسمنت ونشغل مباشرة المحرك بسرعة بطيئة.
- وبعد 30 ثانية من الخلط نبدأ بوضع الرمل بصفة تدريجية لمدة 30 ثانية أخرى، ثم نشغل المحرك بسرعته 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 الاسمنت وخاصة المقاومة[57].

2.4.III صياغة خرسانة الرمل العادية (الشاهد):

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

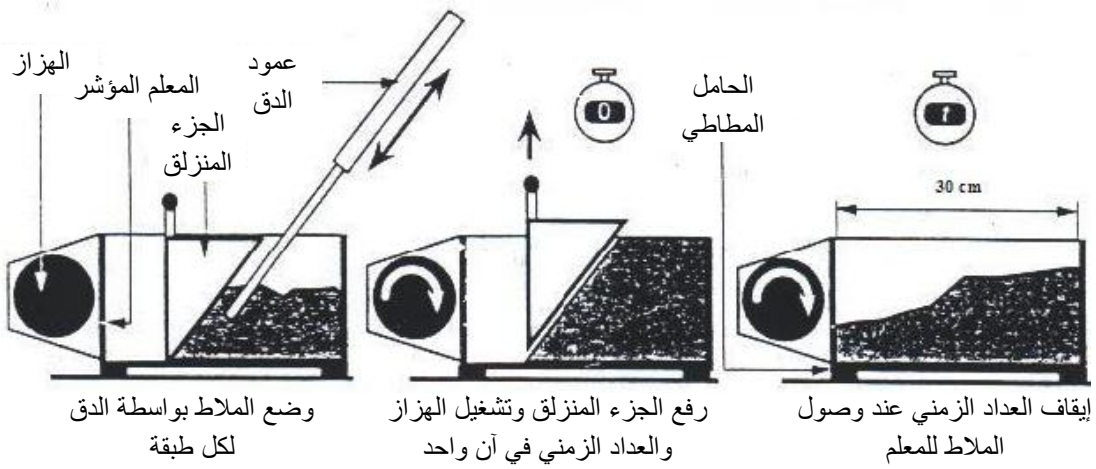
III. 3.4 تجربة التشغيلية :

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 لا حقا. ونقول أن الخرسانة أكثر تشغيلية إذا كانت عملية صبها في القوالب أكثر سهولة[59] .

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 جدا، خرسانة مائعة**[32]**. وهي موصى به حسب NFP 18-452 وNF P 15-437 [44].

الجهاز المستعمل :

ويسمى الجهاز بالـ Maniabilimétre كما ذكرنا سابقا وكما هو موضح في الشكل (7.III) ، حيث يتكون من علبة متوازية الأضلاع ذات الأبعاد 30 x 15 x 15 سم موضوعة على حوامل من المطاط، وهو مجهز بهزاز وجزء منزلق يعطي إشارة انطلاق الهز عند سحبه. كما نحتاج في ه ذه التجربة إلى خلاط منتظم من أجل تكوين الخرسانة أو الملاط المراد إجراء التجربة عليه.



الشكل III.7 تجربة التشغيلية [27]

مبدأ التجربة :

تمر التجربة بعدة مواحل أهمها :

- خلط الخرسانة على حسب التركيبة المقترحة.
- نملئ الحوض بالخرسانة الطازجة في الجزء الأكبر من العلبة طبقة تلو الأخرى وذلك لأربع طبقات نقوم بعملية الدق بين كل طبقة وطبقة.
- بعد 4 دقائق من عملية الخلط نسحب الجزء المنزلق للجهاز لتبدأ عملية الاهتزاز.
- نشغل عداد الزمن الموازي للجهاز.
- نقيس الزمن t اللازم لسيلان الخرسانة حتى بلوغها الخط المرجعي [60]

الجدول III.15 **صنف الخرسانة بدلالة التشغيلية**

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

وبعد إجراء التجربة تحصلنا على النتائج التالية :

الجدول III.16 نتائج تجربة التشغيلية

التركيبة	**E/C**	**الزمن**
100% رمل كثبان	0.6	30.5 ±2ثا
50%رمل كثبان + 50 %رمل طبيعي	0.55	25 ±2ثا
40%رمل كثبان + 60 %رمل طبيعي	0.55	25 ±2ثا

إذن كل الخرسانة من النوع المرن حسب قواعد ENV206.

ملاحظة : كان من المستحسن استعمال إضافات في التركيبة 100% رمل كثبان وذلك للبقا في المجال المرن في كل الحالات ولكن مادامت لم تصل القيمة الى 40 ثا فضلنا عدم استعمال الملدن , وربما كان أحسن لو ثبتنا قيمة **E/C** عند 0.55 لرمل الكثبان مع إضافة الملدن لكن تركنا ذلك لدراسات لاحقه .

وعليه فان التركيبة للخرسانة الرمل الشاهد تؤخذ كما يلي :

الجدول III.17 تركيبة خرسانة الرمل الشاهد

المركبات	**100% رمل كثبان**	**50%رمل كثبان + 50 %رمل طبيعي**	**40%رمل كثبان + 60 %رمل طبيعي**
الرمل	3 أجزاء	3 أجزاء	3 أجزاء
الاسمنت	جزاء واحد	جزاء واحد	جزاء واحد
المعامل E/C	0.6	0.55	0.55

4.4.III صياغة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف:

للحصول على الصياغة الحسنة لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف نبقي 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)

و من أجل التركيبة المشتملة على رمل الكثبان50% +50%رمل طبيعي (E/C = 0.55)

و من أجل التركيبة المشتملة على رمل الكثبان40% +60%رمل طبيعي (E/C = 0.55)

أما بالنسبة لكمية الألياف المستعملة فمقدرة ب1% و1.5% 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 .

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

* العينة الأول 100% رمل الكثبان :

الجدول 18.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الأول 100% رمل الكثبان

نسبة الألياف	الرمل ب(Kg)	الاسمنت ب(Kg)	الماء ب(l)	الألياف ب(Kg)	E/C	زمن السيلان لليف المتموج	زمن السيلان لليف 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 50% رمل الكثبان+50%رمل طبيعي

الجدول 19.III تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثانية 50% رمل الكثبان+50%رمل طبيعي

نسبة الألياف	الرمل ب(Kg)	الاسمنت ب(Kg)	الماء ب(l)	الألياف ب(Kg)	E/C	زمن السيلان لليف المتموج	زمن السيلان لليف 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 الثالثة 40% رمل الكثبان+60%رمل طبيعي :

الجدول III.20 تركيبة خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للعينة الثالثة 40% رمل الكثبان+60%رمل طبيعي

نسبة الألياف	الرمل ب(Kg)	الاسمنت ب(Kg)	الماء ب(l)	الألياف ب(Kg)	E/C	زمن السيلان لليف المتموج	زمن السيلان لليف 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

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

الجدول III. 21 الكتلة الحجمية لخرسانة الألياف المنجزة **ب(Kg/m^3)**

العينة	100% رمل الكثبان	50% رمل الكثبان+50%رمل طبيعي	40% رمل الكثبان+60%رمل طبيعي
بدون ليف	2120	2135	2135
%1	2172.37	2164.19	2164.19
%1.5	2198.56	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 .

5.4.III تحضير وشكل العينة :

بعد الحصول على الصياغة المثل لخرسانة رمل الكثبان المدعمة بالألياف المعدنية قمنا بالتحضير لعملية الخلط والصب للعينات اللازم دراستها حيث كانت بالأبعاد التالية (40×40×160ملم) أما العجينة فتم خلطها باليد وتم تحضير هذا الخليط بالطريقة التالية :

- تم خلط الرمل (S) لوحده لمدة 30 ثانية .
- إدخال الاسمنت (C) ثم الخلط لمدة 60 ثانية .
- إدخال الألياف المعدنية (F) مرحليا مع الخلط لضمان تجانس الخليط (S+C+F) .
- إضافة الماء تدرجيا أثناء الخلط للمجموعة (S+C+F+E) ثم الخلط لمدة 4 دقائق .

* ملئ القالب يكون عبر طبقتين مع هز كل طبق عند ملئها لمدة دقيقة و بوتيرة 60 هزة في هذه المدة من ارتفاع 15 mm ± 0.3 mm [59] والصورة **2.III**.من الملحق توضح الطاولة التي تم بها الهز . كم أن الصورة **3.III** توضح أشكال القوالب المستعملة .

* تترك العينة في الهواء الحر وفي شروط ($T= 25^o$ و HR = 65) ثم ينزع القالب بعد 24 ساعة وتغمس العينات في الماء لمدة 14 يوم في درجة حرارة ($T= 25^o \pm 2$). عدد العينات كان ستة 6 عينات لكل مرحلة زمنية من عمر الخرسانة والأعمار المدروسة هي (28,90,180 يوم)

الخلاصة :

نستخلص من هذا المحور ما يلي :

1 - من خلال التجارب المجرات على رمل الكثبان نستنتج أنه رمل دقيق معامل نعومته ضعيف لا يرقى لاستعماله في الخرسانة لوحده إلا إذا استعملنا معه بعض المحسنات .
2 - الرمل الطبيعي لمنطقة حاسي السائح أعطى معامل نعومة جيد .
3 - لتحسين خصائص رمل الكثبان اقترحنا أن يكون بالرمل الطبيعي بنسب 50 %من كلا النوعين للتركيبة الأولى و40 % من رمل الكثبان و60 % من الرمل الطبيعي في التركيبة الثانية و والثاني أعطتا معامل نعومة مقبول نسبيا .
4 - الاسمنت المستعمل مجلوب من منطقة عين التوتة وهو اسمنت بورتلندي عادي من نوع CPJ 45 .
5 - الماء المستعمل هو ماء صالح للشرب من حنفية مخبر الهندسة المدنية بالجامعة .
6 - الألياف المعدنية المستعملة نوعين هما **Irregular** و **Hoked** المتموجة وذات العكفات المصنوعين من الحديد اللين، حيث يسمح الشكل الهندسي لهما بإعطاء الخرسانة مقاومة أكثر.
7 - تركيبة خرسانة الرمل العادية التي سنستعملها كشاهد ، نأخذ تركيز من الاسمنت والرمل كما هو منصوص عليه في الملاط النظامي أي نأخذ مقدار من الاسمنت وثلاث مقادير من الرمل, أما نسبة الماء فحددت من خلال تجربة التشغيلية بمقدار E/C مساوي ل 0.6 .
8 - الصياغة المقترح لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف جاءت كما يلي : نبقي على النسبة E/C ثابت كما هي عليه في تركيبة خرسانة الرمل العادية أما بالنسبة لكمية الألياف المستعملة فمقدرة ب 1% و1.5% 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

IV-1 مدخل :

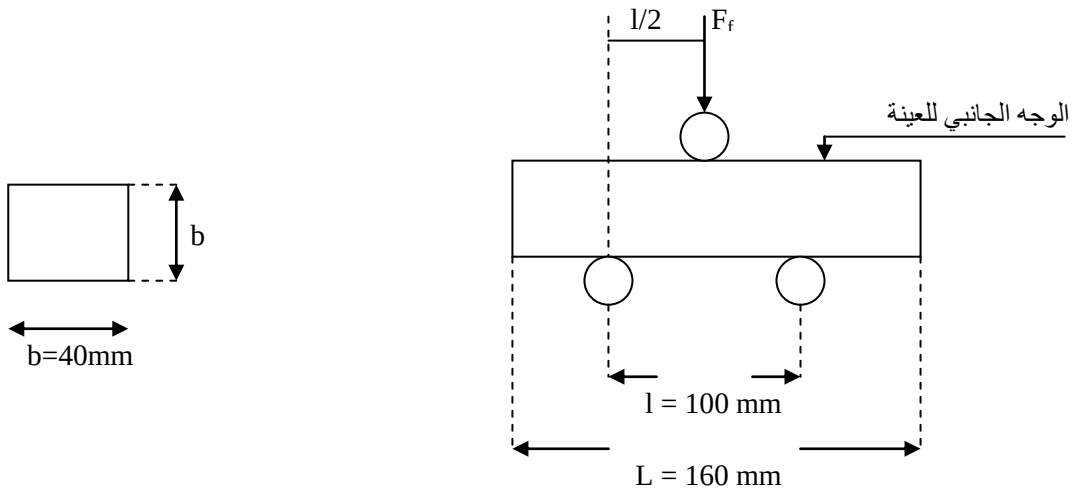
تعد الخصائص الميكانيكية لمادة ما أهم الخصائص التي تميزها عن الكثير من المواد وعن مثيلاتها من المركبات وبعد تعريف خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية و إعطاء نبذة عن تاريخها وخصائصها ومعرفة التركيبة المثلى لهذه المادة المقترح في الدراسة. ففي هذا الفصل سنتطرق الى الخصائص الميكانيكية لخرسانة الرمل المدعمة 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 و60.

IV-2 طرق التجارب :

IV- 2- 1 تجربة التحطيم بالانحناء :

تتم تجربة الانحناء على عينات لها مقطع مربع 4×4 سم و طول 16 سم , البعد بين المسندين 10سم 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 و تقرأ الحمولة مباشرة من الآلة .

هذه التجربة منصوص عليها حسب القاعدة EN 196-1 و شكل (**1-IV**) هو عبارة عن شكل تخطيطي لآلة التحطيم بواسطة الانحناء .



الشكلIV .1 يوضح آلية التحطيم بالانحناء

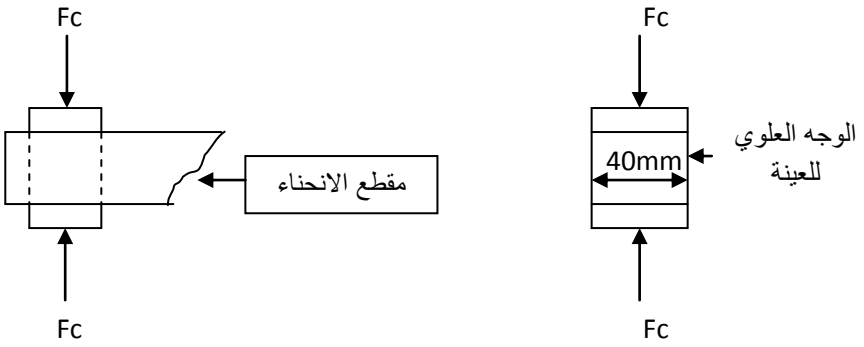
التجربة تجرى بواسطة آلة التحطيم الخاصة بتجربة الانحناء لعينة من خرسانة الرمل أو الملاط ذات أبعاد (40×40×160ملم) , قدرت هذه الآلة على التحطيم تصل الى 10KN إذ تطبق تقريبا 2.67 KN/min.
صورة الجهاز موضح في الملحق انظر الصورة (**1-IV**) .
مقاومة الانحناء تحسب بالعلاقة التالية :

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

R : مقاومة الانحناء ب (MPa)
F_f : قوة تحطم العينة عند الانحناء
l : البعد بين المسندين ب (mm)
b : جزاء العينة الذي يساوي 40 mm
L : طول العينة الكلي . **[51]**

IV- 2- 2 تجربة التحطيم بواسطة الضغط :

هذه التجربة منصوص عليها حسب القاعدة EN 196-1 . وتكون بواسطة جهاز ضغط المواد الصلبة وتكون على نصف العينة هذا النصف المتأتي من تجربة تحطيم العينة بالانحناء بمقطع ذو 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 IV.2 .



الشكلIV .2 يوضح آلية التحطيم بالضغط

التجربة تجرى بواسطة آلة التحطيم الجامعية الخاصة بتجربة الضغط 12 MP من نوع Oehlgass قدرة هذه الآلة على الضغط تصل الى 120 kN وبواسطة سرعة إنتقال منتظمة ومستمرة.صورة الجهاز موضح في الملحق انظر الصورة (**2-IV**) .

$$Rc = \sigma c / b^2 \quad \text{.....(4.2)}$$

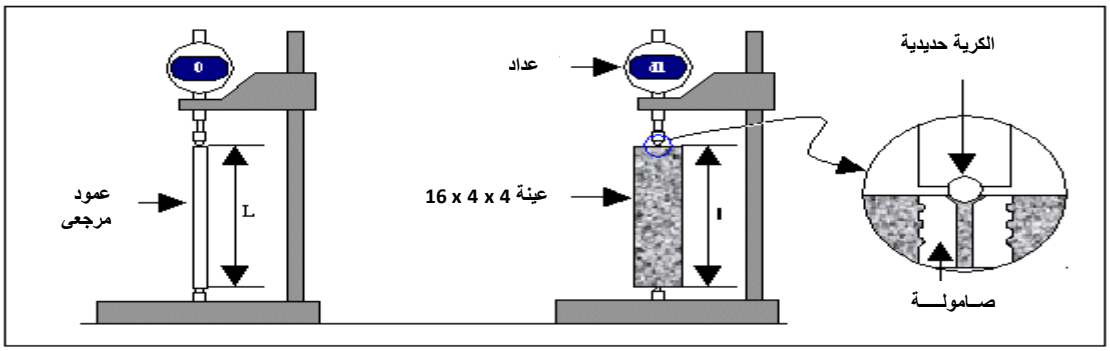
Rc : مقاومة الضغط ب (MPa)
σ_c : قوة تحطم العينة عند الضغط ب (N)

b : جزاء العينة الذي يساوي 40 mm **[51]**

IV- 2- 3 تجربة الانكماش :

تتم تجربة الانكماش على عينات لها مقطع مربع 4×4 cm و طول 16 cm مزودة في سطوحها العلوية والسفلي بصمولتان توضع عليهما كوريتين حديديتين وتدخل العينة وهي على هذا الحال الى جهاز رقمي يقس الطول مباشرة اعتبارا من طول ابتداء يضبط عليه , هذا الجهاز من النوع Rétrocontrôle : كما هو موضح في الملحق انظر الصورة (**IV - 3**) والشكل (**IV - 3**) يمثل شكل تخطيطي لجهاز قياس الانكماش .

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



الشكل IV-3 يوضح آلة الانكماش

ملاحظات :

I- قبل عرض النتائج 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

1- SD100% : خرسانة برمل الكثبان 100% .

2- SD50%+SA50% : خرسانة تحتوي على 50% رمل الكثبان و 50% رمل طبيعي .

3- SD40%+SA60% : خرسانة تحتوي على 40% رمل الكثبان و 60% رمل طبيعي .

4- SD100%+1%F1: خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 100% رمل الكثبان + الليف المتموج بنسبة 1 %.

5- SD100%+1%F1.5 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 100% رمل الكثبان + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.

6- SD100%+1%F2 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 100% رمل الكثبان + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.

7- SD100%+1.5%F2 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 100% رمل الكثبان + الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.

8 - SD50%+SA50%+1%F1: خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 50% رمل الكثبان + 50% رمل طبيعي. + الليف المتموج بنسبة 1 %.

9- SD50%+SA50%+1.5%F1 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 50% رمل الكثبان + 50% رمل طبيعي. + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.

10 – SD50%+SA50%+1%F2 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 50% رمل الكثبان + 50% رمل طبيعي. + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.

11- SD50%+SA50%+1.5%F2 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 50% رمل الكثبان + 50% رمل طبيعي. + الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.

12- SD40%+SA60%+1%F1 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 40% رمل الكثبان + 60% رمل طبيعي. + الليف المتموج بنسبة 1 %.

13- SD40%+SA60%+1.5%F1 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 40% رمل الكثبان + 60% رمل طبيعي. + الليف المتموج بنسبة 1.5 %.

14- SD40%+SA60%+1%F2 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 40% رمل الكثبان + 60% رمل طبيعي. + الليف ذي العكفات بنسبة 1 %.

15- SD40%+SA60%+1.5%F2 : خرسانة الرمل المدعمة بالألياف للتركيبة المحتوية على 40% رمل الكثبان + 60% رمل طبيعي. + الليف ذي العكفات بنسبة 1.5 %.

II – عدد العينات المختارة للقيام بكل تجاربه كان ستة عينات .

IV- 3 نتائج مقاومة الانحناء :

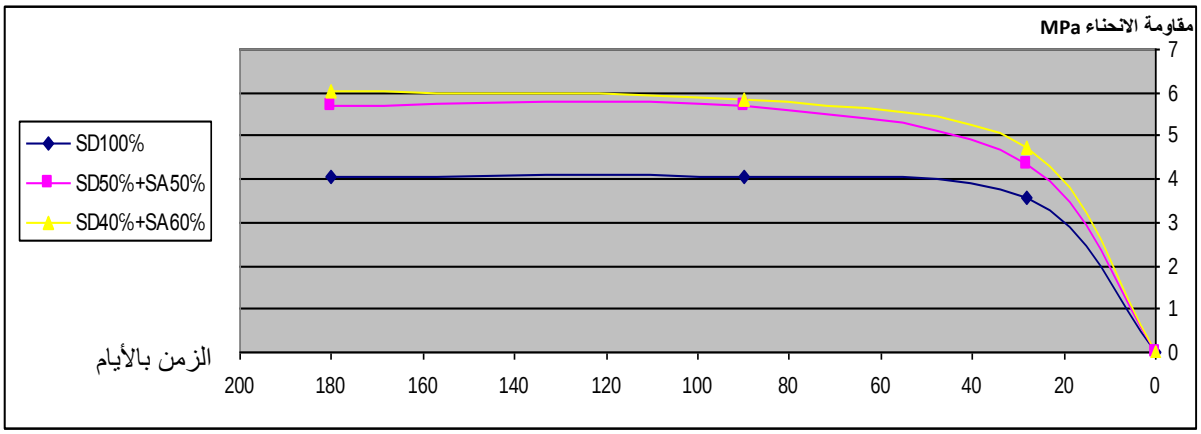
IV 1-3 تأثير تركيبة الرمل :

الجدول (1.IV) يوضح نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

الجدولIV. 1 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%	0.16±3.59	0.13±4.05	0.12±4.08
SD50%+SA50%	0.147±4.37	0.37±5.69	0.37±5.70
SD40%+SA60%	0.47±4.75	0.44±5.84	0.16±6.01

الشكل4.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل



* نلاحظ من خلال نتائج التجارب المجرات 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 .

IV 2-3 تأثير الألياف :

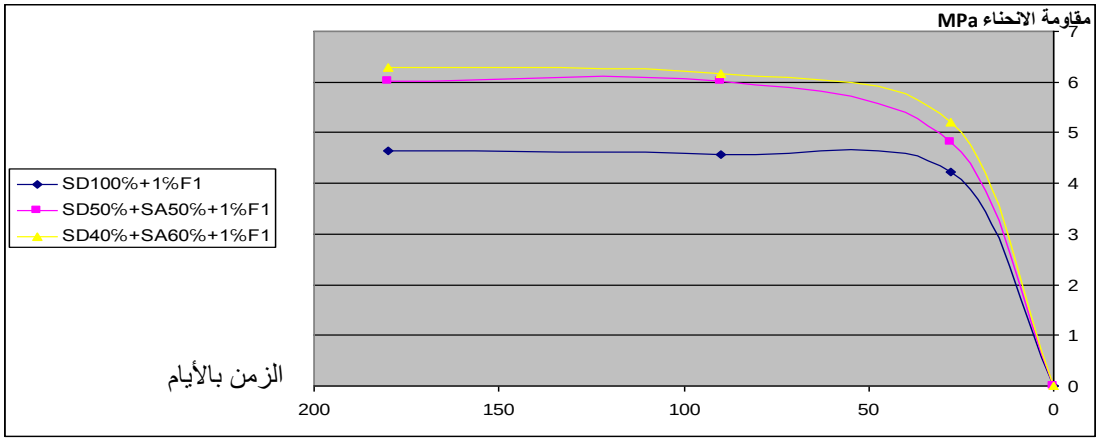
IV 2-3 -1 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

الجدول IV. 2 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .

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

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1%F1	0.087±4.23	0.25±4.56	0.12±4.63
SD50%+SA50%+1%F1	0.307±4.82	0.37±6.02	0.07±6.01
SD40%+SA60%+1%F1	0.67±5.21	0.29±6.16	0.049±6.28

الشكل IV.5 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

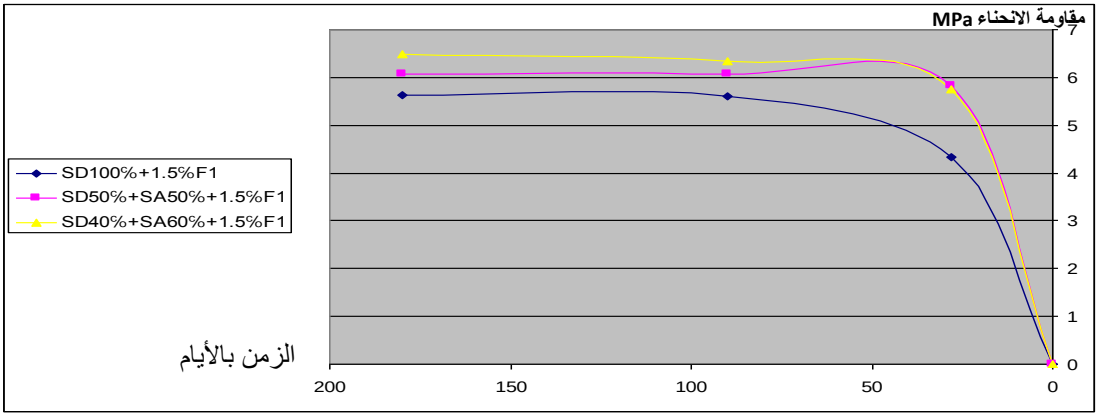


الجدول (3.IV) يوضح تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.

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

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1.5%F1	0.147±4.34	0.39±5.6	0.18±5.63
SD50%+SA50%+1.5%F1	0.13±5.83	0.27±7	0.085±6.08
SD40%+SA60%+1.5%F1	0.247±5.76	0.15±6.33	0.11±6.48

الشكلIV.6 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

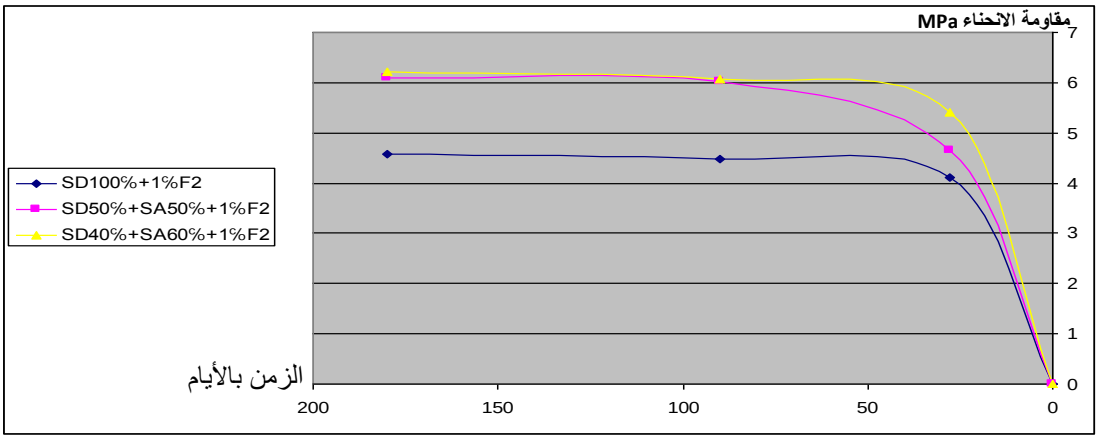


الجدول (4.IV) يوضح تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل .

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

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1%F2	0.14±4.10	0.19±4.48	0.15±4.57
SD50%+SA50%+1%F2	0.65±4.65	0.49±6.02	0.24±6.10
SD40%+SA60%+1%F2	0.28±5.40	0.27±6.07	0.11±6.23

الشكل 7.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل



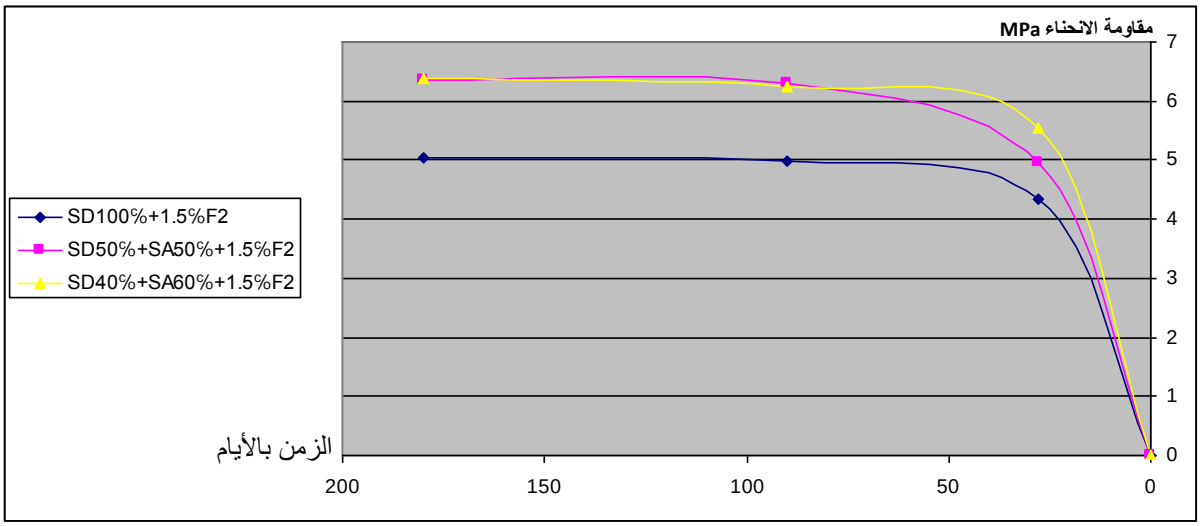
الجدول (5.IV) يوضح تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الانحناء لمختلف خرسانات الرمل.

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

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1.5%F2	0.127±4.33	0.11±4.98	0.06±5.03
SD50%+SA50%+1.5%F2	0.2±4.97	0.23±6.3	0.07±6.36
SD40%+SA60%+1.5%F2	0.26±5.55	0.3±6.26	0.15±6.38

الشكل 8.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

الشكل 8.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل



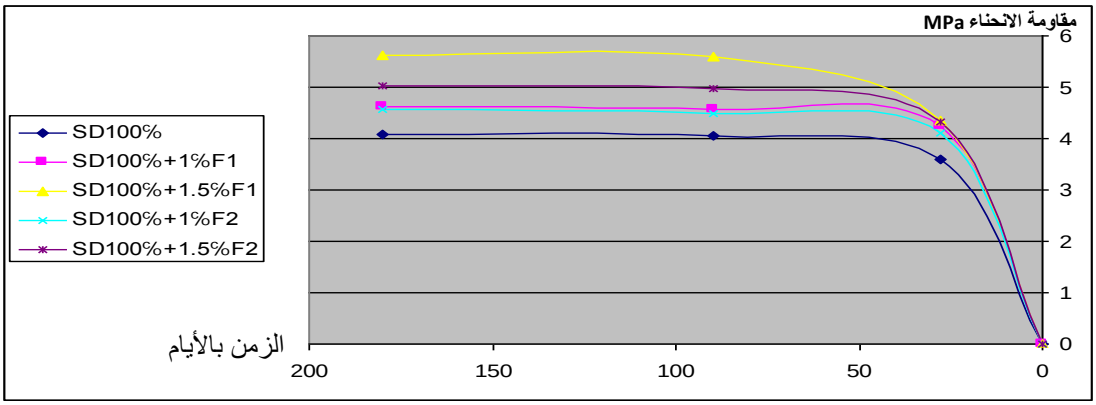
IV 2-2-3 تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

الجدول (6.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SD100%)

الجدول IV .6 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (SD100%)

العينة	الإجهاد في يوم 28 (MPa)	الإجهاد في 90 يوم (MPa)	الإجهاد في يوم 180 MPa( )
SD100%	3.59±0.16	4.050.13±	0.12±4.08
SD100%+1%F1	4.24±0.087	0.25±6.45	0.12±4.63
SD100%+1.5%F1	4.34±0.147	5.60.39±	0.18±5.63
SD100%+1%F2	4.10±0.14	80.19±4.4	0.15±4.57
SD100%+1.5%F2	4.33±0.127	4.98±0.11	0.065±5.03

الشكل IV .9 منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (SD100%)

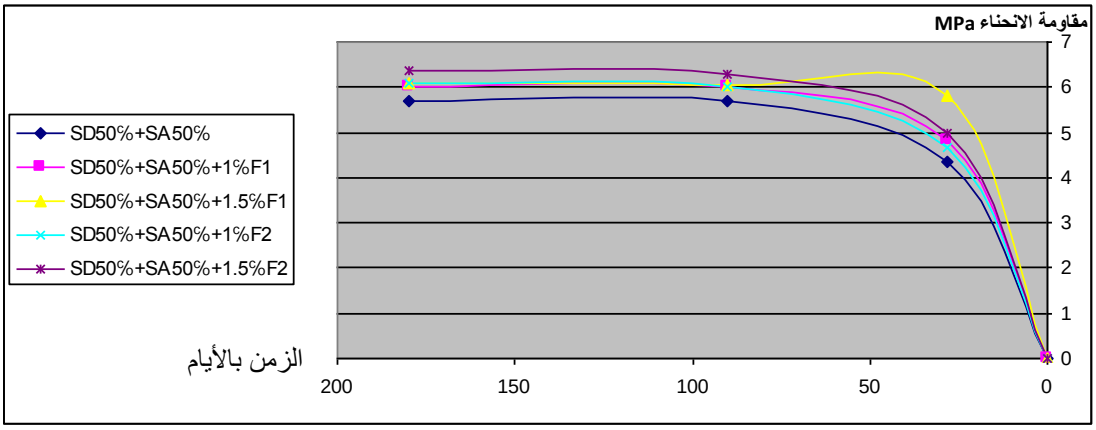


الجدول(7.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (50% SD+50% SA)

الجدول IV .7 نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (50% SD+50% SA)

العينة	الإجهاد في يوم 28(MPa)	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD50%+SA50%	4.37±0.147	0.37±5.69	0.37±5.70
SD50%+SA50%+1%F1	0.307±4.82	0.37±6.02	0.07±6.01
SD50%+SA50%+1.5%F1	0.13±5.83	0.27±6.61	0.085±6.78
SD50%+SA50%+1%F2	0.65±4.65	0.49±6.02	0.24±6.10
SD50%+SA50%+1.5%F2	0.2±4.97	0.23±6.3	0.07±6.36

الشكل10.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (50%SD+50% SA)

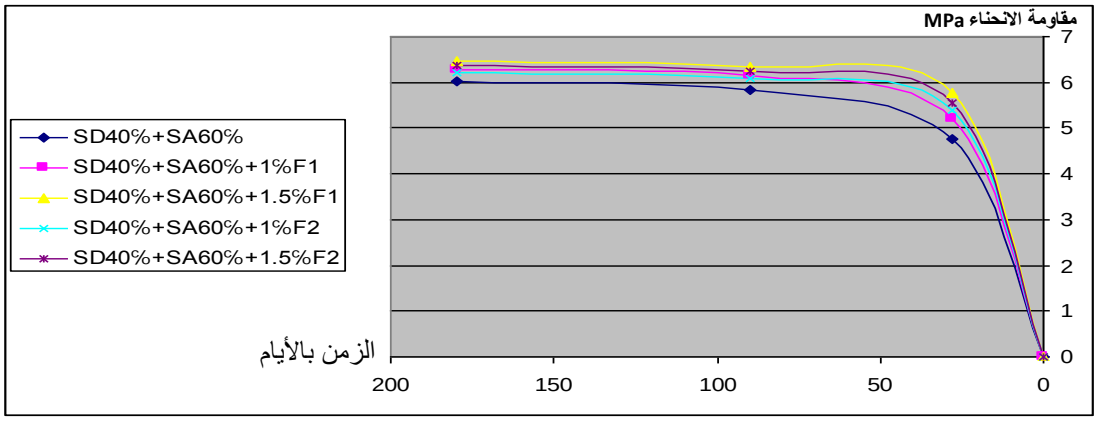


الجدول (8.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل للعينة (40% SD+60%SA)

الجدول8.IV نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (40%SD+60%SA)

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180(MPa)
SD40%+SA60%	0.47±4.75	0.44±5.84	6.012±0.16
SD40%+SA60%+1%F1	0.67±5.21	0.29±6.16	0.49±6.28
SD40%+SA60%+1.5%F1	0.247±5.76	0.15±6.33	0.11±6.48
SD40%+SA60%+1%F2	0.285±5.40	0.27±6.07	0.11±6.23
SD40%+SA60%+1.5%F2	0.263±5.55	0.3±6.26	0.1±56.38

الشكل 11.IV منحنى نتائج مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD40%+SA60%



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

IV- 3-3 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 و حسب المحسن المقترح من جهة أخرى فأنه 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 فلمسنا من خلال النتائج تحسن مقبول في مقاومة الانحناء وصل إلى نسبة 21 % بالنسبة للتركيبة SD50%+SA50% و 30 % بالنسبة للتركيبة SD40%+SA60% خلال 28 يوما من عمر الخرسانة.

ان هذا التحسن راجع الى كون أن التدرج الحبيبي لرمل الكثبان كان ضيق حيث أن قطر الحبيبات كان محصور بين القيمتين 0.63 و 0.08 ملم و معظم الحبيبات كانت ذات قطر 0.315 ملم مما يجعل مساحتها النوعية كبيرة جدا أي ذات مسامات كبيرة مما يؤدي الى ضعف التراصية وعند التحسين بالرمل الطبيعي سيتسع المجال الحبيبي ويصبح التدرج من 0.08 الى 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 [34+29] 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 الى حوالي 60 % .

ب- تأثير الألياف :

أما عند استعمالنا للألياف المعدنية كمحسن للتركيبات السابقة وبنوعين مختلفين :

- المتموج ذي الطول 4.5 سم وقطر 1 مم وبالنسبتين المختلفتين 1% و 1.5 % فأظهرت نتائج مقبولة لمقاومة الانحناء حيث وصلت نسبة التحسين في 28 يوم إلى 13.8 للتركيبة SD50%+SA50%+1%F1 أما التركيبة SD40%+SA60%+1%F1 فكان التحسين بنسبة 22.9، مقارنة بالتركيبة SD100%+1%F1. أما نسبة التحسين للتركيبة SD50%+SA50%+1.5%F1 فكانت 34% وفي التركيبة SD40%+SA60%+1.5%F1 كان التحسين بنسبة 32.5%، مقارنة بالتركيبة SD100%+1.5%F1 .

- ذو العكفات ذي الطول 3 سم وقطر 0.5 مم وبالنسبتين المختلفتين 1% و 1.5 % فأظهرت نتائج مقبولة لمقاومة الانحناء حيث وصلت نسبة التحسين في 28 يوم إلى 13.4 للتركيبة SD50%+SA50%+1%F2 أما التركيبة SD40%+SA60%+1%F2 فكان التحسين بنسبة 31.7، مقارنة بالتركيبة SD100%+1%F2.

أما نسبة التحسين للتركيبة SD50%+SA50%+1.5%F2 فكانت 14.8% وفي التركيبة SD40%+SA60%+1.5%F2 كان التحسين بنسبة 28.16%، مقارنة بالتركيبة SD100%+1.5%F2.

- وعند مقارنة كل نتائج التجارب السابقة تبين أن التركيبة المثلى للتحسين مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد (SD100%) كانت التركيبة SD50%+SA50%+1.5%F1 حيث كان التحسين بنسبة 62.5%.

- لدراسة هذه النتائج ومن ما تبين انه عند تحطيم العينات الشاهد لاحظنا التحطم المباشر للعينة أما عند تحطيم العينات المحتوية على الألياف لاحظنا قبل الانهيار ظهور تشققات تزداد بزيادة القوة حتى الوصول الى التحطم هذا ما يعني أن للألياف دور مهم في مقاومة الانحناء وضم التشققات, إذ أنها تمسك العينة حال الانهيار وتجعلها مرنة أي لها مجال إضافي لدن قبل تحطمها وهذا راجع الى الارتباط الحاصل بين الخرسانة والألياف من جهة والى مقاومة الألياف للقطع من جهة أخرى, و قد لوحظ أنه عند زيادة كمية الألياف بنسبة 0.5 فانه تزداد مقاومة الانحناء للخرسانة المشتملة على كلا النوعين من الألياف بنسبة معتبرة مما يؤكد ما ذكرن من أن زيادة نسبة من الألياف داخل الخرسانة بإمكانها تحسين مقاومة الانحناء .

أن طول الليف يزيد من مقاومة الانحناء حيث يتضح ذلك من النتائج المقدمة في التركيبات SD100%+1%F1 و SD100%+1%F2 ، SD100%+1.5%F1 و SD100%+1.5%F2 ، وهذا بالنسبة لكل التركيبات المختلفة 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 كبير حوا أكبر عدد ممكن من التشققات,

وكما ذكرنا في الجانب النظري فقد لاحظ الباحث GRAM عند استعماله ألياف قصيرة من السيزال في نسيج إسمنتي حيث ظهر في هذه الحالة تشوه كبير للمركب وعلى العكس استعمل ألياف طويلة من السيزال وبنفس النسبة سمحت له بملاحظة مقاومة جد عالية للانحناء **[41]**.

وقد استنتج الباحث AIT-TAHAR بعد القيام بالعديد من الدراسات التجريبية، بأن مقاومة الشد بواسطة الانحناء تزداد بزيادة نسبة الألياف المدخلة في التركيبة الخراسانية.

و استنتج AIT-TAHAR بعد عدة تجارب قام بها أن قيم مقاومة الشد بواسطة الانحناء ومعامل التشوه الطولي لخرسانة الألياف يزداد بمقدار كافي.

IV- 4- نتائج مقاومة الضغط :

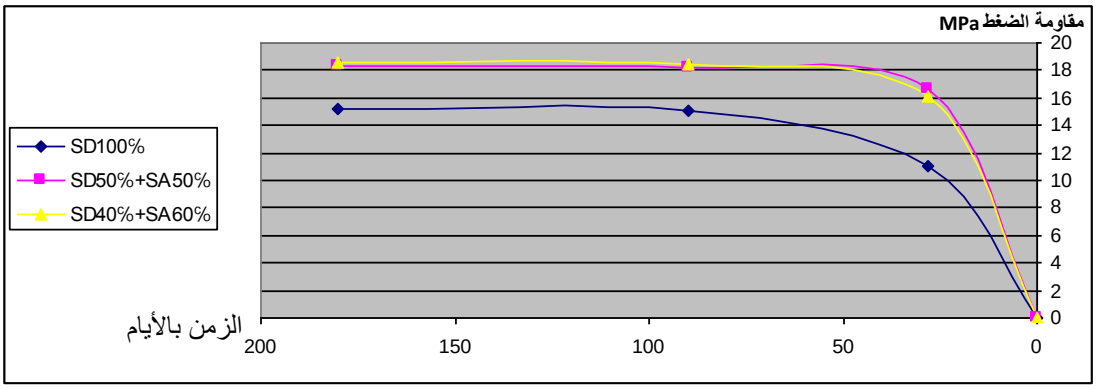
IV - 4-1 تأثير تركيبة الرمل :

الجدولIV. 9 يوضح نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

الجدولIV. 9 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%	2.4±10.99	1.83±15.10	1.67±15.21
SD50%+SA50%	4.6±16.67	4±18.23	1.67±18.33
SD40%+SA60%	2.1±16.15	±18.442.5	2.33±18.54

الشكلIV. 12 منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل



* نلاحظ من خلال نتائج التجارب المجرات 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 -2-4 تأثير الألياف :

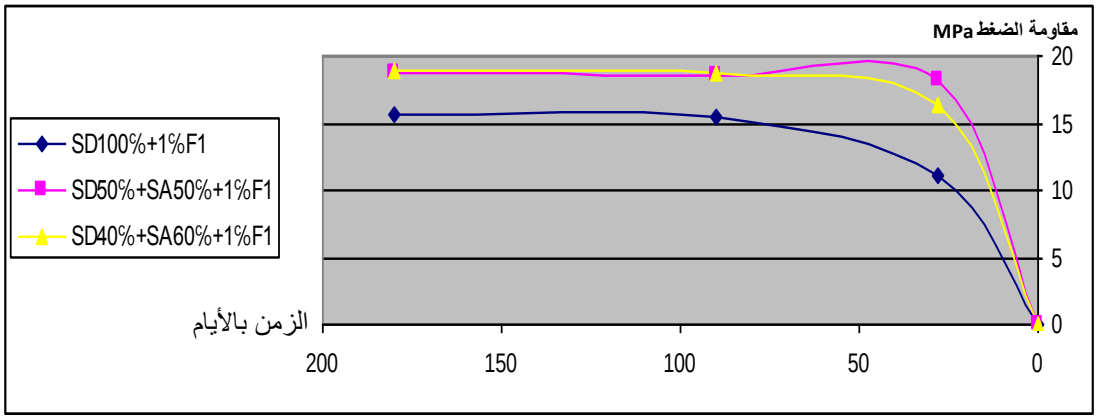
IV -2-4 -1 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

الجدولIV .10 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل .

الجدول IV. 10 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1%F1	1.8±11.15	3.33±15.42	2±15.63
SD50%+SA50%+1%F1	3.8±18.23	1.66±18.54	2.16±18.65
SD40%+SA60%+1%F1	3.2±16.35	2.16±18.65	1.66±18.96

الشكل13.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

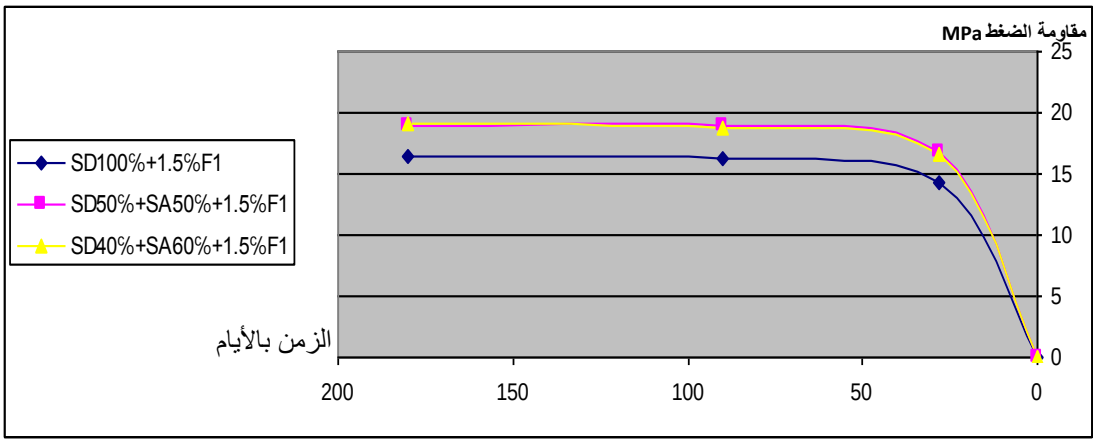


الجدول IV .11 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل

الجدول IV. 11 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1.5%F1	2.16±14.27	16.252±	3.16±16.35
SD50%+SA50%+1.5%F1	3.83±16.77	4±18.85	2.16±18.85
SD40%+SA60%+1.5%F1	4. 67±16.67	2±18.75	1.5±19.06

الشكل 14.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1لمختلف تركيبات الرمل

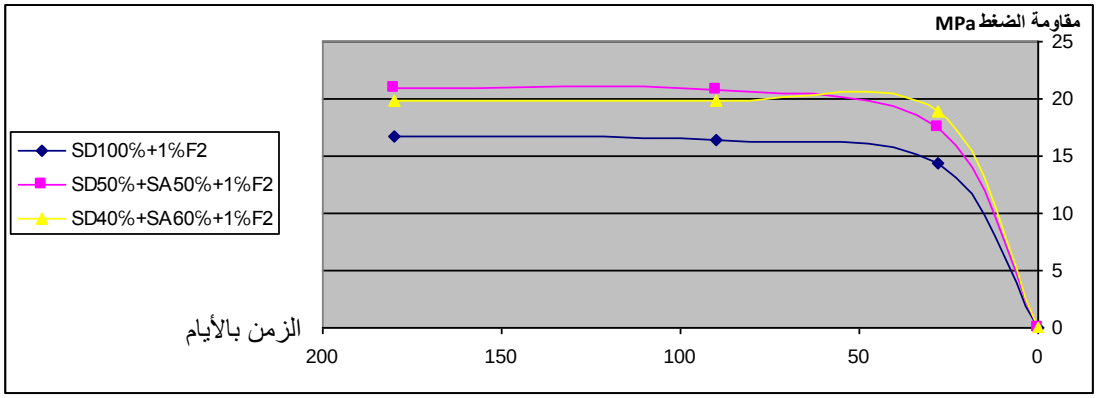


الجدول IV. 12 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل .

الجدول IV. 12 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%+1%F2	4±14.38	4.16±16.35	2.67±16.67
SD50%+SA50%+1%F2	3±17.5	3.33±20.83	2.16±20.94
SD40%+SA60%+1%F2	3.83±18.85	2.66±19.79	1.83±19.9

الشكل IV.15منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

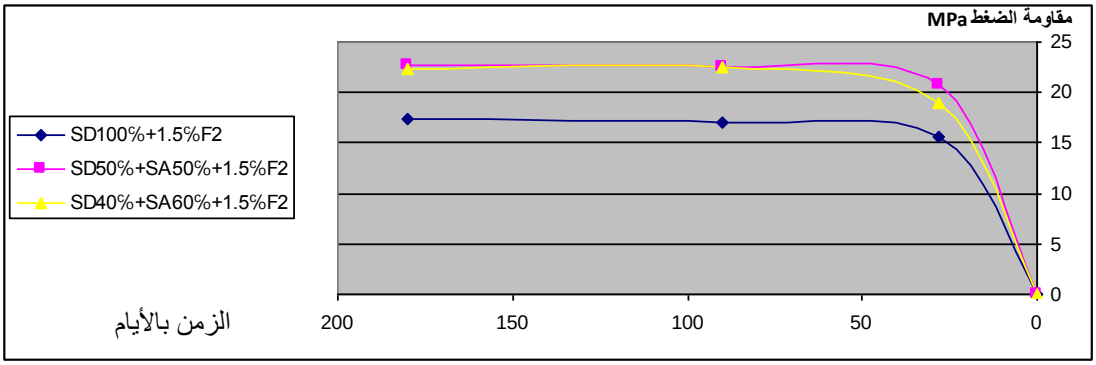


الجدول IV .13 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج مقاومة الضغط لمختلف خرسانات الرمل.

الجدول IV. 13 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180(MPa)
SD100%+1.5%F2	3±15.63	2.33±17.08	1.66±17.29
SD50%+SA50%+1.5%F2	4±20.73	4±22.60	2.66±22.71
SD40%+SA60%+1.5%F2	3.33±18.96	4±22.5	1.66±22.29

الشكل IV.16منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل



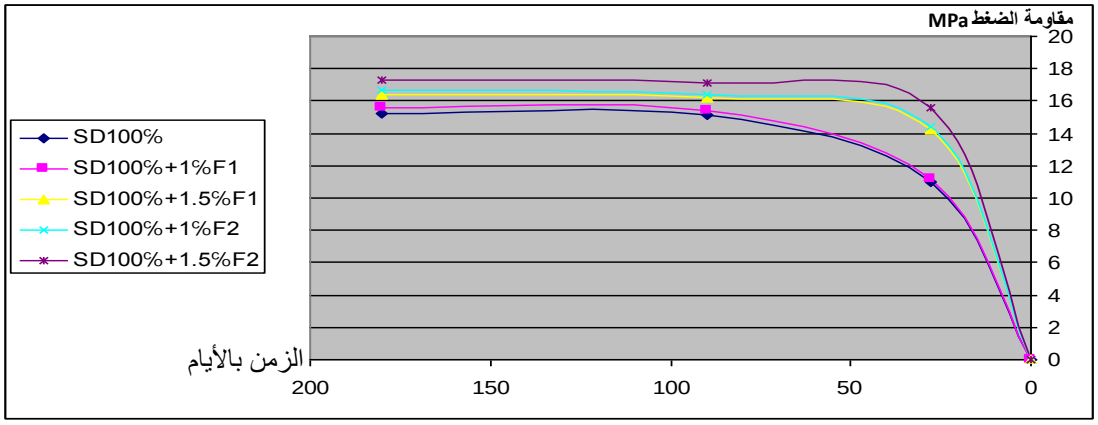
IV -4-2-2 تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

الجدول(14.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة (SD100%)

الجدول IV. 14 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة (SD100%)

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم 90 (MPa)	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD100%	1.83±10.99	1.83±15.10	1.67±15.21
SD100%+1%F1	3.33±11.15	3.33±15.42	2±15.63
SD100%+1.5%F1	2±14.27	2±16.25	3.16±16.35
SD100%+1%F2	4.16±14.38	4.16±16.35	2.66±16.67
SD100%+1.5%F2	2.33±15.63	2.33±17.08	1.66±17.29

الشكل17.IV منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (100%SD)

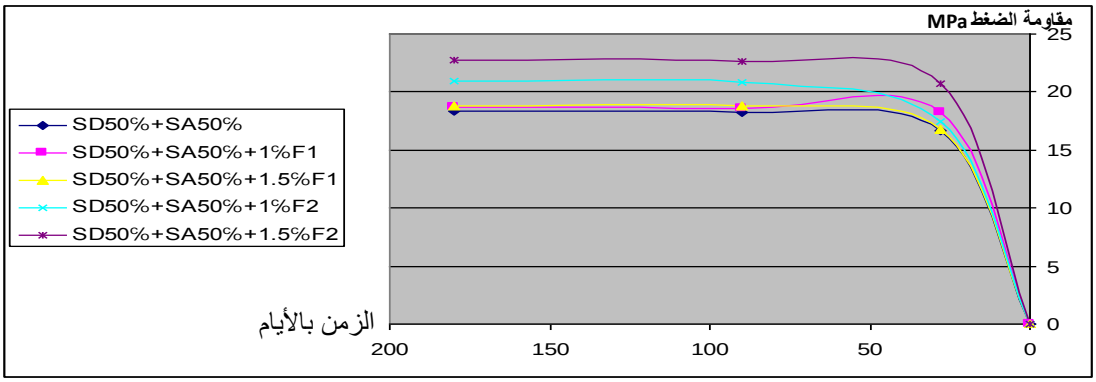


الجدول(15.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة %SD50%+SA50 :

الجدول IV. 15 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة %SD50%+SA50

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD50%+SA50%	4.66±16.67	4±18.23	1.66±18.33
SD50%+SA50%+1%F1	3.8±18.23	1.67±18.54	2.16±18.65
SD50%+SA50%+1.5%F1	3.83±16.77	4±18.85	2.16±18.85
SD50%+SA50%+1%F2	3±17.5	3.33±20.83	1.5±20.94
SD50%+SA50%+1.5%F2	4±20.73	4±22.60	2.66±22.71

الشكل IV. 18 منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (%SD50%+SA50)

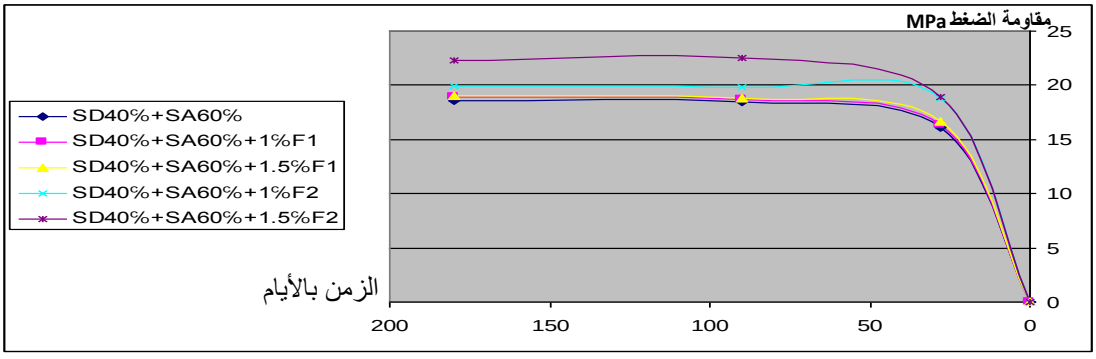


الجدول(16.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل للعينة %SD40%+SA60

الجدولIV. 16 نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة %SD40%+SA60

العينة	الإجهاد في يوم (MPa)28	الإجهاد في يوم (MPa) 90	الإجهاد في يوم 180 (MPa)
SD40%+SA60%	16.15±2.16	2.5±18.44	2.33±18.54
SD40%+SA60%+1%F1	3.16±16.35	2.16±18.65	1.66±18.96
SD40%+SA60%+1.5%F1	67±16.64	2±18.75	1.5±19.06
SD40%+SA60%+1%F2	3.83±18.85	2.66±19.79	1.83±19.9
SD40%+SA60%+1.5%F2	3.33±18.96	4±22.5	1.66±22.29

الشكل IV.19منحنى نتائج مقاومة الضغط لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة (%SD40%+SA60)



IV- 3-4 مناقشة نتائج مقاومة الضغط خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية :

تعتبر مقاومة الضغط المقاومة المرجعية التي نعتمد عليها ونميز بها أنواع الخرسانة بعضها عن 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 :

لم نلحظ التحسن الكبير في جميع التركيبات مقارنة مع الخرسانة الشاهد (خرسانة رمل الكثبان) خاصة على المدى البعيد إذ أن نسبة التحسن في التركيبة SD100%+1%F1 لم تتجاوز النسبة 1.42 % بعد مرور 28 يوم ما عدى التركيبة SD100%+1.5%F1 فقد تحسنة بحوالي 29.8% خلال 28 يوم ولم نلحظ نسبة تحسن تذكر بعد هذه النسبة مقارنة بالخرسانة الشاهد في الأيام 90 و180 وقد لاحظنا تحسن جيد بالنسبة للتركيبة SD100%+1.5%F2 إذ انه بلغت النسبة 42.17% خلال 28 يوم وعلى العموم فانه وبالنسبة للتركيبات الخاصة برمل الكثبان فان التحسن الملحوظ كان في النسبة 1.5% من الألياف ذات العكفات بطول 30ملم 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 تحسن يذكر بين جميع النسب حيث كان التحسن في أمثل حالته لم يتجاوز 9% من ما عليه الخرسانة الشاهد ماعدا في التركيبتين(SD50%+SA50%+1%F2 وSD50%+SA50%+1.5%F2) المشتملتين على الليف من النوع الثاني (قصير 30ملم ذي عكفات) حيث كانت نسبة التحسن حوالي 24% مقارنة بالخرسانة الشاهد (SD50%+SA50%)

- والشيء نفسه ملاحظ بالنسبة للتركيبات المحتوية على النسبتين المختلفتين من رمل الكثبان و الرمل الطبيعي إذ إننا لم نسجل تحسن يذكر بين جميع النسب حيث كان التحسن في أمثل حالته لم يتجاوز 3% من ما عليه الخرسانة الشاهد ماعدا في التركيبتين(SD40%+SA60%+1%F2 وSD40%+SA60%+1.5%F2) المشتملتين على الليف من النوع الثاني (قصير 30ملم ذي عكفات) حيث كانت نسبة التحسن حوالي 17 % مقارنة بالخرسانة الشاهد (SD40%+SA60%)

- وفي العموم نلاحظ أن نسبة التحسن على المدى المتوسط 90 أو البعيد 180 يوم تقريبا لا تكاد تذكر مقارنة بالخرسانات الشاهدة

و من مقارنة كل النتائج المتحصل عليها فان كل التركيبات المشتملة على الألياف من النوع الأول (الطويل 45 ملم) فان مقاومتها للضغط تتحسن بنسبة تقريبا ضعيفة أما التحسن فراجع لكون هذه الألياف من النوع الطويل أي أن طولها أكبر من سمك وارتفاع العينة فمفروض عليها تقريبا 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 فان هذه الألياف تعمل على ضم هذه الشقوق وبالتالي الزيادة من مقاومة الضغط .

أما بالنسبة الى التركيبات المشتملة على النوع الثاني من الألياف هو (ذي العكفات بطول 30ملم) فكان التحسن واضح فهو زيادة على ما قد رئين بالنسبة لليف السابق من كونه يساعد على ضم الشقوق الموازية لمحور القوة الضاغطة عند تموضعه عمودي أو شبه عمودي فهذه النوع وبحكم أنه أقل قطرا و أقصر طولا 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 موازي لهذه القوة ومنها ما هو غير ذلك وهذا التشابك يزيد عند مخالطته لعجينة الاسمنت من مقاومتها للضغط , بالإضافة الى وجود بعض الألياف بصفة عمودية أي بوضعية موازية لمحور القوة وبحكم أن مقاومة الضغط للحديد و ألياف التسليح هي أكبر منها في الخرسانة فهذا ما يزيد من المقاومة للضغط .

ب - تأثير تركيبة الرمل

- أما عند مقارنة الخرسانات الشاهد ذوات التركيبات المختلفة وبدون ليف فإننا نلاحظ في العموم ان الخرسانة المحسن بالرمل الطبيعي وبالنسبتين المختلفتين تقريبا نسبة التحسين متساوية مقارنة بالخرسانة الشاهد أي خرسانة رمل الكثبان الصافية, ويرجع كون أن التركيبتين المحسنتين بالرمل الطبيعي كانت نتائجهما متساوية تقريبا الى أن الفرق في النسبة كان قليل فهو لا يتعدى 10 % مما جعل هذين التركيبتين تعطي نتائج متقاربة هذا من جهة, أما أذا قورنتا بالخرسانة الشاهد-خرسانة رمل الكثبان- فنلاحظ أن التحسن كان مقبول حيث بلغت نسبة التحسن 18.1 وهذا راجع الى كون أن خرسانة رمل الكثبان 100% تحتوي على فراغات كبيرة أي مسامية كبيرة ناتجة عن نعومة رمل الكثبان 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 إسفنجه ان صح التعبير وبالتالي عند ما نطبق قوة الضغط فان هذه الأخيرة لن تبدي مقاومة عالية, و مقارنة 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 الكثبان .

- ولهذا يجب الاعتناء بالركام اعتناء لائق وهذا ما لاحظه **[61]** إذ قال : أنه من الواضح أنه يجب إعطاء أهمية كبيرة لاختيار الركام حسب خصائصه الفيزيائية والميكانيكية

- وهذا ما ذكره أيضا **[62]** إذ قال : يشكل الركام الهيكل العام للخرسانة، وعادة ما يلعب الركام الأقل تشوها من عجينة الاسمنت دور الكابح أو المقلل للتشققات الناجمة عن الانكماش داخل الخلطة الخراسانية، كما يحسن من مقاومة الخرسانة.

- وأما بالنسبة للألياف فهذا ما لاحظه BELFERRAG A في بحثه **[6]** إذ أنه تحقق من أن الألياف المعدنية داخل خرسانة الرمل تزيد من مقاومة الضغط.

- وقد أكد ELIE ABSI على وجد باحثين آخرين أثبتوا أن تأثير إدخال الألياف المعدنية في الخرسانة على مقاومة الضغط أكبر من الخرسانة العادية (التجربة أجريت على عينة اسطوانية H=32cm و φ = 16 cm) في هذه الحالة مقاومة الضغط متعلقة بالإجهاد الأعظمي التخيلي الناتج عن القوى الأعظمية المطبقة على المقطع.

- و استنتج الباحث AIT TAHAR، 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.

IV 5 نتائج الانكماش :

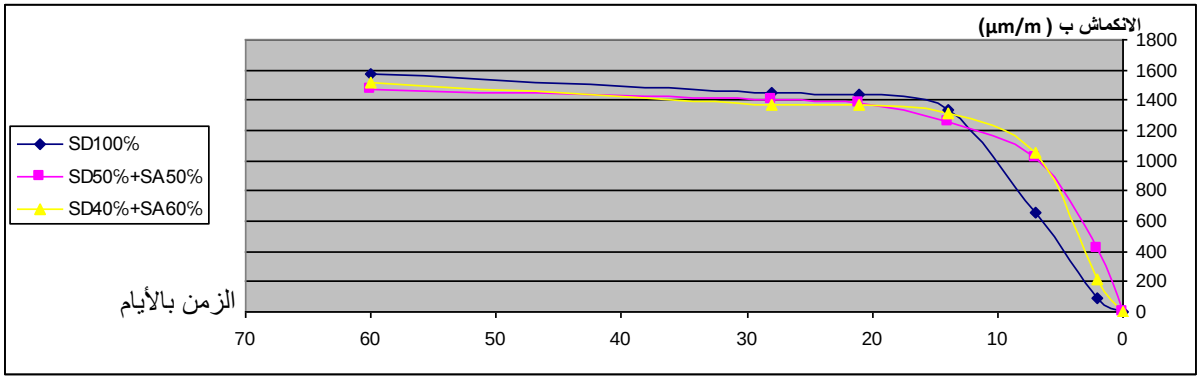
IV- 5-1 تأثير تركيبة الرمل :

الجدول IV. 17 يوضح نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

الجدول IV. 17 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل حسب تركيبة الرمل :

الأيام / العينة	2	7	14	21	28	60
SD100%	5±85	10±660	5±1340	8±1433	13±1453.33	10±1570
SD50%+SA50%	5±420	10±1020	12±1260	13±1380	14±1400	14±1470
SD40%+SA60%	10±210	70±1050	30±1310	35±1366.67	13±1370	15±1521

الشكل IV.20 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل :



IV- 5-2 تأثير الألياف :

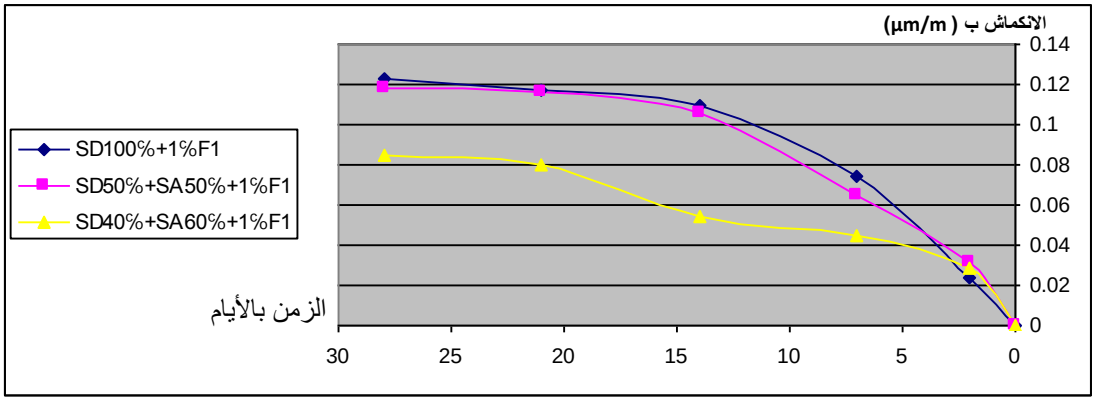
IV- 5-2 -1 تأثير الألياف على كل عينات خرسانة الرمل :

الجدول IV. 18 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1% من F1 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .

الجدولIV. 18 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل :

العينة \ الأيام	2	7	14	21	28	60
SD100%+1%F1	4±60	10±230	70±1100	10±1170	70±1230	27±1363
SD50%+SA50%+1%F1	5±310	7±650	60±1090	30±1180	20±1190	40±1230
SD40%+SA60%+1%F1	5±285	5±545	10±800	9±850	10±900	10±1005

الشكل IV.21 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

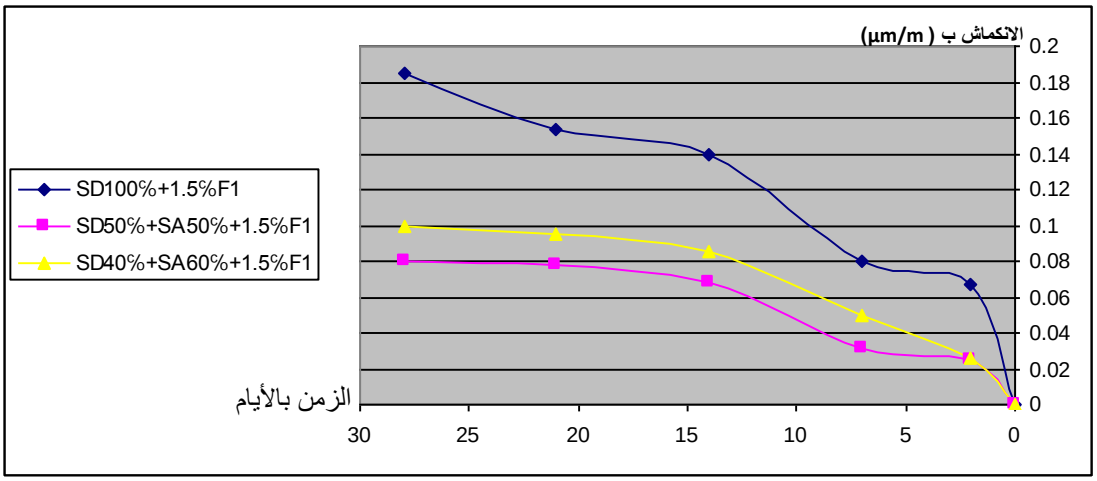


الجدولIV. 19 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F1 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .

الجدولIV. 19 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

العينة \ الأيام	2	7	14	21	28	60
SD100%+1.5%F1	5±50	6±90	10±600	9±850	8±880	10±1050
SD50%+SA50%+1.5%F1	3±246	5±313	6±680	7±780	7±803.33	5±866
SD40%+SA60%+1.5%F1	5±460	10±670	4±846.67	17±986.67	40±1020	26±1136.67

الشكلIV.22 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F1 لمختلف تركيبات الرمل

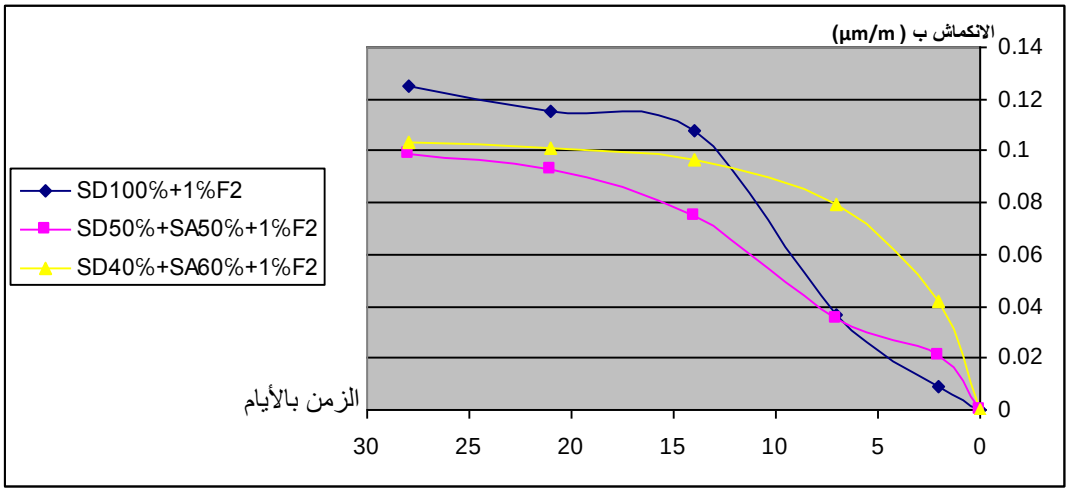


الجدول IV .20 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1% من F2 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .

الجدول IV. 20 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل :

60	28	21	14	7	2	الأيام / العينة
15±1400	12±1250	10±1150	10±1080	5±370	8±90	SD100%+1%F2
35±1115	55±985	5±925	6±750	5±355	3±210	SD50%+SA50%+1%F2
12±1145	10±1030	10±1010	9±965	45±795	5±420	SD40%+SA60%+1%F2

الشكل IV.23 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1% من F2 لمختلف تركيبات الرمل

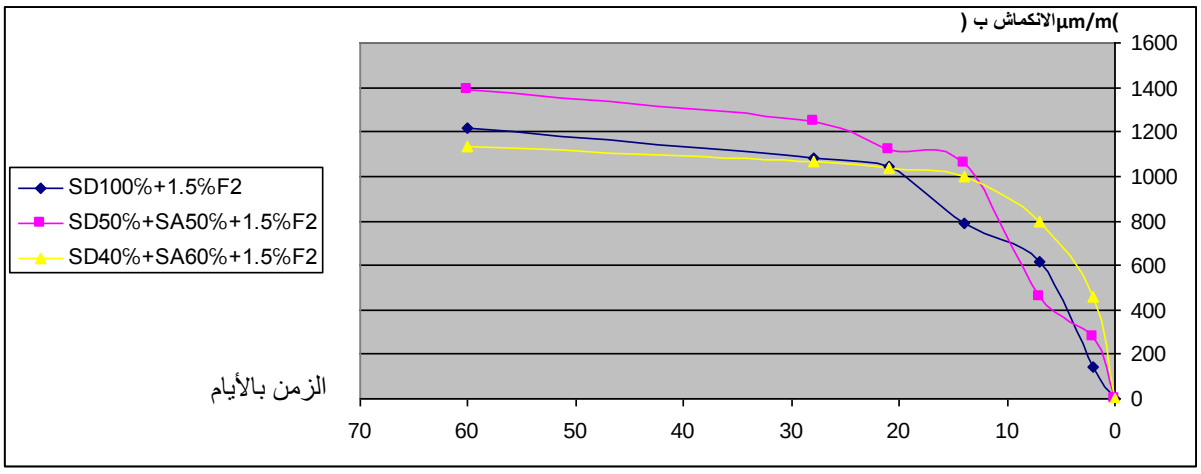


الجدول IV .2 يوضح تأثير الألياف بنسبة 1.5% من F2 على نتائج الانكماش لمختلف خرسانات الرمل .

الجدول IV. 21 نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل :

60	28	21	14	7	2	الأيام / العينة
5±1220	5±1085	75±1045	55±785	5±615	5±140	SD100%+1.5%F2
12±1390	10±1250	11±1120	10±1060	5±460	10±280	SD50%+SA50%+1.5%F2
36±1136.67	20±1070	13±1033	20±1000	5±795	5±455	SD40%+SA60%+1.5%F2

الشكل IV. 24 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية بنسبة 1.5% من F2 لمختلف تركيبات الرمل



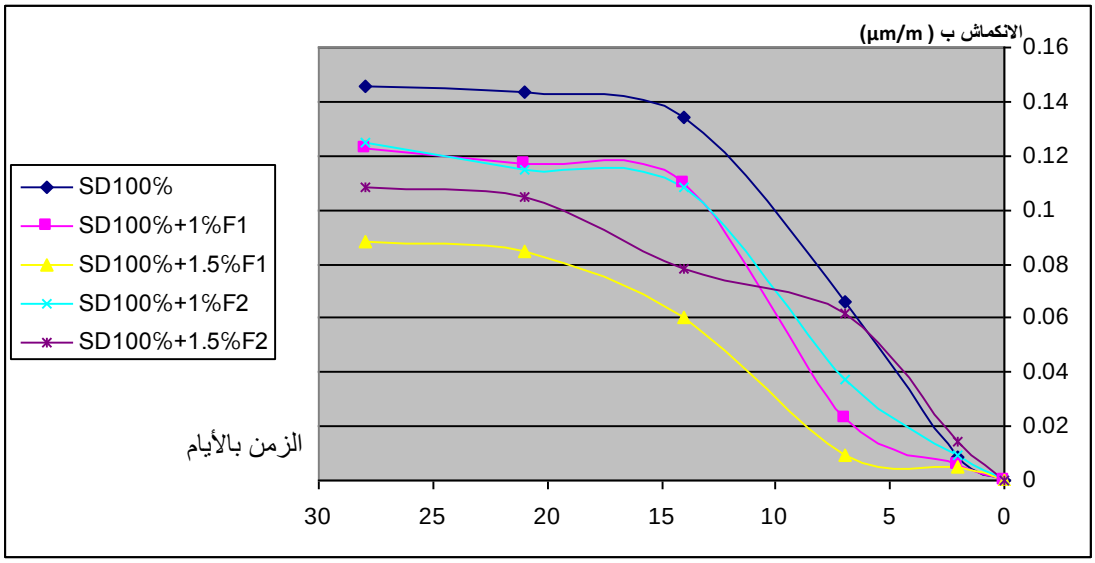
IV -5-2-2 تأثير تركيز و نوع الألياف على كل عينة من خرسانة الرمل:

الجدول(22.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج الانكماش لخرسانـــــة الرمـــل للعينة (SD100%)

الجدول IV. 22 نتائج الانكماش لخرسانة الرمـــل للعينة (SD100%)

60	28	21	14	7	2	الأيام / العينة
157010±	1453.3313±	14338±	13405±	66010±	855±	SD100%
27±1363	70±1230	10±1170	70±1100	10±230	4±60	SD100%+1%F1
10±1050	8±880	9±850	10±600	6±90	5±50	SD100%+1.5%F1
15±1400	12±1250	10±1150	10±1080	5±370	8±90	SD100%+1%F2
5±1220	5±1085	75±1045	55±785	5±615	5±140	SD100%+1.5%F2

الشكل25.IV منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية لمختلف تركيبة رمل الكثبان

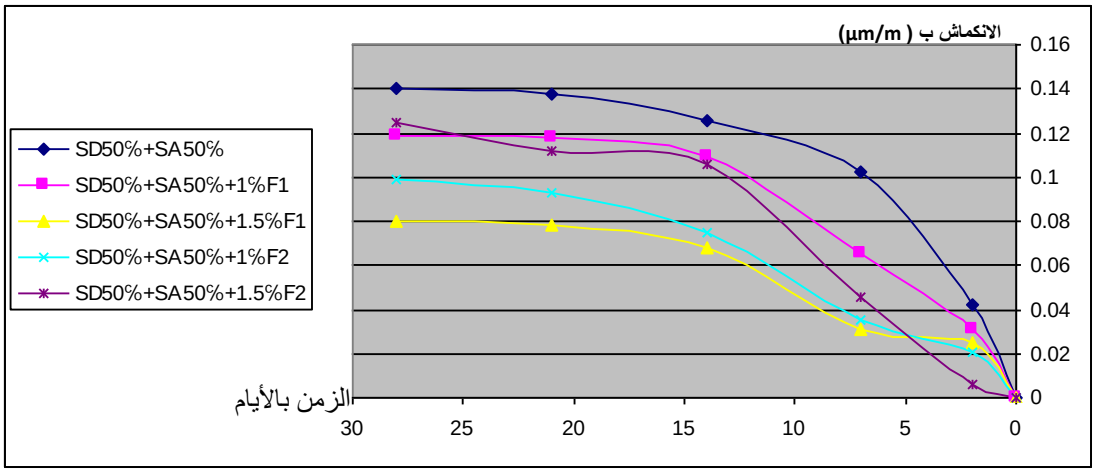


الجدول(23.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج الانكماش لخرسانـــــة الرمـــل للعينة %SD50%+SA50 .

الجدول IV. 23 نتائج الانكماش لخرسانة الرمـــل للعينة %SD50%+SA50 :

60	28	21	14	7	2	الأيام / العينة
1470±14	1400±14	1380±13	126012±	1020±10	420±5	SD50%+SA50%
40±1230	20±1190	30±1180	60±1090	7±650	5±310	SD50%+SA50%+1%F1
5±866	7±803.33	7±780	6±680	5±313	3±246	SD50%+SA50%+1.5%F1
35±1115	55±985	5±925	6±750	5±355	3±210	SD50%+SA50%+1%F2
12±1390	10±1250	11±1120	10±1060	5±460	10±280	SD50%+SA50%+1.5%F2

الشكلIV. 26 منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD50%+SA50%

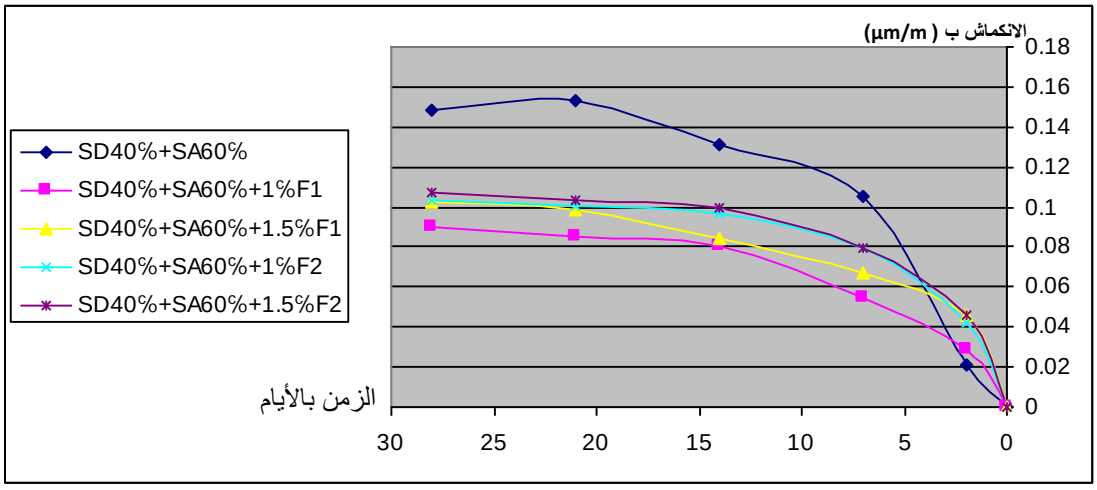


الجدول(24.IV) يوضح تأثير تركيز و نوع الألياف على نتائج الانكماش لخرسانـــــة الرمـــل للعينة SD40%+SA60%

الجدولIV. 24 نتائج الانكماش لخرسانة الرمـــل للعينة SD40%+SA60%

60	28	21	14	7	2	الأيام / العينة
1521±15	137013±	1366.6735±	131030±	105070±	21010±	SD40%+SA60%
10±1005	10±900	9±850	10±800	5±545	5±285	SD40%+SA60%+1%F1
26±1136.67	40±1020	17±986.67	4±846.67	10±670	5±460	SD40%+SA60%+1.5%F1
12±1145	10±1030	10±1010	9±965	45±795	5±420	SD40%+SA60%+1%F2
36±1136.67	20±1070	13±1033	20±1000	5±795	5±455	SD40%+SA60%+1.5%F2

الشكلIV.27منحنى نتائج الانكماش لخرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية للتركيبة SD40%+SA60%



IV 5- 1 مناقشة نتائج الانكماش خرسانة الرمل المدعمة بالألياف المعدنية :

أ - تأثير تركيبة الرمل :

ان التحسن الملاحظ في الانكماش بين عينات خرسانة الرمل المرجعية المكونة من النسبتين المختلفتين من أنواع الرمل وبين الخرسانة الشاهد 100 % رمل الكثبان إذ تحسنت التركيبة SD50%+SA50% بنسبة 3.67% أما التركيبة SD40%+SA60% فقد تحسنت بنسبة 6% تقريبا مقارنتا بالتركيبة BSFA في 28 يوما.

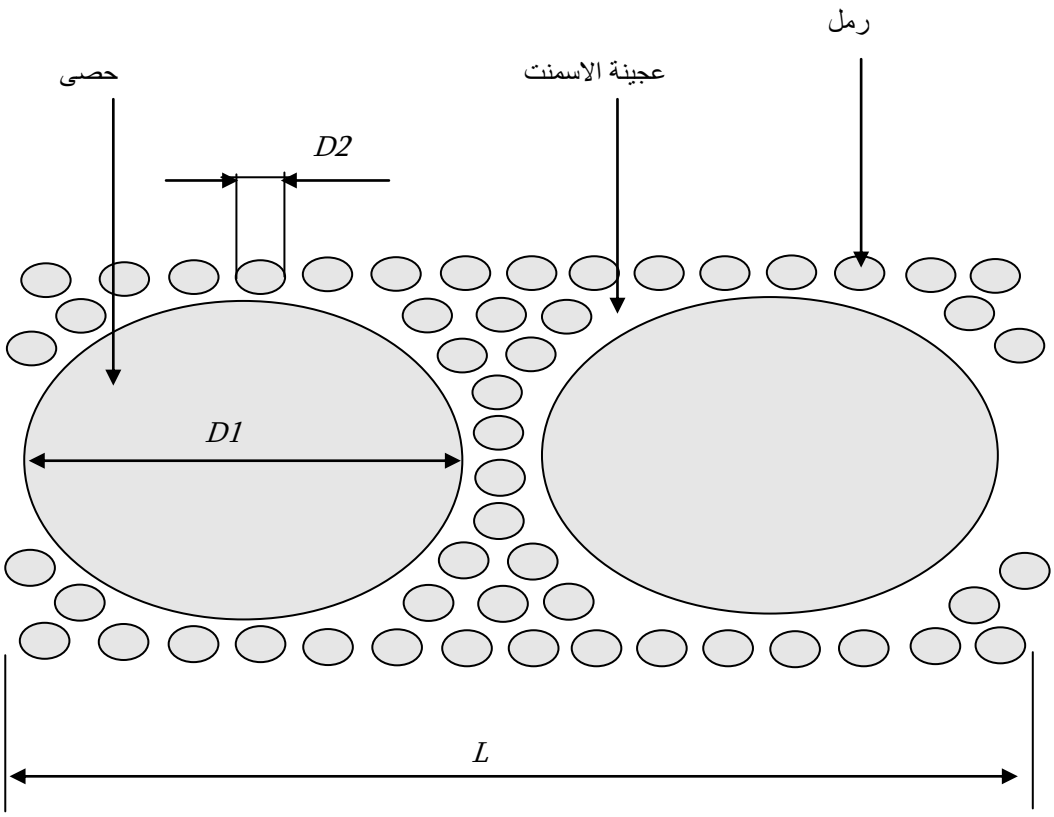
و يرجع هذا التحسن الى التركيبة الحبيبية في كل نوع إذ أن الخرسانة المشتملة على النسبتين المختلفتين SD40%+SA60% و التركيبة SD50%+SA50% كانت نسبة الانكماش تقريبا متساوية نظرا لقرب تساوي النسبتين وبدورهما ومقارنتهما مع الخرسانة الشاهد SD100% فإننا نرجع هذا التحسن الى كون ان الخرسانة المكونة من SD100% تكون حبيبات الرمل بها متساوية الأقطار تقريبا من جهة وهذا ما يفسره ضيق منحنى التدرج الحبيبي لرمل الكثبان إذ أنه محصور بين القطرين 0.16 و0.63 ملم أي في ثلاث غرابيل تقريبا و من 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 الاسمنت كبيرة وبما أن الانكماش يكون في عجينة الاسمنت الرابطة بين الحبيبات فهذا ما يفسر نسبة الارتفاع العالية في التركيبة الخرسانة الشاهد SD100% .

و بما أن العينات المختلطة تمتلك تدرج حبيبي واسع بالإضافة الى الحبيبات الرملية ذات الأقطار المعتبرة (5 ملم) ومن أجل إظهار تأثير هذه الحبيبات على الانكماش ارتئين تحليل المخطط الموضح في الشكلIV .3 والتكن D1 وD2 أبعاد الحصى (الحبيبات الرملية الكبيرة) و الرمل المشكل للخرسانة على الترتيب.

يحدث الانكماش في الفراغات (العجينة) التي تربط الحبيبات مثنى مثنى كما ذكرنا .

أذا فرضنا أن حبيبات الرمل الصغيرة هي الوحيدة المستعمل(كما في حالة رمل الكثبان) فان الانكماش ΔL في المسافة L سيكون محصلة مجموع الانكماشات الحاصلة بين كل حبيبات الرمل ,

وأما في حالت 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 التركيبتين مقارنة بالخرسانة الشاهد ومن هنا أيضا تتضح أهمية استعمال الحصى الكبير في التقليل من ظاهرة الانكماش .



الشكلIV .28 بنية خرسانة بالرمل محتوي على حصى **[61]**

ب - تأثير الألياف :

- أما ما لمسناه من نتائج عند استعمالنا للألياف المعدنية إذ تحسنت التركيبة SD100% مقارنة بالتركيبة SD100%+1%F1 وذلك عند إضافة كمية من الألياف تقدر ب 1 % كانت نسبت التحسن تقارب 15.37% أما عند إضافة كمية مقدر ب 1.5% أي التركيبة (SD100%+1.5%F1) كانت نسبة التحسن تقارب 39.5% وذلك خلال 28 يوما وتقريبا هذه النتائج نفسها سجلت عند استعمالنا ومقارنتنا للتركيبات (SD100%+1.5%F2) و (SD100%+1%F2) مقارنة مع التركيبة SD100% .

- أما ما لمسناه من نتائج عند استعمالنا للألياف المعدنية في التركيبة SD50%+SA50% مقارنة بالتركيبة SD50%+SA50%+1%F1 وذلك عند إضافة كمية من الألياف تقدر ب 1 % كانت نسبت التحسن تقارب 15% أما عند إضافة كمية مقدر ب 1.5% أي التركيبة SD50%+SA50%+1.5%F1 كانت نسبة التحسن تقارب 42.6 % خلال 28 يوما وتقريبا هذه النتائج نفسها سجلت عند استعمالنا ومقارنتنا للتركيبات SD50%+SA50%+1.5%F2 و SD50%+SA50%+1%F2 مقارنة مع التركيبة SD50%+SA50%

- أما ما لمسناه من نتائج عند استعمالنا للألياف المعدنية في التركيبة SD40%+SA60% مقارنة بالتركيبة SD40%+SA60%+1%F1 وذلك عند إضافة كمية من الألياف تقدر ب 1 % كانت نسبت التحسن تقارب 34.3% أما عند إضافة كمية مقدر ب 1.5% أي التركيبة SD40%+SA60%+1.5%F1 كانت نسبة التحسن

تقارب 25.5 % وتقريبا هذه النتائج نفسها سجلت عند استعمالنا ومقارنتنا للتركيبات SD40%+SA60%+1.5%F2 و SD40%+SA60%+1%F2 مقارنة مع التركيبة SD40%+SA60% .

* ان هذا التحسن راجع الى أن الألياف تلعب دور مشابه لدور الحصى من جهة والى ربط التشققات الحاصلة بين حبيبات الرمل على مستوى عجينة الاسمنت 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 الأخر SD50%+SA50% و SD40%+SA60% فانه عند الزيادة في نسبة الليف يقل الانكماش وهذا ما يظهر دور الألياف داخل الخلطة الخراسانية حيث أن الزيادة في نسبة الليف تقلل من الانكماش .

أم ما لاحظناه من تغير في الانكماش في نفس التركيبة وبنفس نسبة الألياف فهو راجع الى نوع الليف - ذي العكفات او المتموج - فلاحظنا أن التحسن الأمثل كان في النوعية المتموجة وذلك راجع الى درجة التلاحم العالية بين الألياف والخرسانة حيث أن تلك التموجات تحدث تماسك بين كل موجة وموجة وتمنع الانزلاقات المحتملة او بعبارة أخرى الحركات الناتجة عن خروج الماء والمسبب للشقوق بينما النوع ذي العكفات فان التلاحم بينه وبين الخرسانة يكون على مستوى الرأس في العكفات بدرجة أولى وبدرجة أقل على باقي طول أليف لهذا تكون نسبة تحسن الانكماش في الخرسانة المدعمة بالألياف المتموجة أذا تساوت نسب الألياف أحسن منها إذا كانت مدعمة بالألياف ذات العكفات .

وهذا ما ذكره الدكتوران وجاهت حسين مرزا و فيصل فؤاد وفا **[46]** : إذ تبين لهما أن إضافة الألياف سواء الحديدية أو البروبيلينية يؤدي الى 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 الى اختفاء التشققات في حالة الخرسانة عادية المقاومة (23- 40 MPa) **[46]**

وهذا ما توصل إليه أيضا كل من الباحثين SWAMY و STAVRIDES، حيث تأكدوا من أن ألياف الحديد تسببت في تراجع الانكماش بنسبة 20% . **[6]**

وجد الباحثان MANAGAT و AZARI تراجع في نسبة الانكماش تقدر بـ 35% وذلك باستعمال كمية من الألياف الفولاذية التي تقدر بـ 3 % بأطوال 22.5 ملم في خرسانة ذات التركيبة :

[6](C=1 ,S = 2.5 ,G = 1.2 , E = 0.58)

وقد سبق و أن وجد BELFERRAG**[6]** و BENTATA **[18]**. نتائج مقارب لهذا أما BELFERRAG فقد لاحظ تحسن الانكماش عند إدخال ألياف ذات طول 40 مم وقطر 0.28 ملم على خرسانة رمل الكثبان بنسبة من 26الى33 % وكذلك استنتج BENTATA A دور الحصى في التركيبة الخراسانية وذلك بعد ما قام بخمسة أنواع من التجارب على الخرسانة بنسب مختلف من رمل الكثبان والرمل الطبيعي (التجارب كانت على خرسانة عادية).

و حسب القواعد الجزائرية للانكماش NF P 15-433 فإنه من أجل الملاط النظامي مصنوع من نوع الاسمنت CPJ-CEM II / A 42.5 فيجب ان لا تتعدى قيمة الانكماش المقدار 1000 (µm/m) في 28 يوما وهذا ما نلحظه تقريبا في التركيبات المشتملة على النسب المختلف للألياف فانه تحصلنا على نتائج مقاربة الى هذه القيمة إذا أخذنا بعين الاعتبار عوامل الحفظ من درجة حرارة و رطوبة إذ أن قواعد الانكماش تنص على أن تكون شروط الحفظ في رطوبة نسبية تقدر ب(5±50%) ودرجة حرارة (2± 20°) أما ما توفر لدينا من شروط حفظ في مخبر الهندسة المدنية بالجامعة فالرطوبة قدرت ب(3±40%) أما الحرارة ب(5± 30°) فهذه العوامل أثرت على قيمة الانكماش التي تحصلنا عليها فالنتائج كانت وخاصة في التركيبات ذات نوعية الرمل المختلطة تتراوح بين 900 الى 1070 (µm/m) أما في التركيبة المحتوية على رمل الكثبان 100% وبالنسب المختلفة لكل النوعين من الألياف فكانت النتائج تتراوح بين 880 الى 1250(µm/m) .

الخلاصة :

نستنتج من هذه الدراسة ما يلي :

* إضافة الرمل الطبيعي الخاص بالبناء لمنطقة حاسي السائح الى رمل الكثبان بنسبة 50% و 60 % بإمكانه تحسين مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل ما بين 21 % الى 30 % خلال 28 يوما من عمر الخرسانة.

*إضافة الألياف المعدنية ذات العكفات و ذات الطول 3 سم القطر 0.5 ملم بإمكانه تحسين مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل بنسبة 31.7% خلال 28 يوم.

*إضافة الألياف المعدنية المتموجة ذات الطول 4.5 سم القطر 1 ملم بإمكانه تحسين مقاومة الانحناء لخرسانة الرمل بنسبة 34% خلال 28 يوم .

* 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 يوم. .

* 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 الى رمل الكثبان تحسنا مقبول بلغ النسبة 18.1 مقارنة بالخرسانة الشاهد (خرسانة رمل الكثبان)

* عند إضافة الألياف المعدنية وبالنسبة للتركيبات الخاصة برمل الكثبان فان 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 يوم 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 الى رمل الكثبان بنسبة 50% و 60 % بإمكانه تحسين الانكماش لخرسانة الرمل ما بين 3.67% الى 6% خلال 28 يوما من عمر الخرسانة.

*إضافة الألياف المعدنية ذات العكفات و ذات الطول 3 سم القطر 0.5 ملم بالنسبتين 1 % و1.5 % بإمكانه تحسين 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 % و1.5 % 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.

الخـــلاصـة العـــامـــة و التوصيات

الخـــلاصـة العـــامـــة 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 استعمالها يشكل 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 هذا 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 الوديان بالإضافة الى رمال الكثبان وحسب الملاحظات المستوحاة من التجارب فان كلا النوعين صالحين لإنتاج خرسانة الرمل ما عدى تجربة الغربلة التي أعطت نتائج بعيدة بالنسبة لرمال الكثبان .

* حاولنا تصحيح نتائج الغربلة 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 لهذين 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% و1.5% من الألياف المعدنية النظامية بنوعين نوع به عكفات طوله 3 سم وعرضه 0.5 سم ونوع متموج طوله 4 سم وعرضه 1ملم .

* إدخال هذه النسب من الرمال الطبيعية و الألياف على خرسانة الرمل حسن من خصائصها .
* فإدخال الرمال وبالنسبتين المختلفتين 60% و 50% من الرمل الطبيعي أعط تحسن جيد لمقاومتي الانحناء والضغط مقارنة بخرسانة رمل الكثبان الشاهد فكل ما كانت نسبت الرمل الطبيعي أكثر كانت نسبت 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 الليف المعدنية يؤثر على مقاومة الانحناء حيث كلما زاد طول الليف زادت مقاومة الانحناء .
- كمية الليف المعدنية المضافة لها تأثير على مقاومة الانحناء و مقاومة الضغط حيث كلما زادت كمية الألياف زادت المقاومة .

* وفي المرحلة الأخير من هذا البحث قمنا بدراسة الانكماش لهذه الأنواع من الخرسانات في الأجواء الجافة والحارة فستنتجنا ما يلي :

- ان إضافة الرمال الطبيعية الى 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 .

من 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 .

*** دراسة ديمومة خرسانة الرمل برمال الكثبان وخاصة في منطقة الجنوب ذات الأجواء الحارة والجافة على المدى الطويل .

*** نمذجة القوانين الخاصة بالمقاومة والتشوهات لهذا النوع من الخرسانة .

*** تفعيل هذا النوع من الأبحاث وذلك بانجاز منشات ولو تجريبيه على ارض الواقع .

وكنتيجة لهذا البحث نتمنى أن نكون قد سهمنا في تثمين الرمال بصفة عامة ورمال الكثبان بصفة خاصة لأنها الموجودة بكثرة في بلدان وذلك باستعمالها في مجالات الإنشاء المختلفة .
وفي الأخير أملنا أن نكون وفقنا في عملنا هذا الى حد ما و نأمل أن يتواصل البحث في هذا المجال والاهتمام به أكثر.

المـــراجـــــــــع

[1] **AKCHICHE H.** "Contribution à la modélisation du retrait et de fluage de béton et mortier renforcer par les fibres de palmier dattier dans les région désertique", Thèse de magister, université de Ouargla, Algérie, 2007.

[2] **BEAUDOIN J.J.** "Béton renforcé de fibres", Institut de recherche en construction (IRC), Conseil National de recherche, Canada, 1982.

[4] **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.

[5] **MOKHTARI A**. "Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécanique de béton renforcés de fibres végétales de palmier dattier", Thèse de magister, université de Ouargla, Algérie, 2006.

[6] **BELFERRAG A**. "Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les béton de sable de dunes", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2006.

[7] **FICHE DE QUALITE** "Fibres de renforcement", SIKA, Egypte, 2003.

[8] **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.

[9] **COOK D.J**. "*Concrete and cemenet composites reinforced with natural fibers*", PROC, Sympon fibrous concrete, Australie 1980.

[10] **KHENFER M.M**. "Caractérisation et microstructure des ciments renforcés de fibres de cellulose", Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées 224, réf 4236, 2000.

[11] **BLEDZKI A.K, GASSAN J**. "*Composites reinforced with cellulose based fibers*", Prog. Polym. Sci, Elsevier, Allemagne, 1999.

[13] **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.

[14] **ROSSI P.** "Les bétons de fibre métalliques", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1998.

[15] **Presse de l'école nationale des ponts et chaussées,** "Béton de sable, Caractéristiques et pratiques d'utilisation", France, 1994.

[17] **CHAOUCH A**."Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes"**,** Thèse de magister, ENP, Algérie, 1993.

[18] **BENTATA A**. "Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2004.

[19] **BARKAT A.** "Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton", Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie, 2006.

[20] **BOUHNIK 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.

[21] **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.

[22] **HACHANA A**. **"**Etude des Bétons à base des agrégats de démolition"**,** Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie, 2007.

[23] **HADJI N, DRIF A.** "Influence des granulats sur les qualités du béton", Projet de fin d'étude d'ingéniorat, ENP, Algérie, 2005.

[25] **LOGBI A.** "Effet de l'incorporation des ajouts minéraux sur les propriétés physico-mécaniques du béton", Thèse de magister, ENP, Algérie, 1999.

[26] **LAYACHI G.** "Influence du rapport E/C et du mode de cure sur les propriétés physico mécaniques et de transfert d'humidité des mortiers de ciment durcis ", Mémoire de magister, université AMAR Telidji à Laghouat, Algérie, 2006.

[27] **BENGOUCHA F Z.** "Amélioration des propriétés de mortier à base de sable de dunes Avec ajout (sable granulé de haut fourneaux)", Mémoire de fin d'étude d'ingéniorat, ENTP, Algérie, 2005.

[29] **KETTAB R**. "Contribution à la valorisation du sable de dunes", Thèse de doctorat, ENP, Algérie, 2007.

[31] **TIBERMACINE N, MELKMI S.** "Etude comparative entre un béton de sable a base d'un sable roule et un béton de sable a base d'un sable de dune de la région de Biskra", Mémoire de fin d'étude d'ingéniorat, Université de Biskra, Algérie, 1996.

[32] **GORISSE F.** "Essais et contrôle des bétons", Edition Eyrolles, Paris, 1978.

[34] **GUENOUN R.** "Etude et formulation d'un béton de sable de dune", Projet de fin d'étude d'ingéniorat, ENP, Algérie, 2003.

[35] **NAFA A, BATATA A.** "Béton de sable de concassage", Projet de fin d'étude, ENP, Algérie, 1989.

[36] **DREUX G, FESTA J.** "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Edition Eyrolles, Huitième Edition, 1998.

[38] **DREUX G, FESTA J**. "Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifies a la poudrette de caoutchouc", Mémoire de magistère, ENP, Algérie, 2008.

[40] **R.N. Swamya and P.S. Mangata** " Influence of fiber geometry on the properties of steel fiber reinforced concrete"

[42] **EDGINTON J ; D.J. HANNANT** "Steel Fibre reinforced Concrete The effect on fibre orientqtion of compaction by vibration "

[43] **T. Y. Lim, P. Paramisivam, and S. L. Lee** " Bending Behavior of Steel-Fiber Concrete Beams "

[44] **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.

[45] **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.

[47] **Mangat, M . MOTAMEDI AZARI** "Shrinkqge of Steel Fibre reinforced cement

composites "

[48] **HOUGET VERONIQUE ; PERA JEAN** "Etude des caractéristiques mécaniques et physico-chimiques des composites ciments-fibres organiques "

[49] **Byounggeon Kim and W. Jason Weiss** , "Using acoustic emission to quantify damage in restrained fiber-reinforced cement mortars"

[50] **Normes Afnor** "Essais physico-mécaniques sur les bétons et mortiers", 1981-1997.

[51] **PHOUMMAVONG V.** "Matériaux de construction expériences", Cours en ligne, Agence universitaire de la Francophonie. Montréal, Canada, 2006.

[52] **CTC Centre.** "Correction des sables par analyse granulométrique", Algérie, 2006.

[53] **KEDJOUR N.E.** "Le laboratoire du béton", Edition OPU, Algérie, 2005.

[56] **EMILE O.** "Technologie des matériaux de construction Tome 1", Entreprise Moderne d'Edition, Paris, 1978.

[58] **ROSSI P.** "Le développement industriel des bétons de fibres métallique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2002.

[59] **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.

[60] **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.

[61] **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.

[62] **VILLARD P**." Bétons et Mortiers", Cours et Travaux dirigés de matériaux (Module 3) (Département GC, Université de Grenoble - 1ème Année) - Version Juin 2004 –

[3] **بالطيب ع ، مخلوفي ع .** "تعزيز خرسانة الإنشاءات بألياف النخيل " مذكرة تخرج لنيل شهادة مهندس دولة, جامعة ورقلة , الجزائر 2002

[16] **بلة نبيل .** "المعالجة الحرارية لخرسانة الرمل", جامعة محمد بوضياف وهرن, الجزائر ,2005

[24] **عبد الفتاح القاصي**. "ميكانيك التربة" , دار الكتاب العلمي , مصر, 2006

[28] **جديع محسن البصيرى** "أنقاض البناء ... المشكلة والحل" مجلة العمران العربي إصدار عام 1997 م

[30] **المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدبير المهني** "خواص واختبار المواد 104 مدن " المملكة العربية السعودية

[33] **محمود** " تكنولوجيا الخرسانة" قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة, جامعة المنصورة, مصر سنة 2002 **إمام**

[37] **مجلة المهندس "** الشروخ الخرسانية أسبابها وعلاجها" **العدد 4 , 1996**

[39] **جريدة أخر ساعة الجزائرية في عددها الصادر يوم 27/01/ 2010**

[41] **مرخوفي ع .** "المساهمة في دراسة خصائص وتشوهات خرسانة ألياف النخيل في المناطق الجافة و الحارة" , مذكرة ماجستار, جامعة ورقلة , 2004.

[46]**علي عبد الكريم التركي**" الانكماش اللدن للخرسانة المسلحة بالألياف " رسالة جامعية , جامعة الملك عبد العزيز, 1416 هـ .

[54] "البطاقة التقنية لاسمنت مصنع عين التوته , باتنة "

[55] **حسان العش، عبد الفتاح الخطيب .** " الإسمنت " كلية الهندسة - جامعة عين شمس معمل خواص واختبار المواد

[57] **عماد محمد حمادة** "الخرسانة" مقالة من موقع "مركز المدينة للعلوم الهندسية" جوان 2009

http://www.mmsec.com/m1-eng/concret2.htm

[12] "البيتون عالي المقاومة" من الانترانت من موقع "نادي الهندسة المدنية" جوان 2009

http://www.civilengclub.com/vb/t637.html

الصورة 1.III تبين الشكل الحقيقي الألياف المعدنية المستعملة

الصورة 2.III توضح الطاولة التي تم بها الهز .

الصورة 3.III توضح أشكال القوالب المستعملة .

الصورة (1-IV) توضح شكل آلة التحطيم الخاصة بتجربة الانحناء .

الصورة (2-IV) توضح شكل آلة التحطيم الخاصة بتجربة الضغط .

الصورة (3-IV) شكل العينات المعدة لقياس الانكماش

الصورة (4-IV) توضح شكل آلة قياس الانكماش .

الصورة (5-IV) جهاز حساس لقياس الوزن

الصورة (6-IV) جهاز لقياس الحرارة